บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการส่องสว่าง ระนาบนอน และการส่องสว่างระนาบตั้ง

4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้วัดแสง (Lux Meter)

ในการทำการทดสอบตามขั้นตอนการวิจัย ต้องทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ทั้ง 2 เครื่อง ได้แก่ Minolta - Lux Meter และ Minolta T -10 ในสภาพท้องฟ้าจริง ในช่วงระดับความส่องสว่างไม่เกินค่าความสามารถของเครื่องมือวัดได้ คือ ในช่วง 0 – 50,000 ลักซ์ เก็บบันทึกข้อมูลจำนวน 50 ครั้ง จากนั้นนำค่าความส่องสว่างที่ได้มาเปรียบเทียบ และ วิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยสมการถดถอยเชิงเส้น เพื่อปรับค่าความสว่างที่วัดได้จากอุปกรณ์ทั้งสองตัวให้เทียบเท่ากัน

จากการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างที่วัดได้จากเครื่องมือวัดแสงทั้ง 2 เครื่อง พบว่า มีความคลาดเคลื่อนระหว่างเครื่องมือวัดแสง Minolta - Lux Meter (X) และ Minolta T –10 (Y) ประมาณ 73.79 % โดยนำผลที่วัดได้จากเครื่อง Minolta T –10 (Y) มาหาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์วัดแสงทั้งสองตัว เพื่อปรับผลการวัดให้ได้มาตรฐาน ด้วยสมการ

$$Y \text{ (Minolta T –10)} = 1.211825\ X \text{ (Minolta - Lux Meter)}$$

4.2 สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization, CU)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของหุ่นจำลองอาคารกรณีศึกษา จึงได้จากการเปรียบเทียบระดับความสว่างที่ได้จากการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลองกับระดับความสว่างที่ได้จากการคำนวณ

ในการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลองใช้การจำลองแบบแผ่นสะท้อนแสงในดวงโคมจำลองที่มีขนาดมาตราส่วนเดียวกันกับหุ่นจำลอง โดยวิธีแผนภูมิเส้นแสง (Ray Diagram)[1]

---

[1] ดูภาคผนวก ข.

คำนวณสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์หาได้จาก

$$CU = \frac{\text{E จากการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลอง}}{\text{E จากการคำนวณ}}$$

$$= \frac{368.84}{500} = 0.73$$

นอกจากนี้ แสงบางส่วนที่ตกกระทบพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน สะท้อนออกไปและสะท้อนกลับมาตกลงบนพื้นที่ใช้งาน สามารถพิจารณาจาก ประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรง(Effective Cavity Reflectance) ซึ่งหาได้จากการคำนวณอัตราส่วนโพรง(Cavity Ratio)ทั้งสาม ได้แก่

- อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio, CCR)

  CCR = 5 hcc (W + L) / W * L

  = 2.22

- อัตราส่วนตัวห้อง (Room Cavity Ratio, RCR)

  RCR = 5 hrc (W + L) / W * L

  = 0.76

- อัตราส่วนใต้พื้นงาน (Floor Cavity Ratio, FCR)

  FCR = 5 hfc (W + L) / W * L

  = 1.36

นำค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ไปหาประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงโดยใช้ตารางของ IES (Illumination Engineering Society)

- ค่า $p\,c$ = 56 %
- ค่า $p\,w$ = 50 %
- ค่า $p\,f$ = 28 %

4.3 พิจารณาความสว่างระนาบนอน (Horizontal Illumination)

4.3.1 จำนวนหลอด และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

จากการกำหนดระดับความสว่างที่ระดับใช้งาน(Working Plane) 500 ลักซ์ เพื่อพิจารณาระดับความสว่างเฉลี่ยของทั้งห้อง ของหล อดฟลูออเรสเซนต์ในดวงโคมที่มีแผ่นสะท้อนแสง(Reflector) 95% ในกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี คือ

1. หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง
3. หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความสว่างที่ใช้ในการคำนวณ เมื่อคิดประสิทธิภาพแล้วของหลอดกรณีต่างๆ

กรณี	หลอด	LLF (%)	ค่าความสว่าง (ลูเมน)	Reflactor(95%) (ลูเมน)	ลูเมน / วัตต์	ใช้ร่วมกับบัลลาสต์
1	หลอดมาตรฐาน 2600 ลูเมน 36 วัตต์	80	2080	1976.00	54.89	• ขดลวดแกนเหล็ก • ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง • อิเล็กทรอนิกส์
2	หลอดประสิทธิภาพสูง 3250 ลูเมน 36 วัตต์	90	2925	2778.75	77.188	• ขดลวดแกนเหล็ก • ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง • อิเล็กทรอนิกส์
3	หลอด TL 5 2900 ลูเมน 28 วัตต์	95	2755	2617.25	93.47	• อิเล็กทรอนิกส์

(ที่มา: เอกสารเผยแพร่ กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ,2541)

ปริมาณแสงสว่างรวมเมื่อกำหนดให้ระดับความสว่าง 500 ลักซ์

พื้นที่ห้องเรียนขนาด 69 ตร.ม.

พื้นที่ส่วนโต๊ะเรียน (Working plane) 36.4 ตร.ม.

พื้นที่ส่วนทางเดิน(Circulation) 32.6 ตร.ม

$$E = (\text{Lumen / area}) \times cu$$

$$500 = (\text{Lumen} / 36.4) \times 0.73$$

$$\text{Lumen} = 24931.50 \text{ ลูเมน}$$

4.3.2 ตำแหน่ง รูปแบบ และความสูงที่สัมพันธ์กับห้องเรียน

การจัดรูปแบบของดวงโคมสามารถจัดได้ 2 ลักษณะ คือ การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง และการจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง การจัดรูปแบบดวงโคมทั้ง 2 รูปแบบ คำนึงถึงการกระจายแสงในด้านหัวท้ายของดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ ความต่อเนื่อง คลอบคลุมพื้นที่ของมุมลำแสง แต่ยังไม่คำนึงถึงระดับความสูงจากพื้นห้อง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริง

การพิจารณาดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ 3 ชนิด ทั้งแบบจัดวางดวงโคมตามยาวของห้องและจัดวางดวงโคมตามขวางของห้อง

กรณีที่ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน

- **จำนวนหลอด และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้**

จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน ประสิทธิภาพ1976 ลูเมน 36 วัตต์

จำนวนหลอด = 24931.50 / 1976

= 12.62 ~ **14 หลอด**

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดจากบัลลาสต์ชนิดต่างๆต่อประสิทธิภาพของหลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน

บัลลาสต์	พลังงานไฟฟ้า (w / m^2)	ความร้อน (BTU / h)
ขดลวดแกนเหล็ก	46(ballast lost 10) X 14 / 69 = 9.33	31.84
ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง	42(ballast lost 6) X 14 / 69 = 8.52	29.08
อิเล็กทรอนิกส์	40(ballast lost 4) X 14 / 69 = 8.12	27.69

- **การจัดรูปแบบของดวงโคม**

พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมและมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle) ทางด้านหัว-ท้ายของดวงโคม เมื่อกำหนดให้มุมลำแสงครอบคลุม ต่อเนื่องกัน ระดับโต๊ะเรียน(Working Plane) สูงจากพื้น 0.60 เมตร และ ให้มุมลำแสงตัดกันที่ความสูง 1.20 เมตร จากพื้นห้อง ซึ่งเป็นระดับศีรษะของนักเรียนขณะนั่งเรียน เพื่อไม่ให้เกิดเงามืด ที่หน้าของนักเรียน

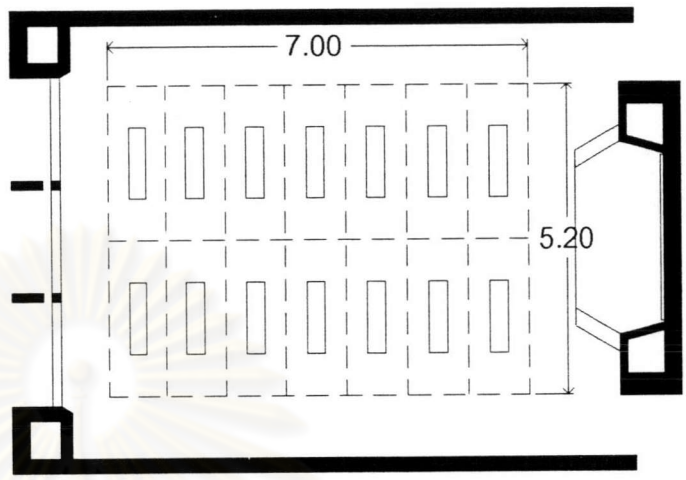
กรณีที่ 1 ต้องใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐานเป็นจำนวน 14 หลอด สามารถจัดได้เพียงรูปแบบเดียว คือ

กรณีที่ 1.1 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง

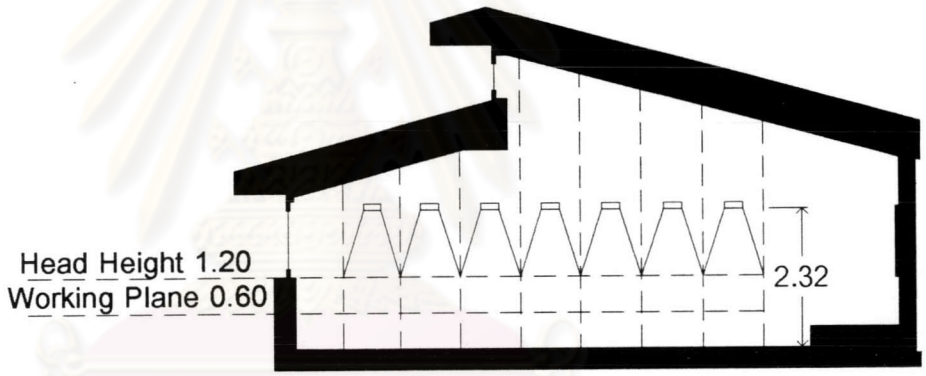
เนื่องจากกรณีการจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง ดวงโคมที่เรียงต่อกันมีความยาวกว่าพื้นที่ใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

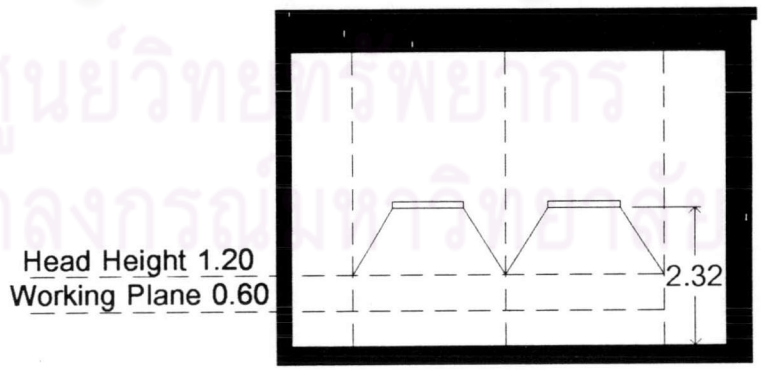
กรณีที่ 1.1 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



- **ผังการจัดวางดวงโคม**



- **รูปตัดตามยาว**



- **รูปตัดตามขวาง**

รูปที่ 4.1 ผังพื้นและรูปตัดการจัดทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้องกรณีที่ 1.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 1.1 ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน 1976 ลูเมน จำนวน 10 หลอด ต่อพื้นที่ 36.4 ตร.ม.

ดังนั้น พื้นที่ต่อ 1 ดวงโคม เท่ากับ 36.4 / 14 = 2.60 ตร.ม.

ค่าความสว่างพื้นที่ใต้ดวงโคม เท่ากับ

E = L / A x CU

= 1976/2.60 x 0.73

= 554.8 ลักซ์

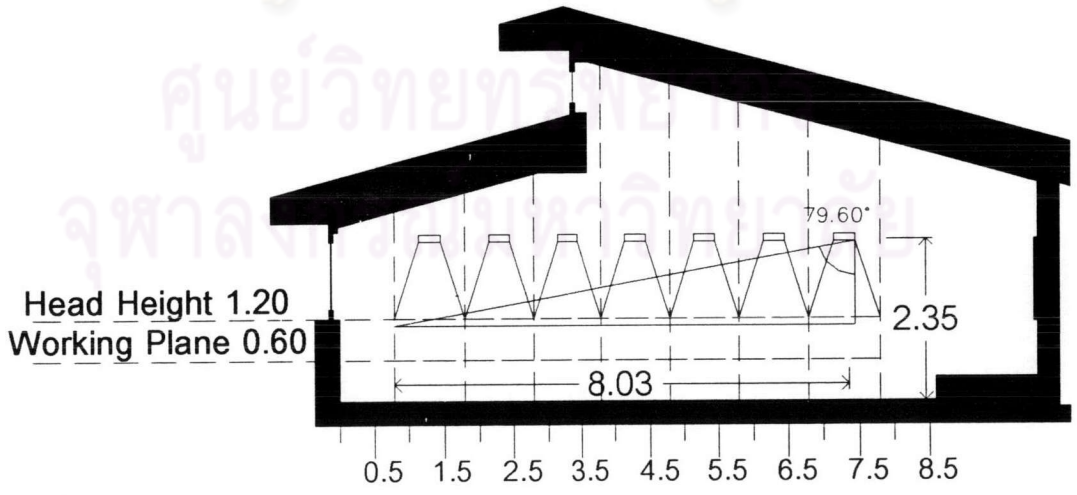
หรือ = **51.56** ฟุตแคนเดิล

- **ระดับความจ้าจากตำแหน่งของดวงโคม**

พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมที่จัดตามขวางของห้องมีความสูงจากพื้น 2.32 เมตร ดวงโคมที่จัดตามยาวของห้องมีความสูงจากพื้น 1.36 เมตร ซึ่งเป็นความสูงที่เกิดจากการตัดกันของมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ พบว่า ระดับขอบบนของกระดานอยู่ที่ 2.35 เมตร จึงถือว่าเป็นระดับที่ต่ำที่สุดในการกำหนดระดับความสูงของดวงโคม เพื่อมิให้รู้สึกถูกบดบังสายตา อันเป็นการสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียน

หากกำหนดระดับความสูงของดวงโคมสูงกว่า 2.35 เมตร จะช่วยให้โอกาสเกิดแสงจ้าจากดวงโคมลดลง เนื่องจากมุมเงยของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้น และผู้เรียนสามารถยอมรับระดับความจ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย

กรณีที่ 1.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน ทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



รูปที่ 4.2 แสดงรูปตัดตามยาวของห้อง กรณีที่ 1.1

ความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

$$fc = (fL \times W) / 2D$$

ดังนั้น

$$fL = (fc \times 2D) / W$$

W (ฟุต)	fc (ฟุตแคนเดิล)	cosθ	2D (ฟุต)	fL(ฟุตแลมเบิร์ต)
3	51.56	79.60	2(27.09)	**168.09**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงประสิทธิภาพ

- **จำนวนหลอด และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้**

จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงประสิทธิภาพ 2778.75 ลูเมน 36 วัตต์

จำนวนหลอด = 24931.50 / 2778.75

= 8.97 ~ **10 หลอด**

เมื่อพิจารณาถึงการจัดวางตำแหน่งดวงโคม เพื่อให้มุมลำแสงครอบคลุมพื้นที่ต่อเนื่องกัน จำเป็นต้องจัดวางตำแหน่งของดวงโคมเป็นคู่ ดังนั้นในกรณีนี้จึงต้องใช้หลอดไฟเป็นจำนวน **10 หลอด**

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดจากบัลลาสต์ชนิดต่างๆต่อประสิทธิภาพของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง

บัลลาสต์	พลังงานไฟฟ้า (w / m^2)	ความร้อน (BTU / h)
ขดลวดแกนเหล็ก	46(ballast lost 10) X 10 / 69 = 6.67	22.75
ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง	42(ballast lost 6) X 10 / 69 = 6.09	20.77
อิเล็กทรอนิกส์	40(ballast lost 4) X 10 / 69 = 5.80	19.78

- **การจัดรูปแบบของดวงโคม**

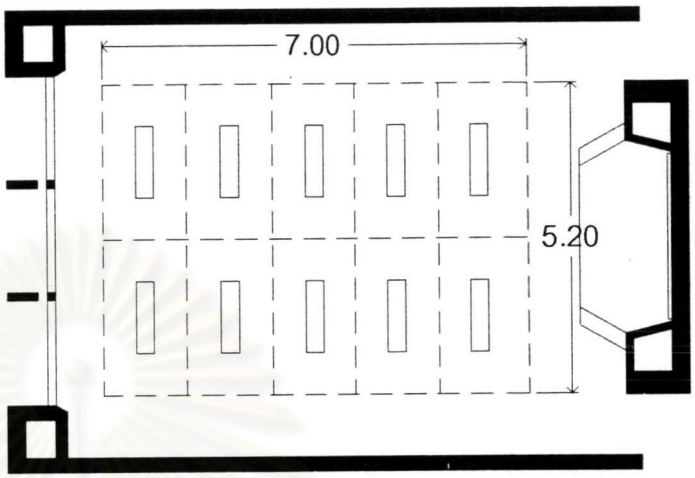
พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมและมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle) ทางด้านหัว-ท้ายของดวงโคม เมื่อกำหนดให้มุมลำแสงครอบคลุม ต่อเนื่องกัน ระดับโต๊ะเรียน(Working Plane) สูงจากพื้น 0.60 เมตร และ ให้มุมลำแสงตัดกันที่ความสูง 1.20 เมตร จากพื้นห้อง ซึ่งเป็นระดับศีรษะของนักเรียนขณะนั่งเรียน เพื่อไม่ให้เกิดเงามืด ที่หน้าของนักเรียน

กรณีที่ 2 ต้องใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงประสิทธิภาพเป็นจำนวน 8 หลอด สามารถจัดได้ 2 รูปแบบ คือ

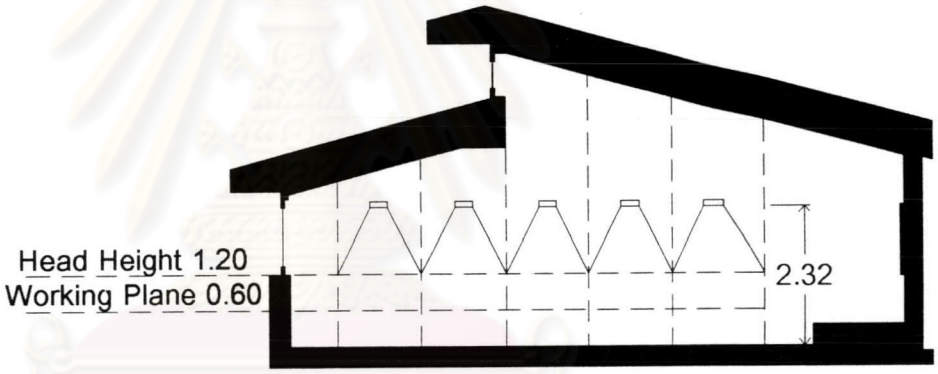
กรณีที่ 2.1 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง

กรณีที่ 2.2 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง

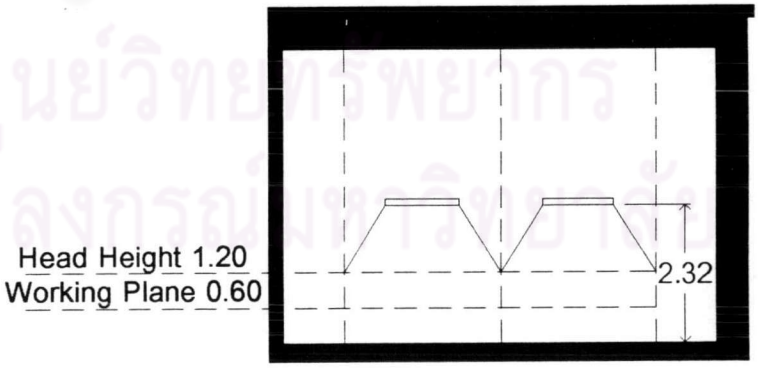
กรณีที่ 2.1 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



- ผังการจัดวางดวงโคม



- รูปตัดตามยาว

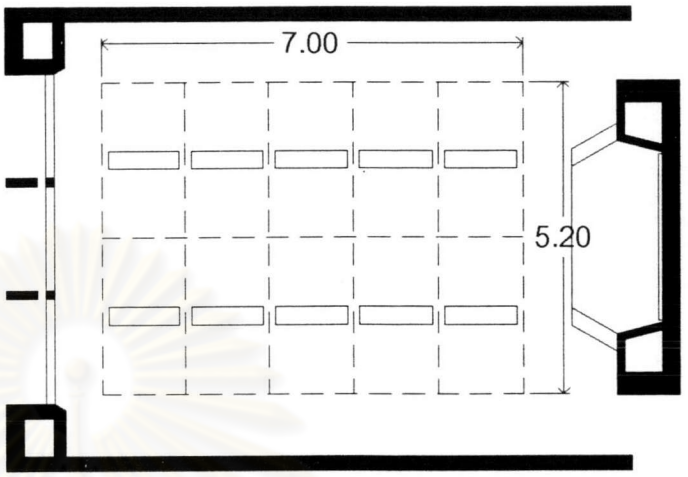


- รูปตัดตามขวาง

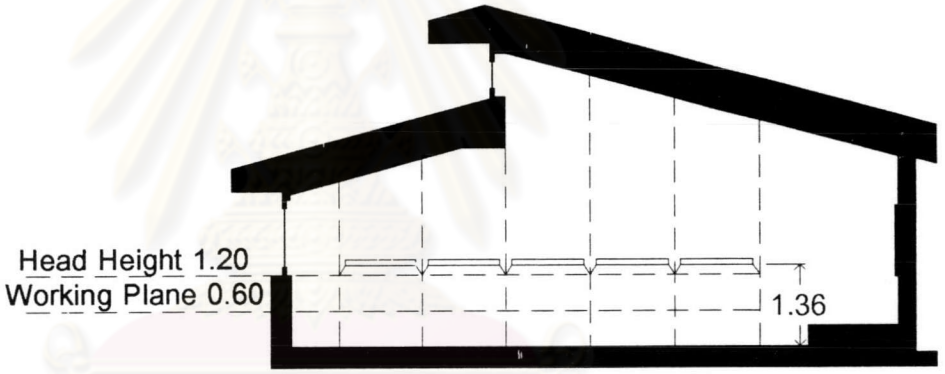
รูปที่ 4.3 ผังพื้นและรูปตัดการจัดทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง กรณีที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

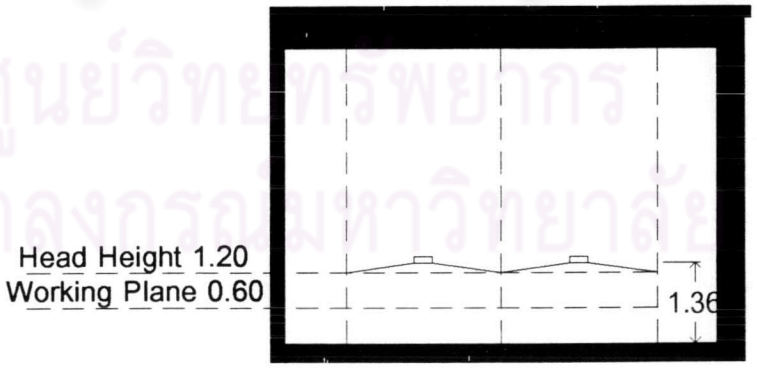
กรณีที่ 2.2 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง



- **ผังการจัดวางดวงโคม**



- **รูปตัดตามยาว**



- **รูปตัดตามขวาง**

รูปที่ 4.4 ผังพื้นและรูปตัดการจัดทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง กรณีที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 2.1 และ 2.2 ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง 2778.75 ลูเมน จำนวน 8 หลอด ต่อพื้นที่ 36.4 ตร.ม.

ดังนั้น พื้นที่ต่อ 1 ดวงโคม เท่ากับ 36.4 / 10 = 3.64 ตร.ม.

ค่าความสว่างพื้นที่ใต้ดวงโคม เท่ากับ

E = L / A x CU

= 2778.75 / 3.64 x 0.73

= 557.28 ลักซ์

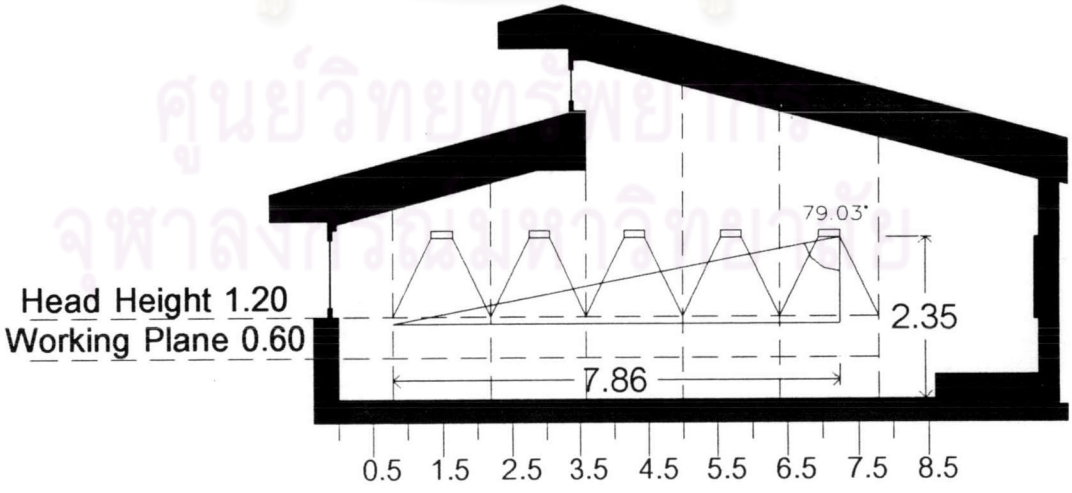
หรือ = **51.79** ฟุตแคนเดิล

- **ระดับความจ้าจากตำแหน่งของดวงโคม**

พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมที่จัดตามขวางของห้องมีความสูงจากพื้น 2.32 เมตร ดวงโคมที่จัดตามยาวของห้องมีความสูงจากพื้น 1.64 เมตรซึ่งเป็นความสูงที่เกิดจากการตัดกันของมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ พบว่า ระดับขอบบนของกระดานอยู่ที่ 2.35 เมตร จึงถือว่าเป็นระดับที่ต่ำที่สุดในการกำหนดระดับความสูงของดวงโคม เพื่อมิให้รู้สึกถูกบดบังสายตา อันเป็นการสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียน

หากกำหนดระดับความสูงของดวงโคมสูงกว่า 2.35 เมตร จะช่วยให้โอกาสเกิดแสงจ้าจากดวงโคมลดลง เนื่องจากมุมเงยของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้น และผู้เรียนสามารถยอมรับระดับความจ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย

กรณีที่ 2.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง ทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



รูปที่ 4.5 แสดงรูปตัดตามยาวของห้องกรณีที่ 2.1

ความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

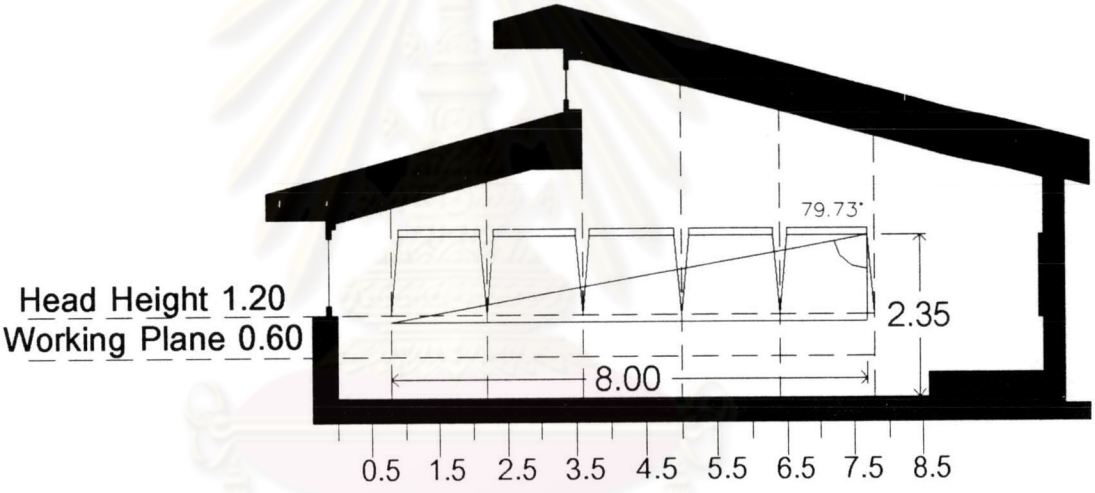
$$fc = (fL \times W) / 2D$$

ดังนั้น

$$fL = (fc \times 2D) / W$$

W (ฟุต)	fc (ฟุตแคนเดิล)	cosθ	2D (ฟุต)	fL(ฟุตแลมเบิร์ต)
3	51.79	79.03	2(26.53)	**174.31**

กรณีที่ 2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง ทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง



รูปที่ 4.6 แสดงรูปตัดตามยาวของห้อง 2.2

ความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

$$fc = (fL \times W) / 2D$$

ดังนั้น

$$fL = (fc \times 2D) / W$$

W (ฟุต)	fc (ฟุตแคนเดิล)	cosθ	2D (ฟุต)	fL(ฟุตแลมเบิร์ต)
3	51.79	79.73	2(26.99)	**166.14**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 3 หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5

- **จำนวนหลอด และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้**

จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5 ประสิทธิภาพ 2617.25 ลูเมน 28 วัตต์

จำนวนหลอด = 24931.50 / 2617.25

= 9.53 ~ **10 หลอด**

เมื่อพิจารณาถึงการจัดวางตำแหน่งดวงโคม เพื่อให้มุมลำแสงครอบคลุมพื้นที่ต่อเนื่องกัน จำเป็นต้องจัดวางตำแหน่งของดวงโคมเป็นคู่ ดังนั้นในกรณีนี้จึงต้องใช้หลอดไฟเป็นจำนวน **10 หลอด**

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดจากบัลลาสต์ชนิดต่างๆต่อประสิทธิภาพของหลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5

บัลลาสต์	พลังงานไฟฟ้า (w / m^2)	ความร้อน (BTU / h)
อิเล็กทรอนิกส์	32(ballast lost 4) X 10 / 69 = 4.64	15.82

- **การจัดรูปแบบของดวงโคม**

พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมและมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle) ทางด้านหัว-ท้ายของดวงโคม เมื่อกำหนดให้มุมลำแสงครอบคลุม ต่อเนื่องกัน ระดับโต๊ะเรียน(Working Plane) สูงจากพื้น 0.60 เมตร และ ให้มุมลำแสงตัดกันที่ความสูง 1.20 เมตร จากพื้นห้อง ซึ่งเป็นระดับศีรษะของนักเรียนขณะนั่งเรียน เพื่อไม่ให้เกิดเงามืด ที่หน้าของนักเรียน

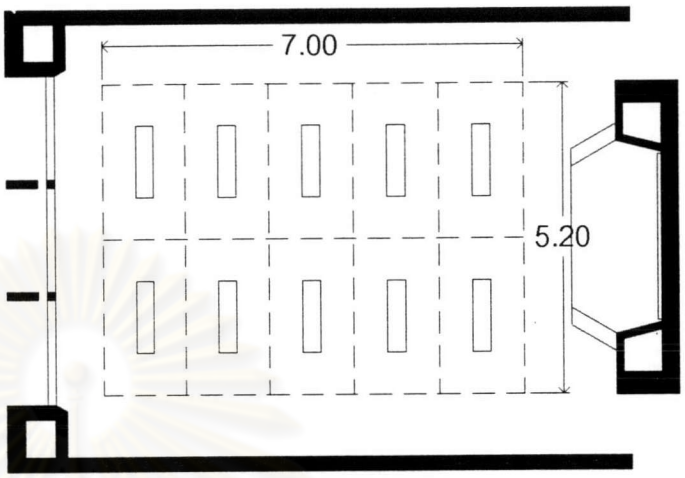
กรณีที่ 3 ต้องใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5เป็นจำนวน 8 หลอด สามารถจัดได้ 2 รูปแบบ คือ

กรณีที่ 3.1 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง

กรณีที่ 3.2 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของ

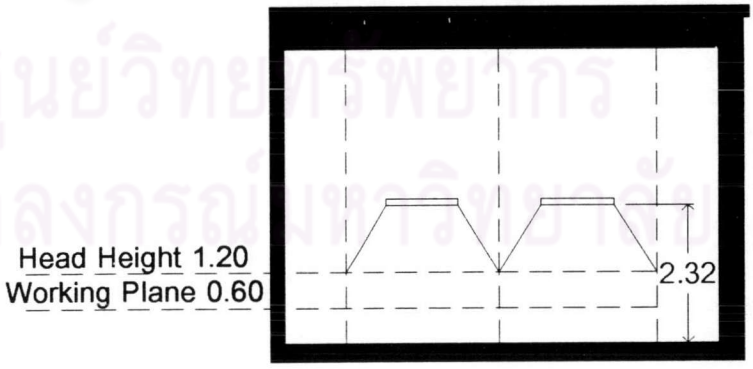
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 3.1 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



- **ผังการจัดวางดวงโคม**

- **รูปตัดตามยาว**

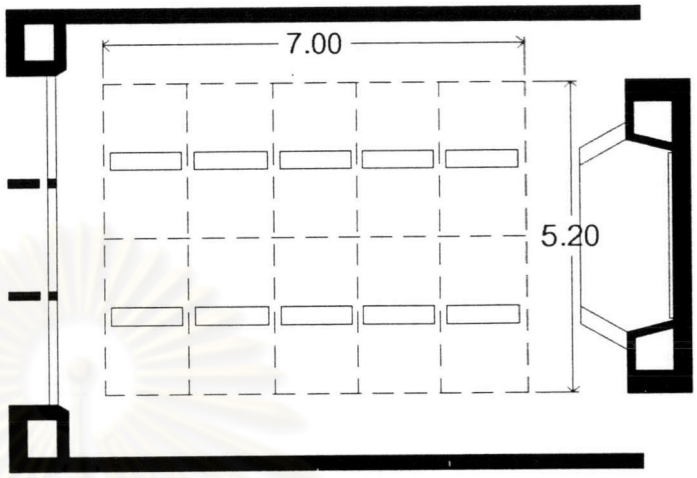


- **รูปตัดตามขวาง**

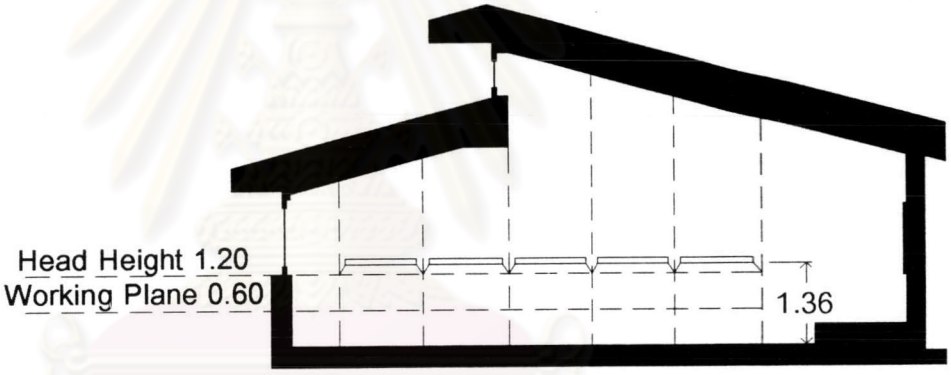
รูปที่ 4.7 ผังพื้นและรูปตัดการจัดทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง กรณีที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

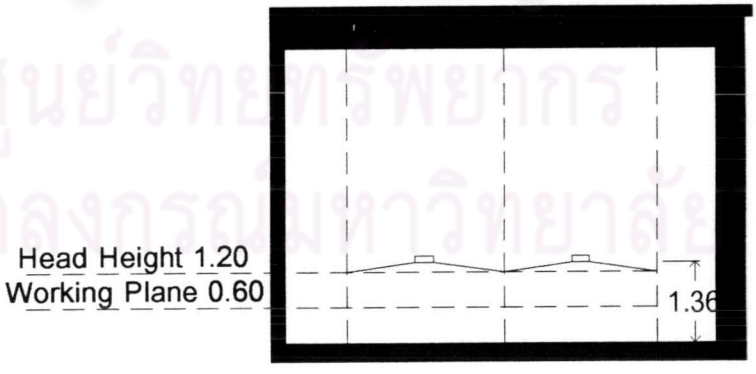
กรณีที่ 3.2 การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง



- **ผังการจัดวางดวงโคม**



- **รูปตัดตามยาว**



- **รูปตัดตามขวาง**

รูปที่ 4.8 ผังพื้นและรูปตัดการจัดทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง กรณีที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 3.1 และ 3.2 **ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5 2617.25 ลูเมน จำนวน 8 หลอด ต่อพื้นที่** 36.4 ตร.ม.

ดังนั้น พื้นที่ต่อ 1 ดวงโคม เท่ากับ 36.4 / 10 = 3.64 ตร.ม.

ค่าความสว่างพื้นที่ใต้ดวงโคม เท่ากับ

E = L / A x CU

= 2617.25 / 3.64 x 0.73

= 524.89 **ลักซ์**

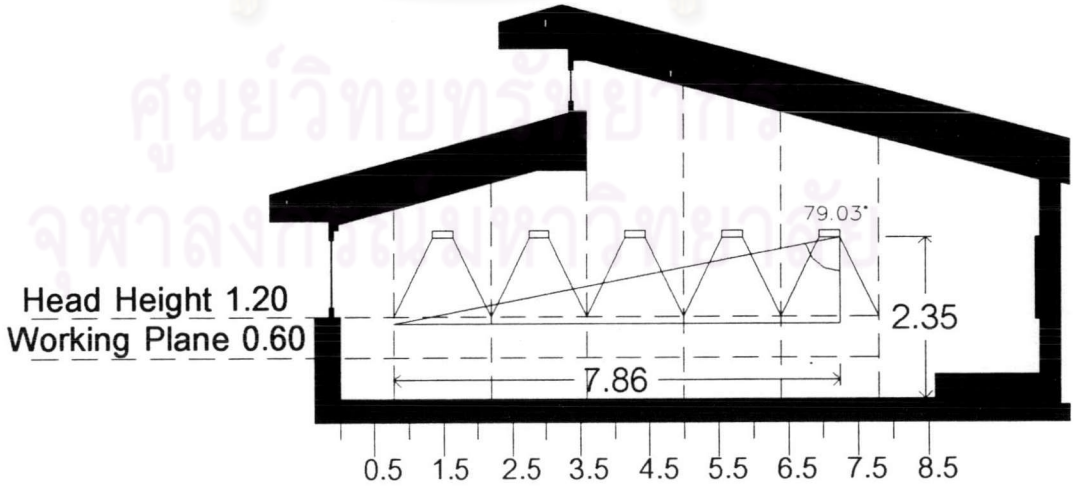
หรือ = **48.78** **ฟุตแคนเดิล**

- **ระดับความจ้าจากตำแหน่งของดวงโคม**

พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมที่จัดตามขวางของห้องมีความสูงจากพื้น 2.32 เมตร ดวงโคมที่จัดตามยาวของห้องมีความสูงจากพื้น 1.64 เมตร ซึ่งเป็นความสูงที่เกิดจากการตัดกันของมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle) เมื่อเปรียบเทียบกับระดับใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ พบว่า ระดับขอบบนของกระดานอยู่ที่ 2.35 เมตร จึงถือว่าเป็นระดับที่ต่ำที่สุดในการกำหนดระดับความสูงของดวงโคม เพื่อมิให้รู้สึกถูกบดบังสายตา อันเป็นการสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียน

หากกำหนดระดับความสูงของดวงโคมสูงกว่า 2.35 เมตร จะช่วยให้โอกาสเกิดแสงจ้าจากดวงโคมลดลง เนื่องจากมุมเงยของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้น และผู้เรียนสามารถยอมรับระดับความจ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย

กรณีที่ 3.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5 ทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



รูปที่ 4.9 แสดงรูปตัดตามยาวของห้อง กรณีที่ 3.1

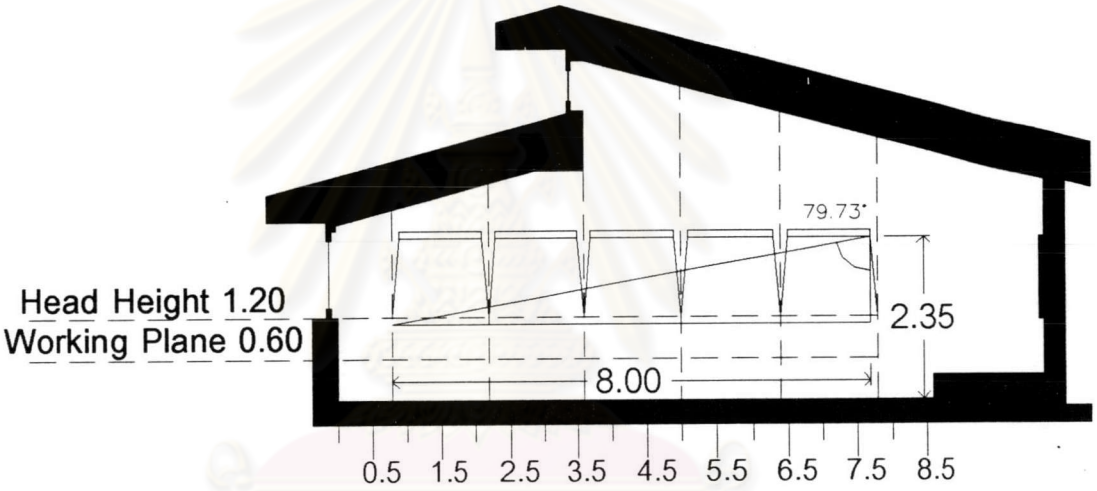
ความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

fc = (fL x W) / 2D

ดังนั้น fL = (fc x 2D) / W

W (ฟุต)	fc (ฟุตแคนเดิล)	cosθ	2D (ฟุต)	fL(ฟุตแลมเบิร์ต)
3	48.78	79.03	2(26.53)	**164.18**

กรณีที่ 3.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL 5 ทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง



รูปที่ 4.10 แสดงรูปตัดตามยาวของห้อง กรณีที่ 3.2

ความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

fc = (fL x W) / 2D

ดังนั้น fL = (fc x 2D) / W

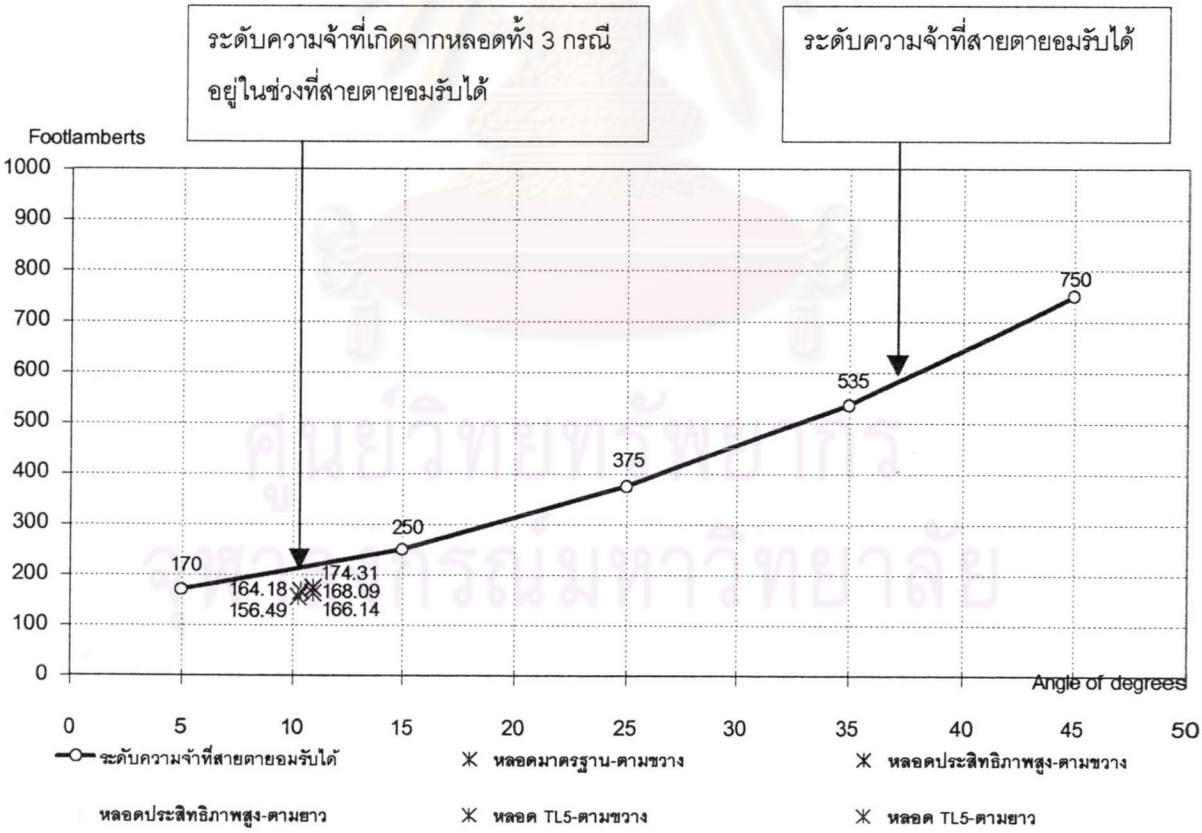
W (ฟุต)	fc (ฟุตแคนเดิล)	cosθ	2D (ฟุต)	fL(ฟุตแลมเบิร์ต)
3	48.78	79.73	2(26.99)	**156.49**

4.4 ระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้จากตำแหน่งของดวงโคม

พิจารณาระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้จากตำแหน่งของดวงโคม โดยเทียบกับแสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองต่างๆกัน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าค่าเฉลี่ยโดยประมาณของความสว่างที่สายตายอมรับได้

มุมเงยจากระดับสายตา (องศา)	ค่าเฉลี่ยโดยประมาณของความสว่างที่สายตายอมรับได้ (Footlamberts)
90°	1000
45°	750
35°	535
25°	375
15°	250
0°-5°	170



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงค่าความจ้าจากดวงโคมรูปแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบหลอดฟลูออเรสเซนต์ในกรณีต่างๆ

หลอด	จำนวนหลอด	รูปแบบ	ความสว่าง (Fc)	ความสว่างในมุมมอง(Fl)	มุมเงยจากระดับสายตา(องศา)	ระยะห่างจากจุดสังเกต(Feet)	ระดับความสูง (m)	บัลลาสต์	พลังงานไฟฟ้า (w/Sq.m.)
หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน	14	ตามขวาง	51.56	168.09	10.40	27.09	2.35	ขดลวดแกนเหล็ก ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง อิเล็กทรอนิกส์	6.67 6.09 5.80
หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง	10	ตามขวาง ตามยาว	51.79 51.79	174.31 166.14	10.97 10.27	26.53 26.99	2.35	ขดลวดแกนเหล็ก ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง อิเล็กทรอนิกส์	5.34 4.88 4.64
หลอดฟลูออเรสเซนต์ TI5	10	ตามขวาง ตามยาว	48.78 48.78	164.18 156.49	10.97 10.27	26.53 26.99	2.35	อิเล็กทรอนิกส์	3.71

พิจารณาตารางเปรียบเทียบหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า เมื่อนำหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิดมาจัดวางตำแหน่งใช้งานตามยาวและตามขวางของห้องได้เป็น 5 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบได้ระดับความสว่างที่ 500 ลักซ์ใกล้เคียงกัน แต่หลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 ชนิดต้องใช้จำนวนหลอดและบัลลาสต์แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกันด้วย โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐานกับบัลลาสต์แกนเหล็ก ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด 6.67 วัตต์ต่อตารางเมตร และหลอดฟลูออเรสเซนต์ TL5 กับบัลลาสต์อิเลคทรอนิก ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุด 3.71 วัตต์ต่อตารางเมตร

เมื่อพิจารณาระดับความจ้าของดวงโคมที่ระดับความสูง 2.35 เมตร พบว่าทั้ง 5 รูปแบบ มีระดับความจ้าอยู่ในช่วง 156.49 –172.69 ฟุตแลมเบิร์ต มุมเงยจากระดับสายตาอยู่ในช่วง10.27 – 10.78 องศา ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้

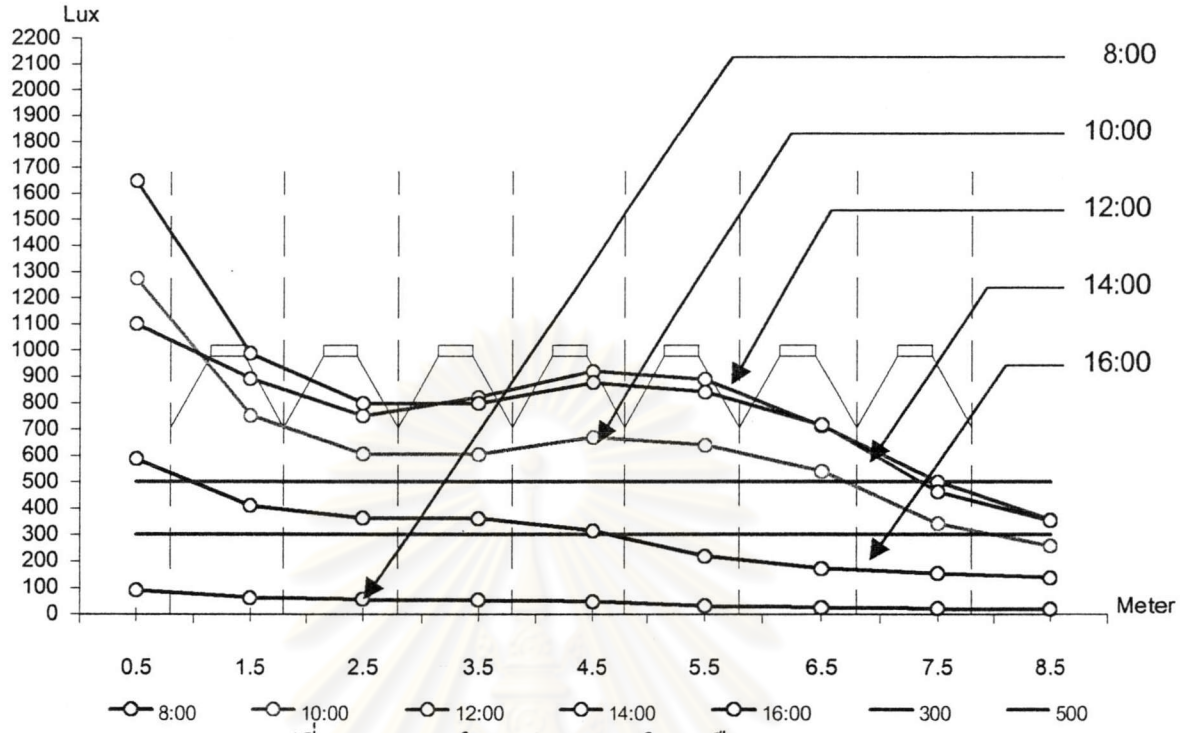
4.5 ปริมาณความส่องสว่างภายในที่ต้องการเพิ่ม

ในการพิจารณาค่าความสว่างภายในที่ได้จากแสงธรรมชาติ พบว่า พื้นที่บางส่วนมีระดับความสว่างไม่เพียงพอตามเกณฑ์มาตรฐาน 500 ลักซ์ จึงต้องการระดับความสว่างเพิ่มจากแสงประดิษฐ์ โดยพิจารณาจากรูปแบบการจัดวางตำแหน่งดวงโคมทั้ง 6 รูปแบบ เพื่อให้เกิดความสัมพันธ์ของลักษณะการกระจายแสงจากดวงโคมกับลักษณะการกระจายแสงจากแสงธรรมชาติ

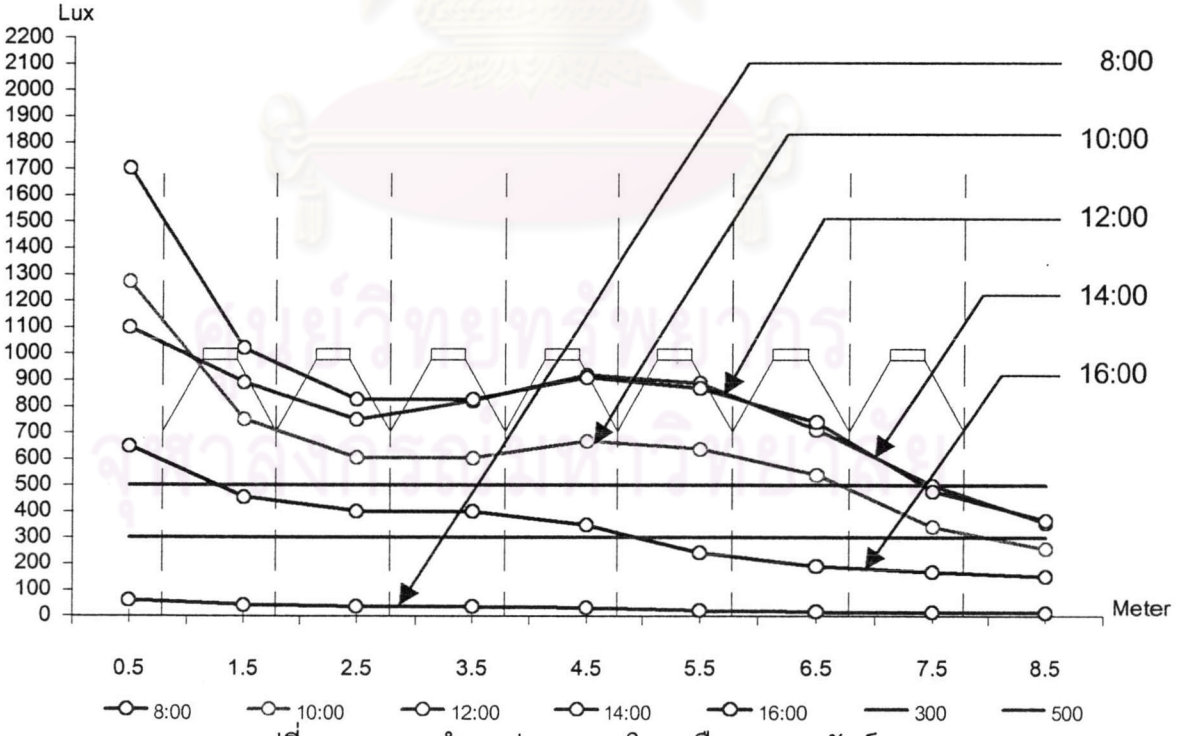
รูปแบบการจัดวางดวงโคมฟลูออเรสเซนต์โดยการจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางและตามยาวของห้องนั้น หลอดทั้ง 3 ชนิดมีตำแหน่งในการจัดวางดวงโคมเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ระดับแสงจ้าที่สายตายอมรับได้ และจำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงเท่ากับจำนวนของหลอดฟลูออเรสเซนต์ TL5 จึงนำมาพิจารณาเพียง 2 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ 14 ดวงโคม
- รูปแบบที่ 2 ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ 10 ดวงโคม

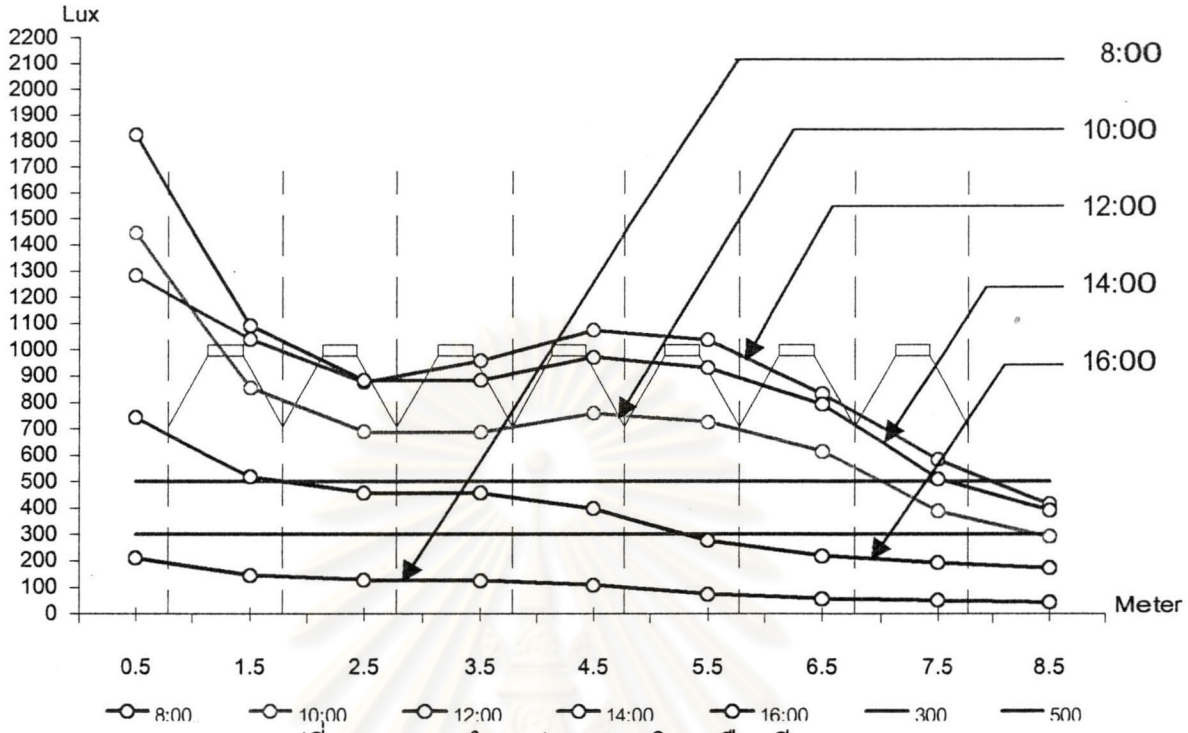
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



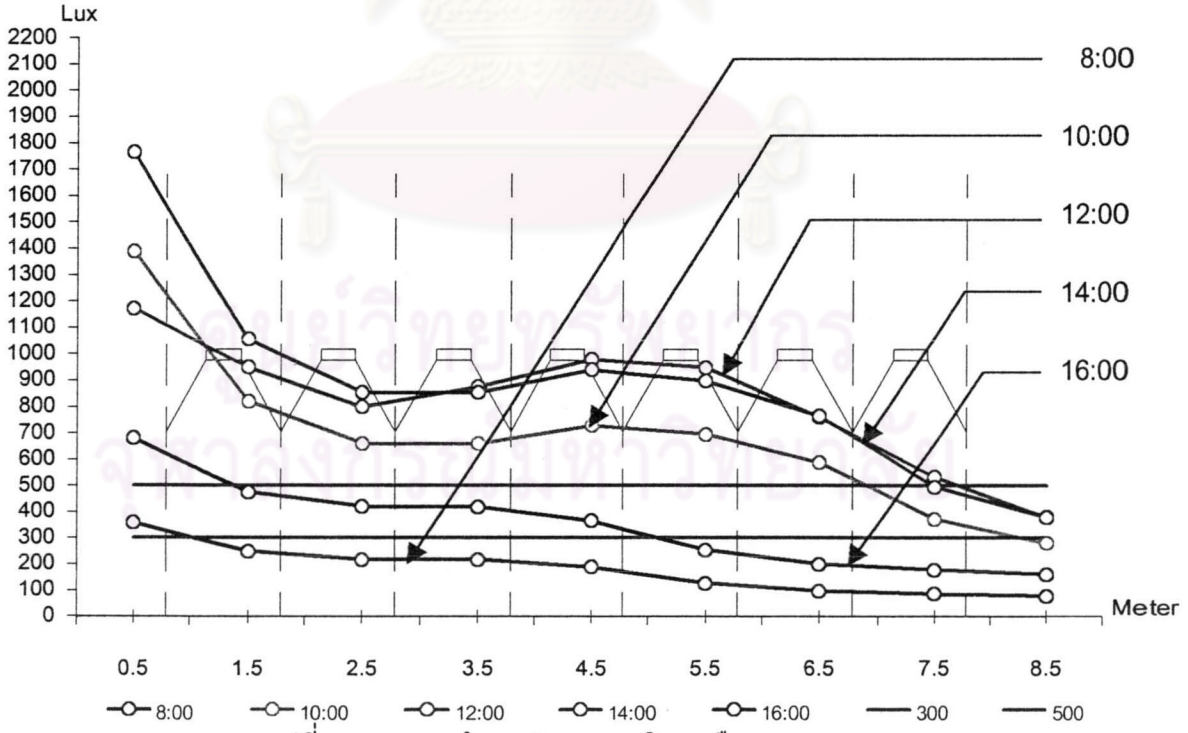
รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนมกราคม



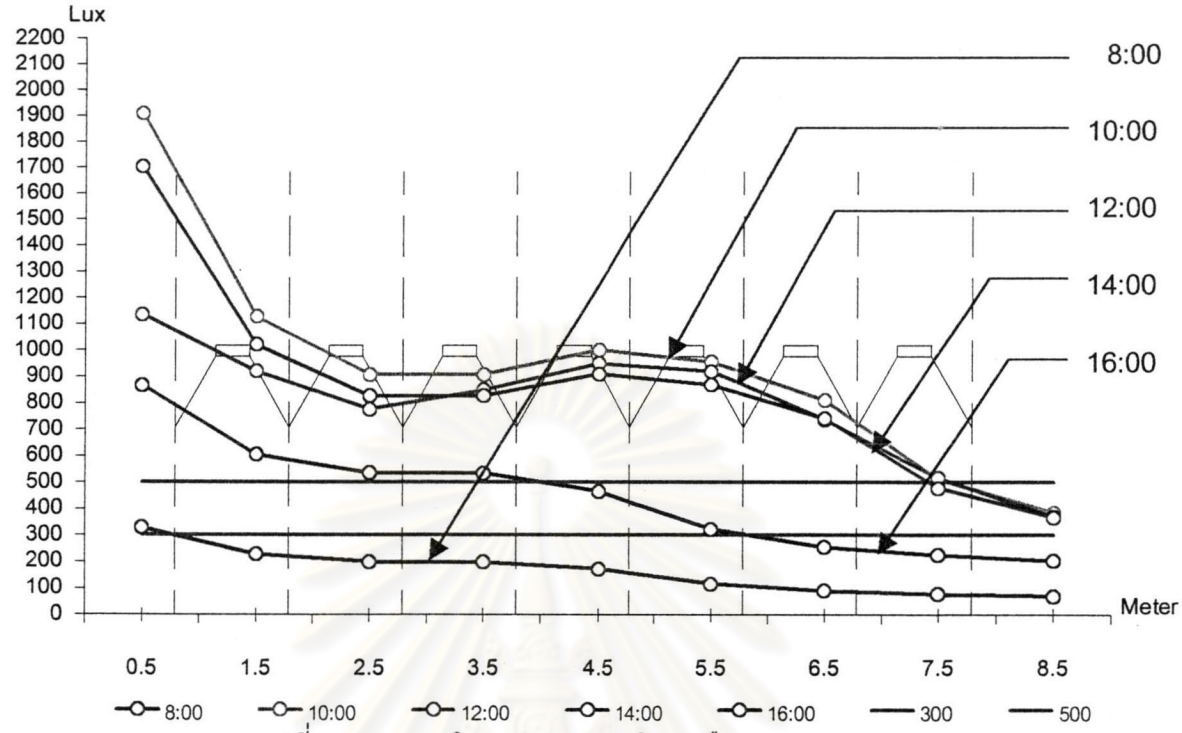
รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนกุมภาพันธ์



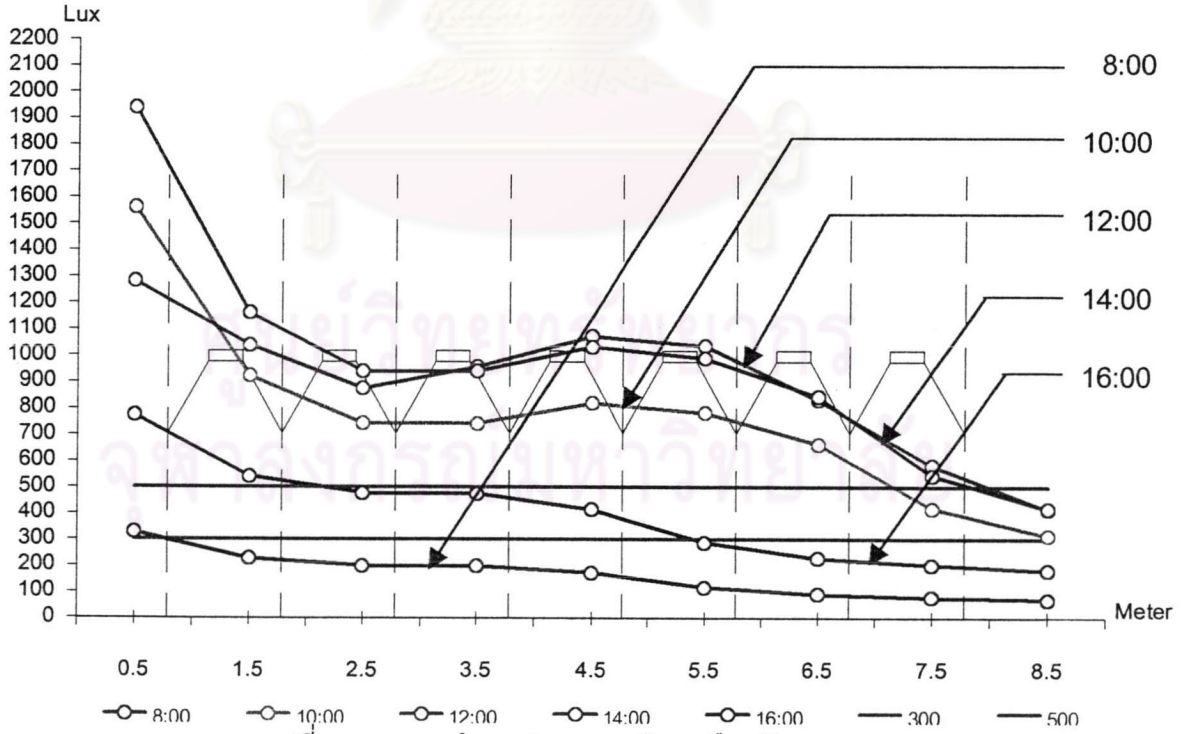
รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนมีนาคม



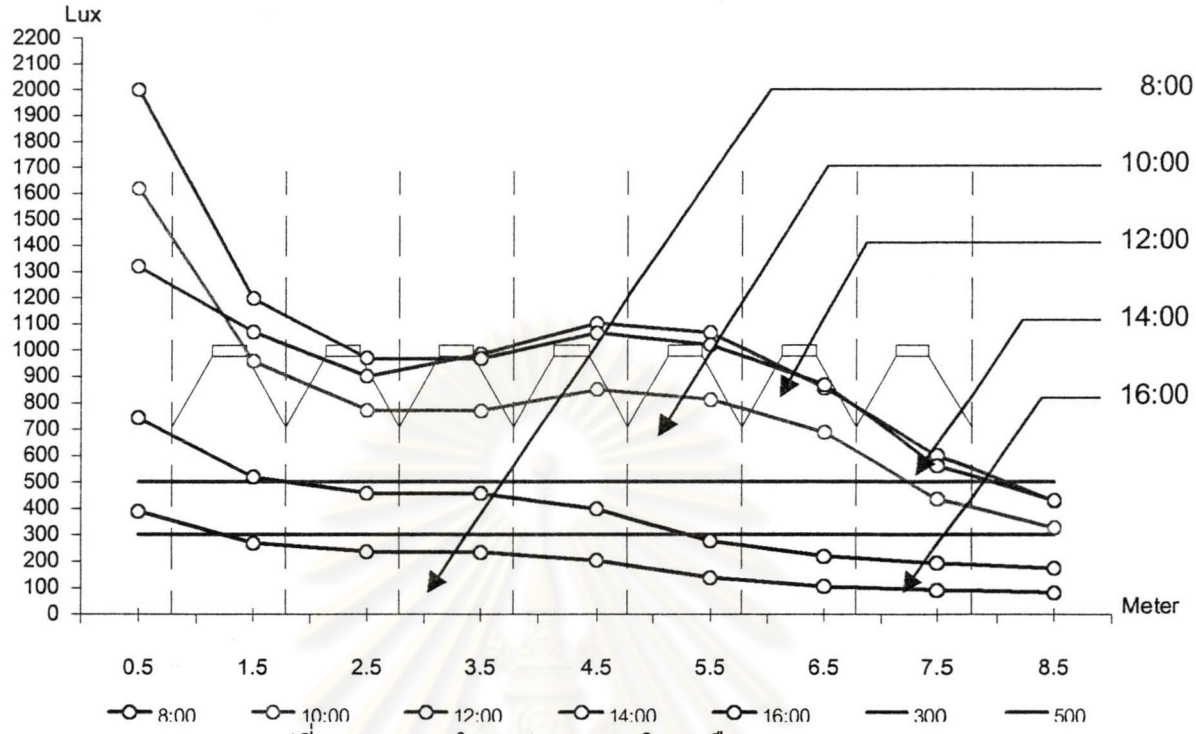
รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนเมษายน



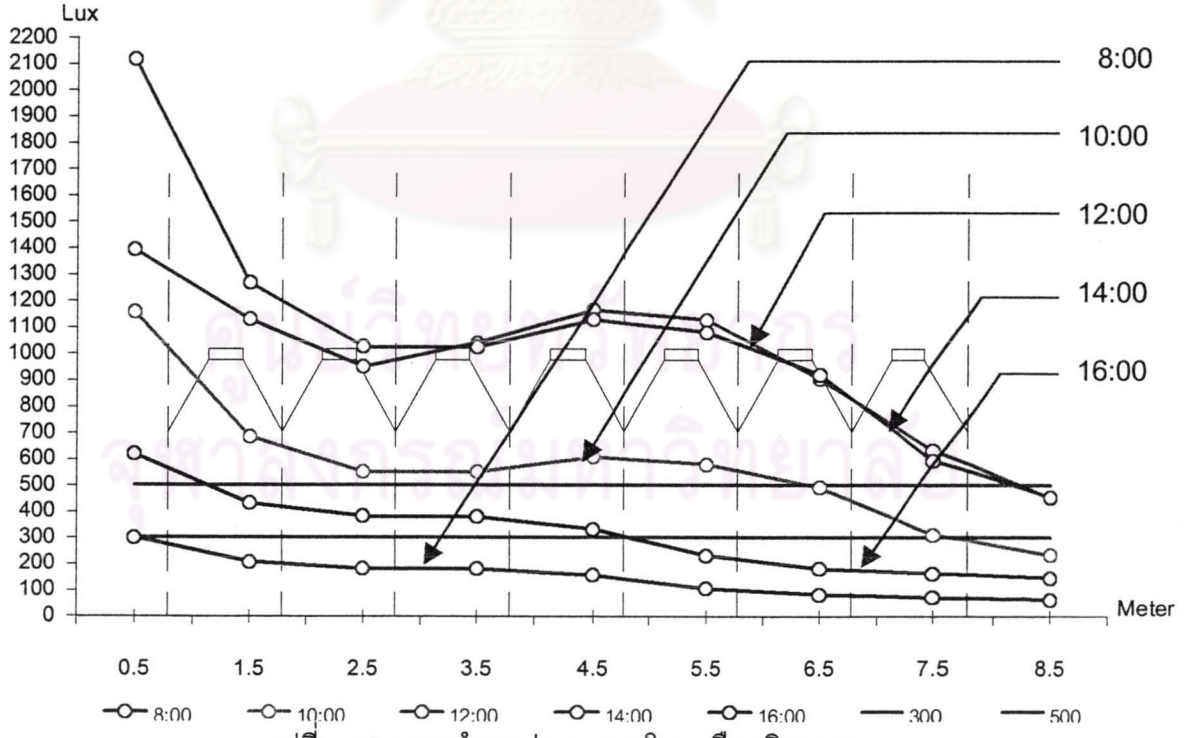
รูปที่ 4.15 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนพฤษภาคม



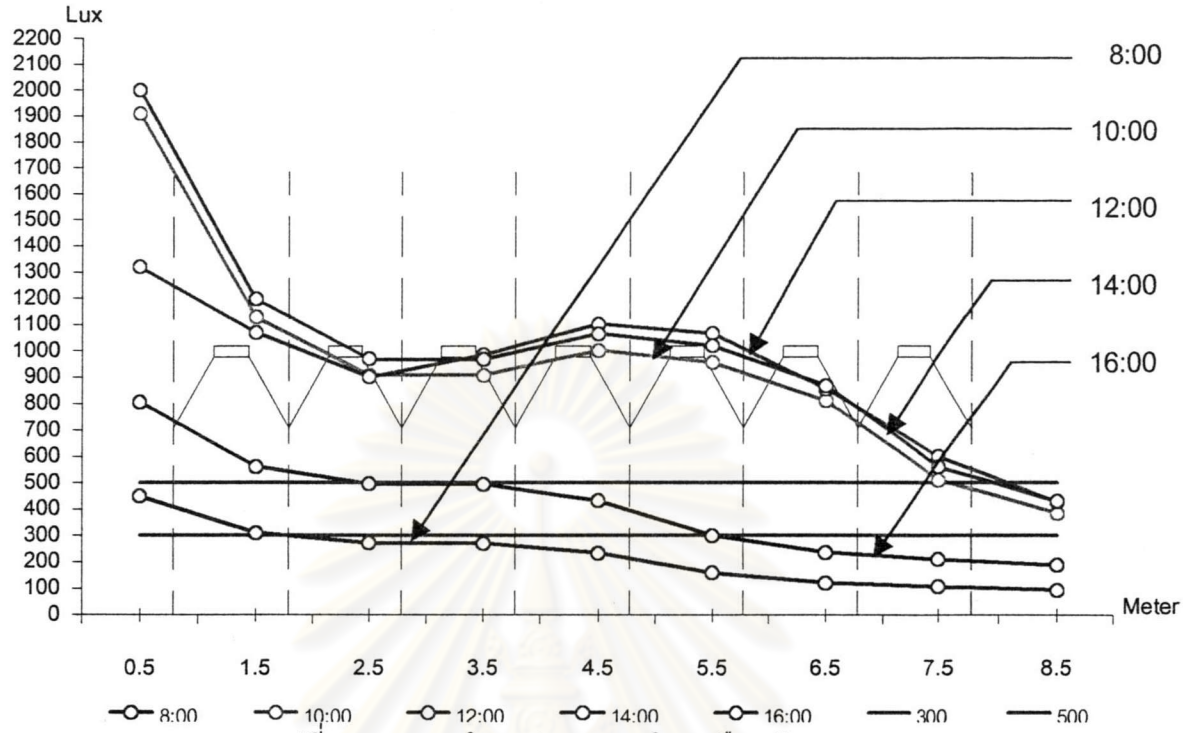
รูปที่ 4.16 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนมิถุนายน



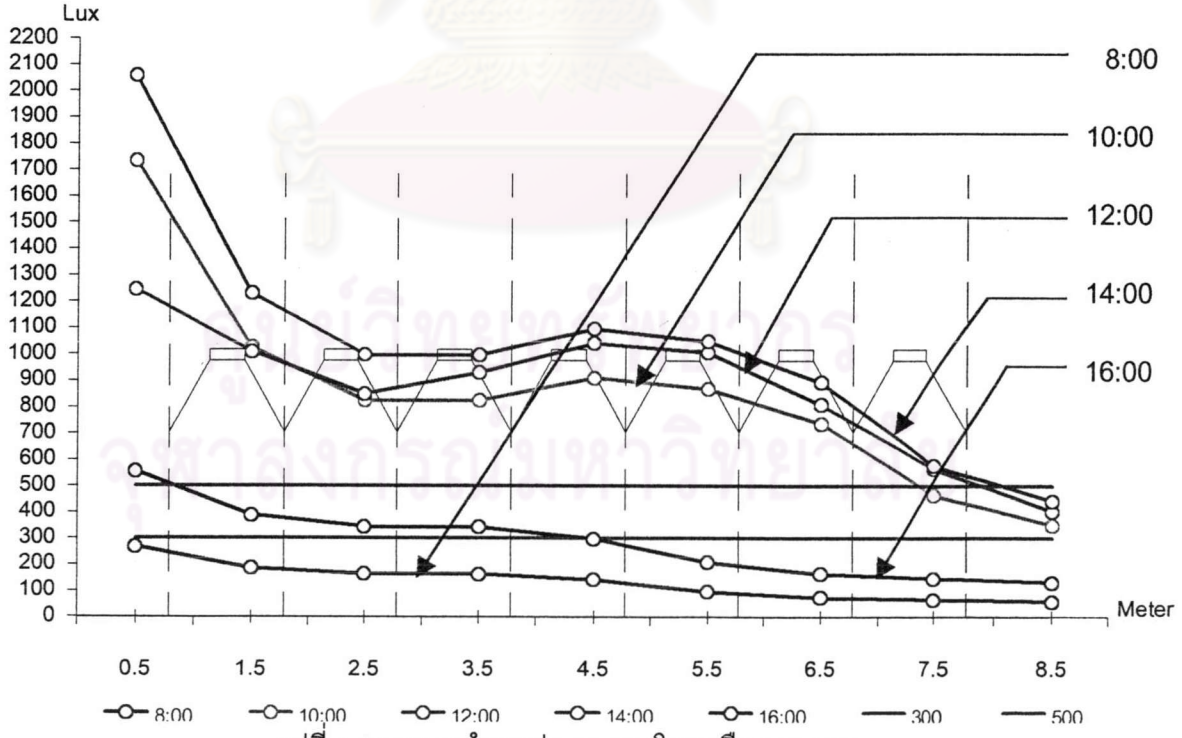
รูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนกรกฎาคม



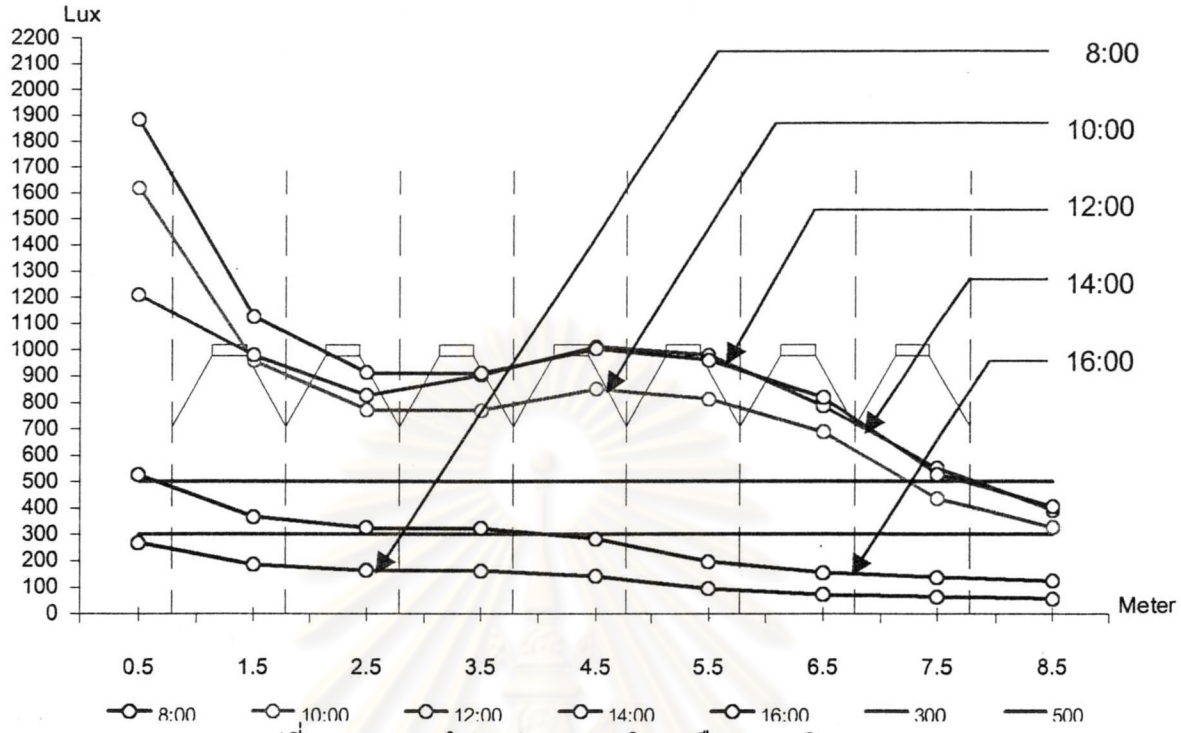
รูปที่ 4.18 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนสิงหาคม



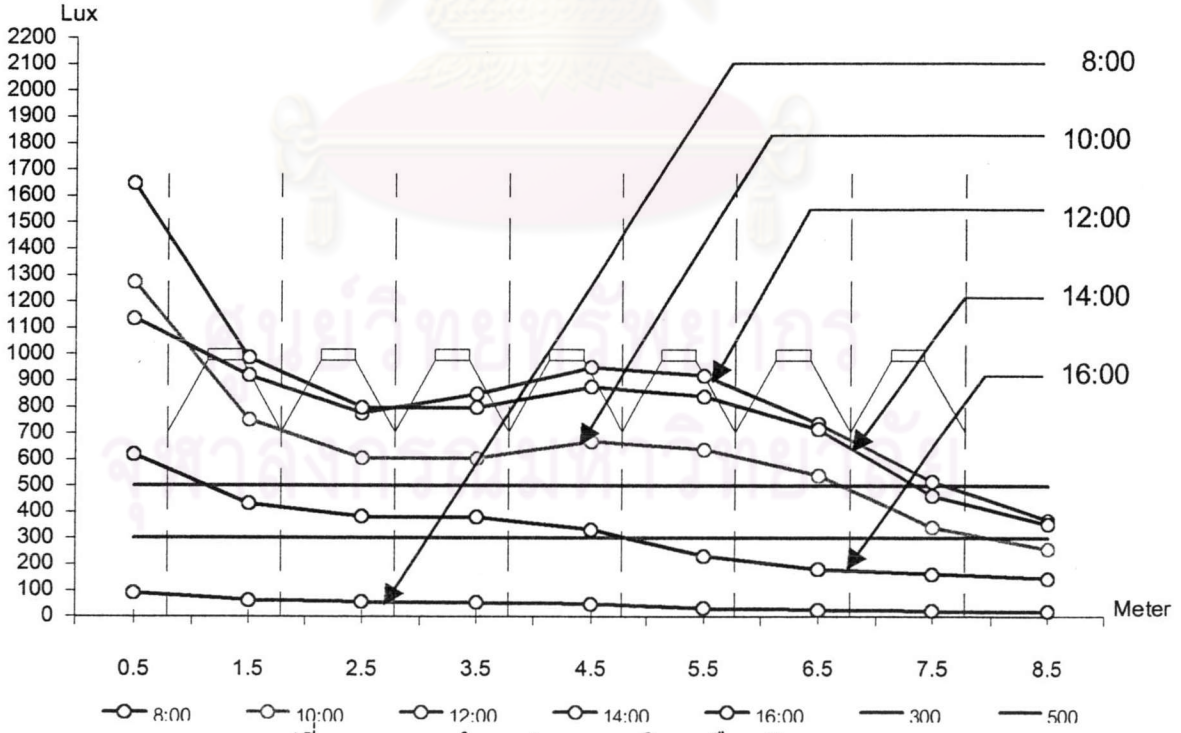
รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนกันยายน



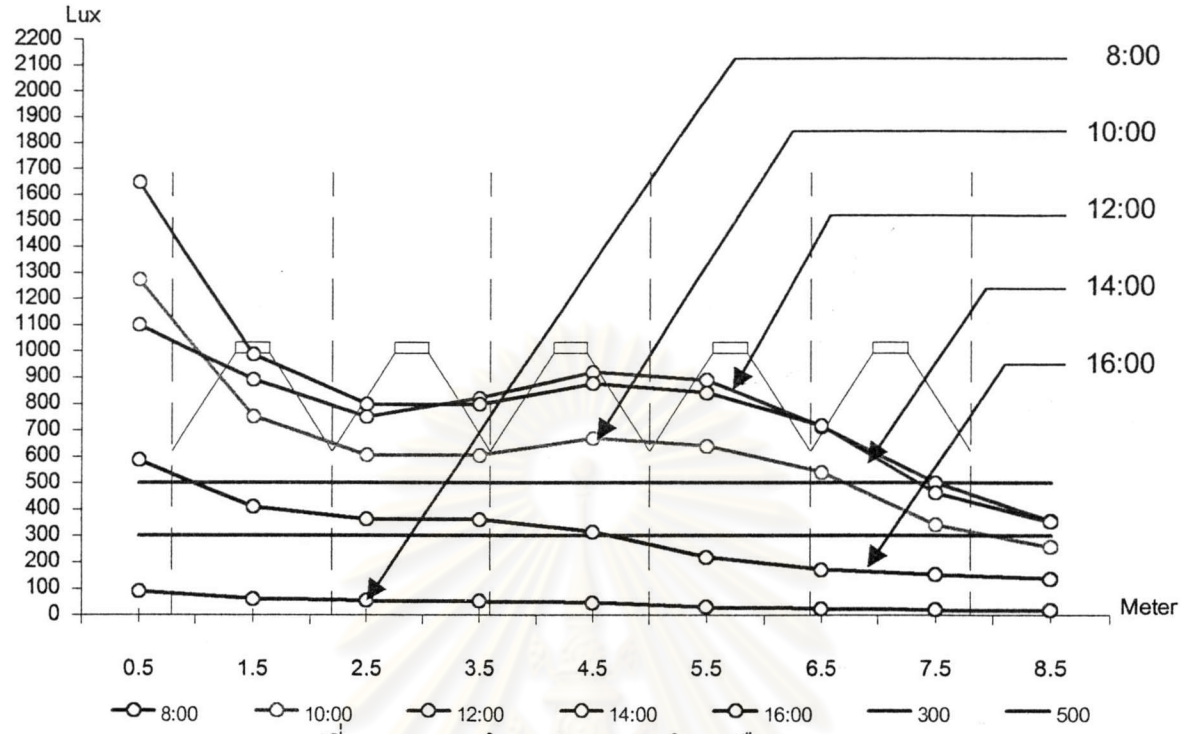
รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนตุลาคม



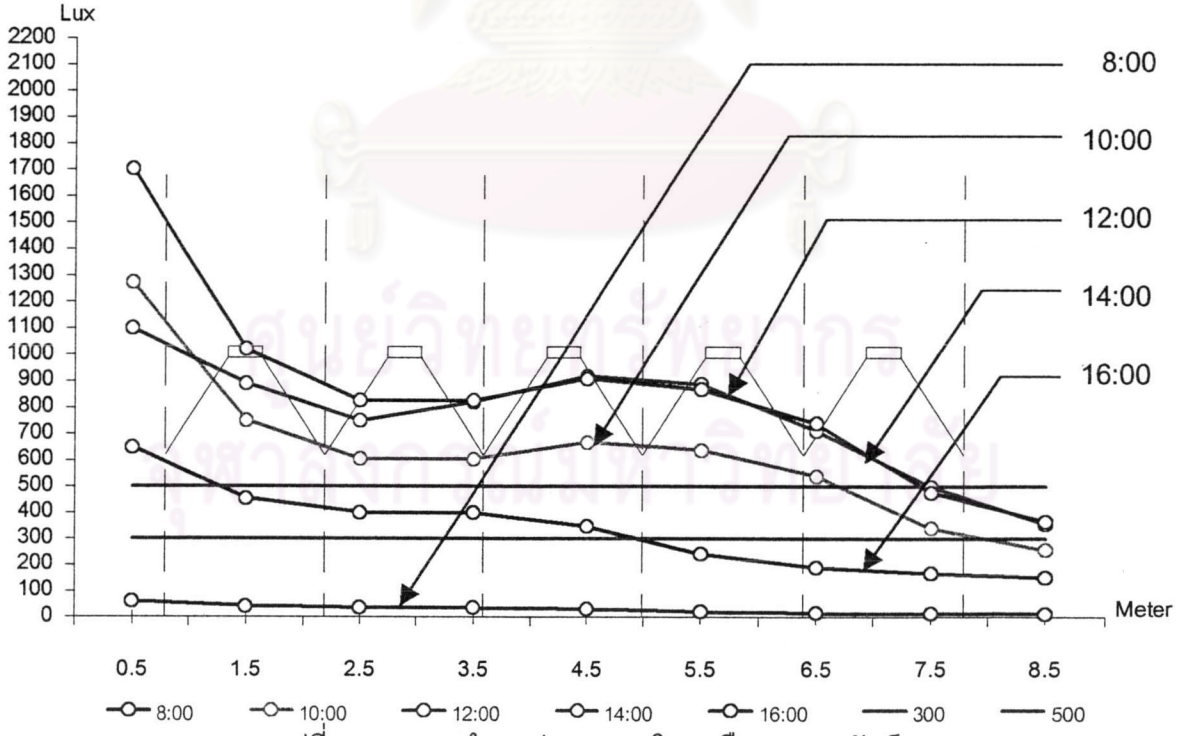
รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนพฤศจิกายน



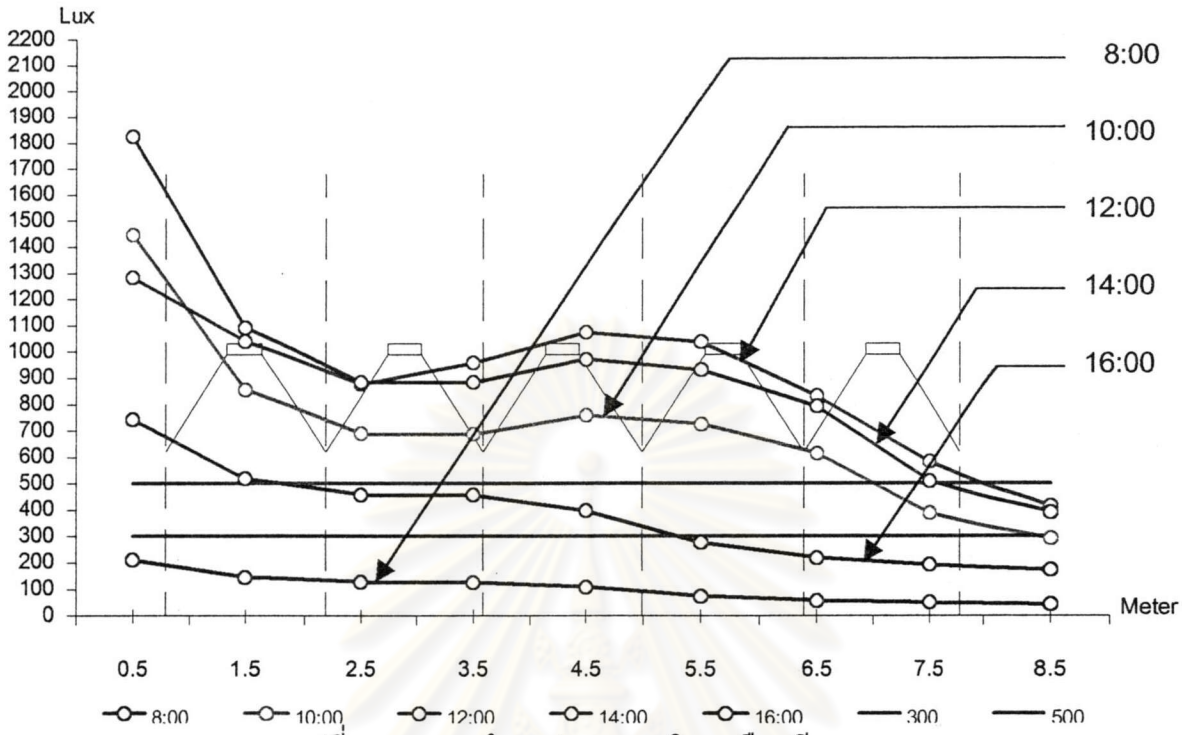
รูปที่ 4.22 แสดงตำแหน่ง 14 ดวงโคม-เดือนธันวาคม



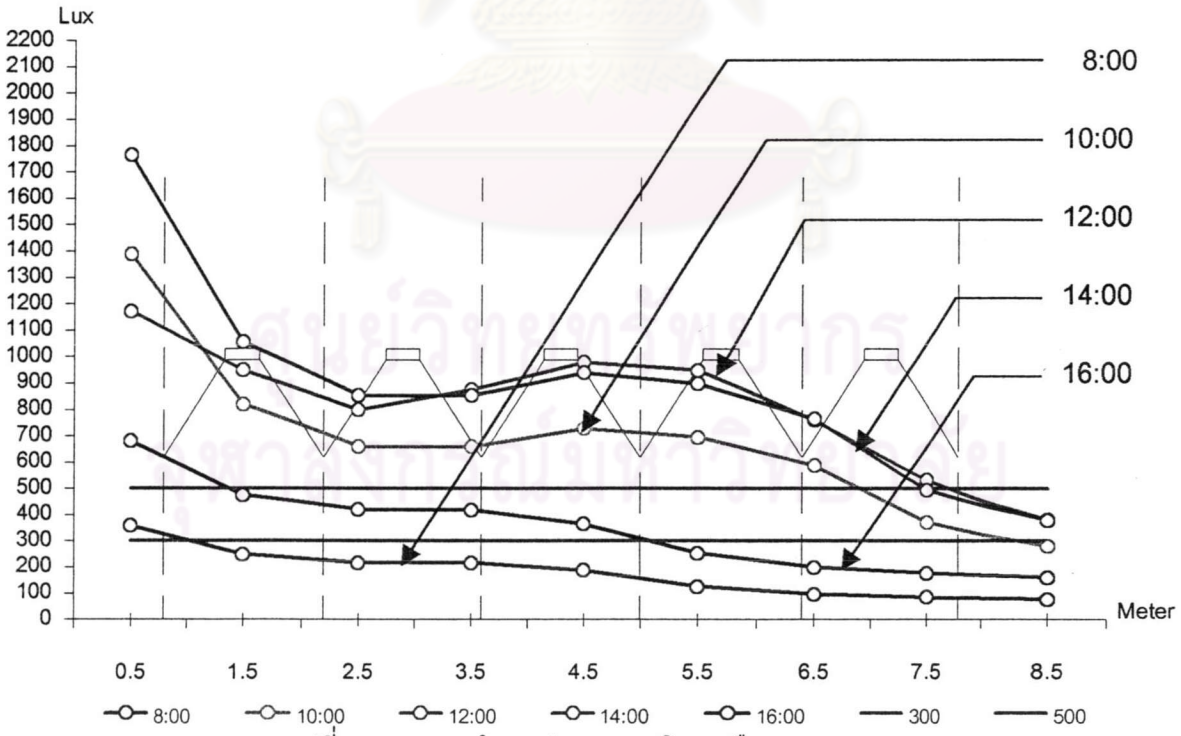
รูปที่ 4.23 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนมกราคม



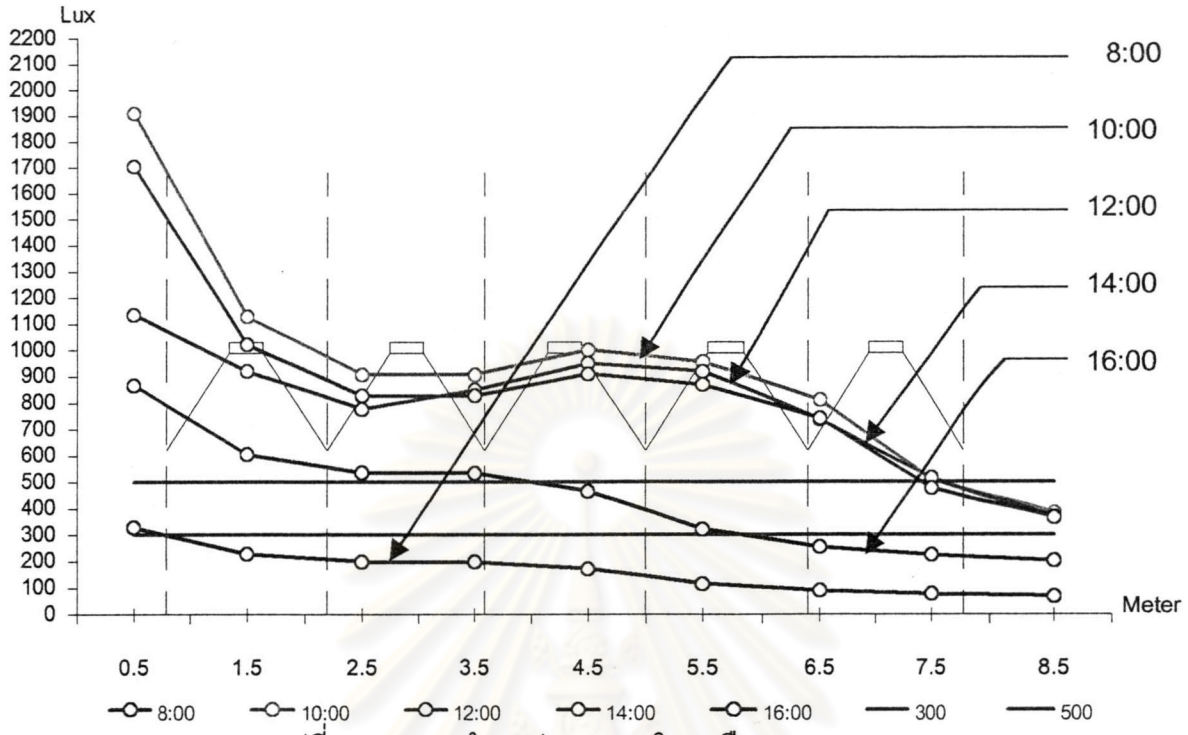
รูปที่ 4.24 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนกุมภาพันธ์



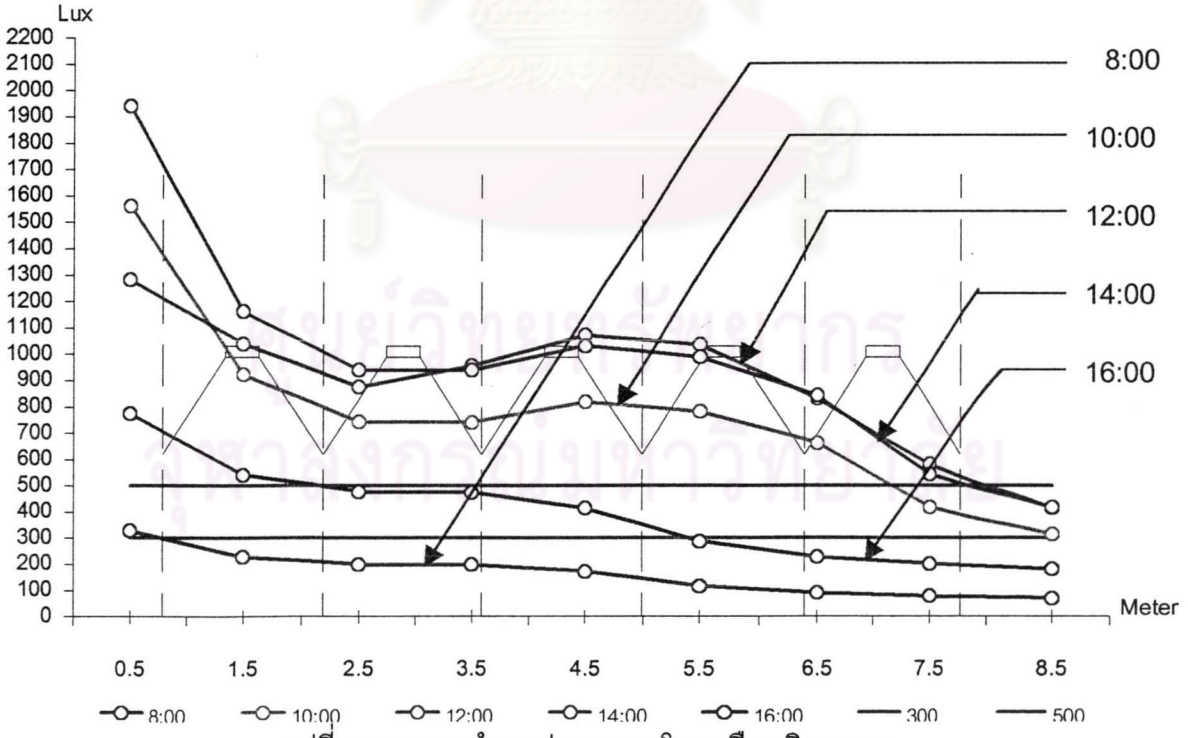
รูปที่ 4.25 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนมีนาคม



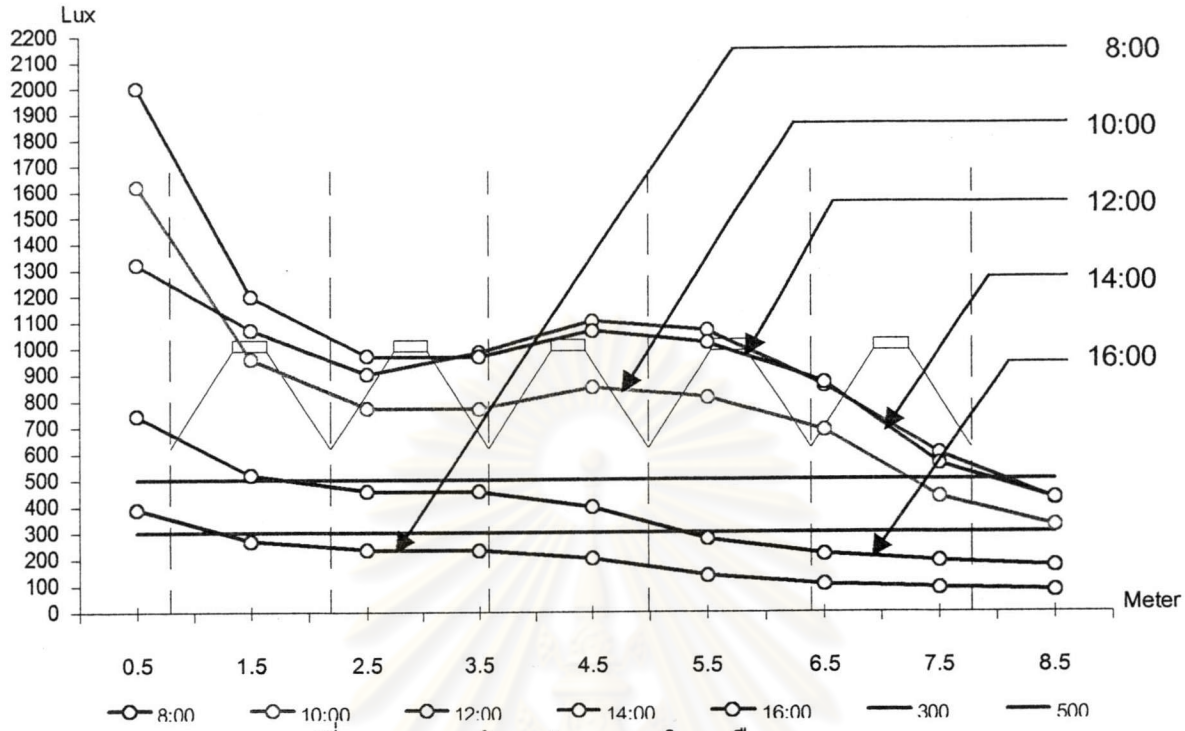
รูปที่ 4.26 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนเมษายน



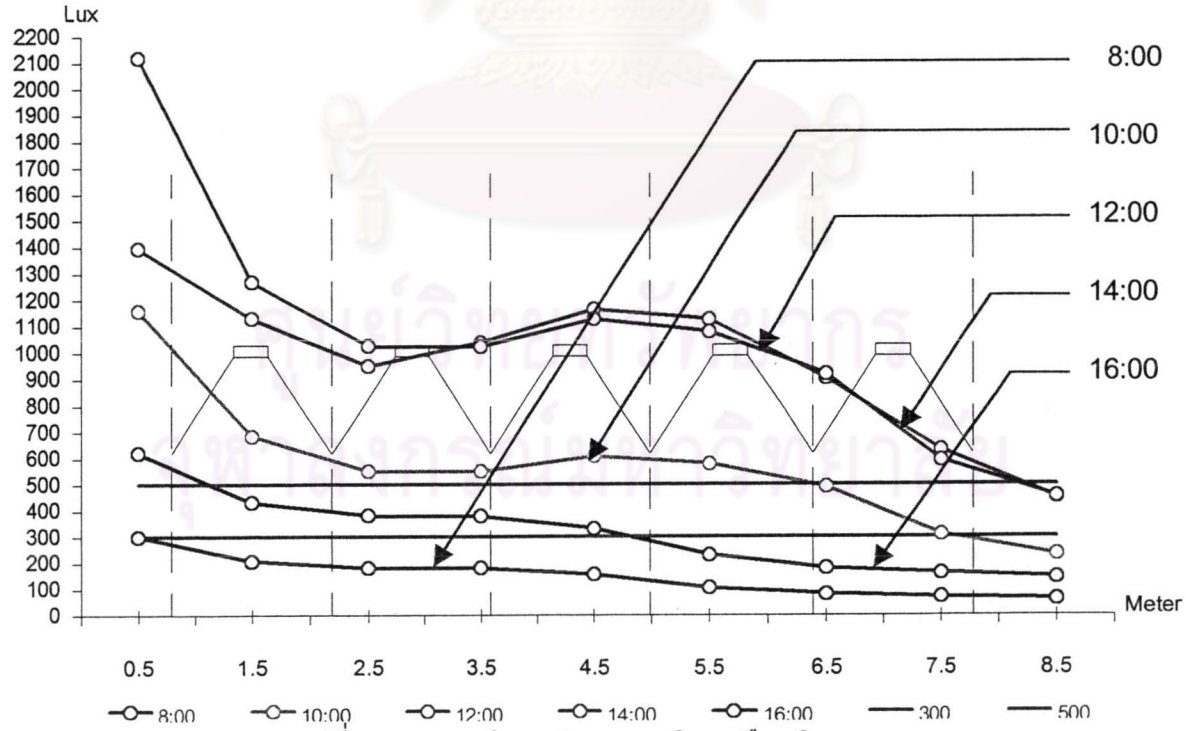
รูปที่ 4.27 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนพฤษภาคม



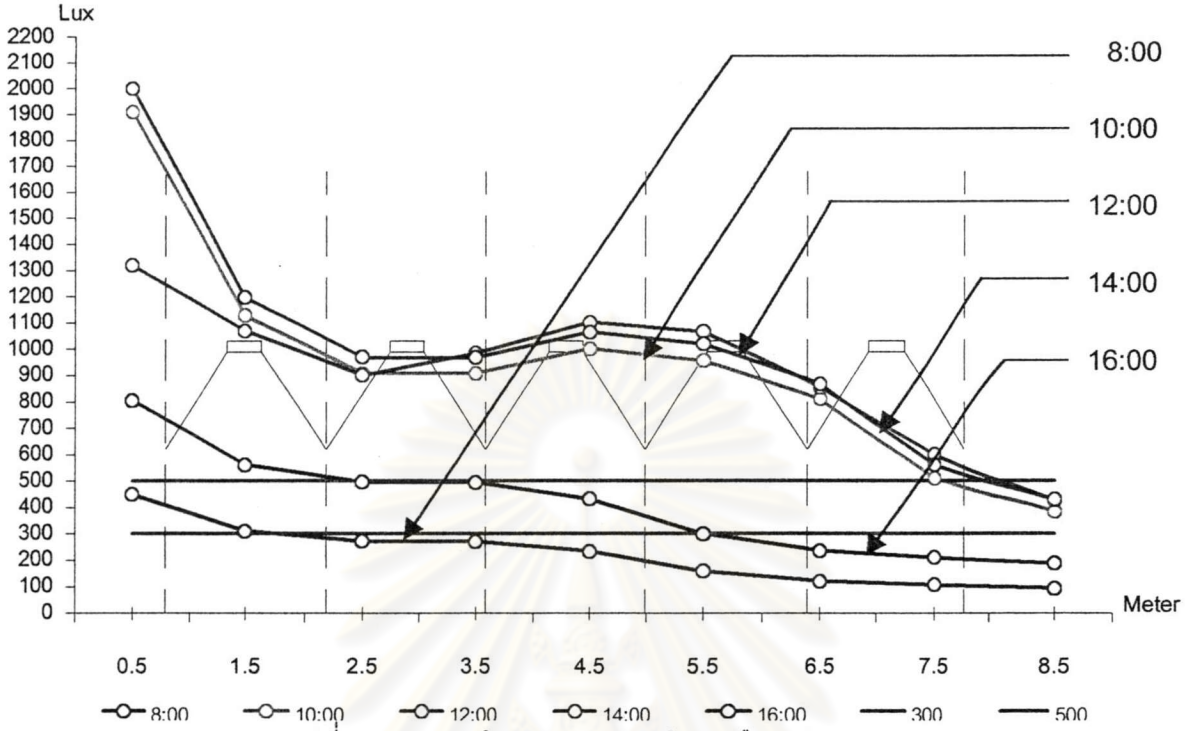
รูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนมิถุนายน



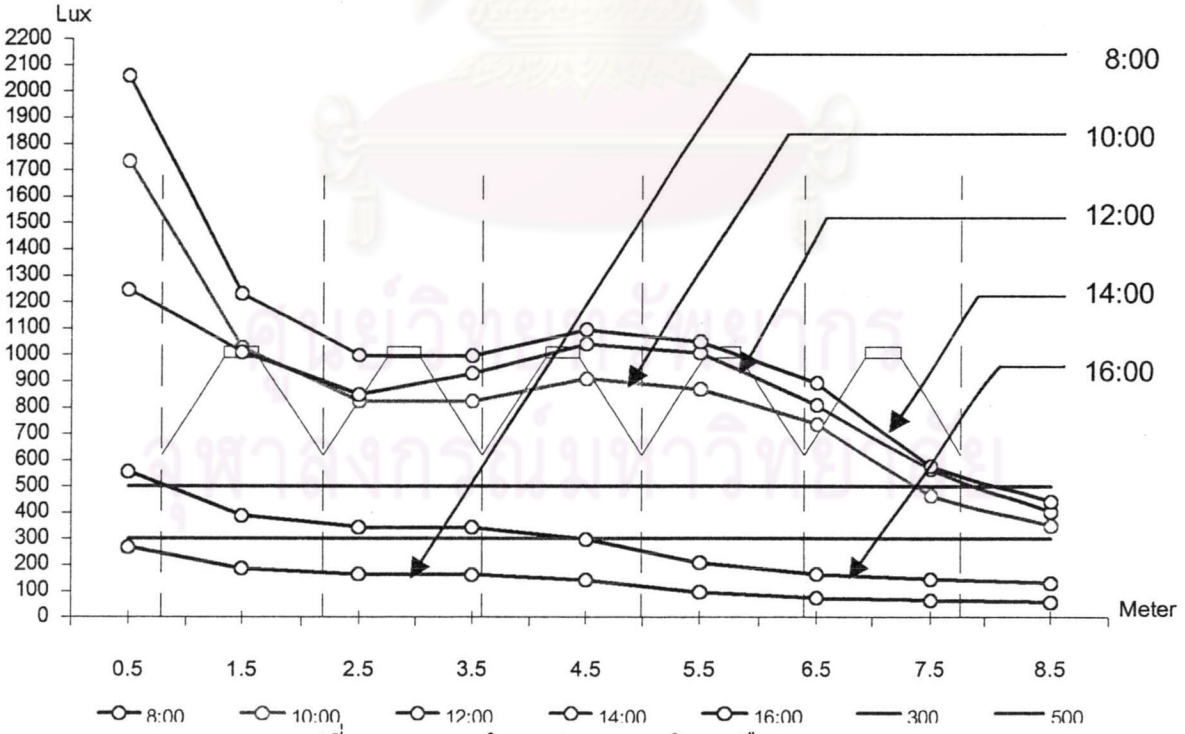
รูปที่ 4.29 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนกรกฎาคม



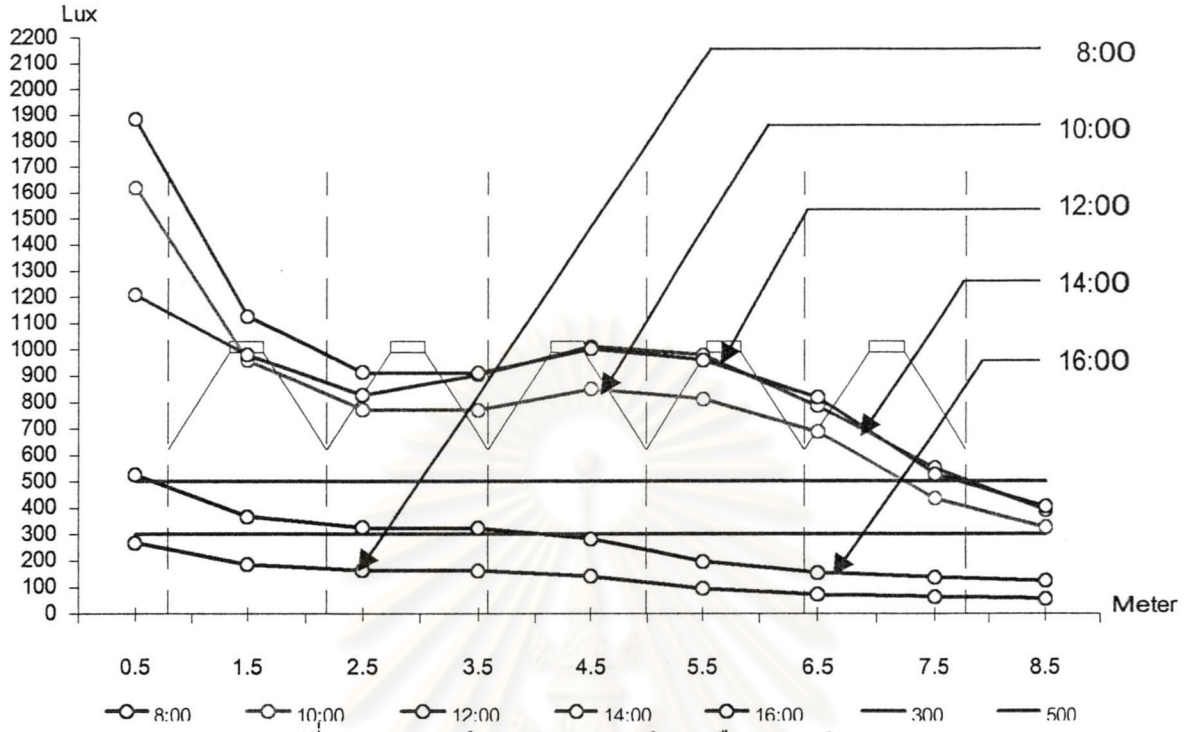
รูปที่ 4.30 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนสิงหาคม



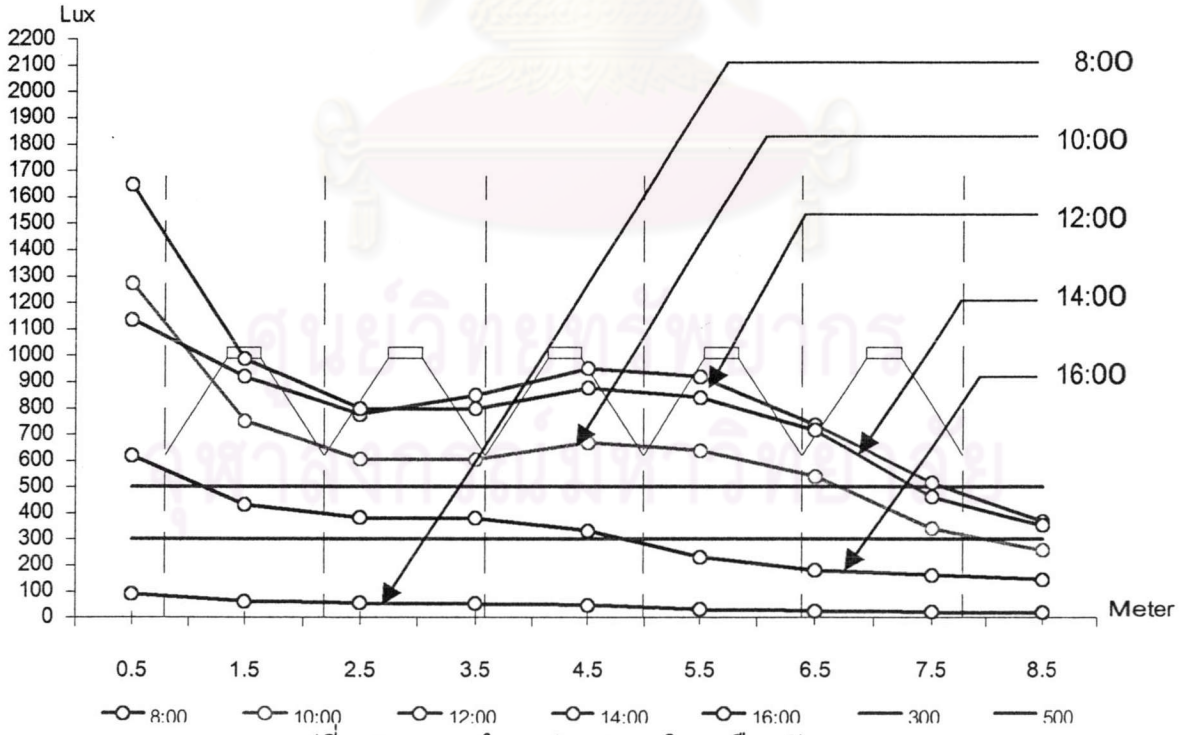
รูปที่ 4.31 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนกันยายน



รูปที่ 4.32 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนตุลาคม



รูปที่ 4.33 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนพฤศจิกายน



รูปที่ 4.34 แสดงตำแหน่ง 10 ดวงโคม-เดือนธันวาคม

จากการพิจารณารูปแบบการจัดวางตำแหน่งดวงโคม ให้สัมพันธ์กับลักษณะการกระจายแสงจากแสงธรรมชาติ โดยเพิ่มแสงประดิษฐ์ในตำแหน่งที่มีปริมาณความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ กำหนดเป็นรูปแบบการใช้งานจากกราฟและพื้นที่ใต้กราฟในช่วง 300-500 ลักซ์ เมื่อระดับความสว่างจากแสงธรรมชาติต่ำกว่า 300 ลักซ์ จะต้องกำหนดให้ดวงโคมในพื้นที่นั้นทำงาน เพื่อแสดงตำแหน่งดวงโคมและการแยกเปิด-ปิดวงจร ที่เหมาะสมกับห้องเรียน จากแผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างลักษณะการกระจายแสงจากแสงธรรมชาติกับตำแหน่งดวงโคม พบว่า

รูปแบบที่ 1 ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ 14 ดวงโคม

ตารางที่ 4.7 แสดงจำนวนหลอดไฟที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลาของเดือน(14 ดวงโคม)

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
มกราคม	434	372	0	0	0	0	0	0	186	434
กุมภาพันธ์	392	392	0	0	0	0	0	0	168	392
มีนาคม	434	248	0	0	0	0	0	0	186	248
เมษายน	420	180	0	0	0	0	0	0	180	240
พฤษภาคม	434	186	0	0	0	0	0	0	124	434
มิถุนายน	420	180	0	0	0	0	0	0	180	420
กรกฎาคม	434	186	0	0	0	0	0	0	186	434
สิงหาคม	434	186	62	0	0	0	0	62	186	434
กันยายน	360	180	0	0	0	0	0	0	180	420
ตุลาคม	434	186	0	0	0	0	0	62	248	434
พฤศจิกายน	420	240	0	0	0	0	0	0	240	420
ธันวาคม	434	434	0	0	0	0	0	0	186	434
รวม	5050	2970	62	0	0	0	0	124	2250	4744
	15200									

รูปแบบที่ 2 ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ 10 ดวงโคม

ตารางที่ 4.8 แสดงจำนวนหลอดไฟที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลาของเดือน(8ดวงโคม)

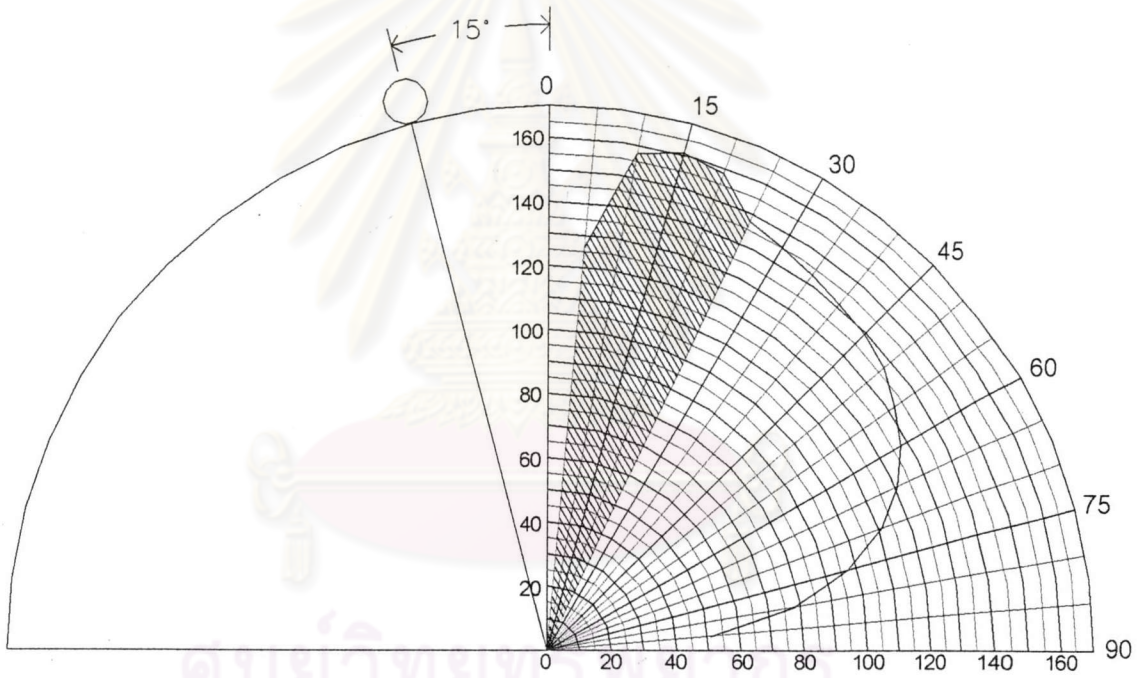
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
มกราคม	310	310	0	0	0	0	0	0	124	310
กุมภาพันธ์	280	280	0	0	0	0	0	0	112	280
มีนาคม	310	186	0	0	0	0	0	0	124	186
เมษายน	300	120	0	0	0	0	0	0	120	120
พฤษภาคม	310	124	0	0	0	0	0	0	124	310
มิถุนายน	300	120	0	0	0	0	0	0	120	300
กรกฎาคม	310	124	0	0	0	0	0	0	124	310
สิงหาคม	310	124	62	0	0	0	0	62	124	310
กันยายน	240	120	0	0	0	0	0	0	120	300
ตุลาคม	310	124	0	0	0	0	0	62	186	310
พฤศจิกายน	300	180	0	0	0	0	0	0	180	300
ธันวาคม	310	310	0	0	0	0	0	0	124	310
รวม	3590	2122	62	0	0	0	0	124	1582	3346
	10826									

เมื่อพิจารณาจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ต้องการใช้งานร่วมกับแสงธรรมชาติจากการเลือกใช้ดวงโคมฟลูออเรสเซนต์รูปแบบที่ 1 (14 หลอด) และรูปแบบที่ 2 (10 หลอด) พบว่า รูปแบบการกระจายแสงของดวงโคมแบบที่ 1 (14 หลอด)ใช้จำนวนหลอดไฟฟ้าทั้งหมด 15200 หลอดต่อปี รูปแบบการกระจายแสงของดวงโคมแบบที่ 2 (10 หลอด) ใช้จำนวนหลอดไฟฟ้าทั้งหมด 10826 หลอดต่อปี เนื่องจากดวงโคมแบบที่ 2 (10 หลอด) มีประสิทธิภาพมากกว่า จึงใช้จำนวนดวงโคมต่อพื้นที่น้อยกว่า และมีตำแหน่งดวงโคมที่สัมพันธ์กับลักษณะการกระจายแสงธรรมชาติ มากกว่าแบบที่ 1 (14 หลอด) ส่งผลให้ลดจำนวนการใช้ดวงโคม และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้อีกด้วย

4.6 พิจารณาความส่องสว่างระนาบตั้ง (Vertical Illumination)

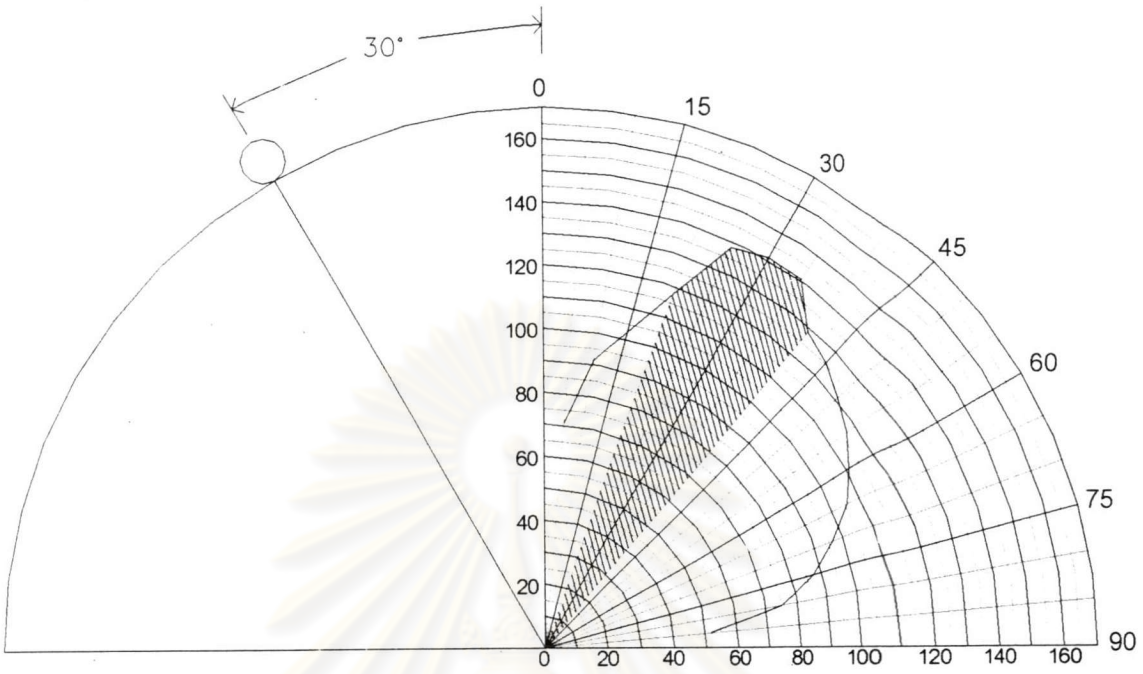
4.6.1 มุมแสงกระจายที่เกิดจากผิววัสดุกระดาน

การทดสอบมุมกระจายแสงที่เกิดจากผิวของวัสดุกระดาน (White Board) วัดจากมุมกระจายแสงโดยมีหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดเปลือย ขนาด 36 วัตต์ 2600 ลูเมน เป็นแหล่งกำเนิดแสง ที่มีมุมตกกระทบที่กระทำต่อผิววัสดุ 15, 30, 45, 60, 75 องศาตามลำดับ

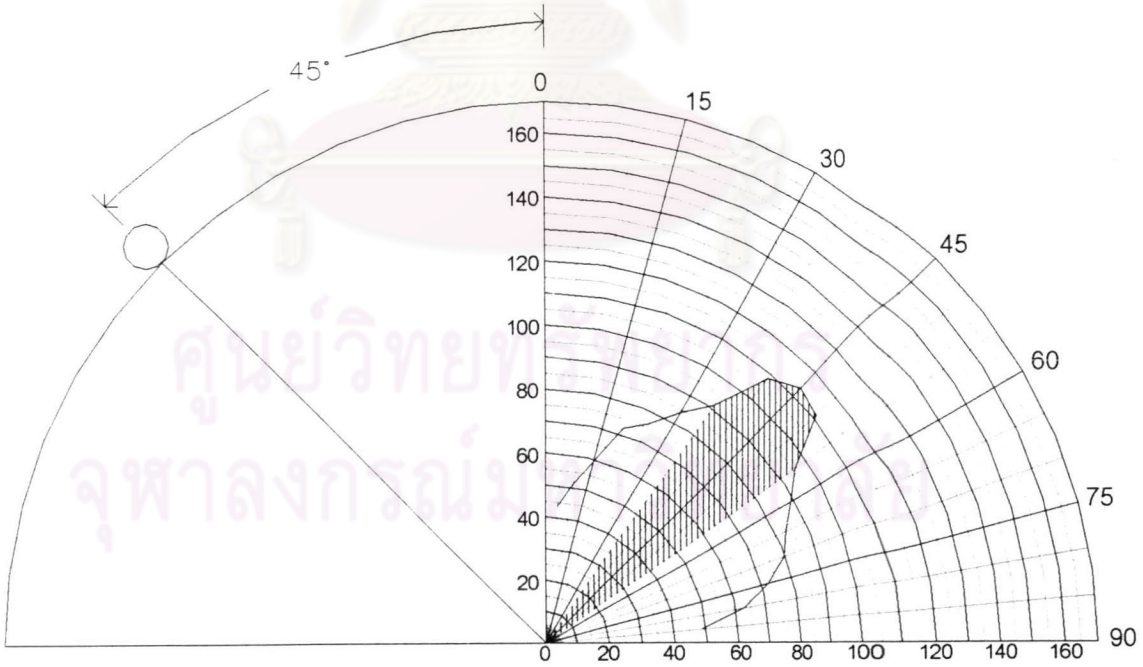


แผนภูมิที่ 4.2 แสดงมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 15 องศา

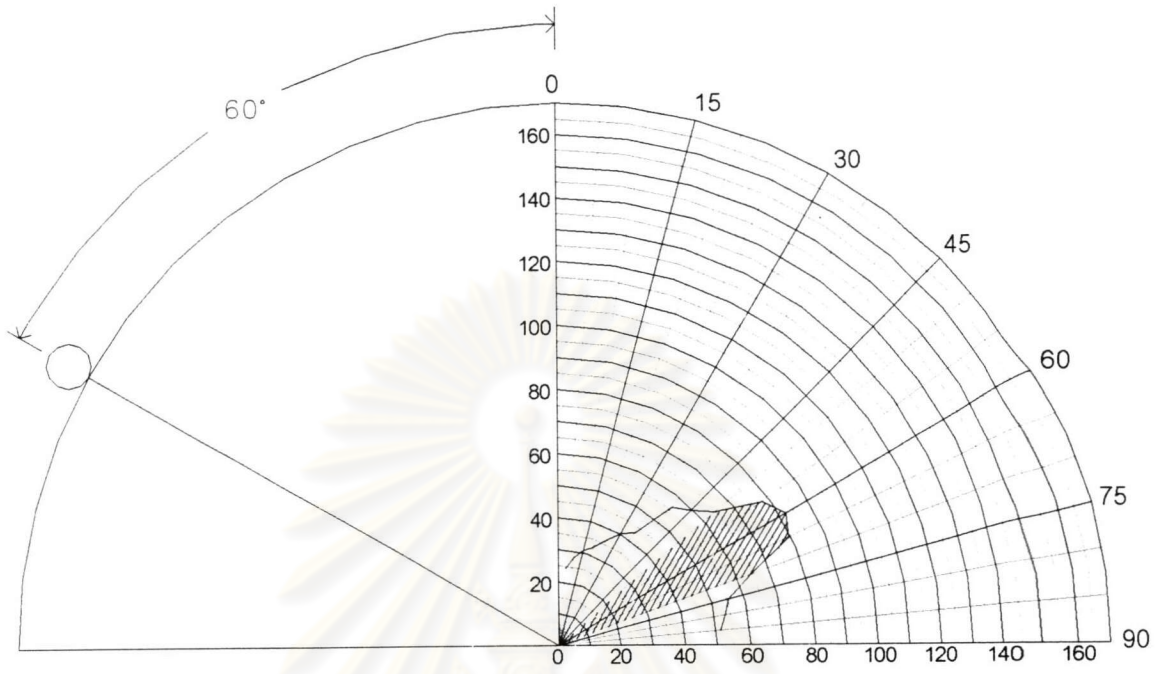
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



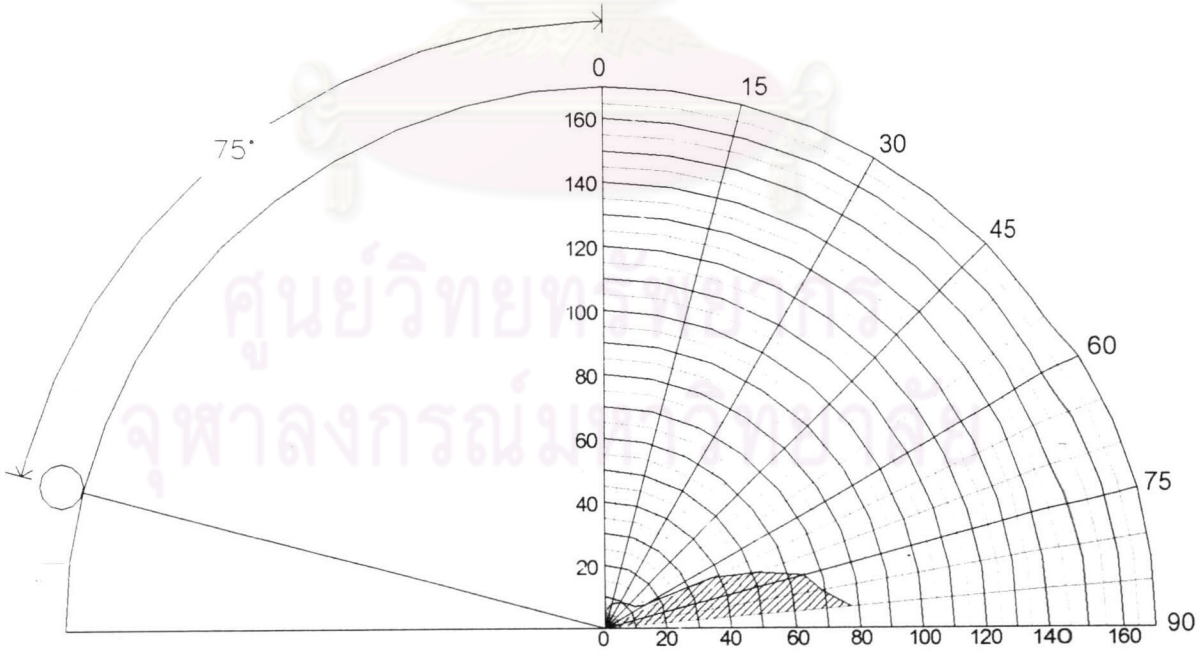
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 30 องศา



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 45 องศา



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 60 องศา



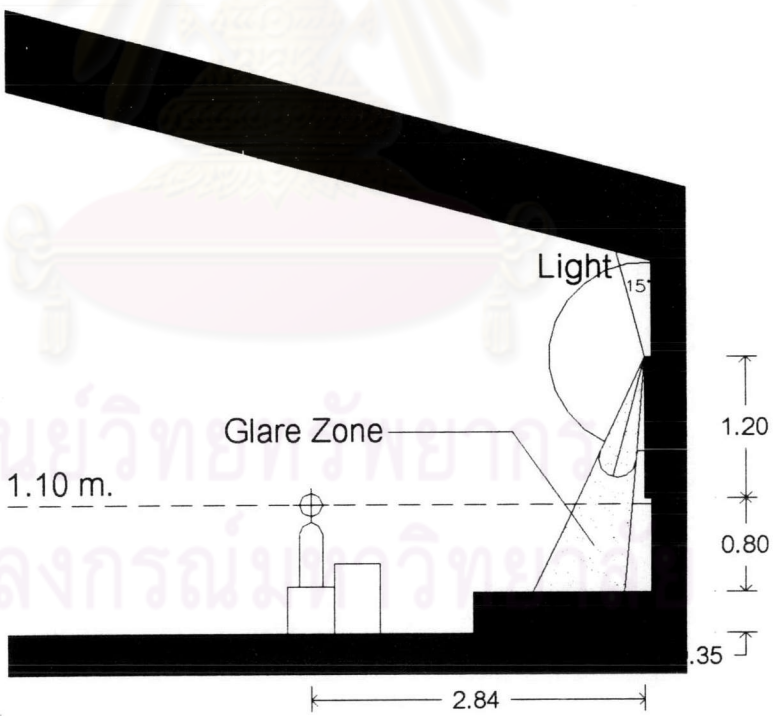
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 75 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

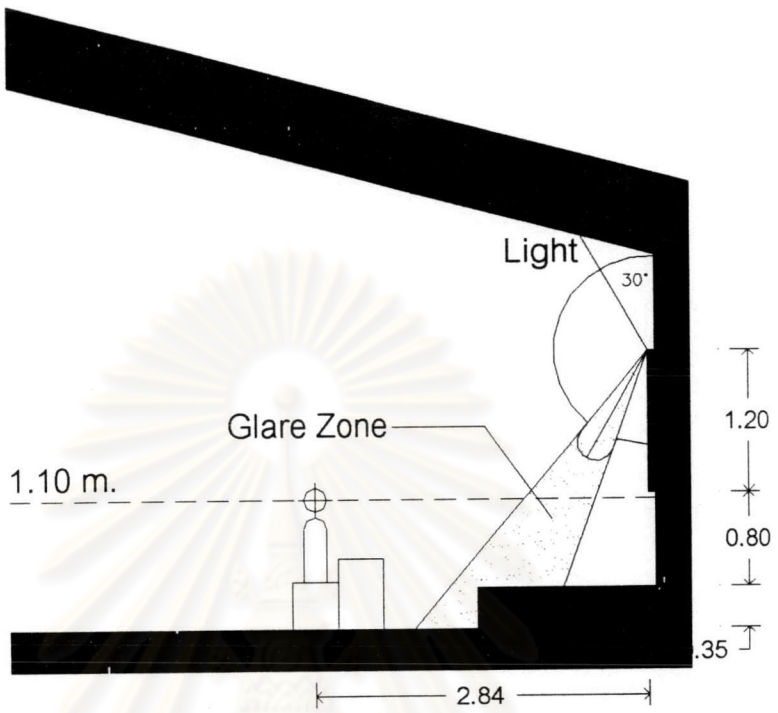
จากการทดสอบ พบว่า มุมกระจายแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงทำมุมตกกระทบ 15, 30, 45, 60 องศามีมุมกระจายแสงประมาณ 20 องศา ส่วนมุมกระจายแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงทำมุมตกกระทบ 75 องศา มีมุมกระจายแสงมากกว่า 25องศา เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงทำมุมมตกกระทบใกล้ผิววัสดุมาก

4.6.2 มุมตกกระทบและสะท้อนแสงจากดวงโคม

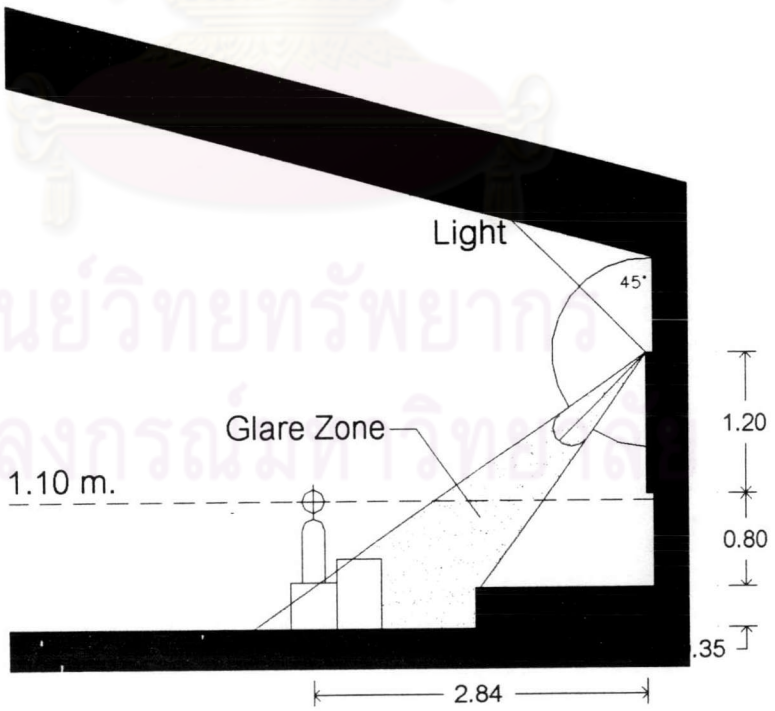
นำค่ามุมกระจายแสงที่ได้จากการทดสอบมาพิจารณาการใช้งานร่วมกับกระดานในห้องเรียน โดยกำหนดตำแหน่งขอบบนสุดของกระดานเป็นตำแหน่งที่แสงตกกระทบ เนื่องจากเมื่อแสงตกกระทบตำแหน่งขอบบนสุดของกระดาน ระยะของแสงกระจายที่เกิดจากมุมสะท้อนจะมีระยะมากกว่า ตำแหน่งอื่นของกระดาน



รูปที่ 4.35 แสดงผลกระทบของมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 15 องศา

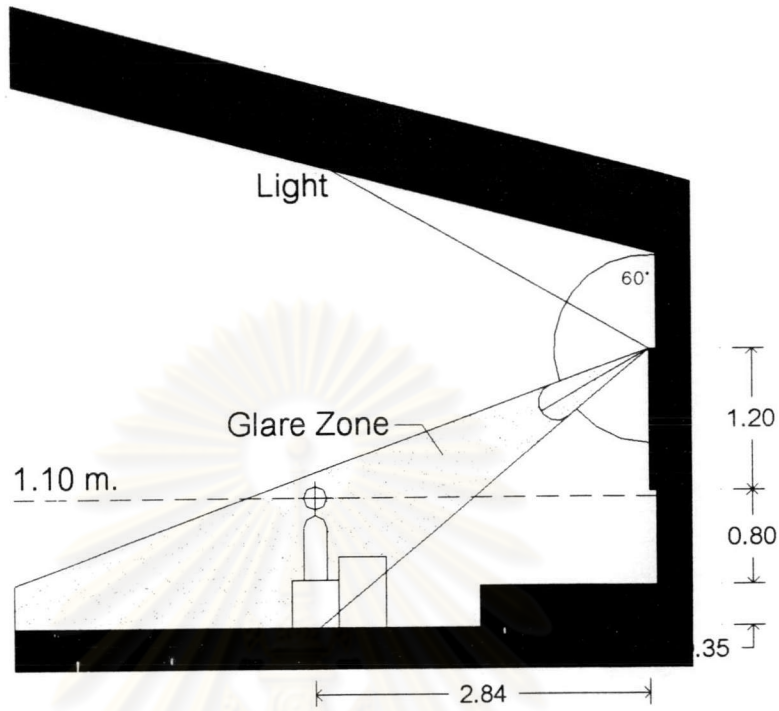


รูปที่ 4.36 แสดงผลกระทบของมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 30 องศา



รูปที่ 4.37 แสดงผลกระทบของมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 45 องศา

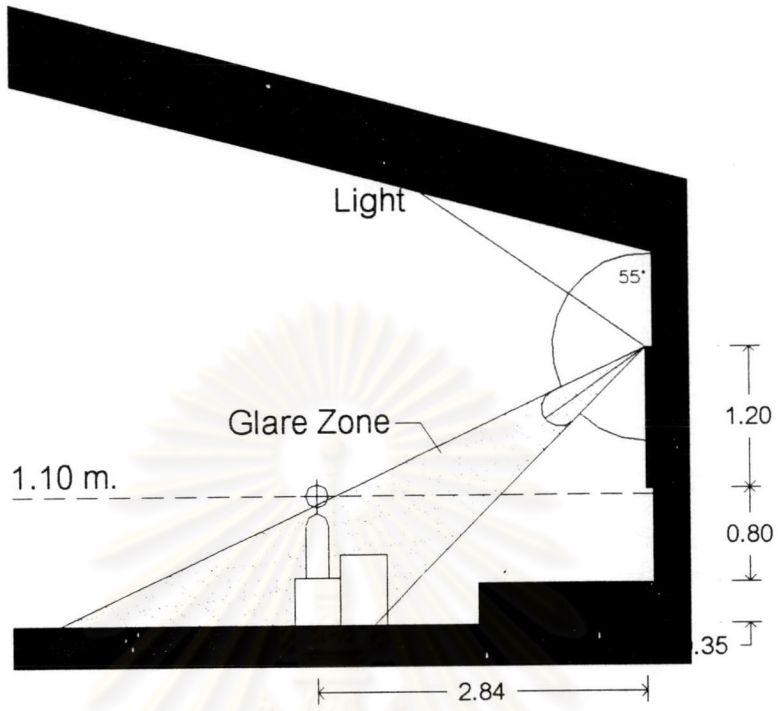
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.38 แสดงผลกระทบของมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 60 องศา

พิจารณาแสงกระจายที่เกิดจากแสงตกกระทบตำแหน่งขอบบนสุดของกระดานโดยต้องการมุมแสงตกกระทบที่เข้าใกล้มุมตั้งฉากกับผิวกระดานมากที่สุดซึ่งมุมแสงตกกระทบจะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ พบว่า แสงที่ทำมุมตกกระทบผิวกระดานเริ่มตั้งแต่มุม 0-45 องศา แสงกระจายไม่รบกวนสายตาต่อผู้เรียน เมื่อแสงทำมุมตกกระทบผิวกระดาน60 องศา แสงกระจายรบกวนสายตาต่อผู้เรียน และเมื่อทดสอบมุมแสงตกกระทบที่ผิวกระดาน ในช่วง 45-60 องศา พบว่า ที่มุมตกกระทบ 55 องศา แสงกระจายเป็นมุม 20 องศา เป็นมุมแสงตกกระทบที่มากที่สุด ที่ไม่เกิดแสงแยงตาต่อผู้เรียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.39 แสดงผลกระทบของมุมกระจายแสงที่เกิดจากมุมแสงตกกระทบ 55 องศา

4.6.3 จำนวนหลอด และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

จากการกำหนดระดับความส่องสว่างที่ระนาบตั้ง บริเวณหน้ากระดานดำ (Working Plane) 500 ลักซ์ เพื่อพิจารณาระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของทั้งห้อง ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ในดวงโคมที่มีแผ่นสะท้อนแสง(Reflector) 95%

ปริมาณแสงสว่างรวมเมื่อกำหนดให้ระดับความส่องสว่างขั้นต่ำ 500 ลักซ์ ในพื้นที่กระดานขนาด 2.88 ตารางเมตร

$$Fc = I \cos \theta$$

$$46.47 = I \cos 35$$

$$I = 56.73 \text{ แคนเดลลา}$$

$$= 712.53 \text{ ลูเมน}$$

จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง 2778.75 ลูเมน 36 วัตต์

$$\text{จำนวนหลอด} = 712.53 / 2778.75$$

$$= 0.26 \sim 1 \text{ หลอด}$$