

## Algol의 광전측광 관측과 *UBVRI* 광도곡선의 분석<sup>1</sup>

정장해 · 이용삼 · 임조령  
충북대학교 천문우주학과

양감징  
미국 네브라스카대학 물리천문학과

### PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS AND *UBVRI* LIGHT CURVES ANALYSIS OF ALGOL

Jang Hae Jeong, Yong-Sam Lee, and Jo-Ryeong Yim  
Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University  
Cheongju 360-764, Korea

and

Kam-Ching Leung  
Department of Physics and Astronomy, University of Nebraska-Lincoln  
Lincoln, NE 68588-0111, U.S.A.

(Received November 7, 1993; Accepted December 15, 1993)

#### 요 약

충북대학교 천문우주학과와 *UBVRI* 측광기가 부착된 20 cm 망원경을 이용하여 1988년 12월부터 1991년 3월 사이의 33일 밤 동안 Algol을 광전측광 관측하여 총 3465점의 관측값을 얻었다. 이 관측값을 이용하여 *UBVRI* 광도곡선을 만들었고 5개의 극심시각 *JDHel* 2447898.0938, *JDHel* 2447908.1014, *JDHel* 2448265.1205, *JDHel* 2448288.0598, *JDHel* 2448275.146을 결정하였다. 우리가 얻은 *UBVRI* 광도곡선을 동시에 Wilson-Devinney 방법으로 분석하여 측광학적 해를 구했다. 이 해로부터 얻은  $i = 82.^\circ 47$ ,  $q = 0.227$ ,  $r_1 = 0.2102$ ,  $r_2 = 0.2512$ 와 Hill *et al.* (1971)의 분광학적 해의 인수들을 이용하여 Algol A, B, C, 각각에 대한 질량과 반경을  $m_1 = 3.36$ ,  $m_2 = 0.76$ ,  $m_3 = 1.6$ ,  $R_1 = 2.97$ ,  $R_2 = 0.76$ 과 같이 구했다. 여기서 사용한 단위는 태양질량 단위와 태양반경 단위이다. 이러한 우리의 결과들은 Kim (1989)이 보고한 값들과 대체로 비슷하다. 우리의 해로부터 얻은 5색의  $l_1, l_2, l_3$  값들을 Planck 곡선에 fitting 시키는 방법에 의해 Algol C의 온도를  $T_3 = 8800$ 로, 그리고  $R_3 = 1.6R_\odot$ 을 유도했다. Algol A와 B

<sup>1</sup>이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성) 과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

의 배치 형태가 준접촉형인 것은 case B 질량 이동에 의해 생긴 결과로 믿어지며, 질량-반경도에 나타난 이들의 위치에 의하면 Algol B는 수소연소 단계에서도 상당히 진화된 상태에 있는 것으로 추정된다.

### ABSTRACT

*UBVRI* photometry of Algol was carried out from December of 1988 to March of 1991 at Chungbuk National University Observatory and a total of 3465 observations in *U, B, V, R, I* were obtained. Three times of primary minimum light of *JDHel* 2447898.0938, *JDHel* 2448265.1205 and *JDHel* 2448288.0598, and two secondary minimum light of *JDHel* 2447908.1014 and *JDHel* 2448275.146 were determined from our observations. We analyzed simultaneously the *UBVRI* light curves of the Algol system with the Wilson-Devinney method for the determination of the photometric parameters. Individual masses for the 3 components of Algol are derived as  $m_1 = 3.36$ ,  $m_2 = 0.76$ ,  $m_3 = 1.6$  in solar mass and radii as  $R_1 = 2.97$ ,  $R_2 = 0.76$  in solar radius using  $i = 82.^\circ 47$ ,  $q = 0.227$ ,  $r_1 = 0.2102$ ,  $r_2 = 0.2512$  of our solution and some parameters of the spectroscopic solution of Hill *et al.* (1971). Our results is similar to those reported by Kim (1989). The temperature of Algol C,  $T_3 = 8800$  was obtained by means of fitting  $l_1, l_2$ , and  $l_3$  of five colors to Planckian curve, and  $R_3 = 1.6R_\odot$  is derived from its result. It is believed that its semidetached configuration of Algol A and B is the consequence of case B mass transfer. According to its location in a mass-radius diagram, Algol B may have evolved significantly in its H-burning phase.

### 1. 서 론

Algol의 변광을 발견한 역사는 2000년 전으로 거슬러 올라가야 할지도 모른다. 그러나 식변 광성 연구의 시발점은 Algol의 변광이 쌍성의 식현상 때문으로 밝힌 1783년 Goodricke의 연구로 보아야 할 것이다. 학명이  $\beta$  Persei인 Algol은 그 이름 때문인지 (Algol은 악마라는 뜻임), 연구하면 할수록 모르는 것이 더 많이 알려지는 별인듯 싶다. 아마도 지금까지 천문학자들이 연구 대상으로 삼은 별중에서 최다 대상이던 별일 것이다. 프랑스 스프라소보그 천문대의 데이터베이스 SIMBAD에 기록된 것만해도 Algol에 관한 논문이 400편 이상 된다. 이 별에 대한 연구의 특기 사항들을 시대순으로 표 1에 정리해 보았다.

표 1. Algol 연구의 특이 사항들

Year	Events	Source
1670	Algol의 변광 발견	Montanari (1)
1783	변광이 식(eclipse)에 의한 것	Goodricke (1)
1888	주기 변화 발견(P=130)	Chandler
1915	광도 곡선의 해(첫번째 시도)	Shapley
1921	완전한 광전 광도 곡선의 완성	Stebbins
1922	Algol AB의 시선 속도 곡선과 그 해	Hellerich
1934	Algol AB-C의 시선 속도 곡선과 그 해	McLaughlin
1950	Astrometry	van de Kamp et al. AJ 55, 251
1966	IR 광도 곡선	Chen and Reuning, AJ 71, 283
1966	Algol B의 분광형 결정(K0 IV)	Cristaldi et al. MSA Ital 37, 347
1970	Algol이 3중성임을 검증	Frieboes-Conde et al. A&Ap 4, 178
1971	Absolute dimensions	Hill et al. ApJ 168, 443
1972	DC방법으로 광도곡선 분석	Wilson et al. ApJ 177, 191
1973	Radio telescope astrometry	Ryle & Elsmore MNRAS 164, 223
1975	UV(1550AA, 1920AA, 2980AA) 광도 곡선	Eaton PASP 87, 745
1975	IR (K, L, M, N) 광도 곡선	Longmore and Jameson MNRAS 173, 271
1976	X-선 검출	Schnopper et al. ApJ 210, L75
1977	Speckle interferometry	McAlister ApJ 215, 159
1978	Algol B의 시선 속도 곡선	Tomkin & Lambert ApJ 222, L119
1979	궤도경사각 재결정	Bonneau A&Ap 80, L11
1980	질량손실과 질량이동	Mezzetti et al. A&Ap 83, 217
1983	Polarization eclipse	Kemp et al. ApJ 273, L85
1983	Algol의 일반특성	Giuricin et al. ApJSS 52, 35
1984	IR 측광광속 분석	Murad & Budding ApJSS 98, 163
1984	Gaseous stream	Hadrava BAI Czech 35(6), 335
1984	Accretion mass	Cugier & Molaro A&Ap 140, 105
1985	UBV광도곡선분석	Al-Naimiy et al. ApJSS 108, 227
1985	IUE 연구	Sahade & Hernandez, R. Mex. A&A 10, 257
1987	Algol의 유효온도	Richards et al. BAAS 19, 1036
1988	Nonsimultaneous 다색광도곡선의 분석	Richards et al. AJ 96, 326
1989	WD방법으로 광도곡선분석	Kim ApJ 342, 1061
1990	Transient accretion disk	Richards BAAS 22, 1335
1990	ICCD speckle obs	McAlister et al. AJ 99, 965
1991	Multiple Binary	Debarbat & Texier A&ApSS 87, 513
1992	X-ray flare	Stern et al. ApJ 391, 760
1993	Algol의 진화상태	Sarna MNRAS 262, 534

(1) Kopal, 1990, Mercury May/June p.88.

그간의 연구들을 종합해 보면 Algol은 Algol A와 Algol B로 구성된 식쌍성계 Algol AB와 또 이 Algol AB계와 식을 일으키지는 않지만 쌍성관계(분광쌍성)를 가지는 Algol C 등, 3개의 별로 되어 있는 다중성이다(Guinan 1989, Ducham & Besler 1994). Algol A는 질량이 크고 온도가 높은 푸른색의 주계열성인 반면에, Algol B는 질량이 적고 온도가 낮은 그러나 반경이 Algol A보다 큰 준거성이다.

현재 Algol의 모습을 도식적으로 나타내면 그림 1에서 (f)의 모습과 같은데, 이 쌍성이 형성될 시기에는 (a)의 형태와 같이 Algol A가 오히려 질량이 적고 온도가 낮은 별인데 반하여 Algol B는 질량이 크고 온도가 높은 별이었다가, 그림 1-(b), (c), (d), (e) 등의 진화 단계를 지나 현재에 이른 것으로 보고 있다. 질량이 큰 별이 빨리 진화한다는 이론과 이 이론에 반대되는 Algol의 관측적 사실은 천문학자들을 한때 딜레마에 빠지게 하였었다. 이것은 Algol을 관측하여 분석해 보니 진화가 더 된 준거성 Algol B의 질량이 주계열성인 Algol A보다 작다는 모순적인 사실(Algol paradox라 함) 때문이었다.

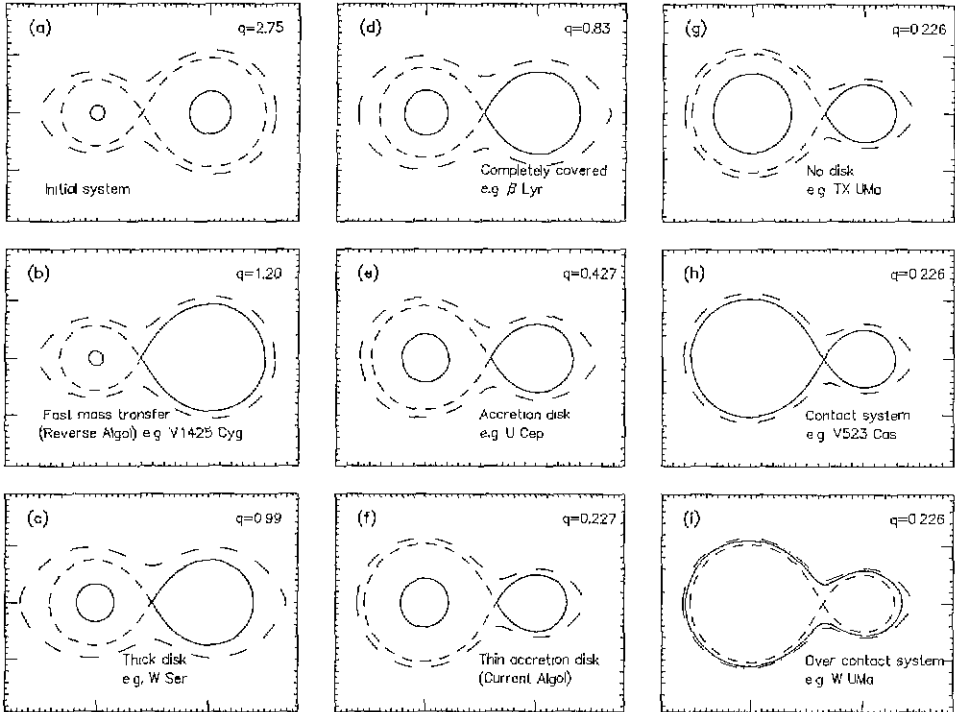


그림 1. Algol의 진화 모형

그 동안 수많은 연구의 결과로, 질량이 컸던 Algol B가 빨리 진화하여 동반성인 Algol A에게 질량을 흘려 보냈고 (그림 1의 (b)-(e) 참조), 결국은 오늘날과 같이 진화는 더 되었으나 질량이 적은 상태가 된 것으로 알려지면서 Algol paradox는 풀렸다. 그림 1에서 도식적으로 설명하고 있듯이 쌍성의 두 별 중 질량이 큰 별이 먼저 진화하여 Roche lobe를 채우게 되면 Lagrangian point  $L_1$ 을 통하여 질량 이동이 시작된다. 최근에 Leung (1988), Guinan (1989), Lee (1989) 등과 같은 연구자들은 이러한 질량 이동이 시작한 후부터 쌍성의 진화 과정을 6단계 (그림의 (b)-(g))로 나누어 설명하고 있는데 그 중에서 특히 첫번째 단계 (그림 1에서 (b) 단계 참조)는 아주 짧은 시간대에 다량의 질량이 이동하고 있지만 질량을 잃고있는 별의 질량이 아직도 큰, 그러한 단계이고, 이때의 쌍성의 모양은 Algol과 반대되는 형태이어서 reverse-Algol 이라고 부른다. 그 나머지 5단계는 이동되는 물질이 그 물질을 받는 별 주변에 어떻게 놓여 있는 나만 다를 뿐 Algol과 같은 모양을 하고 있다. Algol은 이동된 물질이 주성의 주변에 아주 작은 강착 원반을 형성하고 있는 5번째 단계 (그림 1-(f))에 속하는 쌍성계라고 현재 알려져 있다.

이 모든 주장은 관측된 광도곡선, 시선속도곡선, 분광스펙트럼 등의 분석을 통하여 확인되어야 한다. Hill et al. (1971)이 지적한 대로 Algol은 가장 오랫동안 여러가지 방법으로 연구되어 지금까지 수 백편의 논문이 발표되었음에도 불구하고 (1) 복잡한 형태의 궤도 공전주기 변화, (2) Algol C의 존재, (3) 주성과 반성의 심한 광도차, (4) 광도곡선의 비대칭성, (5) 광도곡선

모양의 변화, (6) 불규칙적이고 강도 높은 전파폭발 (radio outburst), (7) X-선 폭발 (flare) 등을 일으키는 원인들을 명쾌히 밝히지 못하고 있는 상태이다.

위에서 지적한 (1), (4), (5) 등의 원인을 찾기 위해서 우리는 지난 몇해 동안 Algol의 *UBVRI* 광전측광 관측을 수행하여 광도곡선의 전 위상구간에 걸쳐 골고루 data를 얻었다. Algol은 분광형이 B8인 주성과 K2인 반성으로 이루어져 있어 제2극심 깊이가 특히 *UBV* 광도곡선에서 아주 낮다. 이로 인하여 제2극심 시각을 결정하기 어렵고 결정된다 하더라도 정확도가 떨어져 공전 주기 변화의 원인 특히 1.86년 주기의 원인으로 제기되는 Apsidal motion의 가능성을 확인할 수가 없다. 우리의 RI 광도곡선으로 부터 결정한 극심시각은 바로 이런 문제를 보완할 수 있을 것이다. 우리의 관측과 광도곡선에 대해서는 제 2장에서 다룬다.

최근에 수행된 Kim (1989)의 광도곡선 분석은 질량비의  $q$  값이 분광 관측으로 얻은 값과 거의 같고 Algol C의 광도를 산출하는데 아주 성공적인 것으로 평가받고 있다. 그러나 우리는 Kim (1989)의 분석이 *BV* 광도곡선만을 분석한 결과라는 점과 지금까지 Algol의 광도곡선을 *WD* 방법으로 분석한 경우는 Wilson *et al.* (1972)와 Kim(1989) 뿐이라는 점을 고려하여, 우리가 얻은 *UBVRI* 광도곡선을 동시분석 (*WD*에서 simultaneous solution) 하였다.

## 2. 관측과 광도곡선

우리는 1988년 12월 부터 1991년 3월 사이에 총 33일 밤 동안 Algol의 *UBVRI* 관측을 충북대학교 천문대에서 수행 하여 총 3465점 (*U538, B538, V538, R1313, I538*)의 관측치를 얻었다. 이때에  $\pi$  Per와  $\omega$  Per를 각각 비교성과 검토성으로 같이 관측 하였다 (표 2 참조). 비교성과 검토성의 관측치로 부터 계산된 관측의 정밀도는 p.e.로 *U* 에서  $\pm 0.04$ , *B*에서  $\pm 0.01$ , *V*에서  $\pm 0.01$ , *R*에서  $\pm 0.01$ , *I*에서  $\pm 0.01$ 이다.

이 관측에 사용한 CBU-ASS-2 측광장치는 크게 망원경, 측광기, 퍼스널 컴퓨터, 그리고 퍼스널 컴퓨터와 측광기를 연결시켜 주는 IF Card 등 4 부분으로 구성되어 있다. 여기에 사용한 망원경은 충북대학교 천문우주학과가 보유하고 있는 구경이 200 mm인 Celestron 반사망원경을 Goto사의 독일식 적도의에 마운트한 것이다. 또한 광전측광기는 미국의 Optec사가 개발한 SSP-3A로 이 측광기의 집안렌즈 시야는  $0.4^\circ$ 이며, 필터 슬라이더에 내장되어 있는 *UBVRI* 필터는 직경이 12.7 mm이고 두께가 7 mm이다. 이것들은 Johnson의 표준 필터에 아주 가깝도록 Schott사의 색유리를 조합한 것들이다. SSP-3A에 내장된 검지기는 Hamamatsu 사가 개발한 silicon PIN-photodiode S1087-01이다. 이 검지기는 자외선에서부터 적외선에 이르기 까지 광범위한 파장 영역에서 측광이 가능하다. 이들 각 필터의 파장별 투과율 특성과 검지기의 파장별 감응도 특성은 Optec사의 SSP-3A operating manual에 잘 나타나 있다. SSP-3A 측광기와 IBM XT/AT 컴퓨터 사이를 연결시키는 interface 카드로 우리는 Optec사의 SSP-3Card를 사용하였다. SSP-3Card는 컴퓨터가 SSP-3A 측광기로부터 data를 읽을 수 있도록 도와주고 컴퓨터의 프로그램으로 stepper moter를 돌려 필터를 바꾸어 주고 측광기에 전원을 공급하는 기능을 가지고 있다.

우리가 사용한 관측장치, 관측과정, 자료처리과정 등에 관한 보다 상세한 내용은 송주현 (1989), 임조령 (1991), 이상희 (1991) 등이 이미 기술한 바 있다.

우리가 얻은 관측치들 모두에 관측일 별로 또 필터 별로 각각의 extinction coefficient를 적용하여 대기 감광량을 보정하였으며 Johnson의 *UBVRI* 등급으로 표준화 하였고, 관측성의 등급에서 비교성의 등급을 뺀  $\Delta U, \Delta B, \Delta V, \Delta R, \Delta I$ 의 값을 표 3에 정리 하였다. 여기에 정리된

표 2-(a). Algol의 R 관측치 (1988-1989)

JD Hel 2440000-	AR	JD Hel 2440000+	AR	JD Hel 2440000+	AR	JD Hel 2440000+	AR	JD Hel 2440000+	AR
7887.9768	-2.505	7891.2200	-2.566	7891.9609	-2.504	7895.1300	-2.061	7895.2168	-1.505
7887.9769	-2.501	7891.2202	-2.564	7891.9610	-2.508	7895.1301	-2.066	7895.2169	-1.495
7887.9770	-2.501	7891.2206	-2.562	7891.9611	-2.503	7895.1302	-2.066	7895.2172	-1.477
7887.9771	-2.502	7891.2208	-2.566	7891.9659	-2.503	7895.1393	-2.004	7895.2239	-1.493
7887.9807	-2.489	7891.2252	-2.553	7891.9661	-2.497	7895.1394	-2.002	7895.2240	-1.472
7887.9808	-2.487	7891.2257	-2.563	7891.9662	-2.509	7895.1395	-1.997	7895.2241	-1.468
7887.9820	-2.502	7891.2258	-2.538	7891.9663	-2.506	7895.1396	-1.999	7895.2242	-1.446
7887.9821	-2.500	7891.2259	-2.559	7891.9690	-2.499	7895.1432	-1.957	7895.2275	-1.506
7887.9887	-2.497	7891.2260	-2.569	7891.9691	-2.506	7895.1433	-1.936	7895.2276	-1.507
7887.9888	-2.498	7891.2458	-2.564	7891.9692	-2.503	7895.1469	-1.944	7895.2277	-1.500
7887.9889	-2.496	7891.2459	-2.559	7891.9693	-2.504	7895.1470	-1.939	7895.2278	-1.497
7887.9890	-2.493	7891.2461	-2.582	7891.9909	-2.493	7895.1471	-1.944	7895.2321	-1.439
7888.0055	-2.465	7891.2462	-2.589	7891.9911	-2.500	7895.1472	-1.941	7897.9234	-2.426
7888.0058	-2.474	7891.2547	-2.546	7891.9912	-2.501	7895.1548	-1.866	7897.9235	-2.424
7888.0059	-2.477	7891.2549	-2.575	7891.9913	-2.505	7895.1549	-1.874	7897.9236	-2.413
7888.0060	-2.475	7891.2550	-2.560	7894.9706	-2.502	7895.1550	-1.872	7897.9237	-2.425
7888.0065	-2.474	7891.2551	-2.556	7894.9707	-2.503	7895.1551	-1.878	7897.9267	-2.413
7888.0100	-2.476	7891.2581	-2.526	7894.9709	-2.495	7895.1581	-1.870	7897.9268	-2.404
7888.0101	-2.462	7891.2582	-2.579	7894.9710	-2.493	7895.1629	-1.808	7897.9270	-2.415
7888.0102	-2.466	7891.2583	-2.553	7894.9743	-2.487	7895.1630	-1.813	7897.9271	-2.425
7888.0103	-2.462	7891.2584	-2.557	7894.9744	-2.490	7895.1631	-1.809	7897.9301	-2.412
7888.1131	-2.500	7891.2652	-2.544	7894.9746	-2.496	7895.1632	-1.813	7897.9302	-2.406
7888.1132	-2.501	7891.2653	-2.523	7894.9747	-2.488	7895.1663	-1.796	7897.9303	-2.407
7888.1133	-2.493	7891.2654	-2.555	7894.9810	-2.485	7895.1665	-1.797	7897.9304	-2.406
7888.1135	-2.495	7891.2655	-2.519	7894.9812	-2.494	7895.1666	-1.797	7897.9729	-2.219
7888.1158	-2.516	7891.2690	-2.541	7894.9813	-2.498	7895.1667	-1.787	7897.9731	-2.216
7888.1159	-2.517	7891.2691	-2.546	7894.9814	-2.489	7895.1721	-1.751	7897.9733	-2.214
7888.1160	-2.512	7891.2692	-2.542	7894.9968	-2.500	7895.1722	-1.749	7897.9734	-2.208
7888.1161	-2.506	7891.2693	-2.552	7894.9969	-2.503	7895.1724	-1.755	7897.9759	-2.197
7888.1391	-2.466	7891.2765	-2.563	7894.9970	-2.498	7895.1725	-1.748	7897.9760	-2.202
7888.1393	-2.465	7891.2766	-2.573	7894.9971	-2.498	7895.1750	-1.722	7897.9761	-2.203
7888.1394	-2.483	7891.2767	-2.571	7894.9999	-2.488	7895.1751	-1.730	7897.9763	-2.205
7888.1395	-2.471	7891.2768	-2.567	7895.0000	-2.492	7895.1753	-1.725	7897.9814	-2.169
7890.9457	-2.479	7891.2805	-2.553	7895.0001	-2.491	7895.1754	-1.718	7897.9815	-2.169
7890.9458	-2.475	7891.2807	-2.553	7895.0003	-2.492	7895.1806	-1.699	7897.9816	-2.174
7890.9500	-2.471	7891.2809	-2.577	7895.0934	-2.288	7895.1807	-1.694	7897.9817	-2.172
7890.9501	-2.478	7891.2810	-2.558	7895.0935	-2.282	7895.1808	-1.693	7897.9843	-2.152
7890.9506	-2.476	7891.2871	-2.616	7895.0937	-2.279	7895.1809	-1.692	7897.9844	-2.152
7890.9507	-2.474	7891.2873	-2.618	7895.0938	-2.280	7895.1846	-1.656	7897.9845	-2.150
7890.9867	-2.494	7891.9269	-2.503	7895.0964	-2.262	7895.1847	-1.669	7897.9846	-2.150
7890.9868	-2.494	7891.9271	-2.508	7895.0966	-2.264	7895.1849	-1.657	7898.0477	-1.704
7890.9869	-2.494	7891.9272	-2.514	7895.0967	-2.257	7895.1850	-1.655	7898.0478	-1.697
7890.9870	-2.490	7891.9273	-2.512	7895.0968	-2.251	7895.1910	-1.605	7898.0479	-1.695
7890.9952	-2.493	7891.9303	-2.516	7895.1123	-2.185	7895.1911	-1.616	7898.0480	-1.697
7890.9954	-2.485	7891.9304	-2.515	7895.1124	-2.180	7895.1912	-1.603	7898.0641	-1.589
7890.9955	-2.473	7891.9305	-2.509	7895.1125	-2.183	7895.1913	-1.615	7898.0642	-1.584
7890.9956	-2.426	7891.9306	-2.519	7895.1126	-2.178	7895.1946	-1.586	7898.0643	-1.577
7891.1641	-2.546	7891.9480	-2.498	7895.1158	-2.148	7895.1947	-1.589	7898.0645	-1.592
7891.1642	-2.558	7891.9481	-2.513	7895.1159	-2.151	7895.1948	-1.596	7898.0679	-1.571
7891.1643	-2.549	7891.9482	-2.509	7895.1160	-2.157	7895.1949	-1.586	7898.0680	-1.583
7891.1645	-2.545	7891.9484	-2.508	7895.1161	-2.151	7895.2011	-1.563	7898.0682	-1.572
7891.1682	-2.552	7891.9511	-2.500	7895.1235	-2.117	7895.2012	-1.565	7898.0683	-1.579
7891.1683	-2.548	7891.9512	-2.507	7895.1236	-2.107	7895.2013	-1.569	7898.0786	-1.513
7891.1684	-2.549	7891.9514	-2.503	7895.1238	-2.105	7895.2014	-1.550	7898.0787	-1.523
7891.1685	-2.550	7891.9515	-2.499	7895.1239	-2.091	7895.2055	-1.543	7898.0788	-1.509
7891.1756	-2.551	7891.9574	-2.497	7895.1269	-2.087	7895.2123	-1.509	7898.0789	-1.511
7891.1757	-2.547	7891.9575	-2.504	7895.1270	-2.092	7895.2124	-1.521	7898.0818	-1.508
7891.1758	-2.554	7891.9576	-2.504	7895.1271	-2.092	7895.2125	-1.530	7898.0819	-1.503
7891.1759	-2.557	7891.9577	-2.506	7895.1272	-2.080	7895.2125	-1.449	7898.0821	-1.506
7891.2192	-2.569	7891.9607	-2.498	7895.1300	-2.073	7895.2126	-1.507	7898.0822	-1.505

표 2-(a). 계속

<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>ΔR</i>	<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>ΔR</i>	<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>ΔR</i>	<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>ΔR</i>	<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>ΔR</i>
7898.0882	-1.493	7898.2269	-2.232	7907.9315	-2.553	7908.1211	-2.480	7911.0798	-2.508
7898.0883	-1.491	7898.2270	-2.245	7907.9317	-2.563	7908.1213	-2.470	7911.0799	-2.507
7898.0891	-1.496	7898.2380	-2.277	7907.9318	-2.562	7908.1214	-2.472	7911.0825	-2.488
7898.0933	-1.494	7898.2382	-2.291	7907.9378	-2.606	7908.1247	-2.451	7911.0826	-2.475
7898.0934	-1.499	7898.2383	-2.278	7907.9379	-2.600	7908.1248	-2.459	7911.0849	-2.489
7898.0935	-1.502	7898.2384	-2.278	7907.9380	-2.601	7908.1250	-2.458	7911.0850	-2.481
7898.0936	-1.484	7898.2413	-2.312	7907.9381	-2.590	7908.1251	-2.461	7911.0898	-2.514
7898.1491	-1.700	7898.2414	-2.324	7907.9410	-2.561	7908.1344	-2.467	7911.0900	-2.512
7898.1492	-1.693	7898.2415	-2.322	7907.9411	-2.542	7908.1345	-2.467	7911.0925	-2.509
7898.1493	-1.687	7898.2416	-2.322	7907.9412	-2.554	7908.1346	-2.458	7911.0926	-2.494
7898.1494	-1.675	7898.2471	-2.338	7907.9414	-2.544	7908.1347	-2.452	7911.0950	-2.505
7898.1557	-1.751	7898.2472	-2.352	7907.9436	-2.539	7908.1401	-2.495	7911.0951	-2.503
7898.1558	-1.750	7898.2473	-2.342	7907.9438	-2.550	7908.1402	-2.501	7911.1013	-2.506
7898.1559	-1.748	7898.2474	-2.361	7907.9439	-2.541	7908.1404	-2.486	7911.1014	-2.499
7898.1560	-1.764	7898.2513	-2.330	7907.9440	-2.541	7908.1405	-2.498	7911.1047	-2.509
7898.1654	-1.832	7898.2515	-2.353	7907.9492	-2.551	7908.1452	-2.483	7911.1048	-2.520
7898.1655	-1.818	7898.2516	-2.334	7907.9493	-2.567	7908.1454	-2.484	7911.1072	-2.521
7898.1656	-1.822	7898.2517	-2.331	7907.9494	-2.549	7908.1455	-2.462	7911.1074	-2.504
7898.1657	-1.828	7898.2550	-2.333	7907.9496	-2.562	7908.1456	-2.461	7911.1302	-2.513
7898.1699	-1.862	7898.2552	-2.377	7907.9524	-2.546	7908.1764	-2.508	7911.1303	-2.516
7898.1700	-1.857	7898.2553	-2.390	7907.9526	-2.539	7908.1766	-2.498	7911.1330	-2.526
7898.1701	-1.874	7898.2554	-2.363	7907.9527	-2.544	7908.1768	-2.479	7911.1331	-2.504
7898.1702	-1.873	7898.2630	-2.439	7907.9528	-2.548	7908.1788	-2.526	7911.1357	-2.524
7898.1780	-1.940	7898.2632	-2.444	7907.9552	-2.548	7908.1791	-2.491	7911.1358	-2.515
7898.1781	-1.941	7898.2633	-2.422	7907.9553	-2.547	7908.1821	-2.490	7911.9025	-2.565
7898.1782	-1.927	7898.2634	-2.437	7907.9555	-2.544	7908.1822	-2.441	7911.9026	-2.562
7898.1783	-1.928	7898.2678	-2.410	7907.9556	-2.545	7908.1823	-2.508	7911.9051	-2.546
7898.1825	-1.983	7898.2684	-2.424	7908.0299	-2.520	7908.1824	-2.459	7911.9052	-2.544
7898.1826	-1.987	7898.2685	-2.417	7908.0300	-2.505	7908.2070	-2.488	7911.9290	-2.589
7898.1827	-1.984	7898.2686	-2.414	7908.0301	-2.513	7908.2071	-2.502	7911.9291	-2.608
7898.1828	-1.980	7898.2687	-2.425	7908.0302	-2.502	7908.2073	-2.507	7911.9311	-2.619
7898.1887	-2.009	7898.2780	-2.456	7908.0327	-2.510	7908.2074	-2.496	7911.9312	-2.611
7898.1888	-2.010	7898.2781	-2.477	7908.0328	-2.508	7908.2100	-2.513	7911.9482	-2.523
7898.1890	-2.013	7898.2782	-2.440	7908.0330	-2.513	7908.2101	-2.502	7911.9483	-2.533
7898.1891	-2.018	7898.2783	-2.431	7908.0331	-2.507	7908.2102	-2.481	7911.9509	-2.555
7898.1921	-2.046	7898.9379	-2.521	7908.0644	-2.493	7908.2103	-2.514	7911.9510	-2.552
7898.1922	-2.027	7898.9379	-2.521	7908.0646	-2.488	7908.2127	-2.549	7911.9675	-2.510
7898.1923	-2.034	7898.9380	-2.533	7908.0647	-2.487	7908.2128	-2.565	7911.9677	-2.515
7898.1924	-2.026	7898.9380	-2.533	7908.0648	-2.492	7908.2130	-2.554	7911.9701	-2.480
7898.1960	-2.051	7898.9382	-2.541	7908.0679	-2.484	7908.2131	-2.550	7911.9702	-2.482
7898.1961	-2.061	7898.9382	-2.541	7908.0681	-2.486	7910.9156	-2.536	7911.9881	-2.506
7898.1963	-2.045	7898.9383	-2.544	7908.0682	-2.493	7910.9157	-2.536	7911.9882	-2.506
7898.1964	-2.058	7898.9383	-2.544	7908.0683	-2.485	7910.9183	-2.522	7911.9902	-2.498
7898.2034	-2.111	7898.9414	-2.518	7908.1006	-2.470	7910.9185	-2.520	7911.9904	-2.502
7898.2035	-2.110	7898.9414	-2.518	7908.1007	-2.482	7910.9203	-2.500	7912.0539	-2.507
7898.2037	-2.120	7898.9415	-2.526	7908.1008	-2.470	7910.9205	-2.499	7912.0540	-2.510
7898.2038	-2.128	7898.9415	-2.526	7908.1009	-2.487	7910.9465	-2.500	7912.0559	-2.502
7898.2071	-2.116	7898.9416	-2.529	7908.1049	-2.486	7910.9466	-2.496	7912.0560	-2.493
7898.2072	-2.112	7898.9416	-2.529	7908.1051	-2.492	7910.9486	-2.481	7912.1170	-2.498
7898.2074	-2.115	7898.9417	-2.531	7908.1052	-2.489	7910.9487	-2.471	7912.1171	-2.505
7898.2075	-2.112	7898.9417	-2.531	7908.1053	-2.496	7910.9746	-2.510	7912.1193	-2.496
7898.2148	-2.247	7907.9247	-2.552	7908.1091	-2.459	7910.9747	-2.515	7912.1194	-2.509
7898.2149	-2.226	7907.9249	-2.552	7908.1092	-2.459	7910.9770	-2.519	7912.1250	-2.501
7898.2150	-2.215	7907.9250	-2.559	7908.1094	-2.459	7910.9772	-2.515	7912.1251	-2.507
7898.2151	-2.229	7907.9251	-2.547	7908.1095	-2.451	7911.0513	-2.498	7912.1275	-2.437
7898.2197	-2.230	7907.9279	-2.539	7908.1171	-2.437	7911.0514	-2.496	7912.1276	-2.408
7898.2199	-2.230	7907.9280	-2.532	7908.1172	-2.441	7911.0542	-2.496	7912.1338	-2.483
7898.2200	-2.234	7907.9282	-2.542	7908.1173	-2.440	7911.0543	-2.513	7912.1339	-2.488
7898.2201	-2.240	7907.9283	-2.528	7908.1175	-2.431	7911.0566	-2.490	7912.1377	-2.441
7898.2268	-2.221	7907.9314	-2.558	7908.1210	-2.466	7911.0568	-2.499	7912.1378	-2.424

표 2-(a). 계속

<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>AR</i>	<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>AR</i>	<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>AR</i>	<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>AR</i>	<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>AR</i>
7912.1649	-2.452	7913.9808	-2.509	7914.2046	-2.555	7917.0181	-2.541	7917.2068	-2.555
7912.1750	-2.509	7913.9810	-2.501	7914.2048	-2.532	7917.0369	-2.552	7917.2069	-2.563
7912.1751	-2.505	7913.9832	-2.504	7915.9567	-2.525	7917.0370	-2.565	7917.2298	-2.545
7912.2047	-2.470	7913.9834	-2.509	7915.9568	-2.527	7917.0396	-2.545	7917.9445	-2.480
7912.2049	-2.480	7914.0224	-2.535	7915.9602	-2.504	7917.0397	-2.554	7917.9447	-2.485
7912.2083	-2.495	7914.0225	-2.540	7915.9604	-2.507	7917.0528	-2.546	7917.9476	-2.490
7912.2084	-2.479	7914.0253	-2.546	7916.0328	-2.535	7917.0530	-2.546	7917.9477	-2.487
7912.2248	-2.521	7914.0255	-2.531	7916.0329	-2.543	7917.0553	-2.559	7918.0086	-2.383
7912.2249	-2.508	7914.0442	-2.532	7916.0359	-2.530	7917.0554	-2.545	7918.0087	-2.385
7912.2277	-2.508	7914.0443	-2.530	7916.0360	-2.536	7917.0728	-2.552	7918.0117	-2.374
7912.2278	-2.469	7914.0470	-2.538	7916.0615	-2.534	7917.0729	-2.556	7918.0118	-2.375
7912.2445	-2.477	7914.0471	-2.542	7916.0616	-2.537	7917.0760	-2.544	7918.0635	-2.092
7912.2446	-2.510	7914.0679	-2.556	7916.0649	-2.529	7917.0762	-2.547	7918.0636	-2.091
7912.2476	-2.491	7914.0680	-2.545	7916.0650	-2.533	7917.0974	-2.550	7918.0662	-2.087
7912.2477	-2.449	7914.0705	-2.544	7916.0774	-2.523	7917.0975	-2.537	7918.0663	-2.087
7913.0488	-2.505	7914.0706	-2.546	7916.0776	-2.536	7917.1008	-2.567	7918.1046	-1.819
7913.0489	-2.503	7914.0889	-2.547	7916.0806	-2.550	7917.1009	-2.563	7918.1047	-1.802
7913.0518	-2.555	7914.0890	-2.548	7916.0807	-2.540	7917.1172	-2.538	7918.1076	-1.794
7913.0519	-2.548	7914.0924	-2.549	7916.0903	-2.551	7917.1173	-2.545	7918.1077	-1.778
7913.0865	-2.512	7914.0926	-2.536	7916.0904	-2.572	7917.1200	-2.537	7918.1744	-1.493
7913.0866	-2.516	7914.1113	-2.561	7916.9275	-2.560	7917.1201	-2.544	7918.1745	-1.504
7913.0929	-2.507	7914.1114	-2.548	7916.9276	-2.558	7917.1437	-2.564	7918.1772	-1.506
7913.0931	-2.531	7914.1141	-2.563	7916.9301	-2.548	7917.1438	-2.541	7918.1773	-1.503
7913.9250	-2.506	7914.1142	-2.559	7916.9302	-2.555	7917.1463	-2.574	7919.0545	-2.530
7913.9251	-2.503	7914.1304	-2.577	7916.9454	-2.545	7917.1465	-2.564	7919.0546	-2.529
7913.9276	-2.516	7914.1306	-2.564	7916.9455	-2.533	7917.1594	-2.568	7919.0570	-2.533
7913.9277	-2.514	7914.1341	-2.590	7916.9478	-2.547	7917.1595	-2.562	7919.0571	-2.544
7913.9444	-2.506	7914.1342	-2.582	7916.9479	-2.544	7917.1626	-2.555	7919.1138	-2.544
7913.9445	-2.486	7914.1590	-2.570	7916.9762	-2.536	7917.1627	-2.550	7919.1139	-2.554
7913.9475	-2.550	7914.1591	-2.550	7916.9763	-2.538	7917.1798	-2.556	7919.1164	-2.545
7913.9476	-2.552	7914.1622	-2.562	7916.9794	-2.546	7917.1799	-2.548	7919.1165	-2.541
7913.9620	-2.505	7914.1623	-2.592	7916.9795	-2.539	7917.1832	-2.547	7919.1431	-2.546
7913.9621	-2.509	7914.1818	-2.501	7917.0159	-2.549	7917.1833	-2.573	7919.1433	-2.533
7913.9643	-2.507	7914.1851	-2.589	7917.0161	-2.550	7917.2031	-2.562	7919.1455	-2.518
7913.9645	-2.501	7914.1852	-2.567	7917.0180	-2.547	7917.2032	-2.552	7919.1457	-2.537

데이터를 가지고 광도곡선을 그려보면 그림 2와 같다. 이때 phase를 계산하는데 김호일 (1988)의 광도요소 (light elements):

$$\text{Min } I = \text{JD Hel } 2435473.9861 + 2^d.86732408 E \quad (1)$$

을 사용 하였다. 우리의 관측치로부터 몇개의 광도극심시각 (time of minimum light)을 구할 수 있었는데 그것을 정리해 보면 표 4와 같다. 여기서 ( $O - C$ ) 값의 계산을 위해 Eggen (1948)의 광도요소

$$\text{Min } I = \text{JD Hel } 2378497.7867 + 2^d.86731077 E \quad (2)$$

을 사용 하였다.



표 2-(b). Algol의 *UBVRI* 관측치 (1991)

<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>AU</i>	<i>AB</i>	<i>AV</i>	<i>AR</i>	<i>AI</i>	<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>AU</i>	<i>AB</i>	<i>AV</i>	<i>AR</i>	<i>AI</i>
8262.1492	-2.610	-2.302	-2.124	-2.103	-2.061	8265.2079	-2.659	-2.119	-2.030	-1.999	-1.990
8262.1566	-2.542	-2.182	-2.130	-2.091	-2.061	8265.2135	-2.589	-2.175	-2.062	-2.030	-1.995
8262.1600	-2.431	-2.126	-2.069	-2.034	-2.007	8265.2173	-2.479	-2.139	-2.068	-2.074	-2.079
8262.1641	-2.446	-2.114	-2.023	-1.954	-1.939	8265.2215	-2.578	-2.172	-2.128	-2.091	-2.103
8262.1855	-2.172	-1.855	-1.860	-1.825	-1.842	8265.2237	-2.616	-2.258	-2.171	-2.133	-2.130
8262.1893	-2.304	-1.882	-1.814	-1.821	-1.798	8265.2334	-2.710	-2.268	-2.174	-2.128	-2.066
8262.1935	-2.331	-1.871	-1.824	-1.808	-1.824	8265.2371	-2.965	-2.317	-2.230	-2.175	-2.149
8262.1988	-2.257	-1.842	-1.772	-1.735	-1.781	8265.2393	-3.076	-2.360	-2.278	-2.211	-2.147
8262.2039	-2.066	-1.730	-1.682	-1.681	-1.731	8269.9651	-3.089	-2.700	-2.603	-2.558	-2.513
8262.2086	-1.962	-1.708	-1.665	-1.669	-1.708	8269.9693	-3.096	-2.707	-2.612	-2.551	-2.517
8262.2139	-1.818	-1.614	-1.661	-1.647	-1.707	8269.9727	-3.055	-2.705	-2.607	-2.557	-2.511
8262.2174	-1.888	-1.614	-1.611	-1.633	-1.646	8269.9787	-3.047	-2.702	-2.603	-2.553	-2.506
8262.2215	-1.964	-1.549	-1.511	-1.518	-1.568	8269.9819	-3.047	-2.687	-2.590	-2.544	-2.504
8264.9526	-3.039	-2.611	-2.489	-2.433	-2.361	8269.9859	-3.088	-2.705	-2.598	-2.555	-2.507
8264.9607	-2.929	-2.565	-2.445	-2.394	-2.336	8269.9907	-3.093	-2.700	-2.598	-2.555	-2.499
8264.9643	-2.938	-2.555	-2.445	-2.389	-2.316	8269.9942	-3.069	-2.690	-2.589	-2.545	-2.497
8264.9705	-2.867	-2.522	-2.417	-2.358	-2.287	8269.9981	-3.055	-2.687	-2.598	-2.547	-2.506
8264.9744	-2.844	-2.506	-2.398	-2.347	-2.278	8270.0352	-3.112	-2.697	-2.584	-2.550	-2.497
8264.9780	-2.826	-2.481	-2.367	-2.323	-2.266	8270.0388	-3.067	-2.693	-2.592	-2.563	-2.511
8264.9844	-2.859	-2.475	-2.352	-2.298	-2.250	8270.0422	-3.051	-2.696	-2.594	-2.553	-2.505
8264.9878	-2.802	-2.445	-2.334	-2.271	-2.224	8270.9345	-2.452	-2.070	-1.986	-1.954	-1.927
8264.9912	-2.741	-2.413	-2.323	-2.263	-2.206	8270.9381	-2.451	-2.094	-2.003	-1.976	-1.956
8264.9971	-2.679	-2.376	-2.279	-2.224	-2.172	8270.9426	-2.464	-2.118	-2.029	-1.982	-1.963
8265.0007	-2.613	-2.312	-2.231	-2.191	-2.144	8270.9522	-2.591	-2.209	-2.109	-2.055	-2.022
8265.0172	-2.604	-2.236	-2.124	-2.087	-2.060	8270.9560	-2.594	-2.229	-2.114	-2.071	-2.035
8265.0209	-2.590	-2.225	-2.116	-2.079	-2.049	8270.9620	-2.561	-2.275	-2.194	-2.138	-2.111
8265.0249	-2.545	-2.174	-2.092	-2.051	-2.038	8270.9657	-2.683	-2.298	-2.209	-2.159	-2.124
8265.0453	-2.338	-1.997	-1.917	-1.906	-1.890	8270.9692	-2.660	-2.324	-2.218	-2.173	-2.138
8265.0502	-2.282	-1.951	-1.870	-1.864	-1.865	8270.9743	-2.699	-2.344	-2.238	-2.199	-2.148
8265.0544	-2.331	-1.917	-1.844	-1.900	-1.846	8270.9785	-2.735	-2.374	-2.253	-2.234	-2.159
8265.0618	-2.161	-1.831	-1.761	-1.769	-1.766	8270.9824	-2.765	-2.402	-2.294	-2.249	-2.184
8265.0656	-2.144	-1.792	-1.738	-1.741	-1.737	8270.9885	-2.804	-2.437	-2.313	-2.269	-2.194
8265.0697	-2.108	-1.758	-1.695	-1.708	-1.724	8270.9938	-2.841	-2.471	-2.346	-2.297	-2.238
8265.0767	-2.083	-1.689	-1.643	-1.666	-1.658	8270.9973	-2.838	-2.492	-2.371	-2.319	-2.257
8265.0809	-2.065	-1.683	-1.631	-1.652	-1.662	8271.0429	-3.113	-2.660	-2.521	-2.470	-2.392
8265.0850	-2.005	-1.646	-1.596	-1.624	-1.638	8271.0463	-3.056	-2.663	-2.531	-2.478	-2.399
8265.0943	-1.970	-1.592	-1.545	-1.569	-1.585	8271.0499	-3.022	-2.663	-2.534	-2.485	-2.400
8265.0983	-1.923	-1.537	-1.510	-1.543	-1.541	8271.0549	-3.049	-2.673	-2.546	-2.488	-2.412
8265.1024	-1.856	-1.539	-1.498	-1.537	-1.587	8271.0583	-3.046	-2.669	-2.549	-2.491	-2.424
8265.1085	-1.777	-1.521	-1.480	-1.510	-1.559	8271.0615	-3.051	-2.656	-2.546	-2.475	-2.379
8265.1119	-1.932	-1.475	-1.452	-1.502	-1.544	8271.0671	-3.036	-2.665	-2.553	-2.483	-2.423
8265.1164	-2.053	-1.486	-1.443	-1.489	-1.504	8271.0702	-3.002	-2.671	-2.552	-2.497	-2.409
8265.1239	-1.801	-1.499	-1.459	-1.485	-1.555	8271.0734	-3.009	-2.665	-2.549	-2.497	-2.400
8265.1273	-1.836	-1.498	-1.466	-1.498	-1.551	8271.0789	-3.013	-2.655	-2.530	-2.477	-2.373
8265.1314	-1.860	-1.492	-1.468	-1.520	-1.545	8271.0820	-3.070	-2.672	-2.547	-2.475	-2.412
8265.1396	-1.834	-1.524	-1.511	-1.534	-1.551	8271.0853	-3.043	-2.675	-2.545	-2.490	-2.412
8265.1438	-1.819	-1.552	-1.521	-1.549	-1.572	8271.0929	-2.996	-2.679	-2.546	-2.487	-2.414
8265.1470	-1.871	-1.571	-1.536	-1.554	-1.575	8271.0961	-2.994	-2.654	-2.542	-2.487	-2.407
8265.1526	-1.996	-1.637	-1.596	-1.623	-1.645	8271.0990	-3.020	-2.679	-2.551	-2.492	-2.419
8265.1564	-2.015	-1.656	-1.594	-1.610	-1.644	8271.1036	-2.979	-2.668	-2.553	-2.482	-2.413
8265.1604	-2.053	-1.688	-1.620	-1.643	-1.677	8271.1068	-3.013	-2.672	-2.560	-2.490	-2.405
8265.1656	-2.148	-1.709	-1.663	-1.676	-1.688	8271.1102	-3.097	-2.666	-2.566	-2.492	-2.416
8265.1752	-2.168	-1.793	-1.724	-1.744	-1.738	8271.1442	-3.302	-2.664	-2.577	-2.494	-2.447
8265.1787	-2.246	-1.846	-1.758	-1.772	-1.778	8271.1497	-3.067	-2.703	-2.560	-2.496	-2.423
8265.1824	-2.314	-1.845	-1.779	-1.790	-1.801	8271.1531	-3.030	-2.672	-2.568	-2.493	-2.386
8265.1875	-2.470	-1.911	-1.850	-1.843	-1.848	8271.1593	-2.931	-2.656	-2.551	-2.479	-2.407
8265.1912	-2.562	-1.969	-1.863	-1.842	-1.850	8271.1628	-2.947	-2.670	-2.565	-2.479	-2.423
8265.1952	-2.552	-1.989	-1.915	-1.902	-1.884	8271.1660	-3.094	-2.696	-2.568	-2.488	-2.417
8265.2004	-2.511	-2.041	-1.968	-1.913	-1.920	8271.1747	-3.096	-2.679	-2.530	-2.495	-2.411
8265.2037	-2.616	-2.084	-1.989	-1.954	-1.959	8271.1782	-3.176	-2.686	-2.588	-2.498	-2.410

표 2-(b). 계속

JD Hel 2440000+	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$	JD Hel 2440000+	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$
8271.1876	-3.101	-2.656	-2.507	-2.505	-2.396	8275.0829	-3.024	-2.673	-2.566	-2.504	-2.430
8271.1911	-2.948	-2.692	-2.536	-2.524	-2.388	8275.0873	-3.071	-2.678	-2.565	-2.500	-2.419
8271.1969	-3.251	-2.688	-2.557	-2.480	-2.396	8275.0919	-3.049	-2.680	-2.553	-2.496	-2.410
8271.2002	-3.302	-2.716	-2.581	-2.478	-2.424	8275.0954	-3.031	-2.676	-2.561	-2.499	-2.407
8271.2040	-3.252	-2.733	-2.556	-2.494	-2.407	8275.1015	-3.074	-2.676	-2.546	-2.491	-2.390
8271.2088	-3.055	-2.652	-2.518	-2.490	-2.462	8275.1045	-3.075	-2.667	-2.538	-2.483	-2.385
8271.2124	-3.016	-2.686	-2.540	-2.521	-2.455	8275.1080	-3.056	-2.681	-2.545	-2.504	-2.404
8271.2156	-3.170	-2.680	-2.475	-2.505	-2.445	8275.1127	-3.081	-2.675	-2.555	-2.493	-2.391
8271.2202	-3.158	-2.696	-2.602	-2.489	-2.417	8275.1158	-3.044	-2.673	-2.547	-2.489	-2.383
8271.2234	-3.061	-2.694	-2.575	-2.468	-2.435	8275.1187	-3.034	-2.673	-2.551	-2.498	-2.405
8271.2268	-3.212	-2.713	-2.590	-2.500	-2.429	8275.1241	-3.056	-2.677	-2.534	-2.489	-2.388
8271.9521	-3.166	-2.706	-2.593	-2.544	-2.489	8275.1270	-3.020	-2.672	-2.551	-2.476	-2.399
8271.9557	-3.063	-2.697	-2.591	-2.549	-2.480	8275.1300	-2.979	-2.665	-2.553	-2.489	-2.387
8271.9588	-3.020	-2.688	-2.586	-2.559	-2.478	8275.1367	-3.064	-2.676	-2.560	-2.505	-2.380
8271.9635	-3.106	-2.721	-2.609	-2.585	-2.492	8275.1488	-3.028	-2.670	-2.552	-2.472	-2.385
8271.9676	-3.083	-2.683	-2.577	-2.547	-2.475	8275.1519	-3.072	-2.666	-2.533	-2.461	-2.391
8271.9714	-3.097	-2.688	-2.574	-2.546	-2.491	8275.1573	-3.119	-2.662	-2.528	-2.470	-2.386
8271.9771	-3.061	-2.712	-2.597	-2.548	-2.497	8275.1619	-3.027	-2.676	-2.538	-2.490	-2.403
8271.9806	-3.066	-2.705	-2.602	-2.541	-2.502	8275.1647	-3.119	-2.668	-2.553	-2.483	-2.387
8271.9964	-3.124	-2.701	-2.607	-2.540	-2.520	8275.1679	-3.115	-2.682	-2.551	-2.490	-2.424
8272.0000	-3.052	-2.717	-2.612	-2.544	-2.511	8275.1747	-3.085	-2.651	-2.549	-2.487	-2.407
8272.0040	-2.989	-2.686	-2.584	-2.526	-2.481	8275.1783	-3.065	-2.660	-2.554	-2.495	-2.409
8273.9817	-3.064	-2.689	-2.569	-2.505	-2.426	8275.1815	-2.984	-2.658	-2.531	-2.489	-2.397
8273.9849	-3.015	-2.658	-2.554	-2.492	-2.412	8275.1888	-2.993	-2.670	-2.554	-2.486	-2.370
8273.9884	-3.020	-2.660	-2.554	-2.501	-2.412	8275.1920	-3.070	-2.649	-2.535	-2.479	-2.373
8273.9933	-3.063	-2.684	-2.564	-2.503	-2.424	8275.2005	-3.091	-2.654	-2.540	-2.468	-2.422
8273.9971	-3.089	-2.691	-2.583	-2.500	-2.448	8275.2034	-3.074	-2.656	-2.558	-2.465	-2.473
8274.1410	-3.114	-2.689	-2.571	-2.493	-2.418	8275.2072	-3.016	-2.699	-2.537	-2.447	-2.430
8274.1443	-3.056	-2.682	-2.567	-2.498	-2.455	8275.2168	-3.140	-2.672	-2.579	-2.491	-2.439
8274.1494	-3.008	-2.670	-2.559	-2.489	-2.405	8275.2202	-3.088	-2.657	-2.530	-2.450	-2.420
8274.1550	-3.096	-2.675	-2.571	-2.515	-2.441	8281.9513	-3.106	-2.711	-2.586	-2.528	-2.474
8274.1585	-3.141	-2.689	-2.567	-2.536	-2.442	8281.9545	-3.023	-2.664	-2.564	-2.513	-2.460
8274.1624	-3.142	-2.674	-2.587	-2.533	-2.424	8281.9583	-2.976	-2.676	-2.570	-2.521	-2.461
8274.1672	-3.029	-2.673	-2.582	-2.512	-2.440	8281.9638	-2.968	-2.678	-2.572	-2.520	-2.456
8274.1703	-3.060	-2.680	-2.594	-2.491	-2.460	8281.9674	-2.993	-2.699	-2.575	-2.526	-2.467
8274.1756	-3.032	-2.709	-2.556	-2.519	-2.433	8281.9706	-2.968	-2.695	-2.591	-2.535	-2.466
8274.1807	-2.916	-2.693	-2.540	-2.525	-2.452	8281.9750	-3.025	-2.688	-2.588	-2.530	-2.448
8274.1851	-2.923	-2.671	-2.552	-2.531	-2.430	8281.9783	-3.052	-2.666	-2.561	-2.521	-2.438
8274.1887	-3.056	-2.690	-2.578	-2.540	-2.439	8281.9839	-3.011	-2.683	-2.556	-2.507	-2.462
8274.9523	-3.162	-2.703	-2.614	-2.554	-2.527	8282.0435	-3.020	-2.681	-2.566	-2.531	-2.432
8274.9554	-3.143	-2.711	-2.613	-2.553	-2.502	8282.0466	-3.001	-2.683	-2.557	-2.522	-2.428
8274.9591	-3.143	-2.711	-2.612	-2.561	-2.511	8282.0496	-3.010	-2.686	-2.582	-2.514	-2.454
8274.9643	-3.131	-2.716	-2.616	-2.568	-2.507	8282.0582	-3.064	-2.693	-2.579	-2.511	-2.439
8274.9674	-3.083	-2.702	-2.607	-2.555	-2.506	8282.0621	-3.012	-2.659	-2.559	-2.499	-2.448
8274.9725	-3.069	-2.721	-2.594	-2.555	-2.499	8282.0651	-3.057	-2.683	-2.577	-2.508	-2.447
8274.9774	-3.042	-2.713	-2.595	-2.545	-2.491	8282.0698	-3.156	-2.699	-2.581	-2.526	-2.440
8274.9806	-3.061	-2.723	-2.610	-2.556	-2.502	8282.0726	-3.123	-2.675	-2.567	-2.503	-2.445
8274.9845	-3.061	-2.722	-2.605	-2.551	-2.504	8282.0775	-3.108	-2.687	-2.561	-2.513	-2.454
8275.0306	-3.103	-2.697	-2.578	-2.533	-2.461	8282.0838	-3.069	-2.678	-2.562	-2.518	-2.450
8275.0406	-3.093	-2.712	-2.585	-2.515	-2.459	8282.0866	-3.064	-2.658	-2.561	-2.516	-2.427
8275.0438	-3.048	-2.676	-2.569	-2.515	-2.471	8282.0901	-3.060	-2.675	-2.560	-2.505	-2.406
8275.0470	-3.042	-2.670	-2.569	-2.513	-2.459	8282.0946	-3.028	-2.680	-2.559	-2.480	-2.418
8275.0519	-3.042	-2.688	-2.575	-2.516	-2.455	8282.0984	-3.021	-2.677	-2.547	-2.480	-2.409
8275.0546	-3.069	-2.693	-2.576	-2.513	-2.453	8282.1018	-3.066	-2.697	-2.563	-2.518	-2.442
8275.0577	-3.111	-2.690	-2.572	-2.507	-2.444	8282.1082	-3.104	-2.692	-2.581	-2.535	-2.443
8275.0642	-3.048	-2.689	-2.565	-2.506	-2.428	8282.1436	-3.089	-2.623	-2.517	-2.460	-2.405
8275.0672	-3.034	-2.681	-2.563	-2.510	-2.423	8282.1499	-2.888	-2.587	-2.502	-2.455	-2.371
8275.0710	-2.997	-2.677	-2.552	-2.507	-2.411	8282.1534	-2.951	-2.595	-2.488	-2.431	-2.319
8275.0768	-3.011	-2.691	-2.567	-2.504	-2.421	8282.1588	-2.940	-2.560	-2.471	-2.378	-2.310
8275.0799	-3.022	-2.683	-2.562	-2.497	-2.432	8282.1624	-2.870	-2.568	-2.461	-2.384	-2.325

표 2-(b). 계속

JD HeI	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$	JD HeI	$\Delta U$	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$	$\Delta I$
2440000+						2440000+					
8282.1727	-2.810	-2.523	-2.449	-2.394	-2.313	8288.0332	-1.905	-1.584	-1.541	-1.591	-1.595
8282.1767	-2.772	-2.426	-2.392	-2.327	-2.305	8288.0378	-1.908	-1.572	-1.510	-1.571	-1.587
8282.1807	-2.878	-2.525	-2.363	-2.363	-2.250	8288.0407	-1.856	-1.543	-1.510	-1.558	-1.577
8282.1878	-2.675	-2.438	-2.331	-2.316	-2.197	8288.0441	-1.880	-1.518	-1.503	-1.547	-1.576
8282.1910	-2.739	-2.410	-2.280	-2.330	-2.234	8288.0491	-1.910	-1.520	-1.472	-1.532	-1.523
8282.1947	-2.822	-2.354	-2.304	-2.250	-2.219	8288.0522	-1.881	-1.509	-1.475	-1.526	-1.544
8283.9531	-3.103	-2.697	-2.597	-2.567	-2.495	8288.0556	-1.865	-1.500	-1.469	-1.510	-1.549
8283.9573	-3.089	-2.697	-2.598	-2.573	-2.502	8288.0604	-1.835	-1.493	-1.451	-1.512	-1.529
8283.9621	-3.043	-2.721	-2.594	-2.562	-2.488	8288.0634	-1.841	-1.501	-1.466	-1.522	-1.531
8283.9667	-3.062	-2.711	-2.614	-2.585	-2.499	8288.0679	-1.864	-1.517	-1.470	-1.525	-1.547
8283.9697	-3.075	-2.722	-2.606	-2.584	-2.498	8288.0722	-1.934	-1.537	-1.495	-1.540	-1.564
8283.9731	-3.080	-2.736	-2.621	-2.575	-2.497	8288.1211	-2.301	-1.882	-1.814	-1.804	-1.809
8284.0768	-3.214	-2.658	-2.593	-2.557	-2.492	8288.1239	-2.321	-1.917	-1.860	-1.805	-1.836
8284.0800	-3.233	-2.692	-2.613	-2.550	-2.480	8288.1270	-2.391	-1.901	-1.879	-1.832	-1.859
8284.0831	-3.156	-2.720	-2.634	-2.557	-2.507	8288.1424	-2.398	-2.035	-2.014	-1.944	-1.944
8284.0884	-3.010	-2.716	-2.579	-2.551	-2.500	8288.1454	-2.627	-2.107	-2.054	-1.979	-1.957
8284.0911	-3.045	-2.724	-2.589	-2.552	-2.531	8288.1489	-2.595	-2.109	-2.081	-2.007	-1.972
8284.0945	-3.141	-2.731	-2.629	-2.565	-2.516	8288.1597	-2.599	-2.188	-2.114	-2.071	-2.040
8284.0990	-3.095	-2.713	-2.584	-2.581	-2.477	8288.1645	-2.687	-2.242	-2.151	-2.114	-2.041
8284.1019	-3.095	-2.711	-2.587	-2.566	-2.508	8288.1673	-2.674	-2.272	-2.184	-2.129	-2.096
8284.1050	-3.059	-2.698	-2.595	-2.561	-2.487	8288.1702	-2.757	-2.265	-2.165	-2.095	-2.052
8284.1092	-3.024	-2.717	-2.622	-2.597	-2.507	8288.1753	-2.765	-2.280	-2.207	-2.194	-2.184
8284.1123	-3.010	-2.721	-2.599	-2.556	-2.530	8288.1781	-2.996	-2.307	-2.197	-2.218	-2.210
8284.1156	-3.004	-2.704	-2.610	-2.559	-2.485	8288.1813	-2.991	-2.338	-2.220	-2.187	-2.214
8284.1201	-2.991	-2.689	-2.629	-2.538	-2.513	8288.1859	-2.874	-2.461	-2.349	-2.247	-2.160
8284.1230	-3.076	-2.694	-2.601	-2.569	-2.501	8288.1891	-3.172	-2.436	-2.287	-2.263	-2.242
8284.1260	-3.124	-2.685	-2.581	-2.575	-2.499	8288.9751	-3.051	-2.704	-2.598	-2.549	-2.496
8285.9638	-3.069	-2.714	-2.596	-2.556	-2.483	8288.9785	-3.040	-2.701	-2.591	-2.545	-2.484
8285.9687	-3.060	-2.708	-2.586	-2.545	-2.473	8288.9825	-3.065	-2.707	-2.591	-2.550	-2.491
8285.9724	-3.040	-2.712	-2.578	-2.526	-2.429	8288.9875	-3.073	-2.700	-2.599	-2.546	-2.479
8285.9789	-3.029	-2.696	-2.591	-2.560	-2.486	8288.9911	-3.088	-2.692	-2.605	-2.549	-2.475
8285.9819	-3.054	-2.693	-2.603	-2.549	-2.490	8288.9947	-3.069	-2.695	-2.589	-2.548	-2.490
8285.9849	-3.142	-2.695	-2.603	-2.540	-2.502	8288.9993	-3.100	-2.684	-2.587	-2.549	-2.495
8285.9913	-3.131	-2.700	-2.604	-2.545	-2.496	8289.0027	-3.108	-2.688	-2.590	-2.547	-2.493
8285.9948	-3.130	-2.709	-2.605	-2.550	-2.497	8289.0061	-3.098	-2.703	-2.590	-2.536	-2.495
8285.9986	-3.056	-2.708	-2.608	-2.537	-2.493	8289.0107	-3.092	-2.713	-2.593	-2.549	-2.499
8286.0028	-3.011	-2.701	-2.571	-2.533	-2.470	8289.0136	-3.067	-2.691	-2.575	-2.541	-2.500
8286.0055	-3.057	-2.715	-2.597	-2.543	-2.481	8289.0208	-3.101	-2.688	-2.588	-2.550	-2.479
8286.0081	-3.049	-2.718	-2.590	-2.550	-2.479	8289.1406	-3.287	-2.727	-2.626	-2.550	-2.498
8286.1721	-3.242	-2.686	-2.604	-2.563	-2.446	8289.1437	-3.185	-2.721	-2.597	-2.540	-2.506
8287.9413	-2.748	-2.357	-2.244	-2.212	-2.153	8289.1600	-3.036	-2.732	-2.614	-2.559	-2.438
8287.9461	-2.720	-2.317	-2.194	-2.176	-2.122	8289.1649	-2.954	-2.759	-2.635	-2.533	-2.432
8287.9511	-2.663	-2.277	-2.187	-2.155	-2.093	8289.1680	-2.925	-2.708	-2.617	-2.537	-2.433
8287.9564	-2.586	-2.236	-2.135	-2.109	-2.057	8289.1719	-2.984	-2.688	-2.626	-2.537	-2.492
8287.9598	-2.588	-2.224	-2.127	-2.100	-2.045	8289.1776	-3.016	-2.714	-2.653	-2.564	-2.439
8287.9629	-2.537	-2.168	-2.073	-2.061	-2.016	8290.9559	-1.994	-1.585	-1.546	-1.609	-1.600
8287.9735	-2.482	-2.123	-2.035	-2.016	-1.974	8290.9608	-2.039	-1.651	-1.590	-1.635	-1.659
8287.9800	-2.349	-2.010	-1.955	-1.938	-1.921	8290.9652	-2.097	-1.690	-1.640	-1.646	-1.657
8287.9855	-2.337	-1.999	-1.917	-1.904	-1.889	8290.9730	-2.085	-1.738	-1.686	-1.686	-1.692
8287.9904	-2.328	-1.968	-1.890	-1.858	-1.871	8290.9761	-2.106	-1.822	-1.748	-1.737	-1.730
8287.9937	-2.311	-1.934	-1.851	-1.843	-1.842	8290.9796	-2.144	-1.829	-1.767	-1.766	-1.761
8287.9969	-2.230	-1.881	-1.826	-1.823	-1.816	8290.9844	-2.228	-1.842	-1.792	-1.783	-1.775
8288.0012	-2.117	-1.835	-1.761	-1.781	-1.783	8290.9874	-2.285	-1.886	-1.831	-1.800	-1.802
8288.0043	-2.097	-1.814	-1.741	-1.758	-1.760	8290.9903	-2.246	-1.940	-1.872	-1.842	-1.831
8288.0088	-2.102	-1.781	-1.720	-1.740	-1.738	8290.9943	-2.265	-1.972	-1.890	-1.879	-1.860
8288.0147	-2.055	-1.724	-1.674	-1.702	-1.707	8290.9969	-2.300	-1.983	-1.911	-1.892	-1.869
8288.0176	-2.052	-1.705	-1.654	-1.690	-1.691	8291.0001	-2.279	-2.002	-1.918	-1.900	-1.888
8288.0208	-2.076	-1.690	-1.643	-1.670	-1.670	8291.0041	-2.353	-2.058	-1.977	-1.958	-1.916
8288.0256	-2.056	-1.645	-1.608	-1.632	-1.641	8291.0381	-2.696	-2.324	-2.234	-2.197	-2.160
8288.0284	-1.947	-1.613	-1.580	-1.615	-1.619	8291.0408	-2.657	-2.354	-2.264	-2.199	-2.163

표 2-(b). 계속

<i>JD HeI</i> 2440000+	<i>ΔU</i>	<i>ΔB</i>	<i>ΔV</i>	<i>ΔR</i>	<i>ΔI</i>	<i>JD HeI</i> 2440000-	<i>ΔU</i>	<i>ΔB</i>	<i>ΔV</i>	<i>ΔR</i>	<i>ΔI</i>
8291.0480	-3.140	-2.381	-2.287	-2.230	-2.180	8300.9997	-3.101	-2.671	-2.566	-2.505	-2.411
8291.0509	-3.246	-2.396	-2.286	-2.246	-2.200	8301.0028	-3.096	-2.679	-2.561	-2.509	-2.405
8291.0539	-3.044	-2.430	-2.330	-2.261	-2.223	8301.0067	-3.139	-2.694	-2.564	-2.545	-2.429
8291.0581	-2.935	-2.466	-2.371	-2.309	-2.235	8301.0115	-3.033	-2.689	-2.559	-2.501	-2.416
8291.0610	-3.057	-2.496	-2.409	-2.316	-2.271	8301.0151	-3.065	-2.699	-2.574	-2.499	-2.416
8292.9779	-3.085	-2.718	-2.600	-2.576	-2.503	8301.0189	-3.090	-2.686	-2.560	-2.496	-2.405
8292.9809	-3.082	-2.707	-2.603	-2.573	-2.503	8301.0234	-3.135	-2.704	-2.569	-2.516	-2.435
8292.9837	-3.151	-2.695	-2.603	-2.567	-2.504	8301.0260	-3.091	-2.700	-2.560	-2.527	-2.439
8292.9883	-3.133	-2.694	-2.590	-2.564	-2.494	8301.0287	-3.052	-2.685	-2.577	-2.507	-2.423
8292.9912	-3.076	-2.719	-2.601	-2.562	-2.494	8301.0326	-3.100	-2.706	-2.579	-2.517	-2.439
8292.9942	-3.056	-2.698	-2.594	-2.546	-2.493	8301.0356	-3.033	-2.687	-2.553	-2.516	-2.413
8292.9985	-3.119	-2.715	-2.607	-2.546	-2.517	8301.0384	-3.013	-2.729	-2.587	-2.552	-2.430
8293.0014	-3.088	-2.715	-2.611	-2.544	-2.506	8301.0434	-2.897	-2.691	-2.575	-2.520	-2.446
8293.0350	-3.089	-2.698	-2.593	-2.553	-2.515	8301.0460	-2.904	-2.695	-2.581	-2.514	-2.447
8293.0378	-3.007	-2.706	-2.592	-2.553	-2.499	8301.0489	-3.048	-2.716	-2.577	-2.512	-2.426
8293.0411	-3.001	-2.706	-2.591	-2.554	-2.528	8306.9294	-3.128	-2.713	-2.601	-2.580	-2.518
8293.0453	-3.049	-2.697	-2.604	-2.538	-2.519	8306.9323	-3.111	-2.712	-2.594	-2.562	-2.485
8293.0487	-3.024	-2.710	-2.600	-2.545	-2.509	8306.9401	-3.042	-2.689	-2.606	-2.550	-2.492
8293.0520	-3.055	-2.708	-2.607	-2.530	-2.497	8306.9887	-3.087	-2.688	-2.574	-2.539	-2.496
8293.0563	-3.121	-2.704	-2.586	-2.533	-2.499	8306.9923	-3.065	-2.662	-2.605	-2.536	-2.498
8293.0591	-3.105	-2.717	-2.598	-2.549	-2.503	8306.9956	-3.034	-2.694	-2.617	-2.541	-2.481
8293.0618	-3.111	-2.719	-2.602	-2.561	-2.496	8306.9972	-2.988	-2.688	-2.607	-2.557	-2.497
8293.0658	-3.043	-2.705	-2.596	-2.565	-2.502	8307.0024	-3.037	-2.692	-2.589	-2.548	-2.497
8293.1034	-3.091	-2.698	-2.616	-2.560	-2.539	8307.0053	-3.102	-2.718	-2.589	-2.553	-2.524
8293.1066	-3.066	-2.701	-2.605	-2.539	-2.495	8307.0083	-3.089	-2.697	-2.615	-2.554	-2.512
8293.1099	-3.167	-2.700	-2.605	-2.564	-2.479	8307.0130	-3.118	-2.714	-2.615	-2.575	-2.515
8293.1151	-2.987	-2.667	-2.584	-2.538	-2.485	8307.0159	-3.088	-2.705	-2.595	-2.560	-2.475
8293.1184	-2.987	-2.716	-2.607	-2.542	-2.508	8307.0185	-3.065	-2.712	-2.599	-2.540	-2.503
8293.1216	-3.110	-2.723	-2.612	-2.548	-2.495	8307.0258	-3.151	-2.730	-2.614	-2.577	-2.525
8293.1457	-2.959	-2.700	-2.574	-2.562	-2.493	8312.0010	-3.106	-2.692	-2.601	-2.547	-2.470
8293.1488	-2.897	-2.713	-2.600	-2.555	-2.474	8312.0040	-3.077	-2.683	-2.592	-2.558	-2.480
8293.1557	-2.980	-2.692	-2.602	-2.527	-2.464	8312.0077	-3.026	-2.698	-2.585	-2.542	-2.480
8293.1606	-3.058	-2.712	-2.589	-2.553	-2.435	8312.0123	-3.039	-2.675	-2.555	-2.548	-2.471
8293.1638	-3.335	-2.720	-2.583	-2.508	-2.487	8312.0151	-3.039	-2.683	-2.560	-2.550	-2.445
8293.1672	-3.286	-2.684	-2.573	-2.550	-2.465	8312.0184	-3.057	-2.696	-2.585	-2.525	-2.460
8295.9835	-3.167	-2.710	-2.604	-2.568	-2.492	8312.0252	-3.067	-2.688	-2.576	-2.545	-2.470
8295.9866	-3.095	-2.715	-2.609	-2.577	-2.497	8312.0280	-3.099	-2.675	-2.603	-2.559	-2.458
8295.9906	-3.114	-2.713	-2.618	-2.560	-2.485	8312.0309	-3.083	-2.693	-2.587	-2.551	-2.454
8295.9945	-3.094	-2.709	-2.603	-2.573	-2.477	8312.0355	-3.025	-2.695	-2.583	-2.536	-2.434
8295.9973	-3.089	-2.708	-2.610	-2.579	-2.506	8312.0385	-2.990	-2.681	-2.571	-2.531	-2.446
8296.0000	-3.096	-2.711	-2.614	-2.566	-2.514	8312.0419	-3.097	-2.687	-2.571	-2.556	-2.458
8296.1155	-3.219	-2.729	-2.619	-2.563	-2.528	8312.0489	-3.091	-2.675	-2.555	-2.538	-2.495
8296.1184	-3.122	-2.738	-2.619	-2.583	-2.506	8312.0518	-3.042	-2.694	-2.583	-2.544	-2.472
8296.1218	-3.057	-2.695	-2.605	-2.557	-2.509	8312.0558	-3.046	-2.681	-2.592	-2.545	-2.478
8296.1261	-3.007	-2.684	-2.587	-2.567	-2.478	8313.0029	-2.989	-2.723	-2.646	-2.572	-2.545
8296.1289	-3.016	-2.693	-2.578	-2.548	-2.478	8313.0059	-3.017	-2.701	-2.623	-2.560	-2.534
8299.0462	-3.072	-2.705	-2.594	-2.548	-2.483	8313.0091	-3.060	-2.719	-2.611	-2.563	-2.496
8299.0489	-3.015	-2.695	-2.582	-2.540	-2.479	8313.0139	-3.046	-2.687	-2.591	-2.530	-2.494
8299.0522	-3.046	-2.709	-2.603	-2.534	-2.484	8313.0166	-3.084	-2.667	-2.599	-2.544	-2.510
8299.0566	-3.067	-2.712	-2.614	-2.551	-2.515	8313.0393	-3.053	-2.706	-2.589	-2.564	-2.486
8299.0596	-3.034	-2.691	-2.602	-2.559	-2.508	8313.0439	-3.047	-2.729	-2.617	-2.576	-2.482
8299.0625	-3.020	-2.699	-2.610	-2.558	-2.506	8313.0468	-3.055	-2.712	-2.602	-2.569	-2.471
8299.0667	-3.057	-2.697	-2.606	-2.522	-2.491	8313.0497	-3.065	-2.722	-2.599	-2.557	-2.491
8299.0695	-3.030	-2.683	-2.590	-2.512	-2.466	8313.0542	-2.968	-2.668	-2.598	-2.550	-2.507
8299.0728	-3.011	-2.699	-2.600	-2.534	-2.462	8313.0569	-2.980	-2.689	-2.597	-2.553	-2.515
8299.1579	-3.080	-2.657	-2.576	-2.531	-2.463	8313.0599	-3.075	-2.686	-2.605	-2.552	-2.501
8299.1613	-2.995	-2.646	-2.575	-2.537	-2.447	8313.0651	-3.081	-2.696	-2.603	-2.541	-2.519
8299.1658	-2.842	-2.661	-2.576	-2.542	-2.473	8313.0679	-3.090	-2.676	-2.571	-2.547	-2.526
8299.1733	-3.157	-2.651	-2.525	-2.512	-2.450	8313.0719	-3.115	-2.687	-2.611	-2.581	-2.471
8299.1762	-3.256	-2.634	-2.567	-2.472	-2.440	8313.0761	-3.164	-2.703	-2.630	-2.564	-2.488

표 2-(b). 계속

<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>ΔU</i>	<i>ΔB</i>	<i>ΔV</i>	<i>ΔR</i>	<i>ΔI</i>	<i>JD Hel</i> 2440000+	<i>ΔU</i>	<i>ΔB</i>	<i>ΔV</i>	<i>ΔR</i>	<i>ΔI</i>
8313.0823	-3.139	-2.686	-2.563	-2.529	-2.445	8319.0313	-2.989	-2.701	-2.599	-2.524	-2.489
8316.9859	-3.014	-2.679	-2.588	-2.506	-2.449	8319.0341	-3.023	-2.694	-2.570	-2.530	-2.461
8316.9887	-2.957	-2.630	-2.527	-2.453	-2.397	8319.0369	-2.969	-2.689	-2.589	-2.548	-2.457
8316.9920	-3.024	-2.688	-2.580	-2.510	-2.442	8319.0412	-3.012	-2.703	-2.599	-2.558	-2.468
8316.9965	-3.046	-2.699	-2.568	-2.509	-2.439	8319.0444	-2.994	-2.695	-2.580	-2.538	-2.458
8316.9995	-3.055	-2.696	-2.563	-2.491	-2.417	8319.0480	-2.942	-2.668	-2.598	-2.551	-2.432
8317.0021	-3.083	-2.698	-2.564	-2.518	-2.423	8319.0522	-3.055	-2.689	-2.581	-2.562	-2.476
8317.0069	-3.039	-2.680	-2.556	-2.508	-2.433	8319.0551	-3.019	-2.698	-2.599	-2.544	-2.467
8317.0098	-3.062	-2.709	-2.568	-2.520	-2.443	8319.0577	-2.957	-2.698	-2.589	-2.535	-2.450
8317.0127	-3.051	-2.677	-2.560	-2.501	-2.431	8319.9573	-3.092	-2.698	-2.575	-2.510	-2.439
8317.0186	-3.040	-2.677	-2.568	-2.517	-2.439	8319.9603	-3.062	-2.686	-2.562	-2.526	-2.433
8317.0217	-3.045	-2.690	-2.552	-2.518	-2.437	8319.9631	-3.070	-2.670	-2.556	-2.506	-2.427
8317.0245	-3.078	-2.677	-2.574	-2.524	-2.430	8319.9676	-3.116	-2.678	-2.576	-2.505	-2.448
8317.0876	-3.199	-2.638	-2.515	-2.490	-2.394	8319.9703	-3.098	-2.673	-2.582	-2.506	-2.437
8317.0905	-3.161	-2.655	-2.524	-2.498	-2.459	8319.9732	-3.083	-2.703	-2.602	-2.536	-2.445
8317.0935	-3.090	-2.651	-2.571	-2.469	-2.414	8319.9776	-3.044	-2.681	-2.587	-2.529	-2.456
8317.0978	-3.035	-2.677	-2.565	-2.501	-2.392	8319.9804	-3.132	-2.702	-2.583	-2.524	-2.466
8317.1007	-3.016	-2.684	-2.555	-2.470	-2.421	8319.9832	-3.143	-2.698	-2.582	-2.493	-2.445
8317.1036	-3.136	-2.690	-2.568	-2.541	-2.449	8319.9921	-3.024	-2.685	-2.565	-2.513	-2.446
8317.1078	-3.165	-2.644	-2.577	-2.534	-2.494	8319.9958	-3.053	-2.709	-2.571	-2.542	-2.435
8318.9600	-3.067	-2.666	-2.587	-2.549	-2.482	8320.0001	-3.028	-2.684	-2.577	-2.534	-2.446
8318.9629	-3.141	-2.710	-2.594	-2.567	-2.492	8320.0028	-2.959	-2.680	-2.573	-2.526	-2.427
8318.9659	-3.142	-2.726	-2.609	-2.560	-2.520	8320.0054	-2.993	-2.709	-2.584	-2.515	-2.428
8318.9705	-3.016	-2.712	-2.601	-2.573	-2.502	8320.0327	-3.135	-2.706	-2.610	-2.551	-2.493
8318.9734	-3.055	-2.717	-2.613	-2.583	-2.491	8320.0353	-3.012	-2.687	-2.579	-2.522	-2.454
8318.9761	-3.087	-2.722	-2.622	-2.578	-2.504	8320.0380	-2.975	-2.680	-2.553	-2.506	-2.440
8318.9836	-3.097	-2.725	-2.596	-2.554	-2.509	8320.0421	-3.042	-2.685	-2.582	-2.530	-2.434
8318.9878	-3.118	-2.699	-2.600	-2.555	-2.483	8320.0449	-3.069	-2.699	-2.595	-2.526	-2.471
8318.9918	-3.130	-2.750	-2.587	-2.568	-2.503	8320.0475	-2.957	-2.697	-2.584	-2.517	-2.457

표 3. 이 연구의 관측값으로 결정한 Algol의 광도극심시각

<i>Min I/II (JD Hel)</i>	<i>E</i>	<i>O - C</i>
2447898.0938	24203	-0.0345
2447908.1014	24206.5	-0.0625
2448265.1205	24332	-0.072
2448275.146	24335.5	-0.082
2448288.0598	24340	-0.070

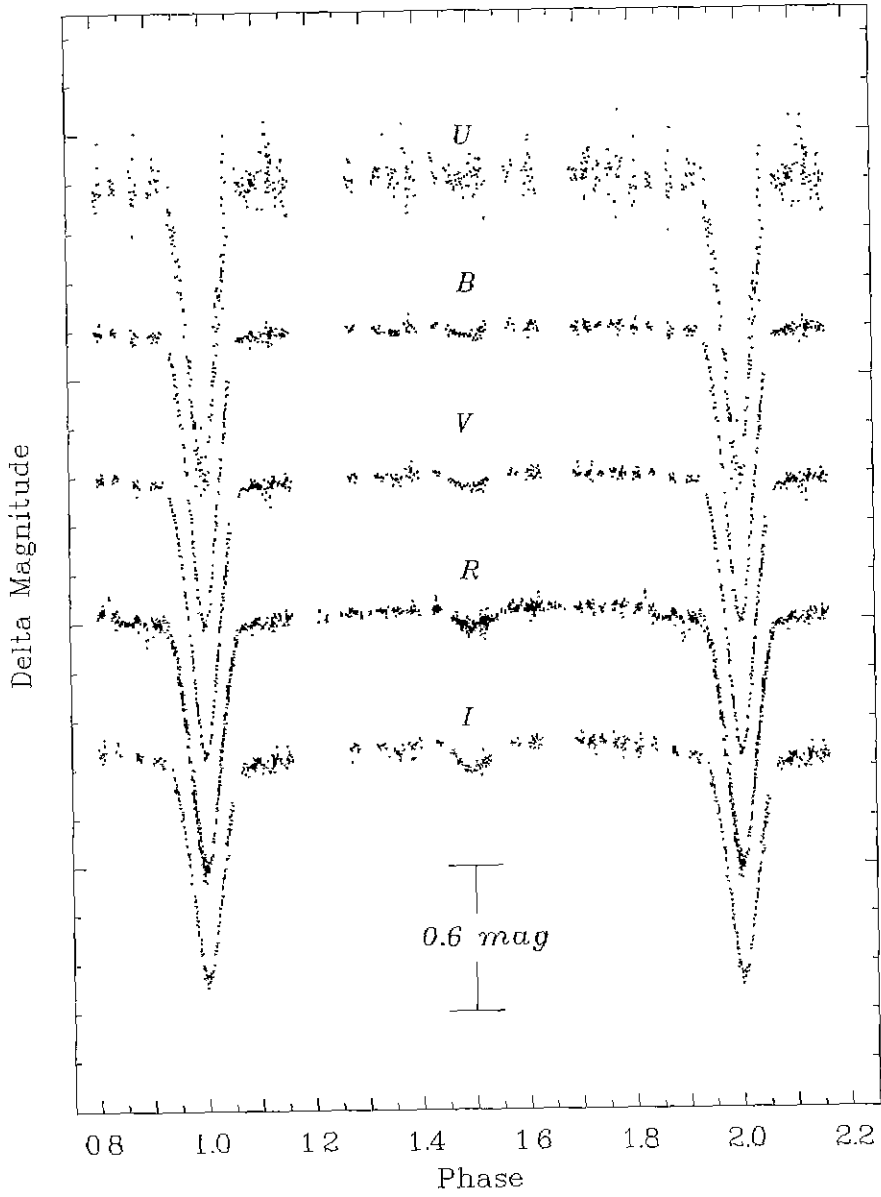


그림 2. Algol의 *UBVRI* 광도곡선 (1988-1991)

## 3. 광도곡선의 분석

Algol의 광도곡선을 Wilson-Devinney (WD) 방법으로 분석하기 위하여 WD 1993 version을 사용하였고, 입력자료를 만들기 위하여 표 2에 제시한 각 관측치의 관측시각을 식(1)에 의해 위상 값으로 바꾸고 등급을 광도로 바꾸었다. 데이터의 분포에 따라 전 위상 구간을 50여개 구간으로 적절히 나누고 (식 구간은 세밀하게 나누었음) 각 위상구간에 속하는 관측치들의 위상 값과 광도 값들의 평균치를 취하여 대표점(normal point)들을 만들었고 그 갯수를 이 대표점들의 가중치(weight)로 사용하였다. *UBVRI* 각 광도곡선 별로 얻은 50여개의 대표점들을 가지고 그래프를 그려보면 그림 3과 같다. DC (WD code 중에 differential correction 하는 프로그램)의 입력 변수 중에 NOISE=2로, SIGMA는 관측치 정밀도 (제 2장 참조)와 관측량을 참고하여 *UBVRI* 별로 0.04, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01을 사용했다.

우리는 5종 (*UBVRI*)의 광도곡선을 동시에 만족하는 해 (solution)를 구하려고 시도 했다. DC로 해를 구하는데 있어서 각 조정인수(adjustable parameter)의 값이 계산을 거듭함에 따라 점점 수렴해야하는데 실질적으로 수렴시키기가 어렵거나 전혀 수렴시킬 수 없을 때가 있다. 또한 DC의 원리상 여러 세트의 해 (solution)로 수렴시킬 수도 있는 것이다. 그렇기 때문에 적절한 초기값을 잡는 것은 아주 중요하다. 철저히 관측적 사실에 충실해야 하기 때문에 Cugier and Molaro (1983)이 분광측광 (spectrophotometry) 관측에 의해 얻은  $T_1 = 12,000$ 와 같은 확실한 것들은 고정인자의 값으로, 좀 확실하지는 않지만 다른 연구자들이 제시한 값이 있으면 그것들을 초기값으로 취하였다. 아울러 우리의 광도곡선에 더욱 충실한 초기값을 찾기 위하여 문헌에서 취한 값들을 가지고 LC (WD code 중에 이론적인 광도를 계산하는 프로그램)로 이론적인 광도를 계산하고 이것이 관측치와 어느 부분이 일치하고 또는 일치하지 않는가를 그래프를 그려 비교 판단하면서 필요한 만큼 각 인수의 값을 조정하였다. 특히 질량비  $q = m_2/m_1$  (1은 Algol A, hot star, primary star를 뜻하고, 2는 Algol B, cool star, secondary star를 뜻함) 값은 쌍성의 Roche lobe의 모양을 좌우하는 중요한 인자이기는 하나 Algol AB의 시선속도곡선이 단일곡선이므로 확실한 질량비를 모르고 있음으로, 이의 적절한 초기값을 얻기 위해  $q$ -search (Leung *et al.* 1985)를 하였다. Algol은 secondary가 Roche lobe를 채우고 있는 semi-detached system이기 때문에 Mode는 5를 선택했고, 이때  $i, T_2, A_2, \Omega_1, L_1, l_3$ 를 조정인수로 하였으며, Hill *et al.* (1971)는  $q = 0.217$ , Wilson *et al.* (1972)은  $q = 0.200$ , Kim (1989)은  $q = 0.227$ 로 했음을 감안하여 0.210, 0.215, 0.220, 0.224, 0.227, 0.234, 0.241, 0.250, 0.260, 0.270, 0.280 등의 각 경우에, *BVRI* 4종의 대표점들을 동시에 가장 잘 대표하는 해 (WD code로 한번 계산한 결과가 각 조정인수 별로 추천하는 보정 양의 절대값이 probable error 양 보다 적었을 때의 해를 취했음)를 구하고 거기서  $\sum = \sum \dot{\omega}(l_{obs} - l_{cal})^2$ 를 얻었다. 그 결과를  $q - \sum$  평면에 그려 보면 그림 4와 같으며 여기서  $\sum$ 가 최소 일때  $q = 0.227$ 을 얻었다.

앞에서 사용한 고정인수 6개에  $e, q$ 를 추가하여 모두 8개를 조정인수로 하여 *UBVRI* 5개 광도곡선을 동시에 만족하는 해를 구하였는데, 이때  $q = 0.227$ 을 초기 값으로 놓았으며, 우리가 사용한 고정인수들은  $g_1, g_2, T_1, A_1, X_1, X_2$  등이다. 그 값들 중에  $g_1, g_2, A_1$ 은 각각 1.00, 0.20, 1.00 으로 가정하였고, 각 파장별  $X_1, X_2$ 의 값은 Al-Naimy (1978)의 표에 나타난 값으로부터 내삽한 것을 사용하였다. 우리의 결과를 다른 연구자들의 결과와 함께 표 4에 정리하였다. 이 표에 정리한 값들의 대부분은 DC output 화일에서 직접 가져온 것이지만  $l_1, l_2, l_{1err}, l_{2err}, r_{2err}$  등은 특별히 아래와 같은 식으로 계산한 것이다. 이들 식에서  $L_1, L_2, L_{1err}, l_3, l_{3err}, \delta r / \delta \Omega_2$  값은 역시 DC output 화일에서 가져온 것이다. 우선  $l_1, l_2$ 는  $l_1 + l_2 + l_3 = 1$ 로 정의하여

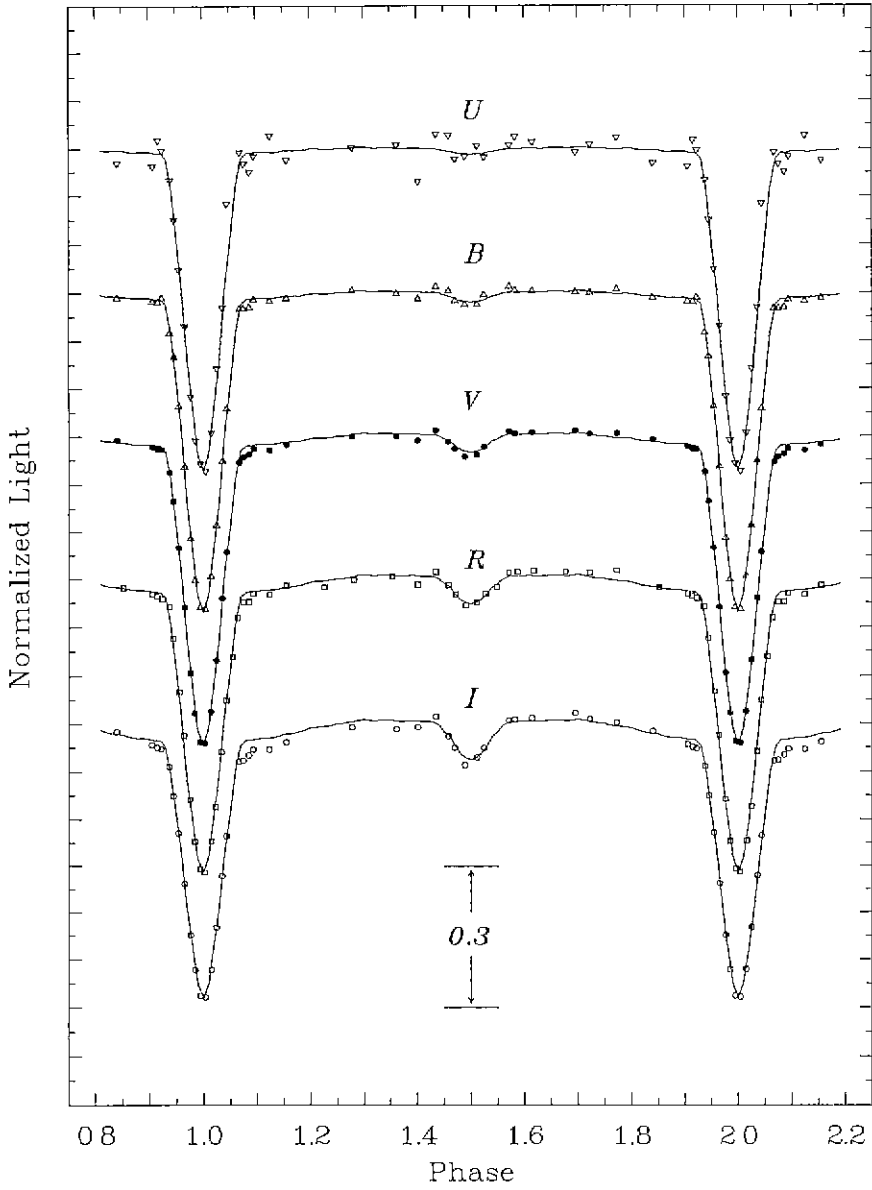


그림 3. Algol의 광도곡선. 여러가지 모양으로 표시된 점들은 대표값들이고, 실선으로 표시된 곡선은 우리의 해로부터 계산한 이론적인 곡선이다



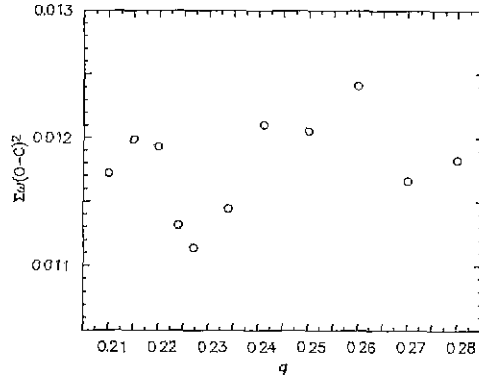


그림 4. 가중치를 둔 편차 제곱의 합과 질량비 ( $q$ ). 질량비가  $q = -0.277$ 일때 그 합의 값이 최소임을 보여 주고 있다.

$$l_1 = \frac{L_1}{L_1 + L_2}(1 - l_3), \quad l_2 = \frac{L_2}{L_1 + L_2}(1 - l_3) \quad (3)$$

으로 계산하였다.  $l_{1err}, l_{2err}$  는 상대오차를  $L_{2err} = L_{1err}$  로 보고

$$l_{1err} = \frac{L_1 + L_{1err}}{L_1 + L_{1err} + L_2 + L_{2err}}(1 - l_3 - l_{3err}) - l_1 \quad (4)$$

$$l_{2err} = \frac{L_2 + L_{2err}}{L_1 + L_{1err} + L_2 + L_{2err}}(1 - l_3 - l_{3err}) - l_2 \quad (5)$$

에 의해 계산 하였다.

우리가 얻은 해가 관측치들을 얼마나 잘 대표하고 있는가를 알아 보기 위해서 우리가 얻은 해 (표 4 참조)의 각 값들을 입력 데이터로 사용하여 LC로 이론적인 광도를 계산 하였다. 이 광도를 가지고 그림 3에 광도곡선을 실선으로 그려 넣었다. 위상이 0.1 부근에서를 제외하고는 대부분의 위상 구간에서 이론적인 광도곡선과 관측치의 대표점들이 잘 맞고 있다. 특히 0.1 위상 근처에서 관측치가 이론치 보다 어둡게 보이는 것들은 별의 표면 밝기가 고르지 못하기 때문으로 해석된다.

#### 4. 토의와 검토

이미 오래 전 부터 3중쌍성으로 알려진 Algol의 시선속도 관측과 분석으로 이의 질량 함수  $f(m)$ 을 알고 있었으나 경사각  $i$ 를 모르면 Algol 각 성분의 질량을 결정할 수 없다.

우리는 광도곡선의 해로부터 가져온  $i = 82.^\circ 47$ ,  $q = 0.227$ 과 Hill *et al.* (1971)의  $f(m)_1 = 0.0254m_\odot$ ,  $K_{12} = 12.0\text{km/sec}$ ,  $K_3 = 31.6\text{km/sec}$ 을 식(6)

표 4. Algol 광도곡선의 해 (Wilson-Devinney solution)

parameter	Wilson et al. (1972)	Kim (1989)	Jeong et al. (This work)
$i$ (degree)	82.42 ± 0.038	82.31 ± 0.14	82.47 ± 0.0601
$e$	---	---	0.0000 ± 0.0005
$g_1$	1.000	1.00	1.000
$g_2$	0.200	0.20 ± 0.24	0.200
$T_1$	12,800	12,000	12000
$T_2$	5,334 ± 179	4,888 ± 96	4884 ± 60
$A_1$	1.000	1.00	1.000
$A_2$	0.515 ± 0.023	0.46 ± 0.03	0.700 ± 0.029
$Q_1$	4.751 ± 0.022	5.1507 ± 0.0093	5.0077 ± 0.0292
$Q_2$	2.240 ± 0.008	2.2993 (=Q <sub>1n</sub> )	2.2986 (=Q <sub>1n</sub> )
$q$ ( $m_2/m_1$ )	0.200	0.227 ± 0.002	0.2270 ± 0.0018
$l_1(\lambda 3600)$	---	---	0.9044 ± 0.0077
$l_1(\lambda 4250)$	---	0.854 ± 0.006	0.8897 ± 0.0040
$l_1(\lambda 4350)$	0.9895 ± 0.0031	---	---
$l_1(\lambda 5300)$	0.9684 ± 0.0032	0.814 ± 0.006	0.8531 ± 0.0040
$l_1(\lambda 6600)$	---	---	0.8127 ± 0.0045
$l_1(\lambda 8400)$	---	---	0.7549 ± 0.0044
$l_1(\lambda 16000)$	0.7990 ± 0.0046	---	---
$l_2(\lambda 3600)$	---	---	0.0105 ± 0.0110
$l_2(\lambda 4250)$	---	0.040 ± 0.009	0.0213 ± 0.0046
$l_2(\lambda 4350)$	0.0105 ± 0.0030	---	---
$l_2(\lambda 5300)$	0.0316 ± 0.0030	0.067 ± 0.009	0.0439 ± 0.0043
$l_2(\lambda 6600)$	---	---	0.0754 ± 0.0040
$l_2(\lambda 8400)$	---	---	0.1141 ± 0.0031
$l_2(\lambda 16000)$	0.2010 ± 0.0046	---	---
$l_3(\lambda 3600)$	---	---	0.0850 ± 0.0080
$l_3(\lambda 4250)$	---	0.106 ± 0.009	0.0890 ± 0.0042
$l_3(\lambda 4350)$	0.0500	---	---
$l_3(\lambda 5300)$	0.0776	0.119 ± 0.009	0.1030 ± 0.0045
$l_3(\lambda 6600)$	---	---	0.1120 ± 0.0054
$l_3(\lambda 8400)$	---	---	0.1310 ± 0.0057
$l_3(\lambda 16000)$	0.0825	---	---
$X_1(\lambda 3600)$	---	---	0.420
$X_1(\lambda 4250)$	---	0.48	0.515
$X_1(\lambda 4350)$	0.53	---	---
$X_1(\lambda 5300)$	0.43	0.40	0.430
$X_1(\lambda 6600)$	---	---	0.355
$X_1(\lambda 8400)$	---	---	0.295
$X_1(\lambda 16000)$	0.20	---	---
$X_2(\lambda 3600)$	---	---	1.000
$X_2(\lambda 4250)$	---	0.78	0.990
$X_2(\lambda 4350)$	0.90	---	---
$X_2(\lambda 5300)$	0.70	0.65	0.850
$X_2(\lambda 6600)$	---	---	0.700
$X_2(\lambda 8400)$	---	---	0.510
$X_2(\lambda 16000)$	0.20	---	---
$r_1$ (pole)	0.2195 ± 0.0011	0.203 ± 0.001	0.2090 ± 0.0013
$r_1$ (point)	0.2218 ± 0.0011	0.205 ± 0.001	0.2109 ± 0.0013
$r_1$ (side)	0.2209 ± 0.0011	0.204 ± 0.001	0.2102 ± 0.0013
$r_1$ (back)	0.2216 ± 0.0011	0.205 ± 0.001	0.2107 ± 0.0013
$r_2$ (pole)	0.2310 ± 0.0020	0.241 ± 0.002	0.2415 ± 0.0005
$r_2$ (point)	0.3118 ± 0.0140	0.334 ± 0.015	0.3529 ± 0.0037
$r_2$ (side)	0.2399 ± 0.0023	0.251 ± 0.002	0.2512 ± 0.0006
$r_2$ (back)	0.2708 ± 0.0040	0.284 ± 0.003	0.2838 ± 0.0006

$$m_1 = \frac{f(m)_1 (1+q)^2}{\sin^3 i \cdot q^3}, m_2 = \frac{f(m)_1 (1+q)^2}{\sin^3 i \cdot q^2}, m_3 = (m_1 + m_2) \frac{K_{12}}{K_3} \quad (6)$$

에 대입하여  $m_1 = 3.36 \pm 0.25m_\odot$ ,  $m_2 = 0.76 \pm 0.05m_\odot$ ,  $m_3 = 1.56 \pm 0.33m_\odot$ 를 얻었다. 또한 Hill *et al.* (1971)의  $a_1 \sin i = 1.73 \times 10^7 km$ 으로부터 얻은  $a_1$ 을  $a = a_1(1+1/q)$ 에 대입하여  $a/R_\odot = 14.10$ 을 결정하였다. 이 값에  $r_{1(side)} = 0.2102$ ,  $r_{2(side)} = 0.2512$ 을 곱하여  $R_1/R_\odot = 2.96 \pm 0.05$ ,  $R_2/R_\odot = 3.55 \pm 0.04$ 을 얻었다.

Algol C의 온도를 결정하기 위하여 표 4에 제시한  $T_1$  값과  $l_1$ 과  $l_3$ 의 각 파장별 값을 가지고 Blackbody Brightness를 계산하는 식(7)

$$B(\lambda_i, T_j) = \frac{2hc^2}{\lambda_i^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda_i k T_j) - 1} \quad (7)$$

에  $j=1$  즉  $T_1 = 12,000$ 을 대입하여  $B(\lambda_1, T_1), B(\lambda_2, T_1), \dots, B(\lambda_5, T_1)$  등의 5개 값을 계산하였다. 식 (7)에서  $c = 3 \times 10^{10} cm/sec$ 는 광속도이고,  $h = 6.623 \times 10^{-27} ergsec$ 는 Planck 상수이며,  $k = 1.38 \times 10^{-16} erg/K$ 는 Boltzmann 상수이다. 파장  $\lambda$ 의 단위는  $cm$ 이다. 그 다음에,  $j=3$  즉  $T_3$ 에 대한  $B(\lambda_1, T_3), B(\lambda_2, T_3), \dots, B(\lambda_5, T_3)$  등의 5개 값은 우리가 바로 구하려는 것이  $T_3$ 이기 때문에 식(7)에 의하지 않고 식(8)

$$b(\lambda_i, T_3) = B(\lambda_i, T_1) \frac{l_{3i}}{l_{1i}} \quad (8)$$

에 의해  $b(\lambda_1, T_3), b(\lambda_2, T_3), \dots, b(\lambda_5, T_3)$  등을 계산하였다. 이 5개의 값 각각에 일정한 scale factor  $S$ 를 곱한 값을  $T$ 가 어떤 값으로 정해진 Planck곡선에 fitting시키므로 즉 식(9)

$$sqsm = \sum_{i=1}^5 w_i [S_3 b(\lambda_i, T_3) - B(\lambda_i, T_3)]^2 \quad (9)$$

에서  $sqsm$  값이 최소일 때를 찾아  $T_3 = 8,826$ 과  $S_3 = 3.3937$ 을 구하였다. 만약 Algol C 까지의 거리의 시선방향 성분  $d_R$ 이  $d_R = 0$  이면 이때  $S_3$ 는  $(R_1/R_3)^2$ 에 해당된다. 같은 방법으로 Algol B에 대해서도  $T_2 = 4,879$ 와  $S_2 = 0.6312$ 를 구할 수 있다. 우리가 얻은 광도곡선의 분석 (표 4 조)으로부터  $(r_{1(pole)} r_{1(back)}) / (r_{2(pole)} r_{2(back)}) = 0.643$ 을 얻을 수 있는데, 이 값은  $(R_1/R_2)^2$ 의  $p.e. = \pm 0.02$  범위 내에서 우리가 얻은  $S_2$ 의 값과 일치한다. Algol C에서도 같은 원리가 성립 한다고 보고 위에서 얻은  $S_3$ 와  $R_1$ 을  $S_3 = (R_1/R_3)^2$ 에 대입하여 계산함으로써  $R_3 = 1.61 \pm 0.05 R_\odot$  라고 결정할 수 있었다. 그림 7은 위에서 설명한  $T_2, T_3, S_2, S_3$ 를 구하는 방법으로 얻은 결과를 그래프로 그린 것이다.

복사평형 방정식  $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ 과  $T_1, T_2, T_3, R_1, R_2, R_3, T_\odot = 5780$  등을 이용하여  $\log(L_1/L_\odot) = 2.22$ ,  $\log(L_2/L_\odot) = 0.80$ ,  $\log(L_3/L_\odot) = 1.15$  등을 얻었다. 또 이들 결과와 식(10)

$$M_{bol(\odot)} - M_{bol(*)} = 2.5 \log(L_*/L_\odot) \quad \text{즉} \quad M_{bol(*)} = M_{bol(\odot)} - 2.5 \log(L_*/L_\odot) \quad (10)$$

과  $M_{bol(\odot)} = +4.72$ 을 이용하여  $M_{bol(1)} = -0.83$ ,  $M_{bol(2)} = 2.71$ ,  $M_{bol(3)} = 1.83$  등을 구하였다.

우리가 결정한 각 성분의 질량, 온도, 반경, 광도, 절대 전파장 복사 등급 등의 절대값들을 비교하기 쉽게 다른 연구자들의 결과와 함께 표 5에 정리 하였다. Algol C의 공전주기 1.862년과 우리가 얻은 질량의 총계를 Kepler 제 3법칙에 대입하여 Algol AB에서부터 Algol C까지의 평균거리를 2.7 AU로 결정하였다.  $T_3 = 8,800$  이고  $\log(L_3/L_\odot) = 1.15$ 인 Algol C는 H-R 도 상에서 주계열상에 위치한다. 따라서 Allen (1976)의 표에 나타난 바와 같이 주열성으로 분광형이 A0인 경우  $T = 9,900$ ,  $M_{bol} = +0.1$ 이고, A5인 경우  $T = 8,500$ ,  $M_{bol} = +1.7$ 임을 참고하면,  $T_3 = 8,800$ ,  $M_{bol(3)} = +1.83$ 인 Algol C의 분광형은 A5 정도로 추정된다.

지난 20여년 동안에 Algol의 광도곡선을 분석하여 해를 구한 연구들을 살펴보면 Wilson *et al.* (1972), Gryker and Horak (1974), Guinan *et al.* (1976), Chen *et al.* (1977), Demircan (1977), Soderhjelm (1980), Al-Naimiy *et al.* (1985), Richards *et al.* (1988), Kim (1989) 등의 논문을 들 수 있을 것이다. 이 전에도 많은 사람들이 Algol의 광도곡선을 분석하였지만 부정확한 필터의 사용, 관측의 정밀도 부족, 관측자료의 불충분, 분석방법의 다름 등으로 인해 신빙성 있는 해를 얻지 못했기 때문에 체계적으로 비교를 할 수 없는 상태이다. 우리가 사용한 WD 방법으로 Algol을 분석한 경우는 Wilson *et al.* (1972)와 Kim (1989) 뿐이다. 전자의 결과는 관측의 질이 비교적 떨어지는 광도곡선을 분석한 초기의 분석이고, 후자의 경우는 BV 2개의 광도곡선만을 분석한 것이고 질량  $m_1, m_2$  등의 계산상 착오를 제외하고는 광도곡선 분석으로  $q = 0.227$ ,  $T_3 = 8,500$  등을 최초로 결정한 획기적인 결과를 얻은 셈이다. 이에 비교하여 우리의 관측치는 관측정밀도 면에서는 다소 떨어지나 관측점의 수는 후자의 2배 이상이 되며 UBVR1 5개 광도곡선을 동시에 만족시키는 해를 얻은 것이다. 따라서 우리는 5개 광도를 가

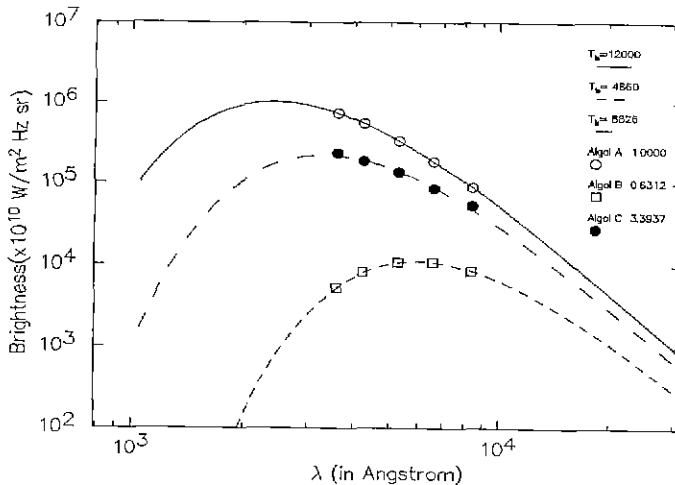


그림 5. 각각 5개의 점들에 가장 잘 맞는 3개의 폴랑크 곡선. 각 점들은 우리가 얻은 해로부터 구한 것이다

표 5. Algol을 구성하는 3 별의 절대 제원. 첨자에 사용한 숫자 1은 Algol A를, 2는 Algol B를, 3은 Algol C를 나타낸다

$m/m_{\odot}$			$T_e$			$\log T_e$			$R/R_{\odot}$			$\log (L/L_{\odot})$			$M_{bol(e)}$			Ref
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
3.7	0.8	1.7	10700	4570	8300	4.03	3.66	3.92	3.0	3.4	1.5	---	---	---	-0.4	+3.1	+2.3	(a)
---	---	---	12900	4570	8700	4.11	3.66	3.94	3.22	3.57	1.56	2.41	0.68	1.11	---	---	---	(b)
3.6	0.79	1.6	12600	5000	8300	4.10	3.70	3.92	2.89	3.53	1.5	2.26	0.84	1.00	-0.86	+2.7	+2.3	(c)
3.8	0.82	1.8	12000	4880	8500	4.08	3.69	3.93	2.88	3.54	1.7	2.19	0.81	1.15	-0.65	+2.8	+1.94	(d)
3.36	0.76	1.56	12000	4860	8800	4.08	3.69	3.95	2.97	3.55	1.61	2.22	0.80	1.15	-0.83	2.71	1.83	(e)

(a):Hill *et al* 1971, (b):Eaton 1975, (c):Soderhjelm 1980, (d):Kim 1989, (e):Jeong *et al.*(this work)

장 잘 만족시키는 Planck 곡선을 구하고 그로부터 Algol C의 온도를 결정하였는데 이러한 방법으로 Algol C의 온도를 결정한 것은 이번이 처음이다.

우리가 결정한 값들을 기초로하여 Algol의 배치도를 그림 6과 같이 그려 보았다. 또한 우리가 결정한 질량과 반경을 가지고 질량-광도 평면에 Algol A, B, C가 어느 위치에 놓이는가를 plot해 보면 그림 7과 같다. Algol A와 B의 배치형태가 그림 6에서 보듯이 준점축형인 것은 case B 질량 이동으로 생긴 결과로 보아야 할 것이다. 질량 이동으로 인해 질량이 줄어들면 그 Roche lobe도 작아지기 때문에 별의 반경도 줄어들고 따라서 질량 이동을 시작한 후 질량-반경 도 상에서 진화경로의 기울기는 TAMS의 기울기와 크게 차이 나지 않는다. 그렇기 때문에 만약 Algol AB에서 case A 질량 이동이 일어 났다면 B의 현재 위치가 TAMS 보다 아래에 있어야 한다. 그러나 실제로는 TAMS 보다 훨씬 위에 있다 (그림 7).

Algol C는 어느 별과도 질량교환이나 질량이동을 했다고 보기 어려우므로 단일성의 진화로 생각해 볼때, 이 계가 생성될 때의 질량이 현재의 질량과 같았고, 시간이 흐름에 따라 반경만 커 졌다고 보자. 그러면 질량-반경 도에서 이 별의 진화경로는 수직상승하는 것으로 나타날 것이다. Algol의 3별이 동시에 생성되었다고 보아야 하기 때문에 질량이  $3.36m_{\odot}$ 나 되는 Algol A가 아직도 주계열에 머물고 있고, 오히려 질량이  $0.76m_{\odot}$  밖에 안되는 Algol B는 주계열을 한참 벗어나 있는 현재의 모습 자체가 생성 당시의 모습은 오히려 B가 A보다 질량이 컸을 것이라는 데는 의심의 여지가 없다. 다만 A와 B가 진화하는데 질량보전, 운동량보전 등과 같이 계가 보전 되어 왔다고 가정하면 초기의 질량 합이  $4.1m_{\odot}$  되고 질량이동이 일어난지 한참 후인 지금의, 즉 질량을 한참 많이 얻은 후인 지금의 위치가 C의 진화 정도와 비슷한 것으로 보아 질량 이동이 시작될 당시에 A의 질량으로 추정되는 값의 상한을 C의 질량인  $1.6m_{\odot}$ 로 보아야 할 것이고 만약 질량 이동이 일어날 때 부상되어 있는 물질 같은 것 때문에 계의 운동량이 보전되지 못한다고 보면 A의 상한은 더 아래로 잡아야 할 것이다. 따라서 B의 질량으로 추정되는 값의 하한은  $2.5m_{\odot}$ 로 되는 셈이다. 실제로 그림 7의 질량-반경도에 나타난 3별의 위치는 Algol B가 수소연소 단계 중에서도 진화가 상당히 많이 진행되었다는 것을 암시하고 있다.

분광학적 해에서 얻은 궤도이심  $e=0.015$  (Hill *et al.* 1971)을 확인하기 위하여  $e$ 를 조정인 수로 하여 계산해 보았는데  $e=0.000 \pm 0.0005$ 에 수렴되었다. 이것은 속도곡선의 정밀도가 낮은 점을 감안한다면 Algol AB의 궤도는 거의 완벽한 원이라는 것을 의미한다. 우리의 이번 분석에서는 자료의 관측 정밀도를 고려하여 spot 인수를 영으로 고정하고 계산했기 때문에 별의 표면 밝기가 균일하지 못한 정도를 다룰 수 없었다. 차거운 spot 문제 뿐만 아니라 Algol A에 강착 되는 물질이 충돌하면서 만드는 뜨거운 spot도 생각할 수 있는데 이런 것들을 포함하여 미진한 것들은 다음 연구 과제가 될 수 있을 것이다.

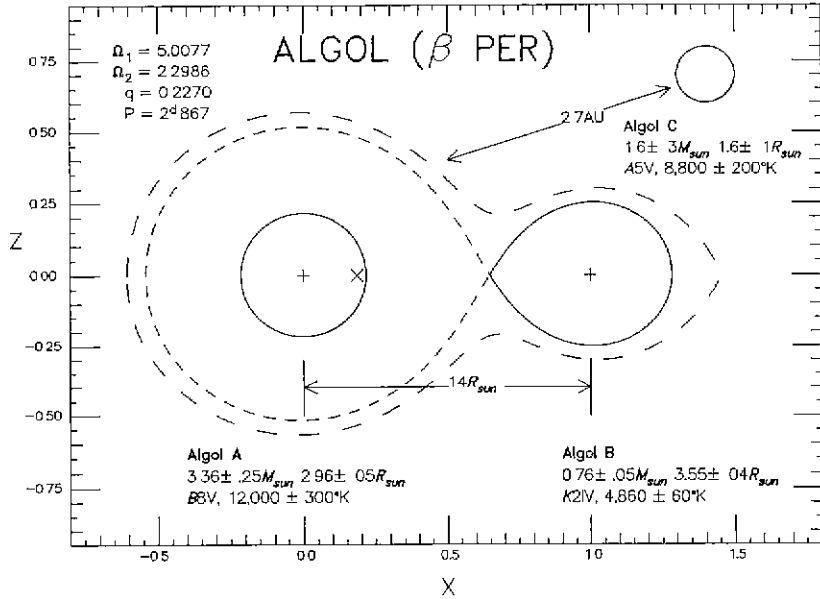


그림 6. 위상이 0.25일때 Algol의 배치도. 점선은 각각 내부, 외부 라그랑지안 표면을 나타낸 것이고 X는 Algol AB의 질량 중심이고, +로 표시하였다. 또한, Algol의 다른 물리량도 표시하였다

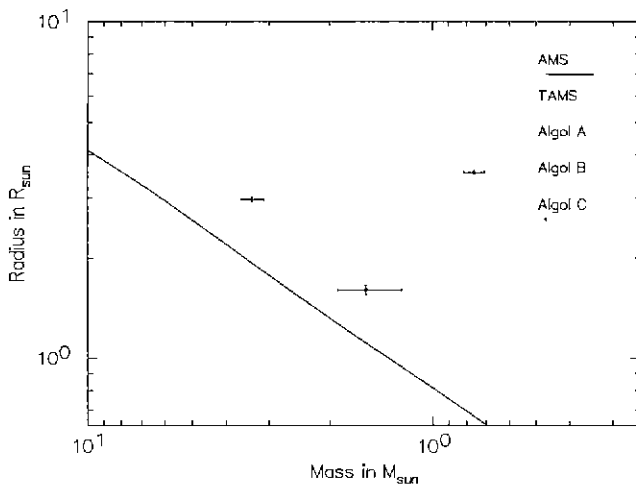


그림 7. 질량-반지름 관계도 상에서 Algol의 위치

감사의 글 : 우리의 광도곡선을 새로운 판의 Wilson-Devinney 프로그램으로 분석할 수 있도록 Updated 1993 Version을 공급해준 University of Florida의 Dr. R. E. Wilson께 감사드립니다. 초고를 읽어 주시고 많은 조언을 주시고 그림 6과 같은 쌍성의 configuration을 그릴 수 있도록 특별한 프로그램을 작성해 주신 충북대 김천휘 교수님께 감사드립니다. 이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모 (지방대학육성) 과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음을 밝혀 둡니다.

### 참고 문헌

- 김호일 1988, 박사학위 논문 (연세대학교 대학원)  
 송주현 1989, 석사학위 논문 (충북대학교 교육대학원)  
 이상희 1991, 학사학위 논문 (충북대학교 천문우주학과)  
 임조령 1991, 학사학위 논문 (충북대학교 천문우주학과)  
 Allen C. W. 1976, *Astrophysical Quantities* (London: Athlone)  
 Al-Naimiy H. M. K. 1978, *Ap&SS*, 53, 181  
 Al-Naimiy H. M. K., Mutter A. A. A. & Flaith H. A. 1985, *Ap&SS*, 108, 227  
 Chen K.-Y., Merrill J. E. & Richardson W. W. 1977, *AJ*, 82, 69  
 Cugier H. & Molaro P. 1983, *A&Ap*, 128, 429  
 Demircan O. 1977, *Ap&SS*, 47, 459  
 Eaton J. A. 1975, *PASP*, 87, 745  
 Eggen, O. J. 1948, *ApJ*, 108, 1  
 Guinan E. F. 1989, *Space Science Review* 50, 35  
 Guinan E. F., McCook G. P., Bachmann P. J. & Bistline W. G. 1976, *AJ*, 81, 57  
 Gryger J. & Horak T. R. 1974, *Bull. Astr. Inst. Czech.*, 24, 275  
 Hill G., Barnes J. V., Hutchings J. B. & Pearce J. A. 1971, *ApJ*, 168, 443  
 Kim H.-I. 1989, *ApJ*, 342, 1061  
 Lee Y.-S. 1989, *ApJ*, 338, 1016  
 Leung K.-C. 1988, in *Critical Observations Versus Physical Models for Close Binary Systems*, ed K.-C. Leung (New York: Gordon and Breach), p. 93  
 Leung K.-C., Zhai D., Lin Q. & Yang Y. 1985, *AJ*, 90, 115  
 Richards, M. T., Mochnacki, S. W. & Bolton, C. T. 1988, *AJ*, 96, 326  
 Soderhjelm S. 1980, *A&Ap*, 89, 100  
 Wilson R. E., de Luccia M. R., Johnston K. & Mango S. A. 1972, *ApJ*, 177, 191