

소형망원경을 이용한 산개성단 NGC 129 영역의 변광성 탐사

이은정¹ · 전영범² · 이 호^{1,*} · 박홍서¹

¹한국교원대학교 제3대학 지구과학교육과, 363-791 충북 청원군 강내면 다락리 산7

²한국천문연구원, 305-348 대전광역시 유성구 화암동 61-1

A Search for New Variable Stars in the Open Cluster NGC 129 using a Small Telescope

Eun-Jung Lee¹, Young-Beom Jeon², Ho Lee^{1,*}, and Hong-Suh Park¹

¹Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,
Choongbuk 363-791, Korea

²Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

Abstract: As part of the SPVS (Short-Period Variability Survey) which is a wide-field (90' × 60') photometric monitoring program at Bohyunsan Optical Astronomy (BOAO), we performed V band time-series CCD photometric observations of the young open cluster NGC 129 for 11 nights between October 12, 2004 and November 3, 2005 using the 155mm refractor equipped with 3K × 2K CCD camera. From the observation we obtained 2400 V band CCD frames and color-magnitude diagram of the cluster. To transform instrumental magnitude to standard magnitude, we applied ensemble normalization technique to all observed time-series data. After the photometric reduction process, we examined variations of 9537 stars. As a result, sixty six of the new variable stars were discovered. To determine the periods of these variables, we used DFT(Discrete Fourier Transform) and phase-matching technique. According to light curve shape, period, amplitude and the position on a C-M diagram, we classified these variables as 9 SPB type, 9 δ Scuti type, 29 eclipsing, 17 long term variables. However, two of them were not classified. From this study, we learned that small telescopes could be a very useful tool to observe variable stars in the open cluster in survey program.

Keywords: observations, wide-field, stars, variables

요약: 소형망원경을 이용하여 산개성단 내 단주기 미세 변광성을 체계적으로 탐사하기 위한 보현산 천문대 측광 모니터링 프로그램 Short Period Variability Survey(SPVS)의 일환으로, 젊은 산개성단 NGC 129의 90'×60' 영역에 대한 V 필터 시계열 측광 관측을 수행하였다. 성단의 관측은 보현산 천문대 155 mm 소형 굴절 망원경과 3K×2K CCD 카메라를 이용하여 2004년 10월 12일부터 2005년 11월 3일까지 총 11일간 수행되었으며, 그 결과 전체 2400장의 V 필터 시계열 CCD 영상자료 및 성단의 색-등급도를 얻었다. 시계열 자료의 기기등급을 표준등급으로 변환하기 위하여 앙상블 정규화 기법(ensemble normalization technique)을 사용하였다. 측광 후 총 9537개별의 시간에 따른 광도변화를 조사한 결과 총 66개의 새로운 변광성을 발견 하였다. 새롭게 찾아낸 변광성들은 DFT(Discrete Fourier Transform) 분석과 위상 맞추기 방법(phase-matching technique)을 이용하여 변광 주기를 결정하였다. 결정된 변광성의 주기 및 진폭 변화, 색-등급도 상에서의 변광성의 위치 등을 고려하여 변광 유형을 조사한 결과 9개의 SPB형 변광성과 9개의 δ Scuti형 변광성, 29개의 식변광성, 17개의 장주기 변광성과 기타 2개의 변광성으로 분류할 수 있었다. 본 연구를 통해, 산개성단에서의 변광성 탐사 연구에 소형망원경이 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

주요어: 관측, 광시야, 항성, 변광성

*Corresponding author: leeho119@blue.knue.ac.kr

Tel: 82-43-230-3794

Fax: 82-43-233-2960

서 론

최근 소형 망원경을 이용한 ASAS(The All Sky Automated Survey, Pojmanski, 2002), ROTSE (Robotic Optical Transient Search Experiment, Akerlof et al., 2000) 등과 같은 전천 탐색 관측으로 다양한 변광 천체들이 새롭게 발견되고 있다. 그러나 δ Scuti형 변광성과 같은 단주기 미세 변광 천체는 새로 발견되는 숫자가 매우 적은 편이다.

이는 기존의 탐사관측이 짧은 기간에 전천을 탐사하여 체계적인 통계자료를 얻기 위한 목적으로, 관측 시야를 최대한 넓게 확보하기 위해 관측시야가 화소 당 약 30 arcsec 이상인 데에서 오는 측광오차로 여겨진다(Jeon et al., 2005a).

ROTSE 탐사 프로젝트의 경우, 4대의 Cannon 200 mm 렌즈를 이용하여 한번에 $16^\circ \times 16^\circ$ 의 넓은 영역을 담을 수 있지만 관측시야가 화소 당 14.4 arcsec나 되기 때문에 측광의 정밀도가 그다지 높지 않다. 따라서 변광 진폭이 대략 0.1^m 이상 되는 변광 천체가 주 대상이며, 진폭이 작은 대부분의 δ Scuti형 변광성은 거의 발견할 수 없다. 또한 이들의 연구에서 δ Scuti형 변광성 중 진폭이 큰 HADS(High Amplitude Delta Scuti)로 분류한 91개의 목록에 대한 재분류 결과 단지 6개만이 δ Scuti형 변광성이었으며 대부분이 W UMa 형 식변광성임으로 확인되는 등(Jin et al., 2003, 2004) 변광성 분류의 정밀도가 높지 않다. 또한 관측영역을 이동해 가면서 찍기 때문에 같은 영역에 대한 관측 횟수가 많지 않은 것도 단주기 미세 변광성을 발견하기 어려운 이유가 된다.

이러한 관점에서 보현산 천문대의 155 mm 굴절망원경($f=1050$ mm)에 충분히 작은 화소 각크기를 가지는 $3K \times 2K$ 의 CCD를 부착하여 비교적 좋은 측광 정밀도와 넓은 관측시야로 단주기 미세 변광성을 탐사하기 위한 시스템을 구성하여, 우리 은하내의 밝은 산개 성단을 주 대상으로 하는 탐사 프로그램인 Short Period Variability Survey(SPVS)를 실시하고 있다(Jeon et al. 2005a).

여러 시험관측 결과 Short Period Variability Survey (SPVS) 시스템으로 약 9등급에서 13등급 범위의 단주기 미세 변광성을 효율적으로 탐사할 수 있으며(Jeon et al., 2004a, 2004b, 2005b), 약 15등급의 진폭이 큰 식쌍성이나 RR Lyrae 변광성 및 Cepheid 변광성 등을 관측할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

연구의 대상으로 선정한 NGC 129($RA_{2000}=00^h30^m00^s$, $DEC_{2000}=+60^\circ13.00'$)는 카시오페이아자리에 위치한 젊은 산개성단으로 이 성단의 구성원인 DL Cas는 주기가 8.40인 Cepheid 변광성으로 오래전부터 잘 알려져 왔다. Arp et al.(1959)과 Hoag et al.(1965) 등에 의해 UBV 사진측광 및 광전측광으로 $E(B-V)=0.53$, 거리지수 $m-M=11.0 \pm 0.15$ 를 구하였다. Schmidt (1980)는 밝은 NGC 129영역의 별 22개를 대상으로 한 uvby H β 스트리프그램 측광연구를 통해 $E(b-y)=0.207-0.513$, 거리지수 $(m-M)=10.93$ 를 구하였다.

Turner et al.(1992)은 성단 내 27개별의 UBV 광전측광과 12개별의 분광관측을 통해 $E(B-V)=0.47 \pm 0.01$, 거리지수 $(V_0-M_v)=11.11 \pm 0.02$ 를 구하였으며, 등연령곡선 맞추기를 통해 성단의 나이를 $(7.6 \pm 0.4) \times 10^7$ yr로 구하였고, 94개의 성단 구성원 목록을 제시하였으며 밝은 B형별들과 초기성들을 이용하여 성단의 시선속도 -36.0 ± 1.8 kms $^{-1}$ 를 구하였다.

Gieren et al.(1994)은 주계열 맞추기를 통한 Turner (1992)의 거리 지수 결정과는 달리 Cepheid 변광성인 DL Cas의 주기-광도 관계를 이용하여 거리 지수 $(V_0-M_v)=11.54 \pm 0.12$ 를 구하였다. Stock et al.(1997)은 NGC 129 영역에서의 537개의 별에 대한 위치와 등급을 결정하고 86개별에 대해 고유운동을 구한 바 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 성단의 물리량 결정에 관한 연구는 수행되어왔으나, 성단 영역에 존재하는 변광성에 대한 연구는 아직 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 NGC 129영역에 대한 변광성 탐사와 발견된 변광성에 대한 물리량을 결정하고자한다. 제 2절에서는 관측 및 자료처리를 제 3절에서는 결과를 그리고 마지막 절에 전체결과의 요약 및 토의가 이루어져졌다.

관측 및 자료처리

관측 기기

본 연구를 포함한 Short Period Variability Survey (SPVS) 프로그램에서의 관측은 경북 영천의 보현산 천문대(경도: $128^\circ58'35".7$ E, 위도: $36^\circ09'53".2$ N)에서 수행되었으며, 보현산 천문대의 155 mm 굴절 망원경을 사용하였다.

Fig. 1은 관측에 사용된 소형 망원경의 모습으로, 초점거리는 $f=1050$ mm, 초점비는 F/7이며 구동방식

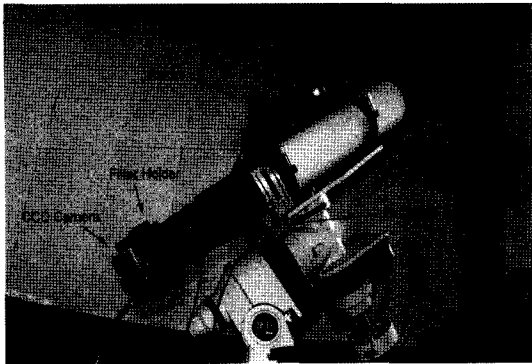


Fig. 1. BOAO 155mm refractor with Apogee AP9E CCD (Jeon et al., 2005a).

은 독일식 적도의식(equatorial type)이다. 광검출기(detector)로는, 3K×2K개의 화소를 가진 Apogee사의 AP9E CCD 카메라를 사용하였으며, 화소 당 1.77 arcsec로 한 CCD 영상의 시야(field of view)는 대략 90°×60' 가량이다. AP9E CCD는 전기냉각 방식으로 -30°C 이하까지 냉각이 가능하나 CCD창에 성애가 발생되지 않는 -20°C에 맞추어 관측이 수행되었다.

CCD의 readout 시간은 약 8초로 비교적 짧기 때문에 단주기 변광성의 빠른 주기 변화를 관측하는데 유리하다. 읽기잡음(readout noise)은 8.9e⁻, 이득값(gain)은 20e⁻/ADU이다. CCD 카메라 앞에는 5 cm×5 cm의 필터 홀더를 부착하였으며, 사용하는 필터는 보현산 천문대 1.8 m 망원경의 UBVRI 시스템과 같은 필터이다.

관측기기 제어 시스템으로, CCD 구동을 위한 PC 및 망원경 구동을 위한 PC는 돔 안에 암막을 이용하여 만든 간이 관측실안에 위치하며, 별도의 관측실에 돔 제어용 PC가 있다. 실제 관측은 주로 보현산 천문대의 내부 네트워크 안에서 원격으로 이루어지며, Fig. 1의 웹 카메라와 원격 초점 조정기는 이러한 원격관측 시스템 구축을 위해 부착한 것이다. Short Period Variability Survey(SPVS) 프로그램의 관측시스템에 대한 좀 더 세부적인 사항은 Jeon et al. (2005a)에 자세히 기술되어 있다. Table 1에 관측시스템에 대하여 정리하였다.

성단 및 표준화 관측

산개성단 NGC 129 영역에 대해 2004년 10월 12일부터 2005년 11월 3일까지 총 11일 밤 동안 V 필터 시계열 관측을 수행하여 총 2,400여장의 V 필터

Table 1. Parameters of observational instruments

Telescope	155 mm refractor (Astro-Physic)
focus	f/7
Mount type	Equatorial mount
Mount control	Skysensor 2000PC
Mount remote control	Maxim DL
Remote contact software	Remote Administrator Viewer
Focus control	Robofocus
Focus remote control	Maxim DL
Web camera remote control	Maxim DL
Filter	Johnson V
CCD camera	Apogee, AP9E
Pixel size, scale	9 μm 9 μm, 1.77 arcsec/pixel
Pixel number	3072 2048
View of field	1.5 1.0
Gain	20e ⁻ /ADU
Readout noise, time	8.9e ⁻ , 8s
Cooling	-25
Control software	Maxim DL

Table 2. Observation log of the open cluster NGC 129

Date (UT)	Start HJD (+24530000)	Number of Image (filter)	Exposure Time (seconds)
2004 10 12	290.9103	184 (V)	30, 150
2004 10 14	292.9050	358 (V)	30, 150
2004 10 20	298.8968	398 (V)	30, 150
2004 10 27	305.8891	383 (V)	30, 150
2004 10 28	306.8877	403 (V)	30, 150
2005 09 27	641.0580	63 (V)	150
2005 10 04	648.0720	93 (V)	150
2005 10 05	649.0276	149 (V)	150
2005 10 06	649.9567	63 (V)	150
2005 10 08	651.9993	97 (V)	150
2005 11 03	677.9422	206 (V)	150
11		2,400	

시계열 측광자료를 얻었으며, 관측일지는 Table 2에 정리하였다.

Fig. 2는 산개성단 NGC 129의 관측 영역으로 V 필터를 이용해 150초 노출을 한 영상으로 변광성은 V1~V66으로 표시하였다. 표준화 관측을 위하여 측광학적 날이었던 2005년 1월 4일 밤에 성단 표준화를 위한 표준성을 관측하였으며, 사용된 표준성은 Landolt (1992)의 표준성 영역인 SA 94, SA 95, SA 96, SA 97 영역에서 총 49개의 표준성을 V, R 필터로 관측하였으며 성단도 같은 필터를 사용하여 관측하였다.

선정된 표준성들의 안시 등급 범위는 9.781~16.275 등급, (B - V), 색지수, (V - R) 색지수 범위가 각각 -0.215~1.763, -0.119~1.166으로 비교적 넓은 분포를

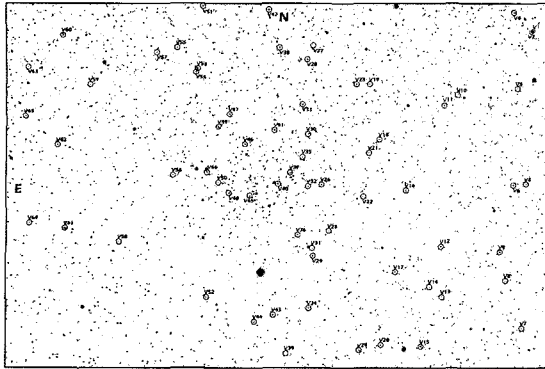


Fig. 2. Observed CCD field (90' x 60') of the open cluster NGC 129. New variable stars are labeled from V1 to V66.

하고 있어, 표준계 변환계수 결정에 유용하다. 각 표준성의 자세한 표준등급과 색지수는 Table 3에 수록하였다. 성단의 표준화를 위해 다음 방정식을 사용하였다.

$$V = v + k_{v1} + k_{v2}(B - V) + k_{v3}X$$

$$R = r + k_{r1} + k_{r2}(V - R) + k_{r3}X$$

Table 3. Standard stars in SA 94, SA 95, SA 96 and SA 97 (Landolt, 1992)

Region	star	V	B-V	V-R	star	V	B-V	V-R
SA 94	242	11.728	0.301	0.178	251	11.204	1.219	0.659
	296	11.255	0.750	0.415	394	12.273	0.545	0.344
	401	14.293	0.638	0.038	-	-	-	-
SA 95	15	11.302	0.712	0.424	41	14.060	0.903	0.589
	42	15.606	-0.215	-0.119	43	10.803	0.510	0.308
	60	13.429	0.776	0.464	62	13.548	1.355	0.742
	74	11.531	1.126	0.600	96	10.010	0.147	0.079
	97	14.818	0.906	0.522	98	14.448	1.181	0.723
	100	15.633	0.791	0.538	101	12.677	0.778	0.436
	105	13.574	0.976	0.550	106	15.137	1.251	0.394
	107	16.275	1.324	0.947	112	15.502	0.662	0.605
	115	14.680	0.836	0.577	132	12.064	0.448	0.259
	142	12.927	0.588	0.371	149	10.938	1.593	0.874
	190	12.627	0.287	0.195	193	14.338	1.211	0.748
	218	12.095	0.708	0.397	231	14.216	0.452	0.270
	236	11.491	0.736	0.421	252	15.394	1.452	0.816
	263	12.679	1.500	0.801	271	13.669	1.287	0.734
	275	13.479	1.763	1.011	276	14.118	1.225	0.748
284	13.669	1.398	0.818	301	11.216	1.290	0.692	
317	13.449	1.320	0.768	330	12.174	1.999	1.166	
SA96	21	12.182	0.490	0.229	36	10.591	0.247	0.134
	83	11.719	0.179	0.093	235	11.140	1.074	0.559
	409	13.778	0.543	0.340	737	11.716	1.334	0.733
SA97	224	14.085	0.919	0.553	284	10.788	1.363	0.774
	345	11.608	1.665	0.928	351	9.781	0.202	0.124

Table 4. Standardization coefficients

Filter	k ₁	k ₂	k ₃
V	0.502	0.196	0.062
R	0.763	0.050	0.074

여기에서 V, R은 표준성의 표준등급이고, v, r은 관측한 표준성들의 기기등급, (B - V)와 (V - R)은 표준성의 표준 색지수, X는 대기투과량(airmass)을 말한다. k₁은 영점 등급, k₂는 색지수 계수를, k₃는 대기소광 계수를 의미한다. 이로부터 얻은 표준화 계수들은 Table 4에 정리하였다.

시계열 자료처리

CCD 측광 관측 자료의 처리는 미국 국립 광학천문대(NOAO)의 IRAF(Image Reduction and Analysis Facility)를 이용한 일반적인 측광 순서에 따라서, 관측한 자료에서 기기적 특성을 제거하는 전처리과정(Preprocessing)을 수행하고, 구경측광(APPHOT)으로 등급을 구하였다.

Short Period Variability Survey (SPVS) 프로그램에 서의 구경은 시상의 2.5~4배되는 구경을 사용하였으며, 155 mm 굴절 망원경의 추적 성능 문제로 별의 모양이 상당히 찌그러진 영상의 경우에는 충분히 큰 구경을 사용하였다. 측광으로부터 얻은 기기 등급을 표준계로 변환하기 위하여 앙상블 정규화 기법 (ensemble normalization technique: Gilliland and Brown, 1988)을 사용하였다. 변환에 사용된 식은 다음과 같다.

$$V = v + c_1 + c_2(V - R) + c_3P_x + c_4P_y$$

여기서, V, R과 v는 정규화 과정에 선택된 별들의 표준등급과 기기등급을 가리키며, c_1 은 측광영점, c_2 는 변환계수이다. P_x 와 P_y 는 각 별의 CCD 영상 내 위치(x, y)값이며, c_3 와 c_4 는 각각 X축과 Y축의 위치 계수들로서 CCD 화면 내에서의 초점면의 공간적 변화(휨)에 의해 산란광 비율의 차이, 시상의 차이가 발생하며, 이를 보정하기 위한 계수들이다. 미세한 투과 대기광의 차이 및 CCD칩의 공간적 특성 차이를 보정하기 위한 계수이다.

정규화의 순서는 먼저, 시계열 자료에서 포화되지 않으면서 밝은 9^m.0-13^m.0의 별들 중 CCD 전 화면에 골고루 분산되고 관측 오차가 작은 별들을 100여개 이상 선정하였는데 이때 변광성이 포함되지 않도록 주의하였다. 선정된 별들의 표준화 등급 및 표준 색 지수는 2005년 1월 4일의 표준화 관측으로부터 구한 후, 시계열 자료의 기기등급과 비교하여 모든 시계열 영상자료들 각각에 대한 위 식에 있는 정규화 계수 (c_1, c_2, c_3, c_4)를 구하였다. 이 계수를 이용하여 모든 별의 기기등급을 정규화 하여 표준등급이 얻어지면 각 시계열 측광 자료의 관측시간(HJD)을 읽어서 각각의 별의 시간에 따른 광도 변화를 하나하나 육안으로 살펴보면서 변광 여부를 조사하였다.

결 과

산개성단 NGC 129영역의 시계열 자료를 분석하여, 측광 가능한 총 9537개별의 광도 변화를 조사하여 변광 여부를 확인한 결과, 총 66개의 변광성(적경 순으로 V1~V66으로 명명)을 찾았다.

변광 유형별로 보면, SPB형 변광성이 9개, δ Scuti형 변광성 9개, 식변광성 29개와 주기가 매우 길어 위상을 충분히 맞출 수 없는 장주기 변광성 및 변광

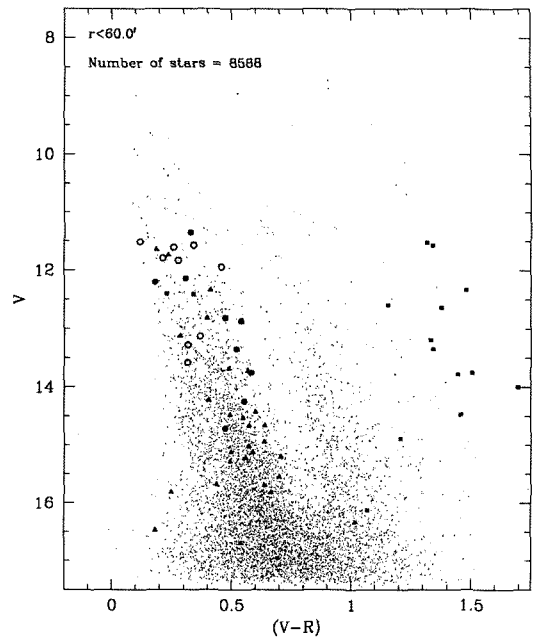


Fig. 3. Position of 66 variable stars in the color-magnitude diagram of the young open cluster NGC 129. (9 SPB type variables are marked by open circles, 9 δ Scuti type variables by filled circle, 29 eclipsing binaries by filled triangle and 19 long term and undefined variable stars by filled square.)

유형을 결정하기가 어려운 변광성 19개이다.

Fig. 2에 관측 영역 내에서 찾은 변광성의 위치를 원으로 표시하였고, Table 5에 좌표, 별이름 및 등급을 USNO-A2.0(Monet et al., 1998) 목록을 인용하여 나타내었다. Fig. 3은 NGC 129의 색-등급도(color-magnitude diagram)상에 새로 발견한 66개의 변광성들의 위치를 나타낸 것이다.

변광성의 변광 유형을 정확히 결정하기 위해서는, 광도 곡선에서의 광도 변화 양상, 변광 주기 및 진폭 뿐만이 아니라, 색-등급도 상에서의 위치까지 함께 고려해야 한다. 따라서 변광성이 성단의 구성원인 경우에는 색-등급도 상의 위치까지 고려할 수 있으므로 보다 정확한 분류가 가능하다. 그러나 함께 관측 영역에는 나타나 있지만 성단 구성원이 아닌 날별(field star)인 경우에는 성단의 거리 지수 및 성간적색화량 등의 물리량이 다르기 때문에 색-등급도상의 위치가 특별한의미를 갖지 못한다.

Fig. 4는 본 연구에서 새롭게 발견한 18개의 맥동 변광성들을 NGC129의 색-등급도 상에 나타낸 것이다. 실선으로 표시된 영년주계열선은 Sung and Bessell

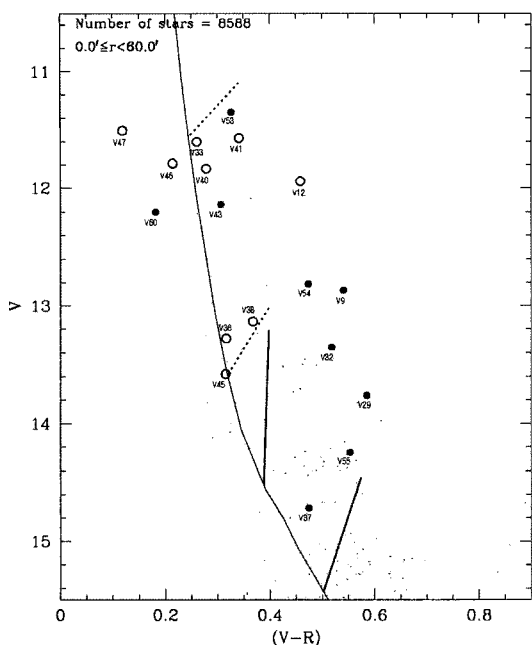


Fig. 4. Positions of 18 pulsating variable stars in the color-magnitude diagram of NGC 129. The thin solid line represents the empirical ZAMS (Sung and Bessell 1999). The thick solid and dashed bars indicate δ Scuti instability strip (Breger 1979) and SPB instability strip (Gautschy and Saio 1996), respectively. Two pulsating stars are marked by filled and opened circles.

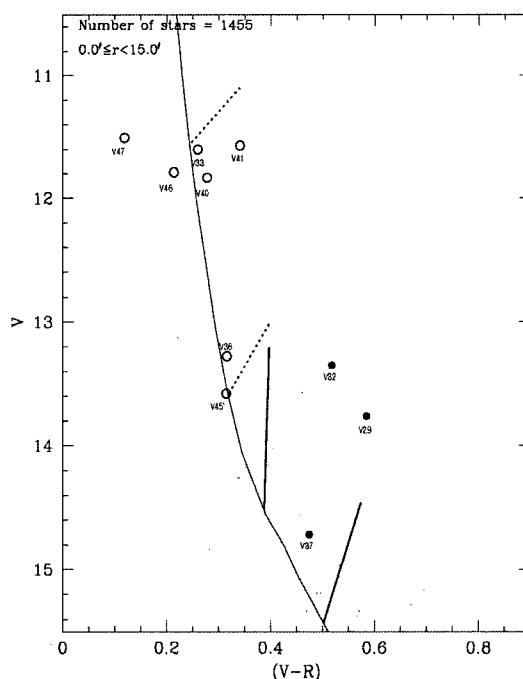


Fig. 5. Positions of 10 pulsating variable stars ($r < 15'$) in the color-magnitude diagram of NGC 129. The thin line represents the empirical ZAMS (Sung and Bessell 1999). The thick solid and dashed bars indicate δ Scuti instability strip (Breger 1979) and SPB instability strip (Gautschy and Saio 1996), respectively. Two pulsating stars are marked by filled and opened circles.

(1999)의 $(V - I)$ 를 Bessell(1990)의 *Vinulis spectra*의 $(V - I)$ 와 $(V - R)$ 로부터 변환식을 만들어 $(V - R)$ 로 변환하였다.

굵은 선은 δ Scuti 불안정 대(δ Scuti instability strip, Breger, 1979), 점선으로 표시된 부분은 SPB 불안정 대(SPB instability strip, Gautschy and Saio, 1996)를 나타내며, Fig. 5는 성단 중심으로부터 15' 이내의 반경 안에 존재하는 10개의 맥동 변광성의 색-등급도 상의 위치를 나타낸 것이다. SPB형 변광성은 ○로 δ Scuti형 변광성 ●로 타나내었다.

SPB형 변광성

66개의 새로운 변광성 후보 중에서 9개가 SPB형 변광성으로 분류되었다. SPB형 변광성의 맥동주기를 결정하기 위해, 푸리에 분석(Fourier analysis)을 적용하였다. 관측 자료의 간격이나 개수가 일정하지 않기 때문에 아래의 식과 같이 표현할 수 있는 불연속 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)방법을

이용한 Kim et al.(1996)의 주기 분석 프로그램을 사용하였다.

$$P(f_i) = \frac{4}{N^2} \left[\left\{ \sum_i y_i \cos(2\pi f_i t_i) \right\}^2 + \left\{ \sum_i y_i \sin(2\pi f_i t_i) \right\}^2 \right]$$

여기에서 $P(f_i)$ 는 주어진 주파수(cycles/day)에서의 세기(power)이고, N 은 관측 자료의 수, t_i 는 관측시간(day), y_i 는 별의 등급이다. 이 프로그램은 관측 자료로부터 파워 스펙트럼(power spectrum)을 얻고, 그 중 최대 출력을 갖는 정점(peak)이 나타나는 곳이 바로 그 별의 맥동 주파수가 되어 변광성의 주기를 결정하게 된다. 이러한 방법으로 18개의 맥동 변광성의 파워 스펙트럼을 조사하여 이 중 17개별의 주기를 결정하였다.

본 연구에서는 Breger et al.(1993)에 의해 제안된 신호 대 잡음비(S/N) ≥ 4 인 주파수만을 진짜 주파수로 택하였다. 신호 대 잡음비는 각 주파수의 파워 값

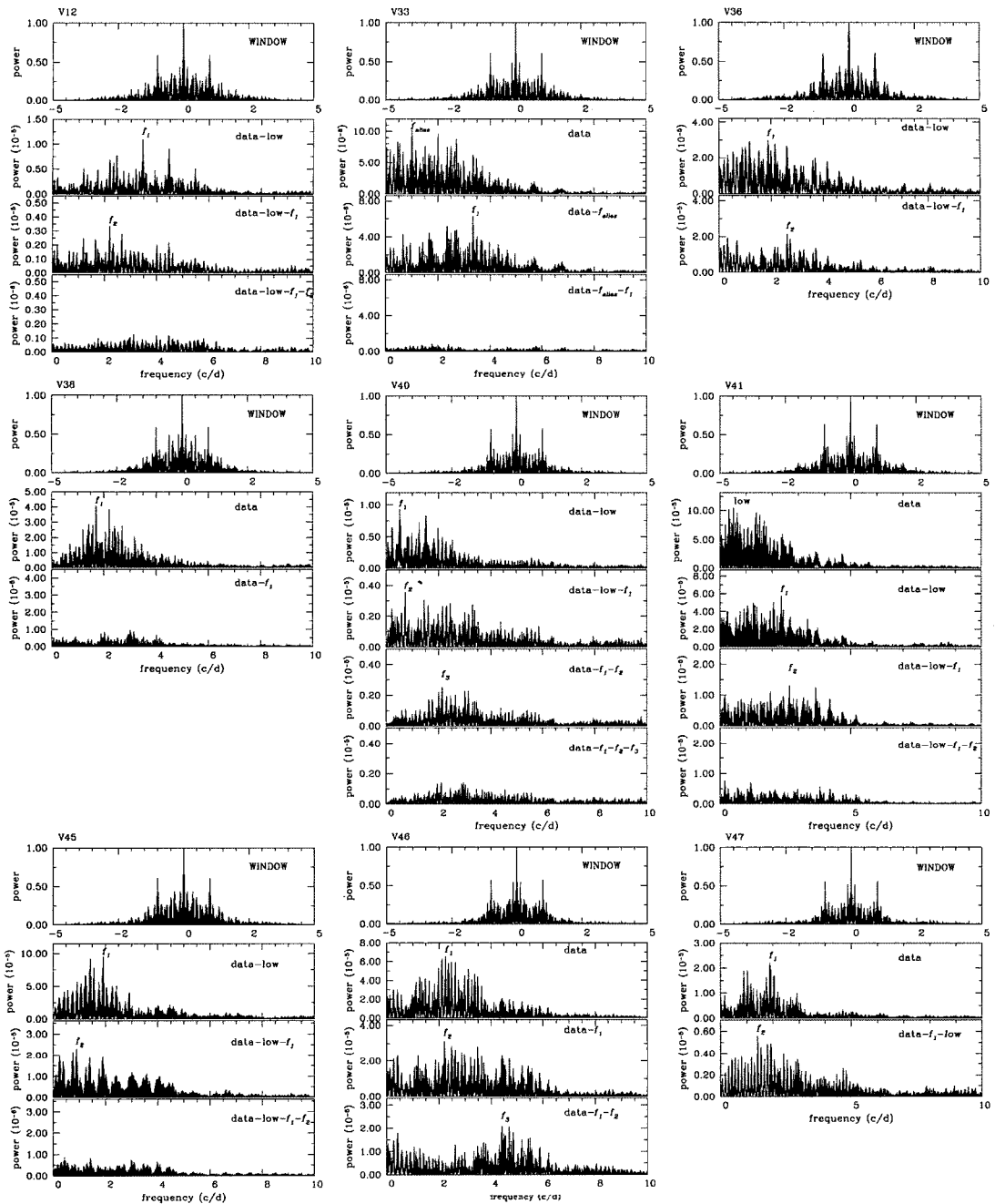


Fig. 6. Power spectra of 9 SPB type variable stars. The spectral window is appeared in the top box in each panel.

을 모든 주파수를 검출하고 난 후의 평균 파워 값으로 나누어 제공근을 취한 것으로 정의 되었다(Jeon et al., 2004a). Fig. 6은 SPB형 변광성의 파워스펙트럼을 나타내었고 Table 6에 주기분석 결과 및 물리량을 간략히 정리하였다.

V33, V36, V40, V41, V45, V46은 전형적인 SPB형 변광성의 주기 및 진폭을 지니고 있고, Zhao and Tian(1995)의 구성원 확률이 각각 0.01, 0.05, 0.6, 0.45, 0.2, 0.6이고 Fig. 4의 색-등급도 상에서도 SPB 불안정 영역 내에 존재하나 성단 구성원으로 추정하

Table 6. Frequency analysis of 9 SPB type variable stars

No	$\langle V \rangle$	Frequency (cycle/day)	Amplitude	S/N ratio	Spectral type
V12	11.968	$f_1 = 3.457$	0.0060	7.772	B
		$f_2 = 2.200$	0.0039	5.483	
V33	11.613	$f_1 = 3.331$	0.0050	5.578	
V36	13.277	$f_1 = 1.879$	0.0147	5.000	
		$f_2 = 2.597$	0.0096	5.701	
V38	13.141	$f_1 = 1.709$	0.0130	9.129	
		$f_1 = 0.519$	0.0059	6.559	
V40	11.821	$f_2 = 0.723$	0.0048	5.126	B4III
		$f_3 = 2.141$	0.0037	4.593	
		$f_1 = 2.352$	0.0144	5.775	
V41	11.555	$f_2 = 2.660$	0.0079	5.714	B
		$f_1 = 1.917$	0.0183	9.509	
V45	13.567	$f_2 = 0.896$	0.0126	5.196	
		$f_1 = 2.261$	0.0198	5.968	
		$f_2 = 6.596$	0.0124	5.013	
V46	11.787	$f_3 = 4.433$	0.0090	4.790	B
		$f_1 = 1.892$	0.0080	7.874	
		$f_2 = 1.417$	0.0050	5.418	

기에는 구성원 확률이 너무 낮다. 특히 V40, V41, V46의 경우 분광형이 각각 B4, B5, B형(Hoag et al. 1965)인 변광성이므로 SPB형 변광성으로 보는 것이 매우 타당하다. 본 연구에 사용된 관측 시스템의 색 지수 값이 약간 푸른 쪽으로 이동되는 경향이 있음을 감안하면, V47의 경우도 구성원 확률이 0.17이고 SPB 불안정 영역에 가깝게 위치하고 있어 역시 SPB형 변광성으로 추정된다. V12는 Fig. 4의 색-등급도 상에서 SPB 불안정 대에 있으나 성단의 구성원에 대한 정보가 없으나 분광형이 B형(Alma Luminous Star 6101)별이기 때문에 날별인 SPB형 변광성으로 추정된다. V38은 Fig. 4의 색-등급도 상에서 SPB 불안정 대에 있고 구성원 확률이 0.04이나 성단의 구성원으로 추정하기에는 구성원 확률이 너무 낮다.

Fig. 7은 검출된 주파수들의 진폭과 위상을 선형최소자승법(linear least square fitting)으로 결정한 후, 이 값들을 이용한 이론적인 광도 변화 곡선(synthetic curve)을 관측 자료에 맞추어 본 것이다. 신호 대 잡음비(S/N) ≥ 4 인 주파수만을 이용하여 이론적 광도곡선을 만들었기 때문에 관측자료에서 검출되지 않는 주파수가 있어 이론적 광도곡선과 실제 관측값이 약간의 차이를 보이는 경우가 있다.

δ Scuti형 변광성

V29, V32, V37, V54, V55의 경우 전형적인 δ

Scuti의 특성인 짧은 주기와 작은 변광 진폭을 지니고 있으며, Zhao and Tian(1995)의 구성원 확률이 0.28, 0.09, 0.53, 0.08, 0.55이고, Fig. 5의 색-등급도 상에서도 δ Scuti 불안정 영역 내에 존재하는 것으로 미루어 δ Scuti형 변광성으로 추정되나 성단 구성원으로 추정하기에는 구성원 확률이 너무 낮아 날별로 판단된다. V9는 구성원 여부는 알려져있지 않으나 변광양상, 변광 진폭과 주기 볼 때, δ Scuti형 변광성으로 추정된다. Fig. 4와 Fig. 5의 색-등급도 상에서 δ Scuti 불안정 영역 내에 존재하지 않는 V53, V60의 경우 변광 양상, 진폭과 주기를 고려했을 때 날별(field star)인 δ Scuti형 변광성들로 추정된다. V43의 경우 Zhao and Tian(1995)의 구성원 확률이 0.79이나 색-등급도 상의 위치로 판단할 때 구성원이 아닌 날별로 보인다. 특히 V43과 V60은 비방사상의 맥동뿐만 아니라, 다른 변광성들과 비교했을 때 현저히 짧은 주기 및 미세한 변광 진폭 등 전형적인 δ Scuti형 변광성만의 특성을 지니고 있다.

Fig. 8은 δ Scuti형 변광성으로 추정되는 9개의 변광성 중 8개의 파워 스펙트럼을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 각각의 가장 위쪽 상자에는 자료의 분포양상을 나타내는 스펙트럼 창문(spectral window)을 보여주고 있다. 본 연구처럼 한 관측소에서만 관측할 경우 관측 자료가 하루씩 떨어져서 분포하게 되어 1.0 cycle/day에서 가장 두드러진 파워를 보임을 알

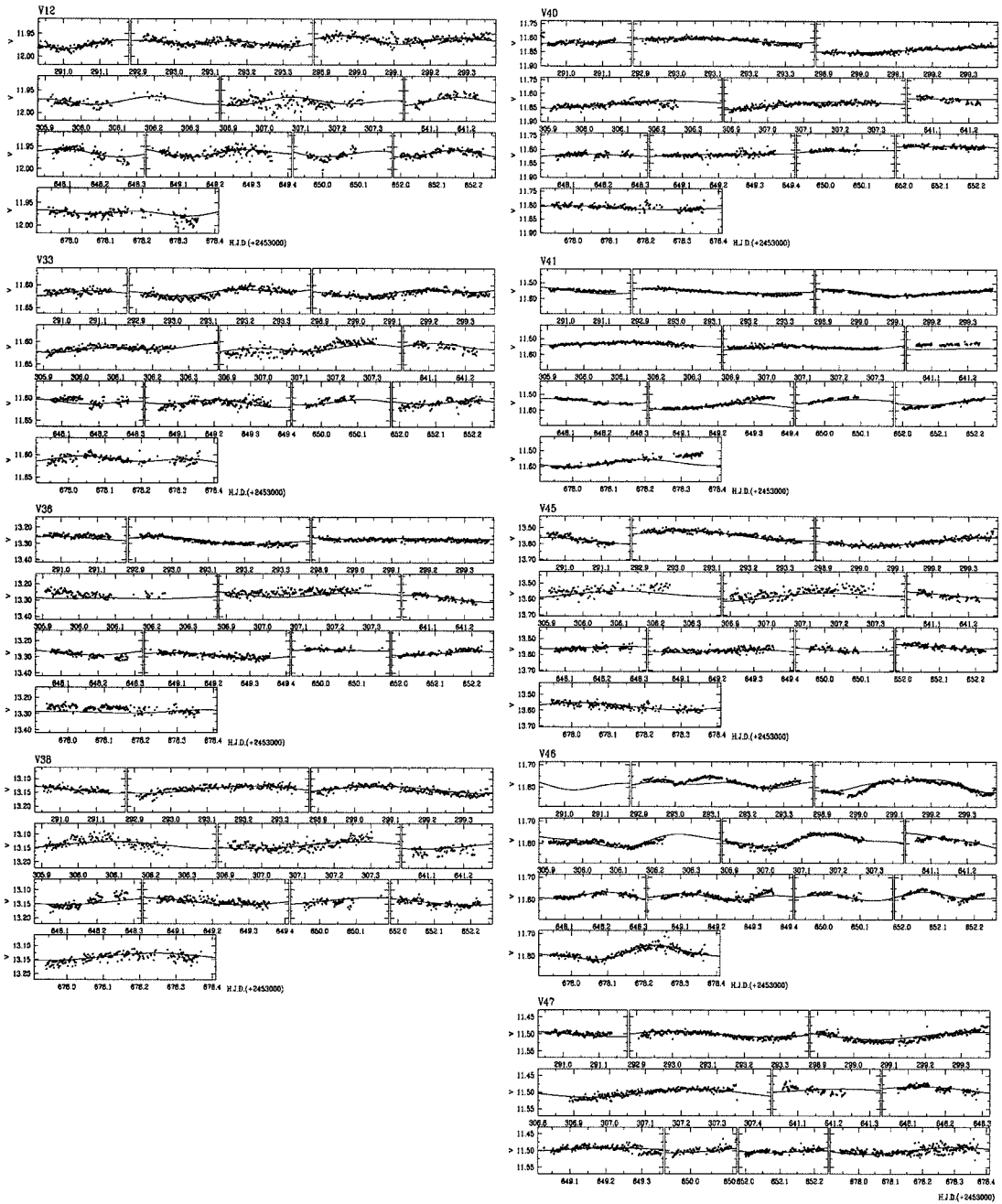


Fig. 7. Light curves of nine SPB type variable stars discovered in the young open cluster NGC 129. The thin lines represent synthetical curves based on amplitudes and frequencies.

수 있다. 뿐만 아니라 관측 자료의 일변화에 따른 저주파수(low frequency)같은 거짓 주파수(alias frequency) 들도 주기 분석 시 큰 어려움으로 작용하였다.

δ Scuti형 변광성으로 추정되는 V43의 경우에는 자료의 질이 좋지 않아서 광도곡선의 분산 속에 미

세한 변광 진폭이 묻혀 버려 주기분석이 이루어지지 못하였다. δ Scuti형 변광성에 대한 주기분석 결과 및 물리량은 각각 Table 7에 간략히 정리하였다. Fig. 9는 검출된 주파수들의 진폭과 위상을 선형최소자승법(linear least square fitting)으로 결정한 후, 이 값들

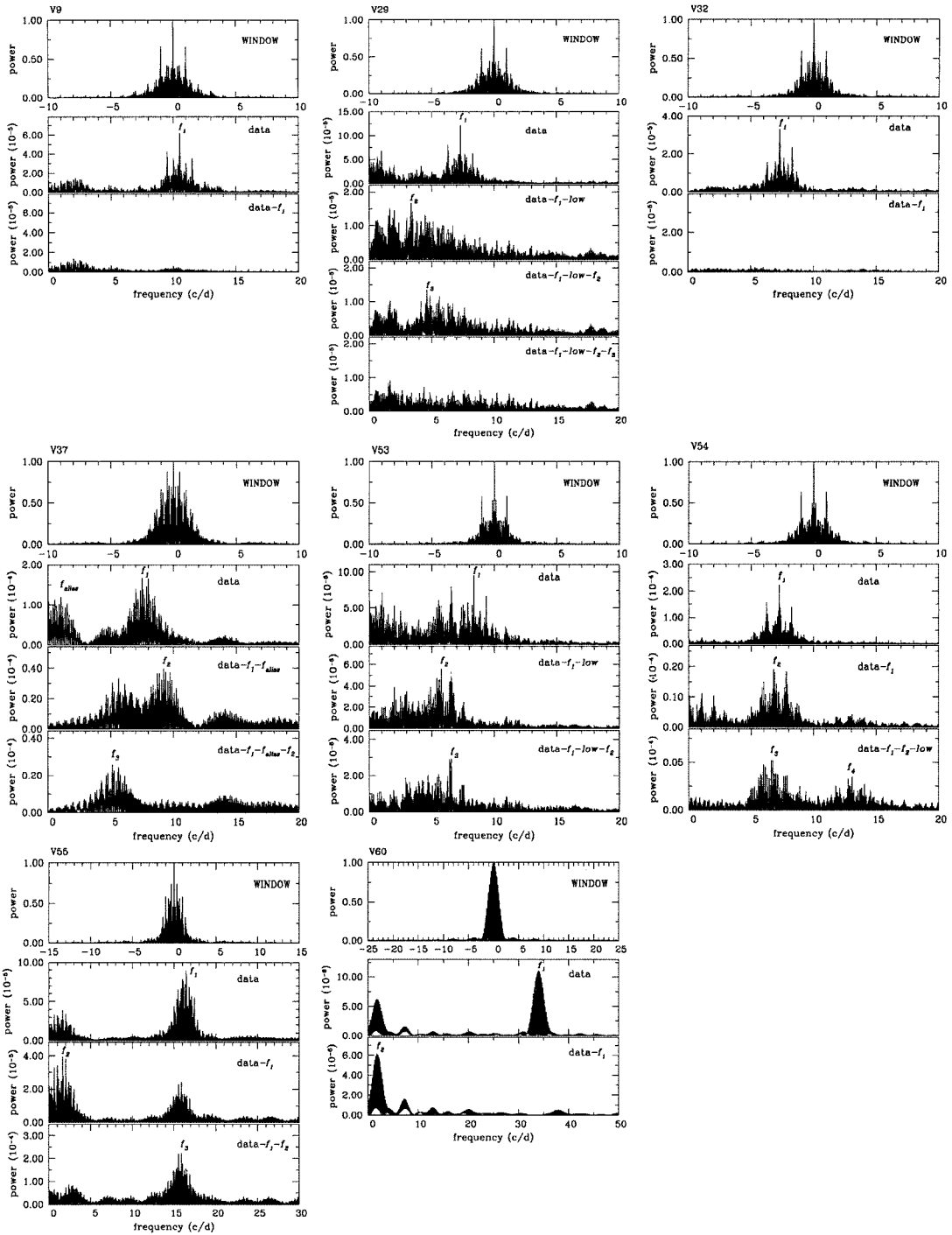


Fig. 8. Power spectrum of eight δ Scuti type variable stars. The spectral window is appeared in the top box in each panel.

을 이용한 이론적인 광도 변화 곡선(synthetic curve)
을 관측 자료에 맞추어 본 것이다.

식변광성 및 기타 변광성
식 변광성은 29개가 발견되었고, 이들을 다시 변광

Table 7. Frequency analysis of 9 δ Scuti type variable stars

No	<V>	Frequency (cycle/day)	Amplitude	S/N Ratio
V9	12.877	$f_1 = 10.498$	0.0160	15.875
V29	13.757	$f_1 = 7.317$ $f_2 = 3.358$ $f_3 = 4.624$	0.0206 0.0100 0.0077	13.114 6.209 6.007
V32	13.314	$f_1 = 7.311$	0.0118	14.427
V37	14.717	$f_1 = 7.505$ $f_2 = 9.216$ $f_3 = 5.133$	0.0276 0.0124 0.0104	8.217 5.418 4.700
V43	12.139	-	-	-
V53	11.355	$f_1 = 8.362$ $f_2 = 5.747$ $f_3 = 6.554$	0.0060 0.0050 0.0040	9.262 9.014 8.114
V54	12.788	$f_1 = 7.225$ $f_2 = 6.797$ $f_3 = 6.596$ $f_4 = 12.757$	0.0310 0.0090 0.0060 0.0030	27.650 9.783 6.703 5.157
V55	14.181	$f_1 = 16.452$ $f_2 = 1.664$ $f_3 = 15.887$	0.0198 0.0110 0.0094	10.663 8.023 6.658
V60	12.202	$f_1 = 33.998$ $f_2 = 1.870$	0.0067 0.0051	7.765 8.155

유형에 따라 EA형 18개, EW형 8개, EB형 3개로 분류하였다. 식변광성의 경우에는 주기가 길고 변광 진폭이 커서 식변광성으로 추정되어 위상 맞추기 방법(phase match technique)으로 그 주기를 결정하여 이들의 위상-등급도(phase-magnitude diagram)는 Fig. 10에 제시하였고 주기 및 변광 진폭 등의 물리량은 앞의 Table 5에 수록하였다. Fig. 11은 18개의 Algol형 변광성 중 극심 부분이 단 한번만 관측되거나, 부족소로 추정되는 부분의 관측 자료가 존재하지 않는 등의 이유로 주기를 결정하지 못한 8개의 변광성으로 광도 곡선만을 제시하였다. 또한, 주기가 매우 길어서 주기를 맞출 수 없는 17개의 장주기변광성과 광도 곡선의 형태는 맥동변광성으로 보이나 측광한계로 인하여 뚜렷한 주기를 구할 수 없는 2개의 미분류 변광성의 광도곡선은 각각 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다.

결론 및 토의

보현산 천문대의 Short Period Variability Survey (SPVS) 측광 탐사 프로그램의 일환으로 2004년 10월 12일에서 2005년 11월 3일까지 총 11일간의 V필터를 이용한 시계열 관측으로 총 2400장의 NGC 129

를 중심으로 한 $90^\circ \times 60'$ 영상을 얻었고 총 9537개별의 시계열 자료를 분석한 결과 관측 영역 내에서 총 66개의 새로운 변광성을 발견하였다.

새롭게 발견된 SPB형 변광성은 그 맥동 특성상 관측되기 어려워 현재까지 약 100여개 정도가 알려져 있는데, 그 중 72개가 1997년 Hipparcos 인공위성에 의해 발견된 것(Choi et al, 1999)으로 최근에 와서야 관심을 끌고 있는 변광성이다. 더욱이, 성단 내에서의 SPB형 변광성으로 알려진 것은 현재까지 매우 드물다(Waelkens, 1991., Waelkens et al., 1998). 따라서 본 연구에서 발견한 산개성단 NGC 129 영역에서의 9개의 SPB형 변광성은 몇 개 되지 않는 성단 내 SPB형 변광성일 가능성이 있어 희소성만으로도 매우 가치가 높다. 뿐만 아니라, SPB형 변광성의 복잡한 변광 특성을 밝히는 데도 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 새롭게 발견된 δ Scuti형 변광성은 Rodriguez et al.(2000)의 636개 δ Scuti 변광성 목록 중에서 50% 이상이 주로 대형 탐사 프로젝트(예를 들면 Hipparcos mission(ESA, 1997), OGLE(Udalski et al., 1997), MACHO(Alcock et al., 2000) 등)에 의해 최근 10여 년 동안에 발견되어진 것으로, 90년대 이후로 활발히 연구되어지는 변광성이다. 또한 세페이드와 RR Lyrae형 변광성이 거성 또는 초거성인데

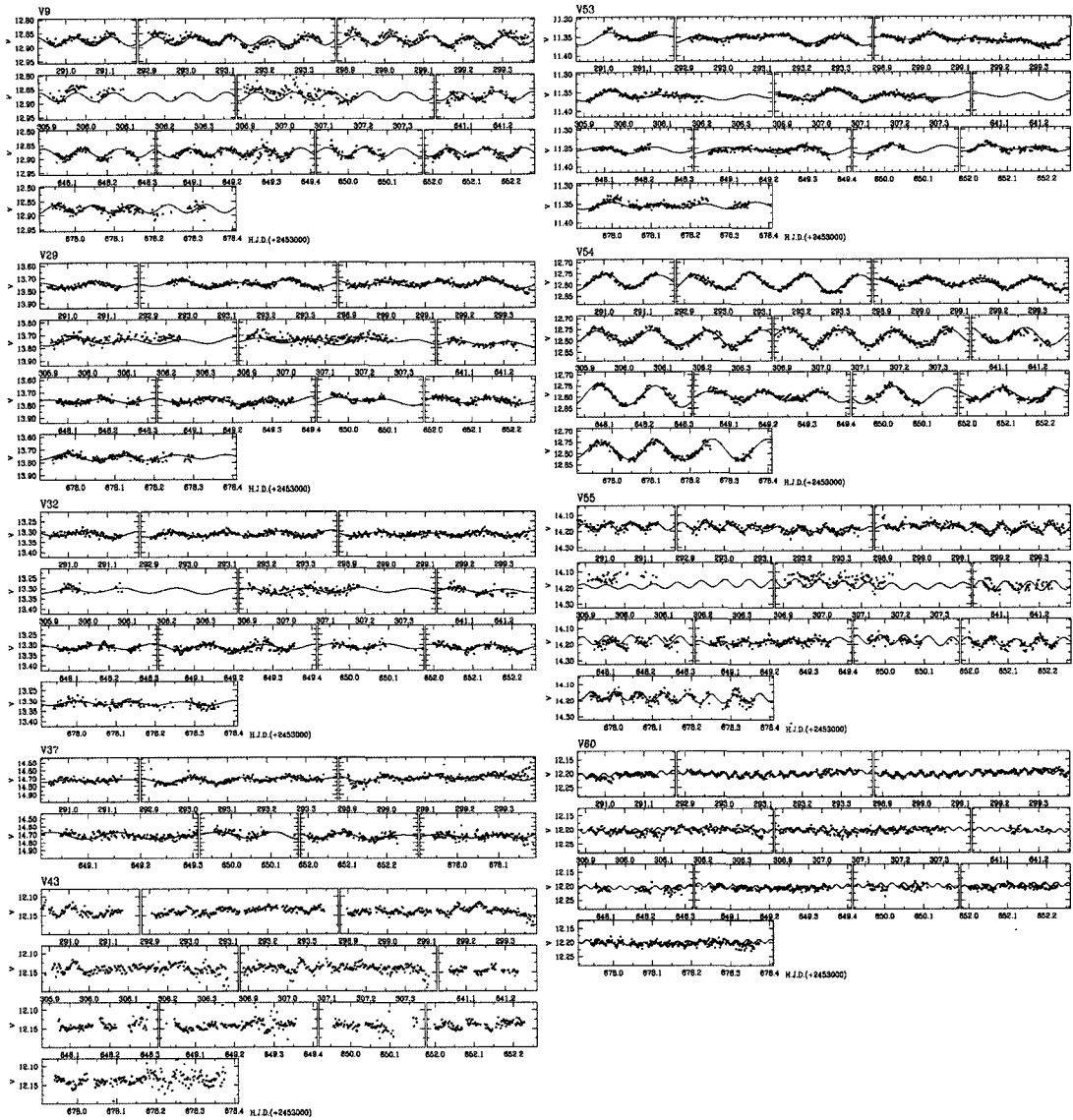


Fig. 9. Light curves of nine δ Scuti type variable stars discovered in the young open cluster NGC 129. The thin lines represent synthetical curves based on amplitudes and frequencies.

비하여 δ Scuti형 변광성은 주계열 별들이므로 우리 은하계 내에서 수직으로 백색왜성 변광성 다음으로 많을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서와 같이 앞으로 새롭게 발견되는 δ Scuti형 변광성들의 자료 축적을 통해, δ Scuti 불안정 영역 내에 존재하는 비슷한 물리량을 갖는 많은 별들 중에서 변광하게 되는 비율은 얼마이고 변광 유무의 차이가 무엇 때문인가에 대한 정보를 제공할 수 있으리라 기대된다. 새롭게 발견한 SPB형

변광성이나 δ Scuti형 변광성은 미세한 진폭을 갖는 여러 개의 변광 주기가 중첩되어 광도 곡선이 매우 복잡한 양상을 보이고 관측기기 면에서도 소형망원경이 가지는 한계로 인해 자료의 질이 떨어지는 등의 이유로 주기 분석에 어려움이 따랐다.

본 연구에서와 같이 가능한 넓은 영역에서 변광성을 탐사하는 것이 주목적인 연구의 경우에 소형 망원경도 유용하게 활용될 수 있음이 본 연구를 통해 확인되었다. 본 연구를 통해 소형 망원경일지라도 적

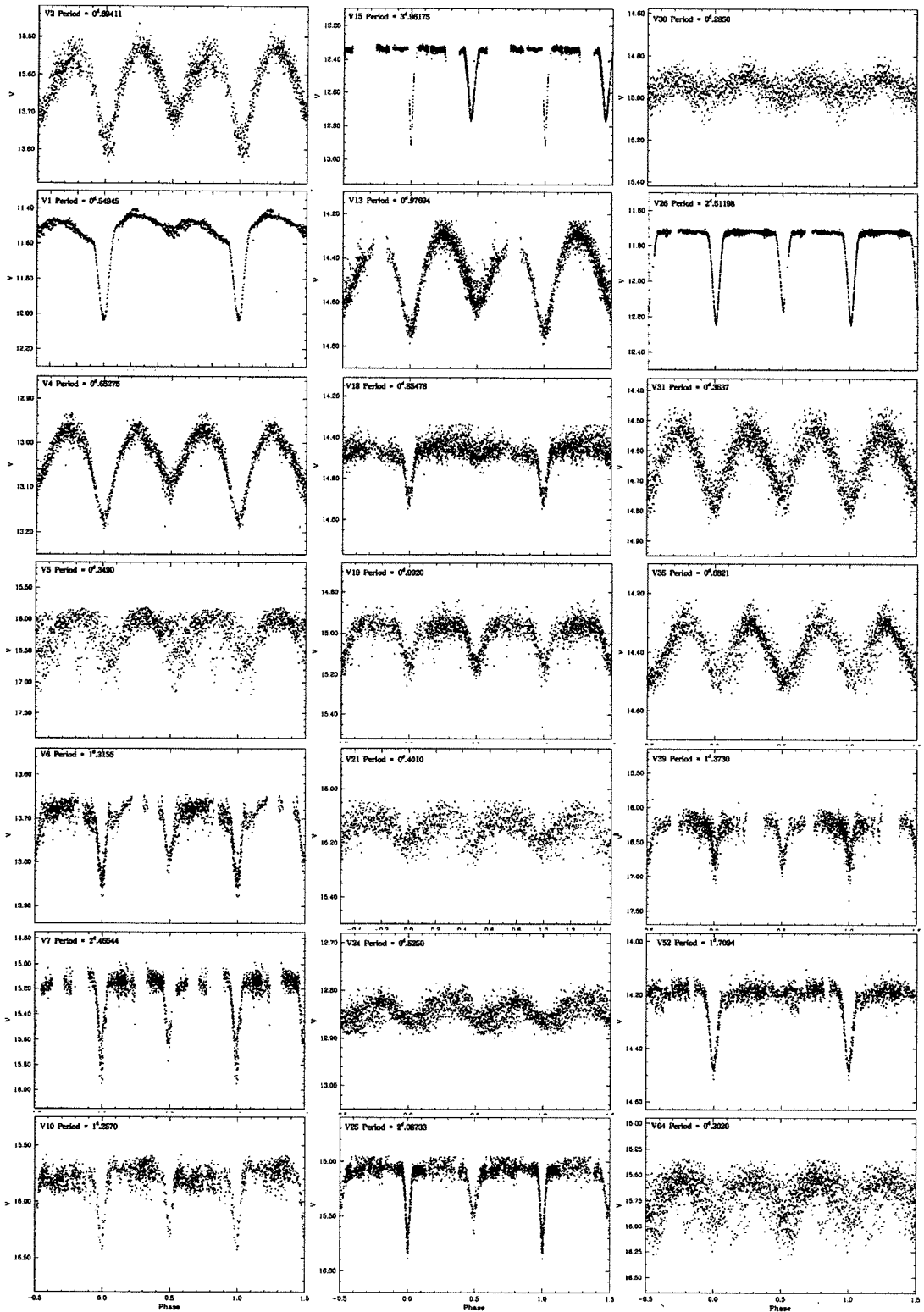


Fig. 10. Phase-magnitude diagram of 21 eclipsing variables.

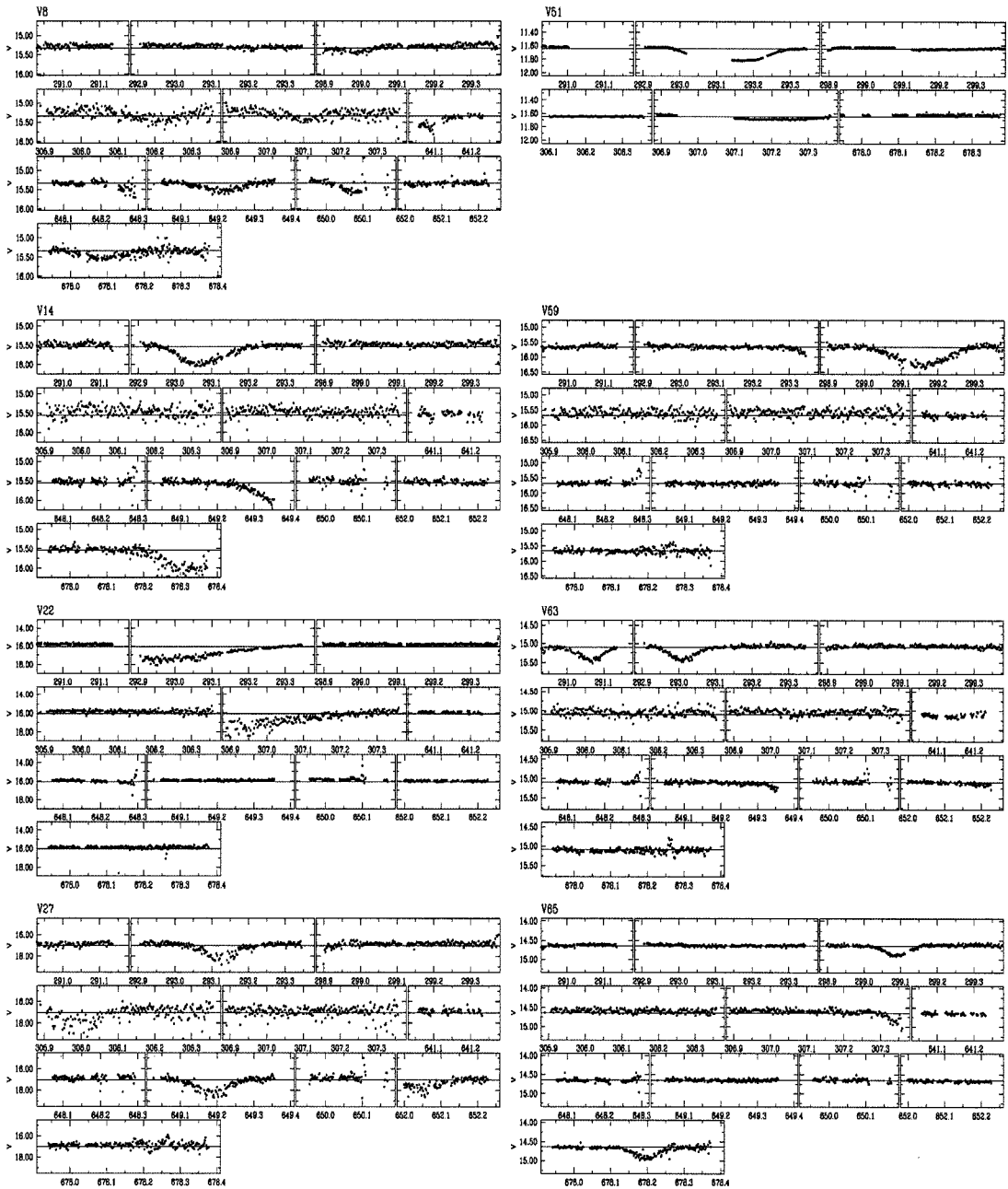


Fig. 11. Light curve of 8 Algol type variables which have not solved period.

절한 CCD 카메라를 부착할 경우 넓은 시야를 확보할 수 있으므로 새로운 변광성의 탐사 연구에 유용하다(Jeon et al., 2004a)는 사실을 확인할 수 있었다. 본 연구에 사용된 155 mm 구경의 소형망원경의 경우, 밝은 산개성단에 있는 단주기 맥동 변광성들은 약 9등급~13등급까지 탐사가 가능하였으며, 변광 진

폭이 큰 식쌍성의 경우 약 15등급까지도 탐사가 가능하였다.

관측된 맥동 변광성의 주기, 진폭 등 물리적 특성을 좀 더 자세히 밝히기 위해서는 장기적인 관측 및 국제 공동 관측을 통한 연속적인 관측 자료의 획득이 매우 중요하다. 특히 변광 진폭이 매우 미세하면

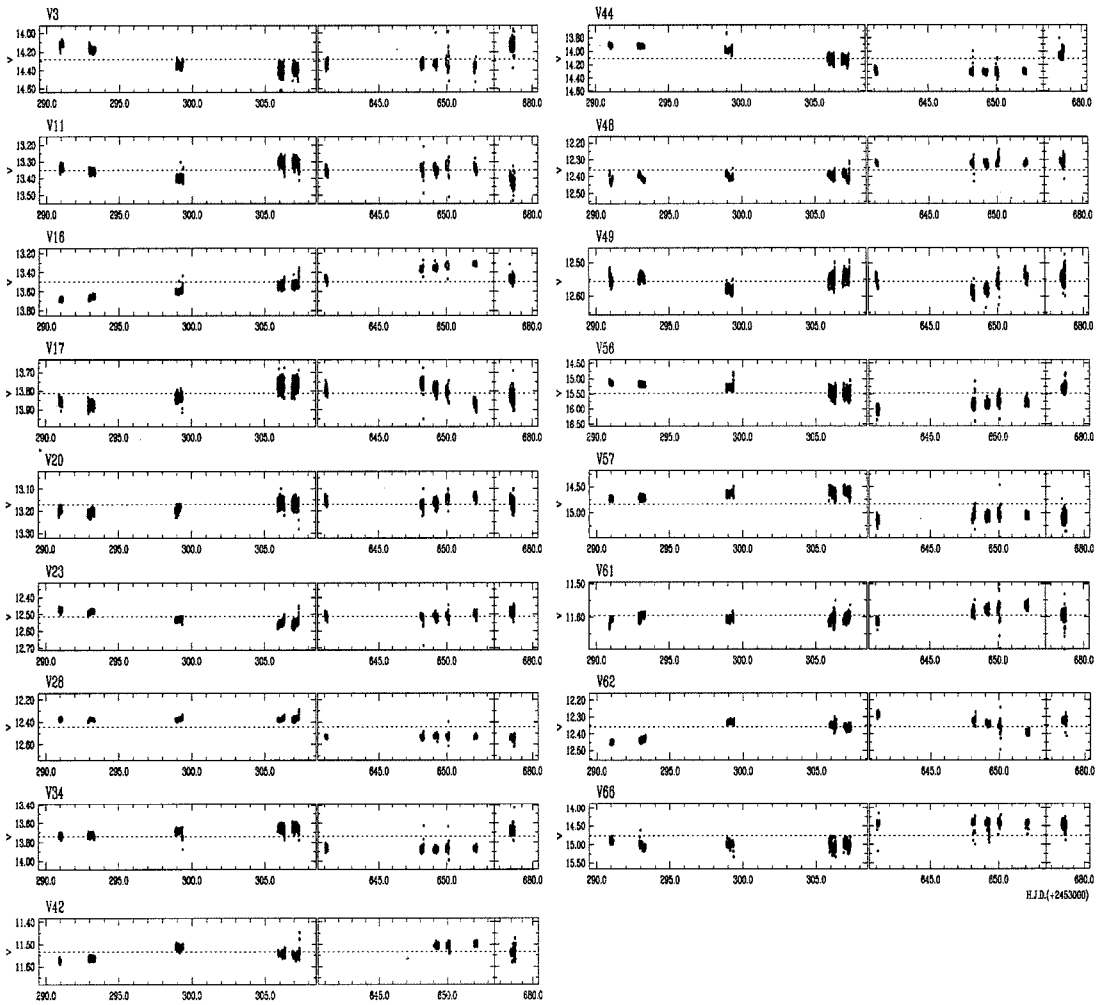


Fig. 12. Light curve of 17 long-term variables.

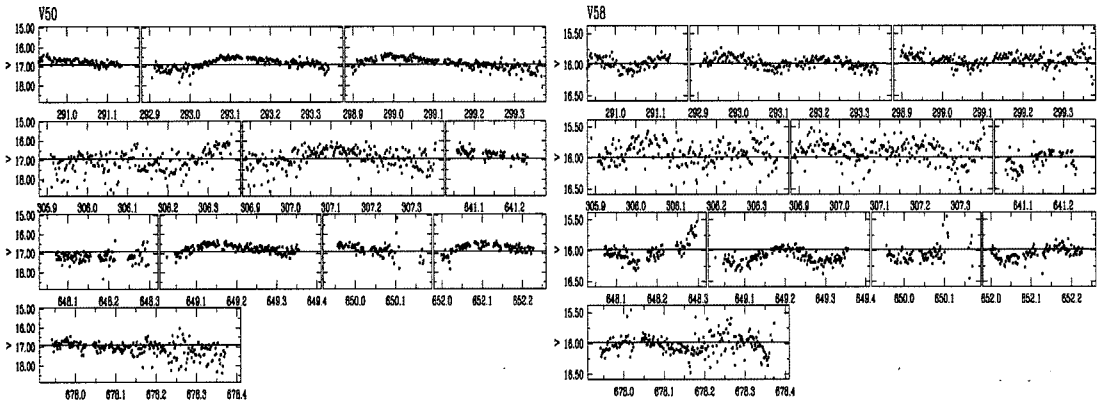


Fig. 13. Light curve of two undefined variable stars.

Table 8. Classification of 66 new variable stars in this study

Type	ID	Number
Pulsating variable stars	SPB V12, V33, V36, V38, V40, V41, V45, V46, V47	9
	δ Scuti V9, V29, V32, V37, V43, V53, V54, V55, V60	9
Eclipsing binaries	EA V1, V6, V7, V8, V10, V14, V15, V18, V19, V22, V25, V26, V27, V39, V51, V52, V59, V63, V65	19
	EB V2, V4, V13	3
	EW V5, V21, V24, V30, V31, V35, V64	7
Long term variable stars	V3, V11, V16, V17, V20, V23, V28, V34, V42, V44, V48, V49, V56, V57, V61, V62, V66	17
Undefined variable stars	V50, V58	2
Total		66

서도 주기가 1일 근처인 SPB형 변광성이나 Dor형 변광성의 경우에는 한 관측소에서만 관측할 경우 1cycle/day의 가짜 주기(alias frequency)의 검출로 인해 주기 분석에 필요한 자료를 충분히 얻기는 어렵다. 따라서 본 연구와 같은 산개성단에서의 체계적인 변광성 탐사 연구나 변광성의 국제 공동 연구, 장기간의 관측 자료가 필요한 변광 주기와 진폭 변화 연구 및 초신성 탐사 연구 등에 비교적 관측시간을 자유롭게 얻을 수 있는 여러 과학 고등학교 및 대학 천문대의 우수한 소형 망원경들이 유용하게 활용될 수 있고, 이를 통해 관측 연구의 효율을 극대화시키는 한편, 학생들에게도 천문학적 연구 과정의 경험을 제공하는 등 교육현장에서의 소형망원경의 교육적 활용도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

논문의 심사과정에서 미처 살펴보지 못한 세세한 부분까지 친절하게 살펴주신 세종대학교 성환경 교수님과 연세대학교 변용익 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

Akerlof, C., Amrose, S., Balsano, R., Bloch, J., Casper-son, D., Fletcher, S., Gisler, G., Hills, J., Kehoe, R., Lee, B., Marshall, S., McKay, T., Pawl, A., Schaefer, J., Szymanski, J., and Wren, J., 2000, ROTSE All-Sky Surveys for Variable Stars. I: Test Fields. The Astro-nomical Journal, 119, 1901-1913.

Alcock, C., Allsman, R.A., Alves, D.R., Axelrod, T.S., Bennett, D.P., Cook, K.H., Freeman, K.C., Griest, K., Lehner, M.J., Marshall, S.L., McNamara, B.J., Minntti, D., Nelson, C., Peterson, M.R., Vandehel, T., and

Welch, D.L., 2000, The MACHO Project sample of Galactic bulge high-amplitude δ Scuti stars; pulsation behavior and stellar properties. The Astronomical Journal, 536, 798-815.

Arp, H., Sandage, A., and Stephens, C., 1959, Cepheids in galactic clusters. IV. DL Cas in the NGC 129. The Astronomical Journal, 130, 80-90.

Bessell, M.S., 1990, UBVRI passbands. Publications of Astronomical Society of the Pacific 102, 1181-1199.

Breger, M., 1979, Delta Scuti And Related Stars. Publica-tions of the Astronomical Society of the Pacific, 91, 5-26.

Breger, M., Stich, J., Garrido, R., Martin B., Jiang Shi-yang, Li Zhi-ping, Hube, D.P., Ostermann, W., Paparo, M., and Scheck, M., 1993, Nonradial pulsation of the δ Scuti star BU Cancri in the Praesepe cluster, Astron-omy and Astrophysics, 271, 482-486.

Choi, H.S., Kim, S.-L., Kang, Y.H., and Park, B.-G., 1999, Search for variable stars in the open cluster NGC7654. Astronomy and Astrophysics, 348, 789-794.

ESA, 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues (ESA 1997). ESA, SP-1200.

Gautschi, A. and Saio, H., 1996, Stellar Pulsations Across the HR Diagram: Part 2. Annual Review of Astron-omy and Astrophysics, 34, 551-606.

Gieren, W.P., Welch D.L., Mermilliod, J.-C., and Mat-thews, J.M., 1994, Independent distance determinations to Milky Way Cepheids in open clusters and associa-tions 1: The binary Cepheid DL CAS in NGC 129. The Astronomical Journal, 107, 2093-2100.

Gilliand, R.L. and Brown, T.M., 1988, Time-Resolved CCD Photometry of an ensemble of stars. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 100, 754-765.

Hoag, A.A. and Applequist, N.L. 1965, Distance moduli of open clusters. Astrophysical Journal Supplement, 12, 215-237

Jeon, Y.-B., Nam, K.H., Kim., S.L., Park., Y.H., Kim.,

- K.H., Kim., J.Y., Kim, D.K., Jin, K.I., and Kim, S.H., 2004a, A New Field δ Scuti Star: HD 235428. Publications of the Korean Astronomical Society, 19, 27-31.
- Jeon, Y.-B., Nam, K.H., Park, Y.H., Lee, K.H., Kim, K.H., Kim, J.Y., Kim, D.K. Jin., K.I., and Kim, K.H., 2004b, A New Field δ Scuti Star: GSC 03665-00576. Publications of the Korean Astronomical Society, 19, 33-37.
- Jeon, Y.-B., Kim, S.-L., Park, Y.-H., Park, B.-G., Lee, C.-U., Lee, E.-J., Kim, M.-S. and Lee, K.-H., 2005a, Short-Period Variability Survey (SPVS) in Boao. Publications of the Korean Astronomical Society, 20, 21-27.
- Jeon, Y.-B., Lee, M. G, Kim, S.-L. and Lee, H., 2004c, SX Phoenix stars in the globular cluster NGC 5466. The Astronomical Journal, 128, 287-299.
- Jeon, Y.-B., Yoon-Ho Park., Ki-Hyung Nam. and Kyung-Hoon Lee., 2005b, New Variable Stars Around The Cepheid Variable TU CAS, Publications of the Korean Astronomical Society, 20, 29-35.
- Jin, H., Kim, S.-L., Kwon, S.-G, Youn, J.-H., Lee, C.-U., Lee, D.-J. and Kim, K.-S., 2003, Multiband photometric re-classification of ROTSE-I delta Scuti type stars. Astronomy and Astrophysics, 404, 621-629.
- Jin, H., Kim, S.-L., Lee, C.-U., Lee, D.-J. and Kim, K.-S., 2004, Reclassification of ROTSE-I δ Scuti Stars with Multiband Photometry and Fourier Decomposition. The Astronomical Journal, 128, 1847-1856.
- Kim, S.-L. and Lee, S.-W., 1996, CCD photometry of a delta Scuti variable in an open cluster V650 Tau in the Pleiades. Astronomy and Astrophysics, 310, 831-836.
- Landolt, A.U., 1992, UBVRI Photometric standard stars in the Magnitude range $11.5 < V < 16.0$ around the celestial equator. The Astronomical Journal, 104, 340-491.
- Monet, D., Bird A., Canzian, B., Dahn, C., Guetter, H., Harris, H., Henden, A., Levine, S., Luginbuhl, C., Monet, A.K.B., Rhodes, A., Riepe, B., Sell, S., Stone, R., Vrba, F., and Walker, R., 1998, U.S. Naval Observatory Flagstaff Station (USNOFS) and Universities Space Research Association (USRA) stationed at USNOFS, VizieR Online Data Catalog, I/252.
- Pojmanski, G., 2002, The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars I: 0h-6h Quarter of the Southern Hemisphere. Acta Astronomica, 52, 397-427.
- Rodríguez E., López-González, M.J., and López, P., 2000, A revised catalog of delta Set stars. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 144, 469-474.
- Schmidt, E.G, 1980, Four-color and H β photometry of stars in the galactic cluster NGC 129. The Astronomical Journal, 85, 695-699.
- Stock, M.J. and Stock, J., 1997, Positions and proper motions in the area of the open cluster NGC 129. Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica, 33, 83-95.
- Sung, H. and Bessell, M.S., 1999, UBVI CCD photometry of M35 (NGC 2168). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 306, 361-370.
- Turner, D.G, Forbes, D., and Pedredos, M., 1992, Galactic clusters with associated variables. II. NGC 129 and DL cassiopeiae. The Astronomical Journal, 104, 1132-1143.
- Udalski, A., Olech, A., Szymanski, M., Kaluzny, J., Kubiak, M., Krzeminski, W. and Stanek, K.Z., 1997, The optical gravitational lensing experiment. The Catalog of Periodic Variable Stars in the Galactic Bulge. V. Periodic Variables in Fields: MM5-A, MM5-B, MM7-A and MM7-B, Acta Astronomica, 47, 1-167.
- Waelkens, C., 1991, Slowly pulsating B stars. Astronomy and Astrophysics, 246, 453-468.
- Waelkens, C., Aerts, C., Grenon, N.I., and Eyer, L., 1998, Pulsating B stars discovered by HIPPARCOS, a half century of stellar pulsation interpretation: A tribute to arthur N. Cox. Proceedings of ASP Conference Series, 135, 375-379.
- Zhao, J.L. and Tian, K.P., 1995, Catalogue of membership for 43 open clusters (1994 version). Bulletin Information Centre Donnees Stellaires, 47, 5-7.

2006년 12월 29일 접수
2007년 1월 17일 수정완료 접수
2007년 1월 30일 채택