

과학위성 1호 우주관측탑재체 개발¹⁾

선광일¹, 한원용¹, 민경욱², Jerry Edelstein³

¹한국천문연구원, ²한국과학기술원 물리학과, ³U. C. Berkeley

I. 서론

2002년 발사될 과학위성 1호는 두 가지 과학적 목적으로 개발되고 있다. 첫 번째 목적은 우리 은하에 분포하는 고온($10^{4.5}$ - 10^6 K)의 플라즈마의 물리적 특성, 공간적 분포 등을 연구하는 것이다. 두 번째는 지구 자기권이 태양 활동의 영향을 받는 우주 환경에서 상층 대기 및 전리층과 어떻게 상호 작용하는가를 이해하는 것이다. 이를 위해 원자외선 분광기 (Far-ultraviolet IMaging Spectrograph: FIMS) 와 우주과학 패키지 (Space Physics Package: SPP)가 주 탑재체로 실릴 예정이다.

과학위성 1호는 약 800 km의 고도를 가지고 지구의 낮과 밤 지역을 지나는 극궤도에서 천체 및 우주환경을 관측한다. 특히, 위성이 발사되는 2002년 이후의 기간은 자기권의 활동이 활발하다고 알려진 태양 극대기 후반에 해당하는 시기이다. 과학위성 1호 위성체의 크기는 가로 60 cm, 세로 50 cm, 높이 85 cm이고, 무게는 우리별 3호와 비슷한 110 kg이다. 과학위성 1호의 Bus 시스템 개발은 한국과학기술원 인공위성연구센터에서 전담하고 원자외선 분광기는 한국천문연구원, 한국과학기술원, U. C. Berkeley가 공동으로 개발하고 있다. 우주 플라즈마 관측기는 한국과학기술원과 U. of Washington, Seattle이 공동으로 개발하고 있다.

과학위성 1호는 전천을 서베이함으로써 은하에 분포하는 성간물질의 분포 및 초신성 폭발에 의해 발생하는 에너지의 흐름을 측정하여 성간물질의 진화과정에 대한 관측 자료를 제공할 예정이며 또한 오로라 등 우주과학의 연구대상을 지금까지보다 월등히 뛰어난 성능으로 관측함으로써 오로라 관련 연구에 국제적인 공헌을 할 것으로 예상하고 있다.

II. 원자외선 분광기 (Far-ultraviolet IMaging Spectrograph: FIMS)

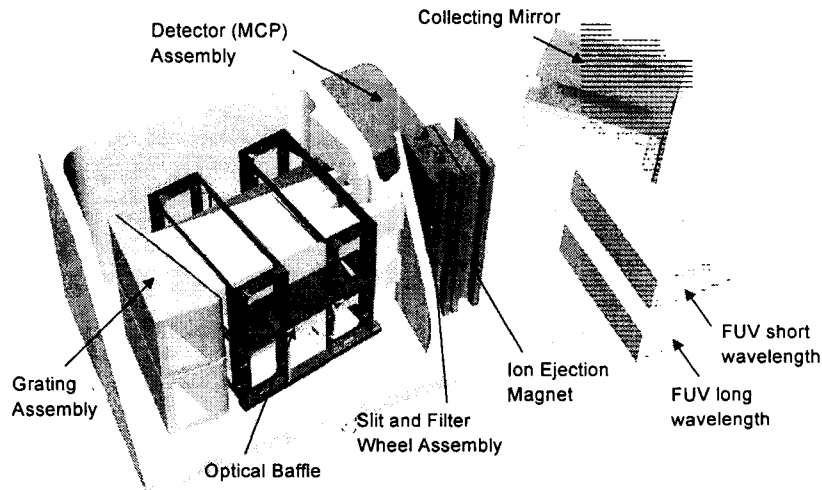
1. 원자외선 분광기 설계 및 개발

FIMS는 이미 우주에 발사되어 운행되고 있는 EURD (Bowyer, Edelstein & Lampton, 1997)에 기반을 두고 있으며 두 개의 파장대역을 갖는 1차원 영상과 분광을 동시에 측정할 수 있는 분광 장비이다. FIMS 광학부의 대략적인 모습은 [그림 1]과 같다. FIMS는 다음과 같은 세부 항목으로 나누어진다.

- Contamination Door - FIMS가 우주에서 정상적으로 관측하기 이전에 분광기 내부로 오염물질이 침입하는 것을 방지하는 창

1) 이 기사는 위성통신과 우주산업 제8권 제3호에 게재한 기사입니다.

- Entrance Baffle Assembly - 광자가 반사 거울을 통하여 산란되는 쪽을 막아주며 약간의 전압을 인가하여 빛의 경로로 입사하는 고에너지 이온을 제거하는 역할을 한다.
- Filter Wheel Assembly - 관측모드에 따라 적절한 필터를 선택하여 배경 잡음을 측정할 수 있도록 한다.
- Grating Assembly - 빛을 파장에 따라 회절 및 반사시켜서 검출기쪽으로 입사되도록 한다.
- Detector Assembly - 입사된 광자의 2차원적 위치를 판독하여 정보를 신호처리계로 전달한다.
- High Voltage Power Supply - 검출기 동작을 위해 인가되는 고전압을 생성한다.



[그림 1] 과학위성 1호 원자외선 분광기 광학부 개념도

FIMS의 분광계를 통해 물리적으로 의미 있는 데이터를 얻기 위해 신호 처리계는 크게 영상 검출 회로와 보조 회로로 나눌 수 있다. 보조 회로는 다시 HK (housekeeping) 회로와 제어 (control) 회로로 나눌 수 있다. 영상 검출 회로는 검출기에 입사한 광자의 2차원적 위치를 검출하기 위한 회로이고, 제어 회로는 contamination door, filter wheel, 검출기 인가용 고전압의 조정 등을 제어하기 위한 회로이다.

원자외선 및 극자외선 파장대역에 민감한 검출기의 에너지 분해능은 극히 제한되어 있기 때문에 $\lambda(\Delta\lambda) > 50$ 수준의 분해능조차도 회절격자를 이용해야만 원하는 분해능을 얻을 수 있다. 우리 은하에 넓게 분포하고 있는 고온 기체로부터 방출되는 자외선을 관측하기 위해서는 관측시야(Field of View)에 걸쳐 유효면적을 적분한 값인 grasp 값이 커야한다. 그러나 불행하게도 전통적인 Rowland 분광기, Wadsworth 분광기 등

을 이용해서는 grasp 값을 크게 할 수 없다. 검출기 유효면적은 위성체의 크기에 의해 제한을 받기 때문에 관측시야를 증가시켜 grasp을 증가시키는 방법 밖에 없다. 슬릿의 폭을 증가시켜서 시야를 증가시키려 하면 분광 분해능이 떨어지게 된다. 또한 전형적인 분광기에서와 같이 슬릿의 길이를 증가시켜 시야를 증가시키면 회절격자의 수차가 초점에서 벗어날수록 빠르게 증가하기 때문에 시야를 증가시키려는 노력에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 2차원의 검출기의 한쪽 방향으로서는 파장별로 초점이 맺히고 다른 수직 방향으로서는 공간 이미지가 맺히는 새로운 분광기를 설계하였다 (유광선 등, 1998, 2000).

분광기는 장파장과 단파장을 분리하여 구성되며, 각각의 분광기는 포물 원통형의 집광 거울(collecting mirror), 슬릿, 필터, 타원형 회절 반사경(grating) 및 검출기로 이루어져 있다. 입사된 빛은 집광 거울에 의해 슬릿에서 일직선상에 모이게 되고 그 빛은 다시 회절격자를 지나면서 슬릿의 너비 방향으로서는 파장별로 분산되고 길이 방향으로서는 영상을 형성하게 된다. 이때 슬릿 길이 방향으로서는 5' -10'의 공간분해능으로 8°의 영역을 관측하게 되고 슬릿 너비 방향으로서는 5'의 시야를 갖는다. 따라서 슬릿 너비 방향으로 하늘을 스캔하면서 2차원 영상을 분광 정보와 함께 얻게 된다.

원통형 집광 거울을 사용하여 fast optics (f/2.2)임에도 불구하고 표준적인 분광기에 비해 시야와 grasp을 두 배로 증가시킬 수 있었고 기존의 다른 파장대역에서의 전천 탐사(all-sky survey) 관측과 비슷한 영상 분해능 수준인 수 arcmin으로 넓은 시야에 걸쳐 관측이 가능하게 되었다. 두 개의 파장대역에서 효율을 최적화하기 위해 각각의 파장대역에 대해 반사 코팅과 검출기 photocathode를 각기 독립적으로 택하였다. 전하를 띤 고에너지 입자에 의한 잡음을 제거하기 위해 필터 앞에 자석을 설치하도록 하였다. FIMS의 광학부 규격 및 특성을 <표 1>과 같다.

특히 단파장대(short waveband)의 경우, 일반적으로 SiC를 사용하여 집광 거울을 코팅하지만 위성체가 운용되는 동안 산소 분자 등의 충돌에 의한 거울의 광학적 성능 저하를 방지하기 위하여 SiC 대신 B₄C를 사용하도록 하였다. 회절격자는 glass위에 홀로그래피에 의한 형상을 화학적으로 에칭하여 제작될 것이다.

분광 분해능은 단파장대의 경우 1035Å에서 1.4Å을 갖도록 설계되었고 제작과정 중 발생하는 오차까지 고려하여도 1.8Å의 분해능을 갖도록 하였다. 지구 대기광 Lyβ (~1026Å)가 성간물질로부터 방출되는 방출선 중 가장 중요한 O_{VI} (~1035Å) 방출선의 바로 옆에 위치하여 O_{VI} 방출선 검출에 방해하게 된다. 그러나 몬테카를로 모의 실험 결과에 따르면 1.8Å의 분해능으로 기존의 원자외선 관측 장비에 비해 월등히 뛰어난 성능으로 O_{VI} 방출선을 검출하는 것이 가능하다 (선광일 등, 2000).

가장 강한 대기광인 Lyα (~1216Å)는 FIMS 파장대역 바깥에 위치하지만 회절격자에 의해 산란된 빛이 FIMS의 파장대역으로 들어오게 된다. 또한 Lyα의 강도가 시간 단위로도 상당히 변화하기 때문에 천체로부터 방출되는 원자외선 신호와 동시 혹은 거의 동시에 Lyα 대기광에 의해 발생하는 잡음을 관측하여야 한다. MgF₂ 필터는 2mm의 두께를 가질 때 약 75%의 Lyα를 통과시킬 수 있고 1150Å 미만의 파장(단

<표 1> 과학위성 1호 원자외선 분광기 광학적 특성

| Parameters | Short Wavelength Band | Long Wavelength Band |
|---------------------|--|---|
| Band Pass | 900-1150Å | 1335-1750Å |
| Spectral Resolution | 1.4Å@1035Å | 2.2Å@1550Å |
| Angular Resolution | 5' - 8' | 5' - 10' |
| Field of View | 4° × 5' | 8° × 5' |
| Grasp | $0.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2\text{sr}$ | $1.25 \times 10^{-4} \text{ cm}^2\text{sr}$ |
| Mirror Figure | Off-axis Parabolic Cylinder | |
| Mirror Focal Length | 125 mm (F/2.2) | |
| Slit Height | 2.75 cm (1/33 for bright target) | |
| Slit Width | 150 μm | |
| Grating Figure | Ellipse of Rotation | |
| Ruling Constant G | 2250 lines/mm | 3000 lines/mm |
| Diffraction Order | Second Inside | First Inside |
| Slit to Grating | 177.4 mm | |
| Grating to Detector | 170.0 mm | |
| Detector Size | $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ | |
| Mirror Coating | B ₄ C | MgF ₂ |
| Grating Coating | B ₄ C | MgF ₂ |
| Photocathode | KBr | CsI+Grid |
| Fixed Filter | MgF ₂ | CaF ₂ |

과장대)에 대해서는 0.1% 미만의 투과율을 가진다. 따라서 검출기 앞에 MgF₂ 필터를 8° 시야의 위아래 부분에 각각 1/4만큼 가리도록 놓음으로 시야의 반은 하늘을 관측하고 반은 Ly α 대기광에 의한 잡음을 관측하도록 하였다. 그로 인해 단파장의 경우 4°의 시야만 사용하게 되었고 grasp 값도 전체를 이용하는 것에 비해 반값을 가지게 되었다. 그러나 grasp이 작아져서 생기는 손해는 초점 평면에서 분광 분해능이 좋은 안쪽 부분만을 사용하고 또한 정확한 배경 잡음을 동시에 측정할 수 있기 때문에 보상될 수 있다.

장파장대의 경우 슬릿과 집광 거울사이에 원통형 모양의 CaF₂ 창이 놓여지게 되어 Ly α 대기광을 제거하게 된다. 원통형 모양의 창을 사용함으로써 파장에 대해 초점 길이가 변하는 것을 방지하였다. 이 때 지구 주변의 고에너지 방사능과 CaF₂ 결정의 상호작용에 의해 발생하는 형광 현상이 잡음으로 작용할 수 있으나 그 효과는 무시할 수 있을 정도로 작다.

두 과장대역은 각각 원형의 Microchannel Plate (MCP)를 사용하여 광자를 검출하게 되며 crossed delay anode (XDL)를 사용하여 검출된 광자의 검출기상에서의 위치 정보를 얻게 된다. 검출기 신호는 charge amplifier를 통해 증폭되고 ADC/TAC hybrid board에 의해 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸게 된다.

2. 과학연구

원자외선 분광기 FIMS는 천문학적인 대상과 오로라, 지구 대기광 등의 지구 주변에서 발생하는 플라즈마 현상을 관측하게 된다. 천문학적 관측을 위해서는 약 1년 간은 선정된 대상에 대해 지향 관측을 수행할 것이고 또 다른 1년 간은 전천 탐사 (all sky survey)를 수행할 계획이다. 오로라 및 지구 대기광 관측은 위성체의 운영 및 자세 제어 등을 고려하여 수행될 것이다.

우리 은하에 고온 기체가 존재한다는 사실이 알려진 것은 이미 40년이 넘었다. 그동안 많은 관측 결과로 우리 은하의 원반과 헤일로에서 이 고온 기체를 확인했지만, 아직도 우리 은하 전체적인 고온 기체의 분포는 잘 알려지지 않고 있다. 우리 은하를 관측함으로써 은하내부 고온 기체의 전체적인 분포와 진화 과정을 확인 할 수 있다. 이에 관한 이론적인 모델은 현재 세 가지가 제안되어 있다.

첫 번째는, 'Galactic Fountain model (Shapiro & Field, 1976)'이다. 이것은 고온의 기체가 은하면으로 부력에 의해 상승하며, 이 기체는 복사 냉각 과정을 거쳐 성운을 형성하게 되고, 이 냉각된 성운은 다시 은하면으로 강하한다는 이론이다. 이 이론에 의하면 원자외선 영역에서의 방출은 은하의 극 부분에서 많이 일어나게 된다.

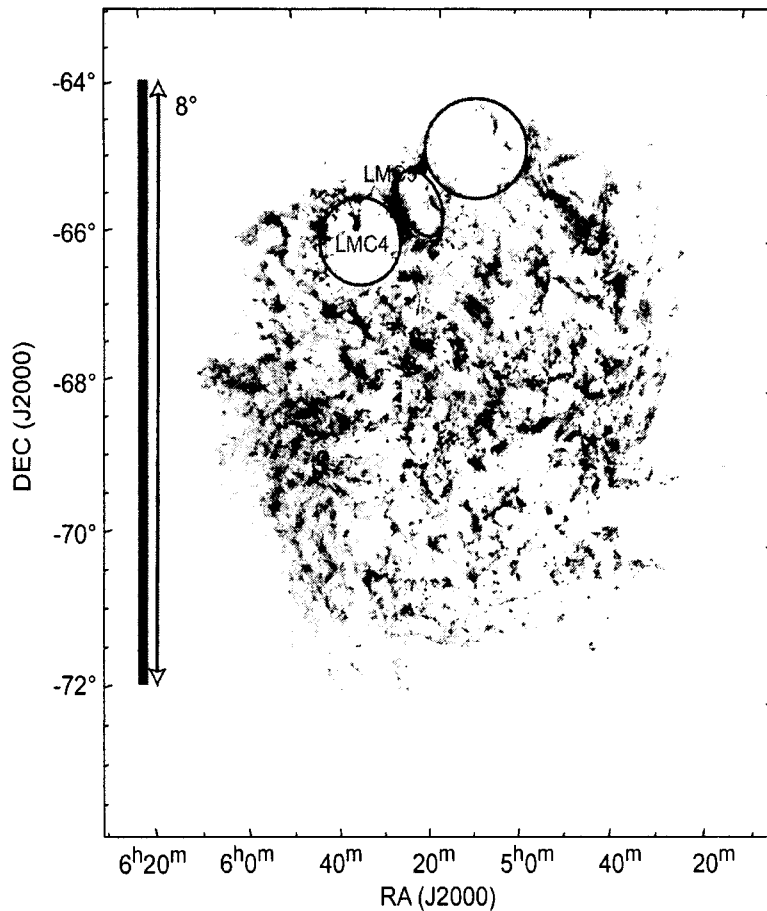
두 번째는 'Evaporative Cloud Interface model (McKee & Ostriker, 1977)'로, 원자외선의 방출은 고온 기체 안에 있는 차가운 성운의 전도성 표면에서 많이 일어난다는 이론이다. 이에 따르면 원자외선 방출은 중성 수소의 분포와 밀접한 연관을 가지게 되어 은하면에서 밝은 방출선을 관측할 수 있게 된다.

세 번째는 'Bubble model (Cox & Smith, 1974)'로, 고온 기체는 주로 초신성 폭발 잔해(bubble)로부터 기인하며 이들의 온도는 버블이 수축하는 백만 년 이상의 기간에도 절대 온도 10^5 도 이상을 유지하게 된다는 이론이다. 따라서 원자외선 영역에서 우리 은하를 관측하면 밝은 영역의 조각들로 보일 것이다.

FIMS는 이들 모델은 비교할 수 있을 정도로 감도가 좋기 때문에 전천 관측의 결과는 우리 은하의 진화를 연구하는 중요한 단서를 제공할 것이다.

FIMS의 공간분해능은 자세한 영상 정보를 줄만큼 뛰어나지 않아 주로 각 크기가 큰 대상 천체들을 관측하는 데 적당하다. 예를 들면, '백조자리 초신성 잔해(Cygnus Loop)'는 비교적 가까운 거리에 위치하고(770 pc, 파섹) 그 크기도 크며 (가로 3° , 세로 3.7°), 성간 물질에 의한 흡수도 작으므로 적당한 관측 대상이다. 이 초신성 잔해는 IUE, Voyager 2, 홉킨스 자외선 망원경(HUT), Einstein 위성 및 ROSAT에 의해 자외선으로부터 X선에 이르기까지 많은 관측이 이루어진 대상이지만, 파장 영역과 분광 능력을 고려하면 이들과 상호 보완적인 관측 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 그밖에 [그림 2]는 FIMS로 관측될 수 있는 한 예로써 대 마젤란 성운을 보여 준다.

FIMS의 또 다른 기능인 전천 탐사 관측 방법을 통해서도 C_{IV} 및 O_{VI} 등 중요한 고온 기체로부터 방출되는 방출선에 대한 전체 하늘 지도를 작성할 예정이다. 전천 탐사 수행 후 별 및 지구 대기광에 의한 잡음에 대해 보정하고 전체 하늘을 $3^\circ \times 3^\circ$ 픽셀로 나누어 은하의 지도를 구성하게 된다. 이를 통해 원자외선 영역에서 유일 무이한



[그림 2] FIMS로 관측할 수 있는 한 예 - 대마젤란 성운 (LMC: Large Magellanic Cloud)은 HI 관측 결과했을 때 빈 공간들을 보여준다. 그러한 빈 공간으로부터 X선이 관측되었고 이는 고온 기체가 존재한다는 사실을 말하고 있다. FIMS로 LMC에 존재하는 고온 기체에 대해 연구하게 될 것이다.

전천 탐사 지도를 작성하게 될 것이며 원자외선 영역에서 새로운 천체도 발견될 것으로 기대된다.

또 하나의 중요한 목적은 지구 주위의 우주공간에 분포하는 전자 오로라를 분광 및 영상 관측하는 것이다. 이 관측은 양성자 오로라의 전 지구적 영상 관측을 시도하려는 NASA의 'IMAGE (Imager for Magnetopause to Aurora Global Exploration)'의 결과와 상호 보완적으로 연구할 수 있을 것이다. 원자외선 분광기의 각 분해능 5°은 800 km 고도에서 본다면 1 km에 해당한다. 따라서 <표 2>에서 볼 수 있듯이 수 km 이상의 구조를 갖고 있는 Vortex, Patch 등을 연구할 수 있다. 또한 지구 낮 또는 밤 대기광 관측을 수행하여 O+, O, N+, N, N₂ 등의 고도 및 local time에 따른 변화와 태양 활동에 따른 변화 양상을 연구하게 될 것이다. 낮 대기광의 강도가 강

하기 때문에 슬릿의 폭을 1/33으로 줄여 관측을 수행한다.

<표 2> 오로라 공간적 구조와 안정성

| Feature | Auroral Stability (sec) | Width-lat. (km) | Longitudinal Extension (km) |
|------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Diffuse | 1000 | 500 | >1000 |
| Inverted V | >100 | 100 | >1000 |
| Quiet arc | >100 | 30 | 1000 |
| Active arc | 10 | 10 | 1000 |
| Ray | 5 | 0.5 | 0.5 |
| Vortex | 0.5 | 3 | 3 |
| Patch | 0.1 | 10 | 10 |

3. 다른 미션과의 특성 비교

FIMS의 다른 자외선 관련 미션과 비교했을 때 장점을 나열하면 다음과 같다.

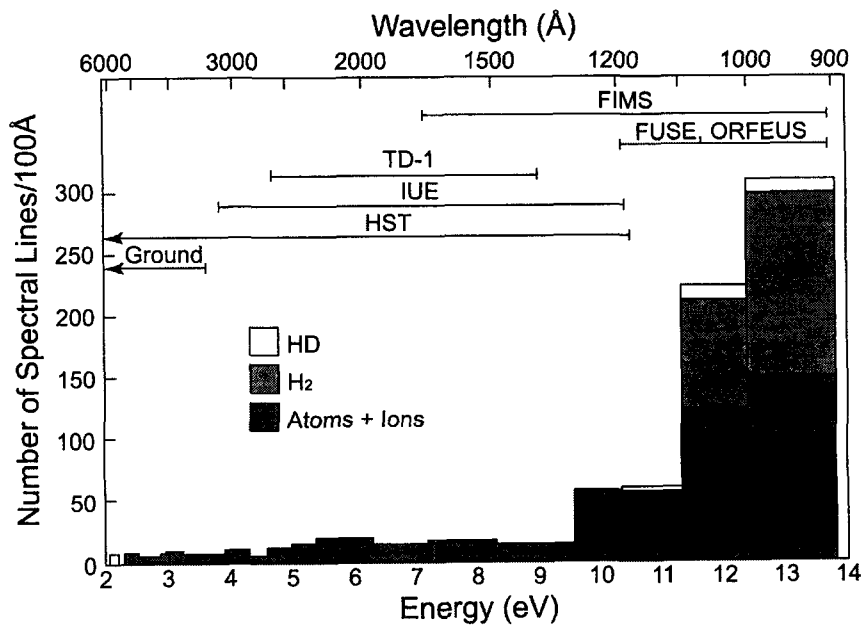
1) X-선 등 대부분의 파장대역에서 전체 하늘에 대한 관측이 여러 차례 수행되어 왔지만 FIMS와 유사한 자외선 파장대역에서의 전천탐사는 TD-1 (Thompson et al. 1978) 이후 전무후무하기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다. TD-1에 의한 전천 탐사는 1570-2740Å의 자외선 파장대역에서 수행된 것으로 FIMS와는 약간 다른 파장대역에서 수행된 것이다. FIMS는 보다 짧은 파장대역에서 전체하늘을 관측할 것이며, 따라서 우리 은하에 넓게 퍼져있는 고온 기체의 관측에 더욱 유리하다. 또한 FIMS의 분광 분해능($\lambda/\Delta\lambda = 600$)은 TD-1의 분광 분해능($\lambda/\Delta\lambda \sim 6$)에 비해 월등히 뛰어나므로 중요한 방출선의 전체 하늘 지도를 작성할 수 있다.

2) [그림 3]는 파장에 따른 주요 방출선의 개수와 기존의 다른 위성파 FIMS의 파장대역을 비교하여 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 FIMS는 중요한 방출선을 가장 많이 관측할 수 있다. 특히 C_{IV} (1549Å)와 O_{VI} (1034Å) 방출선의 비는 대부분의 은하모델에서 중요한 열쇠 역할을 하지만 두 방출선이 동시에 관측된 적은 없다. FIMS는 두 방출선을 동시에 관측하기 때문에 기존의 플라즈마 상태를 기술하기 위해 사용되었던 열적 이온화 평형상태와 화학적 조성비에 대한 기본 가정 없이 플라즈마의 물리적, 화학적 특성을 연구할 수 있다.

3) 점 광원(별) 관측을 위해 최적화된 기존의 우주망원경은 은하 플라즈마 특성연구에는 부적절했다. 별 관측을 비롯한 점 광원에 적합한 관측은 수행되어 왔지만 넓게 퍼진 원자외선 복사에너지를 측정하려는 시도는 거의 없었다. 단지 약간의 한정된 방향에서 방출되는 원자외선 방출선이 관측되었을 뿐이다 (Martin & Bowyer, 1990; Dixon, Davison & Ferguson, 1996). <표 3>는 과거 발사되었던 주요 미션 및 현재 계획되어있는 미션의 파장대역, 분광분해능, 관측 시야, sky coverage, 관측 한계 등을 보여 준다. 표에서 볼 수 있듯이 FIMS의 성능이 월등히 뛰어나며 특히 넓게 퍼져있는 성간물질을 연구하기에 적합하게 설계되었음을 볼 수 있다.

<표 3> 주요 자외선 mission의 특성 비교 (LU = line unit = photons/cm²/sec/sr)

| Mission | Bandpass (Å) | Spectral Resolution ($\lambda/\Delta\lambda$) | Field of View | Sky coverage | Sensitivity (3 σ in 1000s) | Observation Result |
|-------------|-----------------------|---|--------------------|------------------------|-----------------------------------|--|
| UVX | 600-1140 1350-1930 | 100 | 4° × 6′ | 2.5 × 10 ⁻⁴ | 2,100LU | ~5,000LU C _{IV} $\lambda\lambda$ 1150 |
| Voyager UVS | 500-1100 | 26 | 0.1° × 0.87° | 1.1 × 10 ⁻³ | 600,000LU | <20,000LU O _{IV} $\lambda\lambda$ 1032 |
| HUT | 921-1840 | 600 | 6" × 3.5′ | 5.5 × 10 ⁻⁸ | 7,300LU | ~12,000LU O _{IV} $\lambda\lambda$ 1032 |
| DUVE | 950-1080 | 300 | 6° × 6′ | 0.18 | 14,000LU | <6,000LU O _{IV} $\lambda\lambda$ 1032 |
| EURD | 450-1075 | 180 | 8° × 2° | 0.07 | 40,000LU | <1,750LU O _{IV} $\lambda\lambda$ 1032 |
| FUSE | 905-1185 | 4000 | 30" × 30" | 1.6 × 10 ⁻⁹ | 7,000LU | 2,300LU O _{IV} $\lambda\lambda$ 1032 |
| FIMS | 900-1170 1335-1800 | 750 | 4° × 5′ 8° × 5′ | 1 | 900LU | |



[그림 3] 파장에 따른 주요 방출선의 분포 및 다른 주요 위성과 FIMS의 파장대 비교

III. 우주과학 패키지 (Space Physics Package; SPP)

오늘날의 오로라에 관한 연구는 침투 입자 (precipitating particles)의 가속 원

인, substorm에 물리현상, 자기 폭풍에 의한 손상을 최소화할 가능성에 대한 연구에 집중하고 있다. 이러한 모든 연구 영역은 우주 공간의 물리적 상태에 대한 자료가 있어야만 가능하다. 이러한 현상들을 일으키는 물리적인 원인을 연구하기 위해서는 태양풍의 상태 및 전자기장의 요동, 입자 밀도, 오로라 활동 등 지구에 미치는 요동을 연구할 필요가 있다.

과학위성 1호의 우주과학 패키지는 '고에너지 입자 검출기(Solid State Telescope, SST)'와 '저에너지 입자 검출기(Electrostatic Analyzer, ESA), 세축 방향으로 자기장을 측정하는 '정밀 자기장 측정기(Scientific Magnetometer, SM)', 우리별 3호에서 실험하고 있는 전자 온도 및 밀도 측정기를 개량한 '전자 온도/밀도 측정기(Langmuir Probe, LP)' 등으로 이루어진다.

저고도 오로라 가속 지역의 연자기력선(magnetically field-aligned currents)는 전지구적 자기권의 전류 시스템과 고 고도의 이온층을 연결하는 역할을 한다. 자기장은 자기권 또는 magnetosheath로부터 들어오는 고에너지 입자를 지구 대기권까지 이끌어 들일 수 있다. 고층 대기에 들어오는 입자는 산소 또는 질소 원자 등의 중성 입자와 충돌하여 에너지를 잃고 약 80-300 Km 고도에서 중성 입자를 이온화시킨다. 어떤 대기 성분은 높은 에너지 준위까지 들뜨기도 한다. 이런 과정을 통해 오로라 빛이 형성되게 된다. magnetic substorm 동안의 오로라 및 지자기 폭풍이 일어나는 동안의 거대한 오로라는 감동적인 장관을 보여주게 되는데, 이러한 오로라 입자들은 자기권과 이온층의 상호 작용 관계에 있어서 중요한 역할을 한다.

ESA는 지구 자기권의 비교적 저에너지(5 eV - 20 keV) 대역의 전자를 관측하는 것으로서 지구 자기장을 따라 침투하는 전자들의 에너지 특성을 연구하여 오로라 지역에서의 전자 가열 현상, 오로라의 발생 현상 규명 등의 역할을 수행할 것으로 기대한다. top hat 모양의 electrostatic analyzer를 채용하여 위상 공간상에서 좋은 분해능으로 입자 분포 함수를 빠르게 측정할 수 있다. ESA는 $14^\circ \times 180^\circ$ 의 시야를 가지고 매 50 msec마다 입자의 분포를 측정할 수 있다. ESA와 함께 FIMS, SST, LP, SM을 동시에 관측하게 되면 오로라 영역에서의 전자 가열 현상 침투 전자의 공간적 구조 및 높은 고도에서의 위성체 대전 현상 등을 성공적으로 설명할 수 있을 것이다.

LP는 열 전자의 온도와 밀도를 측정하여 이온층의 특성과 에너지 분포에 대한 연구를 수행한다. LP를 통해 위성체의 전압을 측정하여 위성체가 주변 하전 입자들에 의해 얼마나 대전되었는지 알 수 있다.

SST는 고에너지의 전자 및 양성자를 관측할 수 있는 장치로서 ESA, LP와 상호 보완하여 오로라 지역에서 자기장의 변화에 따른 입자들의 가속 및 흐름을 실 공간으로 측정하여 지구 자기권 내 물리현상의 원인을 규명할 수 있는 자료를 제공하게 된다.

ESA, SST, LP 이 세 가지 입자 검출기와 FIMS를 통해 과학위성 1호는 지구 자기권의 입자들이 가지는 거의 대부분의 대역의 에너지 대역을 관측함으로써 종합적이고 독보적인 지구 자기권 관측 연구를 수행할 수 있을 것으로 기대된다. SM은 우주 과학 미션에서 반드시 필요한 장비로서 지구 자기장을 측정하여 ESA, SST, LP의 데

이터와 함께 분석하는데 사용된다. <표 4>는 우주과학 패키지의 관측 사양을 보여주며 우주과학 패키지로 수행할 수 있는 주요한 내용은 다음과 같다.

1) 지구 자기권으로 태양풍 입자의 침투현상 연구 : 태양풍으로부터 자기권으로 침투하는 플라즈마 입자는 주로 자기권의 dayside에서의 magnetic reconnection과 flank side의 Kelvin-Helmholtz 불안정성에 기인하는 것으로 알려져있다. ESA와 SST는 플라즈마 입자의 에너지와 플럭스를 측정하고 dayside에서 플라즈마가 들어오는 영역의 foot-print에 대한 정보를 제공할 것이다. 또한 FIMS 관측과 함께 상층 대기와 플라즈마 입자의 충돌에 의한 원자외선 방출을 관측할 것이다.

2) 자기권 플라즈마 입자의 가속 메카니즘 연구 : 우주과학 패키지는 저고도에서 오로라 가속 메카니즘과 저고도에서의 가속 현상에 의해 위쪽 이온층의 구조에 미치는 영향을 연구할 것이다.

3) 상층 대기의 국부적 구조 연구 : 침투 전자는 upper polar side에서 전기장에 의해 가속되는 것으로 알려져 있고 이러한 현상이 inverted-V electron event이다. FIMS의 우수한 공간 분해능과 우주과학 패키지를 통해 상층 이온층의 국부적인 구조를 연구하는 데 중요한 기여를 하게 될 것이다.

4) 상층 대기 이온 및 전자의 가속 메카니즘 연구 : 플라즈마 파동에 의한 이온 가열 현상은 자기권에 수직으로 발생하고 이온은 자기장이 비등방적일 때 속도 공간(velocity space)에서 이온빔이나 ion conics를 형성한다. 이온빔은 높은 고도의 오로라 영역으로 탈출할 수 있고 수 keV 에너지까지 가속된다.

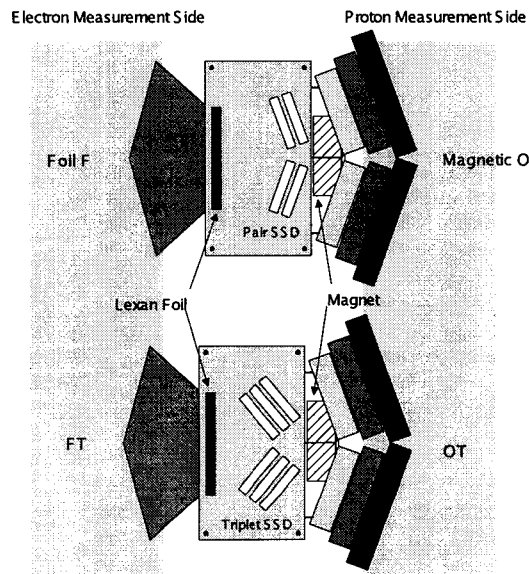
SST는 양방향(bi-directional)의 콘 모양의 기계 구조를 이루고 있다. 두 개의 기계 구조부가 (그림 4)와 같이 이루어져 있으며 높은 에너지 분해능으로 20 keV 이상의 전자와 이온을 측정하게 된다. 각각의 망원경은 두 개의 또는 세 개의 쌍으로 겹쳐진 반도체 검출기로 구성되어 있다. 각 망원경의 한쪽은 400 keV 미만의 에너지를 갖는 이온을 흡수하도록 얇은 호일(foil)으로 덮여있다. 호일에 의해서는 전자의 에너지 분포가 바뀌지 않는다. 그렇게 해서 전자와 이온이 명확하게 분리된다.

<표 4> SPP의 검출 사양

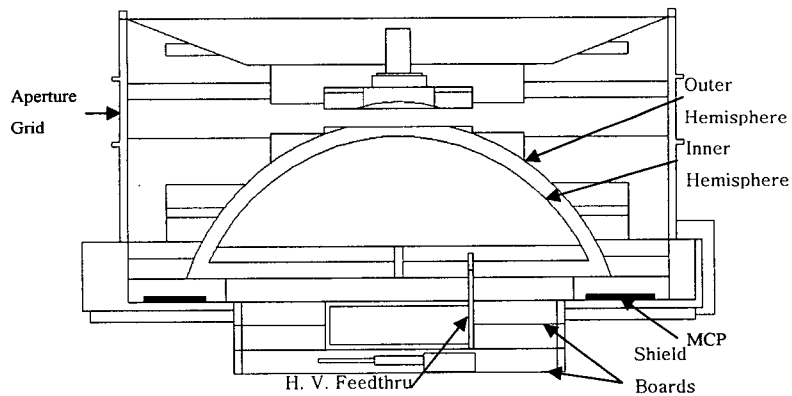
| SPP | 탐재체 검출 사양 |
|-----|--|
| SST | 25 eV-1 MeV of electron 20 keV-11 MeV of proton FOV: 36° × 20° |
| ESA | 5 eV-20 keV of electron FOV: 14° × 180° |
| LP | 0.05-5 keV of electron electron density : 10 ³ -10 ⁶ /cm ³ |
| SM | 5 nT 분해능 ±65000 nT 이내의 벡터 자기장 측정 |

<표 5> 고에너지 입자 검출기 사양

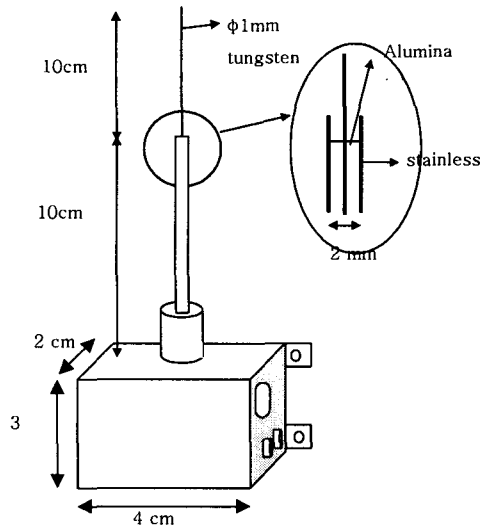
| Telescope | Particle | Geometrical Factor | Dyanamic Range (/cm ² sr s) |
|--------------|--------------------------|-------------------------|--|
| Foil F | 25-400 KeV (electron) | 1.7 cm ² sr | ~0.1 - 10 ⁹ |
| Magnetic O | 20 KeV-6 MeV (proton) | 1.7 cm ² sr | ~0.1 - 10 ⁹ |
| Telescope FT | 400 KeV-1 MeV (electron) | 0.36 cm ² sr | 10 ⁻² - 10 ⁶ |
| Telescope OT | 6-11 MeV (proton) | 0.36 cm ² sr | 10 ⁻² - 10 ⁶ |



[그림 4] 고에너지 입자 검출기의 개략적 기계구조
(T: triplet, O: open, F: foil)



[그림 5] 저에너지 입자 검출기의 개략적 구조



[그림 6] Lamuir probe의 기계 구조

LP는 원통형의 전자의 온도, 전자의 에너지 분포함수, 전자 및 이온 밀도, 위성체의 퍼텐셜 등을 측정하기 위한 탐침이다. 두 개의 독립된 센서가 수직을 이루고 있으며 각각은 adaptive sweep voltage circuits에 연결되어 있다. 한 개의 탐침은 지구 자기장에 평행이 되고 다른 하나는 지구 자기장에 수직이 되도록 하여 측정하게 된다. LP의 기계 구조는 [그림 6]과 같다.

우주과학 패키지 중 고에너지 입자 검출기는 현재 미국 시애틀 소재 워싱턴 대학과 공동으로 개발하고 있다. 자력계와 랭뮤어 탐침기는 인공위성연구센터에서 자체적으로 개발 중이다.

위성에 의한 우주 환경 관측은 현장 관측이라는 장점은 있으나, 시간적, 공간적 변화가 함께 섞인 국부적인 관측이므로 오늘날에는 많은 위성을 이용한 동시 관측이 국제 공동 협력에 의해 이루어지고 있다. 그 좋은 예가 향후 수년 내에 일차적으로 위성의 배치가 완성되는 '국제 태양 관측 프로그램(ISTP: International Solar Terrestrial Program)'이다. ISTP는 두 개의 나사(NASA) 위성 윈드(WIND)와 폴라(POLAR), 일본 아이사스(ISAS)의 지오테일(GEOTAIL) 및 유럽 예사(ESA)의 소호(SOHO) 및 클러스터(CLUSTER) 등으로 구성된다. 과학위성의 운용 시기는 ISTP 계획과 잘 일치하며, 과학위성은 저고도 극궤도 위성으로서 이들 큰 규모의 위성 과 상호 보완적인 역할을 수행하게 된다. 특히, 과학위성 1호는 태양풍으로부터 지구 자기권으로 침투하는 플라즈마 입자와 그 자기장을 관측함으로써 태양풍의 유입을 연구할 수 있다. 그리고 800킬로미터 상공의 저고도 극지방에서 우주 플라즈마 환경을 관측하여 자기권 플라즈마 입자의 가속 현상을 연구할 수 있다. 과학위성 1호는 자세 제어 능력과 공간 분해능이 뛰어나 전리층 상층부의 구조를 국부적으로 연구할 수 있다. 또한 위성의 원자외선 분광기는 분광 및 영상 관측이 가능하여 빛의 세기가 강한 전자 오로라를 작은 시간의 노출로도 관측할 수 있다. 이 관측은 양성자 오로라의 전

지구적 영상 관측을 시도하려는 나사의 '이미지(IMAGE; Imager for Magnetopause to Aurora Global Exploration)'의 결과와 상호 보완적으로 연구할 수 있을 것이다.

IV. 맺음말

과학위성 1호는 2000년대 초 태양 극대기에 운용되는, 유일한 저고도 극궤도 우주 환경 관측위성이다. 과학위성은 독립적으로 자료를 분석하거나 이미 운용중인 또는 계획된 NASA, ISAS, ESA 등 선진국 위성의 자료와 함께 분석함으로써 국제적 수준의 학문성과를 거둘 수 있다.

FIMS를 통해 얻어진 원자외선 분광 관측 자료를 분석하여 우리 은하와 근접 은하들의 생성과 진화에 대한 이론을 검증할 수 있을 것으로 기대된다. 원자외선 영역은 우리 은하의 고온의 플라스마에서 발생하는 방출선을 다수 포함하는 영역으로 우리 은하의 구조와 진화를 이해하는데 필수적이며, 지금까지 우주과학분야 선진국에서도 관측과 연구가 상대적으로 덜 이루어진 분야로, FIMS는 이러한 원자외선의 분광, 영상 관측에 최적화되도록 설계/개발되고 있다. 또한 위성의 관측 결과로 얻어지는 우주 환경 자료는 이후에 우주 비행체와 과학 탑재체를 설계하고 저고도 통신위성, 원격 탐사위성 등의 위성을 운용하는 데 기초 자료로 이용할 수 있다.

과학위성의 탑재체를 개발하는 과정에서 필터 휠 구동기 (filter wheel drive) 등의 위성 동장부 설치 기술, 진공 기술 및 고전압 발생 장치, 마이크로채널 플레이트 등의 검출 장치 기술을 비롯한 많은 우주기술을 습득할 수 있다. 이러한 기술은 방송 통신 위성, 원격 탐사 위성에 응용할 수 있다.

과학위성 1호는 기존의 우주 관측 위성에 비해 훨씬 적은 비용으로 세계적인 수준의 연구가 가능할 것으로 예상된다. 그리고 우주 개발 분야에 뒤늦게나마 참여한 우리나라가 세계적인 수준의 우주과학을 연구할 수 있는 밑거름을 마련할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Bowyer, C. S., Edelman, J., & Lampton, M., Very high sensitivity extreme ultraviolet spectrometer for diffuse radiation, *Astrophysical Journal*, 485, 523, Aug., 1997
2. 유광선, 선광일, 민경욱, Edelman, J. 원자외선 영상/분광 측정기 광학설계, *한국 우주과학회지*, 15(2), 359, Dec., 1998
3. 유광선, 선광일, 육인수, 선종호, 남옥원, 한원용, 이대회, 민경욱, Edelman, J., Korpela, E. J., 과학위성 1호 원자외선 분광기 광학부의 Tolerance 분석, *한국 우주과학회지*, 17(1), 67, June, 2000
4. 선광일, 유광선, 육인수, 박장현, 남옥원, 한원용, 선종호, 민경욱, Edelman, J., Korpela, E. J., 과학위성 1호 탑재체 원자외선 분광기의 OVI 방출선 검출 한계, *한국우주과학회지*, 17(1), 77, June, 2000

5. Shapiro, P. R., & Field, G. B., Consequences of a new hot component of the interstellar medium, *Astrophysical Journal*, 205, 762, May, 1976
6. McKee, C. F., & Ostriker, J. P., A theory of the interstellar medium: three components regulated by supernova explosions in an inhomogeneous substrate, *Astrophysical Journal*, 218, 148, Nov., 1977
7. Cox, D. P., & Smith, B. W., Large scale effects of supernova remnants on the Galaxy: Generation and maintenance of a hot network of tunnels, *Astrophysical Journal Letters*, 189, 105, May, 1974
8. Martin, C., & Bowyer, S., Discovery of high-ionization far-ultraviolet emission from the interstellar medium, *Astrophysical Journal*, 350, 242, Feb., 1990
9. Dixon, W. V. D., Davisen, A. F., & Ferguson, H. C., Discovery of OVI emission from the Galactic corona with the Hopkins Ultraviolet Telescope, *Astrophysical Journal*, 465, 288, July, 1996