

การคำนวณรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกจากวงโคจร

Calculating Irradiance outside Atmosphere of the Earth from the Orbit

ประเสริฐ อินประเสริฐ

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160 Prasert_Inp@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาของโลกจากวงโคจร เพื่อคำนวณรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกจากการกำหนดตำแหน่งระยะใกล้ไกลจากดวงอาทิตย์ตามหลักการคำนวณดาราศาสตร์ในทอเมอเวลาด้วยความละเอียดระดับนาทิจึงเนื่องจากสมการรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ใช้โดยทั่วไปคำนวณจากทอเมอความละเอียดของเวลานับเป็นจำนวนวันจากต้นปี ผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกด้วยการนับวินาทีที่ผ่านจากจุดศูนย์กลางของวงโคจรกับการนับวันได้ค่าแตกต่าง -0.012% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็ช่วยให้ได้ตัวเลขที่มีความละเอียดยิ่งขึ้นซึ่งทำให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้งานที่ต้องการความละเอียดสูง และผลที่ได้ในระหว่างขั้นตอนในการคำนวณเช่น มุมและระยะห่างจากดวงอาทิตย์ สามารถนำไปประยุกต์สำหรับแก้ปัญหากรณีอื่นได้ที่เกี่ยวข้องได้ วิธีการคำนวณในบทความนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งของดาวเคราะห์อื่น ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในงานดาราศาสตร์ต่อไป

คำสำคัญ: ตำแหน่งและเวลา, โลก, วงโคจร, รังสีตกกระทบ, ดาราศาสตร์, ดาวเคราะห์

Abstract

This research article find the relationship between position and time of the Earth from the orbit for calculate irradiance from the sun outside the earth's atmosphere from fixed far or near distance from the sun follow astronomy calculation principles in time domain with accuracy in a minute. Therefore general equations of irradiance from the sun outside the earth's atmosphere use time domain accuracy in a day from beginning of a year. The result from compare calculation between irradiance outside the earth's atmosphere by count a second pass through a zero point of the orbit and by count a day give a difference value is -0.012% which value is in the vicinity. But this result due to give high accuracy digit which lead to confidence for using in high accuracy work and other results in intermediate calculation steps, such as angle

and distance from the sun, can uses to apple for other relate problem. And now, calculation method in this paper can bring to use in fix positions of other planets for useful in astronomy work in the next time.

Keyword: position and time, Earth, orbit, irradiance, astronomy, planet

1. บทนำ

การคำนวณการแผ่รังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกต้องทราบตำแหน่งระยะใกล้ไกลจากดวงอาทิตย์ โดยการกำหนดตำแหน่งและเวลาของโลกที่แม่นยำจากวงโคจรตามหลักดาราศาสตร์[2] แล้วนำมาประกอบกับตัวเลขที่ได้จากการวัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและอุณหภูมิดวงอาทิตย์ของแต่ละผู้วิจัย จึงนำมาสร้างสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก แต่อย่างไรก็ตามสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกที่ใช้อยู่ทั่วไปนับวันโคจรของโลกแตกต่างจากการครบรอบของปีฤดูกาลโลกในการคำนวณตามหลักดาราศาสตร์ ทำให้ค่าที่คำนวณได้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ซึ่งตามหลักดาราศาสตร์แล้วโลกจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด (Perihelion) ระหว่างวันที่ 1 ถึง 5 มกราคมของแต่ละปี แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวันที่ 3 มกราคม [4] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการคลาดเคลื่อนในการนับวันและการเพิ่มวันในการปฏิทินให้ตรงกับปีฤดูกาลโลก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลดาราศาสตร์และค่าคงที่

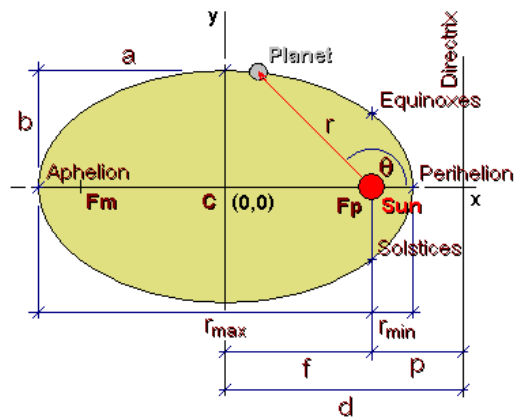
การคำนวณจะใช้ข้อมูลดาราศาสตร์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่

รายการ	ค่าคงที่
1 หน่วยดาราศาสตร์(AU)[3] (Astronomical Unit)	$1.49597870691 \times 10^{11}$ m
ความรีหรือความเยื้องศูนย์กลาง(e)[1] (Eccentricity)	0.016700
ปีดาราคติคาบโคจรโลก[5] ($T_{E,Orbital Period}$) (Earth Sidereal year, Earth Orbital Period)	365.25636000 day/round
รัศมีดวงอาทิตย์(r_{Sun})[7]	6.9599×10^8 m
ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์($E_{p,Sun}$)[2]	62990685.900000 W/m ²
ความเข้มกำลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ย($I_{SC,Earth}$)[2]	1364.186638 W/m ²

2.2 สมการการเคลื่อนที่ดาวเคราะห์

จากกฎข้อที่หนึ่งของเคปเลอร์[4] “การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์เป็นรูปวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่ง” มีสมการในพิกัดเชิงขั้วดังนี้



รูปที่ 1 ค่าคงที่วงโคจรดาวเคราะห์

$$r = \frac{e \cdot p}{1 + e \cdot \cos \theta} = \frac{r_{ep}}{1 + e \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

เมื่อ r - ระยะรัศมีจากโหล่า (Pole Radius), m

e - ความรีหรือความเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity), -

θ - มุมเชิงขั้ว (Polar Angle), r

p - ระยะโหล่าไคเรกตริกซ์ (Polar Directrix), m

ค่าคงที่ในสมการสามารถหาค่าได้ถ้าทราบค่าระยะโคจรดาวเคราะห์ใกล้ที่สุด(r_{min}) และ ระยะโคจรดาวเคราะห์ไกลที่สุด(r_{max}) ดังนี้ [1]

$$e = (r_{max} - r_{min}) / (r_{max} + r_{min}) \quad (2)$$

$$p = r_{min}(1+e)/e = r_{max}(1-e)/e = a(1/e - e) \quad (3)$$

$$r_{ep} = e.p = a(1-e^2) \quad (4)$$

$$b^2 = a^2 - f^2 = a^2(1-e^2) \quad (5)$$

$$A_{ellip} = \pi ab \quad (6)$$

เมื่อ a - ระยะครึ่งแกนยาว (Semi-major Axis), m

b - ระยะครึ่งแกนสั้น (Semi-minor Axis), m

r_{ep} - ค่าคงที่รัศมีโพล่า (Polar Radius Constant), m

A_{ellip} - พื้นที่วงรี, m^2

2.3 กฎพื้นที่ของเคปเลอร์

กฎข้อที่สองของเคปเลอร์ “การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ กวาดพื้นที่จากจุดโฟกัสเท่าๆกันทุกช่วงเวลา” เขียนเป็นสมการแสดงพื้นที่ที่กวาดของเส้นตรงต่อหน่วยเวลา (Sector Velocity) ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับการโคจร ได้ดังนี้ [3]

$$\xi = \frac{1}{2} r^2 \omega = \frac{1}{2} r V_p \quad (7)$$

เมื่อ ξ - ค่าคงที่พื้นที่ที่กวาดของเส้นตรงต่อหน่วยเวลาหรือความเร็วเชิงเคปเลอร์, m^2/s

$$\xi = \frac{dA}{dt} = \frac{A_{ellip}}{T_{Orbital Period}} \quad (8)$$

ω - ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity), rps

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

V_p - ความเร็วแนวตั้งฉากรัศมีจากโพล่า, m/s

$$V_p = r\omega \quad (9)$$

2.4 สมการแผ่รังสีตกกระทบจากตามหลักดาราศาสตร์

สมการในรูปค่าคงที่ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์โดยเฉลี่ย จะเป็นดังนี้ [2]

$$I_{Planet} = (r_{Sun}/r)^2 E_{b,Sun} \quad (10)$$

เมื่อ I_{Planet} - ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีตกกระทบนอก

บรรยากาศดาวเคราะห์, W/m^2

r_{Sun} - รัศมีดวงอาทิตย์, m

2.5 สมการความเข้มกำลังงานตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยการนับวัน

ความเข้มกำลังงานรังสีที่ตกกระทบมีสมการดังนี้ [2]

$$I_{Earth} = I_{SC,Earth} \left[1 + 0.0167 \cos \left(\frac{n-3}{365.25} 2\pi \right) \right]^2 \quad (11)$$

เมื่อ I_{Earth} - ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก, W/m^2

$I_{SC,Earth}$ - ค่าคงที่ความเข้มกำลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ยหรือค่าคงที่รังสีตกกระทบโลก, W/m^2

n - จำนวนวันของปี, Day

เมื่อให้ 1 มกราคม, $n = 1$ และ

31 ธันวาคม, $n = 365$ หรือ 366 วัน

3. การกำหนดตำแหน่งโคจรดาวเคราะห์

จาก(1) เห็นได้ว่าถ้าคำนวณมุม (θ) ที่เวลาขณะนั้นจะทำให้ทราบระยะห่างจากดวงอาทิตย์(r) ได้ ดังนั้นต้องหาความสัมพันธ์ของมุมกับเวลาให้ได้ และเมื่อทราบค่ามุมที่เวลานั้นๆเมื่อแทนลงใน (11) ทำให้ทราบความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์นั้นได้

จัดรูปสมการ(7) เป็นสมการเชิงอนุพันธ์เพื่อหาค่ามุม แล้วแทนค่าจาก (1) และ (4) จัดรูปสมการใหม่ดังนี้

$$d\theta = \frac{2}{r^2} \zeta dt = \frac{2}{r_{ep}^2} \zeta (1 + e \cdot \cos \theta)^2 dt \quad (12)$$

สังเกตได้ว่าสมการมีมุม(θ) อยู่ทั้งสองข้างสมการ จึงต้องจัดรูปสมการใหม่ดังนี้

$$dt = \frac{r_{ep}^2}{2\zeta(1 + e \cdot \cos \theta)^2} d\theta$$

จะเห็นได้ว่าสามารถอินทิเกรตสมการหาเวลาเมื่อทราบมุมที่โคจรได้ ดังนี้

$$\int_0^t dt = \int_0^\theta \frac{r_{ep}^2}{2\zeta(1 + e \cdot \cos \theta)^2} d\theta$$

$$t = \int_0^\theta \frac{r_{ep}^2}{2\zeta(1 + e \cdot \cos \theta)^2} d\theta \quad (13)$$

4. เปรียบเทียบการคำนวณ

ในที่นี้จะคำนวณความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอก บรรยากาศโลกของวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2552 เวลามาตรฐานโลก 0 นาฬิกา 0 นาที

4.1 คำนวณโดยการนับวันจากต้นปี

มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. จำนวนวันของปีนับถึงวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.

2552

$$n = 79 \text{ Day}$$

2. ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอก

บรรยากาศโลก จาก(11)

$$I_{Earth} = 1364.186638 \left[1 + 0.0167 \cos \left(\frac{79 - 3}{365.25} 2\pi \right) \right]^2$$

$$= 1376.076182 \text{ W/m}^2$$

4.2 คำนวณโดยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์กลางของดาวของวงโคจร

ในที่นี้จุดศูนย์กลางของดาวของวงโคจรให้ถือเป็นจุดเริ่มต้นวงรอบโคจรของแต่ละรอบ ซึ่งจุดนี้ก็คือจุดที่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด (Perihelion Point) มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2552 เวลามาตรฐานโลก 0 นาฬิกา 0 นาที คิดเป็นจำนวน 0 นาที ให้ถือว่าเป็นต้นปี

2. วันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2552 เวลามาตรฐานโลก 15 นาฬิกา 39 นาที เป็นเวลาที่โลกโคจรผ่านจากจุดศูนย์กลางดาวหรือ [9] คิดเป็นจำนวน 5259 นาที นับจากต้นปี

2. วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2552 เวลามาตรฐานโลก 0 นาฬิกา 0 นาที คิดเป็นจำนวน 112320 นาที นับจากต้นปี

3. เวลาโคจรที่ผ่านจากจุดศูนย์กลางดาวไปแล้ว

$$t = 112320 - 5259 = 107061 \text{ minute}$$

$$= 6423660 \text{ sec}$$

4. คำนวณหาค่าระยะครึ่งแกนสั้นและคำนวณพื้นที่วงรีโดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

$$\text{จาก(5)} \quad b = 1.49597870691 \times 10^{11} \sqrt{(1 - 0.0167^2)}$$

$$= 1.495770086 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$\text{จาก(6)} \quad A_{\text{ellip}} = \pi(1.49597870691 \times 10^{11})(1.495770086 \times 10^{11})$$

$$= 7.029754009 \times 10^{22} \text{ m}^2$$

5. คำนวณค่าคงที่พื้นที่กวาดของเส้นตรงต่อหน่วยเวลา เมื่อเวลาที่โลกโคจรครบรอบโดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

$$T_{E, \text{Orbit Period}} = 365.25636000 \text{ day/round}$$

$$= 31558149.5 \text{ s/round}$$

$$\text{จาก(8)} \quad \zeta = \frac{A_{\text{ellip}}}{T_{E, \text{Orbit Period}}} = \frac{7.029754009 \times 10^{22}}{31558149.5}$$

$$= 2.227555836 \times 10^{15} \text{ m}^2/\text{s}$$

6. คำนวณรัศมีโฟลล่า โดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

$$\begin{aligned} \text{จาก(4)} \quad r_{ep} &= 1.49597870691 \times 10^{11} (1 - 0.0167^2) \\ &= 1.495561493 \times 10^{11} \text{ m} \end{aligned}$$

7. คำนวณเพื่อหาช่วงมุมที่โคจรอยู่ โดยกำหนดมุม (θ) แทนลงใน (13) จะได้เวลา (t) ด้วยวิธี Romberg Integration [8] โดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

$$\begin{aligned} t &= \int_0^\theta \frac{(1.495561493 \times 10^{11})^2}{2 \times 2.227555836 \times 10^{15} (1 + 0.0167 \cos \theta)^2} d\theta \\ &= \int_0^\theta \frac{5.020534491 \times 10^6}{(1 + 0.0167 \cos \theta)^2} d\theta \end{aligned}$$

โดยกำหนด $\Delta\theta_{\text{Step}} = \pi/8 \text{ radian}$ จะได้เวลาที่มุม (θ) ต่างๆ ดังนี้

$$\theta = 1 \times \pi/8 = \pi/8 \text{ radian}; t_{\pi/8} = 1908922.650 \text{ s} < t$$

$$\theta = 2 \times \pi/8 = \pi/4 \text{ radian}; t_{\pi/4} = 3827192.372 \text{ s} < t$$

$$\theta = 3 \times \pi/8 = 3\pi/8 \text{ radian}; t_{3\pi/8} = 5762912.499 \text{ s} < t$$

$$\theta = 4 \times \pi/8 = \pi/2 \text{ radian}; t_{\pi/2} = 7721789.149 \text{ s} > t$$

$$\theta = 5 \times \pi/8 = 5\pi/8 \text{ radian}; t_{5\pi/8} = 9706195.507 \text{ s} > t$$

$$\theta = 6 \times \pi/8 = 3\pi/4 \text{ radian}; t_{3\pi/4} = 11714628.510 \text{ s} > t$$

8. แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6423660 วินาที โลกโคจรอยู่ในช่วงมุม $3\pi/8 < \theta_{6423660 \text{ sec}} < \pi/2$ ดังนั้นหาค่ามุมขณะโคจรที่วินาทีนี้ ด้วยวิธี Lagrange Polynomial Interpolation [8] ได้ประมาณ

$$\theta_{6423660 \text{ sec}} \cong 1.311116791 \text{ radian}$$

9. คำนวณระยะห่างจากดวงอาทิตย์จากมุม

$\theta_{6423660 \text{ sec}}$ ที่คำนวณได้

$$\begin{aligned} \text{จาก(1)} \quad r &= \frac{1.495561493 \times 10^{11}}{1 + 0.0167 \cos(1.311116791)} \\ &= 1.489175676 \times 10^{11} \text{ m} \end{aligned}$$

10. คำนวณความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก จาก (10) โดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned} I_{\text{Planet}} &= (6.9599 \times 10^8 / 1.489175676 \times 10^{11})^2 \times 62990685.9 \\ &= 1375.911400 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

5. วิเคราะห์ผล

จากการคำนวณด้วยการนับวันได้ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก 1376.076182 W/m² สำหรับการคำนวณโดยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์กลางของดาวโคจรโลกได้ 1375.911400 W/m² ดังนี้

$$\% \text{Difference} = \frac{1375.911400 - 1376.076182}{1376.076182} \times 100 = -0.012\%$$

จะเห็นได้ว่าการคำนวณโดยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์กลางของดาวแต่ละปีปฏิทินที่เวลามาตรฐานโลก ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการนับวันอย่างมาก

6. สรุป

จากการคำนวณความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกด้วยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์กลางของดาวได้ค่าแตกต่างจากการคำนวณโดยการนับวัน -0.012% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ก็ช่วยให้เกิดความมั่นใจในผลลัพธ์ที่ได้นำไปใช้ในการเชิงปฏิบัติมากยิ่งขึ้น และผลที่ได้ในระหว่างขั้นตอนในการคำนวณเช่น มุมและระยะห่างจากดวงอาทิตย์สามารถนำไปประยุกต์เพื่อแก้ปัญหากรณีอื่นได้ที่เกี่ยวข้องได้

นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการเดียวกันนี้ไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งของดาวเคราะห์อื่นๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานดาราศาสตร์เชิงประยุกต์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประเสริฐ อินประเสริฐ; “การปรับแก้ค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่แบบวงรีของดาวเคราะห์”; วารสาร “วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม”; เล่มที่ 15; กรกฎาคม-ธันวาคม 2550; หน้า 18-24
- [2] ประเสริฐ อินประเสริฐ; “การปรับแก้สมการรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก”; วารสาร “วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม”; เล่มที่ 18; มกราคม-มิถุนายน 2552; หน้า 73-81
- [3] ปิยพงษ์ สิทธิคง; “ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา เล่ม 1”; 2547; สำนักพิมพ์ซีเอ็ด; หน้า 370-373, A-7
- [4] ระวี ภาวิไล; “ดาราศาสตร์และอวกาศ”; 2524; บริษัท ศึกษิตสยาม จำกัด; หน้า 54, 369
- [5] Jet Propulsion Laboratory; 2006; ‘Astrodynamic Constants’; NASA; <http://ssd.jpl.nasa.gov/?constants>
- [6] H. P. Grag, L. Prakash; 2000; ‘Solar Energy, Fundamentals and Application’; Tata McGraw-Hill Publishing Co.,Ltd; pp 2-6
- [7] Michael A. Seeds; 1994; ‘Foundations of Astronomy’; Second Edition; Wadsworth Publishing Company; pp 166
- [8] Rama B. Bhat, Snehashish Chakraverty; 2004; ‘Numerical Analysis in Engineering’; India; Alpha Science International Ltd.; pp 98-101, 132-139
- [9] Tingilinde; 2009; ‘Perihelion day’; Typepad; <http://tingilinde.typepad.com/starstuff/2009/01/perihelion-day.html>