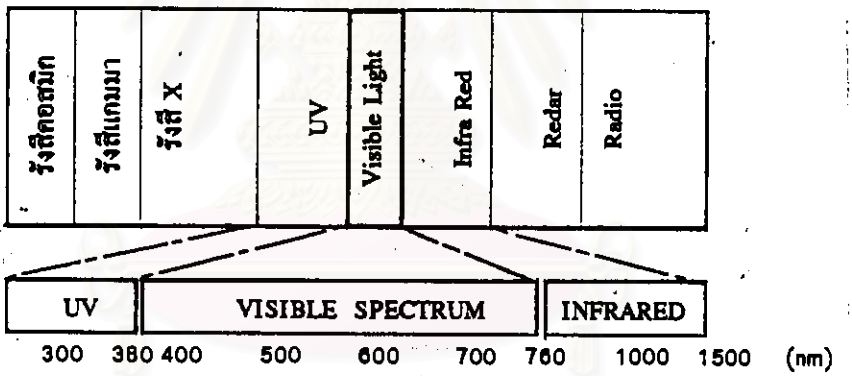
บทที่ 3
ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงและแสงธรรมชาติ

3.1 ธรรมชาติของแสงและการมองเห็น

แสงคือพลังงานรูปแบบหนึ่ง เช่นเดียวกับพลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า แสงสามารถเคลื่อนที่ได้ในรูปของคลื่น พลังงานที่เคลื่อนที่ได้เหล่านี้จะถูกกำหนดโดยความถี่(Hz) และความยาวคลื่น(nm) เมื่อพิจารณาพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นสูงที่สุด ดังภาพที่ จะเห็นได้ว่าแสงเป็นแถบพลังงานแถบหนึ่งซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-760 nm พลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวช่วยให้เกิดการเห็นพลังงานอื่น



รูปที่ 8 แสดงสเปคตรัมของคลื่นต่างๆเรียงลำดับตามความยาวคลื่น
ที่มา Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992

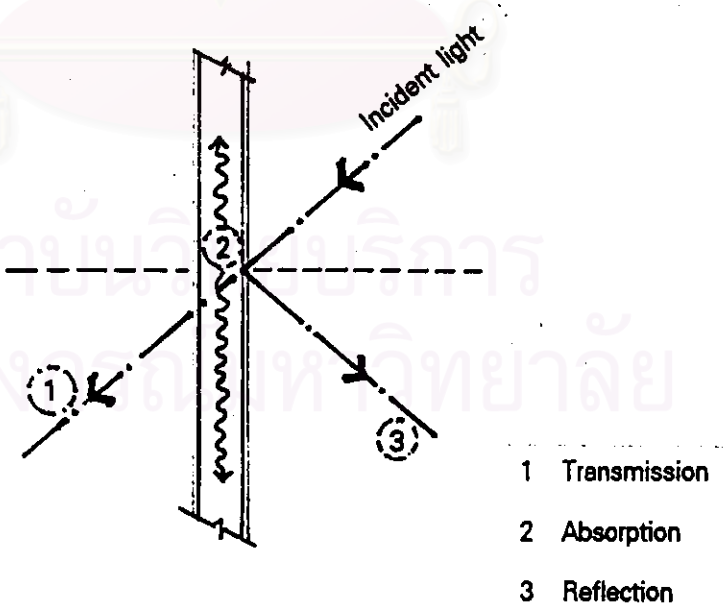
พลังงานในส่วนที่ช่วยในการมองเห็น จะมีการกระตุ้นของพลังงานกับดวงตาปกติ การที่เราสามารถเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆนั้น เกิดจากที่วัตถุนั้นตอบสนองต่อVisible Spectrum ที่ความยาวคลื่นค่าใดค่าหนึ่ง เช่นวัตถุสีเขียวจะตอบสนองต่อVisible Spectrum ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 560-490 nm ดังที่ปรากฏในตาราง

สี	ความยาวคลื่น (nm)
ม่วง	420-380
คราม	440-420
น้ำเงิน	490-440
เขียว	560-490
เหลือง	590-560
แสด	630-590
แดง	760-630

ตารางที่ 1 ความยาวคลื่นของVisible Spectrum ที่ตอบสนองต่อวัตถุสีต่างๆ

3.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดสู่ตัวกลางชนิดต่างๆ นับตั้งแต่ อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง ฯลฯ จะมีพฤติกรรมแตกต่างกันออกไป นั่นก็คือทิศทางของแสงจะถูกเปลี่ยนไป เมื่อกระทบตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมต่างๆของแสง สามารถอธิบายได้ดังนี้

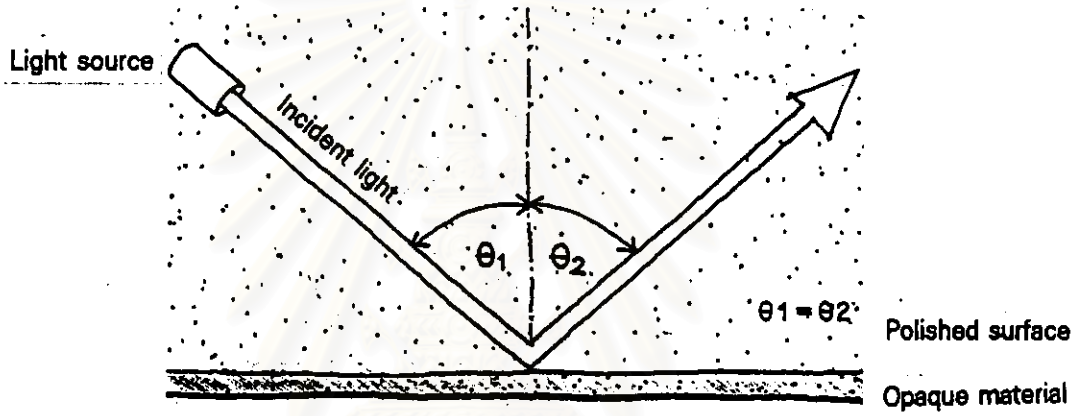


รูปที่ 9 ปรากฏการณ์แสงกระทำต่อวัตถุ

ปรากฏการณ์ที่แสงกระทำต่อวัตถุ.การทะลุผ่าน การสะท้อนและการถูกดูดกลืน ในการที่แสงตกกระทบวัตถุใดๆ อาจเกิดปรากฏการณ์ทั้งสาม หรือเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ความทึบแสงหรือโปร่งแสงของวัตถุ ขนาดของมุมตกกระทบ(Incident Angle) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

การสะท้อน (Reflection)

เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงกระทบตัวกลาง(medium)แล้วสะท้อนออก ถ้าตัวกลางมีผิวเรียบเป็นมัน(specular) มุมตกกระทบ(Incident Angle)จะเท่ากับมุมสะท้อน(Reflected Angle)เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Specular reflection

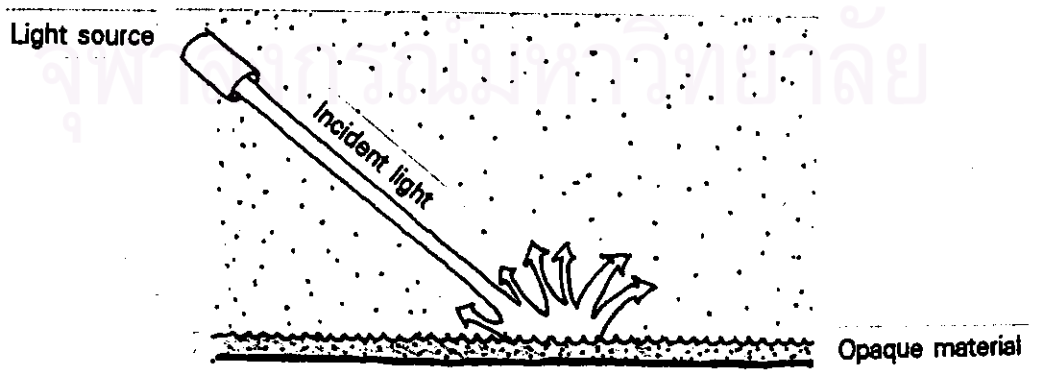


รูปที่ 10 การสะท้อนที่ผิววัตถุแบบ Specular Reflection

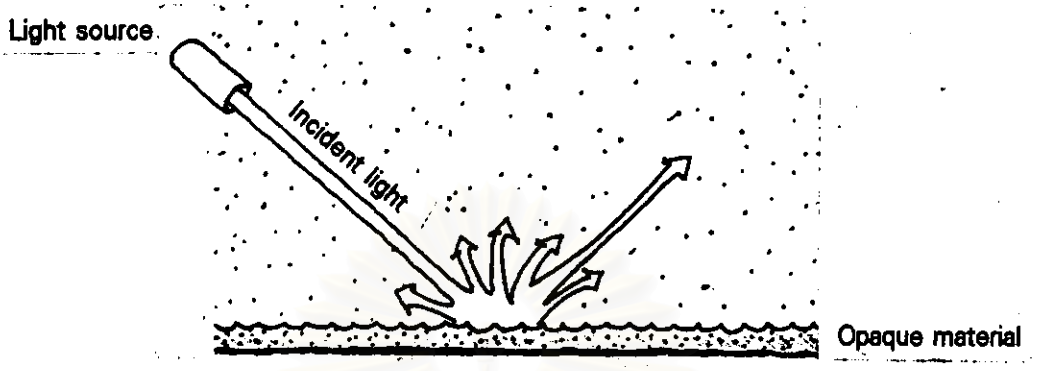
ที่มา Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992

การกระจาย (Diffusion)

เป็นรูปแบบของการสะท้อน เมื่อแผ่นตัวกลางมีลักษณะพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ ทำให้มุมที่แสงตกกระทบวัตถุ(Incident Angle)ไม่เท่ากับมุมสะท้อน(Reflected Angle) เกิดการกระจายของแสงออกจากผิววัตถุ การกระจายแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้



รูปที่ 11 การกระจายแบบ Diffuse reflection

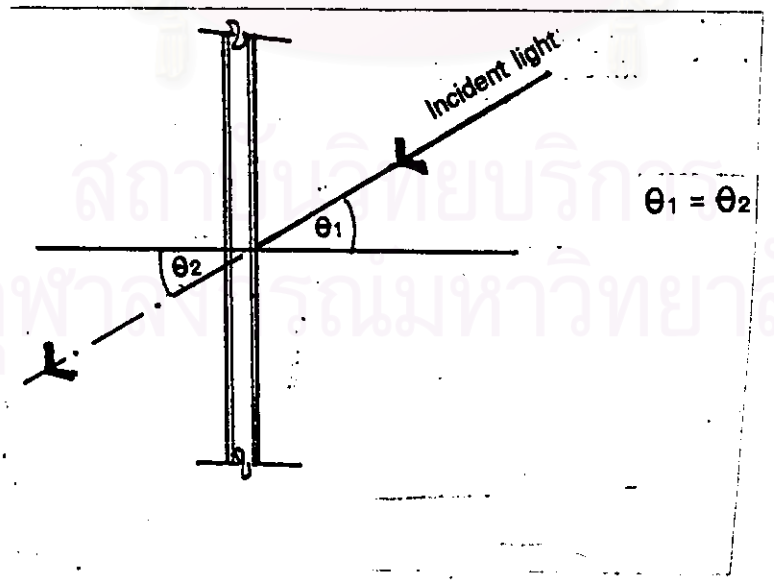


รูปที่ 12 การกระจายแบบ Combined specular and diffuse reflection

ที่มา Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992

การทะลุผ่าน (Transmission)

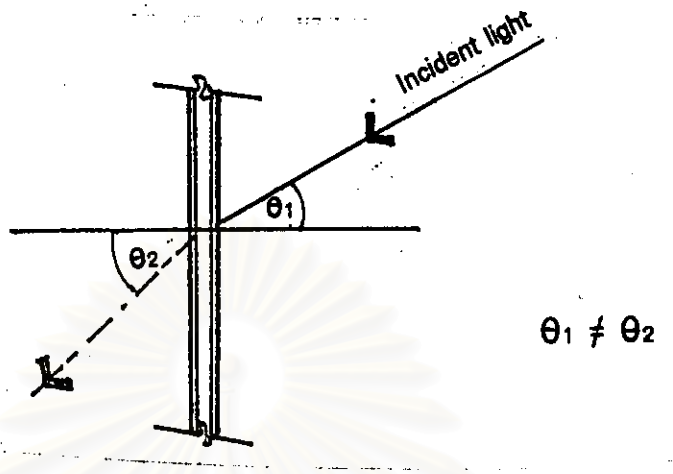
เป็นปรากฏการณ์ที่แสงทะลุผ่านวัตถุตัวกลางออกไปอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 13 ปรากฏการณ์ของแสงที่ทะลุผ่านวัตถุ

การหักเห(Refraction)

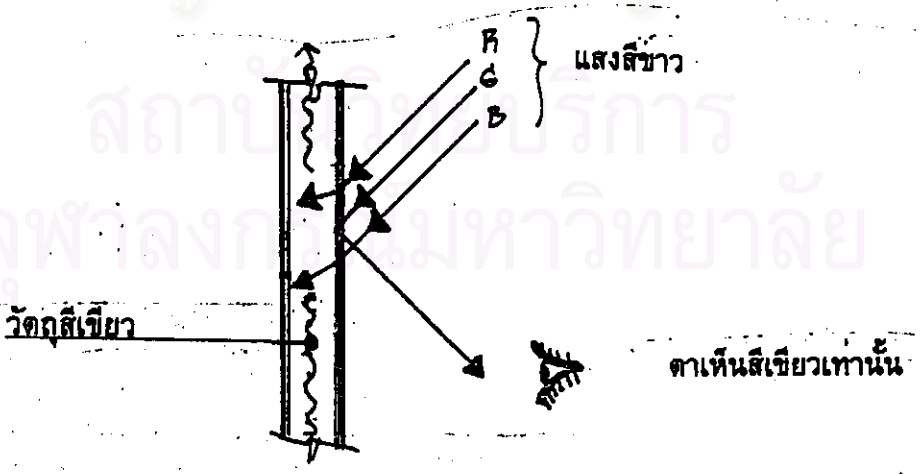
เป็นปรากฏการณ์ที่เมื่อแสงทะลุผ่านตัวกลางแล้วหักเหไปจากแนวเดิม



รูปที่ 14 การหักเหของแสงเมื่อทะลุผ่านตัวกลาง

การดูดกลืน(Absorption)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง เช่นการฉายแสงสีขาวลงบนวัตถุสีเขียว แสงสีอื่นจะถูกดูดกลืนยกเว้นแสงสีเขียวเท่านั้นที่สะท้อนสู่ตาของผู้สังเกต โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืน จะแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน



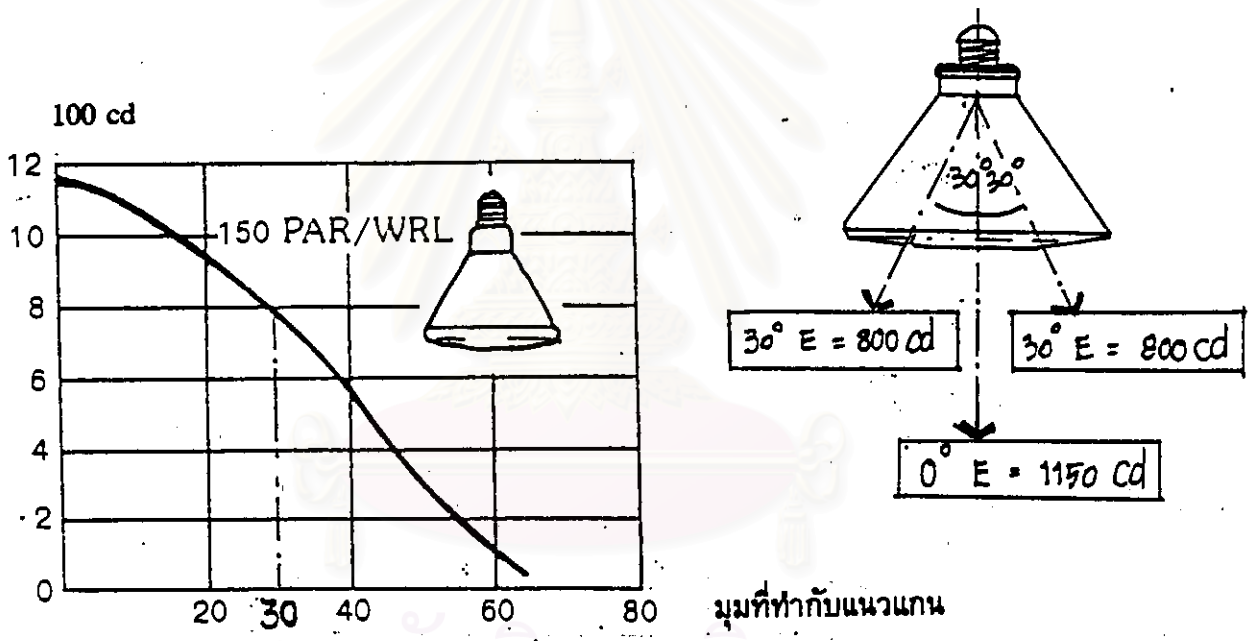
รูปที่ 15 การดูดกลืนแสงโดยตัวกลาง

3.3 การวัดค่าความสว่าง

สามารถวัดได้ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง(Luminious Intensity) และในรูปของลูเมน/ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนี้

3.3.1 แคนเดลา (Candela)

เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือกำลังการส่องสว่าง ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบนBlackbody ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของPlatinum และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง



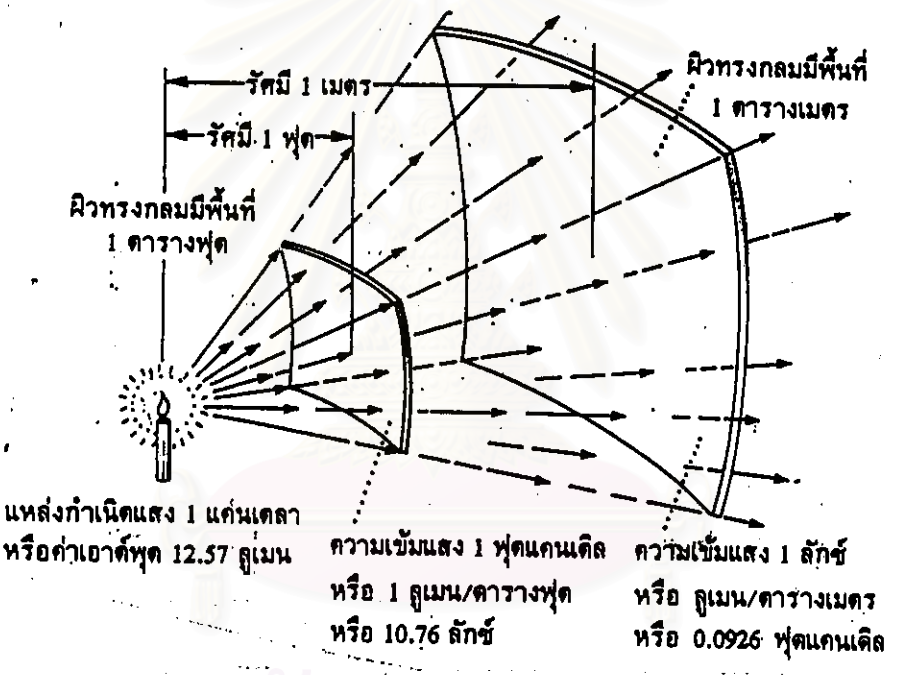
รูปที่ 16 ความเข้มของการส่องสว่างที่เปลี่ยนไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

3.3.2 Luminious Intensity

แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อย Luminious Flux ออกมาโดยรอบทิศทาง Luminious Intensity คือปริมาณของLuminious Flux ที่วัดได้ในหน่วยLumenเป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง ในรูปของปริมาณLuminous Flux ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ

3.3.3 ฟุตแคนเดิล(Footcandle)

หากเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่าง1แคนเดลา ไปวางที่จุดศูนย์กลางทรงกลมรัศมี 1ฟุต ปริมาณแสง 1ลูเมนจะตกลงทุก 1ตารางฟุตของผิวทรงกลม ดังนั้น ปริมาณการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1ฟุตแคนเดิล หรือ 1ลูเมนต่อตารางฟุต และหากทรงกลมมีรัศมี 1เมตร ปริมาณการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ 1ลักซ์หรือ 1ลูเมนต่อตารางเมตร



รูปที่ 17 การกำหนดปริมาณการส่องสว่าง1ฟุตแคนเดิล และ1ลักซ์

Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การส่องสว่าง(Illumination)

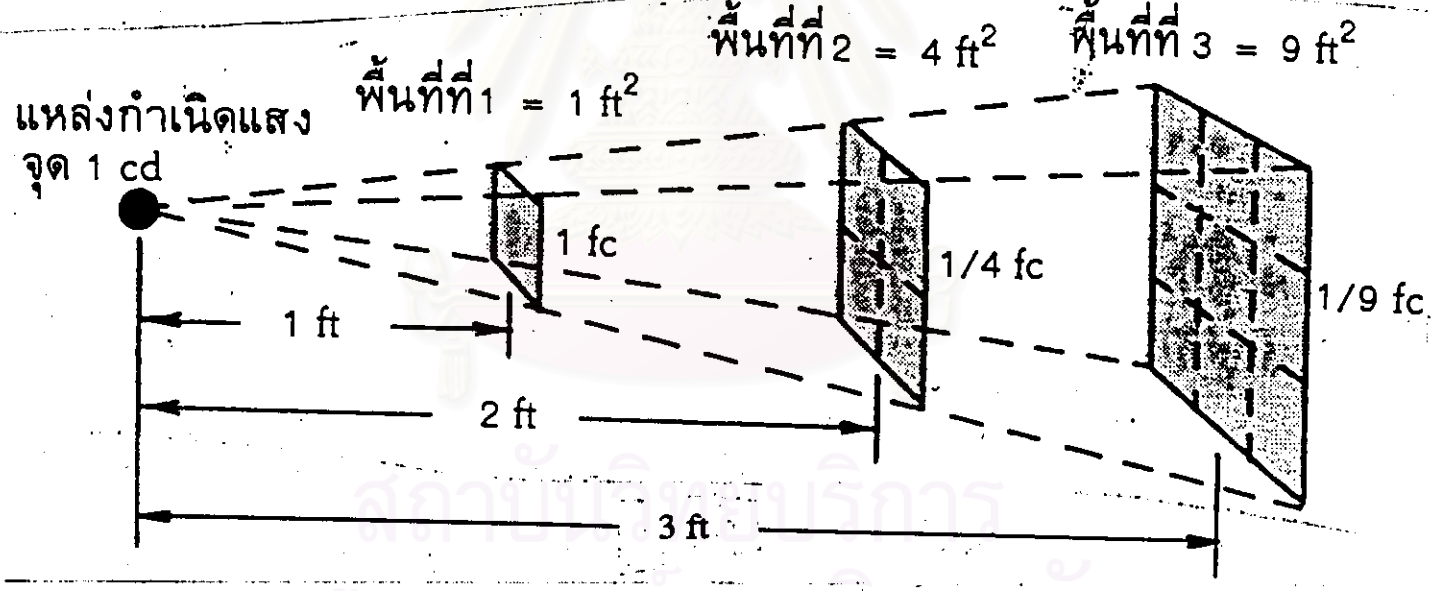
ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มของการส่องสว่าง (Luminious Intensity)ของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองจากพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน(Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล หรือลักซ์

สูตร $E = I / D^2$ หน่วยFc หรือ Lx .....(1)

E = ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นงาน

I = ความเข้มของการส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง

D = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงแหล่งที่ต้องการคำนวณ



รูปที่ 18 แสดงปริมาณการส่องสว่าง1cd จากแหล่งกำเนิดแสง ณ.ตำแหน่งพื้นที่ใช้งานใดๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 คุณสมบัติอื่นๆของแสง

3.5.1 ความจ้า (BRIGHTNESS)

เป็นผลจากแสงสะท้อนออกจากผิววัตถุสู่ตาเรา เมื่อแสงตกลงบนผิววัตถุ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกมา หากมีปริมาณมากก็จะมีความจ้ามากสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Fl = Fc * \rho \quad \text{.....(2)}$$

(ASHRAE,1993)

โดยที่ Fl = ปริมาณความจ้า หน่วย ฟุตแลมเบิร์ต (FOOT LAMBERT)

FC = ปริมาณการส่องสว่าง (ILLUMINATION)

ρ = ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (%)

3.5.2 ความเปรียบต่าง (CONTRAST)

ความแตกต่างของจุดสังเกต กับสิ่งที่อยู่รอบข้างยิ่งมีความเปรียบต่างมากจะทำให้การมองเห็นง่ายขึ้น ความต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพมีน้อยลง เช่น ตัวหนังสือดำบนกระดาษขาว ย่อมเห็นได้ง่ายกว่า ตัวหนังสือดำบนกระดาษเทา

3.5.3 ความจ้าและการส่องสว่าง (BRIGHTNESS & LUMINANCE)

ความจ้าของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะท้อนแสงของวัถตุนั้นวัตถุใดมีค่าความจ้ามากก็จะทำให้เราเห็นวัตถุนั้นได้ง่าย เนื่องจากสามารถสะท้อนแสงจากวัตถุเข้าสู่ตาเราได้มาก

ILLUMINATION - ค่าความสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง ไม่สามารถมองเห็นได้

BRIGHTNESS & LUMINANCE - ความสว่างจากแสงสะท้อนจากวัตถุ สามารถมองเห็นได้

3.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

3.6.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

คือการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnatic Wave) คือปรากฏการณ์แลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างผิวของวัตถุ ซึ่งแตกต่างจากการนำ

ความร้อน (Conduction) และการพาความร้อน (Convection) เพราะไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการแลกเปลี่ยนพลังงาน ปริมาณการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างผิววัตถุทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิวของวัตถุทั้งสอง ความสามารถของแต่ละพื้นผิวที่จะดูดกลืน หรือคายรังสี และการขจัดระหว่างผิววัตถุ

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลก แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

- การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation) พื้นผิวที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ประมาณ ลบ 460 องศาฟาเรนไฮต์ จะคายพลังงานในเทอมของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ขณะที่พื้นผิวเริ่มอุ่นขึ้นก็จะมีการคายรังสีออกมามากขึ้น เป็นรังสีคลื่นสั้น (Shortwave Radiation) พื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงสุดที่มีการแลกเปลี่ยนกับโลกคือพื้นผิวของดวงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ห่างจากโลกไป 93 ล้านไมล์ ซึ่งมีอุณหภูมิผิวประมาณ 10,000 องศาฟาเรนไฮต์ ความยาวคลื่นสูงสุดที่ปล่อยออกมาประมาณ 5 ไมโครเมตร การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ Solar Radiation ประกอบด้วย รังสีอุลตราไวโอเลต คลื่นแสง รังสีคลื่นสั้น เป็นที่ประจักษ์แล้วว่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนของวัน ฤดูกาล ผลกระทบของ Solar Radiation ที่กระทำต่อพื้นผิวอาคาร ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิว ค่าการดูดกลืน สะท้อนหรือส่งผ่านรังสี ที่ความยาวคลื่นนั้น ๆ

- การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จากพื้นโลก (Terrestrail Radiation) หรือการแผ่รังสีคลื่นยาว (Longwave Radiation) การแผ่รังสีประเภทนี้จะเกิดการแลกเปลี่ยนที่บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกพื้นผิวบนโลก อาจเป็นอาคาร ผู้ใช้อาคารหรือยานพาหนะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คือประมาณ 0-150 องศาฟาเรนไฮต์ การแผ่รังสีของความยาวคลื่นขนาด 10 ไมโครเมตร การแผ่รังสีคลื่นยาวมีระดับความเข้มของพลังงานที่ตกกระทบบนพื้นที่น้อยกว่า การแผ่รังสีคลื่นสั้น คิดเป็นอัตราส่วน 1 / 160000 ที่แหล่งกำเนิด ในรูปที่ 22 คือกราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวของคลื่นที่ช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ทั้ง Shortwave Radiation และ Longwave Radiation ซึ่งก็คือพลังงานประเภทเดียวกัน จะแตกต่างกันก็เพียงความเข้มของพลังงานที่ตกกระทบบนพื้นที่ และความยาวคลื่นเท่านั้น

- Solar Radiation ประกอบด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง Direct Solar Radiation คือพลังงานที่รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์ถึงหน่วยรับบนพื้นโลก (ID) คือระยะขจัดจากดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก

พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$I_D = I_{DN} * COS\theta$ BTU/hr.* sq.ft. .....(3)

(ASHRAE,1993)

โดย I_{DN} = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบระดับ

เมื่อ θ = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้น I_D จะลดลง

โดยทั่วไป การแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง ต่อพื้นผิวตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ (ทำมุมโดยรอบ 5.7 โดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่ดวงอาทิตย์) ในภาวะท้องฟ้าแจ่มใสโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 285 BTU/hr.*sq.ft. (900 W/sq.m) และพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย จะมีค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า โดยในภาวะท้องฟ้าแจ่มใส โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 32 BTU/hr.*sq.ft. (100 W/sq.m.) แต่ในภาวะท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีค่าอยู่ในช่วง 95-190 BTU/hr.*sq.ft. (300-600 W/sq.m)

พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากแสงสะท้อน (I_R : Reflected Solar Radiation From Surrounding Surface)

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (Total or Global Solar Radiation) คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจายที่รับได้บนระนาบ (โดยทั่วไป จะวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมบนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา-หน่วยพื้นที่) (I_T)

โดย $I_T = I_D + I_d + I_r$ BTU/hr.*sq.ft. .....(4)

(ASHRAE,1993)

ความสัมพันธ์ระหว่างแสงสว่างตามธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

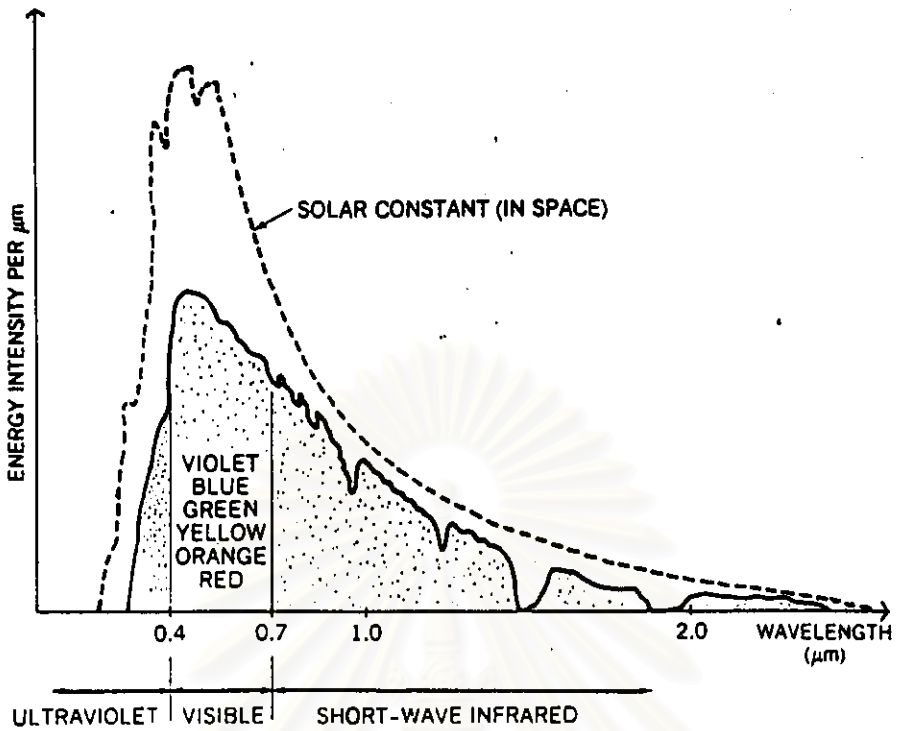
1. ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 Lumens/Watt ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25 และจะเท่ากับ 90 Lumens/Watt ที่มุมของพระอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 25 ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังจะต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ อีกเช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพของบรรยากาศ เป็นต้น

2. หาความสัมพันธ์โดยวิธี Regression Equation จากปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (RAD : BTU/sq.ft.) กับ ปริมาณความสว่างจากแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ (ILLUM : FOOTCANDLES) ดังนี้

$$E = 104.8 + 31.007 * I \quad \text{..... (5)}$$

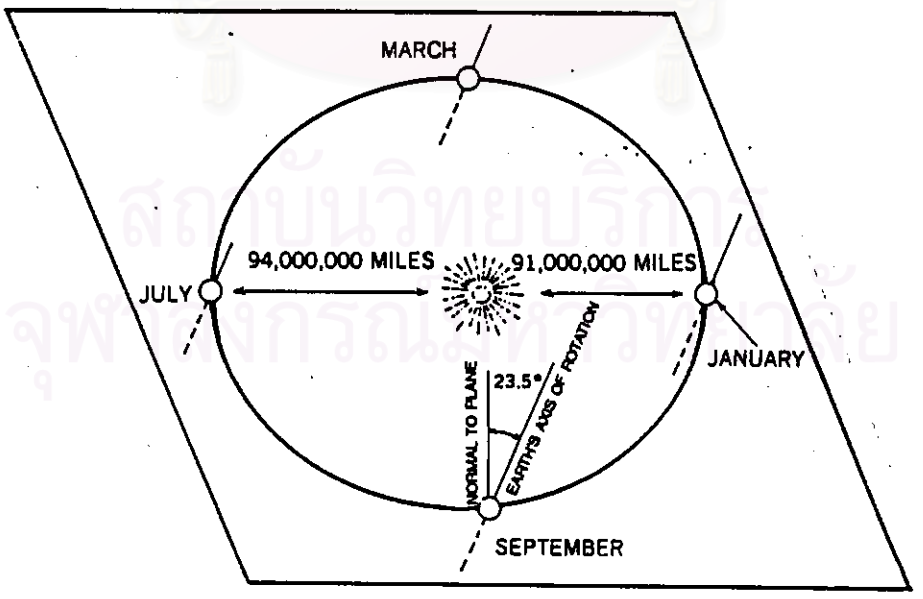
โดยความสัมพันธ์นี้ ครอบคลุมในทุก ๆ สภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกันโดยมี R-Square เท่ากับ 0.97 และ standard error = 9.7 Footcandles

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



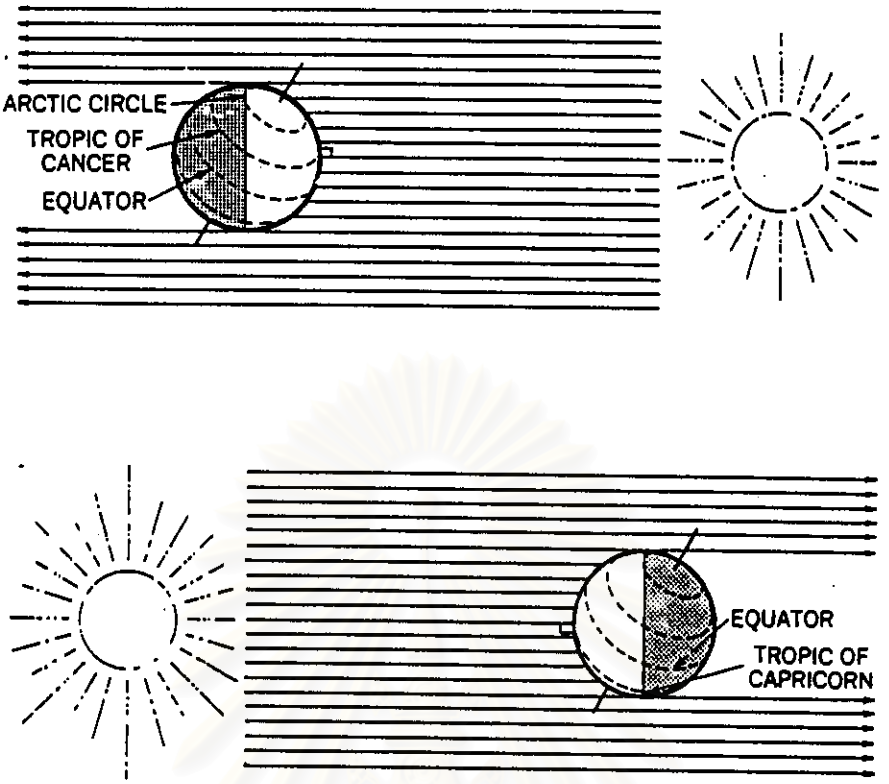
รูปที่ 19 Solar Spectrum

(Environment Control Systems,1993)



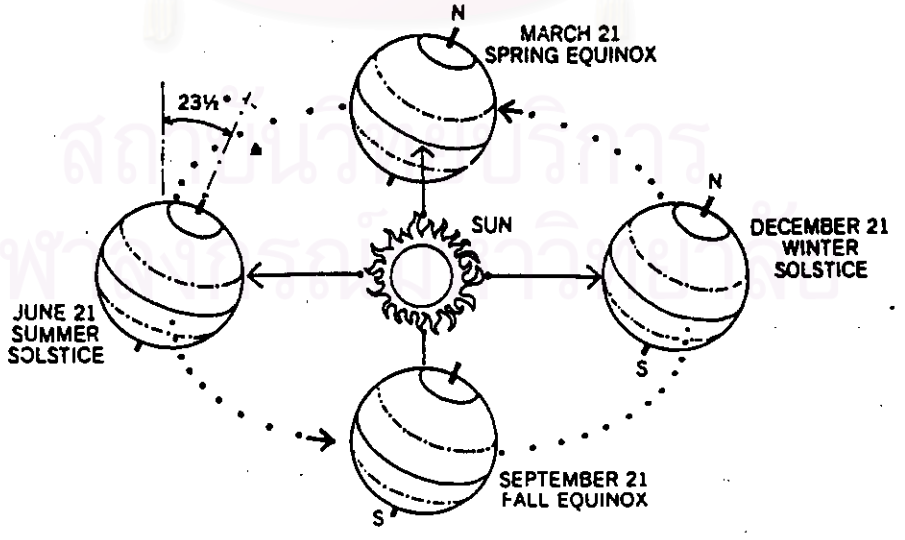
รูปที่ 20 ตำแหน่ง และระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ที่วันเวลาต่างๆ

(Environment Control Systems,1993)



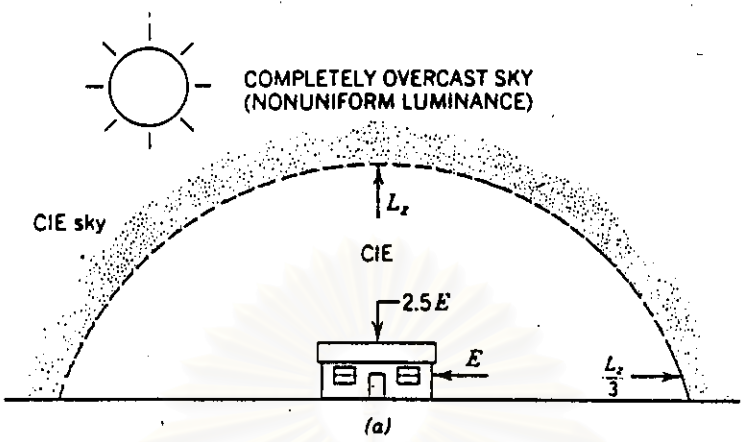
รูปที่ 21 ปรากฏการณ์ที่ดวงอาทิตย์อ้อมเหนือ และอ้อมใต้

(Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992)

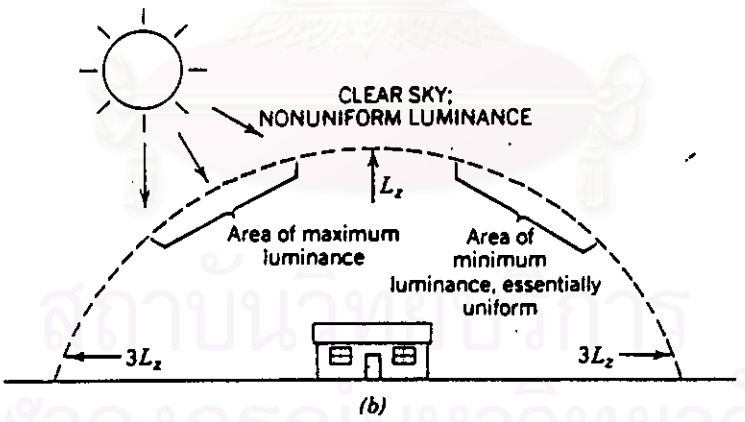


รูปที่ 22 ปรากฏการณ์ Summer Soltice, Winter Soltice และ Equinox

(Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992)



รูปที่ 23 ค่าความสว่างของท้องฟ้าในสภาวะOvercast Sky
(Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992)



รูปที่ 24 ค่าความสว่างของท้องฟ้าในสภาวะClear Sky
(Mechanical and Electrical Equipment for Building,1992)

I 17219851