

원자외선분광기 FIMS 자료의 자세정보 및 노출시간 보정

선광일^{1†}, 육인수¹, 유광선², 이대희¹, 박장현¹, 진호¹, 신종호^{3,4},
남옥원¹, 한원웅¹, 민경욱³, Eric Korpela⁴, Kaori Nishikida⁴, Jerry Edelman⁴

¹한국천문연구원 우주과학연구부

²한국과학기술원 인공위성연구센터

³한국과학기술원 물리학과

⁴Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley

ATTITUDE AND EXPOSURE CORRECTIONS OF FIMS DATA

K.-I. Seon^{1†}, I.-S. Yuk¹, K.-S. Ryu², D.-H. Lee¹, J.-H. Park¹, H. Jin¹, J.-H. Shinn^{3,4},

U.-W. Nam¹, W. Han¹, K. Min³, E. Korpela⁴, K. Nishikida⁴, and J. Edelman⁴

¹Space Science Research Division, Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

²Satellite Technology Research Center, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

³Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea

⁴Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, CA 94720-7450, U.S.A.

E-mail: kiseon@kao.re.kr

(Received November 1, 2004; Accepted November 18, 2004)

요 약

국내 최초의 과학위성인 과학기술위성 1호(STSAT-1)의 주 탑재체 원자외선분광기(FIMS; Far-ultraviolet IMaging Spectrograph)는 2003년 9월 발사된 이후로, 다양한 관측을 수행하고 있으나 위성체에서 제공하는 자세정보의 시각오차의 문제점이 발견되어 시각오차를 보정하기 위한 연구가 수행되었다. 시각오차의 보정 후에 잘 알려진 천체의 관측결과를 이용하여 FIMS와 위성체 좌표계 사이의 기계적인 정렬오차에 의해 발행하는 FIMS의 시선방향과 위성체에서 제공하는 자세의 차이를 단파장대와 장파장대에 대하여 각각 계산하였다. 또한, 자세정보의 월별 상태 및 정밀도를 조사하였다. FIMS의 관측방법의 특성상 FIMS로부터 얻어진 영상은 위치별로 서로 다른 노출시간을 갖는다. 이러한 노출시간을 보정하는 방법을 기술하였다. 이 연구의 결과는 FIMS 자료분석을 위해 반드시 필요한 내용이며 추후 좀 더 정밀한 자세정보 보정을 위한 참고 자료로 활용될 것이다.

ABSTRACT

The FIMS (Far-ultraviolet IMaging Spectrograph), the main payload onboard the first Korean science satellite STSAT-1, has performed various observations since its launch on September 2003. It has been found that the attitude informations provided by spacecraft bus system have a time offset problem, and the problem has been extensively studied. After the time offset correction, boresight offsets between FIMS fields of view, of long and short wavelength bands, respectively, and spacecraft attitude systems, which are mainly due to alignment error between the FIMS

[†]corresponding author

and spacecraft mechanical systems, were calculated through the observations of well known calibration targets. Monthly status and precision of the attitude information are also described. Correction methods for spatially variable exposure, intrinsic to FIMS data, are discussed. These results are essential to the FIMS data analysis, and will be used as references for subsequent studies on more accurate attitude corrections.

Keywords: space-based ultraviolet telescopes, attitude correction, exposure correction, FIMS

1. 서 론

FIMS(원자의선분광기, Far-ultraviolet IMaging Spectrograph; 또는 SPEAR)는 2003년 9월 27일 러시아 플라세츠크에서 발사된 과학기술위성 1호(STSAT-1)의 주탑재체로써 주요 임무는 우리 은하 전체에 걸쳐 광범위하게 분포하는 고온의 선광물질 및 수소 분자운을 연구하는 것이다(선광일 외 2000, 박장현과 선광일 2003, Seon et al. 2003). 과학기술위성 1호의 궤도는 고도 약 800km의 원형 태양동기궤도이다(Seon et al. 2000 참조). FIMS는 기존의 미션과는 비교할 수 없을 정도로 큰 시야각($8^\circ \times 5'$)을 가지고 있으며, 슬릿의 폭($5'$) 방향으로 스캐닝하면서 천구상에 8° 의 폭을 갖는 띠를 그리듯이 넓은 영역을 관측한다(유광선 외 1998, 박장현 외 2001, 선광일 외 2001b). 또한, FIMS는 일반적인 지상의 광학망원경과 같이 각 픽셀당 광량의 세기를 기록하여 영상을 얻는 방식이 아니라, 고에너지 천문학에서 주로 사용하는 방식과 같이 광자(photon)가 입사할 때 마다 광자의 검출기 상에서의 위치 및 검출 시간등을 기록하는 방식이다(이진근 외 2002, 남옥원 외 2002).

천문관측위성이 발사되고 나서 가장 먼저 선행되어야 할 일은 원하는 천체를 올바르게 관측하기 위해 관측탑재체의 시선방향(boresight)과 위성체의 자세와의 관계를 측정하는 일이다. 국내의 인공위성개발 역사는 1992년 우리별 1호의 발사와 함께 시작되었다(박성동 외 1996). 그러나, 과학기술위성 1호를 제외하고 모두 지상관측위성이거나 통신위성이었기 때문에 위성체의 정확한 자세정보가 필요하지 않았다. 즉, 국내의 경우 천문관측을 위한 시선방향 보정을 위한 연구는 전무하다고 하겠다. 따라서 국내 최초의 천문관측위성인 과학기술위성 1호의 주 탑재체인 FIMS의 시선방향을 보정하기 위한 연구를 수행하였다.

FIMS의 시선방향과 위성체의 별감지시스템의 기준좌표계가 틀어진 정도를 알기 위하여 주변에 다른 별들이 적고 찾기 쉬운 잘 알려진 천체를 중심으로 여러 번 쏘고 지나가듯이 왔다 갔다하면서 FIMS 시선방향 영점조정(calibration)을 위한 관측을 수행하였다. 그러나, 관측결과를 분석하는 과정에서 별들의 패턴이 두 개씩 중복되어 보인다는 것을 발견하였고 위성체로부터 FIMS에게 제공되는 자세정보에 포함된 시각기록이 위성체의 자세를 측정한 실제 시각이 아니라 조금 후의 시각이 기록된다면 이런 현상을 설명할 수 있음을 알게 되었다. 따라서 이러한 자세정보의 시각오차를 우선적으로 보정하고 FIMS의 시선방향을 계산하는 과정을 거쳤다.

국외의 천문관측위성들은 일반적으로 지향관측(pointing observation)을 통해 원하는 천체를 관측한다. 이런 경우, 망원경 지지대에 의한 효과를 제외하고는 관측영역전체에 걸쳐 동일한 노출시간을 갖는다. 그러나, FIMS의 관측방법은 지향관측이 아니라 스캔관측이기 때문에 천구상의 위치마다 노출시간이 다르게 된다. 특히 여러 궤도에 걸쳐 관측한 천체의 노출시간은 천구상의 위치별로 많은

표 1. AF RAW 및 FITS 파일에 포함된 자세정보 내용.

name	type	bytes	comments
IBM_SEC	double	8	IBM SEC (1/75 sec precision, since 1970-01-01 00:00:00)
QUATERNION[4]	float	4(×4)	quaternion in ECI (Earth-Centered Inertial) vector components: Q[0], Q[1], Q[2] scalar component: Q[3]
BORY_RATE[3]	float	4(×3)	satellite body rotation rate (rad/sec)
SAT_POS[3]	float	4(×3)	satellite coordinate in ECI (km)
SENSOR_USAGE	char	1	sensor flags (CSS, NMAG, ASS, NAST, WIST, Gyroscope)
DUMMY		1(×3)	
HOLE		4	caused by Visual C structure
SAT_VEL[3]	float	4(×3)	satellite velocity in km/s
ELV	float	4	limb elevation angle in degree
RA	float	4	Right Ascension in degree
DEC	float	4	Declination in degree
POS_ANG	float	4	Position angle in degree
RAM	float	4	RAM angle in degree

차이를 보일 수 있다. 이러한 차이를 보정하기 위해 천구상의 위치별로 노출시간을 계산하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

이 논문에서는 FIMS 자세정보의 시각오차 보정을 위한 방법과 quaternion 연산을 통한 시선방향 보정 결과를 소개한다. 또한, 천구상의 위치별 노출시간 계산을 위한 방법을 기술한다. 이 연구의 결과는 FIMS 자료분석을 위해 반드시 필요한 내용이며, 추후 국내 천문관측위성의 자세제어 기술의 발전을 위한 중요한 참고자료라고 본다.

2. 자세정보 보정

2.1 자세정보 화일

위성체에서 FIMS에 제공하는 자세정보 파일은 AF 파일이라 불리운다. AF 파일에는 136바이트(bytes)의 헤더(header)와 그 뒤로 56바이트의 자세정보가 매 1/75초 간격으로 기록되어 있다. 각각의 56바이트에 포함된 내용은 표 1의 상단의 항목과 같다. 표 1에서 IBM_SEC는 1970년 1월 1일 이후부터 계산된 초(sec)를 의미한다. QUATERNION은 위성체의 자세정보를 나타내는 값으로써, 그림 1과 같이 위성체 좌표계를 정의했을 때 적도좌표계(equatorial coordinate system)와 일치하는 자세로부터 현재의 자세로 회전시켰을 때 회전 변환을 나타내는 4개의 값이다. 이때, FIMS의 시선방향은 위성체의 x 축 방향에서 약간 틀어져 있으며 단파장대(short wavelength band)와 장파장대(long wavelength band)의 틀어진 정도가 다르다.

SENSOR_USAGE는 표 2의 순서대로 CSS(Coarse Sun Sensor), NMAG(Navigation MAGnetometer), ASS(Analog Sun Sensor), NAST(Narrow Angle Star Tracker), WIST(Wide Image Star Tracker) 및 자이로스코프(Gyroscope)에 대하여 각각이 작동할 때는 해당하는 비트(bit)값을 1로, 작동하지 않을 때는 0으로 하여 얻어지는 1바이트 정수값이다. 특히, WIST의 상태를 나타내는 값이 중

표 2. SENSOR_USAGE의 세부내용(MSB: most significant bit, LSB: least significant bit).

Bit7 (MSB)	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0 (LSB)
		CSS	NMAG	ASS	NAST	WIST	Gyroscope

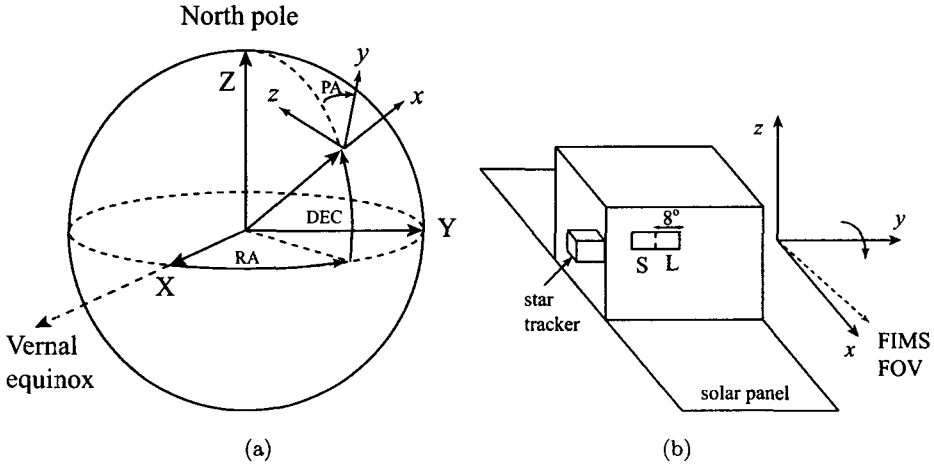


그림 1. (a) 자세정보를 위한 천구(적도) 좌표계(평면 yz 는 천구에 접한다.) 및 (b) 위성체 기준 좌표계의 정의.

요한데 WIST에 해당하는 비트값이 1일때, 자세정보를 신뢰할 수 있다.

모든 AF 파일은 파이썬(python, 이강성 2000) 언어로 작성된 파이프라인(pipeline)을 통해 전부 자동으로 FITS(Flexible Image Transport System; Wells, Greisen, & Harten 1981) 형식으로 변환되며, 시간에 따른 자세정보의 변화를 한눈에 볼 수 있도록 포스트스크립트 형식의 그림이 자동으로 생성된다. 이때, 위성체로부터 제공되는 AF 파일은 AF RAW 파일이라고 부르고 FITS 형식으로 저장된 파일을 AF FITS 파일이라고 부르기로 한다. AF FITS 파일은 AF RAW 파일의 불필요한 데이터(DUMMY)와 홀(HOLE)을 제외한 모든 항목을 포함하고 있으며, 표 2의 하단 항목과 같이 기본적으로 제공되는 값들로부터 계산된 값들을 포함하고 있다. SAT_VEL은 SAT_POS을 수치 미분한 값으로 위성체의 진행 속도 벡터를 나타내며, RA와 DEC은 FIMS의 단파장대와 장파장대의 시선 방향을 평균한 방향의 천구상의 적도좌표인 적경과 적위를 나타낸다. POS_ANG은 FIMS 슬릿의 길이(8°, 위성체의 y 축과 거의 일치)방향을 나타내는 위치각(position angle)으로 그림 1(a)에서 PA와 같이 정의된다(Woolard & Clemence 1966).

RAM값은 FIMS 시선벡터와 위성체의 속도벡터가 이루는 각도이다. 과학기술위성 1호의 궤도(약 800km)에서는 위성체의 속도로 인해 단위 시간당 FIMS의 반사경에 충돌하는 산소분자의 양이 무시할 수 없을 만큼 많아진다. RAM값이 작을 때는 지구 대기중의 산소와 FIMS의 반사경의 충돌에 의하여 반사경의 반사효율이 감소할 수 있다. 이러한 영향을 최소화하기 위해 단파장대의 반사경을 코팅할 때 일반적으로 많이 사용되는 탄화규소(SiC)가 아닌 탄화붕소(B₄C)를 사용하였고(Keski-Kuha et al. 1998, 선광일 외 2001a), RAM값이 30° 이상을 유지하도록 위성체의 자세 및 FIMS 관측 스킴

줄을 조정하고 있다. ELV값은 지구표면을 접하는 가상적인 평면을 생각했을 때, 이 평면과 FIMS의 시선방향이 이루는 각도이다. 이 값을 통해 FIMS의 시선방향이 하늘을 향하고 있는지, 지구 대기를 향하고 있는지 알 수 있다. 또한, ELV값과 지구 대기광 방출선과의 상관관계를 분석함으로써 지구 대기광에 의한 잡음의 효과를 연구할 수 있다.

2.2 천구좌표 계산

위성체에서 주어지는 자세정보는 일련의 불연속적인 시각 $\{T_i, (i = 1, 2, 3, \dots)\}$ 에 대해 quaternion $Q_{S/C}(\{T_i\})$ 으로 주어진다. 이때, FIMS가 바라보는 천구상의 적도좌표 적경과 적위는 FIMS의 시선방향과 위성체의 좌표계와의 오차를 고려하여 quaternion 연산법칙(Salaman 1979)을 이용하여 계산한다. FIMS의 시선방향이 위성체로부터 빗나간 정도를 회전으로 표현한 quaternion을 Q_{bore} 라고 하면 FIMS 시선방향은 $Q_{\text{FOV}}(\{T_i\}) = Q_{S/C}(\{T_i\})Q_{\text{bore}}$ 이 된다. 이 값은 위성체로부터 자세정보가 주어지는 시각 $\{T_i\}$ 에 계산된 FIMS 시선방향이므로 검출기상에 광자가 검출된 임의의 시각 T 에 FIMS가 바라보는 시선방향은 quaternion을 내삽하여 얻어진다. 즉 가장 간단한 선형 내삽 *Lerp*(Linear quaternion interpolation)를 사용한다면, 다음과 같다.

$$Q_{\text{FOV}}(T) = \text{Lerp}[Q_{\text{FOV}}(\{T_i\}), T] = \text{Lerp}[Q_{S/C}(\{T_i\}), T] Q_{\text{bore}}. \quad (1)$$

이때, $Q_1(h = 0)$ 과 $Q_2(h = 1)$ 을 0과 1사이의 임의의 h 에서 내삽하고자 할 때, 선형 내삽한 값은 $\text{Lerp}(\{Q_1, Q_2\}, h) = Q_1(1 - h) + Q_2h$ 으로 정의된다(Dam, Koch, & Lillholm 1998). 이렇게 계산된 quaternion은 FIMS 시야의 중심이 바라보는 시선방향을 나타낸다. FIMS는 1차원적인 분광정보와 함께 1차원적인 영상정보를 동시에 획득하므로, 영상축 방향(8° 방향)의 위치에 따라 천구상의 좌표가 다르게 된다. 이때, 영상축 방향의 좌표 ϕ 는 FIMS 시야 중심에서 z -축을 중심으로 ϕ 만큼 회전한 방향을 나타내므로 ϕ 만큼의 회전을 표현하는 quaternion은 $Q_\phi(T) = [\cos(\phi/2), \sin(\phi/2)(0, 0, 1)]$ 이 된다. 따라서, 임의의 시각 T 에 FIMS 검출기상의 영상좌표 ϕ 에서 검출된 광자의 천구좌표를 나타내는 quaternion은 다음과 같다.

$$Q_{\text{ph}}(T) = Q_{\text{FOV}}(T)Q_\phi(T) = \text{Lerp}[Q_{S/C}(\{T_i\}), T] Q_{\text{bore}}Q_\phi(T). \quad (2)$$

구하고자 하는 적도좌표는 벡터 $(1, 0, 0)$ 을 회전한 벡터의 좌표이므로 아래의 연산에 의해 구해지는 벡터로부터 바로 적경과 적위를 구할 수 있다.

$$X(T) = Q_{\text{ph}}(T)[0, (1, 0, 0)]Q_{\text{ph}}^*(T). \quad (3)$$

모든 FIMS 자료는 부록의 기본 전처리 과정을 통해 FITS 파일로 저장되어 있으며, 검출기상의 영상좌표 ϕ 는 FITS파일의 PHI 열(column)에 도($^\circ$) 단위로 기록된다. 입사 광자에 대한 천구상의 좌표를 계산한 후에 원하는 파장대역과 시간영역, 천구좌표의 영역만을 포함하도록 광자 리스트를 선택하고 2차원 히스토그램을 만드는 과정을 통하여 영상을 만들게 된다.

2.3 자세정보의 시각오차 보정

위성체에서 제공하는 자세정보는 시각오차를 가지고 있으며, 시각(IBM_SEC) T 와 함께 기록되는 자세정보는 그 시각 T 에 측정된 자세가 아니라 $T - \Delta T$ 일때 측정된 자세정보이다. 이때, 시각오차 ΔT 는 대부분의 궤도에 대해 약 2-4초의 범위에 있지만, 약 0-6초 정도까지 변하기도 한다. 또

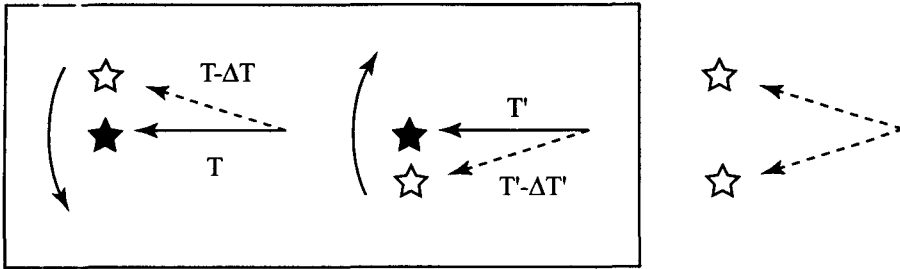


그림 2. 자세정보의 시각오차에 의해 중복되어 나타나는 별의 패턴.

한, 한 궤도 내에서도 1초 미만의 변화가 있음을 확인하였다. FIMS와 탑재컴퓨터(OBC, On-Board Computer) 사이의 시각 동기화 오차가 0.4초 미만이라는 것을 감안한다면(곽성우와 박홍영 2004), 자세정보의 시각오차는 심각한 정도라고 할 수 있다. 실제로 FIMS 관측자료로부터 탑재컴퓨터 시각과의 시각 동기화 오차는 종종 0.4초를 넘기도 하였지만, 1초 미만이었다(부록 참조). 시각오차가 발생하는 이유는 별감지센서에서 별을 측정하여 위성체의 자세를 계산한 후, 측정시의 시각을 기록하지 않고 계산이 끝난 후의 시각을 기록하기 때문이거나 위성체의 자세를 계산하는 WIST 작업과 탑재컴퓨터 사이의 통신 네트워크의 전송시간 지연 등에 의한 것으로 추정된다(이현우와 박홍영 2004). 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 번의 노력이 있었으나 해결되지 않았다.

그림 2는 시각오차를 보정하지 않았을 때 2개의 패턴이 반복되어 나타나는 원리를 보여준다. 그림에서 실선과 속이 채워진 별은 실제 FIMS가 바라보는 방향을 나타내고, 점선과 속이 채워지지 않은 별은 시각오차에 의해 잘못 기록된 위치를 나타낸다. 즉, 시각 T 에 별이 관측되어 FIMS의 검출수가 증가하지만 FIMS 시선방향의 위치는 $T - \Delta T$ 에서의 위치로 기록되기 때문에 속이 채워지지 않은 곳에 별이 있는 것으로 나타나게 되어 별을 여러 번 왔다 갔다 하면서 관측한다면 동일한 별들의 패턴이 2번씩 반복하여 나타나게 된다.

한 궤도에서 주어진 영역을 여러 번 왕복하면서 관측한 경우 아래와 같이 크게 3가지 시각오차 보정 방법을 생각해볼 수 있다.

- (a) **영상포개기(Image Folding):** 이 방법은 X-선 천문학에서 펄서 등의 주기를 찾기 위하여 사용하는 시점포개기(epoch folding) 방법(Leahy et al. 1983)을 FIMS 자료분석을 위해 2차원으로 확장한 방법이다. 여러 번 왕복한 데이터를 모두 합하여 한꺼번에 영상을 만들었을 때, I_i 를 i 번째 픽셀에서의 세기, σ_i 를 i 번째 픽셀에서의 표준편차라고 정의하자. 이때, 시각오차 ΔT 를 0-10초 사이에서 변화시켜가면서 영상을 만들어 아래와 같이 정의되는 χ^2 값이 최대가 되는 ΔT 를 찾으면, 이 값이 원하는 시각오차값이 된다. N 은 이미지 픽셀의 갯수이다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(I_i - \sum I_i/N)^2}{\sigma_i^2}.$$

- (b) **상관관계(Correlation):** 이 방법은 왕복할 때마다 영상을 따로 만든 후에 두 개의 영상씩 비교하는 방식이다. 각각의 영상의 세기를 I_{1i} 와 I_{2i} 라고 정의하고, 아래의 식과 같이 정의되는

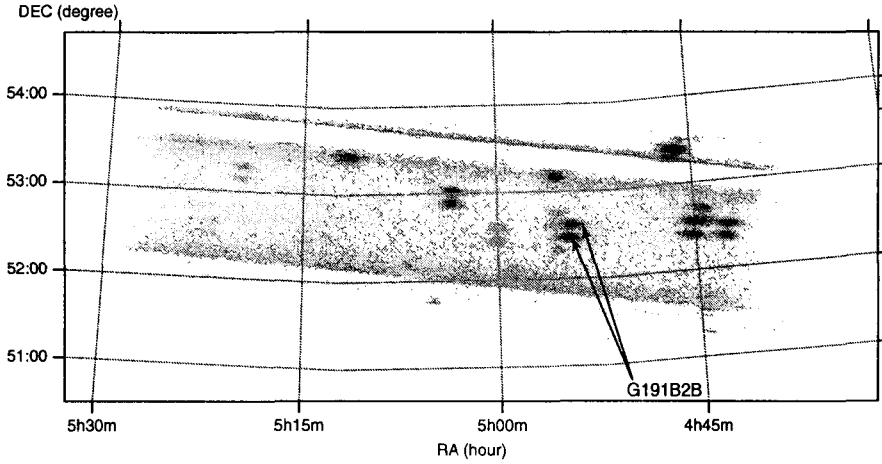


그림 3. 시각오차 및 시선방향 보정 전의 G191B2B 영역의 별들의 모습.

Pearson의 상관계수(correlation coefficient) R 값(Press et al. 1992)이 최대가 되는 시각오차 ΔT 를 구한다.

$$R = \frac{N \sum I_{1i} I_{2i} - \sum I_{1i} \sum I_{2i}}{\sqrt{[N \sum I_{1i}^2 - (\sum I_{1i})^2][N \sum I_{2i}^2 - (\sum I_{2i})^2]}}$$

(c) χ^2 최소화: 잘 알려진 방법으로 I_{1i} 와 I_{2i} 를 각각 이쪽에서 저쪽으로, 저쪽에서 이쪽을 스캔할 때의 세기라고 하고 σ_{1i} 와 σ_{2i} 를 각각에 대응하는 표준편차라고 하자. 이때, 아래와 같이 정의 되는 χ^2 값(Press et al. 1992)이 최소가 되도록 ΔT 를 구한다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(I_{1i} - I_{2i})^2}{\sigma_{1i}^2 + \sigma_{2i}^2}$$

위의 방법 중 영상포개기를 제외하고는 한 궤도에 대하여 각각의 스캔별로 나누어서 영상을 만들어야 하는 번거로움이 따른다.

전천탐사 관측과 같이 여러 번 왕복하며 관측하지 않고, 한번만 스캔하여 관측한 경우에는 위의 방법을 그대로 사용할 수 없기 때문에, TD1 목록(catalog)과 같은 별의 목록을 이용하여 시각오차를 보정할 수 있다. TD1 목록은 자외선 영역에서는 유일하게 전천탐사를 통해 얻어진 별의 목록으로(Thompson et al. 1978), FIMS의 장과장대와 동일한 파장영역에서의 별의 밝기를 제공하고 있다. FIMS 영상과 동일한 크기의 2차원 배열(array)을 선언한 후, TD1 목록으로부터 별의 밝기값을 별의 위치에 해당하는 픽셀에 할당하여 TD1 목록으로부터 기준영상을 만든다. 다음으로는 기준영상을 FIMS의 점퍼짐 함수(point spread function)에 해당하는 가우스(Gaussian) 함수를 이용하여 합성(convolution)한다. 예를 들어, 스캔 방향으로는 5', 슬릿 길이 방향으로는 10'의 크기를 갖는 가우스 함수를 이용하여 합성한다. 이렇게 구해진 기준영상과 시각오차를 변화시켜가면서 얻어진 FIMS 영상을 상관관계 또는 χ^2 최소화 방법을 통하여 비교함으로써 자세정보의 시각오차를 구할 수 있다.

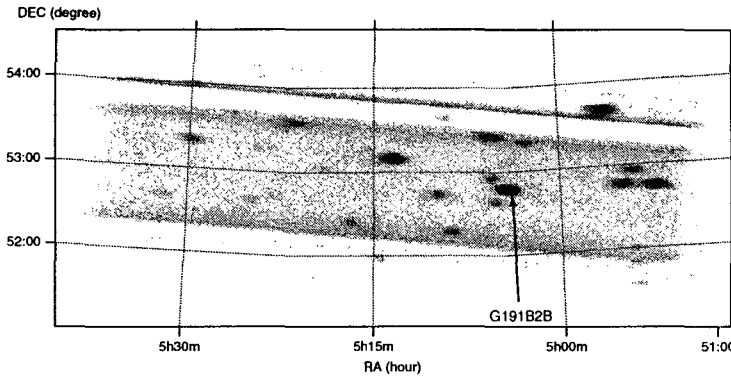


그림 4. 시각오차 및 시선방향 보정 후 G191B2B 영역의 별들의 모습.

표 3. FIMS 시선방향 보정을 위한 quaternion Q_{bore} .

	Vector			Scalar
	Q_x	Q_y	Q_z	Q_0
L-band	4.5321030×10^{-4}	$-4.0729539 \times 10^{-4}$	1.3159215×10^{-2}	9.9991323×10^{-1}
S-band	4.4938378×10^{-4}	8.0423014×10^{-5}	1.2294346×10^{-2}	9.9992432×10^{-1}

그림 3은 시각오차 및 시선방향 오차를 고려하지 않았을 때, 백색왜성 G191B2B 관측결과로부터 얻어진 영상이다. 이 관측은 G191B2B 영역을 여러 번 스캔하여 얻어진 결과로써, 13개의 궤도에 걸쳐 얻어진 자료를 전부 합하여 구해진 영상이다. 그림으로부터 별의 패턴이 2번씩 반복됨을 분명히 볼 수 있다. 그림에서 여러 개의 직선들이 보이는 이유는 주어진 영역을 여러 번 스캔할때 주로 양쪽 끝부분에서 노출시간이 길어지기 때문이다. 그림 4는 시각오차와 시선방향 모두를 보정하여 얻어진 영상을 보여준다. 이때, 시각오차는 약 1.6초에서 2.4초 범위에 있었다.

여러 궤도에 걸친 분석결과 약 3초의 시각오차를 가정하면 대략 10' - 15' 범위내에서 자세정보가 맞는 것을 확인할 수 있었으며, 현재 FIMS의 모든 자료에 대한 자세정보 붙이기(Attitude Tagging)작업은 기본적으로 3초의 시각오차를 가정하고 있다. 그러나, 주의할 점은 매 궤도마다 시각오차가 다르며, 동일한 궤도에서도 스캔방향의 각 크기가 약 8°이상이 되면 시각오차가 일정하지 않고 조금씩 변하는 것이 확연히 드러난다는 것이다. 그림 5는 1168번째 궤도에 대하여 일정한 시각오차(3.90초)를 가정하여 그린 영상으로 윗 부분에서는 시각오차가 잘 보정되었지만, 아랫 부분에서 여전히 별이 두 개씩 보임을 확인할 수 있다. 이런 경우, 영상을 스캔방향으로 몇 등분으로 나누어서 각각에 대하여 시각오차를 고려하든가, 위의 3가지 방법에서 시각오차 ΔT 를 시각 T 의 1차 또는 2차 함수로 놓고, 2개 또는 3개의 변수를 변화시켜가면서 시각오차를 구해야 한다. 따라서 좀 더 정밀한 자료분석을 위해서는 위의 방법 등을 통하여 매 궤도 마다, 매 위치마다 정확한 시각오차 계산을 위해 주의깊게 살펴보아야 한다.

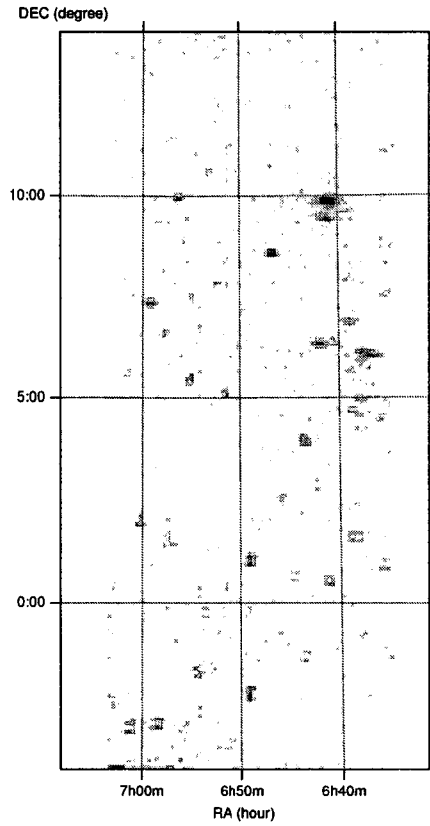


그림 5. 위치에 따른 시각오차의 변화.

표 4. 오일러각(Euler angles)으로 표현한 FIMS 시선방향 보정값(단위: 도).

	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z
L-band	0.0513154	-0.0473520	1.5080000
S-band	0.0516050	0.0085820	1.4088600

2.4 FIMS 시선방향 보정

FIMS 시선방향과 위성체와의 관계는 잘 알려진 별들을 관측함으로써 구한다. 식(2)에서 시선 방향 보정을 위한 quaternion Q_{bore} 를 변화시켜가면서 알려진 별들의 위치와 관측된 별들의 위치가 가장 잘 맞게 되도록 Q_{bore} 값을 구한다. 즉, i 번째 별의 관측위치와 실제 별의 위치사이의 각거리를 Δ_i 라고 하면 다음과 같이 정의되는 χ^2 값이 최소값이 되도록 Q_{bore} 값을 구해야 한다.

$$\chi^2 = \sum_i \Delta_i^2. \tag{4}$$

이때, 측정된 별의 적도좌표를(RA_1, DEC_1), 실제 별의 좌표를(RA_2, DEC_2)라고 하면 각 거리 Δ 는

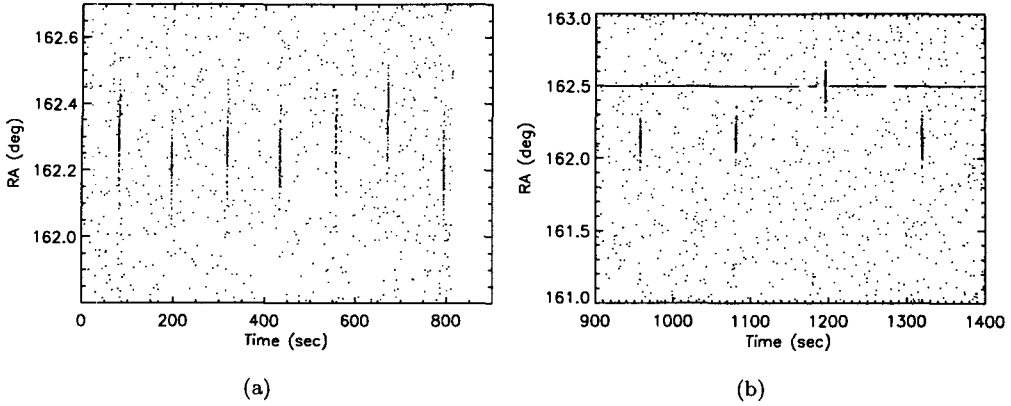


그림 6. 시간에 따른 HD 93521의 적경의 변화: (a) 2743번째 궤도의 관측 자료, (b) 2347번째 궤도의 관측자료.

다음과 같다(Woolard & Clemence 1966).

$$\Delta = \cos^{-1} [\sin(\text{DEC}_1) \sin(\text{DEC}_2) + \cos(\text{RA}_2 - \text{RA}_1) \cos(\text{DEC}_1) \cos(\text{DEC}_2)]. \quad (5)$$

시선방향 보정을 위해 ALF CAM, G191B2B, FEIGE66, HD197375, HD93521, HD31278, HD30752 등의 관측자료를 이용하였으며, 계산된 결과는 표 3과 4에 나타내었다. 표 3은 quaternion으로 표현한 값이고, 표 4는 오일러각으로 표현한 값으로써 오일러각의 회전순서는 z, x, y 의 순서이다. 그림 4는 FIMS의 시선방향까지 보정한 후의 G191B2B 영역의 영상을 보여준다. 표 4 및 그림 4로부터 알 수 있듯이 주로 스캔방향에 수직인 슬릿 길이방향으로 약 1.4° 정도 빛나가 있다. 참고로 G191B2B는 J2000 좌표로(적경, 적위) = $(05^{\text{h}} 05^{\text{m}} 30^{\text{s}}.6119, +52^\circ 49' 51''.945)$ 이다. 그림 4로부터 보정된 후의 좌표값은 FIMS의 영상분해능 $5' - 10'$ 범위내에서 일치함을 알 수 있다.

그러나, 실제로는 Q_{bore} 하나의 값으로 모든 관측결과를 잘 맞출 수 없었다. 매 궤도마다 약간씩 위성체의 자세정보의 정확도가 변할 뿐만 아니라 다음절에서 보듯이 한 궤도내에서도 수 각분(arcmin) 범위에서 약간씩의 변화가 있다. 따라서, 최대한 잘 맞출 수 있는 범위에서 Q_{bore} 을 계산하였고 정밀한 자세정보가 요구될 때는 매 궤도별로 별 목록과 비교해가면서 조정할 수 밖에 없다. 정밀한 자료분석을 위해서는 여기서 계산된 Q_{bore} 값 대신에, 또 다른 quaternion Q_{off} 을 고려하여 $Q'_{\text{bore}} = Q_{\text{off}} Q_{\text{bore}}$ 을 사용하여 매 궤도마다 Q_{off} 을 찾아야 한다.

2.5 자세정보의 정밀도

과학기술위성 1호의 자세정보의 정밀도를 여러 관측을 통해 대략적인 오차 범위를 조사하였다. 일반적으로 스캔방향으로는 시각오차에 의해 자세정보의 오차가 발생하며, 슬릿의 길이방향(시야각이 8° 인 방향)으로는 좌우 흔들림에 의해 자세정보의 오차가 발생한다. 그 결과 WIST 플래그가 지속적으로 1인 경우 일반적으로 약 $5'$ 정도의 자세정보 정밀도를 가지고 있지만, 종종 $8'$ 정도의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 잠깐 동안 WIST 플래그가 0인 경우는 초당 약 $1.5'$ 으로 자세가 이동(drift) 하기도 하였다.

그림 6는 FIMS 감도측정을 위해 선정된 천체 HD93521을 관측한 결과로써 적경은 고정시키고

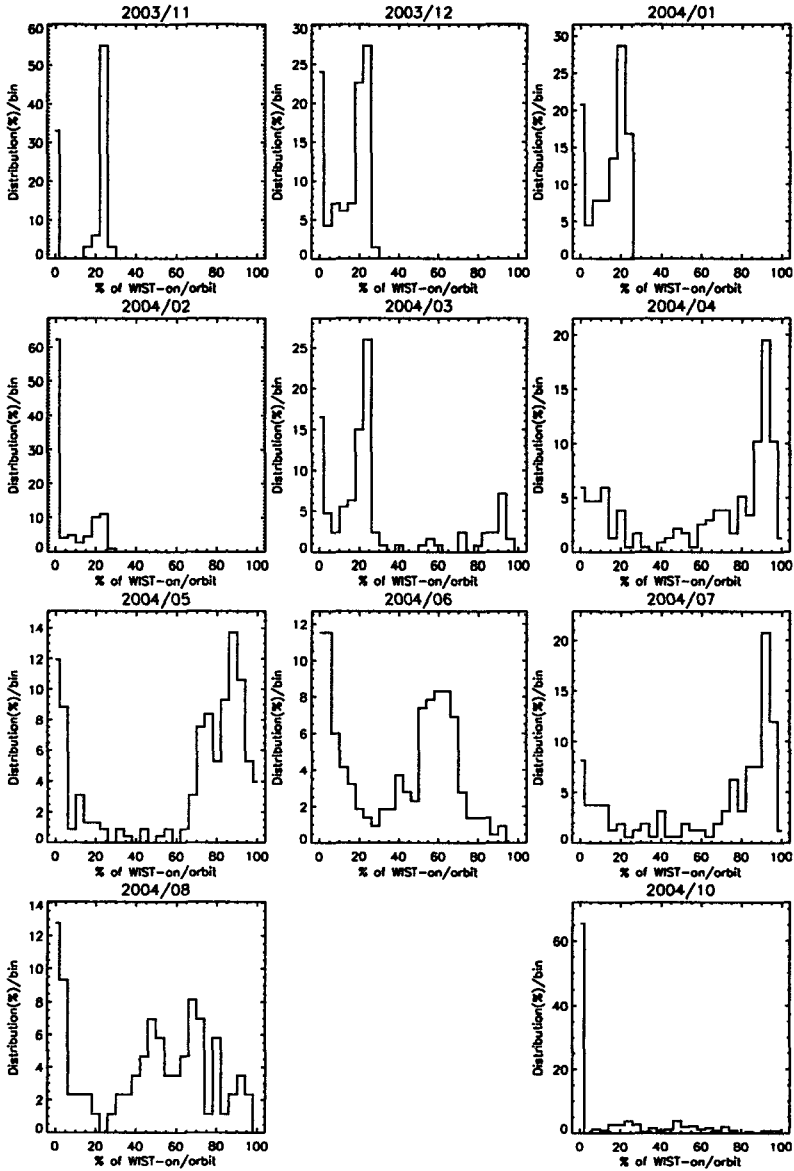


그림 7. 2003년 11월부터 2004년 10월 20일까지 자세정보 통계. 2004년 8월 중순부터 2004년 9월까지 배터리 및 자세제어의 문제로 인해 관측자료가 없다.

적위를 변화시켜가면서 HD93521 주변을 여러 번 왕복하면서 관측한 결과이다. 시간에 대한 적경값의 변화를 보여주기 위해 검출된 모든 광자의 시각과 적경값을 점으로 표시하였다. 이때 가로축은 편의를 위해 임의의 시각을 기준으로 측정된 시간이다. 그림에서 세로선 모양은 선이 아니라 그 시각에 별을 지나가기 때문에 광자가 많이 검출되어 광자의 좌표를 나타내는 점들이 마치 선과 같이 보이는

것이다. 이때, 적경축 방향으로 퍼진 정도가 FIMS의 공간분해능에 해당하며 중앙값이 HD93521의 적도좌표이다. 시각축으로 퍼진 정도는 약 5'크기의 FIMS 슬릿폭을 별이 지나갈 때 걸린 시간을 의미한다. 여러개의 세로선 모양이 보이는 이유는 적위방향으로 여러 번 왕복하면서 관측을 하였기 때문이다.

그림 6(a)의 2743번째 궤도에서는 WIST 플래그가 전부 1이었으며, 별감지센서가 올바르게 작동하였다. 그러나, 그림에서 볼 수 있듯이, 이 경우에도 적경방향(8° 의 시선방향)으로 약 7-8' 정도의 오차가 있음을 볼 수 있다. 이 오차값은 HD 93521의 적위 $\sim 37^\circ$ 를 감안하여 적경좌표의 각 변화값에 비해 실제 각 크기가 $\cos(37^\circ) \sim 0.8$ 만큼 줄어드는 효과를 고려하여 계산한 값이다. 그림 6(b)는 WIST 플래그가 잠깐 동안 0인 경우 좌표의 이동이 얼마나 발생하는지를 보여준다. 그림 6(b)에서 가로선은 WIST 플래그가 1인 시각을 점으로 나타낸 것이고, 가로선이 안 보이는 시각은 WIST 플래그가 0인 시각이다. 그림에서 확인 가능하듯이 시각이 약 1200초인 지점에서 약 10초동안 WIST 플래그가 0인 간격이 발생했으며 이때, 적경방향으로 약 15'만큼 이동했음을 알 수 있다. 이 값도 0.8만큼 줄어드는 효과를 고려한 값이다.

그림 7에서는 2003년 11월부터 2004년 10월 20일까지 관측된 자료에 대하여 자세정보의 월 별 상태를 보여준다. 그림에서 x 축(% of WIST-on)은 한 궤도당 위성체에서 제공하는 자세정보의 총 갯수중 WIST 플래그값이 1인 자세정보 갯수의 백분율이다. 즉, 해당하는 궤도의 자세정보중 몇 %를 신뢰할 수 있는가를 의미한다. 어떤 궤도에서 $x = 100$ 이었다면 그 궤도에서는 항상 WIST 플래그값이 1이었음을 뜻한다. y 축은 한 달간 자세정보의 신뢰도의 분포를 보여준다. 예를 들어, 2004년 7월의 경우는 자세정보를 90%이상 신뢰할 수 있었던 궤도가 총 관측 궤도중에서 20%가 넘었음을 의미한다.

그림 7에서 볼 수 있듯이 2004년 4월, 5월, 6월, 7월의 경우를 제외하고는 자세정보가 대체로 좋지 않음을 알 수 있다. 시각오차를 줄이고 WIST 플래그의 상태를 향상시키기 위한 노력으로 여러 번의 WIST 작업 수정이 있었으나, 예전보다 더 악화되기도 하는 등 크게 향상되지는 않았다(이현우 2004). 2004년 9월의 경우 위성체 전력부족 및 자세제어의 문제점 등으로 인하여 전혀 관측이 이루어지지 않았다. 10월에 들어서 9월의 문제점은 복구되었으나, WIST 플래그 상태를 보안하기 위해 수정된 WIST 작업에 문제가 있어서 오히려 상태가 악화되었으며, 예전의 WIST 작업으로 다시 복구하였다.

3. 노출시간 보정

FIMS 관측은 일반적인 지향관측이 아니고 스캔관측이므로 노출시간이 관측 위치별로 차이가 많이 날 수 있으며 노출시간을 관측 끝 시각과 시작 시각의 차이로 계산할 수 없다. 그림 8에서 슬릿의 폭을 $\delta\phi_0$ 라 하면 천구상의 한 점 A 의 노출시간은 그 지점에서 슬릿의 폭을 지나가는 시간들의 총 합이다. 즉, 한 점 A 의 노출시간을 구하는 방법은 첫째, 그 지점을 지나는 시간간격을 전부 찾고, AF 파일로부터 각 시간간격동안의 점 A 를 지나는 속도 V_i 를 구한다. 마지막으로 총 노출시간은 $\sum_i \delta\phi_0/V_i$ 이 된다. 그러나, 이러한 방법은 한, 두 지점의 노출시간 계산에는 사용할 수 있지만 관측영역 전체에 대한 노출시간 계산에는 적합하지 않다.

FIMS의 자세가 거의 고정되어 있다고 볼 수 있는 시간 δt 를 고려하면, 그 시간 동안은 FIMS 시

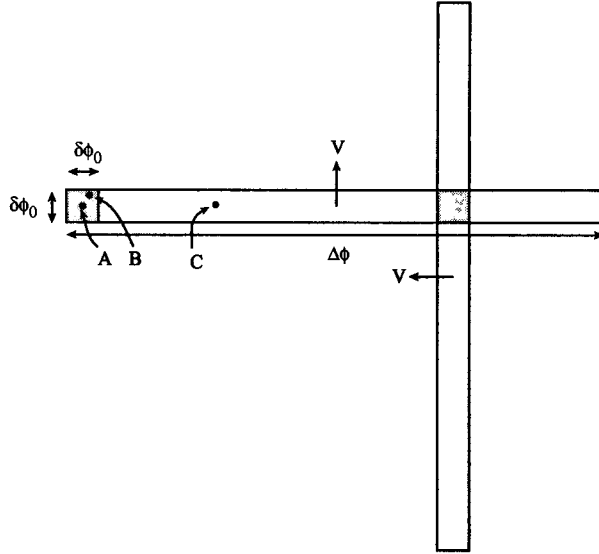


그림 8. 노출시간 보정 개념도.

야각 안의 모든 지점(예를 들어 그림 8에서 A, B, C, ...)은 노출시간 δt 를 갖는다. 또 다른 시간간격 δt 동안 FIMS 시야의 겹치는 부분의 노출시간은 $2\delta t$ 가 된다. 따라서 $(\delta\phi_0)^2$ 의 크기를 갖는 픽셀 각각에 대해 δt 를 할당할 후 각 픽셀별로 몇 개의 δt 가 할당되었는지 갯수를 세면, 그 값이 바로 노출시간이 된다. 이때, δt 는 FIMS.TIME이 기록되는 간격(0.1초, 부록 참조)을 사용하면 적당하다. 노출시간을 계산하기 위해 아래의 방법과 같이 일종의 광자와 유사한 개념으로 노출시간 사건(events)의 개념을 도입하면 편리하고, 이것을 exon(exposure + -on)이라 부르기로 한다.

- (a) FIMS 자료로부터 FIMS.TIME에 해당하는 매 시각마다 N 개의 exon을 만들어서 각 exon마다 PHI(ϕ)값을 균등하게 갖도록 한다. 즉, i 번째 exon의 PHI값은 $\phi_i = i \times (\phi_{\max} - \phi_{\min}) / N + \phi_{\min}$ 이 된다. 이때, N 개의 exon은 모두 동일한 시선방향을 향하도록 AF 파일로부터 해당 시각의 동일한 quaternion을 갖도록 한다.
- (b) 2.2절의 방법으로 모든 exon에 대해 천구상의 좌표(적경, 적위 또는 은경, 은위)를 계산한다.
- (c) 픽셀의 크기가 $(\delta\phi_0)^2$ 일 때, 픽셀 하나당 포함되는 exon의 갯수는 $N(\delta\phi_0/\Delta\phi)$ 가 된다. 이때, $\Delta\phi$ 은 슬릿의 총 길이이며, $\Delta\phi = \phi_{\max} - \phi_{\min}$ 으로 주어진다.
- (d) 한 개의 exon에 대한 노출시간은 $\delta t / (N\delta\phi_0/\Delta\phi)$ 이다.
- (e) exon 리스트를 이용하여 2차원 히스토그램을 만든다. 즉, exon의 2차원 영상을 만든다.
- (f) 위의 영상에 $\delta t / (N\delta\phi_0/\Delta\phi)$ 을 곱한다.
- (g) 만약 만들고자하는 영상의 픽셀 크기가 $(\delta\phi)^2$ 이라면 $(\delta\phi_0/\delta\phi)^2$ 를 곱하여 준다.

노출시간을 계산하기 위해 기본적으로 사용되고 있는 슬릿의 폭($\delta\phi_0 \sim 5'$)과 길이($\Delta\phi$) 및 PHI의 최소값(ϕ_{\min})은 표 5와 같다. 일부 영역만 선택적으로 분석하길 원한다면 필요에 따라 적당한 값

표 5. 파장별 PHI(ϕ)의 최소값 및 슬릿의 폭과 길이.

	ϕ_{\min}	$\delta\phi_0$	$\Delta\phi$
L-band	-3.57455°	4.3'	7.13017°
S-band	-2.47555°	4.6'	3.72956°

을 사용하여야 한다. 노출시간 계산을 위한 exon 리스트는 광자의 리스트에 포함되는 모든 정보를 다 가지고 있을 필요는 없으며, 시각(TIME), PHI(ϕ)값, 천구좌표(RA, DEC)만 포함하면 된다. 파장에 대해 시야각의 크기가 모두 동일하다고 가정하면 exon 리스트에는 파장이 포함될 필요가 없다. 매 시각마다 생성되는 exon의 갯수 N 이 클수록 매끄러운 노출시간 영상을 만들 수 있다. 그러나, 모든 exon을 전부 생성한 후에 2차원 영상을 만든다면 exon의 갯수가 너무 많아져서 컴퓨터 메모리 관리에 문제가 생길 수 있다. 이런 경우는, 우선 원하는 영상의 크기를 갖는 2차원 배열을 생성한 후에, 매 시각마다 만들어진 exon들의 위치를 계산하여 픽셀에 매 시각마다 집어넣는 방식으로 메모리 문제를 해결할 수 있다.

4. 요약 및 결론

이 논문에서는 FIMS의 자세정보 및 노출시간 보정을 위한 기본적인 방법을 살펴보았다. FIMS 자료처리를 위해서는 우선적으로 위성체에서 제공하는 자세정보의 시각오차를 보정해야 함을 알았다. 일반적으로 약 3초의 시각오차를 가정하면 약 10' - 15' 범위에서 자세정보가 일치하였다. 그러나, 정밀한 분석을 위해서는 매 궤도마다 시각오차를 구해야 하므로 이를 위한 알고리즘을 제시하였다. 또한, FIMS 자료처리에 있어서 가장 기본이 되는 FIMS 시선방향 오차를 구하기 위해 몇 개의 중요한 천체를 관측하였으며, 시각오차를 보정한 후 FIMS 시선방향과 위성체의 자세사이의 관계를 구하였다.

그러나, 이 연구에서 제시하는 방법을 이용하여 시각오차를 보정하더라도 경우에 따라서는 WIST 플래그가 지속적으로 1인 경우에도 약 8'까지 자세정보의 오차가 있는 경우도 발견하였다. 또한, 잠깐 동안 WIST 플래그가 0인 구간이 있다면 초당 약 1.5' 정도로 자세가 이동함을 보였다. 따라서 FIMS 자체의 광학적 특성에 의한 영상분해능의 한계 및 위성체에서 제공하는 자세정보의 정밀도의 한계로부터 FIMS 자료가 얻을 수 있는 최상의 영상분해능은 대략 5' - 10' 정도임을 알 수 있다.

자세정보의 시각오차는 일반적으로 약 3초정도이므로, FIMS 팀은 현재까지 모든 FIMS 자료에 대하여 3초의 시각오차를 가정한 후 시선방향 보정까지 고려하여 모든 관측자료의 천구상의 좌표를 계산하여 보관하고 있다. 시각오차가 궤도마다 위치마다 변하기 때문에 정밀한 분석에 많은 어려움이 따르고 있다. 그러나, 추후 순차적으로 모든 궤도에 대하여 시각오차를 계산하고 시각오차에 의한 자세정보의 오차를 개선해 나가고자 한다.

자세정보의 질을 평가하기 위한 WIST 플래그의 통계적인 경향을 월 별로 살펴보았을때, 자세정보가 FIMS 자료처리를 위해 충분히 좋지 못하다는 것을 보였다. 따라서, FIMS 자료를 최대한 활용하기 위해서는 WIST 플래그가 0인 경우에 자세정보의 오차가 어떻게 발생하는지 연구하여야 한다. 이를 위해 과학기술위성 1호의 자세제어 시뮬레이터를 통해 올바른 자세정보를 찾기 위한 연구를 계

획하고 있다. 또한, 이와 병행하여 최대 엔트로피(maximum entropy) 방법(Skilling & Bryan 1984) 또는 pixon 방법(Piña & Puetter 1993) 등을 이용하여 시각오차 및 자세보정을 위한 방안을 추후 연구하고자 한다.

FIMS는 우리은하의 성간물질의 열적 위상(thermal phase) 및 에너지 흐름을 연구하기 위해 세계 최초로 원자외선 파장 영역에서 전천관측을 수행하고 있다. 원자외선을 이용한 전천관측의 중요성은 성간물질관련 국제학술회의에서 여러 번 언급된 바 있다(예를 들면, Cox 1995, Heiles 2004). 이런 의미에서 FIMS 관측자료는 매우 중요하며, FIMS 자료의 효용성을 높이기 위해 좀 더 정확한 자세정보 보정을 위한 노력이 절실히 요구된다.

감사의 글: 이 연구는 한국천문연구원의 기관고유사업 및 과학기술부의 과학기술위성 1호 연구사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 논문을 주의 깊게 심사하여주신 심사위원들과 편집위원께 감사드립니다.

참고문헌

- 곽성우, 박홍영 2004, 한국우주과학회지, 21, 109
- 남옥원, 이진근, 공경남, 박영식, 진경찬, 진호, 박장현, 육인수, 선광일, 한원용, 이대회, 유광선, 민경욱, Edelstein, J., Korpela, E. 2002, 한국우주과학회지, 19, 273
- 박성동, 성단근, 최순달 1996, 한국우주과학회지, 13, S1
- 박장현, 선광일 2003, FIMS User Guide Ver 1.0 (대전: 한국천문연구원)
- 박장현, 선광일, 유광선, 육인수, 진호, 이대회, 오승환, 선종호, 남옥원, 한원용, 이우백, 민경욱, Edelstein, J., Korpela, E. 2001, 한국우주과학회지, 18, 209
- 선광일, 남옥원, 유광선, 육인수, 강경인, 민경욱, 한원용, Edelstein, J., Korpela, E. 2001a, 제11회 광기술 워크샵 논문집, p.45
- 선광일, 유광선, 육인수, 박장현, 남옥원, 한원용, 선종호, 민경욱, Edelstein, J., Korpela, E. 2000, 한국우주과학회지, 17, 77
- 선광일, 육인수, 유광선, 박장현, 진호, 선종호, 오승환, 이진근, 이대회, 남옥원, 한원용, 민경욱, 이우백, Edelstein, J., Korpela, E. 2001b, 한국우주과학회지, 18, 219
- 유광선, 선광일, 민경욱, Edelstein, J. 1998, 한국우주과학회지, 15, 359
- 이강성 2000, 열혈강의 파이썬(Python) (서울: 프리렉)
- 이진근, 남옥원, 공경남, 이대회, 선종호, 육인수, 진호, 유광선, 선광일, 강경인, 박장현, 민경욱, 한원용, 이우백, Edelstein, J., Korpela, E. 2002, 한국우주과학회지, 19, 57
- 이현우 2004, 개인서신
- 이현우, 박홍영 2004, 개인서신
- Cox, D. P. 1995, in ASP Conf. Ser. 80, The Physics of the Interstellar Medium and Intergalactic Medium, eds. A. Ferrara, C. F. McKee, C. Heiles, & P. R. Shapiro (San Francisco: ASP), p.317
- Dam, E. B., Koch, M., & Lillholm M. 1998, Technical Report DIKU-TR-98/5, Dept. of Computer Science, Univ. of Copenhagen, Denmark, available at <ftp://ftp.diku.dk/pub/diku/image/>

quaterions-5.zip

- Heiles, C. 2004, talk in Diffuse Matter in the Galaxy: Observations Confront Theory, A Meeting in Honor of the 65th Birthday of Carl Heiles
- Keski-Kuha, R. A. M., Blumenstock, G. M., Fleetwood, C. M., & Schmitt, D.-R. 1998, *Applied Optics*, 37, 8038
- Leahy, D. A., Darbro, W., Elsner, R. F., Weisskopf, M. C., Sutherland, P. G., Kahn, S., & Grindlay, J. E. 1983, *ApJ*, 266, 160
- Lee, D.-H. 2002, FIMS Software Specification Document (Daejeon: SaTReC)
- Lee, D.-H. 2003, FIMS Manual, K4FIMS-ELEC-0060-14Feb03 (Daejeon: SaTReC)
- Piña, R. K., & Puetter, R. C. 1993, *PASP*, 105, 630
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. 1992, *Numerical Recipes in Fortran* (New York: Cambridge University Press)
- Salamin, E. 1979, Working Paper, Stanford AI Lab., available at <http://world.std.com/~sweetser/quaterions/ps/stanfordaiwp79-salamin.pdf>
- Seon, J., Seon, K.-I., Kim, S.-H., Min, K.-W., Kim, B.-J., Yong, R. C. K., Leong, L. F., Chun, H.-J., Chang, H.-S., Kim, H.-S., Bae, J.-S., Choi, Y.-W., Lee, S.-R., Shin, Y.-H., Ryu, K.-S., Lee, J.-J., Lee, D.-H., & Park, D.-J. 2000, *JA&SS*, 17, 233
- Seon, K.-I., Park, S., Park, J.-H., Yuk, I.-S., Jin, H., Nam, U.-W., Han, W., Ryu, K.-S., Lee, D.-H., Oh, S.-H., Park, Y.-S., Korpela, E., Edelstein, J., & Nishikida, K. 2003, *J. of Korean Phys. Soc.*, 43, 565
- Skilling, J., & Bryan, R. K. 1984, *MNRAS*, 211, 111
- Thompson, G. I., Nandy, K., Jamar, C., Monfils, A., Houziaux, L., Carnochan, D. J., & Wilson, R. 1978, *Catalogue of stellar ultraviolet fluxes (TD1): A compilation of absolute stellar fluxes measured by the Sky Survey Telescope (S2/68) aboard the ESRO satellite TD-1* (London: Science Research Council)
- Woolard, E. W., & Clemence, G. M. 1966, in *Spherical Astronomy* (New York: Academic Press), p.26

부록. FIMS 관측자료의 기본 전처리 과정

FIMS 관측모드는 관측 천체의 광량 세기에 따라 필터 단계(step)을 조정하여 1%, 10% 또는 100% 관측을 수행한다. 즉, 오로라 또는 주간 대기광(dayglow)의 경우 광량의 세기가 크기 때문에 1% 또는 10% 모드로 관측을 수행하며 천문관측을 수행할 때는 셔터를 100%로 열어놓고 관측한다. 초기 운용에서는 AS(astrophysics) 모드라고 하여 약 25초 동안은 관측을 수행하고 5초 동안 셔터를 닫는 과정을 반복함으로써 검출기의 잡음을 측정하도록 하였다. 그러나, 실제 관측자료를 분석하면서 자세정보의 부정확성 및 노출시간의 부정확성과 함께 FIMS 자료 자체의 패킷오류 등에 의해 정확한 자료분석이 오히려 어렵다는 판단을 하게 되어, 2004년 3월부터는 몇 개의 궤도를 제외하고는 AS 모드로는 관측하지 않았다. 비교적 작은 영역을 관측하기 위해서는 영점조정(calibration) 모드를 이용하며, 이때는 관측영역을 중심으로 주변을 왕복하면서 관측한다. 전천탐사를 수행할 때는 황도좌표계(ecliptic coordinate system)에서 북극에서 남극으로 자오선을 따라 관측을 수행한다.

위성체는 하루에 약 14-15번 지구주변을 돌며, 이 중 2회 정도는 오로라 및 대기광 관측을 수행하고 4-5회는 지상국과의 교신, 7-8회 정도는 천문관측을 수행한다. 관측된 자료는 위성체의 MMS(Mass Memory System)에 저장되었다가 1주일에 2-3회 지상국에서 수신받는다. 이때, 수신감도가 불안정하여 FIMS MMS 자료 패킷에 오류가 발생하기도 한다. 이러한 오류를 줄이기 위하여 새로운 자료와 함께 이전에 수신받은 자료를 2번 이상 반복하여 받을 수 있도록 하고 있다. 초기자료 중에는 약 40% 이상의 패킷오류를 포함하고 있는 경우도 있다.

FIMS MMS 파일의 구조는 Lee(2002, 2003)에 상세하게 기술되어 있으므로 여기서는 설명하지 않는다. 지상국에서 수신받은 FIMS MMS 자료는 다음과 같은 전 처리 과정을 거친다. 이때, 궤도별 모시기까지는 파이썬 언어를 통해 자동으로 처리가 되며, 나머지 작업은 IDL(Iterative Data Language) 환경하에서 수동으로 처리된다.

1. **패킷 정리(Packet Cleaning):** MMS 파일을 2바이트 단위로 PACKET_ID와 PACKET_TYPE을 확인하여 잘리지 않고 1,024 바이트를 온전하게 포함하고 있는 패킷만을 선택하여 새로운 MMS 파일을 만든다.
2. **궤도별 분리(Orbit Splitting):** MMS 파일에 포함되어 있는 TIME_SYNC 데이터를 선택하여 패킷의 체크섬오류(checksum error)를 줄이기 위해 중앙값(median) 필터링을 수행한다. 필터링된 TIME_SYNC 데이터로부터 모든 PACKET.TIME에 대해 실제 시각인 OBC.TIME을 일대일 대응시킨다. 패킷 단위별로 구해진 OBC.TIME를 위성체의 궤도요소로부터 미리 계산된 자료와 비교하여 궤도번호를 찾고, 궤도 별로 분리하여 저장한다. 이때, 간혹 현재의 알고리즘으로 처리가 잘 안될 정도로 패킷의 오류가 많다면 하나의 파일에 여러 개의 궤도가 들어가는 경우가 발생하기도 하며, 이때는 수동으로 MMS 파일을 나누어주기도 한다.
3. **궤도별 모으기(Merging):** 새로운 데이터가 수신될 때마다 한 궤도에 대하여 여러 번 수신한 파일들이 존재하는지 확인하고, 여러 개의 파일이 존재한다면 각각의 파일을 패킷 단위로 조사하여 한 파일에서는 패킷오류가 있지만 다른 파일의 해당 패킷에는 오류가 없다면, 패킷오류가 없는 패킷을 선택하는 과정을 통해 가장 좋은 패킷만을 선택하여, 궤도 별로 새로운 파일을 만든다.

4. **데이터 종류별 분리(Science Data Splitting):** 궤도별로 모아진 데이터의 패킷종류(PACKET .TYPE)에 따라 과학데이터(science data), 관리데이터(housekeeping data) 등으로 구분하고 과학데이터는 FITS 형식으로 저장하고 나머지 데이터는 ASCII 파일로 각각 저장한다.
5. **스팀 보정(Stim Correction):** 광자신호의 검출기상에서 위치가 전기, 전자적인 원인에 의해서 또는 열적 팽창등에 의해서 조금씩 이동(drift)하기 때문에 이를 보정하기 위해 주기적인 전기신호를 검출기의 미리 정해진 4 모퉁이에 만들어 준다. 이 신호의 위치를 이용하여 광자신호의 위치를 보정한다.
6. **회전 보정(Derotation):** FIMS의 분광분해능을 향상시키기 위해 양극판(anode)의 축을 검출기에 대하여 15°만큼 회전시켜 놓았다(이진근 외 2002, 남옥원 외 2002). 이러한 효과를 보정하고 검출기로부터 오는 디지털 신호를 검출기상에서의 실제 좌표에 해당하는 mm 단위로 변환한다.
7. **광자 분류하기(Photon Masking):** FITS 파일에 BAND_ID 및 MASK 열(column)을 만든다. 검출된 신호가 실제 광자가 아니라 스템신호라면 BAND_ID = MASK = 0, 장파장대로 입사한 광자는 BAND_ID = 1, 단파장대로 입사한 광자는 BAND_ID = 2로 정의한다. 또한, 각 파장대별로 좋은 영역에 들어오는 광자들만 선택하여 각각 MASK = 1 또는 2로 설정한다.
8. **휘어짐 보정(Dewarp):** 검출기상의 mm 크기로 표현된 좌표를 Å단위의 파장과 도(°) 단위의 각(ϕ)으로 변환하고, 광학적 특성에 의해 초점이 검출기상에서 휘는 효과를 보정하여 각각을 FITS 파일의 WAVELENGTH와 PHI 열에 기록한다.
9. **시각정보 붙이기(Time Tagging):** 수신받은 FIMS 자료에는 모든 광자의 실제 측정시각이 기록되어있지 않으며, 약 0.00444초 단위의 정수로 표현되는 FIMS_TIME이 0.1초에 한번씩 기록되어있다. 대신, 관측시작과 끝에 실제 시각인 OBC_TIME과 FIMS_TIME을 시각동기화하여 입사 광자의 측정시각을 계산할 수 있도록하고 있다(곽성우와 박홍영 2004, Lee 2002, 2003). TIME_SYNC 데이터를 비교하거나, 관측시작과 끝의 PACKET_TIME과 관측 시나리오 파일의 시작과 끝 시각을 비교하여 FIMS_TIME의 실제 시각을 계산한다. 가끔 패킷의 오류가 많은 경우 시각정보 붙이기의 신뢰도가 떨어지는 경우가 있다. TIME_SYNC 데이터와 관측 시나리오 파일상의 시작과 끝 시각을 비교하면 대부분 0.4초 미만의 오차를 보이고 있으나, 종종 이보다 큰 값을 보이기도 한다. 그러나, 이런 경우에도 오차는 1초 미만이었다.
10. **자세정보 붙이기(Attitude Tagging):** 자세정보의 시각오차가 계산되었다면, FIMS 시선방향 오차에 해당하는 quaternion과 위성체에서 제공하는 AF 파일에 기록된 quaternion을 이용하여 각 사건(event)마다 천구상에서의 좌표를 계산한다. 또한, WIST 열을 만들어서 WIST 플래그가 1인 시간동안에 관측된 사건에 대해서는 WIST=1, 그렇지 않은 사건에 대해서는 WIST=0으로 설정한다.