บทที่ 4

การใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณไฟแสงสว่างสนามกีฬา

จากที่ได้ศึกษาการคำนวณค่าต่างๆ เกี่ยวกับไฟแสงสว่างสนามกีฬามาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าหากต้องคำนวณค่าความสว่างที่ตกบนระนาบนอน ระนาบดิ่ง หรือค่าความส่องสว่างของวัตถุรูปทรงกระบอก หลาย ๆ จุดแล้ว จะต้องใช้เวลาในการคำนวณอย่างมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวก และรวดเร็วในการออกแบบไฟสนามกีฬาจึงควรใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบไฟสนามกีฬา ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้เขียนด้วยภาษา Turbo Pascal Version 5.5 สำหรับใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิทที่มีใช้งานกันอยู่ทั่วไปโปรแกรมนี้ใช้คำนวณสนามกีฬา หรือ พื้นที่ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นลักษณะของสนามกีฬาโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถแสดง Isolux Diagram และ ภาพแสดงค่าการกระจายความสว่างในลักษณะ 3 มิติ และเนื่องจากการป้อนข้อมูลตำแหน่งของเสา ตำแหน่งจุดเล็งของโคมและค่าพลักซ์ส่องสว่างของโคม ฯลฯ นั้น ถ้าข้อมูลมีจำนวนมาก ทำให้การป้อนข้อมูลจะเสียเวลานาน ในโปรแกรมนี้เราสามารถเก็บข้อมูลที่ป้อนไว้แล้วลงในแผ่นดิสต์เพื่อสามารถอ่านข้อมูลกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่ต้องป้อนข้อมูลใหม่

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในการกำหนดค่าต่าง ๆ และผลที่ได้จากการใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ และแสดงผลดังต่อไปนี้

4.1 การกำหนดค่าที่จำเป็นต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณความเข้มส่องสว่างของโคมไฟ

ในการศึกษาค่าการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมไฟ สำหรับใช้ในโปรแกรมจะต้องมีความละเอียดพอที่จะใช้คำนวณได้ทุก ๆ จุดในสนามกีฬาหรือพื้นที่ที่ต้องการ โดยวิธีการประมาณค่า (Interpolation) ข้อมูลของโคมไฟประเภทโคมฉายจะจัดอยู่ในระบบ H,V ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.1 และบางครั้งทางบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดข้อมูลเป็น เส้นโค้งไอโซแคนเดลา (Isocandela) การนำไปใช้งานจึงต้องเปลี่ยนจากเส้นโค้งไอโซแคนเดลานี้ให้เป็นตัวเลขในระบบ H,V แล้วป้อนให้กับคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างค่าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 4.1

ตัวอย่างตารางที่นำมาแสดงนี้เป็นตารางแสดงการกระจายความเข้มส่องสว่างจากโคมไฟของบริษัทผู้ผลิตโคมไฟแห่งหนึ่ง โดยทำการวัดค่าการกระจายความเข้มส่องสว่างที่ค่ามุม H และ V ต่างๆ ซึ่งการแบ่งมุมจะมีช่วงห่าง 5 องศา

อย่างไรก็ตามข้อมูลจากตารางความเข้มส่องสว่างจะถูกป้อนมาเก็บไว้ในไฟล์ซึ่งมีโปรแกรมอีกโปรแกรมหนึ่ง สำหรับป้อนข้อมูลนี้เพื่อให้โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณเรียกมาใช้ไฟล์นี้โดยตรง ในกรณีที่ค่าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟสมมาตร ไม่ว่าจะเป็นสมมาตรรอบแกน H แกน V หรือ ทั้งแกน H และแกน V ก็เพียงป้อนข้อมูลเพียงส่วนเดียว ส่วนที่สมมาตรนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสร้างขึ้นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LUMINOUS INTENSITY DISTRIBUTION (CD/1000LM.) OF LUMINAIRE TYPE: HNF001 WIDE-BEAM

BETA / ALPHA	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	30	35	40	50	60	65	60	50	40	35	30	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	25	50	70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	50	25	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	25	40	65	75	85	100	105	110	110	110	110	110	110	110	110	110	105	100	85	75	65	40	25	0	0	0	0
55	0	0	0	0	30	60	80	100	105	110	115	120	120	125	125	125	125	125	120	120	115	110	105	100	80	60	30	0	0	0	0
50	0	0	0	25	65	80	100	108	117	130	135	140	145	145	150	150	150	145	145	140	135	130	117	108	100	80	65	25	0	0	0
45	0	0	20	60	75	95	115	125	140	150	155	160	160	160	160	160	160	160	160	160	155	150	140	125	115	95	75	60	20	0	0
40	0	0	30	70	85	105	140	150	160	175	190	195	200	200	200	200	200	200	200	195	190	175	160	150	140	105	85	70	30	0	0
35	0	0	50	80	100	120	155	180	200	210	225	240	245	250	250	250	250	250	245	240	225	210	200	180	155	120	100	80	50	0	0
30	0	0	60	85	110	140	170	200	225	250	270	285	300	300	305	310	305	300	300	285	270	250	225	200	170	140	110	85	60	0	0
25	0	25	70	90	130	160	200	240	270	300	330	350	350	355	355	355	355	355	350	350	330	300	270	240	200	160	130	90	70	25	0
20	0	30	75	95	150	175	220	255	300	350	370	390	395	400	400	400	400	400	395	390	370	350	300	255	220	175	150	95	75	30	0
15	0	30	75	100	160	200	250	300	380	405	410	415	420	420	420	420	420	420	420	415	410	405	380	300	250	200	160	100	75	30	0
10	0	35	80	100	170	230	280	340	405	410	420	430	440	450	455	460	455	450	440	430	420	410	405	340	280	230	170	100	80	35	0
5	0	40	80	105	180	240	300	390	410	420	430	450	470	485	500	500	500	485	470	450	430	420	410	390	300	240	180	105	80	40	0
0	0	50	90	110	200	250	310	400	410	420	430	450	480	490	500	480	500	490	480	450	430	420	410	400	310	250	200	110	90	50	0
-5	0	40	80	105	180	240	300	390	410	420	430	450	470	485	500	500	500	485	470	450	430	420	410	390	300	240	180	105	80	40	0
-10	0	35	80	100	170	230	280	340	405	410	420	430	440	450	455	460	455	450	440	430	420	410	405	340	280	230	170	100	80	35	0
-15	0	30	75	100	160	200	250	300	380	405	410	415	420	420	420	420	420	420	420	415	410	405	380	300	250	200	160	100	75	30	0
-20	0	30	75	95	150	175	220	255	300	350	370	390	395	400	400	400	400	400	395	390	370	350	300	255	220	175	150	95	75	30	0
-25	0	25	70	90	130	160	200	240	270	300	330	350	350	355	355	355	355	355	350	350	330	300	270	240	200	160	130	90	70	25	0
-30	0	0	60	85	110	140	170	200	225	250	270	285	300	300	305	310	305	300	300	285	270	250	225	200	170	140	110	85	60	0	0
-35	0	0	50	80	100	120	155	180	200	210	225	240	245	250	250	250	250	250	245	240	225	210	200	180	155	120	100	80	50	0	0
-40	0	0	30	70	85	105	140	150	160	175	190	195	200	200	200	200	200	200	200	195	190	175	160	150	140	105	85	70	30	0	0
-45	0	0	20	60	75	95	115	125	140	150	155	160	160	160	160	160	160	160	160	160	155	150	140	125	115	95	75	60	20	0	0
-50	0	0	0	25	65	80	100	108	117	130	135	140	145	145	150	150	150	145	145	140	135	130	117	108	100	80	65	25	0	0	0
-55	0	0	0	0	30	60	80	100	105	110	115	120	120	125	125	125	125	125	120	120	115	110	105	100	80	60	30	0	0	0	0
-60	0	0	0	0	25	40	65	75	85	100	105	110	110	110	110	110	110	110	110	110	105	100	85	75	65	40	25	0	0	0	0
-65	0	0	0	0	0	0	25	50	70	80	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	70	50	25	0	0	0	0	0	0
-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	30	35	40	50	60	65	60	50	40	35	30	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มส่องสว่างของโคมไฟที่ใช้ในตัวอย่างการคำนวณ

4.1.2 การกำหนดค่าการสะท้อนแสงของผิววัตถุรูปทรงกระบอก

การกำหนดค่าการสะท้อนแสงของผิววัตถุจะใช้สมการที่ 3.18 คือ

$$I(\theta) = Ido.\cos\theta + Iso.\cos^{n}(\theta-\alpha)$$
$$= (dF.Rd/\pi).\cos\theta + (dF.Rs/(2\pi/(n+1))*\cos^{n}(\theta-\alpha)$$

ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้กำหนดค่าการสะท้อนแสงตามสมการข้างบนไว้แล้วผู้ใช้เพียงแต่ป้อนข้อมูลค่า Rd Rs และค่า n เท่านั้น ปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดค่าการสะท้อนแสงแบบนี้มากนัก ดังนั้นข้อมูลของค่า Rd Rs และค่า n ของวัตถุแต่ละชนิดจะต้องมีการเก็บข้อมูลต่อไป

4.2 การคำนวณค่าความสว่างบนระนาบนอน และ ระนาบดิ่ง

ในการคำนวณค่าความสว่างบนระนาบนอนโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นการคำนวณค่าบางจุดในสนามเท่านั้น ดังนั้นค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดหรือค่าเฉลี่ยอาจจะคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่เป็นจริงในสนามเล็กน้อย ซึ่งความละเอียดของจุดที่ได้ทำการคำนวณสามารถกำหนดได้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามแต่ผู้ใช้ต้องการ แต่การให้คอมพิวเตอร์คำนวณมากจุดขึ้น ก็จะต้องเสียเวลาในการคำนวณมากขึ้นด้วย

4.2.1 ค่าความสว่างบนระนาบนอนและระนาบดิ่ง

ค่าความสว่างที่จุดใด ๆ บนระนาบนอนที่พื้นสนามหรือเหนือพื้นสนามคำนวณได้จากสมการ

$$E_{Hor} = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i(H,V).\cos(\gamma_i)}{d_i^{2}} \quad ; \ \gamma_i = \text{มุมแสงตกกระทบทำกับแนวดิ่ง} \qquad (4.1)$$

$$Ever = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i(H,V).\cos(\epsilon_i)}{d_i^2} \quad ; \quad E_i = \text{มุมแสงตกกระทบทำกับเส้นตั้งฉากของระนาบดิ่ง} \qquad (4.2)$$

หรือ

$$E_{Hor} = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i(H,V).\cos^3(\gamma_i)}{HT^2} \qquad (4.3)$$

สำหรับ I ได้จากการประมาณค่า (Interpolation) รูปที่ 4.2 เป็นตัวอย่างการประมาณค่าโดยใช้ Quadratic Interpolation ของค่า I สำหรับ Curve A ที่มุม OK ซึ่งนำมาเขียนขยายได้ดังรูปที่ 4.3 และประมาณค่าได้จากสมการ

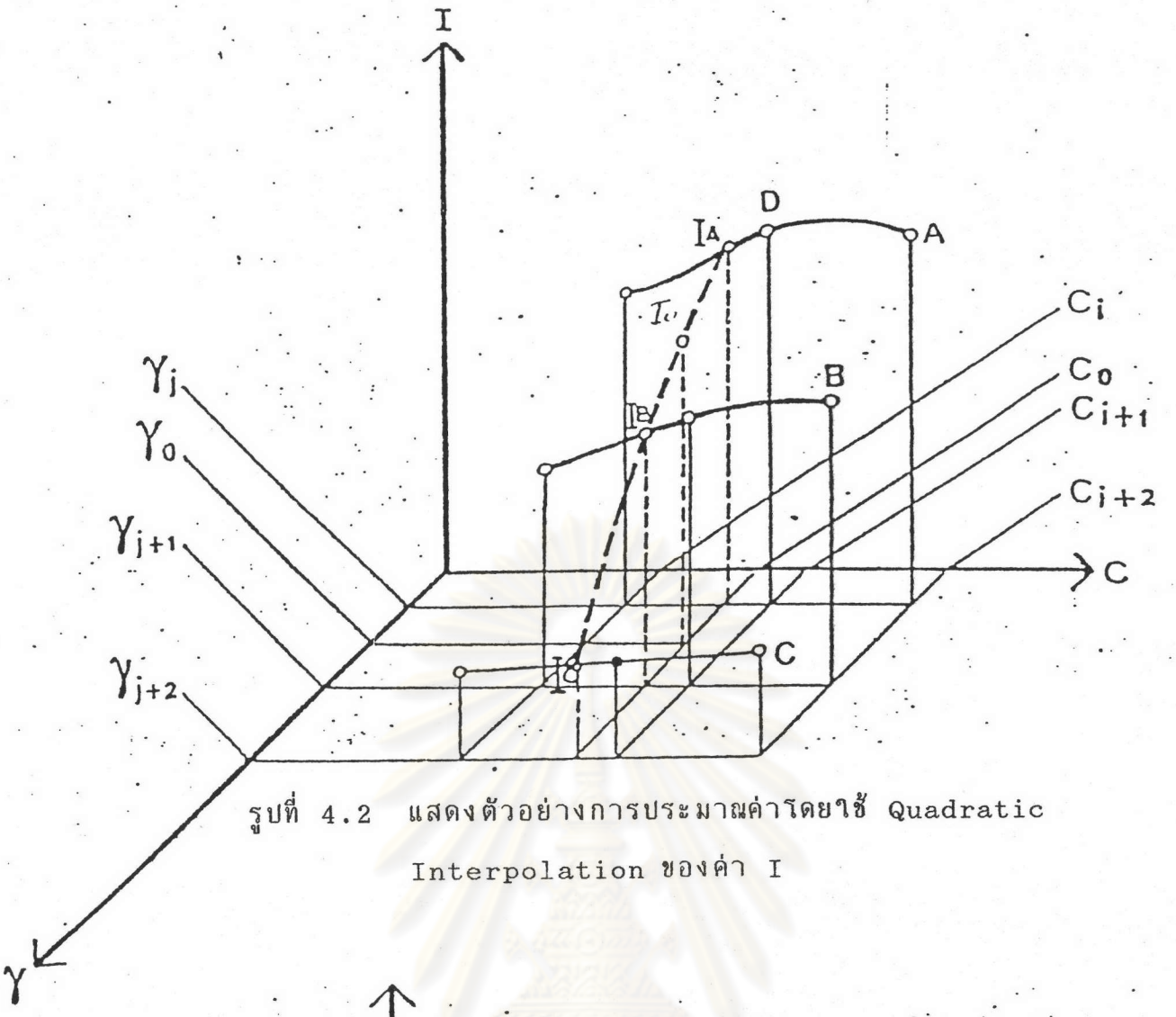
$$I_A = K_o I_x + K_1 I_{x+1} + K_2 I_{x+2} \qquad (4.4)$$

เมื่อ $$K_0 = 1 - K_1 - K_2 \qquad (4.5)$$

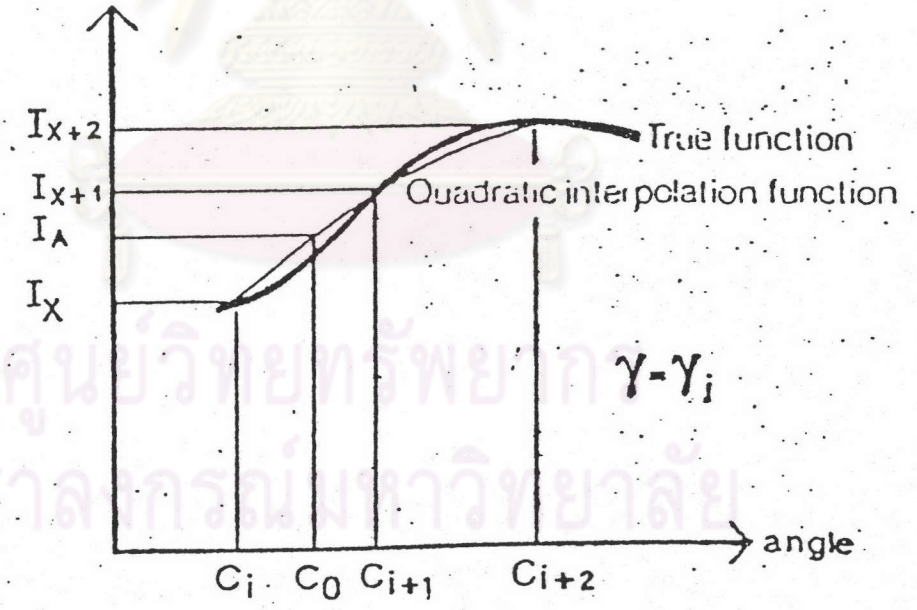
$$K_1 = \frac{(C_o - C_i)(C_{i+2} - C_o)}{(C_{i+2} - C_{i+1})(C_{i+1} - C_i)} \qquad (4.6)$$

$$K_2 = \frac{(C_o - C_i)(C_{i+1} - C_o)}{(C_{i+2} - C_{i+1})(C_{i+1} - C_i)} \qquad (4.7)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการประมาณค่าโดยใช้ Quadratic Interpolation ของค่า I

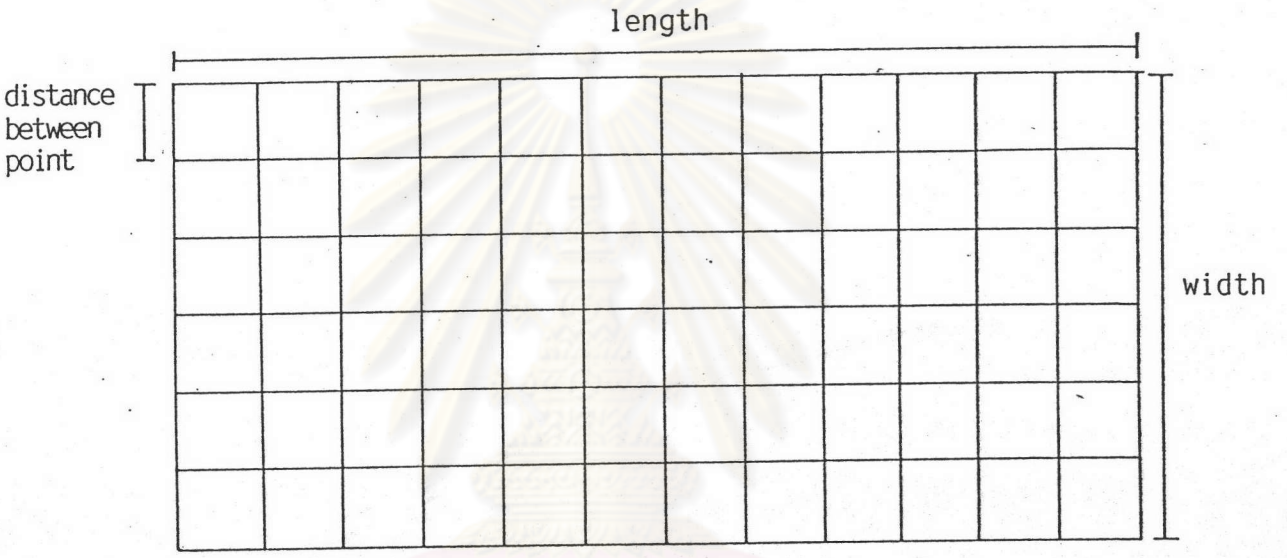


รูปที่ 4.3 แสดงการใช้ Quadratic Interpolation ของ Curve A จากรูปที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 จุดที่ต้องคำนวณ

จุดที่ต้องการคำนวณจะกระจายอยู่ภายในพื้นที่ของสนามรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งจะถูกตีตาราง (Grid) ที่มีช่วงห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน จุดที่คำนวณจะเป็นจุดตัดของเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงจุดที่ต้องการคำนวณภายในพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 คุณลักษณะความสว่าง

ในการคำนวณค่าความสว่างเฉลี่ย(Eav) จะต้องรู้ค่าความสว่างของจุดที่ต้องคำนวณทุกจุด และจำนวนจุดที่คำนวณ สำหรับการคำนวณค่า Overall Uniformity (U) จะต้องรู้ค่าความสว่างต่ำสุด ซึ่งอาจเป็นที่จุดใดก็ได้ภายในพื้นที่ที่ต้องคำนวณโดยการเปรียบเทียบแบบจุดต่อจุดซึ่งค่าที่ได้อาจจะไม่ตรงกับค่าในสนามดังได้กล่าวแล้ว และสามารถหาค่าความสว่างเฉลี่ย (Eav) และค่า U ได้ดังนี้

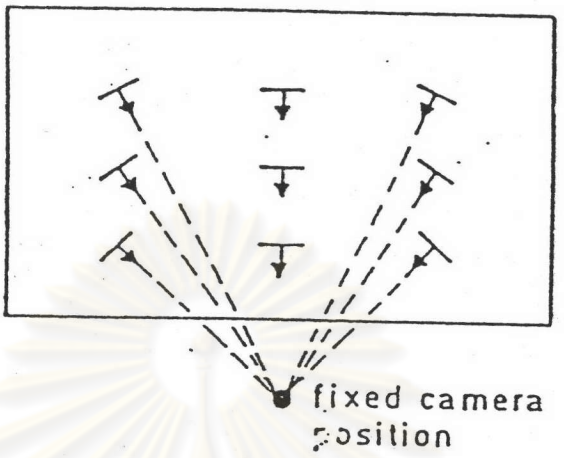
$$Eav = \frac{\text{ผลรวมของค่าความสว่างทุกจุด}}{\text{จำนวนจุดที่คำนวณทั้งหมด}} \qquad (4.8)$$

$$U = \frac{\text{ค่าความสว่างต่ำที่สุด}}{\text{ค่าความสว่างเฉลี่ย}} \qquad (4.9)$$

4.2.4 จุดสังเกตการณ์

ในการคำนวณค่าความสว่าง เพื่อการถ่ายทอดโทรทัศน์ในการออกแบบไฟสนามกีฬานั้น ตามมาตรฐาน CIE(CIE Pub.,1987) ได้ให้ข้อแนะนำไว้ดังนี้

เมื่อมีตำแหน่งของจุดสังเกตการณ์ที่แน่นอน การคำนวณค่าความสว่างให้คำนวณค่าความสว่างที่เกิดลงบนระนาบดิ่งที่หันหน้าเข้าหาจุดสังเกตการณ์ (ดูรูปที่4.5) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าค่าความสว่างเพียงพอหรือไม่ ในโปรแกรมนี้จะคำนวณค่าความสว่างบนระนาบดิ่งที่หันหน้าเข้าหาแนวสายตาผู้สังเกตการณ์



รูปที่ 4.5 แสดงระนาบที่คำนวณค่าความสว่างในแนวดิ่ง

4.3 การคำนวณค่าความส่องสว่างของวัตถุรูปทรงกระบอกที่ปรากฏต่อสายตาผู้สังเกตการณ์

4.3.1 การกำหนดจุดบนพื้นผิววัตถุรูปทรงกระบอกในโปรแกรมจะให้ผู้ใช้กำหนดข้อมูลของวัตถุรูปทรงกระบอก 3 ค่า คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของวัตถุและตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ฐานของวัตถุ แล้วคอมพิวเตอร์จะกำหนดจุดบนผิวทรงกระบอก ที่เบี่ยงเบนจากแนวของผู้สังเกตการณ์กับแกนกลางของทรงกระบอกไปทางซ้าย และทางขวามือของผู้สังเกตการณ์เป็นมุม ทุก ๆ 15 องศา ไปจนถึงมุม +90 องศา (ขวามือเป็น+) และ -90 องศา (ซ้ายมือเป็น-) และจะกำหนดที่ระดับความสูง 7 ระดับ ของวัตถุรูปทรงกระบอกโดยใช้สมการที่ (3.26) ถึง (3.34) ซึ่งเป็นการกำหนดจุดบนพื้นผิวครึ่งทรงกระบอก แต่ผู้สังเกตการณ์จะมองไม่เห็นทุกจุดโดยเฉพาะจุดที่มุม = +90 องศา และ -90 องศา ซึ่งคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบว่าจุดใดจะคำนวณ หรือไม่ โดยใช้เงื่อนไขในหัวข้อ 3.6.2

4.3.2 การคำนวณค่าความส่องสว่าง

ค่าความส่องสว่าง ณ จุดใด ๆ บนวัตถุรูปทรงกระบอกที่ผู้สังเกตการณ์มองเห็นโดยแนวจากผู้สังเกตการณ์ไปยังจุดที่คำนวณทำมุม θ กับ ระนาบผ่านจุดคำนวณและสัมผัสผิวทรงกระบอกนั้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณจากสมการ (3.25)

$$L(\theta) = \frac{Rd}{\pi} \sum_{i=1}^{n} E_i + \frac{Rs}{(2\pi/(n+1)).\cos(\theta)} \sum_{i=1}^{n} E_i \cos^n(\theta-\alpha_i)$$

ซึ่งคอมพิวเตอร์จะมีการตรวจสอบว่า โคมใดมีผลต่อการให้แสงมาตกบนจุดที่คำนวณหรือไม่ โดยใช้เงื่อนไขในหัวข้อ 3.6.3

4.3.3 จุดสังเกตการณ์

ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ในโคออดิเนต XYZ ไว้ที่ตำแหน่งใดก็ได้ แล้วแต่ผู้ใช้จะกำหนด ค่าความส่องสว่างที่ปรากฏต่อสายตาผู้สังเกตการณ์จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างจุดผู้สังเกตการณ์ กับจุดคำนวณแต่จะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแนวจากผู้สังเกตการณ์มายังจุดคำนวณ กับแนวแสงสะท้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูลซึ่งจำเป็นต้องใส่เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณมีดังต่อไปนี้

4.4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับสนามหรือพื้นที่ (Field Description)

ก. ความกว้างของสนาม

ข. ความยาวของสนาม

ค. ระยะห่างระหว่างจุดที่คำนวณ

4.4.2 รายละเอียดการติดตั้งโคมไฟ (Geometry of Fixture Arrengement)

ก. ตำแหน่งของเสาบนระนาบ XY

ข. ความสูงของเสา

ค. ชนิดของโคมไฟที่ใช้ จุดเล็งของโคมไฟแต่ละโคมบนเสาในระนาบ XY

จ. จำนวนโคมไฟบนเสาที่เล็งไปยังจุดเดียวกัน

4.4.3 รายละเอียดของดวงโคม

ก. การกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมที่ใช้

ข. ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า

4.4.4 ระดับความสูงของจุดที่คำนวณค่าความสว่างบนระนาบนอน

4.4.5 รายละเอียดในการคำนวณค่าความสว่างบนระนาบดิ่ง

ก. ระดับความสูงของจุดที่คำนวณค่าความสว่าง

ข. ตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ในโคออดิเนต xyz

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.6 รายละเอียดในการคำนวณค่าความส่องสว่าง ของวัตถุรูปทรงกระบอก ที่ปรากฏต่อผู้สังเกตการณ์

ก. เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ

ข. ขนาดความสูงของวัตถุ

ค. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ฐานของวัตถุในโคออนิเนต XYZ

ง. คุณลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิววัตถุ

จ. ตำแหน่งของผู้สังเกตการณ์ในโคออดิเนต XYZ

4.5 ข้อกำหนดของการใช้โปรแกรม

ข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมนี้มีข้อจำกัดดังนี้คือ

4.5.1 สนามมีพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยม

4.5.2 โคมที่อยู่บนเสาเดียวกัน โปรแกรมจะคิดว่าตำแหน่งของโคมอยู่ตำแหน่งเดียวกันแต่ในทางปฏิบัติแล้วตำแหน่งของโคมจะวางตัวอยู่ห่างกันเล็กน้อย

4.5.3 ระดับความสูงของจุดที่คำนวณค่าความสว่าง หรือค่าความส่องสว่างจะต้องไม่สูงเกินไปกว่าความสูงของเสา

4.5.4 วัตถุที่ถูกคำนวณหาค่าความส่องสว่างเป็นวัตถุรูปทรงกระบอก

4.5.5 ค่ากระจายความเข้มส่องสว่าง I(H,V) จะเก็บไว้ในแผ่นแม่เหล็ก(Disks) เมื่อเลือกชนิดโคมแล้วโปรแกรมจะไปดึงข้อมูลที่เก็บไว้มาใช้ในการคำนวณเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม

เมื่อทำการป้อนข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณเรียบร้อยแล้วโปรแกรมสามารถแสดงผลการคำนวณในรูปแบบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

4.6.1 ตารางแสดงค่าความสว่างบนระนาบนอน

4.6.2 ตารางแสดงค่าความสว่างบนระนาบดิ่ง

4.6.3 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างของวัตถุรูปทรงกระบอกที่ปรากฏต่อผู้สังเกตการณ์

4.6.4 คุณลักษณะความสว่าง ได้แก่

ก. ความสว่างเฉลี่ย (Eav)

ข. ค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง (Emin/Eav)

4.6.5 รูป Isolux Diagram ซึ่งสามารถแสดงผลทางจอภาพ เครื่องพิมพ์ (Printer) หรือ Plotter ได้ตามต้องการ

4.6.6 รูปแสดงการกระจายค่าความสว่างในลักษณะ 3 มิติ ซึ่งสามารถแสดงผลทางจอภาพ เครื่องพิมพ์ (Printer) หรือ Plotter ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย