

# 나선은하 HII 영역과 우리은하 구상성단의 중·저분산 스펙트럼 SPECTRA OF HII REGIONS IN SPIRAL GALAXIES AND GALACTIC GLOBULAR CLUSTERS

천문석<sup>1</sup>, 손영종<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과

<sup>2</sup>연세대학교 자외선우주망원경연구단

MUN-SUK CHUN AND YOUNG-JONG SOHN

Department of Astronomy, Yonsei University: mschun@galaxy.yonsei.ac.kr

Center for Space Astrophysics, Yonsei University: sohnyj@csa.yonsei.ac.kr

Received Jul. 5, 2000; Accepted Aug. 4, 2000

## ABSTRACT

We review the early historical development of astronomical spectrographs, properties of emission line spectra of HII regions in spiral galaxies, and absorption line features of galactic globular clusters. Emission line spectra of HII regions within three spiral galaxies NGC 300, NGC 1365, and NGC 7793, which were observed from AAT/IPCS, had been analysed, and we discuss the abundances of elements in HII regions and the radial abundance gradients through the galaxies. The radial *UBV* color variations of two globular clusters, NGC 1851 and NGC 2808, were examined for correlations with radial variations of several absorption lines in the integrated spectra, which were obtained from SAAO 74 inch telescope and image tube spectrograph. Nine giant star's spectra in NGC 3201 were also obtained and analysed for the radial abundance gradients in the globular cluster. The results show that the presence of a radial color gradient in a globular cluster is correlated with the presence of abundance gradients. Finally, we suggest some scientific programs for the new high dispersion spectrograph, which will be installed to the BOAO 1.8m telescope.

*Keywords:* emission and absorption line spectra: HII regions, globular clusters

## 1. 서론

인간의 몸과 자연의 물질들을 구성하는 모든 원소들은 수십억년 이전 별들의 내부에서 만들어진 것으로, 이는 우리의 고향이 바로 별이고 우주임을 말해주는 것이다. 천문학자들은 우주를 구성하는 천체들의 분광 관측을 실시함으로써 이러한 사실의 원리를 캐내고 있으며, 따라서 천체 분광은 천체들의 물리적, 화학적 특성을 연구하는데 가장 중요한 수단으로 사용되어 오고있다. 천체 분광 관측으로부터 우리는 별과 은하들을 포함한 천체들의 화학 조성, 온도, 구조, 그리고 운동에 대한 직접적 정보를 얻는다. 즉, 분광 관측을 이용한 천체들의 구성 물질의 연구, 시선 속도 및 회전 곡선의 연구, 속도 분산값의 측정 등은 개개 천체의 연구뿐만 아니라 천체 집단의 연구에도 큰 도움을 주고 있음을 보여주고 있다. 우리가 천체들로부터 받는 유일한 정보인 빛은 눈으로 확인되는 가시 광선은 물론, 적외선, 전파, X-선등 모든 파장 영역의 에너지를 합한 것이다. 바로 이러한 빛을 파장별로 분산시킴으로써 에너지를 방출하는

천체의 특성을 알아내는 것이 천체 분광학인 것이다.

천체 분광 관측이 활용되는 천문학의 영역은 매우 다양하지만, 이 논문에서 다루고자 하는 내용은 저자의 분광 관측 연구 경험을 바탕으로 한 부분만으로 국한하였다. 천체 분광의 초기 발달 역사는 천문 관측의 역사이기에 제 2 절에서 이를 조명해 보았다. 가시 광선 영역에서 빛을 분산시키는 가장 간단한 수단은 바로 프리즘이다. 그러나 현재는 더욱 정밀하게 빛을 분산시키기 위해 회절 격자 (diffraction grating)를 주로 사용한다. 프리즘과 회절 격자에 대한 간단한 분광 원리를 제 3 절에 요약하였다. 천체의 분광 스펙트럼에서 나타나는 가장 기본적인 형태는 흡수선과 고온의 이온화된 가스에서 나타나는 방출선이다. 제 4 절과 제 5 절에서는 방출선을 나타내는 외부 은하 HII 영역들과 흡수선을 나타내는 구상성단의 스펙트럼을 중심으로 각 천체들의 분광학적 특성을 살펴보았다. 외부 은하의 나선팔에 위치하는 HII 영역들은 외부 은하의 화학 조성 연구는 물론이거니와, 은하와 우주의 화학적 진화에 관한 결정적인

정보를 제공한다. 즉, HII 영역들은 나선 은하를 구성하는 다른 천체들 보다 매우 밝기 때문에 개개 별들의 관측이 시행되지 않는 경우에도 고온의 이온화된 가스 상태에서 방출되는 다양한 종류의 이온들의 방출선 세기로부터 원소 함량을 포함한 관련 물리량들을 쉽게 구할 수 있다 (e.g., Peimbert et al. 1974). 이러한 HII 영역들의 은하내 위치에 따른 원소 함량의 변화 (Pagel et al. 1979, 1986)는 은하내의 물질 분포와 은하의 형성, 화학적 진화와 직접적인 관련이 있다. 한편, 우리 은하내 구상성단들은 우리 은하의 초기 형성과 진화에 대한 가장 직접적인 정보를 가지고 있는 은하 헤일로에 분포하는 천체들이다. 뿐만 아니라, 구상성단은 항성계의 역학적 형성과 진화, 그리고 개개 항성들의 진화 연구에 대한 가장 이상적인 대상이다. Chun & Freeman (1979)은 그들이 실시한 총 24개 구상성단들의 표면 측광으로부터, 이 중 8개의 성단들에서 성단의 중심 반경에 따르는 색변이가 일어난다는 사실을 확인한 바 있다. 이 경우, 성단에 대한 종합 분광 관측이나, 성단내 개개 별들에 대한 분광 관측을 통하여 성단내 원소 함량의 분포를 살펴보면 측광학적 색변이에 대한 원인을 논의할 수 있다. 제 6 절에서는 결론을 요약하면서, 보현산 천문대에 설치되어 있는 국내 최대 1.8 m 망원경의 몇가지 분광학적 활용 방안을 제시하였다.

## 2. 천체 분광학의 초기 역사적 발달

천체들의 스펙트럼을 보는 경우, 특정 원소들에 의한 방출선 혹은 흡수선들을 볼 수 있으며, 이로부터 별 또는 은하들을 구성하는 물질들, 또는 이러한 천체들과 우리 사이에 존재하는 물질들과 그 양을 추정할 수 있다. 천체들에 대한 스펙트럼은 그들의 운동 상태에 대한 정보도 제공한다. 도플러 이동 원리를 적용하여 천체들이 내는 스펙트럼 선의 이동량을 측정하면 별들의 고유 운동, 회전 운동, 은하들의 회전 등 운동 상태를 알 수 있다. 이러한 천체 물리학적 요구에 대한 분광 관측은 현재도 관측기기의 발달과 더불어 지속적으로 발전되고 있다. 천체 분광의 초기 발달 역사는 바로 천문 관측의 역사이다. 여기서는 1960년대 이전까지의 초기 분광 관측 기기의 발달을 Bowen (1962)의 내용을 기초로 하여 간략히 살펴보도록 하자.

Issac Newton은 1666년 그가 직접 처음 고안한 반사 망원경을 실험하는 과정에서 백색광이 프리즘을 통과할 때 색깔별로 분리가 된다는 사실이 유리에 의해 생기는 것이 아니라 빛의 고유 성질이라는 것을 처음으로 인식하였다. 그러나, 이러한 인식이 물리학이나 우주론 이해하는데 있어서 적용되기까지는 오랜 시간이 걸렸다. 20세기 초, 물리학의 발달과 더불어 원자나 분자들은 빛을 흡수 또는 방출한다는 사실이 그들의 구조와 관련이 있다는 사실을 알게 되었다. 물론 그 이전에도 서로 다른 화학 원소들이 가스 상태로 있을 때 자체의 고유 빛을 방출한다는 사실은 알고 있었다. 태양의 스펙트럼에서 연속 스펙트럼 사이에 간극이

존재한다는 사실을 처음으로 관측한 사람은 화학자이자 광산학자였던 William Wollaston으로 1802년의 일이었다. 이후 Joseph Frounhofer는 유리의 광학적 특성을 연구하던 중 스펙트럼의 색이 변화한다는 사실을 확인함과 동시에 Wollaston에 의해 발견된 선들 내에서는 색의 변화가 없음을 알아내었다. 1814년 Frounhofer는 직경 3 cm 망원경에 대물 프리즘을 부착시켜 Sirius의 스펙트럼을 관찰함으로써 처음으로 별의 스펙트럼을 확인하였고, 이후 10 cm 망원경과 대물 프리즘으로 Capella, Betelgeus, Procyon 등을 비롯한 밝은 별들에 대한 스펙트럼을 추가로 확인하였는데, 별들의 스펙트럼에서도 선들이 나타나며, 태양 스펙트럼에서 보이는 선들이 별들의 스펙트럼에서 나타나지 않는 것들도 있다는 사실을 알아내어, 스펙트럼에서 보이는 모든 선들이 지구에 존재하는 물질들에 의해서 만으로 설명이 되지 않는다는 사실을 인지하였다.

1859년 Kirchhoff에 의해 태양 스펙트럼의 선들이 태양의 대기에 의한 흡수선으로 인식된 이후, Huggins, Draper, Secci, Rutherford 등의 천문학자들에 의해 밝은 별들에 대한 다양한 스펙트럼 관측이 시도되었다. 1863년 Huggins는 사진으로 Sirius의 스펙트럼을 얻었으나, 흡수선을 관측하지는 못했고, 1876년 calcite 프리즘과 quartz lens를 Tulse Hill에 있는 18 인치 반사망원경의 주 초점에 설치하여 별들의 연속 스펙트럼이 자외선 영역으로 확장된다는 사실을 확인하였다. 1872년 Draper는 quartz 프리즘을 새로 제작한 28인치 반사 망원경에 부착하여 Vega의 스펙트럼에서 4개의 흡수선을 관측할 수 있었다.

1880년 이후 사진 건판 유제의 속도가 급격히 향상됨과 아울러 천문학자들에 의한 별들의 스펙트럼 관측도 활기를 띠기 시작하여, 1885년에서 1910년 사이에 분광 사진기를 갖춘 대형 망원경들이 많이 등장하게 되었다. 당시의 대부분의 분광 기기 들은 밝은 별들의 시선 속도를 측정하는데 주요 목표를 두었으며, 따라서 분산은 대략 10~30 Å/mm를 가지는 것들이었다. 장시간 노출로 인한 기기의 변형에 의해 스펙트럼이 휘어지는 현상이 문제로 대두되어, 분광 사진기의 끝 부분을 망원경에 직접 장착하는 대신, 분광기의 외곽부를 강철로 덮어씌워 질량 중심을 지지하는 노력이 진행되기도 하였다. 1920년대 이후, 성능이 급격히 향상된 대형 망원경이 등장하고 더불어 더욱 어두운 별들에 대한 넓은 파장 영역의 스펙트럼을 관측하기 위한 분광 기기들이 개발되었는데, 1924년 Plaskett에 의해 개발된 Victoria의 72 인치 망원경의 분광기, 그리고 1930년 Rayton과 1936년 Bracey 등에 의해 개발된 Wilson 산 100 인치 망원경의 분광기들이 그 예들이다. 당시까지의 대부분의 분광 사진기들은 flint-glass를 사용한 것들로 관측 가능한 유효 파장영역이 3800~5000 Å에 불과하였으나, 1916년 Wright는 Lick 천문대의 Crossley 망원경에 단파장 영역의 스펙트럼을 얻을 수 있는 분광기를 개발하였고, 1931년 Merrill은 grating을 이용한 분광기를 Wilson

표 1. 1960년대 까지 개발된 분광기와 망원경

Telescope	Type	Ap.(cm)	Collimator	Type	Ap.(cm)	Dispersing element	Date
Huggins, Tulse Hill	Refl.	45	Quartz		3.8	One 60° calcite prism	1876
Draper	Refl.	70	Achromat		1.9	Two 60° flint glass prism	1879
Draper	Refr.	28	Effective		0.8-1.1		
Lick	Refr.	90	Achromat		3.74	Three 60° flint glass prism	1898
Potsdam	Refr.	80	Achromat		3.2	Three 63° flint glass prism	1900
Yerkes	Refr.	102	Achromat		5.1	Three 66° flint glass prism	1901
Newell	Refr.	63	Achromat		5.2	Four 56° flint glass prism	1899
Berlin-Babelsberg	Refl.	125	Achromat		5.0	One 66° flint glass prism	1930
Victoria	Refl.	185	Achromat		6.3	One 66° flint glass prism	1924
Mount Wilson	Refl.	250	Achromat		3.8	Two 60° flint glass prism	1930
Lick, Crossley	Refl.	90	Quartz		5.0	Two 60° cornu-quartz prism	1916
Mt. Wilson, Casseg.	Refl.	250	Telephoto		6.3	Grating	1931
Mt. Wilson, Coude	Refl.	150	Achromat		15.2	One 60° flint glass	1910
Mt. Wilson, Newton.	Refl.	250	Mirror		5.1	Blazed gratings	1948
McDonald, prime focus	Refl.	250	Mirror		5.1	Blazed grating	1948
Paloma, Hale prime foc.	Refl.	500	Mirror		7.6	Blazed gratings	1950
McDonald, Coude	Refl.	205	Mirror		10	Blazed grating	1949
Mt. Wilson, Coude	Refl.	250	Mirror		15.2	Blazed gratings	1935-1956
Paloma, Hale Coude	Refl.	500	Mirror		30.4	Four Blazed gratings	1952
Mt. Wilson, Cassegrain	Refl.	150	Mirror		10	Blazed grating	1955
Haute Provenec, Coude	Refl.	193	Mirror		15	Blazed grating	1959
Kitt Peak, Cassegrain	Refl.	90	Mirror		7.6	Blazed grating	1960
Lick, Coude	Refl.	300	Mirror		16.5	Blazed grating	1961

산 천문대 망원경에 부착하여 적외선 파장 영역의 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 비슷한 시기에 밝은 별들에 대한 정밀 분석을 위해 고분산의 분광 기기에 대한 요구가 증대되어, Coude 초점에 고정되는 분광 장치가 개발되었는데, 1910년 처음으로 Wilson 산 60 인치 망원경에 5000 Å에서 1.4 Å/mm의 분산을 갖는 분광기가 설치되었으며, 이후 100 인치 망원경에도 같은 시스템이 적용되었다.

1930년대에 이르러 망원경의 구경이 점점 커짐에도 불구하고, 분광기의 광학 시스템에 대한 디자인의 한계와 프리즘에 의한 광손실 등에 의해, 어두운 천체들에 대한 스펙트럼 관측은 쉬운일이 아니었다. 그러나, Schmidt 카메라와 blazed grating이 개발됨으로 인해 이러한 문제가 보완되었는데, 1948년 Wilson, 산 100 인치 망원경의 Newtonian focus에 장착된 이러한 분광기는 은하와 어두운 천체들의 시선 속도를 측정하는데 사용되었다. 이후 1950년 Paloma의 Hale 망원경의 주초점에 이와같은 분광기를 설치하였는데, 이 경우에는 넓은 파장 영역의 분산을 위해 600 line/mm와 300 line/mm의 두 종류의 grating을 사용하였다. 1960년대에 이르기까지 망원경의 특성에 따라 관측 효율을 최적화 할 수 있는 많은 카메라와 grating 분광기들이 지속적으로 개발되었는데, 그 예를 표 1에 나타내었다.

이후, 현재까지 이르는 천체 분광 관측은 이때까지 축적된 기본 분광 원리를 바탕으로 천체 물리학적 목표에 따라 기기들이 더욱 정밀하게 개발되어 사용되고 있다. 고전적 분광 시스템을 응용한 별들의 시선 속도나 구성 성분 분석, long slit을 이용한 은하의 회전 속도와 중원소 함량의 분포 연구, multi-slit mask를 이용한 외부 은하들의 시선 속도 측정등이 그 예들이다.

### 3. 분광 원리 요약

천체 분광 관측의 초기에는 주로 프리즘을 분광 소자로 사용하였다. 프리즘은 해상력이 떨어지고 분산이 적다는 단점이 있으나, 스펙트럼의 중첩 ghost 현상 등이 없으며, 별의 스펙트럼형을 결정하기 위해 많이 사용되었다. 근래에 들어서는 빛의 회절과 간섭을 응용한 회절 격자가 분광 소자로 주로 사용되고 있으며, 고해상력과 고분산이 가능하여 별의 시선 속도와 성분 분석 등의 정확한 측정에 많이 사용된다. 여기서는 Kitchin (1988)과 Walker (1987)를 중심으로 프리즘과 회절 격자의 분광 원리를 간략히 요약한다.

분산 프리즘의 경우, base의 길이를  $b$ , 높이를  $t$ , 그리고 파장이  $\lambda$ 인 빛의 분산 각도를  $\beta$ 라고 할 때 프리즘에 의한

각분산  $\frac{d\theta}{d\lambda}$  은  $\frac{b}{l} \cdot \frac{dn}{d\lambda}$  와 같다. 여기서  $\frac{dn}{d\lambda}$  는 프리즘의 굴절률 분산을 나타낸다. 이때 최소 분해 선폭( $\Delta\lambda$ )과 분해능 ( $R$ )은 각각  $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{R}$  와  $R \equiv \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = b \frac{dn}{d\lambda}$  와 같이 정의된다. 입사하는 광속의 면적과 슬릿에서 본 분광 프리즘의 굴절면에 대한 입체각의 곱을 분광기의 밝기( $L$ )로 정의하는데, 슬릿의 각 길이를  $l_s$ 라고 할 때 분산 프리즘의 밝기는  $L = l_s b t \left(\frac{dn}{d\lambda}\right) \Delta\lambda$  로 나타내어진다. 한편 분광기 효율은  $LR$  로 나타내며,  $LR = l_s b t \lambda \left(\frac{dn}{d\lambda}\right)$  와 같이 정의된다.

프리즘 분광기의 구조는 입사 슬릿, collimator, 분산 프리즘, 초점 렌즈, 그리고 출사 슬릿으로 구성된다. 프리즘의 mount 형태에 따라, 투과형 프리즘을 사용할 때 Higler mounting과 Wadsworth mounting이 있으며, 반사형 프리즘을 사용하는 경우 Littrow mounting과 Elbert mounting이 있다. Higler mounting은 apex angle이 60도와 30도인 프리즘을 조합하여 만든 Pellin-Broca 프리즘을 사용하는 것으로 입사 광속과 출사 광속이 이루는 각이 90도가 되도록 설계된 것이다. Wadsworth mounting은 프리즘에 의해 분산된 광속이 평면 거울에 의해 반사되어 평행하게 초점 렌즈로 향하게 하는 시스템이다. Littrow mounting은 반사형 프리즘을 사용하는 것으로 입사 광속과 출사 광속의 사이각이 작은 것이 특징이다. Elbert mounting은 역시 반사 프리즘을 사용하지만, 입사 광속과 출사 광속의 사이각이 크게 설계된 것이 특징이다. 그리고 여러 개의 프리즘을 나열하여 보다 큰 분해능을 얻도록 설계된 프리즘 분광기도 있다.

회절 격자 분광기는 프리즘 분광기에 비해 해상력과 분산이 크며, 회절 격자의 특성에 따라 투과형과 반사형으로 나누어진다. 투과형 회절 격자는 사용되는 소재의 흡수와 불투명 부분에 의한 차폐 효과 때문에 회절 효율이 나빠 천체 관측에는 잘 사용되지 않으며, 반사형 회절 격자를 주로 사용한다.

반사형 회절 격자의 blazing angle이  $\delta$  만큼 기울어지게 설계된 경우, 격자 groove간의 간격을  $d$ 라고 하고, 입사각과 반사각을 각각  $\alpha$  와  $\beta$  라고 하면, 격자 방정식은  $m\lambda = d(\sin\alpha + \sin\beta)$  로 표현된다. 이때 한 groove의 특정 위치에서 반사된 광선과 인근 groove 의 같은 위치에서 반사된 빛의 위상차는  $\eta = \frac{\pi}{\lambda} d(\sin\alpha + \sin\beta)$ 이며, 같은 groove에서의 양 끝단에서 반사된 광선간의 위상 차이는  $\xi = \frac{\pi}{\lambda} a(\sin(\alpha - \delta) + \sin(\beta - \delta))$ 로 표현된다. 여기서  $a$ 는 groove 면에서 가려지지 않은 유효 반사면의 폭이다. Blazed grating에서 최대 회절이 일어날 수 있는 조건은  $\alpha + \beta = 2\delta$ ,  $\alpha = \beta$  이다. 이 경우 격자 방정식에 의해 최대 회절이 일어나는 파장은  $\lambda_b = \frac{2d}{m} \sin\delta$  와 같이 주어지고, 이를 blazing wavelength라고 부른다. 격자의 groove density를  $n$  이라고 하고 입사각이  $\alpha$ , 그리고 collimating된 광속의 직경이  $D$  인 경우 분해능은  $R \equiv \lambda/\Delta\lambda = \frac{Dmn}{\cos\alpha}$  으로 근사 표현된다.

#### 4. 외부 은하 HII 영역들의 스펙트럼

외부 은하의 HII 영역들에 대한 분광 스펙트럼은 이온화된 원소들에 의한 방출선의 형태로 관측된다. 나선팔 영역에 분포하는 HII 영역들의 스펙트럼은 은하 중심으로 부터의 반경에 대한 방출선들의 세기와 유효 온도의 분포에 대한 직접적 정보를 줄 뿐만 아니라, 먼지의 분포, 별과 가스의 밀도비 등에 대한 정보도 제공한다. 이와 같은 HII 영역들의 방출선의 세기는 섭동에 의한 가스들의 섞임 현상, 외부 은하의 화학 조성 분포, 그리고 은하의 화학적 진화 등에 대한 결정적 정보를 준다. 여기서는 Chun (1983)과 Pagel et al.(1979)에 의해 연구된 나선 은하 NGC 300, NGC 1365, 그리고 NGC 7793내에 있는 HII 영역들의 스펙트럼들의 관측 결과를 간략히 살펴보자.

NGC 300과 NGC 7793은 Sculpter 그룹에 속한 나선 은하이며, NGC 1365는 Fornax 그룹의 나선 은하이다. 각 은하의 일반적 특성은 표 2와 같다. 관측은 Anglo Australian Telescope에 부착된 RGO Cassegrain 분광기와 U-CL Image Photon Counting System이 사용되었다. 관측 조건은 표 3과 같으며, blue와 red 영역에 대한 2차원 모드로 관측되었다. 절대 광도 표준화를 위해 Oke(1974)에 의해 주어진 백색왜성들의 관측도 실시하였다. NGC 300에서 6개, NGC 1365에서 3개, 그리고 NGC 7793에서 4개의 HII 영역들에 대한 중·저분산 스펙트럼을 얻었다. 그림 1, 그림 2, 그림 3는 각 은하에서의 대표적 HII 영역들의 방출 스펙트럼을 나타낸 것이다. 표 4에 각 HII 영역들에서 동정된 방출선들을 표시하였으며, 각 방출선의 세기는  $H\beta$  선의 세기를 1.00으로 두고 이에 대한 상대적 세기로 측정하였다.

NGC 300과 NGC 1365 내의 HII 영역 스펙트럼 방출선으로부터 얻은 물질 함량비를 중에서 산소 함량과 N/O 비값에 대한 결과를 다른 은하들에 있는 HII 영역들의 측정된 값들과 합하여, 은하의 중심으로 부터의 거리에 대한 변화를 살펴본 예를 그림 4에 나타내었다. HII 영역의 거리( $\rho$ )는 표면 밝기가 25 mag/arcsec<sup>2</sup> 까지의 de Vaucouleurs 반경 ( $D_0$ )의 절반 ( $\rho_0$ ) 으로 정상화 하였다. 산소 함량은 은하 중심으로 부터의 거리에 대한 분포에서 매우 뚜렷한 기울기를 보이고 있는데, N/O 비 값은 산소 함량에 비해 뚜렷한 기울기를 보이지 않는다. 이러한 결과는 이 원소들의 형성 시기에 대한 논의는 물론, 은하 형성 초기에 주어진 조건에 의해 분포하는 것인지 또는 은하 내 원소들의 지속적인 은하 중심부로의 유입에 의한 현상인지에 대한 논의의 주제를 제시한다 (Edmunds & Pagel 1978). NGC 7793 내 각 HII 영역들의 스펙트럼으로부터 얻은 방출선들의 세기비에 대한 요소들을 표 5에 정리하였다. 여기서  $\langle t \rangle$  로 표시된 것은 HII 영역의 전자 온도로서,  $([OII]+[OIII])/H\beta$  와  $\langle t \rangle$ 에 대한 Pagel et al. (1979)의 경험적인 관계로부터 구한 값이다. 그림 5에 NGC 7793내의 4개의 HII 영역들의 은하 중심으로 부터 거

표 2. NGC300, NGC1365, NGC7793의 일반적인 특성

	NGC300	NGC1365	NGC7793
RA(1950)	$0^h52^m31^s$	$3^h31^m42^s$	$23^h55^m16^s$
Dec(1950)	$-37^{\circ}57'24''$	$-36^{\circ}18'18''$	$-32^{\circ}52'06''$
BCG rev type	SAS7	SBS3	SAS8
Other type	Scd, a	SBb, SBc	Sdm
$D_o$ arcmin	19.5	8.9	8.7
$V_o$ km/s	97	1502	214
Distance Mpc	1.9	0.3	20
Inclination	$42^{\circ}$	$46^{\circ}$	$53^{\circ}$
Position angle	$109^{\circ}$	$30^{\circ}$	$97^{\circ}$

표 3. HII 영역들의 분광 관측 조건

parameters	조건
Slit width	$1''.4$ (0.21mm)
Slit length	$20''$ divided into eight increments along the slit
Camera	25cm
Dispersion	$65\text{\AA}/\text{mm}$ (blue), $130\text{\AA}/\text{mm}$ (red), $140\text{\AA}/\text{mm}$ (whole spectrum)
Resolution	$4\text{\AA}$ (blue), $8\text{\AA}$ (red), $8\text{\AA}$ (whole spectrum)
Wavelength range	$3600\text{-}5500\text{\AA}$ (blue), $4700\text{-}8500\text{\AA}$ (red), $3600\text{-}7500\text{\AA}$ (whole spectrum)
Exposure time	1000-4000 seconds

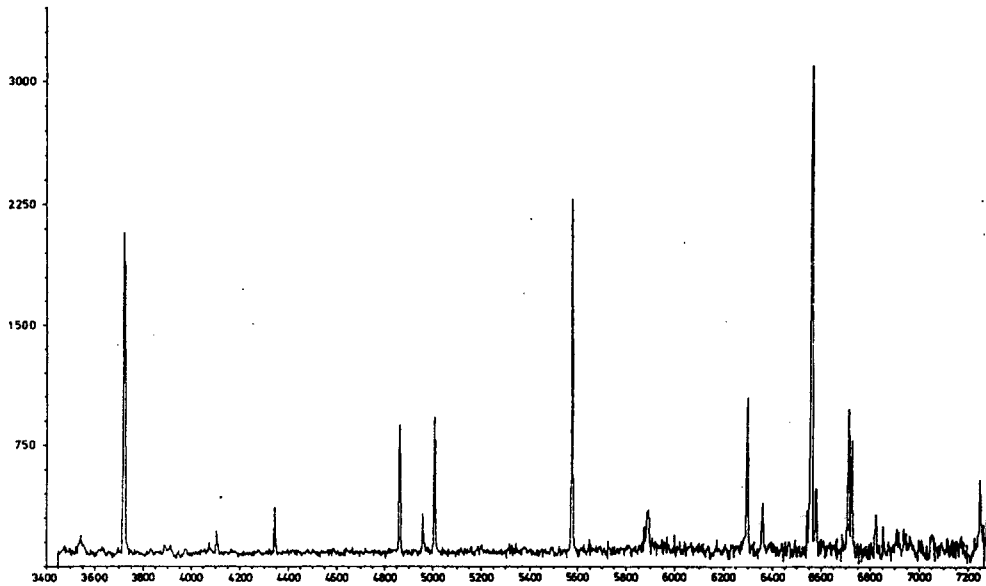


그림 1.— NGC 300내 대표 HII 영역의 방출 스펙트럼

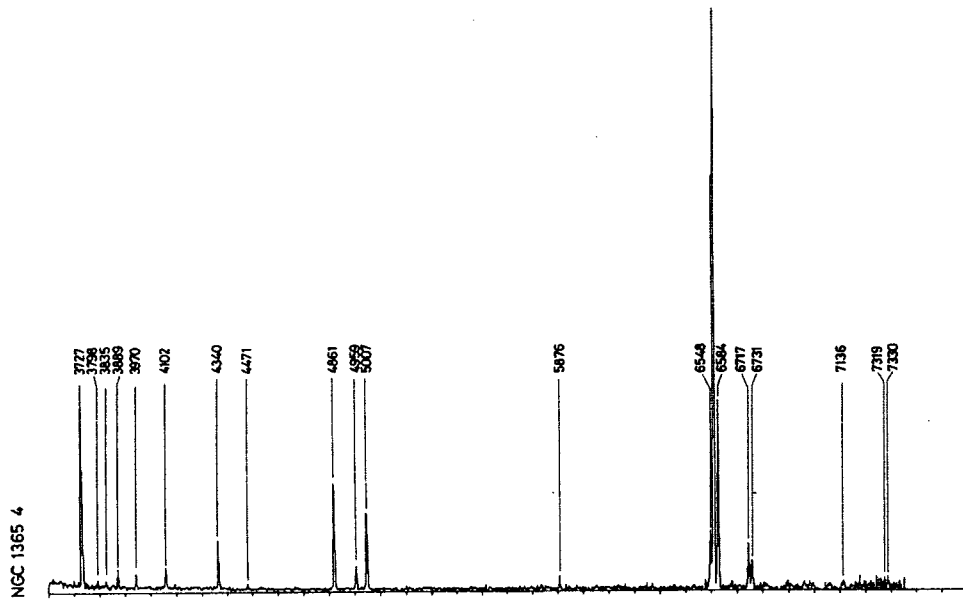


그림 2.— NGC 1365내 대표 HII 영역의 방출 스펙트럼

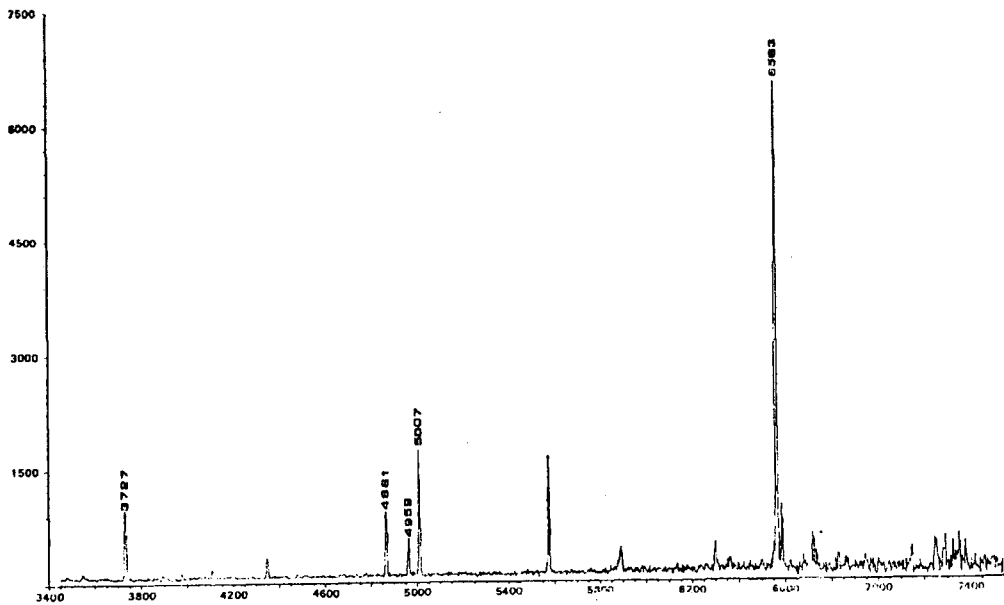


그림 3.— NGC 7793내 대표 HII 영역의 방출 스펙트럼

표 4. 동정된 HII 영역들에 의한 방출선

$\lambda(\text{\AA})$	Ident	$\lambda(\text{\AA})$	Ident	$\lambda(\text{\AA})$	Ident
3727	[OII]	4076	[SII]	6548	[NII]
3750	H12	4102	H $\delta$	6584	[NII]
3771	H11	4340	H $\gamma$	6563	H $\alpha$
3798	H10	4363	[OIII]	6678	He
3835	H9	4471	He	6717	[SII]
3869	[NeIII]	4861	H $\beta$	6731	[SII]
3889	H8+He	4959	[OIII]	7136	[ArIII]
3970	H7	5007	[OIII]		
4068	[SII]	5876	He		

표 5. NGC7793내 HII영역 방출선들의 원소 함량에 대한 측정 요소들

Parameters	H5	H29	H23	W11
$\rho/\rho_0$	0.68	0.56	0.28	1.24
$([OII]+[OIII])/H\beta$	6.34	6.17	7.73	6.97
$\langle t \rangle$	0.88	0.86	0.98	0.92
$12 + \log O^{++}/H^+$	7.52	7.95	7.93	8.09
$12 + \log O^+/H^+$	8.58	8.47	8.23	8.20
$12 + \log O/H$	8.62	8.59	8.41	8.45
$\log O^+/N^+$	1.54	1.49	1.86	1.68
$\log O^+/S^+$	2.34	2.48	2.36	2.24
$\log O^+/S^{++}$	1.80	1.49	0.78	0.63
$\log O/S$	1.69	1.45	0.77	0.63
$\log O^{++}/Ne^{++}$	0.63	1.10	0.95	0.89
$\log O^{++}/Ar^{++}$	1.94	-	-	-
$\log O^+/Cl^{++}$	3.15	4.75	2.72	2.59
$O^{++}/O^++O^{++}$	0.14	0.35	0.46	0.58

리에 대한 원소 함량의 변화를 나타내었는데, NGC 300의 경우에서와는 달리 원소 함량 기울기가 잘 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러나 산소함량의 평균값은 NGC 300의 경우와 흡사하게 나타난다.

이와 같이 나선 은하 HII 영역들의 관측에 의해 주어지는 은하내 원소들의 함량 분포 결과는 각 은하에 따라 다양한 차이를 보이며 나타난다 (Chun 1983). 예를들어 산소의 분포를 살펴보면, NGC 300과 같이 은하의 내부와 외곽부에 대해 10배 이상의 차이를 보이는 은하들이 있는가 하면, Magellanic Clouds의 경우에서처럼 (Pagel et al. 1978) O/H의 분포가 은하의 중심 반경에 대해 거의 변화가 없는 경우도 있다. 이러한 경향성의 차이는 은하군 또는 은하단에 의한 은하들의 환경적 차이, 막대나 은하 중심 팽대부의 구조 차이, 또는 나선 은하내의 가스들의 대규모 회전 운동의 차이 등으로 다양하게 해석되고 있다 (Pagel et al. 1979).

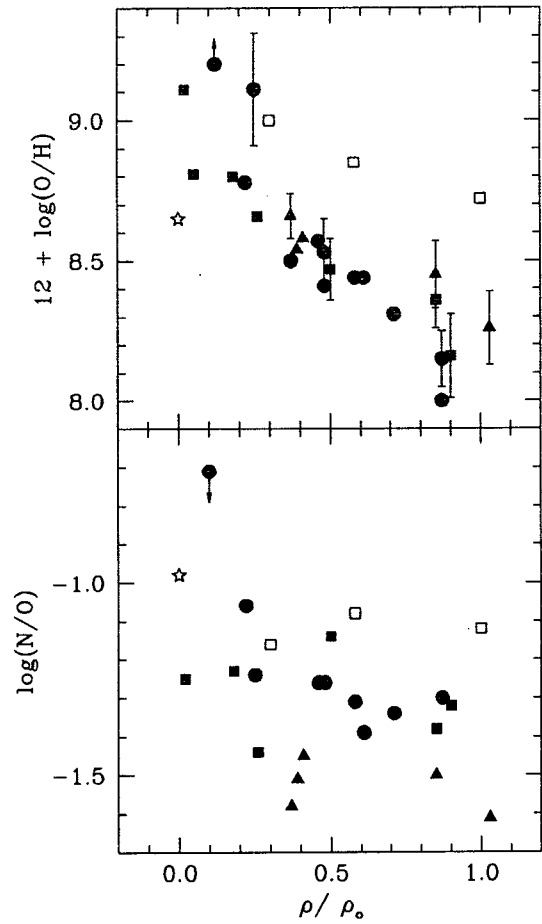


그림 4.— NGC 300과 NGC 1365내 HII 영역 방출선 스펙트럼으로부터 얻은 결과를 포함한 나선 은하들의 은하 중심으로부터 거리에 대한 산소 함량과 N/O 비의 변화 (Pagel et al. 1979). 채워진 원은 M 101, 채워진 네모는 M 33, 채워진 세모는 NGC 300, 열린 네모는 NGC 1365의 HII 영역들에 대한 결과이며, 열린 별표는 NGC 1365의 핵부분에 대한 값이다.

### 5. 구상성단의 종합 스펙트럼과 구상성단내 거성들의 스펙트럼

구상성단은 고온의 가스 성분을 포함하지 않으므로 관측되는 스펙트럼은 질량이 작은 별들에 의한 흡수선의 형태를 나타낸다. Chun & Freeman (1979)은 구상성단들의 표면 측광으로부터, 일부의 성단들이 중심거리에 대한 색분포의 기울기가 나타남을 주장한 바 있다. 이러한 측광학적 색분포의 기울기는 성단의 역학적 진화 상태나 성단을 구성하는 별들의 종족 분포의 차이, 또는 성단내 원소들의 분포 차이에 기인할 수 있다. 구상성단내 색분포의 기울기가 별들을 구성하는 원소 함량의 기울기와 직접적인 관련이 있는가 하는 것은 성단내 특정 영역들에 대한 분광 스펙트럼을 얻거나, 성단내에 분포하는 밝은 거성들에 대한 스펙트럼을 관측하여, 성단 중심으로 부터의 거리에 대한 원소 함

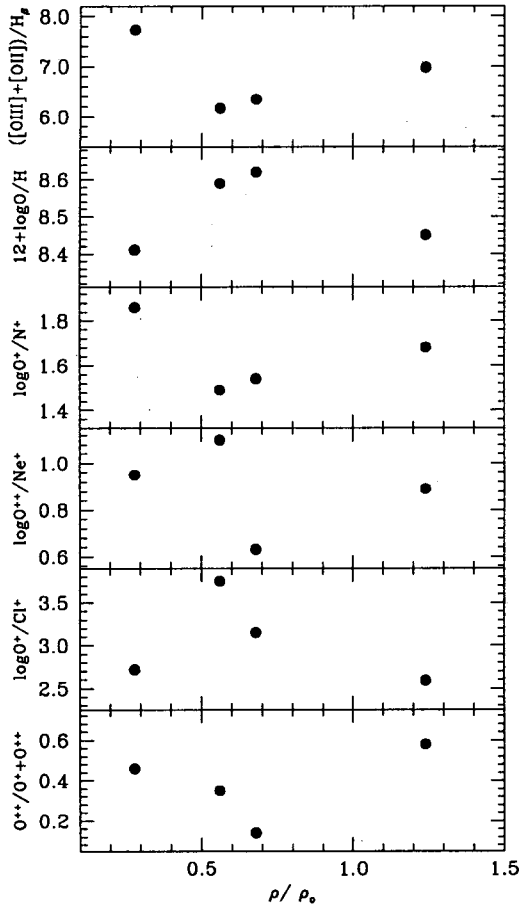


그림 5.— NGC 7793내 HII 영역 방출선 스펙트럼으로부터 얻은 은하 중심으로부터 거리에 대한 원소 함량의 변화

량의 변화를 보면 된다. 여기서는 Chun(1981)에 의해 연구된 NGC 1851과 NGC 2808의 성단 영역 분광 관측과, Chun(1988)의 NGC 3201내의 거성들에 대한 분광 관측의 경우를 예를 들어 살펴보자.

각 성단들의 기본 특성을 표 6에 나타내었다. NGC 1851은 측광학적 색분포 기울기를 보이지 않으며 중심부 이완시간이 짧고 ( $T_R < 10^8$  yrs), NGC 2808과 NGC 3201은 색분포 기울기를 나타내며 이완시간이 길다 ( $T_R > 10^8$  yrs). 이완시간이 긴 성단에서 주로 색분포 기울기가 나타난다는 사실은 색분포 기울기의 원인이 성단내 별들의 층들에 의한 질량 분리 현상보다는 성단 형성 초기에 일어난 현상임을 암시한다 (Freeman 1978).

관측은 South African Astronomical Observatory 74 인치 망원경과 Image tube 분광기, 1.4 인치 카메라, 그리고 baked IIA-O plate를 이용하였다. 분산은 NGC 1851과 NGC 2808 성단 영역 관측의 경우 75 Å/mm, NGC 3201내의 거성들에 대한 관측의 경우 67 Å/mm로서 중분산 특성을 갖는다. 성단 영역 관측의 경우 사용된 슬릿은

18" × 6"의 크기를 가지며, 18" 축을 성단 중심부로 향하는 방향으로 정렬하였다. 성단내 거성을 관측한 경우 슬릿폭은 100-300 μm에 해당된다. 노출시간은 관측에 따라 10~30분이다.

NGC 1851과 NGC 2808 성단 영역 관측의 경우, 슬릿의 길이가 18" 임을 감안하여 슬릿의 위치를 성단 중심으로부터 9"와 27" 영역에 대해 위치각을 45도 간격으로 바꾸어 가며 스펙트럼을 측정하였다. 따라서 한 성단에 대해 전체 16개의 스펙트럼을 얻었다. 그림 6에 NGC 1851과 NGC 2808에 대해 얻은 스펙트럼중 안쪽 영역 (0-18")과 바깥쪽 영역 (18-36") 스펙트럼들중 각각 3개씩을 나타내었으며, CN, G, CaII - K band 등 동정된 주요 흡수선들도 함께 표시하였다. 관측된 스펙트럼의 세기는 Oxford의 Joyce-Loebel microdensitometer로 측정하였으며, spot sensitometer plate를 측정하여 눈금맞추기를 실시하였다. CN, G, CaII - K band와  $H\gamma$ 의 등가폭 (equivalent width,  $W$ )를 각각 측정하여, line strength indices ( $S$ ), 즉  $S(CN) = \frac{W(CN)}{W(H\gamma)}$ ,  $S(K) = \frac{W(K)}{W(H\gamma)}$ ,  $S(G) = \frac{W(G)}{W(H\gamma)}$ 를 계산하였다 (표 7).

그림 7에 NGC 1851과 NGC 2808의 중심거리에 대한 색분포와 line strength indices ( $S(CN)$ ,  $S(K)$ ,  $S(G)$ )의 분포를 측광학적 색분포 ( $B-V$ ,  $U-B$ )와 더불어 나타내었다. 측광학적 색분포 기울기가 잘 나타나는 NGC 2808의 경우  $S$  indices들의 분포도 기울기를 보이며, 반면에 NGC 1851의 경우는 기울기가 나타나지 않는다. 따라서 이러한 결과는 구상성단의 측광학적 색분포는 성단내 별들의 원소 함량 분포와 직접적인 연관성이 있음을 보여주는 것이다.

NGC 3201에 대해, 성단 중심으로부터 거리가 서로 다른 4개의 적색 거성과 5개의 점근 거성들에 대한 스펙트럼을 관측하였다. 관측한 거성들은 Lee (1977)의 색등급도에서 선택하였다. 그림 8에 각 거성들에 대한 스펙트럼을 동정된 주요 흡수선들과 함께 표시하였다. 주요 흡수 스펙트럼선들은 표 8과 같으며, Chun (1988)에 주어진 식들을 이용하여 각 흡수선들의 세기에 대한 등급 ( $m_{index}$ )들을 얻어 표 9에 나타내었다. 각 거성들의 성단 중심으로부터의 거리에 대한 원소 함량들의 변화를 그림 9에 측광 색분포와 함께 나타내었다.

그림 9의 결과를 살펴보면, 적어도 적색 거성의 경우 Ca과 CH의 원소 함량이 NGC 3201의 중심부에서 증가함을 볼 수 있다. 즉 중원소 함량이 많은 적색 거성이 성단의 중심부에 분포한다. 그러나 적색 거성이나 점근 거성의 경우 모두 CN 함량의 중심 거리에 대한 변화는 보이지 않는다. 이러한 사실은 NGC 3201에서 나타나는 원소 함량의 거리에 대한 기울기는 nitrogen에 의한 것이라기 보다는 carbon에 의한 것으로 해석할 수 있다. 이 결과 역시 NGC 3201의 측광학적 색분포는 성단내 별들의 원소 함량 분포와 연관성이 있음을 보여준다.



표 6. 관측된 구상성단들의 기본 특성

cluster	SpT	$(m - M)_o$	$\log(\frac{r_c}{r_o})$	$\log T_R$	color gradient
NGC1851	F7	15.55	1.83	7.56	NO
NGC2808	F8	15.60	1.75	8.18	YES
NGC3201	F9	13.57	1.52	8.33	YES

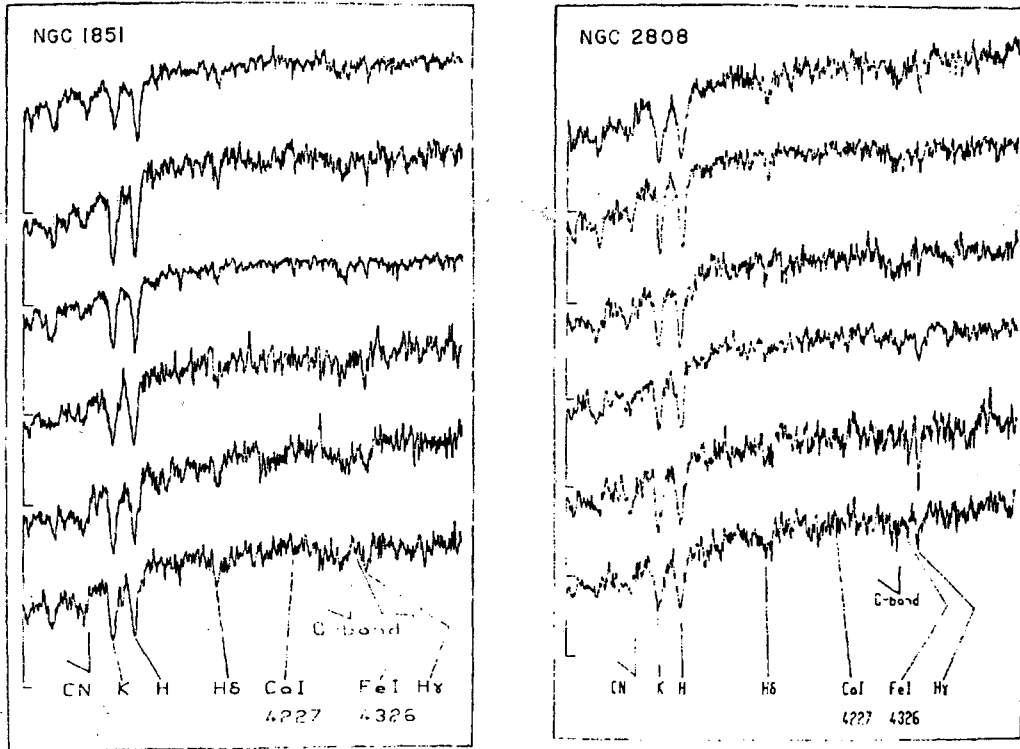
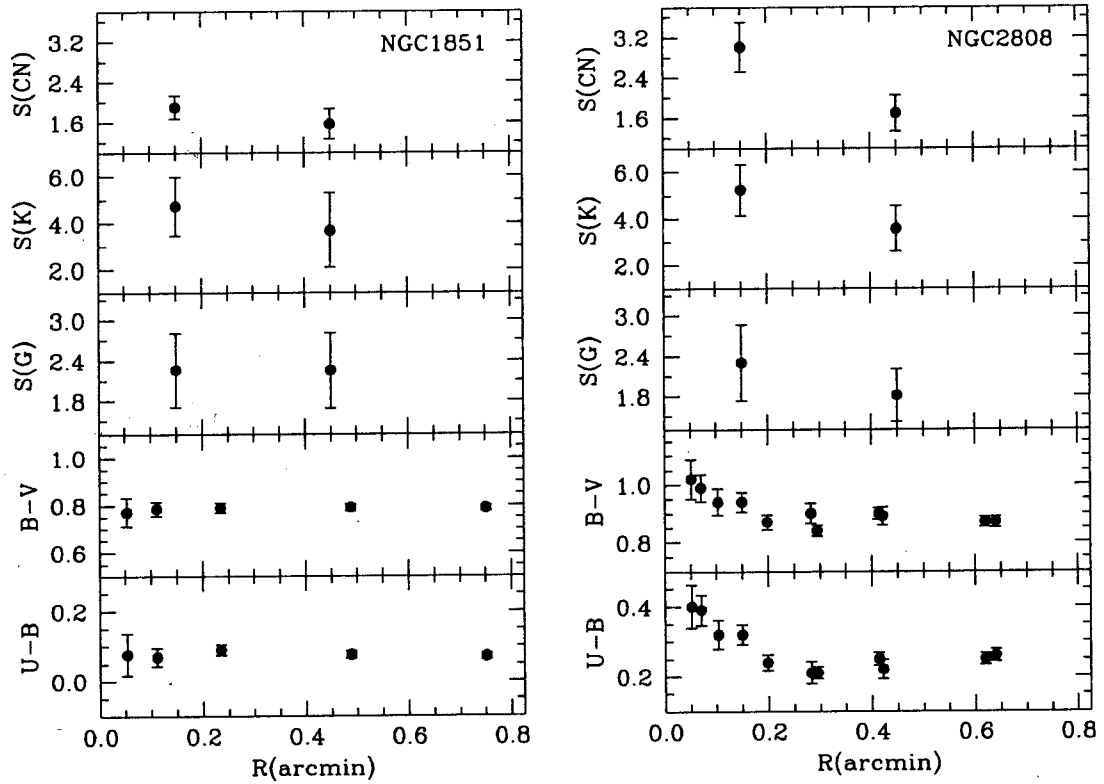


그림 6.— NGC 1851과 NGC 2808의 스펙트럼. 위쪽 3개는 안쪽 영역 (0-18") 이며 아래쪽 3개는 바깥 영역 (18-36") 이다.

표 7. NGC1851과 NGC2808의 line strength indices

indices	NGC1851 <sub>inner</sub>	NGC1851 <sub>outer</sub>	NGC2808 <sub>inner</sub>	NGC2808 <sub>outer</sub>
distance	$0 < R < 18''$	$18 < R < 36''$	$0 < R < 18''$	$18 < R < 36''$
$S(CN)$	$1.90 \pm 0.23$	$1.56 \pm 0.30$	$3.01 \pm 0.49$	$1.69 \pm 0.36$
$S(K)$	$4.73 \pm 1.25$	$3.68 \pm 1.60$	$5.23 \pm 1.08$	$3.58 \pm 0.98$
$S(G)$	$2.26 \pm 0.55$	$2.25 \pm 0.56$	$2.30 \pm 0.57$	$1.81 \pm 0.39$

그림 7.— NGC 1851과 NGC 2808의 중심거리에 대한 색분포와 line strength indices ( $S(CN)$ ,  $S(K)$ ,  $S(G)$ )의 분포

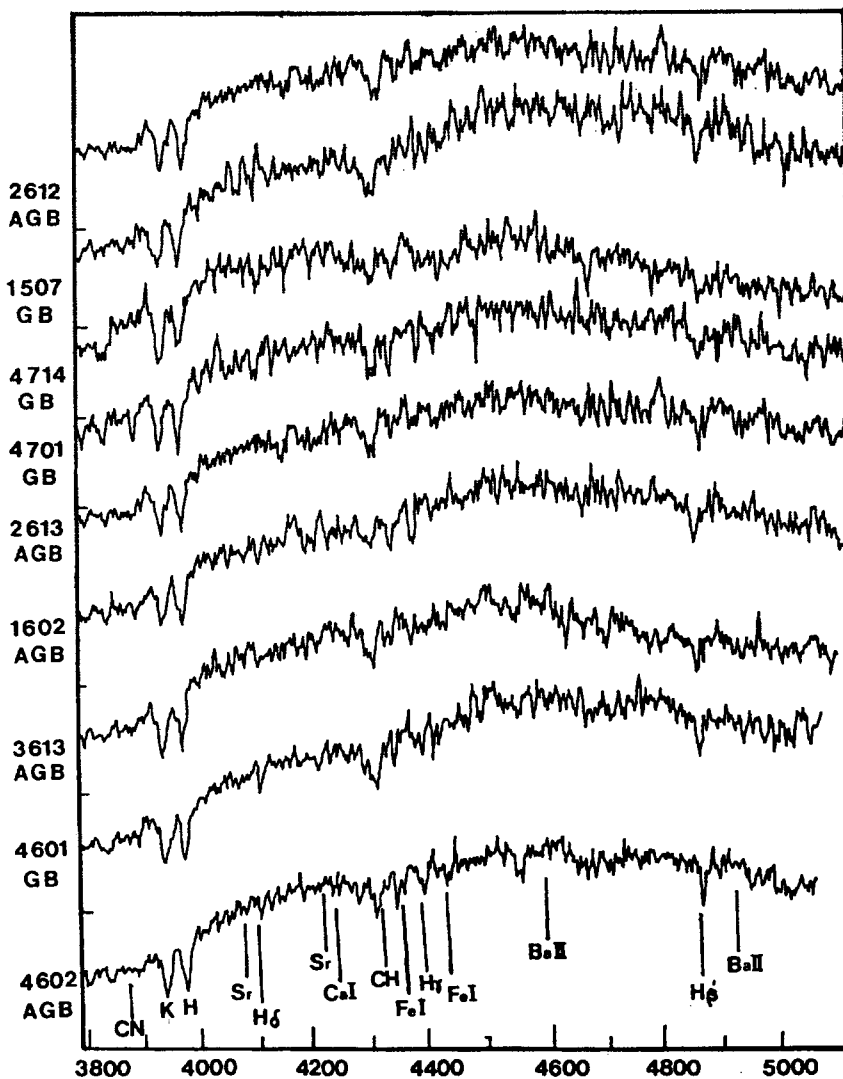


그림 8.— NGC 3201내의 9개 거성들의 스펙트럼

표 8. NGC3201내 거성들의 스펙트럼에서 동정된 흡수선

band	중심 파장(Å)	파장폭(Å)
CN	3840	140
HK	3965	110
HK <sub>cont</sub>	4075	110
CaI	4226	30
CH	4275	80
CH <sub>cont</sub>	4335	40
Fe	4397	85
Fe <sub>cont</sub>	4530	60

표 9. NGC3201 내 거성들에 대해 측정된 흡수선의 세기

star	group	$m_{HK}$	$m_{CN}$	$m_G$	$m_{Ca}$	$m_{Fe}$	$M_V$
1507	GB	0.44	0.66	0.11	0.06	0.03	0.47
4601	GB	0.46	0.68	0.12	0.03	0.05	0.57
4701	GB	0.37	0.61	0.02	-0.04	0.03	0.30
4714	GB	0.34	0.63	0.03	-0.10	0.09	0.11
1602	AGB	0.34	0.63	0.02	0.00	0.00	0.53
2612	AGB	0.45	0.74	0.08	0.06	0.03	-0.30
2613	AGB	0.39	0.64	0.08	0.07	0.04	0.39
3613	AGB	0.48	0.82	0.07	0.00	0.03	0.22
4602	AGB	0.43	0.65	0.09	0.00	-0.01	0.39

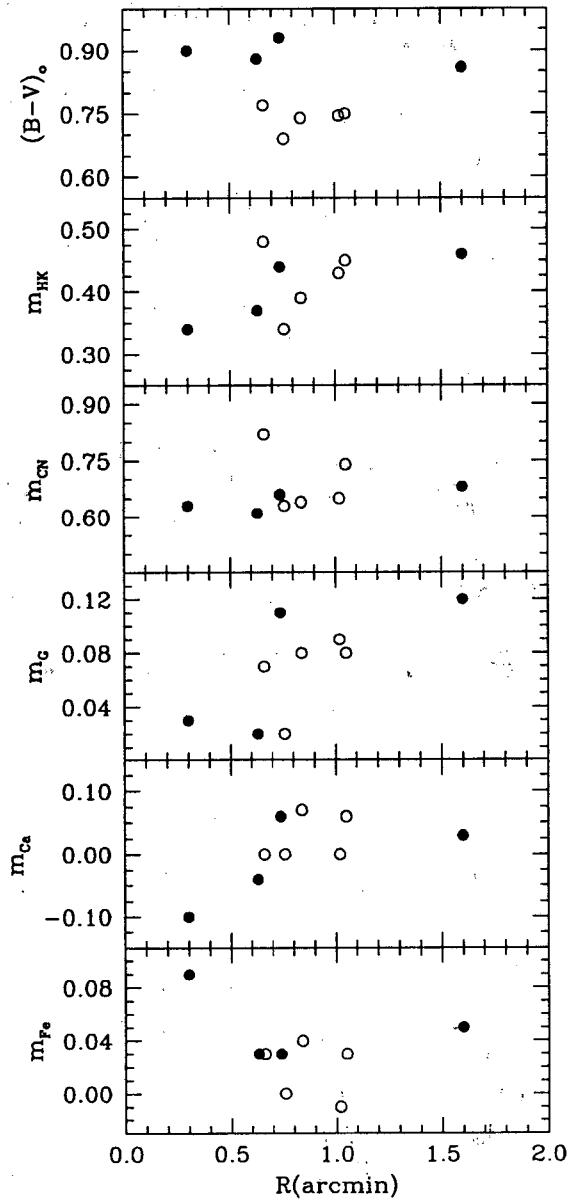


그림 9.— NGC 3201내의 4개의 적색 거성 (검은점) 과 5개의 적색 거성 (빈점)의 성단 중심 거리에 대한 흡수선의 세기 분포

## 6. 요약 및 보현산 천문대 1.8 m 망원경의 분광 관측 활용 방안

초기 천체 분광 관측의 역사를 알아보았으며, 프리즘과 회절 격자의 원리를 간단히 살펴보았다. 은하의 화학 조성 및 화학적 진화에 관한 정보를 주는 HII 영역들의 분광 스펙트럼 특징을 나선은하 NGC 300, NGC 1365, 그리고 NGC 7793 내의 HII 영역들에 대한 방출 스펙트럼으로부터 살펴보았다. HII 영역들의 은하내 위치에 대한 원소 함량 분포에 대한 분석은 각 은하들의 환경적 차이, 구조적 차이, 그리고 은하내 가스들의 운동 상태의 차이들과 연관되어 설명되어진다. 구상성단들의 측광학적 색분포 기울기와 성단내 별들의 원소 함량과의 연관성을 알아보기 위해 NGC 1851, NGC 2808의 종합 스펙트럼과 NGC 3201내의 거성들의 스펙트럼에서 나타나는 흡수선들을 분석하였다. 이로부터 구상성단의 측광학적 색분포가 성단내 별들의 원소 함량 분포와 연관성이 있음을 알 수 있었다.

보현산 천문대가 보유하고 있는 1.8 m 망원경을 이용한 분광 관측은 여러가지가 있을 수 있겠지만 그 효율의 극대화를 위해 여러 천문학적 목적을 위한 나열식 운영 보다, 비록 시간이 많이 소요되더라도 다른 천문대나 연구자들에 의해 진행되지 않는 목적성 있는 관측에 주안을 두어야 하겠다. 이는 우리 나라 분광 천문학의 경쟁력을 높일 뿐만 아니라 일반 또는 천문학자들의 관심도도 높아질 것으로 기대되기 때문이다. 이에 대응될 것으로 여겨지는 대표적인 것들을 다음과 같이 제안한다. 첫째, 고분해능의 탐사 (survey) 용 multi-object spectrograph를 제안한다. 이를 통해 나선 은하들의 나선팔에 분포하는 모든 HII 영역의 원소 함량 분포와 Balmer line ratio 등을 효율적으로 측정하여 서로의 상관 관계등을 알아보아, 은하에서의 별 형성과 은하의 화학적 진화에 관한 연구를 진행하는 것도 좋겠다. 둘째, spectroscopic binary 관측 기법을 응용한 고분산 분광 관측을 통하여, 태양 근처 별들에 관한 행성을 발견하기 위한 과제도 호응도 뿐만아니라 홍보면에서도 아주 좋은 연구 과제로 생각된다. 또한 spectroscopic binary들에 대한 관측은 국내에 상대적으로 많은 변광성 연구자들이 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 연구는 일부 과학기술부 창의적 연구진흥사업의 지원으로 진행되었습니다.

## 참고문헌

- Bowen, I.S. 1962, in *Astronomical Techniques*, ed. W.A. Hiltner, (Univ. of Chicago Press, Chicago), p. 34
- Chun, M.S. 1981, *JKAS*, 14, 13
- Chun, M.S. 1983, *JKAS*, 16, 1
- Chun, M.S. 1988, *JKAS*, 21, 67
- Chun, M.S. & Freeman, K.C. 1979, *ApJ*, 227, 93
- Edmunds, M.G. & Pagel B.E.J. 1978, *MNRAS*, 185, 77
- Freeman, K.C. 1978, *IAU Symp.* Vol 77, 3
- Kitchin, C.R. 1988, *Astrophysical Techniques*, (Adam Hilger, Bristol)
- Lee, S.W. 1977, *A&AS*, 28, 409
- Oke, J.B. 1974, *ApJS*, 27, 21
- Pagel, B.E.J., Edmunds, M.G., Fosbury, R.A.E., & Webster, B.L. 1978, *MNRAS*, 184, 569
- Pagel, B.E.J., Edmunds, M.G., Blackwell, D.E., Chun, M.S., & Smith, G. 1979, *MNRAS*, 189, 95
- Pagel, B.E.J., Televich, R.J., & Melnick, J. 1986, *PASP*, 98 1005
- Peimbert, M., Pena, M., & Toress-Peimbert, S. 1986, *A&A*, 158, 266
- Walker, G. 1987, *Astronomical Observations*, (Cambridge University Press, Cambridge)