

통신해양기상위성에서의 태양광 반사점(SUN-GLINT) 위치예측

박재익^{1†}, 최규홍¹, 박상영¹, 유주형², 안유환², 박재우³, 김병수⁴

¹연세대학교 천문우주학과

²한국해양연구원

³한국전자통신연구원

⁴한국과학기술기획평가원

PREDICTION OF THE SUN-GLINT LOCATIONS FOR THE COMMUNICATION, OCEAN AND METEOROLOGICAL SATELLITE

Jae-Ik Park^{1†}, Kyu-Hong Choi¹, Sang-Young Park¹, Joo-Hyung Ryu²,
Yu-Hwan Ahn², Jae-Woo Park³, and ByoungSoo Kim⁴

¹Department of Astronomy, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

²Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 426-744, Korea

³Electronics and Telecommunication Research Institute, Daejeon 305-350, Korea

⁴Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, Seoul 137-130, Korea

E-mail: jpark@galaxy.yonsei.ac.kr

(Received July 21, 2005; Accepted August 17, 2005)

요 약

2008년 발사 예정인 통신해양기상위성의 해양 관측자료 분석에 적용할 해수면에 나타나는 태양광 반사점의 위치를 찾아주는 알고리즘을 연구하였다. 태양-위성-지구의 기하학적 위치를 고려한 위성과 태양의 방위각과 고도각의 계산을 통해 비선형 방정식을 유도하였고, 뉴턴-랩슨 수치 방법을 이용하여 해를 구하였다. 통신해양기상위성이 동경 116.2°E 혹은 128.2°E에 위치하게 될 경우 위도 $\pm 10^\circ$ (N-S)와 경도 80 - 150°(E-W) 사이에 태양광 반사점이 분포하는 것을 알 수 있었다. 남반구의 낮 동안 태양광 반사점의 경로는 북극을 향해 휘어있고 반대로 북반구의 태양광 반사점의 경로는 남극을 향하는 분포 패턴을 도출해 내었다. 다양한 영상 센서를 가진 정지궤도 위성들의 태양광 반사점의 위치예측과 그와 관련된 연구를 수행하는데 있어 본 논문에서 연구한 알고리즘을 이용할 수 있다.

ABSTRACT

For the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) which will be launched in 2008, an algorithm for finding the precise location of the sun-glint point on the ocean surface is studied. The precise locations of the sun-glint are estimated by considering azimuth and elevation angles of Sun-satellite-Earth geometric position and the law of reflection. The obtained nonlinear equations are solved by using the Newton-Raphson method. As a result, when COMS is located at 116.2°E or 128.2°E longitude, the sun-glint covers region of $\pm 10^\circ$ (N-S) latitude and 80 - 150° (E-W) longitude. The diurnal path of the sun-glint in the southern hemisphere is curved towards the North Pole, and the path in the northern hemisphere is forwards the

[†]corresponding author

south pole. The algorithm presented in this paper can be applied to predict the precise location of sun-glint region in any other geostationary satellites.

Keywords: communication ocean and meteorological satellite (COMS), geostationary-orbit, sun-glint

1. 서 론

2008년 발사를 목표로 개발에 착수한 통신해양기상위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite)의 해양 탐재체의 임무는 해양관측을 통한 해양 자원 관리 및 조기 적조 관측을 통한 해양환경 보존에 있다. 해양원격탐사에 있어 해색(Ocean Color)의 결정은 강의 퇴적, 침식, 해안선을 따르는 퇴적물의 이동, 오염도와 같은 변수들의 결정에 있어서 중요한 요인이다. 이러한 해색은 해수면으로부터 반사된 태양광반사(Sun-glint)에 의해 변화되어 보인다(Fraser & Curran 1976). 밀도가 높은 구름과 깨끗한 눈과 같은 반사율이 높은 물질이 있을 때에도 적외선 영역으로 위성영상촬영 시, 가시 영역에서의 위성영상을 얻은 것 같이 매우 밝게 보인다. 반면 물의 가시광 반사율은 매우 작기 때문에 물로 덮여 있는 해수면은 가시 영역에서 위성영상 촬영 시 어둡게 보이는 경향이 있다. 정상적인 환경에서 해수면은 광택이 나는 작은 유리 거울과 같아 입사하는 태양복사광을 반사한다. 이러한 반사광이 위성센서의 시야각(Field Of View)의 범위 내에 들어올 경우 센서로부터 얻은 영상의 해수면은 매우 밝게 보이게 된다. 이렇게 촬영된 영상의 특정 부분이 태양복사광에 의해 반사된 부분을 태양광반사(Sun-glint)라 부른다(Cracknell 1990).

과거의 해양원격탐사에서는 위성센서의 시야각 조절과 위성의 궤도 조정을 통해 이러한 태양광반사를 피하려 했다(Khattak 1989). 해양의 근해를 연구하기 위한 Nimbus-7에 탑재된 CZCS(Coastal Zone Colour Scanner) 센서는 태양광반사를 피하기 위해 위성 진행 방향의 피치(pitch)축 센서의 기울기를 조절할 수 있는 기능을 가지고 있다. 그렇지만 이러한 방식은 복잡하고 영상의 왜곡이 심각하게 발생한다. 따라서 태양광반사효과를 제어하지 않는 위성 센서로부터 얻어진 자료의 데이터 보정에 필요한 용량에 비해 영상 왜곡의 보정을 위해 200배나 더 큰 컴퓨터 용량이 요구된다(Kosik & Paci 1981). 또한 Landsat 계열의 저궤도 위성에서 얻어지는 영상과 같이 작은 주사폭(swath)을 가진 위성의 센서는 좋은 날씨 상태에서는 태양광반사를 피할 수 있었지만, 짧은 파장과 주기를 가진 거친 파도가 치는 해수면에서는 풍속의 영향으로 인해 빛이 산란 되어 태양광반사 효과가 센서에 의해 검출 되었다(Benny & Dawson 1983).

그 동안의 태양광반사효과에 관한 연구는 저궤도 위성의 해양관측임무에 국한되어 연구가 되어 왔기 때문에, 정지궤도 위성인 통신해양기상위성에서 해양관측임무 운용 시 나타날 수 있는 태양광 반사를 예측할 수 있는 알고리즘이 필요하게 되었다. 그러므로 본 논문에서는 정지궤도위성에서 지구 관측 시 해수면에 나타날 수 있는 태양광 반사점의 위치를 계산하는 알고리즘을 연구하였다. 또한 통신해양기상위성 해양 탐재체 운용의 성공적인 임무에 기여하기 위해 개발된 알고리즘을 적용하여 통신해양기상위성의 위치 및 연중 태양의 위치에 따른 해수면 태양광 반사점의 위치를 계산하고 분석하였다.

2. 정지궤도 위성의 직하점 계산

인공위성의 매 순간 지구 표면상의 위치인 위성직하점(Sub-Satellite Point)을 위도와 경도로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 태양광 반사점 계산 알고리즘을 위하여 NORAD에서 제공되는 TLE(Two-Line Elements) 정보를 이용한 MSGP4(Merged Simplified General Perturbations) 알고리즘을 사용하였다. MSGP4 알고리즘은 SGP4와 SDP4(Simplified Deep-space Perturbation) 알고리즘이 합쳐진 형태로 저궤도 위성에 국한되지 않고 정지궤도 위성의 궤도를 예측하는데 이용될 수 있다(Hoots & Roehrich 1980). 임의의 시간에서 위성의 위치를 구하여 지구중심관성좌표계에서의 위성의 위치와 속도를 계산하여 이를 지구중심고정좌표계로 변환하여 위성직하점을 구하는 방법(Pritchard et al. 1993)과 위성직하점을 고정하는 방법으로 태양광 반사점의 위치를 계산하였다.

TLE의 정보는 MSGP4를 통해 임의의 시간에 지구중심관성좌표계에서의 위성의 위치 $[X_{SAT} Y_{SAT} Z_{SAT}]_{ECF}$ 와 속도를 얻어 GMST(Greenwich Mean Sidereal Time)를 통해 지구중심고정좌표계로 변환하면,

$$\begin{bmatrix} X_{SAT} \\ Y_{SAT} \\ Z_{SAT} \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{SAT} \\ Y_{SAT} \\ Z_{SAT} \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 때 지표면상의 관측점의 위치가 위도(ϕ), 경도(λ), 고도(H)로 나타낼 경우 지구중심고정좌표계에서의 관측점의 위치 $[X_{STA} Y_{STA} Z_{STA}]_{ECF}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} X_{STA} \\ Y_{STA} \\ Z_{STA} \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} (d + H) \cos \phi \cos \lambda \\ (d + H) \cos \phi \sin \lambda \\ (d + H - f \times d) \sin \phi \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, f 는 비구면 좌표계에서의 지구편평도 6.694×10^{-3} , d 는 $R/\sqrt{1 - f \sin^2 \phi}$, R 은 지구반경 6378.137km을 의미한다. 관측점과 위성과의 거리(ρ)는 다음과 같이 계산된다.

$$\rho = \sqrt{(X_{SAT} - X_{STA})^2 + (Y_{SAT} - Y_{STA})^2 + (Z_{SAT} - Z_{STA})^2} \quad (3)$$

식(3)을 통해 계산한 관측점과 위성과의 거리를 ρ 와, TLE를 이용해 계산한 방위각과 고도각으로 수평좌표계에서의 정지궤도위성의 좌표는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{bmatrix} X_{SAT} \\ Y_{SAT} \\ Z_{SAT} \end{bmatrix}_{TP} = \rho \begin{bmatrix} \cos EL \cos(\pi - AZ) \\ \cos EL \sin(\pi - AZ) \\ \sin EL \end{bmatrix} \quad (4)$$

이를 다시 지구중심고정좌표계로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_{SAT} \\ Y_{SAT} \\ Z_{SAT} \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} \cos \lambda \sin \phi & -\sin \lambda & \cos \lambda \cos \phi \\ \sin \lambda \sin \phi & \cos \lambda & \sin \lambda \cos \phi \\ -\cos \phi & 0 & \sin \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{SAT} \\ Y_{SAT} \\ Z_{SAT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{STA} \\ Y_{STA} \\ Z_{STA} \end{bmatrix}_{ECF} \quad (5)$$

지구중심고정좌표계에서의 위성직하점의 위도(ϕ_s)와 경도(λ_s)는 다음과 같이 계산된다.

$$\phi_s = \sin^{-1} \frac{Z_{SAT}}{r_{SAT}} \quad (6)$$

$$\lambda_s = \tan^{-1} \frac{Y_{SAT}}{X_{SAT}} \quad (7)$$

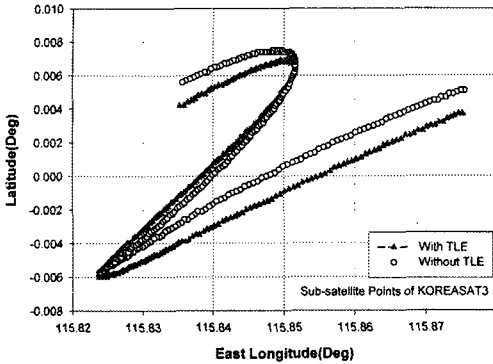


그림 1. 무궁화 3호(116.2°E) 위성의 위성직하점 변화 (Subsatellite point).

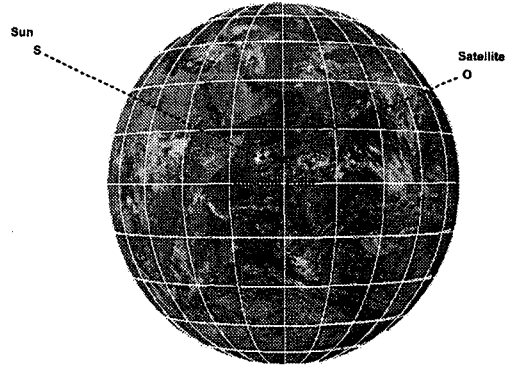


그림 2. 태양-지구-위성을 고려한 기하학적 형상.

여기서, 정지궤도 위성까지의 거리 r_{SAT} 는 $\sqrt{(X_{SAT}^2 + Y_{SAT}^2 + Z_{SAT}^2)}$ 을 나타낸다.

실제 정지궤도 위성은 비대칭 지구중력장, 달과 태양의 중력적 이끌림, 태양복사압과 같은 섭동력 때문에 시간에 따라 직하점이 변한다. TLE의 정밀도는 기산일로부터 시간이 멀어질수록 그 오차가 커지므로 가장 최신의 TLE 정보를 사용할 수 있다면 더 정밀한 계산이 가능하다. 그러나 위성 직하점을 고정하여 계산했을 때와 TLE 정보를 이용하여 위성직하점을 계산했을 경우 위성직하점의 오차는 약 0.002° 밖에 차이가 나지 않는다(그림 1). 이와 같이 위성직하점의 거리오차가 작기 때문에 태양광 반사점을 계산하는데 영향이 미치지 않기 때문에 본 논문에서는 정지궤도위성의 직하점은 고정된 값을 입력하여 태양광 반사점을 계산하였다.

3. 태양광 반사점 위치예측 알고리즘

정지궤도위성의 태양광 반사점 위치 예측 알고리즘은, 태양-지구-위성 사이의 기하학적인 형상(그림 2)과 반사의 법칙을 적용하여 계산한다. 태양광 반사점의 위치는 몇 가지 가정모델로부터 구할 수 있다. 첫 번째 가정은, 해수면은 평평하다는 가정이다. 일반적인 환경 하에 해수면은 평평할 수 없지만, 태양광반사가 발생하는 지역에서는 일반적인 환경보다는 해수면이 평평하여 작은 거울과 같은 반사의 성질을 가지기 때문이다. 두 번째 가정은, 대기에 의한 효과는 무시했다는 가정이다. 대기 중에는 태양으로부터 입사하는 빛을 반사하거나 흡수하는 영향을 가지는 요인들이 많이 존재한다. 이러한 요인들을 모두 고려하게 된다면 복잡한 계산이 요구되기 때문에 계산의 단순화를 위해 무시한다. 세 번째 가정은, 태양광반사가 발생하는 영역에서 반사의 법칙을 만족한다는 가정이다.

세 번째 가정인 반사의 법칙으로부터 태양광 반사점 G 에서 아래의 두 조건이 성립한다(그림 2).

(i) 세 단위 벡터 \overline{GO} , \overline{GN} , \overline{GS} 은 같은 평면에 존재한다. 여기서 \overline{GO} 는 정지위성과 태양광 반사점을 연결해준 벡터이고, \overline{GN} 은 반사평면의 법선 벡터, \overline{GS} 는 태양과 태양광 반사점을 연결해준 벡터이다. 여기서 태양의 방위각(azimuth angle)과 정지위성의 방위각의 차는 180°차라는 조건이 포함된다.

(ii) 태양의 고도각(elevation angle)과 위성의 고도각은 같다.

위의 두 조건 (i), (ii)를 방정식의 형태로 바꾸어 표현하면 다음과 같다.

$$E_{SAT} - E_{SUN} = 0 \quad (8)$$

$$|A_{SAT} - A_{SUN}| = \pi \quad (9)$$

여기서 E_{SAT}, E_{SUN} 은 위성과, 태양의 고도각을 의미하며, A_{SAT}, A_{SUN} 은 방위각을 의미한다. 식(8, 9)의 $E_{SAT}, E_{SUN}, A_{SAT}, A_{SUN}$ 는 구면 삼각법 공식(Smart 1962)으로부터 다음과 같이 유도된다.

$$E_{SAT} = \sin^{-1} \left[\frac{(R + H) \cos(\phi_g - \phi_s) \cos(\lambda_g - \lambda_s) - R}{[H^2 + 2R(R + H)\{1 - \cos(\phi_g - \phi_s) \cos(\lambda_g - \lambda_s)\}]^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (10)$$

$$E_{SUN} = \sin^{-1} [\sin(\phi_g) \sin \delta + \cos(\phi_g) \cos \delta \cosh] \quad (11)$$

$$A_{SAT} = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_g - \lambda_s)}{\cos(\phi_g - \phi_s) \sin(\lambda_g - \lambda_s)} \right] + \pi \quad (12)$$

$$A_{SUN} = \tan^{-1} \left[\frac{\cos \delta \sinh}{\sin(\phi_g) \cos \delta \cosh - \cos(\phi_g) \sin \delta} \right] \quad (13)$$

여기서, R은 지구 반경(6378km), H는 정지궤도위성의 고도(35,768km), ϕ_g, λ_g 는 태양광 반사점의 위도와 경도, ϕ_s, λ_s 는 위성직하점(sub-satellite point) 위도와 경도, δ 는 태양의 적위, h 는 시간각(hour angle)을 의미한다. 얻어진 식(10, 11, 12, 13)을 방정식(8, 9)에 대입한 후 정리하여 계산한 ϕ_g, λ_g 가 태양광 반사점의 위치 $G(\phi_g, \lambda_g)$ 이다.

$$\begin{aligned} & \sin^{-1} \left[\frac{(R + H) \cos(\phi_g - \phi_s) \cos(\lambda_g - \lambda_s) - R}{[H^2 + 2R(R + H)\{1 - \cos(\phi_g - \phi_s) \cos(\lambda_g - \lambda_s)\}]^{\frac{1}{2}}} \right] \\ & - \sin^{-1} [\sin(\phi_g) \sin \delta + \cos(\phi_g) \cos \delta \cosh] = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\tan^{-1} \left[\frac{\sin(\lambda_g - \lambda_s)}{\cos(\phi_g - \phi_s) \sin(\lambda_g - \lambda_s)} \right] - \tan^{-1} \left[\frac{\cos \delta \sinh}{\sin(\phi_g) \cos \delta \cosh - \cos(\phi_g) \sin \delta} \right] = 0 \quad (15)$$

비선형 방정식인 식(14, 15)의 해 ϕ_g, λ_g 은 수치해석방법 중에 하나인 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson) 방법(Press et al. 1992)을 이용하여 계산하였다. 뉴턴-랩슨 방법은 해를 찾는 속도가 상당히 빠르고 중근도 구할 수 있다. 그러나 해를 찾지 못하는 경우와 발산 할 수 있는 단점도 가지고 있다. 뉴턴-랩슨 방법을 이용하여 해를 얻기 위해서는 초기 근사해가 필요하다. 태양광 반사점의 초기 위치인 첫 번째 근사해 ϕ_a, λ_a 는 다음과 같이 가정한다.

$$\phi_a = \frac{(\phi_s + \delta)}{2} \quad (16)$$

$$\lambda_a = \lambda_s + \frac{1}{2}(\alpha - GHA - \lambda_s) \quad (17)$$

여기서 a 는 태양의 적경을 의미하고, GHA는 그리니치 시간각을 의미한다. 식(8, 9)를 (ϕ_g, λ_g) 의 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$f(\phi_g, \lambda_g) = E_{SAT} - E_{SUN} = 0 \quad (18)$$

$$g(\phi_g, \lambda_g) = |A_{SAT} - A_{SUN}| - \pi = 0 \quad (19)$$

만약, $(\phi_a + h, \lambda_a + k)$ 가 식(18, 19)의 실근이라면,

$$f(\phi_a + h, \lambda_a + k) = 0 \quad (20)$$

$$g(\phi_a + h, \lambda_a + k) = 0 \quad (21)$$

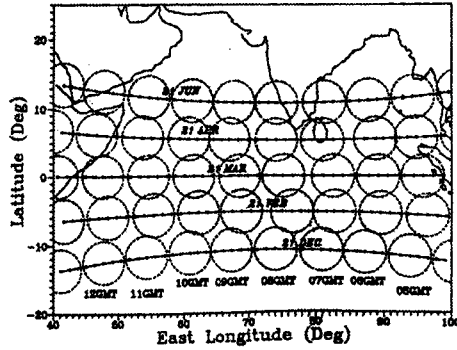


그림 3. 인도의 정지궤도위성 INSAT-1D(경도 83.5°E)의 낮 동안 계절에 따른 태양광 반사점 위치 그래프 (Prakash et al. 1994).

의 형태로 표현 될 수 있다. 위의 비선형방정식을 Taylor's 급수를 이용하여 급수 전개시켜 고차 항을 제거하여 정리하면,

$$f_0 + h \left(\frac{df}{d\phi_a} \right) + k \left(\frac{df}{d\lambda_a} \right) = 0 \tag{22}$$

$$g_0 + h \left(\frac{dg}{d\phi_a} \right) + k \left(\frac{dg}{d\lambda_a} \right) = 0 \tag{23}$$

여기서, $f_0 = f(\phi_a, \lambda_a)$ 이고 $\phi = \phi_a$ 일 때 $\left(\frac{df}{d\phi} \right) = \left(\frac{df}{d\phi_a} \right)$ 가 된다. 식(22, 23) 에서 h, k 를 구하면 다음과 같다.

$$h = \frac{- \left[k \left(\frac{df}{d\phi_a} \right) + f_0 \right]}{\left(\frac{df}{d\phi_a} \right)} \tag{24}$$

$$k = \frac{\left[f_0 \left(\frac{dg}{d\phi_a} \right) - g_0 \left(\frac{df}{d\phi_a} \right) \right]}{\left[\left(\frac{dg}{d\lambda_a} \right) \left(\frac{df}{d\phi_a} \right) - \left(\frac{df}{d\lambda_a} \right) \left(\frac{dg}{d\phi_a} \right) \right]} \tag{25}$$

따라서, 새로운 근사해를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\phi_a = \phi_a + k \tag{26}$$

$$\lambda_a = \lambda_a + h \tag{27}$$

식(26, 27)와 같이 새로운 근사해를 구하는 과정을 반복하면서, 우리가 요구한 정밀도인 에러 오차 10^{-5} 내에서 반복되며 태양광 반사점의 위치 (ϕ_g, λ_g) 를 계산한다.

4. 태양광 반사점 위치계산 결과

본 논문에서 연구된 알고리즘의 신뢰도 검증을 위해 동경 83.5°E에 위치하고 있는 인도의 정지 궤도 관측위성인 INSAT-1D 에서 관측한 태양광 반사점의 하루 및 연중 분포 그래프(Prakash et al. 1994)와 본 논문에서 연구한 알고리즘을 통해 계산한 결과 그래프를 비교해 보았다(그림 3, 4). 표

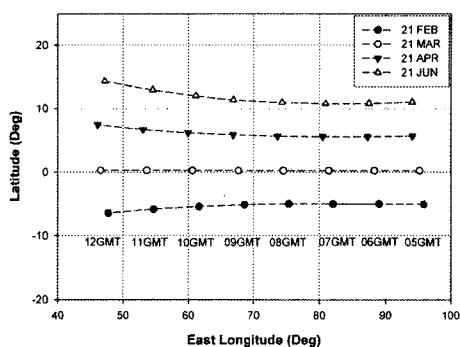


그림 4. 연구된 알고리즘을 이용하여 그려본 INSAT-1D(경도 83.5°E) 위성의 낮 동안 계절에 따른 태양광 반사점 위치 그래프.

표 1. 연구된 알고리즘을 이용하여 계산한 INSAT-1D 위성의 태양광 반사점 위치.

TIME (UT)	1992.2.21		1992.3.21		1992.4.21		1992.6.21	
	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.
05:00	-5.08	95.85	0.21	95.20	5.65	94.10	11.02	94.07
06:00	-5.03	82.00	0.21	88.28	5.54	87.27	10.80	87.47
07:00	-5.00	89.00	0.21	81.38	5.54	80.44	10.78	80.88
08:00	-4.99	75.31	0.21	74.47	5.64	73.61	10.96	74.28
09:00	-5.15	68.45	0.22	67.54	5.85	66.77	11.35	66.81
10:00	-5.43	61.57	0.23	60.58	6.17	59.89	11.99	61.09
11:00	-5.84	54.66	0.25	53.59	6.71	53.01	12.94	54.51
12:00	-6.45	47.72	0.27	46.54	7.46	46.09	14.31	47.17

표 2. 통신해양기상위성의 태양광 반사점 위치예측 결과(동경 116.2°E).

TIME (LT)	2008.2.21		2008.3.21		2008.4.21		2008.6.21	
	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.
10:00	-5.60	139.92	0.16	139.41	6.06	138.15	11.88	137.70
11:00	-5.27	133.05	0.16	132.47	5.75	131.31	11.30	131.11
12:00	-5.07	126.20	0.16	125.55	5.57	124.50	10.93	124.53
13:00	-5.23	120.00	0.17	118.66	5.50	117.67	10.78	117.95
14:00	-5.10	113.00	0.17	111.77	5.53	110.86	10.82	111.37
15:00	-5.05	105.72	0.04	104.89	5.67	104.05	11.06	104.79
16:00	-5.24	98.88	0.20	97.96	5.93	97.21	11.51	98.22
17:00	-5.55	92.01	0.20	91.01	6.32	90.36	12.23	92.00

1의 결과에서 보듯 태양광 반사점은 위도 $\pm 15^\circ$ (N-S)와 경도 40 - 100°(E-W) 사이에 발생하였고, 동일한 태양광 반사점의 위치분포와 방향성을 보여주어 알고리즘을 검증할 수 있다.

2008년 발사되어 동경 116.2°E 혹은 128.2°E에 위치하게 된다는 가정 하에, 통신해양기상위성(COMS)의 태양광 반사점 위치를 계산하였다. 표 2와 표 3은 통신해양기상위성에서 해양원격 탐사 임무운용 시 나타날 수 있는 태양광 반사점의 위치를 계산한 결과이다. 통신해양기상위성의 해

표 3. 통신해양기상위성의 태양광 반사점 위치예측 결과(동경 128.2°E).

TIME (LT)	2008.2.21		2008.3.21		2008.4.21		2008.6.21	
	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.
10:00	-5.35	145.80	0.15	145.30	5.81	144.14	11.44	143.87
11:00	-5.12	139.03	0.16	138.30	5.60	137.31	11.01	137.29
12:00	-5.06	132.08	0.16	131.49	5.51	130.49	10.80	130.71
13:00	-5.04	125.34	0.17	124.61	5.51	123.68	10.79	124.13
14:00	-5.03	118.54	0.18	117.71	5.62	116.87	10.97	117.55
15:00	-5.19	111.68	0.19	110.81	5.84	110.04	11.37	110.97
16:00	-5.43	104.84	0.21	103.87	6.20	103.19	11.98	104.38
17:00	-5.87	97.96	0.24	96.89	6.72	96.31	12.97	97.84

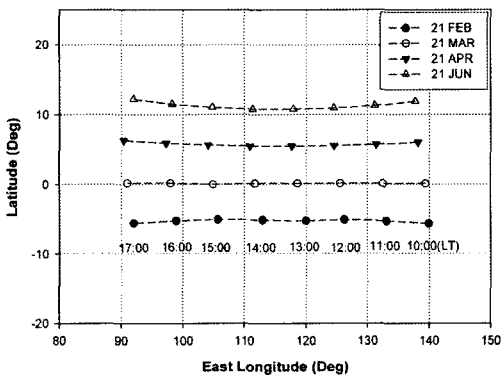


그림 5. 통신해양기상위성에서 관측 시 예상되는 태양광 반사점 위치 (동경 116.2°E).

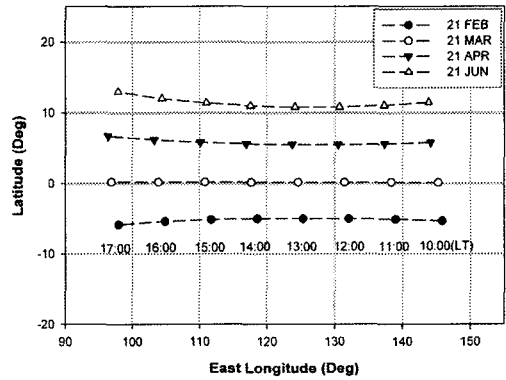


그림 6. 통신해양기상위성에서 관측 시 예상되는 태양광 반사점 위치(동경 128.2°E).

양 탑재체의 경우 매 1시간마다 위성 촬영을 할 수 있는 시스템 설계를 요구하고 있다. 하루 동안 주간 10:00부터 17:00(LT)까지 8회, 야간 22:00부터 02:00(LT)에 2회를 촬영할 예정이기 때문에, 시간은 주간 10:00부터 17:00(LT)까지, 관측 날짜는 2008년 2월부터 6월까지 가정하여 계산하였다. 여기서 LT는 Local Time을 표기한다.

통신해양기상위성의 임무 운용 시 태양광반사가 나타날 수 있는 위치를 계산하여 그래프를 그려본 결과, 태양광 반사점의 위치 분포는 위도 $\pm 10^\circ$ (N-S)와 경도 $80 - 150^\circ$ (E-W) 사이에서 발생하는 것을 알 수 있다(그림 5, 6). 태양광 반사점 위치의 중심을 실선으로 연결했을 경우 남반구 쪽의 태양광 반사점 위치 분포는 북극 쪽을 향해 굽어 있고, 반대로 북반구 쪽의 태양광 반사점의 위치 분포는 남극 쪽을 향해 굽어 있는 패턴을 볼 수 있다. 이 패턴으로부터 계절에 따른 태양광 반사점의 위치 분포 경향을 확인할 수 있다. 그림 5는 통신해양기상위성이 동경 116.2°E에 위치하게 될 경우의 태양광 반사점의 분포 그래프이다. 날짜는 2008년 2월부터 6월까지, 시간은 10:00부터 17:00(LT)까지의 위치 분포를 보여준다. 그림 6은 동경 128.2°E에 위치하게 될 경우의 태양광 반사점의 분포 그래프이다. 동경 116.2°E에 위치하게 될 경우와 같은 조건으로 계산 하였다. 그림 7은 통신해양기상위성이 경도 116.2°E에 위치하게 될 경우, 2008년 1월부터 12월까지 낮 시간동안의 영상 촬영 시 나타

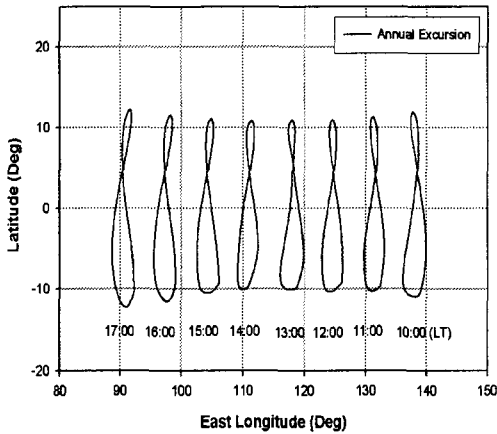


그림 7. 통신해양기상위성에서 관측 시 예상되는 태양광 반사점의 연중분포 그래프. 2008년 1월부터 12월까지, 시간은 10:00부터 17:00(LT)(동경 116.2°E).

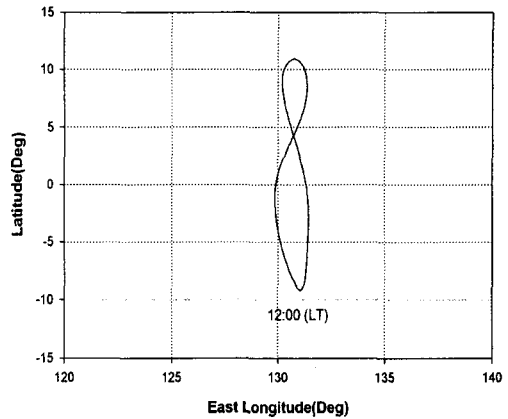


그림 8. 통신해양기상위성에서 관측 시 예상되는 태양광 반사점 연중분포 그래프. 2008년 1월부터 12월까지, 시간은 12:00(LT)(동경 128.2°E).

날 수 있는 태양광 반사점의 연중 분포 변화 그래프이다. 촬영 시간은 통신해양기상위성의 촬영 요구 시간인 10:00부터 17:00(LT)까지라고 가정하였다. 그림 8은 통신해양기상위성이 경도 128.2°E에 위치하게 될 경우, 2008년 1월부터 12월까지 12:00(LT)에 나타나는 태양광 반사점의 연중 분포 변화도이다. 태양광 반사점의 자세한 연중 분포 변화를 알아보기 위해 태양의 남중 시간인 12:00(LT)로 고정하여 그림을 그렸으며 앞의 그림 7과 비슷한 경향의 분포를 보여주는 것을 확인할 수 있다. 그림 7, 8 에서 8자 모양으로 흰 형태는 태양주위를 타원 궤도로 돌고 있는 지구궤도의 자연스런 특징을 보여주며, 연중 낮 시간 동안의 태양광 반사점 분포의 중심 위치가 북위 5°N 근방에서 위치하는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 2008년 발사 예정인 통신해양기상위성 해양 탑재체의 임무인 해양 관측 시 발생할 수 있는 태양광 반사점의 위치를 계산할 수 있는 알고리즘에 대해 연구하였다. 검증된 알고리즘을 이용하여 2008년 발사되어 경도 116.2°E 혹은 128.2°E에 위치하게 될 통신해양기상위성에서 위성 영상 촬영 시 관측 될 수 있는 낮 동안과 계절에 따른 태양광 반사점의 위치를 계산해 보았다. 통신해양기상위성의 2008년 발사 운용 시 태양광 반사점의 위치는 위도 ±10°(N-S)와 경도 80 - 150°(E-W) 사이에서 발생하는 것을 알 수 있으며, 태양광 반사점의 중심 위치를 점선으로 연결했을 경우 남반구의 경로는 북극을 향하였고, 반대로 북반구의 경로는 남극을 향하는 분포 패턴을 알 수 있었다.

이와 같이 연구된 알고리즘에 의한 태양광 반사점의 위치 분포 패턴을 고려하여 통신해양기상위성의 운용에 적용할 수 있다. 그리고 본 논문에서 연구한 태양광 반사점 위치 예측 알고리즘은 다양한 영상 센서를 가진 인공위성에서 태양광 반사점의 위치 예측과 그와 관련된 연구를 수행하는데 이

용될 수 있을 것이다.

감사의 글: 본 연구는 통신해양기상위성 해양자료처리시스템 개발사업(PM34700)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Benny, A. H. & Dawson, G. J. 1983, *The Cartographic Journal*, 20, 5
- Cracknell, A. P. 1990, Microwave remote sensing for oceanographic and marine weather-forecast models, ed. R. A. Vaughan (Netherlands: Kluwer Academic Pub.), p.125
- Fraser, R. S. & Curran, R. J. 1976, Effects of the atmosphere on remote sensing in *Remote sensing of Environment* (California: Addison-Wesley Pub.), pp.34-84
- Hoots, F. R. & Roehrich, R. L. 1980, Spacetrack Report No.3,
<http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf>
- Khattak, S. 1989, Ph.D. dissertation, The University of Dundee, UK
- Kosik, J. C. & Paci, G. 1981, *International Journal of Remote Sensing*, 2, 265
- Prakash, W. K., Varma, A. K., & Bhandari, S. M. 1994, *Computer & Geoscience*, 20, 1467
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. 1992, *Numerical Recipes in FORTRAN 2nd.* (UK: Cambridge University Press), pp.355-362
- Pritchard, W. L., Suyderhoud, H. G., & Nelson, R. A 1993, *Satellite Communication Systems Engineering 2nd Edition* (NJ: Prentice Hall PTR), pp.97-147
- Smart, W. M. 1962, *Text-Book on Spherical Astronomy* (UK: Cambridge University Press), pp.1-56