

論文

주간 활용 별센서의 별 감지가능성 분석

나자경*, 이 유*, 김용하*

Star Detectability Analysis of Daytime Star Sensor

Jakyoung Nah*, Yu Yi* and Yong Ha Kim*

ABSTRACT

This paper discusses the daytime atmospheric conditions and the possibility of daytime star detection with the purpose of practical use of the star sensor for daylight navigation. In order to estimate the daytime atmospheric data, we use the standard atmospheric model (LOWTRAN 7), from which atmospheric transmittance and radiance from background sky are calculated. Assuming the star sensor with an optical filter to reduce background radiation, different separation angles between the star sensor and the sun are set up to express the effect of the solar radiation. As considerations of field of view (FOV) of the star sensor, the variation of the sky background radiation and the star density of the detectable star are analyzed. In addition, the integration time to achieve a required signal-to-noise ratio and the number of the radiation-caused electrons of the charge coupled detector(CCD) working as the limit to daylight application of the star sensor are calculated.

초 록

이 논문에서는 주간 항법용 별센서의 실제 활용을 목적으로 주간 대기 조건과 주간 별 감지 가능성을 논한다. 주간동안의 대기 자료를 구하기 위해 표준 대기 모델(LOWTRAN 7)을 사용했으며 그 모델로부터 배경하늘에 대한 복사와 대기투과도를 구하였다. 대기 복사량을 감소시키기 위해 광학 필터를 장착한 별센서를 가정했으며 태양 복사 효과를 나타내기 위해 별센서와 태양 사이의 다양한 분리각을 설정하였다. 별센서의 FOV에 대한 고려로서, 하늘 배경 복사의 변화와 감지가능한 별의 개수 밀도를 분석하였다. 또한 요구되는 신호 대 잡음비를 얻기 위한 노출시간과 별센서의 주간 활용 한계로서 작용하는 CCD의 복사에 의한 전자 수를 계산하였다.

Key Words : Star sensor(별센서), Daylight navigation(주간 항법), Atmospheric model (대기 모델)

1. 서 론

별센서는 3축 자세정보를 제공할 수 있는 전자광학시스템으로써 주로 위성에 활용되고 있다

* 2005년 2월 22일 접수 ~ 2005년 7월 29일 심사완료

* 충남대학교 천문우주과학과

연락처자, E-mail : euyiyu@cnu.ac.kr

대전광역시 유성구 궁동 220번지

며 지상 항법용으로 별센서를 이용하고자하는 관심이 증가하고 있다. 그러나 별센서를 항법용으로 활용하기 위해서는 별 센서의 관측환경은 야간뿐만 아니라 주간을 포함해야 하며 주간 환경은 배경하늘로부터 발생한 복사가 매우 강하기 때문에 하늘에서 별의 존재를 구별하기 매우 어려운 관측 조건이다.

주간 환경에서 별을 관측하거나 별 센서를 자세 정보 제공 수단으로 활용하기 위한 가능성 연

구들이 이루어진 바가 있으나 그 수는 적다[1,2]. Sandven[1]의 경우에는 실제로 주간에 1.6 m 지상 망원경을 사용하여 3 등급 정도의 별을 관측하였고 별의 중심찾기(centroiding)를 실시하여 μ rad 오차로 별을 추적하였다. 이 실험 관측에서 신호(별) 대 잡음(배경복사) 비를 높이기 위해 다양한 광학 필터를 적용하였고, 이와 함께 대기 난류 현상을 최소화하기 위한 수단으로 적응 광학(adaptive optics) 장치인 2축 보정(tip/ tilt) 거울 시스템을 사용하였다.

별을 주간 항법의 수단으로 사용하고자하는 연구로서는 Levine[2]의 연구가 있었다. 그 연구는 실제로 항법시스템을 구현한 것은 아니었으며 별을 항법용으로 사용하기 위한 가능성을 연구하였다. 그 연구에서 주간에 별을 관측하기 위해 제시한 시스템은 Northrop이 개발한 OWLS(Optical Wide-angle Lens Startracker)를 사용하는 것으로서 이 시스템은 빛을 선택적으로 집광할 수 있으며 충분한 별을 감지하고 별과 하늘 배경 사이의 신호 대 잡음 비를 극대화하기 위해 HOEs(Holographic Optical Elements)를 별센서의 관측 광학계로서 제시하였다.

본 연구는 Levine이 제시한 가능성을 바탕으로 실제 별을 감지할 수 있는 조건을 분석해 보았다. 분석을 위해 표준 대기 모델을 사용해서 감지 조건 계산을 위한 주간 대기 물리량들을 구하였고 그 자료를 이용하여 별센서가 별을 감지할 수 있는 조건과 그 적용한계를 알아보았다. Levine의 연구에서 언급한 주간 항성 항법시스템이 갖는 별 감지 조건은 다음과 같다.

표 1. OWLS의 별 감지 조건

광학계 유형	HOEs
전체 FOV (Field Of View)	3° FOV × 3 telescopes
감지 파장 대역	600 ~ 800 nm
센서 유형	1000 × 1000 Focal plane array
등급 한계	5 등급
집광 시간	100~1000 μ sec

II. 주간 대기물리량 계산

주간 환경 대기물리량의 계산을 위해 대기 표준 모델인 LOWTRAN7을 사용하였다. LOWTRAN7 프로그램은 대기 투과도, 대기 배경복사, 단일 산란 태양/달 복사, 직사하는 태양 휘도, 다중 산

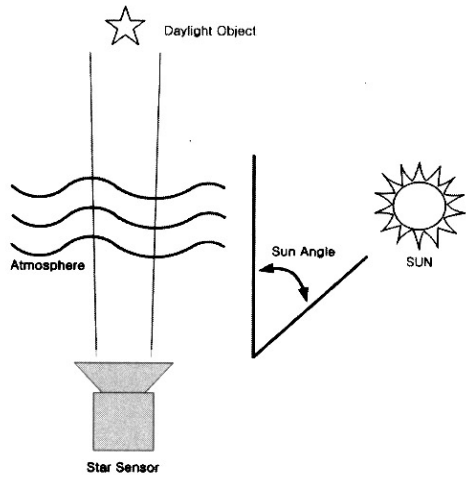


그림 1. 별센서와 태양의 기하학적 배치

란 태양복사와 열적 복사를 계산할 수 있다. LOWTRAN7이 계산할 수 있는 고도 범위는 지상에서 100 km까지이며 대기가 33개의 층을 이룬다고 가정하고 있다. 지상에서 25 km까지 1 km 간격, 25~50 km 사이는 5 km 간격, 50~70 km 사이는 10 km 간격 그리고 70~100 km 사이는 하나의 층으로 해서 각 층을 나누고 있다. 모델의 분광 해상도는 파수로 20 cm^{-1} (full width at half maximum)이고, 범위는 0 에서 $50,000 \text{ cm}^{-1}$ (파장으로 200 nm에서 무한대)이다.

주간에 별을 관측하기 있는 감지 조건을 계산하기 위해 요구되는 주요 대기특성은 각 고도별 대기 배경 복사량과 대기 투과도이다. 대기 복사는 산란 복사이므로 산란 정도를 고려하게 되는데 주간에 활용될 별 센서의 경우는 고도가 높은 경우를 예상하는 것이므로 산란 광학 깊이가 큰 다중 산란의 경우는 필요하지 않다. 따라서 모델 계산에서는 태양 빛이 한번 산란되는 단일 산란을 적용하였다. 파장 선택성(filtering)을 고려하여 적용 파장 구간을 600~800 nm로 설정하였다. 계절적 변화에 대한 고려는 각각 봄: 79 일제, 여름: 173 일제, 가을: 266 일제, 겨울: 356 일제로 설정하였다. 별센서와 태양사이의 기하학적 배치는 그림 1과 같다. 별센서는 천정을 향하고 주된 복사 광원인 태양의 천정각은 관측방향(천정)으로부터 15°, 30°, 45°, 60° 씩 떨어져 있도록 하였다. 계산이 이루어지는 고도는 대류권을 벗어나는 고도 15 km에서 90 km(열권이하)로 국한하였다. 그 밖의 입력으로서 대기 시정 및 소광 등이 모델에 적용되었다.

LOWTRAN7을 이용하여 고도와 태양 천정각

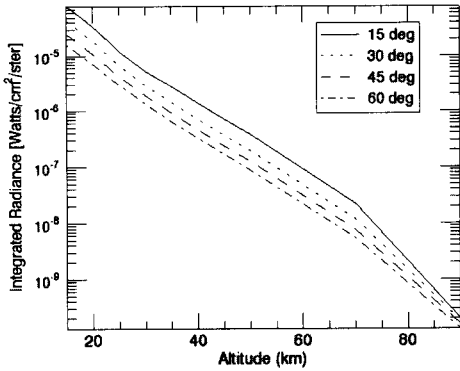


그림 2. 고도 및 태양 천정각에 따른 총 대기 복사량. 계절조건 : 가을(266 일째), 관측 파장대역 : 600 ~ 800 nm

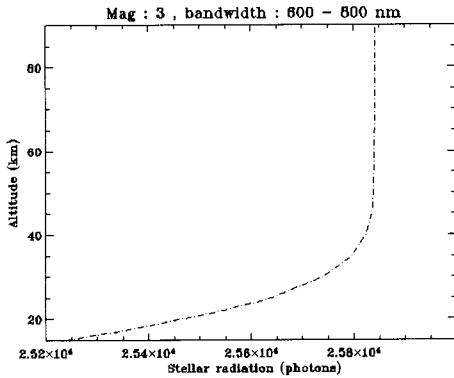


그림 3. 대기투과도를 적용한 3 등급 별(A0)의 고도별 복사량

에 따른 총 대기 복사량을 구한 결과는 그림 2와 같다. 그림 2는 계절조건, 가을(266 일째)에 대한 것이다. 이 값들은 600~800 nm 파장 구간의 총 에너지이며 단위는 Watts/cm²/steradian이다. 대기 복사는 고도가 높을수록 태양 천정각이 클수록 급격히 감소함을 알 수 있다. 시스템 평가를 위해서는 복사량을 광자 수로 변환하여 사용하는 것이 보다 용이하다. 따라서 복사에너지는 광자 수로 변환되어 계산에 사용되어진다.

LOWTRAN7에서 계산되는 또 다른 대기 물리량은 고도별 대기 투과도이다. 대기 투과도는 고려되는 모든 고도에 대해 계산되며 고도가 높아질수록 파장이 길어질수록 대기는 투명해진다. 고도별 대기 투과도는 주간 항성 감지조건을 계산할 때, 광원인 별에 적용되며 대기 투과도를 적용했을 경우, 고도별 별의 복사량 변화는 그림 3과 같은 형태로 나타난다. 대기 투과도는 고도

가 높아질수록 투명해지기 때문에 별로부터 발생한 복사는 고도가 낮아짐에 따라 조금씩 감소하게 된다. 이 연구에서 구한 계산들은 계절 조건을 가을(266 일째)로 제한하여 이루어졌다.

III. 별 감지 가능 조건

3.1 별 감지 조건식 전개

별의 감지 한계는 광원, 즉 별의 밝기와 별과 함께 입사하는 하늘 배경의 밝기, 그리고 감지기 자체가 갖는 잡음특성에 의해 결정된다. 별 이미지가 감지되었을 때 출력되는 신호는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{signal} = (nq + Nq + Dm) - (Nq + Dm)' \quad (1)$$

여기서

m : 별을 감지하는 화소 그룹의 크기

n : 집광시간동안 별로부터 감지된 광자 수

N : 집광시간동안 하늘배경으로부터 감지된 광자의 수

D : 화소당 시스템 읽기 잡음

q : CCD 센서의 양자 효율

(Nq + Dm)' : 별이 없는 이미지 영역에서 얻은 하늘 배경과 시스템의 평균 잡음

n과 N은 CCD 센서의 화소가 포화에 이르지 않는 한, 집광 시간, τ에 대해 선형 증가함으로 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$n = \frac{dn}{dt} \tau, \quad N = \frac{dN}{dt} \tau \quad (2)$$

그리고 화소 수 m은 별 센서에서 별의 위치를 구하기 위해 중심찾기 그룹을 설정할 때 그룹에 속한 화소 수를 의미한다.

출력신호와 관련된 잡음의 크기는 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\text{noise}^2 = nq + \alpha(Nq + Dm) \quad (3)$$

여기서 α = 1 + 1/k로 나타낼 수 있으며 k는 하늘배경과 시스템에서 발생한 평균 잡음을 구하기 위해 취한 화소영역의 크기를 의미하는 것으로 보통 충분히 넓은 영역에 대해 평균 잡음을 구하기 때문에 α 값은 근사적으로 1이 될 수 있다. 그러면 신호 대 잡음 비는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\frac{\text{signal}}{\text{noise}} = \frac{nq}{(nq + Nq + Dm)^{0.5}} \quad (4)$$

식 (4)의 관계로부터 요구되는 신호 대 잡음 비를 얻기 위해 필요로 하는 광원의 밝기 즉 광자의 수는 식 (5)와 같다.

$$2nq = s^2(1+r) \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4Dm}{s^2(1+r)^2}} \right) \quad (5)$$

여기서 $s \equiv \text{signal/noise}$ 이고 $r \equiv N/n$ 로서 사용된 변수는 식 (1)에서와 동일하다.

집광 시간은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = rn(dN/dt)^{-1} \quad (6)$$

주간 관측은 $r \gg 1$ 인 경우, 즉 광원으로부터 오는 광자의 수보다 배경 하늘에서 오는 광자의 수가 보다 많은 경우에 해당하므로 식 (5)는 다음 식 (7)과 같이 근사될 수 있다.

$$2nq \cong 2rs^2, \quad n = \frac{rs^2}{q} \quad (7)$$

식 (7)을 식 (6)에 대입하면 $r \gg 1, N \gg (Dm)^{0.5}$ 인 경우에 대해 집광 시간 τ 는 근사적으로 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\tau = s^2 r^2 (q dN/dt)^{-1} \text{ sec} = s^2 r (q dn/dt)^{-1} \text{ sec} \quad (8)$$

그러므로 구한 식 (8)에 앞서 구한 주간 환경 자료들을 적용하면 요구되는 신호 대 잡음 비, s 를 얻기 위한 적정 집광 시간을 구할 수 있게 된다.

3.2 FOV에 대한 고려

주간 환경에서 별의 감지 한계에 영향을 주는 요소로서 별 센서가 관측하게 되는 하늘 영역의 크기, 즉 별 센서의 FOV 크기는 매우 중요하게 작용한다. 하늘 배경복사와 별로부터 나오는 복사는 그 방향성에 있어 서로 다른 특성을 갖는다. 대기 배경 복사는 산란에 의해 발생하는 것임으로 방향성이 없으나 별로부터 오는 복사는 무한대에서 오는 것을 가정한 점광원이므로 방향성이 있다. 이러한 특성에 의해 광학계의 FOV 크기에 따라 별과 배경 복사 사이의 신호 대 잡음 비는 영향을 받을 수 있다.

그림 4는 동일한 집광인자(AT)에 대해 FOV의 변화에 따른 하늘 배경 복사를 구한 결과이다. 그림 4에서 FOV의 감소에 따라 배경 복사량이 감소됨을 알 수 있다. 배경 복사량의 감소는 신호 대 잡음 비를 증가시킴으로 FOV의 감소에 따라 주간환경에서 별을 감지할 수 있는 가능성은 커지게 된다. 그러나 FOV의 크기를 선정할

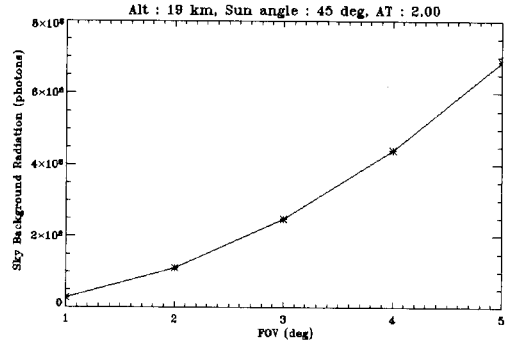


그림 4. FOV 변화에 따른 대기 배경 복사량 변화

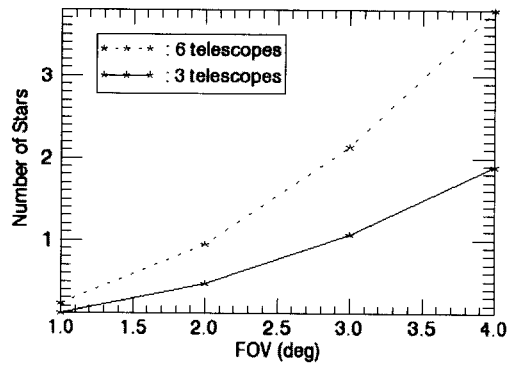


그림 5. FOV에 따라 관측되는 별의 총 개수, 관측가능 등급 : 5 mag

표 2. 등급 m보다 밝거나 같은 별의 공간 밀도

등급(m)	deg ² 당 별의 개수 밀도	deg ² 당 별의 개수 밀도(OWLS)
1	0.00036	0.0006
2	0.00121	0.0022
3	0.00422	0.0077
4	0.0126	0.025
5	0.0395	0.075
6	0.123	0.23

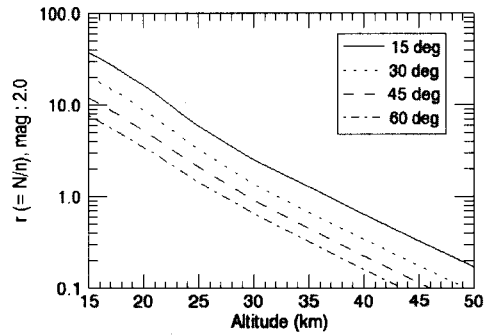
때, 고려해야 할 또 다른 사항이 있다. 그것은 선택한 FOV에 대해 요구되는 밝기의 별을 확보할 수 있는가이다. FOV 감소는 deg²당 별의 개수를 줄어든다. OWLS의 경우, 3° FOV를 갖는 3개의 광학계를 기본광학계 개념으로 설정하고 있다. 이 시스템은 하나의 구경(aperture)으로 된 HOEs를 사용하고 있으며 이 단일 구경의 광학계는 다른 세 방향에서 온 빛을 3개의 다른 광경로를 통해 3개의 다른 센서 또는 단일 센서에 별 이미지를 결상시킬 수 있게 한다. 빛을 받아들이는 곳은 하나이지만 3° FOV를 갖는 3개의 광학

계의 역할을 하게 되는 것이다. 3° FOV를 갖는 하나의 광학계로 간주하여 별의 공간 밀도를 계산해 보면 표 2와 같다. 표 2에는 Levine의 연구에서 OWLS를 사용할 경우에 얻을 수 있는 별의 공간 밀도를 함께 나타내었다.

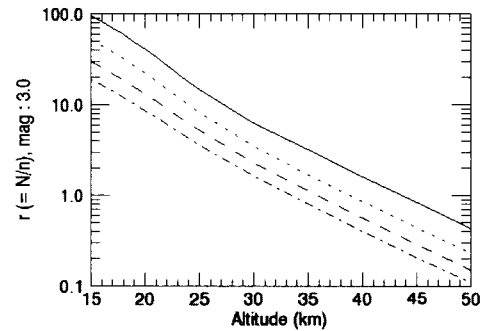
OWLS를 사용한 경우는 계산한 결과보다 약 두 배의 별 개수 밀도를 나타내고 있다. 이 결과는 Levine의 연구에서 비행체의 자세 변화의 효과가 고려해서 FOV에 별이 들어올 가능성을 두 배 이상 증가시킬 수 있을 것으로 고려했기 때문이다. OWLS에서 제시한 결과를 사용하여 3° FOV를 갖는 3개의 광학계가 감지할 수 있는 별의 등급과 개수는 5등급에 대해 2.025개이다. 이것은 자세 정보를 얻기 위해 필요로 하는 최소 별 개수이다. 만약 비행체의 운동 효과를 이용하여 관측 가능한 별의 개수를 증가시키는 방법이 이용될 수 없을 경우, 필요로 하는 광학계의 수를 두 배로 증가시켜야 할 것이다. 그림 5는 5등급의 별이 관측 가능할 경우, 각각의 FOV에 대해 3개와 6개의 광학계를 사용하여 확보할 수 있는 별의 총 개수를 나타낸 것이다.

3.3 집광시간

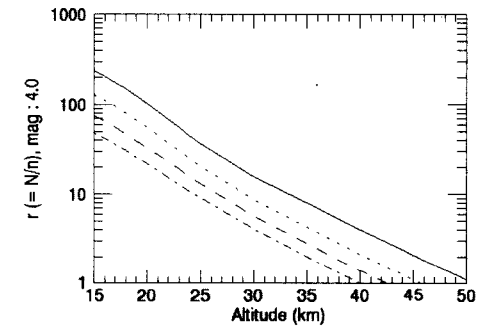
적정 집광(또는 노출)시간을 알아보기 위해 FOV와 화소 조건으로 OWLS가 갖는 3° FOV와 1024×1024 화소 수를 적용하였다. 이 조건은 0.1 화소단위의 중심찾기가 달성되면 1 arcsec의 지향 정밀도를 얻을 수 있게 한다. 중심찾기 그룹의 크기는 3×3을 사용하였고 그 그룹 크기에 해당하는 하늘 영역에 대해 발생한 대기 복사가 계산에 적용되었다. 먼저, 배경 하늘로부터 발생한 광자의 수(N)와 별로부터 발생한 광자 수(n)의 비, $r(= N/n)$ 을 고도에 따라 구해 보면 그림 6의 결과를 얻게 된다. 이 값은 3×3 화소 그룹에 감지되는 배경하늘과 별에 대한 복사량 비이다. 복사량 비는 각각 2, 3, 4, 5등급의 별에 대해 구해졌으면 별로부터 발생한 광자 수 (n)에는 표준 대기모델을 사용해서 구한 고도별 파장에 따른 대기 투과 특성이 적용되었다. 계산에 사용한 별의 분광형은 A0이다. 각 등급별로 복사량 비(r)의 변화를 살펴보면, 그 비는 태양 천정각이 클수록, 고도가 높아질수록 감소하고 있으며 계속 고도가 높아지게 되면 산란에 의해 발생한 대기 복사량보다 별에서 발생한 복사량이 우세하게 된다. 이런 특성으로 인해 적정 집광시간을 고려할 때 주의가 필요하다. 집광시간을 계산하기 위해 사용된 수식은 r 값이 충분히 큰 경우(배경이 광원보다 매우 밝은 경우)를 가정한 것임으로 r 값



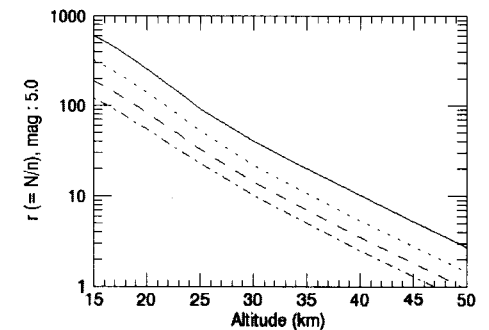
(a)



(b)

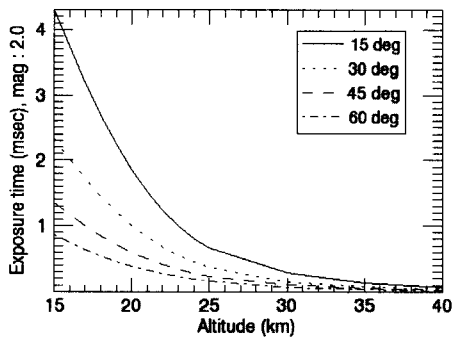


(c)

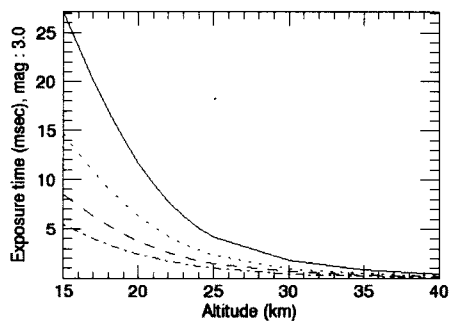


(d)

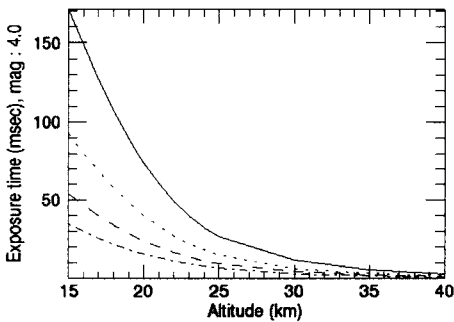
그림 6. 별(A0)의 등급과 태양 천정각 변화에 대한 고도별 배경하늘로부터 감지된 광자 수와 별로부터 감지된 광자 수의 비



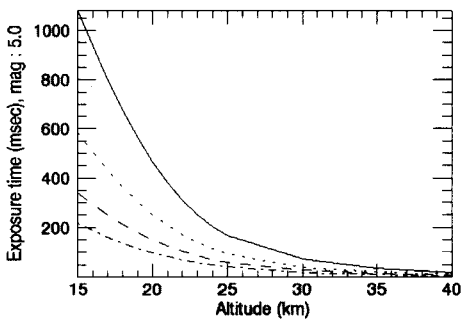
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 주간동안, 별(A0)의 등급과 태양 천정각 변화에 대한 고도별 적정 집광시간

이 10이하로 작아지기 시작하는 고도에서는 이 계산이 부정확하게 된다. 따라서 계산의 유효성은 r 값의 변화를 고려해서 판단해야 한다.

주간에 별을 관측하기 위한 적정 집광 시간은 그림 6의 결과들과 식 (8)을 사용하여 주어진 신호 대 잡음 비에 대해 계산할 수 있다. 계산에는 최소 신호 대 잡음 비로서 $s=3$ 을 적용하였다. 높은 고도에서는 대기 복사량이 감소됨으로 한번의 관측으로 $s=3$ 보다 큰 값이 가능할 수 있으나 낮은 고도에서는 단일 관측으로 충분한 신호 대 잡음 비를 얻기 힘들다. 센서의 양자 효율(q)은 E2V Technologies사 CCD47-20 AIMO의 특성을 고려하였다. 이 CCD는 600~800 nm 파장구간에서 40% 정도의 효율을 갖는다.

적정 집광시간을 별의 등급 및 고도, 태양 천정각에 따라 구해 보면 그림 7과 같은 결과를 얻게 된다. 이 결과를 살펴보면, 밝은 별의 경우는 수 msec 정도의 집광 시간으로도 3의 신호 대 잡음 비를 얻을 수 있다. 그러나 어두운 별의 경우에는 수 백 msec의 집광시간이 요구된다. 이 계산은 단순히 배경 복사량과 별에서 발생한 복사량과의 관계를 고려해서 구한 결과로서 복사에 대한 단순한 문턱값(threshold)처리 또는 짧은 노출시간을 통해 얻은 여러 이미지를 합치는 방법을 적용함으로써 신호 대 잡음 비는 향상시킬 수 있을 것이다. Levine의 연구에서는 주간에 별을 관측하기 위한 집광 시간 범위를 100~1000 μ s 정도로 설정하고 있으며 이 짧은 집광 시간 동안 얻어진 각각의 이미지들을 합쳐 별의 신호 대 잡음비를 향상시키고자 하였다. 짧은 집광 시간의 이점은 외부영향, 즉 비행체의 움직임이나 대기 불안정의 영향을 적게 받을 수 있고 센서가 포화 상태에 이르는 것을 줄일 수 있다는 것이다. 다른 관측 시점에서 관측된 여러 이미지를 합치는 것은 관성 항법장치로부터 얻어진 자세정보를 활용함으로써 가능할 것이다.

3.4 센서포화 한계

주간 별센서 운영 환경의 경우, 배경 복사량이 매우 크기 때문에 센서의 포화 현상이 쉽게 발생하게 되며, 과도한 포화로 인해 별센서의 중심찾기 성능 감소 또는 기능 상실이 발생할 가능성 또한 매우 커지게 된다. 별의 밝기와 중심찾기 성능 관계를 고려할 때, 야간환경에서 별을 관측하는 별센서의 경우에는 별 이미지의 중심화소가 포화되기 시작하는 밝기 등급보다 1~2 등급 정도의 밝기 증가 후에 주변 화소들의 포화가 발생하고 중심찾기 성능이 저하되게 된다. 그러므로

중심화소가 포화되기까지 1~2 등급의 포화 여유를 가질 수 있다. 그러나 배경 복사량이 큰 주간 환경에서는 별 이미지에 대한 중심화소 포화와 주변 화소의 포화를 발생시키는 밝기 차이가 크지 않기 때문에 중심 화소가 포화하기 시작하는 밝기를 근사적으로 센서포화 한계로 설정할 수 있을 것이다.

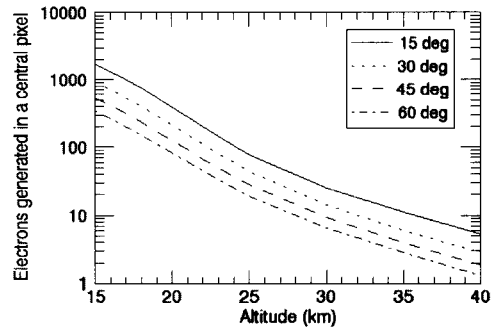
CCD 센서 포화는 별과 배경대기가 만들어내는 빛에 의해 생성된 전자 수와 발생된 전자들을 수용할 수 있는 CCD 화소의 저장능력(양자우물의 크기)에 의해 결정된다. 즉 화소 하나에 저장할 수 있는 전자보다 더 많은 전자가 발생하면 센서는 포화된다.

별 이미지의 중심 화소에서 발생하는 전자의 수, K는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

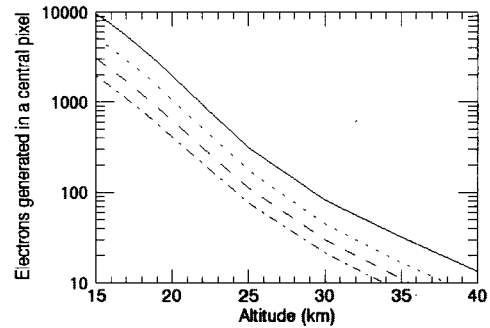
$$K = q\tau \left(\frac{dN}{dt} \frac{1}{m} + \frac{dn}{dt} \times c \right) \quad (9)$$

식 (9)에는 앞서 구한 집광시간, τ 가 적용되며, 별빛이 중심화소에 집중되는 정도를 나타내기 위한 인자로서 c 를 사용하였다. 중심찾기 알고리즘이 적용되는 화소 그룹 중, 한 화소에 별 빛이 모아질 경우, 별의 존재는 별빛이 중심찾기 화소 그룹에 대해 퍼져있을 때 보다 좀 더 잘 나타날 것이다. 그러나 한 화소에 별빛이 집중될 경우에만 한 개의 화소 내에서 별의 중심위치를 찾고자 하는 중심찾기 알고리즘은 적용될 수 없게 된다. 그러므로 적용할 c 의 값은 화소 한 개 보다 크게 회절 점상의 크기가 퍼져 형성되도록 광학계의 점퍼짐 함수를 고려해서 적용해야한다. 회절현상 특성을 갖는 광학계의 회절 점상에는 광량의 85%가 집중된다. 계산에서는 c 가 75% 정도 되는 것으로 가정하였다.

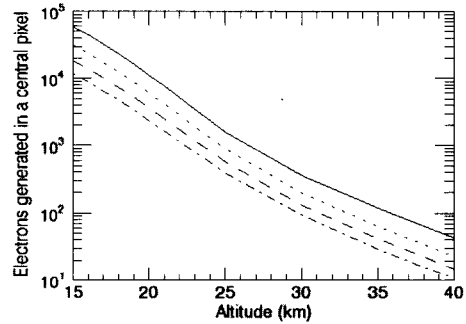
생성된 전자의 수, K가 구해지면, CCD 센서 화소의 최대 전자 저장 능력과 비교하여 센서 포화가 발생하는 고도를 예측할 수 있다. 중심 화소에서 발생하는 전자의 수를 별의 밝기에 따라 구해보면 그림 8과 같은 결과를 얻는다. 그림 8은 신호 대 잡음 비, $s=3$ 을 설정해서 구한 결과로써 별의 밝기가 어두워질수록 요구되는 신호 대 잡음 비를 얻기 위해 긴 집광시간이 요구되기 때문에 중심화소가 생성하는 전자의 수도 증가하는 양상을 나타내고 있다. 센서의 포화 한계는 사용하는 CCD 센서에 따라 다르게 결정된다. 고려 대상으로 삼은 E2V Technologies사의 CCD 47-20 AIMO의 경우 약 100,000개의 전자가 센서 포화 한계이다. 이를 센서 포화가 발생하는 기준으로 하였을 때, 그림 8의 (d)를 보면 계산상의



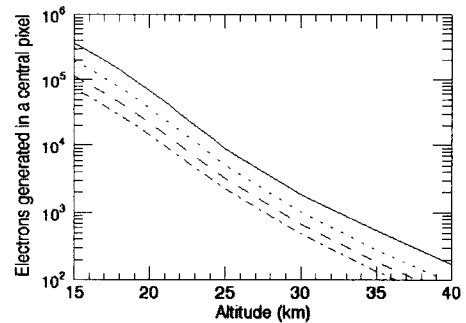
(a) mag = 2 , s = 3 , 1024 CCD



(b) mag = 3, s = 3, 1024 CCD



(c) mag = 4, s = 3, 1024 CCD



(d) mag = 5, s = 3, 1024 CCD

그림 8. 별(A0)의 등급과 태양 천정각 변화에 대한 하늘 배경과 별로부터 감지된 복사에 의해 생성된 고도별 전하량

가장 낮은 고도인 15 km에서 5등급의 별에 대해 태양 천정각이 60°로 큰 경우를 제외하고 포화가 발생함을 볼 수 있다. 여기서 고려해야 할 점으로서 어두운 별을 감지하기 위해 긴 노출 시간을 주는 것은 외부 영향을 받을 가능성이 커지기 때문에 바람직하지 못하다는 것이다. 따라서 앞서 언급한 짧은 집광시간동안 이미지를 얻어 그 이미지들을 합치는 방법이 모색되어야 할 것이다.

IV. 결 론

별센서의 주간 활용을 위해 별센서가 별을 감지할 수 있는 조건과 그 적용 한계에 대해 살펴 보았다.

별을 감지하기 위한 조건을 계산하기 위해 별센서 운영환경인 주간동안에 발생하는 하늘 배경 복사량과 대기 투과 특성을 표준 대기 모델인 LOWTRAN7을 이용하여 구하였다. 복사량과 대기 투과 특성은 고도와 별센서와 태양의 기하학적 배치를 고려해서 구해졌다. 얻어진 자료로부터 별센서의 FOV 변화에 따른 대기 복사량의 변화 및 해당 FOV에서의 별의 개수 밀도를 구하였다.

별센서의 활용에 있어서 요구되는 별을 감지할 수 있는 조건과 그 적용 한계인 센서의 포화는 매우 중요하다. 별을 감지하기 위한 집광 시간은 최소 신호 대 잡음 비를 설정한 후, 고도와 다양한 태양 천정각에 따라 별의 등급별로 구해졌다. 계산으로부터 2등급 이상의 밝은 별에 대해서는 수 msec 또는 수 μ sec의 짧은 집광시간만으로 요구되는 신호 대 잡음 비를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 보다 어두운 5등급의 별을 관측하기 위해서 수 백 msec의 집광이 요구되는 것을 알 수 있었다. 센서의 포화 한계는 계산된 집광시간을 적용하여 구하였다. 주간 활용에 있어서, 센서의 포화는 별 자체 보다는 배경 복사의 영향을 크게 받게 되며, 긴 집광 시간을 요구하는 어두운 별은 쉽게 센서의 포화가 발생하였다. 별센서의 실제적 활용 한계는 고도에

따라 발생하는 전자의 양과 센서의 화소가 저장할 수 있는 전하 저장용량을 비교하여 추정되었다.

이 연구로부터 주간동안 별을 감지 대상으로 하는 별센서가 별을 활용할 수 있는 가능성들을 간단한 계산을 통하여 알아보았다. 그러나 별센서의 정확한 자세 오차를 추정하기 위해서는 별의 중심찾기 성능에 대한 평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 앞서 구한 대기 자료와 별센서의 시스템 잡음을 고려한 별 이미지 모델이 요구된다. 따라서 지금까지의 연구를 토대로 별센서가 별을 감지하게 되는 이미지 모델을 개발하여 중심찾기 오차의 추정과 중심찾기 성능 향상을 연구할 예정이다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2002-015-CP0154)

참고문헌

- 1) Steven C. Sandven, Stephen L. Browne, David C. Dayton, "Tip-Tilt Tracker for image stabilization in a Daylight Speckle Imaging System", Proc. SPIE, vol. 2468, pp 246-251, 1995.
- 2) S. Levine, R. Dennis, K.L. Bachman, "Strapdown Astro-Inertial Navigation Utilizing the Optical Wide-angle Lens Startracker", Journal of The Institute of Navigation, Vol.37, No.4, pp.347-362, Winter 1990-1991.
- 3) 이현경, "MUV영역의 고도, 방향에 따른 태양 산란 복사량 계산", 석사학위 논문, 충남대, 2000.
- 4) G. Walker, Astronomical Observations, Cambridge University Press, 1987.
- 5) E2V Technologies, CCD47-20 AIMO Data sheet, available at URL <http://www.eev.com> (2005).