

Seyfert 1 은하 NGC 4151, NGC 5548의 BLR 밀도 변화

손동훈¹ · 형 식^{2,*}

¹경희대학교 우주과학과, 449-701, 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1
²충북대학교 과학교육학부 지구과학교육과, 361-763, 충북 청주시 개신동 12

BLR Density Variations of the Seyfert 1 Galaxies NGC 4151 and NGC 5548

Dong-Hoon Son¹ and Siek Hyung^{2,*}

¹Department of Astronomy and Space Science, Kyunghee Univ. Sochen-ri, Giheung-eup,
Yongin-si, Gyeonggi-do 449-701, Korea

²School of Science Education (Astronomy), Chungbuk National University, 12 Gaeshin-dong,
Heungduk-gu, Cheongu, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract: Using numerous ground-based or space-based telescopes by many astronomers, AGN spectroscopic monitoring campaigns have been carried out over many years to study the variability of continua and emission lines. We investigate the SWP IUE spectra of a large aperture configuration for the Seyfert 1 galaxies NGC 4151 and NGC 5548. We estimate the BLR electron number densities and their variation from the line ratios of C III] 1909 to Si III] 1892. With the ratios of C IV 1550 to C III] 1909 which give us the information on the ionization parameter of BLR, we try to find the physical conditions of the BLR and activities of the super massive black hole surroundings. The BLR density variations scale as 4 and 8 for NGC 4151 and NGC 5548, respectively. Based on the BLR size and C III] line profiles, we found both black hole masses as about $10^7 M_{\odot}$.

Keywords: Seyfert galaxies, active galactic nuclei, ultraviolet spectra, electron density

요약: AGN(Active Galactic Nuclei)의 핵과 BLR(Broad Line Region) 영역의 변광 연구를 위해, 밝은 Seyfert 1 은하들에 대한 밝기 변화 감시 캠페인들이 있었다. 이러한 노력은 주로 지상 관측과 IUE 관측을 통해서 이루어졌으며, 가시광에서 감마선까지 모든 파장영역의 동시 관측도 시도되었다. 우리는 IUE를 이용한 주요 모니터링 대상이었던 NGC 4151과 NGC 5548에 대한 관측자료를 정리하여, 이들 중 SWP(Short Wavelength Prime), 저분산, 대구경 슬릿, 분광 관측 자료들을 분석하였다. Si III] 1892와 C III] 1909의 플럭스비를 통해 BLR의 전자 밀도를 구하였고, C IV 1550와 C III] 1909 비를 통해 BLR의 온도와 이온화 정도를 가늠하였다. NGC 4151과 NGC 5548의 밀도 변화 폭은 각각 4배, 8배 정도로 작은 변화만을 보여주었다. 이들의 변화를 조사하여 BLR의 물리적 조건과 블랙홀 주위 활동성과 기하학적 특성 파악을 시도하였다. BLR 크기와 C III] 선폭으로부터 구한 중심 블랙홀의 질량은 모두 $10^7 M_{\odot}$ 정도로 추정된다.

주요어: 세이퍼트 은하, 활동성 은하핵, 자외선 스펙트럼, 전자 밀도

서론

현재까지 AGN의 BLR영역의 밀도나 그 변화를 정확히 알 수 있는 방법은 알려져 있지 않다. 다만,

허용선 및 금지선의 유무에 따라 한계값을 추정할 수 있을 뿐이다. BLR 영역에서 나타나는 10^3 - 10^4 km s⁻¹ 선폭의 여러 넓은 방출선들의 상대적 세기는, 그들의 온도가 1.3×10^4 K이고 입자 밀도 $n \geq 10^9$ cm⁻³ 정도인 이온화 가스에서 발생한다는 것을 가리킨다. 또한 N IV]1484 선의 존재는 $Ne \leq 10^{11}$ cm⁻³, 강한 C III]1909 선의 존재로는 $Ne \leq 2 \times 10^{11}$ cm⁻³임을 추측할 수 있다.

*Corresponding author: hyung@chungbuk.ac.kr

Tel: 82-43-261-2726

Fax: 82-43-271-0526

Feibelman(1983)과 Feibelman and Aller(1987)는 C III]1909/Si III]1892 플럭스비에 로그를 취한 $\log R_{\text{값}}$ 에 따라 공생별(symbiotics, 0~0.34), 원시 행성상 성운(protoplanetary nebula, 0.69~0.76), 행성상 성운(planetary nebula, 1.2~1.8) 등으로 분류할 수 있음을 보였으며, 이 플럭스비가 전자 밀도를 추정할 수 있게 하는 유용한 진단 도구임을 보였다. 다만, 두 원소의 개수 비를 알아야만 정확한 전자 밀도값을 구할 수 있다. 또한 여기에는 두 방출선이 같은 지역에서 방출된다는 것과, 방출 지역의 온도는 성운의 전자 온도 $T \sim 10^4$ K라는 가정이 포함된다.

Si III]1892와 C III]1909 플럭스비는 플럭스 보정이나 성간 적색화의 영향을 받지 않으며(Fernandez-Castro et al., 1988), $10^9 \leq N_e \leq 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 내에서 밀도에 의존적이며(Cook and Nicolas, 1979), 이 범위에서 전자 온도의 영향은 거의 없다고 알려져 있다(Michalitsianos and Kafatos, 1984).

이온화 인자(ionization parameter)는 BLC(Broad Line Clouds)에 입사되는 이온화 광자의 플럭스와 BLC의 전자 밀도와의 비를 나타내는 양이다. C IV/C III] 플럭스비가 이 이온화 인자를 나타내는 척도로서 사용된다. Wu et al.(1983)에 의하면, 큰 적색편이를 나타내는 퀘이사들은 이 플럭스비가 2, 일반적인 Seyfert 1 은하들은 5 정도의 값을 보인다.

이번 연구에서는 Hyung et al.(2000a) 등의 Mrk 335와 NGC 4051 연구에 이어, NGC 4151과 NGC 5548의 밀도와 C IV/C III] 비가 어떻게 변화하였는가를 조사하였다.

자료 획득 및 처리

Si III]1892와 C III]1909가 나타나는 UV 관측자료를 IUE 자료검색 홈페이지(<http://sdc.laeff.esa.es/cgi-ines/IUEdbsMY>)를 통해 얻었다. SWP 파장범위(1150-1975Å), Large Aperture(10"×20")로 관측되고, NEWSIPS(New Spectral Image Processing System)로 플럭스 보정까지 처리된 자료 모두를 MXLO 형식의 파일들로 받았다. NGC 4151의 경우는 1978년-1996년, NGC 5548은 1979년-1995년 사이의 자료들을 얻을 수 있었다. IUE의 낮은 분해능(6.7Å at 1900Å)으로 인해 Si III] 선을 측정할 수 없는 경우가 많았다. SWP 자료에서 보이는 다른 방출선들로는 Lyman- α , N V, Si IV, O IV], N IV], C IV, He II, O III], N

III] 등이 있다.

MXLO 형식의 파일을 ASCII 텍스트 형식으로 변환한 후, STARLINK/Dipso 패키지를 이용하여 두 방출선을 분리하고 플럭스와 폭(FWHM)을 측정하였다. 이때 관측자료에 대한 성간 소광값 E(B-V)와 도플러 파장 이동은 보정하지 않았다. 방출선에 대한 IUE의 절대 플럭스 환산 오차(flux calibration error)는 15% 이내로 알려져 있다(Feibelman and Aller, 1987). 따라서 이 오차 범위 내로 플럭스가 측정된 자료만을 선택하여 플럭스비를 계산하였다. UV continuum 플럭스는 NGC 4151의 경우 1300Å 또는 1450Å에서 측정되었고, NGC 5548의 경우는 1500Å 부근에서 측정되었다.

결 과

Fig. 1은 각 은하에서 측정된 방출선과 연속선의 플럭스를 비교한 것이다. 플럭스 값들이 겹치지 않도록 세로축 단위를 이동시킨 그림이다. NGC 4151의 경우는 1993년 11월-12월 자료를, NGC 5548은 1988년 12월-1989년 6월 자료를 보인 것이다. 각각

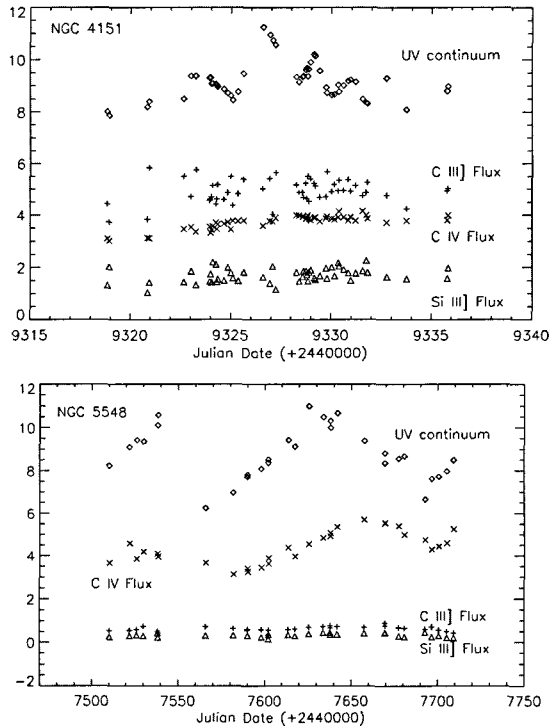


Fig. 1. Continuum and emission-line flux variations.

100개와 75개의 자료를 사용한 것이다.

변광주기로 BLR영역의 변화를 설명하는 것보다는, 3.2절에 설명할 UV continuum에 대한 각 방출선들의 위상변화에 따른 상관관계가 더 물리적으로 중요한 의미를 지니고 있기 때문에, 각각의 변광 주기는 구하지 않았다.

우선 변화폭을 알기 위해 플럭스의 최대치와 최소 치간의 비(A)를 알아보았다. NGC 4151은 1979년 5월에서 1995년 5월까지 16년간 자료에서, 연속선 및 C IV, C III, Si III의 변화폭은 각각 $A_{cont} \cong 20$, $A_{CIV} \cong 11$, $A_{CIII} \cong 3$, $A_{SiIII} \cong 5$ 였다. NGC 5548은 1979년 7월에서 1993년 5월까지 14년 동안 $A_{cont} \cong 4$, $A_{CIV} \cong 3$, $A_{CIII} \cong 4$, $A_{SiIII} \cong 5$ 정도의 플럭스 진폭을 보였다. Clavel et al.(1991)의 NGC 5548 연구결과처럼 변화폭은 이온화 정도에 따라 달라졌다. 연속선의 변화폭이 가장 크고, C IV, Si III, C III 순으로 플럭스 변화폭이 작아졌다.

C IV/C III 플럭스비

C IV/C III 플럭스비를 측정하여 각 은하의 중심 핵이 어떠한 특징을 보이는지 조사하였다. Fig. 2에 각 은하에서 측정된 두 방출선의 플럭스비를 나타냈다. NGC 4151의 경우 1.9~9.3 사이에서 변화하였다. 1981년에서 1989년 사이는 3 정도의 값을 보여, NGC 4151의 핵은 큰 적색편이를 보이는 전형적인 퀘이사들과 유사함을 나타낸다. Lyuty and Doroshenko (1999)가 UBV 측광 자료들을 종합한 결과를 보면, 1984년에서 1989년 사이는 최소 밝기를 보이는 광도 극소기(photometric minimum)이다. 이 기간동안 UV continuum 플럭스와 C IV와 C III 플럭스, C IV/C III비 모두 최소를 보이고 있다. 그러나 이 기간 전후로는 높은 플럭스비를 보여 전형적인 Seyfert 1은

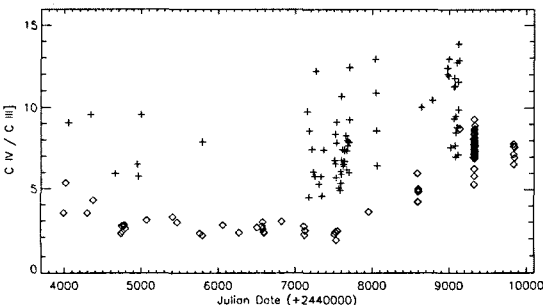


Fig. 2. C IV/C III flux ratio. (◇) NGC 4151, (+) NGC 5548.

하의 특징을 나타내고 있다. 특히 1990년 이후 이온화 정도가 급격히 증가하였다. NGC 5548의 경우 4.5~13.9 사이에서 변화하였고, 평균값은 8.4로 전형적인 Seyfert 1은하에 해당하는 값을 나타냈다.

두 천체 모두에서 장기적인 변화에서 일정한 주기나 패턴은 보이지 않으나, 큰 폭으로 이온화 정도가 변화했음을 알 수 있다. 단기변화를 보면, 다음에 나올 Fig. 5에서 UV continuum 변화에 대해 시간차를 두고 C IV/C III비도 변화함을 알 수 있고, C III보다는 C IV 플럭스와 동일한 시간과 위상으로 변화하고 있다. 이온화 정도와 밀도 변화간에는 연관성을 찾을 수 없었다.

전자 밀도 변화

C III/Si III 플럭스비(R)와 이를 이용해 구한 전자 밀도 변화를 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타냈다.

NGC 4151의 C III/Si III 플럭스비, log R은 0.3~0.7의 범위에서 변화하며, 평균값은 0.5로 나타났다. 이는 NGC 4151이 Feibelman(1983)의 분류에서 공생 별과 원시 행성상 성운의 범주 모두에 해당함을 나타낸다. 전자 밀도 값은 $\log N_e = 10.0-10.6 \text{ cm}^{-3}$ 사이에서, 최대 4배 차이의 밀도 변화가 있었다. Clavel

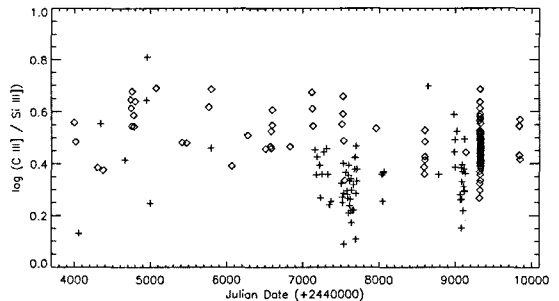


Fig. 3. C III/Si III ratio. (◇) NGC 4151, (+) NGC 5548.

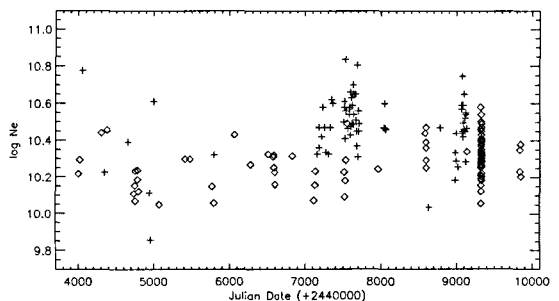


Fig. 4. BLR electron density variation. (◇) NGC 4151, (+) NGC 5548.

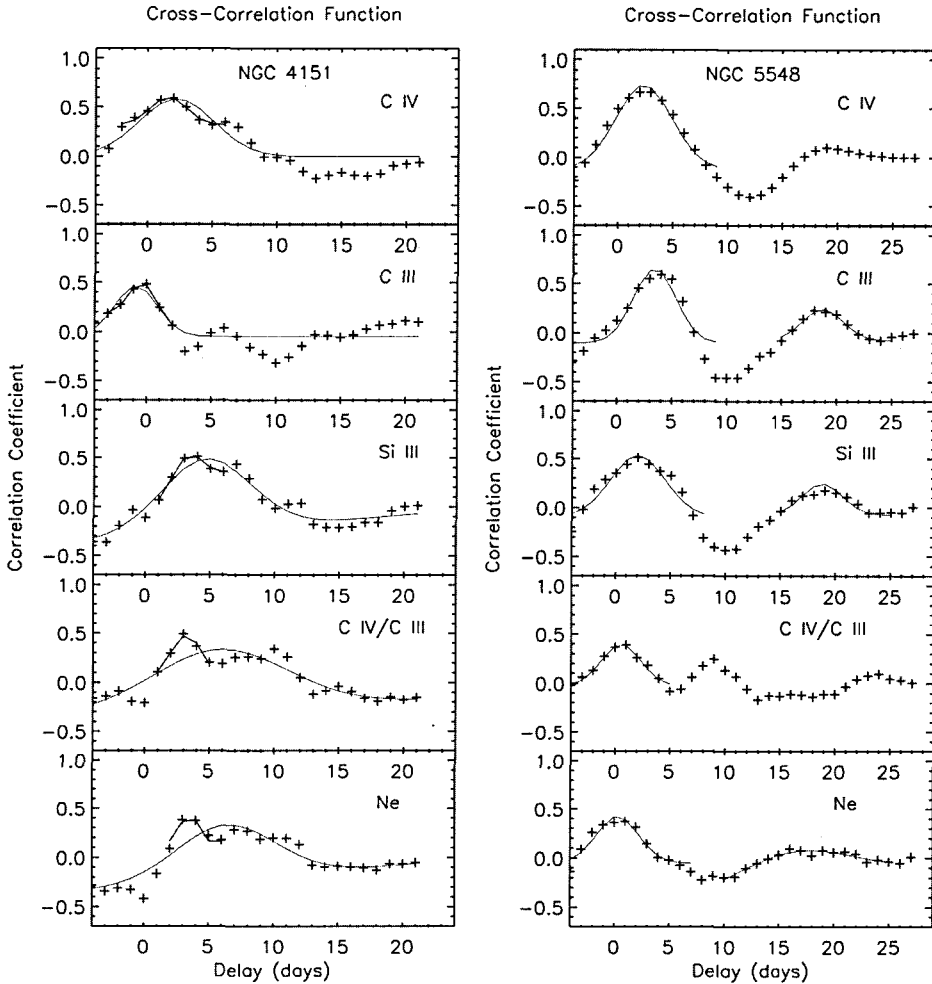


Fig. 5. Cross-correlation functions for emission-line fluxes responding to UV continuum. The sampling rates were $\Delta t=0.7$ and $\Delta t=7$ days, respectively. Solid lines are the results of Gaussian fitting to maximum correlation coefficient.

et al.(1987)을 비롯하여 여러 연구에서 10^{11} cm^{-3} 이하의 밀도값을 추정하였다.

NGC 5548은 $\log R=0.1-0.8$ 사이의 값을 보이며, 평균값은 0.3으로 공생별과 유사한 값을 보인다. 전자 밀도는 $\log Ne=9.9-10.8$ 범위에서 최대 8배 정도의 밀도 변화를 보였다.

Si III]1892와 C III]1909를 이용한 밀도 결정은 두 방출선이 동일 지역에서 나온다는 가정을 하는데, 실제로 같은 지역에서 나오는지 연속선 플럭스 변화에 대한 두 방출선과의 상관관계(cross-correlation)를 구해 확인해 보았다. C IV와 C III]의 시간 지연은 기존 연구에 잘 나와있다(Ulrich and Home(1996), Clavel et al.(1990), Clavel et al.(1987), Gaskel and

Sparke(1986) for NGC 4151. Peterson(1994), Korista (1994), Terlevich and Aretxaga(1994) for NGC 5548.).

Fig. 5는 Fig. 1에서 사용된 자료들을 이용해 UV continuum 플럭스 변화와 각각의 방출선 플럭스 및 전자 밀도 변화간의 상관관계와 그 결과 나타나는 지연 시간(lag time)을 보여준다. 측정자료를 선형 내삽(linear interpolation)하여 일정 시간 간격(Δt)에 대한 플럭스 값들이 되도록 만든 후 상관관계를 구하였다. Δt 는 상관계수가 최대가 나올 때의 시간간격으로 정하였으며, 이때 방출선들에 대한 상관함수의 모양과 폭이 연속선에 대한 자기 상관(auto-correlation) 함수와 비슷해진다. 상관계수가 최대가 되는 부분에 대해 가우스 함수 맞추기를 하여, 함수의 중심이 되

는 곳을 지연 시간으로 택하였다.

NGC 4151에서는 C III의 지연 시간이 제대로 나타나지 않았다. 다른 방출선들도 상관계수가 최대가 되는 부분이 전체적인 경향을 따르지 않고 비정상적으로 크고 폭이 좁다. 그래서 전체적인 경향에 대해 가우스함수 맞추기를 했을 때의 중심을 지연 시간으로 정하였다. NGC 5548은 상관계수가 최대가 되는 첫 번째 피크에서는 Si III와 C III가 다른 지연 시간을 보이는데, Si III가 C III보다 1.5일 빠른 지연 시간을 보인다. 그러나 두 번째 피크에서는 동일한 지연 시간을 보였다. 두 천체에서 나타나는 1.5일 이내의 지연 시간 차이는 각 상관함수의 폭(FWHM)보다는 작으므로 오차범위 내에서 동일한 지역에서 나온다고 보아도 무방할 것이다. 따라서 Si III와 C III 관측으로부터 전자 밀도 변화가 나타난다면, 실제로 그 지역의 밀도가 변화한 것으로 볼 수 있다.

전자 밀도 Ne의 지연 시간으로부터 NGC 4151은 6.4광일(0.005 pc) 범위 내에서 밀도가 변화하였다. NGC 5548은 첫 번째 피크에서는 0.3광일(0.0003 pc), 두 번째 피크에서는 16.4광일(0.01 pc) 이내의 영역에서 밀도변화가 일어났음을 알 수 있다. 우리는 Si III와 C III가 동일한 지연 시간을 보이는 두 번째 피크, 즉 0.01 pc를 NGC 5548의 밀도가 변화하는 지역으로 선택하였다.

블랙홀 질량

Ferrarese and Merritt(2000)은, 숙주은하(host galaxy)의 속도 분산(σ)이 거대 질량 블랙홀(super massive black hole)의 질량 M_{BH} 와 관계가 있음을 보였다($M_{BH} \propto \sigma^2$). 우리는 IUE자료에 나타난 허용선을 통해서도 AGN내의 M_{BH} 를 추정해 낼 수 있었다. 전자밀도 Ne의 지연 시간으로부터 구한 BLR 반경과, 전자밀도변화는 C III또는 Si III가 나오는 지역에서 발생하므로 C III의 선폭(FWHM)으로부터 구한 평균 속도를 이용해 각 은하의 중심 블랙홀 질량을 추정해 보았다.

NGC 4151의 경우, C III의 선폭 $v_{FWHM} \sim 2483.0 \pm 204.3 \text{ km s}^{-1}$ 를 이용하여 중심 블랙홀의 질량을 구하면, $M_{BH} \sim 0.8 \times 10^7 M_{\odot}$ 정도로 추정된다. Clavel et al.(1987)은 1978년에서 1983까지 IUE 자료에 나타난 C IV 1550 연구를 통하여, 선폭은 2600-5500 km s^{-1} 사이에서 변화하고, 세기변화를 통해 구한 BLR 영역의 반경은 5 광일(0.004 pc) 정도이며, 가스는 중심

질량(3.7 ± 0.5) $\times 10^7 M_{\odot}$ 주위를 케플러 운동을 하고 있다고 하였다. Ulrich and Horne(1996)은 1991년의 C IV 선윤곽을 모니터링하고, reverberation mapping 방법을 이용해, $10^7 M_{\odot}$ 정도 되는 중심 질량주위를 운동하는 것에 해당함을 보였다.

NGC 5548은 $v_{FWHM} \sim 2467.3 \pm 330.0 \text{ km s}^{-1}$ 로부터, $M_{BH} \sim 1.5 \times 10^7 M_{\odot}$ 이하로 추정된다. Crenshaw and Blackwell(1990)은 1989년 캠페인 자료와 cross-correlation 방법을 이용하여, BLR 반경 9광일, $v_{FWHM} \sim 4500 \text{ km s}^{-1}$ 로부터 중심 질량 $M_{BH} \sim 2 \times 10^7 M_{\odot}$ 를 구하였다.

우리가 구한 두 은하의 중심 블랙홀 질량은 기존 연구 결과보다는 다소 작게 추정되었지만, 모두 $10^7 M_{\odot}$ 정도로 나타나 큰 차이는 보이지 않는다.

요약 및 논의

C IV/C III 플럭스비를 통해 이온화 경향을 살펴 보았다. NGC 5548은 전형적인 Seyfert 1 은하의 핵을 가진 것으로 나타났으나, NGC 4151은 기간에 따라 퀘이사 또는 Seyfert 1의 특징을 보였다. C III/Si III 플럭스비를 통해 NGC 5548은 공생별의 범주에 속하고, NGC 4151은 공생별과 원시 행성상 성운의 범주 모두에 속하는 특징을 보였다. 또한 이 플럭스비를 통해 BLR 영역의 전자 개수 밀도를 추정하고, 그 변화를 살펴보았다.

Clavel et al.(1991)에 의하면 연속선 플럭스 변화에 대한 방출선 플럭스 변화의 지연 시간은 이온화 정도에 따라 달라진다. 고 이온화선(high-ionization lines)들은 작은 지연 시간을 보이고, 저 이온화선(low-ionization lines)들은 긴 지연 시간을 보이는 경향이 있다. 즉 많이 이온화된 원소들이 BLR 내부에 위치하고, 적게 이온화된 원소들은 바깥쪽에 위치한다. 이에 따르면 C IV, C III, Si III의 순서로 지연 시간이 커져야 하는데, 이번 연구에서 나타난 두 은하에 대해서도 이러한 순서로 나타났다.

Hyung et al.(2000a)에서 Mrk 335와 NGC 4051의 밀도변화는 최대 100배나 되었다. 이러한 큰 변화는 질량 중심 부근의 불안정한 고밀도 부착원반(accretion disk)의 붕괴로부터 발행하는 제트에 의한 것으로 보인다(Hyung et al., 2000b). 이에 반해 NGC 4151과 NGC 5548의 밀도 변화 폭은 각각 4배, 8배 정도의 작은 변화만을 보여주었다. 이러한

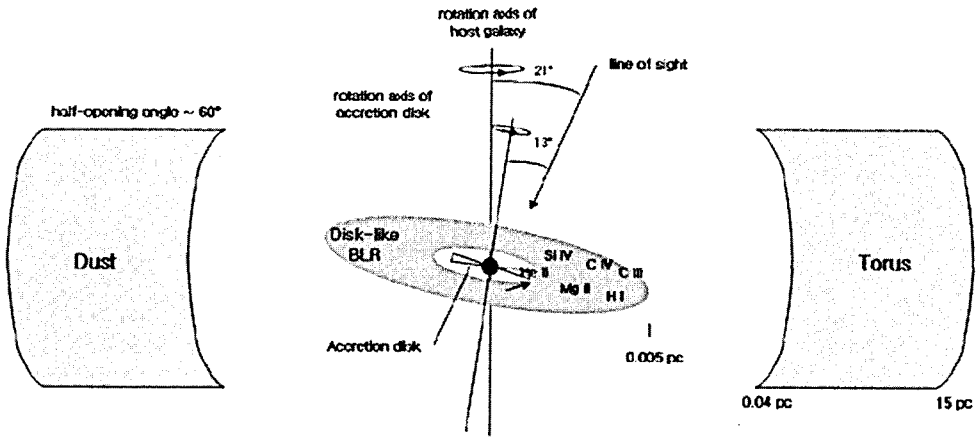


Fig. 6. A simple model for the central region of NGC 4151.

밀도 변화는 은하의 막대나 나선 구조에서 부착원반으로 떨어지는 질량 흐름의 변화에 의한 것으로 추정된다.

연속선 플럭스에 대한 방출선 플럭스의 지연 시간을 통해, 방출선이 나오는 영역과 밀도가 변하는 영역의 크기를 추정할 수 있었다. NGC 4151은 6.4광일(0.005 pc), NGC 5548는 16.4광일(0.01 pc) 내에서 밀도가 변화하였다. BLR 크기와 C III] 선폭으로부터 구한 중심 블랙홀의 질량은 모두 $10^7 M_{\odot}$ 정도이다.

관측 결과를 토대로 NGC 4151의 BLR 영역을 쉽게 설명할 수 있는 모형을 간단히 그려보았다. 우리의 상관관계를 이용한 방법과 기존의 reverberation mapping 방법을 통해 얻어진 여러 방출선의 지연 시간을 종합하여 고려하면, 회전축이 시선방향을 향하는 원반형(disk-like) BLR을 생각하는 것이 가장 쉽게 직관적으로 이해할 수 있는 BLR의 구조이다. 이 경우 원반의 회전축이 제트나 Torus 회전축 방향과 같을 필요는 없으며, 방출선들의 선폭은 BLR 원반의 기울기에 의존한다(Nagao et al., 2000).

H I 관측으로부터 NGC 4151 속주은하(나선팔) 회전축은 시선방향에 대해 21° 기울어져 있음이 알려져 있다(Ulrich, 2000). Nishiura et al.(1998)은 부착원반 역시 BLR과 같은 면에 있지 않음을 보였다. Fe K α 관측과 부착원반 모델을 통해 부착원반의 기울기(inclination)를 추정할 수 있으며, 이 방법으로 구한 NGC 4151의 부착원반은 시선방향에 대해 약 77° 기울어져 있다(Bian and Zhao, 2002).

Dust Torus의 크기는 Near-IR V와 K 밴드 관측을

통해 안쪽 영역은 약 0.04 pc에 위치하고(Minezaki et al., 2004), J와 H 밴드 관측에서 바깥쪽 크기는 15 pc 정도까지이고, half-opening angle은 60°이다. Nagao et al.(2000)의 모델을 기초로 위의 관측 사실들을 종합하여 재구성한 모형을 Fig. 6에 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 (ARCSEC)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

Bian, W. and Zhao, Y., 2002, Masses, accretion rates and inclinations of AGNs. *Astronomy and Astrophysics*, 395, 465-473.

Clavel, J., Altamore, A., Boksenberg, A., Bromage, G.E., Elvius, A., Pelat, D., Penston, M.V., Perola, C.C., Snijders, M.A.J., and Ulrich, M.H., 1987, A detailed study of the C IV γ 1550 line profile and adjacent spectral features in NGC 4151 from 1978 to 1983. *Astrophysical Journal*, 321, 251-279.

Clavel, J., Boksenberg, A., Bromage, G.E., Elvius, A., Penston, M.V., Perola, C.C., Santos-Lleo, M., Snijders, M.A.J., and Ulrich, M.H., 1990, The ultra-compact broad emission line region in NGC 4151. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 246, 668-677.

Clavel, J., Reichert, G.A., Alloin, D., Crenshaw, D.M., Kriss, G., Krolik, J.H., Malkan, M.A., Netzer, H., Peterson, B.M., and 47 co-authors, 1991, Step toward determination of the size and structure of the broad-line region in active galactic nuclei. I. An 8 month cam-

- paign of monitoring NGC 5548 with IUE. *Astrophysical Journal*, 366, 64-81.
- Cook, J.W. and Nicolas, K.R., 1979, Solar C III line intensity ratios observed from SKYLAB. *Astrophysical Journal*, 229, 1163-1178.
- Crenshaw, D.M. and Blackwell Jr., J.H., 1990, Evidence for a supermassive black hole in the nucleus of the Seyfert galaxy NGC 5548. *Astrophysical Journal*, 358, L37-L40.
- Feibelman, W.A., 1983, Ultraviolet observations of M1-2(=VV 8). *Astrophysical Journal*, 275, 628-635.
- Feibelman, W.A. and Aller, L.H., 1987, The (C III γ 1909/Si III γ 1892) ratio as a diagnostic for planetary nebulae and symbiotic stars. *Astrophysical Journal*, 319, 407-415.
- Fernandez-Castro, T., Cassatella, A., Gimenez, A., and Viotti, R., 1988, IUE observations of Z Andromedae: Spectral variations during quiescence and a physical model. *Astrophysical Journal*, 324, 1016-1025.
- Ferrarese, L. and Merritt, D., 2000, A fundamental relation between supermassive black holes and their host galaxies. *Astrophysical Journal*, 539, L9-L12.
- Gaskell, C.M. and Sparke, L.S., 1986, Line variations in quasars and Seyfert galaxies. *Astrophysical Journal*, 305, 175-186.
- Hyung, S., Kim, H., Lee, W-B., Lee, S-J., Ryu, D., and Lee, H-W., 2000a, IUE spectra of the Seyfert 1 galaxies Mrk 335 and NGC 4051. *Journal of the Korean Astronomical Society*, 33, 81-88.
- Hyung, S., Lee, S-J., Ryu, D., Kim, H., Kim H-I., and Han W., 2000b, BLR density variation of Seyfert galaxies and its implication to jet formation. In Velazquez, P. F. and Gonzalez, R. (eds.), *Poster proceedings of Emission Lines from Jet Flows*, 19-21.
- Korista, K.T., 1994, An intensive HST, IUE, and ground-based study of NGC 5548. In Gondhalekar, P.M., Home, K., and Peterson, B.M. (eds.), *Reverberation Mapping of the Broad-Line Region in Active Galactic Nuclei*. ASP Conference Series, Vol. 69, 185-197.
- Lyuty, V.M. and Doroshenko, V.T., 1999, A new activity cycle of NGC 4151: Evidence for the existence of an accretion disk. *Astronomy Letters*, 25, no.6, 341-350.
- Michalitsianos, A.G. and Kafatos, M., 1984, Variable ultraviolet emission in SY Muscae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 207, 575-583.
- Minezaki, T., Yoshii, Y., Kobayashi, Y., Enya, K., Suganuma, M., Tomita, H., Aoki, T., and Peterson, B.A., 2004, Inner size of a dust torus in the Seyfert 1 galaxy NGC 4151. *Astrophysical Journal*, 600, L35-L38.
- Nagao, T., Taniguchi, Y., and Murayama, T., 2000, High-ionization nuclear emission-line region of Seyfert galaxies. *Astronomical Journal*, 119, 2605-2628.
- Nishiura, S., Murayama, T. and Taniguchi, Y., 1998, A geometrical relationship between broad-line clouds and accretion disk around active galactic nuclei. *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 50, 31-36.
- Peterson, B.M., 1994, An overview of reverberation mapping: progress and problems. In Gondhalekar, P.M., Home, K. and Peterson, B.M. (eds.), *Reverberation Mapping of the Broad-Line Region in Active Galactic Nuclei*. ASP Conference Series, Vol. 69, 1-22.
- Terlevich, R. and Arexaga, I., 1994, Continuum and line variability in nuclear starbursts. In Gondhalekar, P.M., Home, K. and Peterson, B.M. (eds.), *Reverberation Mapping of the Broad-Line Region in Active Galactic Nuclei*. ASP Conference Series, Vol. 69, 363-371.
- Ulrich, M-H. and Home, K., 1996, A month in the life of NGC 4151: velocity-delay maps of the broad-line region. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 283, 748-758.
- Ulrich, M-H., 2000, The active galaxy NGC 4151: Archetype or exception? *Astronomy and Astrophysical Review*, 10, 135-178.
- Wu, C-C., Boggess, A. and Gull T.R., 1983, Prominent ultraviolet emission lines from type 1 Seyfert galaxies. *Astrophysical Journal*, 266, 28-40.

2004년 7월 12일 원고 접수
 2004년 7월 15일 수정원고 접수
 2004년 7월 16일 원고 채택