

새로운  $\delta$  SCUTI형 변광성: HD 235428  
A NEW FIELD  $\delta$  SCUTI STAR : HD 235428

전영범<sup>1</sup>, 남기형<sup>2</sup>, 김승리<sup>1</sup>, 박윤호<sup>1</sup>, 김기현<sup>2</sup>, 김지윤<sup>2</sup>, 김대겸<sup>2</sup>, 진강일<sup>2</sup>, 김수현<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국천문연구원  
<sup>2</sup>과학영재학교

YOUNG-BEOM JEON<sup>1</sup>, KI-HYUNG NAM<sup>2</sup>, SEUNG-LEE KIM<sup>1</sup>, YOON-HO PARK<sup>1</sup>, KI-HYUN KIM<sup>2</sup>, JI-YOON KIM<sup>2</sup>, DAE-KYUM KIM<sup>2</sup>, KANG-IL JIN<sup>2</sup>, AND SU-HYUN KIM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory

<sup>2</sup>Busan Science Academy

(Received December 8, 2004; Accepted December 23, 2004)

ABSTRACT

Through time-series CCD photometry using a 155mm refractor, we found a new  $\delta$  Scuti type variable star, HD 235428, near a known bright  $\delta$  Scuti type star, DQ Cep. We performed follow-up observations using a 61cm telescope at Sobaeksan Optical Astronomy Observatory. Four frequencies have been derived by multiple-frequency analysis, which are 15.804, 5.498, 15.351 and 24.516cycle day<sup>-1</sup>, respectively.  $V$ -amplitude of HD 235428 is  $\Delta V = 0.026$ .

1. 서론

일반적으로  $\delta$  Scuti 형 변광성은 분광형이 A3부터 F0 사이에 놓인 종족 I의 변광성으로서 세페이드 불안정 영역의 아래쪽에 위치해 있다. 이 변광성의 광도곡선은 대부분 이중주기 또는 다중 주기를 보이며(Breger 1979), 방사상(radial) 모드와 비 방사상(non-radial) 모드를 동시에 보여주고 있다. 종족 II의 구상성단에서 주로 발견되는 SX Phoenicis 형 변광성과 대비되어 주기-진폭 관계에서 뚜렷이 분리되어 나타난다(Jeon et al. 2001, 2003). 날별로 존재하는  $\delta$  Scuti 형 변광성은 짧은 주기와 작은 변광진폭으로 인하여 일반적인 탐사관측으로는 쉽게 발견되지 못하며, 단지 진폭이 큰  $\delta$  Scuti 형 변광성들이 다수 발견되지만(Akerlof et al. 2000), 이들도 대부분 W UMa 형 식변광성을  $\delta$  Scuti 형 변광성으로 추정된 것들이 대부분이었다(Jin et al. 2003, 2004).

보현산천문대의 직경 155mm 굴절망원경을 이용하여 비교적 밝은  $\delta$  Scuti 형 변광성인 DQ Cep를 시계열 관측한 자료를 분석하던 중 HD 235428의 변광 현상을 발견하였다. 첫 관측에서 얻은 광도 곡선은 노출 시간이 짧아서 정밀도는 떨어지지만  $\delta$  Scuti 형 변광성의 광도곡선 모양을 추정할 수 있었다. 비록 망원경은 작으나 한 영역을 집중적으로 시계열 관측함으로써 단주기 변광성을 찾을 수 있었다. 이후 HD 235428에 대해 소백산천문대 61cm 망원경으로 추가 관측한 결과 뚜렷한  $\delta$  Scuti 형 변광성의 광도곡선 모습이 나타났다. HD 235428은 R.A. = 21<sup>h</sup> 01<sup>m</sup> 06<sup>s</sup>.44, Decl. =

+55° 06' 23".9(J2000.0)의 위치에 있으며,  $B = 9.45$ ,  $V = 9.24$ , A2 형 별이다<sup>1</sup>.

2. 관측 및 분석

2.1. 변광성 탐사 관측

탐사용 관측에 사용된 CCD 카메라는 Apogee 사의 AP9E 모델로써 전기냉각방식이며, 2048 × 3072 픽셀을 가지고 있는 Kodak KAF6303E 칩이 사용되었다. 각 픽셀의 크기는 9 $\mu$ m × 9 $\mu$ m이며, 155mm 굴절망원경에 대해 픽셀당 1.77arcsec의 관측시야를 가진다. 따라서 전체 CCD 카메라가 담을 수 있는 관측영역은 60arcmin × 90arcmin이다. 전 영역을 읽어내는데 약 8초의 시간이 소요되고, 읽기 잡음은 약 20e<sup>-</sup>이다. 또한 KAF6303E 칩의 양자효율은 R 필터 영역에서 최대 약 65%이다. 약 2개월의 시험관측으로부터 미세 변광진폭( $V \leq 0.05$ )을 가지는  $\delta$  Scuti 형 변광성의 경우 150초 노출에 약 12등급까지 관측이 되고, 진폭이 큰 식쌍성이나 RR Lyare 변광성의 경우 약 14등급까지 검출되었다. 관측 장비에 대한 보다 자세한 내용과 시험관측으로부터 얻은 결과는 별도의 논문(Jeon et al. in preperation)으로 발표할 예정이다. 정밀 관측에 사용된 소백산천문대의 관측시스템은 김승리 등(2001)에 자세히 기술되었다. 그림 1은 주 관측 장비인 155mm 굴절 망원경에 CCD 카메라가 부착된 모습이다. 경통에는 별도의 가이드 망원경이 부착되어 있고, CCD 카메라 앞에

<sup>1</sup>from Simbad, <http://simbad.u-strasbg.fr/sim-fid.pl>

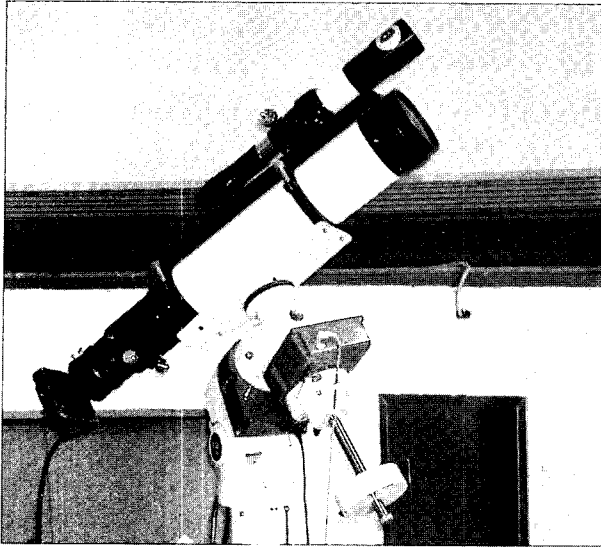


그림 1.— 주 관측 장비인 155mm 굴절 망원경에 CCD 카메라가 부착된 모습.

는 5cm × 5cm의 필터를 끼울수 있는 필터 홀더가 붙어 있다. 이 망원경은 세개의 별을 이용한 기준점 맞추기를 수행할 경우 약 30arcsec 이내의 정밀도로 위치를 찾아간다. 하루밤 관측 동안 약 ±100arcsec 정도 추적관측 오차가 발생하는데 관측을 용이하게 하기 위해 관측중 위치를 재보정하지는 않았다. 따라서 관측 영역의 가장자리 근처에 놓인 별은 정밀도가 많이 떨어지게 되는데 앞으로 가이드 망원경에 자동추적장치를 부착하여 추적 정밀도를 높일 예정이다.

## 2.2. HD 235428의 관측 및 자료처리

2003년 8월 8일과 9일에 보현산천문대의 직경 155mm 굴절망원경(초점거리  $f = 1,050\text{mm}$ )을 이용하여 V 필터로 DQ Cep 변광성을 시계열 관측한 자료에서 짧은 주기를 가진 두 개의 변광성을 찾았다. 이 중에서 한 개는 당초 관측 대상인 DQ Cep이며, 나머지 하나는 HD 235428로서 변광진폭이 작고, 주기가 짧아서  $\delta$  Scuti 형의 특징을 보이는 새로운 변광성이었다. 첫 관측 후 계속 날씨가 좋지 않아 9월 20일에 추가 관측이 가능했으며 소백산천문대의 61cm 반사망원경으로 확인 관측 결과 뚜렷한  $\delta$  Scuti 형의 변광 특징을 보였다. 이후 10월 16일까지 관측하여 모두 10일 밤의 관측이 이루어졌다.

그림 2에서 바깥쪽의 넓은 영역은 155mm 굴절 망원경에 사용한 CCD 카메라의 전체 관측 영역이며, 안쪽의 사각형은 HD 235428의 미세 변광을 발견한 후 소백산천문대의 61cm 반사망원경으로 추가 정밀 관측을 수행한  $20.5\text{arcmin} \times 20.5\text{arcmin}$ 의 영역으로서 HD 235428과 비교성(HD 235424,  $V = 9.75$ ,  $(B - V) =$

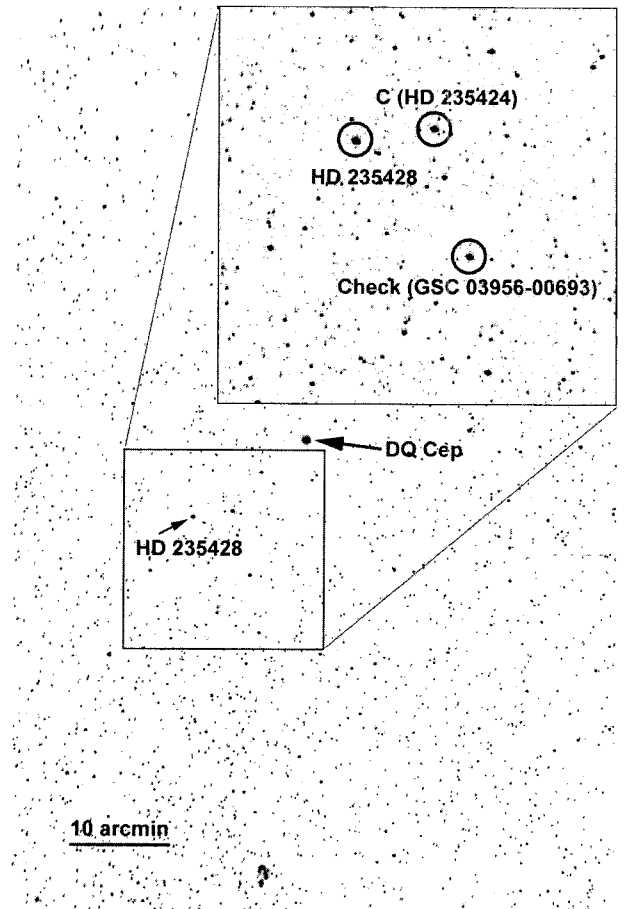


그림 2.— 155mm 굴절 망원경으로 관측하는 영역. 한 번에  $60\text{arcmin} \times 90\text{arcmin}$ 의 영역을 담을 수 있다. 안쪽의 사각 상자는 소백산천문대의 2k CCD 카메라의 관측 시야를 나타낸 것이며, HD 235428, 비교성 및 점검성을 각각 나타내었다. 그림에서 위쪽이 북쪽이며, 왼쪽이 동쪽이다.

1.05, K5 형) 및 점검성(GSC 03956-00693,  $V = 9.98$ ,  $(B - V) = 0.40$ )을 각각 나타내었다. 155mm 굴절망원경으로 관측된 영상은 관측 시야가 넓어서 차등 측광의 오차를 줄이기 위해서는 가급적 가까운 영역에서 비교성을 찾아야한다. 또한 비슷한 색지수를 가지는 비교성을 선택하여야 이차소광에 의한 오차를 줄일 수 있고 가급적 비슷한 밝기의 비교성을 선택하여야 측광오차를 줄일 수 있다. HD 235428 근처에는 HD 235424와 GSC 03956-00693가 있는데 비록 색지수 차이는 훨씬 크지만 HD 235428에 훨씬 가까이 있고 GSC 03956-00693보다 밝아서 측광 오차가 작은 HD 235424를 비교성으로 택하였고, GSC 03956-00693은 점검성으로 이용하였다. 이 경우 하루밤의 관측시간 중 고도차이와 색지수 차이에 의한 이차소광의 문제가 나타날 수 있으나 주변에 있는 여러별에서 광도 곡선을 조사한 결과 특별한

표 1.— 관측 자료.

Date (UT)	Start HJD (2,452,000+)	$N_{obs}$	Exposure (seconds)	Remarks
2003 8 8	860.066	385	20~30	
2003 8 9	861.013	142	30	
2003 9 20	903.096	74	10	SOAO
2003 9 21	903.948	207	10	SOAO
2003 9 21	904.167	70	90	
2003 9 22	905.116	127	150	
2003 10 5	918.932	17	150	
2003 10 6	919.101	40	150	
2003 10 7	919.927	94	200	
2003 10 15	927.907	32	150	
2003 10 16	929.024	77	150	

이차소광의 문제는 보이지 않았으며, 그림 3에 점검성의 광도곡선을 보였다.

표 1은 HD 235428의 관측 자료를 나타낸 것이며 첫 번째 칸부터 관측일, 관측 시작 HJD, 관측된 영상 수, 노출시간 등을 각각 나타내었다. 2003년 8월 8일과 9일에는 관측 주 대상이 밝은  $\delta$  Scuti 형 변광성인 DQ Cep에 맞추어져서 다른 날에 비해 노출 시간이 짧으며, 결과적으로 구경측광 오차가 다른 날에 비해 약 4배 이상 크게 나타났다(그림 3 참조). 9월 20일과 21일에 소백산천문대 61cm 망원경으로 정밀 관측을 수행하여  $\delta$  Scuti 형 변광성임을 확인하고 이 후 155mm 굴절망원경으로 노출을 길게하여 정밀 관측을 수행하였다.

관측된 CCD 영상자료는 IRAF/CCDRED(Stetson 1987, Massey & Davis 1992)를 이용하여 전처리 과정을 수행하였다. 155mm 굴절망원경에 의한 관측의 경우 AP9E CCD 카메라의 냉각 온도를  $-25^{\circ}\text{C}$  이하로 내릴 경우 CCD 표면에 성애가 발생하는 문제가 있어서 관측에서는  $-20^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다. 따라서 소백산천문대의 2k CCD 카메라는 암잡음의 보정이 필요 없으나 AP9E의 경우 반드시 암잡음 보정이 이루어져야한다. 측광은 IRAF/DAOPHOT의 phot 프로그램을 이용하였으며, 대개 시상의 2.5–4배 가량되는 구경을 사용하였다. 155mm 굴절 망원경의 추적성능의 문제로 종종 별의 모양이 상당히 찌그러진 모양을 나타내어서 충분히 큰 구경을 사용하였다.

### 3. 광도곡선 및 주기분석

그림 3은 HD 235428과 점검성(GSC 03956-00693)의 광도곡선을 보인 것으로서 여러 주기에 의한 주기 중첩 효과가 뚜렷이 나타난다. 사용한 필터는 V 필터이다. 그림 3의 위쪽 그림 중에서 처음 2일치는 30초의 노출시간을 기준으로 관측되었고 이들의 구경측광 오차는 대개 0.005등급이다. 5일째 결과는 90초 노출을 하였는데 0.002등급의 구경측광 오차를 보였다. 6일째와 7일째는 150초 노출을 하였지만 날씨변화가 커서 단

표 2.— HD 235428의 물리량 및 맥동 특성.

$V^a$	$(B-V)^a$	Value	Frequency <sup>b,c</sup>	Amp. <sup>c</sup>	S/N
9.24	0.21	$f_1$	15.804	0.005	11.2
		$f_2$	5.498	0.003	7.4
		$f_3$	15.351	0.003	5.0
		$f_4$	24.516	0.002	4.4

<sup>a</sup>: From SIMBAD.

<sup>b</sup>: In cycles per day.

<sup>c</sup>:  $V = Const + \sum_j A_j \cos\{2\pi f_j(t - t_0) + \phi_j\}$ ,  $t_0 = \text{HJD } 2,452,000.00$ .

일 구경측광 오차가 0.002에서 0.004등급으로 나타났다. 반면에 150초 노출을 한 맑은 날은 구경측광 오차는 0.001등급 이하로 아주 작다. 그림 3에서 구경측광에서 나타나는 측광의 정밀도보다 광도곡선의 분산이 크게 나타나는데 이것은 비교성과의 밝기차이로 차등 측광의 결과로 얻는 오차가 조금 커지게 영향을 미쳤고, 무엇보다 넓은 관측 시야로 인하여 배경하늘의 균질도에 크게 영향을 받기 때문이다. 아래쪽의 점검성에 대한 광도곡선은 밝기가 다소 어두워서 측광오차가 조금 더 커서 광도 곡선의 분산이 HD 235428의 경우보다 더 크게 나타나지만 전체적으로 안정된 모습을 보이고 있다.

그림 3의 관측자료를 바탕으로 하여 HD 235428의 맥동주기를 찾기위해 관측자료에 대해 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform)과 다중회귀에 의한 주기 분석(Kim & Lee 1995)을 수행하였다. 그 결과로써 그림 4는 파워스펙트럼을 나타내며,  $f_1 \sim f_4$ 의 4개의 주기가 뚜렷이 보인다. 이들의 값은 표 2에 정리하였다. 그림 4에서 나타나는 피크 중에서 Breger et al.(1993)에 의해 제안된 신호대 잡음비 ( $S/N$ )  $\geq 4.0$ 인 주기만을 진짜주기로 택하였다. 신호대 잡음비는 각 주기의 파워값을 모든 주기를 검출하고난 후의 평균 파워값으로 나누어 제공근을 취한 것으로 정의되었다(Jeon et al. 2004).  $f_1 \sim f_4$ 의 주기는 각각 15.804, 5.498, 15.351 및 24.516cycle day<sup>-1</sup>이며, 전체진폭은  $\Delta V = 0.026$ 에 불과하다.  $f_1$ 과  $f_3$ 의 비는 0.971로써  $f_3$ 은 비방사상 모드로 추정된다.

### 4. 결론 및 토의

HD 235428은 Hipparcos/Tycho<sup>2</sup> 자료에 따르면 삼각시차,  $\pi$  값이 0.0048arcsec로서 거리는 208pc이 된다. 따라서 가까운 거리에 대해 성간소광량을 무시하면 거리지수,  $m - M = -5\log\pi - 5$ , 관계로부터 절대등급  $M_V$ 는 2.65등급이 된다. 여기에 HD 235428의 색지수  $(B - V) = 0.21$ 등급을 적용하면  $\delta$  Scuti 형 변광성의 불안정 영역에 잘 일치한다(Breger 1979). 따라서 이 특성과 광

<sup>2</sup><http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/HIPcatalogueSearch.html>

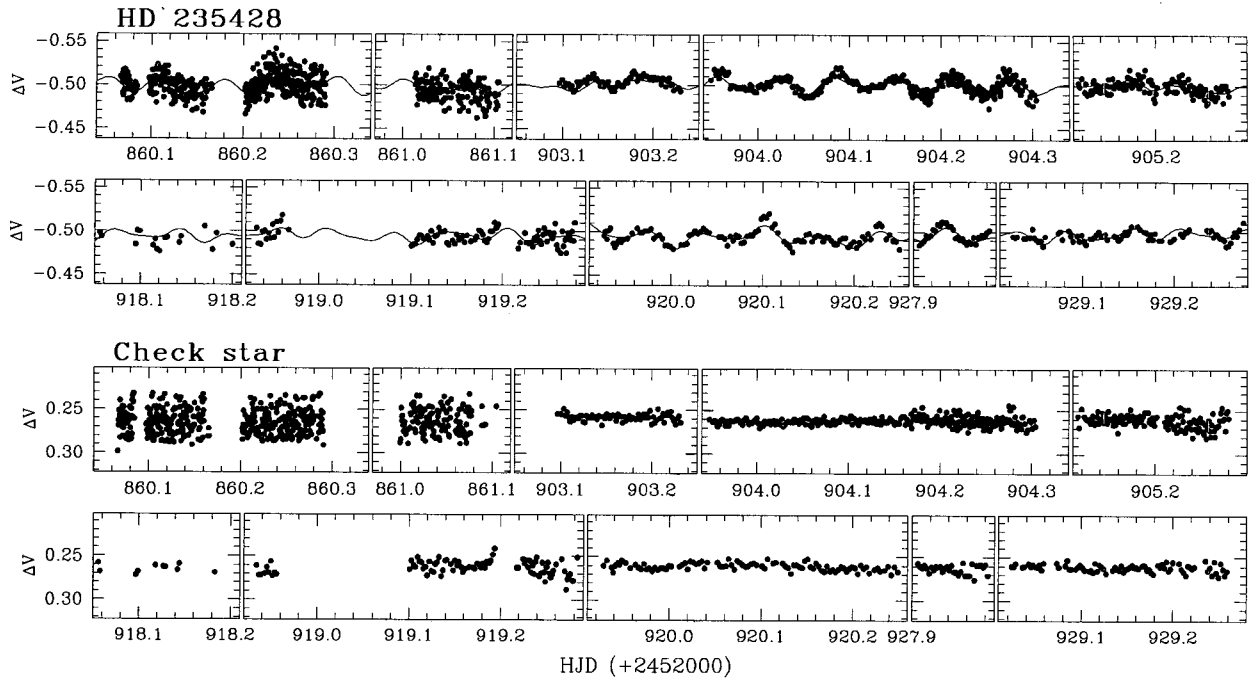


그림 3.— HD 235428(위)과 점검성(아래, GSC 03956-00693)의 V 필터 광도 곡선. 검은 점은 관측자료이며, 실선은 주기분석의 결과로 얻어진 결과를 중첩한 것이다.

도곡선의 형태로부터 HD 235428은 주된 주기와 변광 진폭이 각각 1.52시간과  $\Delta V = 0.026$ 에 불과한 새로운  $\delta$  Scuti 형 변광성이다.

구경이 불과 155mm에 불과한 소형망원경을 이용한 시계열 관측은 적절한 CCD카메라를 부착할 경우 넓은 시야를 확보할 수 있어서 새로운 변광성의 탐사연구에 유용하다. 대략적인 탐사범위는 약 7등급부터 13등급 까지이며, HD 235428과 같은 단주기 미세변광성의 경우 높은 정밀도를 얻기 어려워 대부분의 경우 주기분석을 위해서는 보다 큰 망원경을 이용한 정밀 관측이 필요하다.

감사의 글: 이 연구는 한국과학기술원 주관의 과학 영재학교 2003년도 R & E 과제의 지원을 일부 받았습니다.

**참고문헌**

김승리, 경재만, 권순길, 윤재혁, 2001, "소백산천문대 2K CCD 카메라용 관측 프로그램 개발", 천문학 논총, 16, 37  
 Akerlof, C., Amrose, S., Balsano, R., et al. 2000, ROTSE All-sky Surveys for Variable Stars. I. Test Fields, AJ, 119, 1901  
 Breger, M. 1979, Delta Scuti and related stars, PASP, 91, 5

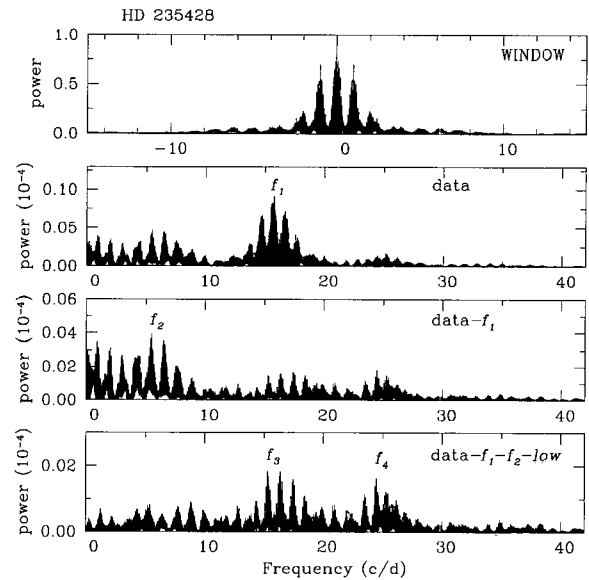


그림 4.— HD 235428의 파워스펙트럼.

- 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., Lee, M.G., & Lee, H. 2001, A New SX Phoenicis Star in the Globular Cluster M15, *AJ*, 121, 2769
- Jeon, Y.-B., Lee, M.G., Kim, S.-L., & Lee, H. 2003, New SX Phoenicis Stars in the Globular Cluster M53, *AJ*, 125, 3165
- Jeon, Y.-B., Lee, M.G., Kim, S.-L., & Lee, H. 2004, SX Phoenicis Stars in the Globular Cluster NGC 5466, *AJ*, 128, 287
- Jin, H., Kim, S.-L., Kwon, S.-G., Youn, J.-H., Lee, C.-U., Lee, D.J., & Kim, K.-S. 2003, Multiband photometric re-classification of ROTSE-I  $\delta$  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  $\delta$  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
- Stetson, P.B. 1987, DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry, *PASP*, 99, 191