

과학위성 1호 탑재체 원자외선 분광기의 OVI 방출선 검출 한계¹

선광일², 유광선³, 옥인수², 박장현², 남옥원², 한원웅², 선종호³, 민경옥³

Jerry Edelstein⁴, Eric J. Korpela⁴

²한국천문연구원

³한국과학기술원 인공위성연구센터

⁴Space Sciences Lab., University of California, Berkeley

OVI EMISSION LINE DETECTION LIMIT OF FAR-ULTRAVIOLET IMAGING SPECTROGRAPH¹

K.-I. Seon², K.-S. Ryu³, I.-S. Yuk², J.-H. Park², U.-W. Nam², W. Han²,
J.-H. Seon³, K.-W. Min³, J. Edelstein⁴, E. J. Korpela⁴

²Korea Astronomy Observatory, Daejeon, 305-348, Korea

³Satellite Technology Research Center, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea

⁴Space Sciences Lab., University of California, Berkeley, CA, U.S.A.

E-mail: kiseon@kao.re.kr

(Received March 3, 2000; Accepted May 16, 2000)

요 약

약 $10^{4.5}$ K과 10^6 K 사이의 온도를 갖는 고온기체가 주로 복사열에 의해 냉각될 때 900 Å에서 1,200 Å 사이의 원자외선 영역에서 OVI 이중선 ($\lambda\lambda 1032, \lambda\lambda 1038$)을 가장 강하게 방출하게 된다. 은하 전체에 걸쳐 넓게 분포하는 원자외선 방출선을 검출하려는 시도가 그동안 몇 번 있어왔으나 극히 제한된 일부 시선방향으로만 OVI 방출선이 관측되었을 뿐 관측 자료가 극히 미비한 상태이다. 또한 지구 대기로부터 방출되는 여러가지 밝은 대기광들로 인해 OVI 방출선의 관측이 영향을 받게 된다. 대기광중 OVI 방출선에 가장 가까이에 위치하는 HI 1025 Å과 OI 1027 Å 두 line이 약 $10^{5.5}$ photons/s/cm²/sr의 강도 (intensity)로서 가장 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 몬테카를로 모의실험과 χ^2 검사 기법 등을 통하여 과학위성 1호에 탑재 예정인 원자외선 분광기로부터 OVI 이중선의 검출 가능성을 연구하였다. 또한 기존의 원자외선 관측 결과 및 이론으로부터 예상되는 결과와 비교하였으며 OVI 분석 결과를 실제 광학부 제작에 필요한 오차 허용 한계 (tolerance limit)를 결정짓는 중요한 변수로 사용하도록 하였다.

ABSTRACT

There have been a few attempts to measure diffuse line emission between 900 Å and 1200 Å, and only in a limited number of sight lines has it been detected. The main contributions to the equilibrium radiative cooling curve between $10^{4.5}$ K to 10^6 K are from the doublet of OVI $\lambda\lambda 1032$ and $\lambda\lambda 1038$ in the FUV spectral region. There are several bright airglow lines which could interfere with attempts to observe the OVI lines. The nearest lines HI 1025 Å, OI 1027 Å have a combined intensity of

¹이 연구는 한국천문연구원의 Astro21과 과학기술부의 과학위성 1호 연구사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

about $10^{5.5}$ photons/s/cm²/sr. In the present study, the detectability simulation of OVI doublet is performed using a Monte-Carlo technique and chi-square statistics. The analysis results are compared with the previous observations and with the predictions of several interstellar medium models, and are used to limit manufacturing and alignment errors of FIMS optical system.

1. 서 론

지금으로부터 약 45년전 Spitzer (1956)는 은하면에서 멀리 떨어진 곳에 중성수소로 구성된 차가운 성간운 (cold cloud)이 존재한다는 사실로부터 고온의 코로나가 은하에 넓게 퍼져있어서 차가운 성간운을 지탱하고 있음을 제시하였다. 그러한 고온의 기체가 열압만에 의해 유체 정역학적 평형상태를 유지하면서 은하면 상에서 충분한 높이를 유지하기 위해서는 온도가 10^6 K 정도이어야 한다.

그 후로 우리은하에 넓게 퍼져있는 복잡한 성간물질의 상태에 대한 연구가 수행되어왔다. 수백 만도에 해당하는 고온기체로부터 방출되는 연 (soft) X-선을 관측함으로써 Bowyer, Field & Mack (1968)은 처음으로 고온기체에 대한 직접적인 증거를 찾게 되었다. 이러한 발견후에 여러 그룹 (McCammon et al. 1983, Marshall & Clark 1984)에 의해 전체 하늘에 대해 연 X-선 관측이 수행되었다. 그 결과 연 X-선 방출강도가 비등방적이라는 사실과 은하면보다는 은하의 극쪽에서 3배정도 강하다는 것이 밝혀졌다. 그 것은 중성수소의 분포와 일반적으로 반대 경향 (anticorrelation)을 보여주는 결과이다.

성간물질에 상당량의 고온기체가 존재한다는 또 다른 증거로서 Copernicus 관측에 의해 OVI 이온에 의한 자외선 흡수선이 별의 스펙트럼에서 발견되었다 (Jenkins 1978a,b). 이렇게 관측된 가는 (narrow) OVI 흡수선은 별의 대기에서는 만들어질 수 없고 약 $(3 - 5) \times 10^5$ K의 고온기체에서만 생성될 수 있다. Copernicus 관측 결과로부터 고온의 기체가 은하면 시선방향으로 넓게 퍼져있음이 밝혀졌고 고온기체의 높이 척도는 약 300pc로 밝혀졌다. 그러나 고위도 또는 외부은하에 대해 관측이 행해지지 않았기 때문에 확실하다고는 볼 수 없으며 고온기체의 거시적 구조 (large scale structure)와 생성원인이 무엇인지는 현재까지도 정확히 알려져 있지않다.

흡수선 관측외에도 약 $10^{4.5}$ K에서 10^6 K의 온도를 갖는 고온의 기체에서 방출되는 방출선을 관측하기 위한 다양한 시도가 이루어져왔지만 현재로서는 성간물질에서 방출되는 방출선은 거의 관측되지 않았다. Martin & Bowyer (1990)는 8개의 시선방향중 4개의 시선방향에서 수천 Line Unit (LU; 1 photons/s/cm²/sr)의 강도를 갖는 CIV 1550Å, OIII 1665Å 방출선을 관측하였다.

Dixon, Davidsen & Ferguson (1996)은 HUT관측을 통해 4개중 2개의 시선방향에서 약 10^4 LU에 해당하는 OVI 방출선을 4σ 의 중요도 (significance)로 검출하였다. Edelman (1992)과 Korpela, Bowyer & Edelman (1998)는 특정한 방향에 대해 3σ 의 중요도로 $OVI \leq 5,000 - 10,000$ LU의 상한값을 구하였다. Edelman et al. (1999)은 2년동안의 EURD 관측 결과로부터 현재까지 알려진 가장 낮은 상한값 $OVI \leq 1,750$ LU를 구하였다. Shelton et al. (1999)은 SMC 근방의 시선 방향을 150 ksec동안 관측한 FUSE 자료로부터 2,300 LU의 상한값을 구하였다. 이러한 기체들의 기원 및 공간적 분포에 대해 여러가지 모델들이 제안되었다. 그러나 현재까지의 관측으로는 어떤 모델이 옳은 지

표 1. FIMS의 광학적 사양.

FIMS Properties	Short Wavelength (OVI) Band	Long Wavelength (CIV) Band
Spectral Band	900 – 1150 Å	1335 – 1750 Å
Spectral Resolution	1.4 Å ($\lambda/\Delta\lambda \sim 750$) @ 1035 Å	2.2 Å ($\lambda/\Delta\lambda \sim 750$) @ 1550 Å
Effective Grasp	$0.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ sr}$	$1.25 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ sr}$
Field of View	$4^\circ \times 5'$ ($4^\circ \times 5'$ for background observation)	$8^\circ \times 5'$
Angular Resolution	$5' - 10'$	$5' - 10'$

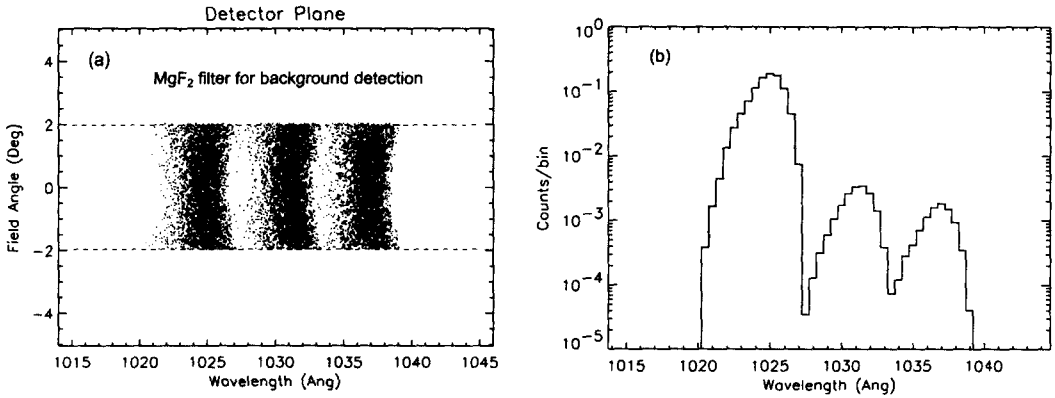


그림 1. (a) 모든 방향에서 임의의 방향으로 입사하는 광원에 의한 spot diagram, (b) 선 모양(line profile).

알 수 없는 상황이다. 사실 고온 성간물질에 대한 대부분의 주요 모델은 약 10년전의 저분해능(low resolution) 분광기로 관측한 Martin & Bowyer (1990)의 결과에 기반을 두고있다.

2002년 발사에정인 과학위성 1호의 주탑재체인 원자외선 분광기 (FIMS; Far-ultraviolet IMaging Spectrograph)의 주요 과학임무는 우리 은하 전체에 걸쳐 광범위하게 분포하는 고온의 성간물질의 공간적 분포와 진화를 연구하는 것이다. 이 연구를 위하여 현재까지 관측 결과가 가장 미비하지만 성간물질 연구에 있어서 가장 중요한 OVI 방출선을 검출하여 CIV 방출선과 비교하는 것이 주요 목적이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 지구 대기로부터 방출되는 강한 대기광이 존재할 때 FIMS로부터 검출가능한 OVI 방출선의 최소 강도를 계산하여 소기의 목적을 달성할 수 있는지 보기위하여 몬테 카를로 모의실험을 수행하였다. 그 계산 결과로부터 실제 FIMS 제작에서 필요한 광학부 제작의 허용 오차를 결정하기 위한 기준으로 사용하였고 기존의 관측 결과 및 이론치와 비교하였다.

2. FIMS의 광학적 사양 및 기본 가정

기존의 원자외선 관측은 주로 점 광원을 관측하기 위해 개발되었고 OVI와 CIV 방출선을 동시에 관측할 수 없었다 (3장 참조). FIMS의 두개의 파장대를 이용하여 OVI와 CIV 방출선을 동시에 관측함으로써 지금까지는 성간 플라즈마의 화학 성분비 (abundance)나 열적 평형 상태를 가정하고 연구되었지만 그러한 가정없이 플라즈마의 물리적, 화학적 상태를 연구하고자 하는 것이다. CIV 방출선 주변에는 강한 대기광이 존재하지 않지만 OVI 방출선 주변에는 강한 대기광이 존재하여 검출에 심각한 영향을 미치게 된다. 따라서 FIMS의 과학적 목적을 달성하는 데는 OVI 방출선을 얼마나 낮은

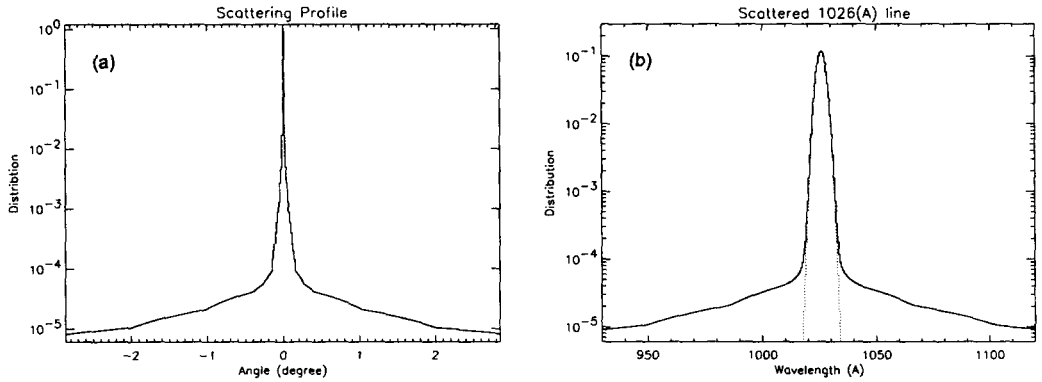


그림 2. (a) 회절격자에 의한 산란 모양, (b) 산란효과를 고려한 가우스 선원의 선 모양.

강도까지 관측할 수 있는 지가 관건이 된다.

이러한 목적하에 개발되고 있는 과학위성 1호 탑재체 원자의선 분광기의 광학적 기본 사양은 표 1과 같다 (유광선 등 1998, 2000). 표에서 유효 grasp은 주어진 파장에 대해 FIMS의 유효면적과 시야 (Field of view; FOV)의 곱으로 주어진다. FIMS의 기하학적 FOV는 $8^\circ \times 5'$ 이지만 단파장대 (short wavelength band)의 경우는 검출기 바로 앞의 $\pm 2^\circ$ 바깥영역에 MgF_2 필터를 놓음으로써 900 – 1175 Å의 파장은 막고 $\text{Ly}\alpha$ 대기광이 회절격자에 산란되어 들어오는 배경잡음을 측정할 수 있도록 하였다. 그로 인해 단파장대에 대해서는 $\pm 2^\circ$ 의 FOV만 사용할 수 있도록 하였고 유효 grasp도 장파장대 (long wavelength band)의 반값이 되었다 (그림 1(a) 참조). 유효 grasp이 작아져서 생기는 손해는 분광 분해능의 증가와 정확한 배경잡음의 측정으로 인해 보상된다.

FIMS를 이용하여 여러가지 성간물질 모델로부터 예측되는 OVI 방출선의 검출 가능성을 분석하기 위해 우선 FIMS로부터 얻어지는 방출선의 선 모양 (line profile, line spread function)을 간단한 수학적 함수로 근사하였다. 그림 1(a)는 모든 방향에서 임의의 방향으로 입사하는 광원으로부터 OVI 이중선과 약 1026 Å의 파장을 갖는 지구 대기광 (실제로는 H α 1025 Å과 OI 1027 Å의 합이지만 이것을 합하여 $\text{Ly}\beta$ 라고 부르기로 한다.)이 FIMS 검출기 상에서 보여지는 이미지를 보여준다. 이미지로부터 얻어지는 선 모양은 그림 1(b)와 같고 계산의 편의를 위해 선 모양을 식 (1)과 같은 중심이 이동된 가우스 곡선으로 근사하였다.

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{shift}})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

이 때의 선 모양은 회절격자에 의한 산란을 고려하지 않은 것으로 실제로는 산란에 의한 선 모양의 변형도 고려하기 위해 산란 모양 (scattering profile)을 선 모양과 합성곱 (convolution) 해주어야 한다. FIMS의 타원형 회절반사경에 의한 산란 모양은 그림 2(a)와 같이 홀로그래피 회절격자로부터 얻어지는 산란 모양을 이용하였다. 검출 한계 계산을 위해 사용된 산란효과를 고려한 가우스 선원의 선 모양은 그림 2(b)와 같다.

표 2. OVI 검출 한계치 계산에 사용된 가정.

Line source	Ly β 1025.72 Å	5.0 Rayleigh = 3.98×10^5 photons/s/cm ² /sr
	OVI 1031.95 Å	$2/3 \times I(\text{OVI})$ photons/s/cm ² /sr
	OVI 1037.63 Å	$1/3 \times I(\text{OVI})$ photons/s/cm ² /sr
	Ly α 1216 Å	3,500 Rayleigh = 2.79×10^8 photons/s/cm ² /sr
Continuum	Cosmic background	200 photons/s/cm ² /sr/Å
	Detector background	0.5 photons/s/cm ²
	Grating scattered Ly α	$\sim 4,000$ photons/s/cm ² /sr/Å

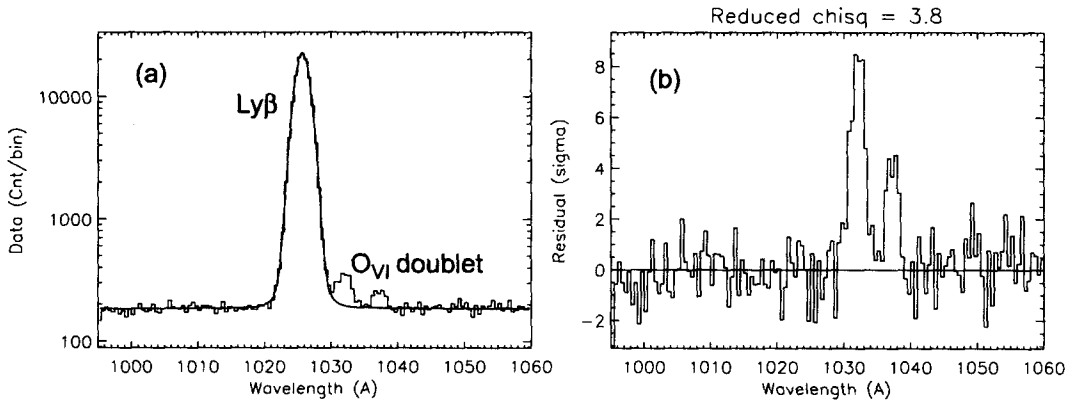


그림 3. 관측 시간 250초, 분광 분해능 1.4 Å, OVI 방출선 강도 2,000 LU을 가정했을 때 몬테카를로 방법으로 생성된 모의 스펙트럼의 예. (a) 모의 스펙트럼: 계단모양의 선은 모의 스펙트럼이며 실선은 χ^2 계산에 사용된 모델, (b) 모의 스펙트럼에서 모델 스펙트럼을 빼고 남은 값을 각 bin에 대한 푸아송 잡음으로 나누어준 값. 이때 각 bin은 0.5 Å에 해당한다.

OVI의 검출 한계를 계산하기 위해 사용된 지구 대기광 Ly α , Ly β 의 강도 및 FIMS 파장대에서의 OB형의 밝은 별등에 의한 연속 배경복사 강도, 검출기 배경잡음은 표 2와 같이 가정하였다. OVI 이중선의 강도 비율은 광학적으로 얇은 (optically thin) 플라즈마로부터 기대되는 1:2의 비율로 가정하였다. 대기광 Ly α 및 Ly β 의 강도는 FIMS의 전신이라 할 수 있는 EURD (Bowyer, Edelman & Lampton 1997)의 관측 결과를 참조하였고 검출기의 배경잡음 강도는 EURD의 2배값을 가정하였다 (Edelman & Korpela 2000). 기타 밝은 별 등에 의한 배경 잡음은 Bowyer (1991)를 참조하였다. Ly α 자체는 FIMS의 파장대 밖이지만 회절격자에 의해 산란된 빛이 들어오게 된다. 이렇게 해서 발생하는 연속 배경 잡음은 3,500 Rayleigh의 대기광에 의해 그림 2(b)와 같이 형성되는 산란 모양의 양쪽 날개 (wing)에 해당하는 4,000 photons/s/cm²/sr/Å으로 가정하였다.

3. 관측 한계치 계산

주어진 OVI 방출선 강도 및 분광 분해능에 대해 0.5 Å의 bin에서 이론적으로 예상되는 강도에 의한 푸아송 잡음을 가정하여 일련의 자료 집합을 몬테카를로 방법을 통해 생성하였다. 그림 3은 이러

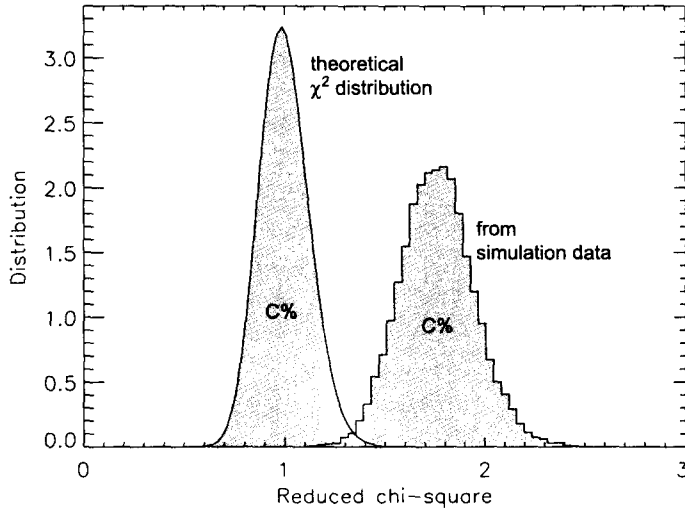


그림 4. OVI 방출선 검출 확인을 위한 χ^2 빈도수 그래프.

한 방법을 통해 생성한 모의 자료의 일례를 보여준다. 이렇게 해서 생성된 각각의 모의 스펙트럼에 대해 식 (2)와 같이 χ^2 값이 계산 되었다.

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(N_i - n_i)^2}{n_i} \quad (2)$$

여기서 n_i , N_i 는 각각 i 번째 bin에서 몬테카를로 방법에 의해 생성된 모의 자료 값과 모의 자료를 모델치와 비교하기 위해 사용된 OVI 방출선을 제외한 모델값을 나타낸다.

기본적인 개념은 몬테카를로 방법을 이용하여 N 개의 모의 자료 집합을 생성한 후 모의 스펙트럼이 OVI 방출선을 포함하고 있지 않다고 가정할 때도 동일하게 생성될 수 있는지를 확인하는 것이다. 즉, OVI 방출선을 검출했다는 것은 모의 자료가 OVI 방출선을 포함하지 않는 모델로부터 생성될 수 있다는 귀무가설 (null hypothesis)에 오류가 있다는 것을 증명하는 것과 동일하다. 귀무가설에 오류가 있다면 모의 자료로부터 구해진 χ^2 값들은 귀무가설을 만족할 때 구해지는 이론적인 χ^2 값들과는 큰 차이를 보일 것이다. 다른 말로 표현하면 귀무가설을 만족할 때의 χ^2 빈도함수와 모의 자료 집합으로부터 구해진 χ^2 빈도함수가 잘 분리되는지를 확인하는 것이다.

모의 자료 집합 전체에 대해 구해진 χ^2 값의 빈도함수 그래프를 그리면 일반적으로 그림 4의 오른쪽 곡선과 같이 나타난다. 그림에서 왼쪽 곡선은 자료가 OVI 방출선을 포함하고 있지 않을 때 (즉, 귀무가설을 만족할 때) χ^2 분포에 관한 이론곡선이며, 오른쪽 곡선은 OVI 방출선이 있을 때 생성된 모의 자료를 방출선이 없다고 가정하고 자료 맞추기 (data fit)를 수행했을 때의 χ^2 빈도 곡선이다. OVI 방출선을 $C\%$ 의 중요도내에서 검출 가능하다는 것은 전체 모의 자료의 $C\%$ 가 귀무가설을 만족하는 분포 함수로부터 분리되어 있음을 의미한다. 그림 4를 참조하여 귀무가설을 만족하는 분포 함수와 모의 자료로부터 얻어지는 χ^2 분포 함수를 각각 $P_0(\chi^2)$ 와 $P_1(\chi^2)$ 로 나타내면 $C\%$ 의 중요도내에서 검출 가능하다는 조건은 식 (3)와 같이 수학적으로 표현할 수 있다.

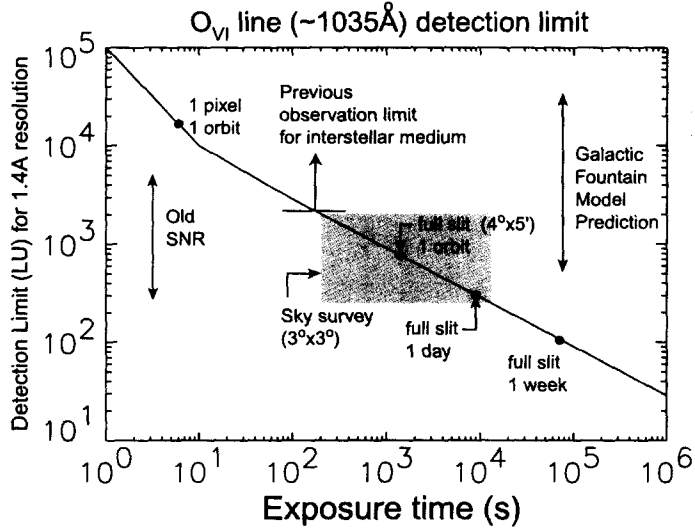


그림 5. 1.4 Å의 분광분해능을 가정했을 때 주어진 관측시간에 대해 검출 가능한 OVI 방출선 강도.

$$\sum_{\chi^2} P_1(\chi^2 \geq \chi_c^2) \geq C \quad \sum_{\chi^2} P_0(\chi^2 \leq \chi_c^2) \geq C \quad (3)$$

OVI 방출선의 강도를 변화시켜 가면서 이러한 방법으로 검출 가능한 OVI 방출선 강도를 구하였다. 그림 5는 1.4 Å의 분광 분해능을 가정했을 때 관측시간에 따라 예상되는 3σ 수준(level)에서 관측 가능한 OVI 방출선 강도를 보여준다. 또한 다양한 관측 시간 스케일에 따르는 관측 가능한 방출선의 강도를 표시하였다. 한 궤도당 약 25분의 관측 시간과 하루당 여섯 궤도에 걸쳐 관측을 할당한다면 하루 (약 12 ksec) 동안 지향 관측을 수행하면 3σ 수준으로 260 LU의 OVI 방출선을 검출할 수 있다. 1년간의 전천 탐사 (sky survey) 기간동안은 3° × 3°의 크기로 전체 하늘을 분석하게 된다. 이때 평균 관측 시간인 760초 동안 3σ 수준으로 1,035 LU의 OVI 방출선을 검출할 수 있다. 전천 탐사를 수행하는 동안 은하의 위도 및 경도에 따라 관측 시간이 변하게 되며 그림 5에 흐린 상자로 표시된 부분이 관측 시간의 범위와 그에 따른 검출 가능한 OVI 방출선의 강도를 나타낸다. 또한 기존의 원자의선 관측의 한계, 성간물질 모델에 의해 예측되는 OVI 방출선의 강도, 나이가 많은 초신성 폭발 잔해에 의한 OVI 방출선 강도 등이 그림에 표시되어있다. 젊은 초신성 폭발 잔해는 10⁵ LU 이상의 OVI 방출선을 방출한다.

표 3는 각 중 은하 분수 모델 (Galactic fountain model)들로부터 유추되는 성간물질의 최고 온도, 질량 흐름 (mass flow) 및 OVI 과 CIV 방출선의 강도를 보여주고 있으며 10,000초 (약 하루)동안 FIMS로 관측했을 때의 검출 효율을 보여주고 있다. CIV에 대해서도 OVI에서와 동일한 방법으로 계산하였다.

그림 6은 FIMS 광학부 제작상의 오차로 인해 분광 분해능이 설계치 1.4 Å보다 저하되었을 때 한 궤도(약 1,250초)동안 관측하는 동안의 OVI 방출선 검출 한계치를 보여준다. 최상의 상태일 때 1.4

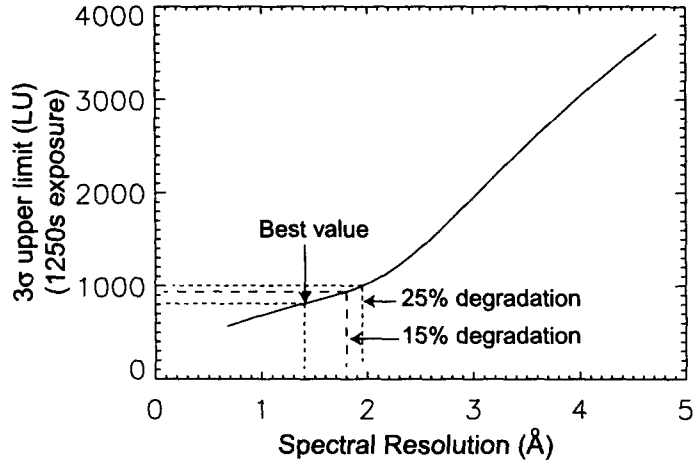


그림 6. 한 궤도동안 (약 1,250초) 관측할 때 분광 분해능에 대한 검출 가능한 OVI 방출선 강도.

표 3. 은하 분수 모델로부터의 예상치.

Model Parameter	Edgar & Chevalier (1986)	Houck & Bregman (1990)	Shull & Slavin (1994)	Benjamin & Shapiro (1993)	FIMS sensitivity (10 ksec)
$\log(T_{\max}(K))$	6	5.5	5.3 ± 0.3		
\dot{M}_{\max}	$< 3.2 - 4.75$	< 6.3	21-38		
$I(O_{VI})/I(C_{IV})$	7.2-10.8	0.3	1.0-1.4	~ 6.7	
$I(O_{VI})$ (LU)	5.1-11k	7.6k	4.2-13k	$\sim 40k$	260
$I(C_{IV})$ (LU)	0.5-1.5k	25k	3-13k	$\sim 6k$	170

Å의 분해능을 보이게 되며 이때 약 800 LU의 OVI 방출선을 검출할 수 있다. 실제 광학부 제작 오차에 의해 검출효율이 25% 감소하는 것을 허용한다면 1.95 Å까지 분해능 저하를 허용하는 것이 된다. 그러나 그림으로부터 25% 성능 저하 지점에서 곡선의 기울기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 대기광은 수시로 강도가 변하기 때문에 실제로는 25% 성능 저하 지점에서 검출 효율의 성능 저하가 25% 이상이 될 수 있다. 이러한 위험을 줄이기 위해 15%의 검출 효율의 성능 저하를 허용하기로 결정하였다. 결국 1.8 Å까지 분해능이 저하하는 것까지 허용하는 것이 된다. 이 값을 기준으로 유광선 등 (2000)에 의해 FIMS 광학부의 오차 허용 한계에 관한 연구가 수행되었다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 과학위성 1호에 탑재를 위해 개발되고 있는 원자외선 분광기 (FIMS)를 이용하여 FIMS의 주된 과학 목적인 고온의 기체로부터 방출되는 OVI 방출선의 검출 가능성에 대한 모의 실험을 수행하였다. 또한 계산 결과로부터 FIMS 광학부의 설계 및 개발을 위해 필요한 오차 허용 한계값을 구하였다. 최적화된 설계값에서 15%의 검출효율의 감소를 허용했을 때 1.8 Å의 분광분해능

표 4. 은하에 걸쳐 넓게 분포하는 원자외선 방출선 검출 효율 비교.

	Bandpass (Å)	Spectral Resolution ($\lambda/\Delta\lambda$)	FOV	Fractional sky coverage	Sensitivity (3σ in 1000s)	Obs. Results (Line Emission)
UVX	600 - 1140 1350 - 1930	100	4° × 6'	2.5×10^{-4}	2,100 LU	~ 5,000 LU C _{IV} $\lambda\lambda$ 1150
Voyager UVS	500 - 1100	26	0.1° × 0.87°	1.1×10^{-5}	600,000 LU	< 20,000 LU O _{VI} $\lambda\lambda$ 1032
HUT	921 - 1840	600	19'' × 3.5'	5.5×10^{-8}	7,300 LU	~ 12,000 LU O _{VI} $\lambda\lambda$ 1032
DUVE	950 - 1080	300	6° × 6'	0.18	14,000 LU	< 6,000 LU O _{VI} $\lambda\lambda$ 1032
FUSE	905 - 1185	4000	30'' × 30''	1.6×10^{-9}	7,000 LU	2,300 LU O _{VI} $\lambda\lambda$ 1032
FIMS	900 - 1170 1335 - 1800	750	8° × 5'	1.0	900 LU	

을 갖게 된다. FIMS가 1.4 Å의 분광분해능을 갖을 때 한 궤도동안의 관측으로 약 800 LU을 관측할 수 있고 1.8 Å의 분광 분해능을 가질 때 약 900 LU의 OVI 방출선을 관측할 수 있음을 보았다. 이는 기존의 관측 결과 및 기존의 원자외선 관측 장비에 비해 월등히 뛰어난 성능이라 할 수 있다.

참고로 기존의 원자외선 분광기와 비교하기 위하여 표 4에 기존 관측 장비의 사양과 OVI 또는 CIV 방출선의 관측 결과 또는 검출 가능한 플러스의 양을 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 FIMS는 기존의 분광기에 비해 검출효율이 월등히 뛰어나며 특히 넓게 퍼져있는 성간물질을 연구하기에 적합하게 설계되었다. 또한 OVI와 CIV 방출선을 동시에 관측 할 수 있어서 화학 성분비 및 열역학적 평형 상태 등에 관한 기본 가정없이 성간 플라즈마의 화학적/물리적 특성을 연구하기에 적합하다.

참고문헌

- 유광선, 선광일, 민경욱, & Edelman, J. 1998, 한국우주과학회지, 15, 359
- 유광선, 선광일, 육인수, 선종호, 남옥원, 한원용, 이대회, 민경욱, Edelman, J., & Korpela, E. J. 2000, 한국우주과학회지, 17, 67
- Benjamin, R. A., & Shapiro, P. R. 1993, in UV and X-ray Spectroscopy of Laboratory and Astrophysics Plasma (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 280
- Bowyer, C. S. 1991, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 29, 59
- Bowyer, C. S., Edelman, J., & Lampton, M. 1997, ApJ, 485, 523
- Bowyer, C. S., Field, G. B., & Mack, J. E. 1968, Nature, 217, 32
- Dixon, W. V. D., Davidsen, A. F., & Ferguson, H. C. 1996, ApJ, 465, 288
- Edelman, J. 1992, Ph.D. Thesis, Univ. of California, Berkeley
- Edelman, J., Bowyer, C. S., Korpela, E. J., Lampton, M., Trapero, J., Gomez, J. F., Morales, C., & Orozco, V. 1999, BAAS, 31, 1453
- Edelman, J., & Korpela, E., J. 2000, private communication

- Edgar, R. J., & Chevalier, R. A. 1986, *ApJL*, 310, L27
- Houck, J. C., & Bregman, J. N. 1990, *ApJ*, 352, 506
- Jenkins, E. B. 1978a, *ApJ*, 219, 845
- Jenkins, E. B. 1978b, *ApJ*, 220, 107
- Korpela, E. J., Bowyer, C. S., & Edelstein, J. 1998, *ApJ*, 390, 108
- Marshall, F. J., & Clark, G. W. 1984, *ApJ*, 287, 633
- Martin, C., & Bowyer, C. S. 1990, *ApJ*, 350, 242
- McCammon, D., Burrows, D. N., Sanders, W. T., & Kraushaar, W. T. 1983, *ApJ*, 269, 107
- Shelton, R. L., Murphy, E. M., Kruk, J. M., Moos, H. W., Oegerle, W. R., Jenkins, E. B., & FUSE
Science Team 1999, *BAAS*, 31, 1374
- Shull, J. M., & Slavin, J. D. 1994, *ApJ*, 427, 784
- Spitzer, L. 1956, *ApJ*, 124, 20