

## 산개성단 NGC 2420에 대한 *UBVI* CCD측광 *UBVI* CCD PHOTOMETRY OF THE OPEN CLUSTER NGC2420

이상현, 안홍배, 강용우  
부산대학교 지구과학과

SANG HYUN LEE, YONG-WOO KANG, AND HONG BAE ANN

Department of Earth Sciences, Pusan National University

Received Oct. 25, 1999; Accepted Nov. 19, 1999

### ABSTRACT

We present a new *UBVI* CCD photometry of the intermediate-age open cluster NGC 2420. Our photometry covers a field of  $7'.9 \times 7'.7$  of the sky centered on the cluster. We determined the reddening and distance to the cluster by the main sequence fitting as  $E(B - V) = 0.05 \pm 0.02$  and  $(m - M)_o = 11.9 \pm 0.1$ , along with the age of  $\sim 2$  Gyr by fitting the Padova isochrones to the observed color-magnitude diagrams of the cluster. The fraction of binaries is found to be  $44 \pm 5\%$  and they are likely to locate in the central region of the cluster. The spatial distributions of the binaries and the variation of the cluster luminosity functions along the radius suggest mass segregations due to the dynamical evolution of the cluster.

*Key words* : open cluster, photometry, NGC 2420, binaries

### 1. 서론

산개성단 NGC 2420은  $\alpha_{2000} = 07^h38^m24^s.7$ ,  $\delta_{2000} = +21^\circ34'.5$ 에 위치한 성단으로, 은하좌표로는  $l^{II} = 198.^\circ11$ ,  $b^{II} = 19.^\circ65$ 이다. 이 성단은 성단의 구성원 별이 많으며 은위가 높아 날별들에 의한 오염이 적어서 구성원 별들의 특성을 연구하기에 매우 유리한 성단이다. 이 성단은 Saram & Walker (1962)에 의한 측광 관측이 실시된 이후 많은 연구가 수행되었다. 특히 이 성단은 성간적색화량이 매우 적은 것으로 알려져 있는데, West (1967)의 연구에 의하면  $E(B - V) = 0.01$ 이며, Anthony-Twarog *et al.* (1990, 이후 AKST)은 다양한 방법을 이용하여  $E(B - V) = 0.05$ 를 도출하였다.

NGC 2420은 늙은 산개성단인데, 이 성단의 나이는 McClure *et al.* (1974, 이후 MFG)에 의해  $3.3 \pm 0.5$  Gyr으로 알려졌고, AKST의 *BV* CCD 관측에서는  $3.4 \pm 0.6$  Gyr로 얻어졌다. 그러나 Castellani *et al.* (1992)은 핵에서의 대류에 의한 오버슈팅이 없는 모형으로 NGC 2420의 나이를 1.7 Gyr로 추정하였다. 최근에 Demarque, Sarajedini, & Guo (1994)는 AKST의 색-등급도를 오버슈팅이 있는 모형으로 다시 분석하여  $2.4 \pm 0.2$  Gyr의 나이를 얻었다.

또한 이 성단은 주계열과 뚜렷이 구별되는 쌍성열이 발달해 있는 것으로 알려져 왔는데, AKST에 의하면 NGC 2420에는 쌍성이 약 40% 이상 존재하는 것으로 알려져 있다. Leonard (1988)는 이 성단은 성단의 외곽에 비해 중 ~~바~~ 밝은 별이 많이 분포하고 있는 것을 알아내고, 이것을 기한 것으로 보고 있다.

우리는 NGC 2420에 대하여  $V \sim 19^m$ 까지의 별들에 대해 *UBVI* 측광 관측을 수행하여 성간 소광량을 포함하여 거리와 나이 등 성단의 기본 물리량을 구하고자 한다. 또한 (*V*, *B* - *I*)의 색-등급도를 이용하여 쌍성의 비율 및 이들의 공간분포에 대해 연구하고 나이가 많은 성단에서 일어나고 있는 역학적 진화 현상을 알아보려 한다.

### 2. 관측과 자료분석

관측은 소백산 천문대의 61cm 망원경에 PM512 CCD 및 *UBVI* 필터를 이용하여 이루어졌다. 자료는 1998년 1월 31일, 2월 1일 과 2월 22일에 관측된 것이다. 사용한 CCD는 각 화소의 크기가  $20\mu\text{m}$ 로 한 영역은  $4.3 \times 4.3$ 에 해당된다. 우리는 중심 영역에 대해 1월 31일과 2월 1일 양일간에 관측하고 외곽의 4개 영역을 2월 25일에 관측하였는데, 외곽은 약 0.5씩 겹쳐지게 관측하여  $7'.9 \times 7'.7$ 에 대한 자료를 얻었다.

그림 1은 관측한 성단을 모자이크한 전체 영상이다.

표준계 변환을 위해 매 관측일마다 M67 (Montgomery, Marschall, & Janes 1993)의 표준성 영역을 여러번 관측하였다. 이때 관측의 신뢰도를 높이기 위해 성단을 매일 4회 이상 관측하여 순간적인 날씨 변화를 배제하는데 사용하였으며, 표준성은 매일 밤 5회 이상 관측하였다. 그리고 대기 소광의 정확한 보정을 위해 관측시 대기 투과량의 값의 변화를  $\Delta X \leq 0.03$ 으로 유지하였다. 관측한 3일 가운데 날씨가 가장 안정된 2월 1일의 관측자료를 이용하여 성단내

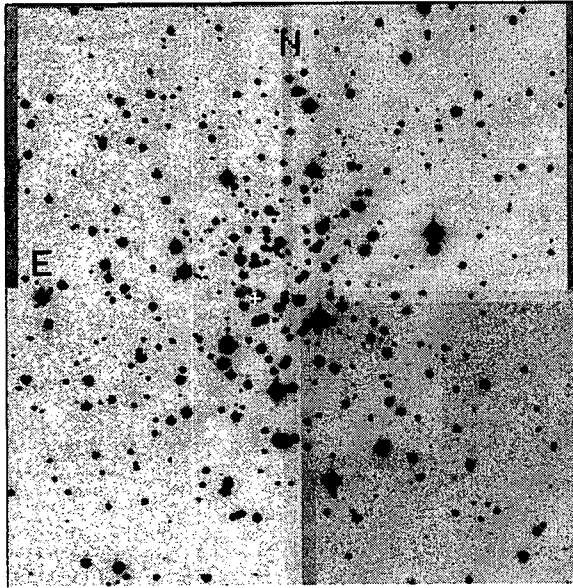


그림 1.— 관측된 성단의 영역 (V 영상) 위쪽이 북쪽이며 왼쪽이 동쪽이다. +로 표시된 점은 성단의 중심.

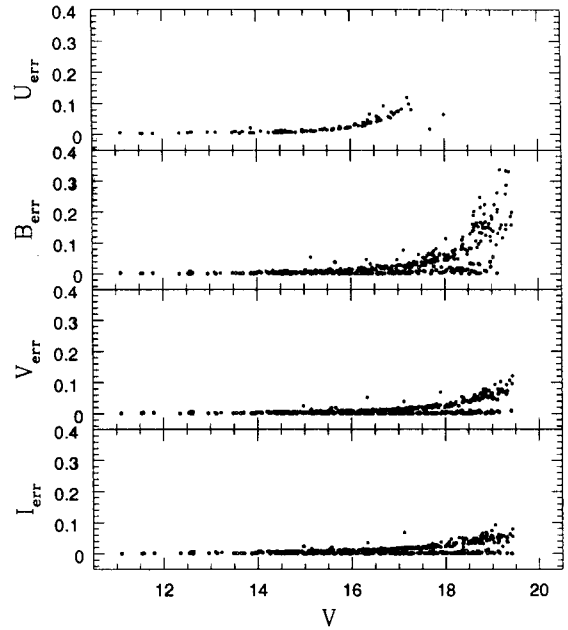


그림 3.— 측광된 별들의 오차분포. 검은 점은 ALLSTAR에 의한 오차이며 흰 점은 2회이상 관측된 별의 통계적 오차.

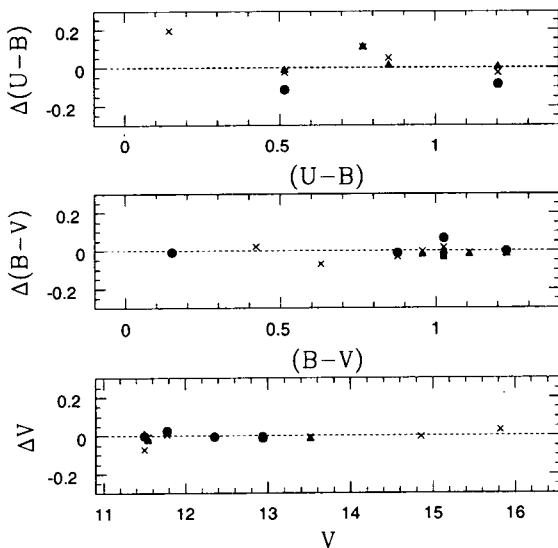


그림 2.— 표준화된 별들의 등급과 색을 이전의 관측과 비교하였다. 검은 원은 Sarma et al. (1962), 삼각형 Demarque et al. (1977), 사각형은 McClure et al. (1974), ×는 West (1967)와 비교한 것이다.

의 밝고 고립된 46개의 별을 표준화 하였다. 그 후 이 별들을 이용하여 나머지 영역의 별과 어두운 별들을 표준화하는 방법을 사용하였다. 망원경의 추적 한계로 인하여 장시간 노출을 사용할 수 없어 60초 ~ 200초를 여러번 노출한 것을 합성하여 사용하였다. 관측시 시상은 2."0 ~ 2."5이었다.

자료의 처리는 IRAF를 사용하여 실시하였다. 매 관측 일마다 박명을 이용한 바닥고르기 영상을 얻었고, 영점영상, 암영상을 수시로 얻어 그날 관측된 영상에 대한 보정을 하였다. 2월 1일에 관측된 자료에서 성단내의 밝고 고립된 별과 M67의 표준성 영역에 대하여 구경 측광을 실시하여 성단내의 표준성을 만들었다. 이때 사용된 구경은 15"로 관측일에 얻은 영상에서 구경의 크기를 다양하게 변화시켜 얻은 구경에 대한 기기 등급의 성장 곡선을 이용하여 결정하였다. 구경 측광을 통해 얻은 기기등급은 다음의 관계식으로 표준계로 변환하였다.

$$\begin{aligned}
 U &= u - 8.347(\pm 0.028) - 0.622(\pm 0.022)X \\
 &\quad - 0.083(\pm 0.252)(U - B) \\
 B &= b - 6.611(\pm 0.012) - 0.407(\pm 0.009)X \\
 &\quad - 0.121(\pm 0.038)(B - V) \\
 V &= v - 6.055(\pm 0.014) - 0.283(\pm 0.009)X \\
 &\quad - 0.005(\pm 0.036)(B - V) \\
 I &= i - 6.482(\pm 0.015) - 0.153(\pm 0.012)X
 \end{aligned}$$

$$-0.072(\pm 0.022)(V - I)$$

이 식에서 사용된 계수는 1998년 2월 1일에 관측된 M67내의 표준성을 사용하여 구하였다. 여기서 대문자는 표준계의 등급과 색지수를 나타낸 것이며, 소문자는 기기 등급을 나타낸 것이다.  $X$ 는 대기 투과량이다. 우리는 여러가지 대기 투과량에 대해 관측한 별들에 대해 독립적으로 표준화하여 얻은 등급을 가중 평균하여 최종적인 구경 측광 등급으로 하였다. 그림 2는 본 연구의 측광결과를 이전의 광전 측광 자료와 비교한 것인데, 그림에서 알 수 있듯이 다른 이전의 측광값과 체계적인 차이를 보이지는 않으나  $U - B$  색지수는 비교적 큰 분산을 보인다.

성단내의 흐린 별들의 등급은 각 관측일에 얻은 영상을 필터별로 합성하여 PSF 측광을 하여 얻었고, 외곽의 별들에 대하여 2월 25일 자료를 독립적으로 측광을 하였다. 외곽과 중심에 대한 자료는 기기등급을 각 필터별로 겹쳐진 영역의 별들을 이용하여 영점을 보정하고, 겹쳐진 영역의 별들은 등급을 가중 평균한 값을 취하여 사용하였다. 성단의 중심은 1월 31일에 관측된 자료를 사용하였는데, 이것은 이날의 시상이 가장 좋았기 때문이다. 그림 3에서 관측한 별들의 오차 분포를 나타내었다.

### 3. 색-등급도

관측된 측광 자료로부터 NGC 2420에 대한 색-등급도를 그림 4에 나타내었다. 관측한 영역에 따라 사용한 노출시간과 대기 투과량의 차이로 인해 한계등급에 조금씩 차이가 있어서 우리는  $V \leq 19.75$ 까지의 자료만 사용하였다. 색-등급도의 전체적인 모양은 MFG와 AKST의 색-등급도와 유사한 형태를 하고 있다. 이 성단은 전형적인 늙은 산개성단에서 볼 수 있는 거성열과 적색거성가지에 있는 덩어리별들이 잘 나타난다. 전항점의 색지수는 M67에 비해 푸른 것으로 보아 NGC 2420은 M67보다는 젊은 것으로 보인다. 주계열이 조금 퍼져 있긴 하지만 그림 4에서 보면 특히 어두운 주계열 별들과 쌍성열이 잘 나타난다. 특히  $(V, B - I)$ 의 색-등급도에서 쌍성열이 가장 뚜렷이 나타나는 것을 볼 수 있다. 주계열과 쌍성열의 등급의 차이는 약 0.75등급으로 AKST에 의해 발견된 것과 잘 일치한다. 이 쌍성열은 전항점 부근에서 사라지는데, 이것은 쌍성열이 수직으로 위로 떠서 전항점 부근의 굵어 있는 단일 별의 주계열과 겹쳐지기 때문이라 생각되며, 이 때문에 이 영역의 주계열의 폭이 넓어져서 보인다. 우리는 그림 4에서  $V \sim 15.73$ 에 별들의 수가 다소 적은 것을 볼 수 있는데, MFG는 이 틈이 늙은 산개성단에서 흔히 존재하는 것으로 빠른 수소핵 연소에 의한 것으로 해석하였다. 반면에 AKST는 성단 중심에 별이 밀집해 있어서 정교한 측광이 제대로 이루어지지 않았기 때문에 생긴 것이며, 오히

려  $V \sim 14.73$  근처의 굵은 곳에 있는 틈이 빠른 수소핵 연소에 의한 것으로 해석하였다. 우리의 측광 결과에서도  $V \sim 14.73$  근처에서 틈이 있는 것을 볼 수 있다.

## 4. 성단의 기본물리량

### 4.1. 성간적색화

NGC 2420의 성간적색화량은 West (1967)의 연구에 의하면  $E(B - V) = 0.01$ 로 매우 적은 것으로 알려져 있다. 그 후 MFG는 DDO측광으로부터  $E(B - V) = 0.02$ 로 발표하였다. 반면에 AKST는 이 성단의 성간 소광량에 대해 자세히 논의하였는데, 그들은 MFG의 결과가 그들의 여러가지 관측적인 증거와 비교할 때 너무 작은 값이라고 생각하여 NGC 2420의 성간 적색화량을  $E(B - V) = 0.05$ 를 채택하였다. 우리는  $(U - B)$ 와  $(B - V)$  색-색도상의 별들의 분포에 영연령 주계열 맞추기 방법을 사용하여 NGC 2420의 성간적색화량을 구하였다. 그림 5는 관측된 별들의 색-색도이다. 이 그림에서 점선으로 나타낸 것은 Schmidt-Kaler (1982)의 기준선이며, 실선은 성간적색화량의 기울기  $E(B - V)/E(U - B) = 0.72$  (Johnson & Morgan 1953)를 따라서 이동시켜서 관측값에 맞춘 것이다.

우리는 관측치를 가장 잘 설명하는 성간적색화량으로  $E(B - V) = 0.05 \pm 0.02$ 를 채택하였다. 이 값은 주계열 하단과 거성을 기준으로 맞춘 것인데, 다음 절에서 색-등급도와 이론적인 등연령곡선을 잘 설명한다. 따라서 우리의 결과는 MFG가 주장한 성간적색화량  $E(B - V) = 0.02$ 보다는 AKST의 결과와 더 잘 일치한다.

### 4.2. 거리와 나이

늙은 산개성단에서 성간적색화, 거리, 나이, 중원소함량 등 성단의 물리량은 색-등급도상에서 이론적인 모형과 비교하여 얻을 수 있다. 우리는 성단의 물리량을 알아내기 위하여 이 4개의 자유변수를 다양하게 하여 관측치와 가장 잘 일치하는 물리량을 얻어낼 수 있다. 우리는 먼저 관측된 성단의 색-등급도에 대해 색-색도에서 얻은 성간 적색화량을 적용하여 태양의 중원소함량을 가정한 영년주계열로부터 성단까지의 거리지수를 구하였다. 이때 총 소광량과 선택적 소광량의 비  $R = 3.0$ 을 적용하였다.

이 결과를 토대로 Padova 그룹의 등년령곡선 (Bertelli *et al.* 1994)에서 성간적색화량, 중원소함량, 거리지수 그리고 성단의 나이를 다양하게 적용하여 가장 잘 일치하는 값을 얻었다. 이 결과 우리는 이 성단은 등연령곡선의 중원소함량을  $[Fe/H] = -0.32$ 로 채택할 때 관측치를 가장 잘 설명한다는 사실을 알았다. 그림 6은 채택된 등연령곡선을 관측치에 맞춘 것인데, 이 그림에서 성단의 나이는  $\log(t) = 9.3 \pm 0.1$ 임을 알 수 있다. 그림 6에서 실선은  $\log(t) = 9.3$ 을 나타낸 것이며 점선은 각각  $\log(t) = 9.2, 9.4$ 를 나타낸 것이다. 이 값은 2 Gyr에 해당하며, MFG와 AKST가 얻은

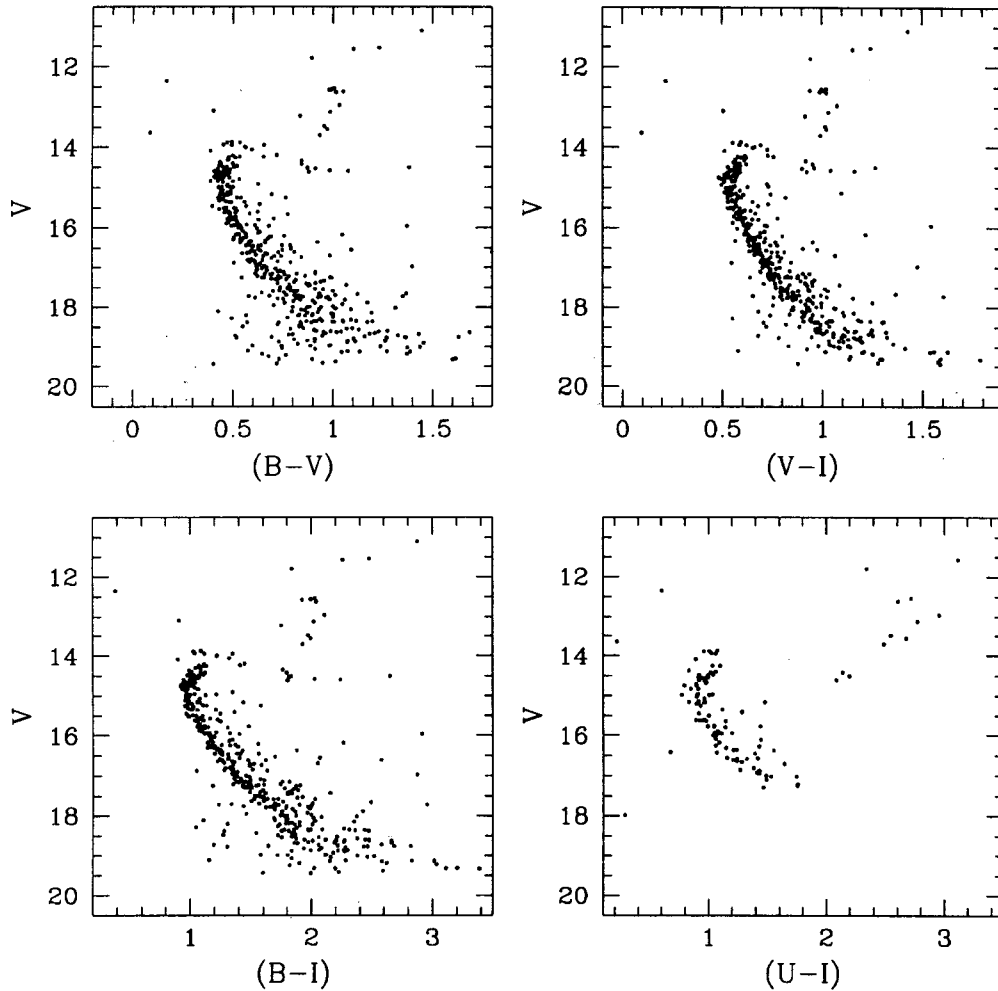


그림 4.— 관측된 성단의 색-등급도.  $V = 19.{}^m$ 5까지의 자료만 사용하였다.  $(V, B-I)$ 의 색-등급도에서 쌍성열이 특징적으로 잘 나타난다.

값보다 작다. 여기서 얻은 성단의 거리지수는  $(m-M)_0 = 11.9 \pm 0.1$ 이다. 이 값은  $d = 2.5 \pm 0.1$ kpc으로 MFG와 AKST가 얻은 값과 잘 일치한다.

## 5. 논의

### 5.1. 질량 분리와 광도함수

다질량의 항성계는 시간이 지남에 따라 무거운 별과 가벼운 별의 질량 분리가 일어나는 것으로 알려져 있다 (Henon 1969; Aareth & Wolf 1972; Terlevich 1987). 성단의 질량 분리를 연구하기 위해서 우리는 먼저 성단의 중심을 결정할 필요가 있다. 성단의 중심은 별들의  $x, y$ 좌표에 따른 개수 밀도의 분포를 이용하여 찾을 수 있는데, 이로부터 다음과 같은 두가지 방법을 이용하여 결정할 수 있다. 한가지 방법은 개수 밀도의 분포가 최대가 되는 좌표를 성단의 중심으로 잡는 것이고, 다른 한가지 방법은 개수 밀도 분포

의 중심을 성단의 중심으로 잡는 것이다. 우리는 이중 두 번째 방법을 사용하였는데, 흐린 별들은 날별에 의한 혼탁이 크기 때문에  $V \sim 17$ 보다 밝은 별들을 이용하였다. 이렇게 구한 중심은 그림 1에서 +로 표시하였다. 이렇게 결정된 성단의 중심을 이용하여, 우리는 성단의 중심에 대한 별들의 누적 개수 밀도 분포를 알아보았다. 그림 7은 반경에 따른 별들의 개수 밀도의 누적값을 그린 것인데, 질량 분리 현상을 알아보기 위하여 밝은 별들과 흐린 별들에 대해 각각 따로 누적 개수 밀도 분포를 살펴 보았는데, 그림에서 알 수 있듯이 질량이 큰 별이 질량이 작은 별에 비해 상대적으로 중심에 더 많이 몰려 있음을 알 수 있다.

이러한 질량 분리 현상은 성단의 광도함수를 통해서도 확인할 수 있다. 그림 8은 성단의 광도함수인데, 반경 2'이 내의 영역에 대한 광도함수는 외곽에서의 광도함수와 비교해 볼 때, 어두운 별들에서 감소하는 경향이 크게 보인다. 이는 밝은 별들이 중심에 많이 분포하는 증거로 볼 수 있

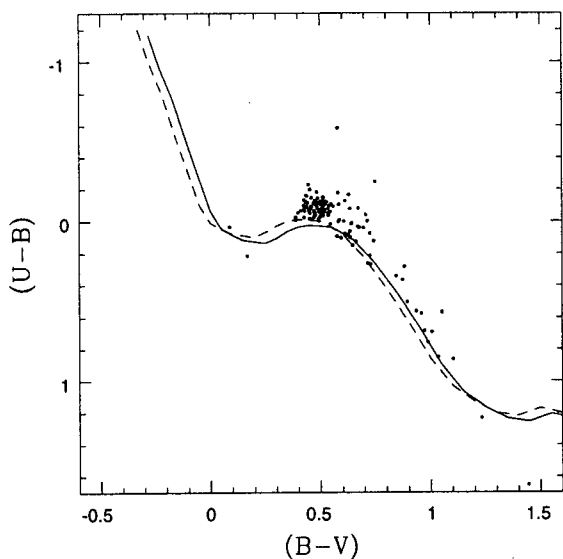


그림 5.— 관측된 성단의 색-색도. 점선은 Schmidt-Kaler(1982)의 기준선이며, 실선은 성간적색화량의 기울기  $E(B - V)/E(U - B) = 0.72$ (Johnson & Morgan 1953)를 따라서 이동시켜서 관측값에 맞춘 것이다.

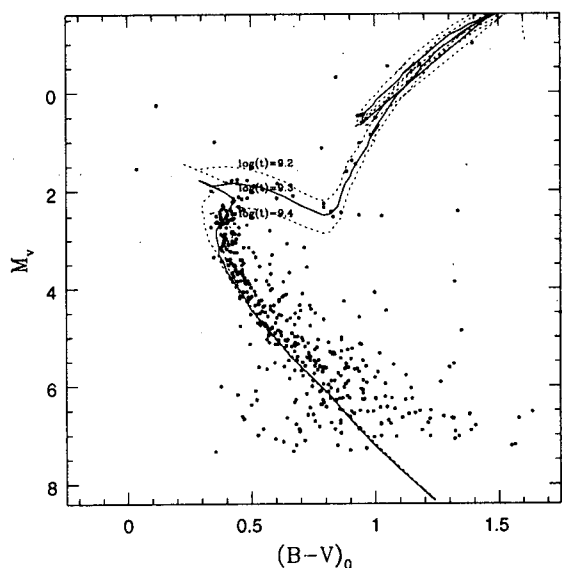


그림 6.— Padova 그룹의 등연령곡선을 관측된 색-등급도와 맞추었다. 중원소함량  $[Fe/H] = -0.32$ 의 자료를 사용하였는데,  $\log(t) = 9.3$ 에서 가장 잘 일치한다.

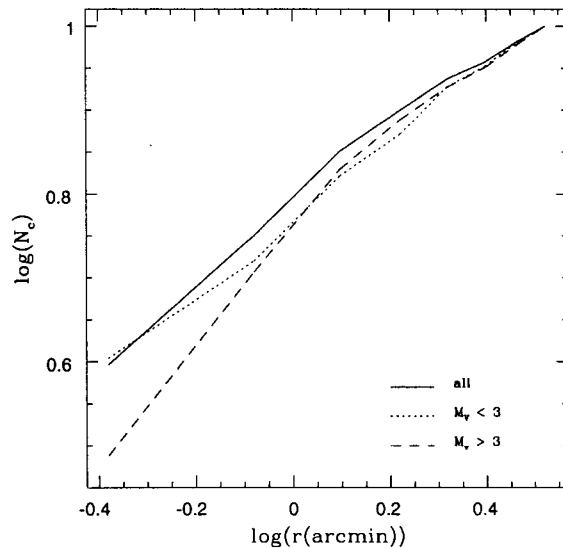


그림 7.— 반경에 따른 누적 개수 밀도 분포. 실선은 성단 전체, 점선은  $M_v < 3$ 인 밝은 별, 파선은  $M_v > 3$ 인 어두운 별들에 대한 것이다.  $\log(N_c)$ 는 누적 개수 밀도의 로그값인데,  $\log(N_c)$ 의 최종값이 1이 되도록 정규화한 값이다.

다.

### 5.2. 쌍성

성단내에서 쌍성이 존재하면 별들은 주계열상단에 위치한다. 이때 쌍성을 구성하는 별의 밝기가 비슷하면 이 별은 0.75등급 밝은 위치에 놓이게 된다. 그림 4를 보면 주계열에서 약 0.75등급 밝은 위치에서 선명한 쌍성의 열이 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 양상은 특히  $(V, B - I)$ 의 색-등급도에서 잘 나타나는 것을 알 수 있다. 우리는 이 색-등급도를 이용하여 성단내의 쌍성에 관한 연구를 하였다. 이때 별들은 등급이  $15^m < V < 18^m$ 를 사용하였는데, 이것은 이 등급 구간에서 쌍성열이 가장 잘 나타나기 때문이다. 먼저 색-등급도상에서 관측값과 가장 잘 일치하는 주계열선을 정의하고, 이로부터 별들의 등급의 차이를 계산하여  $\Delta V$ 에 대한 개수 분포를 알아 보았다. 그림 9에서  $\Delta V$ 의 구간을 0.1등급으로한 개수 분포의 그림을 나타내었다. 우리는 이 그림에서  $\Delta V \sim 0.^m75$ 에서 쌍성에 의한 뚜렷한 피크가 보임을 확인할 수 있다. 우리는 이 그림에서 오른 쪽의 주계열에 의한 피크가 대칭이 아니라는 것을 알 수 있는데, 이는 질량비가 작은 쌍성의 효과에 의한 것으로 보인다. 우리는 또한 그림 9에서 성단 중심에서 반경 2' 이내의 중심 영역과 이 보다 외곽 영역에서 쌍성의 분포를 살펴 보았다. 이 그림은 각 영역에서 세어진 별들의 총개수로 규격화한 것인데, 중심 영역이 외곽에 비해 쌍성이 약간 더 많음을 알 수 있다.

$(V, B - I)$  색-등급도 상에서  $15^m < V < 18^m$ 의 별

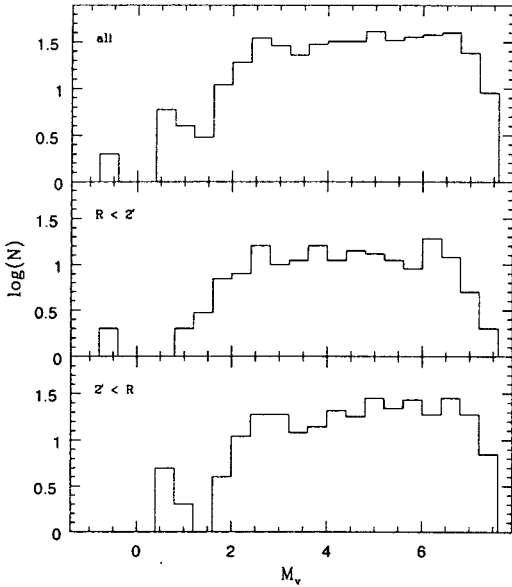


그림 8.— 관측된 성단의 광도함수. 위의 그림은 관측된 성단 전체의 광도함수, 가운데는 반경  $2'$  이내의 광도함수, 아래 그림은  $2'$  밖의 광도함수

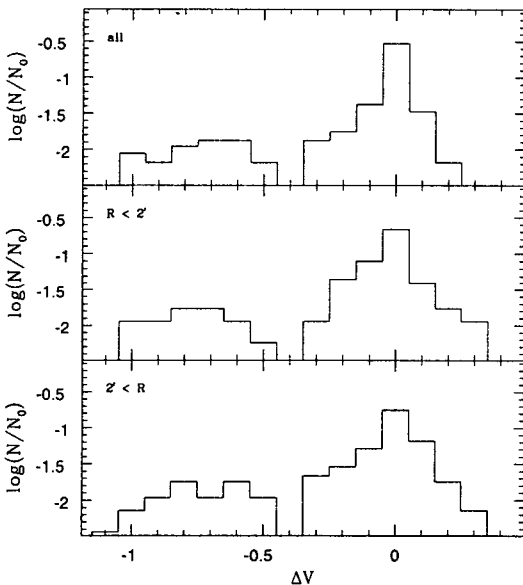


그림 9.— 주계열에 대한 등급의 분포.  $\Delta V \sim 0.7$ 에서 쌍성에 의한 뚜렷한 피크가 나타난다.

들을 이용하여 주계열 및 쌍성열을 잘 설명하는 별들의 개수를 세어서 전체 별의 개수로 하고, 여기에 가우스분포를 가정한 주계열별들의 개수를 제거하면 쌍성의 개수를 알 수 있다. 이 결과는 이 등급 구간에서 평균적인 측광오차 0.05등급을 고려하면 관측된 영역에서  $44 \pm 5\%$ 가 쌍성으로 존재하는 것으로 보인다. 이 값은 AKST가 구한 질량비가 0.25보다 큰 쌍성이 전체의 40%라는 사실과 잘 일치한다. 히아데스 성단의 경우 비교적 밝은 별들의 시선속도 분석에 의하면 약 40%의 별이 쌍성이며 (Griffin 1988), Eggen (1993)은 색-등급도상에서 측광학적인 방법으로 약 52%의 별이 쌍성이라 하였다.

성단의 중심에서 반경  $2'$  이내의 영역과 그 바깥 영역에서 쌍성의 양을 같은 방법으로 알아보았는데, 각각  $58 \pm 4\%$ 와  $34 \pm 6\%$ 임을 확인하였다. 이 결과에서 우리는 성단의 중심 영역에서 쌍성의 존재비는 외곽에서의 결과에 비해 크다는 사실을 알 수 있다. 이 결과는 이 성단에 질량 분리가 일어났다는 것을 암시하며, 이것은 누적 개수 밀도 분포와 광도함수의 분석 결과와 잘 일치한다.

## 6. 결론

우리는 NGC 2420에 대한  $UBVI$  관측을 통하여 성단의 기본 물리량을 구해내고, 이 성단에서 일어난 질량 분리의 증거를 고찰하였다. 등연령곡선을 이용해 구한 이 성단의 나이는  $\log(t) = 9.3 \pm 0.1$ 이며, 색-색도와 등연령곡선을 가장 잘 설명하는 성간적색화량과 거리지수를 각각  $E(B - V) = 0.05 \pm 0.02$ 와  $(m - M)_0 = 11.9 \pm 0.1$ 로 결정하였다.

중심과 외곽에서 광도함수의 특징을 살펴보면 성단의 중심 영역에서는 어두운 별들의 광도함수가 감소하는 경향을 보였다. 성단내의 밝은 별과 어두운 별의 공간적 분포를 중심에서부터의 별들의 누적 개수 밀도 분포의 조사를 통해 알아본 결과 성단내에 무거운 별들이 가벼운 별들에 비해 상대적으로 성단의 중심에 존재한다는 사실을 알게 되었다.  $(V, B - I)$ 의 색-등급도상에서 뚜렷이 구별되는 쌍성열을 확인하였으며, 이러한 사실은 이 성단에는 비교적 많은 쌍성이 존재한다는 증거가 된다.  $(V, B - I)$ 의 색-등급도로 부터 성단의 중심 영역에 있는 쌍성의 존재 비율이 외곽에서 보다 크다는 사실을 알게 되었다. 별들의 질량에 따른 분포와 영역에 따른 쌍성의 존재비에 대한 이상의 결과는 NGC 2420에서 역학적 진화에 의해 별들의 질량 분리가 일어난 유력한 증거로 볼 수 있다.

본 연구가 성공적으로 이루어지도록 도움을 주신 소백산 천문대 직원 여러분께 감사드립니다. 본 연구는 1996년도 부산대학교의 학술연구지원비에 의해 일부 지원된 것임.

## 참고문헌

- Aarseth, S. J., & Woolf, N. J. 1972, *ApJL*, 12, 159  
 Anthony-Twarog, B.J., Kaluzny, J., Shara, M.M., & Twarog, B.A. 1990, *AJ*, 99, 1504  
 Bertelli, G., Bressan, A., Chiosi, C., Fagotto, F., & Nasi, E. 1994, *A&AS*, 106, 275  
 Bragaglia, A., Tescini, G., Marconi, G., & Munari, U. 1997, *MNRAS*, 284, 477  
 Cannon, R. D., & Lloyd, C. 1970, *MNRAS*, 150, 279  
 Castellani, V., Chieffi, A., & Straniero, O. 1992, *ApJS*, 78, 517  
 Demarque, P., & McClure, R.D. 1977, *ApJ*, 213, 716  
 Demarque, P., Sarajedini, A., & Guo, X.-J. 1994, *AJ*, 426, 165  
 Eggen, O. G. 1993, *AJ*, 106, 1885  
 Griffin, R. F., Gunn, J. E., Zimmerman, B. A., & Griffin, R. E. M. 1988, *AJ*, 96, 172  
 Hénon, M. 1969, *A&A*, 2, 151  
 Johnson, H. L., & Morgan, W. W. 1953, *ApJ*, 117, 313  
 Leonard, P. J. T. 1988, *AJ*, 95, 108  
 McClure, R.D., Forrester, W.T., & Gibson, J. 1974, *ApJ*, 189, 409  
 Montgomery, K. A., Marschall, L. A., & Janes, K. A. 1993, *AJ*, 106, 181  
 Sarma, M.B.K., & Walker, M.F. 1962, *ApJ*, 135, 11  
 Schmidt-Kaler, Th. 1982, *Numerical Data & Functional Relationships in Science & Technology*, Vol.2, Springer-Verlag, Berlin  
 Terlevich, E. 1987, *MNRAS*, 224, 193  
 West, F. R. 1967, *ApJS*, 14, 384