

OSMI를 이용한 달 촬영 가능 시각 결정을 위한 고속 시뮬레이터 개발

강치호*

Development of Fast Simulator
for Determining Imaging Time of the Moon Utilizing OSMI

Chi-Ho Kang*

Abstract

By utilizing OSMI (Ocean Scanning Multi-spectral Imager) onboard KOMPSAT-1, the moon can be imaged. Because the moon has no atmosphere and reflects sun lights at a constant rate, it can be the radiance source for calibration of OSMI. But there are a lot of risks which made KOMPSAT-1 enter into safe-hold mode. So planning the imaging of the moon with OSMI should be determined seriously with consideration to information on KOMPSAT-1 operation, the moon, the sun, etc. But it takes a long time for determining the imaging time of the moon using MCE(Mission Control Element) simulator and there are operational problems to be solved. In this paper, fast simulator for determining imaging time for the moon with OSMI has been developed. The proper timeline for imaging the moon and the position of the moon image in OSMI image coordinates and the phase of the moon are determined. STK was used for acquiring information on KOMPSAT-1, the moon, the sun and the characteristics of OSMI are considered. As a result, we can determine imaging time of the moon with OSMI much faster and efficiently.

초 록

다목적 실용위성 1호의 OSMI 센서의 동작 특성을 이용하여 달을 촬영할 수 있다. 달은 대기가 없고 태양광의 반사율이 일정하기 때문에 OSMI 센서의 방사 보정을 위한 적합한 광원이 될 수 있다. 다목적 실용위성 1호의 정상 운용 과정에서 OSMI를 이용하여 달 촬영을 수행하기 위해서는 비정상적 운용 모드 발생 가능성이 높기 때문에 다목적 실용위성 1호의 운용, 달, 태양의 정보들을 고려한 최적화된 달 촬영 계획이 수립되어야 한다. 하지만 현재 관제소의 시뮬레이터를 이용할 경우 기능상의 한계로 인해 달 촬영 가능 시간을 결정하기 위해서 많은 시간이 소비되고 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 달 촬영을 위한 고속 시뮬레이터를 개발, 구현한다. 시뮬레이터는 OSMI를 이용한 달 촬영 가능 시간을 결정하고 영상에 맺힐 달의 좌표, 달의 위상을 결정한다. 다목적 실용위성 1호의 궤도 예측 및 자세 정보, 달의 위치 정보, 태양의 위치 정보를 획득하기 위해서 STK(Satellite ToolKit)를 이용하였으며, 본 연구를 통해 개발된 시뮬레이터에 의해 달 촬영 가능 시간 결정 과정의 효율성은 획기적으로 증대하였다.

키워드 : 다목적 실용위성 1호(KOMPSAT-1), OSMI, 달 촬영(moon photographing)

* 지상수신관제그룹/chkang@kari.re.kr

1. 서 론

다목적 실용위성 1호의 OSMI 센서의 동작 특성을 이용하여 달을 촬영할 수 있다. 달은 대기가 없고 태양광의 반사율이 일정하기 때문에 OSMI 센서에 대한 복사 보정(Radiometric Correction)을 위한 적합한 광원이 될 수 있다. 하지만 다목적 실용위성 1호의 정상 운용 과정에서 OSMI를 이용하여 달 촬영을 수행하기 위해서는 비정상적 운용 모드 발생 가능성이 높기 때문에 다목적 실용위성 1호의 운용, 달, 태양의 정보들을 고려한 최적화된 달 촬영 계획이 수립되어야 한다. 현재 OSMI를 이용한 달 촬영 계획을 수립하기 위해서는 관제소의 시뮬레이터(SIM)를 이용한 수동적인 방법이 사용되고 있다. 하지만 현재 관제소의 시뮬레이터를 이용할 경우 그 기능상의 한계로 인해 운영자가 오랜 시간 동안 시뮬레이터를 운용해야 하며, 실시간 궤도 전파에 따라 비교적 장기간에 걸친 시뮬레이션이 불가능하며 직접적인 자료의 제공보다는 시각적인 확인에 의해 수동적으로 촬영 계획이 설정되므로, 달 촬영 가능 시간을 결정하기 위해서 많은 시간이 소비되고 효율성이 떨어지는 단점이 있다.

이에 본 연구를 통해 달 촬영을 위한 고속 시뮬레이터를 개발, 구현하였다. 시뮬레이터는 다목적 실용위성 1호의 궤도 정보 및 OSMI 센서의 특성 정보들을 기반으로 OSMI를 이용한 달 촬영 가능 시간을 결정하고 영상에 맺힐 달의 좌표, 달의 위상을 결정한다. 시뮬레이터에서 사용되는 다목적 실용위성 1호의 궤도 예측 및 자세 정보, 달의 위치 정보, 태양의 위치 정보를 획득하기 위해서 STK (Satellite ToolKit)를 이용하였으며, OSMI 센서의 동작 특성을 결합시켜 최적화된 달 촬영 가능 시간을 결정하고 영상에서의 달의 위치 및 달의 위상을 결정한다.

2. OSMI의 동작 특성

그림 1은 다목적 실용위성 1호의 경사 촬영 모습을 보여준다. OSMI 센서는 위성체의 직하점 방

향에서 29.4°의 FOV(Field Of View)를 가지고 횡방향 촬영(cross-track scanning)을 수행한다. 따라서, 다목적 실용위성 1호의 Roll 축에 대한 좌, 우 45° 만큼의 회전 상태에서 OSMI 센서를 이용하여 횡 방향 촬영을 하면, 지구 중심 방향으로부터 15.6°~74.4° 범위를 횡 방향 촬영하게 된다. 그림 2는 15.6° ~74.4° 의 범위를 촬영하고 있는 다목적 실용위성 1호의 모습을 보여준다.

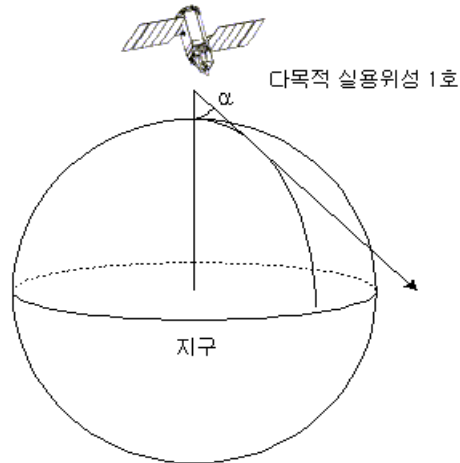


그림 1. 다목적 실용위성 1호의 경사 촬영

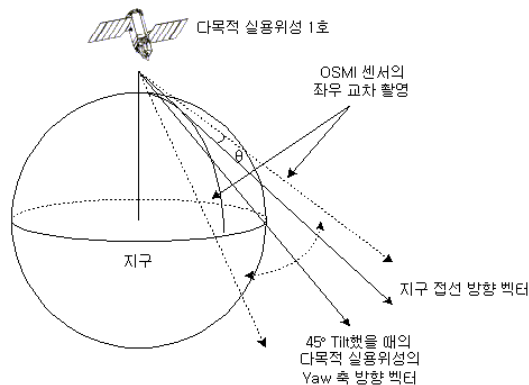


그림 2. 경사 촬영 모드에서의 OSMI 영상 촬영

결국 OSMI는 15.6°~74.4°를 횡 방향 촬영하기 때문에 15.6°~64.55°의 범위에서는 지구를 관측하게 되고, 나머지 64.55°~74.4°의 범위에서 지구 외

부의 우주 공간을 촬영하게 된다. 한편, 지구 대기 권의 고도를 100km로 가정하고 지구 대기의 영향을 받지 않은 달의 영상을 획득하기 위해서는 66.5°~74.4°의 범위에서 달을 촬영하여야 한다. 즉, 다목적 실용위성 1호의 경사 촬영 한도 범위 내에서 66.5°~74.4°의 범위에 해당하는 지역을 촬영하면, 대기의 영향을 받지 않은 달의 영상을 획득할 수 있다.

3. 달 촬영 가능 시간 계산

3.1 좌표계 변환

우선, 다목적 실용위성 1호의 자세 정보를 이용하여 달의 ECI(Earth Centered Inertial) 좌표를 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계(Body Coordinate)의 좌표로 변환한다. 다목적 실용위성 1호의 Roll 축은 다목적 실용위성 1호의 진행 방향, Yaw축은 직하점 방향, Pitch축은 두 축에 수직인 방향을 지향하고 있으며, Euler 각 또는 quaternion을 획득함으로써, 다목적 실용위성 1호의 자세 정보를 획득할 수 있다. 본문에서는 STK(Satellite ToolKit)의 'Report' 기능을 이용하여 다목적 실용위성 1호의 quaternion, 고도 정보를 획득하였다. 그림 3은 STK를 이용하여 다목적 실용위성 1호의 quaternion을 얻는 모습을 보여준다.

Time (UTC)	Quaternion (w, x, y, z)
2001/01/16 00:00:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:05:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:10:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:15:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:20:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:25:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:30:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:35:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:40:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:45:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:50:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 00:55:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:00:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:05:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:10:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:15:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:20:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:25:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:30:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:35:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:40:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:45:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:50:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 01:55:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000
2001/01/16 02:00:00.000	-0.9999999999999999, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000, 0.0000000000000000

그림 3. STK를 이용한 다목적 실용위성 1호의 quaternion계산

한편, ECI에서의 달의 좌표 역시 STK를 이용하여 얻을 수 있으며, STK에는 JPL(Jet Propulsion Laboratory)에서 계산한 DE405 천체력이 내장되어 있다. 그림 4는 획득된 달의 ECI 좌표, 다목적 실용위성 1호의 ECI 좌표를 나타내고 있다. 그림 4에서는 2001/1/16~2001/1/31까지의 달, 태양, 다목적 실용위성 1호에 대한 정보들이 사용되었으며, 2001년 1/25일 18:06:00.97에 해당하는 다목적 실용위성 1호의 TLE(Two Line Element) 자료를 이용하여 전파된 궤도 정보를 보여준다.

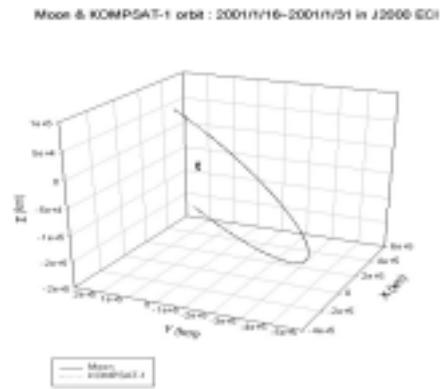


그림 4. 2001년 1/16~1/31까지의 달, 다목적 실용위성 1호의 궤도 (ECI 좌표계)

달은 ECI 좌표계에서 1년에 걸쳐 거의 동일한 궤적을 따라 움직인다. 한편, 태양과 다목적 실용위성 1호는 1년에 걸쳐 ECI 좌표계의 Z축을 중심으로 공전한다. 한편, 달의 위상은 지구, 달, 태양의 기하학적 관계에 의하여 결정된다. 한편, 다목적 실용위성 1호의 경우 위성의 안전을 고려하여 eclipse에서만 달 촬영이 가능하다. 따라서, 다목적 실용위성 1호가 eclipse 상태에 있으면서, 황도면 근처에 달이 있을 경우에 OSMI를 이용한 달 촬영이 가능하다는 것을 알 수 있다.

따라서, 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계에서의 달의 좌표는 다목적 실용위성 1호의 quaternion과 달의 ECI 좌표를 이용하여 식 (1)에 의해 계산할 수 있다. 여기서, q값들은 다목적 실용위성 1호의 quaternion 값들이다.

$$\begin{pmatrix} X_{moon} \\ Y_{moon} \\ Z_{moon} \end{pmatrix}_{Body} = \begin{pmatrix} q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 + q_4^2 & 2(q_1q_2 + q_3q_4) & 2(q_1q_3 - q_2q_4) \\ 2(q_1q_2 - q_3q_4) & -q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 + q_4^2 & 2(q_2q_3 + q_1q_4) \\ 2(q_1q_3 + q_2q_4) & 2(q_2q_3 - q_1q_4) & -q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 + q_4^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{moon} \\ Y_{moon} \\ Z_{moon} \end{pmatrix}_{ECC} \quad (1)$$

3.2 다목적 실용위성 1호의 tilt 각도 계산

그림 5는 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계를 기준으로 변환된 달의 좌표를 보여준다. 여기서, $\angle AOD$ 를 α 로 두면, α 는 다목적 실용위성 1호의 Roll tilt 각도에 해당하며 그 값은 식 (2)를 통해 획득된다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(Z_{moon,body} / \sqrt{Y_{moon,body}^2 + Z_{moon,body}^2} \right) \quad (2)$$

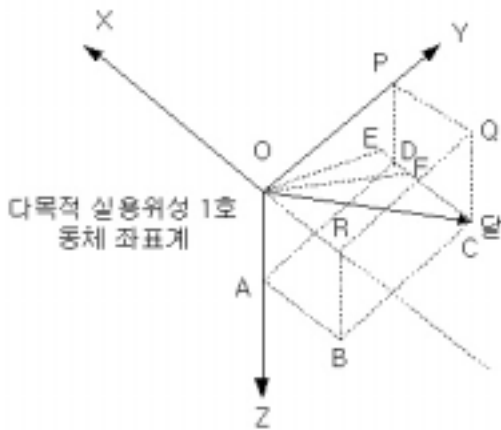


그림 5. 다목적 실용위성 1호 동체 좌표계에서의 달의 위치

따라서, 최종적으로 달의 영상을 획득할 수 있는 α 값의 범위는 다음과 같다.

$$66.5^\circ \leq |\alpha| \leq 74.4^\circ$$

3.3 YZ 평면에서의 달의 입사 임계각 결정

다목적 실용위성 1호의 OSMI 센서는 96개의 화소로 이루어져 있으며, 685.13km의 상공에서 횡방향 촬영(Cross-Track Scanning)을 수행한다. 따라서 달 벡터의 YZ 평면 성분이 다목적 실용위성 1호의 Yaw축에 대해 $66.5^\circ \sim 74.4^\circ$ 의 범위 내에서

입사하더라도 그림 5에서의 선분 EF 즉, OSMI의 96개 화소의 영상 획득 영역 내부에 달의 벡터가 입사해야만 달의 영상 획득이 가능하다. 따라서 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계의 YZ 평면에 대한 달 벡터의 입사 임계각이 존재한다.

그림 6은 다목적 실용위성 1호의 Roll tilt 촬영 모습을 보여준다. 여기서 d 는 OSMI의 FOV로써 29.4° 의 값을 가지며, re 는 지구의 반경으로 6378.137km, h 는 다목적 실용위성 1호의 고도로써, 685.13km의 값을 가진다. 한편, OSMI 센서는 직하점에서 대략 0.85km의 해상도를 가지는 96개의 화소들로 이루어져 있고, OSMI의 FOV에 해당하는 지역의 크기는 지구 반경에 비하여 매우 작은 값이기 때문에 지구 평면 촬영으로 근사할 수 있다. 즉, OSMI는 지구 평면 상에서 대략 96km의 세로 폭을 가지고 다목적 실용위성 1호의 진행 방향으로 횡 방향 촬영한다고 설정할 수 있다. 따라서, OSMI의 FOV에 해당하는 촬영 범위는 그림 6에서의 $2q$ 에 해당한다. 따라서, 식 (3), (4)에 따라 OSMI는 685.13km의 고도에서 대략 786km, 세로 96km의 평면에 대한 영상을 획득한다.

$$t = (re+h)\cos\delta - \sqrt{(re+h)^2\cos^2\delta - 2re*h - h^2} \cong 800311 \text{ km} \quad (3)$$

$$s = t \sin \delta, \alpha = \sin^{-1} \left(\frac{s}{re} \right), q = re \times \alpha \cong 393.124 \text{ km} \quad (4)$$



그림 6. 다목적 실용위성 1호 tilt 촬영

한편, 그림 7은 OSMI 영상 촬영 시 달 촬영 가능 지역을 결정하는 과정을 보여준다. 그림 7에서 66.5°~74.4°의 촬영 범위에 해당되는 값은 $\angle DOd$ 가 되며, 선분 OD,EF는 그림 5의 선분 OD,EF와 같다. 선분 OD는 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계에서의 달 벡터의 YZ평면 성분이다. 선분 EF의 길이를 구하기 위한 과정은 식 (5)와 같다.

$$OM = \frac{h}{\cos b}, EF = \frac{96 \times \sqrt{Y_{moon,body}^2 + Z_{moon,body}^2}}{OM} \quad (5)$$



그림 7. OSMI 영상 촬영 시 달 촬영 가능 영역

따라서, 달 촬영을 위한 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계의 YZ 평면에 대한 임계 입사각 β 는 식 (6)에 의해 획득된다.

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{48 \times \cos b}{h}\right) \cong 3.49283^\circ \quad (6)$$

따라서, 식 (7)의 조건을 만족하는 경우, OSMI를 이용하여 달의 영상을 획득할 수 있다. 여기서, abs는 절대값을 반환하는 함수이다.

$$\tan^{-1}\left(\frac{\text{abs}(X_{moon,body})}{\sqrt{Y_{moon,body}^2 + Z_{moon,body}^2}}\right) \leq \beta \quad (7)$$

3.4 OSMI 영상에서의 달의 위치 결정

그림 8은 OSMI를 이용하여 횡 방향으로 1번 촬영했을 때의 영상을 보여준다. 영상은 가로 1044, 세로로 96개의 화소들로 구성되어 있다.

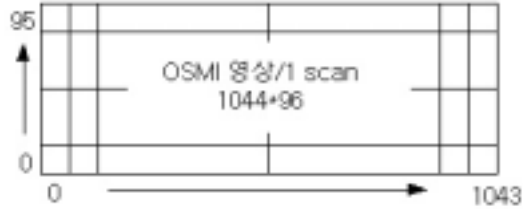


그림 8. OSMI를 이용한 cross-track 촬영

달 촬영을 위해서 OSMI는 위성체의 직하점을 기준으로 15.6°~74.4°의 범위로 촬영을 수행한다. 따라서, 66.5°~74.4° 사이의 임의의 각 α 로 입사하는 달의 영상은 식 (8), (9)를 만족하며, 좌측으로부터 대략 i 번째 화소에 맞히게 된다.

$$res = \frac{74.4^\circ - 15.6^\circ}{1044(\text{pixel})} \cong 0.056321839^\circ / \text{pixel} \quad (8)$$

$$15.6^\circ + res * i \leq \alpha \leq 15.6^\circ + res * (i+1) \quad (9)$$

한편, 위성 진행 방향에서의 달의 영상의 위치를 알아보자. 위성 진행 방향에서의 사례는 그림 6에서 q 의 값이 48km에 해당되는 경우이며, 최종적인 값은 식 (10), (11)에 의해 얻을 수 있다.

$$\alpha = 48/6378.137 \Rightarrow 0.431191^\circ \quad (10)$$

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \alpha}{1 + h/re - \cos \alpha}\right) = 4.00649^\circ \quad (11)$$

즉, OSMI는 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계의 Y축을 중심으로 -4.00649°~4.00649°의 범위에서 위성의 진행 방향으로 촬영한다. 따라서, -4.00649°~4.00649° 사이의 임의의 각 α 로 입사하는 달의 영상은 식 (12)를 만족하며, 아래로부터 대략 j 번째 pixel에 맞히게 된다.

$$res = \frac{4.00649^\circ - (-4.00649^\circ)}{96(pixel)} \cong 0.0834685416^\circ / pixel \quad (12)$$

$$-4.00649^\circ + res * j \leq \beta \leq -4.00649^\circ + res * (i+1) \quad (13)$$

따라서, OSMI 영상의 평면 좌표계에서 달의 영상은 (i, j) 위치에 위치하게 된다.

3.5 eclipse 조건

다목적 실용위성 1호가 sun time 시에 달을 촬영하는 경우에는 45°의 roll tilt에 따라 태양 전지판에 대한 태양광량이 급격히 증가하고 이는 운영과 관련된 위성체 시스템 전체에 큰 위험 요인으로 작용하기 때문에, 다목적 실용위성 1호의 안전을 고려하여 eclipse에 진입한 후, 달을 촬영하는 것이 위성 운영 차원에서 바람직하다. 다목적 실용위성 1호의 eclipse 시간은 STK를 통해서 획득할 수 있다.

3.6. 달 영상의 위상각 예측

3.6.1 지구와 달, 태양간의 기하학적 관계

그림 9는 지구, 태양, 달의 기하학적 관계에 의한 달의 위상 변화를 보여주는 그림이다. 그림 9는 지구의 ECI 좌표계의 Z축 상에서 바라본 것이다. 달의 위상은 그림 9에서처럼 크게 8가지로 나눌 수 있다.

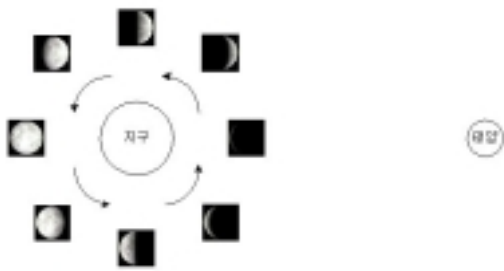


그림 9. 지구, 태양, 달의 기하학적 관계에 의한 달의 위상 변화

3.6.2 달의 위상각 계산

그림 10은 ECI 좌표계에서의 달과 태양의 위치에 의한 위상각을 보여준다. ECI 좌표계에 대해 달과 태양의 궤도면은 기울어져 있지만, 달의 위상을 결정하는 것은 XY평면상에서의 달과 태양의 위치이므로 달과 태양의 좌표를 XY 평면상에 사영한 좌표를 이용하면 달의 위상을 획득할 수 있다.

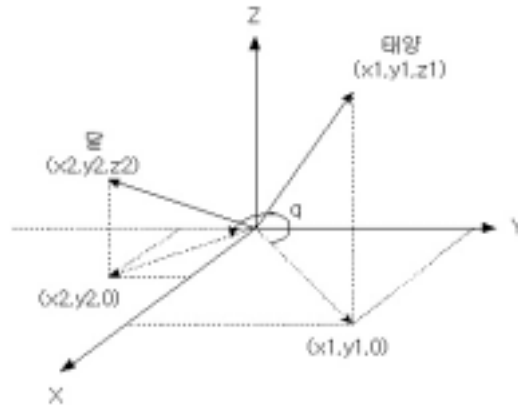


그림 10. ECI 좌표계에서의 달의 위상각

3.6.3 태양이 XZ 평면 상에 존재하도록 ECI 좌표계 회전

태양이 XY 평면 상에 존재하도록 ECI 좌표계를 회전시켰을 때, 변환된 달의 좌표는 식 (14), (15)에 의해 결정된다(그림 11).

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(-p) & \sin(-p) & 0 \\ -\sin(-p) & \cos(-p) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$p = \cos^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad (15)$$

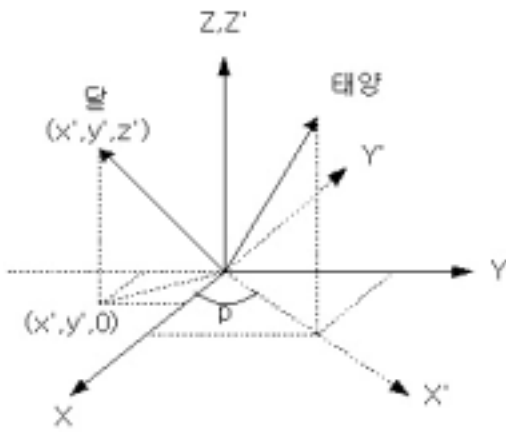


그림 11. 태양이 XY 평면에 놓이도록 좌표계 회전

4. 달 촬영 가능 시간 결정

본 절에서는 3절에서 결정된 조건들 즉, 입사 조건, OSMI 센서의 화소에서의 위치, eclipse 진입 등을 입력으로 하는 시뮬레이터를 개발, 구현하여, 이를 이용하여 2001년 1/16 ~ 1/31까지의 기간 동안의 달 촬영 가능 시간을 결정한 결과를 기술한다. 한편, 현재 운용되고 있는 OSMI 촬영 수행 명령들 중 최소 촬영 시간은 4분이다. 따라서, 위성체의 안전을 고려하여, 이미 운용 중인 OSMI 촬영 수행 명령어들을 사용하여 달을 촬영하기 위한 최종적인 달촬영 시간은 표 1과 같고, 위상각에 따른 달의 모습은 표 2와 같다. 표 1의 경우 지면 관계 상 자료의 일부를 발췌하여 정리하였다.

3.6.4 달의 위상각 결정

그림 12는 3.6.3절의 좌표계 회전 이후의 달과 태양의 새로운 좌표를 보여준다.

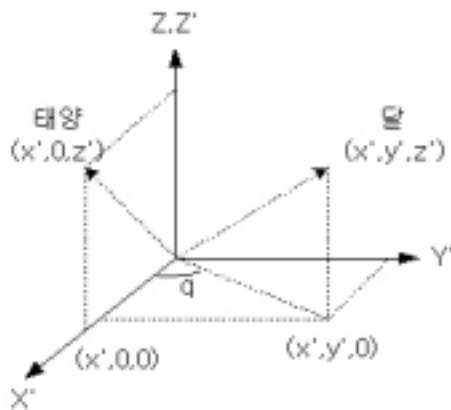


그림 12. 변환된 좌표계에서의 태양과 달의 위치

그림 12에서 태양과 달 사이의 q 에 의해 관측되는 달의 위상각은 식 (16)에 의해 결정된다.

$$q = \cos^{-1} \left(\frac{x'}{x'^2 + y'^2} \right) \quad (16)$$

표 1. 최종적인 달 촬영 가능 시간

시간(UTC)	α (도)	β (도)	열	행	위상(도)
			좌로부터	아래로부터	
16 Jan 2001 6 43 0	73.518	-2.552	15	17	265.203
16 Jan 2001 6 44 0	73.618	-1.504	13	29	265.211
16 Jan 2001 6 45 0	73.777	-0.449	11	42	265.219
16 Jan 2001 6 46 0	73.993	0.608	7	55	265.227
16 Jan 2001 6 47 0	74.267	1.664	2	67	265.234
16 Jan 2001 8 21 0	72.866	-2.549	27	17	265.969
16 Jan 2001 8 22 0	72.970	-1.469	25	30	265.977
16 Jan 2001 8 23 0	73.135	-0.382	22	43	265.985
16 Jan 2001 8 24 0	73.360	0.705	18	56	265.993
16 Jan 2001 8 25 0	73.644	1.793	13	69	266.000
16 Jan 2001 8 26 0	73.987	2.874	7	82	266.008
16 Jan 2001 9 59 0	72.196	-2.585	39	17	266.734
16 Jan 2001 10 0 0	72.302	-1.472	37	30	266.742
16 Jan 2001 10 1 0	72.470	-0.353	34	43	266.750
16 Jan 2001 10 2 0	72.701	0.767	30	57	266.758
16 Jan 2001 10 3 0	72.994	1.887	24	70	266.765
16 Jan 2001 10 4 0	73.346	3.000	18	83	266.773
16 Jan 2001 11 37 0	71.511	-2.660	51	16	267.499
16 Jan 2001 11 38 0	71.615	-1.514	49	29	267.506
16 Jan 2001 11 39 0	71.785	-0.361	46	43	267.514
16 Jan 2001 11 40 0	72.019	0.792	42	57	267.522
16 Jan 2001 11 41 0	72.317	1.945	36	71	267.530
16 Jan 2001 11 42 0	72.678	3.092	30	85	267.538

표 2. Phase 각도와 달의 위상

위상각(도)	달의 모습	위상각(도)	달의 모습
30		210	
60		240	
90		270	
120		300	
150		330	
180		360	

한편, 개발된 시뮬레이터를 이용해 계산한 달 촬영 가능 시각과 관제소의 시뮬레이터(SIM)를 이용하여 수동적으로 계산한 달 촬영 가능 시각은 표 3에서 비교되며, 두 가지 경우에 의한 결과는 최대 1° 이하의 차이를 가지며, 거의 동일함을 알 수 있다.

표 3. 관제소의 시뮬레이터를 이용한 α 와의 비교

시간 (2001년 1월 29일)	달의 위치(도)	
	관제소의 시뮬레이터 결과	개발된 시뮬레이터 결과
06: 31: 00	-67.072	-67.000
08: 10: 00	-67.860	-67.732
09: 48: 00	-68.567	-68.497
11: 27: 00	-69.315	-69.237
13: 05: 00	-70.129	-69.996
14: 44: 00	-70.875	-70.763
16: 22: 00	-71.615	-71.496
18: 00: 00	-72.375	-72.255
19: 39: 00	-73.125	-72.999

5. 성능 분석

관제소의 시뮬레이터를 이용해 수동적으로 계산한 결과와 본문에서 개발된 시뮬레이터에 의해 결정된 최종적인 달 촬영 가능 시간들에 대한 통계량은 다음과 같다.

표 4. 시뮬레이션 결과 간의 통계적 특성

두 시뮬레이터 결과 간의 오차의 평균	-0.1060
두 시뮬레이터 결과 간의 오차의 분산	0.0005
두 시뮬레이터 결과 간의 오차의 표준편차	0.0241

표 4의 오차들은 두 시뮬레이터 실험에서 사용되는 궤도 전파 방법의 차이, 참조되는 천체력 간의 오차, 끝자름 오차 등에 수반한 것들로 보이며, 달 촬영 가능 시각의 정밀도에는 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

한편, 관제소의 시뮬레이터와 개발된 시뮬레이터 간의 연산 성능을 시험해 보았다. 관제소의 시뮬레이터의 경우, 실제시간 1초당 11초의 간격으로 위성의 궤도를 전파시키면서 실시간 계산을 수행하며, 이 경우 달 촬영 가능 시각을 결정하기 위해서는 운영자가 수시로 시뮬레이터의 궤도 전파 진행 상황을 점검해야 하며, 실시간 궤도 계산에 많은 연산 시간이 소요된다. 연산 성능 시험에서는 향후 15일 동안의 결과를 획득하기 위해 필요한 연산 시간을 측정하였으며 각각에 의해 발생하는 소요 시간은 표 5와 같다.

표 5. 15일 동안의 결과를 얻기 위한 총 수행 시간 비교

관제소의 시뮬레이터	약 1963.64분
개발된 시뮬레이터	약 9분

표 5에서 알 수 있듯이, 새로 개발된 시뮬레이터의 연산 수행 성능이 관제소의 시뮬레이터의 연산 수행 성능보다 훨씬 뛰어남을 알 수 있다.

6. 결 론

본문에서는 달 촬영을 위한 고속 시뮬레이터를 개발하고 그 성능을 시험하였다. 새로 개발된 고속 시뮬레이터는 미래의 2주의 기간 동안 달 촬영이 가능한 시각들을 결정해 준다. 즉, 고속 시뮬레이터를 이용할 경우, 달 촬영 가능 시각이 빠른 시간 안에 획득되기 때문에, 임무 운용 계획 수립과 관련 위성 명령 검증 시간을 충분히 확보할 수 있다.

한편, 본문에서는 NORAD의 TLE를 이용하여 한 달 간의 달 촬영 정보를 획득했기 때문에, 시뮬레이션에 사용된 다목적 실용위성 1호의 궤도 정보는 시간에 따라 오차가 누적되어 달 촬영 시에는 실제 궤도와는 차이를 가질 것이다. 계산된 다목적 실용위성 1호의 궤도 정보는 다목적 실용위성 1호의 자세 정보에 영향을 미치며, 달 벡터의 입사각은 다목적 실용위성 1호의 동체 좌표계의 단위 벡터들의 변화에 따라 직접적인 영향을 받으므로, 우선 개발된 시뮬레이터를 이용해 달 촬영 가능 일자를 확정된 후, 위성 명령 생성 및 명령 확인, 시스템 상태 점검, 위험 요인 분석 등을 위해서는 달 촬영일 최소 5일 전에 최신의 TLE를 이용하여 다목적 실용위성 1호의 궤도 정보를 획득한 후, 최종적으로 달 촬영 시간을 결정하는 것이 바람직하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강치호, 김정아, 최해진, “다목적 실용위성 1호의 OSMI sensor의 복사 보정을 위한 달 촬영 계획 수립”, 대전, 한국항공우주연구원, 2001, pp.3-4
2. Wertz, J. E., Spacecraft Attitude Determination and Control, Netherlands, D.REIDEL Publishing Company, 1986, pp.414