

## BL Camelopardalis의 CCD 시계열 차등광전측광

김철희, 심은정

전북대학교 사범대학 지구과학교육과

### DIFFERENTIAL TIME-SERIES CCD PHOTOMETRY OF BL CAMELOPARDALIS

Chulhee Kim, Eun-Jeung Sim

Department of Earth Science Education, Chonbuk National University

E-mail: chkim@astro.chonbuk.ac.kr, simej@astro.chonbuk.ac.kr

(Received October 20, 1999; Accepted November 16, 1999)

#### 요 약

SX Phe형에 속하는 다주기 변광성 BL Camelopardalis (GD428)에 대하여 전하결합소자 (CCD)를 사용한 시계열 차등광전측광을 수행하였다. 관측데이터를 최소자승법과 푸리에 분해 (Fourier Decomposition) 방법을 사용하여 주기분석을 시도하였는데 이 변광성의 첫 번째 주기는 0.0391일, 두 번째 주기는 0.0317일 값으로 결정되었고 주기비 ( $P1/P0$ )는 0.81로 이 변광성은 두 개의 진동양식으로 맥동하는 변광성임을 확인할 수 있었다. 이 주기비 값은 다른 SX Phe형 변광성에 대하여 알려진 값 0.78과 차이가 있고 또한 금속함량비와 주기비 사이의 관계에서도 역시 BL Cam은 다른 SX Phe형 변광성과는 상당한 차이를 보여 이 변광성이 모든 SX Phe형 변광성중에서 매우 극단적인 성질을 갖고 있다는 사실을 확인하였다.

#### ABSTRACT

Differential time-series observations of BL Camelopardalis classified as a double mode SX Phoenicis type variable were secured with a charge coupled device. The observed photometric data was reduced using the IRAF Package and the differential magnitudes were obtained through aperture photometry. The periods of BL Cam were analyzed with the Generalized Least-Square Method by Vanicek (1971) and the Fourier Decomposition Method. It was found that the first and second period of BL Cam were 0.0391 day and 0.0317 day respectively which lead the period ratio of  $P1/P0 = 0.81$ . This period ratio is much different from 0.78 determined by other investigators and also much more larger than that of other double-mode SX Phe type variables. In addition, this period ratio is much different from the value expected from the relation between the metallicity and period ratio. From these results, it can be confirmed that BL Cam is the most extreme case among all double-mode SX Phe type variables.

## 1. 서 론

BL Camelopardalis, ( $\alpha_{2000} = 03^h 47^m 19^s$ ,  $\delta_{2000} = +63^\circ 22' 46''$ ,  $V = 13^m.10$ ,  $\Delta V = 0^m.33$ )는 GCVS (General Catalogue of Variable Stars)에서 GD428이며 SX Phoenicis형 변광성으로 분류되었다. SX Phe형 변광성은 몇몇의 구상성단에서 발견된 (Nemec & Mateo 1990, Mateo 1993) 변광하는 청색낙오성 (VBS, Variable Blue Straggler)의 특징과 별다른 차이가 없는 것으로 밝혀져 SX Phe형에 대한 연구는 청색낙오성의 기원과 진화과정을 설명하는 중요한 단서를 제공할 것으로 기대되고 있다. 청색 낙오성은 구상성단은 물론이고 산개성단 (Mermilliod 1982)과 OB 성협 (Mathys 1987)에서도 발견되는데 이들은 HR도 상에서 볼 때 전환점 상부의 주계열의 연속선상에 위치한다. 청색낙오성은 표준적인 항성의 진화모델에 따르지 않기 때문에 이들의 특성과 기원에 대하여 의문이 제기되어 왔는데, 이들이 쌍성계의 구성원으로 질량교환에 의하거나 혹은 두별의 병합 (Sills et al. 1995)을 통하여 생성된 것으로 제안되고 있다.

BL Cam은 다주기성의 SX Phe형 변광성 중에서 가장 주기가 짧고, 주기비는 가장 크지만, 금속함량비는 가장 작아 극단적인 경우에 해당된다. 이 변광성은 처음에 백색왜성 후보로 Giclas, Burnham, & Thomas (1970)에 의하여 변광성 목록에 수록되었다. 백색왜성의 변광 가능성을 조사하는 동안 Berg & Duthie (1977)은 GD428의 밝기가 0.039일 동안에 0.33등급이 변했다는 것을 발견하였다. 또한 그들은 V 필터를 이용한 관측을 통하여 6번의 최대 광도를 결정하였다. McNamara와 Feltz (1978)은 Stromgren y 필터를 이용한 관측 데이터를 분석하여 13번의 최대 광도를 보고하였다.

최근에 Hintz et al (1997, 이후부터 Hintz et al 논문)은 1993년부터 1996년에 걸친 차등광전측광 데이터를 푸리에 분해 방법으로 분석하여 BL Cam의 주기를 0.0391일과 0.0306일로 결정하여 주기비가 0.78이며 기준 주기가 지난 20년동안 0.009초 증가하였다고 보고하였다. 또한 주기비와 금속함량비의 관계로부터 구한 BL Cam의 금속함량비가 이론적인 결과와 일치하지 않는다고 주장하였다. 우리는 BL Cam에 대한 CCD 차등광전측광을 수행하여 주기와 주기비를 결정하여 Hintz et al 논문에서의 결과와 비교하고 McNamara (1992)에 의하여 제안된 주기비와 금속함량비 사이의 관계가 BL Cam의 경우에도 만족되는가 조사하였다.

## 2. 관 측

BL Cam에 대한 CCD 광전측광은 1997년 10월 21일 부터 24일까지 소백산천문대의 61cm 반사망원경을 사용하여 수행되었다. 이 망원경에 장착되어 있는 CCD 카메라 시스템은 미국 Photometrics사의 제품으로서 PM512A 칩은 화소(Pixel)의 크기가  $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ ,  $516 \times 516$ 로서 소백산천문대 61cm 망원경의 초점면에 부착하였을 경우  $4.3' \times 4.3'$ 의 하늘을 덮는다.

관측은 V 필터를 사용하여 수행되었으며 또한 관측하고자 하는 변광성과 여러개의 비교성을 한 필드 안에 들어오게 하여 동시에 촬영하는 방법으로 관측을 실시하였다. 가능한 많은 프레임을 얻기 위하여 투과대기량과 배경하늘의 조건이 변하는 것에 관계없이 노출시간을 90-100초로 고정하였는데, 첫

째날에 152장, 셋째날에 26 장, 넷째날에 170장의 프레임은 얻을 수 있었다.

### 3. 데이터 처리

모든 관측 자료에 대한 기기 영점 보정과 플랫필딩등의 전처리과정은 IRAF 패키지를 사용하였다. 플랫필딩을 위하여 6장의 플랫프레임을 얻어서 평균하였다. 변광성이 관측된 모든 프레임은 전처리 후 BL Cam의 차등등급을 결정하기 위하여 IRAF의 DAOPHOT 패키지를 사용하였다. 'COSMIC RAY'를 실행하여 우주선에 의한 효과를 제거하였고 일반적인 처리 과정에서 수반되는 'DAOFIND'를 사용하여 가능한 모든 별을 확인하는 과정은 생략되었다. 왜냐하면 화면상에서 변광성과 밝기가 비슷한 네 개의 비교성을 눈으로 직접 선택하였기 때문이다. 모든 프레임에 대하여 변광성의 X,Y 좌표 및 배경하늘값과 FWHM값을 조사하고 각 프레임간의 X,Y 좌표의 최대 편차를 결정하였다. FWHM값이 가장 적은 프레임을 기준 프레임으로 선정하고 'X REGISTER'를 실행하여 프레임간의 편차(shift)를 구하였다. 'X REGISTER' 실행에 의하여 구하여진 편차의 양만큼 모든 프레임의 X,Y 좌표값을 'IMSHIFT'를 사용하여 기준 프레임에 일치시켰다. 다음으로 'PHOT'를 실행하여 기기등급을 구하였고 박남규(1996)가 개발한 'LCURVE PACKAGE'의 'IDENTIFY'를 사용하여 HJD 순서대로 일련번호를 맞추었다. 그림1은 BL Cam과 주위에 있는 날별을 보여주고 있는데, 별이 많지 않기 때문에 점퍼짐함수(PSF)를 사용하는 프로파일 측광방법 대신에 구경측광방법으로 기기등급을 결정하였다.

또한 본 연구의 목적이 광도곡선의 변화로부터 주기를 결정하는 것이기 때문에 표준계로의 변환도 시도하지 않았고 비교성과의 차등등급만 결정하였다. 차등등급의 결정에 사용된 비교성의 번호가 그림1에 주어져 있다. 비교성으로는 BL Cam과 가능한 밝기가 비슷한 4개 (C1, C2, C3, C4)를 선택하였다. 이들 4개의 비교성에 대한 기기등급값의 평균과 변광성의 등급차이가 광도 곡선의 분석에 사용된 차등등급으로 오차는 약 0.02~0.03등급 정도이다. 비교성의 숫자를 늘리기 위하여 변광성보다 어두운 별을 포함시키는 경우 오차가 훨씬 커지는 것을 확인할 수 있었기 때문에 비교성을 4개로 한정하였다.

표1에 차등등급을 관측시각 (HJD)순서대로 표기하였고, 그림2는 표1의 데이터중에서 질적으로 좋은 데이터를 얻은 HJD2450743과 HJD2450746에 대한 광도곡선을 그린 것으로 이틀간의 관측에 걸쳐 총 16개의 최대광도에 대응하는 피크를 확인할 수 있다. 아래의 데이터 분석에서도 이들 두날짜의 데이터만 사용되었다.

### 4. 주기 분석

간격이 일정하지 않게 관측된 데이터의 주기분석은 일정한 간격의 경우에 비하여 훨씬 복잡하다. 불규칙한 간격을 가진 데이터에 대한 주기분석을 위하여 푸리에 변환법 (See, e.g. Deeming 1975), Scargle (1982)에 의한 Periodogram 방법, Stellingwerf (1978)에 의한 위상분산최소화 (Phase Dispersion Minimization) 방법등이 개발되었다. 우리는 Vanicek(1971)가 개발한 일반화된 최소자승 방법 (Generalized Least

표 1. BL Cam의 차등등급 (HJD + 2450700).

HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$
42.9917	0.248	43.0623	0.246	43.1406	0.244	43.2031	0.489
42.9981	0.350	43.0641	0.243	43.1420	0.241	43.2045	0.467
42.9998	0.428	43.0695	0.250	43.1434	0.246	43.2069	0.420
43.0013	0.478	43.0714	0.274	43.1449	0.228	43.2084	0.355
43.0033	0.521	43.0734	0.294	43.1468	0.228	43.2101	0.338
43.0048	0.538	43.0753	0.353	43.1485	0.235	43.2117	0.311
43.0068	0.524	43.0770	0.418	43.1500	0.246	43.2134	0.275
43.0086	0.487	43.0792	0.490	43.1518	0.285	43.2152	0.259
43.0102	0.458	43.0811	0.534	43.1533	0.322	43.2170	0.224
43.0118	0.410	43.0827	0.549	43.1549	0.377	43.2187	0.231
43.0137	0.371	43.0844	0.545	43.1566	0.428	43.2203	0.238
43.0153	0.340	43.0863	0.496	43.1584	0.476	43.2218	0.226
43.0172	0.304	43.0881	0.457	43.1598	0.486	43.2277	0.248
43.0193	0.273	43.0898	0.420	43.1614	0.499	43.2294	0.258
43.0213	0.255	43.0932	0.347	43.1628	0.493	43.2311	0.331
43.0229	0.249	43.0950	0.299	43.1643	0.471	43.2329	0.402
43.0245	0.256	43.0973	0.274	43.1658	0.443	43.2345	0.453
43.0267	0.241	43.0991	0.253	43.1673	0.401	43.2360	0.503
43.0283	0.243	43.1023	0.233	43.1693	0.368	43.2375	0.524
43.0300	0.256	43.1038	0.241	43.1708	0.329	43.2391	0.525
43.0317	0.249	43.1064	0.239	43.1727	0.311	43.2406	0.514
43.0335	0.282	43.1084	0.243	43.1743	0.286	43.2437	0.465
43.0351	0.312	43.1104	0.276	43.1763	0.275	43.2455	0.424
43.0369	0.368	43.1138	0.352	43.1778	0.256	43.2470	0.386
43.0385	0.412	43.1159	0.391	43.1794	0.249	43.2493	0.335
43.0406	0.482	43.1183	0.457	43.1810	0.220	43.2511	0.293
43.0423	0.538	43.1203	0.507	43.1825	0.220	43.2527	0.283
43.0441	0.536	43.1241	0.487	43.1842	0.224	43.2544	0.262
43.0459	0.533	43.1262	0.459	43.1890	0.237	43.2561	0.246
43.0477	0.506	43.1281	0.414	43.1911	0.286	43.2579	0.240
43.0513	0.409	43.1300	0.359	43.1926	0.322	43.2594	0.240
43.0529	0.363	43.1317	0.327	43.1943	0.379	43.2611	0.225
43.0546	0.326	43.1335	0.306	43.1960	0.416	43.2629	0.247
43.0566	0.279	43.1353	0.270	43.1980	0.477	43.2696	0.324
43.0589	0.269	43.1370	0.253	43.1994	0.503	43.2729	0.435
43.0605	0.246	43.1391	0.242	43.2010	0.518	43.2745	0.455

표 1. 계 속.

HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$
43.2759	0.500	46.0069	0.338	46.0773	0.237	46.1430	0.313
43.2775	0.502	46.0111	0.469	46.0789	0.236	46.1447	0.284
43.2790	0.495	46.0128	0.511	46.0804	0.249	46.1465	0.263
43.2804	0.494	46.0143	0.510	46.0821	0.253	46.1483	0.232
43.2822	0.460	46.0159	0.519	46.0836	0.283	46.1501	0.224
43.2837	0.428	46.0178	0.489	46.0854	0.317	46.1516	0.213
43.2851	0.382	46.0196	0.458	46.0870	0.353	46.1531	0.208
45.9519	0.254	46.0213	0.429	46.0886	0.410	46.1546	0.215
45.9536	0.248	46.0228	0.394	46.0905	0.465	46.1560	0.227
45.9554	0.231	46.0246	0.352	46.0922	0.505	46.1576	0.232
45.9575	0.218	46.0263	0.324	46.0940	0.526	46.1590	0.250
45.9598	0.225	46.0279	0.290	46.0958	0.520	46.1606	0.272
45.9616	0.232	46.0295	0.267	46.0976	0.480	46.1623	0.330
45.9635	0.246	46.0312	0.251	46.0994	0.439	46.1639	0.370
45.9654	0.273	46.0330	0.230	46.1017	0.383	46.1664	0.429
45.9673	0.304	46.0358	0.239	46.1034	0.349	46.1680	0.463
45.9691	0.364	46.0377	0.239	46.1054	0.293	46.1703	0.487
45.9713	0.435	46.0397	0.240	46.1072	0.266	46.1725	0.493
45.9733	0.476	46.0414	0.238	46.1090	0.244	46.1789	0.386
45.9750	0.515	46.0436	0.282	46.1108	0.228	46.1811	0.336
45.9770	0.533	46.0453	0.302	46.1125	0.207	46.1833	0.287
45.9788	0.508	46.0469	0.345	46.1142	0.209	46.1852	0.270
45.9806	0.468	46.0487	0.400	46.1159	0.215	46.1866	0.246
45.9824	0.432	46.0507	0.459	46.1178	0.223	46.1883	0.237
45.9844	0.375	46.0525	0.500	46.1242	0.306	46.1899	0.211
45.9863	0.322	46.0548	0.514	46.1261	0.369	46.1919	0.218
45.9886	0.293	46.0565	0.489	46.1276	0.408	46.1935	0.210
45.9903	0.265	46.0582	0.469	46.1291	0.438	46.1950	0.222
45.9919	0.238	46.0598	0.432	46.1306	0.469	46.1970	0.228
45.9940	0.220	46.0614	0.396	46.1320	0.509	46.1986	0.246
45.9961	0.227	46.0630	0.362	46.1335	0.516	46.2004	0.288
45.9977	0.219	46.0645	0.330	46.1350	0.494	46.2020	0.336
45.9993	0.230	46.0663	0.308	46.1366	0.473	46.2037	0.400
46.0017	0.249	46.0706	0.244	46.1380	0.444	46.2057	0.443
46.0037	0.265	46.0725	0.240	46.1397	0.399	46.2074	0.473
46.0053	0.293	46.0757	0.234	46.1412	0.358	46.2092	0.482

표 1. 계 속.

HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$	HJD	$\Delta m$
46.2107	0.488	46.2248	0.271	46.2412	0.310	46.2601	0.310
46.2126	0.468	46.2295	0.218	46.2475	0.494	46.2621	0.273
46.2144	0.450	46.2311	0.210	46.2492	0.505	46.2639	0.253
46.2161	0.412	46.2332	0.215	46.2509	0.499	46.2662	0.238
46.2179	0.383	46.2349	0.218	46.2527	0.468	46.2682	0.226
46.2197	0.337	46.2364	0.226	46.2545	0.434	46.2705	0.220
46.2212	0.318	46.2381	0.244	46.2564	0.391	46.2721	0.225
46.2231	0.293	46.2397	0.273	46.2581	0.346	46.2738	0.217

- Squares Method)을 채택하였는데, 이 방법은 여러 사람에 의하여 복잡한 광도곡선의 주기분석에 사용되어왔다 (Antonello et al. 1986; Andreasen 1987). 또한 같은 데이터에 대하여도 상이한 주기분석 방법에 따라 결과가 달라지는 경우가 종종 있기 때문에 우리는 Sperl(1998)에 의하여 최근에 개발된 푸리에 방법을 사용한 Period98 패키지를 병행하여 사용하였다.

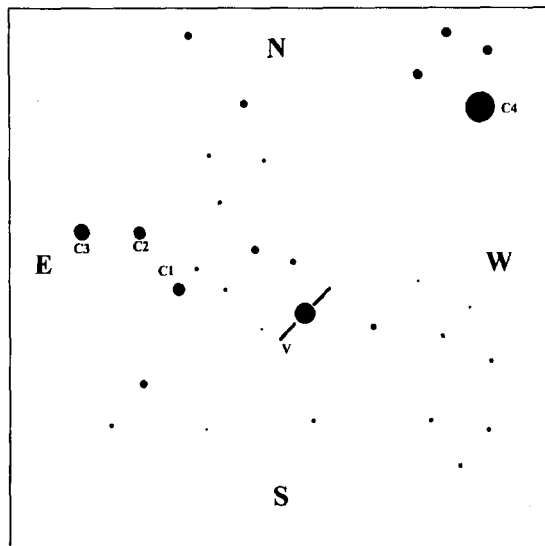


그림 1. BI Cam과 비교성들의 Finding Chart.

표 2. Period98과 최소자승법에 의한 BL Cam의 합성광도곡선 계수 (소백산데이터).

	Period98			최소자승법
	$f_j$ (c/d)	$a_j$ (km/s)	$\phi_j$ (rad)	$f_j$ (c/d)
$f_1$	25.5785	0.1420	0.7279	25.5913
$f_2$	51.4887	0.0302	0.4635	51.4812
$f_3$	2.3737	0.0074	0.6220	25.8313
$f_4$	31.4199	0.0083	0.1973	1.0513
$f_5$	0.2817	0.0194	0.5933	31.0813
$f_6$	45.9154	0.0052	0.2300	6.1213
$f_7$	5.7935	0.0054	0.1692	46.2312
$f_8$	77.0561	0.0046	0.0975	77.4007
$f_9$	51.8702	0.0138	0.2885	51.4512
$f_{10}$	14.0258	0.0031	0.2855	
rms		0.008		
$P_1/P_0$	0.814			0.823

그림3은 소백산 관측 데이터를 Period98를 사용하여 만든 파워 스펙트럼으로 이 그림에서 보는 것처럼 배음과 상이한 진동수간의 합성에 의한 진동수를 충분히 포함시키기 위하여 진동수 범위를 100c/d 까지로 하였다. 그림3의 윗부분은 사전에 알려진 진동수 없이 구하여진 최초의 파워스펙트럼으로 최대 피크는  $f_1 = 25.5785(c/d)$ 에 대응된다.  $f_1$ 에 대응하는 진동을 제거하는 백색화 (Prewhitening)과정을 통하여 두 번째 진동수가 결정되고 백색화 과정을 반복함으로써 다음차례의 파워스펙트럼으로 부터 대응되는 진동수를 계속하여 얻을 수 있다. 각각의 진동수에 대응되는 합성광도곡선의 계수인 진동수( $f_i$ ), 진폭( $a_i$ ) 및 위상( $\phi_j$ )값은 표2에 주어져 있다. 이 표로부터 이차 진동( $f_4$ )의 진폭이 0.0084 정도로 아주 작다는 것을 알 수 있다. 그림3의 아래부분은  $f_{10}$  까지 마지막 백색화과정을 거친 후의 파워스펙트럼으로 뚜렷한 피크를 더 이상 확인할 수 없다.

최소자승법을 사용하여 주기분석한 결과 역시 표2에 주어져 있다. Period98과 최소자승법에 의한 주기비  $P_1/P_0$ 는 각각 0.814와 0.823 로서 일치하지 않는데 이것으로부터 같은 데이터에 대하여도 주기 분석 방법에 따라 어느정도 다른 결과가 유도될 수 있다는 사실을 알 수 있다. 그림 2의 두 날짜에 대한 광도곡선에서 실선은 표2의 합성광도곡선계수를 가지고 광도곡선을 합성한 것이다. 보는 것처럼 합성된 광도곡선은 관측 데이터에 잘 들어 맞는다.

상기의 주기비는 Hintz et al 논문에서의 결과 0.78과는 상당한 차이가 나기 때문에 Hintz et al 의 논문에서 사용하였던 데이터를 입수하여 소백산 데이터에 사용된 것과 같은 방법으로 주기분석을 시도하였다. 우리가 분석에 사용한 데이터는 475일 동안에 걸쳐 이산적으로 관측된 것으로 일부 데이터는 질적으로 매우 좋지 않다는 것을 광도 곡선을 그려봄으로써 알 수 있었다. 따라서 데이터가 좋고 소백산데

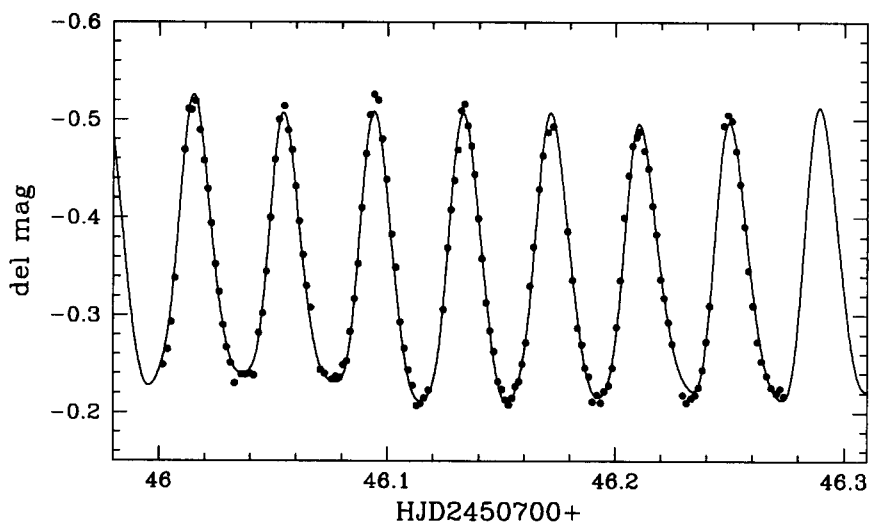
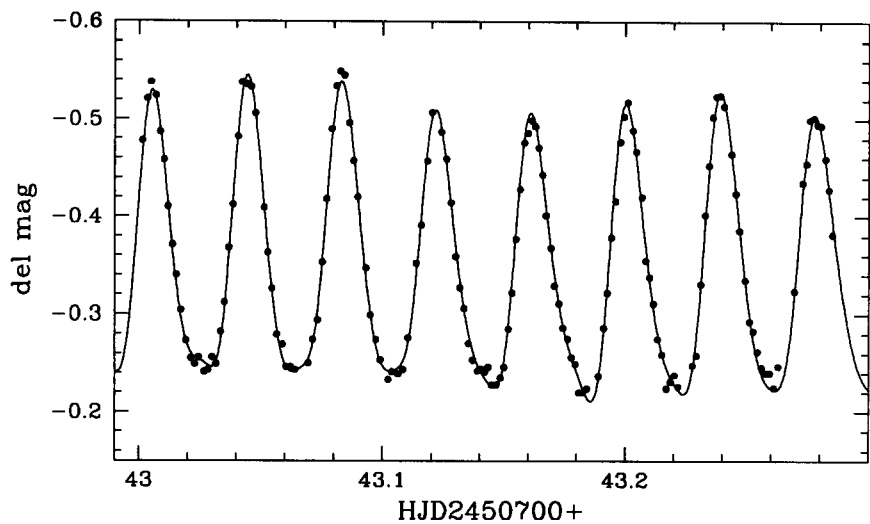


그림 2. BL Cam의 광도곡선.



이터에서 처럼 이틀간에 걸쳐 관측된 HJD2449749과 HJD2449750일에 해당하는 데이터만을 선택하여 분석하였다. Period98과 최소자승법을 사용하여 분석한 결과는 표3에의 "미수정된 데이터" 항목에 나와 있는데 주기비  $P_1/P_0$ 는 각각 0.787과 0.811로 Period98에 의한 값 0.787은 Hintz et al 논문에서의 주기비 0.78과 일치하지만 최소자승결과인 0.811은 소백산의 결과인 0.811과 0.823에 근접한다. 다시한번 주기분석 결과가 주기분석 방법에 따라 같은 데이터에도 불구하고 결과에 차이가 나타난다는 사실을 확인할 수 있었다. 그러나 이 경우 두가지 상이한 주기분석 방법에 의한 결과의 차이가 0.024인데 비하여 소백산데이터에 대한 결과는 0.009로 거의 세배정도의 차이가 있다.

따라서 우리는 이와 같은 차이점의 원인을 차아보기 위하여 Hintz et al 논문의 데이터에 약간의 수정을 가한 후 분석을 시도하였다. 즉 최소자승 방법으로 분석하여 얻은 합성광도곡선 계수로 구한 광도곡선상에서 많이 벗어난 데이터를 부분적으로 제거하였다. 또한 HJD2449749일의 광도평균값 0.917과 HJD2449750일의 광도평균값 0.911을 비교하면 0.006차이를 보이므로 이 차이만큼 영점보정을 해주었다. 이렇게 수정된 데이터를 사용하여 같은 방법으로 주기분석을 하였는데 표3의 "수정된 데이터" 항목에서 보는 것 처럼 Period98과 최소자승 방법으로 분석한 결과는 각각 0.811과 0.811로 같다. 결과적으로 수정되지 않은 Hintz et al 논문의 데이터를 Period98로 분석한 경우만 0.787로 작게 나오고 나머지 모든 경우에는 0.81보다 크게 나왔다. 이 결과는 최소자승방법이 Period98보다 좋지 않은 데이터로 인한 영향을 적게 받는다는 것을 의미하여 최소자승방법이 보다 우수한 주기분석방법임을 알게 되었다. 그러나 이것은 어디까지나 BL Cam에 대한 경우로 BL Cam처럼 이차진동의 진폭이 아주 낮아 주기분석방법에 따라 주기비가 민감하게 달라지는 다른 변광성에 적용하여 비교할 필요가 있다. 특히 Period98에서는 수정된 데이터의 경우 주기비가 0.811로 미수정 데이터의 경우 0.787보다 훨씬 크게 나왔다. 즉 분산이 큰 데이터 포인트를 포함시키는 경우 주기비가 적게 나온다는 사실을 확인할 수 있었다. 앞에서 이차진동의 진폭이 아주 작다는 것을 지적하였는데 결과적으로 좋지 않은 데이터가 일부 포함되는 경우 바로 이차주기값에 영향을 주어 주기비 값에 큰 변화를 줄 수 있다는 사실로 해석할 수 있다. 즉 Hintz et al 논문에서의 주기비 0.78은 분산이 큰 데이터가 포함되었기 때문에 작게 나온 것으로 추정되며 우리는 미수정 데이터를 제외한 나머지 경우에 대한 평균값을 취하여 BL Cam의 주기비를 0.81로 결정하였다.

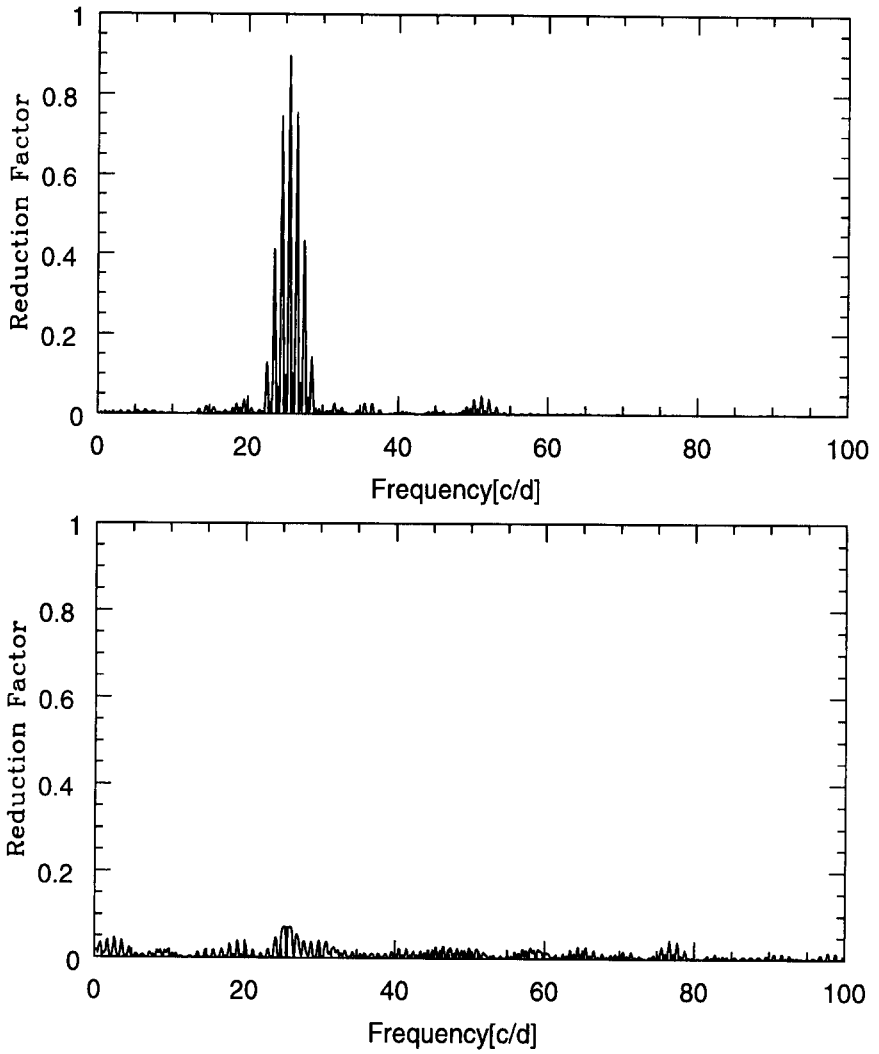


그림 3. BL Cam의 파워 스펙트럼

5. 진동양식

변광성의 물리적 특성을 이해하기 위하여 각각의 주기에 대응하는 진동양식을 알아야한다. 그러나 이 문제는 가장 기본적인 면에서도 실제 관측에 의하여 결정하기는 매우 어렵다. Dwarf Cepheid의 경우 방사상진동이 뚜렷하게 나타나는데, 한 개의 안정된 진동수로 진동하거나 아니면 대개의 경우 기준진동과 일차배진동이 결합된 쌍주기로 진동하는 경우가 대부분이다.

진동양식을 결정하는 방법은 여러 사람에 의하여 제안되었는데 Watson (1988)의 경우, 등급과 색지수의 진폭비 ( $A_{B-V}/A_V$ )와 위상차 ( $\Phi_{B-V} - \Phi_V$ )의 상관관계가  $l = 0, 1, 2, 3$ 에 따라 어떻게 달라지는가로 부터 진동양식을 결정하였다. 우리의 경우 관측에 의하여 V필터에 대한 등급만 결정하였기 때문에 이 방법을 적용할 수 없다. 한편 Fitch (1981)는 맥동모델로부터 상이한 진동양식에 대응하는 맥동상수 ( $Q$ )를 결정하였다.

Fitch (1970)의 방사상 진동에 대한  $\log P$ 와  $P_{k+1}/P_k$ 의 그림에서 만일 BL Cam이 기준진동과 일차배진동으로 진동한다면 주기비  $P_1/P_0$ 은 0.78로 예상되는데 이 값은 우리가 결정한 0.81과는 큰 차이가 있기 때문에 BL Cam이 기준진동과 일차 배진동으로 진동하지 않는다고 생각할 수 있다. 또한 Breger & Bregman(1975)의 맥동방정식

$$\log Q = -6.454 + \log P + 0.5 \log g + 0.1M_b + 3.843 \tag{1}$$

을 사용하여 맥동상수를 결정함으로써 진동양식을 조사할 수 있다. BL Cam에 대한 Rodriguez, Rolland, & Lopez de Coca (1990)의  $\log g = 3.98$ ,  $M_b = 2.2$ 을 사용하면 첫 번째 주기에 대하여  $Q=0.0155$ 가 계산되는데 이 값을 Fitch (1981)의  $l = 0, 1, 2, 3$ 에 대한 값과 비교하면  $l = 1$ 인 경우의  $Q_4(0.0154 - 0.0156)$ 에 해당되고, 다음으로는  $l = 0$  즉 방사상 진동인 경우의  $Q_3(0.0167-0.0171)$ 이나  $Q_4(0.0142-0.0145)$ 에 가깝다. 즉, BL Cam의 진동양식에 비방사상진동이 포함될 수 있을 가능성이 제기될 수 있으며, 방사상 진동인 경우 3차 내지 4차 배진동의 높은 진동 상태에 있게 된다.

표 3. Period98과 최소자승법에 의한 BL Cam의 합성광도곡선계수 (Hintz et al 의 데이터).

	Period98			최소자승법		Period98			최소자승법
	$f_j$ (c/d)	$a_j$ (km/s)	$\phi_j$ (rad)	$f_j$ (c/d)	$f_j$ (c/d)	$a_j$ (km/s)	$\phi_j$ (rad)	$f_j$ (c/d)	
$f_1$	25.5584	0.1513	0.1131	25.6057	25.5587	0.1505	0.8885	25.5497	
$f_2$	51.1389	0.0351	0.9483	51.1897	51.1427	0.0349	0.0301	51.1497	
$f_3$	3.3407	0.0121	0.2283	25.4417	2.3775	0.0119	0.3393	2.3498	
$f_4$	32.4769	0.0083	0.0519	3.2197	31.5171	0.0087	0.7025	31.4998	
$f_5$	29.7776	0.0068	0.8884	31.5917	29.7254	0.0090	0.1081	29.6998	
$f_6$	76.7636	0.0059	0.6630	49.3037	76.6633	0.0063	0.9554	76.6500	
$f_7$	46.0432	0.0053	0.9562	29.8697	46.0309	0.0048	0.2297		
$f_8$	15.9666	0.0053	0.1393	76.6099	64.2792	0.0043	0.7392		
rms		0.013				0.011			
$P_1/P_0$	0.787			0.811	0.811			0.811	

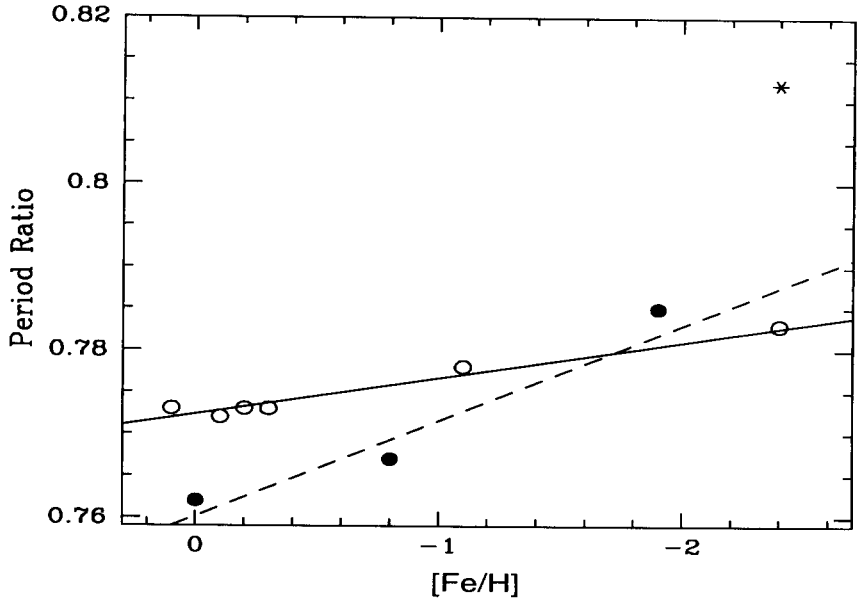


그림 4. 쌍주기의 SX Phe형 변광성에 대한 주기비와 금속함량비의 관계.

한편 McNamara (1995)는 모든 SX Phe 형 변광성을 기준진동 (F)하는 것과 일차 배진동 (H)하는 것으로 나누어 주기-광도 관계를 조사하였는데, BL Cam의 경우  $M_v = 2.0$ ,  $M_b = 2.2$ 으로 주기-광도 관계에 의한  $M_v=3.0-3.5$  및  $M_b=3.2-3.7$ 과는 너무 큰 차이가 있다. 이것은 다시 한 번 BL Cam의 진동양식이 기준진동과 일차배진동이 아니라는 것을 뜻할 수 있다.

### 6. 주기비와 금속함량비

일반적으로 고진폭의  $\delta$  Scuti형 맥동성의 금속함량비는 이들 변광성의 스펙트럼형이 A나 F형으로 알려져 있기 때문에  $uvby\beta$ 측광계에서 정의되는  $\delta m_1$ 과  $[Fe/H]$ 사이의 상관 관계식으로부터 결정된다 (McNamara & Powell 1985). McNamara (1992)는 이와같은 방법으로 결정된 BL Cam의 금속함량비가  $[Fe/H]=-2.4$ 로 SX Phe형 중에서 가장 낮다고 보고하였다.

Hintz et al 등은 BL Cam을 포함한 SX Phe형 중에서 6개의 쌍주기(double mode)변광성에 대하여  $uvby\beta$ 측광계에 의한  $[Fe/H]$ 와 주기비( $P_1/P_0$ )사이에 아래와 같은 비례관계가 존재한다고 보고하였다. 즉,

$$P_1/P_0 = -0.0044[Fe/H] + 0.7726 \tag{2}$$

그러나, 이 결과는 Hintz et al 등이 지적한 것처럼 Andreasen (1983)의 이론적인 결과와는 많은 차이가 있다. 즉 이론적인  $[Fe/H]$ 와  $P_1/P_0$ 사이의 관계에서는 기울기가 상기의 경험식에서 보다 훨씬 크다. 그림4는 Hintz et al 등의 논문에 있는 Fig.6에 BL Cam에 대응하는 값을 \*로 첨가한 것인데 이 그림에서 ○ 표시가 관측에 의하여 결정된 SX Phe형 변광성의 금속함량비를 나타내며 ●표시가 이론적으로 예상되는 값이다. 또한 실선과 점선은 최소자승으로 구한 직선으로 두 경우 모두에 대하여 기울기의 차이가 크다는 사실을 바로 알 수 있다. 또한 이 그림에서 보는 것처럼 우리가 앞장에서 결정한 BL Cam의 주기비 0.81에 대응되는 BL Cam의 위치는 다른 SX Phe형 변광성과 너무나 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 다시 한번 BL Cam이 SX Phe형 변광성중에서는 가장 극단적인 경우라는 사실을 뒷받침 한다.

## 7. 결 론

BL Cam에 대한 CCD 차등광전 측광을 통하여 이 변광성의 주기를 분석하여 주기비를 0.81로 결정하였는데 이 값은 다른 모든 쌍주기 SX Phe형 변광성중에서 극단적으로 크다. 이 외에도 BL Cam은 여러 가지면에서 SX Phe형 중에서는 매우 특이한 변광성이다. 즉, 주기는 제일 짧고, 금속 함량비도 제일 작을 뿐 아니라, Nemeč & Mateo (1990)에 따르면 공간속도 성분 (U,V,W) 모두 두배이상이나 되며 표면 온도, 중력, 나이도 각각  $\langle T_e \rangle = 8050K$ ,  $\langle \log g \rangle = 4.18$ ,  $4 \times 10^9$ 년으로 가장 크다. 또한 정확한 진동양식을 구하지는 못했지만 적어도 BL Cam의 진동양식이 다른 SX Phe형과는 크게 다르다는 것은 확인할 수 있었다. 결국 BL Cam을 SX Phe형에 포함시켜야 하는가 의문을 갖지 않을 수 없다.

이 문제에 대한 결론을 내리기 위하여는 여러 파장대에 걸친 광전측광을 통하여 신뢰성 있는 온도, 중력, 금속함량비와 같은 대기파라미터의 값과 진동양식의 결정이 요구된다. 무엇보다도 분광관측에 의한 금속 함량비의 결정이 필요하다. 더하여 아직까지 발견되지 않은 어두운 쌍주기 SX Phe형 변광성에 대한 탐색을 통하여 숫자를 늘려 이 그룹의 변광성에 대한 폭 넓은 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 글: 이 연구는 1998년도 학술진흥재단 학술연구조성비 (과제번호 1998-015-D00287) 지원에 의한 것임.

## 참 고 문 헌

- Andreasen, G.K. 1983, A&A, 121, 250  
 ——— 1987, A&A, 186, 159  
 Antonello, E., Broglia, P., Conconi, P. & Mantegazza, L. 1986, A&A, 169, 122

- Berg, R.A. & Duthie, J.G. 1977, *ApJ*, 215, L25
- Breger, M. & Bregman, J.N. 1975, *ApJ*, 200, 313
- Deeming, T.J. 1975, *Ap&SS*, 36, 137
- Fitch, W.S. 1970, *ApJ*, 161, 669
- 1981, *ApJ*, 249, 218
- Giclas, H.L., Burnham, R. & Thomas, N.G. 1970, *Lowell Obs. Bull.*, 183
- Hintz, E.G., Joner, M.D., McNamara, D.H., Nelson, K.A. & Kim, C. 1997, *PASP*, 109, 15
- Mateo, M. 1993, in the "Blue Stragglers", *A.S.P. Conf. Ser.* 53, ed. Saffer, R.E., P. 74
- Mathys, G. 1987, *A&A*, 71, 201
- McNamara, D.H. 1992, in the *Astronomy and Astrophysics Encyclopedia*, ed. S.P. Maran (New York, Van Nostrand Reinhold), P. 720
- McNamara, D.H. & Feltz, K.A. 1978, *PASP*, 90, 275
- McNamara, D.H. & Powell, J.M. 1985, *PASP*, 97, 110
- McNamara, D.H. 1995, *AJ*, 109, 1751
- Mermilliod, J.C. 1982, *A&A*, 109, 37
- Nemec, J. & Mateo, M. 1990, *A.S.P. Conf. Ser.* V.11, ed. C. Cacciari & G. Clementin, P. 64
- Rodriguez, A., Rolland, A. & Lopez de Coca, P. 1990, *Ap&SS*, 169, 113, 108
- Scargle, J.D. 1982, *ApJ*, 263, 835
- Sills, A., Lombardi, J., Bailyb, C., Demarque, P., Rasio, F. & Shapiro, S. 1995, Unpublished
- Sperl, M. 1998, Unpublished
- Stellingwerf, R.F. 1978, *MNRAS*, 157, 157
- Vanicek, P. 1971, *Ap&SS*, 12, 10
- Watson, R.D. 1988, *Ap&SS*, 140, 255
- 박남규, 1996, 서울대학교 박사학위 논문