

## 근접촉쌍성 (NCBs)의 일반적 특성<sup>1</sup>

오규동<sup>2†</sup>, 김호일<sup>3</sup>, 강영운<sup>4</sup>, 이우백<sup>3</sup>

<sup>2</sup>전남대학교 지구과학교육과

<sup>3</sup>한국천문연구원

<sup>4</sup>세종대학교 지구과학과

## GENERAL PROPERTIES OF NEAR-CONTACT BINARIES<sup>1</sup>

Kyu-Dong Oh<sup>2†</sup>, Ho-Il Kim<sup>3</sup>, Young Woon Kang<sup>4</sup>, Woo-Baik Lee<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Department of Earth Science Education, Chonnam National University

E-mail: ohkd@chonnam.chonnam.ac.kr

<sup>3</sup>Korea Astronomy Observatory

E-mail: hikim@hanul.kae.re.kr, wblee@hanul.kae.re.kr

<sup>4</sup>Department of Earth Science, Sejong University

E-mail: kangyw@astro.sejong.ac.kr

(Received October 06, 2000; Accepted November 02, 2000)

### 요 약

근접촉쌍성을 분광형에 따라 A형과 F형으로 분류하여 각각의 물리적 특성과 진화를 조사하였다. 그 결과, 근접촉쌍성이 TRO 이론에 따른 진화 경로를 겪는다고 가정하면, F형이 A형에 비하여 더 접촉에 가까운 즉, W UMa형에 근접한 상태에 있을 가능성이 있음을 알 수 있었다. NCBs의 질량-반경 관계, 질량-광도 관계 및 H-R도를 조사하였는데 그 결과 A형이 F형에 비하여 질량교환이 활발할 것으로 생각된다. 근접촉쌍성은 ZAMS와 평행하게 나타나며 접촉쌍성의 진화 위치와 거의 일치하고 있다.

### ABSTRACT

The general properties of the NCBs, divided into A and F types according to their spectral types, have been presented. The evolutionary status of the F type near-contact binaries are closer to that of the contact systems, i.e., W UMa type binaries, if it is assumed that the evolution of the NCBs is governed by the thermal relaxation oscillation theory. The mass-radius relation, mass-luminosity relation and H-R diagram of the NCBs provide that the A type NCBs suffer from more active mass transfer than F types. The components of the NCBs are still in main-sequence like W UMa type stars and their two components lines parallel to the ZAMS.

*Key words:* stars, near-contact binaries, H-R diagram

<sup>1</sup>이 연구는 한국천문연구원 기관고유사업 2000-1-300-00 과제의 일부로 수행되었음.

<sup>†</sup>corresponding author

## 1. 서 론

근접쌍성 (near-contact binaries, 이하 NCBs)은 근접쌍성 가운데서도 매우 독특한 성질을 갖는 새로운 집단이다. Shaw (1990)와 Shaw, Callault, & Schmitt (1996)는 접촉형처럼 두 별이 모두 로쉬면을 완전히 채우고 있는 구조는 아니지만, 분리형이나 준분리형처럼 두 별 또는 어느 한 별이 로쉬면과 완전히 분리되어 있는 것도 아닌 매우 흥미로운 특성을 보이고 있는 집단으로서 NCBs를 분류하여 제시하였다. NCBs는 대부분  $\beta$  Lyr (EB)형의 광도곡선 형태를 보이며 연구자에 따라 접촉형 혹은 준분리형, 심지어 분리형으로도 분류되기도 한다 (Lazaro et al. 1995). W UMa형 쌍성은 공통대기를 갖는 접촉형 쌍성으로 설명되어 왔으나 두 별의 온도가 서로 다른 접촉형 쌍성의 경우 열적 평형 상태를 갖는 공통대기로는 설명이 불가능하였다. 이에 대한 대안으로 TRO (thermal relaxation oscillation; Lucy 1976, Lucy & Wilson 1979) 이론과 DSC (contact discontinuity; Shu, Lubow, & Anderson 1976) 이론이 제기되었다. DCS 이론은 공통대기를 가지고 있음에도 불구하고 주성과 반성 사이에 큰 온도차를 보이는 접촉쌍성을 설명하기 위한 이론이다. 하지만 NCBs는 일반적으로 공통대기를 가지지 않는 것으로 여겨지고 있어 TRO 이론을 검증하는데 보다 유용한 쌍성들로 대두되고 있다. 이는 NCBs가 TRO 이론에서 설명하고 있는 임계접촉 (marginal contact) 상태와 매우 유사한 형태를 취하고 있기 때문이다 (Odell 1996).

TRO 이론은 접촉상태에 있는 W UMa형 쌍성이 지속적으로 열적평형을 이룰 수 없으며 반성에서 주성으로 질량이동이 있어 질량비가 작아지므로 두 별 사이의 거리가 증가하게되어 접촉에 가까운 준분리 상태가 되며 이 후, 주성에서 다시 반성으로 질량이 이동하여 두 별 사이의 거리가 가까워지고 결국 접촉형 쌍성이 되는 과정을 반복한다는 것이다. NCBs는 바로 TRO 이론에서 말하는 임계접촉 상태에 있는 천체라고 생각되고 따라서 접촉형 쌍성의 진화를 규명할 수 있는 좋은 도구일 수 있기에 이 천체들에 대한 관심이 고조되고 있다.

Shaw (1990)와 Shaw, Callault, & Schmitt (1996) 등이 설명하고 있는 NCBs의 일반적 특성들을 살펴보면, EB형 쌍성의 광도곡선을 보이며, 공전주기가 1일 미만이고, 주성의 분광형은 A형과 F형 사이에 놓인다. 또한, NCBs는 두 별 사이의 강한 조석 작용으로 인하여 대부분 O'Connell 효과를 보이고 있으며, W UMa형 쌍성 중 A형과 유사한 특성을 보이고 있다. 한편, NCBs는 두 별 가운데 어느 별이 로쉬면을 채우고 있는가와 일반적인 주계열성과 비교하여 질량과 크기에서 어느 정도 차이를 보이는가에 따라 다시 두 종류로 분류하는데, 주성이 로쉬면을 채우고 있는 것을 V1010 Oph형이라 하고 반성이 로쉬면을 채우고 있는 것을 FO Vir형이라고 한다.

이 연구에서는 NCBs가 TRO 이론에서 말하는 임계접촉쌍성일 가능성 여부를 확인하기 위한 시도의 일환으로 NCBs 가운데 기하학적 궤도요소 및 절대량이 잘 알려진 27개의 별들을 택하여 이들 물리량으로부터 NCBs에 대한 기하학적 특성 및 물리적 특성에 대한 여러 상관 관계를 알아보고 이들 상관관계와 진화와의 연관성을 조사하여 보았다.

## 2. NCBs의 절대량과 분류

접촉쌍성은 크게 공통복사대기층을 갖는 조기형 (이하 CE형)과 공통대류복사층을 갖는 소위 W UMa형의 만기형 (이하 CW형)으로 분류된다. Svechnikov & Kuznetsova (1990)의 목록에서 발췌한 접촉형쌍성들의 물리량과 표 1에 제시한 바와 같이 여러 논문에서 수집한 근접접촉쌍성에 대한 물

표 1. NCBs의 물리량.

Name	Sp.	$q$ ( $M_2/M_1$ )	$P$ (day)	$LogT_1$ (K)	$LogT_2$ (K)	$M_1$ ( $M_\odot$ )	$M_2$ ( $M_\odot$ )	$R_1$ ( $R_\odot$ )	$R_2$ ( $R_\odot$ )	$LogL_1$ ( $L_\odot$ )	$LogL_2$ ( $L_\odot$ )	Ref.
BL And	A8	0.333	0.722	3.875	3.73	1.8	0.6	2.3	1.4	1.03	0.00	1
ST Aqr	A7	0.40	0.781	3.906	3.712	1.50	0.60	2.24	1.19	1.28	-0.041	2
AW Cam	A0	0.219	0.771	3.996	3.806	3.2	0.70	2.17	1.42	1.61	0.48	3
DO Cas	A2	0.313	0.685	3.958	3.684	1.69	0.53	2.10	1.20	1.42	-0.16	4
YY Cet	A8	0.52	0.790	3.875	3.725	1.84	0.94	2.09	1.63	1.10	0.301	5
V836 Cyg	A0	0.34	0.653	4.00	3.761	2.4	0.80	1.96	1.24	1.54	0.18	6
RZ Dra	A5	0.44	0.551	3.91	3.69	1.40	0.62	1.62	1.12	1.00	-0.19	7
WX Eri	A5	0.329	0.823	3.875	3.705	1.7	0.56	1.89	1.39	1.00	0.057	3
ES Lib	A2	0.56	0.883	3.901	3.671	0.98	0.55	1.93	0.88	1.13	-0.47	8
V1010 Oph	A5	0.446	0.661	3.875	3.716	1.732	0.773	1.960	1.322	1.05	0.07	9
AG Vir	A7	0.314	0.643	3.869	3.799	1.67	0.53	1.97	1.14	1.02	0.27	10
BF Vir	A2	0.331	0.641	3.989	3.745	1.23	0.41	1.65	1.06	1.35	-0.014	11
FO Vir	A7	0.15	0.776	3.869	3.672	1.9	0.28	2.52	0.88	1.22	-0.47	12
BX And	F2	0.497	0.610	3.832	3.653	1.52	0.75	1.78	1.30	0.79	-0.20	13
CX Aqr	F5	0.538	0.556	3.806	3.696	1.19	0.64	1.29	1.15	0.43	-0.143	14
CX Aqr	F5	0.538	0.556	3.806	3.723	1.19	0.64	1.33	1.16	0.46	-0.076	14
EE Aqr	F0	0.32	0.509	3.859	3.627	2.14	0.70	1.79	1.06	0.89	-0.48	15
EE Aqr	F0	0.32	0.509	3.849	3.643	2.20	0.71	1.75	1.07	0.88	-0.42	16
RV Crv	F2	0.27	0.747	3.819	3.705	1.64	0.44	2.16	1.20	0.92	0.079	17
VZ CVn	F0	0.777	0.842	3.840	3.785	1.84	1.43	1.76	1.25	0.81	0.29	18
RU Eri	F3	0.420	0.632	3.874	3.678	2.45	1.03	2.06	1.43	1.07	-0.027	19
BV Eri	F2	0.25	0.508	3.836	3.748	0.81	0.20	1.38	0.75	0.58	-0.31	20
TT Her	F2	0.439	0.912	3.860	3.671	1.56	0.68	2.30	1.49	1.11	-0.018	21
EU Hya	F2	0.212	0.778	3.839	3.618	1.51	0.32	1.40	1.10	0.60	-0.50	22
RS Ind	F0	0.31	0.624	3.857	3.668	2.0	0.62	2.0	1.18	0.98	-0.229	16
FT Lup	F2	0.426	0.470	3.826	3.593	1.43	0.61	1.43	0.94	0.56	-0.735	23
SW Lyn	F2	0.33	0.644	3.857	3.633	1.4	0.5	1.6	1.1	0.81	-0.398	1
TZ Lyr	F3	0.5	0.529	3.832	3.618	1.5	0.7	1.54	1.15	0.65	-0.523	1
RT Scl	F0	0.433	0.512	3.845	3.683	1.63	0.71	1.59	1.01	0.75	-0.44	24
RU UMi	F0	0.35	0.525	3.851	3.613	1.6	0.6	1.7	1.0	0.70	-0.657	1

1. Kaluzny (1985), 2. Al-Naimiy & Fleyeh (1989), 3. Russo & Milano (1983), 4. Oh & Ahn (1992),
5. McFarlane, King, & Hilditch (1986), 6. Breinhorst, Kallrath, & Kamper (1989),
7. Kreiner et al. (1994), 8. Milano, Barone, Mancuso, & Russo (1989),
9. Corcoran, Siah, & Guinan (1991), 10. Bell, Rainger, & Hilditch (1990), 11. Russo & Sollazzo (1981),
12. Poretti et al. (1987), 13. Demircan, Akalin, & Derman (1993), 14. McFarlane et al. (1986),
15. Covino et al. (1990), 16. Hilditch & King (1988), 17. McFarlane, Hilditch, & King (1986),
18. Popper (1988), 19. Barone et al. (1992), 20. Gu (1999), 21. Milano et al. (1989),
22. Vivekananda Rao, Sarma, & Abhyankar (1996), 23. Lipari & Sistero (1986),
24. Hilditch & King (1986)

리량들을 이용하여 그림 1과 같이 접촉쌍성과 근접접쌍성의 분광형에 따른 주성과 반성 사이의 온도 차이에 대한 상관 관계를 알아보았다. 그림 1에서 알 수 있듯이, 접촉형 쌍성의 경우 분광형 F를 중심으로 CE형과 CW형이 뚜렷하게 나뉘어 있으며, NCBs는 분광형 A와 F 사이에 놓여 CE형과 CW형을 연결 시켜주는 중간에 위치하고 있다. 이것은 NCBs가 접촉쌍성으로서의 CE형과 CW형의 진화와 밀접하게 관련되어 있을 가능성을 시사하고 있다.

이러한 의미에서 일차적으로 NCBs를 분광형에 따라 A형과 F형으로 분류하여 이들 사이의 물리

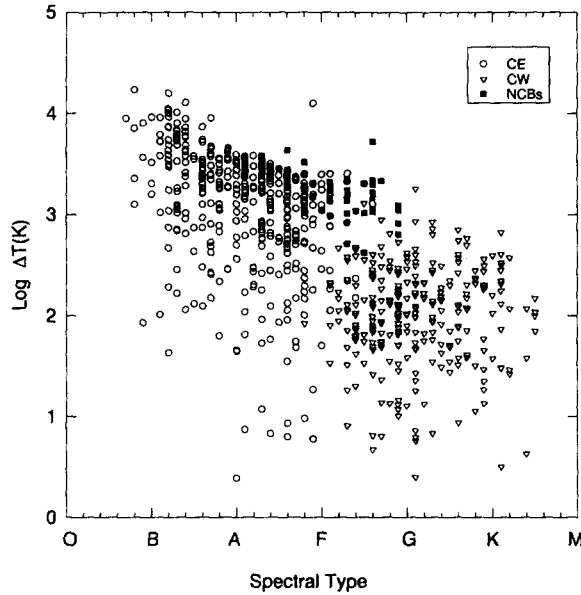


그림 1. NCBs의 분광형에 따른 주성과 반성의 온도차 ( $\Delta T$ ). NCBs가 조기형 접촉쌍성과 만기형 접촉쌍성의 중간에 위치하고 있음을 알 수 있다.

적 특성을 조사하여 보았다. 이를 위하여 지금까지 알려진 NCBs 가운데 기하학적 궤도요소 및 절대량이 잘 알려진 27개의 별들을 분광형에 따라 A형과 F형으로 분류하여 이들의 기본 물리량을 표 1에 제시하였다.

표 1에 제시된 27개의 NCBs에 대한 물리량들을 조사하여 보면 각각의 질량은  $0.3M_{\odot} - 3M_{\odot}$ 의 값을 보이며 A형과 F형 사이의 평균적인 질량의 차이는 보이지 않는다. 그러나 NCBs의 반경의 범위와 광도의 범위는 각각  $0.9R_{\odot} - 2.5R_{\odot}$ 와  $0.18L_{\odot} - 40.7L_{\odot}$ 로서 평균적으로 A형의 주성의 반경과 광도가 F형에 비하여 더 크고 밝게 나타나고 있다. 이에 대해서는 3장의 질량-반경 관계와 질량-광도 관계에서 보다 자세히 언급하였다. 또한 NCBs의 질량비 ( $q$ )는 FO Vir의 0.15를 제외하면 모두 0.2이상의 값을 보이며, 평균 질량비는 F형이 0.361로서 A형의 0.405에 비하여 다소 크게 나타나고 있다. 한편, 그림 1에서도 나타난 바와 같이 NCBs의 A형이 F형에 비하여 주성과 반성의 온도차 ( $\Delta T$ )가 크게 나타나고 있다. 이와 같은 결과들을 종합해 볼 때, NCBs가 TRO 이론에서 설명하고 있는 진화 과정에서 준분리 후 다시 접촉형이 되는 과정에 있는 천체라고 한다면, F형이 A형에 비하여 더 접촉에 가까운 상태에 있다는 설명을 가능케 한다. 주성에서 반성으로 질량이 이동됨에 따라 주성의 질량은 작아지고 따라서 온도도 낮아지며 질량비는 커질 것이기 때문이다. 실제 평균 공전주기도 A형이 0.627일로 F형의 0.722일에 비하여 더 짧게 나타나고 있는데 이것은 질량비가 1에 가까워질수록 두 별 사이의 거리가 짧아지기 때문이다. 또한 그림 1에 나타난 바와 같이 F형이 CW형 접촉쌍성에 더 근접하게 나타나고 있다.

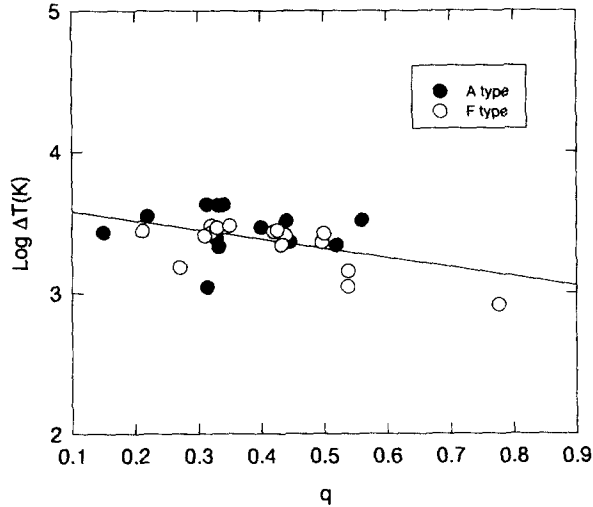


그림 2. NCBs의 질량비 ( $q$ ) - 온도차 ( $\Delta T$ ) 관계. 질량비가 커질수록 주성과 반성의 온도차가 작아지고 있다.

### 3. NCBs의 물리량에 대한 상관 관계

#### 3.1. 질량비 ( $q$ ) - 온도차 ( $\Delta T$ ) 관계

그림 2는 표 1에 제시한 27개의 NCBs에 대해 질량비에 따른 두 별의 온도차 ( $\Delta T$ )를 조사한 것이다. 그림 2에 보는 바와 같이 NCBs는 완전한 공통대기를 갖는 이상적인 CW형의 접촉쌍성이 아니기 때문에 주성과 반성의 온도차가 900°K에서 4,500°K 사이로서 다소 크게 나타내고 있으며, A형과 F형 모두, 매우 좋은 상관 관계를 보이고 있는 것은 아니지만, 대체적으로 질량비가 크면 클수록 두 별의 온도차가 작게 나타나고 있다. 이것은 질량비가 거의 1에 가까운 전형적인 W UMa형의 경우 주성과 반성 사이의 온도차가 매우 작다는 점과 연관지어 생각할 수 있다.

#### 3.2 질량 ( $M$ ) - 온도차 ( $\Delta T$ ) 관계

그림 3은 NCBs에 대한 두 별의 총 질량과 온도차 ( $\Delta T$ )와의 관계로서 A형이 F형에 비하여 약간 더 큰 온도차를 보이고 있으나, 두 경우 모두 총 질량에 따른 온도차의 차이는 보이지 않는다. 하지만 보다 정확한 비교를 위해서는 더 많은 NCBs의 자료가 필요한 것으로 보인다.

#### 3.3 질량 ( $M$ ) - 반경 ( $R$ ) 관계

그림 4에 NCBs에 대한 질량 - 반경 관계를 조사하였다. 그 결과 주성이 같은 질량을 갖는다 하여도 A형의 NCBs가 F형에 비하여 반경이 약간 크게 나타나고 있는데 이것은 A형과 F형이 각기 다른

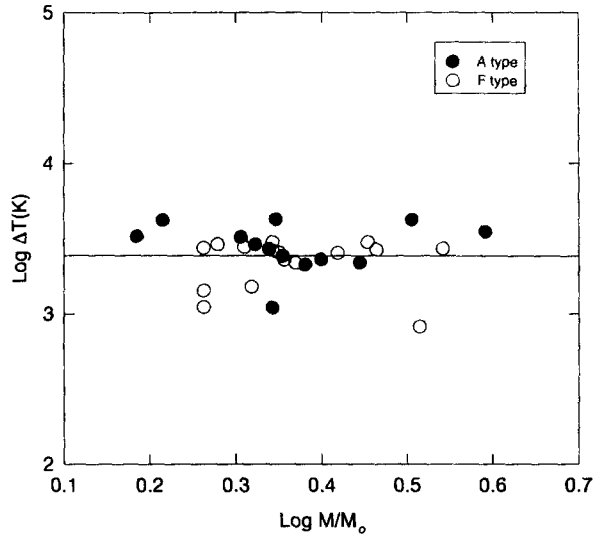


그림 3. NCBs의 질량 ( $M$ ) - 온도차 ( $\Delta T$ ) 관계. 총 질량에 따른 온도 차이는 보이지 않는다.

상태의 질량교환 단계에 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 NCBs의 A형과 F형에 대한 공전주기 변화에 대한 체계적인 연구가 요구된다. 한편, 그림 4의 NCBs의 질량-반경 관계는 A형과 F형에 대해서 각각

$$A: \text{Log } R/R_{\odot} = 0.19 + 0.45 \text{ Log } M/M_{\odot} \tag{1}$$

$$F: \text{Log } R/R_{\odot} = 0.14 + 0.38 \text{ Log } M/M_{\odot} \tag{2}$$

로 나타났으며 이때 일차 상관 관계에 대한 95% 신뢰도에 따른 결정계수 ( $r^2$ )는 각각 0.830과 0.689이다. 최근 Gorda & Svechnikov (1998)는 112개의 식쌍성을 이용하여 질량-반경 관계를 조사하여 그 기울기를 0.65로 정하였다. 한편, Karetnikov (1991)와 Demircan & Kahraman (1991)은 선택한 질량범위에 따라 기울기가 달라지는 것을 보였는데 그 값은 0.55에서 0.99까지이다. 이 값들은 우리가 구한 NCBs의 질량-반경 관계의 기울기인 0.45와 0.38에 비해 다소 큰 값을 나타내고 있는데 이것이 NCBs가 가지는 고유한 특성에 기인하는 것인지 혹은 분석에 사용한 샘플의 영향인지는 아직은 확인할 수 없었다. 이의 검증을 위해서는 NCBs에 대한 보다 많은 자료가 필요하다고 생각된다.

### 3.4 질량 ( $M$ ) - 광도 ( $L$ ) 관계

다음으로는 그림 5에 NCBs에 대한 질량 - 광도 관계를 조사하였다. 그림 5에 따르면 NCBs의 A형은 F형에 비하여 전체적으로 질량에 따른 광도가 일정하게 더 밝은 것으로 나타났다. 이러한 사실은 그림 4의 질량 - 반경 관계에서도 언급한 바와 같이 A형과 F형의 NCBs들이 서로 다른 질량교환

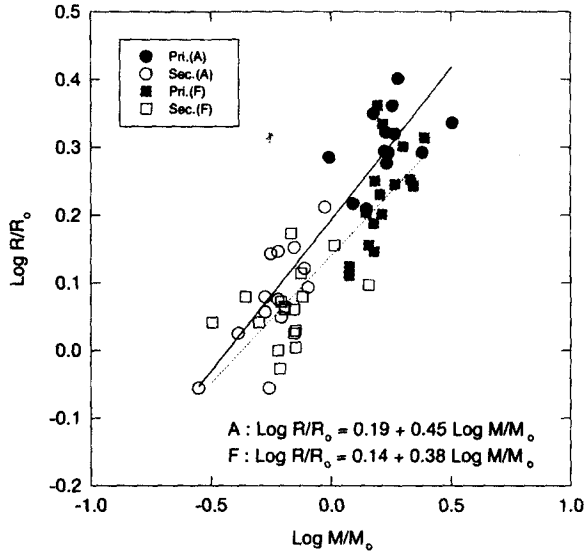


그림 4. NCBs의 질량 ( $M$ ) - 반경 ( $R$ ) 관계. A형과 F형의 기울기에 약간의 차이를 보이고 있다.

상태에 있기 때문인 것으로 추정된다. 한편, 그림 5의 NCBs의 질량 - 광도 관계는 A형과 F형에서 각각

$$A: \text{Log } L/L_{\odot} = 0.61 + 2.27 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (3)$$

$$F: \text{Log } L/L_{\odot} = 0.23 + 2.23 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (4)$$

또는

$$A: M_{bol} = 3.20 - 5.68 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (5)$$

$$F: M_{bol} = 4.15 - 5.58 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (6)$$

로 나타났다. 여기서 식 (3)과 (4)는 95% 신뢰도에 따른 결정계수가 각각 0.849와 0.782이다. 이러한 결과는 최근 Gorda & Svechnikov (1998)가 제시한 질량-광도 관계

$$M_{bol} = 4.46 - 9.52 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (\text{Log } M/M_{\odot} > 0.4) \quad (7)$$

$$M_{bol} = 6.58 - 5.00 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (\text{Log } M/M_{\odot} \leq 0.4) \quad (8)$$

중 식 (8)과 잘 일치되고 있는데 실제로 표 1에서 보는 바와 같이 NCBs의 질량은 대부분  $\text{Log } M/M_{\odot} < 0.4$ 의 범위에 있다. 한편, Karetnikov (1991)와 Demircan & Kahraman (1991)는 다양한 질량 범위에서  $\text{Log } M/M_{\odot}$ 에 대한  $\text{Log } L/L_{\odot}$ 의 관계식을 구하였는데 그 기울기가 질량범위에 따라 2.50에서 3.92까지 분포한다. 이들의 결과에서 질량이 작은 경우 그 기울기도 작은 값을 나타내고 있는 것을 고려한다면 식 (3)과 (4)의 우리의 결과와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

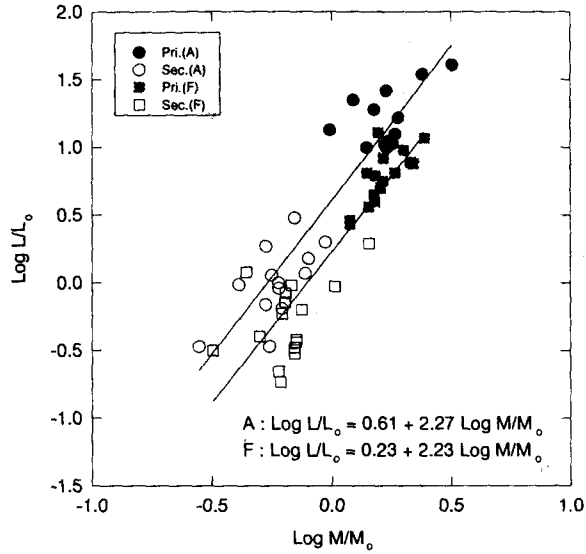


그림 5. NCBs의 질량 ( $M$ ) - 광도 ( $L$ ) 관계. A형과 F형의 기울기는 거의 비슷하나 질편이 서로 다르게 나타나고 있다.

### 3.5 질량 ( $M$ ) - 궤도 각운동량 ( $H$ ) 관계

그림 6은 NCBs의 질량 - 각운동량 관계를 보이고 있다. 여기서 각운동량은 NCBs의 자전과 공전이 동기화 되어 있다고 가정하고 오규동 (1998)이 제시한 식 (2)와 같이 계산하였다. 그 결과 A형과 F형 사이의 차이는 보이고 있지 않으며 일차 상관 관계는

$$\text{Log } H = 1.30 + 1.60 \text{ Log } M/M_{\odot} \quad (9)$$

로서 95% 신뢰도에 따른 결정계수는 0.825이다. 이러한 결과는 Chaubey (1979), Trimble (1984) 그리고 오규동 (1998)의 질량 - 각운동량 관계와 대체로 잘 일치한다. 그런데 최근 오규동 (1998)이 제시한 식 (5)의 접촉형에 대한 질량 - 각운동량 관계와 이번에 제시한 식 (9)의 결과와 다소 차이가 나타나는 것은 표 1에 제시한 NCBs의 수가 충분하지 않기 때문으로서 보다 많은 NCBs의 자료를 활용하여 비교되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.6 H-R도

그림 7에 표 1에 제시한 27개의 NCBs에 대한 H-R도를 조사하여 보았다. 여기서 영년주계열 (zero age main sequence, 이하 ZAMS)은 NCBs가 태양과 유사한 중원소 함량비를 가지고 있을 것으로 가정하여 VandenBerg (1985)의  $Z=0.0169$ 에 대한 이론적인 값 중에서 질량  $0.7M_{\odot}$ 에서  $3.0M_{\odot}$  사이의 값을 채택하였다. 그림 7에서 NCBs의 A형과 F형은 모두 ZAMS과 평행하게 나타나며 A형과 F형의



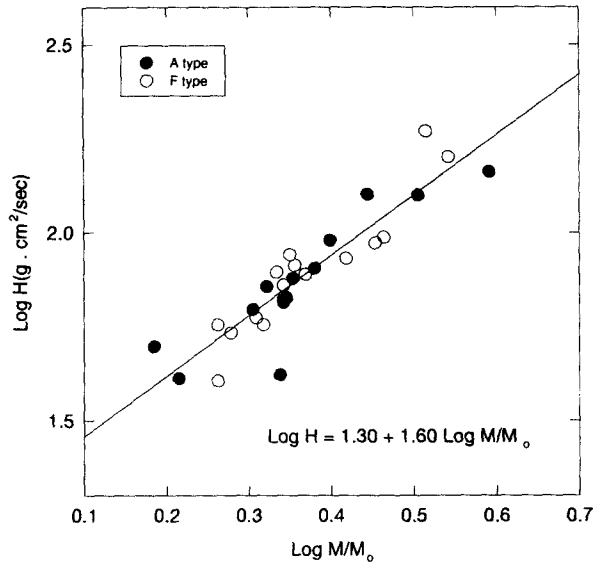


그림 6. NCBs의 질량 ( $M$ ) - 각운동량 ( $H$ ) 관계. A형과 F형 사이에 차이가 없는 것으로 보인다.

주성은 각각  $2M_{\odot}$ 와  $1.5M_{\odot}$  근처의 진화 경로상에 놓이고 반성은 A형과 F형 모두  $1M_{\odot}$  이하의 진화 경로상에 놓이고 있다. 한편, 지금까지 접촉쌍성으로서 W UMa형의 진화 상태를 조사한 여러 연구자 (Rovithis-Livaniou, Rovithis, & Bitzaraki 1992, Hilditch, King, & McFarlane 1988, Maceroni, Milano, & Russo 1985)들에 의하여 제시된 H-R도 상의 접촉쌍성들의 진화 상태를 보면 이들은 모두 ZAMS와 말년주계열 (terminal age main sequence, 이하 TAMS) 사이에 놓이고 있다. 그런 의미에서 그림 7에 제시된 NCBs의 H-R도 상의 위치가 접촉쌍성의 진화 위치와 거의 일치하고 있음을 확인할 수가 있다. 다만, W UMa형 가운데 일부는 반성이 ZAMS 아래에 놓이는데 이들은 대부분 질량비가 0.2 이하의 매우 작은 값을 갖는 W UMa형으로서 표 1에 제시한 NCBs의 질량비가 대부분 0.2 이상이라는 점을 고려한다면 NCBs에 관해서는 이러한 진화 형태를 비교 할 필요는 없을 것이다.

#### 4. 결 론

지금까지 조사된 NCBs 가운데 기하학적 궤도요소 및 절대량이 잘 알려진 27개의 별들을 택하여 이들의 물리량으로부터 NCBs에 대한 기하학적 특성 및 물리적 특성에 대한 여러 상관 관계와 함께 NCBs의 일반적인 물리적 특성과 진화를 조사하여 보았다.

NCBs의 분광형은 모두가 A형과 F형 사이에 있으며 이에 따라 표 1에 NCBs를 A형 (13개)과 F형 (14개)으로 분류하여 이들의 기하학적 궤도요소와 절대량을 제시하였다. 표 1에 따르면 A형이 F형에 비하여 주성과 반성의 온도차 ( $\Delta T$ )가 약간 더 크며 평균적으로 F형의 질량비가 A형에 비하여 크게 나타나고 평균공전주기 ( $P$ )는 F형이 A형에 비하여 더 짧게 나타나고 있다. 한편, 그림 1의 분

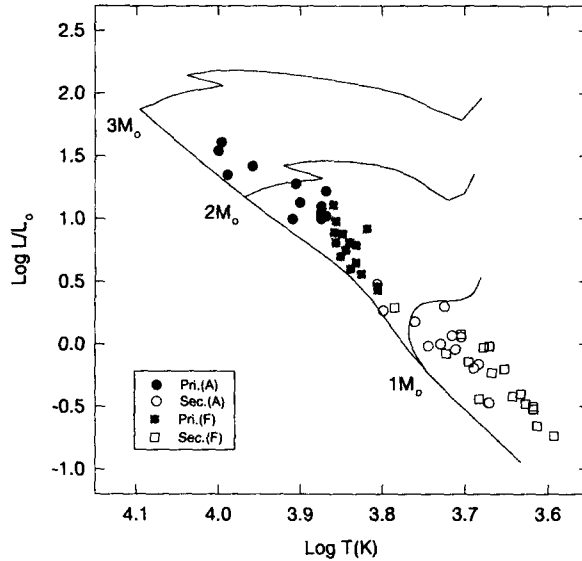


그림 7. NCBs의 H-R도. A형과 F형 모두 ZAMS와 평행하게 위치하고 있다.

광형에 따른 온도차의 그림에서 NCBs는 접촉쌍성 CE형과 CW형의 중앙 부분에 놓인다는 점에서 이 별들이 접촉쌍성의 진화와 밀접한 연관을 갖고 있을 가능성을 보인다고 할 수 있다. 이러한 사실로부터 NCBs가 TRO 이론에서 말하는 임계접촉 단계, 즉 두 별이 접촉이 깨진 이후 다시 접촉으로 전이되는 진화 단계에 있는 쌍성일 가능성을 배제할 수 없으며 이 경우, F형이 A형에 비하여 보다 더 접촉에 가까운 상태에 있다는 가정을 가능하게 한다. 실제 그림 1에서도 F형이 접촉식쌍성으로서 W UMa형인 CW형에 더 근접한 상태로 나타나고 있다.

NCBs의 그림 4의 질량-반경 관계와 그림 5의 질량-광도 관계에 따르면 A형은 F형에 비하여 전반적으로 질량에 따른 반경과 광도가 더 크고 밝게 나타나고 있는데 이러한 사실을 주성과 반성 사이의 질량교환에 따른 결과로서 고려한다면 A형이 F형에 비하여 보다 더 활발한데 질량교환을 갖고 있는 것으로 추정된다. 이에 대한 보다 신빙성있는 결과를 얻기 위해서는 NCBs의 A형과 F형에 대한 공전주기 변화에 대한 조사가 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다. 우리는 식 (1)-(6)과 같은 NCBs의 질량-반경 관계와 질량-광도 관계를 구하였는데 특별히 식 (3)-(6)의 질량-광도 관계는 Gorda & Svechnikov (1998), Karetnikov (1991) 그리고 Demircan & Kahraman (1991)가 제시한 기올기와 잘 일치하고 있다.

NCBs의 H-R도 (그림 7)를 조사한 결과 NCBs는 A형과 F형 모두 ZAMS와 평행하게 나타나고 있다. 한편, 접촉식쌍성의 진화 상태를 조사하기 위한 여러 연구자 (Rovithis-Livaniou, Rovithis, & Bitzaraki 1992, Hilditch, King, & McFarlane 1988, Maceroni, Milano, & Russo 1985)들이 제시한 H-R도에 따르면 질량비가 0.2 이상의 접촉쌍성들은 ZAMS와 TAMS 사이에 ZAMS와 평행하게 놓이며 이에 따라 NCBs는 접촉식쌍성으로서의 진화 위치와 거의 일치하고 있음을 확인 할 수가 있다.

NCBs에 대한 보다 정확한 상관 관계를 얻어내고 이로부터 이들의 물리적 성질과 함께 그의 진화를 이해하기 위해서는 더 많은 별들에 대한 보다 더 정확한 기하학적 물리량과 절대량의 산출이 요구된다. 또한, NCBs의 A형과 F형에서의 질량교환을 이해하기 위해서는 이들의 공전주기 변화에 대한 분석도 함께 이루어져야 할 것이다.

### 참고문헌

- 오규동 1998, 한국우주과학회지, 15, 83
- Al-Naimiy, H. M. K., & Fleyeh, H. A. 1989, *Ap&SS*, 151, 29
- Barone, F., Fiore, L. D., Milano, L., Pirozzi, L., & Russo, G. 1992, *Ap&SS*, 198, 321
- Bell, S. A., Rainger, P. P., & Hilditch, R. W. 1990, *MNRAS*, 247, 632
- Breinhorst, R. A., Kallrath, J., & Kamper, B.-C. 1989, *MNRAS*, 241, 559
- Chaubey, U. S. 1979, *Ap&SS*, 64, 177
- Corcoran, M. F., Siah, M. J., & Guinan, E. F. 1991, *AJ*, 101, 1828
- Covino, E., Barone, F., Milano, L., Russo, G., & Sarna, M. J. 1990, *MNRAS*, 246, 472
- Demircan, O., Akalin, A., & Derman, E. 1993, *A&AS*, 98, 583
- Demircan, O., & Kahraman, G. 1991, *Ap&SS*, 181, 313
- Gorda, S. Yu., & Svechnikov, M. A. 1998, *ARep.*, 42, 793
- Gu, S. 1999, *A&A*, 346, 437
- Hilditch, R. W., & King, D. J. 1986, *MNRAS*, 223, 581
- Hilditch, R. W., & King, D. J. 1988, *MNRAS*, 232, 147
- Hilditch, R. W., King, D. J., & McFarlane, T. M. 1988, *MNRAS*, 231, 341
- Lazaro, C., Niarchos, P., Rovithis, P., Rovithis-Livaniou, E., Arevalo, M. J., & Antonopoulou, E. 1995, *AJ*, 110, 1796
- Lipari, S. L., & Sistero, R. F. 1986, *MNRAS*, 220, 883
- Lucy, L. B. 1976, *ApJ*, 205, 208
- Lucy, L. B., & Wilson, R. E. 1979, *ApJ*, 231, 502
- Kaluzny, J. 1985, *Acta Astron.*, 35, 327
- Karetnikov, V. G. 1991, *AZh*, 68, 880
- Kreiner, J. M., Pajdosz, G., Tremko, J., & Zola, S. 1994, *A&A*, 285, 459
- Maceroni, C., Milano, L., & Russo, G. 1985, *MNRAS*, 217, 843
- McFarlane, T. M., Bell, S. A., Adamson, A. J., & Hilditch, R. W. 1986, *MNRAS*, 223, 607
- McFarlane, T. M., Hilditch, R. W., & King, D. J. 1986, *MNRAS*, 223, 595
- McFarlane, T. M., King, D. J., & Hilditch, R. W. 1986, *MNRAS*, 218, 159
- Milano, L., Barone, F., Mancuso, S., & Russo, G. 1989, *Ap&SS*, 153, 273
- Milano, L., Barone, F., Mancuso, S., Russo, G., & Vittone, A. A. 1989, *A&A*, 210, 181
- Odell, A. P. 1996, *MNRAS*, 282, 373
- Oh, K.-D., & Ahn, Y. S. 1992, *Ap&SS*, 187, 261

- Popper, D. M. 1988, *AJ*, 95, 190
- Poretti, E., Niarchos, P. G., Mantegazza, L., Antonello, E., & Conconi, P. 1987, *A&AS*, 69, 337
- Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P., & Bitzaraki, O. 1992, *Ap&SS*, 189, 237
- Russo, G., & Milano, L. 1983, *A&AS*, 52, 311
- Russo, G., & Sollazzo, C. 1981, *Ap&SS*, 78, 141
- Shaw, J. S. 1990, *Active Close Binaries*, ed. Ibanoglu (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), p.241
- Shaw, J. S., Callault, J.-P., & Schmitt, J. H. M. M. 1996, *ApJ*, 461, 951
- Shu, F. H., Lubow, S. H., & Anderson, L. A. 1976, *ApJ*, 209, 536
- Svechnikov, M. A., & Kuznetsova, E. F. 1990, *Catalogue of Approximate Photometric and Absolute Elements of Eclipsing Variable Stars*, Vol.I & II (USSR: Ural State U. Press)
- Trimble, V. 1984, *Ap&SS*, 104, 133
- VandenBerg, D. A. 1985, *ApJ*, 215, 851
- Vivekananda Rao, P., Sarma, M. B. K., & Abhyankar, K. D. 1996, *PASP*, 108, 967