

การปรับแก้สมการรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

Adjusting Irradiance Equation from the Sun Outside the Earth's Atmosphere

ประเสริฐ อินประเสริฐ

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163 Prasert_Inp@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ทำการปรับแก้สมการรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากตัวเลขที่ได้จากการวัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผลที่แตกต่างกันของแต่ละผู้วิจัยมีความคลาดเคลื่อนไม่สอดคล้องกันกับสมการการแผ่รังสี อีกทั้งการนับวันโคจรของโลกในสมการการรังสีตกกระทบไม่เท่าการนับวันของปีฤดูกาลโลกตามการคำนวณหลักดาราศาสตร์ ดังนั้นทำให้ค่าที่ได้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ได้ทำการปรับแก้ค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์, ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก และอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล จากการคำนวณสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกที่ปรับแก้แล้วได้ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างจากสมการที่ใช้อยู่เดิมขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยให้ค่าแตกต่างสูงสุด 1.0079% แต่ก็ช่วยทำให้ได้ตัวเลขชุดใหม่มีความละเอียดขึ้นซึ่งทำให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ยังได้แสดงการคำนวณค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์ต่างๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานเชิงประยุกต์ต่อไป

คำสำคัญ: รังสีตกกระทบ, อุณหภูมิดวงอาทิตย์, ปีฤดูกาลโลก, รัศมีวงโคจรเฉลี่ย, ความเร็ววงโคจร, ดาวเคราะห์

Abstract

This research article adjusts irradiance from the sun outside the earth's atmosphere equation to high accuracy. Because of data from measurement of sun irradiance and sun effective radiation temperature have difference on each other of researchers, have some errors and are not related in radiation equation. For each, counting of date number in irradiance equation difference from counting of date number in tropical year from astronomy calculation, then the result from calculation only estimation. Now, this paper adjusts solar radiation flux, solar constant of outside the earth's atmosphere and solar effective radiation temperature. From the calculation of adjusting outside the earth's atmosphere irradiance equation have a result difference from old equation a little; give the maximum difference result 1.0079% but it help

to make the new fine calculating groups of number which leads to confidence for using. Furthermore, show on calculation of solar outside planet's atmosphere irradiance constant to other planets for convenience in applies practice.

Keyword: irradiance, sun temperature, tropical year, average orbit radius, orbit eccentricity, planet

1. บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนขนาดใหญ่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นส่วนใหญ่ที่เหลือเป็นธาตุอื่นๆ เช่นแคลเซียมและแมกนีเซียม[3] โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่จุดศูนย์กลางประมาณ $15.5(10^6)$ K ซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาหลอมรวมทางเทอร์โมนิวเคลียร์(Thermonuclear fusion reaction) เกิดจากการรวมอะตอมไฮโดรเจนกลายเป็นอะตอมฮีเลียมโดยมวลที่หายไปกลายเป็นพลังงานและแผ่รังสีออกไปจากดวงอาทิตย์ บรรยากาศรอบนอกจะมีพวยก๊าซ (Prominence) ของไฮโดรเจนและฮีเลียมพุ่งออกจากดวงอาทิตย์บางส่วนย้อนกลับบางส่วนสลายไปมีอุณหภูมิประมาณ 4240 K สำหรับอุณหภูมิที่วัดโดยการถ่ายภาพ(Pictorial temperature) มีค่าประมาณ 6050 K เนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างผิวและแกนกลางกลุ่มก๊าซ ดังนั้นเราจึงไม่นำอุณหภูมิเฉลี่ยดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริงมาใช้คำนวณการหาค่าการแผ่รังสี

การคำนวณการแผ่รังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกต้องทราบวงโคจรทั้งตำแหน่งและ

เวลาของโลกที่แม่นยำตามหลักดาราศาสตร์[1] แล้วนำมาประกอบกับตัวเลขที่ได้จากการวัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและอุณหภูมิผิวดวงอาทิตย์ของแต่ละผู้วิจัย จึงนำมาสร้างสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก แต่อย่างไรก็ตามสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกที่ใช้อยู่ทั่วไปนับวันโคจรของโลกแตกต่างจากการครบรอบของปีฤดูกาลโลกในการคำนวณตามหลักดาราศาสตร์ ทำให้ค่าที่คำนวณได้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ดังนั้นบทความวิจัยฉบับนี้จะทำการปรับแก้สมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยการใช้ค่าที่ทำกรวัดทางดาราศาสตร์และหลักการฟิสิกส์มาปรับแก้ให้สอดคล้องกัน เพื่อให้ได้ตัวเลขชุดใหม่ที่มีความละเอียดขึ้นและเพิ่มความมั่นใจในการนำไปใช้งานยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลดาราศาสตร์และค่าคงที่

การคำนวณจะใช้ข้อมูลดาราศาสตร์ดังตารางที่ 1 และค่าคงที่ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ระยะครึ่งแกนยาวและความรี [1]

ดาวเคราะห์และดาวเคราะห์น้อย	ระยะครึ่งแกนยาว (AU)	ความรี
พุธ(Mercury)	0.3870991318	0.2069397154
ศุกร์(Venus)	0.7232938550	0.0067872525
โลก(Earth)	1.0000000000	0.0167000000
อังคาร(Mars)	1.5236966150	0.0933955435
เซเรส(Ceres)	2.7664069580	0.0790000000
พัลลาส(Pallas)	2.7690524020	0.2350000000
ไซคี(Psyche)	2.9233584710	0.1350000000
พฤหัสบดี(Jupiter)	5.2026621700	0.0484167980
เสาร์(Saturn)	9.5386086990	0.0559161205
มฤตยู(Uranus)	19.1818494800	0.0464875000
เนปจูน(Neptune)	30.0574206300	0.0099833885
พลูโต(Pluto)	39.4393171300	0.2484393509

ตารางที่ 2 ค่าคงที่

รายการ	ค่าคงที่
พาย(π)	3.1415926535897932384626433832795
1 หน่วยดาราศาสตร์(AU)[4] (Astronomical Unit)	1.49597870691x10 ¹¹ m
ปีฤดูกาลโลก(T _p)[2] (Tropical Earth Year)	365.24220 day/round
รัศมีดวงอาทิตย์(r _{sun})[7]	6.9599x10 ⁸ m
สเตฟาน-โบลต์ซมานน์(σ)[3] (Stefan-Boltzmann)	5.66956x10 ⁻⁸ W/m ² .K ⁴

2.2 สมการการเคลื่อนที่ดาวเคราะห์

จากกฎข้อที่หนึ่งของเคปเลอร์[3]“การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์เป็นรูปวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่ง” มีสมการในพิกัดเชิงขั้วดังนี้ [1]

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

เมื่อ r - ระยะรัศมีจากโพล่า(Pole Radius), m

e - ความรีหรือความเยื้องศูนย์กลาง(Eccentricity), Fraction

θ - มุมเชิงขั้ว(Polar Angle), radial

p - ระยะโพล่าไดเรกทริกซ์(Polar Directrix), m

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

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

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

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

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

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

2.3 สมการการแผ่รังสีจากผิววัตถุ

ความเข้มกำลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black Body) บริเวณพื้นผิว คำนวณได้ดังนี้ [3]

$$E_b = \sigma T_b^4 \quad (5)$$

เมื่อ E_b - ความเข้มกำลังงานแผ่รังสี (Radiation Flux) จากวัตถุดำ, W/m²

T - อุณหภูมิผิววัตถุดำ, K

กรณีเป็นวัตถุดิบจริงและวัดความเข้มกำลังงานแผ่รังสีได้ แล้วคำนวณหาอุณหภูมิผิวเทียบเท่ากับการแผ่รังสีของวัตถุดำในเชิงทฤษฎี เรียกอุณหภูมินี้ว่าอุณหภูมิแผ่รังสีสมบูรณ์(Absolute Radiation Temperature) หรืออุณหภูมิแผ่รังสียังผล (Effective Radiation Temperature) [3]

2.4 ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบ

ความเข้มกำลังงานที่รังสีตกกระทบสำหรับวัตถุที่อยู่ห่างออกไป คำนวณได้โดยสมมติให้ทราบค่าความเข้มกำลังงานที่แผ่รังสีออกมาของวัตถุทรงกลมขนาดเล็ก ดังนั้นจะสามารถหาค่ากำลังงานทั้งหมดที่แผ่รังสี

ออกมาได้โดยนำมาคูณด้วยพื้นที่ผิวทรงกลมขนาดเล็ก และถ้านำทรงกลมที่มีขนาดใหญ่กว่ามาครอบไว้ ดังนั้นกำลังงานที่แผ่รังสีออกมาทั้งหมดจะกระทบกับผิวด้านในของทรงกลมขนาดใหญ่ ดังนั้นเขียนสมการได้เป็น

$$P_{Total} = E_{b,r1} A_{s,r1} = I_{r2} A_{s,r2}$$

$$E_{b,r1} (4\pi r_1^2) = I_{r2} (4\pi r_2^2)$$

$$E_{b,r1} r_1^2 = I_{r2} r_2^2 \quad (6)$$

- เมื่อ P_{Total} - กำลังงานทั้งหมดที่แผ่รังสีออกมา, W
 $E_{b,r1}$ - ความเข้มกำลังงานแผ่รังสี (Radiation Flux) จากวัตถุดำ ที่ผิวทรงกลมรัศมี r_1 , W/m²
 I_{r2} - ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบ (Irradiation Flux) ที่วัดได้ ที่ผิวทรงกลมรัศมี r_2 , W/m²
 $A_{s,r1}, A_{s,r2}$ - พื้นที่ผิวทรงกลมที่รัศมี r_1 และ r_2 , m²
 r_1, r_2 - รัศมีทรงกลม, m

2.5 สมการความเข้มกำลังงานตกกระทบนอกบรรยากาศโลก

ความเข้มกำลังงานรังสีที่ตกกระทบมีสมการดังนี้

[5]

$$I_{Earth} = I_{SC,Earth} [1 + 0.033 \cos(\frac{n}{365} \cdot 360^\circ)] \quad (7)$$

- เมื่อ I_{Earth} - ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก, W/m²
 $I_{SC,Earth}$ - ค่าคงที่ความเข้มกำลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ยหรือค่าคงที่รังสีตกกระทบโลก, W/m²
 n - จำนวนวันของปี เมื่อให้ 1 มกราคม, $n = 1$ และ 31 ธันวาคม, $n = 365$ หรือ 366

3. การปรับแก้สมการรังสีตกกระทบ

3.1 สมการแผ่รังสีตกกระทบจากตามหลักดาราศาสตร์

ความเข้มกำลังงานที่ตกกระทบนอกบรรยากาศของดาวเคราะห์ขึ้นอยู่กับระยะห่างใกล้หรือไกลจากดวงอาทิตย์ตามวันเวลาในแนวการโคจรรอบดวงอาทิตย์ จากสมการที่ 6 จะได้

$$E_{b,Sun} r_{Sun}^2 = I_{Planet} r_{Orbit}^2$$

$$I_{Planet} = (r_{Sun}/r_{Orbit})^2 E_{b,Sun} \quad (8)$$

- เมื่อ I_{Planet} - ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์, W/m²
 r_{Orbit} - ระยะห่างการโคจรดาวเคราะห์จากดวงอาทิตย์, m

การโคจรดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี เมื่อแทนค่า $r = r_{Orbit}$ จากสมการที่ 1 ลงในสมการที่ 8 พร้อมทั้งค่าคงที่รัศมีโพล่า (r_{ep}) จากสมการที่ 4

$$I_{Planet} = \left[\frac{r_{Sun}}{\left(\frac{e \cdot p}{1 + e \cdot \cos \theta} \right)} \right]^2 E_{b,Sun}$$

$$= \left[\frac{r_{Sun} (1 + e \cdot \cos \theta)}{a (1 - e^2)} \right]^2 E_{b,Sun}$$

$$= \left[\frac{r_{Sun}}{a (1 - e^2)} \right]^2 E_{b,Sun} (1 + e \cdot \cos \theta)^2 \quad (9)$$

จากสมการที่ 9 เมื่อเขียนสมการให้อยู่ในค่าคงที่ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์โดยเฉลี่ย จะเป็นดังนี้

$$I_{SC,Planet} = \left[\frac{r_{Sun}}{a(1-e^2)} \right]^2 E_{b,Sun} \quad (10)$$

$$I_{Planet} = I_{SC,Planet} (1+e \cdot \cos \theta)^2 \quad (11)$$

เมื่อ $I_{SC,Planet}$ - ค่าคงที่ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนบรรยากาศดาวเคราะห์ โดยเฉลี่ยหรือค่าคงที่รังสีตกกระทบบนดาวเคราะห์, W/m^2

3.2 ปรับแก้ค่าคงที่การแผ่รังสีและอุณหภูมิแผ่รังสียังผลดวงอาทิตย์

เนื่องจากตัวเลขที่ได้จากการวัดค่าคงที่ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ย (Solar Constant, $I_{SC,Earth}$) หรือเรียกสั้นๆว่าค่าคงที่รังสีตกกระทบบนบรรยากาศโลก และอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล (Effective Solar Radiation Temperature, T_{ESR}) มีความแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าคงที่รังสีตกกระทบบนบรรยากาศโลกและอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผลจากข้อมูลที่บันทึกไว้

แหล่งข้อมูล	ค่าคงที่รังสีตกกระทบบนบรรยากาศโลก ($I_{SC,Earth}, W/m^2$)	อุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล (T_{ESR}, K)
ระวี(2521)[3]	1360.0	5770
Markvart(2000)[8]	1367.0	5800
Seeds(1994)[7]	-	5800
John(1980)[6]	-	5762
Johnson(1954)[6]	1358.5	-
Thekaekara(1971)[6]	1353.0	-
NASA(1971)[6]	1353.0	-
Frohlich(1977)[6]	1373.0	-
Grag(1997)[5]	-	5762
WRC(1997)[5]	1367.0	-

3.2.1 คำนวณอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล

นำค่าระยะครึ่งแกนยาว 1 AU ($a = 1.4959787 \times 10^{11}$ m) และค่าความรี ($e=0.0167$) ของโลกจากตารางที่ 1 พร้อมทั้งคงที่รังสีตกกระทบบนบรรยากาศโลก ($I_{SC,Earth}$) จากตารางที่ 3 แทนลงในสมการที่ 10 เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากผิวดวงอาทิตย์ ($E_{b,Sun}$) โดยการทราบค่ารัศมีดวงอาทิตย์ ($r_{Sun}=6.9599 \times 10^8$ m) จากตารางที่ 2 พร้อมทั้งค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้แทนลงในสมการที่ 5 จะได้อุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล (T_b) ดังตารางที่ 4

3.2.2 คำนวณรังสีตกกระทบบน

นำค่าอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล (T_b) จากตารางที่ 3 แทนลงในสมการที่ 5 เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากผิวดวงอาทิตย์ ($E_{b,Sun}$) โดยทราบค่ารัศมีดวงอาทิตย์ ($r_{Sun}=6.9599 \times 10^8$ m) แล้วนำค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้ พร้อมทั้งนำค่าระยะครึ่งแกนยาว 1 AU ($a = 1.4959787 \times 10^{11}$ m) และค่าความรี ($e=0.0167$) ของโลกจากตารางที่ 1 แทนลงในสมการที่ 10 จะได้ค่าคงที่รังสีตกกระทบบนบรรยากาศโลก ($I_{SC,Earth}$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกและอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผลจากการคำนวณ

แหล่งข้อมูล	ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก ($I_{SC,Earth}, W/m^2$)	อุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล (T_{ESR}, K)
ระวี(2521)[3]	1360.000000	5770.000000
Markvart(2000)[8]	1367.000000	5800.000000
Seeds(1994)[7]	1389.500745	5800.000000
John(1980)[6]	1353.442549	5762.000000
Johnson(1954)[6]	1358.500000	5767.375235
Thekaekara(1971)[6]	1353.000000	5761.528927
NASA(1971)[6]	1353.000000	5761.528927
Frohlich(1977)[6]	1373.000000	5782.703591
Grag(1997)[5]	1353.442549	5762.000000
WRC(1997)[5]	1367.000000	5776.375619

นำผลที่ได้จากตารางที่ 4 มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ค่าดังนี้

$$I_{SC,Earth,Average} = 1363.288584 \text{ W/m}^2$$

$$T_{ESR,Avg} = 5774.351230 \text{ K}$$

ตารางที่ 5 ค่าที่ได้จากการปรับแก้

รายการ	ค่าปรับแก้
ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ($E_{b,Sun}$)	62990685.900000 W/m^2
ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก ($I_{SC,Earth}$)	1364.186638 W/m^2
อุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผล (T_{ESR})	5773.401297 K

นำค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ยแทนลงในสมการที่ 10 จะได้ค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และนำค่าอุณหภูมิแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังผลแทนในสมการที่ 5 จะได้ค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์ แล้วนำผลที่ได้ทั้งสองค่าเฉลี่ยเป็นค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์

ที่ปรับแก้แล้วให้นำค่านี้แทนกลับไปยังสมการที่ 5 และ 10 ผลที่ได้จากการปรับแก้นี้ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์จากดวงอาทิตย์(Sun,A)

ดาวเคราะห์และดาวเคราะห์น้อย	ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศ (W/m^2)
พุธ(Mercury,B)	9931.2419470000
ศุกร์(Venus,C)	2606.4054790000
โลก(Earth,D)	1364.1866380000
อังคาร(Mars,E)	597.6462699000
เซเรส(Ceres)	180.4002896000
พัลลาส(Pallas)	199.2105719000
ไซคี(Psyche)	165.5173150000
พฤหัสบดี(Jupiter,F)	50.6079550400
เสาร์(Saturn,G)	15.0793091800
มฤตยู(Uranus,H)	3.7215999510
เนปจูน(Neptune,I)	1.5094358960
พลูโต(Pluto,J)	0.9956570636

นำค่ารัศมีดวงอาทิตย์ (r_{Sun}) จากตารางที่ 2, ค่าความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ($E_{b,Sun}$) จากตารางที่ 5 และ ระยะครึ่งแกนยาว (a) และค่าความรี (e) จากตารางที่ 1 แทนลงในสมการที่ 10 ได้ค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์ดังตารางที่ 6

3.3 ปรับแก้การนับวันโคจรของโลกตามหลักดาราศาสตร์

จากตารางที่ 2 โลกจะโคจรครบรอบ 1 ปี ตามปีฤดูกาลโลก ใช้เวลาประมาณ 365.25 วัน นั่นคือจุดที่โคจรครบรอบปีไม่ตรงจังหวะกับการหมุนครบรอบตัวเองของโลกวัน แต่จากสมการที่ 7 ตัวหารจำนวนวันคือ 365 นั่นคือ

การนับวันสิ้นสุด 1 ปีอยู่ที่ $n=365$ วัน และในปีอธิกสุรทิน (Leap year) ที่เดือนกุมภาพันธ์มี 29 วัน วันสิ้นสุด 1 ปีอยู่ที่ $n=366$ วัน

นั่นคือปีใดที่มี 365 วัน โลกจะโคจรไปยังไม่ถึงจุดเริ่มต้นขนาดไป $(365/365.25) \cdot 360^\circ = 0.2464065708^\circ$ แต่ถ้าปีใดมี 366 วัน โลกจะโคจรไปเกินจุดเริ่มต้น $(366/365.25) \cdot 360^\circ = 0.7392197125^\circ$ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการสร้างปฏิทินให้ทุกๆ 4 ปี มีจำนวนวันเพิ่ม 1 วัน ดังนั้น 4 ปี จะมีจำนวนวัน $3 \cdot 365 + 366 = 1461$ วัน หรือเฉลี่ยปีละ 365.25 วันนั่นเอง

นอกจากนี้สมการที่ 7 ยังให้ค่ารังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกมีค่ามากที่สุดที่วันสิ้นสุดปี ($n=365$) 31 ธันวาคม แต่ตามหลักดาราศาสตร์โลกจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด (Perihelion) ระหว่างวันที่ 1 ถึง 5 มกราคมของแต่ละปี แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวันที่ 3 มกราคม [3] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการคลาดเคลื่อนในการนับวันและการเพิ่มวันในการปรับปฏิทินให้ตรงกับปีฤดูกาลโลก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแก้สมการที่ 11 เพื่อใช้สำหรับโลกเป็นดังนี้

$$I_{Earth} = I_{SC,Earth} \left[1 + 0.0167 \cos\left(\frac{n-3}{365.25} \cdot 360^\circ\right) \right]^2 \quad (12)$$

4. วิเคราะห์ผลการปรับแก้

4.1 กรณีค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก

ความแตกต่างค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกจากตารางที่ 5 เทียบกับค่าต่ำสุดในตารางที่ 4 เท่ากับ 0.82680% จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

4.2 กรณีค่ารังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกสูงสุด

ค่ารังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกสูงสุดเกิดขึ้นที่สมการที่ 7 เมื่อ $n=365$ มีค่า $I_{Earth} = 1.033000000 I_{SC,Earth}$ และ $n=366$ มีค่า $I_{Earth} = 1.032995111 I_{SC,Earth}$ แต่สำหรับสมการที่ 12 ค่ารังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อ $n=3$ มีค่า $I_{Earth} = 1.03367889 I_{SC,Earth}$

ดังนั้นผลแตกต่างการคำนวณจากสมการที่ 12 เทียบกับสมการที่ 7 กรณี $n=365$ เท่ากับ 0.06572% และกรณี $n=366$ เท่ากับ 0.06619% จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

4.3 กรณีค่ารังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกแตกต่างสูงสุด

ในการเปรียบเทียบนี้ใช้สมการที่ 7 ที่ใช้ค่าจากตารางที่ 3 (NASA) $I_{SC,Earth} = 1353 \text{ W/m}^2$ เป็นค่าก่อนการปรับแก้ เปรียบเทียบกับสมการที่ 12 ที่ใช้ค่าจากตารางที่ 5 $I_{SC,Earth} = 1364.186638 \text{ W/m}^2$ เป็นค่าหลังจากทำการปรับแก้แล้ว ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความแตกต่างก่อนและหลังการปรับแก้

วัน (day)	รังสีตกกระทบนอกระบบบรรยากาศ โลก (W/m ²)		ความแตกต่าง (%)
	ก่อนปรับแก้	หลังปรับแก้	
1	1397.642385	1410.103515	0.891582193
2	1397.622541	1410.124076	0.894485757
3	1397.589475	1410.130930	0.897363295
4	1397.543195	1410.124076	0.900214049
75	1365.327454	1379.087485	1.007819150
76	1364.586942	1378.340427	1.007886302
77	1363.842997	1377.589373	1.007914854
78	1363.095839	1376.834549	1.007904937
79	1362.345690	1376.076182	1.007856724
364	1397.642385	1410.007182	0.884689630
365	1397.649000	1410.058551	0.887887522
366	1397.642385	1410.096234	0.891061245

จากตารางเห็นได้ว่าวันที่ 77 ของปี เป็นวันที่ให้ค่าความแตกต่างระหว่างก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้สูงสุดเพียง 1.0079%

5. สรุป

ตัวเลขที่ได้จากตำรามีความคลาดเคลื่อนไม่สอดคล้องกันทั้งหมดของชุดสมการที่กล่าวถึง จึงมีผลให้ขาดความมั่นใจที่จะนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติอาจมีผลให้การคำนวณมีความคลาดเคลื่อนสูง จึงต้องทำการปรับแก้ให้สอดคล้องกันก่อนนำไปใช้งาน

จากการปรับแก้ค่าคงที่ความแตกต่างรังสีตกกระทบนอกระบบบรรยากาศโลกและสมการรังสีตกกระทบนอกระบบบรรยากาศโลกได้ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างจากค่าที่ใช้อยู่เดิมขึ้นเพียงเล็กน้อย สูงสุดประมาณ 1.0079% แต่ก็ให้ช่วยให้เกิดความมั่นใจในการนำค่าคงที่หรือสมการนี้ไปใช้งานเชิงปฏิบัติมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังได้แสดงการคำนวณค่าคงที่รังสีตกกระทบนอกระบบบรรยากาศดาวเคราะห์ต่างๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานเชิงประยุกต์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประเสริฐ อินประเสริฐ; “การปรับแก้ค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่แบบวงรีของดาวเคราะห์”; วารสาร “วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม”; เล่มที่ 15; กรกฎาคม-ธันวาคม 2550; หน้า 18-24
- [2] พิภพ ตั้งคณะสิงห์; “วิธีวางลัดฉนวนจริง”; 2514; สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; หน้า 113-115, 216
- [3] ระวี ภาวิไล; “ดาราศาสตร์และอวกาศ”; 2524; บริษัท คีทซ์สยาม จำกัด; หน้า 54, 294-296, 299, 306, 308, 341, 343, 369
- [4] Jet Propulsion Laboratory; 2006; ‘Astrodynamics Constants’; NASA; <http://ssd.jpl.nasa.gov/?constants>
- [5] H. P. Grag, L. Prakash; 2000; ‘Solar Energy, Fundamentals and Application’; Tata McGraw-Hill Publishing Co.,Ltd; pp 2-6
- [6] John A. Duffie, William A. Beckman; 1980; ‘Solar Engineering of Thermal Process’; Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, John Wally & Sons,ltd; pp 1, 4
- [7] Michael A. Seeds; 1994; ‘Foundations of Astronomy’; Second Edition; Wadsworth Publishing Company; pp 166
- [8] Tomas Markvart; 2000; ‘Solar Electricity’; Second Edition; University of Southampton; UK; John Wally & Sons,ltd; pp 7