대·소마젤란은하에 있는 전주계열성의 질량 강착 특성

성환경¹, 허현오¹, 임범두², 박병곤², 전영범²
세종대학교¹, 한국천문연구원²

1. 과학 목적 및 요약

대·소마젤란은하는 우리은하로부터 가장 가까운 거리에 있으며, 비교적 별 탄생이 활발한 은하이지만 중원소함랑은 태양의 1/2~1/10밖에 되지 않는다. 지금까지 이 은하 내 별 탄생에 대한 연구는 산개성단과 밝고 질량이 큰 별 O, B형 별에 집중이 되었다. 본 연구집단은 Korea Microlensing Telescope Network(KMTNet) 망원경을 사용하여 대·소마젤란은하 전체를 BVI 및 Hα 필터로 측광탐사관측(BVI & Hα Photometric Survey of the Magellanic Clouds: PSMC)을 수행할 예정이다. 특히 이 측광탐사관측에서는 협대역 Hα 필터를 사용하여 Hα 방출이 있는 천체를 집중 탐사할 계획이며, 이를 통해 Herbig Ae/Be 별과 비교적 질량이 큰 T Tau형 별까지 검출할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이 탐사관측를 통해 태양 인근의 Tau-Aur 별 탄생 영역과 같은 비교적 소규모 별 탄생 영

역에 대한 공간적 분포를 얻을 수 있을 것으로 기대하고 있다.

본 연구에서는 KMTNet PSMC 프로젝트에서 발견될 많은 수의 Herbig Ae/Be 별, 소규모 별 탄생 영역과 성단에 있는 질량이 작은 T Tau형 변광성의 다천체 분광관측을 수행하고, 이들의 질량에 따른 질량 강착률, 원반의 빈도와 수명 등의 물리량을 조사하고자 한다. 이 연구의 결과는 우주 초기에 태어난 종족 III 또는 II 별이 생성초기에 원반이 어떤 비율로 만들어졌을 것이며, 또 이를 통해 구상성단에서 관측되는 화학조성의 이(다)중성과 어떤 관련이 있는지를 조사할 것이다.

2, 연구 필요성, 배경 및 동향

1) 연구의 배경 및 필요성

대·소마젤란은하는 우리은하로부터 매우 가까운 외부은하이며, 다양한 종류의 항성종족을 포함하고 있고, 또 중원소함량은 태양 인근에 비해 1/2~1/10밖에 되지 않는다. 특히 이들 두 은하는 은하수에서 멀리 떨어져 있어 우리은하의 성간소광이 적을 뿐만 아니라 마젤란은하 내에서의 성간소광도 매우 적기 때문에 별의 본질적 특성을 알 수 있는 중요한 대상이다. 이러한 이유로 대·소마젤란은하는 항성진화이론을 검증할 수 있는 이상적인 실험실일 뿐만 아니라 우주론적 규모의 거리결정에 사용할 다양한 표준 등불의 눈금조정을 할 수 있는 천체이다. 또 대마젤란은하의 R136 성단은 starburst형 성단의 전형으로, 질량이 큰 별의 생성과 진화에 대한 귀중한 정보를 줄 수 있는 천체일 뿐만 아니라 starburst은하를 연구하는 바탕을 제공하는 천체이다. 이와 같은 중요성 때문에 이들 두은하에 있는 많은 수의 밝은 별과 성단에 대한 무수한 연구가 진행이 되었고, 별이 폭발적으로 태어나고 있는 일부 중요 성단은 허블 우주망원경을 사용한 연구가 활발하게 진행이 되었다. 그러나 이 두 은하에 있는 질량이 작은 별의 특성에 대한 연구는 별로 진행된 것이 없다.

본 연구집단은 KMTNet 망원경을 사용하여 대·소마젤란은하 전체의 측광탐 사관측을 추진하고 있으며, 이 측광탐사관측을 통해 매우 많은 수의 Hα 방출천 체를 발견하고자 한다. 본 연구에서는 측광탐사관측에서 발견한 Hα 방출천체들

중에서 Herbig Ae/Be 천체와 밝은 T Tau형 변광성을 GMT의 다천체 분광기인 GMACS를 사용하여 분광관측을 수행하고, 이들의 원반 특성, 질량 강착률 등의 물리량을 도출하고, 우리은하에 있는 유사 천체와 비교하여, 중원소함량의 차이에 따른 이들 특성의 차이를 조사할 것이다.

2) 대·소마젤란은하의 측광탐사관측 프로젝트(KMTNet PSMC project)

한국천문연구원은 우리은하 팽대부 방향에서 일어나는 미시중력렌즈를 검출하고, 렌즈 천체에 동반된 외계행성을 검출하고자 남반구 3대륙(칠레, 호주, 남아프리카공화국)에 각각 1기씩의 1.6m 탐사전용 망원경을 설치하는 KMTNet 프로젝트를 진행하고 있다. 이 연구는 은하의 팽대부를 관측할 수 없는 기간 동안대·소마젤란은하 전체에 대한 BVI 및 Ha 측광을 실시하여 균일한 측광 자료를획득하고, 이를 바탕으로 조기형 및 Ha 방출천체의 공간 분포, 산개성단의 발견, 은하 전체에 걸친 별 생성의 역사 및 초기질량함수, 행성상 성운의 공간적 분포와 행성상 성운의 광도함수, 성간소광의 분포 등을 조사하고자 한다. 그림 1은대·소마젤란은하 측광탐사관측 프로젝트의 관측 영역을 나타낸 것이다.

Reid & Parker(2012, 2013)는 UK Schmidt Telescope(UKST)와 사진필름을 사용하여 대마젤란은하 Hα 탐사관측을 수행하였고, Hα 방출이 있는 579개 별

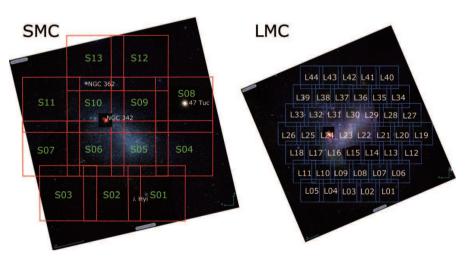


그림 1. 대·소마젤란은하 측광탐사 프로젝트의 관측 영역. 소마젤란은하는 13개 관측 영역으로, 대마젤란은하는 44개 관측 영역으로 구성되어 있으며, 각 영역의 각크기는 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 이다.

(469개는 새로운 발견)과 462개 행성상 성운(411개는 새로운 발견)을 발견하였다. 이들의 한계등급은 $R \approx 20$ 등급이지만 완전도 한계는 $R \approx 16$ 등급으로 추정이 된다. PSMC 프로젝트의 $H\alpha$ 한계등급은 약 $R \sim 23$ 등급으로 추정되며, 더욱 좋은 시상에서 관측을 수행할 것이며 사진보다 50배 이상 양자효율이 좋은 CCD를 사용하므로 훨씬 많은 $H\alpha$ 방출천체를 발견할 것으로 예상이 된다. 특히 질량이 작은 전주계열성인 T Tau형 변광성도 상당수 발견을 할 것으로 예상되다

3) GMT의 필요성

Reid & Parker(2012)에서 UKST로 발견한 Hα 방출천체의 분광관측을 위해 AAT 3 9m 망워경(노출시간: 1.200초~1.800초, 저분산)과 VIT 8 1m 망워경(Flames LR mode, R=6400~8500, 노출시간: 1,000초, 중분산)을 사용하여 Hα 방출을 확인 하는 후속 관측을 수행하였다. 본 연구의 대상들은 Reid & Parker(2012)의 관측 대상들보다 최소 3등급 이상 어둡다. 따라서 유사한 분광분해능과 신호대잡음비 를 얻기 위해서는 GMT-4M(거울이 4개인 경우의 GMT)의 경우 3.7배의 노출시간 이 필요하다. White & Basri(2003)에 따르면 질량 강착 현상을 보이는 T Tau형 변광성의 $H\alpha$ 방출선폭은 대체로 $270km\ s^{-1}$ 을 초과한다. 이러한 별은 주로 고전 적인 T Tau형 변광성이며, 질량 강착 현상이 거의 없는 T Tau형 변광성과 채충 활동이 강한 만기형 별로부터 구분하기 위해서 R=1100 이상의 분광분해능이 필 요하다. GMT/GMACS의 경우 관측조건에 부합하는 분광분해능을 갖추고 있을 뿐만 아니라. 중간 정도의 분광분해능으로 노출시간의 측면에서 효율적인 관측 을 수행할 수 있다. GMT/GMACS의 평균 분광분해능 R=2500을 가정하면 Reid & Parker(2012)가 VLT/Flames-LR6에서 사용하였던 1,000초 정도의 노출시간 으로도 본 연구에서 요구하는 신호대잡음비의 자료를 얻을 수 있으며, 가장 빠른 시일 내에 이러한 연구를 할 수 있는 것은 GMT-4M이다.

대·소마젤란은하에서 관측할 전주계열성은 주로 질량이 $1M_{\odot}$ 보다 큰 별일 것이고, 이러한 별에 대한 측광학적인 방출선 검출 효율은 약 2Myr 나이대에서 대략 10%정도이다(Lim et al. 2014b). 이는 활발한 질량 강착 현상을 보이는 전주계열성의 발견 확률을 의미한다. PSMC 프로젝트는 대·소마젤란은하 내에서도 다양한 환경에 있는 많은 수의 젊은 산개성단 및 별 생성 영역을 찾아낼 것이다. 이러한 별 생성 영역에서 10% 확률로 질량 강착이 진행 중인 전주계열성을 찾아낼

것이고, 이들을 효율적으로 관측하기 위해서는 다천체 분광기의 사용이 절실하다. GMT/GMACS는 넓은 관측 파장 영역대(4,000-9,500Å)에서 다천체 분광관측이 가능하므로 본 연구의 목적을 만족시키는 유일한 GMT-4M의 1세대 기기이다.

4) 국내외 연구 동향

별이 생성되는 과정에는 다양한 요인들이 관계를 한다. 전주계열성의 질량 강착률은 별의 생성을 이해하는 중요한 도구이다. 질량 강착률이 $10^{-6}M_{\odot}\,yr^{-1}$ 인 경우라도 질량이 $\sim 7M_{\odot}$ 인 전주계열성의 광구광도를 능가한다(Zinnecker & Yorke 2007의 그림 5 참조). 따라서 질량 강착은 질량이 작은 별(Bonnell et al. 1997)뿐만 아니라 질량이 큰 별(Yorke & Sonnhalter 2002)의 최종질량을 결정하는 중요한 요인이다. 별 주위의 원반에서 자기권을 통해 원시별로 질량 강착이 일어난다는 모형 (magnetohydrodynamic accretion model-Uchida & Shibata 1985; Bertout et al. 1988 등)이 가장 일반적으로 받아들여지고 있다. Muzerolle at al.(1998b)은 T Tau형 변광성에서 보이는 다양한 방출선(H α , HeI λ 5876, OI $\lambda\lambda$ 7773, 8446, Call IR triplet 등)의 플릭스와 장막 효과(veiling effect)로 얻는 질량 강착률을 비교·연구하였다. Natta et al.(2004, 2006)은 근적외선 $Pa\beta$, $Br\gamma$ 등으로, Rebull et al.(2000)과 Lim et al.(2014a, b)은 자외선 초과현상을 이용하여 질량 강착률을 얻었다.

그림 2는 태양으로부터 3kpc 이내에 있는 별 생성 영역 및 젊은 산개성단

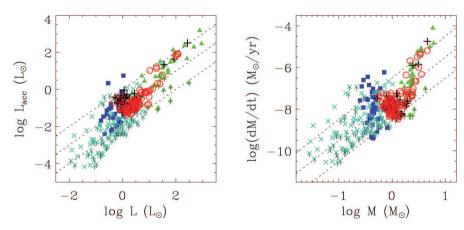


그림 2. 젊은 산개성단과 별 생성 영역에 있는 별의 질량 강착광도와 강착률(부호에 대한 설명은 Lim et al. 2014b 참조).

내에 있는 전주계열성의 질량 강착광도와 강착률을 나타낸 것이다(Lim et al. 2014b). 각각의 결과는 독립적인 방법으로부터 추정한 질량 강착광도와 강착률임에도 불구하고 여러 연구 사이에서 좋은 일치를 보인다. 왼쪽 그림에서 볼 수있듯이 일부 전주계열성의 질량 강착광도는 별의 광구에서 나오는 광량을 초과하는 것을 볼 수 있다. 또 질량 강착률(그림 2의 오른쪽)은 중심별의 질량과 선형적인 상관관계를 보이고 있으며, 이러한 관측적인 특성은 전주계열성의 원반 내에서 일어날 수 있는 자기 회전 불안정성(magnetorotational instability), 층을 이룬질량 강착 활동(layered accretion), 그리고 중력 불안정(gravitaional instability)과 같은 기작과 관련지어 설명하고 있다(Hartmann et al. 2006). 한편, 중심별의 질량이 $\sim 2M_{\odot}$ 을 경계로 질량 강착률의 질량에 대한 의존성이 달라진다. 이러한 현상이 별의 나이에 기인하는 것인지 또는 질량 강착현상이 특정 질량 이후부터 다른 기작에 의해서 조절되는지에 대해서는 아직 명확하지 않다.

최근 De Marchi et al.(2011, 2013)는 HST/ACS를 사용하여 소마젤란은하에서 가장 활발한 별 생성지역인 NGC 346와 NGC 602를 $V \approx 26$ 등급까지 관측을 수행하였고, 매우 많은 수의 $H\alpha$ 방출성을 발견하였다(그림 3 참조). 또 Spezzi et al.(2012)는 대마젤란은하 내 4개 영역에 대한 유사한 연구를 수행하였다. 그들이 선정한 $H\alpha$ 방출성들 중 나이가 ~ 4 Myr보다 적은 별만 $H\alpha$ 방출이 있는 전주계열성으로 생각한다면(아래의 이유 참조), 우리은하에 있는 T Tau형 별보다 주어진 나이에서 질량 강착률이 $4 \sim 7$ 배 정도 높다(De Marchi et al. 2011의 그림 11참조). 이들의 연구에서는 특이하게도 매우 많은 수의 주계열성(그림에서 녹색 타

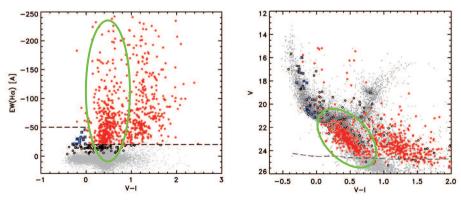


그림 3. HST/ACS 측광에서 얻은 방출성 (그림 출처: de Marchi et al. 2011)

원내에 있는 별)도 강한 Ha 방출을 보인다. 만일 이것이 사실이라면, 소마젤란은 하에 있는 별들은 주계열 단계에 도달하였을 때에도 질량 강착을 하거나(~1Myr과 ~20Myr의 나이를 갖는 두 집단의 존재로 해석) 우리은하의 별들보다 채충활동성이 비정상적으로 강하거나 또는 다른 이유로 강한 Ha 방출을 한다는 것이다. 그러나 우리은하 내 젊은 산개성단에 있는 전주계열성의 경우 나이가 ~5Myr이상이면 Ha 방출이 매우 약해지기 때문에 De Marchi et al.(2011, 2013)의 결과를 믿기 어렵다. 또 다른 해석으로는 대·소마젤란은하에 있는 만기형 주계열성들이 강한 채충활동성을 갖고 있을 가능성이다. 그러나 채충활동성은 별의 자기장과관련이 있으며, 별의 표면에 자기장을 유지하기 위해서는 별 표면의 대류층과 차등자전이 필요하다. 또한 표면 근처의 대류층과 중원소함량(즉, 불투명도)도 관련이 있다. 만일 대·소마젤란은하에 있는 주계열성들이 태양 인근에 있는 별들에비해 매우 강한 채충활동성을 보인다면, 만기형 별에서 자기장의 생성과 유지 과정에서 작동한다고 생각하는 dynamo 이론의 상당 부분을 수정해야 할 것이다. GMT/GMACS를 사용하여 저·중분산 분광관측을 수행하면 그들의 주장이 옳은지를 확인함 수 있을 것이다.

3. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 대상

본 연구의 대상은 KMTNet PSMC 프로젝트에서 발견한 $H\alpha$ 방출천체들 중에서 색-등급도와 공간적 분포에서 Herbig Ae/Be형 또는 T Tau형 별로 판단되는 천체들이다. 또 De Marchi et al.(2011, 2013), Spezzi et al.(2012)와 같이 측광학적 방법으로 발견한 $H\alpha$ 방출성 후보를 확인하는 연구도 병행할 것이다.

2) 사용 GMT 기기 및 관측 전략

본 연구의 일차적 목적은 KMTNet PSMC 프로젝트에서 발견할 많은 수의 방출성 후보들의 분광 후속 관측을 수행하여 Hα 방출성 여부를 확인하는 것이다. 이를 통해 전주계열성인 Herbig Ae/Be형 별과 T Tau형 별의 질량 강착률을 얻고, 이 결과를 우리은하의 별들로부터 얻은 결과와 비교하여, 질량 강착률이 중

원소함량에 따라 어떻게 달라지는가를 조사하는 것이다. 전주계열성의 질량 강착에 대한 표준 모형에 의하면, 원반의 물질이 중심별의 자기장을 따라서 별의표면으로 운반이 된다. 낙하하던 물질이 별 표면과 충돌하면 충격파를 발생시키고, 다시 이 충격파로 인해 soft X-선을 방출하여 광구와 상층대기를 가열시킨다. 이때 발생한 에너지는 주로 자외선과 가시광의 청색 파장대에서 방출이 되기때문에, 해당 파장대의 스펙트럼에서 연속선의 세기가 강하게 관측된다(Calvet & Gullbring 1998). 또한 증가된 연속선의 세기로 인해 여러 흡수선의 등가폭이 감소하게 되는데, 이를 장막 효과라고 한다. 이와 같은 관측적인 특성을 이용한 질량 강착에 대한 연구는 자외선과 가시광 영역에서 연속선의 세기가 약한 만기형항성에 유리하다. 하지만 대·소마젤란은하에서 관측할 전주계열성은 주로 이보다는 질량이 큰 별이므로, 질량 강착으로 인해 증가된 연속선 세기와 본래 항성이 가지고 있던 연속선 세기 사이에서 뚜렷한 대비를 기대하기는 어려울 것이다.

자기장을 따라서 운반되는 물질은 넓은 선폭을 가진 Hα 등의 방출선을 형성 한다(Muzerolle et al. 1998a). 중간 정도의 질량을 가지는 전주계열성이 자기장 을 가지고 있는지에 대해서는 불분명하지만, 일부 연구에서는 매우 약한 자기장 을 검출하였거나 자기장을 따라 떨어지는 물질에서 방출하는 넓은 선폭을 가진 분광선을 관측하였다(Natta et al. 2000; Mora et al. 2002, 2004; Wade et al. 2007; Hubig et al. 2009). 따라서 이러한 분광선 연구는 넓은 질량범위에서 균질하게 수 행할 수 있는 장점이 있다. 다양한 분광선(Hα, Paβ, Bry 등)이 전주계열성의 질량 강착 연구에 사용되며, 이 중에서 가시광 영역에서 관측이 가장 용이한 분광선 은 Hα 방출선이다. White & Basri(2003)은 질량 강착현상을 보이는 T Tau형 변 광성의 $H\alpha$ 방출선 폭이 대체로 $270km\ s^{-1}$ 을 초과한다는 것을 발견하여, 다양한 Ηα 방출성 중에서 질량 강착이 진행 중인 전주계열성을 선별하는 유용한 기준 을 제시하였다. 뿐만 아니라 관측한 Hα 방출선에서 최고 플럭스 세기의 10%에 해당하는 파장 폭이 질량 강착률과 좋은 상관관계가 있다고 기술하고 있다(Natta et al. 2004 참조). 그러나 질량이 상대적으로 큰 전주계열성(>1M₀)의 Hα 분광 선은 별의 빠른 자전속도로 인해서 선폭이 증가하며, 이런 경우에는 Hα 방출선 으로부터 신뢰할 수 있는 질량 강착률을 얻을 수 없다(Mendigutía et al. 2011). GMT/GMACS의 관측 가능한 파장 범위가 4,000-9,500Å이므로 Hα 방출선 이외 에 HeI λ5876, OI λλ6300, 7773, 8446 등과 같은 분광선으로도 질량 강착률을

추정할 수 있다. 따라서 방출선을 이용한 분석방법이 가지고 있는 한계를 보완할 수 있다.

본 연구는 앞서 기술한 관측적인 특성을 이용하여 대·소마젤란은하에 있는 전주계열성의 질량 강착률을 체계적으로 조사할 것이다. 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해 필요한 분광분해능은 최소 270km s⁻¹를 구분할 수 있는 R=1100 이상이다(>2000 권장). GMT/GMACS는 본 연구에서 제안하는 관측조건에 부합하는 분광분해능을 갖추고 있을 뿐만 아니라 다천체분광을 수행할 수 있기 때문에 한번에 주어진 시야에 있는 많은 수의 전주계열성을 균질하게 관측할 수 있다. 관측 대상의 밝기에 따라서(R=11-23등급) 다양한 노출시간을 사용하여 넓은 질량범위에 있는 전주계열성을 관측할 것이다. 측광·분광학적으로 고전적인 Be형별과 Herbig Ae/Be형별을 구분하는 것이 거의 불가능하고, 이 연구의 주된 목적이 전주계열성의 질량 강착률을 얻는 것이기 때문에 젊은 별들이 집중되어 있는 지역(젊은 산개성단, 방출성들이 집중이 되어 있는 별 생성 영역)의 관측을 우선적으로 실시할 것이다. 그리고 측광에서 확인하기 어려운 태양 인근의 Tau-Aur 별생성 영역과 같은 어린 별의 밀집도가 낮고 질량이 작은 별이 주로 태어나는 영역을 확인하기 위해 흩어져 있는 방출성들도 분광관측을 수행하여 'distributed population'의 분포와 특성에 대한 연구도 수행할 것이다.

4. 연구 결과의 기대 성과

일반적으로 성간구름에서는 먼지와 기체의 빈번한 충돌과 먼지의 냉각 작용으로 먼지와 기체의 온도는 같을 것이라 생각한다. 그러나 태양과 같은 중원소함량을 갖는 구름의 경우에는 기체의 밀도가 $n \approx 10^5 cm^{-3}$ 이상인 경우에 이와 같은현상이 일어나지만, 중원소함량이 낮은 구름의 경우에는 밀도가 이보다 훨씬 높아야 먼지의 온도와 기체의 온도가 같아진다(Omukai 2000; Bate 2014). 또 질량 강착률과 구름의 온도 사이에는 $M \propto T^{3/2}$ 의 관계가 있어(Susa et al. 2014), 기체의 온도가훨씬 높았던 시기에 태어난 첫 번째 별의 경우훨씬 큰 질량을 가졌을 것으로 추정을할 수 있다. 이와 같은 관점에서 중원소함량이 태양의 약 1/10과 1/2인 대·소마젤란은하의 경우 질량 강착률이 높을 것으로 예상되며, 초기질량

함수의 특성질량도 약간 클 것으로 예상할 수 있다. 또한 De March et al.(2011, 2013)과 Spezzi et al.(2013)에서 얻었던 30 Dor, NGC 346, NGC 602에 있는 $H\alpha$ 방출성의 높은 질량 강착률을 이해할 수 있다. 그러나 앞의 2절 3)에서 언급하였 듯이 그들의 $H\alpha$ 측광에서 문제가 있는 것 같으며, 그 결과로 $H\alpha$ 방출선의 선폭을 과대 추정하였을 것으로 생각이 된다. 한편 다양한 중원소함량 (Z=0.01Z0, 0.1Z0, Z0, 3Z0)을 갖는 성단의 수치 모의실험 결과(Bate 2014) 0.1Z0 이상인 경우 중원소함량의 차이에도 불구하고 별 생성률(dM_{\star}/dt , dN_{\star}/dt), 별 생성효율, 초기질량 함수와 쌍성계 빈도 등의 차이가 보이지 않는다.

이 관측을 시작할 무렵이면 우리은하의 젊은 산개성단과 소규모 별 생성 영역에 있는 전주계열성의 질량에 따른 질량 강착률이 잘 정립이 될 것이라 기대할수 있다. 본 연구에서는 KMTNet PSMC 프로젝트에서 발견할 많은 수의 방출천체에 대한 방대한 분광관측을 통해 중원소함량이 낮은 대·소마젤란은하에 있는 전주계열성의 나이와 질량에 따른 질량 강착률을 얻고, 주어진 나이와 생성조건(성단, 성협 또는 소규모 별 생성 영역)에 따라 주어진 질량에서 질량 강착률의 상한이 어떻게 다른지를 조사할 것이다. 이 결과는 별 생성 과정에 영향을 미치는 다양한 요인들 중에서 중원소함량과 별 생성 환경이 어떻게 영향을 미치는지를 알려줄 것이며, 또 이 결과는 첫 번째 별이 태어났던 조건을 이해하는 바탕이 될 것이다.

5. 인용문헌

Bate, M. R. 2014, MNRAS, 442, 285

Bertout, C., Basri, G., Bouvier, J. 1988, ApJ, 330, 350

Bonnell, I. A., Bate, M. R., Clarke, C. J., Pringle, J. E. 1997, MNRAS, 285, 201

Calvet, N., & Gullbring, E. 1998, ApJ, 509, 802

De Marchi, G., Beccari, G., & Panagia, N. 2013, ApJ, 775, 68

De Marchi, G., Panagia, N., Romaniello, M., Sabbi, E., Sirianni, M., Prada Moroni, P. G., & Degl'Innocenti, S. 2011, ApJ, 740, 11

Hartmann L., D'Alessio P., Calvet N., Muzerolle J., 2006, ApJ, 648, 484

Hubrig, S., Stelzer, B., Schöller, M., et al. 2009, A&A, 502, 283

Lim, B., Sung, H., Kim, J. S., Bessell, M. S., & Karimov, R. 2014a, MNRAS, 438, 1451

Lim, B., Sung, H., Kim, J. S., Bessell, M. S., & Park, B.-G. 2014b, MNRAS, 443, 454

Mendigutía, I., Calvet, N., Motesinos, B., Mora, A., Muzerolle, J., Eiroa, C., Oudmaijer, R. D., Merín, B., 2011, A&A, 535, 99

Mora, A., Eiroa, C., Natta, A., et al. 2004, A&A, 419, 225

Mora, A., Natta, A., Eiroa, C., et al. 2002, A&A, 393, 259

Muzerolle, J., Calvet, N., & Hartmann, L., 1998a, ApJ, 492, 753

Muzerolle, J., Hartmann, L., & Calvet, N. 1998b, AJ, 116, 2965

Natta, A., Grinin, V. P., & Tambovtseva, L. V. 2000, ApJ, 542, 421

Natta, A., Testi, L., Muerolle, J., Randich, S., Comerón, F., & Persi, P. 2004, A&A, 424, 603

Natta, A., Testi, L., Randich, S. 2006, A&A, 452, 245

Omukai, K. 2000, ApJ, 534, 809

Rebull, L., Hillenbrand, L., Strom, S. E., et al. 2000, AJ, 119, 3026

Reid, W. A., & Parker, Q. A. 2012, MNRAS, 425, 355

Reid, W. A., & Parker, Q. A. 2013, MNRAS, 436, 604

Spezzi, L., De Marchi, G., Panagia, N., Sicilia-Aguilar, A., & Ercolano, B. 2012, MNRAS, 421, 78

Susa, H., Hasegawa, K., & Tominaga, N. 2014, ApJ, in press (arXiv:1407.1374)

Uchida, Y., & Shibata, K. 1985, PASJ, 37, 515

Wade, G. A., Bagnulo, S., Drouin, D., Landstreet, J. D., & Monin, D. 2007

White, R. J., & Basri, G. 2003, ApJ, 582, 1109

Yorke, H. W., & Sonnhalter, C. 2002, ApJ, 569, 846

Zinnecker, H., & Yorke, H. W. 2007, ARAA, 48, 481