PUBLICATIONS OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY
20: 29 ~ 35, 2005

세페이드형 변광성 TU CAS 근처의 새로운 변광성
NEW VARIABLE STARS AROUND THE CEPHEID VARIABLE TU CAS

전영범[1], 박윤호[1], 남기형[2], 이경훈[3]
[1]한국천문연구원
[2]장영실과학고등학교
[3]과학영재학교
YOUNG-BEOM JEON[1], YOON-HO PARK[1], KI-HYUNG NAM[2], AND KYUNG-HOON LEE[3]
[1]Korea Astronomy and Space Science Institute, 61-1 Hwaam-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-348, Korea
E-mail: ybjeon@kasi.re.kr
[2]Jang Young Sil High School
[3]Korea Science Academy
(Received November 15, 2005; Accepted November 30, 2005)

ABSTRACT

Time-series observations were carried out using a 155mm refractor and a 2k × 3k CCD camera at Bohyunsan Optical Astronomy Observatory. We found 38 new variable stars in the 2.3° × 2.4° region around the Cepheid variable TU Cas: 22 eclipsing binary stars, 11 δ Scuti type stars and an RR Lyrae star, and 4 unclassified variables.

Key words: observations — wide-field: stars: variables

1. 서론

소형망원경은 구경이 작아서 관측할 수 있는 천체의 밝기가 크게 제한되지만, 큰 망원경에 비해 초점거리가 짧아서 넓은 시야를 한꺼번에 담을 수 있는 이점이 있다. 따라서 변광천체의 탐사관측에 아주 유리한 조건을 가지게 된다. 작은 망원경을 이용한 변광천체의 탐사는 HIPPARCOS, TYCHO 등 우주망원경 관측의 부산물로 이루어지기도 하였고, 초점거리 180mm에 불과한 카메라 렌즈를 CCD카메라에 부착하여 10° × 10°의 넓은 시야로 관측하는 등 활발하게 이루어졌다. 대표적으로 ROTSE (Robotic Optical Transient Search Experiment; Akerlof et al. (2000))와 NSVS (Nothern Sky Variability Survey; Wozniak et al. (2004))를 들 수 있겠다. 하지만 이러한 전천 탐사관측에서는 시간분해능과 측광정밀도의 한계로 인해 변광폭이 작고 주기가 짧은 δ Scuti형 변광성에 대한 탐사가 제대로 이루어질 수 없었다. Akerlof et al. (2000)의 결과에서 δ Scuti형 변광성으로는 진폭이 다소 큰 것들이 발견되었지만 최근의 연구에서 대부분 W UMa형 식변광성을 δ Scuti형 변광성으로 잘못 분류한 것임이 밝혀졌다 (Jin et al. 2003, 2004). 이 연구는 보현산천문대의 직경 155mm 굴절망원경을 이용하여 비교적 밝은 (V = 9.0 ~ 13.0) δ Scuti형 변광성의 체계적인 탐사관측을 수행하기 위한 시험관측 과정이었다. 그 결과 38개의 새로운 변광성을 발견하였으며, 이중에는 δ Scuti형으로 추정되는 단주기 변광성이 약 10개가 포함되었다. 따라서 변광성에 대한 탐사효율이 높다는 것을 알 수 있다.

2절에서는 관측 및 분석을 정리하였고, 3절에 그 결과를, 그리고 마지막 절에 전체결과의 요약 및 검토가 이루어졌다.

2. 관측 및 분석

관측에 사용된 망원경은 구경 155mm의 소형 굴절 망원경이며, 2048 × 3072 소자를 가지고 있는 Apogee 사의 AP9E CCD 카메라가 사용되었다. AP9E CCD 카메라는 Kodak KAF6303E칩을 사용하는데 각 소자의 크기는 9 μm × 9 μm이며, 155mm 굴절망원경에 부착하였을 때 소자당 1.77arcsec의 관측시야를 가진다. 따라서 전체 관측영역은 1.0° × 1.5°이다. 관측 시스템에 대한 자세한 설명은 Jeon et al. (2004a) 및 Jeon et al. (2005)에 수록되었다. 그림 1은 전체 관측 영역을 나타낸 것으로서, 약 2.3° × 2.4° 의 영역을 포함하고 있다. 그림 1에서 A 영역은 처음 관측을 시작한 TU Cas 영역으로서, 모두 9일간, 약 45시간동안 관측이 이루어졌

표 1.— 새로 발견된 변광성들

No.	RA,DEC (J2000.0)	USNO-B1.0 ID	Magnitude B2	R2	I2	Observing nights A	B	C_{no}	C_V	D	P (day)	Amp. (mag)	Remarks
V1	001534.0+504602	1407-0007748	16.98	15.45	14.12	-	-	2	-	-	0.31	0.1	EW
V2	001603.9+503514	1405-0007958	11.93	11.35	11.11	-	-	2	-	-	-	-	DSCT
V3	001627.6+504358	1407-0008193	17.01	15.84	14.88	-	-	2	-	-	0.32	0.2	EW
V4	001630.2+502539	1404-0008224	15.31	14.31	13.43	-	-	2	-	-	0.36	0.06	EW
V5	001649.6+501544	1402-0008318	15.21	14.07	13.46	-	-	2	-	-	0.6484	0.3	EB
V6	001652.4+512034	1413-0008691	11.37	11.02	10.88	-	2	-	-	-	0.06	0.034	DSCT
V7	001654.2+505130	1408-0008428	14.04	13.19	12.76	-	-	2	-	-	0.1156	0.06	DSCT
V8	001756.1+511233	1412-0009455	12.06	11.96	11.93	-	2	-	-	-	0.3568	0.2	EB
V9	001756.8+511802	1413-0009253	11.69	11.20	11.00	-	2	-	-	-	0.5	0.03	E ?
V10	001815.7+502042	1403-0008863	14.15	13.57	13.04	-	-	2	-	-	0.5444	0.45	EB
V11	001838.9+504516	1407-0009291	15.66	14.23	13.87	-	-	2	-	-	0.8432	0.21	EW
V12	001852.2+505739	1409-0009694	15.71	14.22	14.20	-	-	2	-	-	-	0.7	EA
V13	001924.3+505916	1409-0009958	11.01	10.84	10.77	-	2	-	1	-	-	0.03	DSCT ?
V14	001932.5+510045	1410-0010123	10.93	10.63	10.50	-	2	-	1	-	0.087	0.05	DSCT
V15	001933.6+504808	1408-0009765	13.28	13.26	11.81	-	-	2	-	-	-	-	V ?
V16	001944.9+503138	1405-0009794	13.07	11.77	11.23	-	-	2	1	-	0.28	0.04	EW
V17	001947.8+513857	1416-0011039	12.54	11.83	11.54	-	2	-	-	1	0.3844	0.07	EW
V18	002003.7+510029	1410-0010405	12.68	11.75	11.20	-	2	-	1	-	0.1937	0.18	DSCT
V19	002013.4+502004	1403-0009852	15.99	14.83	14.12	-	-	2	-	-	0.27	0.1	EW
V20	002026.1+500702	1401-0010016	15.47	13.88	13.80	-	-	2	-	-	0.4057	0.53	EB
V21	002029.5+520516	1420-0010397	16.21	14.78	13.94	-	-	-	-	1	0.27	0.7	EB
V22	002032.2+501251	1402-0010292	15.20	13.95	13.38	-	-	2	-	-	0.2051	0.15	DSCT
V23	002040.7+501421	1402-0010330	15.75	14.36	13.74	-	-	2	-	-	0.4162	0.2	EW
V24	002115.7+505324	1408-0010547	10.66	9.84	9.50	-	2	2	1	-	1.724	0.1	E ?
V25	002142.4+501017	1401-0010589	15.82	14.74	14.26	-	-	2	-	-	0.4321	0.15	EB
V26	002150.1+505407	1409-0011198	11.65	11.53	11.48	-	2	2	1	-	0.1047	0.044	DSCT
V27	002200.7+503628	1406-0010754	15.67	14.35	13.87	-	-	2	-	-	-	-	E ?
V28	002211.1+504207	1407-0011077	17.40	15.85	14.84	-	-	2	-	-	0.2530	0.7	EW
V29	002217.1+504935	1408-0011033	13.76	12.47	12.11	-	-	2	-	-	0.4546	0.12	EW
V30	002245.1+505110	1408-0011233	14.51	13.39	12.55	-	2	2	1	-	0.4897	0.43	EB
V31	002250.7+520744	1421-0012564	13.54	13.12	12.42	-	-	-	-	1	0.0856	0.09	DSCT
V32	002303.1+502602	1404-0011452	17.07	15.97	15.25	-	-	2	-	-	-	< 0.5	?
V33	002323.1+511710	1412-0012207	10.21	9.88	9.74	9	2	-	-	-	0.0414	0.02	DSCT
V34	002511.0+513531	1415-0013143	13.63	13.28	12.61	9	2	-	-	1	0.4831	0.95	RR Lyrae
V35	002521.7+505600	1409-0012914	9.83	9.44	9.28	9	2	-	-	-	0.07	0.01	DSCT
V36	002542.6+515729	1419-0014124	15.10	13.59	13.00	9	-	-	-	1	0.2993	0.5	EW
V37	002711.8+510523	1410-0013950	14.62	13.09	13.05	9	-	-	-	-	0.3974	0.4	EW
V38	002806.5+513651	1416-0015867	12.57	12.17	12.01	9	-	-	-	-	0.3003	0.1	EW

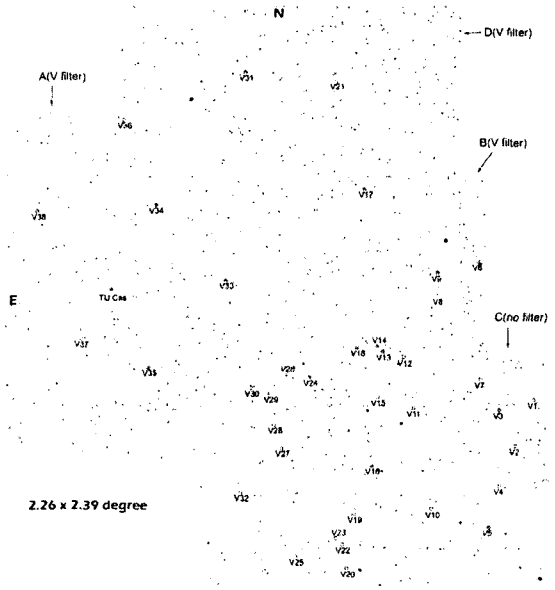

그림 1.— 세페이드형 변광성 TU Cas 근처의 전체 관측 영역 및 발견된 새로운 변광성의 위치. A, B, D영역은 V 필터 영상이며, C영역은 필터 없는 영상을 이용하였다.

다. 각각의 관측일은 2003년 9월 27, 28, 29, 30일, 10월 3, 4, 9, 10, 15일이다. 모두 V 필터를 이용하여 관측되었다. 관측 영역을 넓히기 위해 주변의 3영역을 추가로 관측하였다. B 영역은 2003년 10월 17, 22일의 2일간 약 11시간 동안 V 필터를 이용하여 관측하였고, C 영역은 필터를 사용한 경우와 사용안한 경우를 비교하기 위해 2003년 10월 23, 31일의 2일 동안에는 필터없이 약 15시간을 관측하였고, 10월 23일에는 약 3.5시간 동안 V 필터를 이용한 관측이 이루어졌다. 마지막으로 D 영역에 대해 2003년 10월 19일에 약 8시간의 관측이 이루어졌다.

관측된 CCD 영상자료는 IRAF/CCDRED (Stetson 1987, Massey, & Davis 1992)를 이용하여 전처리 과정을 수행하였다. AP9E CCD 카메라의 냉각 온도를 $-25°C$ 이하로 내릴 경우 CCD 표면에 성애가 발생하는 문제가 발생하여 $-20°C$를 유지하면서 관측하였고, 전처리 과정에서 암잡음 보정이 이루어졌다. 측광은 IRAF/DAOPHOT 의 phot 프로그램을 이용하였으며, 대개 시상의 2.5 - 4배 되는 구경을 사용하였다. 이때 사용한 조건은

photpars.apertures = 8
fitskypars.salgorithm = "mode"
fitskypars.annulus = 15
fitskypars.dannulus = 10

이다. 155mm 굴절 망원경의 추적성능의 문제로 종종 별의 모양이 상당히 찌그러진 모양을 나타내어서 충분히 큰 구경을 사용하였다.

측광이 이루어진 자료는 특정 비교성을 정하여 나머지 모든 별들의 차등 등급을 구하고, 각각의 광도곡선을 컴퓨터 화면에 띄워서 육안으로 변광 여부를 확인하였다. 이때 변광이 보이는 별들을 목록으로 만들었고, 목록화된 변광성 후보들에 대해 주변에서 적절한 비교성을 각각 다시 택하여 최종적인 광도곡선을 얻었다.

3. 결과

발견된 새로운 변광성들을 표 1에 목록으로 만들었다. 새로 발견된 변광성은 모두 38개이며, 이 중에서 11개는 δ Scuti형 변광성, 22개는 식변광성, 1개는 RR Lyrae형 변광성, 그리고 나머지 4개는 변광유형을 결정하기가 어려운 변광성이다. 이들의 좌표, 별이름 및 등급은 USNO-B1.0 목록을 인용하였다. 전체적으로 $R = 9.44 \sim 15.97$의 분포를 보이며, δ Scuti형 변광성은 9등급에서 13등급까지 관측할 수 있었다.

3.1. δ Scuti형 변광성

38개의 새로운 변광성 중에서 11개가 δ Scuti형 변광성으로 분류되었다. 이들의 광도 곡선을 그림 2에 나타내었다. 11개의 별 중에서 자료의 질이 비교적 양호한 별들에 대해 맥동주기를 찾기위해 관측자료에 대해 이산 푸리에 변환 (Discrete Fourier Transform)과 다중회귀에 의한 주기 분석 (Kim & Lee 1995)을 수행하였다. 이들의 파워 스펙트럼을 그림 3에 나타내었다. 그림 2에서 V2와 V13은 자료의 질이 좋지 않아서 주기분석이 이루어지지 못하였으며, V18과 V22는 광도곡선에서 최대 변광폭이 변하는 중첩효과가 보여서 주기가 다소 길지만 δ Scuti형 변광성으로 분류하였다. V33과 V35 변광진폭이 특히 작고, 주기가 짧아서 날씨가 조금만 좋지 않아도 광도곡선의 분산이 커져서 버리는 자료가 많았다 (그림 2 참조).

9개의 δ Scuti형 변광성에 대한 주기 분석 결과를 표 2에 정리하였다. Breger et al. (1993)에 의해 제안된 신호대 잡음비 $(S/N) \geq 4.0$ 인 주기만을 진짜주기로 택할 경우 V31과 V35의 f_2 는 가짜 주기로 보여지지만, 광도곡선의 모양에서 진짜 주기의 가능성이 있는 것으로 보았다. V33의 f_2 는 2일 간격의 alias frequency로 보여진다. 신호대 잡음비는 각 주기의 파워값을 모든 주기를 검출하고난 후의 평균 파워값으로 나누어 제곱근을 취한 것으로 정의되었다 (Jeon et al. 2004b).

3.2. 식 변광성

그림 4는 표 1에 정리된 식변광성들의 위상맞추기 결과이다. V24는 주기가 길어서 위상을 충분히 맞추지 못

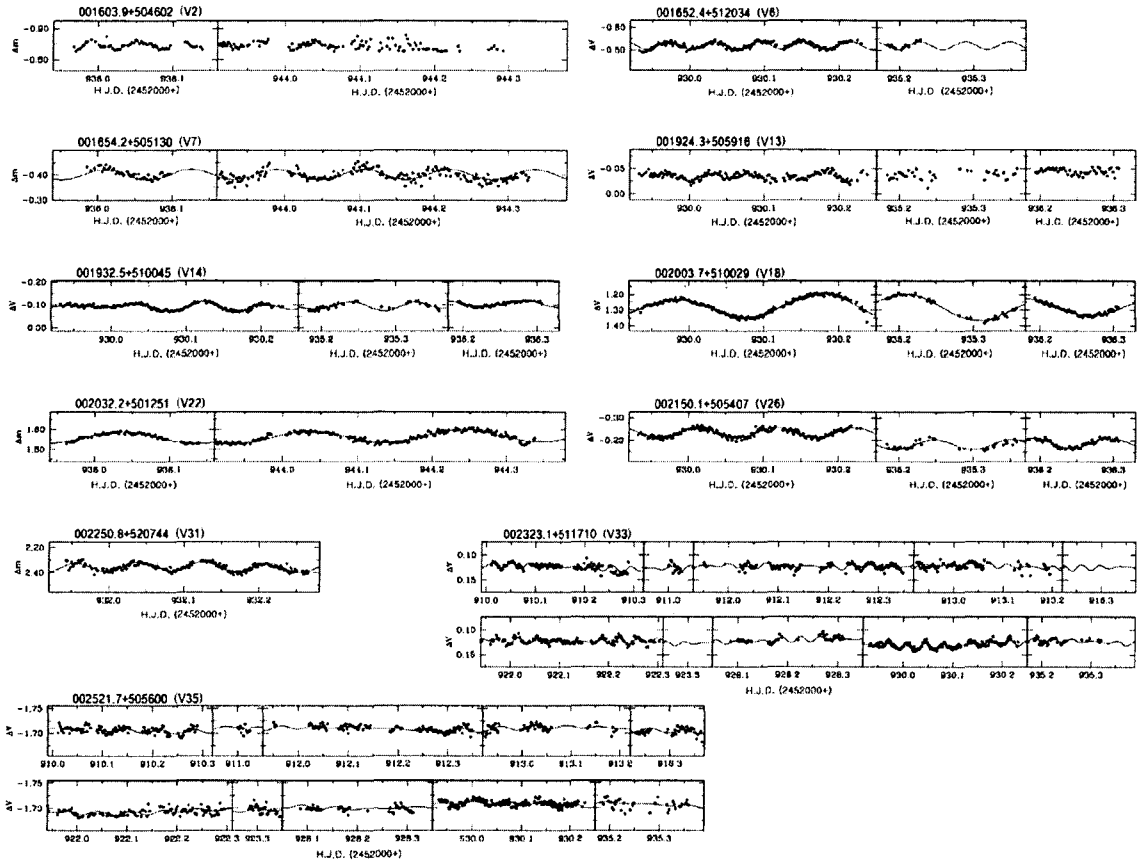

그림 2.— δ Scuti형 변광성의 광도 곡선. 검은 점은 관측자료이며, 실선은 주기분석의 결과로 얻어진 결과를 중첩한 것이다. 실선이 없는 자료는 주기 분석이 이루어지지 못하고 단지 δ Scuti형 변광성으로 추정되는 별들이다.

하였지만 식변광성으로 추정된다. 다양한 식변광성이 발견되었는데, 대부분 필터없이 관측한 C영역에 분포하고 있다. 분산이 큰 EW형 변광성의 경우 위상맞추는 과정에서 0.5주기만큼 이동되어 맞추어졌을 가능성도 있다.

3.3. *RR Lyrae 형 변광성 및 기타*

V34는 그림 5에서 주기가 0.4831일인 전형적인 RRab형 변광성의 광도곡선 모양을 보인다.

그리고 남은 5개의 별 중에서 4개는 변광성의 종류를 분류하기가 어려운 것이고, V12는 EA형의 식변광성으로 추정되지만 주기가 길어서 위상맞추기를 하지 못했다. 이들을 그림 6에 정리하였다. 미분류된 4개의 별 중에서 V15를 제외하면 모두가 식변광성의 형태로 추정된다.

4. 결론 및 토의

구경 155mm의 소형 굴절망원경으로 세페이드형 변광성 TU Cas 근처의 영역에서 변광성탐사를 수행한 결과 모두 31개의 새로운 변광성을 발견하였다. 이 영역에서 검출된 변광성은 TU Cas를 제외하면 모두 GCVS (General Catalogue of Variable Stars; Samus et al. 2004)에 등록되지 않은 새로운 변광성이었다.

그림 1의 4영역 중에서 필터없이 관측한 C 영역에서 다른 영역에 비해 변광성이 훨씬 많이 발견되었는데 이것은 광량의 증가로 더 어두운 한계등급까지 검출되었기 때문일 것이다. 그러나 C 영역에서는 단주기의 변광성이 전혀 검출되지 않고 있다. 같은 영역에서 관측된 V13과 V14의 경우 V 필터를 사용한 경우 검출이 되었으나 필터를 사용하지 않은 경우에는 분산이 커서 확인이 어려웠다. 단주기 변광성의 탐사에는 한계등급을 낮추는 것 보다는 필터를 사용하여 보다 정밀한 측광자료를 얻는 것이 훨씬 중요한 요소임을 알 수 있다.

감사의 글: 이 연구는 한국과학기술원 주관의 한국과학영재학교 R & E 과제의 지원을 일부 받았습니다.

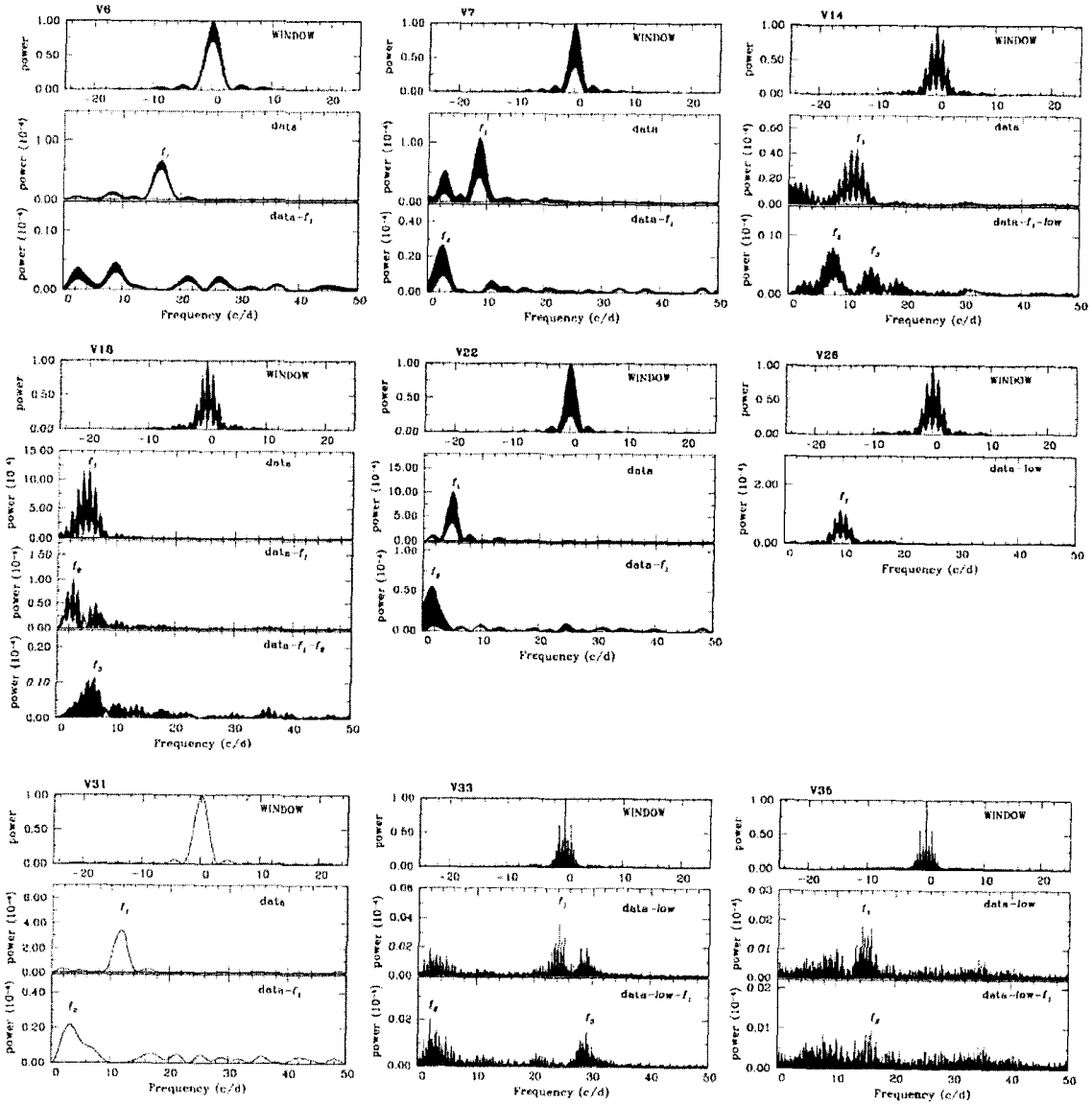

그림 3.— δ Scuti형 변광성의 파워 스펙트럼.

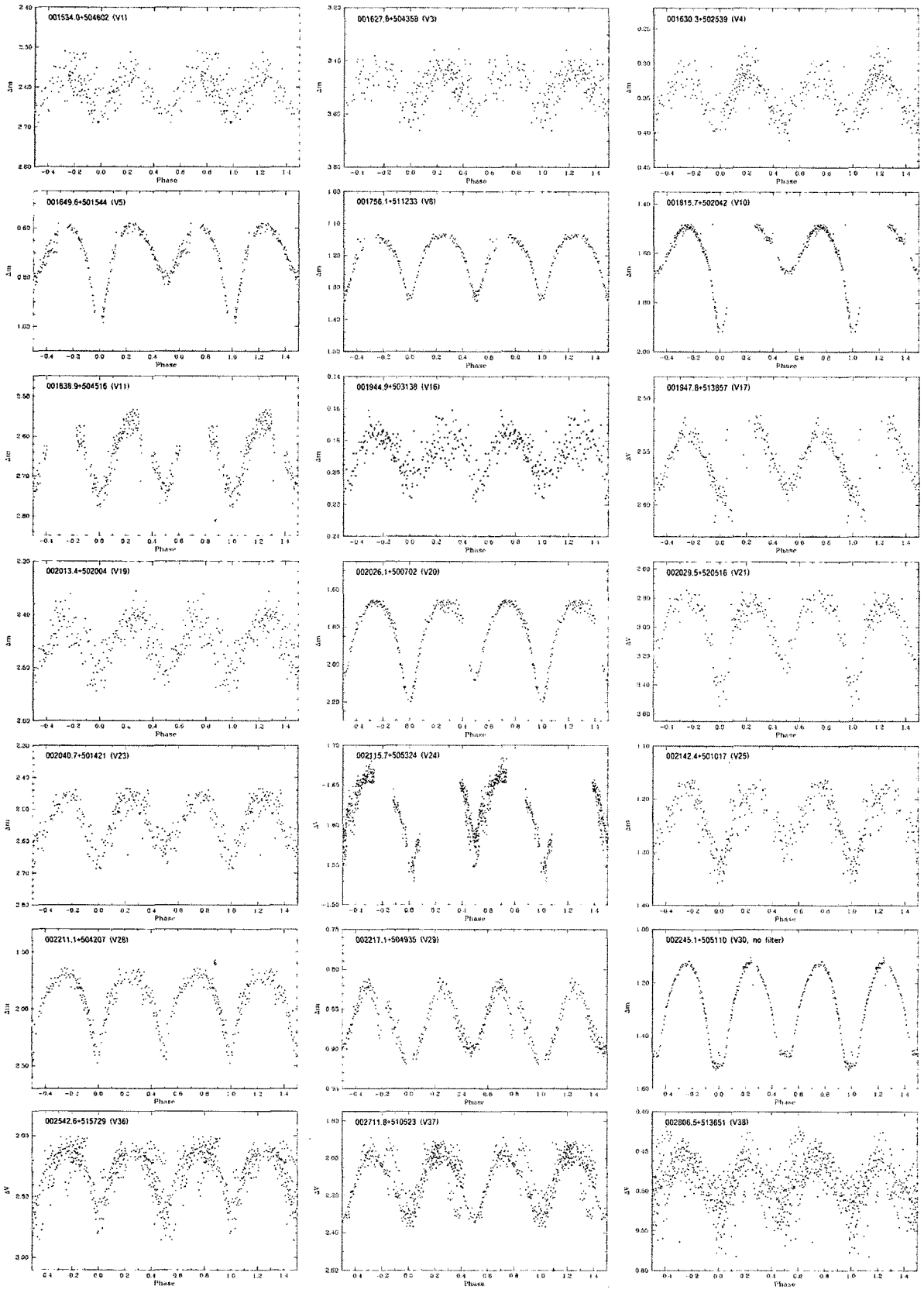

그림 4.— 식 변광성의 위상 맞추기 결과.

표 2.— δ Scuti형 변광성의 주기분석 결과

No.	Value	Frequency[a,b]	Amp.[b]	S/N	Remarks
V6	f_1	16.555	0.017	13.2	
V7	f_1	8.647	0.020	12.3	
	f_2	2.487	0.010	6.2	
V14	f_1	11.531	0.014	17.7	
	f_2	7.646	0.006	7.6	
	f_3	14.239	0.005	6.4	
V18	f_1	5.162	0.066	54.4	
	f_2	2.601	0.017	16.0	
	f_3	6.377	0.008	5.4	
V22	f_1	4.875	0.062	29.4	
	f_2	1.517	0.012	7.0	
V26	f_1	9.549	0.022	20.8	
V31	f_1	11.680	0.037	15.5	
	f_2	3.083	0.010	3.9	alias?
V33	f_1	24.151	0.004	9.7	
	f_2	2.027	0.003	7.2	alias?
	f_3	29.161	0.003	6.4	
V35	f_1	14.203	0.003	5.1	
	f_2	16.064	0.002	3.7	alias?

[a]: In cycles per day.
[b]: $V = Const + \Sigma_j A_j \cos\{2\pi f_j(t - t_0) + \phi_j\}$, t_0 = HJD 2,452,000.00.

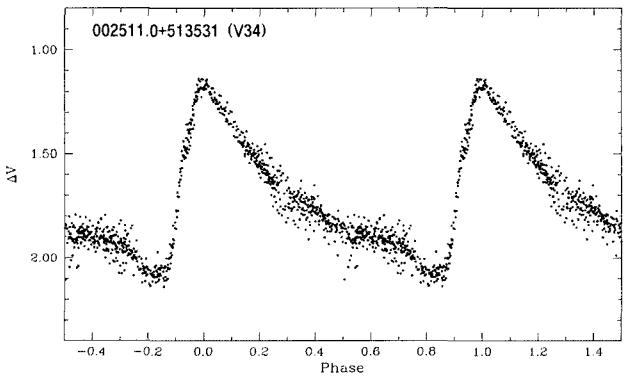

그림 5.— 새로운 RR Lyrae 변광성의 위상맞추기 결과.

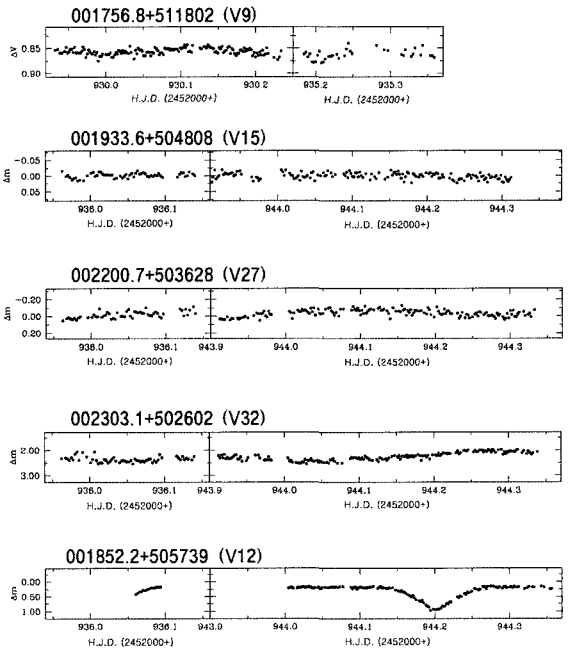

그림 6.— 분류되지 못한 별들 (V9, V15, V27, V23)과 주기를 결정하지 못한 별 (V12)의 광도곡선.

참고문헌

Akerlof, C., Amrose, S., & Balsano, R., et al., 2000, ROTSE All-sky Surveys for Variable Stars. I. Test Fields, AJ, 119, 1901

Breger, M., Stich, J., & Garrido, R., et al., 1993, Nonradial Pulsation of the Delta-Scuti Star Bu-Cancri in the Praesepe Cluster, A& Ap, 271, 482

Jeon, Y.-B., Kim, S.-L., & Park, Y.-H., et al. 2004a, A New Field δ Scuti Star : HD 235428, PKAS, 19, 27

Jeon, Y.- B., Kim, S.- L., Park, & Y.- H., et al., 2005, Short-Period Variability Survey (SPVS) in BOAO, PKAS, submitted

Jeon, Y.- B., Lee, M. G., Kim, S.- L., & Lee, H., 2004b, SX Phoenicis Stars in the Globular Cluster NGC 5466, AJ, 128, 287

Jin, H., Kim, S.- L., & Kwon, S.- G., et al., 2003, Multiband photometric re-classification of ROTSE-I δ Scuti type stars, A&Ap, 404, 621

Jin, H., Kim, S.- L., Lee, C.- U., Lee, D. J., & Kim, K.- S., 2004, Reclassification of ROTSE-I δ Scuti type stars with Multiband photometry and Fourier Decomposition, AJ, 128, 1847

Kim, S.- L., & Lee, S.-W., 1995, CCD Photometry of a Delta Scuti Star in an Open Cluster II. BT CNC in the Praesepe, J. Korean Astron. Soc., 28, 197

Massey, P. & Davis, L. E., 1992, A User's Guide to Stellar CCD photometry with IRAF

Samus, N. N. & Durlevich, O. V., et al., 2004, Combined General Catalogue of Variable Stars (Samus+2004), VizieR Online Data Catalog, 2250

Stetson, P. B., 1987, DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry, PASP, 99, 191

Woźniak, P. R., Vestrand, W. T., & Akerlof, C. W, et al., 2004, Northern Sky Variability Survey: Public Data Release, AJ, 127, 2436