우리은하 구상성단에서 발견되는 제2세대 항성종족이 타원은하의 흡수선에 미치는 영향

● 정철, 임동욱, 나종삼, 강이정, 이영욱

연세대학교

초 록

우리은하 구상성단에서 발견되는 제2세대 항성종족이 우리은하 헤일로에 다량으로 존재한다는 사실은 우리은하 헤일로 형성 시 구상성단이 중요한 역할을 했다는 것을 암시한다. 더불어 조기형 은하 분광관측 분석에서 우리은하 구상성단의 제2세대 항성종족에서 증가된 원소들이 다량으로 검출된다는 사실은 조기형 은하 역시 우리은하 헤일로와 유사하게 구상성단 시스템과 밀접한 상호관계로 형성되었음을 시사한다. 우리 연구진은 이러한 두 가지 사실을 바탕으로 조기형 은하의 구상성단 시스템이 그 모은하 형성에 어떠한 역할을 했는지 GMT를 이용한 근거리 조기형 은하 분광관측과 다양한 흡수선의 진화종족합성 모델과의 비교를 통해 규명하고자 한다.

1. 과학 목적 및 요약

최근 우리은하 헤일로에서 다량으로 발견된 CN 함량이 증가된 별들은(Martell et al. 2011) 구상성단을 구성하는 별들이 우리은하 헤일로 형성에 매우 중요한 역할을 했다는 것을 강하게 암시한다. 본 관측 제안은 이러한 관측 사실을 바탕으로 구상성단 시스템과 그 모은하가 어떻게 형성되고 진화해왔는지, 또 상호작용을 해왔는지를 연구하기 위해 비교적 근거리에 존재하는 다양한 조기형 은하의 GMT를 통한 분광관측을 통해 알아보고자 한다.

본 관측팀의 관측 대상은 우리은하 주변의 다양한 질량의 조기형 은하이며, 목표로 하는 검출 대상은 3500A~9500A의 광학 영역에 집중되어 있는 N, Ca, 및 Na 흡수선들이다. 특히, 대상 조기형 은하들은 근거리의 은하이기 때문에 매우 짧은 노출로도 충분한 S/N을 확보할 수 있고 bright time에 GMT를 활용하기에 적합한 관측 주제이다. 또한 제안된 관측은 초기 GMT의 제원에서 가장 적합한 관측이 될 것으로 예상되며, 관측을 통해 최초로 구상성단이 모은하의 형성에 미친 영향을 항성종족모델과의 비교를 통해 밝혀낼 수 있을 것이다.

2. 연구 필요성, 배경 및 동향

1) 연구의 배경 및 필요성

우리은하 구상성단에서 발견되는 제2세대 항성종족은 일반적으로 N, Na, Ca, 및 He이 증가된 경향을, O의 경우는 감소된 경향을 보인다. 대표적으로 N이 증가된 경우 CN 흡수선이 매우 강해지는 경향을 보이는데, 재미있게도 최근 우리은하 헤일로의 낱별들을 관측한 결과 CN 흡수선이 매우 강한 별들이 다량으로 발견되고 있다. 이런 관측 결과가 중요한 의미를 갖는 이유는 CN 흡수선이 강한, 즉, N 함량이 증가된 별이 탄생할 수 있는 환경은 질량이 상대적으로 큰 구상성단에서만 가능하기 때문이다.

우리은하 구상성단에서 발견되는 제2세대 항성종족의 여러 특징을 이용하여 조기형 은하에서 관측되는 현상을 설명하려는 시도는 본 관측팀에서 제시된 타원은하의 자외광 상승 현상을 (ultra-violet upturn phenomenon) 설명하는 모델

을 최초로 시작되었다. 이 모델은 기존 진화종족합성 모델에 헬륨함량이 증가된 항성종족을 포함하여 다중종족 구상성단에서 보이는 다중주계열성과 (multiple main-sequence) 극수평계열성을 (extreme horizontal branch stars) 동시에 설명하며(그림 1 참조), 헬륨함량 증가로 생성된 극수평계열성을 이용하여 관측되는 타원은하의 자외광 상승 현상 역시 설명한다(Chung et al. 2011). 하지만 재미있게도 He 함량이 증가한 별은 제2세대 별들 중에서도 일부에만 나타나는 현상이고, 대부분의 제2세대 별들의 특징인 Na-O anti-correlation이나 다른 알파 원소들의 (C, N, O, Na, Ca 등) 조성비 차이를(D'Antona & Caloi 2008) 포함하는 항성종족에 관한 연구는 미비한 상황이다. 이는 만일 우리 관측팀의 가정, 즉, 구상성단이 그 모은하의 형성에 큰 영향을 미쳤다는 가정이 사실이라면 헬륨이 증가한 항성종족이 조기형 은하에 미치는 영향보다 이러한 원소들의 차이가 나는 별들이 조기형 은하에 미치는 영향이 매우 클 것이라는 사실을 암시한다.

우리 관측팀은 이러한 가능성을 바탕으로 다양한 조기형 은하에서 위에 열거

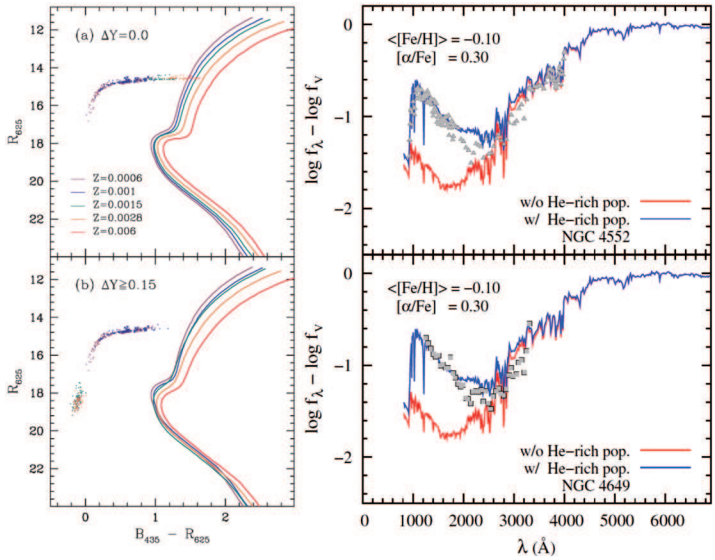

그림 1. 헬륨이 증가된 항성종족이 단일종족합성 모델(좌)과 복합종족합성 모델에 미치는 영향(우). (좌) 헬륨 함량이 증가한 항성종족을 이용하여 ω Cen의 다중주계열성과 극수평계열성을 동시에 설명할 수 있다(Lee et al. 2005). (우) 헬륨 함량이 증가한 항성종족에서 생성되는 극수평계열성을 이용하여 타원은하에서 발견되는 자외광 상승 현상(UV-upturn)을 자연스럽게 설명할 수 있다(Chung et al. 2011).

한 원소들의 함량을 검출해내어 구상성단 시스템과 그 모은하 사이의 상호 진화에 대한 실마리를 찾고자 한다.

2) GMT의 필요성

본 관측 제안에서 가장 중요한 것은 관측팀이 목표로 하는 다양한 원소들을 다양한 파장대역에서 정밀하게 측정해내는 것이다. 동일한 원소를 다른 파장대역에서 검출해야 하는 이유는 흡수선이 특정 원소의 지시자일 뿐만 아니라 항성종족의 온도와 중력에도 민감하게 반응하기 때문이다. 이는 최근 급속도로 증가한 조기형 은하의 초기질량함수의 함수 형태를 예측하는데 8183, 8195A에 나타나는 Na I doublet을 이용하는 것과도 매우 밀접한 연관성을 지닌다(van Dokkum & Conroy 2010). 따라서 다양한 파장대에 존재하는 흡수선을 모두 관측하여 정확한 원소함량을 검출해내는 지시자를 파악하고 그것을 바탕으로 함량을 분석하는 것이 본 관측 제안에서 가장 중요한 부분이다. 하지만 기존 조기형 은하에 관련된 흡수선 연구는 대부분 좁은 영역의 제한된 파장대역만을 사용하고 있어 흡수선 각각이 정확히 무엇을 지시하는지 알아내는 것이 쉽지 않다. 이에 반해 GMT에 장착된 GMACS와 GCLEF의 경우는 3500A~9500A에 이르는 영역의 적분 스펙트럼을 검출할 수 있고, 이 영역에 우리가 목표로 검출하기 원하는 흡수선들이 3883A에서 8662A까지 매우 넓게 분포하고 있기 때문에 다른 기기와 비교해서 GMT가 갖는 최대의 장점이 될 수 있다. 특히 GCLEF의 경우는 넓은 파장대역을 고분해능으로 모두 관측이 가능하기 때문에 정밀도 면에서 매우 중요한 역할을 해줄 것으로 기대한다. 또한 관측의 특성상 짧은 노출로도 원하는 결과를 얻을 수 있기 때문에, 두 기기로 동일한 관측을 시행하여 기기별 특성과 기기 간의 초기 영점 조정에도 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

GMT를 통한 이러한 연구가 중요한 이유는 적색이동이 큰 값을 갖는 은하의 제한된 파장 영역 스펙트럼을 분석하는 데 기준이 될 수 있기 때문이다. 본 연구팀은 이 연구 과제를 통해 실제로 각 흡수선이 어떤 원소의 지시자인지, 혹은 어떤 온도 및 중력값의 지시자인지를 판별해낼 수 있을 것으로 보며, 이를 바탕으로 여러 흡수선 중에 실제로 사용할 흡수선을 취사선택할 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 이 연구와 동시에 진행이 되면 좋은 과제는 이미 사용 가능한 6.5m, 8m급 망원경을 이용하여 최대한 넓은 파장 영역의 조기형 은하의 적분 스펙트

럼의 관측을 진행해두는 것이 필요하다. 최근 연구 결과에 따르면 6.5m(MMT, Smith et al. 2009) 및 8m급(Subaru, Yamada et al. 2006) 망원경을 이용한 관측들이 존재하지만 제한된 숫자의 조기형 은하를 제한된 파장대역에서 관측하는 데 그치고 있다. 따라서 GMT 시대를 대비하여 가용한 망원경을 사용하여 다양한 샘플을 미리 확보해두면 실제 GMT가 가동될 때 더 의미 있는 연구 결과를 좋은 통계를 바탕으로 도출해낼 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 선행 연구 이후 궁극적으로 GMT를 이용한 큰 적색이동 값을 갖는 조기형 은하의 종족연구 및 조기형 은하의 look-back time에 따르는 진화 연구도 비로소 가능할 것으로 본다.

3) 국내외 연구 동향

현재 우리은하 구상성단에서 발견되는 제2세대 별들의 특징을 분석하는 작업은 전 세계적으로 매우 활발하게 연구되고 있다. 하지만 이러한 화학조성의 차이를 우리은하 이외의 다른 항성종족에 적용한 경우는 본 관측팀을 제외하고는 매우 드물다. 대표적인 예로 최근 매우 활발히 관측이 행해지고 있는 외부은하 구상성단에 대한 연구에서조차 구상성단 시스템의 항성종족을 분석하기 위해서 가장 기본적인 화학조성을 포함하는 모델만 사용되고 있는 실정이다. 하지만 이미 관측사실로 밝혀진 M31 구상성단 시스템의 CN1,CN2 및 NaD 흡수선들의 증가된 현상은(Chung et al. 2013a, b) 대부분의 우리은하 구상성단들에서 나타나는 N 및 Na 함량이 증가된 별로 자연스러운 설명이 가능하다. 이와 더불어 NaD 흡수선이 매우 강한 다량의 조기형 은하의 발견은(Jeong et al. 2013) 우리 관측팀의 가정이 매우 가능성 있는 시나리오임을 반증해준다.

3. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 대상

본 관측은 우리은하 주변의 다양한 조기형 은하에 대한 분광관측이기 때문에 GMT의 한계까지 기기를 몰아가지 않아도 충분히 수행할 수 있는 관측이다. 하지만 적색이동 값이 조금 증가된 조기형 은하의 경우에는 8000A 후반의 Ca 흡수선 검출이 어려워지기 때문에 최대한 근거리의 다양한 질량의 조기형 은하로 관

측 대상을 한정하려 한다.

2) 사용 GMT 기기 및 관측 전략

우리가 관측 대상으로 분류한 우리은하 주변의 조기형 은하들 대부분은 90년대 초반부터 이루어진 다양한 분광관측을 통해 LICK 흡수선이 잘 측정되어 있다. 우리 관측팀은 대상 은하들에 대해 LICK 흡수선과 더불어 GCLEF와 GMACS로 확장할 수 있는 3000A 후반에서 8000A 사이에 위치한 N, Ca 및 Na 흡수선을 추가로 관측할 예정이다. 각각 흡수선의 검출 영역은 N의 경우 3883와 4160A이며 Na의 경우는 5680, 5893, 8183, 그리고 8159A, 마지막으로 Ca 흡수선은 3933, 3968, 4227, 8498, 8542와 8662A에서 검출할 계획이다.

관측 대상으로는 제2세대 별들의 영향을 가장 많이 받았을 것으로 예상되는 자외광 상승 현상을 보이는 조기형 은하와 자외광 상승 현상이 약한 조기형 은하들이 포함될 것이다. 조기형 은하의 8662A에 위치한 Ca 흡수선을 얻는 것이 중요하기 때문에 관측 적색이동은 z~0.1 이내의 은하들로 한정한다. 이러한 은하들의 V band 등급은 일반적으로 10~14등급이며, 15등급의 관측 대상을 기준으로 하였을 때 GCLEF와 GMACS 각각 3600x2초와 1200초의 노출로 관측하면 충분한 S/N을 3500A~9500A에서 얻을 수 있다(그림 2 참조). 보름달을 가정한 상태에서도 매우 짧은 노출로 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 관측팀이 선호하는 분광관측은 long-slit 모드로, 이렇게 관측할 경우

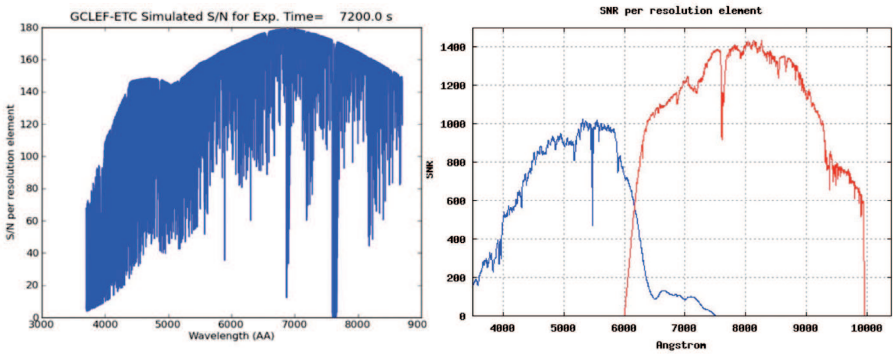

그림 2. 보름달인 경우를 가정하고 V band 15등급의 별의 관측(좌)과 r band 등급 15등급의 타원은하관측(우)을 각각 GCLEF와 GMACS를 사용하여 7200초(3600x2초)와 1200초의 노출로 관측하였을 때 S/N의 파장별 분포.

10~19초의 데이터를 반경에 따라 검출할 수 있게 된다. 따라서 관측이 잘 수행된다면, 조기형 은하의 반경방향으로의 항성종족의 특성을 분석하여 조기형 은하의 별 형성 역사를 추론하는 데 도움을 줄 것으로 기대된다.

4. 연구 결과의 기대 성과

본 관측 제안은 크게 네 가지 연구 그룹과 상호연관성을 지닌다. 네 가지 연구 그룹은 각각, 우리은하 구상성단 내의 낱별의 화학조성을 연구하는 그룹, 우리은하 헤일로의 낱별을 연구하는 그룹, 외부은하 구상성단 시스템의 항성종족을 연구하는 그룹, 그리고 마지막으로 외부은하 자체의 항성종족을 연구하는 그룹이다. 이 네 그룹의 연구는 서로 매우 밀접히 연관되어 있지만, 실제 각각의 제한된 연구 분야에서만 연구 결과가 제시되고 상호연관성이나 유사성을 바탕으로 한 연구의 진행은 매우 저조한 상황이다. 하지만 최근 연구에서는 이들 간의 상호 연계를 암시하는 결과들이 속속 제시되고 있다.

만일 본 관측 제안이 성공적으로 수행된다면, 조기형 은하의 형성과 진화에 미친 구상성단 시스템의 영향을 체계적으로 연구할 수 있게 될 것으로 기대된다. 특히 조기형 은하 내의 구상성단 시스템의 형성 시기와 화학적 진화에 대한 정밀한 연구가 가능해져 조기형 은하에서 나타나는 다양한 원소함량의 기원을 밝혀낼 수 있을 것으로 기대된다.

5. 인용문헌

Chung, C., Lee, S.-Y., Yoon, S.-J., & Lee, Y.-W. 2013, ApJL, 769, L3

Chung, C., Yoon, S.-J., Lee, S.-Y., & Lee, Y.-W. 2013, ApJS, 204, 3

Chung, C., Yoon, S.-J., & Lee, Y.-W. 2011, ApJL, 740, L45

D'Antona, F., & Caloi, V. 2008, MNRAS, 390, 693

Jeong, H., Yi, S. K., Kyeong, J., Sarzi, M., Sung, E., Oh, K. 2013, ApJS, 208, 7

Lee, Y.-W. et al. 2005, ApJ, 619, L103

Martell, S. L., Smolinski, J. P., Beers, T. C., & Grebel, E. K. 2011, A&A, 534, A136

Smith, R. J., Lucey, J. R., Hudson, M. J., et al. 2009, MNRAS, 392, 1265
van Dokkum, P. G. & Conroy, C. 2010, Nature, 468, 940
Yamada, Y., Arimoto, N., Vazdekis, A., Peletier, R. F. 2006, ApJ, 637, 200