

SEYFERT 1 은하 NGC 7469의 IUE SPECTRA - NGC 7469 BLR의 물리적 특성

손동훈¹, 형 식^{2†}
¹경희대학교 우주과학과
²충북대학교 지구과학교육과

IUE SPECTRA OF SEYFERT 1 GALAXY NGC 7469 - BLR CHARACTERISTICS OF NGC 7469

Dong-Hoon Son¹ and Siek Hyung^{2†}

¹Dept. of Astronomy and Space Science, Kyunghee University

²School of Science Education(Astronomy), Chungbuk National University

E-mail: hyung@chungbuk.ac.kr

(Received June 2, 2005; Accepted July 25, 2005)

요 약

Wanders et al.(1997)이 1996년 6월 11일부터 7월 29일까지 IUE 위성을 통해 얻은 NGC 7469 관측 자료를 사용하여, Feibelman & Aller(1987)가 제안한 방법으로 Si III] 1892 와 C III] 1909의 플럭스 비를 통해 전자 밀도 변화를 구하였다. STARLINK/DIPSO를 이용해 두선의 윤곽을 분리하고, Si III]에 대해 12.4%, C III]에 대해 6.6% 이내의 측정오차로 플럭스를 구할 수 있었다. 계산된 밀도(log Ne)는 최소 9.69, 최대 10.93, 평균 10.51 ± 0.15 , 최대-최소 차이는 1.24를 보였다. 즉 50여일 정도의 관측기간 동안에도 밀도는 최대 17.3배 정도의 밀도 변화가 있었다. 또한, UV continuum(1315Å)에 대한 각 방출선의 지연시간은 C IV는 2일, C III]는 4일, Si III]는 8일의 지연시간을 보여, 각각 중심으로부터 0.002pc, 0.004pc, 0.006pc 떨어진 곳에서 방출선영역이 형성되고 있음을 알 수 있었다. 이러한 BLR 크기와 방출선 들의 선폭으로부터 구한 운동학적 자료로부터 추정된 중심 블랙홀의 질량은 약 $10^6 M_{\odot}$ 이다.

ABSTRACT

From the line ratios of Si III] 1892 to C III] 1909 (Feibelman & Aller 1987), we estimated the BLR electron densities and their changes of Seyfert 1 galaxy NGC 7469 using IUE spectra observed from June 11 to July 29, 1996 (Wanders et al. 1997). We separated blended Si III] and C III] lines using the STARLINK/DIPSO and measured their fluxes within the error of 12.4% and 6.6%, respectively. Electron density fluctuated from $10^{9.69}$ to $10^{10.93}$ during about two month period, i.e. 17.3 times density variation within 50 days. We also derived time delays from UV emission line variations relative to the continuum (at 1315Å): 2 days for C IV, 4 days for C III], 8 days for Si III]. This suggests that their stratified UV line emission regions are at 0.002 pc, 0.004 pc and 0.006 pc, respectively, from the central region. Based on the BLR sizes and their rotation velocities deduced from the line profiles, we estimate the central black hole mass as about $10^6 M_{\odot}$.

[†]corresponding author

Keywords: Seyfert Galaxies, active galactic nuclei, ultraviolet spectra

1. 서 론

International AGN Watch 프로그램을 비롯하여 여러 활동은하핵(AGN) 모니터링 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구에는 활동은하중 비교적 가깝고 밝은 Seyfert 은하들도 포함되었으며, 그 예로 NGC 3516, NGC 4151, NGC 5548, NGC 7469 등이 대표적인 관측대상이었다. 이들은 지상 망원경을 이용한 가시광 및 적외선 관측뿐만 아니라, IUE, CGRO, ASCA, ROSAT 위성 등으로 UV부터 X선 영역까지 동시에 관측되기도 하였다.

AGN 모니터링 프로그램의 주요 목적의 하나는 Reverberation(echo) mapping(Blandford & McKee 1982)을 구하는 것이다. 넓은폭 방출선 영역(broad emission line, BLR)의 플럭스 변화는 연속선(continuum) 플럭스 변화와 상관관계가 있으며, 이것은 BLR에 중심 소스에 의한 광이온화(photoionization)가 작용하고 있다는 강한 증거가 되었다(Wanders et al. 1997). 이러한 연속선 변화와 빛의 전달 시간 지연(light travel time) 효과, 광이온화에 의한 방출선의 반응을 주의 깊게 모니터하여 BLR의 크기 내지는 위치 등의 기하학적 정보를 구하는 방법이 Reverberation(echo) mapping 이다. 이러한 방법은 일정한 간격으로 관측된 자료를 이용하여야 하나, 실제 관측에서는 일정한 샘플의 자료를 얻기 힘들다. 일단 자료가 얻어지면, 연속선과 방출선 들의 광도 곡선을 비교하여 상관관계를 유추하여 BLR의 크기를 알 수 있다. 이는 상관계수가 최대가 되는 지점을 두 광도곡선에서 구한 후 각각의 정점에서 얻은 시간지연(lag)을 기하학적으로 해석한 것이다(Peterson 1993). 자료의 한계에서 오는 결점을 극복하기 위해 내삽법인 CCF(cross-correlation function)이나, 불연속적인 상관함수 DCF(discrete correlation function)가 사용되는데, 우리는 CCF 방법을 사용하여 각 BLR 방출선 지역의 크기를 구하였다.

NGC 7469는 Seyfert 1.2 은하로, 숙주(host) 은하는 SBa형이다. 적색 편이 값은 $z=0.0164$ 이고, 안시등급 값은 $V = 13.0^m$ 이며, 거리는 $66\text{Mpc}(H_0 = 75\text{kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1})$ 이다. 동반은하 IC 5283과 상호작용하고 있으며, 가시광~전파 관측에서, 중심에서 480 pc 거리에 핵을 둘러싸고 있는 고리모양의 별 탄생 활동(starburst activity)이 관측되었다. 그 광도는 약 $3 \times 10^{11}L_{\odot}$ 로 은하 전체 광도의 2/3나 된다(Glass 1998).

1996년 6-7월에 실행된 AGN watching campaign으로 IUE, RXTE(Rossi X-Ray Timing Explorer), 지상망원경 등의 네트워크 관측을 통해 NGC 7469가 모니터링 되었다. IUE 관측 결과는 Wanders et al.(1997) 등이 발표했으며, 우리는 이 연구에서 이들이 관측한 자료를 사용하여 분석하고자 한다. RXTE관측 결과는 Nandra et al.(1998), 가시광 영역 지상관측 결과는 Collier et al.(1998) 등이 발표하였다. 이전의 UV 관측 결과로는, 1978년부터 1982년 사이에 IUE로 관측된 자료를 이용하여, Westin(1984)이 NGC 7469 자료 조사 결과들, Chapman et al.(1985)이 NGC 7469를 비롯하여 9개의 Seyfert 은하 관측 자료를 발표하였다.

최근의 UV 영역 연구 결과는 Welsh et al.(1998)과 Kriss et al.(2000) 등이 발표한 HST/FOS 관측 결과이다. 최근에는 새로운 다채널(multiwavelength) 관측 연구 결과가 나왔다. FUSE(Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer)를 이용한 원자외선 관측결과를 Kriss et al.(2003)이, XMM(X-ray Multi-Mirror)-Newton을 이용한 X선과 UV 관측결과를 Blustin et al.(2003)이 발표하였다.

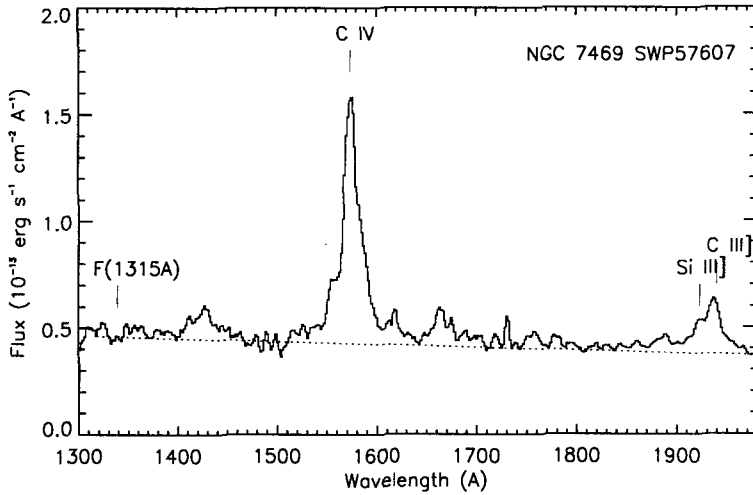


그림 1. NGC 7469의 IUE 스펙트럼(1996년 7월 27일 관측).

현재까지 AGN의 BLR 영역의 밀도나 그 변화를 정확히 알 수 있는 방법은 알려져 있지 않다. 다만, 허용선 및 금지선의 유무에 따라 한계 값을 추정할 수 있을 뿐이었다. Feibelman & Aller(1987)는 C III]1909/Si III]1892 플럭스비가 공생별의 전자 밀도를 추정할 수 있게 하는 유용한 진단 도구임을 보였다. 우리는 이들의 방법을 Seyfert 1 은하에 적용하여, IUE 관측 자료를 통해 Mrk 335와 NGC 4051(Hyung et al. 2000a), NGC 4151과 NGC 5548(손동훈과 형식 2004)의 밀도 변화를 조사하였다. 이 연구에서는 NGC 7469의 IUE 자료를 측정하여, UV 영역의 연속선(continuum)과 C III]1909/Si III]1892와 같은 방출선 세기변화로부터, BLR의 크기를 계산하고, 밀도를 구하여 변화 원인에 대해 연구하였다.

2. 자료 분석 및 결과

관측 자료는 Wanders et al.(1997)이 관측한 1996년 6월 11일부터 7월 29일까지의 IUE Archive 분광자료를 사용하였다. 평균 5.3시간 간격으로 관측된 총 218개의 스펙트럼 중에서, Wanders et al.(1997)이 발표한 자료와 우리가 측정한 자료 모두 쓸 수 있는 자료는 188개의 스펙트럼으로, 이 188개의 스펙트럼으로부터 연속선, C IV, Si III], C III]를 모두 측정할 수 있었다. UV continuum(1315Å)과 C IV(1549Å) 플럭스 값은 Wanders et al.(1997)의 Table 2와 3에 나온 그대로 사용하였고, Si III](1891Å)와 C III](1909Å) 플럭스는 STARLINK/DIPS0 패키지를 이용해 측정하였다.

Wanders et al.(1997)의 연구에서는 Si III]와 C III]를 분리하지 않고, 둘을 합한 플럭스를 C III] 플럭스로 간주하였다. 그 결과 C III]선으로부터 지연시간을 유도할 수 없다. 우리의 연구에서는 STARLINK/DIPS0 패키지를 이용해 두 선을 충분히 분리하였고, Si III]에 대해 12.4%, C III]에 대해 6.6% 내의 오차한계 안에서 플럭스를 구할 수 있었다.

그림 1은 우리가 연구에 사용한 NGC 7469의 스펙트럼들 중 하나로, 성간 소광과 도플러 이동에

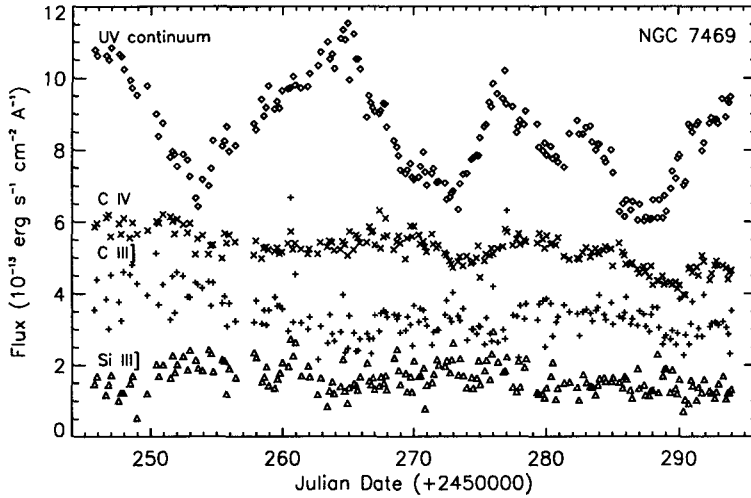


그림 2. 연속선과 방출선의 플럭스 변화(세로축 단위는 본문 참조).

의한 파장 변이는 보정하지 않은 상태이다. 연구에 필요한 UV 연속선과 방출선들의 위치를 함께 나타내었다.

2.1 UV 연속선 및 방출선

그림 2는 연속선과 방출선의 플럭스를 한 그림에 나타낸 것이다. 플럭스 변화를 보기 쉽게 단위를 조정하였다. UV 연속선은 $2 \times 10^{-14} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$, C IV는 $0.5 \times 10^{-13} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$, C III]와 Si III]는 $10^{-13} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$ 단위이다. 연속선과 C IV 변화는 분명한 반면, 다른 방출선의 변화는 불분명해 보인다. 그림 3은 변화가 불분명해 보이는 Si III]와 C III]를 분명히 보기 위해 확대한 것으로, 측정 오차를 함께 나타냈다. 두 선의 경우 S/N비가 UV 연속선이나 C IV보다 낮지만, 변화의 양상이 분명히 존재한다.

Wanders et al.(1997)은 4가지 요소 - 평균 플럭스 \bar{F} , RMS 플럭스 σ_F^2 , 최대 플럭스와 최소 플럭스 차이 R_{max} , 측정오차 ϵ_i 에 대해 보정된 평균 플럭스에 대한 고유 변화폭 F_{var} - 을 사용하여 연속선과 C IV 플럭스 변화의 양상을 보여주는 지표 값으로 사용하였다.

$$\bar{F} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i \quad (1)$$

$$\sigma_F^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2 \quad (2)$$

$$F_{var} = \frac{1}{\bar{F}} \sqrt{(\sigma_F^2 - \Delta^2)} \quad (3)$$

여기서 Δ^2 은 측정 오차의 평균 제곱 값이다.

$$\Delta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2 \quad (4)$$

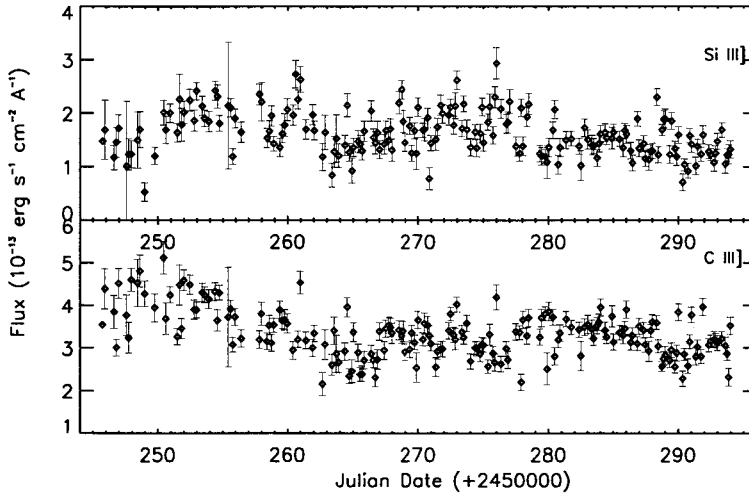


그림 3. Si III]와 C III]의 플럭스 광도 곡선. 세로선들은 측정 오차범위이다.

표 1. 변화 인자(Variability Parameter) (N=188).

Feature	\bar{F}^a	$\sigma_{\bar{F}}^a$	F_{var}	R_{max}
F(1315Å)	4.21	0.39	0.09	2.75
C IV	261.0	24.1	0.39	1.18
Si III]	16.20	14.13	0.744	2.411
C III]	33.67	6.37	0.121	4.514

^a단위: $10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$

우리는 동일한 방법을 적용하여, 위에서 언급한 것처럼 연속선, C IV, Si III, C III] 모두 측정할 수 있는 188개의 스펙트럼들에 대한 변화 인자 값을 구하였다. 표 1에 계산 결과를 정리하였다. 연속선과 C IV의 경우는 Wanders et al.(1997) 등의 결과와 유사한 값을 보여주고, 다른 두 선인 Si III]와 C III]의 경우는 처음으로 계산된 값이므로 다른 연구 결과와 비교할 수 없었다.

Wanders et al.(1997)은 고유 변화값(F_{var})이 파장이 큰 방출선일수록 작아지는 경향을 보인다고 하였으나, 이번에 새로 측정된 Si III]와 C III]의 경우를 포함하면, 그러한 경향은 보이지 않는다. 특히 Si III]의 경우가 고유변화가 가장 크게 나타났는데, 이는 IUE자료의 낮은 분해능과 S/N비로 인해, 오차가 비교적 크다. 파장에 따른 변화폭 양상을 정확히 알기 위해서는 좀 더 양질의 관측 자료를 이용한 연구가 필요하다.

C IV/C III] 플럭스비는 입사되는 이온화 광자(ionizing photon)의 플럭스와 BLC(Broad Line Clouds)의 전자 밀도와의 비를 나타내는 이온화 인자(ionization parameter)의 척도로서 사용된다. 즉 은하의 중심핵이 어떠한 이온화 특성 또는 어느 부류에 속하는지 알려 준다. Wu et al.(1983)에 의하면, 큰 적색편이를 나타내는 퀘이사들은 2, 일반적인 Seyfert 1 은하들은 5 정도의 값을 보인다. NGC 7469의 경우 4.3 ~ 12.9 사이에서 변화하였고, 평균값은 8.0으로 전형적인 Seyfert 1 은하 쪽에

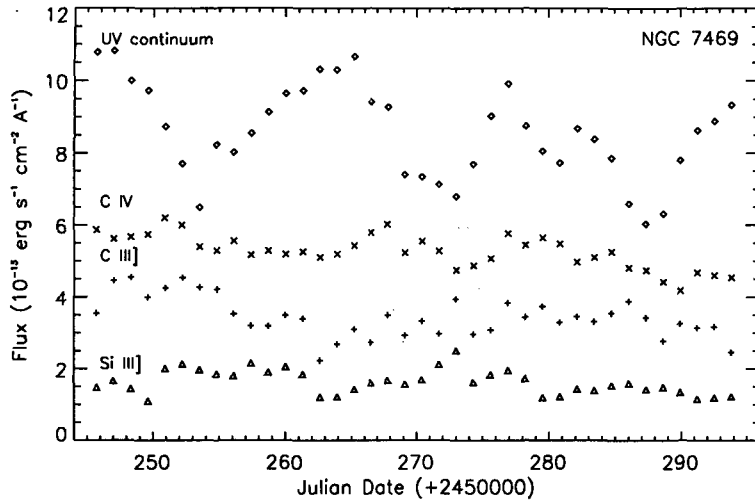


그림 4. $\Delta t = 1.3$ 일 간격으로 sampling된 플럭스.

표 2. 지연 시간 (단위: light-day).

Feature	τ_{peak}	τ_{cent}	FWHM	Γ_{max}
C IV	2	2.4	4.5	0.66
C III]	4	4.6	5.0	0.29
Si III]	8	7.3	4.8	0.54
C IV/C III]	13	13.1	3.1	0.38
log Ne	8	8.0	3.9	0.46
Ne	9	8.0	3.6	0.46

해당하는 값을 나타냈다. 뚜렷한 주기나 패턴은 보이지 않으나 2.2절의 그림 5에서처럼 C IV/C III] 비 역시 UV 연속선 변화와 상관관계가 있음을 알 수 있다.

2.2 상관관계 분석(Cross-Correlation Analysis)

UV 연속선(1315Å)에 대한 각 방출선과 전자 밀도의 상관관계를 이용해, 지연 시간(lag time)을 구하였다. $\Delta t = 1.3$ 일 간격으로 내삽(interpolation)했을 경우가, 상관 계수가 가장 크게 나타났으며, 상관 함수의 모양도 정상적으로 나타났다. 그림 4는 1.3일 간격으로 선형 내삽된 연속선과 방출선의 플럭스 변화이고, 그림 5는 상관 함수이다. 상관 계수가 최대가 되는 지점이 연속선 변화에 대한 방출선과 C IV/C III]비, 전자 밀도 등의 지연 시간이다. 그러나 상관계수가 최대가 되는 지점(τ_{peak})보다는 함수 곡선의 중심이 되는 지점(τ_{cent})을 지연시간으로 정하는 것이 일반적이다(Peterson 1993). 내삽과 상관관계는 IDL(The Interactive Data Language)에서 INTERPOL 함수와 C.CORRELATE 함수를 이용하여 계산하였다. 표 2에 계산된 지연 시간 값을 제시하였다.

1 light-day $\approx 2.6 \times 10^{15}$ cm ≈ 0.00084 pc이다. 따라서 지연시간 τ_{cent} 값으로부터 중심 블랙홀 부근의 광자가 C IV, C III], Si III]가 방출되는 지역까지 떨어진 거리를 구할 수 있는데, 그 거리는

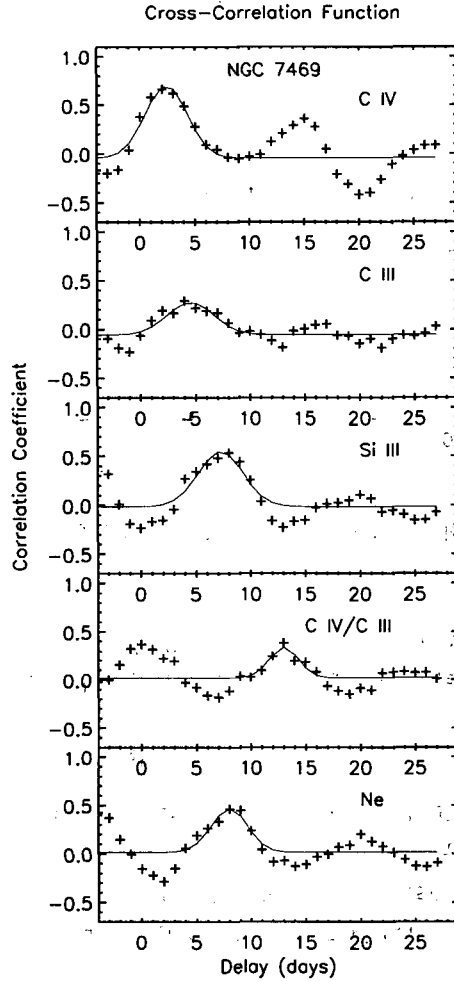


그림 5. 연속선 플럭스 변화에 대한 각 방출선, C IV/C III 플럭스비, 전자 밀도 변화와의 상관관계. 실선은 상관계수가 최대가 되는 곳의 중심을 찾기 위해 가우스 함수 맞추기를 한 결과이다.

각각 0.002pc, 0.004pc, 0.006pc로 구해진다. 기존 연구에서 제시한 결과는 세 방출선중 C IV 뿐이므로, 이에 대해서 우리의 측정치가 올바른지 비교하였다. Waders et al.(1997)이 구한 지연시간은 2.7일(0.002pc)이었고, Wandel et al.(1999)은 약 10^{16} cm, 즉 3.8일(0.003pc)로 추정하였다. 따라서 우리의 계산치는 전자에 근접하며, 새로 측정된 Si III]와 C III]의 방출 영역의 위치도 타당하다고 판단한다.

2.3. 블랙홀 질량

Collier et al.(1998)은 넓은 H_{α} 및 H_{β} 방출선 연구에서 NGC 7469의 중심 블랙홀 질량을 $10^6 - 10^7 M_{\odot}$ 로 추정하였다. 우리는 전자밀도 Ne의 시간 지연으로부터 구한 BLR 반경과(전자밀도 변화는

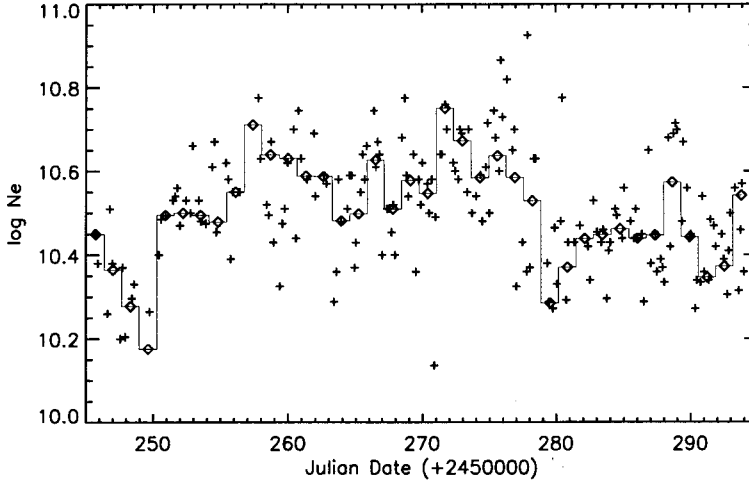


그림 6. 전자 밀도 변화. (+) 본래 계산값, (◇) $\Delta t = 1.3$ 일 간격으로 interpolation한 결과.

C III] 또는 Si III]가 나오는 지역에서 발생하므로), Si III]의 선폭($\Delta\lambda$)으로부터 구한 평균 속도를 이용해 은하의 중심 소스의 질량을 추정해 보았다. 질량은 다음과 같은 식으로 계산하였다(Hyung et al. 2000b).

$$M_7 = 3.086 \times (\sigma/350)^2 R_{pc} \quad (5)$$

여기서 M_7 은 $10^7 M_\odot$ 단위이고, $\sigma = \frac{1}{2} v_{FWHM}$ 로 km s^{-1} 단위이며, $v_{FWHM} = c\Delta\lambda/\lambda$ 이다. R_{pc} 는 BLR의 반경으로 pc 단위이다.

C III]의 BLR 반경 0.004 pc 와 $\Delta\lambda = 14.1 \pm 2.4 \text{ \AA}$ 로부터 $M = 1.2 \times 10^6 M_\odot$, Si III]의 BLR 반경 0.006 pc 와 $\Delta\lambda = 10.9 \pm 1.8 \text{ \AA}$ 로부터 $M = 1.1 \times 10^6 M_\odot$ 를 얻었다. 따라서 NGC 7469의 블랙홀 질량은 약 $10^6 M_\odot$ 정도로 추정된다.

2.4 전자 밀도 변화

Feibelman(1983)과 Feibelman & Aller(1987)는 C III]1909/Si III]1892 플럭스비에 로그를 취한 $\log R$ 값이 공생별(symbiotics, $0 \sim 0.34$), 원시 행성상 성운(protoplanetary nebula, $0.69 \sim 0.76$), 행성상 성운(planetary nebula, $1.2 \sim 1.8$)에 따라 다르게 분류됨을 조사하였다. NGC 7469는 $\log R$ 값이 최소 0.02, 최대 0.91, 평균 0.33, 표준편차 0.11 범위로 변화하였다. 활동은하 BLR의 밀도는 공생별에 가깝지만 그 값이 공생별보다 더욱 크다. C III]/Si III] 플럭스비를 이용해 구한 전자 밀도 변화를 그림 6에 나타냈다.

연구에 이용된 자료는 188개의 스펙트럼에서 계산된 밀도로, ($\log Ne$)의 값이 최소 9.687, 최대 10.925, 평균 10.506, 표준편차 0.152, 최대-최소 차이 1.238를 보였다. 상관관계 계산에 사용된, 1.3일 간격으로 내삽된 자료는 38points로 줄었다. 이때의 최소는 10.175, 최대 10.750, 평균 10.503, 표준편차 0.122, 최대-최소 차이는 0.575이다.

최대-최소의 차이를 보면, 본래 자료에서는 최대 17.3배 정도의 밀도 변화가 보였으나, 내삽 후

에는 최대 3.8배 정도의 밀도 변화만이 나타났다. 플럭스 측정 오차에서 과생된 밀도값 계산 오차는 최대 1.6%가 된다. 이것은 $\log N_e \sim 0.3$ 정도로써, 밀도단위로 환산하면 2배 정도의 변화를 의미하며, 2배 정도의 밀도 변화는 오차의 범위에 있다는 것을 암시한다. 이 오차범위 이상의 밀도 변화가 관측 자료에 나타났으므로, 의미 있는 양이라고 볼 수 있다. 그러므로 NGC 7469의 BLR내에서 실제로 50여 일 동안 17.3배(또는 허용오차를 고려해도 최소한 3.8배)의 밀도 변화가 존재하고 있음을 알 수 있다.

3. 요약 및 논의

1996년 6월 11일부터 7월 29일까지 IUE 위성을 통해 얻은 NGC 7469 관측 자료를 사용하여, Feibelman & Aller(1987)가 제안한 방법으로 Si III] 1892와 C III] 1909의 플럭스비를 통해 전자 밀도를 구하였다. 50여일 동안의 밀도값은 약 $10^{9.69} - 10^{10.93} \text{cm}^{-3}$ 사이에서 최대 17배 정도의 변화를 보였다. C IV, C III], Si III]는 각각 중심 블랙홀로부터 0.002pc, 0.004pc, 0.006pc 떨어진 지역에서 방출선을 주로 내고 있는 것으로 나타났다. 이러한 BLR 반경과 Si III]와 C III]의 선폭으로부터 구한 평균 속도를 이용해, NGC 7469 중심 블랙홀 질량을 추정하면 약 $10^6 M_\odot$ 의 값이 얻어진다.

UV 영역의 방출선으로부터 구한 밀도값의 변화는 여러 요인에 의해 나타났을 것이다. 강착 원반의 불안정성, X선과 UV 방출 영역의 기하학적 형태와 크기 등이 AGN에서 관측된 변화를 일으키는 요인이 될 수 있다(Nandra et al. 1998). Ryu et al.(1997)은 얇은 강착 원반(thin accretion disk)에 대한 모의실험을 통해, 안쪽에 불안정한 원반이 주기적으로 형성되고 파괴됨을 보였다. R_g 가 Schwarzschild 반경이라면, 그 주기는 $(4 - 6) \times 10^3 R_g/c$ 이다. NGC 7469와 같이 중심 블랙홀의 질량이 $10^6 M_\odot$ 인 경우는, 11 ~ 16시간의 주기를 가지게 될 것이다. 우리가 구한 밀도변화에서 정확한 주기는 구할 수 없지만, 이러한 블랙홀을 돌고 있는 불안정한 원반구조(unstable accretion disk)의 주기적 변화 또는 붕괴와 관련된 것으로 추정된다.

앞으로 연구에서는 밀도변화의 원인에 대해 좀 더 자세한 고찰이 요구된다. 또한 NGC 7469의 중심핵 부근의 전반적인 구조를 이해하기 위해서는 BLR 영역뿐만 아니라, NLR(Narrow Line Region)에서 나오는 방출선 연구도 필요하다. 특히 가시광 영역에서의 방출선들의 비(diagnostics line ratios)를 이용해 NLR 영역의 밀도와 온도를 알 수 있다. 내부 디스크가 파괴되면 상당한 양의 물질들이 깔때기 모양의 벽(funnel wall) 내부에서 극 방향으로 빠져나가면서 제트를 형성할 것으로 여겨진다(Hyung et al. 2000b). 즉 Seyfert 1 은하들에서 밀도의 요동(density fluctuation)이 발견되면 제트 구조도 발견될 것이다. 전파영역으로 관측된 지도와 비교하여 제트와 주변 물질간의 상호작용에 대해 연구할 수 있을 것이다. 우리는 CFHT/OASIS로 관측된 가시광 영역 자료 분석을 통해 NGC 7469의 운동학적 특성을 연구할 예정이다.

감사의 글: 이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의해 연구되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 손동훈, 형식 2004, 한국지구과학회지, 25, 495
 Blandford, R. D., & McKee, C. F. 1982, ApJ, 255, 419

- Blustin, A. J., Branduardi-Raymont, G., Behar, E., Kaastra, J. S., Kriss, G. A., Page, M. J., Kahn, S. M., Sako, M., & Steenbrugge, K. C. 2003, *A&A*, 403, 481
- Chapman, G. N. F., Geller, M. J., & Huchra, J. P. 1985, *ApJ*, 297, 151
- Collier, S. J., Horne, K. H., Kaspi, S., & 19 co-authors, 1998, *ApJ*, 500, 162
- Feibelman, W. A. 1983, *ApJ*, 275, 628
- Feibelman, W. A., & Aller, L. H. 1987, *ApJ*, 319, 407
- Glass, I. S. 1998, *MNRAS*, 297, 18
- Hyung, S., Kim, H., Lee, W-B., Lee, S-J., Ryu, D., & Lee, H.-W. 2000a, *JKAS*, 33, 81
- Hyung, S., Lee, S. J., Ryu, D. S., Kim, H., Kim, H. I., & Han, W. Y. 2000b, Poster proceedings of Emission Lines from Jet Flows, eds. P. F. Velazquez & R. Gonzalez (Mexico: UNAM), pp.19-21
- Kriss, G. A., Blustin, A., Branduardi-Raymont, G., Green, R. F., Hutchings, J., & Kaiser, M. E. 2003, *A&A*, 403, 473
- Kriss, G. A., Peterson, B. M., Crenshaw, D. M., & Zheng, W. 2000, *ApJ*, 535, 58
- Nandra, K., Clavel, J., Edelson, R. A., George, I. M., Malkan, M. A., Mushotzky, R. F., Peterson, B. M., & Turner, T. J. 1998, *ApJ*, 505, 594
- Peterson, B. M. 1993, *PASP*, 105, 247
- Ryu, D., Chakrabarti, S. K., & Molteni, D. 1997, *ApJ*, 474, 378
- Wandel, A., Peterson, B. M., & Malkan, M. A. 1999, *ApJ* 526, 579
- Wanders, I., Peterson, B. M., Alloin, D., & 54 co-authors, 1997, *ApJS*, 113, 69
- Welsh, W. F., Peterson, B. M., Koratkar, A. P., & Korista, K. T. 1998, *ApJ*, 509, 118
- Westin, B. A. M. 1984, *A&A*, 132, 136
- Wu, C.-C., Boggess, A., & Gull, T. R. 1983, *ApJ*, 266, 28