자연과학 논문집 vol. 12, no. 2, *pp. 56-59 (2006)* *December 2006*
Kyung Hee Journal of Natural Sciences

저광도 활동은하핵 NGC 1161의 미세변광 연구

장민환 · 정애나 · 박수종
경희대학교 우주과학과 및 자연과학종합연구원

Microvariability of Low Luminosity AGN, NGC1161

Minhwan Jang, Aena Jeong, and Soojong Pak
Department of Astronomy & Space Science and Institute of Natural Sciences,
Kyung Hee University, Kyungkido 449-701

요 약 - 활동은하핵의 미세변광의 원인에 대한 이론들을 검증하기 위하여 저광도 활동은하핵 NGC 1161을 관측하였다. 저광도 활동 은하핵은 비효율적인 흐름으로 인해 제트가 강하지 않고 대부분 부착원반이 관측자의 시선방향에 가까이 있어 미세변광 모델의 검증에 적절한 대상으로 여겨진다. 관측은 미국에 있는 Lemon산 천문대의 1 m 광학망원경을 한국천문연구원에서 원격 조정하여 수행되었다. 관측 데이터를 분석한 결과, 오차 범위를 넘는 변광이 발견되지 않아 미세변광의 원인이 핵을 둘러싼 부착원반의 상태와 상관이 있다는 모델 보다는 제트의 상태와 구조에 관련되어 있다는 모델을 지지하는 사례를 추가하게 되었다. 더욱 의미 있는 결과를 위해서는 더 많은 저광도 활동 은하핵에 대한 관측이 이루어져야 할 것이다.

ABSTRACT- A Low Luminosity Active Galactic Nucleus(LLAGN), NGC 1161, was optically monitored in an effort to test the theoretical mechanisms proposed for the origin of optical microvariability in active galactic nuclei. Since the LLAGNs have low bolometric luminosity due to the radiatively inefficient accretion flow and have the accretion disk located close to the line of sight, these objects are appropriate for the purpose of this paper. The observations were carried out using 1 m optical telescope at Mt. Lemon which was remotely controlled in Korea Astronomy and Space Science Institute. From the analysis of the observed data, we found no detectable variations in magnitudes exceeding observational errors. This result implies certain support for the jet based models. However, it is clear that further observations of large sample of LLAGNs are needed in order to arrive at firm conclusion on the underlying physical mechanisms for microvariability.

1. 서론

퀘이사(quasars), 준성체(quasi-stellar dbject, QSO), 또는 이들을 포함하는 더 넓은 표현인 활동은하핵(active galactic nuclei, AGN)들은 우주 대폭발(Bing Bang)에 의해 우리 우주가 생성된 후의 팽창 진화 과정에서 가장 먼저 형성된 천체들로 알려져 있다. 따라서 이들에 대한 연구는 우리 은하의 기원과 진화 규명에 가장 핵심적인 역할을 한다. 1963년에 강한 전파원인 3C 273이, 큰 적색이동을 가진 13등급의 항성 모양을 한 천체임이 광학적으로 확인된 이후[1], 현재까지 수 만

개의 활동은하핵들이 발견되었다.

이들의 구조는 아직까지 실체가 정확히 밝혀지지 않은 상태이나, 대략 엄청난 에너지를 발산하는 핵과 이를 둘러싼 여러 형태의 부착원반, 극지역으로 흘러나가는 제트(jet)와 먼지와 가스로 이루어진 토러스(torus)등으로 되어있다고 추측되고 있다. 특히, 핵에서 방출되는 에너지의 근원에 대해서는 중심에 거대 질량의 블랙홀이 있어 블랙홀의 중력에너지가 활동은하핵의 에너지원이 된다는 설과, 조밀한 항성들의 집단에서 폭발하는 초신성들이 그 에너지원이 된다는 설 등이 있다. 검증된 바는 없지만, 최근 우주 망원경과 지상 대형 망원경 등에 의한 관측에서 얻어진 결과에 의해 지속적으로 질량을 공급 받는 블랙홀이 핵의 에너지원이라는 가설이 인정되는 추세이다.

그동안 활동은하핵들에 대한 연구는 그 중요성에도 불구하고, 지구에서의 거리가 너무 먼 관계로 직접적인 관측으로 이들의 구조를 밝혀내기가 거의 불가능하여 어려움을 겪어왔다. 하지만, 핵에서 방사되는 빛의 급속한 밝기 변화가 관측됨으로써 핵 주변의 물리적 상태에 대한 연구가 가능하게 되었다. 미세변광(microvariability)-시간 단위의 등급의 변화-이라 불리는, 짧은 시간에 일어나는 활동 은하핵의 급속한 밝기 변화는 Matthew & Sandage(1963)에 의해 처음 탐지된 이후 여러 연구자들에 의해 간헐적으로 관측되어 왔지만, 과거의 사진 측광과 광전 측광의 내재적인 한계 때문에 CCD가 본격적으로 이용되기 시작되면서 그 존재가 확고히 밝혀지게 되었다 [2-3].

활동 은하핵에서 일어나는 미세 변광 연구는 빛의 전파시간에 대한 측정으로 에너지를 발산하는 영역의 크기를 추정할 수 있을 뿐만 아니라, 변광의 원인에 대한 이론들의 검증에서 핵을 둘러싼 부착원반과 제트의 성질과 구조까지를 규명할 수 있다. 현재 미세 변광의 원인에 대한 이론적 모델들은 크게 외부적 요인과 내부적 요인으로 나눌 수 있는데, 외부적 요인으로는 초광속 미세중력렌즈 현상(superluminal microlensing)이나 성간 깜빡임 현상(interstllar scintillation) 등이 제안되고 있으나, 큰 지지는 받지 못하고 있다. 내부적 요인으로는 상대론적인 충격파(shock)가 제트를 따라 전파되면서 제트 내부의 불규칙적인 구조들과 반응을 일으킨다는 충격파 제트(shocked jet) 관계 모델들과, 핵 주위의 부착원반에서 여러 방법으로 형성되는 열점(hot spot)이나 플레어(flare)들에 의한 것이라는 열점 모델들이 있다.

활동은하핵의 미세변광은 발생 기작을 밝히기 위한 노력의 일환으로 약전파퀘이사(radio quiet quasars), 세이퍼트은하(Seyfert galaxies), 강전파퀘이사(radio loud quasars, LDQs, CDQs)와 BL Lac 천체에 대해 연구되어 왔었는데 Ho, Filippenko와 Sargent[4]는 팔로마 세이퍼트 목록의 대상에 대한 연구에서 밝은(B<12.5mag) 근접은하들의 약 40%가 활동 은하핵의 존재를 의미하는 광학적 분광을 발견하였다. 이들은 낮은 광도 활동 은하핵이라 불리며 복사광도(bolometric luminosity)가 10^{44} erg s^{-1}보다 적으며, 높은 정도의 부에딩턴계(sub-Eddington system)를 갖고 있다[5]. 주로 밝은 활동성 은하핵에 국한되었던 지금까지 연구와는 달리 낮은 광도의 활동성 은하핵(LLAGN)은 아직 연구된 바가 없어서 본 연구가 최초의 사례가 된다.

2. 관측 및 데이터 처리

관측대상은 Ho, Filippenko와 Sargent[4]가 수행했던 팔로마 탐사에서(Palomar survey) 발견된 근접 활동은하핵 중에서 관측 여건에 따라 선택하였고 2004년 11월 7일에서 11일 사이에 관측이 수행되었다.

관측기기는 미국 아리조나에 있는 레몬산 천문대의 1미터 광학망원경과 카세그레인 초점에 부착된 열전 냉각처리 방식의 2024×2024 화소 CCD 카메라를 이용하였으며 관측 영상은 22.2×22.2 arcmin의 크기를 가졌다. 필터는 높은 신호대 잡음비를 위하여 카메라의 양자효율이 좋은 대역인 Cousins R 필터를 사용하였다. 관측기간 동안 관측기기는 한국천문연구원에서 원격조

정 되었다. 관측기간 동안 기상상태가 양호하지 못하여 NGC 1161에 대한 관측만이 이루어졌으며 얻어진 데이터는 IRAF 구경측광 소프트웨어를 사용하여 처리되었다.

적절한 구경을 정하기 위하여 비교성의 FWHM 평균값을 구한 후 이 값 전후로 비교성들 끼리의 산란이 적은 값을 구경으로 사용하였다. 또한 시상의 변화가 차등 측광에 미치는 영향을 보기 위하여 시간에 따른 비교성의 FWHM 변화를 구하였다(그림 1). 관측 대상의 등급과 비교성의 등급 간 차이에 상관계수는 0으로 시상의 변화는 영향을 미치지 않았다.

관측오차는 비교성과 검토성의 분산 정도를 보여주는 표준편차를 사용하였는데 본 연구에서는 0.012의 값을 보였다.

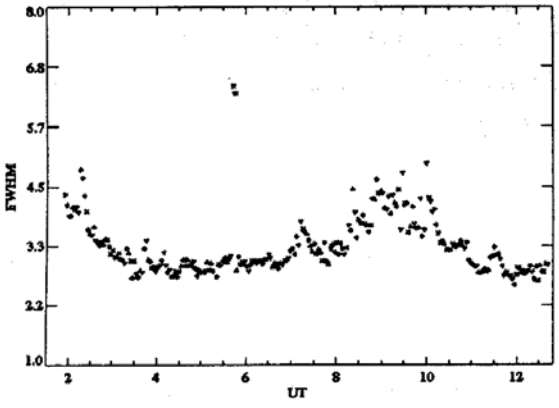

그림 64. 시간에 따른 시상의 변화

3. 결과 및 토론

관측대상인 NGC 1161은 B등급이 12.6인 비교적 밝은 은하로 2004년 11월 11일 1시 53분부터 12시 41분까지 10시간 48분 동안 관측되었는데 이 시간 동안 오차 범위를 벗어나는 변광이 탐지되지 않았다. 다만 오차 범위내에서 지속적으로 밝기가 증가하는 경향을 보였으나 이는 Carini (1990)가 블레이저(blazar)들을 관측했을 때 광도곡선에서의 전형적 변화율이 시간당 0.01 등급이었다는 점을 고려하면 무시할만한 수준의 변화로 판단된다. 그림 2와 그림 3은 관측 대상과 비교성, 비교성과 검토성의 차등 등급을 각각 보여준다.

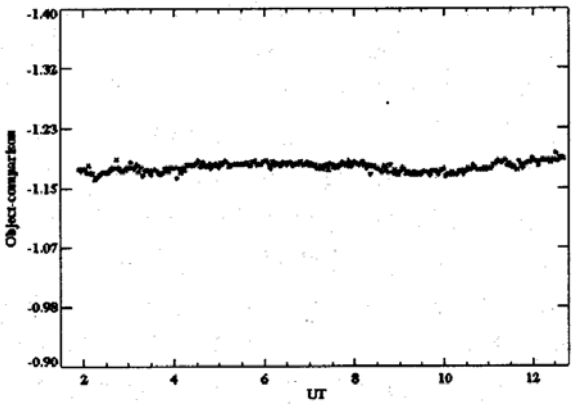

그림 65. NGC 1161과 비교성의 차등 등급

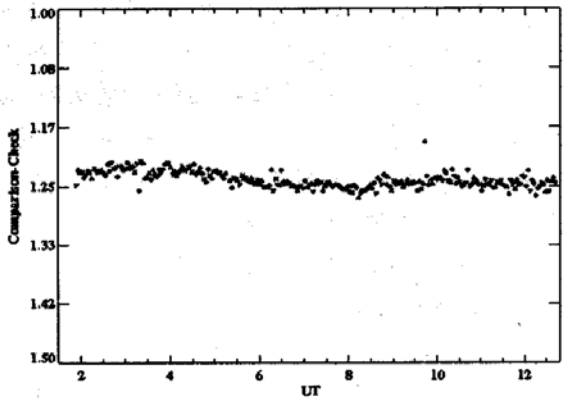

그림 66. 비교성과 검토성의 차등 등급

미세변광이 발견되는 관측 대상의 경우에도 지속적이기보다는 간헐적인 변광을 보이는 사례가 많으므로 본 연구의 결과로는 NGC 1161이 변광하지 않는다는 결론을 내릴 수는 없으나 10시간의 상대적으로 긴 관측시간 동안 변광이 탐지되지 않았다는 점은 미세변광의 원인이 핵을 둘러싼 부착원반의 상태와 상관이 있다는 모델 보다는 제트의 상태와 구조에 관련되어 있다는 모델을 지지하는 사례를 추가하게 된다.

1994년 이래로 이송우세원반흐름(Advection-

dominated accretion flow, ADAF)모델은 많은 LLAGNs의 스펙트럼에너지분포(spectral energy distribution, SED)를 설명하기 위해 사용되었다[6-7]. ADAF 모델에서는 전자로부터 양성자가 분리되는 뜨거운 플라즈마가 발생되면서 블랙홀로의 부착 과정에 의해 방출되는 대부분의 에너지를 양성자들이 운반하게 되며 LLAGNs의 광도에 기여하는 방출에너지의 양을 제한한다. 뜨거운 열적 전자들은 싱크로트론 복사를 발생시키며 전파 분광지수가 ~0.4가 되게 한다[8]. 여러 연구들은[9-10] 부착원반 모델들이 일부 LLAGNs에서 관측되는 전파 플럭스를 설명하지 못하며 전파 플럭스가 작은 제트에서 기인한다고 주장하였다.

강전파퀘이사(radio loud quasar)의 경우에는 미세변광이 제트 내부의 충격파(shock-in-jets)에 의해 발생된다는 설에 많은 연구자들이 동의하고 있다. 그렇지만 강전파 AGN의 경우에는 여러 연구가[11-12] 제트 모델을 지지하고 있기는 하지만 부착원반 모델의 영향을 무시할 수는 없다. 부착원반의 불안정은 서로 다른 부착 모드에 따라 다를 것이라고 기대되고 있다. 특히 LLAGNs는 비효율적인 부착 과정으로 인해 낮은 복사광도(bolometric luminosity)를 가지며 비록 작은 제트가 존재하기는 하나 전파퀘이사에서와 같이 강하지 않은 제트가 존재한다고 믿어지고 있다.

LLAGNs의 미세변광 연구는 미세변광의 발생기작에 대한 모델들을 검증하는 유효한 수단이 되고 서로 다른 부착모드와의 비교로 부착원반의 특성에 대한 규명도 가능할 것이라 기대된다. 앞으로 확장된 샘플의 관측분석에서 활동은하핵의 미세 변광에 대한 이론적 규명이 이루어지면, 우주 초기에 생성된 이들의 구조에 대한 의문에 직접적인 해답을 제시할 수 있게 되며 나아가 우리 우주의 진화와 천체들의 생성을 이해하는데 중요한 단서를 제공할 것이다.

참고문헌

1. Schmidt, M. Nature, *197*, 1040, **1963**
2. Miller, H.R., et al. Nature, *337*, 627, **1989**
3. Carini, M.T., et al. AJ, *100*, 347, **1990**
4. Ho, L.C., Filippenko, A.V., & Sargent, W.L.W., ApJS, *112*, 315, **1997**
5. Ho, L.C. astro-ph/030359, **2003**
6. Narayan, R., & Yi, I. ApJ, *428*, L13, **1994**, ApJ, 452, 710, **1995**
7. Narayan, R., Yi, I., & Mahadevan, R. Nature, *374*, 623, **1995**
8. Mahadevan, R. ApJ, *477*, 585, **1997**
Matthews, T.A.,& Sandage,A.R. ApJ, *138*, 30, **1997**
9. Anderson, J.M., Ulvestad, J.S. & Ho, L.C. ApJ, *603*, 42, **2004**
10. Ulvestad, J.S. & Ho, L.C. ApJ, *562*, L133, **2001**
11. Jang, M. & Miller, H.R. ApJ, *452*, 582, **1995**
12. Jang, M. & Miller, H.R. AJ, *114*, 565, **1997**