# บทที่ 2 หลักทางวิชาการของงานวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave)

ธรรมชาติของแสง จะแสดงความประพฤติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค เมื่อเรากล่าวถึงแสง ในคุณสมบัติความเป็นคลื่นนั้น เราจะเรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) ซึ่งประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมตั้งฉาก และเคลื่อนที่ไปในสุญญากาศด้วย ความเร็ว 3 x 10<sup>°</sup> m/s เมื่อเรากล่าวถึงแสงในคุณสมบัติของอนุภาค เราเรียกว่า โฟตอน (Photon) เป็นอนุภาคที่ไม่มีมวล แต่เป็นพลังงาน

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการ เปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะ เหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่มีุ่่<u>อาร</u>ุสั่นในแนวตั้งฉาุถุกันและอยู่บนระนาบตั้งฉากกับท<u>ิศการเคลื่อน</u>ที่ของ\_

] ] ] คลื่น และเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โคยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ

### 2.2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และ ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสี อินฟราเรด คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นช่วงต่างๆ

คลื่นแม่เหล็ก โฟฟ้าประเภทอื่นๆ ซึ่งเรียงลำดับตามความยาวคลื่นได้ดังนี้ รังสีแกมมา (Gamma ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 นาโน เมตร โฟตอนของรังสีแกมมามีพลังงานสูงมาก กำเนิดจากแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เช่น ดาวระเบิด หรือ ระเบิดปรมาณู เป็นอันตรายมากต่อสิ่งมีชีวิต

> รังสีเอ็กซ์ (X-ray) มีความยาวคลื่น 0.01 - 1 นาโนเมตร มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติมาจาก ดวงอาทิตย์ เราใช้รังสีเอ็กซ์ในทางการแพทย์ เพื่อส่องผ่านเซลล์เนื้อเยื่อ แต่ถ้าได้ร่างกายได้รับรังสี นี้มากๆ ก็จะเป็นอันตราย

> รังสีอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 นาโนเมตร รังสีอุล ตราไวโอเล็ตมีอยู่ในแสงอาทิตย์ เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่หากได้รับมากเกินไปก็จะทำให้ผิว ใหม้ และอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

> แสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร พลังงานที่แผ่ ออกมาจากควงอาทิตย์ ส่วนมากเป็นรังสีในช่วงนี้ แสงแคคเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก และยังช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช

> รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร - 1 มิลลิเมตร โลก และสิ่งมีชีวิตแผ่รังสีอินฟราเรคออกมา ก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ในบรรยากาศดูดซับรังสีนี้ไว้ทำให้โลกมีความอบอุ่น เหมาะกับการคำรงชีวิตเป็นช่วงคลื่นที่มี พลังงานต่ำ ตามนุษย์มองไม่เห็น จำแนกออกเป็น อินฟราเรคคลื่นสั้น และอินฟราเรคคลื่นความ ร้อน

- Near Infrared (NIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 ถึง 1.5 μm.

- Short Wavelength Infrared (SWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 ถึง 3 μm.
- Mid Wavelength Infrared (MWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 3 ถึง 8 μm.
- Long Wavelength Infrared (LWIR) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 8 ถึง 15 μm.
- Far Infrared (FIR) ความยาวคลื่นจะมากกว่า 15 μm.

คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร - 10 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์ ในด้านโทรคมนาคมระยะไกล นอกจากนั้นยังนำมาประยุกต์สร้างพลังงานในเตาอบอาหาร

คลื่นวิทยุ (Radio wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด คลื่นวิทยุ สามารถเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสาร โทรคมนาคม เป็นช่วงคลื่นที่เกิดจากการสั่นของผลึกเนื่องจากได้รับสนามไฟฟ้า หรือเกิดจากการสลับขั้วไฟฟ้า

2.3 สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์

 2.3 สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์

 2.3 1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี โดยมีความรี (eccentricity)

 เท่ากับ 0.016722 มีระยะกึ่งแกนหลัก (semi-major axis) 1.4968x10<sup>8</sup> กิโลเมตร โดยมีดวงอาทิตย์

 อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่งของวงรีดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.3



#### รูปที่ 2.3 แสดงวงโคจรของโลกรอบควงอาทิตย์

ระนาบของวงโคจรของโลกรอบควงอาทิตย์เรียกว่า ระนาบสุริยะวิถี (ecliptic plane) แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยะวิถี <sub>23 ½</sub> องศา ดังนั้นระนาบ ศูนย์สูตร (equatorial plane) ของโลกจึงทำมุมกับระนาบสุริยะวิถี <sub>23 ½</sub> องศาด้วย การที่แกนหมุน ของโลกเอียงนี้ทำให้โลกหันซีกเหนือและซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากน้อยต่างกันในขณะที่โคจร รอบควงอาทิตย์ โดยโลกจะหันซีกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน หรือ โซลส์ติกส์ฤดูร้อน (summer solstice) ณ ตำแหน่งนี้กลางวันของซีกโลกเหนือจะยาวที่สุด โลกจะหันซีกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม หรือโซลส์ติกส์ฤดูหนาว (winter solstice) ดังนั้นการเกิดฤดูกาลจึงเป็นผลมาจากการที่แกนหมุนของโลกเอียงทำมุมกับเส้น ตั้งฉากของระนาบสุริยะวิถี

เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบควงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะทางระหว่างโลกกับควง อาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีระยะเฉลี่ยเท่ากับ 1.496x10<sup>8</sup> กิโลเมตร หรือ 1 หน่วยคารา ศาสตร์ (astronomical unit, AU) โลกจะอยู่ที่ตำแหน่งใกล้ควงอาทิตย์ที่สุด (perihelion) ที่ ระยะห่าง 0.983 AU หรือในวันที่ 3 มกรากม และอยู่ที่ตำแหน่งไกลสุด (aphelion) ที่ระยะห่าง 1.017 AU ในวันที่ 4 กรกฎาคม ระยะทางระหว่างโลกกับควงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ระยะทางคังกล่าวแปรไปตามวันต่างๆ ในรอบปี ตามสมการ ต่อไปนี้ (Iqbal, 1983)

$$E_0 = (r/r_0)^2 = 1.000110 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.001280 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma$$
(2.1)

ເນື້ອ  $\Gamma = 2\pi (d_n - 1)/365$ 

Γ = มุมวัน (day angle) [เรเดียน]

r = ระยะทางระหว่างโลกกับควงอาทิตย์ [km]

r<sub>o</sub> = ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับควงอาทิตย์ [1.496x10<sup>8</sup> km]

d ุ = ถำดับของวันในรอบปี [d ุ = 1 สำหรับวันที่ 1 มกราคม]

#### 2.3.2 ทรงกลมท้องฟ้าและทางเดินปรากฏของเทหวัตถุ

ขณะที่โลกโคจรไปรอบควงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก โลกจะ หมุนรอบตัวเองไปในทิศเดียวกันด้วย ถ้าสมมุติว่าเราอยู่ที่ผิวโลก ณ ตำแหน่งละติจูด ф และ ลองจิจูดใดๆ ตัวเราก็จะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับผิวโลก และถ้าไม่มีสิ่งกืดขวางเมื่อเรามองไปรอบๆ ตัว เราจะเห็นขอบฟ้ากลม ทั้งนี้เพราะสายตาเรามองได้ไกลสุดเท่ากันทุกทิศทุกทาง และถ้าแหงน ขึ้นดูข้างบนเราก็จะเห็นท้องฟ้าโค้งเป็นครึ่งทรงกลมครอบเราอยู่ เพราะเรารับรู้แสงที่มาจาก ท้องฟ้าซึ่งเกิดจากกระเจิงของบรรยากาศมาเข้าตาเราเท่ากันทุกทิศทาง



#### รูปที่ 2.4 แสดงโลกและท้องฟ้า

ดวงดาวต่างๆ ซึ่งอยู่ใกลมากจะถือว่าอยู่นิ่งกับที่เทียบกับการเคลื่อนของโลก เราจะ เกลื่อนที่ไปพร้อมกับการหมุนรอบตัวเองของโลกจากทิศตะวันตกไปตะวันออกผ่านดวงดาวต่างๆ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกกว้างใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของวัตถุต่างๆ บนโลก เราจึงมีความรู้สึก ว่าพื้นผิวโลกอยู่นิ่งกับที่และดวงดาวต่างๆ เป็นฝ่ายเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกรอบ แกนหมุนซึ่งขนานกับแถนหมุนของโลก เรียกแกนหมุนนี้ว่าแถนหมุนท้องฟ้า ระนาบของพื้นโลก ที่เราอยู่เรียกว่า ระนาบขอบฟ้า (horizontal plane) จากหลักเรขาคณิตสามารถพิสูจน์ได้ว่าแถน หมุนท้องฟ้าจะทำมุมกับระนาบขอบฟ้าเท่ากับละติจูดที่เราอยู่ โดยทั่วไปสายตาของมนุษย์ไม่ สามารถบอกความแตกต่างของระยะทางระหว่างตนเองกับวัตถุ 2 ชิ้น ซึ่งแต่ละชิ้นอยู่ห่างจากเรา ไม่เท่ากัน ถ้าวัตถุทั้งสองอยู่ไกลเรามาก สายตาของเราจะสังเกตเห็นวัตถุเหล่านั้นอยู่ห่างจากเรา เท่ากันหมด ด้วยเหตุนี้เราจึงเห็นท้องฟ้ามีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมครอบเราอยู่ โดยมีเทห วัตถุ (celestial object) เช่น ดาวฤกษ์ต่างๆ ยึดติดกับทรงกลมท้องฟ้าและเกลื่อนที่รอบแถนหมุน ซึ่งขนานกับแถนหมุนของโลกด้วยอัตราเดียวกับอัตราการหมุนของโลกรอบตัวเองคือ 1 รอบต่อ วัน ถ้าคาวฤกษ์ควงหนึ่งอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบศูนย์สูตร โลก ขณะที่โลก หมุนรอบตัวเองกนที่อยู่ ณ ตำแหน่งศูนย์สูตรจะเห็นคาวควงนี้เกลื่อนที่จากขอบฟ้าค้านตะวันออก ไปยังขอบฟ้าตะวันตกในระนาบที่ขนานกับระนาบศูนย์สูตร โลก เรียกระนาบคังกล่าวว่าระนาบ ศูนย์สูตรท้องฟ้า (celestial equator) ถึงแม้ว่าคนที่ไม่ได้อยู่ที่ศูนย์สูตรก็จะเห็นการเกลื่อนที่ของ คาวคังกล่าวเช่นเดียวกับคนที่อยู่ที่ศูนย์สูตร ทั้งนี้เพราะระยะทางบนโลกมีก่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ ระยะทางจากโลกถึงคาวต่างๆ ระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าจะอยู่ในแนวตะวันออกตะวันตกและตั้ง ฉากกับแกนหมุนของทรงกลมท้องฟ้าเช่นเดียวกับในกรณีของแกนหมุนของโลกซึ่งตั้งฉากกับ ระนาบศูนย์สูตรของโลก

สำหรับดาวอื่นที่มิได้อยู่ในระนาบเดียวกันกับระนาบศูนย์สูตรของโลกก็จะมีการ เคลื่อนที่ติดไปกับทรงกลมท้องฟ้าในระนาบที่ขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าด้วยอัตราเดียวกัน กับอัตราการหมุนของโลก ท้องฟ้าที่ปรากฏต่อผู้สังเกตทั่วไปจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของท้องฟ้า

#### 2.3.3 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์

โดยทั่วไปดำแหน่งของดาวฤกษ์จะอยู่คงที่เมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ทั้งนี้เพราะดาวฤกษ์อยู่ไกลจากโลกมากจนไม่สามารถสังเกตการเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นเราจึงเห็นดาวฤกษ์อยู่ในระนาบเดิมซึ่งขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่กรณีของดาว เคราะห์และดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนระนาบการเคลื่อนที่บนท้องฟ้าไปตามเวลาในรอบปี ทั้งนี้ เพราะเทหวัตถุเหล่านี้อยู่ใกล้โลก และมีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเมื่อเทียบกับระนาบ ศูนย์สูตรของโลก ในกรณีของดวงอาทิตย์จะสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งของควงอาทิตย์เมื่อเทียบกับศูนย์สูตรโลก

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าในวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และ 22 หรือ 23 กันยายน ควง อาทิตย์จะอยู่ในระนาบเดียวกับระนาบอิเควเตอร์โลก สำหรับในวัน 21 หรือ 22 มิถุนายน ควง อาทิตย์จะอยู่เหนือระนาบอิเควเตอร์มากที่สุด และวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม จะอยู่ใต้ระนาบ อิเควเตอร์มากที่สุด ดังนั้นระนาบทางเดินของควงอาทิตย์บนท้องฟ้าจึงเปลี่ยนแปลงไปตาม เวลา บางครั้งอยู่ด้านเหนือและบางครั้งอยู่ด้านใต้ของระนาบอิเควเตอร์ท้องฟ้า เนื่องจากระนาบ อิเควเตอร์ของโลกทำมุมกับระนาบสุริยะวิลี 23 ½ องสา ดังนั้นทางเดินปรากฏของควงอาทิตย์จึง สามารถอยู่ห่างจากอิเกวเตอร์ได้มากที่สุด 23 ½ องสา ลักษณะทางเดินปรากฏของควงอาทิตย์บน ท้องฟ้าแสดงได้ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงทางเดินปรากฏของควงอาทิตย์บนท้องฟ้า

จากรูปจะเห็นว่า ช่วงระยะเวลาที่ควงอาทิตย์อยู่เหนือขอบฟ้า หรือความยาว ของกลางวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรอบปี และขึ้นกับตำแหน่งเส้นรุ้งของผู้สังเกต โดยที่ ในช่วงฤดูร้อนควงอาทิตย์จะอยู่ทางเหนือของศูนย์สูตรท้องฟ้าและมีกลางวันยาวกว่าในช่วงฤดู หนาวซึ่งควงอาทิตย์อยู่ทางใต้ของศูนย์สูตรท้องฟ้า

#### 2.3.4 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ อาจบอกด้วยมุมหรือบอกด้วยส่วนโด้งของ ทรงกลมท้องฟ้า (celestial sphere) ที่รองรับมุมดังกล่าวก็ได้ ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์มีการ บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ 2 ระบบดังนี้

ระบบอาซิมุธ-อัลติจูด (azimuth-altitude system) ระบบนี้ใช้มุม 2 มุม (ตามรูปที่
 2.8) เป็นตัวบอกตำแหน่งได้แก่

ก. มุมอาซิมุธ (azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ไปยังเงา (projection)
 บนระนาบขอบฟ้าของเส้นตรงซึ่งเชื่อมระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ โดยกำหนดว่าถ้าเงา
 ดังกล่าวอยู่ด้านตะวันออก มุมอาซิมุธมีค่าเป็นบวกและทางตะวันตกมีค่าเป็นลบ ดังนั้น -180 < Ψ</li>
 180 องคา
 พับ มุมอัลติจูด (altitude, α) เป็นมุมเงย ณ ตำแหน่งผู้สังเกตของเส้นตรงซึ่ง

เชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์กับผู้สังเกต จะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา สำหรับมุมที่อยู่ระหว่างผู้สังเกตกับ ดวงอาทิตย์ เรียกว่า มุมเซนิธ (zenith angle,  $\Theta_z$ ) ซึ่งสามารถใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้เช่นกัน โดยที่  $\Theta_z = 90 - \alpha$ 

การบอกตำแหน่งโดยใช้ระบบอาซิมุธ-อัลติจูด มีข้อดีคือ เข้าใจได้ง่าย แต่ก็มี ข้อด้อยคือ ค่าอาซิมุธและอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงไปทุกขณะตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนดวงอาทิตย์ ตก และเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงการบอกตำแหน่งของควงอาทิตย์โดยใช้ระบบอาซิมุธ-อัลติจูด

2) ระบบศูนย์สูตร (equatorial system) ระบบนี้ใช้มุมหรือส่วนโค้งของทรงกลม ท้องฟ้า ตามรูปที่ 2.9 เป็นตัวบอกตำแหน่งดังนี้

ก. เคกลิเนชัน (declination, δ) เป็นส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ (great eircle) ที่ผ่านขั้วทั้งสองของทรงกลมท้องฟ้าระหว่างเส้นสูนย์สูตรท้องฟ้ากับทางเดินของควงอาทิตย์ตาม รูป 2.9 มีค่าอยู่ระหว่าง - <sub>23 ½</sub> < δ < <sub>23 ½</sub> องศา ถือว่ามีค่าคงที่ในแต่ละวันและมีค่าเปลี่ยนแปลง ไปตามวันในรอบปี การเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\delta = (0.006918 - 0.399912\cos\Gamma + 0.070257\sin\Gamma - 0.006758\cos 2\Gamma + 0.000907\sin 2\Gamma - 0.002697\cos 3\Gamma + 0.00148\sin 3\Gamma)(180/\pi)$$
(2.2)

เมื่อ δ = เดกลิเนชัน [องศา] d<sub>n</sub> = วันในรอบปี, d<sub>n</sub> = 1 สำหรับวันที่ 1 มกราคม Γ = มุมวัน (day angle) [เรเดียน]

ง. มุมชั่วโมง (hour angle, ω) เป็นมุมที่ขั้วของทรงกลมท้องฟ้า(celestial pole)
 หรือส่วนโด้งของทรงกลมท้องฟ้าระหว่างเส้นเมอริเดียน (meridian) ของผู้สังเกต กับวงกลมใหญ่
 ที่ลากผ่านควงอาทิตย์และขั้วทั้งสองของทรงกลมท้องฟ้า มีค่าเป็นบวกเมื่อควงอาทิตย์อยู่ทาง
 ตะวันออกของเมอริเดียน และเป็นลบเมื่ออยู่ทางตะวันตกของเมอริเดียน



สำหรับมุมชั่วโมงที่ควงอาทิตย์ตก จะเท่ากับมุมชั่วโมงที่ควงอาทิตย์ขึ้น แต่ เครื่องหมายตรงกันข้าม คังนั้นความยาวของวัน N<sub>d</sub> จึงเท่ากับ 2 ω<sub>s</sub> หรือเขียนในหน่วยของชั่วโมง ได้ดังนี้

$$N_{d} = \frac{2}{15} \left| \cos^{-1} (\tan \delta \tan \phi) \right|$$
(2.7)

#### 2.3.5 เวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ตามกฎการเคลื่อนที่ของคาวเคราะห์ของเกปเลอร์ (Kepler) คาวเคราะห์ต่างๆ รวมถึงโลกจะโคจรรอบควงอาทิตย์เป็นวงรี โดยขณะที่โลกโคจรรอบควงอาทิตย์ เส้นตรงที่เชื่อม ระหว่างโลกกับควงอาทิตย์จะกวาคพื้นที่ได้เท่ากัน ถ้าช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากัน คังนั้น กวามเร็วในการเคลื่อนที่ของโลกรอบควงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนวงโคจรจึงมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ช่วงเวลาที่ ผู้สังเกตบนพื้นโลกเห็นควงอาทิตย์ตรงศีรษะ 2 ครั้งติคต่อกัน หรือ 1 วัน มีความ ยาวไม่เท่ากัน การใช้เวลาที่อาศัยควงอาทิตย์เป็นหลักหรือเวลาควงอาทิตย์ (solar time) จึงไม่ สะควกในการเปรียบเทียบเหตุการณ์ต่างๆ ในการแก้ปัญหาคังกล่าว จึงได้มีการกำหนดเวลาที่

สม่ำเสมอขึ้น โดยการนำเวลาดวงอาทิตย์ในวันที่ 1 มกราคม ปี ก.ศ.1900 มาแบ่งเป็น 86,400 ส่วน เรียก 1 ส่วนว่า 1 วินาที เรียกเวลานี้ว่าเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (solar mean time) ซึ่งสามารถวัด ได้ด้วยความถี่ธรรมชาติที่คงที่ต่างๆ เช่น ลูกคุ้มนาฬิกา หรือความถี่ของการสั่นของอะตอมของ ธาตุบางชนิดและกำหนดว่า เวลาควงอาทิตย์เฉลี่ย ณ เมืองกรีนิช (Greenwish) ประเทศอังกฤษเป็น เวลาสากล (universal time) หรือเวลากรีนิช (Greenwish mean time, GMT) ในประเทศต่งกฤษเป็น เวลาสากล (universal time) หรือเวลากรีนิช ในแต่ละเขตจะมีเส้นลองจิจูดมาตรฐาน (standard longitude, L<sub>v</sub>) และในเขตนั้นๆ จะใช้เวลาเดียวกัน เส้นลองจิจูดนี้จะห่างจากกรีนิชเป็นจำนวนเท่า ของ 15 องศา เช่น เส้นลองจิจูดมาตร-ฐานของประเทศไทยเท่ากับ 105 องศา (15x7) นั่นคือเวลา มาตรฐานท้องถิ่น (local standard time, LST) เป็นเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกา (clock time) และใช้ ในชีวิตประจำวันนั่นเอง สำหรับประเทศที่มีขนาดใหญ่ เช่น สหรัฐอเมริกาจะแบ่งเขตการใช้เวลา มาตรฐานท้องถิ่นออกเป็นหลายเขต เพื่อให้สอดกล้องกับสภาพที่เป็นจริงของกลางวันและ กลางกินของท้องถิ่นนั้นๆ

เวลาควงอาทิตย์และเวลาควงอาทิตย์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันตามวันในรอบปี ซึ่ง สามารถหาความแตกต่างๆ ได้จากสมการเวลา (equation of time) หรือแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 2.10





### สมการเวลาสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_{t} = 229.18(0.000075 + 0.001868\cos\Gamma - 0.032077\sin\Gamma - 0.014615\cos2\Gamma - 0.04089\sin2\Gamma)$$
(2.8)

โดยที่  $\Gamma = 2\pi (d_n - 1) / 365$ 

เมื่อ E<sub>t</sub> = สมการเวลา [นาที]

Γ = มุมวัน (day angle) [เรเดียน]

เวลาควงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของควงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อ 12.00 น. ตามเวลาควงอาทิตย์ ค่า ω = 0° ถ้าเวลาควงอาทิตย์เป็น 11.00 น. ω = 15° เวลา ควงอาทิตย์นี้สามารถคำนวณหาได้จากเวลามาตรฐานท้องถิ่น สมการเวลาและผลต่างระหว่าง ตำแหน่งเส้นลองจิจูคมาตรฐาน และเส้นลองจิจูคของผู้สังเกต หรือเขียนเป็นรูปสมการได้คังนี้

$$ST = LST + 4(L_s - L_{loc}) + E_t$$
(2.9)

เมื่อ ST = เวลาควงอาทิตย์ [ชม. :นาที]

LST = เวลามาตรฐานท้องถิ่น [ชม. :นาที]

L<sub>s</sub> = เส้นลองจิจูคมาตรฐาน [องศา] L<sub>loc</sub> = เส้นลองจิจูคของผู้สังเกต [องศา]

E<sub>t</sub> = สมการเวลา [นาที]

ค่าของ 4(L<sub>s</sub>-L<sub>loc</sub>) มีหน่วยเป็นนาที และค่าของ L<sub>s</sub> และ L<sub>loc</sub> เป็นลบเมื่ออยู่ทาง ตะวันออกของกรีนิช และเป็นบวก เมื่ออยู่ทางตะวันตกของกรีนิช

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมชั่วโมงของควงอาทิตย์กับเวลาควงอาทิตย์ เขียนเป็นสูตร ได้ดังนี้

$$\omega = 15(12-ST)$$
 (2.10)

เมื่อ ω = มุมชั่วโมง [องศา] ST = เวลาควงอาทิตย์ [ชม.]

2.3.6 มุมตกกระทบของลำแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง
ในการคำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นเอียง เรารำเป็นต้องทราบ
มุมระหว่างลำแสงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากของพื้นเอียงนั้น หรือมุมตกกระทบ (θ) กับระนาบขอบ
ฟ้า และมีก่าอาซิมุธของเงาของเส้นตั้งฉาก ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 พื้นเอียงโดยทั่วไปจะ
หมายถึงระนาบที่ทำมุม β กับระนาบขอบฟ้า (horizontal plane) และเงาของเส้นตั้งฉากของพื้น



รูปที่ 2.11 แสดงมุมตกกระทบของลำแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง

มุมตกกระทบ (heta) ของลำแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงดังกล่าว สามารถหาได้จาก

สมการต่อไปนี้

$$\cos \theta = \sin \delta \cos \beta - \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \omega (\cos \phi \cos \beta + \sin \phi \sin \beta \cos \gamma$$
(2.11)  
+ \cos \delta \sin \beta \sin \alpha \sin \alpha

เมื่อ θ = มุมตกกระทบของลำแสงบนพื้นเอียง δ = มุมเคคลิเนชันของควงอาทิตย์ ω = มุมชั่วโมงของควงอาทิตย์ β = มุมที่พื้นเอียงทำกับพื้นราบ γ = มุมอาซิมุธของเงาของเส้นตั้งฉากกับพื้นเอียง φ = ละติจูด

$$\omega_{\rm s} = \min\left\{\cos^{-1}(-\tan\delta\tan\phi), \cos^{-1}(-\tan\delta\tan(\phi-\beta))\right\}$$
(2.14)

#### 2.4 แลงสว่างธรรมชาติ (daylight)

#### 2.4.1 แหล่งกำเนิดของแสงสว่างธรรมชาติ

ดวงอาทิตย์ส่งพลังงานออกมาสู่อวกาศโดยรอบในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมี ความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีแกมมาจนถึงคลื่นวิทยุ เมื่อผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกโมเลกุลของ อากาศ ฝุ่นละออง และเมฆดูดกลืนและกระเจิง โดยส่วนที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะเหลือเฉพาะ รังสีอุลตราไวโอเลต แสงสว่าง และรังสีอินฟราเรด หรือส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.29-4.0 μm (Igbal, 1983) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และ 2.13

สเปกตรัมรังสีควงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกนี้มีเฉพาะบางส่วนเท่านั้นที่สายตาของ มนุษย์สามารถรับรู้ได้ในรูปของแสงสว่าง โดยประสาทตาจะตอบสนองต่อความยาวคลื่นต่าง ๆ ไม่เท่ากัน กล่าวคือจะตอบสนองช่วงความยาวคลื่นของแสงสีเขียวได้ดีกว่าช่วงความยาวคลื่นของ แสงสีแดงและสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของรังสีควงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Iqbal, 1983) ปาการที่สามาร์ สี่งวนสีบสีโทร์



รูปที่ 2.13 สเปกตรัมรังสีควงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (Iqbal, 1983)





ส่วนของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่สายตามนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จะ เรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ (daylight) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight) โดยมีความยาวคลื่นในช่วง 0.38-0.77 μm แสง ตรงจากดวงอาทิตย์จะเป็นส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศของ โลกมายังตำแหน่งที่พิจารณา ส่วนแสงกระจายจากท้องฟ้าจะเป็นแสงที่เกิดจากการกระเจิง (scattering) ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์โดยโมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ ดังแสดงใน รูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight)

เมื่อแสงตรงจากควงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าตกกระทบพื้นดิน ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ จะมีการสะท้อน ซึ่งแสงสว่างส่วนนี้ยังคงเป็นแสงสว่างธรรมชาติอีกส่วน หนึ่งซึ่งเรียกว่าแสงสว่างธรรมชาติซึ่งสะท้อนจากพื้นผิวโลก

#### 2.4.2 ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

#### 2.4.2.1 Direct Illuminance และ Diffuse Illuminance

เป็นปริมาณของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของฟลักซ์แสงสว่างจาก ดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วย ถ้าเป็นฟลักซ์ของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ จะเรียกว่า direct illuminance หรือ beam illuminance กรณีที่เป็น ฟลักซ์ของแสงกระจายจากท้องฟ้า จะ เรียกว่า diffuse illuminance และเรียกผลรวมว่า global illuminance ดังแสดงในแผนภูมิรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ direct illuminance และ diffuse illuminance

2.4.2.2 sky luminance เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกกระเจิงโดย โมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ เกิดเป็นรังสึกระจาย ซึ่งสายตามนุษย์รับรู้ได้ในรูปของ ความเข้มของแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า หรือ sky luminance ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงความเข้มของแสงสว่างธรรมชาติในรูปของความเข้มของแสงสว่าง จากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า หรือ sky luminance

โดยทั่วไปที่สภาพท้องฟ้าแบบหนึ่งและควงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่ง ค่าความเข้ม แสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า จะมีค่าขึ้นอยู่กับระยะห่างเชิงมุม (angular distance) จาก จุด ๆ นั้นกับควงอาทิตย์และมุมเซนิธของจุด ๆ นั้น (Kittler, 1967)

#### 2.5 แสงสว่าง (visible light)

#### 2.5.1 การตอบสนองของสายตามนุษย์

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 0.38-0.78 µm ซึ่งสามารถ รับรู้ได้ด้วยสายตาของมนุษย์ โดยทั่วไปตาของมนุษย์จะตอบสนองต่อแสงสว่างที่ความยาวคลื่น ต่าง ๆ ไม่เท่ากัน โดยจะตอบสนองแสงสีเขียวได้ดีกว่าสีแดงหรือสีม่วง ซึ่งสามารถแสดงกราฟการ ตอบสนองที่ความยาวกลื่นต่าง ๆ ได้ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงกราฟของฟังก์ชันการตอบสนองของสายตามนุษย์ (Kaufman and Hayes, 1981)

#### 2.5.2 ปริมาณของแสงสว่าง

n. Illuminance ฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (radiant flux) ในช่วงความยาว
 คลื่นของแสงสว่าง (0.38-0.77 μm) หรือพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา (J/s หรือ W) ที่ตกกระทบ
 ประสาทตาของมนุษย์ ประสาทตาจะรับรู้ในรูปของฟลักซ์แสงสว่าง ซึ่งมีหน่วยเป็น lumen โดย
 ที่ฟลักซ์ของแสงสว่าง 1 W จะเท่ากับฟลักซ์ของแสงสว่าง (photopic flux) 683 lumen ที่ความยาว

คลื่น 555 nm เราจะเรียกปริมาณของแสงสว่างที่เกิดจากฟลักซ์ของแสงสว่าง 1 lumen ตก กระทบพื้นที่ 1 ตารางเมตรว่า illuminance มีหน่วยเป็น lumen/m<sup>2</sup> หรือ lux หรือเขียนในรูป สมการได้ด้วย

$$E = \frac{d\phi_E}{dA}$$
(2.15)

เมื่อ E = illuminance [lux]  $\phi_E$  = ฟลักซ์บองแสงสว่าง [lumen] A = พื้นที่ [m<sup>2</sup>]

![](_page_19_Figure_3.jpeg)

รูปที่ 2.19 แสดงปริมาณแสงสว่างในรูปของ illuminance

 Uninance เป็นปริมาณของแสงสว่างในรูปของฟลักซ์ของแสงสว่างที่ตก กระทบหรือแผ่ออกจากพื้นที่ 1 หน่วยที่ตั้งฉากกับแนวทางการเคลื่อนที่ของแสงภายในกรวย ซึ่งมี มุมตัน 1 steradian (รูปที่ 2.20) หรือเขียนในรูปสมการที่ (2.16)

![](_page_20_Figure_0.jpeg)

รูปที่ 2.20 แสดงปริมาณแสงสว่างในรูปของ luminance บาหาวิทษาลยที่สบากกร สโบวบเลียส์เทธิ์

$$L = \frac{d^2 \phi_E}{d\Omega \, dA \, \cos(\theta)} \tag{2.16}$$

เมื่อ L= luminance [Candela]  $\phi_{\rm E}$ = ฟลักซ์ของแสงสว่าง [lumen]  $\Omega$  = มุมตัน [steradian] A = พื้นที่ที่แสงตกกระทบหรือแผ่ออก [m<sup>2</sup>]  $\theta$  = มุมของแกนของกรวยกับเส้นตั้งฉากของพื้นที่ [radian]

#### 2.5.3 การหาค่าปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

#### 2.5.3.1 แสงสว่างธรรมชาตินอกบรรยากาศโลก

โดยทั่วไปแสงสว่างธรรมชาตินอกบรรยากาศโลกสามารถหาได้โดยการ คำนวณ ทั้งนี้เพราะปัจจุบันเราทราบค่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และค่า response ของสายตามนุษย์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้อย่างละเอียด จากปริมาณทั้งสองเราสามารถ หาความเข้มแสงสว่างธรรมชาติในรูปของ illuminance บนระนาบตั้งฉากกับลำแสงจาก ดวงอาทิตย์ที่ระยะเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ โดยอาศัยสมการ

$$\overline{E}_{on} = k \int_{0.38}^{0.77} G_{s\lambda} R_{\lambda} d\lambda$$
(2.17)

เมื่อ 
$$\overline{\mathbf{E}}_{_{\mathrm{on}}}$$
 = illuminance ของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ระนาบตั้งฉากกับ  
แสงจากควงอาทิตย์ [lux]

- G<sub>sλ</sub> = ความเข้มรังสีควงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ บนระนาบตั้งฉากกับ แสงที่ระยะเฉลี่ยระหว่างโลกกับควงอาทิตย์ [W/m² - μm]
- R<sub>λ</sub> = การตอบสนองของสายตามนุษย์ต่อความเข้มรังสีควงอาทิตย์ที่ความ
   ยาวกลื่นต่างๆ
- k = maximum luminous efficacy [683 lm/W]

![](_page_21_Figure_5.jpeg)

![](_page_21_Figure_6.jpeg)

# 2.5.3.2 แสงสว่างธรรมชาติที่พื้นผิวโลก

ดังที่กล่าวไปแล้วว่าแสงสว่างธรรมชาติที่พื้นผิวโลกประกอบไปด้วย แสงสว่างธรรมชาติที่พุ่งตรงมาจากดวงอาทิตย์ที่เรียกว่า beam illuminance และแสงที่กระเจิง (scatter) มาจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าเรียกว่า diffuse illumiance การหาปริมาณทั้งสองในสภาพ ท้องฟ้าปราศจากเมฆสามารถคำนวณได้ แต่ในการคำนวณดังกล่าวจำเป็นต้องทราบองค์ประกอบ ต่าง ๆ ของบรรยากาศที่สำคัญได้แก่ ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (precipitable water) และปริมาณ ฝุ่นละออง (aerosols) ในบรรยากาศ

สำหรับกรณีท้องฟ้ามีเมฆการคำนวณค่า illuminance โดยอาศัยข้อมูล ภาคพื้นดินทำได้ยากทั้งนี้เพราะเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งมีผลต่อปริมาณแสงสว่างธรรมชาติทั้ง beam illuminance และ diffuse illuminance โดยที่ปริมาณและตำแหน่งของเมฆเป็นข้อมูลที่ไม่มี การวัดในลักษณะของการวัดประจำที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป ดังนั้นการหาค่า illuminance จึง ทำได้โดยการจัดตั้งสถานีวัดและการทำการวัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานหลายปี เพื่อให้ได้ค่าที่เป็น ตัวแทนทางสถิติของบริเวณนั้น

### 2.5.3.3 การคำนวณปริมาณแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร

ในการคำนวณปริมาณแสงสว่างธรรมชาติจากท้องฟ้าที่ผ่านช่องเปิด หรือหน้าต่างเข้าไปยังตำแหน่งหนึ่งภายในอาการ เราจะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสง แบบมีขนาด (extended light source) ซึ่งจะมีการเปล่งแสงที่แปรตามตำแหน่งบนท้องฟ้า โดยจะ บอกปริมาณของแสงที่เปล่งออกมาในรูปของ sky luminance ซึ่งเป็นฟังก์ชันของมุมเงย (θ) และ มุมอาซิมุธ (φ) ของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่เปล่งแสง ดังรูปที่ 2.21

![](_page_22_Picture_2.jpeg)

![](_page_22_Figure_3.jpeg)

รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของปริมาณแสงสว่างธรรมชาติจากท้องฟ้าที่ผ่านช่องหน้าต่าง เข้ามาภายในอาการ

ปริมาณแสงสว่างจากท้องฟ้าที่ผ่านหน้าต่างเข้าไปตกกระทบ ณ จุดใด ๆ ในห้องซึ่ง มองเห็นท้องฟ้าสามารถคำนวณได้จากการอินทิเกรต sky luminance ตลอดมุมตัน (solid angle) ของจุดนั้นที่รองรับกรอบหน้าต่าง หรือสามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$E_{kh} = \iint_{\phi} \int_{\Theta} L(\theta, \phi) \cos \theta \sin \phi d\theta d\phi$$
(2.19)

- เมื่อ E<sub>kh</sub> = ปริมาณแสงสว่างที่ตกกระทบ ณ จุดใดๆ ในห้องที่มองเห็นท้องฟ้า โดยบอกในรูปของ illuminance [lux]
  - $L(\theta, \phi) = i ป็น sky luminance [cd/m<sup>2</sup>]$   $\theta = i ป็นมุมเงยจากพื้นของจุดที่พิจารณา [radian]$  $\phi = i ป็นมมอาซิมธ [radian]$

มาการแลงที่ตุกกระทบดังกล่าวจะถูกสะท้อนไปมาภายในห้อง และส่วนหนึ่งจะกลับมาตก กระทบที่จุดเดิม ปริมาณแสงสะท้อนจะขึ้นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflectance) ของผิวห้อง และ view factor ของจุด ๆ นั้นกับพื้นที่ผิวอื่น ๆ ของห้อง ซึ่งสามารถกำนวณได้โดยอาศัยวิธี flux transfer method (Howell and Seagel, 1980)

เมื่อรวมปริมาณแสงสว่างจากท้องฟ้าที่เข้ามาครั้งแรกกับแสงสะท้อนจากส่วนประกอบ ต่าง ๆ ของห้องก็จะทำให้ทราบปริมาณแสงสว่างรวมที่จุดต่าง ๆ ในห้องที่ได้รับได้ เนื่องจากการ คำนวณดังกล่าวค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปต่าง ๆ ช่วยในการคำนวณ โดยผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ค่า sky luminance ซึ่งเป็นปริมาณแสง-สว่างที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า ข้อมูลดังกล่าวมักมีจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมี วัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาแบบจำลองสำหรับคำนวณแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าที่ เหมาะสมกับประเทศไทย

#### 2.5.4 การวัดปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

เนื่องจากแสงสว่างธรรมชาติเป็นส่วนหนึ่งของรังสีควงอาทิตย์ ซึ่งจะมีการ เปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและตามฤดูกาลในรอบปี นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแบบ random เนื่องจากอิทธิพลของเมฆ การเปลี่ยนแปลงคังกล่าวยังขึ้นกับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศใน บริเวณนั้น ในการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างธรรมชาติ ผู้ออกแบบอาการจำเป็นต้องทราบ ข้อมูลกวามเข้มแสงสว่างธรรมชาติในบริเวณนั้นๆ โดยการวัดข้อมูลที่สำคัญมีดังนี้

# 2.5.4.1 ข้อมูลปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่มาจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า

จากที่ทราบกันแล้วว่าปริมาณของแสงสว่างธรรมชาติจะขึ้นกับสภาพดิน ฟ้าอากาศ (weather) ซึ่งแปรตามฤดูกาลและสถานที่ ในการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้งานใน อาคาร ผู้ออกแบบอาการจำเป็นต้องทราบข้อมูลของปริมาณแสงสว่างในบริเวณนั้นหรือบริเวณ ใกล้เกียง ซึ่งมีการวัดปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ โดยมีการวัดที่สำคัญ คือ การวัดปริมาณแสง สว่างธรรมชาติที่มาจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะวัดในรูปของ luminance ซึ่ง จะเป็นฟลักซ์ของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากท้องฟ้าเข้ามาในกรวยแคบๆ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้ง ฉากกับทิศที่แสงเข้ามา มีหน่วยเป็น candela/m<sup>2</sup> เครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า sky scanner มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.22

เครื่องมือนี้จะมีหัววัดลูมิแนนซ์ ซึ่งจะกวาดไปทั่วทุกส่วนของท้องฟ้า และจะวัดค่าความ เข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า ข้อมูลนี้ถือว่าเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดสำหรับใช้ในการ ออกแบบอาการ ทั้งนี้เพราะสามารถนำมาใช้คำนวณปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านช่องแลง หรือหน้าต่างอาการเข้ามายังพื้นที่ที่ใช้งานในอาการได้ อย่างไรก็ตาม sky scanner มีราคาแพง จึง มีการวัดน้อยมากในปัจจุบันนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคำเนินการนำข้อมูลจากการวัดมาสร้างแบบจำลอง สำหรับใช้คำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าในบริเวณที่ไม่มีการวัด

![](_page_24_Picture_4.jpeg)

รูปที่ 2.22 แสดงเครื่อง sky scanner

# 2.5.4.2 ข้อมูลปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่ตกกระทบระนาบต่าง ๆ

ฟลักซ์ของแสงสว่างธรรมชาติที่ตกกระทบระนาบต่าง ๆ ต่อหนึ่งหน่วย พื้นที่จะเรียกว่า illuminance ซึ่งประกอบด้วย direct หรือ beam illuminance และ diffuse illuminance และผลรวมของปริมาณทั้งสองจะเรียกว่า global illuminance ซึ่งมีหน่วยเป็น lumen/m<sup>2</sup> หรือ lux เครื่องมือที่ใช้วัด เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ (lux meter) มีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.23

![](_page_25_Picture_2.jpeg)

รูปที่ 2.23 แสดงถักซ์มิเตอร์

เครื่องมือดังกล่าวใช้วัด global illuminance บนระนาบต่าง ๆ ที่สำคัญ ใด้แก่ การวัดบนพื้นราบ และการวัดบนระนาบในแนวดิ่ง (vertical plane) ที่หันหน้าไปทางทิศ เหนือ ใด้ ตะวันออก และตะวันตก นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัด diffuse illuminance บนพื้นราบ โดยการติดตั้งวงแหวนบังแสงตรง (ดังรูปที่ 2.24) จากก่า global illuminance และ diffuse illuminance บนพื้นราบ เราสามารถกำนวณ direct illuminance บนพื้นราบได้ จากนั้นจะสามารถ นำไปใช้กำนวณ direct illuminance บนระนาบในแนวดิ่งได้ ซึ่งค่าดังกล่าวเมื่อนำไปหักออกจาก ก่า global illuminace ในแนวดิ่งก็จะได้ก่า diffuse illuminance บนระนาบในแนวดิ่งได้ ค่า diffuse illuminance และก่า direct illuminance บนระนาบในแนวดิ่งได้ ซึ่งค่าดังกล่าวเมื่อนำไปหักออกจาก ก่า global illuminace ในแนวดิ่งก็จะได้ก่า diffuse illuminance บนระนาบในแนวดิ่งได้ ท่า diffuse illuminance และก่า direct illuminance บนระนาบในแนวดิ่ง จะเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ กำนวณปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดของกรอบอาการ เช่น หน้าต่างเข้าไปภายใน อาการ

![](_page_26_Picture_0.jpeg)

# IJIMISIN ผาปที่ 2.24 แสดมีเครื่องวัดแสงสว่ามรรรมชาติที่กระจายจากท้องฟ้า บโสโทโร้

![](_page_26_Picture_2.jpeg)

รูปที่ 2.25 แสดงเครื่องวัดแสงสว่างธรรมชาติ บนระนาบในแนวคิ่ง 4 ทิศ

## 2.6 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แสงสว่างที่กระจายจากท้องฟ้ากรณีของบรรยากาศซึ่งปราศจากฝุ่นละออง (aerosols) การ กระจายของแสงเกิดจากโมเลกุลอากาศ สามารถคำนวณได้ด้วยทฤษฎีของ Rayleigh ซึ่งมีพื้นฐาน มาจากทฤษฎีกลิ่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ Maxwell สำหรับกรณีบรรยากาศที่มีฝุ่นละอองก็ยังสามารถ คำนวณได้จากทฤษฎีการกระเจิงของ Mie แต่กรณีท้องฟ้าที่เป็นจริง ซึ่งมีบรรยากาศประกอบด้วย โมเลกุลอากาศ ฝุ่นละอองและเมฆ การกระจายของแสงอาทิตย์จะสลับซับซ้อน ต้องใช้วิธีการ คำนวณแบบ semi-empirical หรือ empirical โดยอาศัยข้อมูลจากการวัด sky luminance ด้วยเกรื่อง sky scanner โดยนำตัวแปรทางเรขาคณิตและตัวแปรที่เป็นสมบัติทางฟิสิกส์ของบรรยากาศมา ประกอบการสร้างแบบจำลอง ซึ่งในอดีตที่ผ่านมามีผู้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้ม แสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า โดยงานที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้

จากความสำคัญของแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า (sky luminance) นักวิทยาศาสตร์ ในประเทศต่างๆ จึงได้พยายามพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณความเข้มแสง สว่างดังกล่าว โดยในปี ค.ศ.1929 Pokrowski เป็นนักวิทยาศาสตร์รายแรกที่ตีพิมพ์เผยแพร่ การศึกษาการกระจายของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า โดยได้ใช้ทฤษฎีการ กระเจิงแลงของโมเลกูลอากาศ ซึ่งพัฒนาโดย Rayleigh ซึ่ง Pokrowski ได้เสนอสูตรแสดงการ กระจายเชิงมุม (angular distribution) ของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าในสภาพ ท้องฟ้าปราศจากเมฆดังนี้ (Hopkinson et at., 1966)

$$L \propto L_Z (1 - e^{-P/\sin Z}) \cdot (\frac{1 + \cos^2 \chi}{1 - \cos \chi} + K)$$
 (2.20)

เมื่อ L =ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า [ kcd/m<sup>2</sup>]

 $L_{Z}$  = ความเข้มแสงสว่าง ณ ตำแหน่งกลางท้องฟ้า [ kcd/m<sup>2</sup>]

- Z = มุมเซนิธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]
- P = primary scattering coefficient
- K = secondary scattering coefficient

ต่อมาในปี ค.ศ. 1942 Moon และ Spencer จากประเทศสหรัฐอเมริกาได้เสนอแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายแสงสว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าในสภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วย เมฆทั้งหมด (overcast sky) โดยกล่าวว่า sky luminance ในสภาพท้องฟ้าดังกล่าว จะขึ้นกับตำแหน่ง มุมเซนิธของจุดที่ให้แสงจากท้องฟ้าเพียงตัวแปรเดียว และ sky luminance ที่ขอบท้องฟ้ามีก่าเป็น 1/3 ของ zenith luminance โดยสามารถเขียนได้ ดังสมการ

$$\frac{L_{\gamma}}{L_{Z}} = \frac{1+2\sin\gamma}{3} = \frac{1+2\cos Z}{3}$$
(2.21)

เมื่อ L<sub>γ</sub> = ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า [ kcd/m<sup>2</sup>] L<sub>Z</sub> = ความเข้มแสงสว่าง ณ ตำแหน่งกลางท้องฟ้า [ kcd/m<sup>2</sup>] γ = มุมเงยของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน] Z = มุมเซนิธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]

สำหรับกรณีท้องฟ้าปราสงากเมฆ Kittler (1967) ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนาณความ เข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า โดยอาศัยผลการวัดความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของ ท้องฟ้าของนักวิทยาศาสตร์ของสหภาพโซเวียต ซึ่งทำการศึกษาความเข้มแสงสว่างจากท้องฟ้าบน ภูเขาสูง ประกอบกับการใช้ผลการคำนวณการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ หรือ Rayleigh scattering และเสนอว่าการกระจายเชิงมุม (angular distribution) ของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของ ท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆได้ดังสมการ

$$\frac{L_{\gamma\alpha}}{L_{Z}} = \frac{(1 - e^{-0.32/\sin\gamma})(0.91 + 10e^{-3\chi} + 0.45\cos^{2}\chi)}{0.274(0.91 + 10e^{-3Zs} + 0.45\cos^{2}Zs)}$$
(2.22)

 เมื่อ L<sub>γα</sub> = ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า [ kcd/m<sup>2</sup>]
 L<sub>z</sub> = ความเข้มแสงสว่าง ณ ตำแหน่งกลางท้องฟ้า [ kcd/m<sup>2</sup>]
 γ = มุมเงยของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]
 Z<sub>s</sub> = มุมเซนิธของตำแหน่งควงอาทิตย์ [เรเดียน]
 χ = ระยะเชิงมุมระหว่างตำแหน่งของควงอาทิตย์กับตำแหน่ง บนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]

Brunger (1987) ได้เสนอแบบจำลองของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าใน รูปของสมการเอมไพริคัลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการวัดความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของ ้ท้องฟ้าจากเครื่อง sky scanner ซึ่งสร้างขึ้นเอง แบบจำลองที่นำเสนอสามารถเขียนได้ในรูปสมการ ดังนี้

$$L_{vc} = E_{vd} \{ [a_0 + a_1 \sin \phi + a_2 \exp(-a_3 \gamma)] / [\pi(a_0 + 2a_1 / 3) + 2a_2 I(Z, a_3)] \}$$
(2.23)

โดยที่ 
$$L_{vc} = 0.5$$
 ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า [kcd/m<sup>2</sup>]  
 $E_{vd} = 0.5$  ความเข้มแสงกระจาย (diffuse illuminance) บนพื้นราบ (lux)  
 $\phi = 1.5$  มุมเขของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]  
 $Z = 1.5$  มุมเซนิธของตำแหน่งควงอาทิตย์ [เรเดียน]  
 $\gamma = 5$  ะยะเชิงมุมระหว่างตำแหน่งของควงอาทิตย์กับตำแหน่ง  
บนท้องฟ้าที่ พิจารณา [เรเดียน]  
 $a_0, a_1, a_2, a_3 = 1.5$  สิทธิ์ของแบบจำลองซึ่งมีก่าขึ้นกับ clearness index, (k,)  
และ diffuse fraction, (k)

$$I(Z,a_3) = I_1(\pi - I_4(1 - I_2/I_3))$$
(2.24)

โดยที	$I_1 = [1 + \exp(-a_3\pi/2)/a_3^2 + 4]$	(2.25)
	$\mathbf{I} = 2[1 \text{ ave}(\mathbf{a} - \mathbf{a})]$	(2,2)

$$I_{2} = 2[1 - \exp(-a_{3}\pi)]$$
(2.26)  
$$I_{2} = \pi a_{2}[1 + \exp(-a_{2}\pi/2)]$$
(2.27)

$$I_3 = \pi a_3 [1 + \exp(-a_3 \pi/2)]$$
(2.27)

$$I_4 = 2Zs \sin Z_s - 0.02\pi \sin(2Z_s)$$
 (2.28)

ค่าสัมประสิทธิ์  $a_0, a_1, a_2, a_3$  เป็น discrete function ของ k และ  $k_1$  ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดย k เป็นอัตราส่วนของรังสึกระจายต่อรังสีรวม หรือ diffuse fraction และ k, เป็นอัตราส่วนของรังสีรวม ต่อรังสืนอกบรรยากาศโลก หรือเรียกกันทั่วไปว่า clearness index

		สัมประสิทธิ์ a <sub>o</sub>										
	k, k	0.5	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85		
	0.95	0.1864	0.2002	0.1380	0.1508	0.1718	0.2060	0.1605	0.1482	0.1505		
	0.85	0.1431	0.2303	0.3477	0.2664	0.2139	0.1520	0.1151	0.1358	0.1529		
	0.75	0.2213	0.2995	0.3687	0.2684	0.201	0.1870	0.1842	0.1566	0.1700		
	0.65	0.2818	0.3423	0.3851	0.2843	0.2713	0.1597	0.2088	0.1273	0.1834		
	0.55	0.3784	0.4751	0.6079	0.2892	0.2816	0.2465	0.207	0.2477	0.2396		
	0.45	0.4132	0.4479	0.4208	0.2337	0.2822	0.2916	0.2583	0.2457	0.2315		
	0.35	0.4055	0.3979	0.3478	0.2749	0.3162	0.3006	0.2871	0.2491	0.2510		
	0.25	0.3834	0.3614	0.3249	0.3019	0.3289	0.3417	0.3153	0.3071	0.2971		
	0.15	0.3624	0.3414	0.3214	0.3179	0.3339	0.3388	0.336	0.3243	0,3061		
1	10118	h				Sa	MDN	WA1	UGN	15		

ตารางที่ 2.1 แสดงก่าสัมประสิทธิ์  $\mathbf{a}_0$  ของแบบจำลอง Brunger (1987)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ a<sub>1</sub> ของแบบจำลอง Brunger (1987)

	สัมประสิทธิ์ a <sub>1</sub>										
k k	0.5	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85		
0.95	0.1979	0.1772	0.093	0.5472	0.0566	-0.029	0.0755	0.1579	0.1649		
0.85	0.142	0.0346	-0.215	-0.159	0.307	0.1497	0.1805	0.2404	0.1719		
0.75	0.0064	-0.129	-0.292	-0.161	-0.127	-0.063	0.0253	0.3003	0.1034		
0.65	-0.097	-0.200	-0.272	-0.164	-0.183	-0.171	-0.052	-0.050	-0.093		
0.55	-0.219	-0.342	-0.483	-0.195	-0.194	-0.124	-0.092	-0.071	-0.136		
0.45	-0.268	-0.317	-0.292	-0.101	-0.184	-0.206	-0.165	-0.139	-0.202		
0.35	-0.269	-0.270	-0.222	-0.152	-0.203	-0.217	-0.218	-0.222	-0.090		
0.25	-0.253	-0.238	-0.207	-0.191	-0.230	-0.257	-0.233	-0.257	-0.312		
0.15	-0.239	-0.225	-0.212	-0.218	-0.244	-0.258	-0.26	-0.300	-0.453		

					สัมประสำ	ทธิ์ a2				
	k k	0.5	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85
	0.95	0.000	0.000	0.289	0.665	0.873	2.951	2.589	2.314	2.096
	0.85	2.636	2.651	5.317	1.775	1.609	1.831	2.228	2.035	1.878
	0.75	2.637	2.638	2.626	4.522	1.409	1.281	1.308	1.848	1.717
	0.65	3.027	3.417	4.196	5.296	2.822	1.296	1.322	1.596	1.589
	0.55	5.137	7.247	11.07	2.134	3.860	2.916	1.109	1.583	1.581
	0.45	7.239	9.341	11.43	11.79	6.030	2.732	1.952	1.512	1.580
	0.35	8.510	9.781	10.22	9.007	6.222	4.544	2.646	1.599	0.973
	0.25	8.866	9.222	8.664	7.107	5.207	4.191	3.886	2.312	1.359
	15	8.560	8.255	7.287	5.910	4.713	4.129	4.248	1.915	1.612
1	ND)///8	Ma		IGNU.		Sa	MDI	UZN	UGN	1165

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์  $a_2$  ของแบบจำลอง Brunger (1987)

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ a<sub>3</sub> ของแบบจำลอง Brunger (1987)

111

	สัมประสิทธิ์ a <sub>3</sub>									
k k	0.5	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	
0.95	1.000	1.000	0.9667	1.675	2.41	3.722	3.938	6.6941	7.864	
0.85	5.525	3.648	4.421	2.859	3.726	4.612	4.155	9.449	9.034	
0.75	4.385	3.245	2.841	4.084	2.245	2.593	3.112	14.74	8.618	
0.65	4.318	4.252	5.259	4.367	3.486	1.918	2.836	2.099	2.492	
0.55	4.369	4.420	4.588	3.726	3.744	4.076	2.558	3.450	2.886	
0.45	4.534	4.699	4.978	5.369	4.524	3.762	3.376	2.964	2.322	
0.35	4.768	5.002	5.306	5.633	5.897	4.266	3.594	2.640	2.677	
0.25	4.969	5.171	5.339	5.372	5.112	4.326	4.392	3.518	2.397	
0.15	5.076	5.183	5.195	5.051	4.730	4.349	4.372	3.268	2.319	

เนื่องจากการกระจายเชิงมุมของก่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า ขึ้นกับ สภาพของท้องฟ้า โดยตัวแปรที่สำคัญซึ่งมีผลกับสภาพท้องฟ้าคือเมฆ ดังนั้น Harrison (1992) จึงได้ เสนอแบบจำลองของการกระจายของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า ซึ่งใช้ปริมาณ เมฆเป็นแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (weighting factor) ในการบอกสภาพท้องฟ้า แบบจำลองดังกล่าวเป็น ผลรวมระหว่างแบบจำลองที่กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ทั้งหมดและใช้ปริมาณเมฆ เป็นแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเขียนได้ดังสมการ

$$L_{c} = CL_{vco} + (1 - C)L_{vcc}$$
(2.29)

เมื่อ

C = ปริมาณเมฆ

- L<sub>vco</sub>= ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า กรณีที่ท้องฟ้า มีเมฆปกคลุมทั้งหมด [kcd/m<sup>2</sup>]
- L<sub>vcc</sub> = ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า กรณีที่ท้องฟ้า ปราศจากเมฆ [kcd/m<sup>2</sup>]

![](_page_32_Figure_6.jpeg)

$$L_{vcc} = [1.28 + 147 \exp(-11.1\gamma) + 4.28 \cos^2 \gamma \cos Z]$$

$$[1 - \exp(-0.42/\sin \phi)] [1 - \exp(-0.67/\cos Z)]$$
(2.31)

เมื่อ φ = มุมเงยของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน] Z = มุมเซนิธของตำแหน่งควงอาทิตย์ [เรเดียน] γ = ระยะเชิงมุมระหว่างตำแหน่งของควงอาทิตย์กับตำแหน่ง บนท้องฟ้าที่ พิจารณา [เรเดียน]

Matsuura และ Itawa (1990) ใด้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจาก ส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า โดยใช้ผลรวมเชิงเส้น (linear combination) ของความเข้มแสงสว่างจากส่วน ต่าง ๆ ของท้องฟ้า ตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แบบ และใช้แฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก ซึ่ง ขึ้นกับอัตราส่วนของค่าความเข้มแสงกระจาย (diffuse illuminance) ต่อค่าความเข้มแสงรวม (global illuminance) (K<sub>4</sub>) โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$L_{vc} = a_{c}L_{vc-cie-c} + a_{i}L_{vc-cie-i} + a_{ov}L_{vc-cie-o}$$
(2.32)

- กรณี  $k_v < 0.3$ 

เมื่อ

$$a_{c} = 1$$
 (2.33)

UNTOTAL 
$$k_v \ge 0.3$$
 una  $k_v < 0.65$  (2.34)

$$a_{c} = 1 - (k_{v} - 0.3) / 0.35 \tag{2.35}$$

$$a_i = 1 - a_c$$
 (2.36)

$$a_{ov} = 0$$
 (2.37)

- กรณี่  $k_v \ge 0.65$ 

$$a_{c} = 0$$
 (2.38)

$$a_i = 1 - (k_v - 0.65) / 0.35 \tag{2.39}$$

$$\mathbf{a}_{\rm ov} = 1 - \mathbf{a}_{\rm i} \tag{2.40}$$

Perraudeau (1988) ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า ซึ่งขึ้นกับผลคูณของ 3 ฟังก์ชัน ดังสมการ

$$L_{vc} = E_{ed} f'(\gamma) g'(\phi) h'(Z)$$
(2.41)

โดยที่ 
$$f'(\gamma) = d_1 + e_1 \exp(-3\gamma) + f_1 \cos^2 \gamma$$
 (2.42)

$$g'(\phi) = d_2 - e_2(\sin \phi)^{0.6}$$
 (2.43)

$$h'(Z) = d_3 + e_3 \cos Z + f_3 \sin Z$$
 (2.44)

 $d_1, e_1, f_1, d_2, e_2, d_3, e_3$  และ  $f_3$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการทดลอง โดยเขียนเป็น discrete function ของ Np ตามตารางที่ 2.5

โดยที่ Np = 
$$(1-k)/(1-k_0)$$
 (2.45)  
UIADA (มื่อ  $k = diffuse fraction (2.45)$   
 $k_0 = diffuse fraction (2.45)$ 

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองของ Perraudeau (1988)

Np	d <sub>1</sub>	e <sub>1</sub>	$f_1$	d <sub>2</sub>	e <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	e <sub>3</sub>	$f_3$
0.00-0.05	32.33	13.16	3.24	1.18	0.23	0.76	0.13	0.20
0.05-0.20	17.82	23.99	13.35	1.70	0.89	0.45	0.10	0.59
0.20-0.70	14.41	69.70	10.18	2.03	1.31	0.83	-0.29	0.38
0.70-0.90	13.05	124.96	7.49	2.21	1.54	0.83	-0.28	0.42
0.90-1.00	12.89	243.28	3.26	2.25	1.59	1.04	-0.41	0.20

Perez และคณะ (1990) ได้เสนอแบบจำลองคล้ำยกับของ Matsuura และ Itawa (1990) โดย แบบจำลองดังกล่าวใช้ผลรวมเชิงเส้นของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าตาม มาตรฐานของ CIE และใช้แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก ในการจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วย ซึ่งเป็น ฟังก์ชันของ sky brightness index,  $\Delta$  และ sky clearness index,  $\epsilon$  โดยแบบจำลองดังกล่าวเขียนได้ ดังสมการ

$$L_{vc} = b_{c}L_{vc-cie-c} + b_{ct}L_{vc-cie-ct} + b_{i}L_{vc-cie-i} + b_{0}L_{vc-cie-o}$$
(2.46)

เมื่อ
$$L_{vc} = 0.71$$
มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า [kcd/m²] $L_{vc-cie-c} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้าปราสจากเมฆ [kcd/m²] $L_{vc-cie-ct} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้าปราสจากเมฆ  
แบบมือวามขุ่นมัวของบรรยากาศ [kcd/m²] $L_{vc-cie-ct} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้าปราสจากเมฆ  
แบบมือวามขุ่นมัวของบรรยากาศ [kcd/m²] $L_{vc-cie-i} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน [kcd/m²] $L_{vc-cie-i} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน [kcd/m²] $L_{vc-cie-o} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน [kcd/m²] $L_{vc-cie-o} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน [kcd/m²] $L_{vc-cie-o} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆปาดลุมทั้งหมด [kcd/m²] $L_{vc-cie-o} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆปาดลุมทั้งหมด [kcd/m²] $L_{vc-cie-o} = 0.71$ มเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า  
ตามมาตรฐาน CIE กรณีท้องฟ้ามีเมฆปาดลุมทั้งหมด [kcd/m²]

กรณี 
$$\mathcal{E} \leq 1.4$$
  
 $b_i = \max(0, \min\{1, (\Delta - 0.15)/0.6 + (\epsilon - 1)/0.4\})$  (2.47)  
 $b_o = 1 - b_i$  (2.48)

$$\mathbf{b}_{\rm c} = \mathbf{b}_{\rm ct} = \mathbf{0} \tag{2.49}$$

กรณี่ 1.4 <€≤3.0</li>

\_

$$b_{ct} = (\varepsilon - 1.4) / 1.6 \tag{2.50}$$

$$\mathbf{b}_{i} = 1 - \mathbf{b}_{ct} \tag{2.51}$$

$$b_i = 1 - b_{ct}$$
 (2.51)  
 $b_c = b_o = 0$  (2.52)

- กรณี **E**<3.0

$$b_c = \min[1, (\varepsilon - 3)/3]$$
 (2.53)

 $\mathbf{b}_{\rm ct} = 1 - \mathbf{b}_{\rm c}$ (2.54)

$$\mathbf{b}_{i} = \mathbf{b}_{o} = \mathbf{0} \tag{2.55}$$

$$\begin{aligned} & \widetilde{h} = [(E_{ed} + E_{esn}) / E_{ed} + 1.041Z^3] / [1 + 1.041Z^3] \\ & \Delta = m(E_{ed} / E_{esn}) \end{aligned} \tag{2.56} \end{aligned}$$

เมื่อ 
$$\Delta$$
 = sky brightness index  
 $\varepsilon$  = sky clearness index  
 $E_{ed}$  = ความเข้มรังสึกระจายบนพื้นราบ [W/m<sup>2</sup>]  
 $E_{esn}$  = ความเข้มรังสึตรง [W/m<sup>2</sup>]  
 $E_{eo}$  = ความเข้มรังสึดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก [W/m<sup>2</sup>]  
 $m$  = air mass  
 $Z$  = มมเซนิธของตำแหน่งควงอาทิตย์ [เรเดียน]

หลังจากนั้น Perez และคณะ (1993) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสง สว่างจากส่วนต่างๆ ของท้องฟ้า สำหรับทุกสภาพท้องฟ้า ซึ่งเป็นฟังก์ชัน คล้ายกับแบบจำลองของ Kittler (1987) และ ใช้ sky clearness index และ sky brightness index เป็นด้วแปรในแบบจำลอง โดยตรง ซึ่งเขียนได้ดังสมการ

$$l_{v} = \frac{f(Z,\chi)}{f(0,Z_{s})} = \frac{[1 + a \exp(b/\cos Z)] \times [1 + c \exp(d\chi) + e \cos^{2}(\chi)]}{[1 + a \exp(b)] \times [1 + c \exp(dZ_{s}) + e \cos^{2}(Z_{s})]}$$
(2.58)

เมื่อ

a,b,c,d และ e เป็นสัมประสิทธิ์ ซึ่งแปรตามค่า sky brightness index,  $\Delta$  และ sky clearness index,  $\epsilon$  ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_1(\varepsilon) + \mathbf{a}_2(\varepsilon)\mathbf{Z}_s + \Delta[\mathbf{a}_3(\varepsilon) + \mathbf{a}_4(\varepsilon)\mathbf{Z}_s]$$
(2.59)

$$\mathbf{b} = \mathbf{b}_1(\varepsilon) + \mathbf{b}_2(\varepsilon)\mathbf{Z}_s + \Delta[\mathbf{b}_3(\varepsilon) + \mathbf{b}_4(\varepsilon)\mathbf{Z}_s]$$
(2.60)

$$c = \exp[(\Delta(c_1 + c_2 Z_s))^{c_3}] - c_4$$
(2.61)

$$d = -\exp[\Delta(d_1 + d_2 Z_s)] + d_3 + \Delta d_4$$
(2.62)

$$\mathbf{e} = \mathbf{e}_1(\varepsilon) + \mathbf{e}_2(\varepsilon)\mathbf{Z}_s + \Delta[\mathbf{e}_3(\varepsilon) + \mathbf{e}_4(\varepsilon)\mathbf{Z}_s]$$
(2.63)

ค่าสัมประสิทธิ์  $a_1, a_2, a_3, ..., e_4$  กำหนดไว้ดังตารางที่ 2.6 – 2.8

# ตารางที่ 2.6 แสดงค่า $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3$ และ $b_4$ ตามแบบจำลองของ Perez และคณะ (1993)

			П						
TITA	ช่วงคำของ sky clearness	Harl		$a_3$	a	$\left[ b_{i} \right]$	$\left[ b_{2} \right]$	$\left[ \begin{array}{c} \widehat{\mathbf{b}}_{\beta} \end{array} \right] $	6
	1.000 – 1.065	1.352	-0.257	-0.269	-1.436	-0.767	0.0007	1.2734	-0.123
	1.065 - 1.230	-1.221	-0.773	1.414	1.101	-0.205	0.036	-3.912	0.915
	1.230 - 1.500	-1.100	-0.251	0.895	0.015	0.278	-0.181	-4.500	1.176
	1.500 - 1.950	-0.548	-0.665	-0.267	0.711	0.723	-0.621	-0.681	2.629
	1.950 - 2.800	-0.600	-0.356	-2.500	2.325	0.293	0.0496	-5.681	1.841
	2.800 - 4.500	-1.015	-0.367	1.007	1.405	0.287	-0.532	-3.850	3.375
	4.500 - 6.200	-1.000	0.021	0.502	-0.511	-0.300	0.192	0.702	-1.631
	6.200	-1.050	0.0289	0.426	0.359	-0.325	0.115	0.778	0.0025

ช่วงค่าของ sky clearness	<b>c</b> <sub>1</sub>	c2	c <sub>3</sub>	c4	<b>d</b> <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	$d_4$
1.000 - 1.065	2.800	0.600	1.237	1.000	1.873	0.629	0.973	0.280
1.065 - 1.230	6.975	0.177	6.447	-0.123	-1.579	-0.508	-1.781	0.1080
1.230 - 1.500	6.975	0.177	6.447	-0.123	-1.579	-0.508	-1.781	0.108
1.500 - 1.950	24.72	-13.08	-37.70	34.84	-5.000	1.521	3.922	-2.620
1.950 - 2.800	21.000	-4.765	-21.59	7.249	-3.500	-0.155	1.406	0.398
2.800 - 4.500	14.000	-0.999	-7.140	7.546	-3.400	-0.107	-1.075	1.570
4.500 - 6.200	19.000	-5.000	1.243	-1.909	-4.000	0.025	0.384	0.265
6.200	31.06	-14.50	-46.11	55.37	-7.231	0.405	13.35	0.623

ตารางที่ 2.7 แสดงค่า  $c_1, c_2, c_3, c_4, d_1, d_2, d_3$  และ  $d_4$  ตามแบบจำลองของ Perez และคณะ (1993)

ตารางที่ 2.8 แสดงค่า  $e_1, e_2, e_3$  และ  $e_4$  ตามแบบจำลองของ Perez และคณะ (1993)

ช่วงค่าของ sky clearness	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	e4
1.000 - 1.065	0.035	-0.124	-0.571	0.993
1.065 - 1.230	0.262	0.067	-0.219	-0.428
1.230 - 1.500	-0.015	0.159	0.419	-0.556
1.500 - 1.950	0.465	-0.329	-0.087	-0.032
1.950 - 2.800	0.003	0.076	-0.065	-0.129
2.800 - 4.500	-0.067	0.401	0.301	-0.484
4.500 - 6.200	1.046	-0.378	-2.451	1.465
6.200	1.500	-0.642	1.856	0.563

Darula และ Kittler (2002)ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วน ต่าง ๆ ของท้องฟ้าขึ้นใหม่ ซึ่งแบบจำลองที่ได้นำเสนอคังกล่าวอยู่ในขั้นตอนการพิจารณาของ CIE โดยในแบบจำลองนี้จะประกอบค้วยผลคูณของสองฟังก์ชัน ได้แก่ gradation function ซึ่งขึ้นกับมุม เซนิธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่เปล่งแสง และฟังก์ชันที่สองคือ indicatrices function ซึ่งขึ้นกับระยะ เชิงมุมระหว่างจุดที่ท้องฟ้าเปล่งแสงกับตำแหน่งของควงอาทิตย์ซึ่งเขียนได้คังสมการ

$$\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{L}_{\mathrm{Z}}} = \frac{\mathrm{f}(\chi)}{\mathrm{f}(\mathrm{Z}_{\mathrm{s}})} \cdot \frac{\varphi(\mathrm{Z})}{\varphi(0^{\circ})}$$
(2.64)

เมื่อ 
$$0 \le Z \le \pi/2$$
,  $\varphi(\pi/2) = 1$   
โคยที่  $\varphi(Z) = 1 + a \exp(b/\cos(Z))$  (2.65)

 $\varphi(0^{\circ}) = 1 + a \exp b$  (2.66)

$$f(\chi) = 1 + c(\exp(d\chi) - \exp(d\pi/2)) + e\cos^2\chi$$
 (2.67)

$$f(Z_s) = 1 + c(\exp(dZ_s) - \exp(d\pi/2)) + e\cos^2 Z_s$$
 (2.68)

 $UNNDMARTHARCOS[cosZ] cosZ] + Sin Z_{cos}(\phi - \phi_{s}) U (12.69)$ 

เมื่อ

L = ความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ บนท้องฟ้า [kcd/m<sup>2</sup>]
 L<sub>Z</sub> = ความเข้มแสงสว่าง ณ ตำแหน่งกลางท้องฟ้า [kcd/m<sup>2</sup>]
 Z = มุมเซนิธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]
 Z<sub>s</sub> = มุมเซนิธของตำแหน่งควงอาทิตย์ [เรเดียน]
 φ = มุมอาซิมุธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]
 φ<sub>s</sub> = มุมอาซิมุธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]

แบบจำลองที่ Darula และ Kittler ได้นำเสนอนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ a,b,c,d,e จะแปรตาม สภาพท้องฟ้าที่แบ่งเป็น 15 แบบ ซึ่งต้องสังเกตด้วยตา ดังแสดงในตารางที่ 2.9

	N.	True of der	For gra	dation	For	indica	ıtrix
	NO.	Type of sky	а	b	c	d	e
	1.	Overcast with the steep gradation and azimuthal uniform	4	-0.7	0	-1	0
	2.	Overcast with a steep gradation and slight brightening toward sun	4	-0.7	2	-1.5	0.15
	3.	Overcast moderately gradated, azimuthal uniformity	1.1	-0.8	0	-1	0
	4.	Overcast moderately gradated and slightly brightening toward sun	1.1	-0.8	2	-1.5	0.15
	5.	Overcast or cloudy with overall uniformity	0	-1	0	-1	0
	6.	Partly cloudy with a uniform gradation and slight brightening toward sun	0	-1	2	-1.5	0.15
Wh		Partly cloudy with a brighter circumsolar effect and uniform gradation				25	0.3
	8.	Partly cloudy, rather uniform with a clear solar corona	0	-1	10	-3	0.45
	9.	Partly cloudy with a shaded sun position	-1	-0.55	2	-1.5	0.15
	10.	Partly cloudy with brighter circumsolar effect	-1	-0.55	5	-2.5	0.3
	11.	White-blue sky with a clear solar corona	-1	-0.55	10	-3	0.45
	12.	Very clear/unturbid with a clear solar corona	-1	-0.32	10	-3	0.45
-	13.	Cloudless polluted with a broader solar corona	-1	-0.32	16	-3	0.3
	14.	Cloudless turbid with a broader solar corona	-1	-0.15	16	-3	0.3
	15.	White-blue sky, turbid with a wide solar corona effect	-1	-0.15	24	-2.8	0.15

# ตารางที่ 2.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ a,b,c,d,e ตามแบบจำลองของ Darula และ Kittler (2002)

Norio Igawa (2004) ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณการกระจายความเข้มแสงสว่าง จากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าในทุกสภาพท้องฟ้า สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$Lva(\gamma_{s}, \gamma, \zeta) = Lvz(\gamma_{s}) \cdot Lv(\gamma_{s}, \gamma, \zeta)$$
  
=  $Lvz(\gamma_{s}) \cdot \frac{\phi(\gamma) \cdot f(\zeta)}{\phi(\pi/2) \cdot f(\pi/2 - \gamma_{s})}$  (2.70)

โดยที่ 
$$Lvz(\gamma_s) = \frac{Evd}{\int\limits_{\gamma=0}^{\pi/2} \int\limits_{\alpha=0}^{2\pi} Lv(\gamma_s, \gamma, \zeta) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot d\gamma \cdot d\alpha}$$
 (2.71)

$$\phi(\gamma) = 1/\{1 + a_1 / \exp(a_2 \sin \gamma)\}$$
(2.72)

$$f(\zeta) = 1 + b \{ \exp(c\zeta) - \exp(c\pi/2) \} + d\cos^2 \zeta$$
 (2.73)

$$a_1 = 5.5$$
 (2.74)

$$a_{2} = 1.82N_{evg}^{2} - 5.82N_{evg} + 2.26 \qquad (2.75)$$

$$b = 24.3(1.6N_{evg})^{5.9} \exp(-0.20N_{evg})(1.1 - N_{evg})^{1.5} \qquad (2.76)$$

$$c = -3.05/\{1 + 24\exp(-7.7N_{evg})\} \qquad (2.77)$$

$$d = 0.46/\{1 + 630\exp(-9.9N_{evg})\} \qquad (2.78)$$

N<sub>evg</sub> = normalized global illuminance [dimensionless] Lva(γ<sub>s</sub>,γ,ζ) = ค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าในทุกสภาพ ท้องฟ้า [cd/m<sup>2</sup>]

 $\phi(\gamma)$  = gradation function

 $f(\zeta)$  = scattering indicatrix function

- $Lvz(\gamma_s) =$ กวามเข้มแสงสว่าง ณ ตำแหน่งกลางท้องฟ้า  $[cd/m^2]$
- $Lv(\gamma_s, \gamma, \zeta) = ค่าสัมพัทธ์ของความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ$ ของท้องฟ้า [cd/m<sup>2</sup>]

Evd = ความเข้มแสงกระจายบนพื้นราบ [lx]

α = มุมอาซิมุธของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]

γ<sub>s</sub> = มุมเงขของตำแหน่งควงอาทิตย์ [เรเคียน]

γ = มุมเงยของตำแหน่งบนท้องฟ้าที่พิจารณา [เรเดียน]

# ζ = ระยะเชิงมุมระหว่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับตำแหน่งบนท้องฟ้า ที่พิจารณา [เรเดียน]

สำหรับกรณีของประเทศไทย การศึกษา sky luminance มีเฉพาะที่กรุงเทพ โดยเป็นข้อมูล จาก Asian Institute of Technology สำหรับข้อมูลจากส่วนภูมิภาคยังมีการวัด ดังนั้นจึงจำเป็นอย่าง ยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาการกระจายของแสงสว่างธรรมชาติจากท้องฟ้าในบริเวณต่างๆ ในประเทศ ไทย เพื่อนำผลไปใช้งานด้านการออกแบบอาการที่ใช้แสงสว่างธรรมชาติช่วยในการประหยัด พลังงานในประเทศต่อไป

จากการศึกษา sky luminance ที่ผ่านมาจะเห็นว่า ข้อมูลที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลจากประเทศ ยุโรปและอเมริกาเหนือ ซึ่งท้องฟ้าส่วนใหญ่เป็นแบบ overcast และควงอาทิตย์อยู่ในระดับค่ำ หรือไม่มีโอกาสอยู่ตรงศีรษะเลย แบบจำลองและข้อมูลเหล่านั้นจึงอาจไม่เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อน มีความชื้นสัมพัทธ์สูง และควงอาทิตย์ส่วนใหญ่เคลื่อนที่ผ่านใกล้ตำแหน่งกลาง ศีรษะคลอดทั้งปี ส่วนในด้านของแบบจำลองที่อาศัยข้อมูลวัดภาคพื้นดิน ส่วนใหญ่จะเป็น แบบจำลองเชิงสถิติที่เป็นสูตรเอมไพริคัล โดยบอกค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า เป็นฟังก์ชันทางเรงาคณิตของตำเหน่งตัวแปรต่าง ๆ และใช้ข้อมูลรังสีควงอาทิตย์หรือข้อมูลก้าม เป็นฟังก์ชันทางเรงาคณิตของตำเหน่งตัวแปรต่าง ๆ และใช้ข้อมูลรังสีควงอาทิตย์หรือข้อมูลก้าม เป็นฟังก์ชันทางเรงาคณิตของตำเหน่งตัวแปรต่าง ๆ และใช้ข้อมูลรังสีควงอาทิตย์หรือข้อมูลก้าม เป็นฟังก์ชันทางเรงาคณิตของตำเหน่งตัวแปรต่าง ๆ และใช้ข้อมูลรังสีควงอาทิตย์หรือข้อมูลก้ามา เข้มแสงสว่างธรรมชาติบนพื้นราบเป็นด้วบอกสัมประสิทธิ์ของ แบบจำลอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมักไม่ สามารถหาได้ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศกำลังพัฒนา อย่างประเทศไทย ดังนั้น แบบจำลองเหล่านี้จึงมีปัญหาในการนำมาใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะพัฒนา วิธีการกำนวณความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า โดยอาศัยข้อมูลดัชนีเมฆ (cloud index, n) เป็นตัวจำแนกสภาพท้องฟ้า ซึ่งจะช่วยให้ก่ารี่ในบทต่อไป