

구상성단 M71의 BV CCD 측광: 거리 그리고 나이

임홍서¹, 천문석^{2†}, 변용익², 손영중^{2,3}

¹한국천문연구원, ²연세대학교 천문우주학과, ³연세대학교 자외선우주망원경 연구단

BV CCD PHOTOMETRY OF M71: DISTANCE AND AGE

Yim, Hong-Suh¹, Chun, Mun-Suk^{2†}, Byun, Yong-Ik² and Sohn, Young-Jong^{2,3}

¹Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

²Department of Astronomy, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

³Center for Space Astrophysics, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

E-mail: yimhs@kao.re.kr

(Received February 3, 2004; Accepted February 27, 2004)

요 약

이 논문에서는 우리 은하 구상 성단 M71에 대한 B , V CCD 영상 관측 자료로부터 색-등급도(color-magnitude diagram)를 구하고, 이로부터 이 성단의 거리와 상대적 나이를 결정하였다. M71의 적색화 현상($E(B - V) = 0.28$)과 금속함량($-0.79 < [Fe/H] < -0.70$)은 최근 논문의 값을 채택하였다. 이 자료를 토대로 관측으로부터 얻은 M71 색등급도의 기준선을 *Hipparcos* 준 왜성의 측광 특성과 비교하여 M71의 거리지수를 $(m - M)_V = 13.46(\pm 0.17)$ 과 같이 결정하였다. 비슷한 금속 함량을 가지는 구상 성단 47 Tuc의 색등급도를 이 연구에서 구한 M71의 색등급도와 비교한 결과 두 성단의 나이는 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있었고, isochrone과의 비교 결과 적어도 20억년 이상의 차이가 존재한다는 사실을 알 수 있었다.

ABSTRACT

We present BV CCD photometry of metal-rich globular cluster M71. Based on our color-magnitude diagram (CMD), we derive the distance to M71 using a sample of *Hipparcos* subdwarfs of similar metallicity. Our distance modulus is $(m - M)_V = 13.46(\pm 0.17)$. CMD comparison was also made between M71 and 47 Tuc. We confirm that there exists a significant age difference (> 2 billion years) in spite of their similarity in metallicity.

Key words: globular cluster, M71, CCD photometry, color-magnitude diagram, distance, relative age

1. 서 론

구상 성단 M71은 우리에게 매우 가까이에 있는 작은 성단이다. 그럼에도 아직 많은 부분이 밝혀지지 못했는데, 그 이유는 은하면에 무척 가까운 위치($b = -4^\circ.6$)때문에 발생하는 많은 적색화(Reddening)의 영향으로 정확한 물리량의 결정에 어려움을 겪고있기 때문이다. M71의 적색화에

[†]corresponding author

표 1. M71의 일반적인 특성.

분류	물리량	참고문헌
R. A.	$19^{\text{h}}53^{\text{m}}46.1^{\text{s}}$	Shaw & White(1986)
Declination	$+18^{\circ}46'42''$	Shaw & White(1986)
Galactic Longitude	$56^{\circ}.744$	Shaw & White(1986)
Galactic Latitude	$-4^{\circ}.564$	Shaw & White(1986)
$(m - M)_{\circ}$	12.96	Peterson & Kunkel(1977)
$[Fe/H]$	-0.70	Carretta & Gratton(1997)
M_v	-5.43	Peterson & Kunkel(1977)
E(B-V)	0.28	Hodder et al.(1992)
$log r_c$	0.14 pc	Peterson & King(1975)
$log r_h$	0.28 pc	Peterson & King(1975)

대해서는 이미 많은 연구 결과가 발표되었지만(Richer & Fahlman 1989, Smriglio et al. 1994, Yan & Mateo 1994), 여러 연구의 결과는 상당히 많은 차이를 보여, $E(B - V)$ 의 변화가 무려 0.21에서 0.34에 이르고 있다. Sneden et al.(1994)은 M71의 차등 적색화(differential reddening)을 밝혔으며, 최근의 발표는 평균적으로 $E(B - V) \sim 0.3$ 의 값을 채택하고 있다. M71의 색-등급도에서 나타나는 특이한 현상은 주계열과 거성열의 폭이 넓게 나타난다는 점이다. 일반적으로 이러한 현상은 차등 적색화 현상에 의한 것으로 여겨져왔다. 그러나 최근 Ramirez & Cohen(2002)의 결과는 25개의 M71 별들에 대한 분광학적 연구 결과 25개 별들 사이에 상당한 금속 함량 차이가 있다는 흥미로운 것이었다. M71은 비슷한 금속함량을 가지는 구상성단 47 Tuc과 나이를 비교하기에 좋은 대상이다. 비슷한 금속함량을 가진 성단은 비슷한 나이를 가질 것으로 예상되며, 특히 이 두성단은 금속함량이 상대적으로 많은, 모두 두꺼운 은하면 종족(thick disk population)에 속하는 성단이다. 따라서, 두 성단의 나이차이는 곧 두꺼운 은하면 생성의 지속 시간과도 직접적인 상관 관계를 갖게될 것이다. Heasley & Christian(1991)이 47 Tuc과 M71 사이에는 약 30억년의 나이차이가 있다고 주장한 후, 곧이어 Hodder et al.(1992)는 두 성단 사이에 나이 차이가 없다고 주장하였다. 지금도 Geffert & Maintz(2000)와 Grundahl et al.(2002) 등이 나이 차이에 대한 연구 결과를 발표하였다. 하지만, Heasley & Christian(1991)의 데이터는 정식으로 발표되지 않았고, Hodder et al.(1992)의 데이터는 적색 거성열에 대한 숫자가 매우 적어서 상대적인 나이 측정에 오차가 크고, Geffert & Maintz(2000)의 결과는 역시 주계열성들에 대한 자료가 부족하며, Grundahl et al.(2002)의 결과는 *uvby* 필터를 사용하였기때문에 기존의 결과와 비교하기에는 (B-V) 분포에서 0.15mag 이상의 오차가 발생하고 있다(Grundahl et al. 2002). 이 연구는 기존의 연구결과가 부족했던 거성열부터 주계열까지의 B, V 색-등급도를 이용하여, 준왜성의 측광 특성을 비교하여 구상 성단 M71의 거리를 결정하고, 47 Tuc 과의 상대적 나이를 비교하였다. 표 1에는 지금까지 알려진 M71에 대한 일반적인 특징을 정리하였다.

2. M71의 CCD 영상 관측과 자료 처리

M71에 대한 CCD 영상 관측은 하와이 마우나키아에 있는 하와이 대학의 2.2m 망원경을 사용하여 1995년 10월 30일-31일에 걸쳐 진행되었다. 표준 Johnson 시스템의 B, V 필터와 f/10 카세그레인 초점 면에 부착한 Tektronix 2048 × 2048 화소의 CCD가 사용되었다. 화소 단위에 해당하는 하늘의

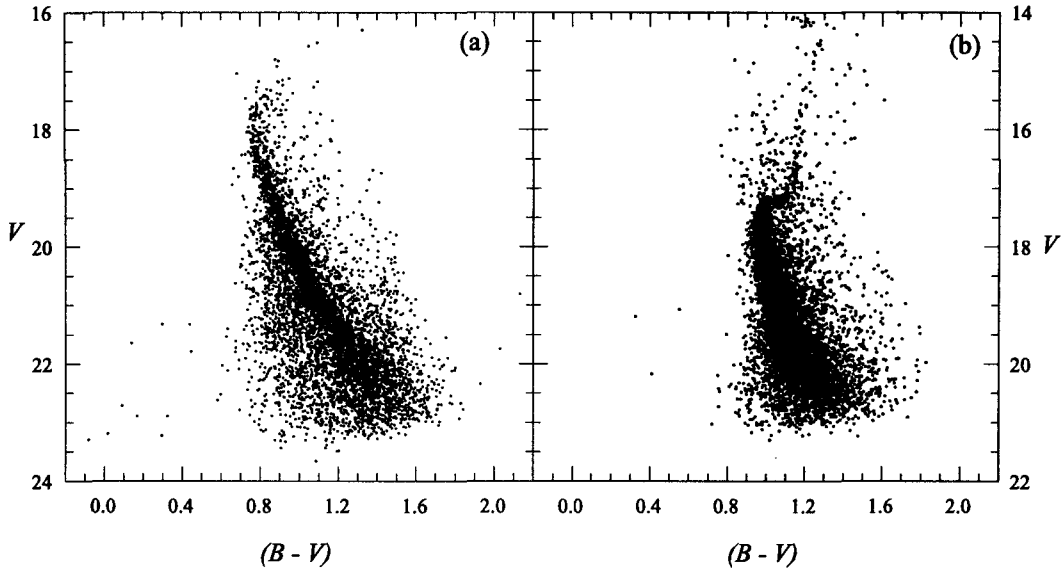


그림 1. M71의 장기 노출 색-등급도(좌)와 단기 노출 색-등급도(우).

크기는 $0''.22$ 이며, 전체 영상의 크기는 $7'.5 \times 7'.5$ 에 해당된다. 관측시에 얻어진 출력 잡음과 이득들은 30 electrons와 5 electrons/ADU이다. 관측은 M71의 중심 영역을 CCD의 중심에 맞추어 실시되었다. M71 외곽 부분의 어두운 별들에 대한 측광을 고려하여 장기 노출도 함께 진행하였다. 따라서 각각의 노출은 단기와 장기 노출로 나누어 2번의 촬영이 이루어졌다. 관측 내용은 표 2에 제시하였다. 관측할 때의 대기 질량(airmass)은 1.05 ~ 1.09 정도였으며, 시상은 $0''.7$ 이하가 유지되는 최상의 측광 조건에서 이루어졌다. 한편, 표준화 작업을 위해 3개의 Landolt(1992) 표준성 영역에 대한 관측도 함께 진행되었다.

관측된 M71 CCD 영상의 예비처리 과정은 IRAF의 CCDPROC을 이용하여 진행하였다. 구체적인 전처리 과정은 임흥서(2000)에 자세히 설명되어있다. 표준화 작업은 Landolt(1992)의 12개 표준성에 대한 관측 자료를 통해 진행하였으며, 최종적으로 얻어진 M71 영상의 표준화 관계식은 다음과 같다.

$$(B - V) = 0.949(b - v)_0 + 0.778(\sigma = \pm 0.031) \quad (1)$$

$$V = v_0 - 0.041(B - V) - 1.486(\sigma = \pm 0.032) \quad (2)$$

위 식에서 $(B - V)$ 와 V 는 표준 Johnson 시스템의 색지수와 등급이며, v_0 와 $(b - v)_0$ 는 대기 질량이 보정된 관측 등급과 색지수이다. 위 식은 모두 1차 최소자승법을 사용하여 얻어낸 것이다. 여기에서 사용한 대기 소광 계수는 각각 $k_b = 0.319$, $k_v = 0.145$ 이다. 한편, M71내의 각각의 별들에 대한 측광은, IRAF내에 설치된 DAOPHOT(Stetson 1987)을 이용하여 진행하였다. 점광원 함수F를 구하기 위한 함수는 Moffat 함수를 사용하였고, 영상 전체 영역의 점광원 함수 분포는 2차 함수로 고려하였다. M71 밀집 지역의 별 측광에 대한 DAOPHOT 측광 요소들, 즉 CHI, SHARPNESS, 그리고 측광 오차는 각각 $CHI < 2$, $-2 < SHARPNESS < 2$, σ (측광오차) < 0.15 를 사용하였다. 이와 같은

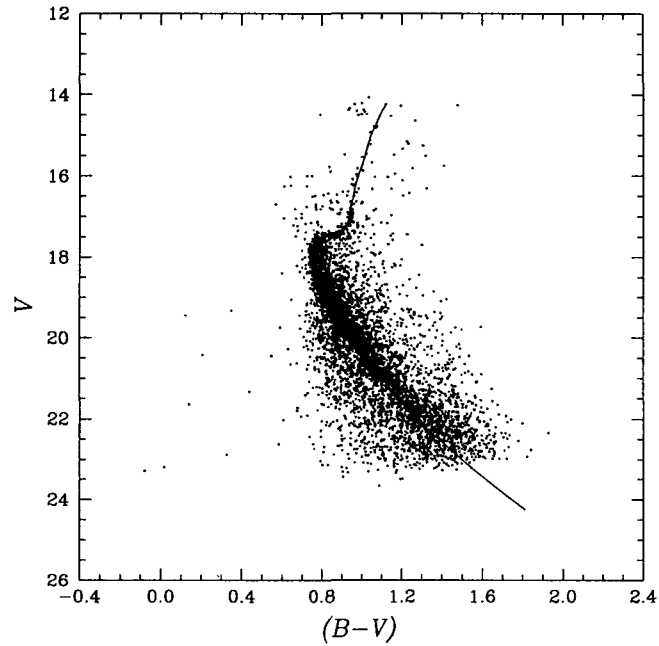


그림 2. M71의 합성 색-등급도. 실선으로 나타낸 부분은 M71의 기준선이다.

표 2. M71의 관측 기록.

필터	노출시간(초)	획득영상수	시 상	대기 질량	관측 날짜
B	100	2	0".62 ~ 0".66	1.01 ~ 1.01	1995. 10. 8.
B	1000	2	0".65 ~ 0".71	1.00 ~ 1.01	1995. 10. 8.
V	50	2	0".73 ~ 0".75	1.01 ~ 1.02	1995. 10. 8.
V	400	2	0".71 ~ 0".77	1.02 ~ 1.04	1995. 10. 8.

측광 조건을 만족하는 별을 선택하여 M71의 색-등급도를 만드는데 사용하였다.

3. M71의 색-등급도

M71에 대한 장기 노출에 대한 색-등급도와 단기 노출에 대한 색-등급도를 얻었으며, 그 결과를 그림 1에 표시하였다. 장기 노출과 단기 노출에 대한 측광 결과를 합한 합성된 색-등급도는 그림 2에 나타내었다. 합성 색등급도에서 장기 노출과 단기 노출간의 통계학적 측광 오차는 V 등급에서 0.008($\sigma = \pm 0.008$) 그리고 (B-V)에서 0.009($\sigma = \pm 0.008$)이다. M71의 합성된 색-등급도는 모두 15,000여개의 별들로 이루어져 있으며, 뚜렷한 적색 거성열과 준거성 계열 그리고 V ~ 23 등급에 이르는 주계열성의 모습을 보여주고 있다. 이 색-등급도에 대한 색-등급 기준선은 통계적 최적화 방법을 사용하여 구하였는데(Yim et al. 2000), 이때 최적화를 위한 자료 구분의 V 등급에 대한 구간은 0.5등급씩 사용했으며, (B-V)의 중간값의 결정은 $\pm 3\sigma$ 범위로 결정하였다. 한편, M71의 경우 은하면

표 3. M71의 기준선과 주계열 기준선.

V	(B - V)	σ	+3 σ	-3 σ
18.00	0.765	0.012	0.728	0.802
18.50	0.782	0.015	0.738	0.826
19.00	0.829	0.018	0.776	0.882
19.50	0.881	0.022	0.815	0.947
20.00	0.949	0.028	0.866	1.032
20.50	1.015	0.032	0.919	1.111
21.00	1.093	0.043	0.964	1.222
21.50	1.181	0.058	1.007	1.355
22.00	1.267	0.087	1.005	1.529
22.50	1.369	0.125	0.994	1.744
23.00	1.422	0.148	0.979	1.865

에 가까이 있는 성단의 위치적 특성을 고려하여 완전성 실험을 통하여 주계열 제한선을 결정하였는데, 구체적인 실험 과정은 임흥서(2000)에 상세히 기술되어 있으며, 표 3에는 주계열 기준선과 함께 기준선 결정에 사용된 $\pm 3\sigma$ 범위값을 함께 표시하였다.

4. M71의 거리 결정과 상대적 나이 비교

M71은 은하 평면에 가까이 존재하기때문에 적색화(reddening) 현상은 다른 어떤 성단보다도 신중히 고려되어야만 한다. 그만큼 M71의 적색화 값은 구하기도 어렵고 또한 그 결과도 차이를 보이고 있다. 기존의 결과로 Harris(1996)는 0.28의 값을 제시했으며, Sneden et al.(1994)은 M71의 적색화값은 변화의 폭이 있음을 지적하면서 0.3에 가까울 것으로 계산하였고, Schlegel et al.(1998)은 M71의 평균 적색화값으로 0.3을 제시하였다. 이 연구에서는 47 Tuc과의 비교를 통해 적색화값을 구한 Hodder et al.(1992)의 0.28을 채택하였다. 이는 기존의 연구결과와도 잘 일치하며 또한 Hodder et al.(1992)의 색-등급도와 비교시 다른 물리량으로부터 발생할 수 있는 오차를 최대한으로 낮추기 위해서이다.

M71의 거리를 결정하기 위해 Reid(1998)의 *Hipparcos* 준왜성의 색 등급값을 이용하였다. 이를 위해 먼저 M71을 구성하는 별과 물리적 금속함량 특성이 비슷한($-0.82 < [Fe/H] < -0.66$) 11개의 준왜성의 자료를 Reid(1998)의 결과로부터 추려내었다. 최근의 M71의 대한 금속함량에 대한 연구는 조금씩 그 결과가 달라진다는 점에서 주목받고있다. Djorgovski & Meylan(1993)의 연구에서 $[Fe/H] = -0.58$ 이었으나, 최근의 Carretta & Gratton(1997)은 $[Fe/H] = -0.70$ 으로 발표하였으며, Sneden et al.(1994)에서는 $[Fe/H] = -0.79$ 로 금속 함량이 더 줄어든 결과를 발표하였다. 최근에 발표된 Ramirez & Cohen(2002)의 연구에서는 M71의 25개 별에 대한 연구를 통해 같은 성단내 별들사이에 상당한 금속함량의 차이가 있음을 밝혀내었다. 또한, 이러한 차이는 기존의 항성 진화에 대한 지식으로 이해할 수 없다는 점을 지적하였다. 이 연구에서는 금속 함량을 직접적으로 결정하는 것은 아니므로 가장 최근의 연구인 $-0.79 < [Fe/H] < -0.70$ 의 값을 M71의 금속함량으로 채택하였다. 그리고, 이 금속함량 값에 해당하는 Reid(1998)의 *Hipparcos* 준왜성들을 선택한 후 적색화 값을 보정한 M71의 기준선과 비교하여, 통계적으로 가장 적은 오차를 나타내는 등급차이를 M71의 거리 지수

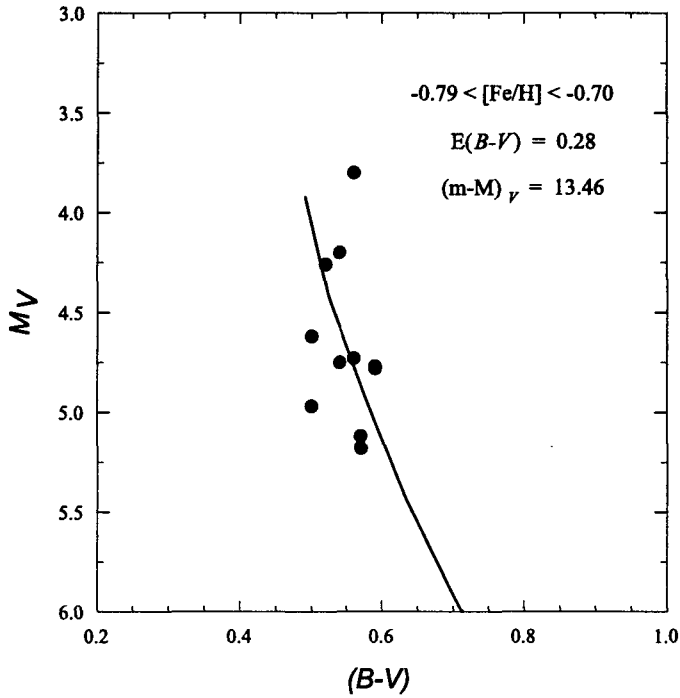


그림 3. M71의 거리 결정. *Hipparcos* 준왜성 11개와 M71의 기준선을 비교하였다. 얻어진 거리지수는 $(m - M)_V = 13.46(\pm 0.17)$ 이다.

로 결정하였다(그림 3).

이를 바탕으로 결정한 M71의 거리 지수는 $(m - M)_V = 13.46(\pm 0.17)$ 이다. 이 결과는 Reid(1998)의 연구에서 결정한 거리인 $13.19(\pm 0.15)$ 보다는 좀 더 큰 값을 나타내었다. 하지만, Grundahl et al.(2002)에서 구한 $13.71(\pm 0.04)$ 보다는 작은 값으로 나타났다. Reid(1998)의 결과는 Hodder et al.(1992)의 색-등급도를 이용하여 그 결과를 산출한 것인데, 이는 그림 4에 나타난 것처럼 Hodder et al.(1992)의 주계열과 우리의 주계열 사이에 확연히 드러나는 측광학적 차이가 그 원인인 것으로 해석된다. Grundahl et al.(2002)의 결과는 데이터를 얻을 수 없어 직접적인 비교를 할 수가 없었다. M71이 갖는 많은 양의 적색화 현상은 특히 거리 지수의 결정에 큰 영향을 미치게 된다. 계산 결과 $0.21 < E(B - V) < 0.34$ 범위의 적색화 영향은 거리 지수에서 1.5등급의 차이를 보이게 됨을 확인할 수 있었다. 이러한 차이는 성단의 절대 나이를 결정함에 있어서 적어도 약 20억년 이상의 오차를 일으키게 하는 원인이 된다. 따라서, 적색화 영향을 효과적으로 배제하지 않는 한 M71의 절대적인 나이를 결정하는 것은 불가능한 일일 것이다.

M71의 나이는 비슷한 금속함량을 가지는 구상성단 47 Tuc과 늘 비교의 대상이 되어 왔다. 그 까닭은 두 성단의 나이차이의 존재 여부는 우리 은하 형성에 대한 시나리오 결정에 좋은 증거가 될 수 있기 때문이다. Hodder et al.(1992)와 Grundahl et al.(2002)는 두 성단의 나이 차이가 없음을 주장하였고, Heasley & Christian(1991)과 Geffert & Maintz(2000)는 나이 차이가 있음을 주장하였다.

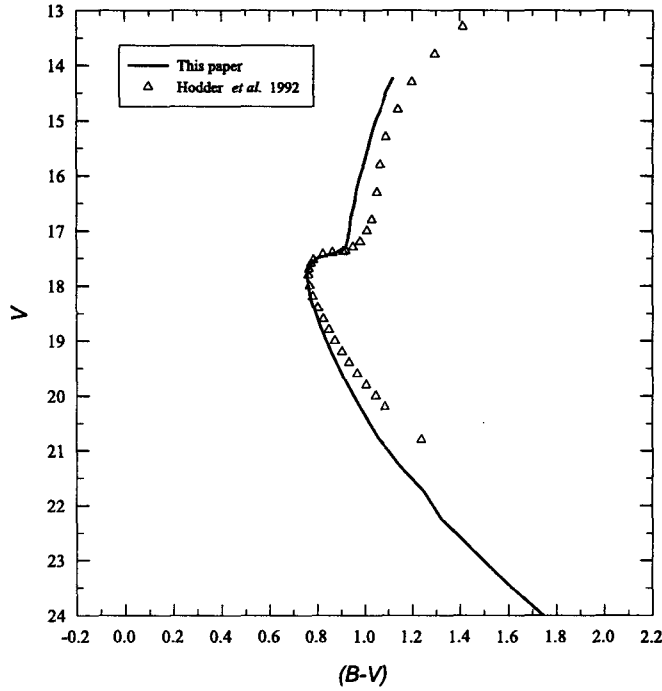


그림 4. Hodder et al.(1992)와의 색-등급도 비교. 실선으로 나타낸 것이 이 연구의 결과이며, 삼각형으로 나타낸 것이 Hodder et al.(1992)의 결과이다.

성단간의 나이 차이를 비교하기 위하여 우리는 먼저 Hodder et al.(1992)의 결과와 우리의 결과를 비교하였고, 다음으로 47 Tuc의 결과와 비교하였다. 그림 4에서 보여진 것처럼 우리의 색-등급도와 Hodder et al.(1992)의 색-등급도는 준 거성열과 적색 거성열에서 큰 차이가 나타남을 알 수 있었다. VandenBerg et al.(1990)에 의해 제안된 구상성단간의 상대 나이 측정 방법에 의하면 성단간의 나이 차이는 적색 거성 계열의 색지수 차이로 나타나기 때문에 이는 우리의 결과가 Hodder et al.(1992)와는 전혀 다른 결론을 보여줄 수 있음을 시사한다. 하지만, Hodder et al.(1992)의 색-등급도는 적색 거성열의 데이터가 상당히 불충분함으로서 우리의 연구에서 얻어진 색-등급도보다 그 신뢰도가 크게 떨어지는 편이다.

그림 5는 M71의 기준선을 Hesser et al.(1987)의 47 Tuc 색-등급도의 기준선과 VandenBerg et al.(1990)에 의해 제안된 구상성단간의 상대 나이 측정 방법에 의해 표시한 그림이다. 예상했던 바와 같이 우리의 결과는 47 Tuc과 어느 정도의 나이차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 기존의 Heasley & Christian(1991)과 Geffert & Maintz(2000)의 주장을 뒷받침하고 있는 것이다. 실제로 두 성단의 나이 차이가 어느 정도인지를 가늠해보기 위하여 120억년과 140억년의 isochrone을 함께 표시하였다. 얇은 선으로 나타낸 것이 120억년의 isochrone이며, 실선으로 나타낸 것이 140억년이다. 두 isochrone은 Bergbusch & VandenBerg(1992)의 자료를 이용한 것이며, $[Fe/H] = -0.78$, $[O/Fe] =$

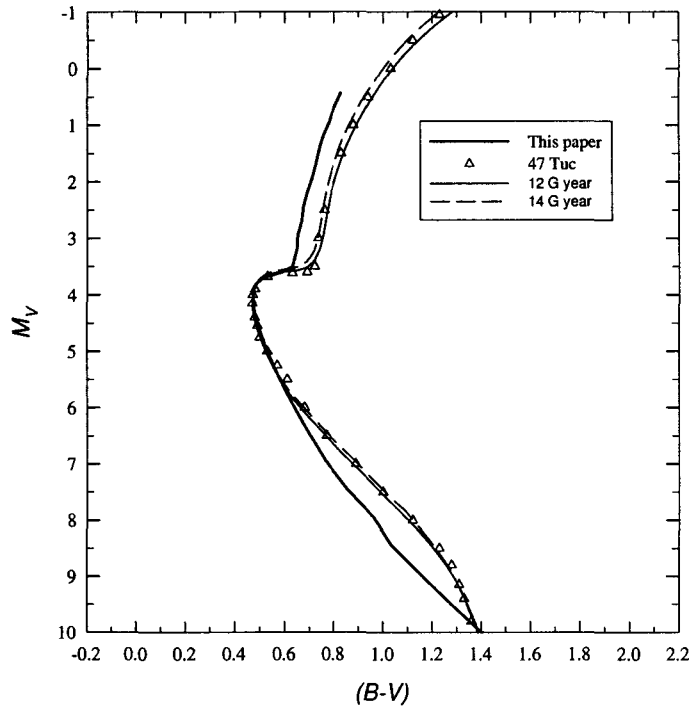


그림 5. M71과 47 Tuc과의 상대 나이 비교. 굵은 실선으로 나타낸 것이 이 연구의 결과이며, 삼각형으로 표시한 것이 47 Tuc(Hesser et al. 1987)의 자료이다. 얇은 실선은 120억년의 isochrone이며, 점선은 140억년의 isochrone을 보여준다. 네 자료는 모두 VandenBerg et al.(1990)에 의해 제안된 구상성단간의 상대 나이 측정 방법을 사용하여 표시하였다.

+0.39, $Y = 0.2391$ 의 경우를 채택하였다. 그 결과 차등 적색화 현상등에 기인한 M71의 넓은 거성열의 특성을 감안하더라도, 두 성단은 적어도 약 20억년 이상의 큰 나이차이가 존재함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Geffert & Maintz(2000)가 M71의 나이를 150억년과 180억년의 isochrone에서 찾으려고 했던 것과 일치한다고 할 수 있다. 또 한가지 특이한 점은 M71과 47 Tuc의 주계열성들을 비교해 보면 $20 < V < 24$ 에서 색등급도가 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 금속 함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되며, Ramirez & Cohen(2002)이 주장한대로 지금까지의 이론으로는 해석되지 않는 M71 자체의 금속함량의 변화를 보여주는 관측적 증거가 될 수도 있을 것이다.

5. 결과 및 토의

M71에 대한 B , V CCD 측광을 통해 수평계열($V \sim 14$)에서 주계열까지 이르는($V \sim 23$)에 이르는 색-등급도를 얻었으며, 통계적인 방법을 사용하여 기준선을 결정하였다. 최근에 이루어진 M71에 대한 연구결과들로부터 적색화 값 $E(B - V) = 0.28$ 의 값을 채택하고 금속함량은 $-0.79 < [Fe/H] < -0.70$ 을 사용하여 M71의 거리를 $(m - M)_V = 13.46(\pm 0.17)$ 으로 결정하였다. 또한, $\delta E(B - V) \sim 0.13$ 에 이르는 적색화의 영향은 M71의 절대 나이 결정에 있어서 적어도 약 20억년 이상의 오차를 포

함할 수 있음을 확인할 수 있었다. Hodder et al.(1992)의 색-등급도보다 정확한 거성계열의 기준선을 이용하여 비슷한 금속함량을 가지는 47 Tuc과의 상대나이 측정을 해본 결과 M71의 나이가 적어도 20억년 이상 더 오래되었음을 확인할 수 있었다. 이는 최근의 Geffert & Maintz(2000) 등의 주장과도 일치하고 있는 것이다. 이러한 결과는 금속함량이 상대적으로 많은 제 2세대 구상성단이 이루고 있는 은하 평면에 대한 형성 시나리오에 있어 최소한의 나이 차이를 보여줄 수 있는 흥미로운 관측 결과라고 할 수 있다. 하지만, M71이 갖는 관측적 어려움에서 발생하는 기본적인 관측 오차외에도 최근에 연구되고 있는 M71의 화학적 불균일성은 M71이 비슷한 금속함량을 가지는 다른 성단과는 차별화된 물리적 특성을 가질 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 특성으로 인하여 M71의 결과는 그 성단만의 특이성으로 남을 가능성이 존재하고 있다. 결국 M71의 금속 함량의 불균일성에 대한 검증과 함께 비슷한 금속함량의 성단들에 대한 추가 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

- 임홍서 2000, 박사학위논문, 연세대학교
- Bergbusch P. A., & Vandenberg D. A. 1992, *ApJS*, 81, 163
- Carretta, E., & Gratton, R. G. 1997, *A&AS*, 121, 95
- Djorgovski, S. G., & Meylan, G. 1993, in *Structure and Dynamics of Globular Clusters*, ASP Conf. Ser. 50, ed. S. G. Djorgovski & G. Meylan (San Francisco: ASP), p.3
- Geffert, M., & Maintz, G. 2000, *A&AS*, 144, 227
- Grundahl, F., Stetson, P. B., & Anderson, M. I. 2002, *A&A*, 395, 481
- Harris, W. E. 1996, *AJ*, 112, 1487
- Heasley, J. N., & Christian, C. A. 1991, in *Formation and Evolution of Star Clusters*, ASP Conf. Ser. 13, ed. K. Janes (San Francisco: ASP), p.266
- Hesser, J. E., Harris, W. E., Vandenberg, D. A., Allwright, J. W. B., Shott, P., & Stetson, P. B. 1987, *PASP*, 99, 739
- Hodder, P. J. C., Nemec, J. M., Richer, H. B., & Fahlman, G. G. 1992, *AJ*, 103, 460
- Landolt, A. V. 1992, *AJ*, 104, 340
- Peterson, C. J., & King, I. R. 1975, *AJ*, 80, 427
- Peterson, C. J., & Kunkel, W. E. 1977, *PASP*, 89, 634
- Ramirez, S. V., & Cohen, J. G. 2002, *AJ*, 123, 3277
- Reid, I. N. 1998, *AJ*, 115, 204
- Richer, H. B., & Fahlman, G. G. 1989, *ApJ*, 339, 178
- Schlegel, J. J., Finkbeiner, D. P., & Davis, M. 1998, *ApJ*, 500, 525
- Shaw, S. J., & White, R. E. 1986, *AJ*, 91, 312
- Smriglio, F., Dasgupta, A. K., & Boyle, R. P. 1994, *A&AS*, 108, 581
- Snedden, C., Kraft, R. P., Langer, G. E., Prosser, C. F., & Shetrone, M. D. 1994, *AJ*, 17, 1773
- Stetson, P. B. 1987, *PASP*, 99, 191
- Vandenberg, D. A., Bolte, M., & Stetson, P. B. 1990, *AJ*, 100, 445

10 *YIM et al.*

Yan, L., & Mateo, M. 1994, *AJ*, 108, 1810

Yim, H.-S., Byun, Y.-I., Sohn, Y.-J. & Chun, M.-S., 2000, *AJ*, 120, 872