J. Astron. Space Sci. 10(1), 94–102 (1993)

광섬유를 이용한 다중채널 광전측광기 개발

이우백 · 김호일 · 문일권
한국표준과학연구원 천문대

DEVELOPMENT OF MULTI-CHANNEL PHOTOELECTRIC PHOTOMETER USING OPTICAL FIBER

Woo-Baik Lee, Ho-Il Kim and Il Kweon Moon
Korea Astronomy Observatory

(Received May 15, 1993; Accepted June 15, 1993)

요 약

소백산천문대의 61 cm 망원경에 사용하기 위하여 광섬유를 이용한 다중채널 광전측광기를 개발하였다. 이 측광기의 채널간 광전송 효율 차이를 검증하기 위한 시험관측을 실시한 결과 큰 차이가 없음을 알았다. 또한 관측 정밀도 및 효율을 검증하기 위하여 W UMa형 식쌍성인 *BV* Dra를 관측한 결과 측광기가 매우 안정되어 있으며 관측 정밀도도 향상되었음을 알았다. 관측 효율은 단일채널 측광기에 비하여 매우 향상되어, 하나의 필터를 사용하는 관측의 경우 적어도 5배의 관측자료를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

We have developed a four-channel photoelectric photometer for the 61cm telescope of Sobaeksan Astronomy Observatory using optical fiber. We observed a standard star with each channel to check the efficiency difference between the channels, and found no differences. To calibrate the observing accuracy and efficiency, we have observed a short period W UMa type eclipsing binary star, BV Dra. Test observations show that the photometer is very stable and the accuracy of the data is also increased. The observing efficiency is very increased compared with that of single channel photometer; at least five times faster than older one in the case of one filter observation.

1. 서 론

천체의 변광 특성을 관측하기 위하여 사용하는 차등광전측광은 비교성, 목적성, 검토성 그리고 배경 하늘의 밝기를 순차적으로 반복 측정하여 외적인 영향을 제거하고 목적성 자체의 변광을 찾아내기 위한 관측 방법이다. 단일채널측광기를 사용하는 기존의 관측방법으로는 망원경을 한 별에서 다른 별로 움직이는데 전체 망원경 사용시간 중 많은 부분이 소요되며, 망원경을 이동하는 동안에 발생하는 대기변화의 영향을 제거할 수 없다는 등의 단점이 있다. 또한 종래의 방법으로 제작된 이중채널 혹은 그 이상의 다중채널 측광기는 보다 신속한 관측을 할 수 있다는 장점은 있으나 단일채널 측광기가 갖는 단점을 근원적으로 극복할 수는 없다. 망원경을 움직이지 않고 관측하기 위해서는 망원경의 시야내에서 목적성을 비롯하여 비교성과 검토성을 선택하여야 하는데 기존의 측광기는 조리개를 고정된 위치에 두어야 한다는 구조상의 제약으로 인해 임의의 위치에 있는 다수의 천체를 동시에 선택할 수 없기 때문이다.

기존의 측광기가 가지고 있는 이러한 문제는 광섬유를 도입하여 해결할 수 있다. 광섬유의 굵기가 망원경 시야에 비하여 매우 작으므로 한 시야에 다수의 광섬유를 위치시킬 수 있으며, 망원경 시야에 있는 대상 천체들의 빛을 광섬유에 입사시키므로서 원하는 장소로 자유롭게 유도할 수 있기 때문이다. 기존방식의 다중채널 측광기의 경우 부착할 수 있는 관측기기의 중량과 부피가 매우 제한되어 있다는 점이 제작의 난점으로 작용하였으나 광섬유를 사용하므로서 측광기를 망원경에서 분리시킬 수 있다는 것이 광섬유의 또 다른 장점이다.

우리는 광전측광 관측 대상 천체의 범위를 확장하고, 늘어나는 관측요구를 수용하는 하나의 방법으로 광섬유를 이용한 다중채널 측광기를 설계, 제작하였다. 제작한 측광기의 특성과 시험관측한 결과를 소개한다.

2. 측광기의 구성

이 연구를 통하여 개발된 측광기는 기존의 측광기와는 다른 구조를 하고 있다. 기존의 측광기가 한 몸체로 구성되어 이것이 망원경에 부착되는 구조를 하고 있는 반면에, 이 측광기는 망원경의 초점면에서 원하는 별들을 선택하여 광섬유에 집속 시키는 부분과 광섬유를 따라 전송된 빛을 실제로 측광하는 두 부분으로 나뉘어 있다. 기술의 편리상 전자를 수광부, 후자를 측광부라 부르기로 한다.

이 연구를 통하여 개발된 측광기의 전체적인 개략도는 그림 1과 같으며, 망원경에 부착한 다중채널 광전측광기의 모습은 그림 2와 같다. 이 논문에서는 측광기를 이루는 각 부분들에 대하여 개략적으로 설명하였으며, 보다 상세한 내용은 과기처 특정연구보고서 (이우백 등 1991, 1992)를 참고하기 바란다.

2-1. 수광부

수광부는 원하는 천체를 찾기 위한 하나의 접안경과 네개의 광섬유 및 접안경을 원하는 천체로 이동시켜 주기 위한 5개조의 트랜슬레이터, 그리고 천체의 빛을 광섬유로 집속시키는 네개의 SELFOC 렌즈등으로 구성되어 있다.

천체 관측은 통상 가시광선의 전영역에서 이루어지므로 광섬유는 적어도 3000Å- 9000Å사이에서 좋은 광전송률을 가져야 하며 낮은 FRD(focal ratio degradation)를 가져야 한다. 여

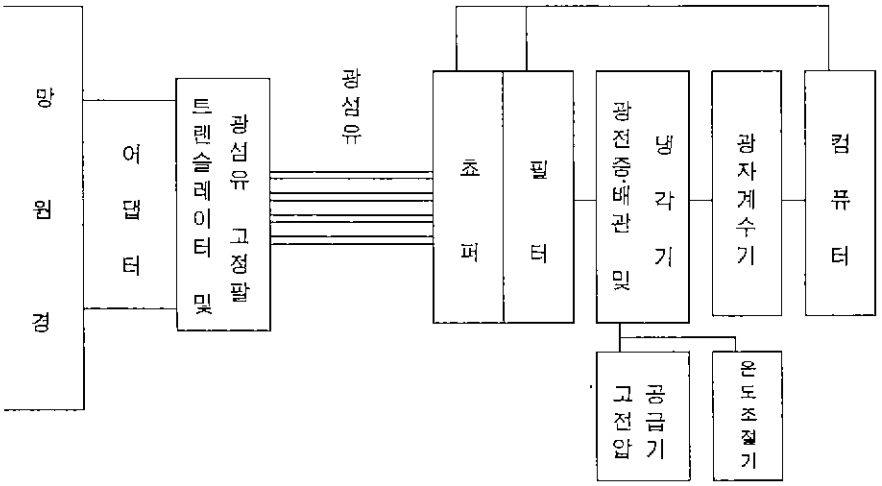

그림 1. 다중채널 광전측광기의 전체 개략도.

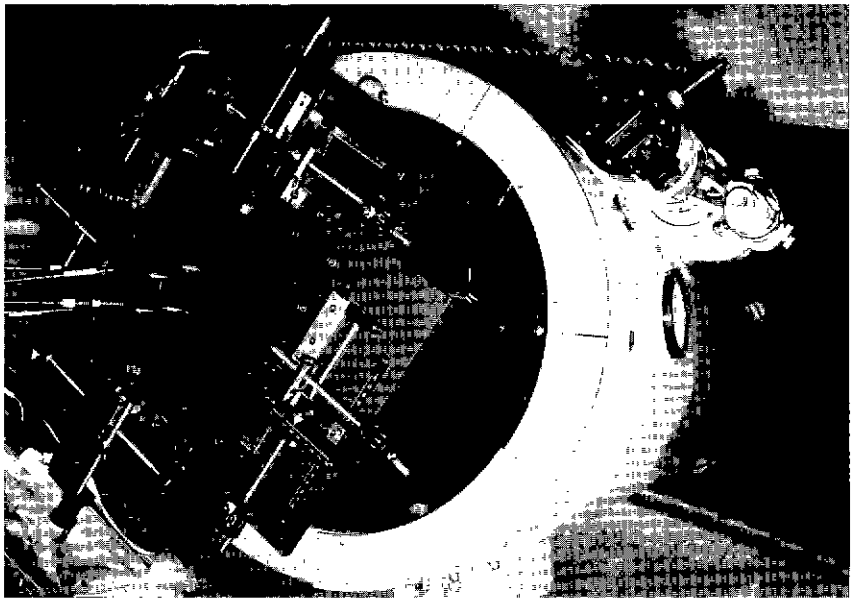

그림 2. 망원경에 부착한 다중채널 광전측광기의 모습.

표 1. 측광기에 사용된 ST400E-SY 광섬유의 특성 및 제원.

length	12m
core diameter(μm)	400 ± 20
core non-circularity(%)	≤ 5
core concentricity error(%)	≤ 3
fiber diameter(μm)	500 ± 25
fiber non-circularity(%)	≤ 5
outer diameter (mm)	1.3
numerical aperture	0.2
attenuation (0.85 μm)	$\leq 15 dB/km$

기서 FRD란 광섬유를 통과하여 나오는 광속이 입사 광속보다 커져서 원형의 띠 형태로 출사되는 것을 말하며 측광기 효율에 매우 중요한 영향을 미치게 된다. 우리의 실험 (이우백 등 1991)과 외국의 천문대에서 분석한 결과(Nelson 1988)에 의하면 광섬유의 FRD는 광섬유 core의 굵기가 커지면 감소하는 경향이 있음을 보여주고있다. 우리가 선택한 광섬유 (Mitsubishi, ST400E-SY)는 다른 재질에 비하여 짧은 파장 영역에서 전송효율이 좋으며 긴 파장영역에서도 전송 특성이 좋은 fused silica를 재질로 하고 core 직경이 $400\mu m$인 step-index 광섬유로 자세한 제원은 표 1과 같다.

광섬유를 이용하여 빛을 전달하고자 할 때 일반적으로 광섬유의 끝단을 가공하거나 특정한 렌즈를 이용하여 광섬유의 전송효율을 높히고 있다. 조사한 바로는 우리의 측광기에 가장 적합한 광섬유의 결합 방법은 높은 광 집속허용도를 갖고 망원경의 초점면에 부착했을때 관측 가능한 면적을 많이 확보할 수 있는 GRIN 렌즈를 사용하는 방법이다 (이우백 등 1991). GRIN 렌즈란 렌즈의 중심부에서 가장자리로 감에 따라 굴절률의 분포가 포물선형으로 변하는 렌즈이며, pitch에 따라 광섬유를 통과한 광속의 형태를 결정할 수 있다. 측광기에 사용된 GRIN 렌즈는 직경 2mm의 막대형으로 만들어진 SELFOC(Nippon Sheet Galss 제작)으로서 광섬유의 양 끝단에 부착하여 광섬유 끝에 초점이 만들어지도록 하여 수광각 범위내로 광선을 인도해주며, 광섬유를 통과한 광선이 평행광으로 출사되도록 해주는 0.25 pitch의 것을 사용하였다.

소백산 천문대 61 cm 망원경의 초점면의 지름은 130 mm로서 시야각으로 약 55호분에 해당된다. 망원경 초점면내의 임의의 위치에 광섬유를 고정하기 위하여 4개의 독립된 광섬유 고정팔을 X - Y 방향으로 운동하는 트랜슬레이터에 설치하였다. 사용한 트랜슬레이터는 볼 스크류(ball screw) 직선운동 가이드형으로 back-lash가 무시할 정도로 작고, 각각의 이동 정밀도는 $\pm 25\mu m$ 이내이다. 또한 원하는 천체를 찾는데 필요한 접안경은 별도의 슬라이딩 방식의 X - Y 트랜슬레이터에 설치하였다. 이 접안경은 광시야용으로 10배의 확대율을 갖고있다.

2-2. 측광부

측광부는 SELFOC렌즈를 통해서 나오는 빛을 원하는 크기로, 원하는 위치에 보내기 위한 Fabry 렌즈와 네개의 광섬유중에서 측광하여야 하는 것만을 선택하기 위한 쵸퍼, 필터, 광전증배관, 그리고 냉각집등으로 구성되어 있다. 또한 광전증배관용 고전압 공급기와 냉각기의 온도를

조절하기 위한 온도조절기, 그리고 광전증배관에서 나온 신호를 측정하는 광자계수기가 부가적으로 포함되어 있다. 광자 계수기와 초퍼용 모터, 필터용 모터는 각각 개인용 컴퓨터와 연결되어 있으며 이들을 제어하고 관측에 사용할 수 있도록 하는 프로그램도 중요한 부분이다.

Fabry 렌즈는 광섬유의 끝단 SELFOC을 통과한 후에 나오는 광속을 균일한 강도를 갖도록 해주며 광속의 크기를 광전 증배관의 photo-cathod의 크기에 적합하도록 조절 해주는 역할을 한다. 측광기에 사용된 렌즈는 직경이 8mm, 초점거리가 30mm인 fused-silica 재질의 plano-convex형으로 4개의 채널에 각각 하나씩을 사용하였다. 렌즈를 통과한 광속의 크기는 약 7.2mm로서 $10mm \times 10mm$인 photo-cathod면에 충분히 입사 시킬 수 있는 크기이다.

우리가 제작한 측광기는 4개의 채널을 갖는데 반하여 한개의 광전 증배관을 사용하도록 되어 있다. 따라서 원하는 채널만을 선택하기위한 초퍼가 필요한데 사용한 초퍼는 직경 8mm의 홀을 갖는 원형판으로 되어 있으며, stepping 모터로 구동이 되도록 하였다. 또한 원점을 알려주어 기어의 누적 오차를 없애주기 위해 원 적외선 광센서를 부착하였다.

측광기에 사용한 필터는 Johnson의 표준 *UBVRI*로 Bessell (1990)이 추천한 조합을 따랐으며, 적색 누출이 제거된 것이다. 이 필터들은 직경이 2인치이며, 이들을 장착할 필터 휠은 60도 간격으로 6개의 구멍을 가지고 있는 원판으로 되어있다. 필터휠 역시 stepping 모터로 제어되며, 광센서가 부착되어 원점을 보정하는데 이용된다.

광전증배관은 Hamamatsu사의 R943-02를 사용하였으며, 이것은 3000Å- 9000Å사이에서 우수한 양자효율을 갖는 것으로*UBVRI* 필터를 사용하기에 적합한 것이다. 이 광전 증배관은 $10mm \times 10mm$ 크기의 photo-cathod를 가지고 있으며, -1500DCV를 공급하여 사용되도록 되어있다. 열잡음을 줄이기 위하여 선택한 냉각기는 소백산 천문대의 지리적 여건을 고려하여 공냉식을 택하였다. 사용한 냉각기는 두번의 냉각 단계를 이용하여 주변 온도보다 50도 이하로 냉각이 가능하며, 냉각기의 창은 fused-silica로 되어 있고, 온도차에 의한 서리 방지용 열선이 주위에 감겨있다.

광전증배관으로부터 출력되는 신호를 측정하기 위하여 두 가지 종류의 계측기를 사용할 수 있다. 하나는 광자계수기이고, 또 다른 하나는 전류계이다. 광자계수기는 두 개의 외부 입력 채널을 가지고 있으며 각각의 채널은 200MHz 까지 측정 가능하다. 이 광자 계수기는 PC와의 인터페이싱을 위하여 RS232-C 와 GP-IB port를 가지고 있다. 이 계수기는 성능 및 안정성이 널리 인정되어 있으며 여러 천문대에서 천체 관측용으로 사용하고 있다. 소백산 천문대에서 보유하고 있는 전류계는 약한 전류를 측정하기 위한 것으로 pico-ampere까지 측정이 가능하고 auto-range 기능이 있어 전류세기의 차이가 많은 경우에도 편리하게 사용할 수 있다. 이 전류계 역시 GP-IB port를 통해 PC와 통신이 가능하다. 소백산 천문대에서는 이 전류계를 사용하여 많은 관측을 하였고, 기기의 안정성도 보장되어 있다.

3. 시험관측과 분석

일반적으로 천체 관측용 측광기는 시스템의 안정성과 사용의 편이성 그리고 관측 효율 등으로 성능을 판단할 수 있을 것이다. 우리가 제작한 측광기의 성능시험은 두가지 측면에서 시행하였는데, 그 하나는 채널간 광 전송률의 계통적 차이를 검증하기 위한 것이고, 다른 한가지는 측광의 안정성을 검증하기 위한 것이다.

표 2. 각 채널간의 광전송 특성 관측 자료.

회수	채널 1	채널 2	채널 3	채널 4	
1	1251	1260	1257	1245	
2	1262	1270	1275	1265	
3	1245	1251	1259	1245	
4	1246	1253	1261	1256	
5	1259	1272	1277	1261	
평균	1253	1261	1266	1254	1258
편차	±7	±9	±8	±8	±5

3-1. 광섬유간의 광전송률 검증을 위한 시험 관측

이중채널 이상의 측광기에서 가장 문제가 되는 것은 각 채널 사이의 측광효율의 차이이다. 측광기를 이루는 각 부분이 고유의 반응함수를 가지고 있고 같은 회사에서 만든 같은 모델의 제품이라도 각기 다른 반응함수를 갖기 때문에 발생하는 계통적 차이가 있게 마련이다. 따라서 우리가 만든 측광기는 이러한 문제를 최소화할 수 있도록 설계 당시에 관측효율보다는 안정성에 비중을 두었다. 우리는 채널간 측광효율의 차이를 검증하기 위하여 망원경에 부착한 광섬유 고정팔에 네개의 광섬유를 번갈아 교체하여 측광하였다. 관측에 사용한 별은 Astronomical Almanac에 실려 있는 $UBVRI$ 표준성인 BS 4550으로 적위가 $+37°47'$ 정도로 천정근처를 지나며 밝기가 6.45등급으로 비교적 밝은 별이다.

실제 관측은 이 별이 천정 부근을 통과할 때로 1-2-3-4 채널 순으로 반복하여 각 채널당 5회 측정하였으며 모두 10초의 노출을 하였다. 여기에서 얻은 측광자료는 PC와 연결된 pico-ammeter라는 전류계를 통하여 1초에 2회 전류값을 얻은 것이며 이들은 매번 산술평균되어 하나의 자료가 된다. 즉 일정시간을 노출하였다고 하여도 누적된 값을 갖는것이 아니라 0.5초 마다 측정된 값들의 평균값을 얻게 되므로 노출 시간의 약간의 차이가 결과에 영향을 주지는 않는다. 다만 노출을 오래 할 수록 각 관측값의 신뢰도가 증가할 뿐이다.

관측 결과를 표 2에 정리하였다. 이 표의 제 2, 3, 4, 5열은 각각 채널 1에서 4까지로 측정한 값으로 단위는 10^{-6} ampere 이다. 여기에 보인 값들은 대기 감광을 보정하지 않은 것이다. 앞에서도 설명하였듯이 천정 부근을 지날 때 약 20분에 걸쳐 관측한 것이므로 대기 감광 효과는 매우 적을 것으로 생각되기 때문이다. 표 2에서 보듯이 각 채널간의 측광효율, 다시 말해서 각 광섬유의 광전송 효율의 차이는 무시할 수 있는 것으로 보인다. 이는 우려했던 바와는 달리 채널간의 보정이 필요 없음을 의미하고 따라서 관측 결과에 대한 신뢰도를 그 만큼 높일 수 있음을 의미한다.

3-2. 측광의 안정성 검증을 위한 시험 관측

시험관측 대상을 선정함에 있어서 우리는 다음과 같은 선정 기준을 세웠다. 즉, 최소한 6시간 이상 관측할 수 있는 별일 것, 변광주기가 10시간 이하일 것, 등급이 7등급에서 9등급 사이에 있을 것, 안정된 광도곡선을 가질 것, 망원경의 시야에 비슷한 등급을 갖는 비교성이 있을 것 등이다. 소백산 천문대에서 5월중에 위의 조건을 모두 만족시키는 대상은 불과 두세개에 지나지 않았

표 3. BV Dra와 비교성 그리고 검토성의 기본 자료.

별이름	SAO번호	등급	적경(1950) $h\ m\ s$	적위(1950) $^o\ '\ ''$	분광형
BV Dra	16636	7.3	15 10 51	+62 02 33	G0
비교성	16615	8.2	15 07 55	+61 55 52	K5
검토성	16597	8.3	15 05 42	+62 00 46	F0

고 그 중에서 가장 좋은 조건을 가진 별이 BV Dra라고 하는 별이었다. 그러나 이 별은 안시쌍성으로 16호초 떨어진 곳에 동반성이 있으며 이 동반성 역시 BW Dra라는 식쌍성으로 이루어졌다. 따라서 BV Dra만 관측할 수 있도록 직경이 0.85mm인 조리개 4개를 각각의 SELFOC 렌즈 앞에 부착하였다. BV Dra와 비교성 그리고 검토성에 대한 자료를 SAO 성표에서 발췌하여 표 3에 정리하였다.

우리의 시험관측은 자료를 얻기 보다는 관측에서 나타날 수 있는 문제를 알아보는 것에 목적이 있다고 할 수 있다. 관측은 1993년 5월 26일 오후 9시부터 다음날 오전 3시 30분까지 약 6시간 30분 동안 수행되었다. 관측된 결과를 등급으로 환산하여 얻은 변광성과 비교성의 광도곡선을 그림 3에 수록 하였다. 이 그림은 대기감광 효과를 보정하지 않은 것으로 윗 부분은 변광성인 BV Dra의 광도곡선이고 아래 부분은 비교성의 광도곡선이다.

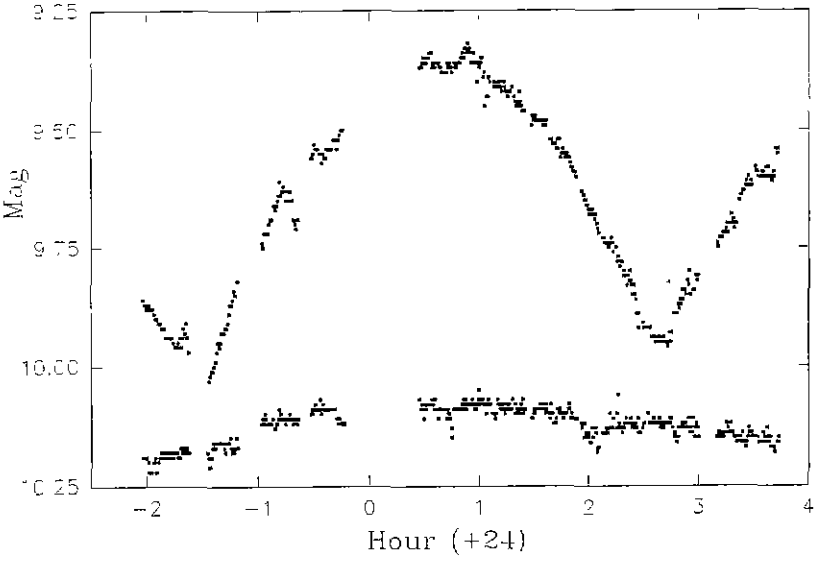

그림 3. BV Dra와 비교성의 광도곡선. 대기감광 효과를 제거하지 않은 것으로 위의 것은 BV Dra의 광도곡선이며, 아래의 광도곡선은 비교성이다.

이 광도곡선에서 알 수 있듯이, 전반부의 관측자료가 후반부에 비하여 질적으로 매우 떨어진다. 전반부의 관측에서는 비교성, 변광성, 검토성, 그리고 배경하늘등 네개의 대상에 대하여 측광을 하였으며 약 20분 간격으로 모든 광섬유에 대한 pointing을 다시 하였다. 우리가 제작한 측광기는 망원경의 tracking만 완벽하다면 관측 시작전에 한번 pointing하면 관측이 끝날 때까지 망원경을 움직일 필요가 전혀 없으나 실제로 관측한 결과 10 - 15분 사이에 한번은 pointing을 보정하여야만 하였다. 따라서 우리는 검토성의 측광을 포기하고 대신 이 별을 guiding star로 사용하기로 하였다. 즉 비교성, 변광성 그리고 배경하늘을 담당하는 채널을 그대로 놔두고 검토성을 담당하던 고정팔에 접안경을 위치하여 언제든지 diaphragm을 볼 수 있도록한 것이다. 전반부의 관측에서는 약 20분마다 망원경에 부착된 광섬유 고정팔에서 광섬유를 모두 제거하고 하나 하나 다시 pointing하므로서 시간적으로 많은 손실을 보았지만, 이 방법을 사용하므로서 모든 pointing을 위해 버려지는 시간을 최소화 할 수 있었다. 실제의 관측에서는 약 10 - 15분 간격으로 tracking을 확인하여 계속 보정하였다. 그 결과 관측자료의 질은 전에 비해 상당히 개선되었다.

4. 결과 및 토의

늘어나는 관측요구에 비하여 관측시설은 한정되어 있다는 점을 감안하면 관측기기 개발이 나아가야 하는 방향은 결국 관측효율을 극대화하는 것이며 그 하나의 방편으로 다중채널 관측기기 개발을 들 수 있다. 이 연구에서 개발된 다중채널 측광기는 우리나라에서는 처음으로 광섬유를 이용하여 개발된 다중채널 관측기기라는 점에서 의미를 갖는다.

시험관측에 의하면 우리가 제작한 측광기는 하나의 필터만을 사용할 경우 기존의 단일채널 측광기에 비하여 최소한 5배 이상의 관측효율을 가지며 관측의 편리성이라는 측면에서도 많은 진전이 있었다. 또한 오랜시간에 걸친 관측에서도 시스템이 전반적으로 안정되어 있다는 것을 검증할 수 있었으며, 관측자료가 만족할 만한 정밀도를 가지고 있음을 검증하였다. 따라서 이 측광기는 언제라도 실제 관측에 사용될 수 있으며 특히 짧은 시간에 일어나는 변광의 monitor등 기존의 단일채널 측광기로는 적합하지 않았던 관측에 사용하면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 우리의 시험관측이 매우 짧은 기간에 이루어졌다는 것은 아쉬운 일이다. 따라서 차후에는 충분한 시간을 갖고 계절별로 검증해보고 또한 표준계로의 전환을 위한 관측을 수행할 예정으로 있다.

이 이외에도 몇가지의 사소한 개선들, 예를 들면 여러 크기의 diaphragm을 준비한다거나 guiding을 위한 조명장치 등을 보완한다면 사용상의 편리함과 관측결과의 질적 향상에 많은 도움이 될 것으로 생각된다. 최근에는 우리나라에서도 CCD가 상당히 보급되었으므로, 앞으로는 광전증배관을 CCD로 교체한다면 더욱 이상적인 관측을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 과학기술처의 특정연구사업의 지원으로 수행되었음을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

이우백, 김호일, 성언창, 지용구, 문일권 1991, 광섬유를 이용한 이중채널 광전측광 기술 개발 I, 과학기술처

이우백, 김호일, 성언창, 지용구, 문일권 1992, 광섬유를 이용한 이중채널 광전측광 기술 개발 II, 과학기술처

Bessell, M. S. 1990, PASP, 102, 1181

Nelson, G. W. 1988, in Fiber Optics in Astronomy, Vol. 3, ed. Samuel C. Barden, (Springer-Verlag) 2