적색이동 0.5 이상에 위치한 밀집 은하군의 특성 연구

● 손주비[1], 이명균[1], 황호성[2], 이광호[1], 이종철[3]

서울대학교[1], Harvard Smithsonian Center for Astrophysics[2], 한국천문연구원[3]

1. 과학 목적 및 요약

본 관측 제안팀은 z > 0.5에 위치한 밀집 은하군(Compact groups of galaxies) 후보에 속한 은하들을 분광관측하여 먼 우주의 밀집 은하군의 특성(크기, 질량, 역학적 특성, 은하 형태)을 연구하고자 한다. 이 특성을 가까운 우주에서 보이는 밀집 은하군의 특성과 비교하여 우주의 진화에 따른 변화가 있는지 살펴볼 것이다. 또한 먼 우주에서 발견되는 밀집 은하군 주변의 거대 구조의 존재를 확인하고, 그로부터 밀집 은하군 형성에 대한 단서를 얻고자 한다. 나아가 우주론적 모의실험 자료에서 예측된 밀집 은하군의 특성과 관측된 밀집 은하군을 비교하여 그 형성과 진화에 대해 연구할 것이다.

밀집 은하군은 수 개의 은하가 수십 kpc 이내에 집중적으로 모여 있는 환경이다. 밀집 은하군은 은하 간 상호작용이 가장 활발한 환경으로 생각된다. 이론

적 예측에 따르면, 밀집 은하군 은하들은 빠른 시간 내에 하나의 은하로 병합하여, 그 구조를 유지할 수 없다. 그러나 예상과는 달리 가까운 우주에서 밀집 은하군이 상당히 많이 발견되어왔다. 이를 설명하기 위해 제시된 가설 중 하나는 밀집 은하군이 주변의 거대 구조와 연결되어 있어 주변 환경으로부터 은하가 지속적으로 유입되어 밀집 은하군의 형태가 유지된다는 것이다. 현재까지는 $z < 0.2$로 한정된 밀집 은하군 표본을 이용하여 절반 이상의 밀집 은하군이 주변 거대 구조와 상관관계가 있다는 결론을 제시하였다. 더 먼 우주에서 밀집 은하군이 주변 거대 구조와 어떤 관계가 있는지 자연스럽게 의문을 제시할 수 있다.

먼 우주에 위치한 밀집 은하군에 대한 연구를 통해 밀집 은하군 환경에서 은하의 형성과 진화에 대한 조사도 수행할 수 있다. 특히 밀집 은하군은 현재 저밀도 지역(field)에서 발견되는 타원은하가 형성되는 환경으로 생각된다. 따라서 이 연구가 현재 우주에서 관측되는 타원은하의 형성 과정을 이해하는 데 기여할 것으로 기대한다.

2. 연구 필요성, 배경 및 동향

1) 연구의 배경 및 필요성

은하의 진화에 영향을 끼치는 다양한 요소 중 은하 환경에 의한 효과는 오랫동안 연구되어온 연구 주제다. 은하 주변의 밀도는 은하 간 상호작용 혹은 병합할 확률과 직접적으로 연결되어 있다. 고밀도 환경에서 은하 간 상호작용이 저밀도 환경에 비해 활발할 것으로 예상된다. 은하 간 상호작용 및 병합은 은하의 형태, 질량, 별을 형성하기 위한 기체 함량 및 온도 등을 변화시키는 것으로 생각된다. 따라서 고밀도 지역에 위치한 은하는 상대적으로 빈번한 상호작용을 통하여 진화가 빠르게 나타나고, 주변의 은하 밀도가 낮은 지역에 위치한 은하는 상대적으로 천천히 진화한다.

밀집 은하군은 은하가 놓인 다양한 환경 중 가장 특이한 환경이다. 밀집 은하군에는 보통 4개 정도의 은하가 은하 반경의 수 배 정도 되는 좁은 영역에 집중되어 있다. 이 환경의 은하 밀도는 은하단 중심부만큼이나 높은 반면, 구성 은하들 사이의 상대적 속도 차이는 작다. 따라서 밀집 은하군에서 은하 간 상호작용

확률이 다른 어떤 은하 환경보다 높다. 또 은하들이 마주치는 경우 오랫동안 상호작용할 것으로 예상된다. 그러므로 은하 간 상호작용이 은하의 형성과 진화에 끼치는 영향을 살펴보기에 밀집 은하군은 매우 흥미로운 환경이라고 할 수 있다.

밀집 은하군에서 은하들은 활발한 상호작용을 통해 빠른 시간 안에 병합하여 하나의 조기형 은하로 진화할 것으로 예측된다(Barnes 1989). 여러 연구들에서 밀집 은하군이 진화하여 화석 은하군(Fossil group)이 될 것이라고 예견한 바 있다(Ponman et al. 1994; Jones et al. 2003; Mendes de Oliveira & Carrasco 2007). 화석 은하군은 저밀도 환경에서 주로 발견되는 X-ray를 방출하는 기체로 뒤덮인 밝은 타원은하 주변에 2등급 이상 어두운 은하들이 남아 있는 구조다. 화석 은하군의 밝은 타원은하는 밀집 은하군의 은하들이 병합하여 만든 것으로 생각된다. 이렇게 밀집 은하군에 대한 연구는 현재 우주의 조기형 은하의 형성 환경을 이해할 수 있는 단서를 제공한다.

밀집 은하군의 기원과 진화를 연구하기 위해서는 먼저 잘 정의된 밀집 은하군의 표본이 필요하다. 비슷한 연구가 진행된 은하단의 경우, 하나의 은하단에 수백~수천 개의 은하가 모여 있으므로 표본을 확보하기가 비교적 쉽다. 그러나 밀집 은하군의 경우 구성 은하의 수가 4개 정도이기 때문에 그 특성을 파악하기 위해서는 많은 수의 밀집 은하군을 확보한 뒤, 종합하여 연구할 필요가 있다.

현재까지 밀집 은하군의 표본을 확보하기 위한 노력은 여러 차례 있었다(표 1). 그중 대표적인 것이 Hickson(1982)에서 은하의 위치와 밝기를 이용해 정의한 밀

표 1. 대표적인 밀집 은하군 목록. 탐사 표본은 밀집 은하군 탐사를 수행한 은하 표본을 의미한다. 측광학적으로 선정한 밀집 은하군은 밀집 은하군 후보의 개수이고, 분광학적으로 선정한 밀집 은하군은 개수가 4개 이상으로 구성된 밀집 은하군의 개수이다.

형태	목록	탐사 표본	후보 개수	적색 이동 범위
측광	Hickson(1982)	Palomar Obs. Sky Survey	100개	
	Lee et al.(2004)	SDSS Data Release4	175개	
	McConnachie et al.(2009)	SDSS Data Release6	2,297개	
분광	Hickon et al.(1992)	Palomar Obs. Sky Survey	69개	$z<0.03$
	Barton(1996)	Center for Astrophysics Survey	89개	$z<0.04$
	Pompei & Iovino(2012)	Palomar Obs. Sky Survey	96개	$0.04<z<0.22$

집 은하군 기준이다. 지금도 사용되는 Hickson의 밀집 은하군 정의는 아래와 같다(그림 1 참조).

(1) 가장 밝은 은하와 밝기 차이가 3등급 이내인 은하가 4개 이상 모여 있다.

(2) 구성 은하를 모두 포함하는 가장 큰 원의 반지름의 3배 크기의 대원을 그렸을 때, 대원 안에 구성 은하 중 가장 밝은 은하와 3등급 이내의 밝기 차를 갖는 은하가 없는 고립된 구조다. (이하 고립기준, isolation criterion)

(3) 구성 은하를 모두 포함하는 가장 큰 원 안의 표면밝기가 26등급/각 분초^2(mag/arcsec^2)보다 밝다.

그러나 위의 기준은 밀집 은하군 정의를 위해 측광 정보만을 사용하였기 때문에 한계가 있다. 먼저, 우연히 같은 시선방향에 위치하고 거리가 서로 다른 은하들로 이루어진 '가짜' 밀집 은하군을 많이 찾게 된다. 측광학적으로 위의 기준만 만족시키면 실제로 같은 거리에 놓여 있지 않은 은하들이 모여 있을 때도 밀집 은하군으로 선택된다. 또한, 2번의 고립 기준을 적용하여 밀집 은하군을 검출하는 경우, 선택적으로 고밀도 환경에 있는 밀집 은하군을 배제하게 된다. 만약 고

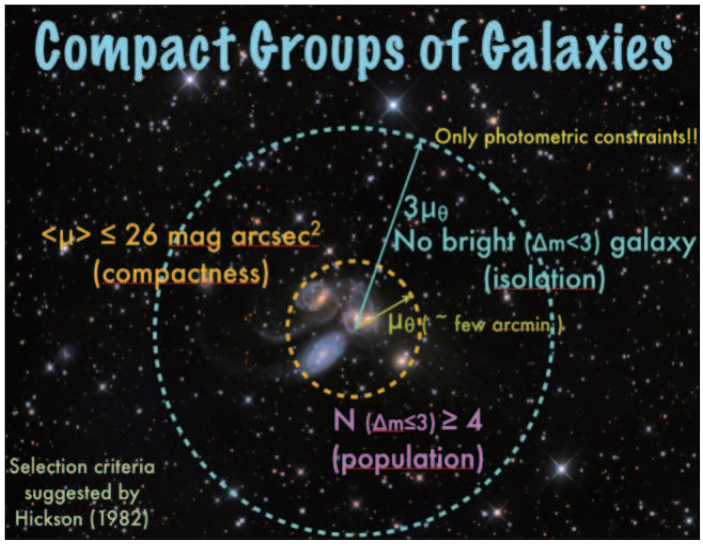

그림 1. Hickson(1982)에서 제시한 밀집 은하군 선정 기준.

밀도 지역에 밀집 은하군의 특성을 보이는 구조가 있는 경우, 주변 은하 밀도가 높기 때문에 은하군 주변에 한두 개의 은하가 있는 경우 고립 기준을 만족시키지 못하게 된다. 실제로 이런 밀집 은하군 후보들은 기존의 밀집 은하군 목록에서 대부분 빠져 있다.

이를 해결하기 위해서는 두 가지 방법을 적용할 수 있다. 먼저 밀집 은하군 후보의 구성 은하들 각각에 대한 분광관측을 수행하여 구성 은하들이 모두 같은 거리에 놓여 있는지 확인하는 것이다. 이 과정을 통해 밀집 은하군 후보들 중 우연히 같은 시선방향에 놓여 선택된 경우를 제거할 수 있다. 두 번째로는 고립 기준을 배제하고 밀집 은하군을 선정하는 방법이다(Barton et al. 1996). 고립 기준을 적용하지 않음으로써 관측적으로 편향되지 않은(unbiased) 완전한 밀집 은하군의 표본을 확보하는 것이다. 두 가지 방법 모두 분광관측을 통한 거리 측정을 필요로 한다.

밀집 은하군은 은하 간 상호작용 및 병합이 활발한 불안정한 계(system)다. 여러 연구에서 밀집 은하군 은하들이 약 20억 년 이내에 병합하여 은하군의 형태를 오랫동안 유지할 수 없다고 예측하였다(Barnes 1989, Pompei & Iovino 2012). 그럼에도 불구하고 가까운 우주에서는 아주 많은 수의 밀집 은하군이 발견된다. 예를 들어, Sloan Digital Sky Survey(SDSS) Data Release 6(DR6)의 측광 정보를 사용하여 밀집 은하군을 탐사한 경우, 7만 개 이상의 밀집 은하군 후보를 검출하였다(McConnachie et al. 2009). 이렇게 많은 수의 밀집 은하군을 설명하기 위하여 밀집 은하군의 기원에 대해 다음과 같은 가설들이 제안되어왔다.

(1) 측광학적인 방법으로 선택된 많은 수의 밀집 은하군은 서로 같은 거리에 놓여 있지 않은 은하들이 우연히 같은 시선방향에 모여 있는 구조이다.

(2) 현재 관측되는 밀집 은하군은 막 형성된 것이다. 빠른 시간 내에 병합하여 사라질 것이다.

(3) 밀집 은하군은 기존의 이론적 예측과는 달리 오랫동안 그 형태를 유지할 수 있다.

(4) 밀집 은하군의 구성 은하들은 수시로 병합하여 사라지지만, 주변의 우주거대구조(cosmic large-scale structure) 혹은 성긴 은하군(loose group)으로부터 새로운 은하들이 공급되어 밀집 은하군의 형태를 지속적으로 유지한다.

어떠한 가설이 밀집 은하군의 기원과 진화를 정확히 예측하고 있는지에 대한 연구는 몇 차례 진행되어왔다. 이러한 연구는 주로 가까운 우주($z < 0.20$)에 위치한 수십여 개의 밀집 은하군을 이용하여 이루어졌다. 예를 들어, Hickson et al.(1992)는 100개의 밀집 은하군 후보에 대한 분광관측을 수행하여 약 30%가 같은 거리에 놓여 있지 않은 은하들로 구성된 것임을 확인하였다. 즉, 밀집 은하군 후보의 상당수가 우연히 같은 시선방향에서 관측된 것임을 알 수 있다. 최근 McConnachie et al.(2009)에서는 SDSS를 이용하여 검출한 2,297개의 밀집 은하군 중 적어도 55%가 '가짜' 밀집 은하군임을 언급한 바 있다. 밀집 은하군의 기원을 조사하기 위해서 분광관측이 반드시 필요한 이유이다.

밀집 은하군 은하들의 역학적 특성(dynamics)을 조사하여 밀집 은하군의 기원에 대해서도 연구할 수 있다. 현재까지 밀집 은하군의 안정성에 대해서는 주로 모의실험을 통해 연구되었다. 다체-모의실험(N-body simulation) 결과에 따르면 밀집 은하군에서 은하들은 횡단 시간(crossing time, 10-20억 년) 내에 하나의 타원은하로 병합할 것으로 예측된다(Barnes 1989). 한편, 또 다른 모의실험들에서는 밀집 은하군이 무거운 암흑물질 헤일로에 묻혀 있는 등의 상황에서는 90억 년 이상 그 형태를 유지할 수 있다는 결과도 제시되었다(Athanassoula, Makino &

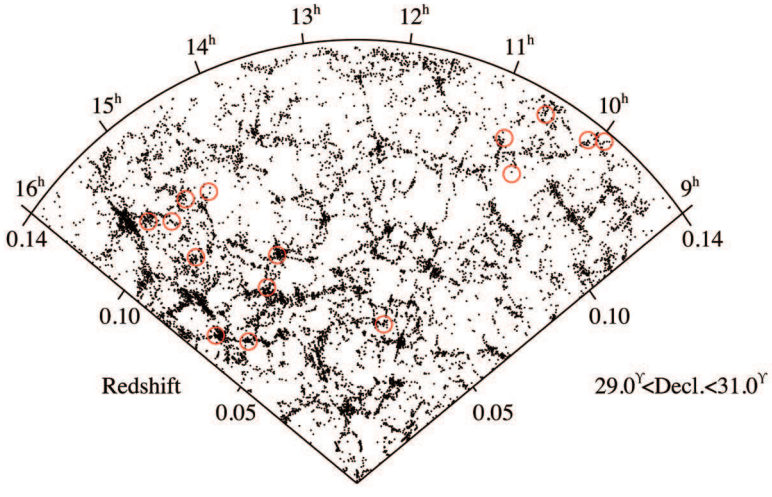

그림 2. Mendel et al.(2011)의 밀집 은하군(빨간 원)과 주변 거대 구조의 공간 분포. 몇 개의 밀집 은하군은 확실히 거대 구조 안에 위치한다. 반면 독립적으로 존재하는 밀집 은하군도 간혹 보인다.

Bosma 1997). 밀집 은하군 은하들에 대한 분광관측은 밀집 은하군의 안정성에 대한 관측적인 증거를 제시할 수 있다. 각 구성 은하들의 속도 정보를 얻고, 이로부터 밀집 은하군의 질량과 횡단 속도 등을 측정하여 모의실험 결과와 비교할 수 있다. 필요하다면 새로운 모의실험을 위한 기본 자료로 분광관측 결과를 활용할 수도 있다. Diaferio & Geller(1996)는 밀집 은하군의 은하 쌍 속도 분포(Pairwise velocity distribution, 은하군 내의 구성 은하들로 구성하는 각 은하 쌍의 속도 차이 분포)를 통해 밀집 은하군이 얼마나 안정되어 있는지를 논의한 바 있다. 이 연구에서는 무거운 은하단과 밀집 은하군의 은하 쌍 속도 분포의 차이를 지적하고, 이 차이는 밀집 은하군이 최근에 형성되었기 때문이라고 해석하였다. 비슷한 연구를 먼 우주의 밀집 은하군에 대해 적용해볼 수 있다.

밀집 은하군과 주변 거대 구조(혹은 성긴 은하군)와의 상관관계에 대한 연구도 수행된 적 있다. Mendel et al.(2011)은 약 50%의 SDSS 밀집 은하군의 주변 1Mpc 이내에 거대 구조가 있다고 보고한 바 있다. 또, Pompei & Iovino(2012)는 z~0.1에 위치한 밀집 은하군 중 76%가 주변의 거대 구조 안에 파묻혀 있다고 주장하였다. 그러나 이들이 사용한 주변 거대 구조 표본은 균일하지 못하다. 또한 밀집 은하군 표본은 고립 조건을 적용하여 선정한 것으로 고밀도 지역에 위치한 밀집 은하군이 제거된 표본이다. 따라서 고립 조건을 이용하지 않고 선정된 밀집 은하군에 대해 주변 거대 구조와의 관계를 살펴봐야 밀집 은하군의 기원에 대해 정확히 이해할 수 있다.

최근 진행된 밀집 은하군에 대한 연구들은 Hickson(1982)에서 제시하고 있는 $z < 0.02$에 위치한 수십여 개의 밀집 은하군을 주로 사용하였다. 이 밀집 은하군 표본은 가까운 우주에 국한되어 있다. 본 관측 제안팀은 SDSS 밀집 은하군 표본을 이용하여 밀집 은하군의 특성을 살펴보는 연구를 진행하고 있다. 현재까지 살펴본 결과에 따르면 $0.03 < z < 0.15$의 좁은 영역에서는 밀집 은하군의 특성이 크게 변화하지 않는 것으로 보인다. 예를 들어 그림 3에서와 같이 적색이동에 따른 밀집 은하군의 속도 분산(velocity dispersion)의 분포가 거의 변하지 않는다. 이러한 조사를 더 먼 우주의 밀집 은하군으로 확장 적용하게 된다면, 밀집 은하군의 기원에 대해서 잘 이해할 수 있을 것이다. 특히, 가까운 우주와 먼 우주에서 밀집 은하군의 특성(구성 은하의 형태, 은하군의 질량 등)을 비교 분석하여, 밀집 은하군의 기원에 대한 중요한 단서를 얻을 것으로 기대한다.

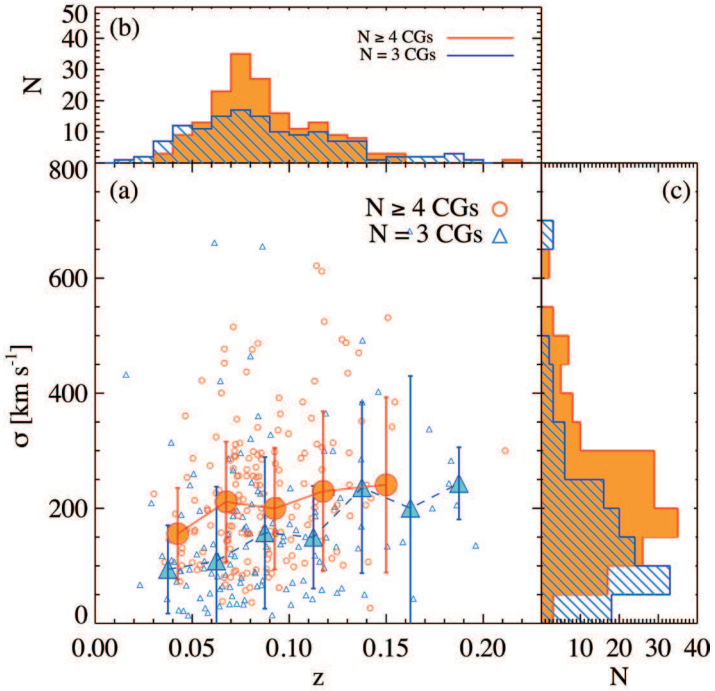

그림 3. SDSS 밀집 은하군의 속도 분산 대 적색이동량의 분포. 빨간색과 파란색은 각각 4개 이상, 3개의 구성 은하를 갖는 밀집 은하군을 나타낸 것이다. $0.03 < z < 0.15$ 구간에서는 밀집 은하군의 속도 분산이 거의 변하지 않는 것으로 보인다.

먼 우주의 밀집 은하군에 대한 연구는 은하 형성 과정을 이해하는 데도 도움이 될 것으로 생각된다. Wilman et al.(2009)에 따르면 z~0.4에 위치한 은하군에서 이미 조기형(E, S0) 은하가 만기형 은하보다 많이 나타난다. 조기형 은하의 형성이 그보다 먼저 이루어졌음을 암시한다. 앞서 언급한 것처럼 밀집 은하군에서 조기형 은하가 빠르게 형성된다면, $z > 0.5$에 놓인 밀집 은하군들은 조기형 은하가 형성되는 현장이라고 할 수 있다. 따라서 이 환경에 속한 (조기형 은하를 만들어낼) 은하들의 특성 등을 살펴볼 수 있는 기회가 될 것이다.

2) GMT의 필요성

본 관측 제안의 목적을 달성하기 위해 GMT가 필요한 이유는 두 가지다. 먼저 망원경의 구경이 증가함에 따라, 짧은 노출시간으로 더 어두운 은하에 대한 분광관측을 수행할 수 있기 때문이다. 최근 10.4m Gran Telescopio Canarias의

OSIRIS 분광기를 이용하여 z~0.3에 위치한 밀집 은하군 구성 은하(i < 20.5)에 대해 1시간 노출로 R = 1000의 분해능의 스펙트럼을 얻었다(Gutierrez 2011). 비교적 가깝고 밝은 밀집 은하군을 관측했음에도 하룻밤에 3개의 밀집 은하군을 관측할 수 있었다. 본 관측 제안팀에서 목표로 하고 있는 z > 0.5에 위치한 밀집 은하군의 더 어두운 은하들에 대한 분광관측을 효율적으로 수행하기 위해서는 GMT의 강력한 집광력이 필요하다.

GMT가 본 관측 과제에 필요한 두 번째 이유는 GMACS의 다천체 분광 기능(Multi-Object Spectroscopy) 때문이다. 본 관측 제안에서는 관측 대상으로 삼은 밀집 은하군뿐 아니라 그 주변의 거대 구조에 속한 은하들에 대한 분광관측도 동시에 수행하고자 한다. 이 과정을 통해 밀집 은하군과 주변 구조와의 관계를 확인할 수 있기 때문이다. GMACS의 현재 계획된 시야에 해당하는 물리적 거리는 z~0.5에서는 최대 3.3Mpc 정도로 이 거리 안에 있는 거시적 은하 환경을 조사할 수 있다. 이러한 조사를 효율적으로 수행하기 위해서 비교적 넓은 영역에 분포한 어두운 은하들에 대해 동시에 분광관측을 수행할 수 있는 GMT/GMACS가 필요하다.

3. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 대상

본 관측 과제는 측광관측을 통해 밀집 은하군 후보가 선택되어 있는 지역을 대상으로 수행하는 것이 좋다. 예를 들어 SDSS의 자료에서 검출된 밀집 은하군 목록 중 z > 0.5 영역에 위치한 것으로 알려진 밀집 은하군이 20여 개가 있다. 이 밀집 은하군들의 구성 은하 및 주변 은하들에 대한 관측을 수행하는 경우, 현재까지 관측된 가장 먼 밀집 은하군 표본을 확보할 수 있다.

추후 GMT로 관측하는 시기가 되면, 여러 가지 관측 자료로부터 z > 0.5에 위치한 밀집 은하군 후보를 더 많이 확보할 수 있을 것으로 생각된다. 뿐만 아니라, 좁은 영역에 대한 측광 및 분광탐사를 통해, 밀집 은하군 후보를 찾게 되면 본 관측 과제의 좋은 연구 대상이 될 것으로 생각한다.

2) 사용 GMT 기기 및 관측 전략

본 관측 과제에서는 GMT/GMACS를 이용하여 밀집 은하군 및 주변 은하들에 대해 저분해능으로 다중분광관측을 수행하고자 한다. GMACS의 시야가 4.5×9 제곱각분이라고 하면, z~0.5에 위치한 밀집 은하군과 주변 3.3Mpc의 은하에 대해 동시에 관측할 수 있다. 관측은 밀집 은하군 주변 영역에 대해 한 번 정도의 노출을 수행할 것이다. 은하의 스펙트럼으로부터 은하의 후퇴 속도를 측정하는 것이 기본적인 목적이다. 따라서 우리는 4000~10000Å에서 S/N > 10의 양질의 스펙트럼을 얻고자 한다. 이 스펙트럼에서 Hβ, [OII] 3727Å, Ca H&K 3968Å, 4000Å break 등의 분광선들을 이용하여 적색 이동을 측정할 것이다. R~2000의 분해능은 밀집 은하군의 속도로부터 구성 은하를 결정하기 충분한 분해능이다.

본 과제에서 SDSS 밀집 은하군 후보들의 r = 21등급(현재 SDSS 밀집 은하군 목록 한계)보다 밝은 은하를 관측한다면 한 밀집 은하군 주변을 탐사하는 데 10분 정도로 충분하다. z > 0.5의 밀집 은하군에서 M_r~-20등급의 은하들이라면 r~22.5 등급 정도이다. 이 은하들의 S/N > 10의 스펙트럼을 얻으려면 20분 정도의 노출이 필요하다. 즉, 하룻밤(8시간)의 관측으로 약 25개 정도의 밀집 은하군과 그 주변 거대 구조에 대한 정보를 얻을 수 있다. 밀집 은하군의 통계적인 특성을 확인하기 위해 50개 정도의 밀집 은하군 표본을 확보해야 한다. 단, 분광관측을 수행하였을 때, 같은 공간에 모여 있지 않은 '가짜' 밀집 은하군일 가능성을 고려해야 한다. 따라서 좀 더 많은 수의 밀집 은하군 후보를 관측해야 한다. Pompei & Iovino(2012)에서는 분광관측으로 밀집 은하군 후보 중 약 75%를 밀집 은하군으로 확정하였다. 이를 기준으로 하면, 60~70여 개의 밀집 은하군 후보에 대해 3일 정도의 관측을 수행하면 본 과제에서 목표를 달성할 수 있다.

3) 8m급 망원경을 이용한 사전 연구 계획

본격적으로 GMT를 이용한 과제 수행에 앞서 8m급 망원경을 이용하면 z~0.3-0.5의 밀집 은하군 표본을 충분히 확보할 수 있다. 본 과제의 중요한 목표 중 하나는 우주의 진화에 따른 밀집 은하군의 특성 변화가 있는지 살펴보는 것이다. 이를 위해서는 추후 GMT를 이용해 확보할 먼 우주(z > 0.5)의 밀집 은하군 표본과 현재까지 알려진 가까운 밀집 은하군 표본의 중간 정도 적색이동량(intermediate red shift)을 갖는 밀집 은하군이 비교 표본으로 필요하다. 현재까지

알려진 z~0.3의 밀집 은하군은 3개밖에 되지 않아 비교 표본으로 사용하기에 부족함이 있다.

8m급 망원경을 이용한다면, SDSS를 이용한 밀집 은하군 후보 목록 중 z > 0.3의 대상들에 대해 관측할 수 있다. 이 대상 밀집 은하군들은 r~21등급의 은하들로 구성되어 있다. 8m급 망원경을 이용하는 경우 2시간의 노출로 S/N~10 정도의 스펙트럼을 얻을 수 있다. 다천체 분광기를 사용한다면, 하룻밤에 4-5개 정도의 현재까지 알려진 가장 먼 밀집 은하군 후보들에 속한 은하들의 스펙트럼을 얻을 수 있다. 이 정보를 통해 밀집 은하군의 구성원을 확정하고, 밀집 은하군의 질량 등을 측정하여 가까운 우주의 밀집 은하군의 특성과 비교해볼 수 있다.

본 과제에서 목표하는 바를 8m급 망원경으로 달성하기에는 어려움이 있다. 본 과제에서 대상으로 삼은 은하들은 r~22.5등급의 z > 0.5 이상에 놓인 밀집 은하군 후보의 은하들이다. 이들은 8m급 망원경을 이용하는 경우, 5시간의 노출을 줄 때 겨우 S/N~3 정도의 스펙트럼을 얻을 수 있다. 이 경우 z > 0.5의 밀집 은하군에 대한 검출할 수 없다. 따라서 8m급 망원경을 이용한 관측은 중간 정도 적색이동량을 갖는 밀집 은하군에 대한 관측에 적합하다.

4. 연구 결과의 기대 성과

본 관측 과제는 기존의 밀집 은하군 연구에 비해 두 가지 장점을 갖는다. 먼저, 지금까지 밀집 은하군이 발견되지 못한 먼 우주에 있는 밀집 은하군 표본을 확보할 수 있다. 현재까지 확보된 가장 먼 밀집 은하군은 z~0.3 정도이다. 이보다 멀리 있는 밀집 은하군을 검출하고, 그들의 특성을 살펴봄으로써, 먼 우주에서 밀집 은하군의 특성이 현재 우주의 그것과 비슷한지 다른지 살펴볼 수 있다. 즉, 우주가 진화함에 따라 밀집 은하군의 진화가 있는지 없는지 확인하는 첫 번째 연구가 될 것이다. 이 연구가 밀집 은하군 자체의 기원과 진화뿐 아니라, 가까운 우주의 조기형 은하들의 형성 환경에 대한 이해도 넓혀줄 것으로 기대한다.

두 번째 장점은 밀집 은하군과 주변 거대 구조에 속한 은하들을 동시에 관측하여 멀리 있는 밀집 은하군의 기원에 대한 연구할 수 있다. 지금까지의 연구에서 밀집 은하군과 주변 구조와의 관계는 제한적으로 조사되어왔지만, 절반 정도

는 주변에 거대 구조가 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 경향이 거대 구조가 현재에 비해 덜 발달한 먼 우주에서도 그대로 유지되고 있을지 확인해볼 필요가 있다. 이를 바탕으로 하여, 먼 우주에서의 밀집 은하군의 기원이 주변 구조로부터 은하의 지속적인 공급에 의한 것인지 아닌지를 조사할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 인용문헌

Athanassoula, E., Makino, J., & Bosma, A. 1997, MNRAS 286, 825
Barnes, J. E. 1989, Nature, 338, 123
Barton, E., Geller, M., Ramella, M., et al. 1996, AJ, 112, 871
Diaferio, A., & Geller, M. J. 1996, ApJ, 467, 19
Governato, F., Bhatia, R., & Chincarini, G. 1991, ApJL 371, L15
Gutierrez, C. M. 2011, ApJL, 737, L21
Jones, L. R., Ponman, T. J., Horton, A., et al. 2003, MNRAS, 343, 627
Hickson, P. 1982, ApJ, 255, 382
Hickson, P., Mendes de Oliveira, C., et al. 1992, ApJ, 399, 353
McConnachie, A. W., Patton, D. R., et al. 2009, MNRAS, 395, 255
Mendel, J. T., Ellison, S. L., et al. 2011, MNRAS, 418, 1409
Mendes de Oliveira, C. L., & Carrasco, E. R. 2007, ApJL, 670, L93
Pompei, E., & Iovino, A. 2012, A&A, 539, A106
Ponman, T. J., Allan, D. J., Jones, L. R., et al. 1994, Nature, 369, 462
Wilman, D. J., Oemler, A., Jr., Mulchaey, J. S., et al. 2009, ApJ, 692, 298