

별 가시도 해석을 이용한 별 추적기의 최적 배치 결정

임조령*, 이선호**, 용기력***, 이승우****

Accommodations Optimization of Star Trackers Using Star Visibility Analysis

Jo-Ryeong Yim*, Seon-Ho Lee**, Ki-Lyok Yong***, Seung-Wu Rhee****

Abstract

In this study, star visibility analysis of a star tracker is performed by using a statistical approach. The probability of the Sun and the Earth proximity, the solar array masking probability, and the solar array blinding probability by the Sun light are obtained from the arbitrary chosen satellite positions as a function of a line of sight vector of the star tracker in several satellite attitude modes. This analysis demonstrates that the optimized star tracker accommodations can be determined to be an elevation angle -40° and two azimuth angles -35° and -150° .

초 록

이 연구는 통계학적인 방법을 이용하여 별 추적기의 가시도를 해석하였다. 별 추적기의 시선벡터에 대한 함수로서, 몇 가지 위성 자세 모드 상태에서 임의의 위성의 위치로부터 별 추적기가 태양과 지구에 의해 가려지는 확률, 태양 전지판에 의해 별 추적기가 가려지는 확률, 태양 전지판에 의한 태양 빛의 반사 확률을 계산하였다. 별 추적기의 이용도가 가장 높은 영역을 찾아 별 추적기의 시선벡터 방향을 결정하였는데, 두개의 최적화된 별 추적기의 배치는 각각 고도각 -40° , 방위각 -35° 와 고도각 -40° , 방위각 -150° 로 나타났다.

키워드 : 별 추적기(star tracker), 배치 최적화(accommodations optimization), 시선벡터(line of sight vector), 방위각(azimuth angle), 고도각(elevation angle), 태양 근접 확률(sun proximity probability), 지구 근접 확률(earth proximity probability)

1. 서 론

최근 위성의 자세 결정을 위해 별 추적기를 주요 센서로 장착한 인공위성이 늘어나고 있다.

별 추적기를 위성에 장착할 때 특히 고려해야만 하는 사항으로 별 추적기의 사용빈도를 가능한 높일 수 있는 위치에 별 추적기를 장착해야 한다는 것이다. 위성의 궤도와 미션에 적합한 자

* 위성제어그룹/jryim@kari.re.kr

*** 위성제어그룹/klyong@kari.re.kr

** 위성제어그룹/shlee71@kari.re.kr

**** 위성제어그룹/srhee@kari.re.kr

세가 결정되면, 이를 고려하여 별 추적기의 최적화 배를 결정해야 한다. 최적 배치를 결정하기 위해 별 추적기의 가시도 해석을 수행하는 방법으로 해석학적 방법, 시간 모의실험 방법, 통계적 방법이 있다 [1, 2]. 별 추적기의 시야각 (FOV)안에 달이 들어올 확률의 계산, 달로 인한 별 추적기 지향 정확도의 성능 저하량 계산, 혹은 별 추적기의 CCD안에 들어오는 별의 개수 계산이나, 위성체 자체에 의한 블라인딩 효과 등의 계산을 위해 해석학적 방법을 사용한다. 태양 전지판이 회전하면서 태양 전지판 자체가 별 추적기의 시야를 가리는 경우나 태양 전지판이 태양 빛을 반사할 때, 이 빛으로 인해 별 추적기가 블라인딩 되는 확률을 계산하기 위해 시간 모의 실험 방법을 사용한다. 그리고 일반적으로 해석학적인 방법이나 시간 모의실험이 적합하지 않은 가시도 해석, 즉 태양과 지구가 별 추적기의 시야각 (FOV)에 미치는 영향을 조사하기 위해 통계적 방법을 사용한다.

위성의 궤도를 태양동기 궤도로 가정하면, 위성의 궤도면은 태양의 운동과 연계된다. 태양의 겉보기 운동은 우주공간에서 균등하게 분포되어 있지 않으므로, 통계적인 방법을 통하여, 태양에 의한 가려짐(blinding)을 가능한 한 피할 수 있도록 별 추적기의 배치를 최적화해야 하며, 위성은 지구 주위를 돌게 되므로, 위성의 운동은 지구와 연계되어 있고, 따라서 지구로부터의 차폐를 가능한 한 줄일 수 있도록 별 추적기의 배치를 최적화해야 한다.

이 논문에서는 2장에서 별 추적기의 가시도 해석에 사용한 기본 가정과 좌표계를, 3장에서 분석에 사용한 기본 이론과 수행한 내용을 기술하였으며 4장에서 연구의 결론과 토의를 다루었다.

2. 좌표계와 가정

2.1 기준 좌표계

별 추적기의 가시도 분석에 사용한 기본적인 이론들에 대해 먼저 고찰해 보자.

2.1.1 궤도면 좌표계

지구 중심 관성 기준 좌표계[3]가 정의되면

궤도면 좌표계를 정의할 수 있다. 일반적인 궤도면 좌표계는 Y_{ol} 은 궤도의 진동벡터의 반대 방향, Z_{ol} 은 지구를 향한 방향, X_{ol} 은 오른손 직교 좌표계를 이루는 방향으로 정의한다.

2.1.2 위성 동체 좌표계

위성 동체 좌표계는 궤도면 좌표계로부터 3회의 연속 회전으로 정의할 수 있다. 위성의 자세 방정식에서 가장 일반적으로 사용하고 있는 회전은 3-2-1 오일러 회전이다[4]. 궤도면 좌표계 (X_{ol}, Y_{ol}, Z_{ol})을 위성의 동체 좌표계를 (X_s, Y_s, Z_s)로 이동하기 위해, 첫 번째 회전은 Z_{ol} 축을 중심으로 하는 요(yaw) 회전을 θ_1 , 중간에 형성된 Y축을 중심으로 회전하는 피치(pitch) 회전을 θ_2 , 마지막으로 위성의 X_s 축을 중심으로 회전하는 롤(roll) 회전을 θ_3 라 하면, 궤도면 좌표계로부터 위성의 동체 좌표계의 방향 코사인 행렬은

$$\begin{Bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_3 & \sin\theta_3 \\ 0 & -\sin\theta_3 & \cos\theta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & -\sin\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_1 & 0 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{ol} \\ Y_{ol} \\ Z_{ol} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

처럼 구할 수 있다. 위성이 회전하지 않은 상태에서는 위성 동체 좌표와 궤도면 좌표는 동일하다.

2.2 기본 가정

2.2.1 별 추적기

해석을 위해 사용한 별 추적기는 2개로 SODERN사의 SED 16모델을 사용한다고 가정하였다. 이때 사용한 차폐각은 각각 다음과 같다.

별 추적기의 지구 차폐 겉보기 반각: 32°

별 추적기의 태양 차폐 반각: 35°

달의 차폐 반각: 19°

별 목록은 1965개의 별에 대한 정보를 가지고 있으며 별 추적기의 시야각 (FOV)은 25도이다.

2.2.2 시선벡터 (Line of sight)

별 추적기의 시선벡터는 위성체 좌표계에 대해 두 개의 각으로 표현할 수 있는데, 하나는 위성의 X_s 축에 대한 방위각 (azimuth angle, θ) 이고, 다른 하나는 (X_s, Y_s) 면에 대한 고도각 (elevation angle, ϕ) 이다. 각들의 범위는 각각

$$\begin{cases} 0 \leq \theta \leq 2\pi \\ -\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (2)$$

이다. 별 추적기의 시선벡터는 방위각과 고도의 함수로서 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$\vec{L} = \begin{pmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta \cos\phi \\ \sin\theta \cos\phi \\ \sin\phi \end{pmatrix} \quad (3)$$

별 추적기의 시선벡터 \vec{L} 은 위성 동체 좌표계에서의 값이고, 두 개의 각 (θ, ϕ) 는

$$\begin{cases} \phi = \sin^{-1} L_z \\ \theta = \cos^{-1} \frac{L_x}{\cos\phi} \\ \theta = \sin^{-1} \frac{L_y}{\cos\phi} \end{cases} \quad (4)$$

로부터 구할 수 있다.

2.2.3 태양과 달의 운동

태양과 달의 운동 중, 계절에 따른 태양의 운동만이 고려되었다. 이것은 (X_i, Y_i) 관성 기준면에 대해, 태양이 고도 변화만을 보인다고 가정하여 계산하였다. 따라서 태양의 위치는 항상 (X_i, Y_i) 면상에 놓이게 되며, (X_i, Y_i) 면으로부터 $-23^\circ \sim +23^\circ$ 중 임의로 생성된 값을 갖는다고 가정하였다.

3. 최적배치 결정

3.1 기본원리

별 추적기의 최적 배치를 결정하기 위한 연구로

태양 전지판에 의한 영향을 고려해야 한다. 태양 전지판이 별 추적기 시선벡터의 시야각 원뿔 내에 들어올 때 태양 전지판에 의한 가려짐이 발생한다. 또한, 태양 전지판이 태양빛을 반사할 때 별 추적기의 시선벡터와 반사된 빛 사이의 각이 태양의 차폐각보다 작을 때 별 추적기가 블라인딩 된다.

별 추적기의 시야각내에 미치는 태양과 지구의 영향은 통계적 방법을 사용하여 해석할 수 있다. 이러한 연구는 시간 모의시험 방법도 이용 가능하지만, 별 추적기의 여러 배치를 조사하는 것이 용이하지 않으므로 통계적 방법을 사용하는 것이 더 적합하다. 위성의 궤도는 태양동기 궤도이고 따라서 겉보기 태양의 운동은 우주 공간에서 균일하게 분포하지 않고 특정한 방향에 편중되어 나타난다. 따라서 태양에 의한 별 추적기의 블라인딩을 최대한 피할 수 있도록 별 추적기의 배치를 최적화 할 수 있게 된다. 위성의 운동은 지구와 연관되어 지구 주위를 돌게 되고, 위성의 오프 포인팅을 고려하여 지구에 의한 가려짐을 최대한 피하도록 배치를 최적화 할 수 있다.

3.1.1 태양 전지판의 영향

별 추적기의 시선벡터와 태양 전지판 날개사이의 최소각이 시야각 원뿔의 반각 보다 작을 때 별 추적기는 태양 전지판 날개에 의해 차폐된다. 블라인딩은 태양 전지판에 빛이 비추어지고, 시선벡터와 태양 전지판의 최소각이 태양 차폐 반각보다 작을 때 일어난다. 이 조건은 다음처럼 나타낼 수 있다[1].

$$\begin{aligned} & (No\ Eclipse) \text{ and } (\vec{N} \cdot \vec{SP} < 0) \text{ and} \\ & (\vec{L} \cdot \vec{SP} < \cos\gamma) \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서, \vec{N} 은 가능한 태양을 향하도록 하는 wing cross vector, \vec{SP} 는 별 추적기로부터 날개의 현 지점까지의 벡터로 정규화된 값, \vec{L} 은 별 추적기의 시선벡터이고, 태양 전지판의 차폐 반각 γ 는 태양 차폐 반각과 동일한 값을 사용하였다. 별 추적기와 태양 전지판의 위치, 태양 전지판 날개의 wing cross vector가 궤도의 위치에 따라 변해가는 과정은 [5] 를 참고하였다.

3.1.2 태양과 지구의 영향

태양에 의한 별 추적기의 블라인딩 각 S_A 는 태양 차폐각과 태양 겉보기 각의 합으로 구해진다. 그리고 지구에 의한 블라인딩 각 E_A 도 또한 지구 차폐각과 지구 겉보기 각으로 구할 수 있다. 그러면 태양에 의해 별 추적기가 가려지는 조건은, $\hat{r}_{s,B}$ 를 동체 좌표계에서의 태양의 위치 벡터라고 할 때,

$$S_b = \cos^{-1}(\hat{r}_{s,B} \cdot \vec{L}) \quad (6)$$

로부터 구한 각 S_b 가 S_A 보다 작은 경우이다. 지구의 경우는 \hat{r}_B 가 동체 좌표계에서 지구의 위치 벡터라고 할 때,

$$E_b = \cos^{-1}(\hat{r}_B \cdot \vec{L}) \quad (7)$$

로부터 계산된 각 E_b 가 E_A 보다 작을 때 일어난다.

3.2 시뮬레이션 설명

이 연구는 두 개의 시뮬레이션 프로그램으로 구성되어 있다. 하나는 위성의 위치 함수로 별 추적기의 시야각 내에 태양과 지구가 얼마나 나타나는가 하는 확률을 계산하였다. 다른 하나는 태양 전지판에 의한 가려짐과 블라인딩 영향을 별 추적기의 여러 방위각과 고도각을 사용하여 확률을 계산하였다.

3.2.1 태양과 지구의 영향

위성의 궤도가 태양동기 궤도이므로, 위성의 궤도면은 지구의 적도면에 대해 태양을 투영한 면과 일정한 각을 유지하게 된다. 따라서 태양의 운동으로 나타나는 효과는 계절적인 효과로서 태양의 고도 변화만이 영향을 미치게 되는데 이 변화는 임의의 수를 사용하는 것으로 모델링 하였다. 위성의 롤과 피치의 오프 포인팅은 궤도 전체에 걸쳐 균등하게 분포하게 된다. 즉 가장 최적화된 별 추적기의 배치를 찾기 위해 고려할 사항은 태양의 고도, 위성의 오프 포인팅, 위성의 궤도 위치이다. 이 변수들은 임의의 값들을 생성하여 계산에 사용하며, 이로부터 타당한 통계학적 확률자료를 산출할 수 있다. 각각의 경우, 기하학적 계산을 수행하여 태양과 지구가 별

추적기의 시야각내에 들어오는가를 결정하게 된다. 계산이 수행되고 나면, 별 추적기의 방위각과 고도각의 함수로 태양과 지구에 의해 별 추적기가 가려지게 되는 확률을 그림으로 나타내고, 이 그림들로부터 별 추적기의 최적화된 배치를 결정할 수 있다.

위의 기능을 수행하는 시뮬레이션 프로그램을 기능적 측면에서 구성도를 그려보면 그림 1과 같다. 이 프로그램에서는 별 추적기의 시선각의 시선벡터를 하나 생성하고, 임의로 생성한 위성의 진근점 이각과 위성의 기타 궤도요소를 사용하여 위성의 위치를 계산한다. 그 다음 여러 좌표 변환 행렬을 계산하고, 태양과 지구 등의 위치를 동체 좌표계에서의 위치로 변환한다. 그리고 마지막으로 태양과 지구가 별 추적기의 시야각내에 들어오는지의 여부를 결정하게 된다. 이렇게 하나의 별 추적기 시선벡터에서 총 800번의 계산이 수행되어 확률을 계산하게 된다. 지금 까지 설명한 부분이 한 번의 계산이 되며, 이러한 과정은 방위각을 0도에서 360도 까지 2.5도 간격으로, 고도각을 -90도에서 90도까지 2.5도 간격으로 변화시키면서 총 10,368번 반복 수행하게 된다.

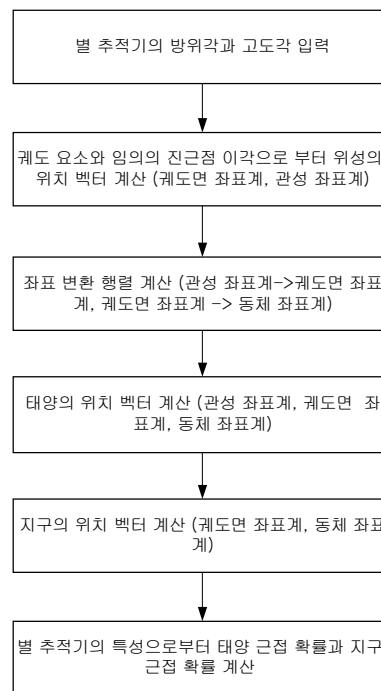


그림 1. 프로그램의 구조

3.2.2 태양 전지판의 영향

태양 전지판에 의한 영향을 고려한 프로그램도 태양과 지구의 영향을 고려한 프로그램과 유사한 구조를 갖는다. 별 추적기의 방위각과 고도각의 함수로 총 800번 임의의 위성의 위치와 태양의 고도각을 생성한 후, 태양 전지판에 의한 차폐와 블라인딩을 계산하여 그림으로 나타내었다. 이 분석을 위해 사용한 태양 전지판은 -Y 축의 것만을 고려하였다.

3.3 시뮬레이션 실행

3.3.1 입력

별 추적기의 가시도 분석을 위한 기본 입력과 모의실험에 사용한 변수들은 다음과 같다.

- 지구 겉보기 반각: 64.56°
- 태양 겉보기 반각: 0.5°
- 별 추적기의 지구 차폐 겉보기 반각: 32°
- 별 추적기의 태양 차폐 반각: 35°
- 달의 차폐 반각: 19°
- 시야각: 25° (12.5° 반 원뿔 각)
- 별 추적기의 방위각 하한과 상한값: -180°, 180°
- 사용된 방위각 개수: 144
- 별 추적기 고도각 하한과 상한값: -90°, 90°
- 사용된 고도각 개수: 72
- 방위각-고도 한 쌍 당 계산 갯수: 800

궤도요소:

- 궤도의 고도 $h = 685.13 \times 10^3 m$
- 궤도 이심률 $e = 0.0$
- 궤도 경사각 $i = 98.13^\circ$
- 승교점 경도 $\Omega = 342.5^\circ (10.83 h)$
- 근지점 경도 $w = 0.0$
- 궤도의 위치 $f = 0 \sim 360^\circ$

궤도 배치와 입력 값:

- 적도면에서의 태양의 고도: $\epsilon = -23^\circ \sim +23^\circ$
- 지구의 반경: $R = 6378 \times 10^3 m$
- 지구의 겉보기 반각: 64.56°
- 태양 전지판에 대한 별 추적기 차폐 반각: 35°

3.3.2 출력값

프로그램을 실행하면, 출력으로 다음 세가지 그림을 얻을 수 있다.

- 태양 근접 확률 (Sun Proximity Probability)
- 지구 근접 확률 (Earth Proximity Probability)
- 태양과 지구 근접 확률 (Sun or Earth Proximity Probability)
- 태양 전지판에 의한 차폐 확률
- 태양 빛의 반사로 인한 블라인딩 확률

3.3.3 시뮬레이션 실행 모드

앞에 소개한 입력 값들을 바탕으로 별의 가시도 분석을 위해 사용한 위성의 자세 배치는 표1에 명시한 것과 같다. 이때 위성의 자세각에서 요 각은 항상 0도를 사용하였다.

표 1. 위성의 모드별 자세각

모드	롤각 (deg)	피치각 (deg)	진근점이각 (deg)
지구 지향 모드	0	0	0~360
양의 피치 오프 모드	0	0~30	0~360
음의 피치 오프 모드	0	-30~0	0~360
양의 롤 오프 모드	0~30	0	0~360
양의 롤 오프 모드	0~56	0	0~360
음의 롤 오프 모드	-30~0	0	0~360
음의 롤 오프 모드	-56~0	0	0~360

3.4 시뮬레이션 결과

3.4.1 지구 지향 모드

그림 2은 지구 지향 모드에서 별 추적기의 방위각과 고도각에 대해 태양에 의해 가려지는 확률과 지구에 의해 가려지는 확률을 더한 값이 색으로 구분하여 나타내 있다. 푸른색이 진할수록 가려지는 확률이 낮고, 붉은 색이 진할수록 지구와 태양에 의한 근접 확률이 높아 사용 불가능이 높은 것이다. 지구 근접 확률 결과인 그림 3을 보면 -7.5도 이하인 음의 고도각에서는 100% 이용가능하고, -5도 보다 큰 양

의 고도각은 전혀 이용 가능하지 않다. 태양과 지

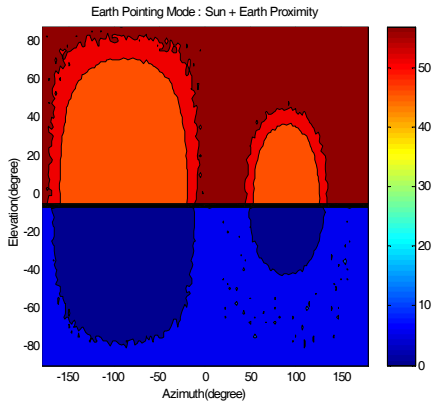


그림 2. 지구 지향 모드: 태양+지구

구의 영향을 함께 고려한 그림 2를 보면 방위각 -30도부터 -150도 영역 그리고 고도각이 -20도부터 -60도 근처에서 가장 이용율이 높고, 주로 태양 근접 확률(그림 4)의 결과로 인한 것임을 쉽게 알 수 있다.

3.4.2 양의 피치 오프 모드

그림 5, 6, 7은 양의 피치 오프 모드에서 얻은 결과이다. 피치각은 0도에서 +30도 사이의 임의로 선택된 값을 사용하였다. 태양 근접 확률 그림 7은 지구 지향 모드에서의 태양 근접 확률 결과와 거의 유사하다. 지구 근접 확률은 지구 지향 모드에서 얻은 결과와 비교했을 때, 방위각이 0도와 180도인 부분에서 별 추적기의 고도각에 따라 지구 근접 확률이 민감하게 변함을 알 수 있다.

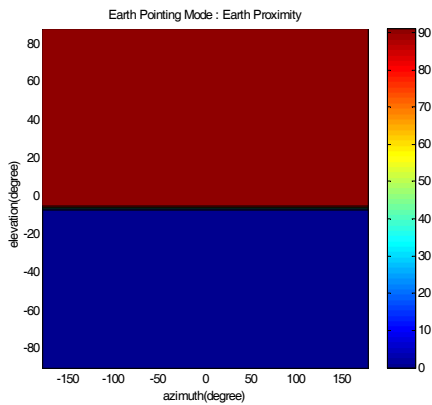


그림 3. 지구 지향 모드: 지구 근접 확률

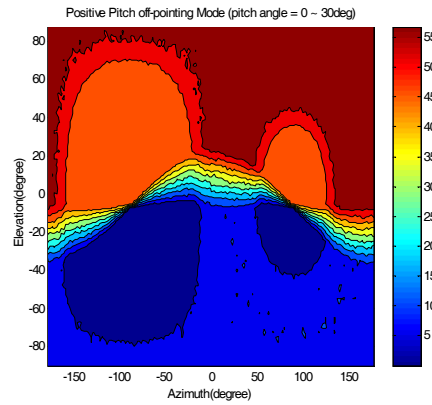


그림 5. 양의 피치 오프 모드: 태양+지구

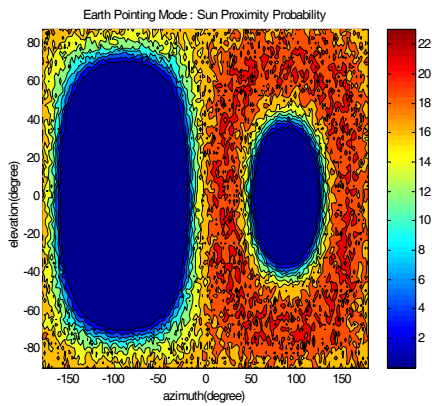


그림 4. 지구 지향 모드: 태양 근접 확률

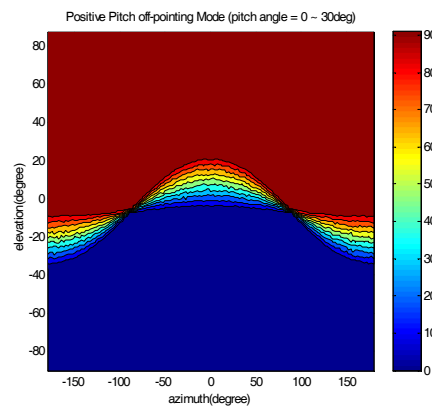


그림 6. 양의 피치 오프 모드: 지구 근접 확률

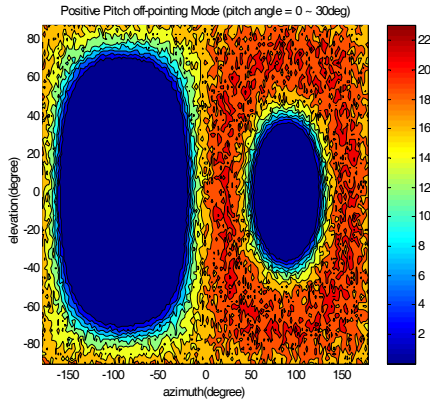


그림 7. 양의 피치 오프 모드: 태양 근접 확률

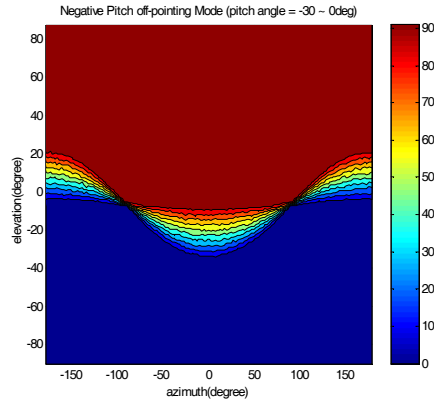


그림 9. 음의 피치 오프 모드: 지구 근접 확률

3.4.3 음의 피치 오프 모드

그림 8, 9, 10은 음의 피치 오프 모드에서 얻은 결과이다. 피치각은 0도에서 -30도 사이의 임의로 선택된 값을 사용하였다. 결과는 양의 피치 오프 모드에서 얻은 결과와 유사하지만, 지구 근접 확률의 경향이 반대로 나타난 것만 다르다.

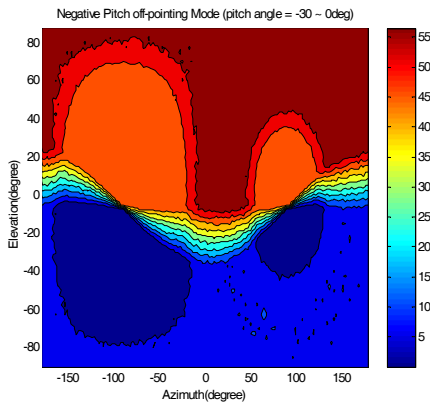


그림 8. 음의 피치 오프 모드: 태양+지구

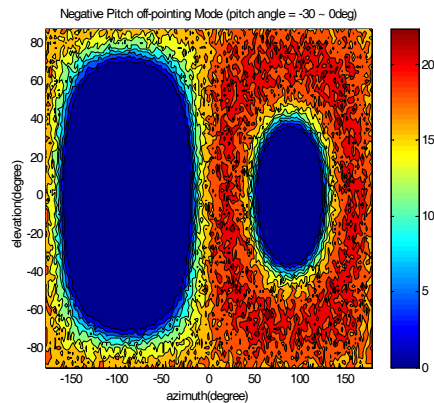


그림 10. 음의 피치 오프 모드: 태양 근접 확률

모드나 양의 피치오프 모드에서처럼 변화는 없으나, 대신에 +90도 -90도 부근에서 지구 근접 확률이 민감하고 변화하고 있다. 그림에서 나타나듯이 최적의 시선벡터는 음의 방위각과 음의 고도각을 갖는 배치이다.

3.4.4 양의 롤 오프 모드

양의 롤 오프 모드에서 롤각은 0도에서 30도 사이의 임의의 각 (그림 11, 12, 13), 0도에서 56도 사이의 임의의 각 (그림 14, 15, 16)이 선택 되었다. 지구 근접 확률은 방위각 0도와 180도 부근에서 지구지향

3.4.5 음의 롤 오프 모드

음의 롤 오프 모드에서 롤각은 0도에서 -30도 사이의 임의의 각 (그림 17, 18, 19)과, 0도에서 -56도 사이의 임의의 각 (그림 20, 21, 22)이 사용되었다. 지구 근접 확률은 양의 롤 오프 모드의 결과와 반대의 경향을 나타내고 있다. 이 결과도 역시 최적의 시선벡터는 음의 방위각과 음의 고도각을 갖는 배치이다.

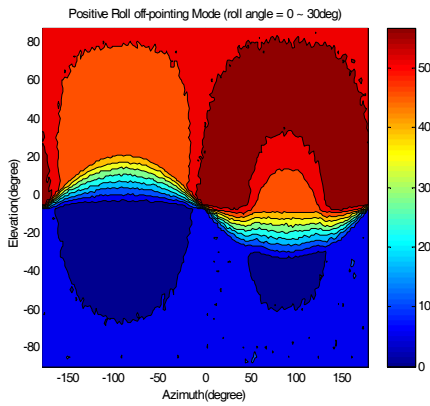


그림 11. 양의 롤 오프 모드: 태양+지구 (+30 deg)

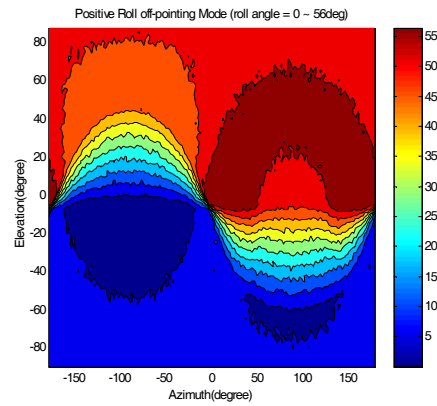


그림 14. 양의 롤 오프 모드: 태양+지구 (+56 deg)

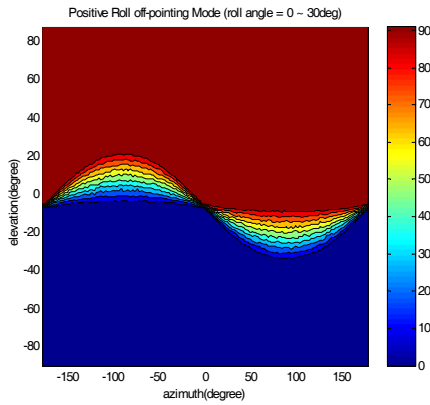


그림 12. 양의 롤 오프 모드: 지구 근접 확률 (+30 deg)

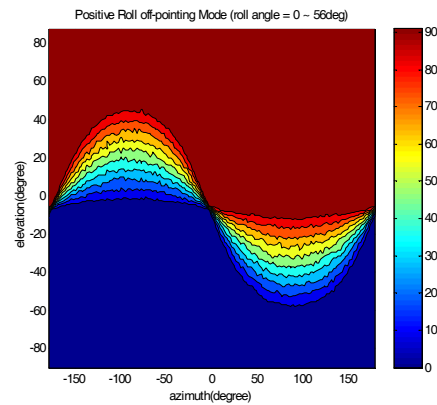


그림 15. 양의 롤 오프 모드: 지구 근접 확률 (+56 deg)

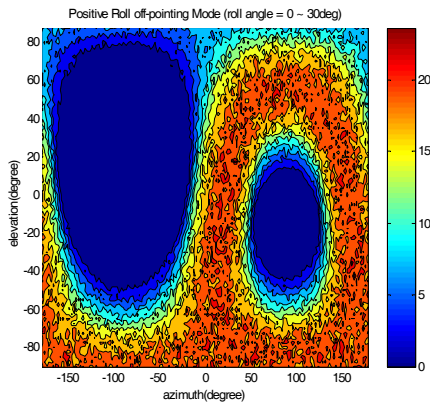


그림 13. 양의 롤 오프 모드: 태양 근접 확률 (+30 deg)

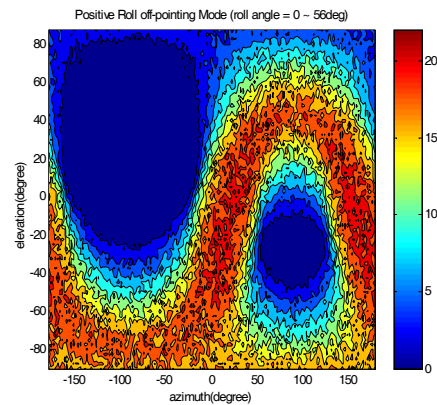


그림 16. 양의 롤 오프 모드: 태양 근접 확률 (+56 deg)

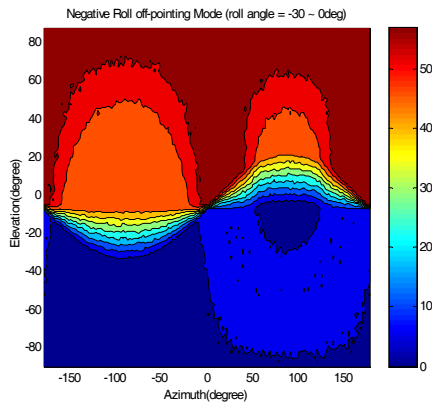


그림 17. 음의 롤 오프 모드: 태양+지구 (-30 deg)

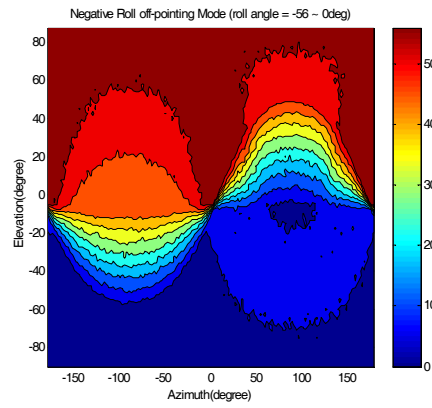


그림 20. 음의 롤 오프 모드: 태양+지구 (-56 deg)

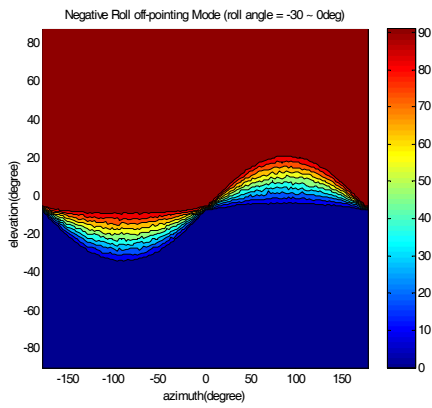


그림 18. 음의 롤 오프 모드: 지구 근접 확률 (-30 deg)

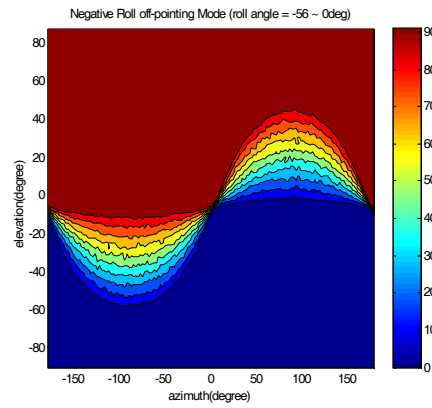


그림 21. 음의 롤 오프 모드: 지구 근접 확률 (-56 deg)

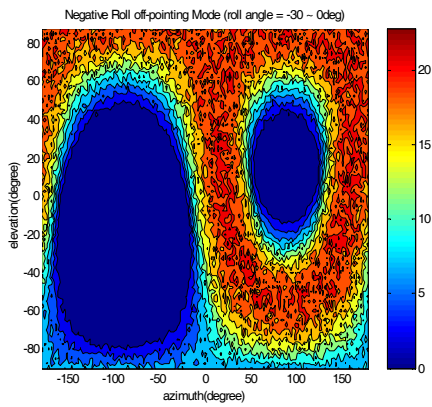


그림 19. 음의 롤 오프 모드: 태양 근접 확률 (-30 deg)

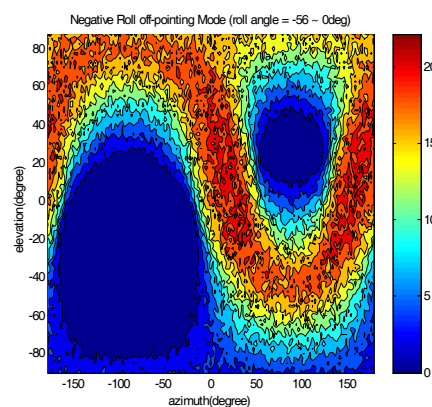


그림 22. 음의 롤 오프 모드: 태양 근접 확률 (-56 deg)

3.4.6 태양 전지판 영향

태양 전지판에 의한 영향은 지구 지향 모드를 가정하여 결과를 얻었다. 그림 23과 24는 별 추적기가 태양 전지판에 의해 가려지는 확률, 그림 25와 26은 태양 전지판의 태양 빛 반사로 인한 별 추적기의 이용불가 확률을 그림으로 나타낸 것이다. 별 추적기는 양의 고도각을 가질 때, 태양 전지판의 영향을 덜 받는다는 것을 알 수 있다. 별 추적기 #1은 방위각이 -60도 이상 +180도 사이인 영역은 태양 전지판에 의해 전혀 가려지지 않는다(그림 23, 25). 별 추적기 #2는 방위각이 약 10도부터 180도 사이의 영역과 -100도에서 -180도 사이의 영역은 전혀 태양 전지판에 의해 가려지지 않는다(그림 24, 26).

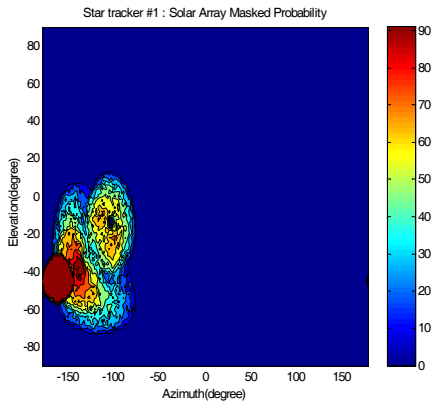


그림 23. 태양 전지판에 의한 별 추적기 #1 가려짐

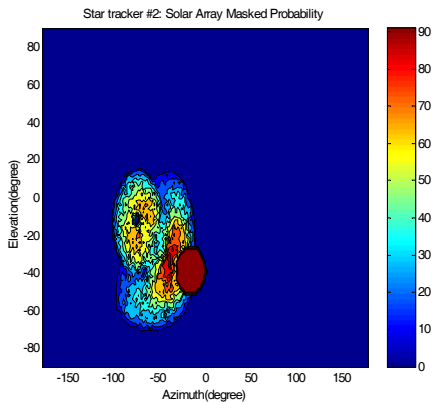


그림 24. 태양 전지판에 의한 별 추적기 #2 가려짐

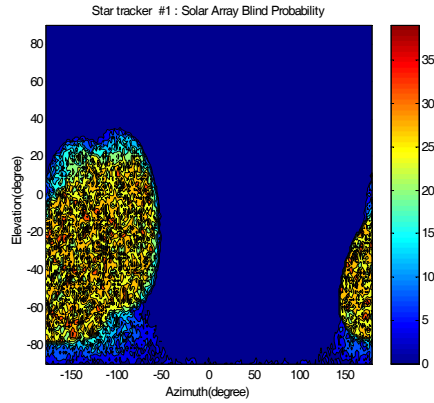


그림 25. 태양 전지판 반사에 의한 별 추적기 #1 Blind

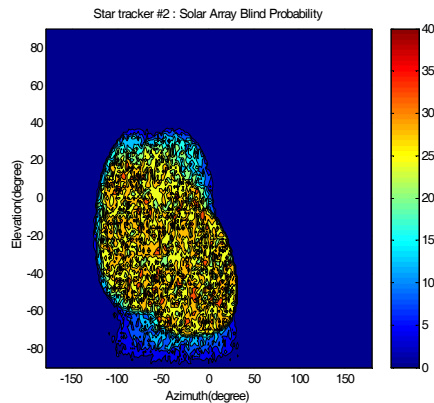


그림 26. 태양 전지판 반사에 의한 별 추적기 #2 Blind

3.4.6 결과 해석

모의실험을 통해 얻은 결과를 분석하여 가장 적합한 별 추적기의 위치를 찾아보면 다음과 같다. 그림 27은 태양과 지구에 의해 가려지는 확률을 모두 합하여 그린 것이고, 그림 28과 29는 각 별 추적기의 태양 전지판 효과를 합하여 그린 것이다. 우선 지구 지향 모드에서 사용 가능한 범위는 음의 고도영역이고, 방위각은 근접 확률에 영향을 받지 않는다. 그림 27에서, 별 추적기의 최적 배치는 고도각이 음의 값 중에서도 -60도에서 -30도 사이가 가장 적합한 위치이고, 방위각의 경우는 -30도 부터 -150도 사이의 각이 가장 최적의 배치로 나타났다. 두 개의 별 추적기는 방위각이 80도 만큼 분리되어 있어야 한다. 태양

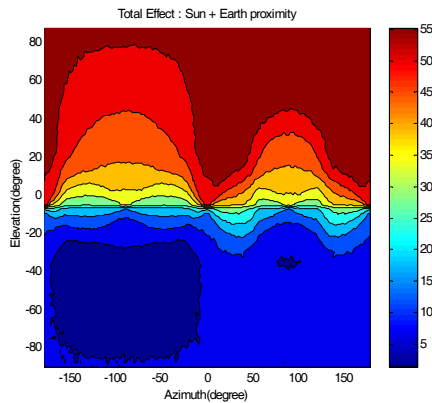


그림 27. Total Effect: Sun+Earth

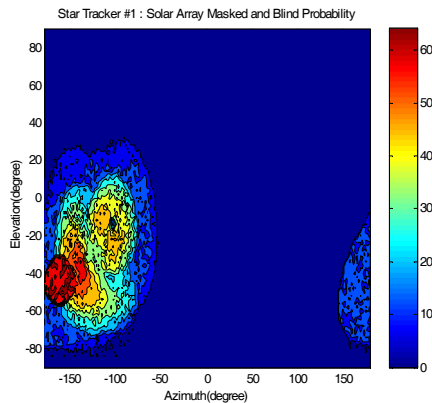


그림 28. Star Tracker #1 : Solar Array

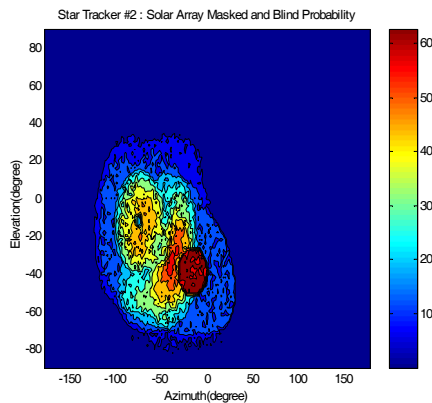


그림 29. Star Tracker #2 : Solar Array

과 지구에 의한 근접 효과와 태양 전지판의 영향을 함께 고려하여 보면, 별 추적기 #1의 최적 배치는 고도각은 -40도 정도, 방위각은 -35도 정도가 적합하며, 별 추적기 #2의 최적배치로는 고도각은 -40도, 방위각은 -150도 정도가 적합함을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구는 통계학적인 방법을 이용하여 별 추적기의 가시도를 해석하고, 그 결과로부터 다목적실용 위성 2호의 별 추적기의 최적 배치를 결정하였다. 별 추적기의 시선벡터에 대한 함수로서, 별 추적기가 태양과 지구에 의해 가려지는 확률, 태양 전지판에 의해 별 추적기가 가려지는 확률, 태양 전지판에 의한 태양 빛의 반사 확률을 계산하였고, 결과를 그림으로 나타내었다. 그리고 별 추적기의 이용도가 가장 높은 영역을 찾아 별 추적기의 LOS 벡터의 방향으로 결정하였다. 이 연구로부터 얻어진 두개의 최적화된 별 추적기의 배치는 고도각 -40도, 방위각 -35도와 고도각 -40도, 방위각 -150도 이다.

참 고 문 헌

1. Astrium, 내부서신, *Star Visibility Analysis*, March 2001.
2. 안효성, 내부서신, *Verification of the document "Star Visibility Analysis-from Astrium"*, October 2001.
3. Escobal, P. R., *Methods of Orbit Determination*, John Wiley & Sons, New York 1976, pp125-140.
4. Junkins, J. L., *An Introduction to Optimal Estimation of Dynamical Systems*, Sijthoff & Noordhoff International Publishers B.V., Alphen aan den Rijn, The Netherlands, 1978, pp 200-203.
5. KOMPSAT 2 Hypotheses for AOCS CoWorks, 2001.