왜소은하의 형성 과정 및 진화

● 정애리[1], 김묘진[1], 임성순[2], 이준협[3,4], 김민진[3], 이종철[3], 고종완[3], 양성철[3], 이혜란[3,4]

연세대학교[1], 서울대학교[2], 한국천문연구원[3], 과학기술연합대학원대학교[4]

1. 과학 목적 및 요약

본 관측팀은 근거리 우주의 다양한 환경에 있는 왜소은하 중 중성수소가스가 검출된 경우를 대상으로 광학 분광관측을 수행하고자 한다. 광학 및 전파 파장에서 측정된 적색이동으로부터 항성과 가스의 연관 관계를 밝히고, 항성 형성 및 진화 역사를 탐구하는 것이 목표이다. 거대마젤란망원경은 높은 S/N의 분광자료를 제공함으로써 왜소은하의 평균 항성 나이 및 중원소함량의 분포를 보다 직접적으로 측정하는 데 중요한 역할을 할 것이다.

특히 본 연구에서는 광학 분광관측과 함께 전파간섭계를 이용한 고분해능 중성수소 관측을 동시에 수행할 계획이다. 고분해능 전파 자료로부터 왜소은하들의 암흑물질 및 보통물질의 질량, 성간가스의 양과 분포뿐 아니라 표면 밀도의 특성을 연구하여 광학적 특징과 비교할 것이다. 따라서 분광관측에 있어 비교적

높은 S/N을 얻을 수 있으며, 동시에 고분해능 전파관측이 가능한 비교적 근거리에 위치한 왜소은하를 주요 관측 대상으로 한다. 작은 은하그룹 및 큰 은하단의 주변에 존재하는 왜소은하들의 특성은 우주거대구조 형성에 있어 가장 하위 단계인 왜소은하 종족의 형성 및 진화 과정을 이해하는 데 중요한 단서를 제공할 것으로 기대한다.

2. 연구의 배경 및 GMT의 필요성

1) 연구의 배경 및 필요성

왜소은하는 그 기원에 따라 크게는 암흑 헤일로 안에서 형성되는 종족과 은하 사이의 충돌 과정 중 조석력에 의해 빠져나온 보통물질로부터 형성되는 종족(TDG: tidal dwarf galaxies)으로 나눌 수 있다(Dabringhausen & Kroupa 2013). 이들 중 계층적 구조형성을 이해하는 데 중요한 역할을 하는 것은 암흑 헤일로를 동반한 전자일 것이다. 암흑 헤일로 안에서 형성된 왜소은하 중 많은 수가 우주거대구조가 성장하는 과정에서 병합되었을 것이나, 일부는 아직 흡수되지 않고 남아 있기도 하고, 심지어는 새롭게 탄생하는 경우도 존재할 수 있다.

우리은하가 거주하는 국부은하군에서도 50여 개의 은하 중 10% 미만을 제외하고는 다수의 구성원이 왜소은하에 해당하며, 실재 이들 대부분이 암흑 헤일로 안에서 형성된 왜소은하로 추정된다(예, Daedon et al. 2014). 또한 가까운 은하단 환경에서도 왜소은하 종족이 상당히 큰 비율을 차지하고 있다(예, Jerjen & Tammann 1997), 이러한 왜소은하의 지배적인 수는 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 은하들의 광도함수나 질량 분포를 통해서도 잘 나타나고 있다(Blanton & Moustakas 2009).

많은 수에도 불구하고 왜소은하에 대한 연구는 여러 가지 관측적인 제한을 받아왔다. 광학 영역에서는 왜소은하의 어두운 본질로 인한 관측의 한계가 가장 큰 원인일 것이다. 하지만 최근 향상된 관측기술로 새로운 왜소은하의 발견이 꾸준히 이루어지고 있으며(Martin et al. 2004), 일부에 대해서는 슬론 서베이 등의 체계적인 후속 분광관측이 이루어지기도 하였다.

한편, 암흑물질이나 성간가스와 같이 왜소은하의 생성 과정을 이해하는 데 중

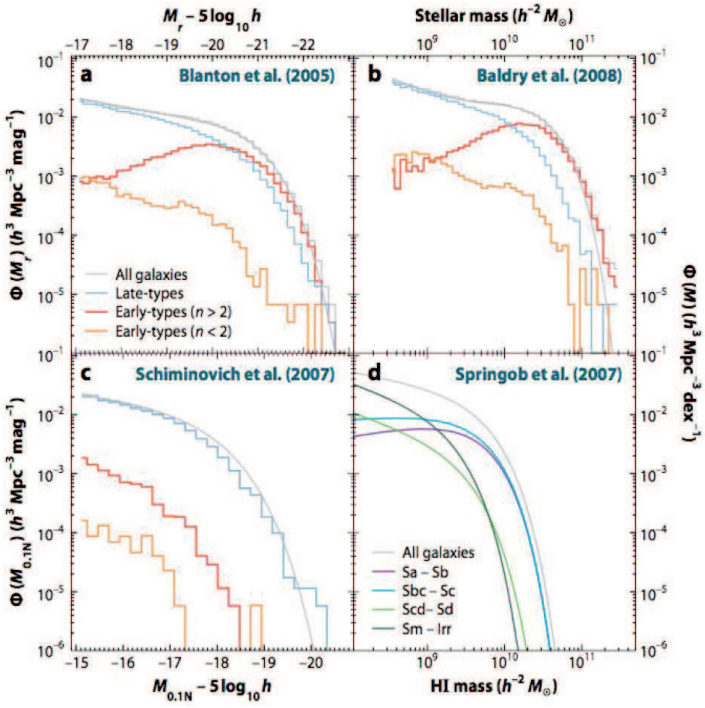

그림 1. 은하들의 광학 및 근자외선의 광도함수와 별 및 중성수소의 질량함수. 왼쪽 위는 근거리에 있는 은하들의 r-band 광도함수를 나타내며, 오른쪽 위는 같은 대상에 대하여 별의 질량함수를 나타낸다. 왼쪽 아래는 GALEX로 관측된 여러 종류의 은하들에 대한 근자외선 광도함수이며, 오른쪽 아래는 ALFALFA로 관측된 모든 은하들의 중성수소의 질량 분포를 보여준다(Blanton & Moustakas 2009).

요한 역할을 하는 중성수소 관측도 최근까지는 매우 제한적이었다. 중성수소가 검출된 왜소은하의 경우, 가스 대 항성의 질량이 일반 나선은하에 비해 높은 편으로 알려져 있지만, 가스의 총질량이 절대적으로 작기 때문에 그 형태학적 특징과 함께 역학적인 정보도 얻을 수 있는 간섭계 관측에는 어려움이 있다. 이러한 문제는 최근 Jansky Very Large Array와 같은 기존 전파간섭계의 개선으로 많이 극복되고 있다.

흥미로운 것은 다양한 파장의 기기가 함께 향상되면서 서로 독립적으로 발견된 구조가 연관성을 보이는 경우가 보고되고 있다는 것이다. 그 좋은 예가 가까운 사자자리 그룹에 위치한 왜소은하들과 작은 중성수소 구름들이다. Stierwalt et al.(2009)는 Arecibo 전파 단일경과 ALFA 수신기를 이용한 관측에서 예전에

Schneider et al.(1983)에 의해 우연히 발견된 거대 중성수소 고리구조를 따라 작은 개별 수소가스구름을 다수 발견하였다. 그중 일부는 슬론 서베이와 같은 광학 관측에서 검출된 왜소은하와의 연관성이 제기되고 있다. 이러한 작은 구조들에 대한 자세한 연구는 은하 및 거대 구조 형성과 진화를 이해하는 초석이 될 것이다.

광학 및 전파의 관측 장비 발전과 더불어 미래에는 근거리에 있는 왜소은하에 대한 관측 연구가 활성화될 것으로 기대한다. 한 가지 아쉬운 것은 기존 중대형망원경들이 왜소은하의 항성형성 및 진화 역사를 연구하는데 핵심적인 역할을 할 수 있는 높은 S/N의 광학 분광자료를 얻기에는 충분하지 않다는 것이다.

2) GMT의 필요성

왜소은하의 광학과 전파 자료를 비교 분석하기 위해 우선 검증되어야 하는 것은 두 파장에서 관측된 구조가 우연히 같은 시선방향에 놓인 것이 아니라 같은 거리에 있다는 것을 밝히는 것이며 이를 위해서는 적색이동의 정보가 필요하다. 전파 영역에서 중성수소를 관측한다는 것은 적색이동된 방출선을 검출하는 것이므로 중성수소선 관측을 통해 가스의 질량을 측정함과 동시에 적색이동을 결정할 수 있다. ALFA 수신기를 Arecibo 단일경에 장착하여 수행한 ALFALFA 외부은하 탐사에서는 2012년 적색이동, z~0.06에서 $10^6 M_{sun}$ 정도의 중성수소를 측정할 수 있는 질량 한계까지 도달하였으며 따라서 이보다 더 근거리에 있는 왜소은하 정도에 해당하는 중성수소 구름을 검출하는 것은 어렵지 않다.

반면 광학에서는 근거리에 위치한 왜소은하들에 대해서도 적색이동이 결정되지 않은 경우가 대부분이다. 슬론과 같은 탐사에서도 후속 분광관측의 밝기 한계가 다소 높게 설정되어 다수의 왜소은하가 그 대상에서 제외되었기 때문이다. 하지만 근거리에 위치한 왜소은하의 적색이동은 등급에 따라 기존의 중대형망원경으로 측정 가능한 경우도 많다. 그러나 이보다 더 중요한 문제는 왜소은하의 항성 형성 및 진화의 역사를 이해하기 위해서 필요한 충분한 S/N의 분광관측이다.

항성 형성 역사는 별의 연속파 및 흡수선과 별의 진화 모형으로부터 합성한 은하의 스펙트럼을 비교하여 연구할 수 있다(Koleva et al. 2009). 이러한 비교를 위해 S/N가 대략적으로 10 이상이 되는 스펙트럼이 요구되는데, 최근 중성수소 가스가 검출된 가까운 거리에 있는 왜소은하의 표면광도를 생각할 때, 현존하는

중대형망원경을 이용하더라도 쉽게 도달할 수 없거나 아예 관측 불가능하다. 현재 8미터급 정도의 망원경에서 얻을 수 있는 분광자료는 왜소은하의 적색이동을 결정할 수 있는 정도이며, 별 형성 및 진화의 역사는 여러 광학 등급으로 측정한 색을 통해 연구하는 실정이다. 따라서 왜소은하에 대해 높은 S/N의 연속파 및 흡수선 자료를 얻을 수 있는 거대마젤란망원경은 이 연구에서 핵심적인 역할을 하게 될 것이다.

3) 국내외 연구 동향

최근 들어 광학 및 전파 영역에서 새로운 왜소은하나 작은 단위의 중성수소 구름의 발견이 증가하고 있으나 서로의 연관성을 확인할 수 있는 후속 분광관측은 아직 많이 이루어지지 않았다. 제한된 영역에 대해 체계적인 관측이 이루어지고 있는 Next Generation Virgo Cluster Survey와 같은 연구에서는 $10^7 M_{sun}$ 정도의 왜소은하 대상들이 포함되었으나, 왜소은하의 평균 항성 나이 및 중원소함량 측정은 아직도 측광 자료를 바탕으로 한 왜소은하의 컬러에 의존하고 있는 상황이다. 거대마젤란망원경의 분광관측은 이 두 가지 요구를 동시에 만족시켜줄 것으로 기대한다.

3. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 대상

본 연구의 주요 대상은 비교적 가까운 거리에 있으면서 중성수소가 검출된 왜소은하이다. 광학적으로는 광학 분광관측에서 S/N~10 이상을 얻을 수 있는 왜소은하를 주 대상으로 한다. 전파관측에서도 중성수소의 형태와 역학적인 정보로부터 암흑물질에 관한 정보도 연구하고자 하므로 현재 운영되고 있는 전파간섭계를 고려할 때 수십 Mpc 내의 근거리에 있는 왜소은하를 선택할 것이다.

광학 자료와 전파에서 검출되는 중성수소가스의 성질을 비교하고자 하므로 은하단 중심과 같이 은하 간 물질에 의해 은하의 성간가스가 밀려날 수 있는 환경보다는 은하단 주변이나 은하 그룹과 같이 밀도가 상대적으로 낮은 환경에 위치한 왜소은하를 관측하고자 한다.

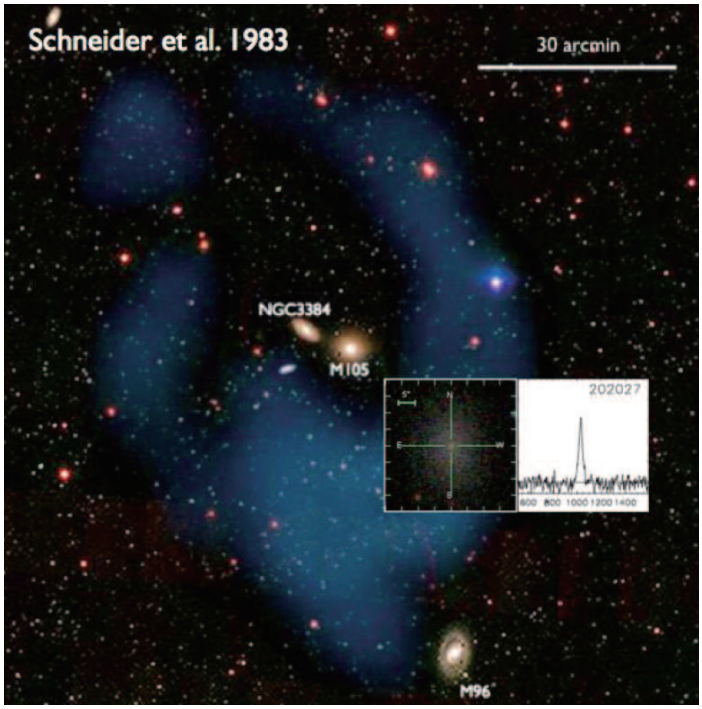

그림 2. 10Mpc 거리에 있는 은하그룹의 슬론 광학 영상과 그룹 내에서 Schneider et al.(1983)에 의해 발견된 중성수소로 이루어진 가스 고리구조를 푸른색으로 나타내었다. 직경이 200kpc 정도 되는 이 가스 고리 내에는 오른쪽 아래에 보인 예와 같은 왜소은하가 다수 존재한다. 왜소은하의 광학 영상 오른쪽은 이 은하가 보유한 것으로 생각되는 중성수소의 스펙트럼으로 Stierwalt et al.(2009)은 이 가스 고리를 따라 수십 개의 단일 중성수소 구름을 발견하였다. 이 고리 내에 존재하는 작은 구조들이 그룹을 만들고 남은 primordial한 가스에 기원하는지(Thilker et al. 2009), 그룹 내 큰 은하들의 중력적 상호작용 중에 빠져나온 가스로부터 형성된 것인지(Michel-Dansac et al. 2010)에 대한 논쟁은 아직 직행 중이다.

2) 사용 GMT 기기 및 관측 전략

이 연구에서는 높은 분광분해능이 요구되는 것은 아니므로 GMACS 분광기를 이용한 관측을 제안한다. 가까운 은하가 대상이므로 왜소은하라고 하더라도 GMACS의 슬릿보다 큰 은하가 대부분이며, 따라서 슬릿의 배열을 이용하면 은하의 여러 부분에 대해 스펙트럼을 얻음으로써 항성 나이 및 중원소의 분포를 연구할 수 있다. 또한 은하 그룹이나 은하단 주변 환경에서는 거의 같은 시선방향에 위치하여 여러 슬릿을 통해 효율적으로 동시에 관측 가능한 대상도 많을 것이다.

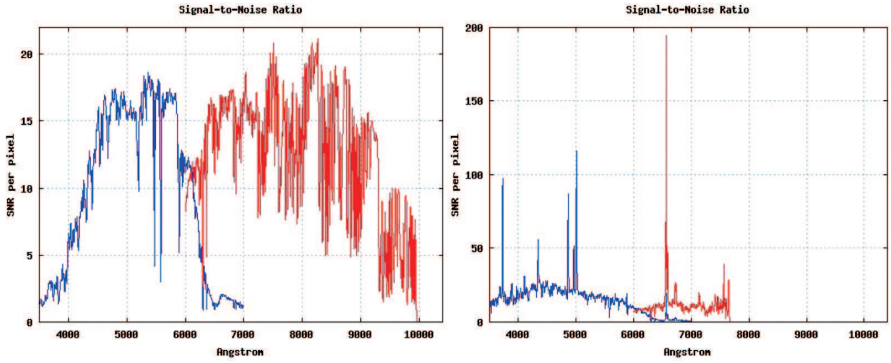

그림 3. r-band 등급이 23.6 (AB) mag인 경우에 대해 왼편은 타원은하의 표본을 기준으로 오른편은 Sc 은하의 표본을 기준으로 예상되는 GMACS의 두 시간 노출에 대한 SNR. seeing이 1″, 슬릿이 1.5″인 경우 low resolution grating을 가정하였다.

가까운 은하 그룹에서 발견된, 중성수소 구름과 관계가 있는 것으로 생각되는 왜소은하들 중 어두운 경우, r-band의 등급과 은하의 크기를 고려할 때 GMACS의 슬릿 안에서 측정되는 광도가 23.6 (AB) mag 정도이다. 그림 3은 r-band=23.6 (AB) mag에 대해 GMACS의 두 시간 정도의 노출을 통해 얻어지는 SNR이다. 왼편은 흡수선이 지배적인 early-type(elliptical) 은하의 표본을, 오른편은 방출선이 지배적인 late-type(Sc) 은하의 표본을 사용하였고, seeing이 1″, 슬릿이 1.5″인 경우 low resolution grating을 가정하였다. 은하를 구성하는 항성의 평균 나이에 상관없이 GMACS의 관측 파장 내에서 두 시간 노출시간으로 S/N~15에 도달할 수 있을 것으로 예상한다.

4. 연구 결과의 기대 성과

본 연구는 광학과 전파 자료를 함께 분석한다는 점에서 왜소은하의 본질을 이해하는 데 매우 중요한 단서를 제공할 것으로 기대한다. 예전에는 왜소은하의 경우 주로 불규칙한 형태의 높은 항성 형성률을 가진 은하들을 위주로 전파간섭계를 이용한 중성수소 관측이 수행되어왔다. 하지만 최근에는 중성수소를 보유하고 있으면서도 다양한 색을 가지는 왜소은하들이 발견되고 있고, 이러한 왜소은하들 중 일부는 암흑 헤일로 안에서 막 탄생하고 있는 은하라는 관측적 증거가

발견되고 있다. 이러한 왜소은하들의 특성은 은하 및 거대 구조 형성의 초기 과정을 이해하는 데 결정적인 단서를 제공할 것이다.

5. 인용문헌

Blanton, M., Moustakas, J. 2009, ARA&A, 47, 159
Dabringhausen, J., Kroupa, P. 2013, MNRAS, 429, 1858
Daeson, A., Wetzel, A., Garrison-Kimmel, S. 2014, arXiv: 1406.3344
Jerjen, H., Tammann, G. A. 1997, A&A, 321, 713
Koleva, M. et al. 2009, MNRAS, 396, 2133
Martin, N. F. et al. 2004, MNRAS, 355, L33
Michel-Dansac, L. et al. 2010, ApJ, 717, 143L
Schneider, S. E., Helou, G., Salpeter, E. E., Terzian, Y 1983, ApJ, 273, L1
Stierwalt, S. et al. 2009, AJ, 138, 338
Thilker, D. et al. 2009, Nature, 457, 990