

과학기술위성 1호 원자외선 분광기 FIMS의 배플 설계 BAFFLE DESIGN OF FIMS

¹육인수, ¹선광일, ²유광선, ¹진호, ¹박장현, ¹남옥원, ²이대희, ²오승한,
³이진근, ¹한원용, ²민경욱, ⁴Jerry Edelstein, ⁴Eric Korpela
¹한국천문연구원, ²한국과학기술원 인공위성연구센터,
³(주)에이시스, ⁴미국 (버클리소재) 캘리포니아 대학교

¹I.-S. YUK, ¹K.-I. SEON, ²K.-S. RYU, ¹H. JIN,
¹J.-H. PARK, ¹U.-W. NAM, ²D.-H. LEE, ²S.-H. OH,
³J.-G. RHEE, ¹W.-Y. HAN, ²K.-W. MIN,
⁴J. EDELSTEIN, ⁴E. KORPELA

¹Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

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

³Advanced Scientific Instrument Support, Daejeon, 305-343, Korea

⁴Space Sciences Lab., University of California, Berkeley, CA 94720-5030

(Received: December 6, 2003; Accepted: December 26, 2003)

ABSTRACT

FIMS (Far-ultraviolet IMaging Spectrograph) is the main payload of STSAT-1 satellite which was successfully launched on September 27, 2003. The optical system of FIMS consists of two sets of parabolic cylinder mirror, slit, ellipsoidal reflection grating, and baffle system. We designed two types of baffle system for the FIMS: FOV baffle and order baffle. FOV baffle in the mirror house controls the field of view, and the order baffle in the vacuum box blocks the rays reflected rays by different orders.

Keywords: spectrograph, telescope

1. 서론

원자외선 분광기 FIMS (Far-ultraviolet IMaging Spectrograph)는 2003년 9월 27일에 발사된 과학기술위성 1호의 주 관측기기이다. FIMS는 우리 은하에 분포하는 고온의 기체에서 발생하는 원자외선 영역의 방출선을 최소 2년 이상 관측한다. 발사 후 1년 동안은 전천 탐사를 수행하고 그 후는 개별 천체에 대한 관측을 하도록 예정되어있다.

과학기술위성 1호의 총중량은 106kg이며 FIMS는 그 중 20kg을 차지하고 있다. 과학기술위성 1호의 구조는 각 모듈이 독립적으로 제작되어 스택 형식으로 조립되었다. 그림 1은 FIMS의 비행모델(flight model)로, 과학기술위성 1호의 중간 부분에 장착된다.

과학기술위성 1호의 버스시스템은 한국과학기술원의 인공위성연구센터에서 개발하였으며, FIMS는 한국천문연구원, 한국과학기술원, 미국 (버클리 소재) 캘리포니아 대학교(이하 버클리대학교)의 Space Science Lab에서 공동

으로 개발하였다. 설계는 EURD (Bowyer, S., Edelstein J., & Lampton, M. 1997)등 위성 탑재체에 대한 설계 경험이 풍부한 버클리대학교의 기술적인 자문을 받아 이루어졌으며, 설계의 효율적인 진행을 위하여 양국의 기계팀이 수시로 왕래하였다. FIMS는 제한된 좁은 공간에 많은 부품을 설치해야 하기 때문에 수시로 설계가 변경되었으며, 위성 본체를 담당하는 팀의 요구에 의해서도 설계가 변경되었다.

FIMS의 설계는 SI단위계를 사용하는 표준 설계와 표준 부품의 사용을 원칙으로 하였다. 범용의 프로그램을 설계 도구로 채택하여 제작 업체뿐만 아니라 다른 설계팀과의 설계도 교환에 문제가 최소화 되도록 하였다. 크기가 작은 대부분의 부품은 작업의 효율적인 관리를 위하여 대전에 위치한 업체에서 제작되었으며, 위성 본체와 직접 연결되거나 높은 정밀도를 요구하는 부품들은 위성 본체를 제작하는 업체에서 제작하였다. 조립에 사용되는 상용의 표준 부품은 시기에 늦지 않도록 미국에서 미리 구매하였다.

조립은 인증 모델(qualification model)까지는 한국에서 제작되었으나 FIMS의 광학계를 조정하고 검출기를 검교정(calibration)하는 장비의 부재로 인하여 비행 모델(flight model)은 미국에서 조립되었다. 모든 조립은 부품이 오염되지 않도록 하였으며, 규정된 토크 값을 준수하는 등 엄격하게 관리되었다.

비행 모델은 조립된 이후 광학계와 검출기의 보호를 위하여 필요한 경우 진공 상태를 유지 하였으며, 청정실에서 상시 질소 가스를 주입하여 유지 관리하였다.

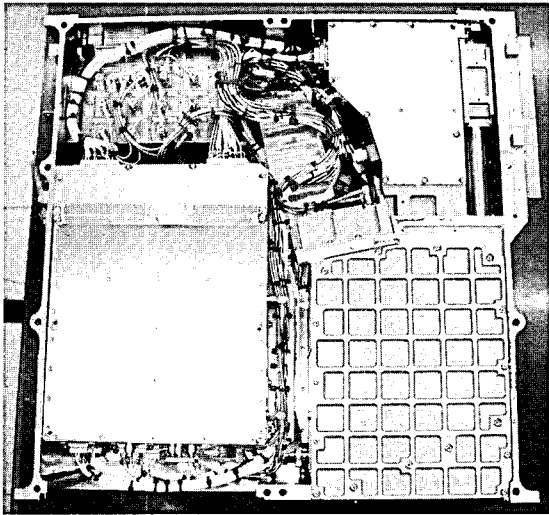


그림 1. FIMS의 비행모델. 사진의 왼쪽은 전자부이며, 오른쪽은 광학부에 해당한다.

2. FIMS의 광학계

FIMS는 원자의선 영역의 1차원 영상과 분광을 동시에 측정할 수 있는 원자의선 영상 분광기이다. 1216Å (Ly α)에서 방출되는 강한 대기광에 의한 잡음을 피하기 위하여 900~1150Å 과 1330~1730Å 영역을 관측하는 독립된 두개의 분광기 쌍으로 구성되어 있으며 각 파장 영역의 평균 분해능은 각각 2.0Å 과 3.5Å 이다.

각각의 분광기는 포물 원통형의 집광 거울 (collecting mirror), 슬릿, 필터, 타원형 회절 반사경 (grating) 및 검출기로 이루어져있다. 두 대의 분광기에 기하학적으로 동일한 집광 거울과 회절 반사경을 사용하여 슬릿의 위치와 검출기의 초점면을 공유하게 하여 구조를 간단히 하였다. 표 1에 FIMS 광학계의 특징을 설명하였다.

그림 2와 같이 입사 된 빛은 집광 거울에 의해 슬릿에서 일직선상에 모이게 되고 그 빛은 다시 회절 반사경을 지나면서 슬릿의 너비 방향으로 파장별로 분산되고 길이 방향으로 영상을 형성하게 된다. 이때 슬릿 길이 방향으로 5°~10°의 공간분해능을 가지고 8°의 영역을 관

표 1. FIMS 광학계의 특징

Mirror Figure	off-axis parabolic cylinder
Mirror Focal Length	125mm (F/2.2)
Slit Height	27.5mm
Slit Width	150 μ m
Grating Figure	ellipsoidal
Ellipse Axis A	180.0mm
Ellipse Axis C	242.6mm
Toroidal Radius	326.97mm
Ruling Constant	2250 lines/mm (short) 3000 lines/mm (long)
Diffraction Order	2nd inside (short) 1st inside (long)
Slit to Grating	177.4mm
Grating to Detector	170.0mm
Input Angle	21.9deg
Central Output Angle	-5.28deg
Detector Size	25 x 25 mm ²
Aperture	4steps (open, 10%, 1%, close)

측하게 되고 슬릿 너비 방향으로 5°의 시야를 갖는다. 따라서 슬릿 너비 방향으로 하늘을 스캔하면 2차원 영상과 분광 정보를 동시에 얻을 수 있다.

두 개의 파장대역에서 효율을 최적화하기 위해 각각의 파장 영역에 대해 반사 코팅과 검출기 photocathode를 독립적으로 택하였다. 특히 단파장대(short wavelength band)의 집광 거울 코팅에는 산소 등과의 충돌에 의한 광학적 성능 저하를 방지하기 위하여, 일반적으로 사용되는 SiC를 사용하지 않고 B₄C를 사용하도록 설계하였다. 회절

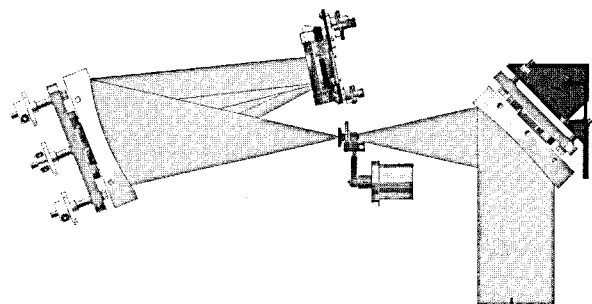


그림 2. 원자의선 분광기의 광학계를 위에서 본 모습. 그림 중앙에 있는 슬릿을 기준으로 우측에 집광 거울이 있으며 좌측에 회절 반사경이 있다.

반사경은 유리 위에 홀로그래피에 의한 형상을 화학적으로 에칭(etching)하여 제작하였다. 분광 분해능은 단파장대의 경우 1035Å에서 1.4Å을 갖도록 설계하였으며 제작 과정 중 발생하는 오차까지 고려하여도 1.8Å의 분해능을 갖도록 하였다.

단파장대의 경우 지구 대기광 Ly β (~1026Å)가 성간 플라즈마로부터 방출되는 가장 중요한 OVI (~1035Å) 방출선의 바로 옆에 위치하여 OVI 방출선 검출에 영향을 미치게 된다. 가장 강한 대기광 Ly α (~1216Å) 자체는 관측 파장대역 바깥에 위치하지만 회절 반사경에 의해 산란되어서 FIMS 파장 대역으로 들어오게 되어 천체로부터 오는 신호를 검출하는데 영향을 미치게 된다. 또한 Ly α의 강도가 시간 단위로도 상당히 변화하기 때문에 천체의 원자외선 신호와 동시 혹은 거의 동시에 Ly α 대기광에 의한 잡음을 관측하여야 한다. 따라서 검출기 앞에 MgF₂ 필터를 8° 시야의 위아래로 각각 1/4의 시야를 가리도록 놓음으로 시야의 반은 하늘을 관측하고 반은 Ly α 잡음을 관측하도록 하였다. 그로 인해 단파장대에 대해서는 4°의 시야각(Field of View; FOV)만 사용할 수 있도록 하였고 effective grasp도 장파장대(long wavelength band)의 반값을 갖게 되었다. 그러나 effective grasp이 작아져서 생기는 손해는 초점 평면에서 분광 분해능이 좋은 안쪽 부분만을 사용하고 또한 동시에 정확한 배경 잡음을 측정함으로써 보상하게 된다.

MgF₂ 필터는 2mm의 두께를 가질 때 Ly α를 약 75% 통과시키고 1150Å 미만의 파장의 빛에 대하여 약 0.1% 미만의 투과율을 가진다. 결과적으로 단파장대의 시야각은 4°×5°가 된다. 반면에 장파장대는 8°×5°의 시야각을 갖는다. Ly α 대기광은 실제 관측하려는 방향에서 약간 벗어난 방향에서 관측되지만 대기광의 세기는 수도 정도의 방향에 대해 크게 변하지 않는다. 또한 원자외선 영역에서 밝게 빛나는 별에 대해서는 이미 잘 알려져 있고 슬릿 길이 방향의 이미지를 통해 별에 의한 효과를 제거할 수 있다. 검출기 자체에 의한 배경잡음은 슬릿을 완전히 막음으로써 측정하게 된다.

장파장대의 경우 슬릿과 집광 거울사이에 CaF₂ 필터가 위치하고 있어 Ly α 대기광을 제거하게 된다. 또한, 원통형 모양의 필터를 사용하여 파장에 따라 초점 길이가 변하는 것을 방지하도록 하였다. 지구 주변의 고에너지 방사선과 CaF₂ 결정의 상호작용에 의해 발생하는 형광현상이 잡음으로 작용할 수 있으나 1) 약 800km의 과학기술 위성 1호의 비행 고도에서 방사능에 의한 형광 비율, 2) 형광빛의 파장에 대한 검출기의 민감도, 3) CaF₂ 필터가 검출기를 바라보는 시야의 크기를 고려하여 분석한 결과에 의하면 형광에 의한 효과는 무시할 수 있었다.

두 파장대역 모두 한 개의 micro-channel plate (MCP)를 사용하여 광자를 검출하게 되며 cross delay (XDL) anode

를 사용하여 검출된 광자의 검출기상의 위치 정보를 얻게 된다. 검출기 신호는 증폭기를 통해 증폭되고 ADC/TAC hybrid board에 의해 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸게 된다.

3. 기계부 설계 및 제작

3.1. 설계 도구

FIMS의 설계는 한국천문연구원과 미국 버클리대학교의 Space Science Lab 그리고 한국과학기술원의 인공위성센터에서 공동으로 이루어졌다. FIMS의 기계 구조 설계는 3차원 설계도구인 오토데스크사의 mechanical desktop을 사용하여 이루어졌다. MDT는 버클리대학교에서 위성 개발에 사용 중인 프로그램이기 때문에 사용하였다. 3차원 설계의 장점은 조립품을 만들어 부품의 간섭이나 볼트 삽입 시 나타나는 문제점을 파악하기가 쉬우며, 오토캐드라는 프로그램이 일반적으로 널리 쓰이는 프로그램이어서 외부에 제작을 의뢰할 때 용이하다. 그러나 조립품의 관리 기능이 다소 미흡하여 새로운 부품으로 기존의 조립품을 교체하거나 파일의 위치를 바꿀 때 어려운 점이 있었다. 설계는 각 부품별로 독립된 파일로 저장되었으며 조립도면은 독립된 부품 파일을 외부 참조로 읽는 형식으로 작성되었다.

FIMS 광학부의 설계는 광로 계산과 같은 광학 분석이 뒤따라야 한다. 광학 분석은 IDL를 사용하여 직접 프로그램을 개발하거나 ZEMAX 등을 사용하여 수행하였다.

인공위성에 탑재되는 모든 탑재체는 로켓 발사 시 격심한 진동 환경 및 지구 중력의 수배에서 수십 배의 강한 가속력을 겪는다. 또한, 궤도 운영 시 인공위성이 태양 쪽에 있을 경우와 반대쪽에 있는 경우에 따라 극심한 온도 변화를 겪게 된다. 따라서 인공위성 탑재체는 로켓에 의한 진동, 가속, 충격과 같은 발사환경과 고진공, 무중력, 고온, 저온과 같은 궤도환경을 경험하므로 이와 같은 극심한 환경조건에 견딜 수 있도록 설계와 제작이 되어야 한다(황도순 1999; 김진희 외 2000). 이러한 이유로 설계된 각 부품은 MSC/Nastran과 Patran을 사용하여 온도와 진동 및 기타 기계특성을 해석하여 검증하였다. 부품 해석으로 문제가 발견된 부품은 설계를 변경하여 보완하거나 또는 재질을 바꾸어 문제를 해결하였다.

3.2. 도면 관리

설계된 각각의 부품과 조립품에 대한 설계도 및 문서는 설계의 일관성을 위하여 버클리대학교에서 FTP로 관리되었다. 설계가 수록된 파일에는 부품의 이름과 설계가 이루어지거나 갱신된 날짜가 표시되어 있다. 그리고 파일

내에는 부품의 설계가 변경된 상태에 따라 버전을 다르게 하고 바뀐 내용이 기록 되도록 하였다.

도면 관리가 완벽하게 이루어지지 못하는 못하였는데, 이는 오토데스크사의 MDT 프로그램이 조립품에 포함된 부품의 변경이 용이하게 이루어지도록 하는 기능이 없었기 때문으로, 부품의 위치가 변한다거나 파일의 이름이 바뀌는 것을 허용하지 않은데 기인한다. 이로 인해서 몇몇의 부품의 바뀌는 경우에 운이 없으면, 전체 부품을 다시 조립하는 수고를 해야 했다. 또 다른 문제는 인공위성 센터에서 사용한 설계 도구가 I-DEAS이어서 FIMS를 위성체와 연결할 때 매번 특정 포맷으로 변환해 줘야 했는데, FIMS의 부품이 많아지면서 변환에 많은 시간이 소요되거나 컴퓨터의 용량 초과로 인한 어려움을 겪어야 했다.

실제 제작에 필요한 도면은 제작사에서 2차원 오토캐드 도면을 요구하였으며, 이 기능은 MDT에 있기 때문에 별다른 문제는 없었다.

3.3. 부품 제작

FIMS에 쓰이는 모든 부품 및 설계는 가능한 한 SI 단위의 표준화된 부품을 쓰도록 하였다. 미국의 경우 인치 (inch) 단위를 쓰기 때문에 설계에 혼선이 있을 수 있고, 부품을 수급하는데 있어서 한국과 같이 SI 단위계를 쓰는 나라에서 인치 단위의 부품과 도구를 구하기가 쉽지가 않을 뿐만 아니라 제작에 있어서도 곤란한 점이 있기 때문이다. 부품의 대부분을 SI 단위계를 사용하여 설계를 하였으나, 버클리 팀이 설계한 몇몇의 경우에, 그 쪽 팀이 기존에 설계한 것들을 도입하는 과정에서 인치 단위계의 설계와 부품이 사용하였다. 또 다른 경우는 버클리 대학교이 기존에 보유한 몇몇 부품을 쓰는 과정에서 인치 단위계의 부품이 쓰이게 되고, 이런 점이 이후에 크지는 않지만 조립에 어려운 점을 주기도 하였다.

FIMS를 구성하는 부품의 대부분은 가볍고 가공이 쉬운 알루미늄을 사용하여 가공하였다. 그러나 강한 강도를 요구하거나 동종의 재질을 사용할 수 없는 경우, 또는 전류가 흐르면 안 되는 부품 등에는 다른 재질을 사용하였다. FIMS를 구성하는 재질은 다음과 같다.

- 알루미늄 : AL 6061-T65은 비교적 높은 강도가 요구되지 않은 부품에 사용된다. 이 재질은 7075계열의 알루미늄에 비해서 무르지만 가공이 용이한 장점이 있다. FIMS를 구성하는 대부분의 부품은 이것을 사용하여 제작하였다. 70계열의 알루미늄을 사용하지 않은 까닭은 가공이 어려울 뿐만 아니라 강한 진동이나 충격을 받으면 찢어질 우려가 있기 때문이다.
- SUS : 스텔은 상용에 없는 길이가 긴 볼트를 제작하는 경우나 도어 어셈블리의 일부분에서 사용하였다. 무겁기 때문에 가능한 한 사용하지 않았으며 특별하

게 강도가 요구되는 부분에서만 사용하였다.

- 티타늄 : 무게가 가볍고 강도가 세기 때문에 미리 하우스의 충격 완화 장치나 미리 마운트와 회절 반사경 마운트의 완충 장치와 같은 부분에서 사용하였다.
- 코바 : 강하고, 열에 의한 팽창이 작기 때문에 미러나 회절 반사경 마운트에 사용되었다.
- 테플론 : 무른 재질이며 정밀 가공이 어렵다. out-gassing이 적고 온도에 따라 변형되는 성질이 있다. 도어 플레이트의 받침으로 사용하여 공기가 미리 하우스 내부로 들어가는 것을 막도록 하였다.
- peek : 비교적 단단하고 정밀 가공이 가능하다. out-gassing이 적다. Door actuator와 기타 정밀 가공이 필요한 부분에 사용되었다.

급속으로 가공된 부품은 모두 사용 목적에 맞게 코팅되었다. FIMS를 구성하는 부품에 사용된 코팅은 다음과 같다.

- anodizing : 태양 경고 센서의 수광부와 같이 가시광의 반사를 금지해야 하는 몇몇 부품은 아노다이징으로 증착되었다. 아노다이징된 부품은 진공상태에서 기포가 발생할 수 있기 때문에 진공에서 미리 굽는 게 필수적이다.
- alodyne : 알루미늄으로 제작된 대부분의 부품은 alodyne으로 증착되었다. 전기적 특성이 좋다.
- gold coating : 전자부품을 보호하는 몇몇 부품은 전자부에 노이즈를 발생시킬 수 있기 때문에 노이즈를 최소화하기 위하여 금으로 증착하였다.

부품의 한국과 미국에서 분산되어 가공되었다. 대부분의 부품은 가격이 상대적으로 저렴한 한국에서 가공되었다. 대부분의 부품은 인증모델을 가공한 곳에서 다시 가공되었는데, 이는 이미 제작한 부품의 정보가 입력되어 있어서 제작과 관리가 용이하기 때문이다. 그리고 이들 부품에 대한 신뢰를 검증한 상태이었다.

몇몇 부품은 미국에서 가공되었는데 이들 부품의 특징은 미국에서 가공되어 바로 실험을 하는 부품이거나, 가공을 통한 부품 개선이 이루어져야 하는 경우, 마지막으로 기술적으로 한국에서 가공하기 어려운 부품 등이다.

한국에서 제작한 부품 중 크기가 작은 부품은 지역적으로 접근이 용이한 대전에 위치한 업체에서 제작하였으며, 크기가 비교적 큰 부품이나 메인 박스의 경우에는 위성체를 제작한 구미에 위치한 SM Tec에서 제작하였다.

볼트와 같은 상용부품은 대부분 미국 업체에서 구매하였으며, 몇몇 부품은 버클리대학교에서 직접 구매하여 한국으로 보내는 형식을 취하기도 하였다.

4. 배플 설계

검출기에 잡광이 감지되지 않도록 하기 위해서는 배플

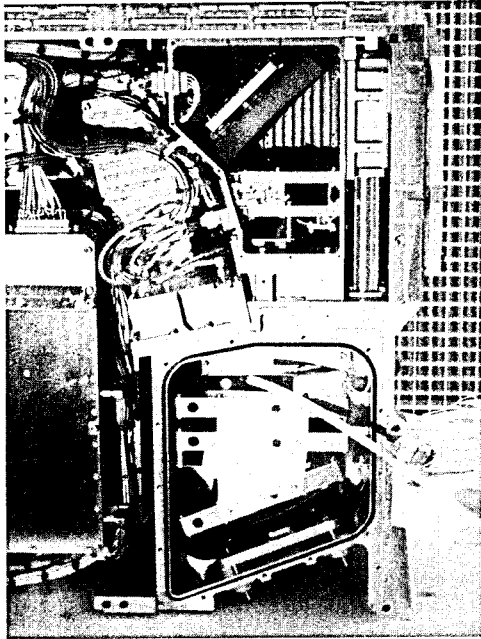


그림 3. FIMS의 광학부. 상단의 미러 하우스 내부에는 집광 거울과 시야각 배플이 설치되어 있으며, 하단의 진공 상자에는 회절 반사경과 차수 배플이 설치되어 있다.

을 반드시 설치해야 한다. 그림 3에 보이는 것처럼 배플은 미러 하우스에는 시야각을 유지하는 시야각 배플이 놓이고, 진공 상자 내에는 원치 않은 다른 차수의 빛이 검출기로 들어가는 것을 막는 차수 배플(order baffle)이 있다.

4.1. 고려 사항

배플은 기계 부품이면서 광학 부품이기 때문에 설계에 특별한 주의를 기울여야 한다. 배플을 설치할 수 있는 공간이 매우 협소하기 때문에 배플의 조립과 설치가 매우 어려우므로 설계할 때 배플의 탈부착과 조정을 염두에 두어 두어야 한다. 특히 미러 하우스나 진공 상자 내부에 있는 집광 거울과 회절 반사경에 영향을 미치지 않도록 각별히 주의하여야 한다. 또한 원자외선 분광기에 장착되는 배플은 잡광을 막는 기능뿐만 아니라 철이나 먼지와 같은 입자가 검출기에 도달하지 않도록 막는 기능도 수행하고 있으므로 이를 위해서 그리드를 설치하거나 또는 배플 판에 전류를 흘려 입자의 경로를 변경시키는 기능을 수행하도록 적절한 재질을 사용하여야 한다.

배플은 FIMS를 구성하는 부품의 하나이므로 FIMS 설계 요구조건을 충족해야 한다. FIMS 설계 요구 조건은 발사 환경과 궤도 환경에 견딜 수 있도록 하는 것과 원자

외선 관측기기의 특성상 필요한 진공 유지의 조건 등이 있다.

- 발사 시 진동 환경 하에서 공명을 일으키지 않도록 전체 구조의 1차 고유진동수는 100Hz 이상이어야 하며 부 시스템의 고유 진동수는 100Hz 이상이어야 한다.
- FIMS의 전체 구조와 부 시스템을 포함하여 발사 환경에서 허용된 스트레스 범위를 넘어서는 안 된다. FIMS의 경우 각축 당 지구 중력 가속도의 11배를 견딜 수 있어야 한다.
- FIMS내에서 진동 운동에 의한 충동이 없어야 한다.
- 진공 압력 하에서 허용된 응력(stress) 범위를 넘어서는 안 된다(FIMS 지상 실험 시 10^5 torr진공을 유지해야 하므로 진공으로 인한 압력을 견디어야 한다).
- FIMS는 우주 환경에서 겪는 심한 온도 변화에도 문제없이 작동해야 한다. FIMS의 온도에 대한 설계 요구 조건은 표 2와 같다.

표 2. FIMS의 온도 조건

Use	Degree Range (C)
Operation	-15 ~ 45
Survival	-25 ~ 55
Ground Transportation	-15 ~ 45

4.2. 시야각 배플 (FOV Baffle)

시야각 배플(FOV baffle)은 도어 입구에서 슬릿 사이에 존재하는 배플로서, 분광기에 입사하는 빛의 시야각을 제어하는 기능을 담당한다. FIMS의 시야각은 영상 축으로는 8도이며, 분광 축으로는 5분이다. 시야각 배플은 이 영역 밖에서 입사하는 빛을 완전히 차단하여, 다른 필드의 빛이 검출되지 않도록 하는 역할을 한다. 특히 미러 하우스는 사방이 밀폐된 구조이고 알루미늄으로 만들어져 있어서 반사가 아주 잘 되기 때문에 시야각 배플 설계에 세심한 주의를 기울여야 한다.

다른 필드에서 들어오는 빛은 미러 하우스 위아래의 덮개나 내벽에 반사되어 슬릿을 통과할 가능성이 있다. 또한 좌우 필드에서 들어오는 빛은 태양 전지판이나 FIMS 도어 판에 반사되어 미러 하우스 내부로 입사할 가능성이 있으므로 입사 가능한 모든 빛의 경로를 조사하여야 한다. 배플의 설계는 ZEMAX등을 사용하여 광선 추적 방법으로 계산한 광의 경로 좌표를 MDT에 입력하여 빛의 다발을 만든 후, 이 빛이 기계 구조물에 반사되거나 간섭이 되는 형태를 조사하여 시야각의 다른 각도에서 입사한 빛이 슬릿을 통과하지 않도록 적절한 판을 첨가하는 형태로 이루어졌다.

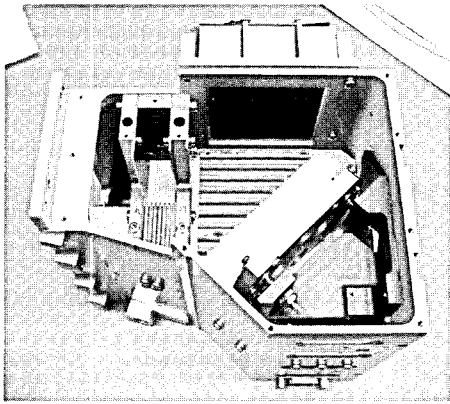


그림 4. 시야각 배플. 미러 하우스 내부에 설치된 시야각 배플의 모습. 미러 하우스의 커버와 집광 거울은 아직 조립되지 않은 상태이다.

시야각 배플의 모습은 그림 4와 같이 집광 거울이 설치될 부분을 제외한 미러 하우스의 나머지 부분을 모두 채우고 있다. 이런 이유로 조립할 때 집광 거울에 손상을 입히지 않도록 조립 및 해체 방법을 고려하여 설계하여야 한다. 뿐만 아니라 미러 하우스는 광학계의 안정을 위하여 FIMS의 메인 박스 구조물과 직접 연결되지 않고 굴곡 구조(flexture)로 연결되어 있다. 이런 이유는 메인 박스가 열이나 진동으로 변형되는 경우라도 광학계에 영향을 미치지 않도록 하기 위함이다. 집합부가 굴곡 구조이기 때문에 미러 하우스의 무게가 가능한 한 가벼워야 하므로 설계할 때 배플의 경량화에도 신경을 써야한다.

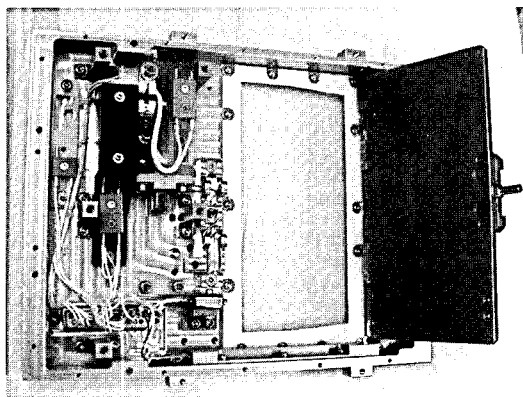


그림 5. 도어 입구. 도어 판의 완충과 밀폐를 하는 테플론으로 만들어진 틀이 배플의 역할을 한다.

시야각 배플은 장착 위치 및 형태에 따라 네 가지 있다.

- 도어 입구 : FIMS에 설치된 배플 중에 가장 바깥쪽에 설치된 배플이다. 그림 5에 보이듯이 이 배플은 테플론으로 제작되어 도어 판의 충격을 완화하고, 도어를 완전히

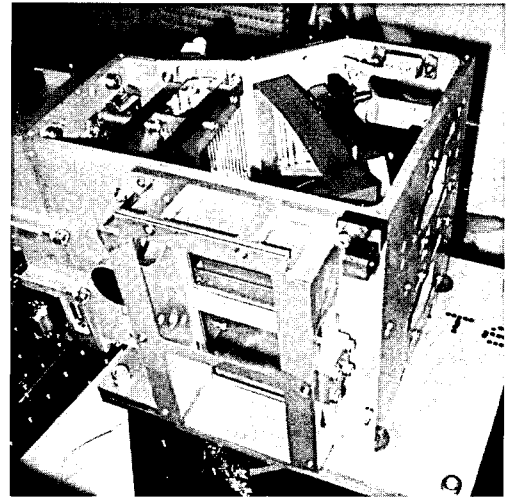


그림 6. 도어 연결부에 설치된 배플의 모습.

밀폐하여 외부에서 가스가 유입되지 않도록 하는 기능도 수행한다.

- 도어 연결부 : 그림 6에 보이는 창틀 형태의 배플이다. 도어 입구의 배플과 함께 FIMS 시야각의 형태를 만드는 역할을 한다. 그러나 아직 다른 필드에서 집광 거울로 입사한 빛을 완전히 제거하지는 못한다. 이 배플에는 전류가 흐르는 그리드가 장착되어 철과 같은 전하 입자의 입사를 막는 역할도 수행한다.

- 집광 거울의 전면 : 그림 4에서 보이듯이 미러 하우스 입구와 집광 거울 사이에 보이는 배플이다. 배플은 미러 하우스의 상하 바닥판과 중간 판에 직접 장착되는 구조로 되어 있기 때문에 그림 4와 같이 미러 하우스의 커버가 제거된 사진에서는 중간판의 배플만 보이고 있다.

- 슬릿 앞단 : 집광 거울에서 반사된 빛은 슬릿을 지나기 전에 그림 7에 보이는 배플을 거치면서 완전한 시야각을 형성한다. 이 배플은 상하뿐만 아니라 좌우의 빛도 제어하는 기능을 갖으며, 미러 하우스의 중간 판에 고정된다.

4.3. 차수 배플 (Order Baffle)

차수 배플은 슬릿을 통과한 후 회절 반사경에서 회절된 빛을 제어하는 기능을 담당한다. 차수 배플은 시야각을 유지하는 기능뿐만 아니라, 인접한 차수로 회절된 강한 방출선과 0차 회절광 즉 반사광이 검출기에 감지되지 않도록 하는 역할을 한다. 그림 8은 진공 상자에 설치된 차수 배플의 모습을 보여준다.

차수 배플을 설계하기 위해서는 반사광이나 특정 파장의 빛이 어떤 경로로 회절하고, 진공 상자 내벽의 어느 부분에 반사하는지를 정확히 계산 하여야 한다. 이를 위

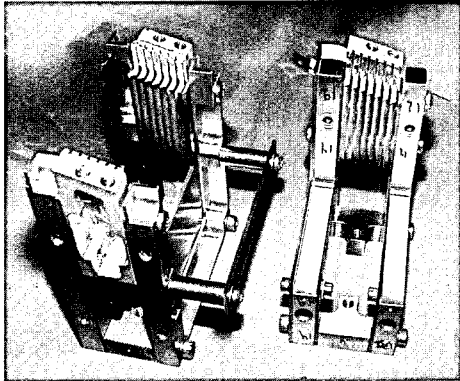


그림 7. 미러 하우스 내부에 설치된 시야각 배플 일부.

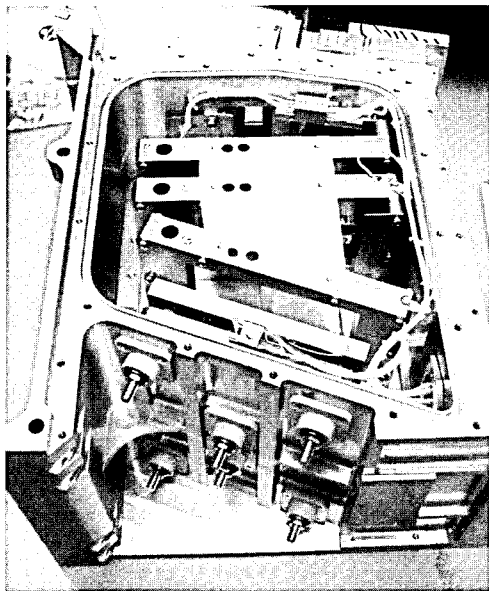


그림 8. 진공 상자 내에 설치된 차수 배플의 모습

하여 우리는 ZEMAX를 이용하여 빛의 경로를 계산한 후 계산된 값을 이용하여 MDT에서 빛의 다발을 만들어 설계하는 방법을 썼다. 그림 9는 차수 배플을 설계하는 예이다.

그림 10은 최종적으로 설계된 진공 상자 내에 위치한 차수 배플의 3차원 모형도이다. 배플은 진공 상자 안의 중간 판에 설치되는 것과 진공 상자 내 벽에 직접 장착되는 것이 있다.

FIMS의 경우 차수 배플의 설계는 매우 까다롭다. 왜냐하면 강한 방출선의 회절광이 검출기의 주변에 매우 근접해 있거나 겹쳐있어서 광손실(vignetting) 없이 시야각을 유지하면서 배플의 위치를 정하기가 매우 어려웠을 뿐만 아니라, 설계나 제작이 용이하지 않았기 때문이다.

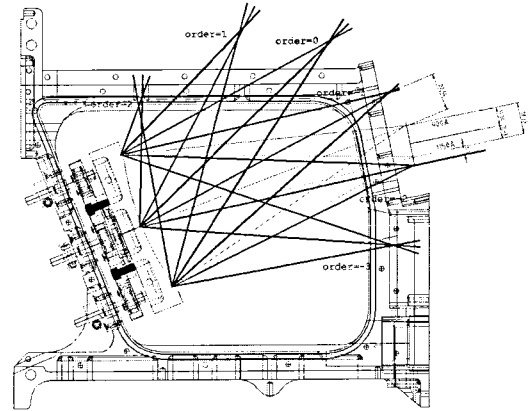


그림 9. 차수 배플의 설계 방법. 진공 상자의 내벽에 회절광이 반사된 경로를 계산하여 배플을 설계한다.

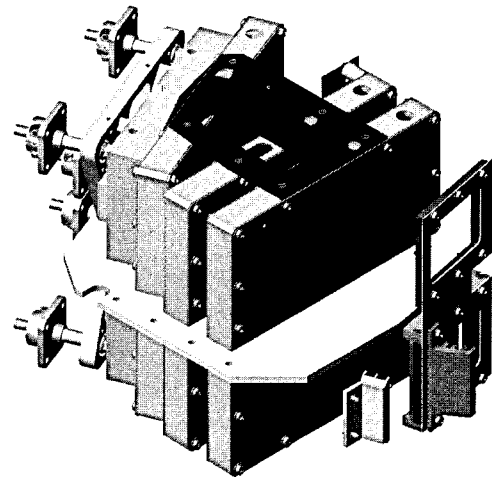


그림 10. 차수 배플의 3차원 모형도.

차수 배플은 진공 상자 내에 설치되기 때문에 진공 상태를 염두에 두고 사용 부품을 선정하고 설계를 하여야 한다. 가스 방출(outgasing)이 적은 부품을 사용하고, 진공 상태를 유지하는데 문제가 없도록 구조를 설계하여야 한다.

4.3.1. 반사광 (0차 회절)

0차로 회절된 빛, 즉 반사된 빛은 매우 강하기 때문에 빛이 검출기에 감지되지 않도록 완전히 차단시켜야 한다. FIMS의 경우 집광 거울과 회절 반사경의 기하학적 모양이 동일하기 때문에 반사광의 빛의 경로는 단파장이나 장파장 분광기에서 동일하다. 따라서 반사광을 제거하는 배플은 두 개의 분광기가 동일한 구조와 위치를 갖지만, 배플에서 빛이 통과하는 개구는 시야각에 따라 조금씩

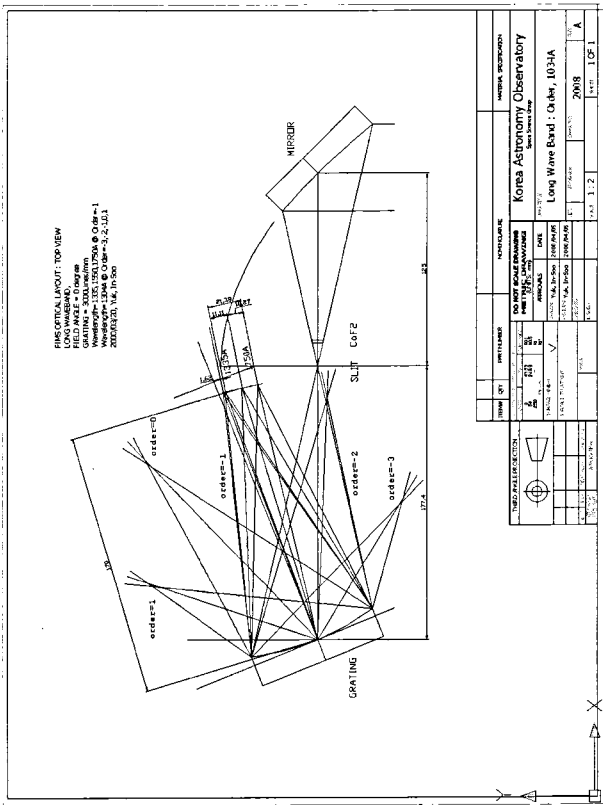


그림 11. 장파장 밴드의 OI 방출선(1304Å)의 회절 광로

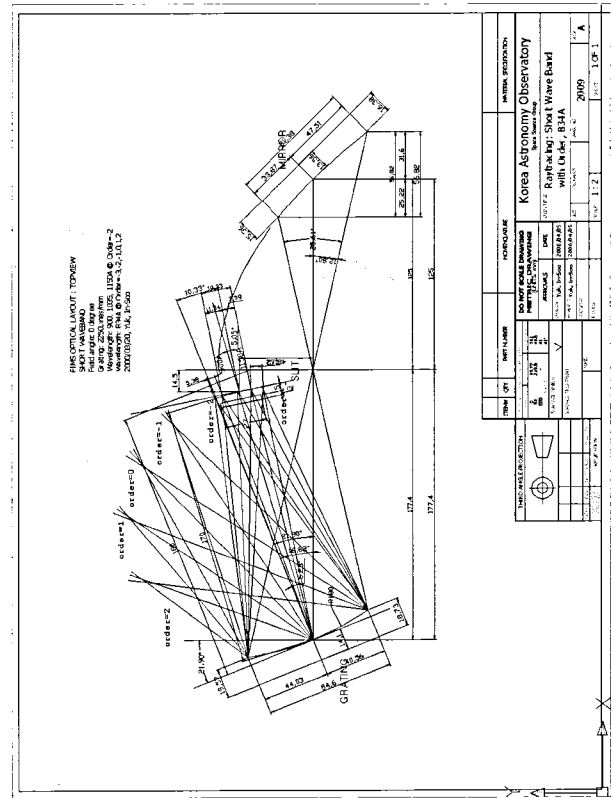


그림 12. 단파장 밴드의 OII 방출선(834Å)의 회절 광로

다르다.

그림 9에 보듯이 0차 회절광은 진공 상자의 내벽에 반사되어 검출기로 입사하므로, 이를 차단하기 위하여 그림 8에 보이는 것처럼 진공 상자 내부에 3개의 지지대를 세워서 전후 6장의 배플 판을 장착하여 빛을 차단하였다. 배플은 그림 10에 보이는 것처럼 진공 상자의 중간 판에 설치되며, 진공 상자의 중간 판에 위치 고정 핀을 두어서 배플의 위치가 조립 분해 시에 정확하게 일치하도록 하였다.

0차 회절광을 차단하는 6장의 배플 판에 전류를 흐르게 하여 대전 입자의 경로를 바꾸어 줌으로써 대전입자가 검출기에 입사하여 검출기를 손상시키는 일이 없도록 하는 기능이 있다. 이를 위하여 배플 판과 중간판 그리고 지지대에 적절한 전류의 흐름을 제어하기 위하여 피크(peek) 등과 같은 재질을 사용하여 부품을 제작하였다.

4.3.2. 방출선

분광 파장 영역 바깥에 있는 강한 방출선이 다른 차수로 회절 된 뒤, 진공 상자의 벽에 반사되어 검출기로 입사하거나 다시 슬릿을 통과하여 집광 거울에서 재 반사할 가능성이 있으므로 적절한 배플을 설치하여야 한다.

FIMS의 경우 장파장에서는 강한 산소원자 OI 방출선(1304Å)이 -1차와 -2차로 회절 된 빛을 중점적으로 차단하였다. OI 방출선은 장파장 영역의 경계인 1330Å과 차이가 작기 때문에 검출기 경계에서 이를 제거하기 위한 적절한 배플을 설치해야 한다. 실제로 -1차로 회절된 OI 방출선은 그림 11에서 보듯이 검출기 경계인 1330Å의 위치에서 불과 1.6mm 떨어진 곳에 상을 형성하기 때문에 검출기 바로 앞에 배플을 설치하여 제거하였다. OI 방출선이 -2차로 회절된 빛은 슬릿 근처에서 다시 반사되는데 이는 진공 상자의 슬릿 입구의 구조를 변경하여 해결하였다.

단파장 영역에서는 OII 방출선(834Å)이 -2차와 -3차로 회절된 빛 그리고 Ly α 방출선(1216Å)이 -1차와 -2차로 회절 된 빛을 차단하는데 주력하였다. 이들은 검출기의 가장자리로 입사하는 것들이기 때문에 파장영역을 손상시키지 않으면서 배플을 설치하는데 많은 어려움이 있었다.

OII 방출선의 회절 경로는 그림 12에 보이듯이 초점면에서 -2차로 회절된 빛은 파장 영역의 짧은 쪽 경계인 900Å의 위치에서 불과 5.4mm 떨어져 있으며, -3차로 회절된 빛은 긴쪽 경계인 1150Å의 위치에서 7.8mm 떨어져 있다. OII 방출선은 배플 판에서 반사된 빛이 회절 반사

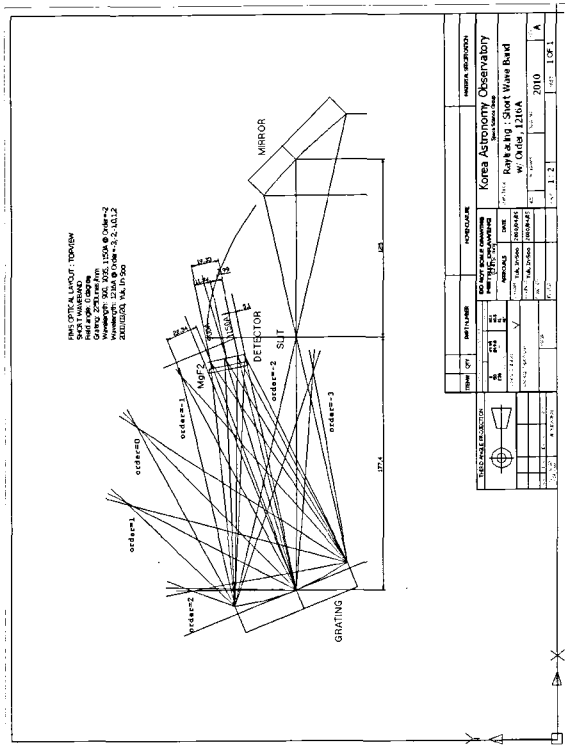


그림 13. 단파장 밴드의 Ly a 방출선(1216Å)의 회절 광로

경에 다시 반사될 가능성이 있으며, 빛의 입사각이 넓어서 검출기 안에서 입사하는 빛은 차단하기 어렵기 때문에 최대한 검출기에 가깝게 배플을 설치하지 않으면 검출기 내부에서 회절광이 산란할 가능성이 있다.

Ly a 방출선의 회절 경로는 그림 13과 같다. 이 방출선은 -2차로 회절된 빛은 초점면에서 1150Å의 위치와 5.1mm 떨어져 있어서 OII 방출선 보다 더 가깝다. 그리고 -3차로 회절된 빛은 그림 9에서 보이는 것처럼 슬릿 입구에서 난반사를 일으킬 가능성이 매우 크다.

이런 이유로 단파장 영역의 배플은 장파장 영역의 배

플보다 훨씬 복잡하다. 그림 10에서 보듯이 슬릿 입구에 Ly a 방출선의 회절광을 차단하기 위한 배플을 설치하였으며, 1150Å 근처에 OII 방출선과 Ly a 방출선의 회절광이 입사하지 않도록 최대한 검출기 근처에서 배플을 설치하였다.

5. 논의

원자외선 분광기 FIMS는 위성에 탑재되는 관측기기이기 때문에 한정된 무게와 공간에 들어갈 수 있도록 설계하여야 한다. 뿐만 아니라 우주 환경에서 작동해야 하기 때문에 넓은 온도 범위에서 작동 가능해야 하며, 발사 시에 겪을 충격이나 진동에도 광학적 성능에 문제가 없도록 안정성을 확보하여야 한다. 이러한 모든 조건을 만족할 수 있도록 설계하였으며 이를 위해 부품의 제작 전에 유한요소법(finite element method)을 이용한 분석으로 부품의 안정성을 검증하였다. 뿐만 아니라 FIMS 비행 모델은 미국에서 독립적으로 환경시험을 수행하였으며, 이후 과학기술위성 1호에 장착되어 전체적인 환경시험을 하여 아무런 문제가 없음을 재확인하였다.

원자외선 분광기 FIMS는 국내 기술로 만들어진 최초의 위성탑재체이다. 우리는 FIMS 개발을 하면서 위성 탑재체 설계와 제작 그리고 유지 등에 대한 전반적인 기술 및 지식을 습득하였으며 이에 관한 기술은 향후 다른 위성 탑재체 개발에 쓰일 것이다.

참고문헌

김진희, 김성훈, 이주훈, 황도순 2000, 한국항공우주학회지, 28, 133
 황도순 1999, 한국항공우주학회지, 27, 111
 Bowyer, S., Edelstein J., & Lampton, M. 1997, ApJ, 485,