ME-NETT 24
The 24th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

CST 27

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การคำนวณรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกจากวงโคจรด้วยวิธีเชิงตัวเลข

Calculating Irradiance outside Atmosphere of the Earth from the Orbit by Numerical Method

ประเสริฐ   อินประเสริฐ

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163
Prasert_Inp@yahoo.com, 085-9155519

บทคัดย่อ

การคำนวณพลังงานที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์ เริ่มต้นที่ปริมาณรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาของโลกจากวงโคจรเพื่อคำนวณรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก โดยการกำหนดตำแหน่งระยะใกล้ไกลจากดวงอาทิตย์ตามหลักการคำนวณดาราศาสตร์ในเทอมเวลาโดยการนับวินาทีที่ผ่านจากจุดศูนย์องศาของวงโคจรด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยทั่วไปสมการรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกคำนวณจากเทอมความละเอียดของเวลานับเป็นจำนวนวันจากต้นปี   ผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบได้ค่าแตกต่าง 0.168% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก   ผลลัพธ์ที่ได้ให้ตัวเลขที่มีความละเอียดยิ่งขึ้นซึ่งทำให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้งานที่ต้องการความละเอียดสูง และผลที่ได้ในระหว่างขั้นตอนการคำนวณเช่น มุมและระยะห่างจากดวงอาทิตย์ สามารถประยุกต์สำหรับแก้ปัญหาอื่นๆได้ที่เกี่ยวข้องได้   วิธีการคำนวณในบทความนี้สามารถใช้ในการกำหนดตำแหน่งดาวเคราะห์อื่นๆเพื่อเป็นประโยชน์ในงานดาราศาสตร์ต่อไป
คำหลัก: ตำแหน่งและเวลา, โลก, วงโคจร, รังสีตกกระทบ, ดาราศาสตร์, ดาวเคราะห์

Abstract

Calculation of energy which irradiates on solar collector begins with amount of irradiance outside atmosphere of the earth from the sun. Therefore this research finds the relationship between position and time of the earth from the orbit for calculating irradiance from the sun outside the earth’s atmosphere by fixing far or near distance from the sun, according to astronomy calculation principles in time domain which counting a second pass through a zero point of the orbit by numerical method. In general equations of irradiance from the sun outside the earth’s atmosphere calculate from time domain accuracy counting in a day from beginning of a year. The result from comparing calculation get a difference value is 0.168% which is vicinity. This result gives high accuracy digit which has confident in using high accuracy work and other results in intermediate calculation steps, such as angle and distance from the

sun, can apply for other related problems. Calculation method in this paper can use in fixing positions other planets to be useful in astronomy work in the next time.

***Keywords**: position and time, earth, orbit, irradiance, astronomy, planet*

1. บทนำ

การคำนวณพลังงานที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์สำหรับการเก็บกักพลังงาน ในการหาความเข้มกำลังงานแผ่รังสีตกกระทบโดยตรง(Direct Irradiation)จากดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก เริ่มต้นจากคำนวณความเข้มกำลังงานแผ่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกจากดวงอาทิตย์ แล้วคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยบรรยากาศโลก (Transmittance of the Atmosphere Coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งและสภาพบรรยากาศในขณะนั้น ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงเน้นถึงการคำนวณการแผ่รังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก เนื่องจากเป็นตัวเลขที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะแสดงถึงปริมาณพลังงานเข้ามายังโลก ในการคำนวณอย่างละเอียดจะต้องทราบตำแหน่งระยะใกล้ไกลจากดวงอาทิตย์ โดยการกำหนดตำแหน่งและเวลาของโลกที่แม่นยำจากวงโคจรตามหลักดาราศาสตร์[1] แล้วนำมาประกอบกับตัวเลขที่ได้จากการวัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและอุณหภูมิดวงอาทิตย์ของแต่ละผู้วิจัย จึงนำมาสร้างสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก แต่อย่างไรก็ตามสมการรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้นเป็นการนับวันโคจรของโลกแตกต่างจากการครบรอบของปีฤดูกาลโลกในการคำนวณตามหลักดาราศาสตร์ ซึ่งทำให้ค่าที่คำนวณได้เป็นเพียงค่าประมาณการเท่านั้น ตามหลักดาราศาสตร์แล้วโลกจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด (Perihelion)ระหว่างวันที่ 1 ถึง 5 มกราคมของแต่ละปี แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวันที่ 3 มกราคม [2] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการคลาดเคลื่อนในการนับวันและการเพิ่มวันในการปรับปฏิทินให้ตรงกับปีฤดูกาลโลก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลดาราศาสตร์และค่าคงที่

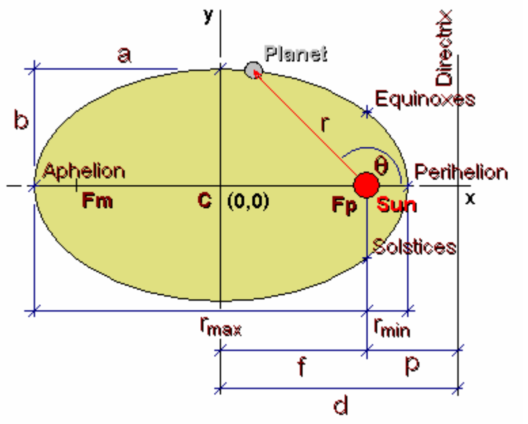
การคำนวณจะใช้ข้อมูลดาราศาสตร์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่

รายการ	ค่าคงที่
1 หน่วยดาราศาสตร์(AU)[3] (Astronomical Unit)	$1.49597870691 \times 10^{11}$ m
ความรีหรือความเยื้องศูนย์(e)[4] (Eccentricity)	0.016700
ปีดาราคติคาบโคจรโลก[5] ($T_{E,Orbital\ Period}$) (Earth Sidereal year, Earth Orbital Period)	365.25636000 day/round
รัศมีดวงอาทิตย์(r_{Sun})[6]	6.9599×10^{8} m
ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีดวงอาทิตย์($E_{b,Sun}$)[1]	62990685.900000 W/m^2
ความเข้มกำลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ย($I_{SC,Earth}$)[1]	1364.186638 W/m^2

2.2 สมการการเคลื่อนที่ดาวเคราะห์

จากกฎข้อที่หนึ่งของเคปเลอร์[2] “การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์เป็นรูปวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่ง” มีสมการในพิกัดเชิงขั้วดังนี้



รูปที่ 1 ค่าคงที่วงโคจรดาวเคราะห์

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

เมื่อ r - ระยะรัศมีจากโพล่า(Pole Radius), m

e - ความรีหรือความเยื้องศูนย์(Eccentricity), -

p - ระยะโพล่าไดเรกตริกซ์(Polar Directrix), m

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

θ - มุมเชิงขั้ว(Polar Angle), r

ค่าคงที่ในสมการสามารถหาค่าได้ถ้าทราบค่าระยะโคจรดาวเคราะห์ใกล้ที่สุด(r_{min}) และ ระยะโคจรดาวเคราะห์ไกลที่สุด(r_{max}) ดังนี้ [4]

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

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

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

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

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

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

b - ระยะครึ่งแกนสั้น(Semi-minor Axis), m

A_{ellip} - พื้นที่วงรี, m^2

2.3 กฎพื้นที่ของเคปเลอร์

กฎข้อที่สองของเคปเลอร์ "การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ กวาดพื้นที่จากจุดโฟกัสเท่าๆกันทุกช่วงเวลา" เขียนเป็นสมการแสดงพื้นที่กวาดของเส้นตรงต่อหน่วยเวลา (Sector Velocity) ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับการโคจร ได้ดังนี้ [3]

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

เมื่อ ξ - ค่าคงที่พื้นที่กวาดของเส้นตรงต่อหน่วยเวลาหรือความเร็วเซ็กเตอร์, 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

ความเข้มกำลังงานที่รังสีตกกระทบสำหรับวัตถุที่อยู่ห่างออกไป คำนวณได้โดยสมมุติให้ทราบค่าความเข้มกำลังงานที่แผ่รังสีออกมาของวัตถุทรงกลมขนาดเล็ก ดังนั้นจะสามารถหาค่ากำลังงานทั้งหมดที่แผ่รังสีออกมาได้โดยนำมาคูณด้วยพื้นที่ผิวทรงกลมขนาดเล็ก และถ้านำทรงกลมที่มีขนาดใหญ่กว่ามาครอบไว้ ดังนั้นกำลังงานที่แผ่รังสีออกมาทั้งหมดจะกระทบกับผิวด้านในของทรงกลมขนาดใหญ่ ดังนั้นเขียนสมการได้เป็น

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

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

$$E_{b,r1} r_1^2 = I_{r2} r_2^2$$

เมื่อ P_{Total} - กำลังงานทั้งหมดที่แผ่รังสีออกมา,W

$E_{b,r1}$ - ความเข้มกำลังงานแผ่รังสี(Radiation Flux) จากวัตถุดำ ที่ผิวทรงกลมรัศมี $r1$, W/m^2

I_{r2} - ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบ (Irradiation Flux) ที่วัดได้ ที่ผิวทรงกลมรัศมี $r2$, W/m^2

$A_{s,r1}$, $A_{s,r2}$ - พื้นที่ผิวทรงกลมที่รัศมี $r1$ และ $r2$, m^2

r_1,r_2 - รัศมีทรงกลม, m

สมการในรูปค่าคงที่ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์โดยเฉลี่ย จะเป็นดังนี้

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

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

เมื่อ I_{Planet} - ความเข้มกำลังงานแผ่รังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์, W/m^2

r_{Sun} - รัศมีดวงอาทิตย์, m

2.5 สมการความเข้มกำลังงานตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยการนับวัน

ความเข้มกำลังงานรังสีที่ตกกระทบมีสมการดังนี้ [7]

$$I_{Earth} = I_{SC,Earth}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{n}{365}2\pi\right)\right] \quad (11)$$

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

$I_{SC,Earth}$ - ค่าคงที่ความเข้มกำลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบนอกบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ยหรือค่าคงที่รังสีตก

กระทบโลก, 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 และเมื่อทราบระยะห่างจากดวงอาทิตย์เมื่อแทนลงใน (10) จะทำให้ทราบความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศดาวเคราะห์นั้นได้

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

$$d\theta = \frac{2}{r^2}\xi dt = \frac{2}{r_{ep}^{\ 2}}\xi(1+e.\cos\theta)^2\,dt \qquad (12)$$

สังเกตได้ว่าสมการมีมุม(θ) อยู่ทั้งสองข้างสมการ จึงต้องจัดรูปสมการใหม่ดังนี้

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

จะเห็นได้ว่าสามารถอินติเกรดสมการหาเวลาเมื่อทราบมุมที่โคจรได้ ดังนี้

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

$$t = \int_0^\theta \frac{r_{ep}^{\ 2}}{2\xi(1+e.\cos\theta)^2}d\theta \qquad (13)$$

4. เปรียบเทียบการคำนวณ

ในที่นี้จะคำนวณความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกของวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2552 เวลามาตรฐานโลก 0 นาฬิกา 0 นาที

4.1 คำนวณโดยการนับวันจากต้นปี

มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. จำนวนวันของปีนับถึงวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2552

n = 79 Day

2. ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก จาก(11)

$$I_{Earth} = 1364.186638\left[1+0.033\cos\left(\frac{79}{365}2\pi\right)\right]$$

$$= 1373.609598\ W/m^2$$

4.2 คำนวณโดยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์องศาของวงโคจร

ในที่นี้จุดศูนย์องศาของวงโคจรให้ถือเป็นจุดเริ่มต้นวงรอบโคจรของแต่ละรอบ 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 เป็นเวลาที่โลกโคจรผ่านจากจุดศูนย์องศาหรือ [8] คิดเป็นจำนวน 5259 นาที นับจากต้นปี

3. วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2552 เวลามาตรฐานโลก 0 นาฬิกา 0 นาที คิดเป็นจำนวน 112320 นาทีนับจากต้นปี

4. เวลาโคจรที่ผ่านจากจุดศูนย์องศาไปแล้ว

t = 112320-5259 = 107061 minute

= 6423660 sec

5. คำนวณหาค่าระยะครึ่งแกนสั้นและคำนวณพื้นที่วงรีโดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

จาก(5) $b = 1.49597870691x10^{11}\sqrt{(1 - 0.0167^2)}$

$=1.495770086x10^{11}$ m

จาก(6)

$A_{ellip}=\pi(1.49597870691x10^{11})(1.495770086x10^{11})$

$=7.029754009x10^{22}\ m^2$

5. คำนวณค่าคงที่พื้นที่กวาดของเส้นตรงต่อหน่วยเวลา เมื่อเวลาที่โลกโคจรครบรอบโดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

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

= 31558149.5 s/round

จาก(8) $\xi = \frac{A_{ellip}}{T_{E,Orbit\ Period}} = \frac{7.029754009\times10^{22}}{31558149.5}$

$$= 2.227555836\times10^{15}\ m^2/s$$

6. คำนวณรัศมีโพล่าโดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

จาก(4) $r_{ep} = 1.49597870691\times10^{11}(1-0.0167^2)$

$$= 1.495561493\times10^{11}\ m$$

7. คำนวณเพื่อหาช่วงมุมที่โคจรอยู่ โดยกำหนดมุม (θ) แทนลงใน (13) จะได้เวลา (t) ด้วยวิธี Romberg Integration [9] ใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1

$$t = \int_0^{\theta} \frac{(1.495561493\times10^{11})^2}{2\times 2.227555836\times10^{15}(1+0.0167\cos\theta)^2} d\theta$$

$$= \int_0^{\theta} \frac{5.020534491\times10^{6}}{(1+0.0167\cos\theta)^2} d\theta$$

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

θ= 1xπ/8 = π/8 radian; $t_{\pi/8}$ = 1908922.650 s<t

θ= 2xπ/8 = π/4 radian; $t_{\pi/4}$ = 3827192.372 s<t

θ= 3xπ/8 = 3π/8 radian; $t_{3\pi/8}$= 5762912.499 s<t

θ= 4xπ/8 = π/2 radian; $t_{\pi/2}$ = 7721789.149 s>t

θ= 5xπ/8 = 5π/8 radian; $t_{5\pi/8}$= 9706195.507 s>t

θ= 6xπ/8 = 3π/4 radian; $t_{3\pi/4}$=11714628.510 s>t

8. แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6423660 วินาที โลกโคจรอยู่ในช่วงมุม $3\pi/8 < \theta_{6423660\ sec} < \pi/2$ ดังนั้นหาค่ามุมขณะโคจรที่วินาทีนี้ ด้วยวิธี Lagrange Polynomial Interpolation [9] ได้ประมาณ

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

9. คำนวณระยะห่างจากดวงอาทิตย์จากมุม $\theta_{6423660\ sec}$ ที่คำนวณได้

จาก(1) $r = \frac{1.495561493\times10^{11}}{1+0.0167\cos(1.311116791)}$

$$= 1.489175676\times10^{11}\ m$$

10. คำนวณความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก จาก (10) โดยใช้ค่าคงที่จากตารางที่ 1 จะได้

$I_{Planet}=(6.9599\times10^{8}/1.489175676\times10^{11})^2 62990685.9$

$$= 1375.911400\ W/m^2$$

5. วิเคราะห์ผล

จากการคำนวณด้วยการนับวันได้ความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลก 1373.609598 W/m^2 สำหรับการคำนวณโดยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์องศาวงโคจรโลกได้ 1375.911400 W/m^2 ดังนั้น

$$\%Differance = \frac{1375.911400 - 1373.609598}{1373.609598} \times 100 = 0.168\%$$

จะเห็นได้ว่าการคำนวณโดยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์องศาของแต่ละปีปฏิทินที่เวลามาตรฐานโลก ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการนับวันอย่างมาก

6. สรุป

จากการคำนวณความเข้มกำลังงานรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกด้วยการนับเวลาที่ผ่านจากจุดศูนย์องศาได้ค่าแตกต่างจากการคำนวณโดยการนับวัน 0.168% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ก็ให้ช่วยให้เกิดความมั่นใจในผลลัพธ์ที่ได้นำไปใช้ในงานเชิงปฏิบัติมากยิ่งขึ้น และผลที่ได้ในระหว่างขั้นตอนในการคำนวณเช่น มุมและระยะห่างจากดวงอาทิตย์สามารถนำไปประยุกต์เพื่อแก้ปัญหากรณีอื่นได้ที่เกี่ยวข้องได้

นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการเดียวกันนี้ไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งของดาวเคราะห์อื่นๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานดาราศาสตร์เชิงประยุกต์ต่อไป

7.เอกสารอ้างอิง

[1] ประเสริฐ อินประเสริฐ. การปรับแก้สมการรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*, เล่มที่ 18, มกราคม-มิถุนายน 2552, หน้า 73-81

[2] ระวี ภาวิไล (2524), *ดาราศาสตร์และอวกาศ*, บริษัท ศึกษิตสยาม จำกัด; หน้า 54, 369

[3] ปิยพงษ์ สิทธิคง (2547). *ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา เล่ม 1*, สำนักพิมพ์ซีเอ็ด; หน้า 370-373, A-7

[4] ประเสริฐ อินประเสริฐ. การปรับแก้ค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่แบบวงรีของดาวเคราะห์. *วารสาร*

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, เล่มที่ 15, กรกฎาคม-ธันวาคม 2550, หน้า 18-24

[5] Jet Propulsion Laboratory (2006). *Astrodynamic Constants*, NASA, URL: http://ssd.jpl.nasa.gov/?constants, access on 14/06/2010

[6] Michael A. Seeds (1994). *Foundations of Astronomy*, 2nd Edition, Wadsworth Publishing Company, pp 166

[7] H. P. Grag and L. Prakash (2000). *Solar Energy Fundamentals and Application*, Tata McGraw-Hill Publishing Co.,ltd, pp 2-6

[8] Tingilinde (2009). *Perihelion day*, Typepad, URL:http://tingilinde.typepad.com/starstuff/2009/01/perihelion-day.html, access on 14/06/2010

[9] Rama B. Bhat and Snehashish Chakraverty (2004). *Numerical Analysis in Engineering*, India, Alpha Science International Ltd., pp 98-101, 132-139