

การประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุจากการให้แสงภายนอกอาคาร



นายชาญสิทธิ์ จิตติพันธ์พรณี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0242-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF OBJECT LUMINANCE BY OUTDOOR LIGHTING

Mr. Chansit Jittipunpornne

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical
Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000
ISBN 974-13-0242-8

ชาญสิทธิ์ จิตติพันธ์พรณี : การประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุจากการให้แสงภายนอกอาคาร. (Evaluation of Object Luminance by Outdoor Lighting) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย , 86 หน้า. ISBN 974-13-0242-8

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุจากการให้แสงภายนอกอาคารที่ปรากฏต่อสายตาผู้สังเกตการณ์ โดยสร้างรูปทรงมาตรฐาน เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงกรวย ฯลฯ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของวัตถุ พร้อมกันนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุที่ปรากฏต่อสายตาผู้สังเกตการณ์ ผลที่ได้จากการคำนวณแสดงเป็นภาพของแบบจำลองของวัตถุที่ปรากฏต่อสายตาผู้สังเกตการณ์ ทั้งนี้การคำนวณทั้งหมดอ้างอิงตามมาตรฐานของ CIE



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4270294021: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: OBJECT LUMINANCE / SURFACE LUMINANCE / REFLECTION

CHANSIT JITTIPUNPORNE : EVALUATION OF OBJECT LUMINANCE BY
OUTDOOR LIGHTING. THESIS ADVISOR : CHAIYA CHAMCHOY 86 pp.
ISBN 974-13-0242-8

This thesis presents the evaluation method of outdoor illuminated object luminance perceived by observers. The standard model, such as sphere, cylinder, cone, etc., are used to formulate the object model. CIE standard is used in calculation. A computer program to evaluate the object luminance has been developed. The simulated results are presented in the form of object image.



Department Electrical Engineering Student's signature.....

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2000 Co-advisor's signature..... -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้แนะนำแนวทางปฏิบัติให้ความคิดเห็นและ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขต่างๆ นับตั้งแต่เริ่มต้น ในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยผู้ช่วย ศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อติตอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คุณประภรณ์ เมฆจำเริญ ผู้จัดการกลุ่มธุรกิจโคมไฟ บริษัท ฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำ วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ทำยนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา และทุกๆท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ชาญสิทธิ์ จิตติพันธ์พรณี

1 มีนาคม 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 เนื้อหาวิทยานิพนธ์	2
2. ทฤษฎีการคำนวณความส่องสว่างภายนอกอาคาร.....	3
2.1 การกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม	3
2.2 การคำนวณด้วยวิธีคิดทีละจุด	6
2.3 การคำนวณในระบบ $H - V$	7
2.3.1 กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์	8
2.3.2 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์	9
2.4 การคำนวณในระบบ $C - \gamma$	11
2.4.1 กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์	11
2.4.2 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์	13
2.5 คุณลักษณะการสะท้อนของพื้นผิว	13
2.6 รูปแบบการคำนวณค่าความส่องสว่าง.....	15
3. แบบจำลอง.....	17
3.1 แบบจำลองของการมองเห็น.....	17
3.1.1 การกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวของวัตถุ	20
3.2 แบบจำลองของวัตถุ	21

3.2.1	ทรงกลม.....	21
3.2.2	บางส่วนของทรงกลม.....	23
3.2.3	ทรงกระบอก.....	24
3.2.4	ทรงกรวย.....	27
3.2.5	ปริซึมฐานสามเหลี่ยม.....	30
3.2.6	ปริซึมฐานสี่เหลี่ยม.....	34
3.2.7	ปริมาตรฐานสามเหลี่ยม.....	34
3.2.8	ปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม.....	35
3.3	การหมุนแกน.....	36
3.3.1	การแปลงโคออดิเนตในระบบแกน XYZ ไปเป็น $X'Y'Z'$	36
3.3.2	การแปลงโคออดิเนตในระบบแกน $X'Y'Z'$ ไปเป็น XYZ.....	37
4.	โปรแกรมคำนวณความส่องสว่างภายนอกอาคาร.....	39
4.1	โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม.....	39
4.2	ส่วนรับข้อมูล.....	40
4.2.1	ส่วนรับตำแหน่งและทิศทางของการมองของผู้สังเกตการณ์.....	40
4.2.2	ส่วนรับข้อมูลและรายละเอียดของวัตถุ.....	41
4.2.2.1	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกลม.....	41
4.2.2.2	ส่วนรับข้อมูลรูปบางส่วนของทรงกลม.....	42
4.2.2.3	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกระบอก.....	43
4.2.2.4	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกรวย.....	44
4.2.2.5	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริมาตรฐานสามเหลี่ยม.....	45
4.2.2.6	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม.....	46
4.2.2.7	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยม.....	47
4.2.2.8	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมใดๆ.....	48
4.2.2.9	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม.....	49
4.2.2.10	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมใดๆ.....	50
4.2.3	ส่วนรับข้อมูลตำแหน่งและชนิดของดวงโคม.....	51
4.3	ส่วนประมวลผล.....	52
4.3.1	ฟังก์ชันที่ใช้ในการหาจุด P	53

4.3.2	ฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่าง	54
4.4	ส่วนแสดงผล	55
5.	ตัวอย่างการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุ.....	56
5.1	กรณีการให้แสงสว่างบนถนน	56
5.1.1	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=65$	57
5.1.2	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=65$	58
5.1.3	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=65$	59
5.1.4	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=65$	60
5.1.5	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=75$	61
5.1.6	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=75$	62
5.1.7	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=75$	63
5.1.8	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=75$	64
5.1.9	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=85$	65
5.1.10	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=85$	66
5.1.11	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=85$	67
5.1.12	ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=85$	68
5.2	กรณีให้แสงสว่างอนุสาวรีย์	71
5.3	กรณีให้แสงสว่างเพื่อความสวยงามแก่ตัวอาคาร	74
6.	สรุปและข้อเสนอนะ.....	78
6.1	สรุปผลการดำเนินงาน	78
6.2	ข้อเสนอนะ	78
	รายการอ้างอิง.....	80
	ภาคผนวก	
	ก. ข้อมูลการกระจายแสงของโคม Ge1006	82
	ข. ข้อมูลการกระจายแสงของโคม Ge7470	84
	ค. ข้อมูลการกระจายแสงของโคม Ge8572	85
	ประวัติผู้เขียน.....	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5-1	ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมกรณีการให้แสงสว่างบนถนน..... 56
5-2	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=65$ 57
5-3	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=65$ 58
5-4	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=65$ 59
5-5	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=65$ 60
5-6	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=75$ 61
5-7	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=75$ 62
5-8	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=75$ 63
5-9	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=75$ 64
5-10	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=85$ 65
5-11	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=85$ 66
5-12	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=85$ 67
5-13	ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=85$ 68
5-14	ตำแหน่งของแบบจำลองของอนุสาวรีย์ในส่วนของทรงกลมและทรงกระบอก..... 71
5-15	ตำแหน่งของแบบจำลองของอนุสาวรีย์ในส่วนของปริซึมฐานสี่เหลี่ยม 71
5-16	ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมกรณีการให้แสงสว่างอนุสาวรีย์..... 72
5-17	ตำแหน่งของแบบจำลองของการให้แสงสว่างอาคาร ในส่วนของปริซึมฐานสี่เหลี่ยม..... 75
5-18	ตำแหน่งของแบบจำลองของการให้แสงสว่างอาคาร ในส่วนของปริซึมฐานสามเหลี่ยม 75
5-19	ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมกรณีการให้แสงสว่างตัวอาคาร 75

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	ระนาบมุมในระบบ B- β	4
2-2	ระนาบมุมในระบบ C- γ	5
2-3	การคำนวณค่าความสว่างแบบคิดที่ละจุด	6
2-4	การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันเป็นศูนย์	8
2-5	แสดงการหามุม V	9
2-6	การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์	10
2-7	การคำนวณมุม γ ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์	11
2-8	การคำนวณมุม C ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์	12
2-9	การคำนวณมุม C และมุม γ ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์	13
2-10	Reflected luminous intensity distribution characteristics model	14
2-11	การพิจารณาแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวย่อยเล็กๆ dA	15
3-1	แบบจำลองของการมองเห็น	17
3-2	วัตถุทรงกระบอกในปริภูมิ 3 มิติถูกฉายลงไปอยู่บนฉากเสมือน	18
3-3	ระนาบที่เกิดจากมุมหัน (τ)	19
3-4	การกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวของวัตถุ	20
3-5	ทรงกลม	21
3-6	บางส่วนของทรงกลม	23
3-7	ทรงกระบอก	24
3-8	ทรงกรวย	27
3-9	ปริซึมฐานสามเหลี่ยม	30
3-10	ระนาบ $M_1M_2M_3$	31
3-11	การตรวจสอบจุดบนระนาบ	33
3-12	ปริซึมฐานสี่เหลี่ยม	34
3-13	ปิรามิดฐานสามเหลี่ยม	34
3-14	ปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม	35
3-15	การหมุนแกน	36
4-1	แผนผังโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม	40
4-2	ส่วนรับตำแหน่งและทิศทางการมองเห็นของผู้สังเกตการณ์	41
4-3	ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกลม	41

รูปที่	หน้า
4-4 ส่วนรับข้อมูลของรูปบางส่วนของทรงกลม	42
4-5 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงกระบอก.....	43
4-6 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงกรวย	44
4-7 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริมาตรฐานสามเหลี่ยม.....	45
4-8 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม	46
4-9 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม.....	47
4-10 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมใดๆ	48
4-11 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริมาตรฐานสามเหลี่ยม.....	49
4-12 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริมาตรฐานสามเหลี่ยมใดๆ.....	50
4-13 ส่วนรับข้อมูลตำแหน่งและชนิดของดวงโคม.....	51
4-14 แผนผังแสดงการทำงานของส่วนประมวลผล	52
4-15 แผนผังการทำงานของฟังก์ชันที่ใช้หาจุด P	53
4-16 แผนผังการทำงานของฟังก์ชันที่ใช้หาค่าความส่องสว่าง.....	54
4-17 ส่วนแสดงผล	55
5-1 การให้แสงสว่างบนถนน	56
5-2 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=65$	57
5-3 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=65$	58
5-4 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=65$	59
5-5 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=65$	60
5-6 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=75$	61
5-7 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=75$	62
5-8 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=75$	63
5-9 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=75$	64
5-10 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=85$	65
5-11 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=85$	66
5-12 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=85$	67
5-13 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5, y=85$	68
5-14 เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน อยู่ที่ $y=65$ ที่ตำแหน่ง x ต่างๆกัน	69

5-15	เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน อยู่ที่ $y=75$ ที่ตำแหน่ง x ต่างๆกัน	69
5-16	เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน อยู่ที่ $y=85$ ที่ตำแหน่ง x ต่างๆกัน	70
5-17	อนุสาวรีย์ที่ใช้ในการทดสอบ	72
5-18	ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=5, y=0, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=180, \delta=0$	73
5-19	ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=0, y=5, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=270, \delta=0$	73
5-20	ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=5, y=5, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=225, \delta=0$	74
5-21	อาคารที่ใช้ในการทดสอบ	76
5-22	ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=10, y=0, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=180, \delta=10$	77
5-23	ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=10, y=10, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=225, \delta=10$	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมาและแนวเหตุผล

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นสิ่งจำเป็นต่อกิจกรรมในการมองเห็นของมนุษย์ เพื่อให้แสงสว่างเมื่อปราศจากแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ไม่เพียงแต่เท่านั้นในปัจจุบันนี้ไฟฟ้าแสงสว่างยังได้เน้นเพื่อสร้างความสวยงามและสร้างบรรยากาศที่เหมาะสมแก่การทำงานต่างๆด้วย การคำนวณและออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคารก็เช่นกันข้อกำหนด กฎเกณฑ์และรายละเอียดต่างๆ ได้เพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีตเพื่อให้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีความเหมาะสม สวยงามและเพียงพอแก่การใช้งานในสถานที่นั้นๆ ดังนั้นในการคำนวณและออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคารจะพิจารณาความสว่างเพียงอย่างเดียวไม่ได้ หากจะต้องนำความส่องสว่างซึ่งเป็นแสงที่เข้าสู่ตามนุษย์มาพิจารณาร่วมด้วย ดังเช่นในงานคำนวณและออกแบบไฟถนนที่ความส่องสว่างได้เข้ามาเป็นตัวกำหนดกฎเกณฑ์ในการออกแบบด้วยแล้ว สำหรับในการคำนวณออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อความสวยงามนั้นความส่องสว่างบนวัตถุเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องถูกนำมาพิจารณา

การประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุนั้นสามารถกระทำได้โดยวิธีคิดที่ละเอียด แต่ต้องทราบรูปร่างและค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนแสงของวัตถุนั้นๆด้วย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุจากการให้แสงภายนอกอาคาร โดยสร้างแบบจำลองของวัตถุที่ต้องการประเมินค่าความส่องสว่างด้วยรูปทรงพื้นฐานแล้วเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการประเมินค่าความส่องสว่างด้วยวิธีคิดที่ละเอียด

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุ
- 2) เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถวิเคราะห์ระดับความส่องสว่างบนวัตถุ

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- 2) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ระดับของความส่องสว่างบนวัตถุ

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาทฤษฎีและหลักการในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
- 2) ศึกษาทฤษฎีของรูปทรงเรขาคณิตเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของวัตถุ
- 3) ศึกษาโปรแกรมภาษา C++ เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 4) ออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์
- 5) พัฒนาโปรแกรมในส่วนของการคำนวณและประมวลผล
- 6) พัฒนาโปรแกรมในส่วนรับข้อมูลและส่วนแสดงผล
- 7) ทดสอบและปรับปรุงโปรแกรม
- 8) สรุปและประเมินผลการทำงาน
- 9) เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุ
- 2) สามารถจำลองค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้น

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์แต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นที่ใช้คำนวณหาค่าความส่องสว่าง

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีทางเรขาคณิตและสมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

บทที่ 4 กล่าวถึงโครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างบนวัตถุ

บทที่ 5 แสดงผลการคำนวณและตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีการคำนวณความส่องสว่างภายนอกอาคาร

การคำนวณค่าความส่องสว่างบนวัตถุที่ปรากฏต่อสายตาผู้สังเกตการณ์สามารถคำนวณโดยวิธีคิดที่ละเอียด ซึ่งการคำนวณด้วยวิธีคิดที่ละเอียดต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญต่างๆดังนี้

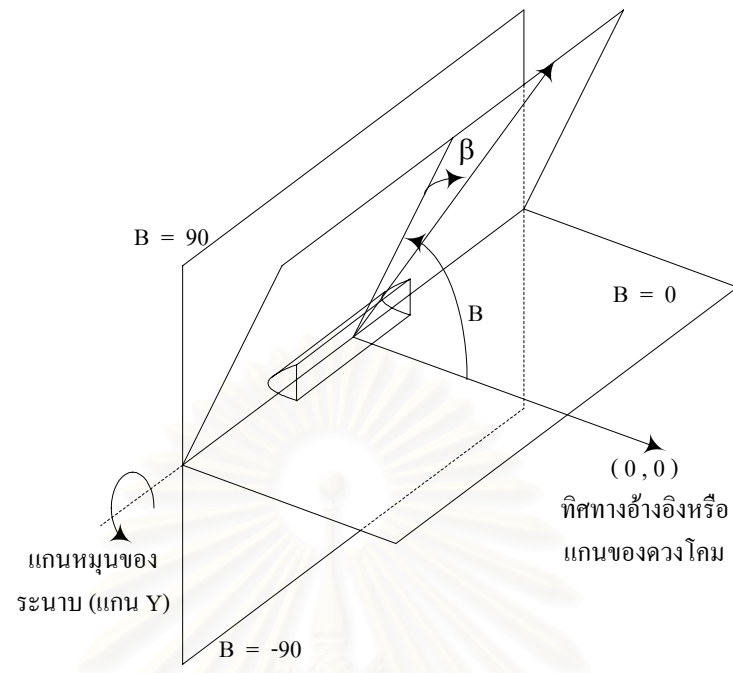
- 1) การกระจายค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมในหน่วยแคนเดลาต่อฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ 1000 ลูเมน
- 2) ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ
- 3) ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของตำแหน่งของดวงโคม และจุดที่ต้องการคำนวณค่าความส่องสว่าง
- 4) คุณลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิวของวัตถุ

2.1 การกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม

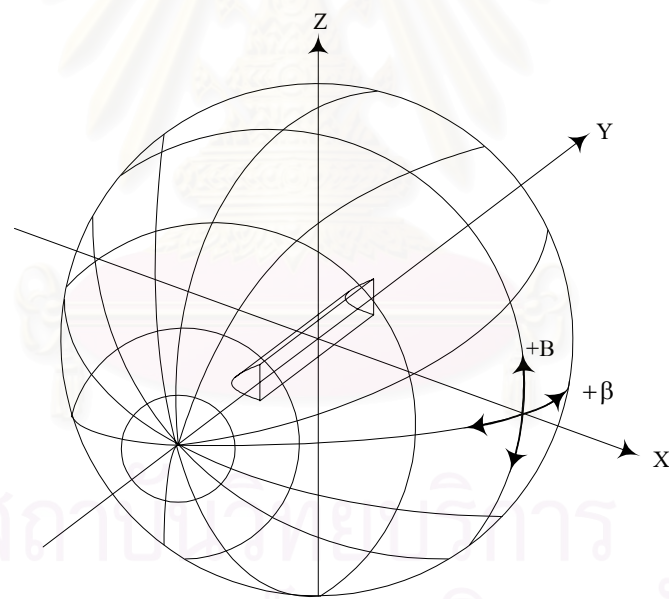
การกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมจะถูกแบ่งการแสดงรูปแบบของข้อมูลออกตามวิธีของการวัด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ระบบคือ ระบบ B- β และ ระบบ C- γ ทั้งนี้การจัดทำข้อมูลต้องทำเป็นความเข้มส่องสว่างเทียบกับฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ 1000 ลูเมน

- 1) ระบบ B- β หรือ ระบบ H-V เป็นระบบที่ใช้ในการวัดโคมไฟส่อง (Floodlight) โดยเฉพาะ มีลักษณะการแบ่งระนาบตามแนวนอนของดวงโคมเป็นระนาบย่อยๆ จาก $B_{-90}(V_{-90})$ ถึง $B_{90}(V_{90})$ โดยกำหนดให้ระนาบที่ตั้งฉากกับหน้าของดวงโคมเป็นระนาบ B_0 และในแต่ละระนาบของ B จะมีลักษณะการกระจายแสงในมุม β จากมุม -90° ถึง 90° ดังแสดงในรูปที่ 2-1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



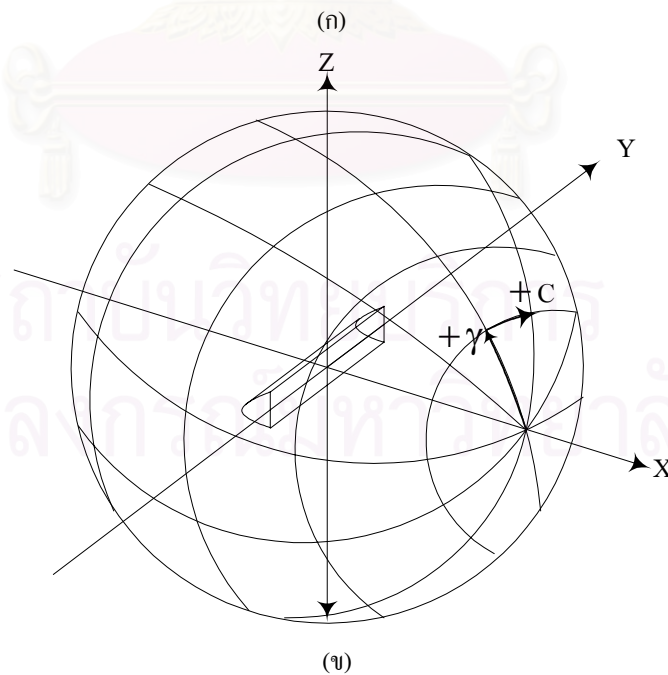
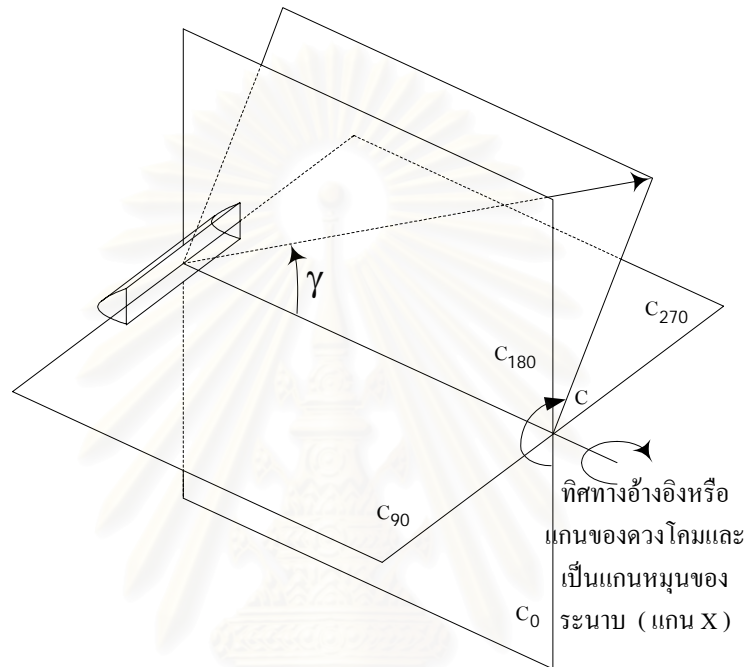
(ก)



(ข)

รูปที่ 2-1 ระนาบมุมในระบบ B- β

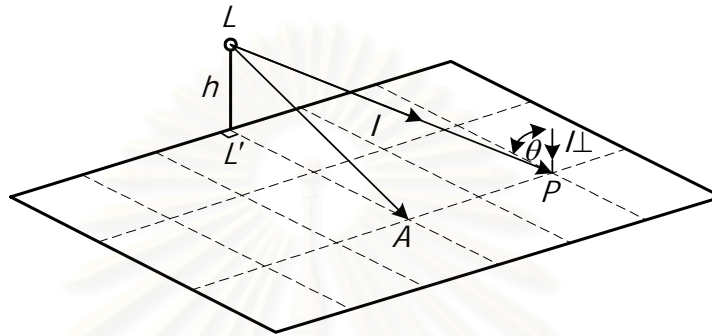
- 2) **ระบบ C- γ** ระบบนี้ทำการแบ่งระนาบย่อยๆ โดยหมุนรอบแกนอ้างอิงที่ตั้งฉากกับหน้าของดวงโคม จาก C_0 ถึง C_{360} และในแต่ละระนาบ C จะมีลักษณะการกระจายแสงในมุม γ ตั้งแต่ 0° ถึง 180° ดังแสดงในรูปที่ 2-2 สำหรับโคมตามมาตรฐาน CIE กำหนดให้ระนาบที่ตั้งฉากกับหลอดในแนวตั้งลงเป็น C_0 และสำหรับโคมไฟถนนกำหนดให้ด้านถนนเป็นระนาบ C_0 - C_{180} ส่วนด้านคนเดินเท้าเป็นด้าน C_{180} - C_{360}



รูปที่ 2-2 ระนาบมุมในระบบ C- γ

2.2 การคำนวณด้วยวิธีคิดที่ละจุด

การคำนวณด้วยวิธีคิดที่ละจุดเป็นการคำนวณทางด้านแสงสว่างในกรณีที่ต้องการทราบค่าความสว่างหรือค่าความส่องสว่างที่จุดนั้น ซึ่งในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างนั้นจะคำนวณหาค่าความสว่างที่จุดนั้นมาก่อนแล้วจึงใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยเพื่อหาค่าความส่องสว่าง



รูปที่ 2-3 การคำนวณค่าความสว่างแบบคิดที่ละจุด

ค่าความสว่างที่จุด P สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$E_p = \frac{I_{\perp}}{LP^2} \quad (2.1)$$

โดยที่

E_p = ความสว่างบนระนาบนอนที่จุด P (ลักซ์)

I_{\perp} = ความเข้มส่องสว่างที่ตั้งฉากกับระนาบตรงจุด P (cd.)

LP = ระยะห่างจากดวงโคมไปยังจุดที่ต้องการคำนวณ (เมตร)

$$I_{\perp} = I \cos \theta$$

และ

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

แทนค่าลงในสมการที่ (2.1) จะได้

$$E_p = I \times \frac{LL'}{LP^3} \quad (2.2)$$

หรือ

$$E_p = I \times \frac{h}{LP^3} \quad (2.3)$$

โดยที่

h = ความสูงของโคม (เมตร)

ดังนั้นในการคำนวณหาความสว่างสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.4)

$$E = \frac{I(H, V) \cos \theta}{LP^2} = \frac{I(C, \gamma) \cos \theta}{LP^2} \quad (2.4)$$

โดยที่

θ = มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบบนจุด P กับแนวแกนที่ตั้งฉากกับระนาบที่จุด P

ค่าความเข้มส่องสว่างของดวงโคมที่ตกบนจุดคำนวณขึ้นอยู่กับ ลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่าง ลักษณะการติดตั้งดวงโคม และตำแหน่งจุดที่จะคำนวณ โดยข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม ผู้ผลิตโคมสามารถระบุได้ทั้งระบบ $H - V$ หรือ $C - \gamma$

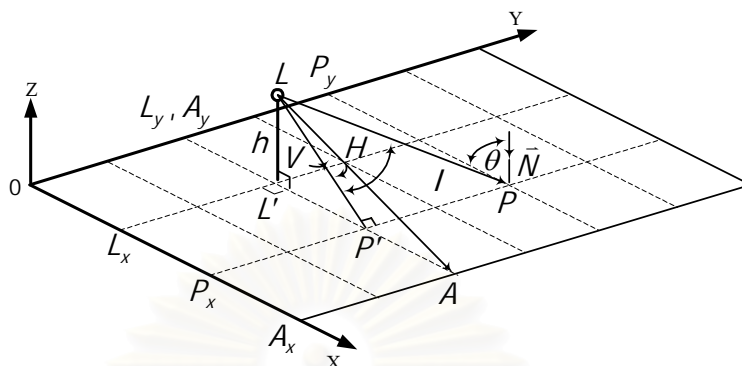
2.3 การคำนวณในระบบ $H - V$

มีการคำนวณได้ 2 กรณี ด้วยกันคือ

- กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์
- กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์

ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของการคำนวณทั้ง 2 กรณี ได้ดังนี้

2.3.1 กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์



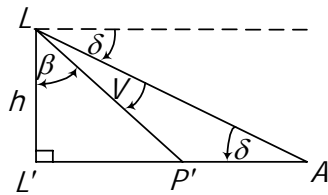
รูปที่ 2-4 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันเป็นศูนย์

กำหนดให้

- θ = มุมที่จุด P ที่กระทำกันระหว่าง เส้นที่ลากจาก L ถึง P กับ
นอร์มัลเวกเตอร์ของระนาบที่จุด P (องศา)
- τ = มุมหันของดวงโคม (องศา)
- δ = มุมเอียงของดวงโคมที่ทำกับแนวระดับ (องศา)
- P = จุดที่ต้องการหาค่าความสว่าง
- L = จุดที่ติดตั้งดวงโคมบนเสา
- A = จุดเอียงของดวงโคม
- h = ความสูงของดวงโคม (เมตร)
- L' = จุดติดตั้งโคมที่พื้นระนาบ
- P_x, P_y, P_z = โคออดิเนตของจุดที่ต้องการคำนวณหาค่าความสว่าง
- A_x, A_y, A_z = โคออดิเนตของจุดเอียงของดวงโคม
- L_x, L_y, L_z = โคออดิเนตของจุดติดตั้งดวงโคม

พิจารณาจากรูปที่ 2-4 จะได้ว่า

$$\Delta LP'P \Rightarrow \sin H = \frac{PP'}{LP} = \frac{|P_y - L_y|}{\sqrt{(P_x - L_x)^2 + (P_y - L_y)^2 + (P_z - L_z)^2}} \quad (2.5)$$

รูปที่ 2-5 แสดงการหามุม V

พิจารณาจากรูปที่ 2-5 จะได้ว่า

$$\Delta LL'A \quad \sin \delta = \frac{LL'}{LA} = \frac{A_z - L_z}{\sqrt{(A_x - L_x)^2 + (A_z - L_z)^2}} \quad (2.6)$$

โดยที่

มุม δ จะมีค่าติดลบเนื่องจากเล็งต่ำกว่าแนวระดับ

มุม V มีค่าติดลบเพราะจุด P' อยู่ต่ำกว่าแนวเล็ง

$$\beta + (-V) + (-\delta) = 90^\circ$$

$$\beta = V + (90^\circ + \delta)$$

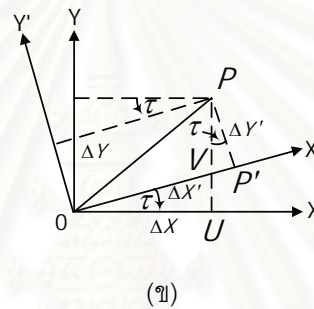
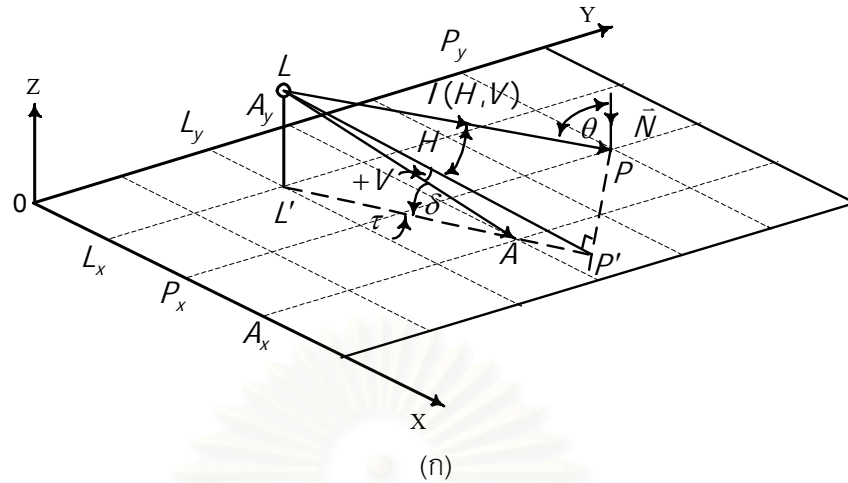
พิจารณาที่ $\Delta LL'P'$ จะได้

$$\tan \beta = \frac{L'P'}{LL'} = \frac{P_x - L_x}{L_z - P_z} \quad (2.7)$$

$$\therefore V = \tan^{-1} \left(\frac{P_x - L_x}{L_z - P_z} \right) - (90 + \delta) \quad (2.8)$$

2.3.2 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์

จากรูปที่ 2-4 เมื่อหันดวงโคมไปเป็นมุม τ องศา จากแนวตั้งฉากกับขอบสนามจะทำให้แนวที่กำหนดมุม $H = 0^\circ$ หันไปเป็นมุม τ องศาด้วย การคำนวณค่ามุม H และมุม V จึงทำได้โดยการหมุนระนาบ XY ไปเป็นมุม τ องศา กลายเป็นระนาบ $X'Y'$ ดังแสดงในรูปที่ 2-6 แล้วคำนวณมุม H และ มุม V ในเทอมของ $\Delta X'$ และ $\Delta Y'$ ดังนี้



รูปที่ 2-6 (ก) และ (ข) การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์

$$H = \sin^{-1} \frac{\Delta Y'}{\sqrt{(\Delta X')^2 + (\Delta Y')^2 + (\Delta Z')^2}} \quad (2.9)$$

$$V = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta X'}{\Delta Z'} \right) - (90 + \delta) \quad (2.10)$$

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

$$1) \quad \Delta Z' = \Delta Z$$

2) พิจารณา $\triangle OUV$ และ $\triangle PP'V$ จะได้

$$\begin{aligned} \Delta X' &= OP' = OV + VP' \\ &= \frac{\Delta X}{\cos \tau} + (\Delta Y - \Delta X \tan \tau) \sin \tau \\ &= \frac{\Delta X}{\cos \tau} + \Delta Y \sin \tau - \Delta X \frac{\sin^2 \tau}{\cos \tau} \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta X' = \Delta X \cos \tau + \Delta Y \sin \tau \quad (2.11)$$

3) พิจารณา $\Delta PP'V$ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta Y' &= PV \cos \tau \\ &= (\Delta Y - \Delta X \tan \tau) \cos \tau \\ \therefore \Delta Y' &= \Delta Y \cos \tau - \Delta X \sin \tau\end{aligned}\quad (2.12)$$

นอกจากนี้จะได้

$$OP^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2 = (\Delta X')^2 + (\Delta Y')^2 \quad (2.13)$$

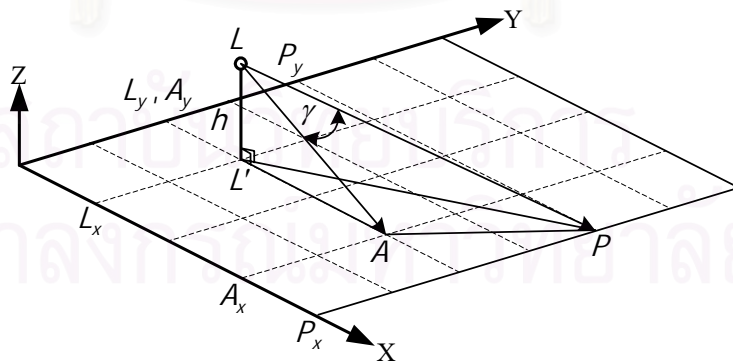
แทนค่าสมการที่ (2.11) ถึง (2.13) ในสมการที่ (2.9) และ (2.10) จะได้มุม H และมุม V ดังนี้

$$H = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta Y \cos \tau - \Delta X \sin \tau}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}} \right) \quad (2.14)$$

$$V = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta X \cos \tau + \Delta Y \sin \tau}{\Delta Z} \right) - (90 + \delta) \quad (2.15)$$

2.4 การคำนวณในระบบ $C - \gamma$

2.4.1 กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์

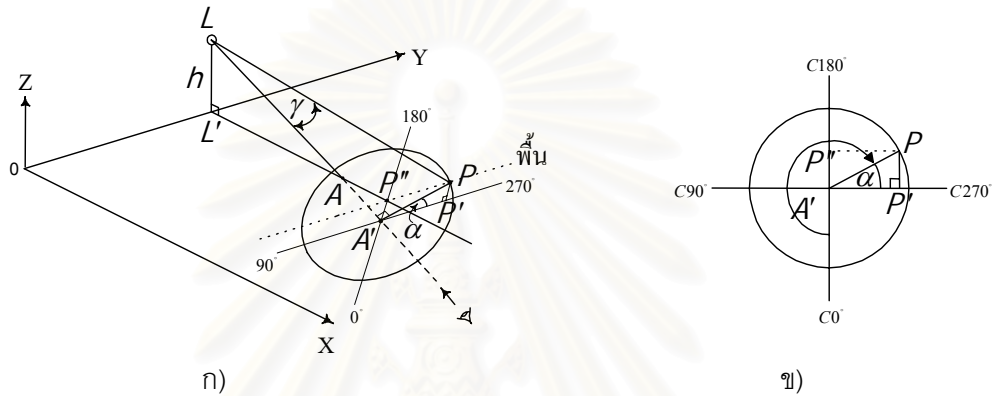


รูปที่ 2-7 การคำนวณมุม γ ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 2-7 พิจารณาที่ ΔLAP สามารถหามุม γ ได้จากสมการที่ (2.16)

$$\cos \gamma = \frac{LP^2 + LA^2 - AP^2}{2 \cdot LP \cdot LA} \quad (2.16)$$

สำหรับการคำนวณมุม C นั้นเนื่องจากมีมุมเฉียงเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระนาบมุม C ที่จุดเฉียง และจุดคำนวณไม่ตั้งฉากกับพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องลากเส้นต่อจากเส้น LA จนกระทั่งตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุด P ที่จุด A' แล้วสร้างเป็นรูปกรวยโดยให้จุด A' เป็นจุดศูนย์กลางดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ก) และ ข) การคำนวณมุม C ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 2-8 เมื่อพิจารณาวงกลมซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน โดยกำหนดมุม C ดังรูป จะสามารถคำนวณมุม C ได้ดังนี้

$$C = 270^\circ - \alpha \quad (2.17)$$

พิจารณา $\triangle A'P'P$ จะได้

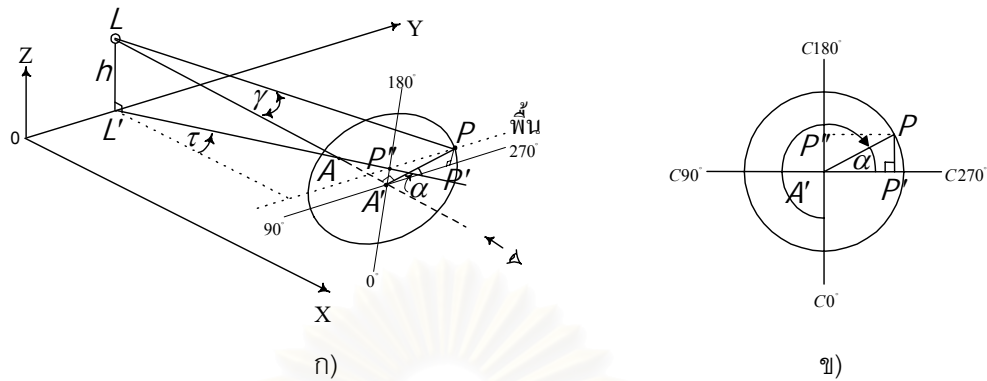
$$PA' = LP \sin \gamma$$

$$P'A' = PP'' = P_y - A_y = P_y - L_y$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{P'A'}{PA'} \right) \quad (2.18)$$

$$\therefore \alpha = \cos^{-1} \left(\frac{P_y - L_y}{LP \sin \gamma} \right) \quad (2.19)$$

2.4.2 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์



รูปที่ 2-9 ก) และ ข) การคำนวณมุม C และมุม γ ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์

การคำนวณมุม γ จะคำนวณโดยวิธีเดียวกับในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ (2.16)

ในกรณีที่บอกจุดเล็งมาให้สามารถคำนวณหามุมหัน (τ) ได้ดังแสดงในสมการที่(2.20)

$$\tau = \tan^{-1} \frac{A_y - L_y}{A_x - L_x} \quad (2.20)$$

จากรูปที่ 2-9 ข) สามารถคำนวณมุม α ได้ดังสมการที่ (2.18)

โดยที่ $P'A'$ สามารถหาได้เช่นเดียวกับ $\Delta Y'$ ดังแสดงในสมการที่ (2.12)

$$\therefore P'A' = \Delta Y \cos \tau - \Delta X \sin \tau \quad (2.21)$$

$$\therefore \alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\Delta Y \cos \tau - \Delta X \sin \tau}{LP \sin \gamma} \right) \quad (2.22)$$

2.5 คุณลักษณะการสะท้อนของพื้นผิว (Reflection Characteristic)[1]

รูปแบบการสะท้อนของพื้นผิวเป็นไปตามสมการ (Kikuchi, Keneto, Takahashi)

$$\begin{aligned} I(\theta) &= I_{do} \cdot \cos \theta + I_{so} \cos^n(\theta - \alpha) \\ &= \left(dF \cdot \frac{Rd}{\pi} \right) \cdot \cos \theta + \left(\frac{dF \cdot Rs}{2\pi I(n+1)} \right) \cdot \cos^n(\theta - \alpha) \end{aligned} \quad (2.23)$$

โดยที่

$I(\theta)$ = ความเข้มส่องสว่างของแสงที่สะท้อนออกมาที่มุม θ (cd.)

I_{do} = ค่าสูงสุดของความเข้มส่องสว่างของแสงสะท้อนในส่วนที่กระจายแบบสม่ำเสมอ (cd.)

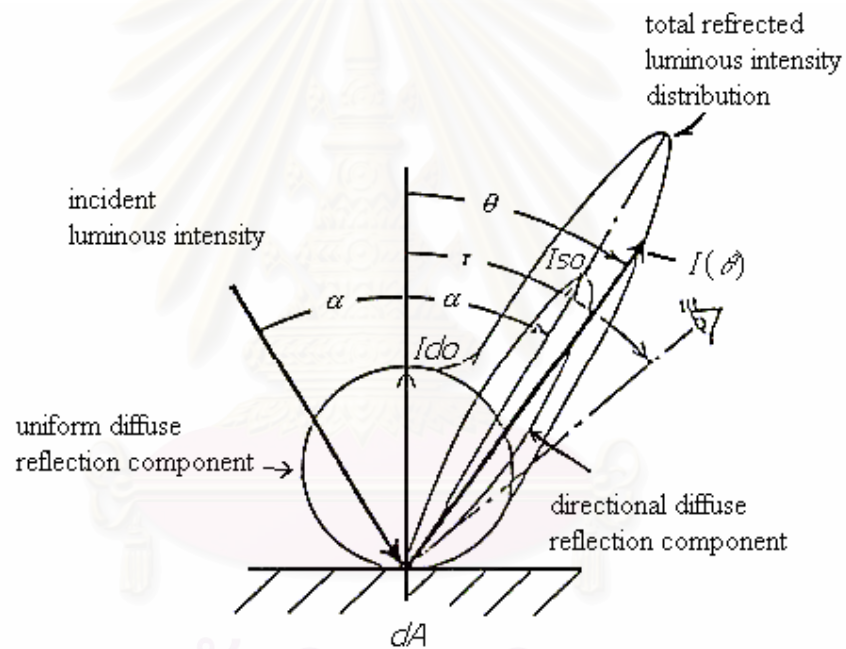
I_{so} = ค่าสูงสุดของความเข้มส่องสว่างของแสงที่สะท้อนแบบส่องผ่าน (cd.)

dF = ปริมาณฟลักซ์ส่องสว่างย่อยที่ตกกระทบพื้นผิวย่อย dA (lm.)

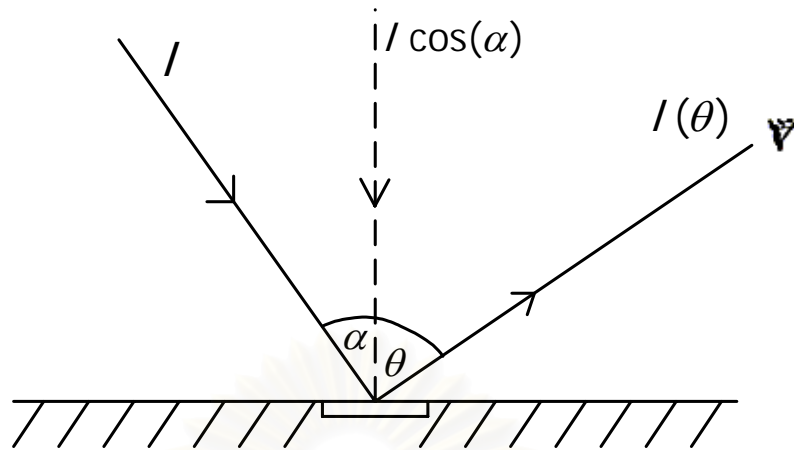
Rd = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแบบกระจาย ($0 \leq Rd \leq 1$)

Rs = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแบบส่องผ่านแสง ($0 \leq Rs \leq 1$)

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงรวม = $Rd + Rs$



รูปที่ 2-10 Reflected luminous intensity distribution characteristics model



รูปที่ 2-11 การพิจารณาแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวย่อยเล็กๆ dA

ดังแสดงในภาพที่ 2-10 และจากสมการที่ (2.23) จะเห็นว่าการสะท้อนแสงประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของการสะท้อนแสงแบบกระจายสม่ำเสมอ (uniform diffuse reflection) และ ส่วนของการสะท้อนแสงแบบส่องผ่านแสง (directional diffuse reflection)

จากรูปที่ 2-11 ฟลักซ์ส่องสว่าง (dF) ที่ตกลงบนพื้นที่เล็กๆ (dA) หาได้จาก

$$dF = E \cdot dA = \frac{I \cos \alpha}{d^2} \cdot dA \quad (2.24)$$

โดยที่

I = ความเข้มส่องสว่าง จากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกบนพื้นที่ dA

ดังนั้นจะได้

$$I(\theta) = \frac{I}{d^2} \cdot dA \cdot \cos \alpha \cdot \frac{Rd}{\pi} \cdot \cos \theta + \frac{\frac{I}{d^2} \cdot dA \cdot \cos \alpha \cdot R_s \cdot \cos^n(\theta - \alpha)}{2\pi I(n+1)} \quad (2.25)$$

2.6 รูปแบบการคำนวณค่าความส่องสว่าง[1]

ความส่องสว่าง (Luminance ; L) คือค่าความเข้มส่องสว่างของพื้นผิวส่วนย่อยในทิศทางที่กำหนดต่อพื้นที่ของส่วนย่อยนั้น ที่ฉายตั้งฉากกับทิศทางของความเข้มส่องสว่าง

จากรูปที่ 2-11 จะได้

$$L(\theta) = \frac{I(\theta)}{dA \cos \theta} \quad (2.26)$$

และจากสมการที่ (2.25) จะได้

$$L(\theta) = \frac{\frac{I}{d^2} \cdot dA \cdot \cos \alpha \cdot \frac{Rd}{\pi} \cdot \cos \theta}{dA \cdot \cos \theta} + \frac{\frac{I}{d^2} \cdot dA \cdot \cos \alpha \cdot Rs \cdot \cos^n(\theta - \alpha)}{dA \cdot \cos \theta \cdot (2\pi/(n+1))} \quad (2.27)$$

$$L(\theta) = \frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{Rd}{\pi} + \frac{\frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha \cdot Rs \cdot \cos^n(\theta - \alpha)}{(2\pi/(n+1)) \cdot \cos \theta} \quad (2.28)$$

จากสมการที่ (2.24) และรูปที่ 2-11

$$\frac{I}{d^2} \cdot \cos \alpha = \text{ค่าความส่องสว่าง (E) จุดใดๆที่คิดบนพื้นที่ } dA$$

ดังนั้นจะได้

$$L(\theta) = E \cdot \frac{Rd}{\pi} + \frac{E \cdot Rs \cdot \cos^n(\theta - \alpha)}{(2\pi/(n+1)) \cdot \cos \theta} \quad (2.29)$$

$$L(\theta) = Ld + Ls \quad (2.30)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} Ld &= \text{ค่าความส่องสว่างในส่วนองแสงที่สะท้อนแบบกระจาย} \\ &= E \cdot \frac{Rd}{\pi} \text{ cd/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ls &= \text{ค่าความส่องสว่างในส่วนองแสงที่สะท้อนแบบส่องผ่านแสง} \\ &= \frac{E \cdot Rs \cdot \cos^n(\theta - \alpha)}{(2\pi/(n+1)) \cdot \cos \theta} \text{ cd/m}^2 \end{aligned}$$

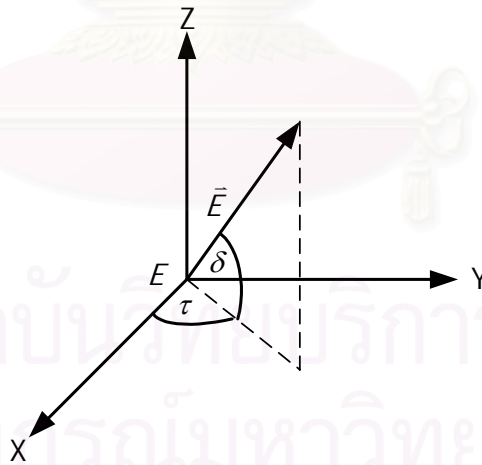
บทที่ 3

แบบจำลอง

การคำนวณหาค่าความส่องสว่างบนวัตถุโดยการให้คอมพิวเตอร์ต้องบอกรายละเอียดของรูปร่างและรูปทรงต่างๆของวัตถุให้คอมพิวเตอร์ทราบ จากนั้นจึงสามารถสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณค่าความส่องสว่างบนวัตถุที่ต้องการทราบได้ แต่โดยปกติแล้วคอมพิวเตอร์ไม่สามารถรับรู้ได้ว่าวัตถุชิ้นใดมีรูปร่างเป็นเช่นใด ประกอบขึ้นจากวัตถุใดบ้าง จึงต้องทำให้คอมพิวเตอร์หรือโปรแกรมสามารถรับรู้ได้ว่าวัตถุชิ้นนั้นมีรูปร่างเป็นเช่นไร ในบทนี้ได้กล่าวถึงในส่วนขอแบบจำลองของวัตถุและแบบจำลองในการมอง

3.1 แบบจำลองของการมอง

แบบจำลองของการมองเป็นแบบจำลองที่ใช้แทนตำแหน่งและทิศทางการมองของผู้สังเกตการณ์ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างบนวัตถุที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตการณ์ โดยแบ่งเป็นตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ $E(x, y, z)$ และทิศทางการมองของผู้สังเกตการณ์บอกด้วยมุมหัน (τ) และมุมเงย (δ) ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แบบจำลองของการมอง

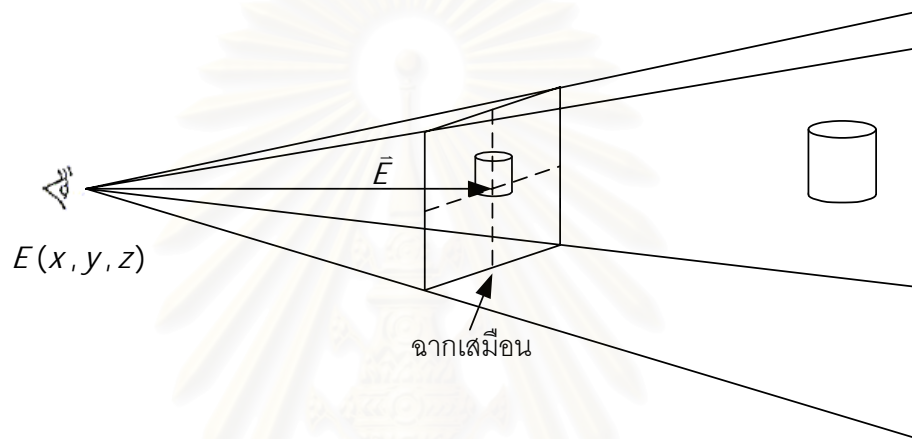
โดยที่

$$E(x, y, z) = \text{ตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์}$$

$$\vec{E} = \text{เวกเตอร์บอกทิศทางของการมองของผู้สังเกตการณ์}$$

- τ = มุมหัน เป็นมุมระหว่างแกนของเวกเตอร์บอกทิศทาง \vec{E} บนระนาบ XY กับ แกน +X
- δ = มุมเงย เป็นมุมระหว่าง \vec{E} กับระนาบ XY

นอกจากนี้แบบจำลองของการมองเห็นยังเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงภาพของวัตถุที่อยู่ในปริภูมิ 3 มิติอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณหาค่าความส่องสว่างของวัตถุที่ปรากฏแก่สายตาผู้สังเกตการณ์ทำการคำนวณในปริภูมิ 3 มิติแต่อุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงภาพสามารถแสดงได้เพียง 2 มิติ



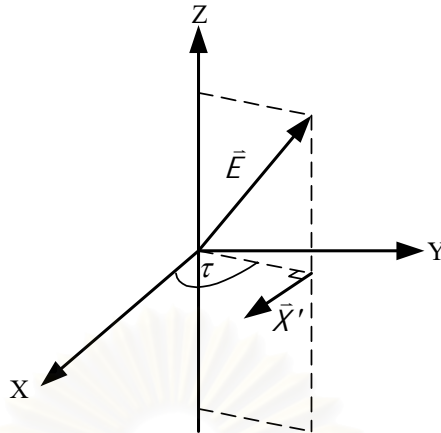
รูปที่ 3-2 วัตถุทรงกระบอกในปริภูมิ 3 มิติถูกฉายลงไปอยู่บนฉากเสมือน

จากรูปที่ 3-1 สามารถหาเวกเตอร์ \vec{E} ได้

$$\vec{E} = \cos \delta \cos \tau \vec{i} + \cos \delta \sin \tau \vec{j} + \sin \delta \vec{k} \quad (3.1)$$

และได้เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางเดียวกับมุมหัน (τ) และอยู่บนระนาบ XY คือ

$$\vec{E}' = \cos \tau \vec{i} + \sin \tau \vec{j} \quad (3.2)$$

รูปที่ 3-3 ระนาบที่เกิดจากมุมหัน (τ)

จากรูปที่ 3-3 ที่มุมหัน (τ) ค่าหนึ่งผู้สังเกตการณ์สามารถก้มและเงยได้ตั้งแต่ -90° ถึง 90° ซึ่งจะทำให้เกิดระนาบเนื่องจากมุมหัน (τ) ขึ้นมาระนาบหนึ่ง และสามารถหาแกนที่เป็นแกนนอนของฉากเสมือนและตั้งฉากกับระนาบนี้ได้ดังนี้

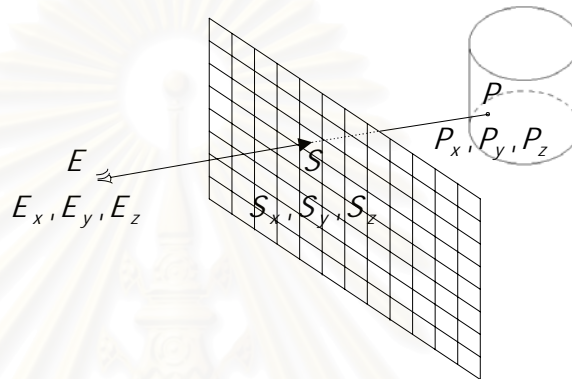
$$\begin{aligned}\bar{X}' &= \bar{E}' \times \bar{k} \\ &= (\cos \tau \bar{i} + \sin \tau \bar{j}) \times \bar{k} \\ \therefore \bar{X}' &= \sin \tau \bar{i} - \cos \tau \bar{j}\end{aligned}\quad (3.3)$$

จากรูปที่ 3-3 เวกเตอร์ \bar{X}' ตั้งฉากกับระนาบที่เกิดจากมุมหัน (τ) ทำให้เวกเตอร์ \bar{X}' ตั้งฉากกับเวกเตอร์ \bar{E} ด้วย จากนั้นสามารถหาแกนตั้งของฉากเสมือน (\bar{Y}') ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\bar{Y}' &= \bar{X}' \times \bar{E} \\ &= (\sin \tau \bar{i} - \cos \tau \bar{j}) \times (\cos \delta \cos \tau \bar{i} + \cos \delta \sin \tau \bar{j} + \sin \delta \bar{k}) \\ &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \sin \tau & -\cos \tau & 0 \\ \cos \delta \cos \tau & \cos \delta \sin \tau & \sin \delta \end{vmatrix} \\ \therefore \bar{Y}' &= -\sin \delta \cos \tau \bar{i} - \sin \delta \sin \tau \bar{j} + \cos \delta \bar{k}\end{aligned}\quad (3.4)$$

3.1.1 การกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวของวัตถุ

จากการคำนวณหาค่าความส่องสว่างบนวัตถุกระทำในปริภูมิ 3 มิติ แต่สามารถแสดงผลได้เพียง 2 มิติทำให้มีเพียงบางส่วนของชิ้นวัตถุถูกนำมาแสดงบนฉาก ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่างของวัตถุจึงไม่ต้องคำนวณจุดทุกจุดบนพื้นผิววัตถุ แต่เลือกคำนวณเพียงบางส่วนของจุดที่ต้องถูกนำมาแสดงผลเท่านั้น โดยแบ่งฉากเสมือนออกเป็นส่วนย่อยๆ แล้วเลือกคำนวณค่าความส่องสว่างบนวัตถุเฉพาะจุดที่จะถูกนำมาแสดงบนฉากเสมือนดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 การกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวของวัตถุ

โดยที่

- E =จุดแสดงตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์
- S =จุดของวัตถุที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่างบนฉาก
- P =จุดที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่างบนวัตถุ
- E_x, E_y, E_z =โคออดิเนตแสดงตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์
- S_x, S_y, S_z =โคออดิเนตของจุดที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่างบนฉาก
- P_x, P_y, P_z =โคออดิเนตของจุดของวัตถุที่ต้องการคำนวณหาค่าความส่องสว่าง

พิจารณาจากรูปที่ 3-4 ได้สมการเวกเตอร์ของเส้นตรงจากจุด E ไปยังจุด S ได้

$$\vec{ES}(t) = (E_x, E_y, E_z) + t(S_x - E_x, S_y - E_y, S_z - E_z) \quad (3.5)$$

แตกให้อยู่ในเทอมของ x, y, z ได้ดังนี้

$$x = E_x + t(S_x - E_x) \quad (3.6)$$

$$y = E_y + t(S_y - E_y) \quad (3.7)$$

$$z = E_z + t(S_z - E_z) \quad (3.8)$$

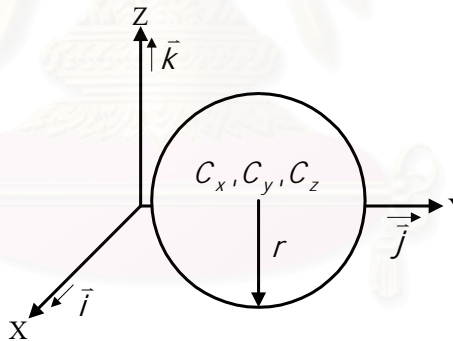
3.2 แบบจำลองของวัตถุ

แบบจำลองของวัตถุเป็นรูปทรงพื้นฐานที่ใช้แทนวัตถุที่ต้องการคำนวณหาค่าความส่องสว่าง รูปทรงพื้นฐานที่ใช้เป็นตัวแทนของวัตถุมีดังนี้

- ทรงกลม, บางส่วนของทรงกลม
- ทรงกระบอก
- ทรงกรวย
- ปริซึมฐานสามเหลี่ยม
- ปริซึมฐานสี่เหลี่ยม
- ปริมาตรฐานสามเหลี่ยม
- ปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม

3.2.1 ทรงกลม

รูปทรงกลมสามารถระบุได้โดยจุดศูนย์กลางของทรงกลม(C_x, C_y, C_z) และรัศมีของทรงกลม(r) ดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ทรงกลม

ทรงกลมสามารถแทนด้วยสมการดังนี้

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 + (z - C_z)^2 = r^2 \quad (3.9)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} C_x, C_y, C_z &= \text{โคออดิเนตของจุดศูนย์กลางของทรงกลม} \\ r &= \text{รัศมีของทรงกลม} \end{aligned}$$

แทนสมการที่ (3.6) , (3.7) และ (3.8) ลงในสมการที่ (3.9)

$$[E_x + t(S_x - E_x) - C_x]^2 + [E_y + t(S_y - E_y) - C_y]^2 + [E_z + t(S_z - E_z) - C_z]^2 = r^2 \quad (3.10)$$

โดยการแก้สมการจะได้

$$At^2 + Bt + C = 0 \quad (3.11)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= (S_x - E_x)^2 + (S_y - E_y)^2 + (S_z - E_z)^2 \\ B &= 2[(S_x - E_x)(E_x - C_x) + (S_y - E_y)(E_y - C_y) \\ &\quad + (S_z - E_z)(E_z - C_z)] \\ C &= (E_x - C_x)^2 + (E_y - C_y)^2 + (E_z - C_z)^2 - r^2 \end{aligned}$$

แก้สมการที่ (7) หาค่า t ได้ดังนี้

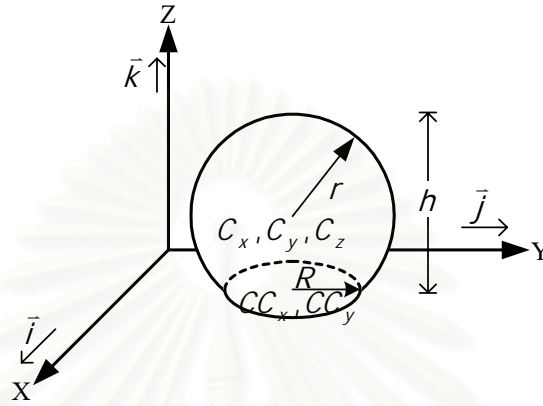
$$t = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (3.12)$$

แทนค่า t ที่ได้จากสมการที่ (3.12) ลงในสมการที่ (3.6), (3.7) และ (3.8) สามารถหาจุด P_x, P_y, P_z ได้ และจากจุด P_x, P_y, P_z ที่ได้สามารถหาอนุกรมเวกเตอร์ของระนาบที่จุด P ได้ดังนี้

$$\vec{N} = (P_x - C_x)\vec{i} + (P_y - C_y)\vec{j} + (P_z - C_z)\vec{k} \quad (3.13)$$

3.2.2 บางส่วนของทรงกลม

รูปบางส่วนของทรงกลมระบุได้โดยจุดศูนย์กลางของทรงกลม(C_x, C_y, C_z) รัศมีของทรงกลม(r)และความสูง(h) ดังแสดงในรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 บางส่วนของทรงกลม

สมการที่ใช้แทนรูปบางส่วนของทรงกลมแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนของทรงกลม สมการดังแสดงในหัวข้อ 3.2.1 แต่ต้องทำการตรวจสอบว่าจุด P_x, P_y, P_z ที่ได้อยู่ในส่วนของทรงกลมหรือไม่ โดยที่

$$C_z - r \leq P_z \leq C_z - r + h$$

2. ส่วนของฐานที่เป็นวงกลม สามารถแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$(x - CC_x)^2 + (y - CC_y)^2 \leq R^2 \quad (3.14)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} CC_x, CC_y, CC_z &= \text{โคออดิเนตของจุดศูนย์กลางของวงกลม} \\ R &= \text{รัศมีของวงกลมที่ฐาน} \\ &= \sqrt{r^2 - (h - r)^2} \\ &= \sqrt{r^2 - h^2 + 2rh - r^2} \\ &= \sqrt{2rh - h^2} \\ CC_z &= C_z + r - h \end{aligned}$$

แทนค่า $z = CC_z$ ลงในสมการที่ (3.8) ได้

$$\begin{aligned} C_z + r - h &= E_z + t(S_z - E_z) \\ t &= \frac{C_z + r - h - E_z}{S_z - E_z} \end{aligned} \quad (3.15)$$

แทนค่า t ลงในสมการที่ (3.6) และ (3.7) จะได้โคออดิเนต x, y
นำค่า x, y ที่ได้แทนลงในสมการที่ (3.14) หากสมการเป็นจริงจะได้

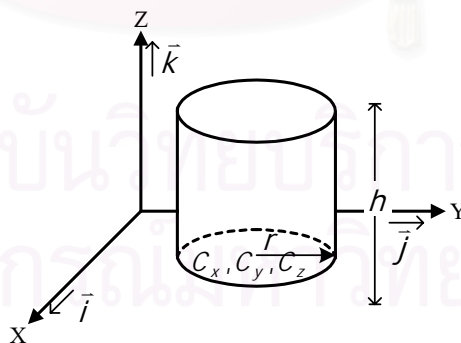
$$\left. \begin{aligned} P_x &= x \\ P_y &= y \\ P_z &= Cz + r - h \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

และได้นอร์มัลเวกเตอร์

$$\vec{N} = -\vec{k} \quad (3.17)$$

3.2.3 ทรงกระบอก

ทรงกระบอกสามารถระบุได้โดยจุดศูนย์กลางของวงกลมที่ฐานของทรงกระบอก
(C_x, C_y, C_z) รัศมีของทรงกระบอก(r) และความสูงของทรงกระบอก(h) ดังแสดงในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 ทรงกระบอก

สมการที่ใช้แทนทรงกระบอกสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนดังนี้

1. ผิวด้านข้างของทรงกระบอกแทนด้วยสมการ

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = r^2 \quad (3.18)$$

โดยที่

C_x, C_y, C_z = โคออดิเนตของจุดศูนย์กลางที่ฐานของทรงกระบอก

r = รัศมีของทรงกระบอก

h = ความสูงของทรงกระบอก

แทนค่าสมการที่ (3.6) และ (3.7) ลงในสมการที่ (3.18)

$$[E_x + t(S_x - E_x) - C_x]^2 + [E_y + t(S_y - E_y) - C_y]^2 = r^2 \quad (3.19)$$

โดยการแก้สมการจะได้

$$At^2 + Bt + C = 0 \quad (3.20)$$

โดยที่

$$A = (S_x - E_x)^2 + (S_y - E_y)^2$$

$$B = 2[(S_x - E_x)(E_x - C_x) + (S_y - E_y)(E_y - C_y)]$$

$$C = (E_x - C_x)^2 + (E_y - C_y)^2 - r^2$$

จากสมการที่ (3.20) สามารถแก้สมการหาค่า t ได้ดังแสดงในสมการที่ (3.12)

แทนค่า t ที่ได้ลงในสมการที่ (3.6), (3.7) และ (3.8) ได้จุด P_x, P_y, P_z

โดยที่

$$C_z \leq P_z \leq C_z + h \quad (3.21)$$

และสามารถหามอร์มัลเวกเตอร์ของระนาบที่จุด P_x, P_y, P_z ได้ดังนี้

$$\vec{N} = (P_x - C_x)\vec{i} + (P_y - C_y)\vec{j} \quad (3.22)$$

2. วงกลมด้านบนของทรงกระบอก สามารถแทนด้วยสมการ

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 \leq r^2$$

โดยที่

$$z = C_z + h$$

โดยการแทน $z = C_z + h$ ลงในสมการที่ (3.13) ได้

$$\begin{aligned} C_z + h &= E_z + t(S_z - E_z) \\ t &= \frac{C_z + h - E_z}{S_z - E_z} \end{aligned} \quad (3.24)$$

แทนค่า t จากสมการที่ (3.24) ลงในสมการที่ (3.6) และ (3.7) จากนั้นแทนค่า x, y ที่ได้ลงในสมการที่ (3.23) หากสมการเป็นจริงจะได้

$$\left. \begin{aligned} P_x &= x \\ P_y &= y \\ P_z &= C_z + h \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

และสามารถหาอนุพันธ์เวกเตอร์ได้

$$\vec{N} = \vec{k} \quad (3.26)$$

3. วงกลมที่ฐานของทรงกระบอก สามารถแทนด้วยสมการ

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 \leq r^2 \quad (3.27)$$

โดยที่

$$z = C_z$$

โดยการแทน $z = C_z$ ลงในสมการที่ (3.13) ได้

$$C_z = E_z + t(S_z - E_z)$$

$$t = \frac{C_z - E_z}{S_z - E_z} \quad (3.28)$$

แทนค่า t ที่ได้จากสมการที่ (3.28) ลงในสมการที่ (3.6) และ (3.7) สามารถหาค่า x, y จากนั้นแทนค่า x, y ที่ได้ลงในสมการที่ (3.27) หากสมการเป็นจริงจะได้

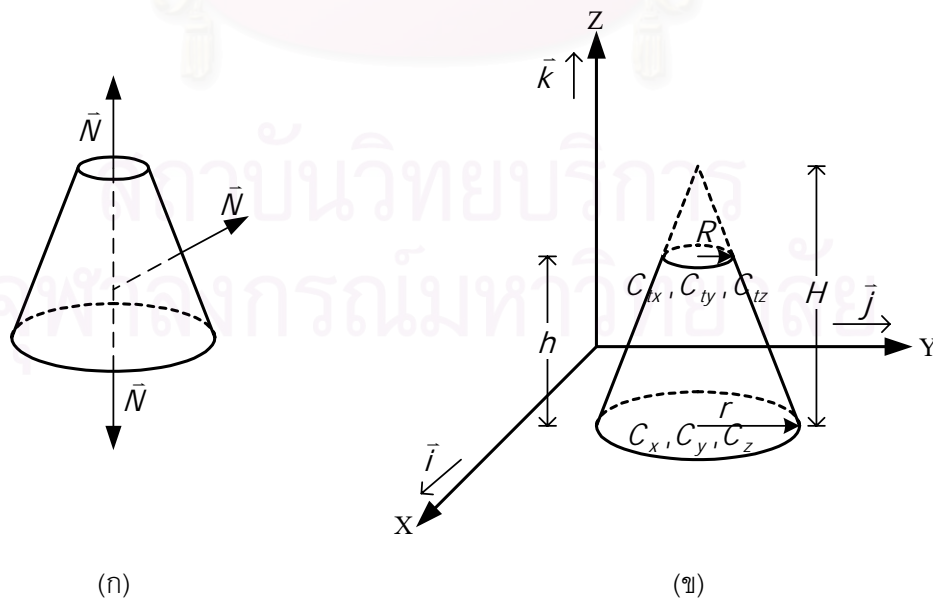
$$\left. \begin{aligned} P_x &= x \\ P_y &= y \\ P_z &= C_z \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

และสามารถหาอนุพันธ์เวกเตอร์ที่จุด P ได้

$$\vec{N} = -\vec{k} \quad (3.30)$$

3.2.4 ทรงกรวย

รูปทรงกรวยระบุโดยจุดศูนย์กลางที่ฐานของทรงกรวย (C_x, C_y, C_z) รัศมีที่ฐานของทรงกรวย (r) ความสูงของกรวย (H) และสำหรับในกรณีที่มีการตัดยอดของทรงกรวยต้องบอกความสูงของทรงกรวย (h) เมื่อถูกตัดยอดด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 ทรงกรวย

สมการที่ใช้ในแทนทรงกรวยแบ่งออกได้ 3 ส่วนดังนี้

1. ผิวด้านข้างของทรงกรวย สามารถแทนด้วยสมการ

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = [(C_z + H - z) \times \frac{r}{H}]^2 \quad (3.31)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} C_x, C_y, C_z &= \text{โคออดิเนตที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่ฐานของทรงกรวย} \\ C_{tx}, C_{ty}, C_{tz} &= \text{โคออดิเนตที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่ด้านบนของทรงกรวย} \\ r &= \text{รัศมีของวงกลมที่ฐานของทรงกรวย} \\ R &= \text{รัศมีของวงกลมที่ด้านบนของทรงกรวย} \\ &= \frac{r(H - h)}{H} \\ H &= \text{ความสูงจากฐานถึงยอดแหลมของทรงกรวย} \\ h &= \text{ความสูงจริงของทรงกรวย} \end{aligned}$$

แทนค่าสมการที่ (3.6), (3.7) และ (3.8) ลงในสมการที่ (3.31)

$$\begin{aligned} [E_x + t(S_x - E_x) - C_x]^2 + [E_y + t(S_y - E_y) - C_y]^2 = \\ [(C_z + H - E_z - t(S_z - E_z)) \times \frac{r}{H}]^2 \quad (3.32) \end{aligned}$$

โดยการแก้สมการแล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$At^2 + Bt + C = 0 \quad (3.33)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= (S_x - E_x)^2 + (S_y - E_y)^2 - [(S_z - E_z) \times \left(\frac{r}{H}\right)^2] \\ B &= 2[(S_x - E_x)(E_x - C_x) + (S_y - E_y)(E_y - C_y) \\ &\quad + (S_z - E_z)(H - C_z - E_z) \times \left(\frac{r}{H}\right)^2] \\ C &= (E_x - C_x)^2 + (E_y - C_y)^2 - (H + C_z - E_z)^2 \left(\frac{r}{H}\right)^2 \end{aligned}$$

แก้สมการที่ (3.33) หาค่า t ได้ดังสมการที่ (3.12)

แทนค่า t ที่ได้ลงในสมการที่ (3.6), (3.7) และ (3.8) ได้จุด P_x, P_y, P_z โดยที่

$$C_z \leq P_z \leq C_z + h \quad (3.34)$$

จากจุด P_x, P_y, P_z สามารถหาออร์มัลเวกเตอร์ของระนาบที่จุด P ได้ดังนี้

$$\vec{N} = (P_x - C_x)\vec{i} + (P_y - C_y)\vec{j} + \frac{r}{H}\sqrt{(P_x - C_x)^2 + (P_y - C_y)^2}\vec{k} \quad (3.35)$$

2. วงกลมที่ฐานของทรงกรวยสามารถกระทำได้เช่นเดียวกับกรณีของวงกลมที่ฐานของทรงกระบอก
3. วงกลมที่ด้านบนของทรงกรวย สามารถแทนด้วยสมการ

$$(x - C_{tx})^2 + (y - C_{ty})^2 \leq R^2 \quad (3.36)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} z &= C_{tz} \\ &= C_z + h \end{aligned}$$

แทนค่า $z = C_{tz}$ ลงในสมการที่ (3.8) ได้

$$\begin{aligned} C_z + h &= E_z + t(S_z - E_z) \\ t &= \frac{C_z + h - E_z}{S_z - E_z} \end{aligned} \quad (3.37)$$

แทนค่า t จากสมการที่ (3.37) ลงในสมการที่ (3.6) และ (3.7) ได้

$$\begin{aligned} x &= E_x + \left(\frac{C_z + h - E_z}{S_z - E_z} \right) (S_x - E_x) \\ y &= E_y + \left(\frac{C_z + h - E_z}{S_z - E_z} \right) (S_y - E_y) \end{aligned}$$

แทนค่า x, y ที่ได้ลงในสมการที่ (3.36) หากสมการเป็นจริงจะได้

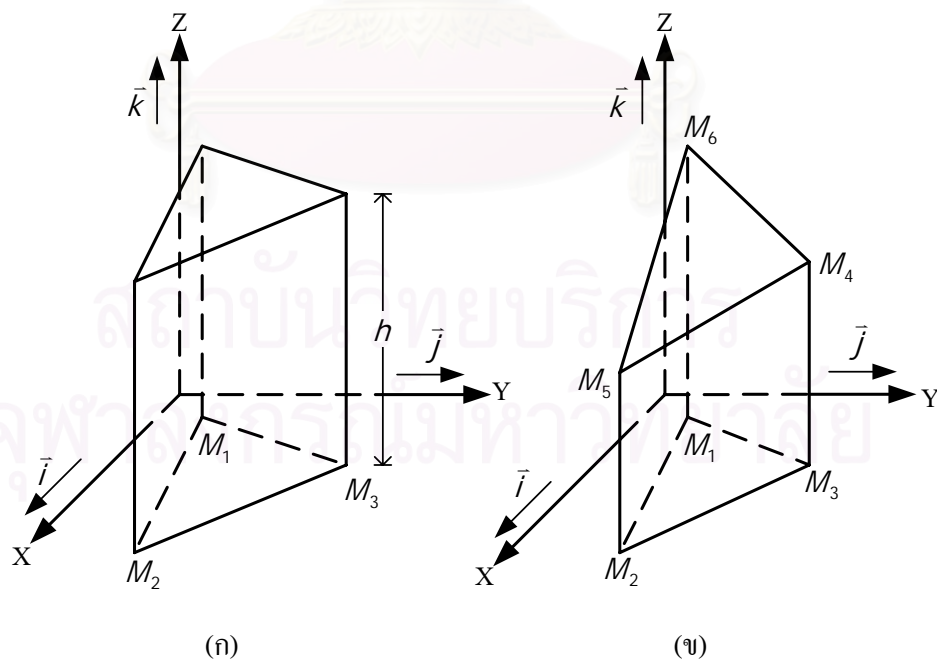
$$\left. \begin{aligned} P_x &= E_x + \left(\frac{C_z + h - E_z}{S_z - E_z} \right) (S_x - E_x) \\ P_y &= E_y + \left(\frac{C_z + h - E_z}{S_z - E_z} \right) (S_y - E_y) \\ P_z &= C_z + h \end{aligned} \right\} \quad (3.38)$$

และได้นอร์มัลเวกเตอร์ที่จุด P คือ

$$\vec{N} = \vec{k} \quad (3.39)$$

3.2.5 ปริซึมฐานสามเหลี่ยม

ปริซึมฐานสามเหลี่ยมสามารถระบุได้ 2 วิธีคือ ระบุจุดยอดที่ฐานของปริซึมกับความสูงของปริซึมดังแสดงในรูปที่ 3-9 (ก) หรือระบุจุดยอดทั้ง 6 ของปริซึมฐานสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3-9 (ข)



รูปที่ 3-9 ปริซึมฐานสามเหลี่ยม

โดยที่

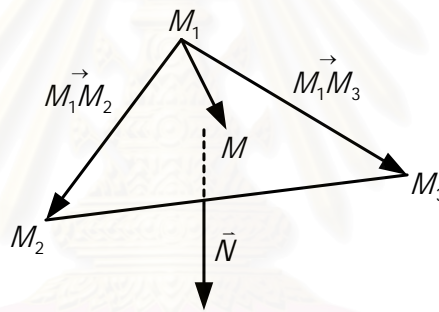
$$\begin{aligned} M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6 &= \text{จุดยอดของปริซึมฐานสามเหลี่ยม} \\ h &= \text{ความสูงของปริซึมฐานสามเหลี่ยม} \end{aligned}$$

สมการที่ใช้ในแทนปริซึมฐานสามเหลี่ยมแบ่งออกได้ 3 ส่วนดังนี้

1. สามเหลี่ยมที่ฐานของปริซึมฐานสามเหลี่ยม (ระนาบ $M_1M_2M_3$)

จากระนาบ $M_1M_2M_3$ ได้

$$\begin{aligned} \vec{M_1M_3} &= M_3 - M_1 \\ &= (M_{3x} - M_{1x})\vec{i} + (M_{3y} - M_{1y})\vec{j} + (M_{3z} - M_{1z})\vec{k} \\ \vec{M_1M_2} &= M_2 - M_1 \\ &= (M_{2x} - M_{1x})\vec{i} + (M_{2y} - M_{1y})\vec{j} + (M_{2z} - M_{1z})\vec{k} \end{aligned}$$



รูปที่ 3-10 ระนาบ $M_1M_2M_3$

จากรูปที่ 3-10 สามารถหาอนุกรมเวกเตอร์ของระนาบ $M_1M_2M_3$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \vec{N} &= \vec{M_1M_3} \times \vec{M_1M_2} \\ &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ M_{3x} - M_{1x} & M_{3y} - M_{1y} & M_{3z} - M_{1z} \\ M_{2x} - M_{1x} & M_{2y} - M_{1y} & M_{2z} - M_{1z} \end{vmatrix} \\ \vec{N} &= [(M_{3y} - M_{1y})(M_{2z} - M_{1z}) - (M_{2y} - M_{1y})(M_{3z} - M_{1z})]\vec{i} \\ &\quad + [(M_{3z} - M_{1z})(M_{2x} - M_{1x}) - (M_{2z} - M_{1z})(M_{3x} - M_{1x})]\vec{j} \\ &\quad + [(M_{3x} - M_{1x})(M_{2y} - M_{1y}) - (M_{2x} - M_{1x})(M_{3y} - M_{1y})]\vec{k} \quad (3.40) \end{aligned}$$

ให้จุด $M(x, y, z)$ คือจุดใดๆบนระนาบ $M_1M_2M_3$ จะได้

$$\vec{M_1M} = (x - M_{1x})\vec{i} + (y - M_{1y})\vec{j} + (z - M_{1z})\vec{k}$$

เนื่องจากเวกเตอร์ $\vec{M_1M}$ ตั้งฉากกับนอร์มัลเวกเตอร์ตั้งนั้้นสามารถหาสมการของระนาบได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \vec{M_1M} \cdot \vec{N} &= 0 \\ Ax + By + Cz - D &= 0 \\ Ax + By + Cz &= D \end{aligned} \quad (3.41)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= M_{3y}M_{2z} - M_{3y}M_{1z} - M_{1y}M_{2z} - M_{2y}M_{3z} + M_{2y}M_{1z} + M_{1y}M_{3z} \\ B &= M_{3z}M_{2x} - M_{3z}M_{1x} - M_{1z}M_{2x} - M_{2z}M_{3x} + M_{1x}M_{2z} + M_{1z}M_{3x} \\ C &= M_{3x}M_{2y} - M_{3x}M_{1y} - M_{1x}M_{2y} - M_{2x}M_{3y} + M_{2x}M_{1y} + M_{1x}M_{3y} \\ D &= -M_{1x}M_{2y}M_{3z} + M_{1x}M_{2z}M_{3y} + M_{1y}M_{2x}M_{3z} - M_{1y}M_{2z}M_{3x} \\ &\quad - M_{1z}M_{2x}M_{3y} + M_{1z}M_{2y}M_{3x} \end{aligned}$$

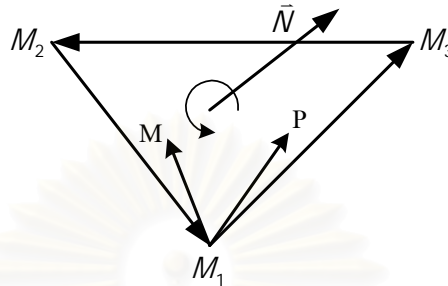
แทนค่าสมการที่ (3.6), (3.7) และ (3.8) ลงในสมการที่ (3.41) ได้

$$\begin{aligned} A[E_x + t(S_x - E_x)] + B[E_y + t(S_y - E_y)] + C[E_z + t(S_z - E_z)] &= D \\ [A(S_x - E_x) + B(S_y - E_y) + C(S_z - E_z)]t + AE_x + BE_y + CE_z &= D \\ \therefore t &= \frac{D - AE_x - BE_y - CE_z}{A(S_x - E_x) + B(S_y - E_y) + C(S_z - E_z)} \end{aligned} \quad (3.42)$$

แทนค่า t ในสมการที่ (3.42) ลงในสมการที่ (3.6), (3.7) และ (3.8) จะสามารถหาจุด P_x, P_y, P_z ได้

การตรวจสอบว่าจุดอยู่บนแผ่นระนาบหรือไม่

1. การตรวจสอบกระทำโดยหันให้นอร์มัลเวกเตอร์พุ่งขึ้นแล้วกำหนดทิศทางเวกเตอร์ของขอบรูปนั้นๆ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 การตรวจสอบจุดบนระนาบ

2. เริ่มตรวจสอบจากเวกเตอร์ตัวใดก็ได้ (ในที่นี้เลือกด้าน M_1M_3) แล้วสร้างเวกเตอร์จากจุดปลายของเวกเตอร์นี้ (จุด M_1) ไปยังจุด M ดังแสดงในรูปที่ 3-11
3. ทำการ cross product ระหว่างเวกเตอร์ทั้งสอง จะได้เวกเตอร์ใหม่ซึ่งตั้งฉากกับเวกเตอร์ทั้งสอง

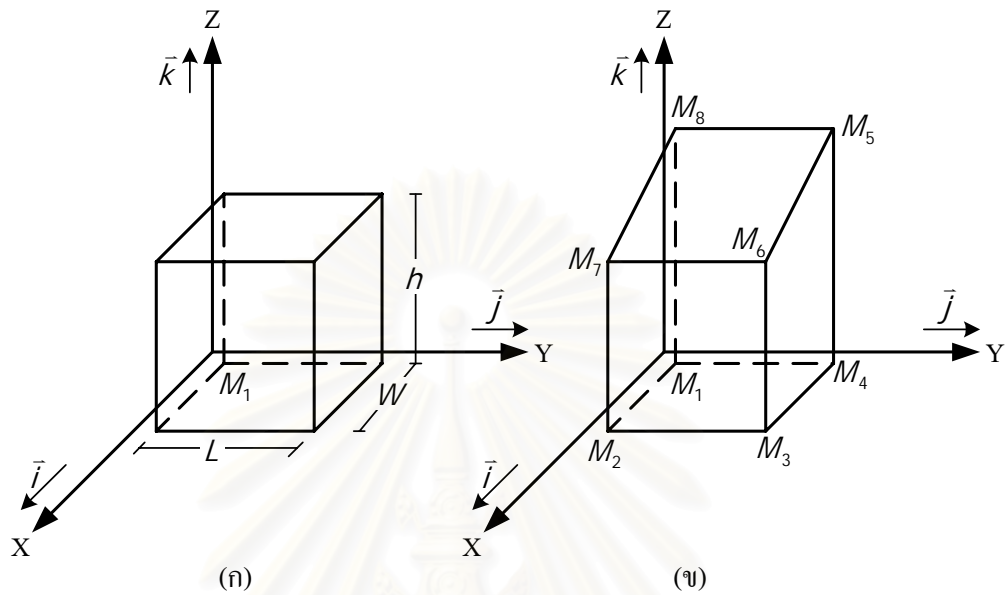
$$\vec{M_1M_3} \times \vec{M_1M} = \vec{P}$$

4. ทำการ dot product ระหว่างเวกเตอร์ที่ได้ใหม่นี้กับนอร์มัลเวกเตอร์ ทั้งนี้ค่าที่ได้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าศูนย์ หากมีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าจุดนั้นอยู่นอกขอบเขต

$$\vec{P} \cdot \vec{N} \geq 0$$

5. ทำซ้ำข้อ 2-4 จนกว่าจะครบทุกเวกเตอร์ที่เป็นขอบของรูป หากผลที่ได้อยู่ในขอบเขตทุกครั้งแสดงว่าจุดนั้นอยู่บนระนาบและอยู่ในขอบเขต แต่หากว่าผลที่ได้มีกรณีจุดอยู่นอกขอบเขตแสดงว่าจุดนั้นอยู่บนระนาบนี้แต่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการ

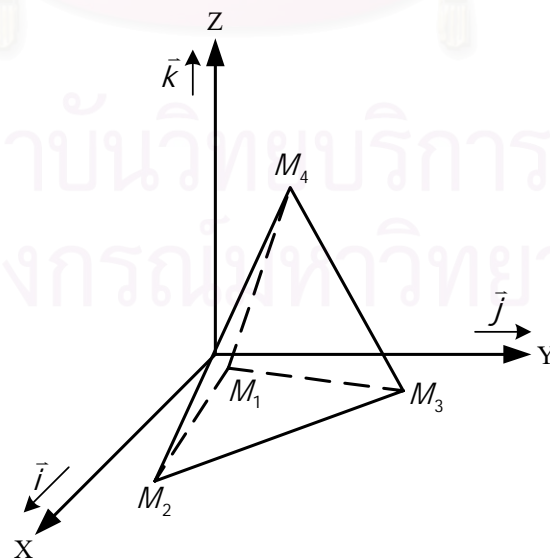
3.2.6 ปริซึมฐานสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3-12 ปริซึมฐานสี่เหลี่ยม

ปริซึมฐานสี่เหลี่ยมสามารถระบุได้ 2 วิธีคือ บอกด้วยจุดยอดที่ฐานด้านในของปริซึมและบอกความกว้าง ความยาว ความสูง หรือ บอกโดยระบุจุดยอดทั้งหมด โดยในส่วนของการทำงานสามารถทำได้เช่นเดียวกับกรณีของปริซึมฐานสามเหลี่ยม

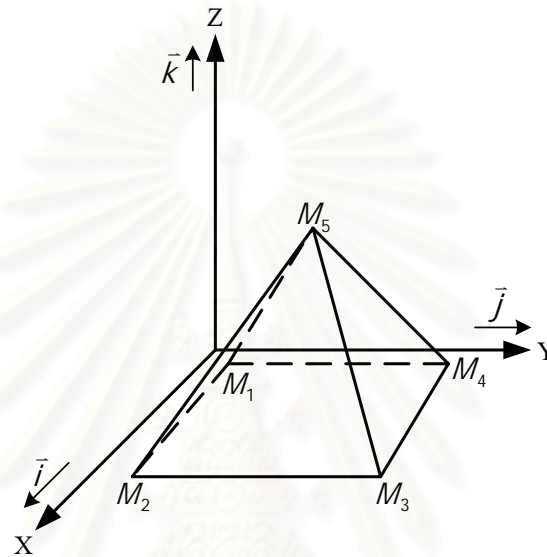
3.2.7 ปริามิดฐานสามเหลี่ยม



รูปที่ 3-13 ปริามิดฐานสามเหลี่ยม

การระบุรูปทรงของพีระมิดฐานสามเหลี่ยมต้องระบุโดยบอกจุดยอดทั้ง 4 ของพีระมิด โดยที่จุดยอดที่แต่ละด้านต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน ในส่วนของสมการสามารถหาได้เช่นเดียวกับในกรณีของปริซึมฐานสามเหลี่ยม

3.2.8 พีระมิดฐานสี่เหลี่ยม

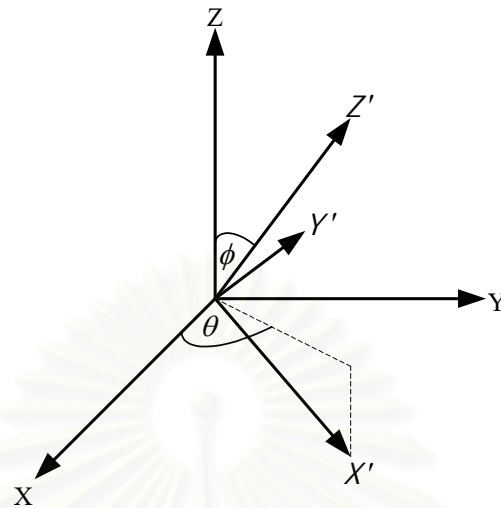


รูปที่ 3-14 พีระมิดฐานสี่เหลี่ยม

การระบุรูปทรงของพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับในกรณีของพีระมิดฐานสามเหลี่ยมคือ ต้องระบุจุดยอดทั้ง 5 และในแต่ละด้านจุดต้องอยู่บนระนาบเดียวกัน ในส่วนของสมการก็สามารถหาได้เช่นเดียวกับในกรณีของปริซึมฐานสามเหลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การหมุนแกน



รูปที่ 3-15 การหมุนแกน

การหมุนแกนเป็นการย้ายระบบแกนจาก XYZ ไปเป็น $X'Y'Z'$ ซึ่งช่วยให้การนำรูปทรงพื้นฐานไปใช้งานมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และรูปแบบของสมการของรูปทรงต่างๆยังคงเดิม การหมุนแกนเริ่มจากการหมุนระนาบ XY ไปรอบแกน Z เป็นมุม θ จากนั้นจึงยืดจุด $(0,0,0)$ เป็นจุดหมุนแล้วหมุนแกน Z เป็นมุม ϕ ดังแสดงในรูปที่ 3-15 และสามารถหาแกน X', Y', Z' ได้ดังนี้

$$\left. \begin{aligned} X' &= \cos \phi \cos \theta \bar{i} + \cos \phi \sin \theta \bar{j} - \sin \phi \bar{k} \\ Y' &= -\sin \theta \bar{i} + \cos \theta \bar{j} \\ Z' &= \sin \phi \cos \theta \bar{i} + \sin \phi \sin \theta \bar{j} + \cos \phi \bar{k} \end{aligned} \right\} \quad (3.43)$$

3.3.1 การแปลงโคออดิเนตในระบบแกน XYZ ไปเป็น $X'Y'Z'$

การแปลงโคออดิเนตในระบบแกน XYZ ไปเป็น $X'Y'Z'$ สามารถทำได้โดยการฉายเงาของเวกเตอร์ของจุดในระบบแกน XYZ (จุด $P(x, y, z)$) ไปลงบนแกน X', Y', Z' ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{P} \cdot \bar{X}' &= |\bar{P}| |\bar{X}'| \cos \beta \\ &= |\bar{P}| \cos \beta \\ &= x \cdot \cos \phi \cos \theta + y \cdot \cos \phi \sin \theta - z \cdot \sin \phi \\ &= x' \\ \bar{P} \cdot \bar{Y}' &= |\bar{P}| |\bar{Y}'| \cos \beta \\ &= |\bar{P}| \cos \beta \end{aligned} \quad (3.44)$$

$$\begin{aligned}
 &= -x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta \\
 &= y'
 \end{aligned} \tag{3.45}$$

$$\begin{aligned}
 \vec{P} \cdot \vec{Z}' &= |\vec{P}| |\vec{Z}'| \cos \beta \\
 &= |\vec{P}| \cos \beta \\
 &= x \cdot \sin \phi \cos \theta + y \cdot \sin \phi \sin \theta + z \cdot \cos \phi \\
 &= z'
 \end{aligned} \tag{3.46}$$

จากสมการที่ (3.44), (3.45) และ (3.46) สามารถหาโคออดิเนตของจุด $P'(x', y', z')$ ในระบบแกน $X'Y'Z'$ ได้ซึ่งสามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังแสดงในสมการที่ (3.47)

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta & \cos \phi \sin \theta & -\sin \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \sin \phi \cos \theta & \sin \phi \sin \theta & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \\
 P' &= TP
 \end{aligned} \tag{3.47}$$

โดยที่

$$P' = \text{จุดในระบบแกน } X'Y'Z'$$

$$= \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

$$P = \text{จุดในระบบแกน } XYZ$$

$$= \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \theta & \cos \phi \sin \theta & -\sin \phi \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \sin \phi \cos \theta & \sin \phi \sin \theta & \cos \phi \end{bmatrix}$$

3.3.2 การแปลงโคออดิเนตในระบบแกน $X'Y'Z'$ ไปเป็น XYZ

การแปลงโคออดิเนตในระบบแกน $X'Y'Z'$ ไปเป็น XYZ สามารถทำได้โดยการใส่เมตริกซ์ T^{-1} คูณเข้าไปทั้งสองข้างของสมการที่ (3.47)

$$T^{-1}P' = T^{-1}TP$$

$$\begin{aligned} T^{-1}P' &= P \\ P &= T^{-1}P' \end{aligned} \quad (3.48)$$

ในการหาเมตริกซ์ T^{-1} จะมีความยุ่งยากค่อนข้างมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจะใช้วิธีทางเวกเตอร์เข้ามาช่วย ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{P}' &= x'\bar{i}' + y'\bar{j}' + z'\bar{k}' \\ &= x'(\cos\phi\cos\theta\bar{i} + \cos\phi\sin\theta\bar{j} - \sin\phi\bar{k}) \\ &\quad + y'(-\sin\theta\bar{i} + \cos\theta\bar{j}) \\ &\quad + z'(\sin\phi\cos\theta\bar{i} + \sin\phi\sin\theta\bar{j} + \cos\phi\bar{k}) \\ &= (x'\cos\phi\cos\theta - y'\sin\theta + z'\sin\phi\cos\theta)\bar{i} \\ &\quad + (x'\cos\phi\sin\theta + y'\cos\theta + z'\sin\phi\sin\theta)\bar{j} \\ &\quad + (-x'\sin\phi + z'\cos\phi)\bar{k} \\ &= \bar{P} \end{aligned} \quad (3.49)$$

สามารถเขียนสมการที่ (3.49) ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\theta & -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta \\ \cos\phi\sin\theta & \cos\theta & \sin\phi\sin\theta \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \\ \therefore T^{-1} &= \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\theta & -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta \\ \cos\phi\sin\theta & \cos\theta & \sin\phi\sin\theta \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมคำนวณความส่องสว่างภายนอกอาคาร

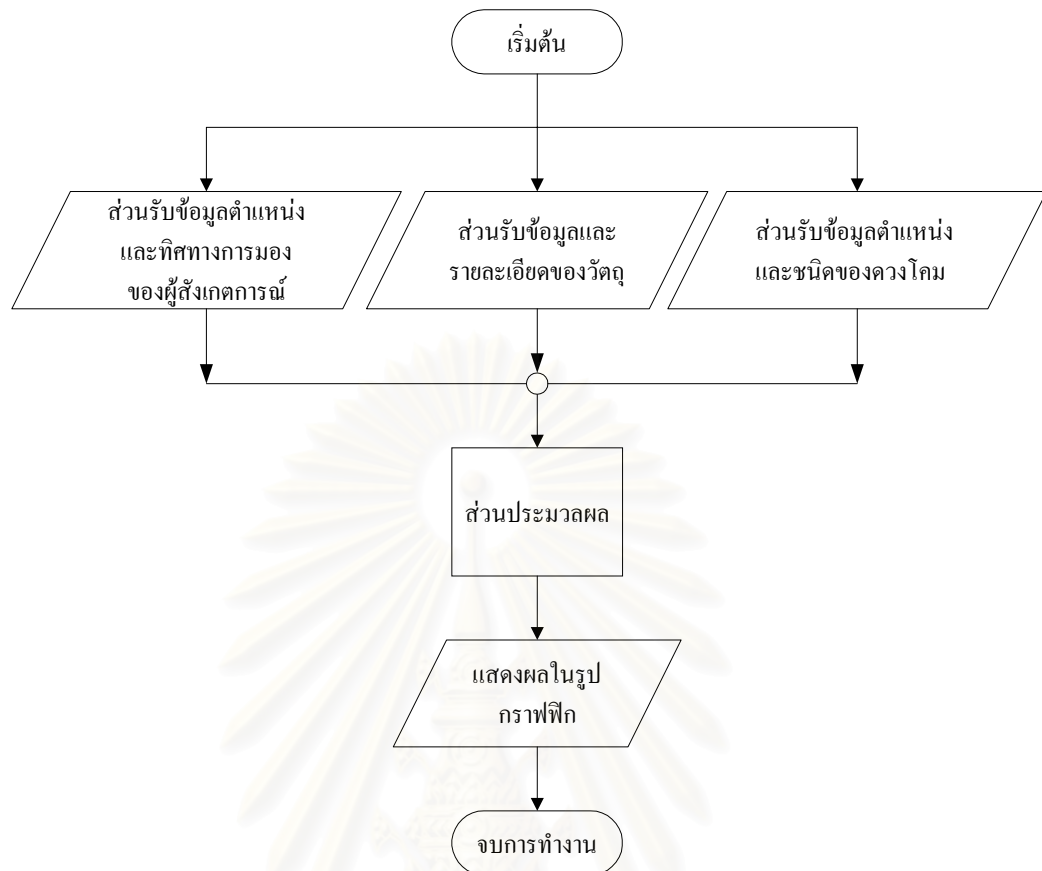
การคำนวณค่าความส่องสว่างบนวัตถุจากการให้แสงภายนอกอาคารมีรายละเอียดการคำนวณที่ซับซ้อนและมีการตรวจสอบซ้ำไปซ้ำมา อีกทั้งยังคำนวณด้วยวิธีคิดที่ละเอียดซึ่งจะใช้เวลาอย่างมากและไม่สามารถคำนวณด้วยมือ จึงต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาเพื่อช่วยในการคำนวณและประมวลผล ในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้พัฒนาด้วยภาษา Borland C++ Builder Version 5.0 ซึ่งผลจากการประมวลผลจะแสดงเป็นภาพของวัตถุที่ต้องการหาค่าความส่องสว่าง

4.1 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแบ่งการทำงานออกได้ 3 ส่วนคือ

1. ส่วนรับข้อมูล เป็นส่วนที่รับข้อมูลที่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณทั้งหมด เช่น ตำแหน่งและทิศทางของผู้สังเกตการณ์ รายละเอียดของวัตถุ ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคม
2. ส่วนประมวลผล เป็นส่วนที่นำข้อมูลจากส่วนรับข้อมูลมาทำการแปลงและคำนวณหาค่าความส่องสว่าง เพื่อนำไปใช้ในการแสดงผล
3. ส่วนแสดงผล เป็นส่วนที่นำค่าความส่องสว่างที่ได้จากส่วนประมวลผลมาทำการเปรียบเทียบแล้วแสดงผลออกมาเป็นภาพกราฟฟิก

ส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วนของโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แผนผังโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

4.2 ส่วนรับข้อมูล

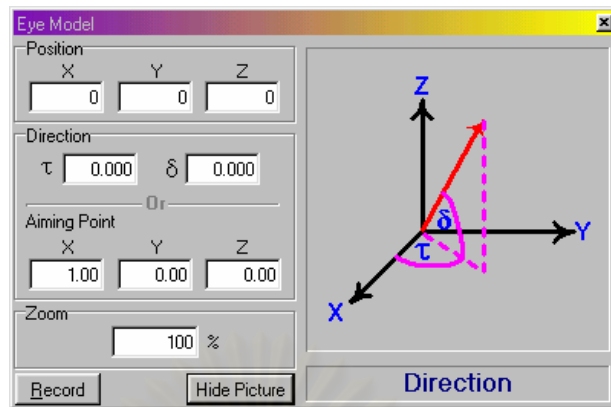
ส่วนรับข้อมูลแบ่งออกได้ 3 ส่วนคือ

1. ส่วนรับตำแหน่งและทิศทางของผู้สังเกตการณ์
2. ส่วนรับข้อมูลและรายละเอียดของวัตถุ
3. ส่วนรับข้อมูลตำแหน่งและชนิดของดวงโคมที่ใช้

4.2.1 ส่วนรับตำแหน่งและทิศทางของการมองของผู้สังเกตการณ์

ส่วนรับตำแหน่งและทิศทางการมองของผู้สังเกตการณ์จะรับข้อมูลต่างๆดังนี้

- ◆ ตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ ระบุโดยใช้โคออดิเนต (x,y,z)
- ◆ ทิศทางการมองของผู้สังเกตการณ์ สามารถระบุได้ทั้งทิศทางเป็นมุมหัน (τ) และมุมเงย (δ) หรือระบุโดยบอกจุดเล็งของสายตา



รูปที่ 4-2 ส่วนรับตำแหน่งและทิศทางการมองของผู้สังเกตการณ์

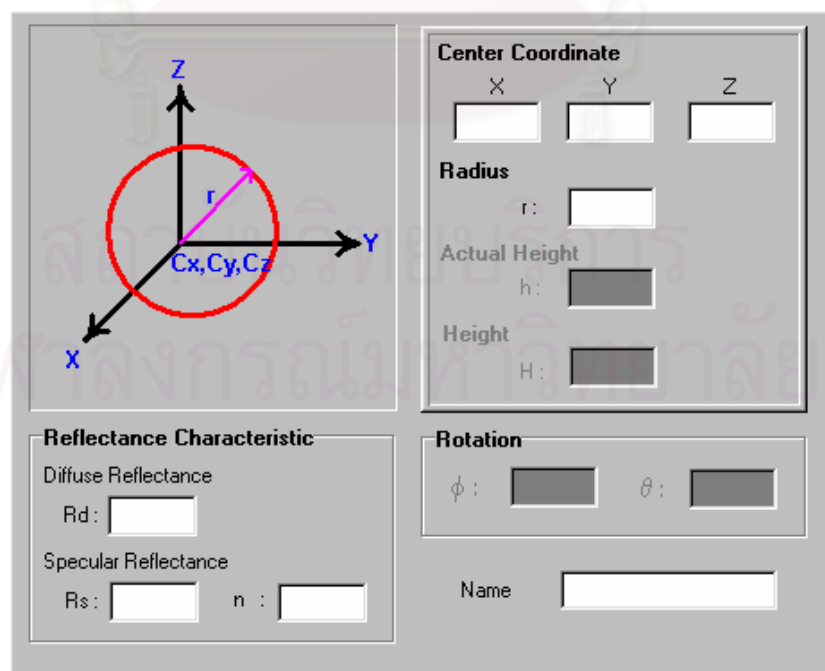
4.2.2 ส่วนรับข้อมูลและรายละเอียดของวัตถุ

ส่วนรับข้อมูลและรายละเอียดของวัตถุสามารถแบ่งออกตามชนิดของรูปทรงพื้นฐานได้ 10 ส่วนดังมีรายละเอียดดังนี้

4.2.2.1 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกลม

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกลมจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดศูนย์กลางของทรงกลม ($C(x, y, z)$)
2. รัศมีของทรงกลม (r)
3. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงกลม (R_d, R_s, n)



รูปที่ 4-3 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกลม

4.2.2.2 ส่วนรับข้อมูลรูปบางส่วนของทรงกลม

ส่วนรับข้อมูลรูปบางส่วนของทรงกลมจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดศูนย์กลางของทรงกลม($C(x, y, z)$)
2. รัศมีของทรงกลม (r)
3. ความสูงของรูปทรงบางส่วนของทรงกลม (h)
4. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงบางส่วนของทรงกลม (Rd, Rs, n)
5. มุมหัน(τ) และ มุมเงย(δ)

The image shows a software interface for defining a spherical cap. It consists of a 3D coordinate system (X, Y, Z) on the left, where a red circle represents the cap's base in the XY plane. The center of the base is labeled C_x, C_y, C_z , and the radius is r . A vertical pink line indicates the height h . On the right, there are several input fields for defining the cap's properties:

- Center Coordinate:** Three input fields for X, Y, and Z.
- Radius:** An input field for r .
- Actual Height:** An input field for h .
- Height:** A shaded input field for H .
- Reflectance Characteristic:**
 - Diffuse Reflectance: An input field for Rd .
 - Specular Reflectance: Two input fields for Rs and n .
- Rotation:** Two input fields for ϕ and θ .
- Name:** A long input field for the object's name.

รูปที่ 4-4 ส่วนรับข้อมูลของรูปบางส่วนของทรงกลม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.3 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกระบอก

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกระบอกจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดศูนย์กลางที่ฐานของทรงกระบอก ($C(x, y, z)$)
2. รัศมีของวงกลมที่ฐานของทรงกระบอก (r)
3. ความสูงของรูปทรงกระบอก (h)
4. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงกระบอก (Rd, Rs, n)
5. มุมหัน (τ) และ มุมเงย (δ)

The image shows a software interface for defining a cylinder. It consists of a 3D coordinate system on the left and several input panels on the right. The 3D view shows a yellow cylinder with its center point labeled C_x, C_y, C_z and its height labeled h . The coordinate axes are labeled X , Y , and Z . The input panels are as follows:

- Center Coordinate:** Three input fields for X, Y, and Z.
- Radius:** One input field for r .
- Actual Height:** One input field for h .
- Height:** One input field for H .
- Reflectance Characteristic:**
 - Diffuse Reflectance: One input field for Rd .
 - Specular Reflectance: Two input fields for Rs and n .
- Rotation:** Two input fields for ϕ and θ .
- Name:** One input field for the object's name.

รูปที่ 4-5 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงกระบอก

4.2.2.4 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกรวย

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงกรวยจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดศูนย์กลางที่ฐานของทรงกรวย ($C(x, y, z)$)
2. รัศมีของวงกลมที่ฐานของทรงกรวย (r)
3. ความสูงจากฐานถึงยอดของรูปทรงกรวย (H)
4. ความสูงจริงของรูปทรงกรวย (h)
5. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงกรวย (Rd, Rs, n)
6. มุมหัน (τ) และ มุมเงย (δ)

The image shows a software interface for defining a cone. It consists of a 3D diagram on the left and several input panels on the right. The 3D diagram shows a cone in a coordinate system with axes X, Y, and Z. The base of the cone is a circle in the XY plane with center C_x, C_y, C_z and radius r . The height from the base to the apex is H , and the actual height of the cone is h . The right side of the interface has several panels: 'Center Coordinate' with input fields for X, Y, and Z; 'Radius' with an input field for r; 'Actual Height' with an input field for h; 'Height' with an input field for H; 'Reflectance Characteristic' with input fields for Diffuse Reflectance (Rd), Specular Reflectance (Rs), and refractive index (n); and 'Rotation' with input fields for angles ϕ and θ . There is also a 'Name' input field at the bottom.

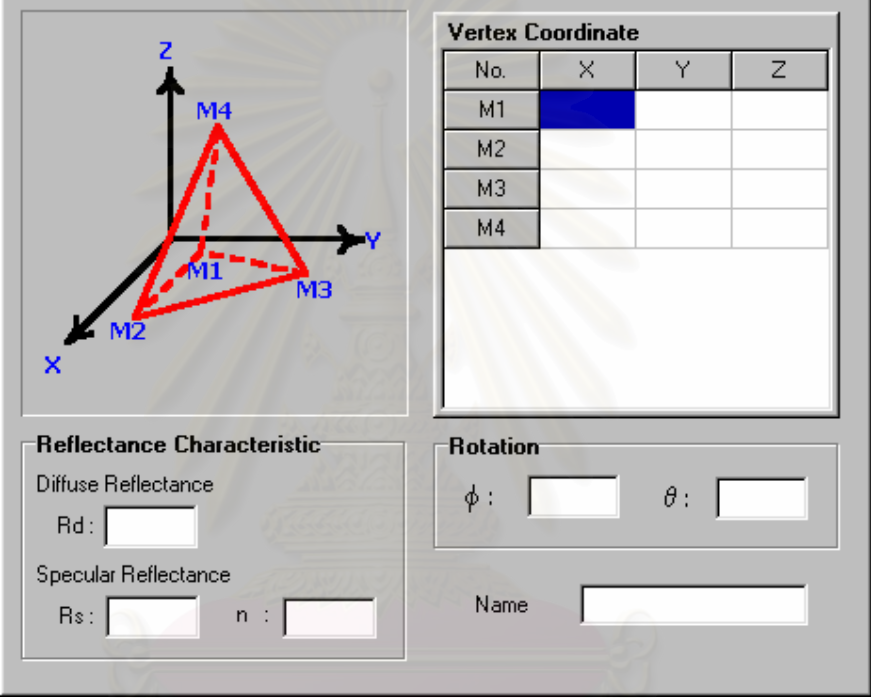
รูปที่ 4-6 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงกรวย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.5 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปิรามิดฐานสามเหลี่ยม

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปิรามิดฐานสามเหลี่ยมจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดยอดทั้ง 4 ของปิรามิด
2. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงปิรามิด (R_d, R_s, n)
3. มุมหัน(τ) และ มุมเงย(δ)



The interface consists of several components:

- 3D View:** A 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. A red triangular pyramid is shown with vertices labeled M1, M2, M3, and M4. M1 is at the origin, M2 is on the X-axis, M3 is on the Y-axis, and M4 is on the Z-axis.
- Vertex Coordinate Table:**

No.	X	Y	Z
M1			
M2			
M3			
M4			
- Reflectance Characteristic:**
 - Diffuse Reflectance: Rd:
 - Specular Reflectance: Rs: n:
- Rotation:**
 - ϕ : θ :
 - Name:

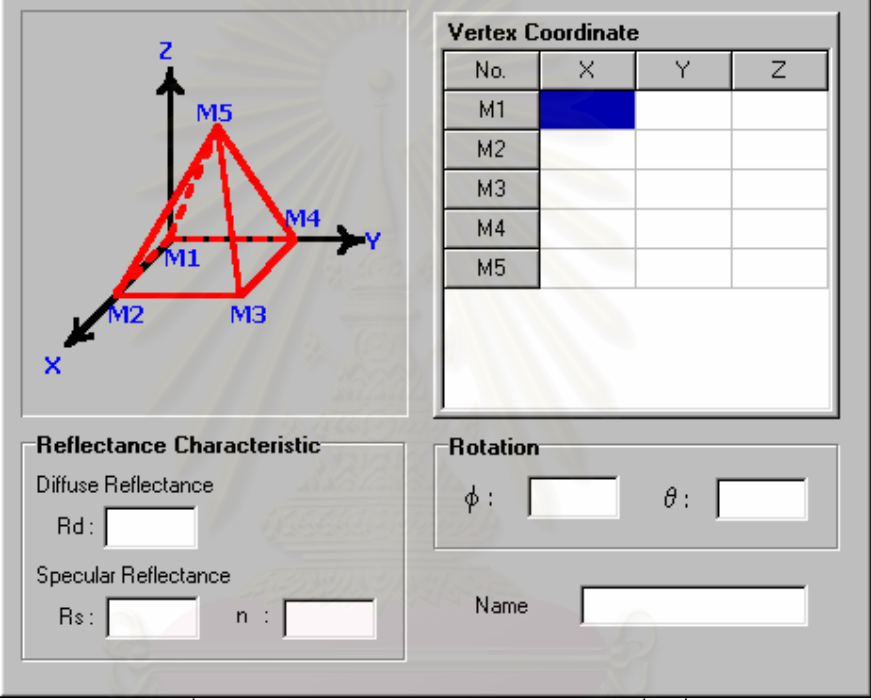
รูปที่ 4-7 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปิรามิดฐานสามเหลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.6 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดยอดทั้ง 5 ของปิรามิด
2. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงปิรามิด (R_d, R_s, n)
3. มุมหัน (τ) และ มุมเงย (δ)



The interface consists of several components:

- 3D View:** A 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. A red pyramid is shown with vertices labeled M1, M2, M3, M4, and M5. M1 is at the origin, M2 and M3 are on the X and Y axes respectively, and M4 and M5 are the other vertices of the base and apex.
- Vertex Coordinate Table:**

No.	X	Y	Z
M1			
M2			
M3			
M4			
M5			
- Reflectance Characteristic:**
 - Diffuse Reflectance: Rd:
 - Specular Reflectance: Rs: n:
- Rotation:**
 - ϕ : θ :
 - Name:

รูปที่ 4-8 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.7 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยม

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดยอดที่ฐานด้านใน ($M1(x, y, z)$)
2. ความกว้างของปริซึม (W)
3. ความยาวของปริซึม (L)
4. ความสูงของปริซึม (h)
5. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงปริซึม (Rd, Rs, n)
6. มุมหัน (τ) และ มุมเงย (δ)

The image shows a software interface for defining a rectangular prism. It consists of a 3D coordinate system with axes X, Y, and Z. A red rectangular prism is shown in the 3D space, labeled M1. The dimensions of the prism are indicated: L (length), W (width), and h (height). To the right of the 3D view are input fields for 'M1 Coordinate' (X, Y, Z), 'Length' (L), 'Width' (W), and 'Height' (H). Below these are sections for 'Reflectance Characteristic' (Diffuse Reflectance Rd, Specular Reflectance Rs, and refractive index n) and 'Rotation' (angles phi and theta). A 'Name' field is also present at the bottom.

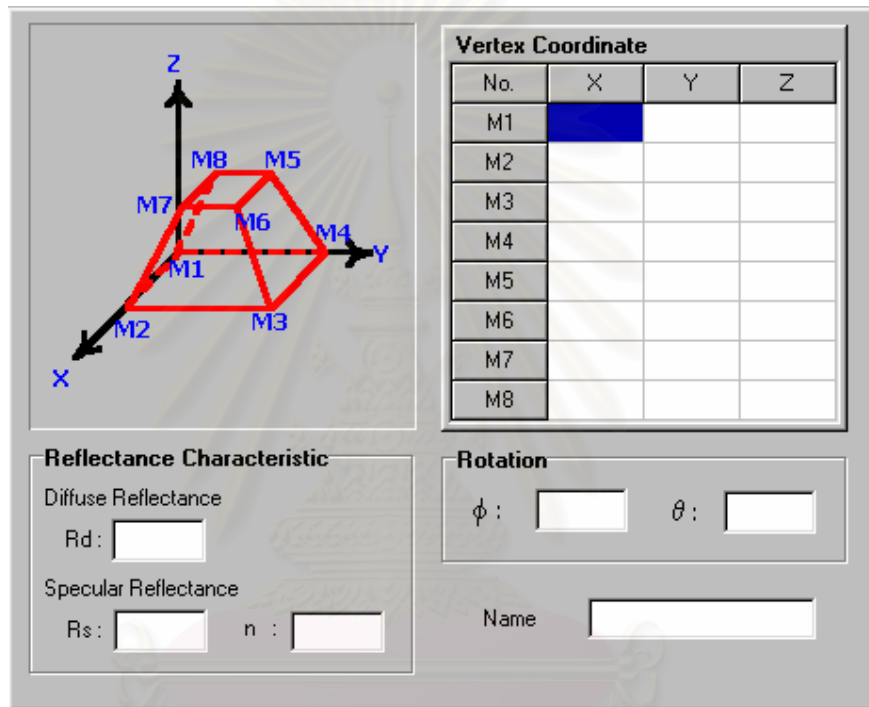
รูปที่ 4-9 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.8 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมใดๆ

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมใดๆจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดยอดทั้ง 8 ของรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมใดๆ
2. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงปริซึม (R_d, R_s, n)
3. มุมหัน (τ) และ มุมเงย (δ)



The interface includes a 3D view of a rectangular prism with vertices labeled M1 through M8. To the right is a table for vertex coordinates:

Vertex Coordinate			
No.	X	Y	Z
M1			
M2			
M3			
M4			
M5			
M6			
M7			
M8			

Below the table are input fields for:

- Reflectance Characteristic:** Diffuse Reflectance (R_d), Specular Reflectance (R_s), and refractive index (n).
- Rotation:** Angle ϕ and angle θ .
- Name:** A text field for naming the object.

รูปที่ 4-10 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมใดๆ

4.2.2.9 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดยอดที่ฐานทั้ง 3 ของรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม
2. ความสูงของรูปทรงปริซึม (h)
3. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงปริซึม (R_d, R_s, n)
4. มุมหัน (τ) และ มุมเงย (δ)

No.	X	Y	Z
M1			
M2			
M3			

Height
H:

Reflectance Characteristic
Diffuse Reflectance
Rd:
Specular Reflectance
Rs: n:

Rotation
 ϕ : θ :

Name

รูปที่ 4-11 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.10 ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมใดๆ

ส่วนรับข้อมูลรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมใดๆจะรับข้อมูลดังนี้

1. จุดยอดทั้ง 6 ของรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมใดๆ
2. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของรูปทรงปริซึม (R_d, R_s, n)
3. มุมหัน(τ) และ มุมเงย(δ)

The interface consists of several components:

- 3D View:** A 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. A red wireframe triangular prism is shown with vertices labeled M1 through M6. M1-M3 form the base triangle, and M4-M6 form the top triangle.
- Vertex Coordinate Table:** A table with 6 rows (M1-M6) and 4 columns (No., X, Y, Z). The M1 row has a blue header.
- Reflectance Characteristic:**
 - Diffuse Reflectance: Rd:
 - Specular Reflectance: Rs: n:
- Rotation:**
 - ϕ : θ :
 - Name:

รูปที่ 4-12 ส่วนรับข้อมูลของรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมใดๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ส่วนรับข้อมูลตำแหน่งและชนิดของดวงโคม

ส่วนรับข้อมูลตำแหน่งของดวงโคม เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลชนิดของดวงโคมที่เลือกนำมาใช้ เก็บข้อมูลจำนวนและตำแหน่งของดวงโคมแต่ละชนิด โดยข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมถูกเก็บอยู่ในไฟล์ข้อมูลที่พร้อมที่จะนำมาทำการคำนวณ ส่วนรับข้อมูลสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4-13

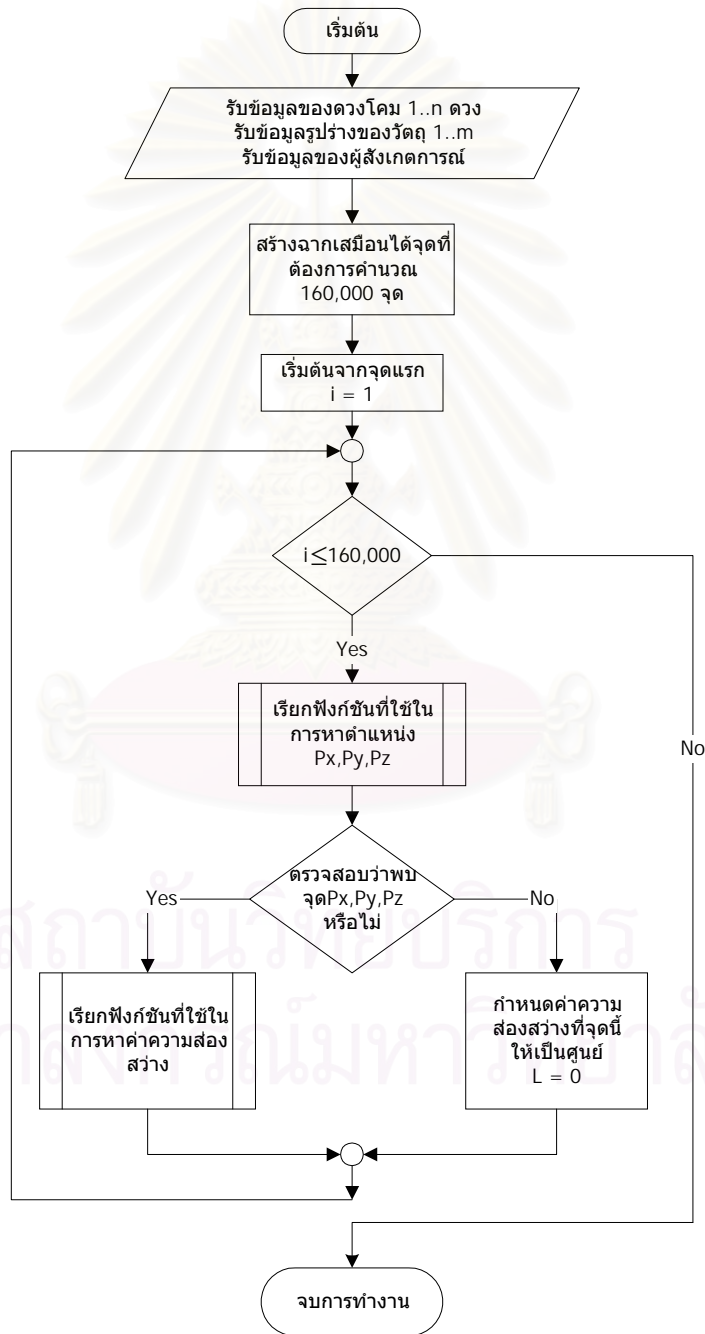
The dialog box 'Input Luminaire Data' contains the following table for defining luminaire positions and aiming:

No.	Position			Aiming		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	0	10	10	5	0

รูปที่ 4-13 ส่วนรับข้อมูลตำแหน่งและชนิดของดวงโคม

4.3 ส่วนประมวลผล

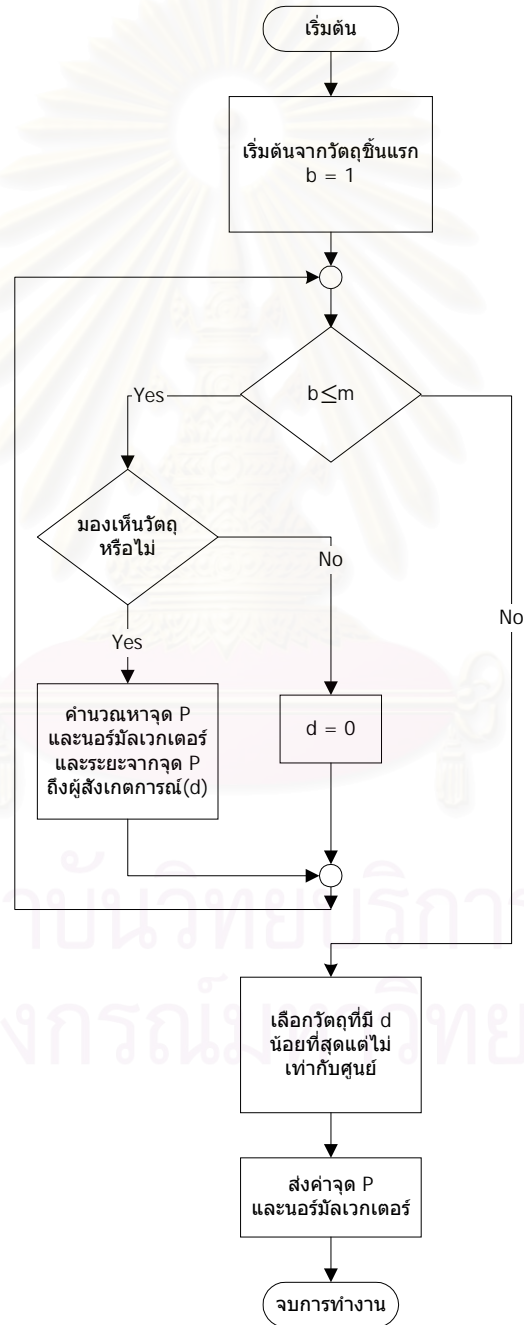
ส่วนประมวลผลจะนำข้อมูลที่มาจากส่วนรับข้อมูลแล้วนำมาทำการคำนวณหาค่าความส่องสว่างที่โดยเริ่มจากการสร้างฉากเสมือนที่จะปรากฏภาพของวัตถุ จากนั้นจึงทำการคำนวณค่าความส่องสว่างที่จุดแต่ละจุดที่ฉากจนกระทั่งครบทุกจุด แล้วจึงนำค่าความส่องสว่างที่ได้ไปสู่ส่วนของ การแสดงผล แผนผังการทำงานของส่วนประมวลผลสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 แผนผังแสดงการทำงานของส่วนประมวลผล

4.3.1 ฟังก์ชันที่ใช้ในการหาจุด P

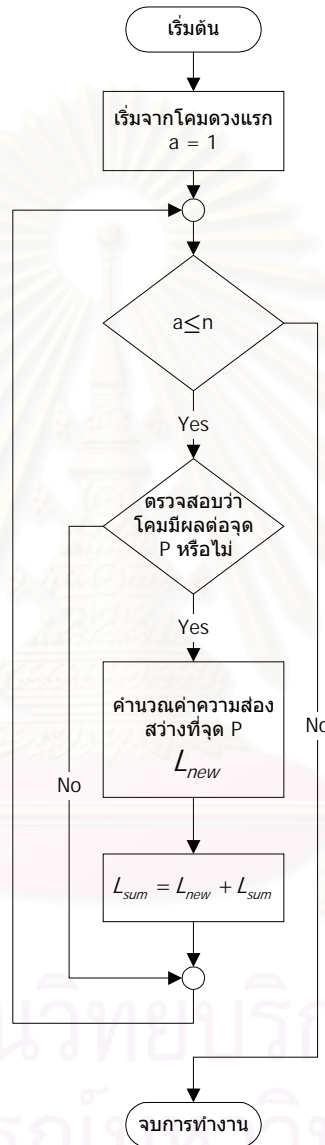
ฟังก์ชันนี้จะทำการหาว่าที่จุดที่ต้องการคำนวณค่าความส่องสว่างมีวัตถุขึ้นใดอยู่บ้าง และขึ้นใดจะเป็นวัตถุที่จะถูกมองเห็น โดยการตรวจสอบระยะระหว่างจุด P กับตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์แล้วทำการเปรียบเทียบว่าจุดใดระยะระหว่างจุด P กับตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์น้อยที่สุด แล้วจึงส่งค่าจุด P ที่ถูกต้องพร้อมกับนอร์มัลเวกเตอร์ที่จุด P กลับไป แผนผังการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 แผนผังการทำงานของฟังก์ชันที่ใช้หาจุด P

4.3.2 ฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความส่องสว่าง

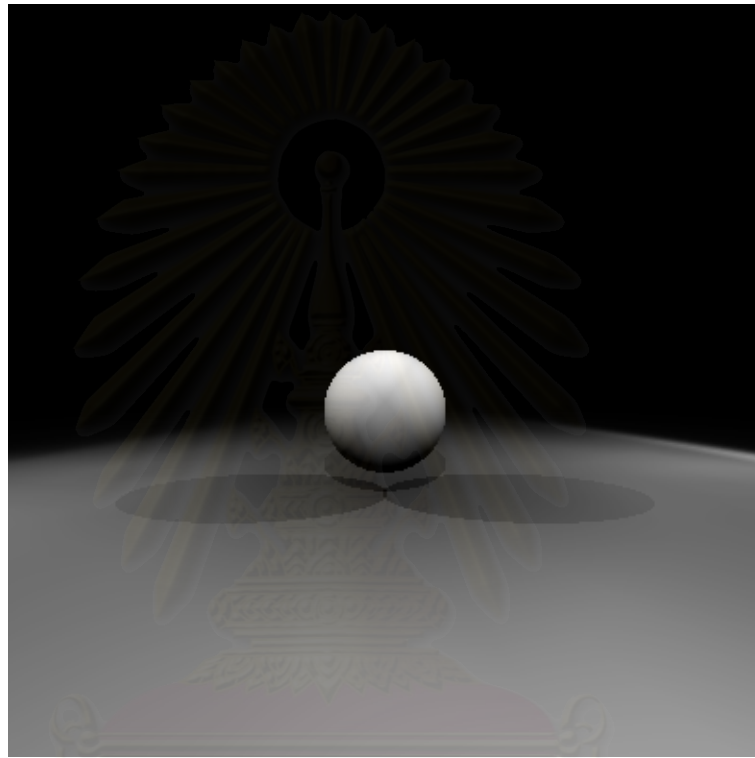
ฟังก์ชันนี้จะทำการคำนวณหาค่าความส่องสว่างที่จุด P ที่ได้มาจากฟังก์ชันที่ใช้ในการหาจุด P โดยจะทำการตรวจสอบว่าโคมดวงใดที่จุด P จะมีผลต่อผู้สังเกตการณ์บ้าง แล้วจึงทำการคำนวณหาค่าความส่องสว่างที่จุด P แผนผังการทำงานสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-16 แผนผังการทำงานของฟังก์ชันที่ใช้หาค่าความส่องสว่าง

4.4 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผลจะรับค่าความส่องสว่างที่คำนวณเสร็จแล้วจากส่วนประมวลผล แล้วนำมาทำการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างและสร้างจุดสีขึ้นเพื่อให้เกิดขึ้นมาเป็นภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4-17



รูปที่ 4-17 ส่วนแสดงผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

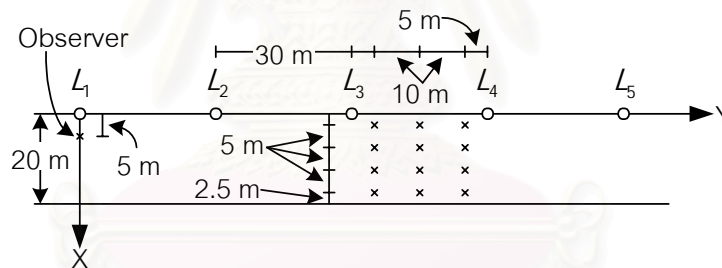
ตัวอย่างการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุ

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างของการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุ โดยการสร้างแบบจำลองของวัตถุที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่างแล้วทำการคำนวณด้วยวิธีคิดทีละจุด จากนั้นแสดงผลเป็นภาพของวัตถุที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่างในมุมมองต่าง ๆ กัน

ตัวอย่างการคำนวณแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยในกรณีแรกจะพิจารณาถึงการให้แสงสว่างบนถนน ส่วนกรณีที่สองพิจารณาการให้แสงสว่างอนุสาวรีย์ และกรณีสุดท้ายพิจารณาถึงการให้แสงสว่างเพื่อความสวยงามแก่ตัวอาคาร

5.1 กรณีการให้แสงสว่างบนถนน

กรณีนี้จะพิจารณาความส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนร่างกายของคนเดินข้ามถนนที่จุดต่างๆ ที่ปรากฏแก่สายตาผู้สังเกตการณ์ โดยทำการติดตั้งโคมไฟถนนสูง 10 เมตร เสาไฟแต่ละต้นวางห่างกัน 30 เมตร และถนนกว้าง 20 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 การให้แสงสว่างบนถนน

ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมกรณีการให้แสงสว่างบนถนน

ลำดับ ที่	ชนิดโคม	ตำแหน่ง			จุดเฉลี่ย		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	Ge1006	0	0	10	0.5	0	0
2	Ge1006	0	30	10	0.5	30	0
3	Ge1006	0	60	10	0.5	60	0
4	Ge1006	0	90	10	0.5	90	0
5	Ge1006	0	120	10	0.5	120	0

การคำนวณกระทำโดยให้ผู้สังเกตการณ์อยู่กับที่(ที่ตำแหน่ง $x=5, y=0, z=1.6$) แล้วย้ายตำแหน่งของจุดมองไปตามตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน ซึ่งจะทำการคำนวณ 12 ตำแหน่ง

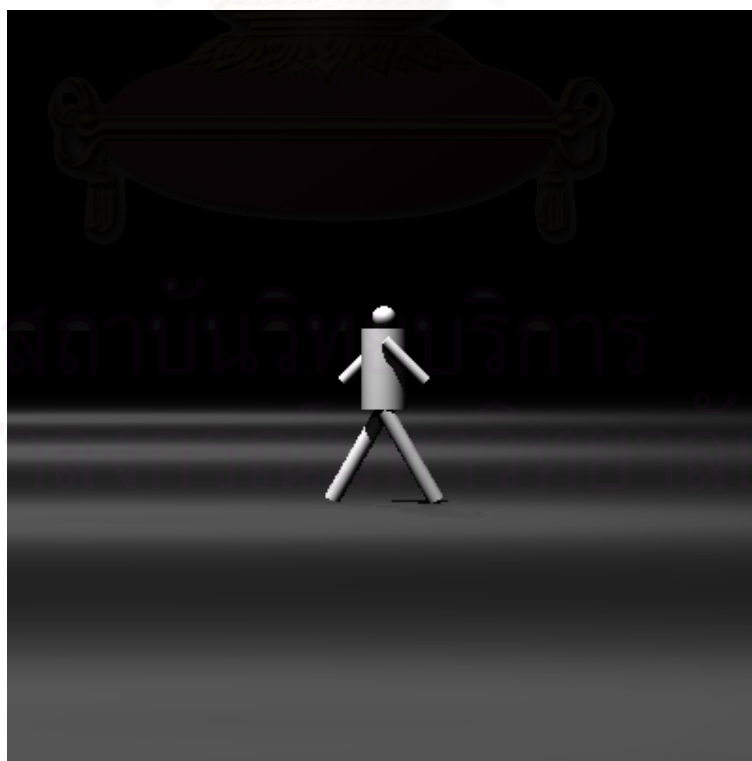
5.1.1 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=65$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=2.5, y=65, z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=65$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	□	□	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	2.5	65	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	2.5	65	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	2.5	64.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	2.5	65.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	2.5	64.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	2.5	65.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=65$

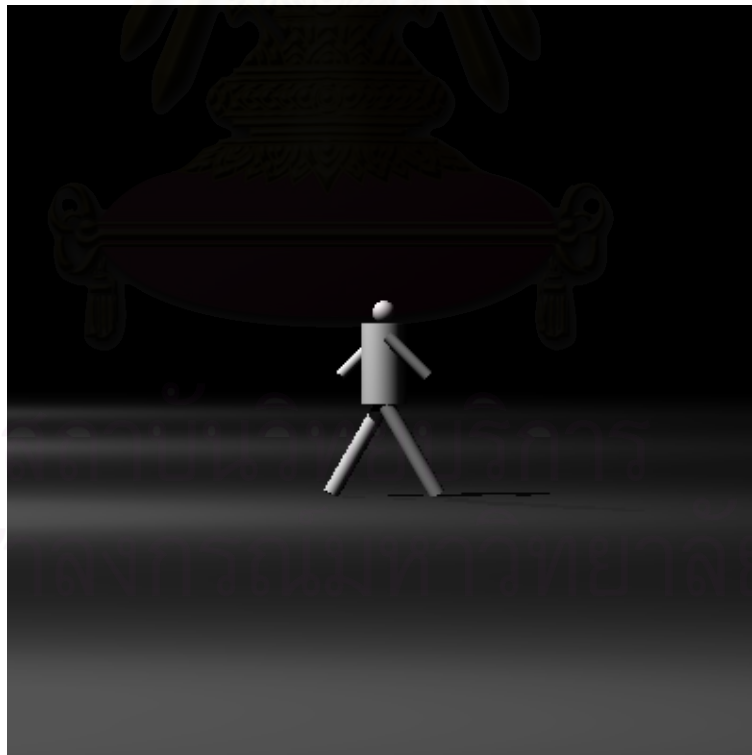
5.1.2 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=65$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=7.5, y=65, z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=65$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	7.5	65	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	7.5	65	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	7.5	64.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	7.5	65.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	7.5	64.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	7.5	65.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5, y=65$

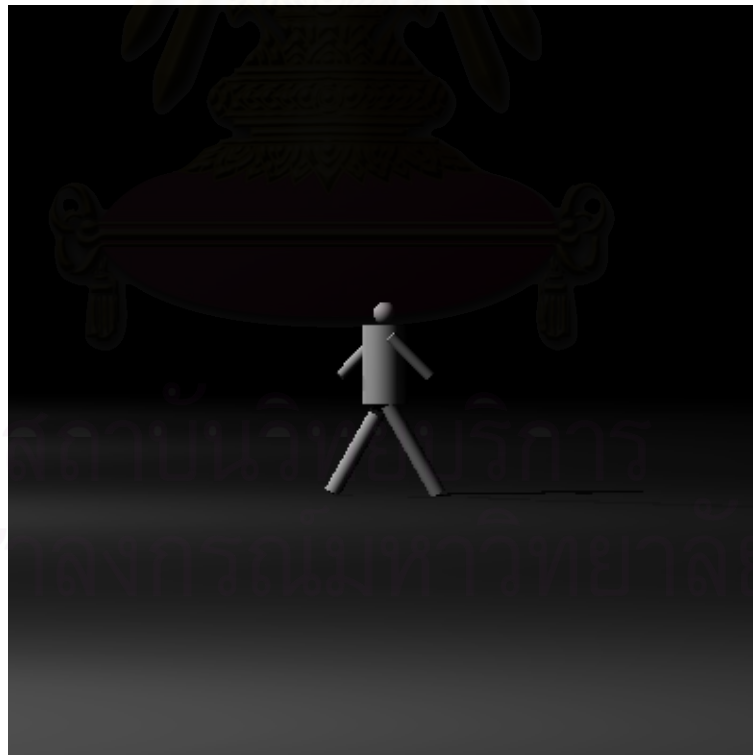
5.1.3 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5$, $y=65$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=12.5$, $y=65$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5$, $y=65$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	□	□	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	12.5	65	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	12.5	65	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	12.5	64.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	12.5	65.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	12.5	64.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	12.5	65.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-4



รูปที่ 5-4 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5$, $y=65$

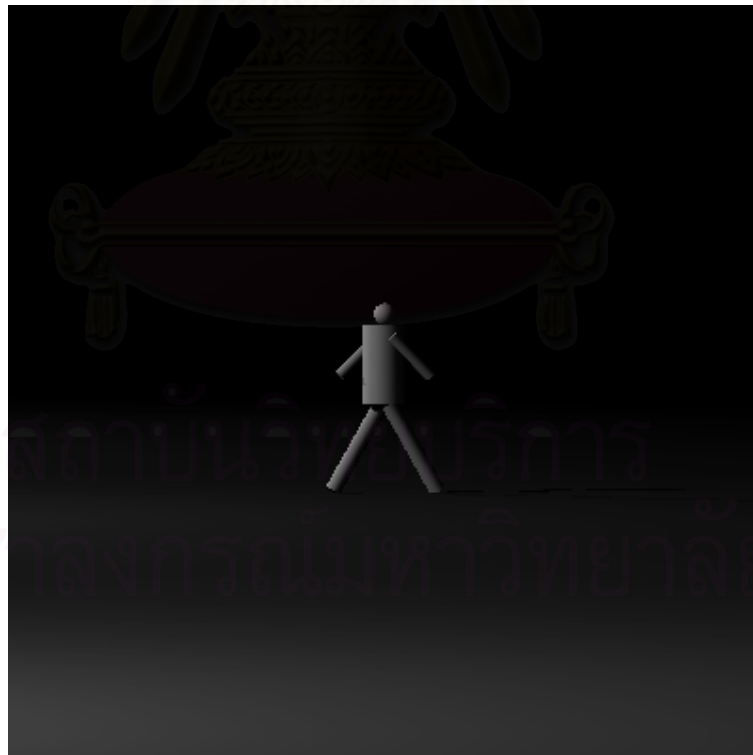
5.1.4 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=65$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=17.5$, $y=65$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=65$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	□	□	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	17.5	65	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	17.5	65	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	17.5	64.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	17.5	65.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	17.5	64.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	17.5	65.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=65$

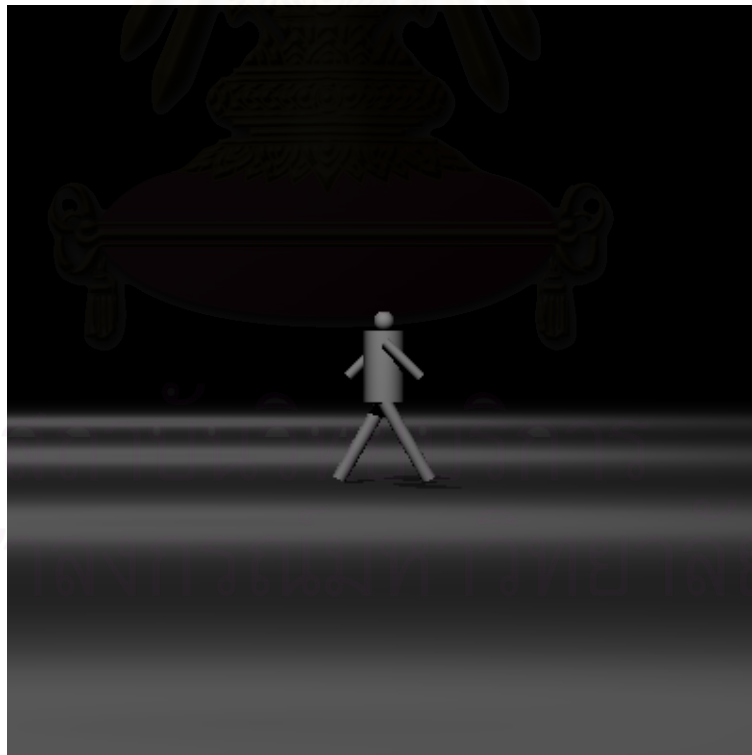
5.1.5 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=75$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=2.5, y=75, z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5-6 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=75$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	2.5	75	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	2.5	75	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	2.5	74.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	2.5	75.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	2.5	74.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	2.5	75.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=75$

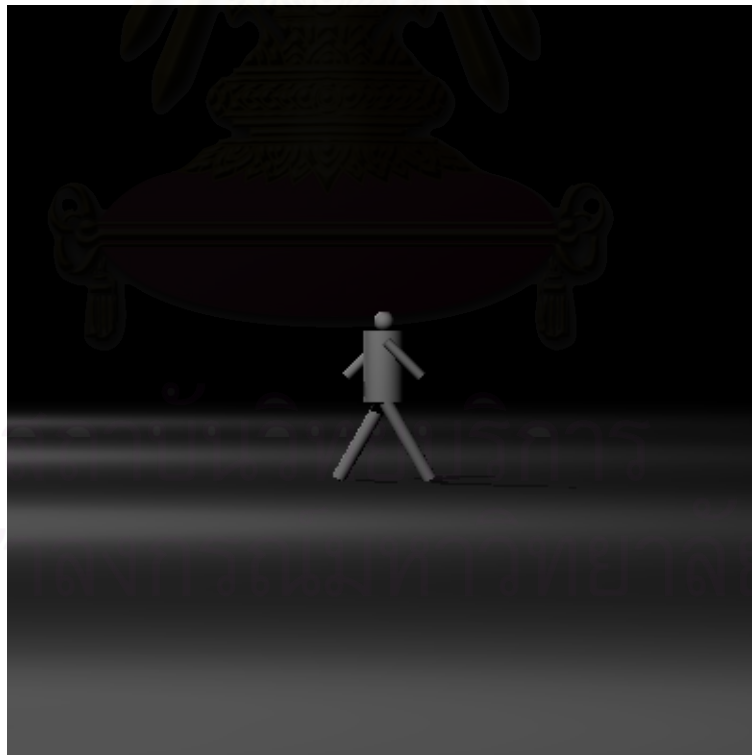
5.1.6 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5$, $y=75$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=7.5$, $y=75$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-7

ตารางที่ 5-7 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5$, $y=75$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	7.5	75	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	7.5	75	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	7.5	74.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	7.5	75.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	7.5	74.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	7.5	75.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5$, $y=75$

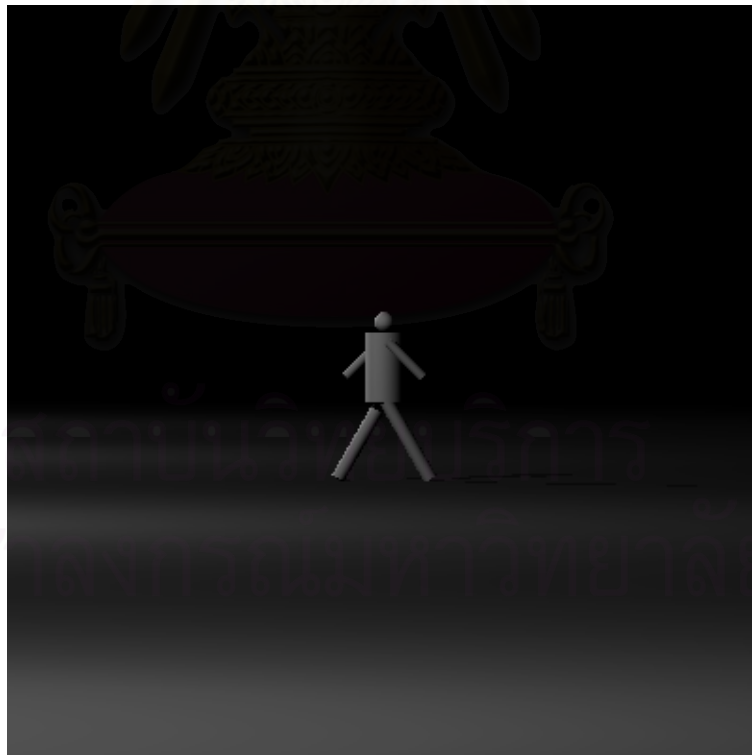
5.1.7 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=75$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=12.5, y=75, z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-8

ตารางที่ 5-8 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=75$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	□	□	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	12.5	75	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	12.5	75	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	12.5	74.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	12.5	75.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	12.5	74.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	12.5	75.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-8



รูปที่ 5-8 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5, y=75$

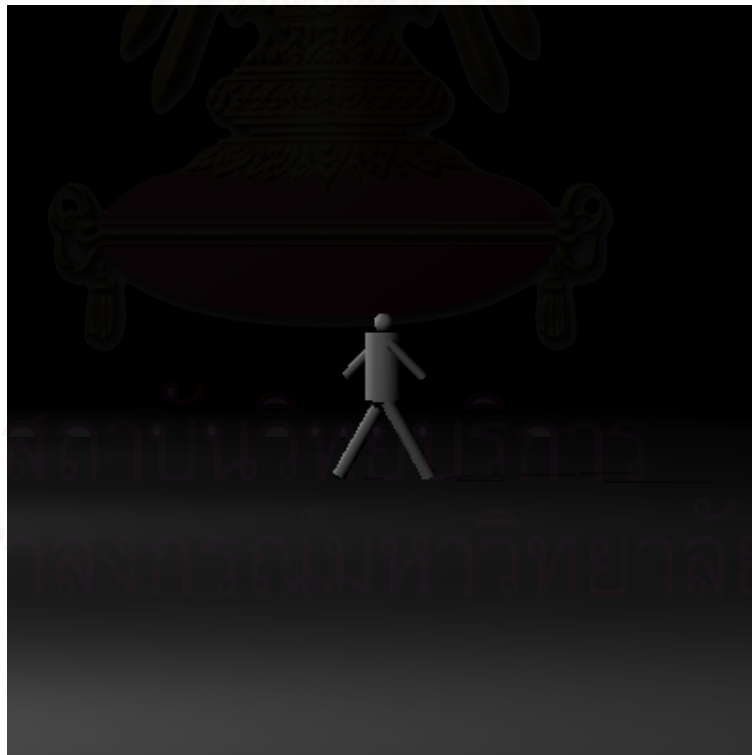
5.1.8 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=75$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=17.5$, $y=75$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-9

ตารางที่ 5-9 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=75$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	□	□	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	17.5	75	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	17.5	75	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	17.5	74.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	17.5	75.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	17.5	74.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	17.5	75.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-9 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=75$

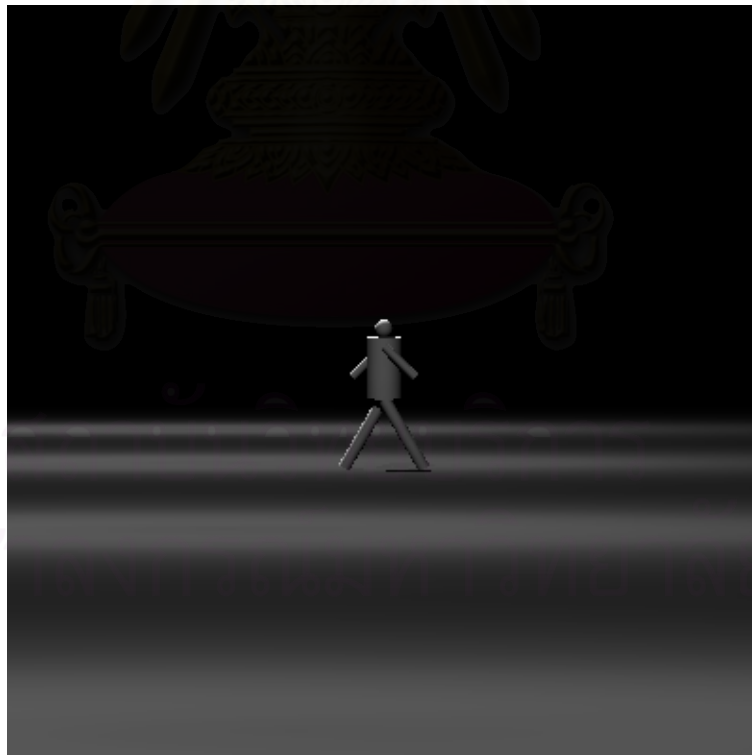
5.1.9 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=85$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=2.5, y=85, z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-10

ตารางที่ 5-10 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=85$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	2.5	85	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	2.5	85	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	2.5	84.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	2.5	85.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	2.5	84.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	2.5	85.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-10



รูปที่ 5-10 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=2.5, y=85$

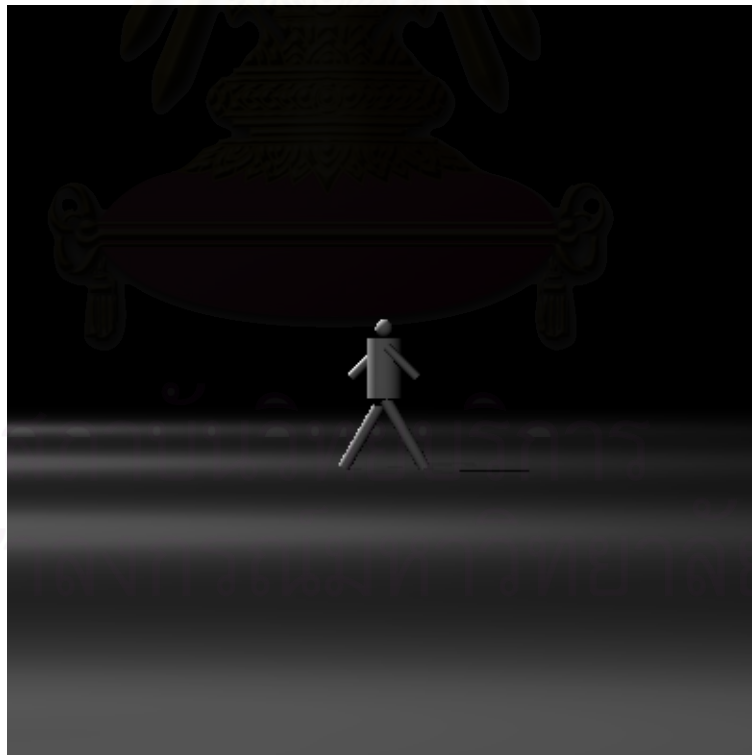
5.1.10 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5$, $y=85$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=7.5$, $y=85$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-11

ตารางที่ 5-11 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5$, $y=85$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	7.5	85	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	7.5	85	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	7.5	84.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	7.5	85.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	7.5	84.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	7.5	85.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-11



รูปที่ 5-11 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=7.5$, $y=85$

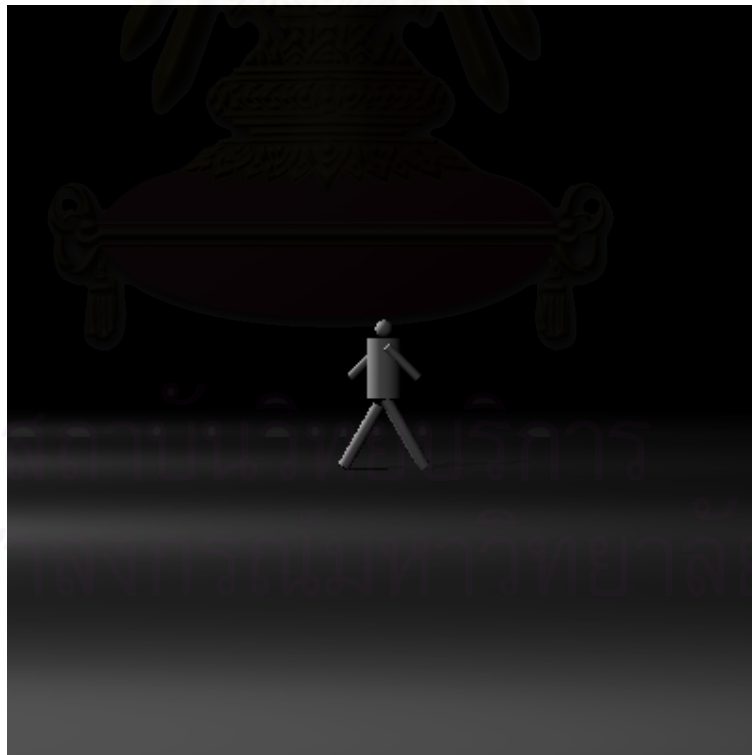
5.1.11 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5$, $y=85$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=12.5$, $y=85$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-12

ตารางที่ 5-12 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5$, $y=85$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	r	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	12.5	85	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	12.5	85	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	12.5	84.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	12.5	85.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	12.5	84.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	12.5	85.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-12



รูปที่ 5-12 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=12.5$, $y=85$

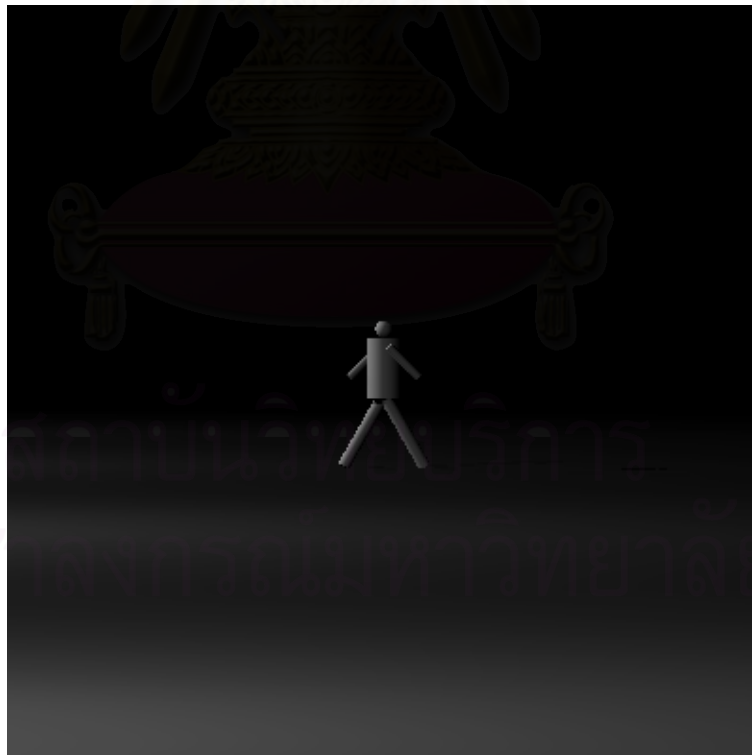
5.1.12 ตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=85$

ผู้สังเกตการณ์มองไปที่ตำแหน่ง $x=17.5$, $y=85$, $z=1$ และตำแหน่งของแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-13

ตารางที่ 5-13 ตำแหน่งของแบบจำลองเมื่อคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=85$

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	R	h	□	□	Rd	Rs	N
1	ทรงกลม	17.5	85	1.6	0.1	-	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	17.5	85	0.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	17.5	84.75	1.4	0.05	0.5	135	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	17.5	85.25	1.4	0.05	0.5	225	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	17.5	84.87	0.8	0.07	0.9	150	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	17.5	85.13	0.8	0.07	0.9	210	0	0.8	0	0

ผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-13



รูปที่ 5-13 ผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนนอยู่ที่ $x=17.5$, $y=85$



รูปที่ 5-14 เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน
อยู่ที่ $y=65$ ที่ตำแหน่ง x ต่างๆกัน



รูปที่ 5-15 เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน
อยู่ที่ $y=75$ ที่ตำแหน่ง x ต่างๆกัน



รูปที่ 5-16 เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อตำแหน่งของคนเดินข้ามถนน
อยู่ที่ $y=85$ ที่ตำแหน่ง x ต่างๆกัน

หมายเหตุ การแสดงผลกำหนดให้ $L_{\max} = 16 \text{ cd/m}^2$

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 5-14, 5-15, 5-16 เห็นได้ว่า
เมื่อคนอยู่ใกล้โคมไฟภาพที่ปรากฏแก่ผู้สังเกตการณ์จะชัดเจนกว่าภาพของคนที่เดินข้ามถนนที่
ตำแหน่งอื่นๆ ที่ระยะ y เท่ากัน และภาพของคนเดินข้ามถนนที่อยู่ใกล้กับโคมด้านที่อยู่ใกล้กับผู้
สังเกตการณ์จะชัดเจนกว่าภาพของคนเดินข้ามถนนที่อยู่ใกล้กับโคมดวงที่อยู่ห่างจากผู้
สังเกตการณ์ เนื่องจากโคมดวงที่อยู่ถัดออกไปให้แสงเข้าทางด้านตรงข้ามกับที่ผู้สังเกตการณ์ยืน
อยู่ จึงไม่มีผลต่อภาพที่ปรากฏแก่สายตาผู้สังเกตการณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 กรณีให้แสงสว่างอนุสาวรีย์

กรณีนี้จะพิจารณาการให้แสงสว่างแก่อนุสาวรีย์ที่ปรากฏแก่สายตาผู้สังเกตการณ์ในมุมมองต่างๆ โดยทำการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ แบบจำลองที่ใช้แทนอนุสาวรีย์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-14 และ 5-15 ส่วนตำแหน่งของดวงโคมสามารถแสดงได้ตารางที่ 5-16

ตารางที่ 5-14 ตำแหน่งของแบบจำลองของอนุสาวรีย์ในส่วนของทรงกลมและทรงกระบอก

ลำดับที่	แบบจำลอง	C_x	C_y	C_z	R	h	\square	\square	Rd	Rs	n
1	ทรงกลม	0	0	2.6	0.1	0	0	0	0.8	0	0
2	ทรงกระบอก	0	0	1.8	0.2	0.7	0	0	0.8	0	0
3	ทรงกระบอก	0	-0.25	2.4	0.05	0.5	0	0	0.8	0	0
4	ทรงกระบอก	0	0.25	2.4	0.05	0.5	180	0	0.8	0	0
5	ทรงกระบอก	0	-0.13	1.8	0.07	0.9	180	0	0.8	0	0
6	ทรงกระบอก	0	0.13	1.8	0.07	0.9	180	0	0.8	0	0
7	ทรงกระบอก	0	0	0	0.5	1	0	0	0.6	0	0

ตารางที่ 5-15 ตำแหน่งของแบบจำลองของอนุสาวรีย์ในส่วนของปริซึมฐานสี่เหลี่ยม

ลำดับที่	M_{1x}	M_{1y}	M_{1z}	W	L	H	\square	\square	Rd	Rs	N
1	0.33	-0.225	0.5	0.2	0.05	0.3	0	0	0.8	0	0
2	0.33	-0.175	0.75	0.2	0.15	0.05	0	0	0.8	0	0
3	0.33	-0.175	0.5	0.2	0.15	0.05	0	0	0.8	0	0
4	0.33	-0.175	0.625	0.2	0.08	0.05	0	0	0.8	0	0
5	0.33	0.025	0.5	0.2	0.05	0.3	0	0	0.8	0	0
6	0.33	0.075	0.75	0.2	0.15	0.05	0	0	0.8	0	0
7	0.33	0.075	0.5	0.2	0.15	0.05	0	0	0.8	0	0
8	0.33	0.075	0.625	0.2	0.08	0.05	0	0	0.8	0	0

ตารางที่ 5-16 ตำแหน่งการติดตั้งวงโคจรการให้แสงสว่างอนุสาวรีย์

ลำดับ ที่	ชนิดโคม	ตำแหน่ง			จุดเลี้ยง		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	Ge8572	3	0	0.1	0	0	1.5
2	Ge8572	3	0	0.1	0	0	3
3	Ge8572	0	3	0.1	0	0	3
4	Ge8572	0	-3	0.1	0	0	3



รูปที่ 5-17 อนุสาวรีย์ที่ใช้ในการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทดสอบทำโดยการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ไปยังตำแหน่งต่างๆดังนี้

- เมื่อผู้ทดสอบอยู่ที่ตำแหน่ง $x=5, y=0, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=180, \delta=0$ สามารถแสดงผลได้ดังแสดงในรูปที่ 5-18



รูปที่ 5-18 ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=5, y=0, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=180, \delta=0$

- เมื่อผู้ทดสอบอยู่ที่ตำแหน่ง $x=0, y=5, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=270, \delta=0$ สามารถแสดงผลได้ดังแสดงในรูปที่ 5-19



รูปที่ 5-19 ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=0, y=5, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=270, \delta=0$

- เมื่อผู้ทดสอบอยู่ที่ตำแหน่ง $x=5, y=5, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=225, \delta=0$ สามารถแสดงผลได้ดังแสดงในรูปที่ 5-20



รูปที่ 5-20 ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=5, y=5, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=225, \delta=0$

5.3 กรณีให้แสงสว่างเพื่อความสวยงามแก่ตัวอาคาร

กรณีนี้จะพิจารณาการให้แสงสว่างแก่ตัวอาคารที่ปรากฏแก่สายตาผู้สังเกตการณ์ในมุมมองต่างๆ โดยทำการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ แบบจำลองที่ใช้แทนอาคารสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ทรงกลม $\Rightarrow C_x=0, C_y=0, C_z=12.3, r=0.15, Rd=0.8, Rs=0, n=0$

2. ปริมาตรฐานสี่เหลี่ยม $\Rightarrow M_1 \quad x=-1.3, y=-1.3, z=8.3$

$M_2 \quad x=1.3, y=-1.3, z=8.3$

$M_3 \quad x=1.3, y=1.3, z=8.3$

$M_4 \quad x=-1.3, y=1.3, z=8.3$

$M_5 \quad x=0, y=0, z=12.3$

$\phi=0, \theta=0, Rd=0.8, Rs=0, n=0$

3. ส่วนประกอบที่เป็นปริซึมฐานสี่เหลี่ยมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-17

ตารางที่ 5-17 ตำแหน่งของแบบจำลองของการให้แสงสว่างอาคารในส่วนของปริซึมฐานสี่เหลี่ยม

ลำดับที่	M_{1x}	M_{1y}	M_{1z}	W	L	H	\square	\square	Rd	Rs	N
1	-2	-2	0	0.3	0.3	5	0	0	0.8	0	0
2	-2	1.7	0	0.3	0.3	5	0	0	0.8	0	0
3	1.7	1.7	0	0.3	0.3	5	0	0	0.8	0	0
4	1.7	-2	0	0.3	0.3	5	0	0	0.8	0	0
5	-2	-2	5	4	4	0.3	0	0	0.8	0	0
6	-1	-1	5.3	2	2	3	0	0	0.8	0	0
7	-0.4	-1	9.05	0.8	2	0.6	0	0	0.8	0	0
8	-1	-0.4	9.05	2	0.8	0.6	0	0	0.8	0	0

4. ส่วนประกอบที่เป็นปริซึมฐานสามเหลี่ยมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-18

ตารางที่ 5-18 ตำแหน่งของแบบจำลองของการให้แสงสว่างอาคาร

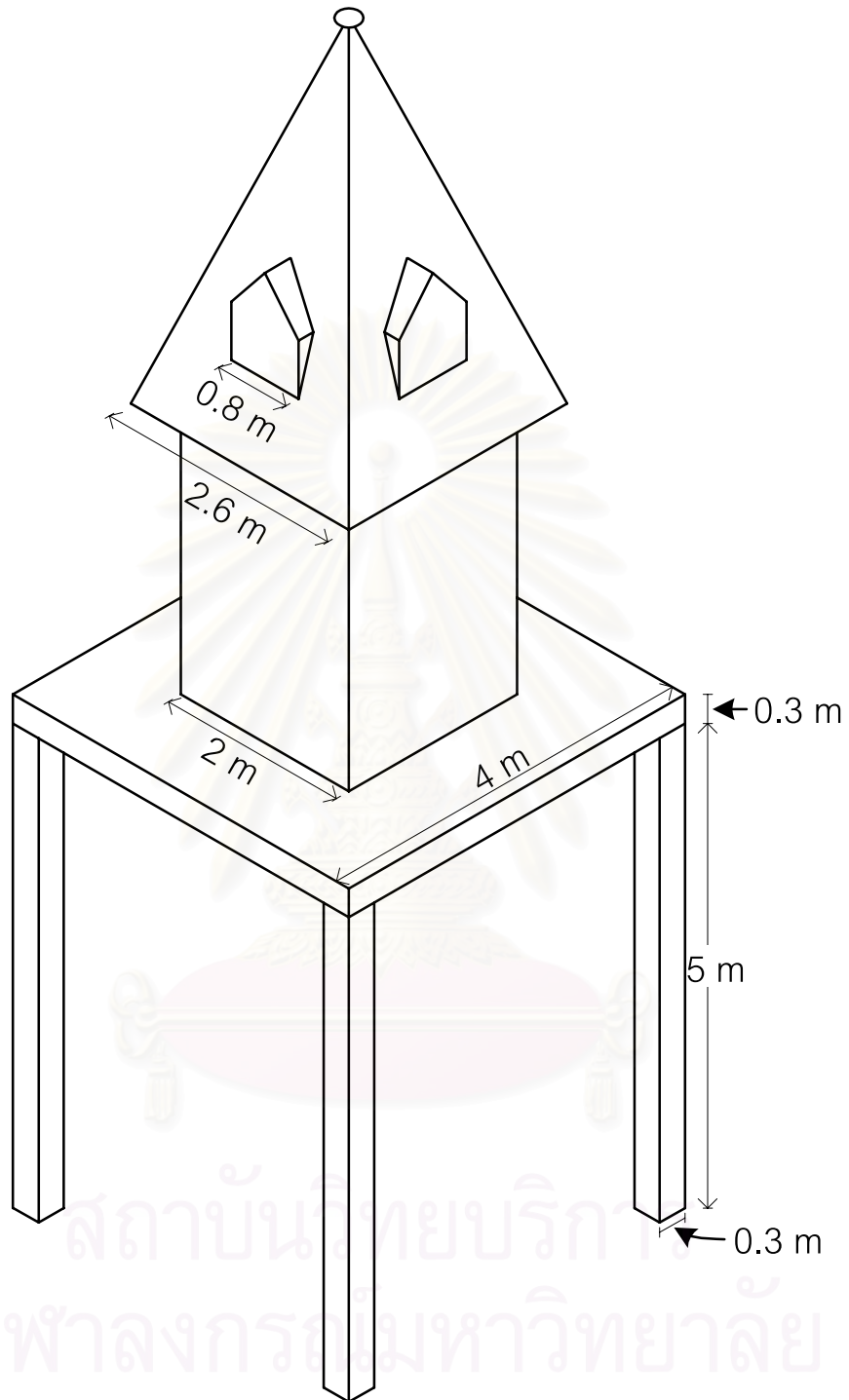
ในส่วนของปริซึมฐานสามเหลี่ยม

ลำดับที่	M_{1x}	M_{1y}	M_{1z}	M_{2x}	M_{2y}	M_{2z}	M_{3x}	M_{3y}	M_{3z}	h	\square	\square	Rd	Rs	N
1	-0.4	-1	9.65	-0.9	-1.4	9.65	-0.4	-1.8	9.65	2	90	90	0.8	0	0
2	1	-0.4	9.65	1.5	0	9.65	1	0.4	9.65	2	-90	0	0.8	0	0

ตำแหน่งของดวงโคมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5-19

ตารางที่ 5-19 ตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมกรณีการให้แสงสว่างตัวอาคาร

ลำดับที่	ชนิดโคม	ตำแหน่ง			จุดเลี้ยง		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	Ge7470	12.5	0	0.1	1	0	9.65
2	Ge7470	0	12.5	0.1	0	1	9.65
3	Ge7470	0	-12.5	0.1	0	-1	9.65
4	Ge7470	-12.5	0	0.1	-1	0	9.65



รูปที่ 5-21 อาคารที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบทำโดยการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ไปยังตำแหน่งต่างๆดังนี้

- เมื่อผู้ทดสอบอยู่ที่ตำแหน่ง $x=10, y=0, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=180, \delta=10$ สามารถแสดงผลได้ดังแสดงในรูปที่ 5-22



รูปที่ 5-22 ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=10, y=0, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=180, \delta=10$

- เมื่อผู้ทดสอบอยู่ที่ตำแหน่ง $x=10, y=10, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=225, \delta=10$ สามารถแสดงผลได้ดังแสดงในรูปที่ 5-23



รูปที่ 5-23 ผลการคำนวณเมื่อผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ $x=10, y=10, z=1.6$ มองไปที่ $\tau=225, \delta=10$

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการประเมินค่าความส่องสว่างบนวัตถุจากการให้แสงสว่างภายนอกอาคาร โดยการสร้างรูปทรงมาตรฐานที่สามารถนำมาใช้เป็นแบบจำลองของวัตถุที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่าง แล้วทำการคำนวณค่าความส่องสว่างที่ปรากฏแก่สายตาผู้สังเกตการณ์ด้วยวิธีคิดทีละจุด จากนั้นนำค่าความส่องสว่างที่คำนวณได้มาแสดงเป็นภาพกราฟฟิกแสดงภาพของวัตถุที่ต้องการทราบค่าความส่องสว่าง ทั้งนี้การคำนวณทั้งหมดอ้างอิงตามมาตรฐานของ CIE

จากหลักการดังกล่าวทำให้ไม่สามารถทำการประเมินค่าความส่องสว่างด้วยการคิดด้วยมือได้ จึงนำคอมพิวเตอร์เข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ โดยการใช้หลักการของ OOP (Object-Oriented Programming) และใช้ภาษา Borland C++ Builder Version 5.0 ในการพัฒนาโปรแกรม โปรแกรมที่เกิดจากการพัฒนาจะรับข้อมูลรูปแบบมาตรฐานของแบบจำลองของวัตถุ ตำแหน่งและทิศทางการมองของผู้สังเกตการณ์ ตำแหน่งและข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคม แล้วทำการประมวลผลจากนั้นจึงแสดงผลการคำนวณที่ได้เป็นภาพของแบบจำลองที่ใส่เข้าไป ณ ตำแหน่งที่ผู้สังเกตการณ์มอง ซึ่งผู้ที่ไม่มีความรู้ทางทฤษฎีส่องสว่างก็สามารถเข้าใจได้โดยง่าย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองของวัตถุที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถทำการจำลองรูปแบบของวัตถุได้เพียงคร่าวๆ แต่ไม่สามารถจำลองแบบของวัตถุที่มีความละเอียดมากๆได้ และสามารถสร้างแบบจำลองของวัตถุโดยการนำรูปทรงมาตรฐานมาต่อเข้าด้วยกันเท่านั้น จึงควรที่จะทำการพัฒนาให้แบบจำลองมีความยืดหยุ่นและสามารถสร้างวัตถุที่มีความละเอียดซับซ้อนมากๆได้

2. แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงในอุดมคติ ซึ่งในหลายๆกรณีของการนำไปใช้งานไม่สามารถประมาณแหล่งกำเนิดแสงให้เป็นแบบอุดมคติได้ จึงควรมีการพัฒนาารูปแบบของแหล่งกำเนิดแสงให้ใกล้เคียงความจริงมากขึ้น

3. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิวของวัตถุที่ใช้อยู่ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นรูปแบบที่ง่ายแก่การคำนวณ และสามารถจำลองพื้นผิวของวัตถุได้เพียงคร่าวๆเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าความส่องสว่างที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นผิวอื่นๆได้ ค่าความส่องสว่างที่ได้อาจ

ผิดเพี้ยนไปบ้าง จึงควรมีการเปลี่ยนไปใช้คุณลักษณะการสะท้อนของพื้นผิวของวัตถุที่มีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งจะเอื้อแก่การทำการคำนวณที่ซับซ้อนมากขึ้นไปอีกได้ อีกทั้งค่าความส่องสว่างที่คำนวณได้ก็就会有ความถูกต้องมากขึ้นอีกด้วย

4. การแสดงผลที่ใช้อยู่ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่อยู่ในรูปเดียวกัน สิ่งที่ปรากฏในภาพจะมีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงเท่านั้น แต่ไม่สามารถแสดงได้ว่าสิ่งที่จะเกิดขึ้นจริงควรเป็นอย่างไร จึงควรมีการพัฒนาในจุดนี้เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแสดงผลและให้สามารถแสดงภาพที่เหมือนจริงได้

5. การคำนวณค่าความส่องสว่างในวิทยานิพนธ์นี้ยังไม่ได้คำนึงถึงเรื่องของสี เนื่องจากองค์ประกอบของคุณลักษณะการสะท้อนของพื้นผิวของวัตถุไม่เอื้อแก่การคำนวณ จึงควรมีการพัฒนาและคำนึงถึงเรื่องสีเข้ามาร่วมด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. พงษ์ศิริ ศิริมงคล. การคำนวณค่าความส่องสว่างของไฟสนามกีฬาที่ปรากฏต่อผู้สังเกตการณ์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
2. อรุณี เจริญราช. แคลคูลัส เล่มที่ 3. พิมพ์ครั้งที่ 4. 527/77 ปากซอย 39 ถ.เจริญสนิทวงศ์
บางกอกน้อย กทม. : ห้างหุ้นส่วนจำกัด พิทักษ์การพิมพ์, 2538.
3. IES Lighting Handbook (Reference Volume). 8th edition. Illuminating Engineering
Society of North America, 1981.
4. Lighting Manual. 5th edition. Philips lighting, 1993.
5. Alan Watt. 3D Computer Graphics. 2nd edition. Addison-Wesley Publishing, 1993.
6. Mukaigawa, Y., Mihashi, S., Shakunaga, T., "Photometric Image-Based Rendering for
Virtual Lighting Image Synthesis". 2nd IEEE and ACM International Workshop
(1999): 115 –124.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายชาญสิทธิ์ จิตติพันธ์พรณี เกิดวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2520 ที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2542 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย