

과학위성 1호 탑재체 원자외선분광기 전천탐사 노출시간 분석

박장현^{1†}, 선광일¹, 유광선², 옥인수¹, 진호¹, 이대희², 오승한², 선종호⁴,
남옥원¹, 한원용¹, 이우백¹, 민경욱², J. Edelstein³, E. J. Korpela³

¹한국천문연구원

²한국과학기술원 인공위성연구센터

³University of California, Berkeley

⁴SaTReCi

EXPOSURE TIME ANALYSIS FOR FAR-ULTRAVIOLET IMAGING SPECTROGRAPH ALL-SKY SURVEY MISSION

J.-H. Park^{1†}, K.-I. Seon¹, K.-S. Ryu², I.-S. Yuk¹, H. Jin¹, D.-H. Lee², S.-H. Oh²,
J. Seon⁴, U.-W. Nam¹, W. Han¹, W.-B. Lee¹, K.-W. Min², J. Edelstein³, E. J. Korpela³

¹Korea Astronomy Observatory

²Satellite Technology Research Center, KAIST

³University of California, Berkeley

⁴SaTReCi

E-mail: jhpark@kao.re.kr

(Received October 2, 2001; Accepted October 30, 2001)

요 약

과학위성 1호의 주 과학임무중의 하나인 전천탐사를 통해 얻어지는 천구의 각 지역별 노출시간을 모의 계산하였다. 현재 계획된 위성운용 시나리오에 의하면 노출시간은 천구적도 지역에서 최소가 되고 극 지역으로 갈수록 증가한다. 한편, SAA (South Atlantic Anomaly)와 달에 의한 영향으로 천구 적도지역에서의 노출시간 추가 감소가 불가피하다. SAA에 의한 노출시간 감소는 SAA의 영향이 별로 없는 고층대기 관측과의 궤도교체 등 간단한 관측 스케줄링을 통해 SAA의 영향을 배제할 수 있다. 그러나 현재의 노출시간 분포는 성간물질의 진화를 구체적으로 연구하기 위해서는 적절치 않다. 천구의 극 지역에 치중된 노출시간의 효율적 분배를 위해서는 능동적인 지역별 노출시간 분배가 필요하고, 따라서 현재보다 진보된 운용 시나리오 및 관측 스케줄링에 대한 추가 연구가 요구된다

ABSTRACT

Global exposure time distribution through all-sky survey, one of main science missions of KAISTSAT-1, has been simulated. Exposure time distribution has its minimum on the celestial equator and increases with moving to polar regions according to the present mission operation scenario. SAA (South Atlantic Anomaly) and the moon can make further decreases of exposure time around the celestial equator. Effects of SAA on all-sky survey exposure time can be compensated with a simple observational scheduling, orbit exchange between orbits allocated to all-sky survey passing through the SAA region and ones allocated to upper atmosphere observations not affected by

[†]corresponding author

SAA. It, however, seems that present exposure time distribution is not adequate for the concrete study of the evolution of interstellar medium. A scheme for active time allocation is needed for redistribution of exposure times weighted around the celestial poles, and additional studies on the advanced mission operation and the observational scheduling are also needed.

Keywords: all-sky survey, exposure time, observational scheduling

1. 서론

과학위성 1호의 주 과학임무는 우리은하에 광범위하게 분포하는 고온 ($10^{4.5} - 10^6$ K)의 성간물질에 대한 공간분포와 진화를 연구하는 것이다. 이들 고온기체는 복사에 의해 냉각되면서 원자외선영역에서 다양한 방출선이 나타는데 OVI 이중방출선 (1032Å, 1038Å)과 CIV 방출선(1550Å)이 성간물질의 분포 및 진화를 연구하는데 가장 중요한 방출선으로 알려져 있다. 따라서 과학위성 1호에 탑재되는 원자외선분광기 (FIMS; Far-ultraviolet Imaging Spectrograph)의 광학계는 이 두 방출선의 관측에 최적화되어 있다 (선광일 2000). 과학위성 1호는 발사 후 최초 1년 동안 두 방출선에 대한 전천탐사를 수행할 예정이다.

우리은하에 존재하는 성간물질의 분포를 알아내기 위해서는 우선 공간적으로 전천을 포함하는 관측을 수행해야 하며, 성간물질로부터 발생하는 방출선을 검출할 수 있는 충분한 노출시간이 확보되어야 한다. 일반적으로 공간적인 관측범위 및 지역별 노출시간은 위성의 궤도요소, 자세제어능력, 관측제한조건 등에 의해 결정되어 진다. 따라서 주어진 조건에서 원하는 과학임무의 수행이 가능한가에 대한 사전분석이 필요하다.

한편, 천구의 각 지역별 방출선세기를 비교하기 위해서는 천구를 균등하게 분할하여야 한다. 그러나 대부분의 천구좌표계는 양극을 지나는 대원으로 분할하기 때문에 동일한 각크기로 분할되더라도 실제 면적은 극으로 갈수록 작아진다. 또한 이 효과를 보정하더라도 좌표변환을 하게되면 변환된 좌표계에서 면적의 변화가 생겨 방출선세기 측정에 오차를 유발하게되고 좌표변환에 의해 발생된 오차는 보정자체가 매우 어렵다. 따라서 천구좌표계를 중심으로 한 천구분할 방법에 기인하는 오차를 제거하기 위해서는 좌표변환에 대해 면적이 변하지 않는 천구분할 방법을 채택해야 한다.

이 논문에서는 발사초기 1년 동안 수행될 과학위성 1호의 전천탐사관측 모의실험을 통해 천구 각 지역별 노출시간을 분석함으로써 과학임무 달성에 필요한 요구조건을 제시하였다. 2장에서는 노출시간 계산에 필요한 과학위성 1호의 궤도조건 및 관측제한조건을, 3장에서는 지역별 노출시간계산에 대한 오차를 최소화할 수 있는 천구분할방법을 각각 기술하였다. 4장에서는 각 제한조건별 노출시간을 계산하였고, 5장에서는 4장의 계산결과를 바탕으로 노출시간을 극대화할 수 있도록 과학위성 1호 운용에 대한 요구조건 및 개선사항을 제시하였다.

2. 원자외선분광기의 임무 및 관측제한조건 분석

과학위성 1호의 주탑재체인 FIMS의 임무는 천체관측과 지구 고층대기 관측으로 나뉜다. 천체관측임무는 전반 1년 동안 전천탐사를 수행하고 후반 1년 동안 개별천체를 관측할 예정이다. 고층대기

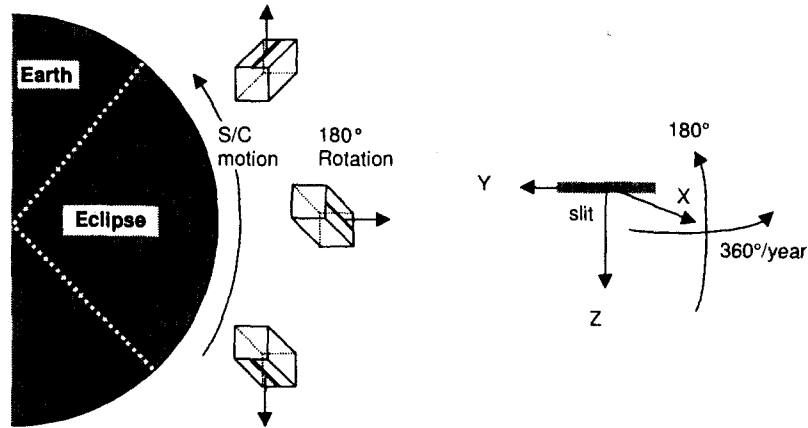


그림 1. 과학위성 1호의 전천탐사 방법. 위성이 식지역에 진입하면 천저에서 천정까지 위성체 (space craft; S/C)를 Y축에 대해 180° 회전시켜 천구를 스캔한다.

관측임무는 극지방의 오로라와 대기광 (airglow) 관측을 포함하고 있다.

과학위성 1호는 고도가 700km인 태양동주기궤도를 가지며 약 100분마다 한바퀴, 즉 하루에 14회 지구를 선회한다. 식시간 (eclipse time)은 대략 35분 내외이나 과학위성 1호의 전력사정으로 인해 관측가능한 시간은 25분 정도이다. 하루 14궤도 중 7궤도는 천체관측에 2궤도는 지상국과의 교신, 나머지 5궤도는 오로라 및 대기광관측에 할당되어 있다. 따라서 하루에 총 175분이 천체관측 임무에 할당된다.

과학위성 1호 발사 직후 1년 동안 수행되는 전천탐사관측은 매 궤도마다 태양 반대편의 천구를 180°씩 스캔하게 된다 (그림 1). FIMS의 FOV (Field of View)는 장파장의 경우 $8^{\circ} \times 5'$, 단파장의 경우 $4^{\circ} \times 5'$ 로 설계되어 있다. 태양동주기궤도는 승교점이 하루에 1°씩 이동하므로 장파장의 경우 같은 지역을 8회, 단파장의 경우 4회를 반복 관측하게 된다. 따라서 황도를 기준으로 장파장과 단파장에서 각각 약 500초와 250초의 노출시간이 예상된다(4.1 참조).

그러나 위의 노출시간은 최대치로 매 궤도마다 관측이 가능하지 않고 여러 가지 관측제한조건에 의해 관측가능시간이 줄어들게 된다. 저궤도위성의 경우 매일 3-4차례 SAA (South Atlantic Anomaly) 영역을 통과하게 된다. SAA 영역은 남반구 대서양 상공의 반 알렌벨트 침하현상에 의해 입자의 밀도가 비정상적으로 증가하는 지역으로 인공위성이 이 지역을 지날 때는 관측이 불가능할 정도로 검출기의 잡음수준이 높아지게 된다. 과학위성 1호도 SAA영역을 통과할 동안 검출기의 전원공급기 전압을 낮추어 관측을 중지하도록 설정되어 있다. 따라서 전천탐사를 수행하는 동안 SAA영역을 통과하게 되면 상당량의 관측시간을 잃게 된다. 과학위성 1호는 매일 3-4번씩 SAA영역을 통과하므로 SAA는 임무수행에 가장 큰 제한조건으로 작용한다. SAA영역의 크기는 고도와 태양의 활동주기에 영향을 받는데 이 연구에서는 허블 우주망원경에서 사용하는 SAA Model 5 contour (그림 2)를 채택하였다 (Daou & Calzetti 1997). SAA Model 5는 ROSAT 위성이 관측한 SAA영역의 크기와 비슷하다.

전천탐사는 매일 광범위한 영역을 스캔하기 때문에 매달 한번씩 스캔영역이 달의 위치와 교차하

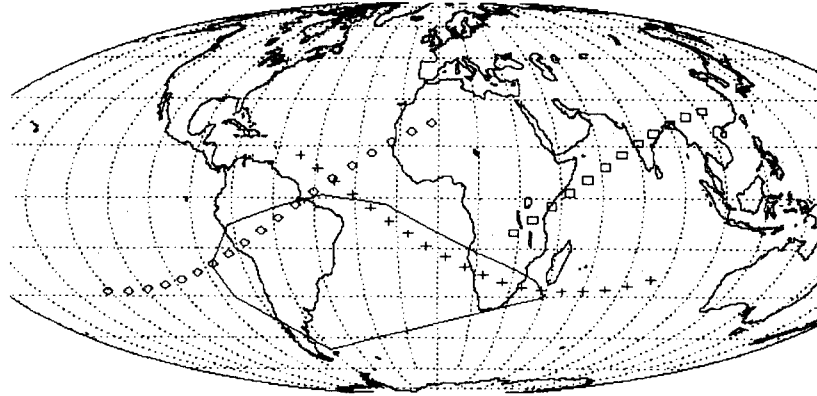


그림 2. 허블 우주망원경 SAA Model 5 contour. 남아메리카대륙에서 아프리카대륙 남단까지 대서양에 걸쳐 있는 SAA (South Atlantic Anomaly) 영역. 이 지역은 고에너지 입자의 밀도가 비정상적으로 높기 때문에 저궤도위성이 이 지역을 통과하게 되면 검출기의 잡음이 매우 높아져 정상적인 관측이 불가능하게 된다.

계 된다. 달의 시각이 FIMS의 FOV에 비해 작기 때문에 FIMS에 직접 미치는 영향은 작지만 과학 위성 1호의 자세정보를 수집하는 별추적기 (star tracker)의 시야에 달이 들어오게 되면 자세정보를 얻을 수가 없게 된다. 따라서 FIMS가 수집한 광자의 위치정보를 알 수 없으므로 관측자료로 사용할 수 없다. 과학위성 1호에 탑재된 별추적기의 FOV가 25° 이고 천구상에서 달의 이동속도가 하루에 약 12° 이므로 2일 동안 영향을 미치게 되므로 한달에 약 25개의 궤도가 달의 영향을 받게 된다. 달의 영향은 한 지역에서 집중적으로 나타나므로 천구상에서 노출시간 부족이 띠의 형태로 나타날 것으로 예상된다.

이 외에도 인공위성관측 고유의 여러 가지 관측제한조건이 있으나 FIMS의 임무수행에 대한 영향이 미미하므로 고려하지 않았다. 이 연구에서는 FIMS의 전천탐사임무에 가장 큰 영향을 미치는 SAA 영역과 달에 의한 영향을 궤도 시뮬레이션을 통해 집중적으로 살펴보았다.

3. 천구분할 방법 (Sky Pixelization Method)

일반적으로 관측을 통해 얻어지는 관측치들은 지역에 따라 연속적으로 나타나지만 실제로 생성되는 지도는 일정영역을 대표하는 한점에 할당되어 불연속적으로 표현된다. 특히, 천구의 세로좌표는 대원 (great circle)을 따라 균등하게 나누어지지만 가로좌표는 극쪽으로 갈수록 폭이 좁아진다. 따라서 천구의 좌표를 기준으로 분할하게 되면 천구상의 세로좌표 위치에 따라 면적이 변하게 된다. 세로좌표의 위치에 따라 동일한 면적이 되도록 보정이 가능하지만 좌표변환을 할 경우 일정영역을 대표하는 한 점을 기준으로 면적이 일정하게 되도록 배치하는데는 오차가 수반된다. 천구를 매우 작은 영역으로 세분하여 오차를 줄일 수 있지만 계산에 많은 시간이 소요되고 좌표변환에 따른 오차는 제거할 수 없다. 좌표변환에 의해 발생하는 오차가 비교하는 영역간 관측치의 차이에 비해 무시할 수 없는 값이라면 좌표변환에 무관한 천구분할 방법의 도입이 요구된다.

COBE위성과 같이 우주배경복사의 지역별 미세한 변화를 검출하기 위한 임무를 위해 천구분

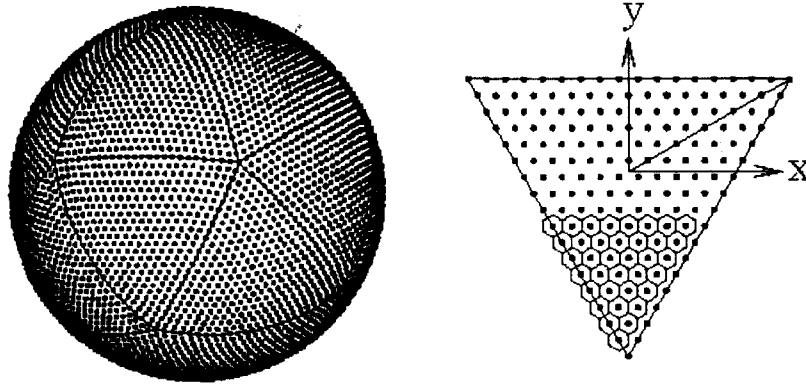


그림 3. 20면체 천구분할법. 천구를 20개의 삼각형으로 나눈 후, 차수에 따라 각 삼각형을 다시 면적이 균등한 6각형으로 분할한다.

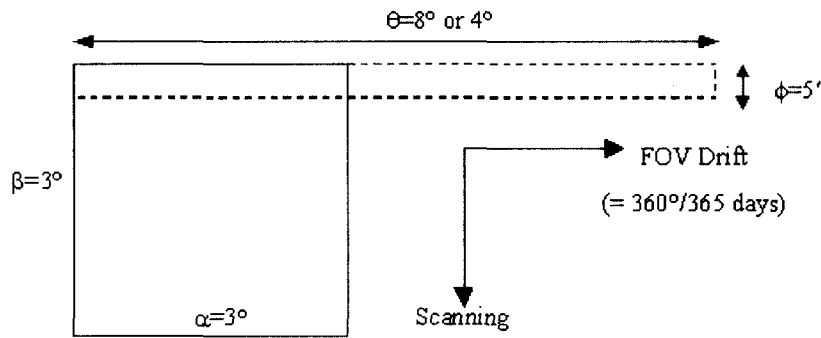


그림 4. 등가노출시간 (equivalent exposure time)의 계산.

할 방법에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다 (Chan & O'Neill 1976, O'Neill & Laubscher 1976). COBE위성의 관측결과를 분석하기 위해 도입된 방법은 나름대로 장점이 있었지만 COBE 이후에 수행된 우주배경복사 관측임무를 위해서는 보다 오차가 작은 천구분할 방법이 필요하였는데 Tegmark (1996)에 의해 20면체 천구분할법 (icosahedron sky pixelization)이 소개되어 현재는 우주배경복사 자료분석뿐만 아니라 다양한 전천탐사 관측분석에 활용되고 있다. 이 연구에서도 수 차례의 좌표변환이 수반되는 노출시간 계산에 동반되는 좌표변환오차를 줄이고 FIMS의 전천탐사 관측분석을 위해 Tegmark의 20면체 천구분할법을 채택하였다.

20면체 천구분할법은 천구를 20개의 삼각형으로 나눈 후, 각 삼각형을 다시 동일면적을 갖는 6각형으로 균등하게 분할하는 방법이다 (그림 3). 각 육면체는 천구상의 한 점으로 대표되면 차수 (order)에 따라 점의 수가 변화한다. 차수가 결정되면 직교좌표계로 표현되는 각 점은 좌표변환에 무관하게 고유한 좌표를 가지며 따라서 면적도 변화하지 않는다.

이 연구에서는 노출시간 계산단위가 약 $1^\circ \times 1^\circ$ 가 되도록 42252 픽셀을 갖는 33차 20면체 천구분할법을, $3^\circ \times 3^\circ$ sky binning을 위해서는 4412 픽셀을 갖는 11차 20면체 천구분할법을 사용하였다.

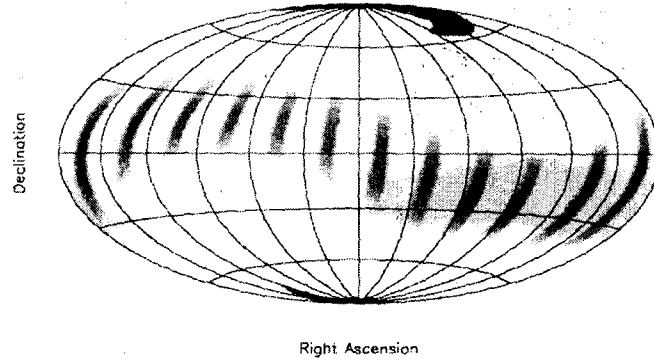


그림 5a. Case B의 적도좌표계 노출시간 지도. 회색으로 나타나는 부분은 노출시간이 이론적으로 계산한 517초보다 작은 지역이다. SAA에 의한 영향이 광범위한 지역에 나타나고 달에 의한 영향은 띠의 형태로 나타남을 알 수 있다.

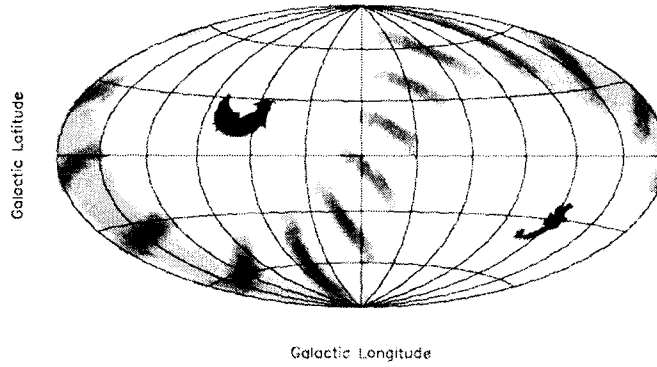


그림 5b. Case B의 은하좌표계 노출시간 지도.

4. 노출시간 계산

4.1 Case A: Simple analytic calculation

우선 천구영역별 대략적인 노출시간을 살펴보기 위해 매 궤도마다 황도의 양극을 스캔한다고 가정하였다. 여기서 노출시간은 고정된 한 지점에 대해 노출을 주는 것이 아니기 때문에 등가노출시간 (equivalent exposure time) 개념을 사용하였다. 즉, 단위면적에 대해 FIMS의 FOV가 지나는 시간이다. 그림 4에서 1일 7궤도를 가정할 경우 한 점에 대한 노출시간 T_{sky} 는

$$\begin{aligned}
 T_{sky} &= (\varphi \text{ crossing time}) \times (\text{number of crosses}) \\
 &= (25\text{min}/180^\circ \times 5') \times (7 \text{ orbits/day}) \times \theta = 8^\circ \text{ or } 4^\circ / (360/365\text{days}) \quad (1) \\
 &= 38.3\text{sec for } \theta = 8^\circ, \quad 19.2\text{sec for } \theta = 4^\circ
 \end{aligned}$$

가 된다. 실제 $36^\circ \text{irc} \times 3^\circ$ 로 binning된 천구에서 flux를 구하기 위한 등가노출시간 T_{equ} 는

$$T_{equ} = (3^\circ \times 3^\circ) / (8^\circ \times 5') \times T_{sky}$$

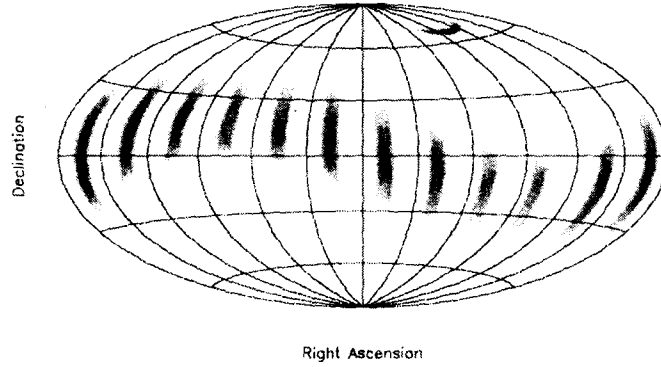


그림 6a. Case C의 적도좌표계 노출시간 지도. 그림 5와 마찬가지로 회색으로 나타낸 부분은 노출시간이 이론적으로 계산한 517초보다 작은 지역이다. 간단한 관측스케줄링에 의해 SAA에 의한 영향이 제거되었음을 알 수 있다.

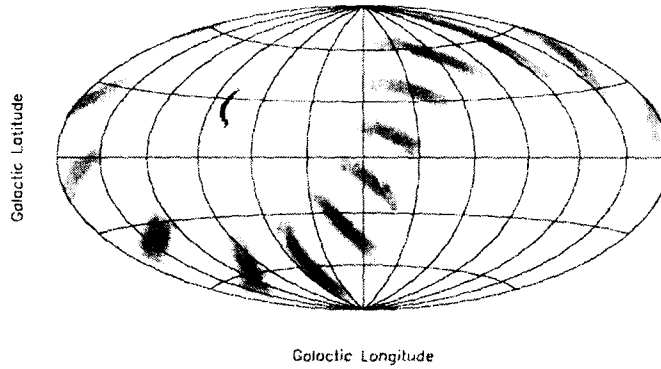


그림 6b. Case C의 은하좌표계 노출시간 지도.

$$= 517\text{sec for } \theta = 8^\circ, 259\text{sec for } \theta = 4^\circ \quad (2)$$

를 얻을 수 있다. 즉 노출시간이 가장 작은 황도에서 장과장과 단과장 밴드에서 각각 517초, 259초의 노출시간을 기대할 수 있고 황위의 절대값이 커질수록 노출시간은 황위의 cosine 값에 반비례하여 증가한다.

4.2 Case B: Basic calculation

Case A는 관측제한조건을 고려하지 않은 단순계산으로 단과장대에 위치한 OVI 방출선의 경우 최소 260초의 노출시간을 얻을 수 있었다. 그러나 SAA와 달에 의한 제한 조건을 고려하면 이 보다 노출시간이 줄어들 것이다. 이 경우에는 위성의 궤도를 직접 시뮬레이션하여 위성이 SAA 지역을 통과할 때와 달이 별추적기의 시야에 들어와 자세정보를 얻지 못하는 때에는 관측을 중단하는 것으로 가정하였다. 궤도는 고도 700km의 태양동주기궤도로 승교점 통과 시각은 13시로 가정하였다. 또한 가장 단순한 자세제어로 단축제어만을 통해 궤도면을 따라 천구를 스캐닝하도록 하여 스캐닝면이 천구좌표계와는 약간 틀어지게 된다.

적도좌표계와 은하좌표계에 대한 장과장밴드의 등가노출시간을 각각 그림 5a,b에 나타내었다.

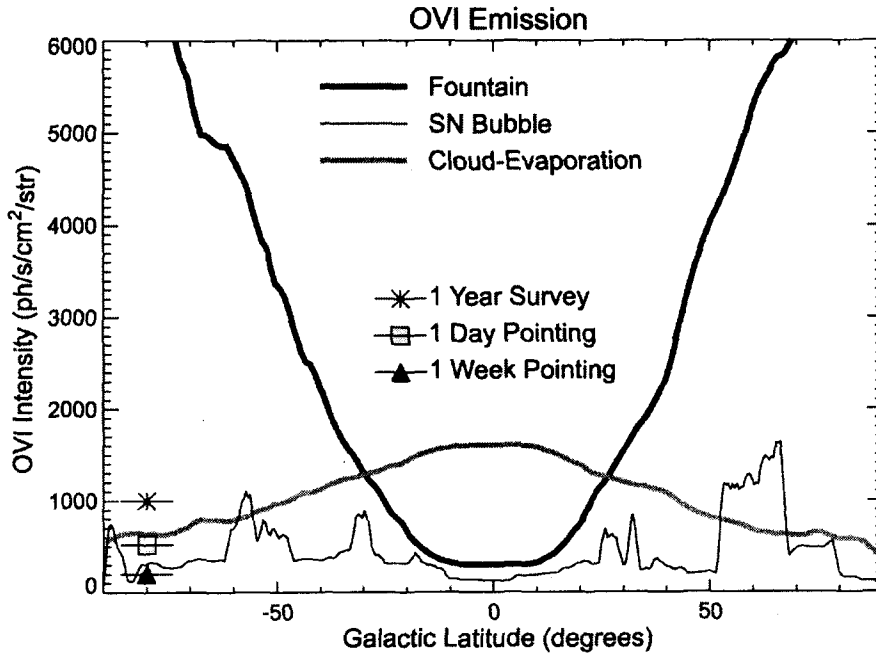


그림 7. 각 진화모형별 은위에 따른 OVI 방출선의 세기 분포. 왼쪽 하단의 표식은 각 노출시간 별 검출한계치를 나타낸다.

그림에서 회색으로 나타나는 부분은 노출시간이 Case A에서 계산된 최소 노출시간보다 작은 영역이다. SAA에 의한 넓은 부분과 달에 의한 띠 형태의 노출 부족부분을 뚜렷이 볼 수 있다. 적도좌표계의 양극 지점에 노출이 안되는 blind spot이 있는데 이는 위성의 궤도면이 천구의 극축과 기울어져 있기 때문에 발생하는 현상으로 천구 스캐닝시 2축 제어를 통해 제거할 수 있다.

4.3 Case C: Simply scheduled calculation

FIMS의 관측임무는 천체관측과 고층대기관측을 동시에 포함하고 있다. 전천탐사 관측은 SAA와 달에 의한 영향이 절대적이지만 오로라나 대기광과 같은 고층대기 관측은 이에 대한 영향이 거의 없다. 우선 고층대기관측의 경우 지구를 향하기 때문에 달에 의한 영향은 전혀 없다. 오로라 관측의 경우 위도가 60° 이상인 지역에서 관측을 하기 때문에 SAA의 영향을 받지 않는다. 대기광 관측을 위한 3개 궤도 중 night glow/nadir pointing 모드를 제외한 2개 궤도는 SAA의 영향을 받지 않는다. 따라서 하루 중 고층대기 관측에 할당된 5개 궤도 중 4개는 SAA의 영향을 받지 않기 때문에 SAA 통과궤도를 이들 관측에 할당한다면 전천탐사 관측에서 SAA의 영향을 배제할 수 있다. 간단한 스케줄링 개념만 도입하더라도 관측제한조건에 의해 잃게되는 노출시간을 상당부분 복구할 수 있다. 2축 제어와 간단한 스케줄링 개념을 도입하여 계산한 노출시간을 그림 6a,b에 나타내었다. Case A에서는 황경을 따라 스캐닝하는 것으로 계산하였지만 실제로 과학위성 1호의 궤도면이 적도좌표계의 극축에 더 가깝기 때문에 적경을 따라 스캐닝을 하였다. SAA에 의한 영향과 극 근처에 나타나는 blind

spot이 제거되었음을 확인할 수 있다. 그러나 달에 의한 영향을 다루기 위해서는 보다 복잡한 스케줄링이 필요하다.

5. 토 의

과학위성 1호 발사 후 FIMS를 통해 1년 동안 수행되는 전천탐사를 통해 우리은하에 분포하는 고온의 기체로부터 발생하는 방출선에 대한 전구지도 (all-sky map)를 작성할 예정이다. 이 전구지도로부터 얻어낼 수 있는 물리적인 정보는 노출시간에 의존한다. 현재 예상되고 있는 과학위성 1호의 궤도에 의하면 노출시간이 최소가 되는 황도부분에서 $3^\circ \times 3^\circ$ binning을 통해 장파장밴드의 경우 520초 정도의 노출시간이 기대된다. 이 노출시간은 적도에서의 최대치로 SAA와 달의 영향으로 인해 지역에 따라 노출시간이 상당히 감소되는 현상을 볼 수 있다. 그러나 간단한 스케줄링 개념을 도입하여 고층대기 관측과의 궤도 재배치를 통해 SAA의 영향은 제거가 가능하였고 달에 의한 영향도 보다 정교한 궤도 재배치에 의해 어느 정도는 줄일 수 있으리라 예상된다.

FIMS를 통한 전천탐사의 주목적은 우리은하에 분포하는 고온기체로부터 발생하는 방출선의 전구지도를 작성하여 성간물질 진화모형의 예측치와 비교하는 것이다. 비교를 위한 방출선은 OVI 1032Å 이중선과 CIV 1550Å 선으로 각각 FIMS의 단파장과 장파장밴드의 중심에 위치하고 있다. 현재까지 논의되고 있는 대표적인 성간물질 진화모형은 은하분수모형 (galactic fountain model; Shapiro & Benjamin 1993), 버블모형 (super nova bubble model; Cox 1995), 증발모형 (evaporative cloud interface model; McKee & Ostriker 1977) 등이 있는데 은위에 따른 두 방출선의 세기분포와 세기비가 모형 별로 다르게 나타나고 있다 (그림 7 참조). 은하분수모형은 은위가 증가함에 따라 두 방출선의 세기가 증가하는 반면 증발모형은 감소한다. 버블모형은 방출선의 세기가 일정한 형태를 띠지 않고 증가와 감소를 반복한다. 따라서 전천탐사를 통해 이들 진화모형을 구분해 내기 위해서는 모형을 통해 예측되는 각 방출선의 은위에 따른 변화를 구분할 정도의 노출시간이 필요하다. CIV선의 경우 방출선의 세기가 강하기 때문에 비교가 어렵지 않지만 OVI선은 세기가 약하고 노출시간도 적기 때문에 전천탐사 결과로는 비교가 쉽지 않을 것으로 예상된다.

은하적도에서 은하분수모형의 경우 OVI선의 세기가 약 300 LU (Line Unit; photons/sec/cm²/steradian)에 불과하고 증발모형의 경우 약 1500 LU 이다. 반면 은하의 극지역에서는 각각 6000 LU 이상, 약 400 LU 이다. 버블모형의 경우에는 최소치가 약 200 LU, 최대치가 약 1500 LU이다. 세기가 300 LU인 OVI선을 검출하기 위해서는 9000초 이상의 노출시간이 필요하고, 1500 LU인 경우 약 300초의 노출시간이 필요하다 (선광일 2000). 300초 이상의 노출시간을 얻기 위해서는 적위가 30° 이상이 되어야하므로 은하분수모형과 버블모형의 경우 적위가 30° 이하인 부분과 은경이 낮은 부분이 겹치는 지역에서는 OVI 방출선의 검출 자체가 어려울 것으로 예상된다.

전체적으로 은하분수모형과 증발모형은 은위에 따른 방출선 세기가 반대로 나타나기 때문에 현재의 전천탐사 방법으로도 검증이 가능하리라 예측되지만 증발모형과 버블모형의 구분을 위해서는 노출시간의 증가가 필수적이다. 현재의 전천탐사 방법은 천구적도에서는 노출시간이 불과 250여초에 불과하지만 극지역으로 갈수록 급격히 증가하여 극에서는 10^5 여초에 이른다. 대부분의 노출이 극지역에서 이루어지고 있기 때문에 매우 비효율적이다. 따라서 각 진화모형에서 예측되는 각 방출선 세기분포로부터 각 진화모형의 타당성을 검토하기 위해서는 현재 제안된 전천탐사 방법보다는 천구

를 세분하여 각 지역별 노출시간을 적절히 조정하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 각 성간물질 진화모형의 구분이 가능한 적절한 친구분할과 적절한 노출시간 확보를 위한 강화된 스케줄링 알고리즘의 개발이 요구된다.

참고문헌

- 선광일, 유광선, 육인수, 박장현, 남육원, 한원용, 선종호, 민경욱, Edelstein, J., & Korpela, E. J. 2000, 한국우주과학회지, 17, 77
- Chan, F. K. & O'Neill, E. M. 1976, Feasibility Study of a Quadrilateralized Spherical Cube Earth Database, Computer Science Corp. EPRF Tech. Rep.
- Cox, D. P. 1995, The Physics of ISM and IGM (ASP Conference Series 80), 317
- Daou, D. & Calzetti, D. 1997, HST Instrument Science Report MICMOS-97-032
- McKee, C. F. & Ostriker, J. P. 1977, ApJ, 218, 148
- O'Neill, E. M. & Laubscher, R. E. 1976, Feasibility Study of a Quadrilateralized Spherical Cube Earth Database, Computer Science Corp. EPRF Tech. Rep.
- Shapiro, P. R. & Benjamin, R. A. 1993, Star Forming Galaxies and Their Interstellar Media (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 273
- Tegmark, M. 1996, ApJ, 470, L81