PUBLICATIONS OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY
19: 33 ~ 37, 2004

새로운 δ SCUTI형 변광성: GSC 03665-00576
A NEW FIELD δ SCUTI STAR : GSC 03665-00576

전영범[1], 남기형[2], 박윤호[1], 이경훈[2], 김기현[2], 김지윤[2], 김대겸[2], 진강일[2], 김경희[1,3]
[1]한국천문연구원
[2]과학영재학교
[3]한국교원대학교

YOUNG-BEOM JEON[1], KI-HYUNG NAM[2], YOON-HO PARK[1], KYUNG-HOON LEE[2], KI-HYUN KIM[2], JI-YOON KIM[2], DAE-KYUM KIM[2], KANG-IL JIN[2], AND KYUNG-HEE KIM[1]
[1]Korea Astronomy Observatory
[2]Busan Science Academy
[3]Korea National University of Education

(Received December 1, 2004; Accepted December 23, 2004)

ABSTRACT

Through time-series CCD photometry using a 130mm refractor of Busan Science Academy, we found a new δ Scuti type variable star, GSC 03665-00576. We performed following observations using a 1.8m telescope of Bohyunsan Optical Astronomy Observatory. Three frequencies have been derived by multiple-frequency analysis, which are 10.968, 7.156 and 15.182cycle day^{-1}, respectively. V-amplitude of GSC 03665-00576 is ΔV = 0.04.

1. 서론

부산 과학영재학교의 2003년도 R & E (Research and Education) 프로그램의 하나로 소형망원경을 이용한 변광성 찾기 연구를 수행하였다. 이 연구에 사용된 망원경은 보현산천문대의 구경 155mm 굴절망원경과 부산 과학영재학교 천문대의 구경 200mm 굴절망원경에 가이드용으로 부착된 130mm 굴절망원경이다. 보다 넓은 관측 시야를 확보하기 위해 주 망원경이 아닌 130mm 가이드용 망원경을 택하였다. 보현산천문대의 155mm 굴절망원경은 2k × 3k 의 CCD 카메라를 부착하여 60 arcmin × 90 arcmin 의 관측 시야로 7등급에서 12등급까지 δ Scuti형 미세 맥동변광성을 찾는 것이 주 목적이었다. 반면에 부산 과학영재학교는 도심에 가까이 위치하여 야천광이 심하고 또 공해로 인한 대기 변화가 심할 것으로 예상되어 130mm 굴절망원경으로는 변광진폭이 큰 식쌍성의 관측을 기대하였다. 따라서 이 망원경의 주 대상으로 당초 밝은 알골형 식쌍성 중 하나인 TV Cas를 택하였는데 이 별은 밝고(V_{max} = 7.22), 큰 변광진폭(ΔV= 1.0)을 가지고 있어서 작은 망원경으로 관측하기에 적합한 대상이었다. 그런데 2004년 11월 17일의 관측에서 망원경의 위치가 잘못 입력되어 TV Cas가 관측영역을 벗어났으나 이 날의 자료를 분석한 결과 뜻밖에도 GSC 03665-00576의 δ Scuti형 미세 변광을 발견하였다. 이 후 보현산천문대 1.8m 망원경으로 GSC 03665-00576을 추적관측한 결과 뚜렷한 주기 중첩효과를 보이는 전형적인 δ Scuti형 변광성의 광도곡선이 나타났다. 이 결과는 보현산천문대의 155mm 굴절망원경을 이용한 첫 결과(Jeon et al. 2004a)와 더불어 일선 고등학교에서 보유한 소형망원경을 이용한 천문 관측교육의 좋은 방법을 제시해 줄 수 있는 결과로 보인다. 특히 GSC 03665-00576의 미세 변광현상은 도심근처의 밤하늘에서 발견한 것으로서 도시의 학교에서도 정밀한 천문관측이 가능하다는 예가 되겠다. 단지 주기 분석 등을 위해서는 보다 큰 망원경의 정밀 추적관측이 필요하다.

GSC 03665-00576는 R.A. = 00^h 23^m $14^s.40$, Decl. = +59° 09′ 40″.4(J2000.0)의 위치에 있으며, V =10.74, $(B-V)$=0.42 이다 [1].

2절에서는 관측 및 분석을, 3절에서는 분석결과를 그리고 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 관측 및 분석

GSC 03665-00576가 변광성임을 밝히는데 사용된 망원경은 130mm 굴절망원경(초점거리 f = 1,040mm)이다. 이 망원경에 사용된 CCD 카메라는 SBIG 10XE 로써 전기냉각방식이며, 2184 × 1472 픽셀을 가진 Kodak KAF3200E 칩이 사용되었다. 각 픽셀의 크기는 6.8μm x 6.8μm 로써 130mm 굴절망원경에 대해 픽셀

[1]from Simbad, http://simbad.u-strasbg.fr/sim-fid.pl

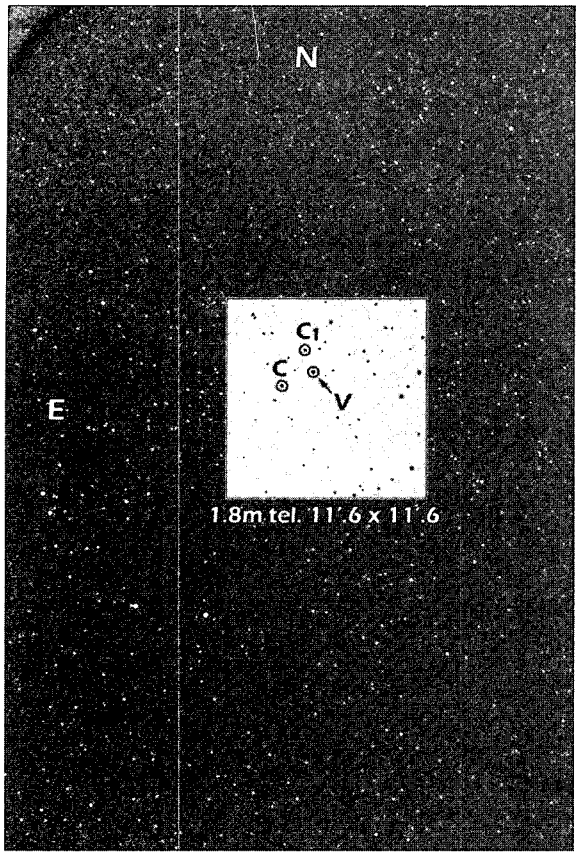

그림 1.— 130mm 굴절망원경으로 찍은 관측 영상. 새로운 변광성 GSC 03665-00576은 V로 나타내었고, 비교성과 점검성은 각각 GSC 03665-00222와 GSC 03665-01046이며 C와 C_1으로 나타내었다. 안쪽의 반전 부분은 보현산천문대 1.8m 망원경의 관측 영역이다. 왼쪽 위의 검은 줄무늬는 넓은 시야로 인한 비네팅(vignetting) 수차현상이다.

당 1.34arcsec의 관측시야를 가진다. 따라서 전체 관측 영역은 49arcmin × 33arcmin 이다. 전 영역을 읽어내는데 약 9초의 시간이 소요되고, 읽기 잡음은 약 $10e^-$이다. 또한 KAF6303E 칩의 양자효율은 R 필터 영역에서 최대 약 65%이다.

그림 1은 130mm 굴절망원경으로 찍은 G 필터 관측 영상이다. 새로운 변광성 GSC 03665-00576은 V로, 비교성과 점검성은 각각 C와 C_1으로 나타내었다. 또한 확인 관측에 사용된 1.8m 망원경의 관측 영역을 반전시켜서 나타내었다. 표 1은 GSC 03665-00576의 관측일정을 보인 것이다. 2003년 11월 17일의 자료는 130mm 굴절망원경에 G 필터가 이용되었고, 나머지는 보현산천문대 1.8m 망원경을 이용하여 VI 필터로 관측되었다. 130mm 굴절망원경을 이용한 관측은 날씨 관계로 더 이루어지지 못하고, 보현산천문대의 1.8m 망원경으로 추적관측이 이루어졌다.

표 1.— 관측 자료.

Date (UT)	N_{obs}	Exposure (seconds)	Remarks
2003 11 17	226(G)	70	130mm
2003 12 30	228(V)	5 ∼ 30	Cirrus
2004 1 1	46(V)	5 ∼ 30	Cirrus
2004 1 2	123(V)	5 ∼ 30	Cirrus
2004 1 3	32(V), 17(I)	5(V, I)	
2004 1 4	76(V), 41(I)	5(V, I)	

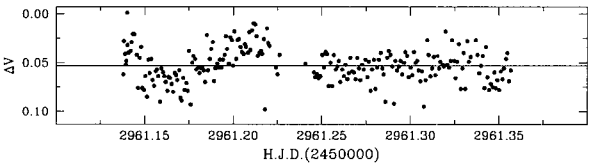

그림 2.— 130mm 굴절망원경으로 발견한 GSC 03665-00576의 광도곡선.

관측된 CCD 영상자료는 IRAF/CCDRED(Stetson 1987, Massey & Davis 1992)를 이용하여 전처리 과정을 수행하였다. 130mm 굴절망원경에 의한 관측의 경우 SBIG 10XE CCD 카메라의 냉각 온도를 −20°C 로 유지하여 관측하였다. 따라서 암잡음 보정이 반드시 필요하다. 그러나 1.8m 망원경의 2k CCD 카메라는 −100°C 이하로 관측이 이루어지므로 암잡음의 보정이 필요 없다. 측광은 IRAF/DAOPHOT의 phot 프로그램을 이용한 구경측광 방법이 이용되었다. 대개 시상의 2.5 – 4배 되는 충분히 큰 구경을 사용하였다. 사용한 비교성은 GSC 03665-00222이며, Simbad 자료에 따르면 $V = 11.1$, $(B - V) = 0.2$이다.

3. 광도곡선 및 주기분석

3.1. 130mm 굴절망원경으로 얻은 광도곡선

그림 2는 130mm 굴절망원경으로 처음 발견한 GSC 03665-00576의 광도곡선이다. 이 망원경에는 칼라합성용 RGB 필터 세트가 부착되어 있는데 보현산천문대에서 사용하는 Johnson V 필터와 가장 가까운 G 필터를 이용하여 관측하였다. 구경측광 시 단일 측광 오차는 0.005등급에서 0.009등급에 불과하지만 광도곡선의 분산은 약 0.03등급에 달하여 다소 크지만 변광의 모습은 쉽게 볼 수 있다. 이러한 광도곡선의 분산은 도시의 하늘 밝기와 대기 불안정에 가장 큰 영향을 받았을 것으로 보여지며, 관측시 노출시간을 더 길게 하였다면 보다 정밀한 광도곡선이 얻어졌을 것이지만 GSC 03665-00576보다 약 3.5등급 더 밝은 TV Cas를 관측하고 있던 중이어서 70초 이상의 노출을 줄 수 없었다. 과학영재학교의 망원경과 같은 독일식 적도의 마운트는 망원경이 자오선을 넘어가면 경통이 마운트에 닿을

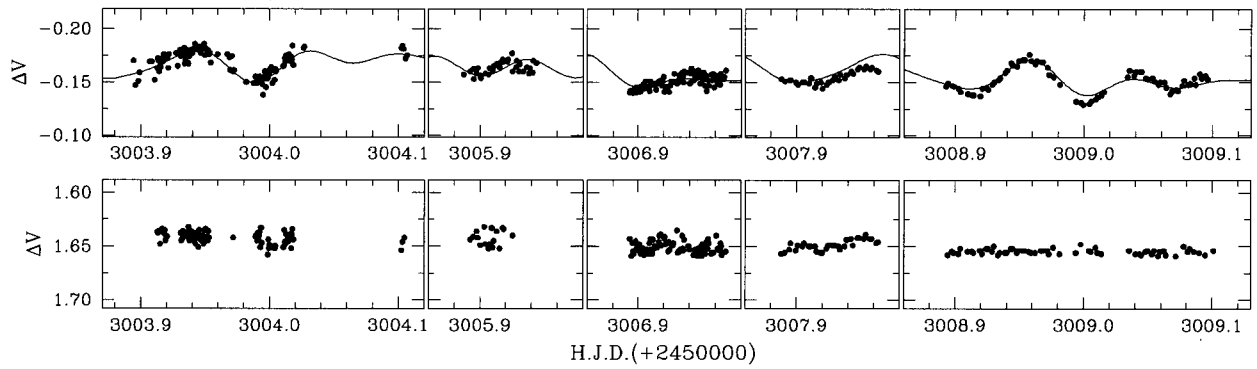

그림 3.— GSC 03665-00576(위)과 점검성(아래)의 V 필터 광도 곡선. 검은 점은 관측자료이며, 실선은 주기분석의 결과로 얻어진 결과를 중첩한 것이다.

수 있어서 망원경을 적경축으로 180도 돌려 주어야 한다. 이 때 약 5분의 시간이 소요되어 그림 2의 광도곡선에서 가운데 부분과 같이 관측자료가 비어 있는 부분이 생기게 된다. 또한 CCD 카메라 역시 180도 회전하게 되므로 만약 전처리 후 배경하늘이 고르지 못하면 광도곡선의 형태가 이 부분에서 크게 변할 수 있다. 따라서 가급적 대상별에서 가까운 비교성을 택하는 것이 이러한 효과를 줄일 수 있어서 좋다.

3.2. 1.8m 망원경으로 얻은 광도곡선 및 주기분석

그림 3에서 위쪽 그림은 GSC 03665-00576의 광도곡선을 보인 것으로서 여러 주기에 의한 주기 중첩 효과가 뚜렷이 나타난다. 아래쪽은 점검성의 광도곡선으로서 비교적 안정된 모습을 보이고 있다. 관측에 사용한 필터는 V 필터이며, 날씨 변화가 심한 처음 3일간의 자료는 노출 시간이 5초에서 30초까지 상황에 맞추어 수행되었다. 구경측광 오차는 별이 밝아서 0.002등급 이하로 아주 작지만 엷은 구름 등의 영향으로 처음 3일간의 광도곡선에서 분산이 다소 크게 나타났다.

마지막 2일간의 관측에서는 I 필터 관측도 병행되었는데 이것은 이 변광성이 식쌍성인지 아니면 맥동 변광성인지 알아보기 위해서였다. 그림 4에 I 필터 관측에 의한 광도곡선을 보였다. I 필터에 의한 변광진폭과 그림 3의 V 필터에 의한 변광진폭의 비는 약 $\Delta I/\Delta V$ = 0.6 이다. Jin et al.(2003)에 따르면 $\Delta I/\Delta V$는 W UMa형 식쌍성일 경우 0.92인 값을 가지며, 변광진폭이 큰 δ Scuti형 변광성들을 샘플로 한 경우 0.59이다. 따라서 GSC 03665-00576의 결과는 δ Scuti형 변광성의 진폭비 특성과 잘 일치한다.

맥동주기를 찾기위해 그림 3의 관측자료에 대해 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform)과 다중회귀에 의한 주기 분석(Kim & Lee 1995)을 수행하였다. 그림 5는 주기분석 결과로 구한 파워스펙트럼을 나타낸 것이다. 가장 위쪽 그림은 창(window) 함수이며, 그 아래쪽부터 차례로 관측 자료의 일 변화에 따른 가짜 주기로 보이는 저주파수(f=0.50 c/d)와 이 주파수를 제외한 후 나타나는 f_1, f_2, f_3 주파수에 해당하는 피크를 보이는 그림을 차례로 보였다. 이들 주파수는 각각 10.968, 7.156, 15.182c/d이다. 가장 아래쪽 그림은 모든 주기를 찾아낸 후의 잔차를 보인 것이다. 이 결과는 표 2에 정리하였다. 그림 5에서 나타나는 피크 중에서 Breger et al.(1993)이 제안한 신호대 잡음비 $(S/N) \geq 4.0$ 인 주기만을 진짜주기로 택하였다. 따라서 그림 5의 마지막 잔차 그림에서 약 9.5c/d에서 여전히 약한 피크가 나타나지만 신호대 잡음비가 3.7에 불과하여 진짜 주기에서 제외하였다. 신호대 잡음비는 각 주기의 파워값을 모든 주기를 검출하고난 후의 평균 파워값으로 나누어 제곱근을 취한 것으로 정의하였다(Jeon et al. 2004b). $f_1 \sim f_3$ 의 전체 변광 진폭은 ΔV = 0.04 에 불과하다.

그림 6은 f_1, f_2, f_3에 대한 위상맞추기 그림이다. 관측 자료에서 일 변화에 따른 가짜 주기로 보이는 저주파수를 빼고 차례로 f_1, f_2, f_3 에 해당하는 주기로 위상맞추기를 하였다. 가장 아래쪽의 세번째 주기에서는 밝기 변화는 분명하지만 분산값이 커서 아직도 찾아내지 못하고 남아있는 주기가 있을 것으로 추정할 수 있으나 현재의 자료만으로는 확인이 안되었다.

표 2.— GSC 03665-00576의 물리량 및 맥동 특성.

V^a	$(B-V)^a$	Value	Frequency^{b,c}	Amp.^{c}	S/N
10.74	0.42	f_1	10.968	0.009	15.6
		f_2	7.156	0.007	8.2
		f_3	15.182	0.004	4.9

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

4. 결론 및 토의

이 연구에서 부산 도심 근처에 있는 과학영재학교 천문대의 소형망원경으로 미세 변광의 새로운 δ Scuti형 변광성 하나를 발견하였으며, 이 변광성은 GSC 03665-00576이다. 보현산천문대의 1.8m 망원경으로 정밀 관측을 수행하여 주기 분석을 한 결과 세개의 주기를 찾았는데 각각의 주파수가 10.968, 7.156, 15.182 c/d이며, 전체 변광진폭은 0.04등급이었다.

구경이 작은 망원경은 Jeon et al.(2004a)와 같이 적절한 CCD카메라를 부착할 경우 넓은 시야를 확보할 수 있어서 새로운 변광성의 탐사연구에 유용하다. Jeon et al.(2004a)에서 155mm 구경의 소형망원경을 이용하여 관측할 경우 약 13등급까지 쉽게 탐사가 가능하였으며, 변광진폭이 큰 식쌍성이나 RR Lyrae형 변광성의 경우 15등급까지도 가능할 것으로 본다. 하지만 보통의 δ Scuti형 변광성과 같이 변광진폭이 작은 경우 약 12등급까지는 찾을 수 있을 것으로 보인다. 이러한 탐사연구와 유사한 결과로 ROTSE 탐사(Akerlof et al. 2000)를 들 수 있는데, 이들은 4대의 Canon 200mm 렌즈를 이용하여 한 번에 16 ° × 16 °의 넓은 영역을 담을 수 있으며, 픽셀 당 14.4arcsec로써 측광의 정밀도는 그다지 크지 않다. 따라서 변광진폭이 대략 0.5등급 이상되는 비교적 큰 것들이 주 대상이며, 진폭이 작은 변광성은 거의 찾을 수 없다. 또한 그들이 고진폭 δ Scuti형 변광성으로 분류한 별들 중 대부분이 식쌍성임이 알려지는 등(Jin et al. 2003, 2004) 관측의 정밀도는 높지 않다.

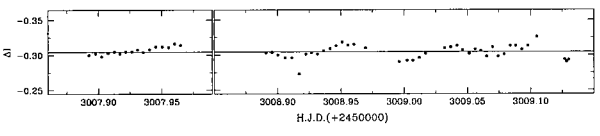

그림 4.— GSC 03665-00576의 I 필터 광도곡선.

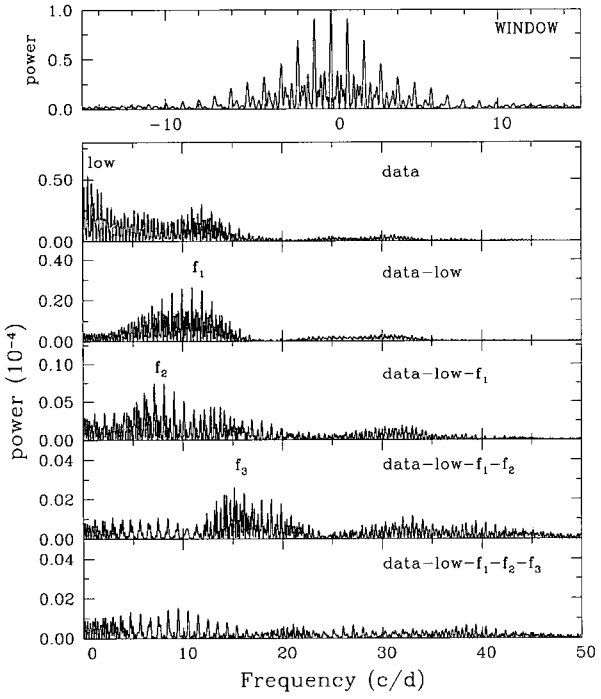

그림 5.— GSC 03665-00576의 파워스펙트럼.

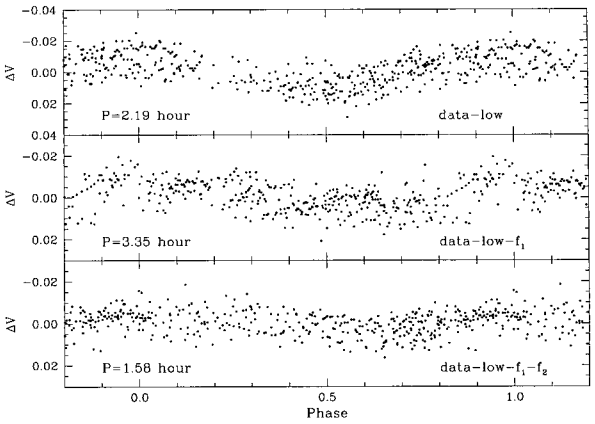

그림 6.— GSC 03665-00576의 위상 맞추기 그림. 위에서부터 차례로 f_1, f_2, f_3에 대한 위상맞추기 그림이다.

새로운 변광성을 찾는 계획으로서 우리와 같은 방법은 비록 탐사영역에 대한 효율은 낮으나 단위 관측영역당 검출 능력은 아주 높아서 새로운 탐사방법으로 충분한 경쟁력이 있을 것으로 보인다.

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

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., Nam, K.-H., Kim, S.-L., Park, Y.-H., Kim, K.-H., Kim, J.-Y., Kim, D.-K., Jin, K.-I., & Kim, S.-H. 2004a, A New Field δ Scuti Star : HD 235428, 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., Youn, J.-H., Lee, C.-U., Lee, D.J., & Kim, K.-S. 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
Stetson, P.B. 1987, DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry, PASP, 99, 191