서문

고적색이동 우주

● 임명신(서울대학교)

'고적색이동 우주(High red shift Universe)' 분야에서는 고적색이동 우주에서의 천체 현상에 대한 GMT 연구 제안서 7편을 다룬다. '고적색이동'이라는 단어의 정의 자체가 다소 모호한 면이 있어 사람에 따라 $z > 1$을 고적색이동이라 부를 수도 있고, $z > 6$ 정도가 되어야 고적색이동이라 부르기도 할 것이다. '고적색이동 우주' 분야에 제출된 제안서 중에는 $1 < z < 3$ 정도의 적색이동 범위의 천체 현상을 다루는 것들도 여럿 있었지만, 분야별 제안서 조정을 하는 과정에서 고적색이동 우주 분야는 $z > 2$-3 정도의 천체 현상에 대한 제안서만을 다루기로 하였다.

최근 고적색이동 우주 연구의 발전은 눈부시다. 허블 우주망원경을 이용한 심우주 관측을 통해 $z = 9$-10에 이르기까지 별 형성 은하들에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 퀘이사의 경우 $z = 7$, 감마선폭발천체(GRB)의 경우 $z = 9$까지 고적색이동 천체가 발견되었다. 이들 고적색이동 천체를 이용한 초기우주의 별 탄생

과정과 우주의 재이온화 과정에 대한 연구가 한창 진행 중이다. 수년 후 발사 예정으로 있는 James Webb Space Telescope(JWST)가 가동되기 시작하면 이 분야 연구는 더욱 발전할 것이다.

고적색이동 우주 연구의 주력 파장은 근적외선이다. 그러나 GMT 1세대 관측기기인 GMACS와 G-CLEF는 가시광선 파장을 기반으로 한다. 따라서 이러한 기기를 가지고 얼마나 경쟁력 있는 연구를 수행할 수 있을지 다소 걱정스러운 면이 있었던 것이 사실이다. 하지만 이번에 제안된 연구들은 매우 흥미로운 주제를 다양하게 다루고 있어서 그러한 걱정이 기우였음을 증명하고 있다.

GMT 시대 주요 연구는 우주의 나이를 최대한 거슬러 올라가 매우 큰 고적색이동 값을 가지는 천체를 연구하는 것이 한 축을 이루는 반면, 그동안 제대로 살펴보지 못했던 고적색이동 우주 은하 주변의 기체와 희미한 천체들을 연구하여 은하 형성과 진화의 물리적인 가정을 규명하는 것이 또 다른 한 축을 이룰 것으로 보인다. 이번에 제안된 연구들은 대부분 GMT의 특성을 잘 살릴 수 있는 후자에 속하는 연구 주제다. 우선 초기우주 별 탄생과 밀접한 관계를 갖는 기체의 운동과 특성 파악에 대한 제안서들이 눈에 띈다.

"거대마젤란망원경을 이용한 라이만 알파 성운의 본질 연구"(양유진)는 원시은하의 탄생처로 여겨지고 있으나 그 본질이 아직도 제대로 밝혀지지 않는 Lyα 성운을 상세히 연구해보자는 것이다. 광시야 영상탐사관측을 통해 2020년대에는 다수 발견이 되어 있을 $2 < z < 6$의 Lyα 성운들의 복사 기작, 별 형성률, 금속함량, 은하바람의 속도, 질량 등을 Lyα 성운과 Lyα 성운 배후에 있는 퀘이사나 은하의 스펙트럼을 이용하여 알아내고자 하는 연구이다. Lyα 성운의 표면광도가 매우 낮으며 중원소 흡수선의 선폭 또한 좁기 때문에 GMT의 높은 집광력과 G-CLEF/GMACS의 고분산기능을 사용한다면 이 분야에서 가장 경쟁력이 있는 연구가 가능할 것이다.

"고적색이동 은하의 은하주변물질 연구"(심현진) 역시 은하 주변의 가스에 대한 연구이지만, 별 형성 은하 주변의 기체 유입과 방출에 초점을 맞춘다. 별 형성 은하에서 별이 지속적으로 형성되려면 차갑고 중원소함량이 낮은 기체가 꾸준히 유입되어야 한다. 또한 별 형성 시 유출되는 중원소함량이 높은 기체는 은

하의 화학적 진화를 유도할 것이다. 제안된 연구처럼 G-CLEF/GMACS로 별 형성 은하의 배경에 있는 퀘이사와 은하 여러 개를 관측하여 배경 퀘이사 스펙트럼에 각인될 200km/sec 정도의 속도를 가질 유입 기체(Lyα선 관측)의 흔적과 좁은 선폭을 가질 UV 유출 기체의 중원소 흡수선의 운동학적 성질을 파악할 수 있다면 은하 주변의 기체 유입/방출 과정과 은하 진화에 대한 이해를 획기적으로 드높일 수 있을 것이다.

"Damped Lyman Alpha 흡수선의 적색 치우침 비대칭 선윤곽의 고분산 정밀 분광관측"(이희원)은 좀 더 근본적으로 은하 간 기체를 이해하려는 연구이다. 매우 먼 퀘이사와 지구의 중간에 기둥밀도가 높은 중성수소 구름($>10^{20}cm^{-2}$)이 있으면 퀘이사 스펙트럼에 damped Lyα(DLA)라는 saturation이 된 흡수선이 생긴다. DLA system은 은하의 화학적 진화에 대한 중요한 단서를 제공해주지만, 기둥밀도가 매우 높은 DLA($10^{22}cm^{-2}$)의 경우 양자역학적 2차 섭동 효과까지 고려한 계산을 해야 이에 대한 분석이 오차 없이 이루어질 수 있다. G-CLEF로 적색이동 범위 $2<z<4$ 퀘이사의 스펙트럼에 나타나는 DLA를 정밀 관측하여 양자역학 효과로 인한 DLA profile의 적색 치우침 현상을 최초로 확인할 수 있다면 은하 간 기체 분석방법론에 대한 새로운 장을 열 수 있을 것이다.

고적색이동 천체 주변의 기체 연구 외에도 고적색이동 천체 자체의 연구에 대한 제안도 몇 가지 있었다. 그렇지만 GMACS의 파장 한계가 긴 파장 쪽에서 1μm 정도이며, JWST와의 경쟁도 고려해서 그런지 적색이동 범위 $2<z<5$ 정도에 초점이 맞추어진 연구들이 제안되었다. 이러한 고적색이동 범위에서도 경쟁력 있는 연구들이 제안되었다.

"매우 어두운 Lyα 방출선을 탐색하기 위한 100시간 분광탐사"(양유진)는 어두운 별 형성 은하나 은하 간 기체에서 방출되는 매우 어두운($<10^{-19}$ erg s^{-1} cm^{-2} $arcsec^{-2}$) Lyα선을 검출하고자 하는 연구이다. 큰 은하의 building block인 별 형성 왜소은하, UV 배경복사에 의해 Lyα선을 방출하는 은하 간 기체, 그리고 은하로 흘러들어가는 차가운 기체가 내는 Lyα 방출선을 검출하여 아직 제대로 연구되어 있지 않는 우주의 어두운 물질들을 조명하여 은하와 우주의 진화의 이해를 드높이고자 하는 연구이다. GMACS의 긴 슬릿 blind 분광관측을 시상이 좋지 않은

기상 조건에서 100시간 이상 수행하고자 하며, 가장 어두운 천체들에 대한 센서스를 제공한다는 의미에서 꽤 경쟁력이 있는 관측 연구가 될 것으로 보인다.

"적색이동 3 이상 별 생성 은하의 라이만 연속선 직접 검출"(심현진)은 우주의 재이온화 과정을 위해 반드시 필요한 912Å 이하의 파장에서의 자외선 복사에 대한 연구이다. 우주 공간의 이온화를 위한 자외선 복사는 보통 별 형성 은하에서 나와야 하는데, 은하 자체의 소광 효과 때문에 극히 일부의 자외선 광자들만(라이만 연속선) 우주 공간으로 방출된다. 제안된 바와 같이 은하를 탈출하여 은하간 공간에 투입되는 광자의 비율인 탈출률 fraction(f_{esc})을 $3 < z < 5$에 있는 은하들에 대한 GMACS 스펙트럼 관측을 통해 결정할 수 있다면 우주의 재이온화 현상을 이해하는 데 큰 도움이 될 중요한 관측 연구이다.

"고적색이동 퀘이사에 대한 분광관측 연구"(임명신)는 아직 제대로 연구가 이루어지고 있지 않은 어두운 고적색이동 퀘이사들의 특성을 이해해보고자 하는 연구이다. 앞으로의 탐사관측을 통해 발견될 것으로 예상되는 100개 이상의 $4 < z < 7$ 퀘이사들을 GMACS로 분광관측하여 그들의 광도함수와 블랙홀 질량함수를 구하고 우주 초기 거대블랙홀의 성장 과정을 좀 더 잘 이해해보자는 것이 이 연구의 목적이다.

"가장 무거운 블랙홀의 주변 환경 연구"(임명신)는 적색이동 $1 < z < 5$ 범위에 있는 가장 무거운 블랙홀, EMBH($M \sim 10^{10} M_{\odot}$)의 주변 환경을 GMACS의 다천체분광기능으로 탐사하여 이들 주위에 있는 원시은하단을 발견하고자 하는 연구이다. $M \sim 10^{14-15} M_{\odot}$ 정도 질량의 무거운 원시은하단을 통해 우주론, 은하 형성과 진화, 그리고 거대질량 블랙홀의 성장 과정에 대한 여러 관측적인 증거를 제시하고자 하며, 적색이동 $z > 2$ 원시은하단 연구가 아직 걸음마 단계에 불과하다는 의미에서 결과가 주목되는 연구라 할 수 있다.

전체적으로 살펴봤을 때, GMT 연구 과제로 제안된 것들은 (1) 그동안 망원경 집광력 부족으로 관측이 어려웠던 기체 성분에 대한 연구, (2) 어두운 천체에 대한 연구, 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 기체 성분의 고분해능 관측 또한

표 1. '고적색이동 우주' 연구 제안 내용 요약

연구 과제	대상	적색이동	밝기	개수	기기	파장 분해능	시간	비고
Lyα 성운 연구 (양유진)	Lyα 성운과 배경은하	2<z<6	I~26 AB (배경은하)	5-10	GMACS (multi) (G-CLEF)	>2,000 ?	10시간/ Lyα x 5개 =50시간	
은하주변물질 연구 (심현진)	퀘이사 또는 배경은하 (은하 주변 기체)	z>2-3	R<21 AB R<24 AB	~20개	G-CLEF GMACS (multi)	25,000 >2,000	4시간/타깃 총 4일/ 적색이동 구간	S/N 30
DLA 흡수선 비대칭성 연구 (이희원)	밝은 퀘이사 (DLA 흡수선)	2<z<4.5	R<20 AB	10	G-CLEF	?	?	
어두운 Lyα 방출선 탐사 (양유진)	Blank field (Lyα 방출천체)	2<z<6	(3-4)×10^{-20} erg s^{-1} cm^{-2} $arcsec^{-2}$ (1σ)	60-100 Lya	GMACS (longslit)	650-1,250	3년간 100시간	
Ly-cont. 탈출률 연구 (심현진)	별 형성 은하	3<z<5	R<25 AB	30-40	GMACS (multi)	1,500	8-15시간	1 mask
고적색이동 퀘이사 탐사 (임명신)	퀘이사	4<z<7.5	24 AB	100	GMACS (multi)	~2,000	1-3/타깃 x 100~200시간	
EMBH 퀘이사 환경 연구 (임명신)	EMBH 퀘이사 주변 은하	1<z<5	R<24-25 AB 등급	40field (은하 30-40개 /field)	GMACS (multi)	~2,000	1.5-4.5시간 /타깃 총 120시간	40 masks

JWST 등으로 수행하기 어려운, 경쟁력이 있는 과제라고 할 수 있겠다. 반면 대부분의 과제에서 연구 대상 천체의 적색이동 범위를 가시광선 기기인 GMACS나 G-CLEF의 성능을 고려하여 주로 2<z<5 정도로 제한한 것은 아쉬운 점이다. GMACS에 NIR-arm이 추가된다면 고적색이동 우주 연구의 최전선이라고 할 수 있는 z>7 이상 우주에서의 현상에 대한 연구 과제들을 좀 더 많이 발굴할 수 있을 것이다.

이번에 제안된 과제들을 [표 1]에 요약해보았다. 고적색이동 우주 연구에 불리해 보이는 G-CLEF 사용을 제안한 과제가 7과제 중 3과제씩이나 있다는 점이 눈에 띈다. 그리고 전체 과제의 총 관측 시간을 합하면 500시간이 넘는다. 이는 하

루 약 8시간의 관측 시간을 가정하였을 때 약 60일의 관측 시간에 해당한다. 아직 GMT 과학 연구 과제 발굴의 초기 단계임에도 불구하고 고적색이동 우주의 연구 분야에서 뛰어난 연구 과제들이 여럿 제안되었다는 점, 그리고 그러한 과제들이 GMT를 그만큼 많이 활용하고자 한다는 점으로부터 GMT 시대 우리나라 천문 관측 연구의 밝은 미래를 엿볼 수 있었다. 마지막으로 바쁜 와중에도 연구 과제 발굴에 앞장서서 흥미로운 연구 제안서를 작성해주신 각 연구 주제 책임자 분들께 감사의 뜻을 전한다.