

식기간 동안의 천리안 기상영상에 대한 미광의 영향 분석

진경욱*, 박봉규**

Stray Light Impacts on the COMS MI Images during the Eclipse Period

Kyoung-Wook Jin*, Bong-Kyu Park**

Abstract

In this paper, impacts on the COMS MI images during the COMS eclipse period were analyzed and the method to eliminate the contaminated area was investigated. Main effect on the meteorological images during the eclipse is a stripping effect due to a strong stray light. The quantitative analyses were conducted during the COMS In-Orbit-Test period and the impacts of the stray light on the four infrared channels of the COMS MI according to the distance with respect to the Sun were examined. Based on the typical case of the stray light influence on the infrared channel of the MI, the intensity of contamination due to the stray light was investigated for each channel using the computed COMS eclipse information. The effectiveness of removal of a contaminated area by replacing the SWIR with the combined WINDOW channels was promising.

초 록

이 논문에서는 식기간 동안 미광(stray light)에 의해 천리안 기상 영상이 받게 되는 영향에 대해 분석하였으며 미광의 영향을 제거하기 위한 방법 또한 모색하였다. 기상영상의 경우 식기간 동안 미광의 영향을 받아 영상의 왜곡 (줄무늬 등)문제가 발생한다. 미광의 영향에 대한 정량적 분석이 천리안위성의 궤도상 시험기간 동안에 이루어졌으며, 천리안 위성 기상탑재체의 총 4개 적외 채널에 대해 태양과의 거리에 따른 미광의 영향이 분석되었다. 본 연구에서는 계산된 천리안위성의 식기간 자료를 바탕으로 미광의 영향이 매우 강한 사례를 선정하여 적외채널 영상의 미광에 의한 오염 정도를 조사하였다. 또한 영상에 나타난 미광의 영향을 두 개의 열적외 채널을 이용하여 단파적외 채널을 대체하는 방법이 유효함을 확인 하였다.

키워드 : COMS (천리안 위성), eclipse (식), MI(기상탑재체), stray Light(미광)

접수일(2012년 9월 18일), 수정일(1차 : 2012년 10월 18일, 2차 : 2012년 10월 26일, 게재 확정일 : 2012년 11월 1일)

* 정지궤도위성체계팀/kwjn@kari.re.kr

** 정지궤도위성체계팀/pbk@kari.re.kr

1. 서론

식(Eclipse) 현상을 간단히 정의하면 천체들의 운행 궤도면이 나란하게 일치 되면서 한 천체에 의해 다른 천체가 가려지는 현상을 말한다. 태양계를 예로 들면 달에 의해 태양이 가려지는 일식(혹은 태양식), 지구에 의해 태양이 가려지는 일식 그리고 달이 지구에 의해 가려지는 월식 등이 있다.

인공위성의 운영과 관련된 태양의 식은 두 가지(지구 혹은 달에 의해서 태양이 가려지는 경우)로 본 논문에서 다루는 위성의 식은 인공위성이 지구 그림자에 의해 가려지는 현상에 초점을 두고 있다. (이후 논문에서 정의 되는 식은 정지궤도 위성이 지구에 의한 일식으로 발생한 그림자에 들어가는 경우를 말함). 식 현상과 관련된 보다 일반적인 사항은 [1]을 참고하기 바란다.

지구가 태양을 가리는 일식이 일어날 때의 지구, 태양 및 위성의 배치가 그림 1의 모식도에 나타나 있다. 위성이 부분적으로 가려지는 부분식과 완전히 가려지는 개기일식이 일어나는 영역을 볼 수 있다. 정지궤도 위성의 경우 이러한 식은 춘·추분을 전후해서 일어난다. 그 이유는 위성의 운행 궤도면(지구의 태양 공전 궤도면과 일치)과 태양의 궤도면(Ecliptic Plane)이 일치하는 시기가 춘추분 시기에 발생하기 때문이다(그림 2).

일반적으로 정지궤도 위성은 태양 전지판이 24시간 태양을 지향하면서 전력을 공급받는다. 그러나 춘추분 시기에 식이 일어나는 동안은 태양을 통한 전력을 생성할 수 없게 되고 대신 배터리를 통해 필요한 전력이 공급된다.

식은 태양전지판을 통한 전력생성의 제약뿐 아니라 촬영하는 정지궤도 위성의 관측영상에도 영향을 미치게 된다. 천리안 위성의 기상탐재체는 한 개의 가시채널 뿐만 아니라 네 개의 적외채널이 있어 24시간 지구영상의 촬영이 가능하다 [2]. 춘분 또는 추분 시기에 태양, 지구 및 천리안위성의 궤도면은 일직선상에 놓이게 된다. 식이 발생하는 춘추분 시기의 자정을 전후한 시간

대에 과도한 태양광선(미광)이 영상기의 개구면을 통해 적외선 검출기에 영향을 주게 되고 영상을 오염시키는 현상이 발생한다. 특히 태양이 지구 반대쪽으로 들어가게 되는 부분식의 시기에 이 영향이 심하게 발생한다(그림 3). 네 개의 적외채널 중 파장이 가장 짧은 단파(SWIR)채널 및 수증기(WV)채널의 민감도가 심하다. 이 논문에서는 식 기간 동안 천리안 위성의 적외채널 영상에 대한 미광의 영향을 정량적으로 분석해 보고 위성 운영 및 영상활용의 측면에서 식에 의한 영상 오염의 영향을 최소화하는 방법을 모색해 보았다.

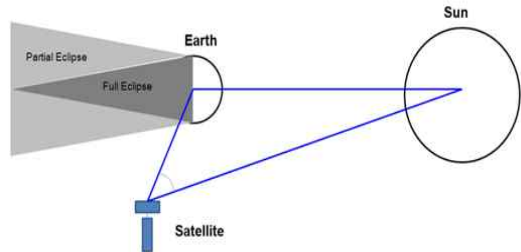


그림 1. 식이 일어날 때의 태양, 지구 및 위성의 배치도

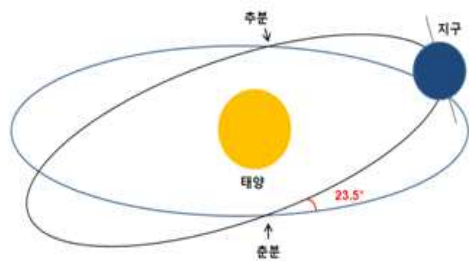


그림 2. 태양과 지구의 운행 궤도면과 춘·추분

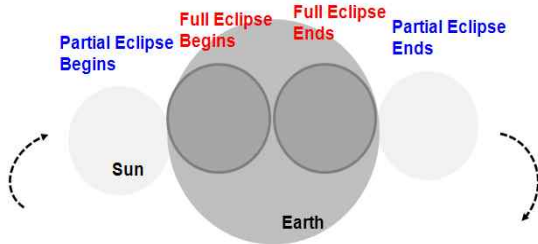


그림 3. 부분식 및 개기일식의 전개과정 모식도

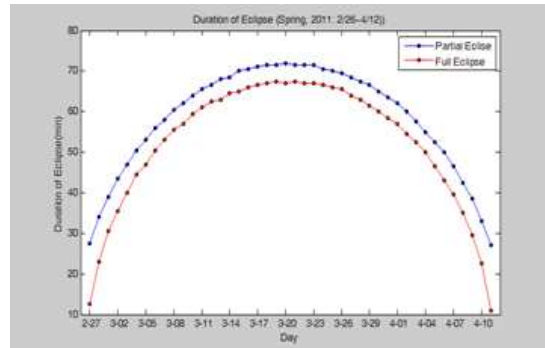


그림 4. 식이 일어나는 총 시간: 푸른색(부분식), 붉은색(개기일식)

2. 본 론

2.1 천리안 위성의 식

정지궤도 위성의 운영에 있어서 식이 일어나는 정확한 기간과 시간은 중요한 사항이므로 천리안위성의 경우 위성의 임무 기간 (mission life) 동안 (2010~2017)의 식이 발생하는 날짜와 시간에 대한 계산이 이루어졌다. 세 개의 천체(지구, 달, 태양)의 운동을 고려하여 계산한 천리안 위성의 식에 대한 자세한 사항은 [3-4] 문서에 나타나 있다. 2011년 춘분시기의 식에 대한 자료를 바탕으로 식의 시작 시점(2011.2.27)부터 종료되는 시점(2011.4.10) 동안 식의 총 발생 시간을 그래프로 나타내 보았다. (그림 4). 부분식의 경우 최소 27여분에서 최대 70여분 (춘분일인 3월 21일) 동안 일어나는 것을 볼 수 있다. 위성이 완전히 지구 그림자에 들어 가는 개기 일식의 경우 지속시간은 춘분 시작 시기에 약10여분, 춘분 당일에는 최대 65분 정도의 지속 시간을 가지고 발생했다.

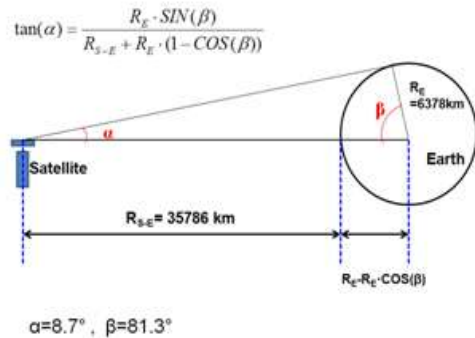


그림 5. 지구전체를 관측하기 위한 위성의 각거리 계산

춘분 혹은 추분 날 식이 지속되는 최대 시간 (약 70여분)은 그림 5를 바탕으로 간단히 구해볼 수도 있다. 천리안 위성이 전구를 관측하기 위한 각은 $\alpha \times 2$ 에 해당하며 α 는 다음 관련 식으로 구해진다.

$$\tan(\alpha) = \frac{R_E \cdot \sin(\beta)}{R_{S-E} + R_E \cdot (1 - \cos(\beta))}$$

따라서 전구 (Full Disk)관측 시의 각거리는 17.4° ($8.7^\circ \times 2$)이 된다. 또한 춘분과 추분시의 위성 식의 진행은 반대 방향으로 전개된다(그림 6). 춘분의 경우 태양의 적위가 -에서 +로 전환하는 (동지의 태양 적위값: -23.5° , 하지의 태양 적

위값: +23.5)시기이므로 지구에 대해 태양이 지구 뒤편으로 사라지게 되는 진행 순서가 남반구에서 시작해서 북반구에서 끝이 난다. 반대로 추분 시기의 경우는 태양의 적위값이 + 에서 - 로 전환되는 시기이므로 북반구에서 태양이 지구 뒷면으로 사라지는 시퀀스가 먼저 시작되어 남반구에서 끝이 난다. 식의 총 진행시간이 긴 시기는 그림 6에서 보듯 춘분과 추분 일로 이 시기가 지구의 적도면을 통해 가장 긴 행로를 통과하는 때이다. 태양의 지구에 대한 겉보기 이동 속도는 시간당 15° ($360^\circ/24\text{hr}$) 이므로 전구 관측에 소요되는 각거리를 태양의 이동 속도로 나누면 ($17.4/15$) 약 1.16시간(~70분)이라는 식의 총 진행 시간을 계산할 수 있다.

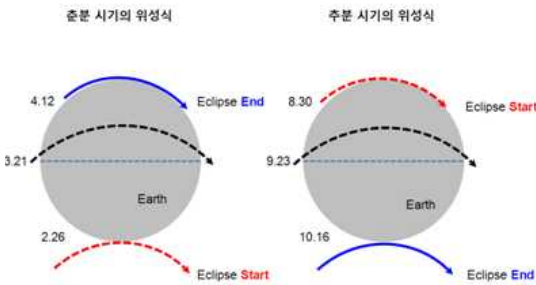


그림 6. 춘분과 추분 때의 식의 전개 방향

2.2 미광의 영향에 대한 궤도상 시험결과

식이 진행되는 시간은 지역 시간(local Time)으로 자정 부근으로, 천리안 위성의 기상탑재체로 지구영상을 관측할 때 태양이 지구 뒷면으로 사라지면서 야기되는 미광의 영향을 받게 된다. 이러한 미광의 영향을 최소화하도록 기상탑재체는 설계가 되지만 완전히 영향을 배제하기는 어렵다. 미광에 의한 기상영상의 피해 정도를 정량적으로 파악하기 위한 실험이 천리안 위성 궤도상 시험동안 이루어졌다 [5].

그림 7은 위성과 태양이 이루는 각거리 개념을 보여주는 그림이다.

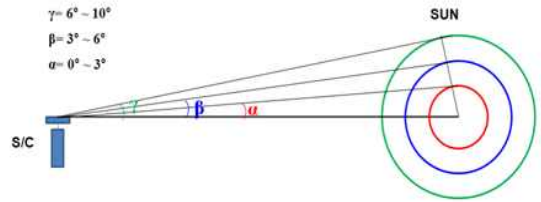


그림 7. 위성과 태양이 이루는 각거리 모식도

표 1은 미광에 의한 영향으로 증가하게 되는 상당 온도값 (Equivalent temperature)값을 나타낸다.

표 1. 천리안 적외채널의 미광에 의한 상당온도(equivalent temperature)의 변화량

Band	Detector	Distance to Sun	Max	Average	RMS
SWIR	Det A	$3^\circ < d < 6^\circ$	120.59	51.00	97.74
	Det A	$6^\circ < d < 10^\circ$	68.14	38.13	38.56
	Det A	$d > 10^\circ$	35.24	18.21	20.62
SWIR	Det B	$3^\circ < d < 6^\circ$	120.62	75.26	80.09
	Det B	$6^\circ < d < 10^\circ$	68.88	38.78	39.23
	Det B	$d > 10^\circ$	43.29	18.24	20.74
WV	Det A	$3^\circ < d < 6^\circ$	13.01	3.36	4.67
	Det A	$6^\circ < d < 10^\circ$	3.76	0.27	0.82
	Det A	$d > 10^\circ$	2.97	0.15	0.66
WV	Det B	$3^\circ < d < 6^\circ$	13.25	3.65	5.18
	Det B	$6^\circ < d < 10^\circ$	3.59	0.46	0.74
	Det B	$d > 10^\circ$	3.14	0.12	0.62
WIN1	Det A	$3^\circ < d < 6^\circ$	6.24	0.95	1.94
	Det A	$6^\circ < d < 10^\circ$	2.47	-0.08	0.39
	Det A	$d > 10^\circ$	0.66	0.05	0.17
WIN1	Det B	$3^\circ < d < 6^\circ$	7.46	1.04	2.26
	Det B	$6^\circ < d < 10^\circ$	2.62	-0.09	0.46
	Det B	$d > 10^\circ$	0.66	0.08	0.16
WIN2	Det A	$3^\circ < d < 6^\circ$	7.91	0.65	1.58
	Det A	$6^\circ < d < 10^\circ$	2.10	-0.03	0.36
	Det A	$d > 10^\circ$	1.15	0.11	0.25
WIN2	Det B	$3^\circ < d < 6^\circ$	3.44	-2.97	10.12
	Det B	$6^\circ < d < 10^\circ$	2.04	0.04	0.30
	Det B	$d > 10^\circ$	1.13	0.10	0.26

그림 8은 표 1을 바탕으로 천리안 위성의 네 개의 적외 채널에 대한 미광에 의한 상당 온도의 변화 정도를 그림으로 나타낸 것이다. x축과 y축은 각각 관측한 영상 픽셀의 열과 행(row & column) 번호를 나타내며 상당온도의 변화를 나타내는 Color Bar의 스케일은 SWIR-채널의 경우 0~120K, WV채널은 0~15K 그리고 두 개의 WINDOW 채널은 0~10K의 범위를 나타낸다.

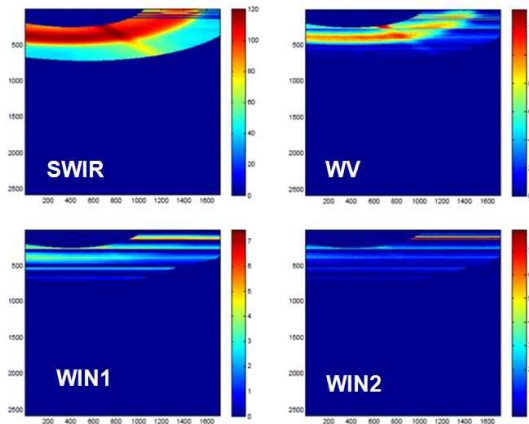


그림 8. 천리안 적외채널에 대한 미광의 영향 분석 (2010.8.20)

중심 파장이 3.75 μ m에 해당하는 SWIR채널의 경우 가시광선 밴드의 특성인 태양일사에 의한 반사에너지 감지 및 적외선 영역에 해당하는 지구 복사의 열적외선 영역 모두를 감지하기 때문에 다른 열적외 채널들에 비해 미광에 대한 민감도가 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 220K 및 330K에서 각각 측정된 미광 영향에 의한 상당온도의 증가는 SWIR 채널의 경우 기준값인 탑재체 노이즈(NEdT) 요구조건 (5.7K @220K, 0.1K@330K)을 상회 하는 값들을 나타냈다.

다른 채널들의 경우 위성고 태양이 이루는 각거리가 6° 이상인 경우 상당온도값은 요구수준 이하로 나타나 영향이 그리 크지 않음을 알 수 있다. 하지만 태양광선의 영향이 강하게 전달되는 3~6° 범위내에서는 중심채널이 각각 6.75 μ m, 10.8 μ m 및 12.0 μ m 인 WV, WIN1, WIN2 모든

채널에서 요구조건을 만족시키지 못하는 값을 보였다. 하지만 지구관측 영역은 6° 이상의 각 거리에 해당되므로 SWIR을 제외하면 실질적으로 크게 영향을 받는 채널은 없는 것으로 판단된다.

2.3 미광에 의한 기상영상의 오염

그림 9를 보면 WIN1채널로 관측한 북반구 확장관측모드(Extended Northern Hemisphere)에서 식의 진행에 따라 미광에 의해 영상의 오염 지역이 발생하고 이 영역이 서쪽에서 발생해서 동쪽으로 이동하며 소멸해 가는 과정을 알 수 있다. 그림 9의 관측 일(4월 11일)은 춘분기의 식 진행을 보여주는 그림 6에서 볼 수 있듯이 식이 거의 끝나는 시기이므로 북반구 지역이 크게 영향을 받는 모습을 보여 준다.

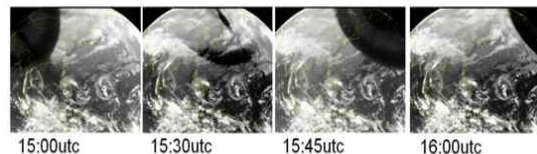


그림 9. 식이 일어나는 동안 오염된 천리안위성 기상탑재체 영상(2011.4.11)

2.4 미광에 의한 영향 제거 방법

이러한 식 기간 동안 미광에 의한 기상영상 오염이 심할 경우 기상탑재체 운영을 효과적으로 조절하여 영상의 오염이 심한 시간 대에 관측을 피하거나 혹은 오염이 많은 지역의 관측 대신 유효한 영상의 획득이 가능한 지역을 관측하는 등의 방법을 취할 수 있다. 하지만 최근의 연구 [6]에 의하면 적극적인 방법으로 오염의 영향을 받는 채널의 영상에 대해 그 영향을 상대적으로 적게 받는 두 개의 채널을 이용하여 대체하는 방법이 고안되었다. 아래 식은 파장 3.9 μ m 단파 적외 채널을 10.7 μ m과 13.3 μ m 두 채널의 합성을 통해 새롭게 3.9 μ m채널 가상 영상을 생성하는 방법을 나타낸다[6].

$$T_{3.9} = A(\alpha, \beta) + B(\alpha, \beta)T_{10.7} + C(\alpha, \beta)T_{13.3} \quad (1)$$

여기서, α =위도, β =경도, $T_{3.9}=3.9\mu\text{m}$, $T_{10.7}=10.7\mu\text{m}$, $T_{13.3}=13.3\mu\text{m}$ 이다.

그림 10은 오염의 정도가 심한 SWIR채널 영상, 그림 11은 상대적으로 영향이 적은 WIN1채널 영상을 보여준다. 그림12는 식 (1)의 방법을 바탕으로 두 WINDOW채널을 합성한 영상으로 단파 적외선 영역을 대체한 영상을 보여준다.

열적외선 영역에 해당하는 WINDOW 채널의 경우 미광의 효과에 대한 영향이 극히 미미하여 영상을 이용하는 데 제한이 거의 없지만(그림 11) 단파적외선 채널의 경우 북서쪽 지역은 미광에 대한 오염으로 밝기온도 값이 300K 이상으로 표현되어 의미 있는 신호(signal)가 표출되지 않는다 (그림 10). 따라서 이 지역의 데이터를 이용하여 Level 2 데이터로 변환할 경우 그 값들은 의미 없는 값들을 가지게 된다. 그에 비해 두 개의 열적외선 채널을 이용하여 합성한 영상(그림 12)는 단파채널로 관측한 지역에 비해 밝기 온도 값이 다소 높게 나타나고는 있지만 의미 있는 신호(구름 영역 등)가 나타난다. 즉 식이 진행되는 시점에 오염이 심한 영역의 활용도를 높일 수 있는 충분한 가능성을 보여 준다.

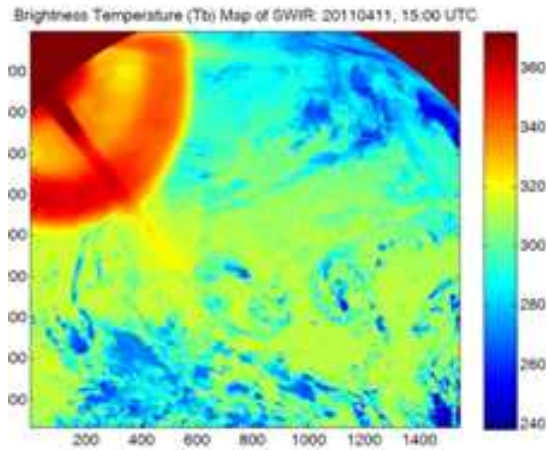


그림 10. 식이 일어나는 동안 촬영된 SWIR채널 영상(2011.4.10)

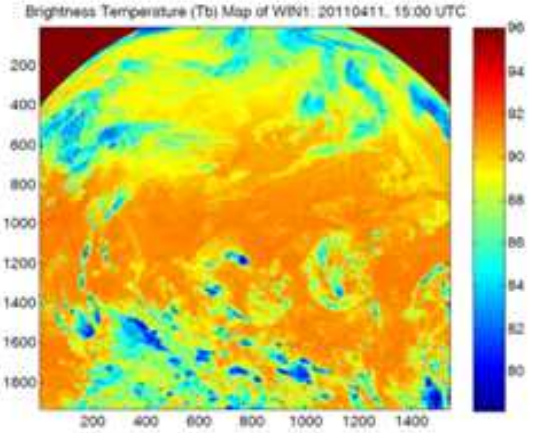


그림 11. 식이 일어나는 동안 촬영된 WIN1 채널 영상(2011.4.10)

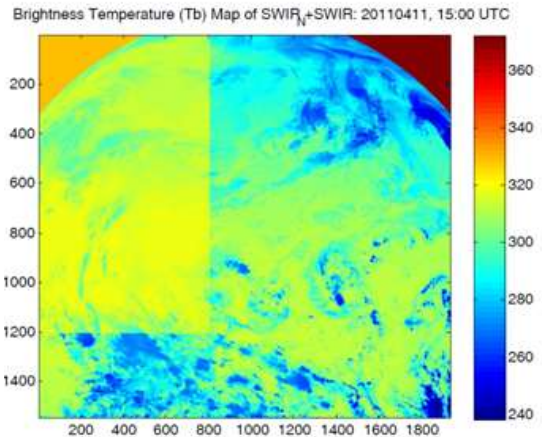


그림 12. WIN1/WIN2 채널을 이용하여 합성한 영상으로 오염된 지역만을 대체한 SWIR영상

3. 결 론

정지궤도 위성인 천리안 위성은 춘·추분을 전후한 21일 (총 40여일) 간의 기간 동안 식의 영향으로 인해 적외선 채널 관측 영상은 식이 진행되는 자정 부근에 미광의 영향을 받아 영상의 오염이 발생한다. 천리안위성의 식이 발생하는 시기

와 발생시간 정보를 토대로 관측한 천리안 기상 영상을 바탕으로 식이 진행되는 시간동안 어느 정도의 영향을 받게 되는 지를 정량적으로 조사해 보았다. 이러한 식의 영향을 최소화하고 영상 활용도를 높이기 위해 미광의 영향을 제거하는 방법(천리안 위성의 WINDOW채널 두 개를 이용해서 미광의 영향을 가장 많이 받아 오염된 단파채널을 대체하는 방법)테스트 해보았다. 이 방법을 이용할 경우 오염된 부분을 복구하여 사용 가능한 영상을 만들 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. D.A. Vallado, "Fundamentals of Astrodynamics and Applications", Springer, 2001
2. Jin, K-W., and Seo, S-B., 2011. In Orbit Radiometric Calibration Tests of COMS MI Infrared Channels. Korean Journal of Remote Sensing, 27 (3): 369-377.
3. Lee, S-C., K-H.Yang, B-K.Park, and B-Y. Kim, 2008. A Study on the Eclipse Estimation and Management of the COMS for On-station operation. Proceedings of KSAS-JSAS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, 2008.11, 1-618.
4. Park, B-K, 2010. COMS Eclipse Prediction Data, KARI Technical Memo (KARI-CST-TM-2010-001), KARI
5. Duquesne, J-L., C. Ledez, 2011. COMS Meteo-Imager In-Orbit Test Report, EADS Astrium.
6. Bysal et al., 2011, GOES Imager Stray Light Correction, 7THGOES USER'S CONFERENCE, Oct15-21,2011,AL,USA