천리안 위성의 기상탑재체 보정을 위한 달 영상 획득 방안

박봉규*, 양군호**

Moon Imaging for the Calibration of the COMS Meteorological Imager

Bong-Kyu Park*, Koon-Ho Yang**

Abstract

COMS accommodates multiple payloads; Meteorological Image(MI), Ocean Color Imager(GOCI) and Ka-band communication payloads. In order to improve the quality of MI visible channel, the moon image has been taken into account as backup reference in addition to Albedo monitoring. However, obtaining the moon image by adding special mission schedule is not recommended after IOT, because we may miss chances to obtain meteorological images during the time slots for special imaging. As an alternative solution, an approach extracting moon image from MI FD(Full Disk) image has been proposed when the moon is positioned near to the earth. However, prediction of acquisition time of moon image is somewhat difficult as the moon moves while the MI is scanning type sensor. And the moon can not be seen when it is behind the earth or outside of FD field of view. This paper discusses how effectively the moon can be detected by the MI FD imaging. For that purpose, this paper describes an approach taken to predict the time when the moon image is achievable and then introduces the results obtained from computer simulation.

초 록

천리안위성은 기상탑재체, 해양탑재체 그리고 Ka-밴드 탑재체를 장착한 다목적 정지궤도 위성이다. 기상탑재체 가시채널의 품질을 향상 시기키 위하여 알베도(Albedo) 관측 정보를 주로 사용하며 경우에 따라서 달 영상을 보조수단으로 사용하는 것을 고려하고 있다. 그러나 궤도상 시험 이후 별도의 달 영상을 촬영하는 것은 권장되지 않는다. 별도의 관측을 수행할 경우 해당 기간 동안 기상 영상 획득이 불가능하기 때문이다. 본 논문에서는 달이 지구 근처에 있을 때 전구촬영을 통해 달의 영상을 획득하는 방법을 고려하였다. 이 경우도 달 영상을 얻는 것이 쉽지 않은데 그 이유는 기상탑재체는 스캐닝 형태의 센서인 반면 달은 계속 이동하기 때문이다. 또한 기상탑재체의 관측영역 내에 있지 않거나 지구 뒤에 위치한 경우 이미지를 얻을 수 없다. 따라서 본 논문에서는 전구촬영을 통해 달 영상을 얼마나 효과적으로 얻을 수 있는 지에 대한 분석을 수행하였다. 달 영상 획득시간을 예측하기 위한 방법론을 기술하고 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과들을 정리하였다.

키워드 : 정지궤도위성(Geostationary Satellite), 관측위성(Observation Satellite), 달 영상(Moon Image), 기상센서(Meteorological Imager)

접수일(2010년 1월 6일), 수정일(1차 : 2010년 4월 7일, 2차 : 2010년 6월 17일, 게재 확정일 : 2010년 10월 1일)

* 통신해양기상위성사업단/pbk@kari.re.kr ** 통신해양기상위성사업단/khyang@kari.re.kr

1. 서 론

2010년 6월 26일에 성공적으로 발사되어 궤도 상시험(IOT) 중인 천리안 위성(COMS)은 기상탑재체, 해양탑재체 그리고 Ka-밴드 중계기를 탑재한 대한민국 최초의 다목적 정지궤도 위성이다. 이중에서 기상탑재체는 4개의 적외선 채널과 1개의 가시채널을 가지고 있다. 기상탑재체는 그림 1과 같이 전구촬영(FD: Full Disk), APNH(Asia Pecific Northen Hemisphere), ENH(Extended Northen Hemisphere), LSH(Limited Southern Hemisphere) 그리고 그림에는 나와 있지 않지만 가로 세로 1.6도 크기의 LA(Local Area)를 포함한 5개의 영역을 주기적으로 촬영하도록 되어있다. 정상적인 상황에서는 그림 2에 나타난 24시간 일정표를 통해 해당영역을 촬영하게 된다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 기본 관측 스케쥴은 30분을 주기로 흑체보정(Black Body Calibration), ENH-APNH-LSH 가 순서대로 반복되는 것을 볼 수 있는데, 이 주기를 하나의 시퀀스(Sequence)라 고한다. 일반적으로 한 시퀀스는 30분이 소요되며 알베도 관측과 같은 예외적인 경우가 발생할 수 있다. 한 시퀀스는 대부분 흑체보정을 선두로 시작되며 그림 2에서도 알 수 있는 바와 같이 각 시퀀스는 매 시 15분과 45분에 시작되도록 계획되었다.

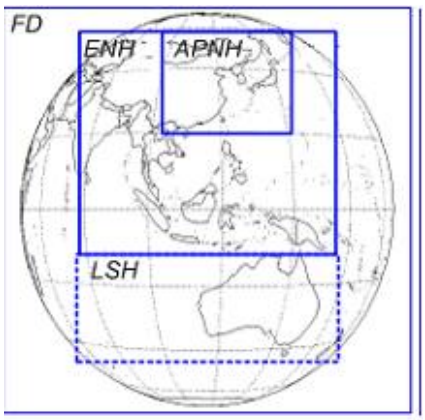

그림 1. 천리안 기상탑재체 관측 영역

적외선 채널의 보정을 위해서는 두 가지 보정 데이터를 사용하게 된다. 첫 번째는 30분 간격으로 매 시퀀스의 초기에 수행되는 흑체보정이다. 흑체보정은 스캔 미러를 180도 회전시켜 내부에 장착된 흑체 목표물 촬영함으로서 기준온도에 대한 이미지를 획득한다. 두 번째는 우주관측(Space Look) 작업으로서 모드에 따라서 36.5초 혹은 9.2초 주기로 3도 K로 일정하게 유지 되는 우주공간을 촬영함으로서 기준 이미지 데이터를 획득한다.

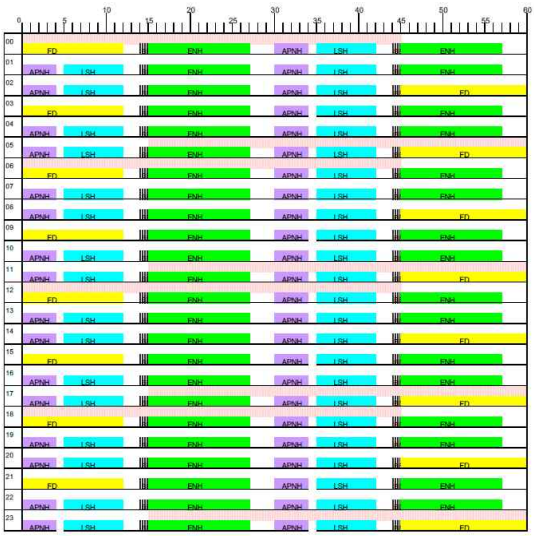

그림 2. 기상 탑재체 관측 스케쥴

가시채널의 보정을 위해서는 핀홀(Pin Hole)을 통해 들어오는 태양광선을 4개의 거울에 반사시켜 촬영하는 알베도 관측(Albedo Monitoring)을 수행한다. 태양의 밝기는 거의 일정하므로 기준 데이터로 사용이 가능하다. 이러한 알베도 관측은 핀홀 및 거울의 위치에 의해 매일 아침 6시 근방에서 수행하도록 되어 있다[1].

알베도 관측과 더불어 달의 이미지를 기준 데이터로 사용하는 방안도 고려중에 있다. 그러나 달 영상을 촬영하는 것은 그렇게 쉽지가 않다. 그 이유는 앞 그림 2에서 소개된 바와 같이 기상탑재체의 경우 24시간 연속적으로 기상관측 영상을 획득해야 하므로 달 영상을 촬영하기 위해 별

도의 촬영계획을 포함시키는 것이 허락되지 않기 때문이다. 더욱이 기상 탑재체는 동서 방향으로 초당 20도의 속도로 운동하는 스캐닝 형태의 센서 이므로 달의 위치와 스캐닝 위치가 일치 해야만 촬영이 가능하다. 달은 기상탑재체의 FOV (Field of View)를 가로지르며 나타났다 사라지기를 반복하는데 달이 FOV 밖에 있는 경우나 지구에 의하여 가려지는 경우는 달을 관측할 수 없다. 그리고 달이 FOV 상에 있고 지구에 의하여 가려지지 않는 경우라도 그 시간에 미러가 달 근처를 스캐닝하고 있지 않으면 영상의 획득이 불가능 하다.

이러한 이유에서 궤도상시험(IOT: In Orbit Test) 과정에서는 지상 소프트웨를 통하여 달의 위치를 계산하고 달을 촬영하기 위한 시간 및 스캔좌표를 계산해서 달을 촬영하는 방법을 사용하였다. 이 경우 거울은 달 위치로 빠른 속도로 이동하여 영상을 획득한다. 이러한 방법은 달 영상 획득의 성공률을 높이기 때문에 IOT 과정에서는 적절한 방법이라 할 수 있다. 그러한 정상운용 상황에서는 그리 권장할만한 방법이 아니다. 이 방법을 통해 획득된 영상은 기상예보용으로 사용이 불가능하기 때문이다. 즉 기상예보용 영상 획득 기회를 그 만큼 잃는 다는 의미가 된다.

따라서 본 논문에서는 달 영상의 획득을 위하여 전구촬영을 이용하는 방안을 고려하였다. 달 영상 획득을 위하여 전구촬영을 사용할 경우에도 약간의 일정변경은 불가피 하지만 획득된 전구영상은 기상예보용으로 사용이 가능하므로 장비의 가동율 측면에서의 손실은 없다고 볼 수 있다. 앞 그림 2에서 나타난 바와 같이 전구촬영은 매 3시간 마다 수행하도록 되어 있는데 본 논문에서는 원하는 경우 전구촬영이 가능하다고 가정하였다. 이러한 조건하에서 얼마나 자주 달 영상 획득이 가능한지 분석하였다.

2. 달 영상 획득시간 계산 알고리즘

그림 3은 전구영상의 기하학적인 정보를 나타내고 있다. 전구영상은 동서방향으로 약 19도의 크기를 가지며 남북방향으로는 17.6도의 크기를 가진다. 여기서는 우주관측을 위한 확장영역을 고려하지 않았는데 그 이유는 우주관측은 항상 달이 위치하지 않는 방향에서 수행되므로 영역이 확장되더라도 달 영상을 획득 기회를 높여주지는 못하기 때문이다[2]. 예를 들어 달이 지구를 중심으로 동쪽에 위치한 경우는 서쪽 방향으로 영역을 10.4도 까지 확장하여 우주관측을 수행하는데 달이 동쪽에 위치해 있으므로 달 영상을 획득하는 데는 아무런 영향을 주지 않는다. 스캐닝 속도는 동서 방향으로 초속 20도로서 달의 상대 각속도에 비하여 매우 빠른 속도 이므로 본 논문에서는 거울의 동서방향의 운동은 고려하지 않았고 대신 그림 3, 4와 같이 스캔 라인이 북에서 남으로 일정한 속도로 이동하는 것으로 가정하였다. 스캔라인의 이동속도는 영상의 크기에 따라서 달라진다.

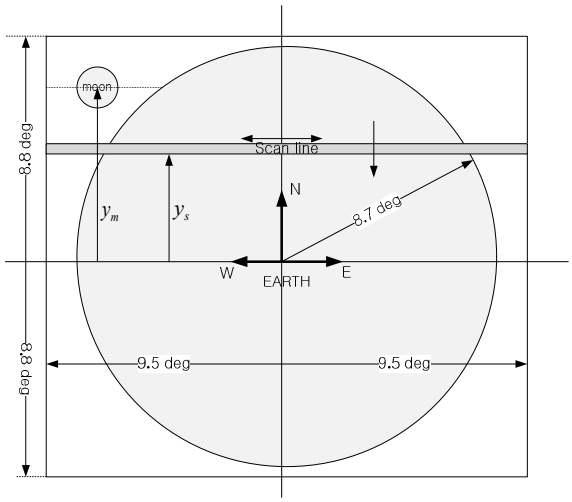

그림 3. 전구관측 영역 및 달 관측조건

그림 4는 앞에서 언급한 가정 하에서 달의 영상이 포착되기 위한 기하학 적인 조건들을 나타내고 있다. 본 논문에서는 일차적으로 달을 직경을 고려하지 않고 질점으로 가정하여 기본 조건들을 체크한 다음, 시간 마진을 고려하여 달의

크기에 의한 영향을 고려하도록 하였다.

달이 센서에 감지되기 위해서는 스캔라인이 북에서 남으로 이동하는 과정에서 최소한 아래의 조건을 만족하여야 한다.

$$y_{s_k} \geqq y_m \tag{1}$$

$$y_{s_{k+1}} \leqq y_m \tag{2}$$

여기서 y_m은 지구적도를 기준으로 달의 앙각(Elevation)을 나타내며 y_{s_k}는 시간 k에서의 스캔라인의 위치를 나타내고 있다. 달의 각 반경을 AR_m이라고 할 때 달의 스캐닝 소요시간 Δt_{scan}은 아래와 같이 고려할 수 있다.

$$\Delta t_{scan} = \frac{2AR_m}{\dot{y}_s} \tag{3}$$

여기서 $\dot{y}_s$는 남북방향의 스캐닝 속도를 나타낸다.

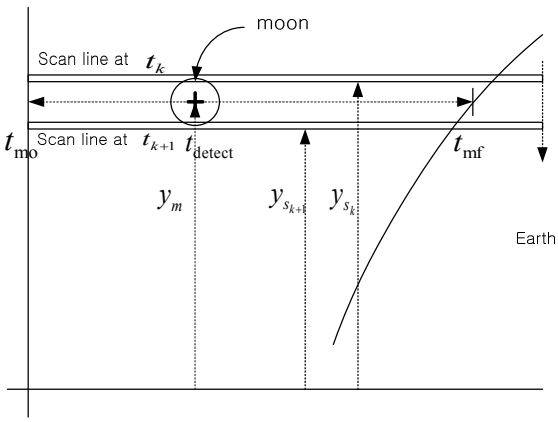

그림 4. 전구관측을 이용한 달 이미지 획득

달의 각 반경 AR_m은 달과 위성의 궤도상 위치에 따라서 조금씩 달라지며 아래의 수식을 통하여 간단히 계산 가능하다.

$$AR_m = \sin^{-1}\left[\frac{\mathrm{R_m}}{|\mathrm{R_m} - \mathrm{R_{sc}}|}\right] \tag{4}$$

여기서 R_m과 R_{sc}는 ECI 좌표에서 각각 달과 위성의 위치벡터를 나타내며 $\mathrm{R_m}$은 달의 반경을 나타내고 있다..

남북방향의 스캔라인 이동속도 $\dot{y}_s$는 아래의 수식을 통하여 계산된다.

$$\dot{y}_s = \frac{\lambda_{ns}}{\Delta t_{FD}} \tag{5}$$

여기서 λ_{ns}는 전구영상의 남북방향 크기를 나타내며(약 17.6도) Δt_{FD}는 전구촬영에 소요되는 시간을 의미한다. 천리안 위성의 경우 Δt_{FD}는 대략적으로 1622.6초의 값을 가진다.

본 논문에서는 달의 크기를 고려하기 위하여 달의 촬영이 다음의 조건을 만족할 때 가능한 것으로 간주하였다.

$$t_{detect} - t_{mo} \geqq \Delta t_{scan} \tag{6}$$

$$t_{mf} - t_{detect} \geqq \Delta t_{scan} \tag{7}$$

t_{detect}는 앞 수식(1)과 (2)를 통하여 계산된 질점 형태로 가정된 달의 감지 시각을 의미하며 t_{mo}와 t_{mf}는 각각 달이 나타나는 시각과 사라지는 시각을 의미한다. 즉 t_{mo}는 달이 FOV에 들어오거나 지구에 의하여 가려진 후 다시 나타나는 시각을 나타내며, t_{mf}는 FOV 밖으로 달이 사라지거나 지구에 의하여 가려지기 시작하는 시각을 나타낸다. 수식(1) 과(2) 그리고 수식 (6)과 (7)로부터 달의 크기 외에 추가적으로 $\Delta t_{scan}/2$의 시간 마진이 추가적으로 고려되었음을 알 수 있다. 이는 달의 위치정보에 대한 불확실성, 스캔라인 위치의 부정확한 정보 등을 고려하기 위한 시간 마진이다.

달 영상이 가시채널의 보정을 위한 기준데이터로 사용되기 위해서는 일정이상 달의 밝기가 유지되어야 한다. 예를 들어 위성 기준에서 보름달이 나타나는 경우가 가장 보정을 위해 좋은 정보를 제공해 준다. 따라서 본 논문에서는 달이 감지되는 기하학적인 조건 외에 달의 밝기를 추가로 고려하였다. 본 논문에서는 아래의 수식에서와 같이 위성을 기준으로 태양과 달의 사이각

의 코사인 값을 사용하여 그 값이 0 이상인 경우만을 고려하였다.

$$\cos(\theta) = \left[\frac{(\mathrm{R_s} - \mathrm{R_m}) \cdot (\mathrm{R_{sc}} - \mathrm{R_m})}{|\mathrm{R_s} - \mathrm{R_m}||\mathrm{R_{sc}} - \mathrm{R_m}|} \right] \quad (8)$$

여기서 R_m과 R_s는 ECI 좌표에서의 달과 태양의 위치벡터를 나타내며 R_{sc} 위성의 위치벡터를 나타낸다. 그림 5는 전구촬영을 이용한 달의 영상획득시간을 예측하기 위한 알고리즘을 종합적으로 나타내고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 전구촬영은 매시 15분 혹은 45분에 시작되는 것으로 가정하였다.

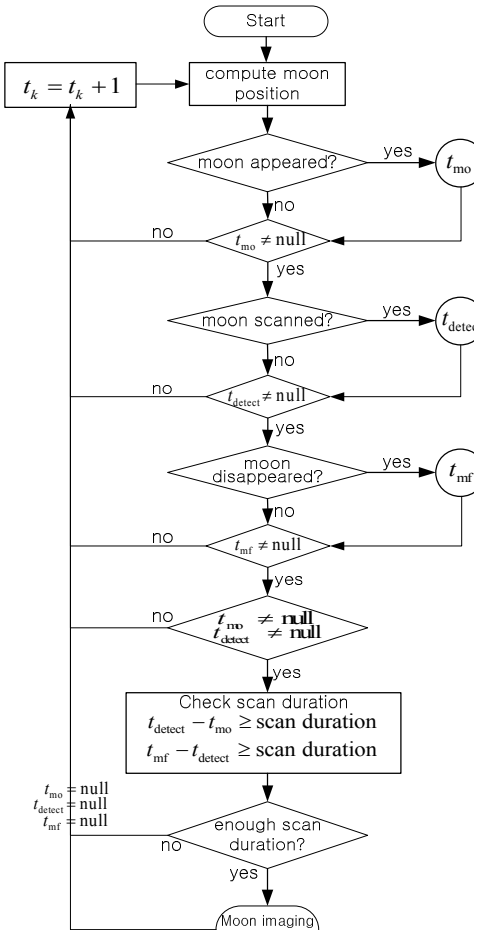

그림 5. 달 관측 시간대 계산을 위한 흐름도

3. 시뮬레이션을 통한 성능 검증

본 논문에서는 전구관측을 이용한 달 영상획득 시간대를 계산하기 위하여 궤도 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서는 궤도유지(Station-keeping) 작업을 고려한 궤도시뮬레이션 대신에 위치유지 박스 중심, 즉 궤도 경사각이 0이고 동경 128.2도에 위치한 위성을 가정하였다[3]. 이러한 가정이 적절한 이유는 천리안위성의 경우에 위치유지 박스는 ±0.05도의 크기를 가지고 있으며 7일 간격으로 수행되는 궤도유지 작업에 의하여 항상 위성이 위치유지 박스 안에 유지되기 때문이다. 위치유지 박스 중심에 위성이 위치한 것으로 가정할 경우 최대 12초의 시간 오차가 발생할 수 있다. 이것은 미미한 오차로 볼 수 있다.

시뮬레이션은 천리안 위성의 예상 수명인 7.7년을 고려하여 2010년 8월부터 2017년 8월까지 수행하였다. 시뮬레이션은 10초 간격으로 수행되었으며 태양과 달의 위치정보는 참고문헌[4]에 기술된 내용들을 바탕으로 계산이 되었다.

표 1은 년도별 예상되는 달 영상획득 횟수를 나타내고 있는데 -1에서 1까지 범위의 밝기를 설정한 다음 0이상의 밝기를 가지는 경우, 즉 50% 이상의 밝기를 나타내는 경우만을 고려하였다. 표 1을 통하여 년 간 30회에서 50회의 달 영상획득이 가능한 것을 볼 수 있다. 그리고 밝기가 0.9 이상인 경우도 매월 1회 가량 관측이 가능함을 알 수 있다. 이 수치는 영상 보정을 위하여 충분한 횟수인 것으로 판단된다.

표 1. 년도별 전구촬영을 이용한 달 관측 횟수

년도	달수	달관측 횟수	밝기 0.9 이상
2010	5	15	5
2011	12	34	12
2012	12	36	12
2013	12	37	10
2014	12	54	15
2015	12	42	14
2016	12	42	12
2017	7	31	7

그림 6은 전구관측을 이용한 년도 별 예상되는 달 영상획득 횟수분포를 나타내고 있는데 관측 가능 시간대가 특정한 시간대에 쏠리지 않고 골고루 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 밝기가 대체적으로 0.5에서 1범위에 더 많은 분포를 보이고 있는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 달 영상이 획득되는 순간 달의 위치 정보를 나타내고 있다. 예측할 수 있는 바와 같이 기상 탑재체의 FOV 내에 그리고 지구의 외곽에서 달이 관측됨을 알 수 있다. 본 그림을 통하여 시뮬레이션 작업이 적절히 수행되었음을 알 수 있다.

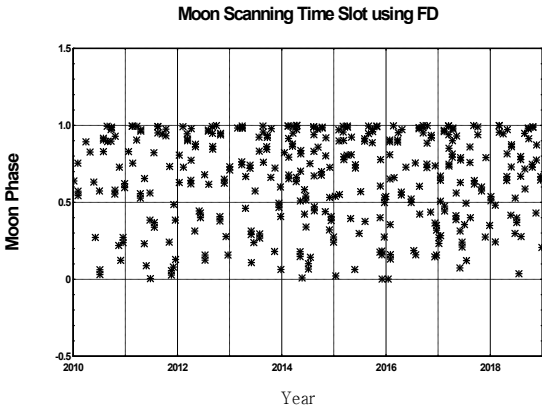

그림 6. 년도별 전구촬영을 이용한 달 관측 시간대

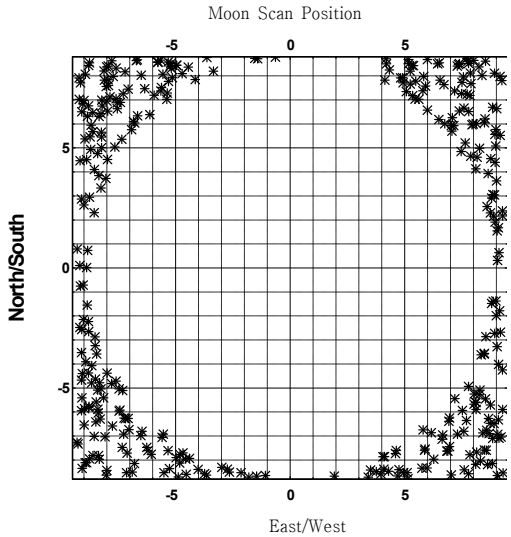

그림 7. 전구촬영을 이용한 달 관측 위치 분포

참고적으로 그림 8은 2011년에 대하여 달 촬영 시점에서의 달의 각 반경 정보를 나타내고 있다. 이러한 달의 각 반경의 변화는 달 촬영 소요시간의 변화로 나타난다. 그림 9는 달의 각 반경의 변화에 따른 달의 영상획득 소요시간을 나타내고 있다. 대략적으로 40초에서 46초의 시간이 소요됨을 확인할 수 있다.

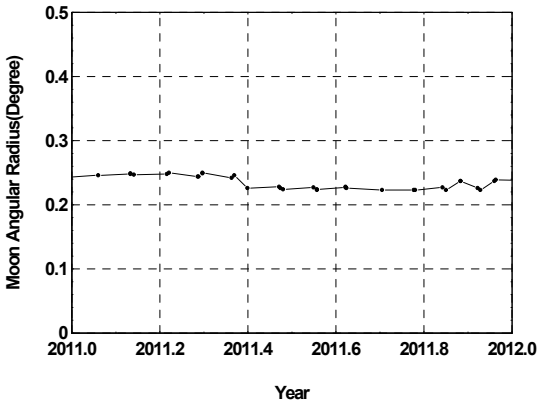

그림 8. 달의 각 크기 변화(2011년도)

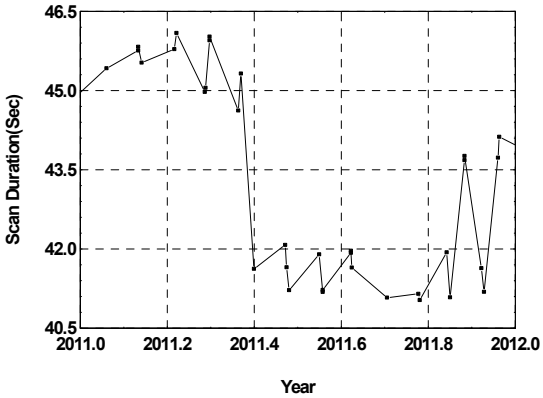

그림 9. 달의 영상획득 소요시간(2011년도)

5. 결 론

본 논문에서는 기상탑재체 가시채널의 보정을 위한 달 영상 획득 방법에 대하여 기술하였다. 달 영상 획득을 위하여 별도의 촬영을 수행하는

대신에 전구촬영을 통한 달 영상획득 방안에 대하여 분석을 수행하였다. 본 연구결과에 따르면 전구촬영을 적절한 시점에 삽입하고 달의 밝기를 최저 -1에서 최고 1 범위의 숫자로 나타낼 경우, 0 이상의 밝기로 매년 30회 이상 영상을 획득할 수 있으며, 매달 0.9 이상의 밝기로 달 영상을 획득할 수 있음을 알 수 있었다. 0.9 이상 밝기의 영상은 가시채널 영상보정용으로 적절한 것으로 파악된다. 또한 획득된 전구영상은 기상예보에도 정상적으로 사용이 가능하므로 기상 탑재체의 활용도를 그대로 유지한 상태에서 영상보정을 수행할 수 있다. 본 방법을 적용할 경우 예측되는 단점은 약간 영상획득계획을 수정하여야 한다는 것인데 촬영 빈도가 높지 않으므로 큰 문제는 아니라고 볼 수 있다. 본 연구를 통하여 획득된 예측 데이터는 천리안 위성의 기상 탑재체 운용에 효과적으로 사용 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. ITT, *ITT Imager Operational Reference Manual*, ITT Industries, 2004

2 *BK.PARK, S.C.LEE, K.H.YANG, "COMS Meteorological Imager Space Look Side Selection Algorithm", International Symposition on Remote Sensing, 2008*

3. *Pocha, J.J., Mission Design For Geostationary Satellites, Space Technology Library, 1987.*

4. *Sue, W., Mission Analysis Software Detailed Design Specification, Lockheed Martin Missile & Space, DN-20050382. 1998*