

다목적 실용위성 1호의 한반도 통과시각 결정을 위한 연구 (I): 태양 및 대기 변수 조사

권태영* · 이성훈** · 오성남* · 이동한***

*시스템공학연구소, **연세대학교 천문대기학과, ***한국항공우주연구소

A STUDY FOR THE DETERMINATION OF KOMPSAT I CROSSING TIME OVER KOREA (I): EXAMINATION OF SOLAR AND ATMOSPHERIC VARIABLES

Tae-Yong Kwon*, Sung-Hun Lee**, Sung-Nam Oh*, Dong-Han Lee***

*Systems Engineering Research Institute

**Department of Astronomy and Atmospheric Science, Yonsei University

***Korea Aerospace Research Institute

(Received August 15, 1997; Accepted August 27, 1997)

요 약

다목적 실용위성 1호(KOMPSAT I)는 지도 제작, 해양 관측, 우주 과학실험 등에 활용할 태양동기 저궤도용 위성으로 1999년 8~9월에 발사될 예정이다. 본 위성에 탑재될 고해상도 전자광학 카메라(Electro-Optical Camera: EOC)의 주 임무는 한반도 표준지도 제작을 위한 위성영상정보의 획득이다. EOC 센서는 가시광선 영역의 흑백 단일 채널(510~730nm)을 통해 수직 촬영시 최소 15km 이상의 폭과 캐도당 800km의 길이를 지상 해상도 6.6m로 촬영한다. 본 연구에서는 아리랑 1호의 한반도 통과 시각을 결정하기 위하여 한반도 지역에 있어 EOC 영상에 커다란 영향을 미치는 태양 변수와 구름과 시정의 일변화를 조사하였다. 조사 결과는 다음과 같다. 1) 동지의 경우 대략 오전 10시 30분 이후 태양 천정각은 70°보다 작고, 예상되는 EOC 스펙트럼 밴드의 flux 값은 맑은 날씨 육지에서 약 2.4mW/cm²보다 크다. 2) 낮 동안의 구름의 분포(맑은 하늘의 분포)는 오전 11시 경에 최소값(최대값)을 보이며, 비록 안개에 의한 악시정의 발생 빈도는 정오로 갈수록 감소하나 맑은 하늘의 분포에 미치는 영향은 미약하다. 이러한 결과로부터 EOC 관측을 위해서는 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과 시각을 오전 10시 30분에서 11시 30분 사이에서 결정하는 것이 적합하다고 판단된다.

ABSTRACT

Korea Multi-Purpose Satellite I (KOMPSAT-I, the first multi-purpose Korean satellite) will be launched in the third quarter of 1999, which is operated on the sun-synchronous orbit for cartography, ocean color monitoring, and space environment monitoring. The main mission of Electro-Optical Camera (EOC) which is one of KOMPSAT-I sensors is to provide images for the production of scale maps of Korea. EOC collects panchromatic

imagery with the ground sample distance of 6.6m at nadir through visible spectral band of 510-730nm. For determining KOMPSAT-I crossing time over Korea, this study examines the diurnal variation of solar and atmospheric variables that can exert a great influence on the EOC imagery. The results are as follows: 1) After 10:30 a.m. at the winter solstice, solar zenith angle is less than 70° and expected flux of EOC spectral band over land for clear sky is greater than about 2.4 mW/cm^2 . 2) For daytime the distribution of cloud cover (clear sky) shows minimum (maximum) at about 11:00 a.m. Although the occurrence frequency of poor visibility by fog decreases from early morning toward noon, its effect on the distribution of clear sky is negligible. From the above examination it is concluded that determining KOMPSAT-I crossing time over Korea between 10:30 and 11:30 a.m. is adequate.

1. 서 론

우리나라는 국내 최초의 운용 지구관측 위성인 다목적 실용위성(KOMPSAT)을 개발하여 1999년 8~9월에 발사할 예정이다. 이 위성은 지도 제작, 해양 관측, 우주 과학실험 등에 활용될 태양동기 저궤도용 위성으로, 아리랑 1호(다목적 실용위성 1호)로 명명되었으며, 현재 한국항공우주연구소의 주관하에 개발되고 있다. 다목적 실용위성 1호의 제안된 궤도는 약 685km 고도와 98° 의 경사각을 갖는 태양 동주기 극 궤도로, 이미 관측위성으로 널리 사용되고 있는 Landsat이나 SPOT 위성과 거의 비슷한 궤도를 갖는다. 이 위성에 탑재될 고해상도 전자광학 카메라(Electro-Optical Camera: EOC)는 가시광선 영역의 전정색(510~730nm) 센서로 수직 촬영시 지상 해상도 6.6m로 최소 15km 이상의 폭과 궤도당 800km의 길이를 push-broom 방식으로 촬영한다. EOC의 주 임무는 한반도 표준지도 제작을 위한 위성영상정보의 획득이다(조영민과 백홍렬 1996, 한국항공우주연구소 1995).

가시광선 영역에서 관측되는 위성관측값의 근원은 태양이며, 지구 대기권 밖에 도달하는 태양 복사량, 즉 주어진 스펙트럼 밴드의 태양 입사광(incident solar radiation, insolation)은 지구와 태양의 기하학적 배열에 의해서 결정된다. 그리고, 태양 입사광은 주로 지구 대기 및 표면으로부터 반사되어 위성의 관측기에 의해서 관측된다. 이러한 과정에서 구름은 지구 대기의 반사에서 중요한 역할을 하며, 특히 다목적 실용위성 1호의 EOC 센서와 같이 지표면 관측을 주요 목적으로 하는 위성 관측에서는 결정적인 방해물이 된다. 따라서, 구름에 의한 관측의 방해를 줄이기 위하여 Landsat과 SPOT 위성 프로그램은 위성의 적도 통과시각을 비교적 맑은 날씨가 많은 이른 아침 시간대 - 오전 9시 42분(Landsat-1, 2, 3), 오전 9시 45분(Landsat-4, 5), 오전 10시 30분(SPOT-1, 2, 3) - 로 결정하고 있다(Lillesand & Kiefer 1994).

본 연구에서는 EOC 관측을 중심으로 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과시각을 결정하기 위하여 EOC 영상에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 판단되는 태양 변수와 대기 변수의 일변화를 조사하였다. 태양 변수 가운데 EOC 관측 radiance의 변화와 밀접하게 연관되어 있는 태양 천정각과 EOC 분광 영역의 태양 irradiance의 일변화를 4장에서 그리고 대기 변수 가운데 EOC 영상에 직접적인 영향을 미치는 구름광과 시정의 일변화를 5장에서 각각 분석하였다. 그리고 기존의 Landsat TM 영상

을 이용하여 분석된 태양의 천정각에 따른 예상되는 EOC 영상에 나타날 식별력의 변화는 권태영 등(1998)에 의해서 조사되었다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 다목적 실용위성 1호의 EOC 전정색 관측에 중점을 두어 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과 시각을 결정하기 위한 준비 조사를 수행하였다. 이를 위하여 EOC의 전정색 관측에 주된 영향을 미치는 변수를 태양의 천정각, 태양 입사광, 구름량과 시정, 그리고 지표면과 맑은 날씨의 대기의 반사 특성으로 나누고, 천문학적 이론과 관측 자료를 이용하여 각 변수의 값을 직접, 간접으로 계산 혹은 추정하였다. 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과 시각을 결정하는 전체적인 과정은 그림 1에 보는 바와 같다.

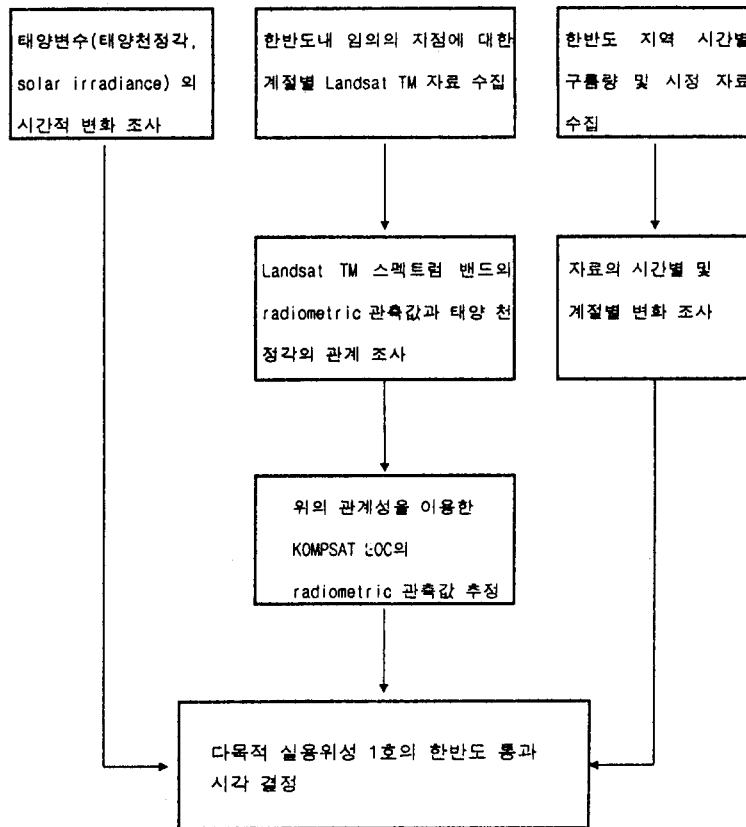


그림 1. 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과 시각 결정을 위한 조사 과정.

첫째, 태양 변수의 조사에서 태양 변수는 태양 입사광, 태양의 천정각, 지구-태양간의 거리 등으로 나누어 볼 수 있다. 태양 입사광은 태양의 천정각과 지구-태양간의 거리에 의해서 결정되며, 위성 영상의 전체적인 밝기에 주된 영향을 미치는 요소이다. 그리고 태양의 천정각은 태양 입사광의 양과 태양광의 대기 통과 길이(path length)를 결정하고, 그림자 효과와 음영 효과 등과 밀접하게 연관되어 있다. 태양광의 대기 통과 길이는 대기에 의한 태양광의 산란과 흡수 양을 결정하는 요소이며, 위성 영상의 질에 중요한 영향을 미친다. 이러한 대기 통과 길이는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 하나는 태양광이 지구 표면에 도달하는 과정에 있어서 대기 통과 길이이고, 이것은 태양 천정각에 따라 변화한다. 다른 하나는 지표면에 반사된 태양광이 위성 센서에 도달하는 과정에 있어서 대기 통과 길이이며, 이것은 위성의 지향각(viewing angle)에 따라 변화한다. 그리고 이러한 태양 변수는 주어진 지점과 관측 시각에 있어 상당한 일변화(diurnal variation) 및 계절변화(seasonal variation)를 가질 것이며, 다목적 실용위성 1호의 전정색 관측 자료에 상당한 영향을 미칠 것이다. 예를 들어, 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과 시각이 일정하게 결정될 경우, 한반도의 전정색 영상은 여름철에 비해 겨울철에 어둡게 나타날 것이고, 또한 영상의 식별도 더욱 어려워질 수 있다. 본 연구에서는 태양 변수를 천문학적 이론 및 발표된 관측자료를 이용하여 계산하였으며, 계산된 자료를 사용하여 태양 변수의 시간별 및 계절별 변화를 조사하였다.

둘째, 다목적 실용위성 1호의 EOC 전정색 밴드와 같은 가시광선 스펙트럼 영역에서는 구름 및 안개에 의한 차폐가 영상 자료를 얻는데 있어서 심각한 장애 요소로 등장한다. 따라서 이 위성의 한반도 통과 시각을 결정하기 위해서는 한반도 지역의 시간별, 계절별 구름량과 시정에 대한 조사가 요구된다. 또한 이러한 조사 결과는 지도 제작 및 탐사에 사용 가능한 EOC 관측 자료의 양을 추정하는데도 이용될 수 있을 것이다. 이를 위하여 구름량과 시정 자료는 지상에서 직접 육안으로 관측하는 육안 관측 자료를 이용하였다. 현재 구름량과 시정의 전국적인 육안 관측은 기상청과 공군 기상전대에서 수행하고 있으며, 기상청의 경우 3시간 간격으로, 공군 기상전대의 경우 1시간 간격으로 구름량의 정시 관측을 수행하고 있다. 본 연구에서는 매 시간마다의 관측으로 더욱 세밀한 일변화를 분석할 수 있는 공군 기상전대의 1985~1994년 사이의 10년간 한반도 내의 44개 지점의 구름량과 시정 관측 자료를 사용하여 구름량과 시정의 시간별 및 계절별 변화를 조사하였다.

셋째, 지표면의 반사 특성과 대기의 산란 효과 또한 가시광선 영역의 관측 자료에 주된 영향을 미치는 변수가 될 수 있다. 일반적으로 가시광선 영역에서 지표면의 반사율은 각 의존도(angle dependence)를 가지는 것으로 알려져 있으며, 지표면 반사와 대기 산란의 각 의존도에 대한 자세한 분석은 관측 자료의 부족 혹은 자료 수집의 어려움으로 현재 많은 문제점을 내포하고 있다. 임의의 시각에서 관측될 다목적 실용위성 1호의 전정색 radiance 값의 계절 변화를 추정하기 위하여 기존의 Landsat 관측 자료를 사용하였으며, 태양 천정각의 변화에 따른 예상되는 EOC 영상에 나타날 식별력의 변화는 권태영 등(1998)에 의해서 조사되었다.

3. 태양 변수의 계산

위성에서 관측되는 가시광선 영역의 영상 자료는 지구 대기계에서 반사되는 태양 광선에 의해서 결정되어지므로 지구로 입사하는 태양 광선 양의 변화는 위성 영상의 밝기와 대조에 상당한 영향을 미칠 것이다. 지구에 입사하는 지구 대기권 밖에서의 태양 입사광(insolation)의 양(S)은 지구 표면을 plane-parallel하다고 가정할 때,

$$S = S_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 \cos \theta \quad (1)$$

이다. 여기서 변수 S_0 는 1 AU에서 태양의 irradiance, d 는 태양-지구간 거리, d_0 는 태양-지구간 평균거리(1AU), θ 는 태양의 천정각의 값을 나타내며, 이들 값의 크기에 따라 태양으로부터 지구로 입사하는 태양 입사광의 양이 결정되어진다. 주어진 spectral band의 태양 irradiance(S_0)는 지구 대기권 밖에서 단위면적 1cm^2 당 입사하는 태양 광선의 세기를 mW 단위로 나타낸 값이다. 일반적으로 Landsat이나 SPOT과 같은 기존의 지구 관측위성의 경우에는 이들에 탑재된 관측 센서의 각 파장 영역에 해당하는 태양의 irradiance 값이 이들 위성의 운영 기관으로부터 제공된다(EOSAT 1986).

본 연구에서는 다목적 실용위성 1호에 의해서 측정되는 영상 자료의 질과 양의 추정에 그 목적이 있으므로, 여기에서는 이 위성에 탑재될 EOC의 전정색 밴드에 대한 태양 irradiance의 값을 계산하였다. EOC의 밴드 영역은 $0.51\sim 0.73\mu\text{m}$ 이며, 이 스펙트럼 영역에 입사하는 S_0 값은 Thekaekara(1974)와 Lowtran 7의 자료(Kneizys et al. 1988)를 이용하였을 때 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_0 &= 34.9233(\text{mW}/\text{cm}^2) \text{ (Thekaekara)} \\ &= 36.6649(\text{mW}/\text{cm}^2) \text{ (Lowtran 7)} \end{aligned}$$

본 연구에서는 스펙트럼 분해능이 상대적으로 보다 좋은 Lowtran 7의 결과를 사용하여 계산하였다.

이미 잘 알려져 있는 바와 같이 지구는 태양 주위를 1년에 1바퀴씩 공전한다. 만약 지구가 태양 주위를 원 궤도로 공전한다면 그들 사이의 거리는 변화가 없이 항상 일정하겠지만, 실제로는 지구가 0.016718의 이심률을 갖는 타원 궤도를 따라 움직이기 때문에 매 순간마다 그들 사이의 거리가 변화하게 된다. 이 거리의 변화는 지구가 근일점에 있을 때와 원일점에 있을 때에 있어서 태양의 irradiance에 약 7% 정도의 차이를 일으킨다.

Kepler의 궤도 방정식에 의하면 어느 순간의 태양-지구간 거리는

$$d = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos f} \quad (2)$$

와 같은 식으로 표현된다. 이 경우 지구 궤도의 반장경 a 와 이심률 e 는 항상 상수 값을 갖지만 진근점 각 f 는 시간에 따라 계속 변화하므로, 결국 이러한 진근점각의 값에 따라 그 순간의 태양-지구간 거리가 결정되어진다. 여기서, 진근점각 f 는 지구의 근일점에서 동경 벡터로부터 현재 지구의 위치까지 회전한 각으로 정의된다.

본 연구에서는 일정한 각속도로 지구 주위를 원운동하는 평균태양을 가정하고, 이 평균태양의 운동으로부터 평균 근점각 M 과 이심 근점각 E 를 계산하였다. 이 결과를 Kepler 방정식

$$E - e \sin E = M \tag{3}$$

에 대입하여 Newton-Rapson 방법으로 해를 구함으로써 임의의 시각에 있어서의 태양의 진근점각 f 를 계산하였다(McCuskey 1963).

태양의 천정각(solar zenith angle)은 우리가 일반적으로 생각하는 태양의 고도와는 반대적인 개념을 나타내는 값이다. 어떤 관측자가 지평 좌표계 내에서 태양의 고도를 말할때 이 값은 지평선으로부터 수직으로 태양까지 측정한 각 거리를 의미한다. 반면에 천정각이라는 것은 이와는 반대로 관측자가 천정으로부터 수직으로 태양의 위치까지 측정한 각거리를 의미하며, 이것은

$$\text{태양의 천정각} = 90^\circ - \text{태양의 고도}$$

와 같은 값을 갖는다.

일반적으로 태양의 고도를 계산하기 위해서는 황도 좌표계에서 시간에 따른 태양의 위치를 결정하여 이것을 현재 관측자가 있는 지평 좌표계로 바꾸어주는 과정이 필요하며, 태양 천정각은 다음과 같이 계산된다(Green 1985):

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \sin \varphi \cos z + \cos \varphi \sin z \cos A \\ \cos z &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \delta \cos \varphi \cos H \end{aligned} \tag{4}$$

이 식에서 φ 는 관측자의 위도, δ 는 태양의 적위, A 는 태양의 방위각, H 는 태양의 시간각을 나타내며, z 는 지평 좌표계에서 태양의 천정각을 의미한다. 또한, 태양의 위치를 결정하는데 있어서 지구가 태양 주위를 공전하는 동안 받게 되는 다른 행성들에 의한 섭동과 춘분점의 세차운동은 van Flandern & Pulkkinen(1979)의 low-precession formula를 사용하여 보정해 주었다. 이 방법은 천체력 등의 보조 자료 없이 직접적인 계산에 의하여 적도 좌표계 상의 태양의 위치를 결정해 주는 방법이다(오성남 등 1996, 이성훈 1996).

4. 태양 변수의 변화 조사

한반도에 입사하는 태양광의 변화를 조사하기 위하여 태양의 천정각과 EOC 스펙트럼 영역의 태양 입사광의 시간적 변화를 계산하였다. 이를 위해 서울 지역, 북위 37.5도와 동경 127.03도의 오전 10시 30분에 있어 태양 변수들의 연변화를 계산하였으며, 동지인 12월 22일과 하지인 6월 22일의 오전 9시에서 오전 12시 사이의 매 30분 간격으로 태양 변수들의 시간적 변화(temporal variation)를 계산하였다. 이 결과는 그림 2, 3, 4에 각각 나타난다.

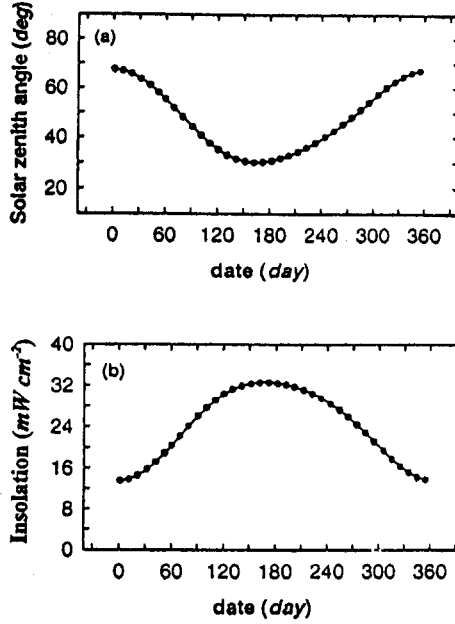


그림 2. 서울지역 오전 10시 30분의 태양 천정각과 태양 입사광의 연변화.

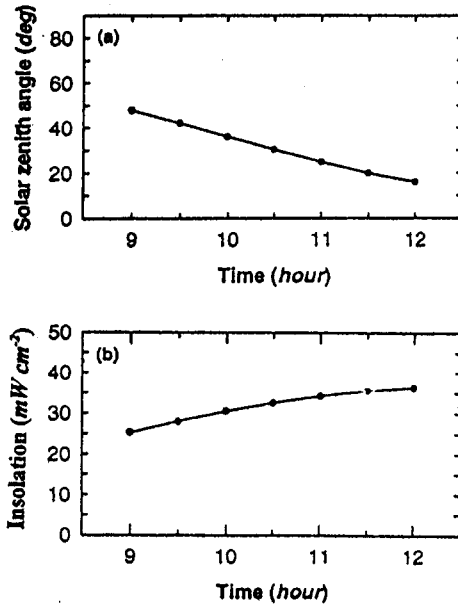


그림 3. 서울지역 하지의 태양 천정각과 태양 입사광의 일변화(오전 9시-12시).

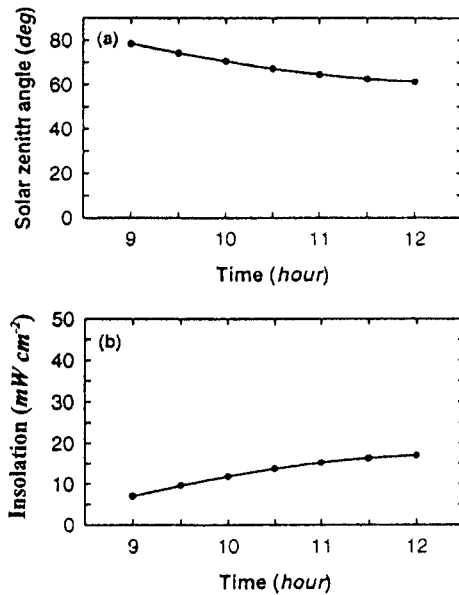


그림 4. 서울지역 동지의 태양 천정각과 태양 입사광의 일변화(오전 9시-12시).

4.1 태양 천정각의 변화

그림 2(a)는 서울 지역의 오전 10시 30분에 있어 태양 천정각의 연변화를 보여준다. 이 그림에서 태양 천정각은 1월부터 시간이 경과함에 따라 그 값이 점차 감소하기 시작하여 하지에서 최소가 된 후, 다시 증가하여 동지에서 최대값을 나타낸다. 그림 3(a)와 4(a)는 하지와 동지에 있어서 태양 천정각의 시간에 따른 변화를 보여준다. 이 그림에서 태양 천정각의 값이 오전 9시와 오전 12시 사이에서 계속 완만하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 하지의 경우, 태양 천정각의 값이 오전 9시에서 약 48° 정도이던 것이 시간에 따라 천천히 감소하여 정오에는 약 16°의 값을 갖는다. 마찬가지로, 동지의 경우에 있어서도 태양 천정각의 시간에 따른 변화는 비슷한 양상을 보이지만, 그 값은 오전 9시와 정오의 경우 각각 78°와 60° 정도로 하지의 경우에 비해 상당히 큰 값을 갖는다. 한편 계산 과정에서 하지를 6월 22일로 설정하여 계산 결과에 다소의 오차가 발견된다.

본 연구에서는 하지와 동지의 서울(37°.5N, 127°.03E)과 한반도 최북단 지점(43°.0N, 130°.1E)에 대한 태양 천정각의 변화를 오전 9시 30분부터 오전 11시 30분까지 30분 간격으로 자세히 살펴보았으며, 그 결과를 표 1과 2에 정리하였다. 표 1을 보면 서울지역의 경우 오전 9시 30분과 오전 10시 30분에서의 태양 천정각은 동지 때 각각 74°.24와 67°.16의 높은 값을 보여준다. 여기서 다시 한번 태양 천정각과 위성 영상의 질의 단순한 관계성을 돌이켜 보면, 태양 천정각은 태양광의 대기 통과 길이, 대기의 산란과 흡수 양, 그리고 그 시각에 관측된 위성 영상의 질과 차례로 연관되어 있다. 즉 태양 천정각이 커지면 태양광의 대기 통과 길이가 길어지고, 태양광의 대기 통과 길이가 길어지면 대기의 산란과 흡수 양은 증가하고 그리고 대기의 산란과 흡수 양이 증가하면 그 때 얻어진 위성 영상의 질은

표 1. 서울지역 태양 변수의 시간적 변화 (37°.5N, 127°.03E).

		9시 30분	10시	10시 30분	11시	11시 30분
Summer solstice	Solar zenith angle (deg.)	42.10	36.23	30.49	25.01	20.06
	Insolation ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$)	28.09	30.54	32.63	34.31	35.56
Winter solstice	Solar zenith angle (deg.)	74.24	70.44	67.16	64.49	62.50
	Insolation ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$)	9.64	11.87	13.77	15.68	16.38

표 2. 한반도 최북단 지점 태양 변수의 시간적 변화 (43°.0N, 130°.1E).

		9시 30분	10시	10시 30분	11시	11시 30분
Summer solstice	Solar zenith angle (deg.)	40.77	35.57	30.65	26.23	22.62
	Insolation ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$)	28.67	30.79	32.57	33.96	34.95
Winter solstice	Solar zenith angle (deg.)	76.85	73.61	70.89	68.76	67.27
	Insolation ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$)	8.07	10.00	11.61	12.85	13.71

낮아진다.

ERBE(Earth Radiation Budget Experiment)의 사용자 지침서에는 위성의 지향 천정각(viewing zenith angle)이 70°이상이 되는 경우에는 대기에 의한 산란이 매우 커지므로 자료 처리과정에서 그때의 관측 자료를 제외하고 있다(ERBE 1987). 또한 reciprocity의 원리에 의하면, 태양 천정각과 위성의 지향 천정각은 그 값이 서로 바뀌어도 이때 입사하는 복사량과 반사되는 복사량 사이의 비에는 변화가 없다(van de Hulst 1980). 따라서 위성관측 영상에 나타난 산란 효과를 평가할 때, 태양 천정각과 위성 지향 천정각은 비슷한 판단 기준으로 사용될 수 있다. 그러므로 동지 때 오전 9시 30분에서의 태양 천정각은 위성으로부터 높은 질의 영상 자료를 얻기에는 너무 큰 값이라고 볼 수 있다. 더구나 참고로 나타낸 한반도 최북단의 경우에는 동짓날 오전 9시 30분에서의 태양 천정각이 최고 76°.9까지 커지고 오전 10시 30분의 경우에도 70°.9로 ERBE에서 밝힌 70°를 상회함으로써, 한반도 전체에 대해서 보다 좋은 영상을 얻기 위해서는 다목적 실용위성 1호의 한반도 통과는 적어도 오전 10시 30분 이후에 이루어지는 것이 적절하다고 판단된다.

4.2 태양 입사광의 변화

그림 2(b)는 오전 10시 30분에 있어 태양 입사광의 연변화(annual variation)를 나타내며, 그림 3(b)와 4(b)는 하지와 동지에 있어서 태양 입사광의 시간에 따른 변화를 보여준다. 이 그림을 보면 태양 입사광의 값은 태양 천정각과는 반대되는 모습을 보여서 하지에서 최대값을 갖고, 이 값을 중심으로

표 3. 태양 천정각에 따른 ERBE의 알베도 모델.

Solar zenith angle	60°~66°	66°~73°	73°~79°
Over land	0.186	0.205	0.231
Over ocean	0.133	0.161	0.203

로 좌우로 갈수록 대칭적인 형태로 그 값이 감소하여 동지에서 최소값을 나타낸다. 마찬가지로, 하루 동안의 일변화도 태양 천정각과 반대의 경향을 보여 오전 중에는 시간이 증가함에 따라 그 값이 점점 증가하는 모습을 보인다. 이와 같이 태양 입사광은 태양 천정각과 서로 반대적인 변화 추이를 보이며, 주로 태양 천정각의 값에 따라 그 값이 결정되어진다.

또한 태양 천정각의 변화는 입사하는 태양광의 대기 및 지표면에 의한 반사와 산란에 영향을 줄 것이다. ERBE의 광대역 밴드 자료로부터 얻어진 결과(ERBE 1987)에 의하면 알베도(planetary albedo)는 태양 천정각이 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보인다(표 3). 이와 같은 알베도의 증가는 태양 입사광의 반사량을 증가시켜서 결국 위성에서 받아들이는 radiance의 양을 증가시킬 것이다. 하지만 실제의 경우 표 1과 2에서 보듯이 태양 천정각의 증가에 따라 지구에 입사하는 태양 입사광의 양이 보다 더 급격히 감소하므로 결과적으로 EOC 센서에 들어오는 radiance의 양은 태양 천정각의 증가에 따라 감소하게 될 것이다.

위성의 센서가 받아들이는 radiance의 양은 지구로 입사하는 태양 입사광과 알베도의 곱에 비례하며, 태양 고도각의 크기가 어느 정도 이상이 되면 radiance의 값이 너무 작아져서 EOC 센서에 의한 인식이 어려워질 것이다. 서울의 경우 다목적 실용위성 1호의 EOC가 받아들일 것으로 예상되는 복사량(flux 값)은 오전 9시 30분과 10시 30분에 각각 2.23, 2.83 mW/cm²이며, 한반도 최북단의 경우에는 1.86, 2.38 mW/cm²이다. 여기에서 계산된 위성 센서의 스펙트럼 밴드 복사량(flux 값)은 단순히 해당되는 스펙트럼 밴드의 태양 입사광과 ERBE의 맑은 날씨 육지에서의 대기 상층 알베도의 곱으로부터 얻어진다.

5. 구름과 시정 자료의 분석

다목적 실용위성 1호의 EOC 전정색 밴드와 같은 가시광선 스펙트럼 영역에서는 구름 및 안개에 의한 차폐가 영상 자료를 얻는데 있어서 심각한 장애 요소로 등장하며, 따라서 이 위성의 한반도 통과 시각을 결정하기 위해서는 한반도 지역의 시간별, 계절별 구름량과 시정에 대한 조사가 요구된다.

일반적으로 구름량을 측정하는 방법에는 크게 인공위성을 이용하는 방법과 지상에서 육안으로 직접 관측하는 방법의 두 가지가 있다. 이 중 지상에서 직접 육안으로 관측하는 방법의 경우, 그 관측 자료는 관측자 개개인의 주관에 따라 서로 상당한 차이를 가질 수 있다. 그러나, 만약 이러한 관측을 주어진 지역에서 여러 사람들에 의해 수행한 후 평균을 취한다면, 이러한 주관적인 오차는 서로 상쇄되어 어느 정도 신뢰도를 갖는 관측 자료를 얻을 수 있을 것이다. 이와 같은 육안 관측은 현재 기상

청과 공군 기상전대에서 수행하고 있으며, 기상청의 경우 3시간 간격으로, 공군 기상전대의 경우 1시간 간격으로 구름량의 정시 관측을 수행하고 있다. 이 연구에서는 매 시간마다의 관측으로 더욱 세밀한 일변화(diurnal variation)를 분석할 수 있는 공군 기상전대의 구름량과 시정 관측 자료를 사용하여 구름량과 시정의 시간별, 계절별 변화를 분석하였다.

5.1 구름량과 맑은 날의 빈도 조사

본 연구에서는 공군 기상전대의 전국 44개소 관측소에서 관측한 10년(1985~1994)간의 구름량 자료를 이용하여 한반도의 시간별 및 계절별 구름량 분포를 조사하였다. 이 조사에 사용된 구름량은 0에서 8까지 1/8 구름 분포의 단위로 관측된 10년간의 구름량 자료를 백분율로 환산하여 평균한 값이다. 구름량의 24시간 시간별 분포, 즉 일분포(diurnal distribution)는 그림 5(a)에 나타나 있는 바와 같이 낮과 밤 사이에 아주 분명한 차이를 보여준다. 밤에는 구름량이 약 50% 정도로 상대적으로 작은 값을 갖고, 낮에는 약 56% 정도로 비교적 큰 값을 가지며 평탄한 형태를 나타낸다. 특히 우리가 관심을 갖는 낮 동안의 구름량 변화를 보면 일출을 전후한 오전 8시경에 약 60% 정도로 최대값이 나타나며, 최소값은 오전 11시경에 약 56% 정도의 값으로 나타난다. 그리고 그림 5(b)은 구름량의 연분포(annual distribution)를 보여준다. 이 그림에서 7월에 약 75%로 뚜렷한 최대치가 나타나고, 7월을 기준으로 대칭적으로 감소하여 겨울 즉 약 반년(10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 5월)에서 비슷하게 약 46%의 구름량이 나타난다.

구름량의 일변화를 보다 자세하게 조사하기 위하여 구름량의 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울) 일변화를 조사하였다(그림 6). 여기서 봄은 3, 4, 5월에, 여름은 6, 7, 8월에, 가을은 9, 10, 11월에 그리고 겨울은 12, 1, 2월에 해당된다. 그림에서 구름량의 계절별 일변화를 나타내는 4개의 곡선은 전체적으

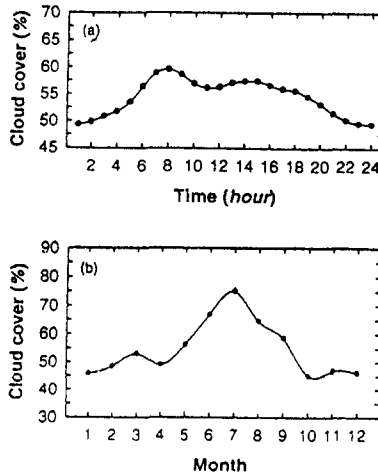


그림 5. 평균 구름량(%) -44개 관측 지점의 10년 구름 관측자료의 평균값의 일변화(a)와 연변화(b).

표 4. 계절별 평균 구름량(%)의 일변화(오전 9-12시).

	9시	10시	11시	12시
봄	55.9	54.3	54.0	54.4
여름	72.5	71.1	70.7	71.1
가을	55.3	53.0	51.9	52.1
겨울	50.3	48.8	47.6	47.4
연평균	58.6	56.9	56.1	56.3

로 서로 유사한 형태의 분포를 나타내며, 최대값은 뚜렷이 나타나는 반면 최소치는 그렇게 두드러지지 않는다. 구름량의 시간별 최대치는 여름의 경우 오전 7시경에 나타나는데, 이 값은 봄, 가을, 겨울의 순으로 태양의 일출 시간에 비례하여 약간씩 늦어지는 경향을 보여서 겨울의 경우에는 오전 9시경에 최대값이 나타난다. 구름량의 시간별 최소치 역시 뚜렷하지는 않지만 이와 유사한 경향을 보이며, 여름의 경우 오전 11경에, 겨울의 경우 오전 12시경에 최소값이 나타난다.

구름량의 계절별 일변화에서 낮 동안의 구름량이 최소가 되는 시각을 조사하기 위하여 9시부터 12시까지 한시간 간격으로 구름량의 수치 값(%)을 표로 작성하였다(표 4). 이 표에서 낮 동안의 구름량은 봄, 여름 그리고 가을의 경우 오전 11시에 각각 54.0%, 70.7%, 51.9%로 최소값을 가지며, 겨울의 경우 12시에 47.6%로 최소값을 가진다. 그리고 구름량의 연평균 값은 오전 11시에 56.1%로 낮 동안에 가장 낮다.

지금까지 구름량의 시간별 및 계절별 변화를 분석하였다. 그러나, 이러한 구름량의 분석이 반드시 양질의 위성 영상 자료를 얻을 수 있는지에 대한 절대적인 판단 기준이 된다고는 할 수 없다. 구름량의 조사는 구름의 10년 간의 통계적인 양을 나타낼 뿐이며, 이들의 공간적인 분포를 나타내고 있는 것은 아니다. 따라서, EOC 영상 획득의 가능성과 빈도를 예측하기 위해서는 단순히 구름량의 통계적인 분석보다는 구름이 적은 날이 나타나는 빈도수를 분석하는 과정이 보다 더 요구되어진다. 이를 위하여 본 연구에서는 위성에서 지상을 관측할 때 구름에 의한 영향을 적게 받아서 충분한 관측

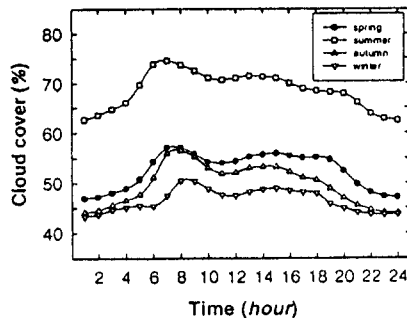


그림 6. 계절별 평균 구름량(%) -44개 관측 지점의 10년 구름 관측자료의 평균값-의 일변화.

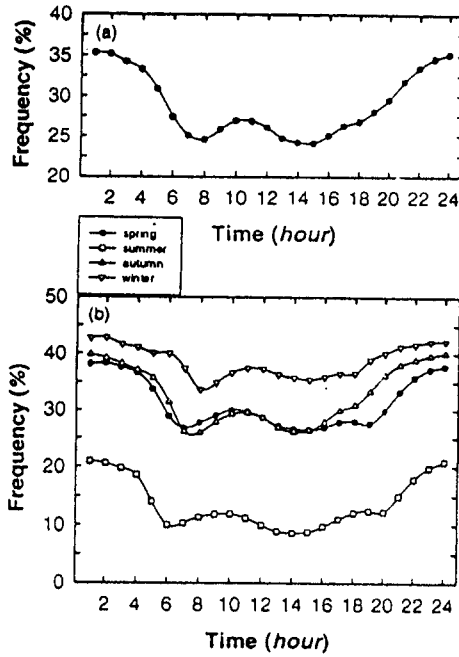


그림 7. 구름량이 1 octa 이하인 맑은 날의 발생빈도(%)의 일변화; (a) 전체 평균값과 (b) 계절별 평균값.

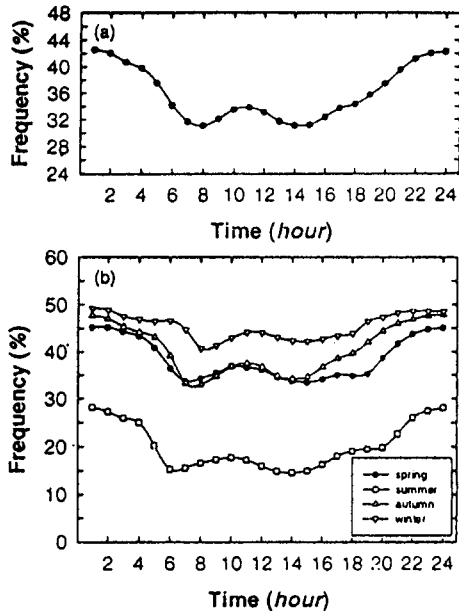


그림 8. 구름량이 2 octa 이하인 맑은 날의 발생빈도(%)의 일변화; (a) 전체 평균값과 (b) 계절별 평균값.

표 5. 구름량이 1 octa 이하인 맑은 날의 발생빈도(%)의 계절별 일변화(오전 9-12시).

	9시	10시	11시	12시
봄	29.0	30.1	29.7	28.8
여름	11.9	11.9	11.3	10.0
가을	27.8	29.3	29.5	28.6
겨울	34.9	36.6	37.5	37.4
연평균	25.8	26.9	26.9	26.1

자료를 얻을 수 있을 것으로 생각되어지는 맑은 날의 개념을 구름이 전 하늘의 1/8이하를 덮고 있는 경우(구름량이 1 octa 이하), 1/4이하를 덮고 있는 경우(구름량이 2 octa 이하) 등으로 정의하였다. 그리고 이들 각각에 대하여 시간별 및 계절별로 나누어 그 빈도 분포를 조사하였다(그림 7과 8).

그림 7(a)는 맑은 날(구름량이 1 octa 이하의 경우)의 발생 빈도의 일변화를 보여준다. 이러한 일변화는 그림 5(a)에 나타난 구름량의 일변화와는 반대적인 경향을 보여서 밤 동안에 약 35% 정도의 높은 빈도를 갖고, 낮에는 이보다 상대적으로 낮은 약 25%의 빈도를 갖는다. 이는 구름량과 맑은 날의 발생 빈도가 서로 반대되는 관계에 있기 때문이다. 낮 동안의 일변화의 경우 오전 11시 경에 약 27% 정도의 최대값이 뚜렷이 나타나고, 이를 중심으로 하여 오전 8시와 오후 3시경에 약 25%의 빈도를 갖는 최소값이 대칭으로 나타난다. 그림 7(b)에는 계절별 일변화가 나타나 있으며, 이 결과 역시 그림 5(b)와는 서로 반대의 경향을 갖는다. 계절별로 낮 동안의 빈도수 변화는 겨울의 경우 최대 약 38%, 최소 약 33%를 나타내고, 봄, 가을을 거쳐 조금씩 감소하여 여름에는 최대 약 12%, 최소 약 8%를 나타낸다. 계절별로 이들의 최대가 나타나는 시각은 겨울과 가을의 경우 오전 11시, 봄의 경우 오전 10시, 여름의 경우 오전 9시이다. 이상과 같은 맑은 날의 발생 빈도의 일변화는 맑은 날의 정의를 구름량이 2 octa 이하의 경우로 확대하였을 때도 거의 비슷하게 나타난다(그림 8). 그러나 맑은 날의 발생 빈도는 octa 수의 증가와 함께 전체적으로 증가한다.

이와 같은 결과는 Hahn *et al.* (1995)의 전구에 대한 구름량 분포 분석에서 한반도의 경우 오전 9시에 구름량이 최대치를 갖는다는 결과와 비슷하게 일치하고 있다. Hahn *et al.* (1995)의 경우는 구름량 분석을 위하여 매 3시간마다의 관측 자료를 사용하였으므로 그 결과에 상대적으로 세밀성이 결여되어 있다. 그럼에도 불구하고 결과 검토에 사용될 과외 자료를 얻는 데 어려움이 있어, 본 연구 결과의 검토를 위하여 Hahn *et al.* (1995)의 결과가 비교에 이용되었다.

맑은 날의 발생 빈도는 다목적 실용위성 1호의 EOC 센서가 양질의 위성영상을 얻을 수 있는 확률과 밀접히 연관되어 있으며, 또한 이 위성의 제도 수명(최소 3년)동안 획득할 수 있는 양질의 EOC 영상의 양을 추정하는데 유용하게 이용될 것이다. 보다 자세한 분석을 위하여 맑은 날의 발생 빈도를 계절별로 그리고 오전 9시부터 12시까지 시간별로 그리고 1과 2 octa 각각에 대하여 표로 작성하였다(표 5과 6). 구름량이 1 octa 이하인 맑은 날의 발생 빈도는 오전 9시부터 12시 사이에 있어 봄에 30.1%(10시), 여름에 11.9%(9시와 10시), 가을에 29.5%(11시) 그리고 겨울에 37.5%(11시)의 최대값을 가진다. 그리고 연평균 발생 빈도는 10시와 11시에 26.9%의 최대값을 가진다. 구름량이 2 octa

표 6. 구름량이 2 octa 이하인 맑은 날의 발생빈도(%)의 계절별 일변화(오전 9-12시).

	9시	10시	11시	12시
봄	35.5	36.9	36.7	36.1
여름	17.3	17.8	17.3	16.0
가을	34.8	36.9	37.6	36.8
겨울	41.3	42.9	44.1	44.1
연평균	32.1	33.5	33.8	33.1

이하인 맑은 날의 경우, 발생 빈도의 최대값은 봄, 여름, 가을, 겨울, 연평균 각각에 있어 36.9%(10시), 17.8%(10시), 37.6%(11시), 44.1%(11시와 12시), 33.8%(11시)이다.

이상과 같은 구름량과 맑은 날의 발생 빈도의 분석 결과에서 낮 동안의 특히 오전 중에 있어 구름량의 최소값은 대략 오전 11시에 나타나며, 맑은 날의 발생 빈도(구름량이 1 octa, 2 octa 이하인 각각의 경우)도 대략 오전 11시에 최대값을 보여준다.

5.2 악시정의 빈도 조사

위성관측 영상에 영향을 미치는 중요한 요소 가운데 하나는 안개이다. 일반적으로 안개의 발생 빈도는 시정 관측 자료로부터 얻어질 수 있는데, 특히 맑은 날에 있어 안개의 발생 빈도는 악시정의 발생과 밀접하게 연관되어있다. 악시정의 발생 빈도를 조사하기 위하여 공군 기상전대의 1985~1994년 사이의 10년간의 남한의 44개 지점의 시정 관측 자료를 분석하였다. 그림 9(a)와 (b)는 시정이 1 mile 이하인 경우의 발생 빈도의 연평균과 계절별 일변화를 보여준다. 악시정(시정이 1 mile 이하) 발생 빈도의 연평균 일변화에서 최대 빈도는 오전 7시에 나타나며, 정오로 갈수록 감소하는 경향을 보인다.

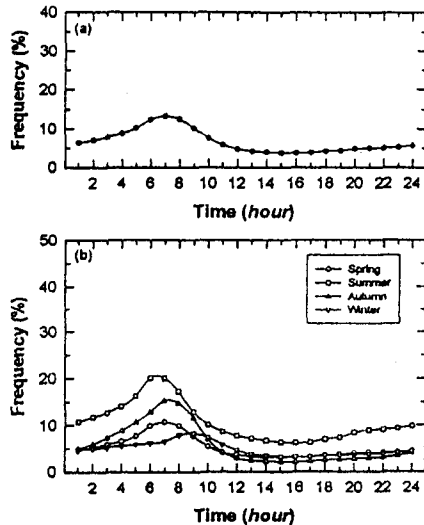


그림 9. 시정이 1 mile 이하인 악시정의 발생빈도(%)의 일변화; (a) 전체 평균값과 (b) 계절별 평균값.

한편 악시정 발생 빈도의 계절별 일변화는 대체적으로 연평균 일변화와 비슷한 경향을 보이며, 최대 빈도의 발생 시각은 여름의 경우 오전 6와 7시이고, 겨울의 경우 오전 9시로 태양의 일출 시간에 비례하여 늦어진다. 이러한 변화는 최대 구름량의 발생 시각과 잘 일치하고 있다.

식별이 가능한 EOC 영상 관측자료의 양에 미치는 안개의 영향을 조사하기 위하여 시정이 1 mile 이하이고 구름 운량이 각각 1 octa, 2 octa, 3 octa 이하인 경우의 발생 빈도를 조사하였다. 오전 9시와 12시 사이에 있어 시정이 1 mile 이하이고 그리고 운량이 1 octa 이하인 경우는 약 0.1% 이하이고, 운량이 2 octa 이하인 경우는 약 0.2% 이하이며, 운량이 3 octa 이하인 경우는 약 0.5% 이하로 정으로 갈수록 발생 빈도는 감소하는 경향을 보인다. 악시정을 어떻게 규정하는가에 따라 결과는 다소 달라질 수 있겠으나, 악시정을 1 mile로 간주할 때, EOC 영상에 미치는 안개(맑은 날의 악시정)의 영향은 적으며, 대체적으로 정으로 갈수록 그 영향은 감소한다.

6. 결 론

다목적 실용위성 1호의 한반도 통과 시각을 결정하기 위하여 한반도 지역의 태양 변수와 구름과 시정의 일변화 및 계절변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 한반도 지역 태양 변수의 일변화에서 태양 천정각은 동지의 경우 대략 오전 10시 30분 이후 70°보다 작아지고, 예상되는 EOC 스펙트럼 밴드의 복사량(flux 값)은 맑은 날씨의 육지에서 약 2.4 mW/cm²보다 커진다.
- 구름량과 시정의 일변화에서 낮 동안의 구름의 분포(맑은 하늘의 분포)는 오전 11시 경에 최소값(최대값)을 보이며, 비록 안개에 의한 악시정의 발생 빈도는 정으로 갈수록 감소하나 맑은 하늘의 분포에 미치는 영향은 미약하다.
- 구름량이 12.5% (1 octa) 이하인 맑은 날의 발생 빈도는 오전 11시에 대략 30%(봄), 11%(여름), 30%(가을), 38%(겨울), 27%(연평균)이다.

이상의 결과에서, 다목적 실용위성 1호의 EOC 전정색 관측을 통해 보다 높은 질의 그리고 보다 많은 양의 영상 자료를 얻기 위해서는, 위성의 한반도 통과 시각을 오전 10시 30분에서 11시 30분 사이에서 결정하는 것이 적합하다고 판단된다.

감사의 글: 이 연구는 과학기술처가 주관하는 다목적 실용위성 개발 사업의 일부로 수행되었으며, 이를 통한 지원에 감사 드립니다. 그리고 구름량 및 시정 관측 자료를 친절하게 제공해 주신 공군 기상전대 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 권태영, 이성훈, 오성남, 최규홍 1998, 한국우주과학회지, 준비중
 오성남, 박경운, 권태영, 안충현, 이성훈, 이선구 1996, 다목적 실용위성의 활용을 위한 정책수립 연구(I) (과학기술처와 통상산업부: 서울), p.150

- 이성훈 1996, 석사학위논문, 연세대학교
조영민, 백홍렬 1996, 대한원격탐사학회지, 12, 1
한국항공우주연구소 1995, 다목적 실용위성 시스템 설계 및 개발 (I) (과학기술처: 서울), p.148
EOSAT 1986, Landsat Technical Notes (EOSAT)
ERBE 1987, Data management system, processed archival tape S-8, PAT user's guide (NASA Langley research center: Hampton Virginia), p.46
Green, R. M. 1985, Spherical astronomy (Cambridge University Press: Cambridge), p.431
Hahn, C. J., Warren, S. G. & London, J. 1995, J. Climate, 8, 429
Kneizys, F. X., Anderson, G. P., Shettle, E. P., Gallery, W. O., Abrew, L. W., Selby, J. E. A., Chetwynd, J. H. & Clough, S. A. 1988, Users guide to LOWTRAN7 (AFGL: Hanscom AFB), p.137
Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 1994, Remote sensing and image interpretation (John Wiley & Sons: New York), p.750
McCuskey, S. W. 1963, Introduction to Celestial Mechanics (Addison-Wesley pub.: Massachusetts), pp.45-53.
Thekaekara, M. P. 1974, Appl. Opt., 13, 518
van de Hulst, H. C. 1980, Multiple light scattering (Academic press: New York), p.739
van Flandern, T. C. & Pulkkinen, K. F. 1979, ApJS, 41, 391