

H β CCD 측광의 정확도

김 철 회
전북대학교 지구과학교육과
김 승 리
서울대학교 천문학과

THE ACCURACY OF H β CCD PHOTOMETRY

C. Kim

Department of Earth Science Education, Chonbuk National University

Seoung-Li Kim

Department of Astronomy, Seoul National University

(Received November 15, 1994; Accepted December 5, 1994)

요 약

CCD에 의한 H β 측광계의 신뢰성을 조사하기 위하여 H β 측광계의 표준성을 관측하였다. H β_W 와 H β_N 필터에 대한 플랫폼 필딩(flat fielding)을 돔 플랫폼(dome flat)과 하늘 플랫폼(sky flat)으로 수행하여 이 결과를 광대역 UVB 측광계의 B 필터에 의한 경우와 비교하였는데 거의 차이가 나타나지 않았다. 2.3m 망원경에 의한 표준성의 관측치는 표준치와 좋은 선형관계를 보였으나, 소백산의 60cm 망원경으로 관측된 표준성에 대한 결과는 상관성이 좋지 않았다. 또한 어두운 별에 대한 H β CCD 측광의 정확도를 조사하기 위하여 산개성단 NGC2437을 관측하였고 DoPHOT로 등급을 구한 후, Stetson(1981)에 의한 광전측광 결과와 비교하였다.

ABSTRACT

We have undertaken CCD observations of field standard stars with H β photometric system to investigate the reliability of H β CCD photometry. Flat fielding with dome flat and sky flat for H β_W and H β_N filter was compared with that of B filter in UVB system and, from these, we have not found any difference. It was confirmed that there is a good linear relationship between our H β values observed with 2.3m reflector and standard values. However,

H β values observed with 60cm reflector at Sobaeksan Astronomy Observatory showed very poor relationship. To investigate the accuracy of H β CCD photometry for fainter objects, open cluster NGC2437 was observed and reduced with DoPHOT, and the results were compared with those for photoelectric photometry of Stetson(1981).

1. 서 론

H β 흡수선의 강도 측정을 위하여 개발된 H β 측광계는 협대역 측광계로 반파장대폭이 180Å 정도의 넓은 H β_W 필터와 27Å 정도로 좁은 H β_N 필터로 구성되며, 이들 두 필터의 중심파장은 4862Å 부근에서 거의 일정하다(Crawford and Mander 1966). H β 의 두 필터는 투과파장폭이 좁고 중심파장이 거의 같기 때문에 대기소광이나 측정하는 별의 분광형에 거의 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. H β 는 A와 F형 항성의 온도 지수로 사용되며 uvby 측광계와 함께 이들 분광형에 속하는 항성의 물리적 특성을 조사하는데 많이 사용되고 있다.

단주기 맥동변광성에 속하는 왜세페이드(Dwarf Cepheid) 변광성이나 δ Scuti형 변광성 등은 분광형이 A, F형이므로 이들의 색초과, 금속함량비, 유효온도 및 표면중력을 결정할 때 uvbyH β 측광계를 이용하는 경우가 많다. 또한 uvbyH β 측광계의 경우 다수의 일차 및 이차 표준성이 관측되어 있기 때문에 관측시 표준성의 선택에 별다른 어려움이 없다. 그러나 H β_N 필터의 경우 등가폭이 좁기 때문에 어두운 별을 관측하는 경우 노출시간을 많이 주어야 한다는 문제가 있으며, 이런 이유로 아직까지도 비교적 어두운 날별이나 성단의 관측에는 널리 이용되지 못하고 있는 실정이다.

광전증배관에 비하여 양자효율이 월등히 높은 CCD를 검출기로 사용하는 경우에는 H β_N 필터로도 짧은 노출시간에 신호대 잡음비(S/N 비)가 높은 자료를 충분히 얻을 수 있다. 더욱이 중대형망원경으로 관측하는 경우에는 집광력이 커서 어두운 별의 측광이 가능하기 때문에, 이미 성단에 대한 uvby 측광 결과들이 적잖이 나와 있다. 그러나 여전히 성단에 대한 H β 관측은 보기 어렵는데, 그 원인 중의 하나로 중대형망원경에 의한 관측이 은하에 집중되어 있다는 것을 들 수 있다. 지속적인 CCD의 보급과 새로운 중대형망원경의 건설에 힘입어 H β 관측이 점차로 증가할 것으로 예상되는데, 본 논문에서는 이와같은 상황을 감안하여 다수의 H β 측광계의 표준성과 한 개의 산개성단에 대한 CCD 관측을 통하여 H β 측광계의 신뢰성을 조사하였다.

2. 관측과 자료처리

관측은 1993년 2월 21일부터 25일까지 인도의 Vainu-Bappu 천문대에서 2.3m 반사망원경으로 이루어졌는데, NGC2437에 대한 H β CCD로 측광을 수행하여 18개의 프레임을 얻었다. 2.3m 망원경의 주초점(prime focus)에 놓인 CCD는 GEC P8603이며 화소(pixel)는 385 × 578으로

3.8' × 6.7'의 영역에 해당한다. 사용된 CCD는 자외선 영역의 감도를 높이기 위하여 특수 코팅 처리된 것이며, thinned CCD가 아니기 때문에 간섭무늬는 나타나지 않는다. 노출시간은 $H\beta_N$ 의 경우 1200초이고 $H\beta_W$ 의 경우 420초나 600초였으며 시상(seeing)은 4" ~ 5" 정도로 좋지 않은 편이었다.

우리는 기기등급을 표준등급으로 변환시키기 위하여 $H\beta$ 측광계의 표준성을 관측하였다. 일차 표준성은(Crawford and Barnes 1970, Gronbech *et al.* 1976, Olsen 1983, 1984, Perry *et al.* 1987) 너무 밝기 때문에, CCD를 이용한 2.3m 망원경의 주초점 관측은 대부분 불가능하여 이차표준성을 택하게 되는데, 이 경우도 $V=9^m$ 보다 어두운 별이 없고 주계열성의 숫자도 적다는 문제가 있다. 우리는 이 문제를 해결하기 위해 망원경의 초점을 약간 벗어나게 하여 표준성의 상을 퍼지게 하는 방법으로 최대한의 노출시간에도 광량이 포화되지 않도록 하였다.

NGC2437(=M46)은 직경이 약 27'정도이며 비교적 구성원의 숫자가 많은 젊은 산개성단으로 좌표는 1950년 기준으로 적경이 $7^h39^m.5$ 이고 적위는 $-14^\circ42'$ 이다. 은하좌표는 은경이 232° 이고 은위는 $+4^\circ$ 인데, 이론적으로 성간흡수가 적은 방향에 위치하고 있다(O'Dell 1963, Stetson 1981). 이 성단의 중심부에서 북쪽으로 약 5'정도 떨어진 곳에 행성상 성운인 NGC2438이 있는데, 시선속도 연구 결과 이 성운은 성단의 구성원이 아님이 밝혀졌다(O'Dell 1963). NGC2437은 Smyth and Nandy (1962)에 의하여 색-등급도가 분석되었으며, Meurers (1962)에 의하여 고유 운동이 조사되었다. 또한 Kraft and Landolt (1959)와 Sahade and Davila (1963)에 의하여 성단의 구성원으로 짐작되는 세 개의 식쌍성 EL Pup, GI Pup 및 GK Pup이 발견되었다. 우리의 목적은 이 성단의 성질을 연구하려는 것이 아니기 때문에, 임의의 세 영역만을 한정하여 관측하였다.

관측은 $H\beta_N$ 와 $H\beta_W$ 필터 각각에 대하여 연속적으로 세 번씩 수행하였고, 상이한 영역 사이의 영점조정을 위하여 다른 영역의 일부가 겹치도록 하였다. 상이한 날에 따른 관측치의 미세한 변화를 고려(밤보정)하기 위하여 표준성 HR2845를 매일 관측하였다. 또한 대기소광 보정 여부를 직접적으로 확인해 보기 위하여 HR2845를 같은 날 밤에도 여러 차례에 걸쳐 관측하였다.

또한 우리는 1993년 10월 15일부터 18일까지 소백산천문대의 60cm 반사망원경으로 비교적 밝은 $H\beta$ 표준성을 추가로 관측하였다. 사용된 CCD는 PM512A로써 516×516 화소로 구성되며 $4.3' \times 4.3'$ 영역에 해당한다. 노출시간은 $H\beta_N$ 의 경우 100초나 200초, $H\beta_W$ 에 대하여는 밝기에 따라 10초에서 20초 사이에서 적당히 가감하였다. 소백산천문대의 CCD 카메라로는 맥동변광성과 식쌍성에 대한 차등관측은 수행되었으나(박남규 1993), 이제까지 표준성을 관측하여 기기치를 표준치로 바꾸어 분석이 없기 때문에 CCD 시스템에 대한 총체적인 분석이 없었다. 따라서 우리의 금번 $H\beta$ 표준성 관측이 비록 UBVRi 측광계처럼 널리 쓰이는 것에 대한 결과는 아니지만, 2.3m 망원경에 대한 결과를 소백산천문대의 60cm 망원경에 대한 결과와 비교함으로써 부차적으로 소백산천문대의 CCD시스템에 대한 신뢰성 여부를 검증할 수 있는 기회가 되기를 희망하였다.

모든 관측자료에 대한 기기영점보정(biasing)과 플랫 필딩 등의 전처리(pre-processing) 과정은 IRAF 패키지를 사용하여 수행하였다. 2.3m 망원경으로는 돔 플랫과 하늘 플랫을 모두 관측

했으나, 소백산천문대에서는 돔 플랫폼을 할 수 있는 장치가 없기 때문에 하늘 플랫폼만 얻었다. 각각의 H β 표준성은 연속하여 세번씩 관측하였는데 세개의 프레임을 합성하지 않고 각각의 프레임에 대하여 IRAF패키지의 APPHOT를 사용하여 등급을 구한 후, 세 개의 등급값을 평균하였다.

NGC2437에 대한 관측 자료는 DoPHOT 패키지(Schechter *et al.* 1993)를 사용하여 처리했다. DoPHOT는 DAOPHOT 및 ROMAPHOT와 함께 CCD 측광 자료처리에 널리 사용되고 있는데, DoPHOT의 특징은 이득(gain), 읽기잡음(read noise)과 배경 하늘값 등 각 프레임의 기본적인 특성을 나타내는 인수값만을 지정하면 중간에서 따로 점검할 필요없이 자료처리의 과정이 자동적으로 끝까지 수행된다는 것이다. 또한 Schechter *et al.*(1993)에 의하면 구상성단 Tonry 1에 대하여 DoPHOT와 DAOPHOT의 계산속도를 비교한 결과 CPU 시간이 각각 1.8시간 및 15시간으로 나와 DoPHOT를 사용하는 경우 컴퓨터 시간을 많이 절약할 수 있다는 사실이 밝혀졌다. DoPHOT를 CCD 자료처리를 위한 표준패키지로 택하여 사용하고 있는 SAAO(South African Astronomical Observatory)의 Balona(1993)도 DoPHOT를 세심하게 분석하였는데 구상성단 NGC2004과 NGC2100의 색-등급도에서 DoPHOT를 사용한 경우 주계열의 폭이 가장 좁게 나타났다고 보고하였다.

3. 관측 결과 및 토의

CCD 프레임의 전처리과정에서 플랫폼 필딩이 중요하기 때문에 H β_N 와 H β_W 필터에 대한 돔 플랫폼과 하늘 플랫폼을 UVB 측광계의 B 필터에 대한 경우와 비교하였다. 2.3m 망원경으로 관측된 결과가 그림 1에 나와 있는데, 여기에서 그림 1(a)는 H β_N , H β_W 및 B 필터에 대한 돔 플랫폼, 그림 1(b)는 하늘 플랫폼을 보여주고 있다. 이 그림에서 왼쪽의 y 축은 플럭스(flux)로 CCD상의 같은 영역에 위치한 150개의 column pixel에 대응되는 값을 각각의 라인(line)에 대하여 평균한 것이다. H β_N 과 H β_W 에 대한 플랫폼은 B필터에 의한 경우와 별다른 차이가 없을 뿐아니라, 편평도(flatness)의 형태도 거의 같음을 알 수 있다.

2.3m 망원경으로 관측된 H β 표준성에 대한 H β_N 와 H β_W 값은 IRAF의 APPHOT로 구하였는데 그 결과를 표 1에 수록하였다. 이 표의 첫번째 칼럼에서 앞의 숫자는 대응되는 별의 HR 번호를 나타낸다. 또한 밤보정을 위하여 5일 동안 관측된 HR2845에 대한 결과가 표 2에 주어졌는데 첫번째 칼럼은 관측날짜, 두번째 칼럼은 시간각(Hour Angle), 세번째 칼럼은 관측치이다. 상이한 날에 대한 관측치 평균의 표준편차는 0.^m016인데, 이 값은 개개의 관측치에 대한 오차값보다 작기 때문에 밤보정을 수행하지 않았다.

표 1에서 비교적 시상이 좋았던 22일과 23일의 자료를 보면 시간이 지남에 따라 H β_N 와 H β_W 의 등급이 점차로 어두워지는 것을 알 수 있다. 이것은 투과대기량(air mass)의 증가에 따라 어두워진 것으로 생각할 수 있으나, 이런 경우 별은 더욱 붉게 관측되어야 하는데 표 2에서 보는 것처럼 H β 값은 더 크게 즉 더 푸르게 관측되었다. 그러므로 관측시간에 따른 H β 의 변화는 실제로 투과대기량에 의한 효과라기보다는 관측 당시의 국부적인 대기상태의 변화에 의한 것으로

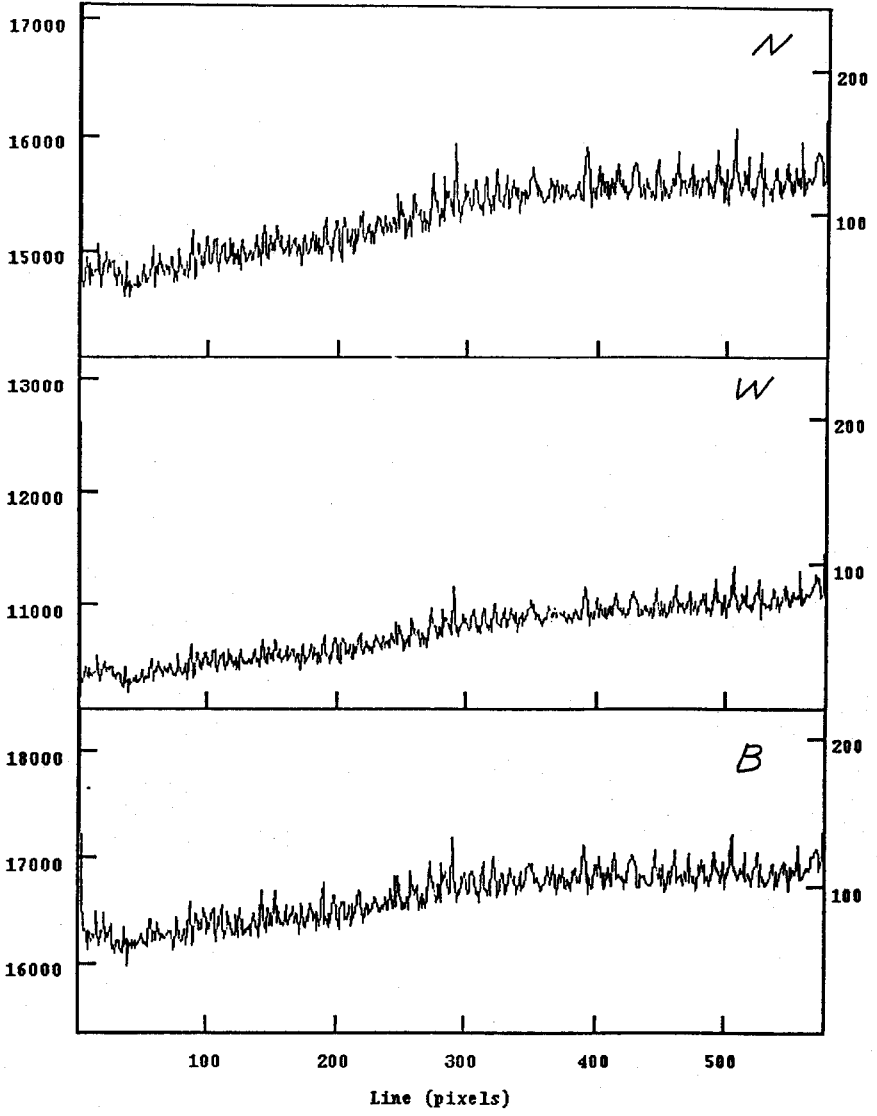


그림 1(a). $H\beta_W$, $H\beta_N$ 및 B 필터에 대한 돔 플랫.

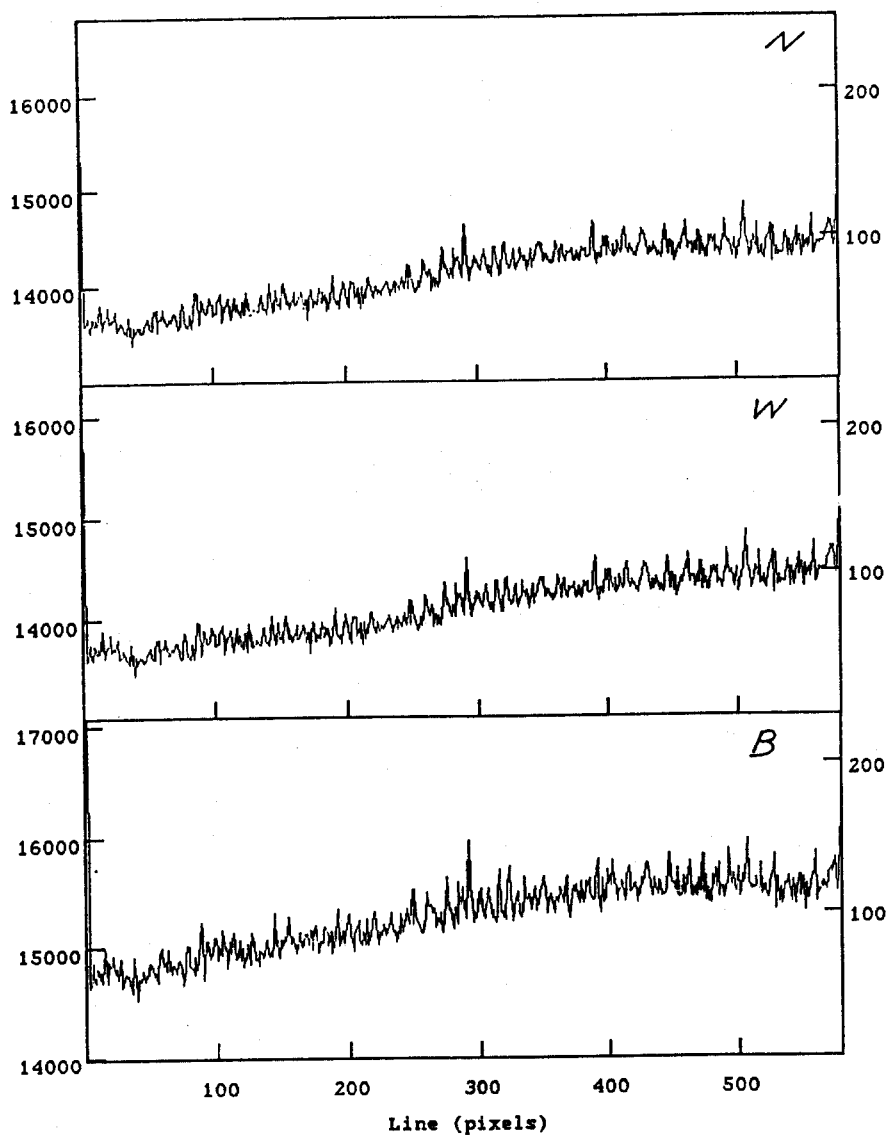


그림 1(b). $H\beta_W$, $H\beta_N$ 및 B 필터에 대한 하늘 플랫.

표 1. 표준성에 대한 CCD H β 관측치.

Date	ID	UT	H β	Date	ID	UT	H β
21 Feb	2845N2	21:16:59	14.547	22 Feb	2845N3	22:15:32	14.295
	2845N3	21:17:03	14.493		2845N4	22:15:36	14.302
	2845N4	21:17:07	14.475		2845W5	22:15:38	12.246
	2845N5	21:17:10	14.511		2845W6	22:15:41	12.248
	2845W6	21:17:13	12.429		2845W7	22:15:43	12.243
	2845W7	21:17:15	12.398		2845W8	22:15:46	12.233
	2845W8	21:17:19	12.386		3410N9	22:15:52	15.797
	2845W9	21:17:20	12.385		3410N10	22:15:54	15.799
	2852W10	21:17:27	13.951		3410N11	22:15:56	15.797
	2852W11	21:17:30	13.954		3410N12	22:15:59	15.807
	2852W12	21:17:32	13.942		3410W13	22:16:02	13.620
	2852W13	21:17:34	13.986		3410W14	22:16:05	13.606
	2852N14	21:17:38	16.069		3410W15	22:16:07	13.593
	2852N15	21:17:41	16.015		3410W16	22:16:09	13.606
	2852N16	21:17:44	15.998		3454W17	22:16:17	13.665
	2852N17	21:17:47	16.016		3454W18	22:16:19	13.657
	3314N18	21:17:57	15.664		3454W19	22:16:21	13.657
	3314N19	21:18:00	15.681		3454W20	22:16:22	13.657
	3314N20	21:18:03	15.672		3454N21	22:16:25	15.675
	3314N21	21:18:06	15.703		3454N22	22:16:27	15.670
	3314W22	21:18:09	13.509		3454N23	22:16:30	15.656
	3314W23	21:18:12	13.489		3454N24	22:16:32	15.645
	3314W24	21:18:14	13.504		2845N27	22:17:02	14.359
	3314W25	21:18:16	13.518		2845N28	22:17:05	14.376
2845W26	21:18:25	12.668	2845N29	22:17:08	14.371		
2845W27	21:18:27	12.636	2845W30	22:17:10	12.311		
2845W28	21:18:30	12.633	2845W31	22:17:12	12.303		
2845W29	21:18:32	12.645	2845W32	22:17:14	12.309		
2845N30	21:18:34	14.760	23 Feb	2845N1	23:15:34	14.304	
2845N31	21:18:37	14.667		2845N2	23:15:37	14.305	
2845N32	21:18:40	14.653		2845W4	23:15:42	12.241	
22 Feb	2845N1	22:15:26		14.304	2845W5	23:15:45	12.248
	2845N2	22:15:30		14.290	2845W6	23:15:47	12.236

표 1. 계속

Date	ID	UT	H β	Date	ID	UT	H β
23 Feb	3849W7	23:16:01	14.650	24 Feb	2845N4	24:14:57	14.480
	3849W8	23:16:04	14.653		2845W5	24:15:00	12.408
	3849W9	23:16:06	14.647		2845W6	24:15:02	12.397
	3849N10	23:16:08	16.678		2845W7	24:15:04	12.425
	3849N11	23:16:12	16.692		2845W8	24:15:06	12.462
	3849N12	23:16:16	16.664		2845N16	24:18:06	14.522
	3874N13	23:16:42	16.325		2845N17	24:18:08	14.431
	3874N14	23:16:45	16.333		2845N18	24:18:10	14.428
	3874N15	23:16:47	16.321		2845W19	24:18:13	12.377
	3874W16	23:16:51	14.145		2845W20	24:18:15	12.329
	3874W17	23:16:53	14.155		2845W21	24:18:17	12.477
	3874W18	23:16:56	14.138	25 Feb	2845N1	25:14:01	14.262
	2845W19	23:17:03	12.317		2845N2	25:14:08	14.227
	2845W20	23:17:05	12.314		2845N3	25:14:15	14.208
	2845W21	23:17:07	12.301		2845N4	25:14:22	14.221
	2845N22	23:17:10	14.376		2845W5	25:14:26	12.162
	2845N23	23:17:12	14.381		2845W6	25:14:28	12.154
	2845N24	23:17:14	14.394		2845W7	25:14:35	12.155
	4031N25	23:17:26	15.104		2845W18	25:19:05	14.515
	4031N26	23:17:28	15.107		2845W19	25:19:06	13.798
	4031N27	23:17:32	15.108		2845W20	25:19:08	12.996
	4031W28	23:17:35	13.045		2845N21	25:19:10	14.840
	4031W29	23:17:37	13.028		2845N22	25:19:12	14.751
	4031W30	23:17:39	13.028		2845N23	25:19:14	15.001
	4119W31	23:17:49	14.505		4133W25	25:19:42	13.195
	4119W32	23:17:51	14.501		4133W26	25:19:45	13.066
	4119W33	23:17:53	14.502		4133W27	25:19:47	13.297
	4119N34	23:17:56	16.569		4133N28	25:19:49	15.882
	4119N35	23:18:00	16.564		4133N29	25:19:52	16.017
	4119N36	23:18:03	16.554		4133N30	25:19:55	16.461
24 Feb	2845N1	24:14:50	14.470		4166N31	25:20:04	17.374
	2845N2	24:14:53	14.485		4166N32	25:20:09	16.870
	2845N3	24:14:55	14.506		4166N33	25:20:10	18.708

표 1. 계속

Date	ID	UT	H β	Date	ID	UT	H β
25 Feb	4166W34	25:20:14	17.437	25 Feb	4133W58	25:21:44	13.170
	4166W35	25:20:17	15.768		4133W59	25:21:46	13.195
	4166W36	25:20:19	15.707		4133W60	25:21:48	13.244
	4456W37	25:20:31	15.179		4405W61	25:21:54	13.769
	4456W38	25:20:38	15.307		4405W62	25:22:19	14.177
	4456W39	25:20:41	15.353		4405W63	25:22:22	13.782
	4456N40	25:20:47	17.584		4405N64	25:22:24	15.765
	4456N41	25:20:48	17.376		4405N65	25:22:26	15.839
	4456N42	25:20:51	17.436		4405N66	25:22:28	16.509
	4534N43	25:21:00	14.125		4883N67	25:22:37	16.564
	4534N44	25:21:02	14.121		4883N68	25:22:39	17.088
	4534N45	25:21:04	13.919		4883N69	25:22:44	18.557
	4534W46	25:21:06	11.667		4883W70	25:22:49	14.746
	4534W47	25:21:09	12.332		4883W71	25:22:51	14.802
	4534W48	25:21:10	11.980		4883W72	25:22:52	14.465
	4540W49	25:21:18	13.138		4983W74	25:22:58	14.819
	4540W50	25:21:20	13.052		4983W75	25:23:00	13.700
	4540W51	25:21:22	13.025		4983W76	25:23:03	13.799
	4540N52	25:21:24	15.015		4983N77	25:23:08	15.640
	4540N53	25:21:26	15.051		4983N78	25:23:11	15.869
	4540N54	25:21:28	15.039		4983N79	25:23:16	15.682
	4133N55	25:21:35	15.145		4133N80	25:23:26	16.680
	4133N56	25:21:38	15.528		4133N81	25:23:28	16.791
	4133N57	25:21:41	15.274				

생각된다. 이 결과는 CCD에 의한 H β 관측에서도 대기소광이 문제가 되지 않는다는 것을 뜻한다.

표 1의 자료중 신뢰성이 있는 결과에 대응하는 표준성만 선택하여 구한 H β 값을 표 3에 표시하였다. 이 표에서 첫번째 칼럼은 표준성의 이름이고, 두번째 칼럼은 표준성의 분광형이고(Hoffleit 1982), 세번째 칼럼은 Perry *et al.*(1987)에 의한 H β 표준값이다. 네번째 칼럼이 2.3m 망원경으로 관측된 값이며 마지막 칼럼은 기기치와 표준치 사이의 차이를 나타낸다. 표준치와 기기치 사이에 신뢰성이 높은 비례관계가 성립됨을 그림 2로부터 알 수 있으며, 최소자승법으로 두 값 사이의 변환식을 구하면,

표 2. 표준성 HR 2845에 대한 CCD H β 관측치.

Date	HA	H β
Feb 21	01:05	2.107 \pm 0.030
	02:07	2.048 \pm 0.049
Feb 22	-00:26	2.055 \pm 0.007
	01:06	2.061 \pm 0.008
Feb 23	-00:15	2.063 \pm 0.005
	01:09	2.073 \pm 0.020
Feb 24	-00:49	2.062 \pm 0.027
	02:18	2.066 \pm 0.075
Feb 25	-01:39	2.072 \pm 0.020
Mean =		2.067 \pm 0.016

표 3. 표준성에 대한 표준치와 2.3m 망원경에 의한 CCD H β 관측치.

HR	Sp	V	β_{STD}	β_{OBS}	dif
2845	B8Ve	2.90	2.731	2.067 \pm 0.026	0.664
2852	FDV	4.18	2.713	2.066 \pm 0.030	0.647
3410	AIVnn	4.16	2.855	2.194 \pm 0.010	0.661
3454	B3V	4.30	2.653	2.002 \pm 0.012	0.651
3849	B5V	5.06	2.704	2.028 \pm 0.011	0.676
3974	A7V	4.48	2.837	2.180 \pm 0.009	0.657
4031	F0III	3.44	2.722	2.073 \pm 0.008	0.649
4119	B6V	5.09	2.730	2.060 \pm 0.006	0.670
4540	F9V	3.60	2.629	1.964 \pm 0.050	0.665

$$H\beta_{STD} = 0.701(\pm 0.102) + 0.980(\pm 0.049)H\beta_{OBS} \quad (1)$$

이다. 이 식에서 H β_{STD} 는 표준치이고 H β_{OBS} 는 기기치이다.

소백산천문대의 60cm 망원경으로 관측된 11개의 H β 표준성에 대한 결과를 표 4에 수록하였다. 그림 3은 그림 2에 대응되는 것으로 분산의 정도가 너무 커서 (1)식과 같은 변환식을 유도하는 것이 의미가 없을 정도이다. 현 단계에서는 이와 같은 높은 분산의 원인이 무엇인지 알 수 없으나 소백산천문대의 CCD 카메라에 대한 보다 철저한 조사가 요망된다. 또한 이와같은 높은 분산

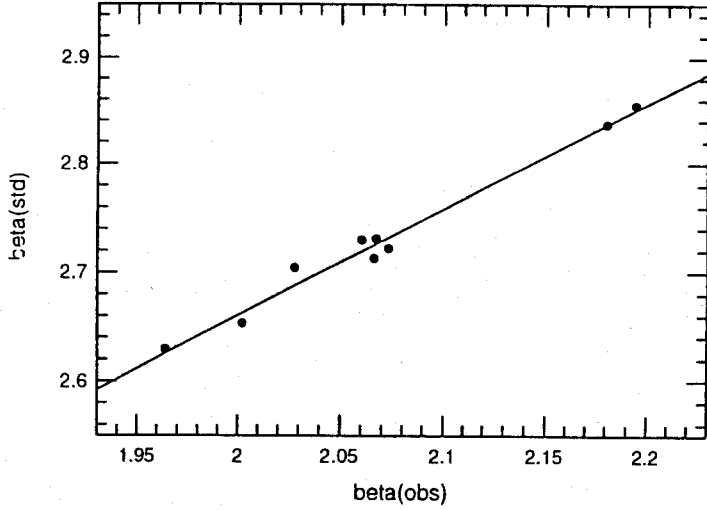


그림 2. Perry *et al.*(1987)에 의한 H β 측광계의 표준성에 대한 표준치와 CCD를 사용하여 2.3m 망원경으로 관측한 관측치 사이의 상관관계.

표 4. 표준성에 대한 표준치와 60cm 망원경에 의한 CCD H β 관측치.

HR	Sp	V	β_{STD}	β_{OBS}	dif
773	A7V	5.30	2.829	2.362 \pm 0.125	0.467
1547	A7IV-V	5.10	2.813	2.358 \pm 0.140	0.455
1641	B3V	3.17	2.685	1.918 \pm 0.186	0.767
2777	F2IV	3.53	2.712	2.188 \pm 0.185	0.524
7796	F8Ib	2.20	2.641	2.039 \pm 0.009	0.602
7858	A3IVs	5.38	2.918	2.228 \pm 0.013	0.690
7871	A3V	4.68	2.868	2.204 \pm 0.013	0.664
7906	B9IV	3.77	2.799	2.154 \pm 0.014	0.645
7977	B3Iae	4.84	2.530	1.901 \pm 0.006	0.629
7984	A4m Del	5.04	2.844	2.175 \pm 0.017	0.669
8279	B2Ib	4.73	2.558	2.096 \pm 0.111	0.462

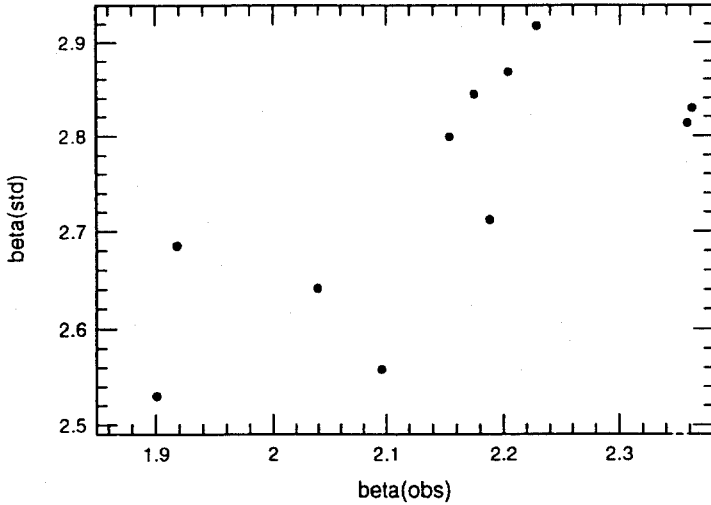


그림 3. 그림 2와 같으나 60cm 망원경으로 관측한 경우.

이 Hβ 측광계에 대하여만 나타나는 현상이라고 생각할 수 없기 때문에 광대역측광계에 대한 표준성 관측을 통하여 CCD측광 자료의 신뢰성을 세심하게 분석해야 할 것으로 생각된다.

한편 Stetson(1981)은 산개성단 NGC2437의 24개 구성원에 대한 uvbyHβ 광전측광을 수행하여 이 성단의 색초과, 거리지수 등의 물리량을 다시 결정하였다. 우리는 행성상성운 NGC2438 부근의 세 영역을 관측하였는데 세개의 영역 A, B, C를 각각 그림 4(a), 4(b), 4(c)에서 볼 수 있다. 그림 4(a)의 좌측하단과 그림 4(b)의 좌측상단에서 행성상성운의 일부 모습이 보인다. 먼저 각각의 영역에 속하는 총 81개 별에 대한 Hβ_N와 Hβ_W에 대한 등급을 DoPHOT로 구하였는데 그 결과가 표 3에 나와있다. 이 표에서 첫번째 칼럼은 별의 일련번호이고, 두번째 칼럼은 CCD 화면상의 X, Y 좌표 값이고, 마지막 두개 칼럼은 Hβ_N와 Hβ_W의 등급값이다. 그림 5와 6에서는 Hβ_W와 Hβ_N값의 관측오차를 보여주는데, Hβ_N에 대한 오차가 Hβ_W에 대한 것보다 두배 정도 큰 것을 알 수 있다. 이것은 Hβ_N 관측시 충분한 노출시간을 줄 수 없었기 때문에 생긴 것으로 보인다.

표 6은 Stetson(1981)이 관측한 24개의 구성원별 중에서 우리의 관측영역에 들어온 8개의 별에 대한 Hβ값을 나타낸 것으로, 첫번째 칼럼은 관측된 별에 대한 우리의 고유번호인데 두개의 번호가 주어져 있는 경우는 상이한 영역에서 이중으로 관측되었음을 뜻한다. 두번째 칼럼은 Stetson이 부여한 고유명이며, 세번째 칼럼은 Stetson의 V등급값이고 네번째 칼럼의 β_S는 Stetson이 광전측광으로 구한 값이며 다섯번째 칼럼의 β_O는 우리가 구한 값이고, 마지막 칼럼은 두 값의 차이를 나타낸다. 그림 7은 V등급의 밝기에 따른 Hβ값의 오차가 두 경우 어떻게 다른가를 보여 주고 있

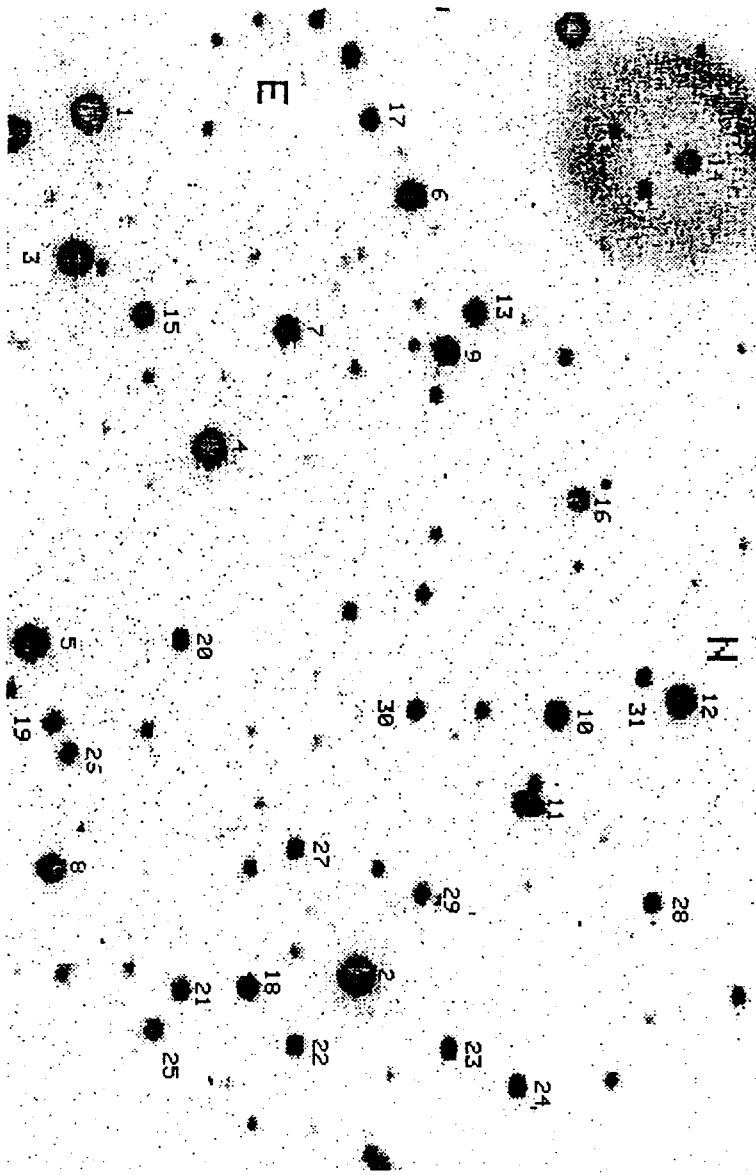


그림 4(a). NGC2437에 대하여 판측된 A 영역.

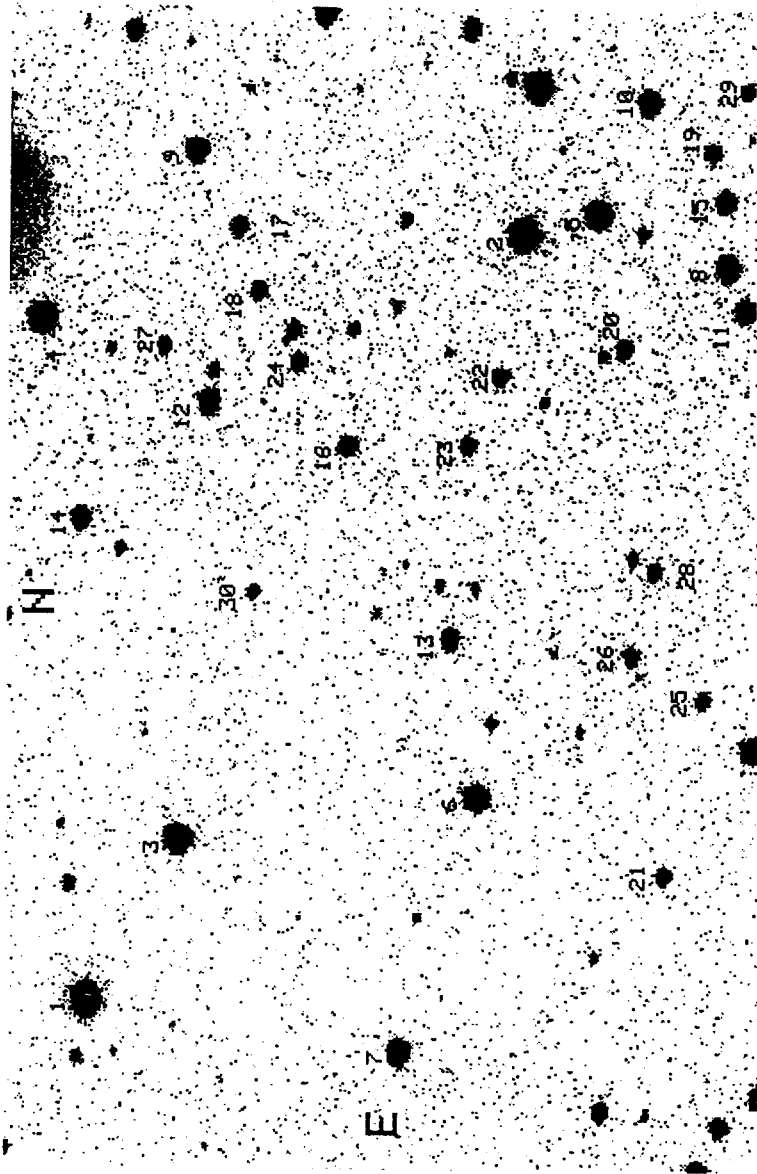


그림 4(b). NGC2437에 대하여 관측된 B 영역.

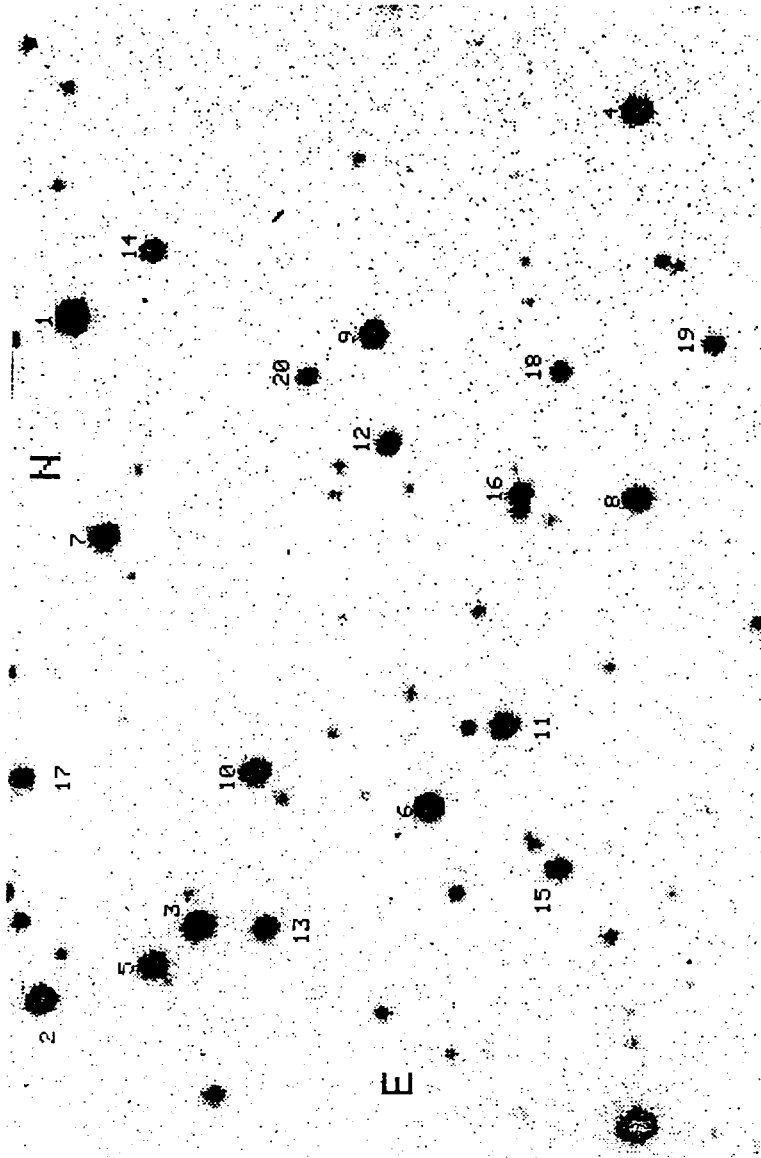


그림 4(c). NGC2437에 대하여 관측된 C 영역.

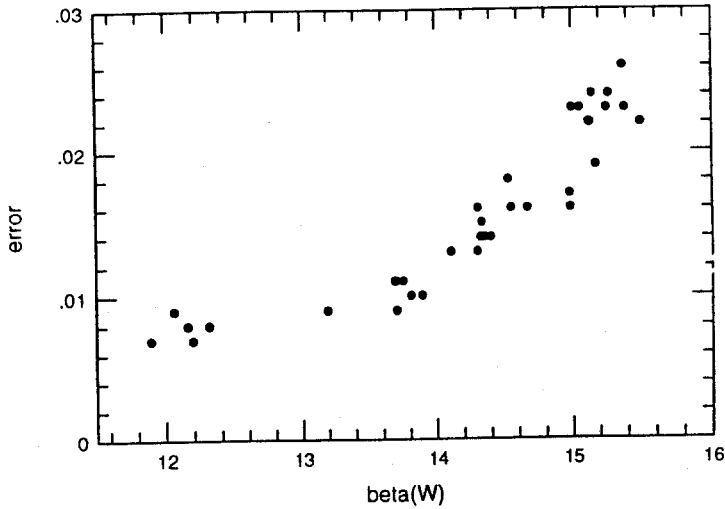


그림 5. 표 5의 H β_w 에 대한 오차와의 상관관계.

다. 이 그림에서 네모는 Stetson의 오차이고 삼각형은 우리의 오차에 대응되는데, Stetson의 오차는 약 12등급까지는 임의적으로 변화하여 등급의 변화에 따른 효과를 제대로 반영하지 못하고 있다. 또한 전반적으로 오차의 크기가 광전측광의 경우나 CCD 측광의 경우나 별 차이가 없으며, 비록 관측 자료가 14C 하나에 불과하지만 어두운 천체에 대하여는 CCD의 결과가 더 작은 오차를 유발시킨다는 것을 알 수 있다. 이것은 CCD에 의한 H β 관측이 광전측광에 의한 경우에 필적할 정도로 정확도가 높다는 것을 의미한다.

Stetson의 값을 표준치로하여 우리의 값을 표준화 시키기 위한 변환식을 유도하기 위하여, 표 4에 나와 있는 표준치와 기기치 사이의 차이가 기기치와 어떤 상관관계가 있는가를 알아보았다 (그림 8). X와 Y축은 표 6에서의 표준치 β_S 와 dif에 대응된다. 그림에서 보는 것처럼 자료의 분산이 매우 크게 나타났으며 그림 2의 날별 표준성에 대한 경우와는 상당한 차이를 보이는데, 그 원인이 확실하지는 않지만 아마도 Stetson의 NGC2437에 대한 값이 Perry *et al.*(1987)의 표준성에 대한 표준값만큼 정확하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 성단에 속하는 H β 측광계의 표준성이 아직까지 개발되어 있지 않기 때문에 이 문제는 성단에 속하는 UBVRi 측광계의 이차표준성을 관측하면 분명하게 알 수 있을 것이다. 이차표준성에 대해서라도 표준치가 신뢰성이 있으면 H β 측광계에서도 CCD에 의한 기기치를 표준치로 변환시키는 것은 아무런 문제가 되지 않을 것으로 생각된다. 최소자승법으로 구한 이 그림에서의 직선에 대응하는 식은

$$dif = 3.087(\pm 0.384) - 1.191(\pm 0.310)\beta \tag{2}$$

표 5. NGC2437의 세 영역 A, B 및 C의 항성에 대한 CCD $H\beta$ (W) 및 $H\beta$ (N) 관측치.

ID	X	Y	$H\beta$ (W)	$H\beta$ (N)
1A	343.89	8.11	11.895± .007	13.133± .011
2A	203.66	436.76	12.061± .009	13.317± .009
3A	350.70	81.79	12.158± .008	13.383± .010
4A	281.28	175.00	12.194± .007	13.296± .009
5A	372.56	272.39	12.309± .008	13.560± .012
6A	178.29	49.46	13.195± .009	14.418± .015
7A	241.27	116.72	13.687± .011	14.909± .019
8A	361.73	383.81	13.701± .011	14.908± .020
9A	160.44	126.54	13.751± .011	14.973± .019
10A	103.90	306.94	13.809± .010	14.797± .017
11A	118.72	350.93	13.894± .010	15.092± .021
12A	41.18	298.68	14.107± .013	
13A	145.64	107.78	14.301± .013	15.491± .026
14A	39.25	31.63	14.304± .016	15.513± .026
15A	316.21	109.45	14.333± .015	15.549± .028
16A	93.00	200.05	14.399± .014	15.560± .026
17A	199.25	10.93	14.527± .018	15.756± .031
18A	259.87	442.24	14.547± .016	15.710± .031
19A	360.84	311.45	14.979± .017	16.147± .040
20A	296.12	270.72	14.984± .016	16.180± .043
21A	294.96	443.51	14.997± .023	15.916± .035
22A	235.43	471.51	15.055± .023	16.225± .048
23A	156.85	472.96	15.121± .022	16.232± .044
24A	122.04	491.38	15.129± .022	16.249± .046
25A	309.25	463.82	15.144± .024	16.221± .043
26A	353.15	326.48	15.171± .019	16.229± .043
27A	235.85	373.52	15.250± .023	16.253± .042
28A	54.89	399.93	15.266± .024	16.199± .046
29A	170.56	395.97	15.368± .026	16.312± .047
30A	174.63	305.07	15.381± .023	16.419± .051
31A	59.54	288.65	15.493± .022	16.424± .050
1B	43.45	32.91	11.455± .012	12.293± .011
2B	262.40	416.10	12.012± .015	12.729± .011

표 5. 계속

ID	X	Y	H β (W)	H β (N)
3B	91.07	113.81	12.356 \pm .010	13.072 \pm .010
4B	17.06	372.94	12.358 \pm .009	13.135 \pm .010
5B	300.60	426.15	12.584 \pm .010	13.380 \pm .010
6B	241.10	135.71	12.753 \pm .009	13.468 \pm .012
7B	201.97	8.64	12.974 \pm .008	13.739 \pm .012
8B	365.84	401.22	13.172 \pm .011	13.897 \pm .014
9B	96.99	457.37	13.237 \pm .010	13.994 \pm .012
10B	326.10	482.20	13.329 \pm .010	13.886 \pm .013
11B	374.56	379.82	13.650 \pm .011	14.450 \pm .014
12B	104.16	331.71	13.651 \pm .011	14.426 \pm .015
13B	226.52	214.14	13.726 \pm .016	14.541 \pm .016
14B	38.37	272.51	13.776 \pm .011	14.564 \pm .018
15B	363.96	434.35	13.993 \pm .013	14.734 \pm .016
16B	172.90	310.23	14.252 \pm .012	15.051 \pm .022
17B	117.89	418.98	14.551 \pm .017	15.341 \pm .023
18B	127.62	387.04	14.619 \pm .020	15.448 \pm .034
19B	357.93	458.26	14.683 \pm .018	15.435 \pm .027
20B	313.85	359.80	14.882 \pm .020	15.493 \pm .027
21B	336.14	97.19	14.922 \pm .018	15.745 \pm .041
22B	250.93	345.68	14.940 \pm .020	15.689 \pm .030
23B	235.17	311.95	15.068 \pm .023	15.717 \pm .033
24B	147.88	351.51	15.079 \pm .020	15.807 \pm .036
25B	355.01	184.79	15.213 \pm .020	15.760 \pm .039
26B	318.91	206.35	15.219 \pm .024	15.693 \pm .036
27B	81.27	359.85	15.242 \pm .021	15.937 \pm .034
28B	330.41	248.36	15.270 \pm .021	15.932 \pm .039
29B	374.48	488.57	15.584 \pm .025	16.243 \pm .043
30B	126.73	236.73	15.677 \pm .024	16.373 \pm .051
1C	32.79	375.78	12.266 \pm .006	13.146 \pm .011
2C	19.77	34.12	12.784 \pm .005	13.618 \pm .014
3C	100.69	72.58	12.900 \pm .006	13.731 \pm .013
4C	319.84	480.20	12.942 \pm .008	13.795 \pm .013
5C	77.66	52.41	13.177 \pm .008	14.041 \pm .015

표 5. 계속

ID	X	Y	H β (W)	H β (N)
6C	215.59	133.04	13.267 \pm .006	14.103 \pm .014
7C	50.03	266.23	13.277 \pm .006	14.128 \pm .014
8C	321.91	287.05	13.409 \pm .008	14.266 \pm .017
9C	184.02	368.43	13.531 \pm .006	14.392 \pm .016
10C	128.06	149.92	13.534 \pm .008	14.393 \pm .016
11C	254.58	174.10	13.589 \pm .007	14.444 \pm .017
12C	192.11	314.88	14.226 \pm .011	14.871 \pm .021
13C	133.79	71.41	14.077 \pm .009	14.925 \pm .021
14C	74.19	409.42	14.133 \pm .010	14.963 \pm .021
15C	282.09	102.46	14.279 \pm .010	15.004 \pm .022
16C	261.86	289.11	14.180 \pm .008	15.054 \pm .024
17C	8.84	145.47	14.206 \pm .009	15.098 \pm .026
18C	281.55	350.16	14.870 \pm .014	15.497 \pm .031
19C	359.26	364.10	14.842 \pm .014	15.719 \pm .037
20C	151.91	347.37	15.190 \pm .016	16.046 \pm .045

표 6. NGC2437에 속한 항성 중에서 Stetson (1981)에 의하여 광전증배관으로 관측된 표준치 (β_S)와 CCD에 의한 관측치 (β_o).

ID	Star	V	β_S	β_o	dif
1C	e	10.256	2.870 0.010	1.330 \pm 0.013	1.540
1A,2B	f	10.947	2.853 0.020	1.238 \pm 0.016	1.615
5A,2C	i	11.348	2.842 0.010	1.251 \pm 0.014	1.591
3B	j	11.354	2.851 0.010	1.218 \pm 0.014	1.633
4C	k	11.419	2.794 0.013	1.259 \pm 0.015	1.535
6B	m	11.814	2.805 0.008	1.199 \pm 0.015	1.606
8C	o	11.961	2.873 0.017	1.231 \pm 0.019	1.642
14C	s	12.602	2.918 0.039	1.157 \pm 0.023	1.761

으로 변환에 따른 분산이 크기는 하지만 일단 이 식을 사용하여 우리의 관측치를 Stetson의 표준치로 변환시켰다. 이 식에서 β 는 표 6에서의 표준치 β_o 값이다.

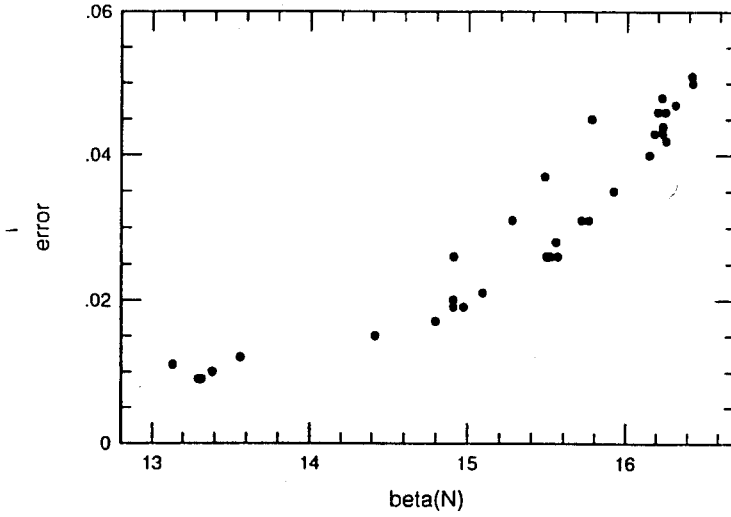


그림 6. 표 5의 H β_N 에 대한 오차와의 상관관계.

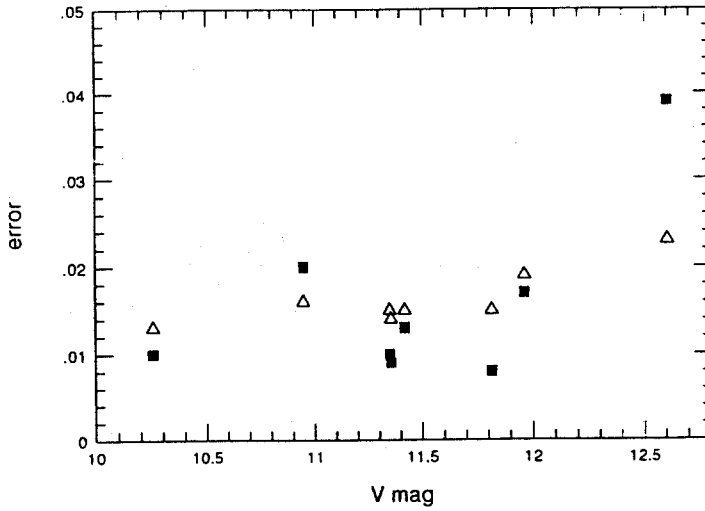


그림 7. 표 6의 V등급 변화에 따른 광전증배관과 CCD에 의한 H β 오차값의 변화.

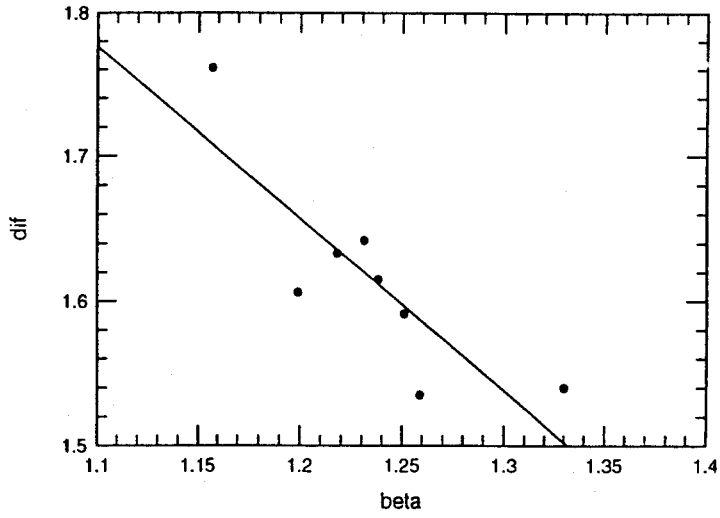


그림 8. 표 6의 CCD에 의한 관측치(β_0)와, Stetson의 관측치와 CCD에 의한 관측치 사이의 차이(dif)에 대한 상관관계.

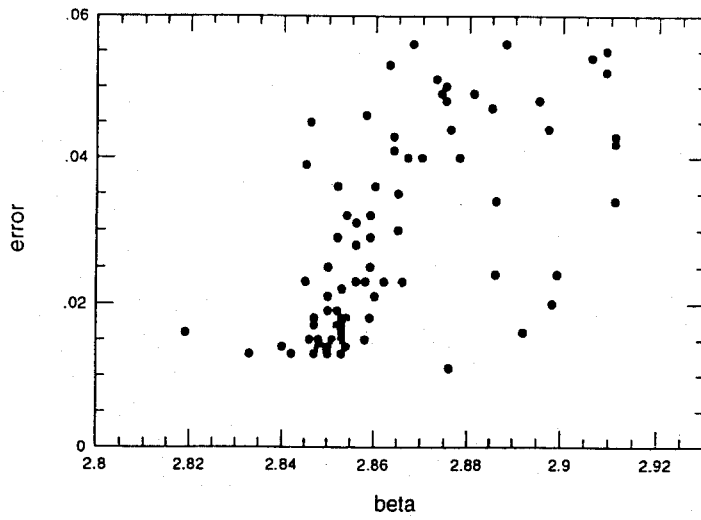


그림 9. 표 7의 $H\beta$ 값과 오차와의 상관관계.

표 7. Stetson의 관측치로 표준화되고 상이한 영역에 대하여 영점조정된 H β 표준치.

ID	X	Y	H β	ID	X	Y	H β
1A	343.89	8.11	2.850 \pm .013	11B	374.56	379.82	2.847 \pm .018
2A	203.66	436.76	2.847 \pm .013	12B	104.16	331.71	2.852 \pm .019
3A	350.70	81.79	2.853 \pm .013	13B	226.52	214.14	2.845 \pm .023
4A	281.28	175.00	2.876 \pm .011	14B	38.37	272.51	2.850 \pm .021
5A	372.56	272.39	2.848 \pm .014	15B	363.96	434.35	2.860 \pm .021
6A	178.29	49.46	2.853 \pm .017	16B	172.90	310.23	2.850 \pm .025
7A	241.27	116.72	2.853 \pm .022	17B	117.89	418.98	2.852 \pm .029
8A	361.73	383.81	2.856 \pm .023	18B	127.62	387.04	2.845 \pm .039
9A	160.44	126.54	2.853 \pm .022	19B	357.93	458.26	2.859 \pm .032
10A	103.90	306.94	2.898 \pm .020	20B	313.85	359.80	2.886 \pm .034
11A	118.72	350.93	2.858 \pm .023	21B	336.14	97.19	2.846 \pm .045
12A	41.18	298.68		22B	250.93	345.68	2.860 \pm .036
13A	145.64	107.78	2.859 \pm .029	23B	235.17	311.95	2.878 \pm .040
14A	39.25	31.63	2.856 \pm .031	24B	147.88	351.51	2.864 \pm .041
15A	316.21	109.45	2.854 \pm .032	25B	355.01	184.79	2.897 \pm .044
16A	93.00	200.05	2.865 \pm .030	26B	318.91	206.35	2.911 \pm .043
17A	199.25	10.93	2.852 \pm .036	27B	81.27	359.85	2.870 \pm .040
18A	259.87	442.24	2.865 \pm .035	28B	330.41	248.36	2.876 \pm .044
19A	360.84	311.45	2.864 \pm .043	29B	374.48	488.57	2.875 \pm .050
20A	296.12	270.72	2.858 \pm .046	30B	126.73	236.73	2.868 \pm .056
21A	294.96	443.51	2.911 \pm .042	1C	32.79	375.78	2.833 \pm .013
22A	235.43	471.51	2.863 \pm .053	2C	19.77	34.12	2.848 \pm .015
23A	156.85	472.96	2.874 \pm .049	3C	100.69	72.58	2.849 \pm .014
24A	122.04	491.38	2.873 \pm .051	4C	319.84	480.20	2.846 \pm .015
25A	309.25	463.82	2.881 \pm .049	5C	77.66	52.41	2.847 \pm .017
26A	353.15	326.48	2.885 \pm .047	6C	215.59	133.04	2.853 \pm .015
27A	235.85	373.52	2.895 \pm .048	7C	50.03	266.23	2.851 \pm .015
28A	54.89	399.93	2.909 \pm .052	8C	321.91	287.05	2.852 \pm .019
29A	170.56	395.97	2.906 \pm .054	9C	184.02	368.43	2.852 \pm .017
30A	174.63	305.07	2.888 \pm .056	10C	128.06	149.92	2.853 \pm .018
31A	59.54	288.65	2.909 \pm .055	11C	254.58	174.10	2.854 \pm .018
1B	43.45	32.91	2.819 \pm .016	12C	192.11	314.88	2.899 \pm .024
2B	262.40	416.10	2.850 \pm .019	13C	133.79	71.41	2.862 \pm .023
3B	91.07	113.81	2.854 \pm .014	14C	74.19	409.42	2.866 \pm .023
4B	17.06	372.94	2.842 \pm .013	15C	282.09	102.46	2.886 \pm .024
5B	300.60	426.15	2.840 \pm .014	16C	261.86	289.11	2.859 \pm .025
6B	241.10	135.71	2.858 \pm .015	17C	8.84	145.47	2.856 \pm .028
7B	201.97	8.64	2.850 \pm .014	18C	281.55	350.16	2.911 \pm .034
8B	365.84	401.22	2.859 \pm .018	19C	359.26	364.10	2.867 \pm .040
9B	96.99	457.37	2.853 \pm .016	20C	151.91	347.37	2.875 \pm .048
10B	326.10	482.20	2.892 \pm .016				

다음으로 상이한 영역에 따른 표준치의 영점을 보정하였다. A와 B 영역이 겹치는 곳에 세 개의 별 (1A,2B), (6A,9B), (17A,17B)가 있다. 이들 별에 대한 표 5의 값으로부터 구한 H β_N 와 H β_W 에 대한 영점보정식은 각각

$$H\beta_{W,B} = 0.019H\beta_{W,A}^2 - 0.538H\beta_{W,A} + 3.853 \tag{3}$$

$$H\beta_{N,B} = -1.352H\beta_{N,A}^2 + 0.249H\beta_{N,A} - 0.009 \tag{4}$$

이다. 또한 A와 C 영역이 겹치는 곳에는 두개의 별 (8A,17C), (5A, 2C)가 있으며 같은 방법으로 구한 영점보정식은 각각

$$H\beta_{W,C} = -0.021H\beta_{W,A} - 0.205 \quad (5)$$

$$H\beta_{N,C} = -0.089H\beta_{N,A} - 1.157 \quad (6)$$

이다. 최종적으로 보정된 NGC2437에 대한 $H\beta$ 값을 표 7에 수록하였다. 여기에서 오차값은 표준치로의 변환과 영점보정 과정에서 발생된 오차는 포함되지 않았다. 그림 9에 최종 $H\beta$ 값에 대한 오차를 나타내었다. 그림 5와 그림 6은 각각의 등급에 대한 것이고 그림 9는 등급의 차이에 대한 것으로 두 경우를 직접적으로 비교하기는 무리이나, 기기치에 대한 오차와 최종적으로 보정된 값의 오차 사이에 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다. 적어도 표준치로의 변환과 상이한 영역에 대한 영점조정 과정에서 많은 오차가 유발되었음을 짐작하기에는 충분하다. 또한 오차는 $H\beta$ 값이 약 $2.^m84$ 보다 큰 경우 급격하게 증가하는데 이것이 $H\beta$ 값이 적은 A나 F형 항성에 대한 숫자가 적기 때문에 나타난 선택효과인지 아니면 다른 원인에 의한 것인지 확실하지 않다.

우리는 이제까지 표준성과 NGC2437에 대한 $H\beta$ CCD 관측을 통하여 CCD를 검출기로 사용하는 경우 $H\beta$ 측광계가 얼마나 신뢰성을 가질 수 있는가 살펴보았는데, 플랫폼 필딩도 광대역측광계와 비교하여 별다른 차이가 없으며, 성단에 대한 경우 역시 광전측광 결과와 CCD 측광에 의한 결과를 비교할 때 오차의 크기가 거의 같은 점으로 보아 CCD에 의한 $H\beta$ 측광이 충분히 유용하다는 것을 알 수 있다.

감사의 글: DoPHOT의 사용에 대하여 조언을 아끼지 않은 서울대학교의 이명균교수께 감사드리며, 이 연구는 1993년도 한국표준과학연구원 천문대의 위탁연구에 의하여 인도 Vainu-Bappu 천문대의 2.3m 망원경과 소백산천문대의 60cm 망원경을 이용하여 관측한 연구결과임을 밝혀드립니다.

참고문헌

- 박남규 1993, 박사학위논문, 서울대학교
 Balona, L. 1993, Unpublished
 Crawford, D. L. & Barnes, J. V. 1970, AJ, 75, 978
 Crawford, D. L. & Mander, J. 1966, AJ, 71, 114
 Gronbech, P. J., Olsen, E. H., & Stromgren, B. 1976, A&AS, 26, 155
 Hoffleit, D. 1982, Bright Star Catalogue.
 Kraft, R. P. & Landolt, A. U. 1959, ApJ, 129, 287
 Meurers, J. 1962, Bonn. Veroff. No. 61

- O'Dell, C. R. 1963, *PASP*, 75, 370
Olsen, E. H. 1983, *A&AS*, 54, 55
Olsen, E. H. 1984, *A&AS*, 57, 443
Perry, C., Olsen, E. H., & Crawford, D. L. 1987, *PASP*, 99, 1184
Schechter, P., Mateo, M. & Saha, A. 1993, *PASP*, 105, 1342
Sahade, J. & Davila, F. B. 1963, *Ann. Astrophys.* 26, 153
Smith, M. J. & Nandy, K. 1962, *Pub. R. Obs. Edinburgh* 3, 21
Stetson, P. B. 1981, *AJ*, 86, 1500