Ultraluminous X-ray source를 이용한 잃어버린 중간질량 블랙홀 찾기

● 김민진[1], Luis C. Ho[2,3]

한국천문연구원[1], Kavli Inst. of Astronomy and Astrophysics[2], Carnegie Observatories[3]

1. 과학 목적 및 요약

본 관측 제안팀은 가까운 은하에 위치한 Ultarluminous X-ray Source(ULXs)들의 가시광 분광자료를 얻고자 한다. 중간질량 블랙홀은 우주 초기에 많이 만들어졌으며, 무거운 은하 중심에 위치한 초거대블랙홀의 기원이라고 알려져 있다. 하지만 중간질량 블랙홀의 관측적인 증거는 매우 부족하다. 본 연구에서는 ULX를 이용하여 가까운 은하에 위치하고 있을 것으로 예측되는 떠돌아다니는 중간질량 블랙홀을 찾고자 한다.

ULX는 중간질량 블랙홀의 강력한 후보군 중의 하나로 알려져 있으나, 가시광에서 매우 어두워서 현재까지 X-ray를 제외한 다른 파장에서 연구한 결과가 매우 드물다. GMT를 이용해 얻은 자료를 통해 ULX에 나오는 에너지의 근원을 밝히고자 한다. 만약 ULX의 근원이 중간질량 블랙홀이라고 할 경우, 중간질량 블

랙홀의 관측적인 개수 분포를 알아내고자 한다. 이를 이론적인 연구 결과와 비교하여 우주 초기에 블랙홀이 어떻게 형성되었고, 블랙홀과 은하가 어떠한 과정을 토대로 공동 진화를 해왔는지 알아보고자 한다.

본 연구팀은 가까운 은하에 위치한 대략 30개 정도의 ULX에 대해 GMACS을 이용한 슬릿 분광관측을 하고자 한다. 향후 KMTNet, LSST 등 남반구의 이미징 탐사를 통해 더 많은 ULX의 가시광 자료가 확보되면, 샘플의 개수를 늘릴 수 있을 것이라 기대하고 있다. 50개 이상의 ULX를 관측함으로써 ULX의 특성과 중간질량 블랙홀에 관한 통계적 연구를 수행할 수 있을 것이다.

2. 연구 필요성, 배경 및 동향

1) 연구의 배경 및 필요성

허블 망원경과 적응 광학을 이용한 고분해능 데이터를 이용해서, 우리은하를 비롯한 대부분의 비교적 무거운 은하의 중심에는 초거대블랙홀(Supermassive Black Hole)이 있다는 연구가 이어져왔다. 초거대블랙홀의 질량은 대략 태양 질량의 십만 배에서 백억 배에 이르는 것으로 알려졌다. 이러한 초거대블랙홀의 기원을 알아내기 위한 이론적 연구에 따르면, 우주 초기에 많은 양의 중간질량 블랙홀(Intermediate-mass Black Hole)이 만들어졌으며, 중간질량 블랙홀의 병합이나, 블랙홀로 물질 유입을 통해서 현재의 초거대블랙홀이 만들어졌다고 생각되어진다(Volonteri 2010). 이러한 이론에 의하면, 우주 초기에 무수히 많이 만들어진 중간질량 블랙홀(태양 질량의 수십 배에서 수만 배)이 현재에도 많이 남아 있을 것으로 예측이 되는데, 흥미롭게도 현재까지 관측적으로 알려진 중간질량 블랙홀은 매우 드물다.

중간질량 블랙홀의 관측적 증거를 찾기 위한 많은 시도가 있었다. SDSS(Sloan Digital Sky Survey)를 이용해 왜소은하 중심의 활동성 은하핵에서 매우 많은 중간질량 블랙홀을 찾았지만, 이들의 질량은 대략 태양 질량의 십만 배로 우주 초기에 만들어진 블랙홀과는 거리가 있다(Greene & Ho 2004). 또한 은하보다 비교적 가벼운 구상성단에서 중간질량 블랙홀을 찾기 위한 연구가 있었으나, 현재까지 확증적인 결과를 얻지 못했다(Miller-Jones et al. 2012). 또한 최신의 결과에 따르

면 별의 표면 밀도가 아주 높은 매우 작은 왜소은하(Ultra compact dwarf galaxy)의 중심에서도 블랙홀의 간접적인 흔적을 찾을 수 있었다 (Strader et al 2013).

이러한 배경 아래 현재까지 알려진 가장 가능성이 높은 중간질량 블랙홀의 후보는 Ultraluminous X-ray source(ULX)다(Colbert & Mushotzky 1999). ULX는 X-ray에서 강한 에너지를 내는 물리적으로 매우 작은 천체를 가리킨다. X-ray에서 나오는 에너지($>10^{39}$erg/s)가 별이 죽어서 만들어진 별 질량 블랙홀(Stellar mass Black Hole)이 낼 수 있는 최대치의 에너지보다 크기 때문에 ULX는 대체로 별 질량 블랙홀보다 큰 질량을 가진 블랙홀로 생각 되어진다. [하지만 별 질량 블랙홀에서 나온 에너지가 상대론적 효과에 의해 증폭된 결과라고도 또한 알려져 있다 (King et al. 2001).]

현재까지 알려진 ULX 중 가장 강력한 중간질량 블랙홀의 후보는 조기형 은하인 ESO 243-49에 위치한 HLX-1이다(Farrell et al. 2009). X-ray에서 매우 강력한 에너지(10^{42}erg/s)를 발산하는 이 천체는 그 밝기 때문에 별 질량 블랙홀이 에너지의 근원이라고 생각하기 매우 어렵다. 은하 중심으로부터 약 3.3kpc 떨어져 있으며, 다양한 파장에서의 후속 관측을 통해서 HLX-1은 태양 질량의 수백에서 수천 배 되는 중간질량 블랙홀일 가능성이 많은 것으로 알려져 있다.

하지만 현재까지 알려진 단 하나의 천체만으로 우주 전체에서 중간질량 블랙홀의 분포를 알아내기에는 충분하지 않다. 그러므로 ULX를 이용해서 중간질량 블랙홀이 질량에 따라 얼마나 많이 분포하고, 또한 그 분포가 모은하의 특성과 어떠한 상관관계를 가지는지를 관측적으로 규명하는 것은 무거운 블랙홀의 진화를 이해하는 데 매우 중요하다. 초거대질량 블랙홀과 모은하 간의 물리적인 상관관계가 있다고 알려져 있으며, 이는 초거대블랙홀이 은하의 진화에 밀접한 영향을 끼친다는 것을 보여준다(Kormendy & Ho 2013). 그런 의미에서 거대질량 블랙홀의 진화를 이해하는 것은 은하의 진화 과정을 이해하는 데 매우 중요하다.

본 제안팀은 가까운 은하에서 알려진 ULX의 가시광 분광자료를 GMT를 이용해 얻고자 한다. 가시광 분광자료를 통해 얻을 방출선 혹은 흡수선을 이용해 ULX까지의 거리를 알아내고자 한다. ULX까지의 거리는 매우 중요한 정보인데, 왜냐하면 ULX가 모은하보다 멀리 떨어진 활동성 은하핵인 경우가 많기 때문이다 (Foschini et al. 2002). 그러므로 ULX가 실제로 모은하에 물리적으로 소속되어 있는지를 알아내는 것만으로도 X-ray의 절대 밝기와 그에 따른 ULX의 기원을 밝

히는 데 있어 매우 중요하다. 두 번째로 ULX 주변의 운동학적 특성을 알아내고자 한다. ULX 근방에서 거리에 따른 속도 분포를 살펴봄으로써, 운동학적 질량을 알아낼 예정이다. 이를 통해 다른 연구에서 예측되는 ULX의 질량과 비교하고자 한다. 세 번째로 continuum의 모양과 방출선(혹은 흡수선) 간의 밝기 비율을 이용해, ULX의 정체를 알아보고자 한다. 특히 방출선이 있다면, ULX에서 나오는 에너지의 근원과 ULX 주변의 가스의 특성을 알아낼 수 있을 것이다.

2) GMT의 필요성

ULX는 가시광 영역에서 비교적 매우 어둡다. 예를 들어 가장 밝은 천체 중의 하나인 HLX-1의 경우 VLT 망원경을 이용해 대략 5시간 이상의 노출을 통해 매우 약한 Hα를 검출해내었다(Wiersema et al. 2010). 일반적으로 ULX는 가시광에서 23-26등급 정도의 밝기를 가지므로 현재 8-10m 망원경으로 탐사형 관측은 불가능하다(Sutton et al. 2012; Gladstone et al. 2013). 혹여 관측이 가능하더라도 아주 밝은 방출선만 검출할 수 있다. 하지만 GMT를 사용하면 여러 방출선(예를 들어 Halpha, Hbeta, [O III], [N II]; 밝은 대상의 경우 흡수선까지)을 발견할 수 있을 거라 기대된다. 이는 ULX의 정확한 기원을 밝히는 데 결정적인 요소가 될 것이다. 또한 운동학적 질량을 측정하기 위해서는 ULX 근방에서 희미한 방출선의 운동학적 분포를 볼 수 있어야 하는데, 이를 위해서도 GMT가 필수적이다.

3) 국내외 연구 동향

최근 10년 동안의 연구를 통해, XMM-NEWTON과 Chandra X-ray 망원경을 이용해 얻은 자료와 가까운 은하의 위치 자료를 비교해서 수백 개의 ULX 데이터베이스가 만들어졌다(Swartz et al. 2011; Walton et al. 2011). 이 데이터베이스를 이용해서 다파장에서의 연구가 수행되고 있다. 특히 Hubble 망원경의 자료를 분석해서 ULX의 가시광에서의 밝기와 색등급을 알아내서 ULX의 기원을 알아내고자 하지만, 분광자료가 없으면 기원을 밝히는 데 한계가 명확하다. 왜냐하면 은하보다 훨씬 뒤에 위치한 백그라운드 활동성 은하일 가능성을 배제할 수 없기 때문이다. 그러므로 분광관측은 ULX의 통계적 특성을 이해하는 데 매우 중요하다고 할 수 있다.

하지만 앞에서 밝힌 바와 같이 분광관측을 통해 거리가 확인된 ULX는 매우

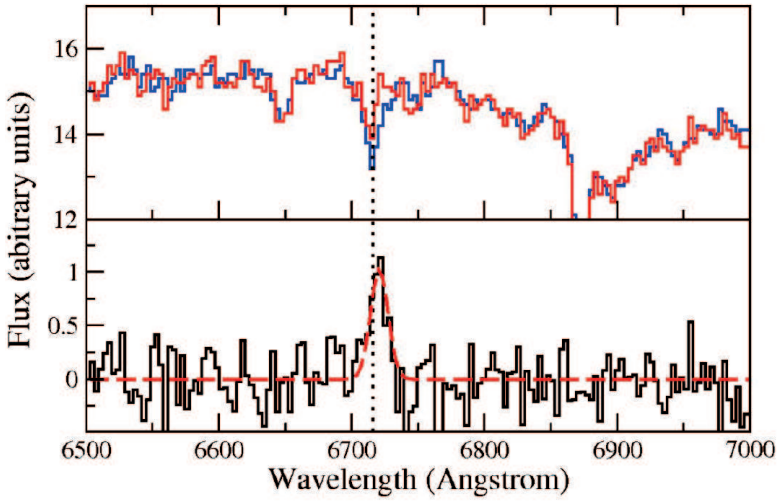

그림 1. HLX-1의 분광관측 결과. 아래 그림에서 Hα가 매우 희미하게 보인다.

드물고, 현재의 8-10m 대형망원경으로는 그 한계가 명확하다(Kim et al. 2014, in preparation). 그러므로 GMT를 이용한 ULX 탐사는 현재 우주에서의 중간질량 블랙홀의 분포를 이해하는 데 획기적인 역할을 할 것으로 기대된다.

3. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 대상

본 연구는 이미 알려진 가까운 은하에 있는 ULX의 가시광 분광관측을 할 예정이다. XMM-Newton과 Chandra X-ray 데이터를 통해, 100Mpc 이내에 은하에서 약 600개 정도의 ULX가 알려져 있다(그림 2 참조). 하지만 아직 대부분의 ULX의 가시광에서 대상(counterpart)이 알려져 있지 않다. 가시광에서 매우 어둡기 때문에 가시광 대상을 찾기 위해서는 깊은 이미지가 필요하기 때문이다. 본 연구팀에서는 GMT가 세워지기 이전에 KMTNet 망원경을 이용해서 남반구의 가까운 은하에 대한 이미징 탐사를 수행할 계획이다(2015년-2018년 수행 예상). 이를 통해 획득된 깊은 이미지를 이미 구축된 ULX의 데이터베이스와 비교하여, 향후 관측할 대상을 찾고자 한다. 현재까지 알려진 바에 따르면 ULX의 가시광 밝

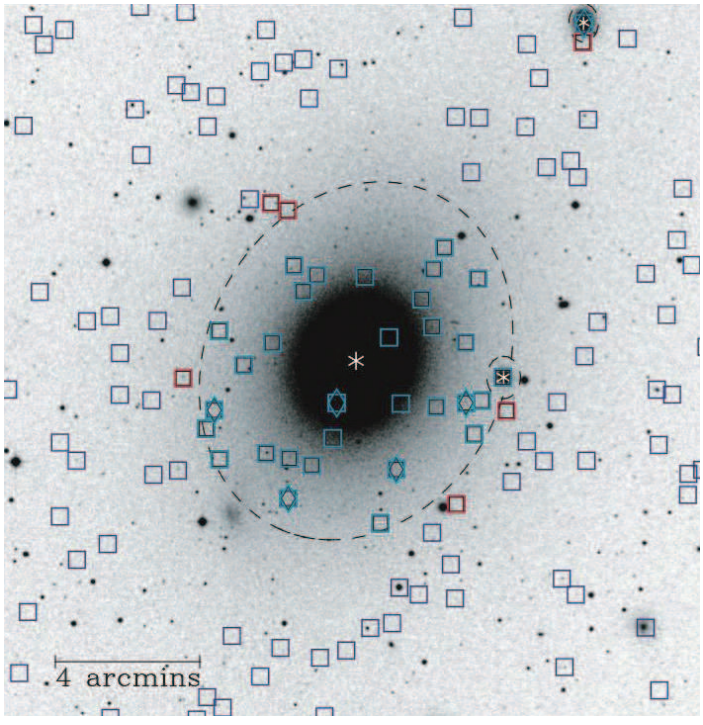

그림 2. NGC 4464에서 XMM-Newton으로 관측된 X-ray 천체의 분포(네모). 5개의 ULX는 다이아몬드로 표시되어 있다(Walton et al. 2011).

기가 23에서 26등급 정도 되기 때문에, 대략 1/5-1/10의 은하에 대해서 가시광 대상을 찾을 것이라고 기대하고 있다(Galdstone et al. 2013). 이를 바탕으로 대략 15-30개의 ULX를 관측할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 LSST 탐사 관측이 수행되면 관측 대상은 기하급수적으로 늘어날 것으로 예상이 된다.

결론적으로, 가까이 있는 15-30개 이상의 ULX의 가시광 대상에 대한 분광관측을 수행할 예정이다. 향후 이미징 탐사를 통해 더 많은 가시광 자료가 확보되면 적어도 50개 이상의 ULX에 대한 관측을 통해서 ULX의 통계적 특성에 대한 연구를 수행하고자 한다.

2) 사용 GMT 기기 및 관측 전략

가시광 분광자료를 얻기 위해 GMACS를 사용할 예정이다. 이미 알려진 ULX의 데이터베이스에 따르면 한 은하에도 여러 개의 대상이 존재하기 때문에(그림 2

참조), 경우에 따라서 multislit을 사용할 수도 있다. 이 경우 슬릿을 더 다른 용도로 사용할 여유가 있기 때문에 외부은하의 성단이나 별 탄생 지역에 대한 연구 등 다양한 분야의 가까운 은하에 대한 연구들과 공동으로 관측이 가능하다. 그러므로 향후 비슷한 관측 대상과 관측 방법을 사용하는 타 프로젝트가 있을 경우, 한 번의 관측으로 여러 가지 과학적 결과를 얻을 수 있는 장점이 있을 것으로 기대된다.

현재까지 알려진 ULX의 광학 분광 밝기는 대략 r 밴드에서 23-26등급이다. 어두운 천체의 경우 방출선을 통해서 ULX의 거리와 물리적 특성을 연구할 예정이므로, S/N가 2-3에서도 연구가 가능하다. 또한 방출선을 통해서 거리를 구하는 것이 주목적이므로 높은 분광분해능이 필요하지 않으며, 'Low Resolution' (R~500) 모드로도 과학적 목표를 이룰 수 있다. 노출시간 계산 프로그램을 사용한 결과, 매우 어두운 대상(26등급)의 경우 2시간 노출에 Halpha 부근에서 S/N=2를 가진 스펙트럼을 얻을 수 있을 것으로 기대된다(4개의 거울로 관측한 경우). 그러므로 30개를 관측하는 경우 대략 40-50시간이면 관측을 수행할 것으로 기대가 된다. 위에서 밝힌 대로 비슷한 관측 방법을 가진 가까운 은하에 대한 연구와 시간을 공유한다면 관측 시간을 매우 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 연구 결과의 기대 성과

ULX를 이용한 중간질량 블랙홀의 연구를 통해 크게 네 가지로 중요한 성과를 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 첫 번째로 ULX 자체의 특성에 대한 연구이다. ULX는 매우 중요한 대상임에도 불구하고 에너지의 기원이 무엇인지 정확히 알려지지 못했다(Begelman 2002). 본 관측을 통해서 얻은 자료를 이용해서 ULX의 에너지의 기원과 물리적 특성에 대해 이해하고자 한다.

두 번째로 중간질량 블랙홀의 분포에 대한 연구는 무거운 블랙홀의 진화 과정을 이해하는 데 매우 중요하다. 중간질량 블랙홀의 질량 분포를 이해하면, 우주 초기에 블랙홀이 어떻게 형성되었는지를 직접적으로 이해할 수 있다. 즉 우주 초기에 만들어진 씨앗 블랙홀(Seed Black Hoel)의 질량에 따라 블랙홀의 진화 과정이 매우 달랐을 거라고 생각이 되는데, 중간질량 블랙홀의 질량 분포가 씨앗 블

랙홀의 질량 분포를 추측할 수 있는 중요한 근거가 된다(Volonteri 2010).

세 번째로 ULX(혹은 중간질량 블랙홀)과 모은하의 특성에 대한 상관관계를 통계적으로 연구하면 무거운 블랙홀의 진화 과정을 이해할 수 있다.

네 번째로 이론적으로 예측되는 은하 중심에서 떨어진 활동성 은하핵(offset AGN)의 분포를 통해서 은하 진화에 대해 이해할 수 있다. LCDM의 우주론에 기반한 이론적 모델에 따르면 현재 우주에서 유의미한 개수의 'Offset AGN'을 찾을 수 있어야 한다. ULX가 만약 'Offset AGN'으로 밝혀진다면 관측된 개수 분포와 이론적 모델을 비교함으로써 은하와 블랙홀의 공동 진화 양상을 밝히는 데 중요한 역할을 할 것이다(Volonteri & Madau 2008).

5. 인용문헌

Begelman, M. C. 2002, ApJL, 568, L97

Colbert, E. J. M., & Mushotzky, R. F. 1999, ApJ, 519, 89

Farrell, S. A., Webb, N. A., Barret, D., Godet, O., & Rodrigues, J. M. 2009, Nature, 460, 73

Foschini, L., Di Cocco, G., Ho, L. C., et al. 2002, A&A, 392, 817

Gladstone, J. C., Copperwheat, C., & Heinke, C. O., et al. 2013, ApJS, 206, 14

Greene, J. E. & Ho, L. C. 2004, ApJ, 610, 722

King, A. R., Davies, M. B., Ward, M. J., Fabbiano, G., & Elvis, M. 2001, ApJL, 552, L109

Kormendy, J., & Ho, L. C. 2013, ARA&A, 51, 511

Miller-Jones, J. C. A., Wrobel, J. M., & Sivakoff, G. R., et al. 2012, ApJL, 755, L1

Strader, J., Seth, A. C., Forbes, D. A., et al. 2013, ApJL, 775, L6

Sutton, A. D., Roberts, T. P., Walton, D. J., Gladstone, J. C., & Scott, A. E. 2012, MNRAS, 423, 1154

Swartz, D. A., Soria, R., Tennant, A. F., & Yukita, M. 2011, ApJ, 741, 49

Volonteri, M. 2010, A&ARv, 18, 279

Volonteri, M. & Madau, P. 2008, ApJL, 687, L57

Walton, D. J., Roberts, T. P., Mateos, S., & Heard, V. 2011, MNRAS, 416, 1844

Wiersema, K., Farrell, S. A., Webb, N. A., et al. 2010, ApJ, 721, L102