J. Astron. Space Sci. 16(1), 31–40 (1999)

접촉식쌍성의 질량비 분포에 따른 일반적 특성

오 규 동
전남대학교 사범대학 지구과학교육과

GENERAL PROPERTIES OF CONTACT BINARY SYSTEM FOR MASS RATIO DISTRIBUTION

Kyu-Dong Oh
Department of Earth Science Education, Chonnam National University
e-mail: ohkd@chonnam.chonnam.ac.kr

(Received April 1, 1999; Accepted May 15, 1999)

요 약

Svechnikov & Kuznetsova(1990)의 목록으로부터 761개의 접촉식쌍성을 택하여 그의 물리적 특성에 따라 공통 복사대기층을 갖는 CE형과 공통 대류대기층을 갖는 CW형으로 분류하여 질량비에 따른 그의 특성을 분석하였다. 그 결과 분광형이 조기형인 CE형은 만기형인 CW형에 비교하여 주성과 반성의 온도차($|\Delta T|$)가 크며 주기는 길게 나타났다. 그런데 CW형은 CE형에 비교하여 질량비가 다소 좁은 범위($0.3 < q < 0.7$)내에 분포하며 $L_2/L_1 = 0.01 + 0.89q$의 상관 관계를 보였다. 한편, 질량비에 따른 반경과의 관계에서는 CE형과 CW형의 차이의 원인이 반성의 반경 때문임을 확인하였으며, CW형 접촉식쌍성의 질량비에 따른 두 별의 반경의 합과 반경비와의 새로운 관계를 제시하였다.

ABSTRACT

With a total 761 contact binary systems in Svechnikov & Kuznetsova(1990)'s catalogue, their physical properties by the mass ratio are inverstigated – for the early CE type with a common radiative envelope and the late CW type with a common convective envelope. It is found that the early CE type shows a higher temperature difference($|\Delta T|$) between the primary and secondary components, and also longer period, than the late CW type . The mass ratio of the CW type are distributed in smaller ranges, from 0.3 to 0.7, than the CE type. Further, the relation between mass ratio and luminosity for the CW type shows a well-defined linear relation, such as $L_2/L_1 = 0.01 + 0.89q$. In the mass ratio-radii relation, it is confirmed that the physical difference of the CE and CW types is a result of the secondary radius. A new mass

ratio-radii relation for the CW type is suggested for both the total radius($r_1 + r_2$) and the radius ratio(r_2/r_1), respectively.

1. 서 론

접촉식쌍성(contact binary)은 분리형이나 준분리형 식쌍성에 비교하여 그들의 구조와 진화에 관해서는 아직까지도 명확히 이해하지 못하고 있다. 실제 접촉식쌍성의 구조와 진화에 관해서는 W UMa의 관측된 성질을 이해하기 위한 시도에서부터 시작되었다. 그러나 대표적인 접촉식쌍성으로서의 W UMa의 구조와 진화에 관한 초기의 Lucy 모델(Lucy 1968)이 제시된 이후 근 30년동안 많은 접촉식쌍성의 광도곡선이 발표되고 이에 대한 Shu *et al.*(1976)의 불연속(DSC)이론과 Lucy(1976)의 열적이완진동(TRO)이론들이 제시되어 있으나 아직도 확실한 진화 모델을 제시하지 못하고 있다. 최근에는 성단내에서 많은 접촉식쌍성들이 발견되고 있으며 이러한 발견은 아직까지도 이해하지 못하고 있는 접촉식쌍성의 구조와 진화를 이해하는데 많은 도움을 줄 것으로 기대한다 (Mateo *et al.* 1990; Kaluzny *et al.* 1993; Kaluzny & Krzeminski 1993; Yan & Mateo 1994; Mazur *et al.* 1995).

한편, 식쌍성은 그의 진화 과정 속에서 두 별 사이의 질량교환이나 또는 질량손실로 인하여 식쌍성의 질량비가 변하게 된다. 이러한 이유 때문에 식쌍성의 질량비는 식쌍성 진화에 있어서 매우 중요한 물리량의 하나인 것이다. 따라서 식쌍성의 질량비에 따른 여러 물리량과의 상관 관계를 조사한다는 것은 쌍성의 진화를 이해하는데 매우 중요한 단서가 된다. 실제 쌍성의 질량비에 따른 다양한 연구들이 여러 연구자(Mazeh & Goldberg 1992; Trimble 1990; Duquennoy & Mayor 1990, 1991; Tout 1991)들에 의하여 수행된 바도 있다. 특별히 식쌍성의 여러 분류 가운데 접촉식쌍성은 두 별이 근접되어 있으며 Roche 구조상의 공통대기층에 놓여 있기 때문에 다른 분류의 식쌍성에 비하여 두 별 사이의 상호 작용이 활발하여 접촉식쌍성의 질량비에 따른 여러 물리량과의 분석은 이 별의 진화를 설명하여 줄수 있는 의미있는 연구가 될 것이다.

이번 연구에서는 수집된 식쌍성의 수적인 면에서나 제공된 자료의 범위에서나 어떠한 목록들에 비하여 그 범위가 매우 광범위한 Svechnikov & Kuznetsova(1990)의 목록으로부터 761개의 접촉식쌍성을 확인하여 이들을 물리적 특성에 따라 분류하여 보고 또한 그들의 질량비에 따른 여러 물리량과의 상관 관계를 조사하였다.

2. 접촉식쌍성의 CW형과 CE형의 물리적 특성

접촉식쌍성의 질량비에 따른 여러 물리량과의 일반적 특성을 조사하기 위하여 Svechnikov & Kuznetsova(1990)의 Catalogue of Approximate Photometric and Absolute Elements of Eclipsing Variable Stars 로부터 761개의 접촉식쌍성을 택하였다. 그림 1에 Svechnikov & Kuznetsova의 목록에 수록된 3782개 의 식쌍성(EBs)과 함께 761개의 접촉식쌍성(C)들을 질량비에 따른 개수 분포 백

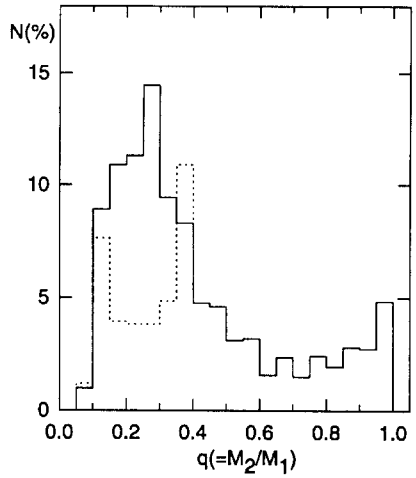

그림 1. 전체 식쌍성(EBs)과 접촉식쌍성(C)의 질량비에 따른 개수 백분율.

분율을 조사하였다. 그 결과 전체 식쌍성은 질량비가 0.1에서 0.4 사이에서 높은 개수 분포를 보이고 있는데 비하여 접촉식쌍성은 0.3에서 0.6사이에 다소 높은 개수 분포를 보이나 대체적으로 전체적인 질량비는 고른 분포를 보이고 있다. 이러한 질량비에 따른 분포도 분석은 Trimble(1990), Mazeh & Goldberg(1992) 그리고 Maceroni & van't Veer(1996)의 분석과도 비교된다. 한편, 접촉식쌍성은 공통복사대기층을 갖는 CE형과 공통대류대기층을 갖는 전형적인 W UMa형인 CW형으로 분류되는데, 이에 대한 물리적 특성을 조사하여 보면 그림 2와 그림 3에 나타난 바와 같이 분광형이 조기형인 CE형은 만기형인 CW형에 비교하여 주성과 반성의 온도차($|\Delta T|$)가 크며 주기는 길게 나타남을 알 수 있다. 또한 CW형은 공전주기가 전반적으로 $0.^d2$에서 $0.^d5$의 매우 좁은 주기 내에 분포함으로 알 수 있다. 한편, 그림 2에서 접촉식쌍성 가운데 질량비가 매우 작은($0.1 < q < 0.2$) 별들은 매우 특이한 특성(그림 4 참조)을 보이고 있는 별들로서 새롭게 분류하여 나타내었다. 그림 1에 조사된 761개의 접촉식쌍성 가운데 465개(61.1 %)가 CE형이며 296개(38.9%)는 CW형이다. 또한 CE형 가운데 EB형이 280개(60%)이고 EW형은 177개(38%)이며 CW형은 모두가 EW형으로 분류되었다.

3. 질량비에 따른 상관 관계

접촉식쌍성의 CE형과 CW형에 대한 질량비에 따른 여러 물리량과의 상관 관계를 조사하였다. 서론에서도 밝힌 바와 같이 쌍성의 질량비는 쌍성의 진화에 있어서 매우 중요한 물리량의 하나이다. 따라서 이러한 조사 분석은 CE형과 CW형의 물리적 특성과 함께 일반적인 접촉식쌍성의 물리적 특성을 이해하게 될 것이다.

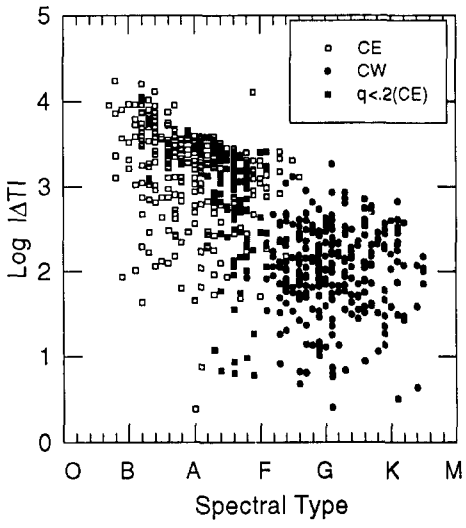

그림 2. 분광형에 따른 온도차($|\Delta T|$ 관계.질량비에 따른 개수 백분율.

3.1 질량비와 온도차

일반적으로 접촉식쌍성은 두 별이 공통대기층에 놓여 있기 때문에 두 별 사이의 온도차가 매우 적을 것으로 예상되나 그림 4에 나타난 바와 같이 의외로 많은 수의 접촉식쌍성들에서 두 별의 온도차가 크게 나타나는 경우를 볼 수가 있다. 그림 4에서 W UMa형인 CW형은 전체적으로 온도차가 $1000^{o}K$ 이하를 갖으며 주로 $100^{o}K$의 온도차를 보이고 있고 질량비는 CE형에 비교하여 대체적으로 0.3에서 0.7 사이의 좁은 범위에 분포하고 있다. 그러나 조기형인 CE형은 CW형에 비교하여 온도차가 $10000^{o}K$ 까지 매우 넓은 범위를 보이고 있으나 대체적으로 $1000^{o}K$에서 $10000^{o}K$까지 큰 온도차를 보이고 있으며 질량비는 0.1에서 1.0까지 다양하게 나타나고 있다. 특별히 CE형 가운데 질량비가 매우 적은 0.1에서 0.2 사이의 좁은 질량비 범위 사이에 있는 별들이 매우 특이하게도 두 별의 온도차가 매우 넓은 범위의 분포를 나타내고 있다. 실제 질량비가 극단적으로 작은 식쌍성(Duquennoy & Mayor 1990, 1991)들은 갈색왜성과 같은 질량이 작은 반성을 갖고 있을 수 있다는 면에서 매우 흥미있는 관측 대상이다(Latham *et al.* 1989; Marcy & Benitz 1989; Mazeh *et al.* 1990). 한편, CE형의 접촉식쌍성에는 EW형보다는 EB형이 많이 분포하고 있기 때문에 실질적으로 두 별의 온도 차이가 크게 나타나고 있다.

3.2 질량비와 밝기비

그림 5의 접촉식쌍성의 질량비에 따른 밝기의 비(L_2/L_1)에서도 CE형과 CW형은 뚜렷한 특성을 나타내고 있다. 여기서, CW형은 $L_2/L_1 = 0.01 + 0.89q$의 매우 좋은 일차적 상관 관계를 보이고 있

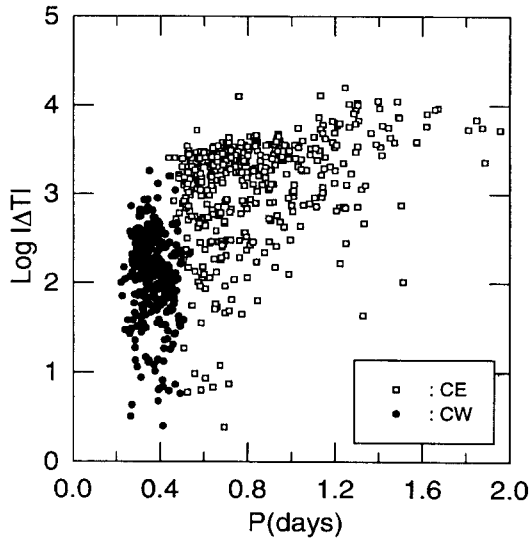

그림 3. 공전주기에 따른 온도차($|\Delta T|$) 관계.

으며, CE형에서는 뚜렷하지는 않지만 2차적인 상관관계를 나타내고 있다. CW형의 일차적 상관 관계에 대한 95% 신뢰도에 따른 결정계수(r^2)는 0.684이다. 그런데, 그림 5에서 CE형 가운데 YZ Cru, II Aur, AR Tuc, V658 Ara, RZ Pyx등등 몇 개의 별들은 CW형의 분포 사이에 나타나고 있으며, 이들에 대한 보다 정확한 궤도요소가 새롭게 요구되고 있다.

그림 6에 각각 (a) 질량비와 두 별의 상대적 반경의 합($r_1 + r_2$), (b) 질량비와 반경비(r_2/r_1), (c) 질량비와 주성의 반경(r_1) 그리고 (d) 질량비와 반성의 반경(r_2)과의 관계를 조사하였다. 그 결과 질량비와 반경과의 관계에서도 CE형과 CW은 뚜렷하게 다른 특성을 보이고 있다. 그런데, 그림 6에서 CE형과 CW형 사이에 차이를 보이게 하는 요소로서는 반성의 반경 때문이라는 것을 확인 할 수가 있었다. 즉 그림 6의 (c)에 나타난 바와 같이 주성의 반경에서는 CE형과 CW형 사이에 차이점을 확인 할 수가 없었으나 (d)의 질량비에 따른 반성의 반경과의 관계에서는 CE형과 CW형 사이에 뚜렷한 차이가 나며 그러한 차이가 (a)와 (b)에 반영되어 나타나고 있음을 확인 할 수가 있다. 한편, 그림 6의 (a), (b) 그리고 (d)에 나타난바 같이 CW형은 또 다시 두 개의 또 다른 부류로 분류됨을 알 수 있으나 CW형에 대한 두 부류의 물리적 특성은 확실히 구분되지 않았다.

한편, Kopal(1978 - 표 VI-3 참조)은 접촉식쌍성의 질량비에 따른 반경의 합과 반경비와의 관계를 제시한바 있으나, 그림 6의 우리의 결과와 비교 할 때, 그가 제시한 결과는 단지 그림 6의 CE형에서만 일치하며 CW형 접촉식쌍성에서는 적용되지 못한다는 것을 알 수가 있다. 따라서 그림 6의 (a)와 (b)로부터 CW형 접촉식쌍성의 질량비에 따른 두 별의 반경의 합과 반경비와의 새로운 관계를

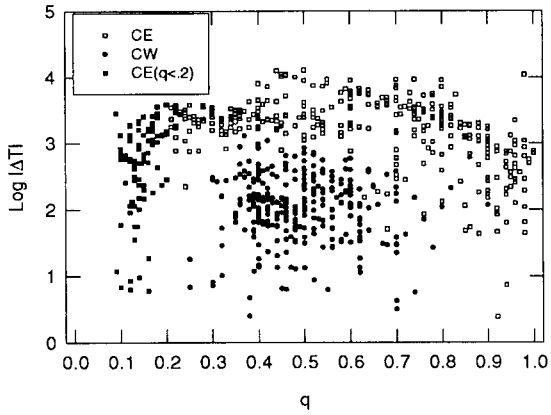

그림 4. 질량비에 따른 온도차($|\Delta T|$)관계.

표 1에 제시하였다. 그림 6에서 CE형과 CW형 가운데 특이한 특성을 보이고 있는 SW Lyn, SY Hor, LN Aps, EN Pup, IU Aur등의 별들에 관해서는 새로운 궤도요소가 요구된다.

4. 토의 및 결론

Svechnikov & Kuznetsova의 목록으로부터 761개의 접촉식쌍성을 택하여 이들의 질량비에 따른 여러 물리량과 의 일반적 특성을 조사하였다. 접촉식쌍성은 공통복사대기층을 갖는 CE형과 공통대류대기층을 갖는 전형적인 W UMa형인 CW형으로 분류되는데, 이에 대한 물리적 특성은 분광형이 조기형인 CE형은 만기형인 CW형에 비교하여 주성과 반성의 온도차($|\Delta T|$)가 크며 주기는 길게 나타남을 알 수 있었다. 또한 CW형은 공전주기가 전반적으로 $0.^d2$에서 $0.^d5$의 매우 좁은 주기 내에 분포함으로 알 수 있었다. 그림 1에 조사된 761개의 접촉식쌍성 가운데 465개(61.1%)가 CE형이며 296개(38.9%)는 CW형이다. 또한 CE형 가운데 EB형이 280개(60%)이고 EW형은 177개(38%)이며 CW형은 모두가 EW형으로 분류되었다.

한편, 그림 4, 그림 5 그리고 그림 6의 접촉식쌍성에 대한 여러 물리량과의 상관관계에서도 CE형과 CW형 사이에는 물리적 특성에서 큰 차이를 보이고 있음을 확인 할 수가 있었다. 먼저 그림 4의 질량비에 따른 두 별의 온도차를 보면 CW형에 비교하여 CE형이 온도차가 크게 나타나며 이러한 이유는 CE형의 60%가 EB형임에 기인되며, 특별히 EB형으로서 온도차이가 크게 나타나는 접촉식쌍성인 근접-접촉 식쌍성(near contact binary)들이 함께 포함되어 있으며 이들에 대해 최근 Shaw(1990)와 Shaw *et al.*(1996)에 의하여 활발히 연구되고 있다. 한편, CE형 가운데 질량비가 매우 적은(Duquennoy & Mayor 1990, 1991) 0.1에서 0.2 사이의 좁은 질량비 범위 사이에 있는 별들이 매우 특이하게도 두 별의 온도차가 매우 넓은 범위의 분포하고 있으며, 이러한 별들은 갈색왜성과 같은

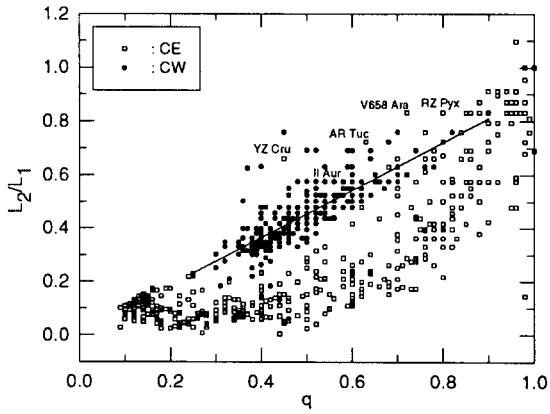

그림 5. 질량비에 따른 밝기비(L_2/L_1).

질량이 작은 반성을 갖고 있을 수 있다는 면에서 매우 흥미 있는 관측 대상이다(Latham *et al.*1989; Marcy & Benitz 1989; Mazeh *et al.*1990).

다음으로 그림 5에서 질량비에 따른 밝기 관계에서는 CW형은 $L_2/L_1 = 0.01 + 0.89q$의 매우 좋은 일차적 상관 관계를 보이고 있으며, CE형에서는 뚜렷하지는 않지만 2차적인 상관관계를 나타내고 있음을 확인하였다. 끝으로 그림 6의 질량비에 따른 반경과의 관계에서도 CE형과 CW형이 뚜렷하게 분류되며, 그러한 차이의 원인이 반성의 반경 때문이라는 것을 확인 할 수가 있었다. 한편, 그림 6의 (a), (b) 그리고 (d)에 나타난바 같이 CW형은 또 다시 두 개의 또 다른 부류로 분류됨을 알 수 있으나 CW형에 대한 두 부류의 물리적 특성은 확실히 구분되지 않았다. 그러므로 CW형 가운데 이러한 두 부류를 보다 분명히 분류하기 위해서는 보다 많은 CW형 접촉식쌍성을 찾아내어 이들의 정확한 절대 물리량을 구하고 이들 사이의 상관 관계의 조사가 절실히 요구된다. 한편, Kopal(1978)은

표 1. CW형의 질량비에 따른 반경의 합과 반경비 관계.

q	$r_1 + r_2$	r_2/r_1
0.90	0.712	0.867
0.80	0.713	0.810
0.70	0.715	0.758
0.60	0.718	0.702
0.50	0.720	0.642
0.40	0.727	0.574
0.30	0.737	0.505
0.25	0.744	0.463

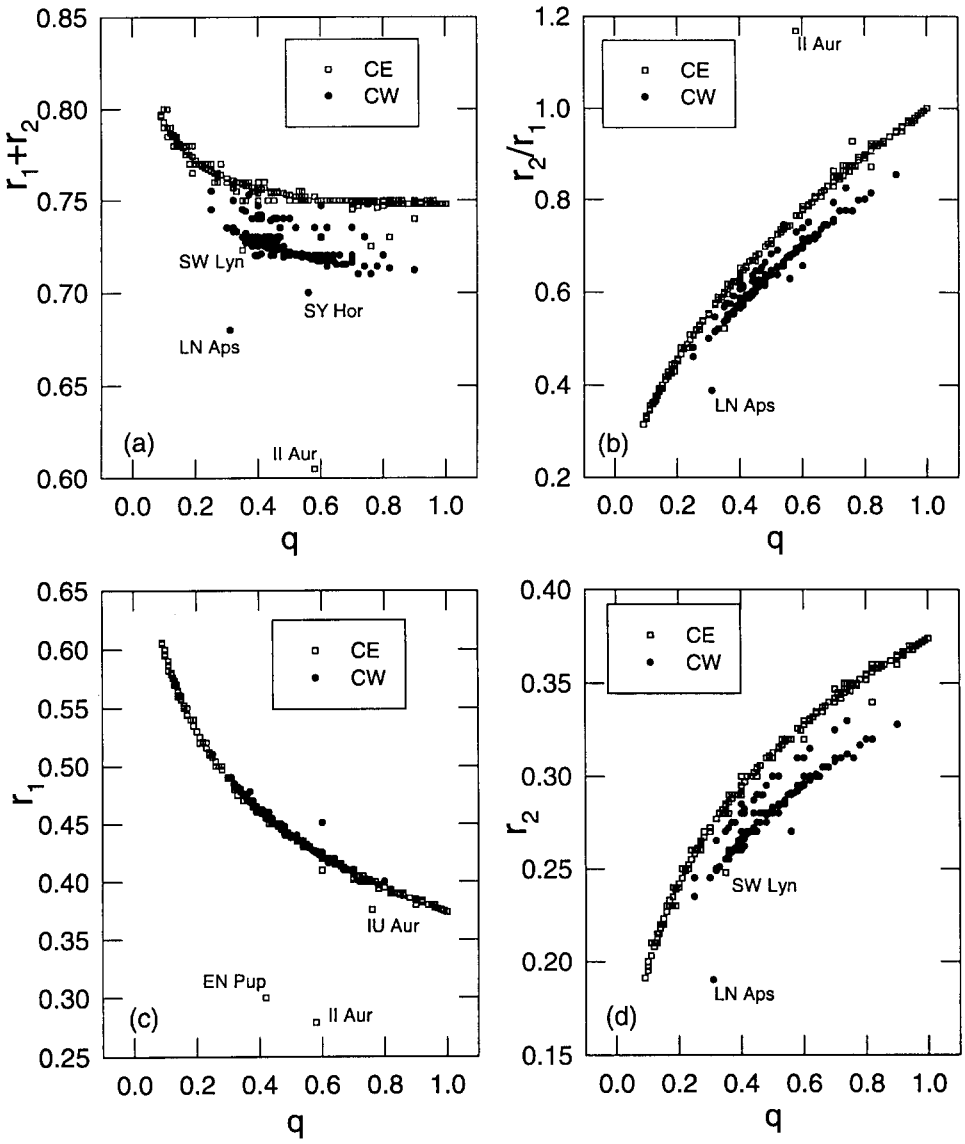

그림 6. 질량비에 따른 반경 관계.

접촉식쌍성의 질량비에 따른 반경과의 관계를 제시한바 있으나, 그림 6의 우리의 결과와 비교 할 때, 그가 제시한 결과는 단지 그림 6의 CE형에서만 일치하며 CW형 접촉식쌍성에서는 적용되지 못한다는 것을 알 수가 있었다. 따라서 그림 6의 (a)와 (b)로부터 CW형 접촉식쌍성의 질량비에 따른 두 별의 반경의 합과 반경비와의 새로운 관계를 표 1에 제시하였다. 그런데 CW형은 CE형에 비교하여 질량비가 다소 좁은 범위($0.3 < q < 0.7$)내에 분포하고 있다.

결과적으로 이러한 분석이 수행되기 위해서는 더 많은 접촉식쌍성들과 함께 이들에 대한 보다 정확한 물리량들이 요구되며, 제 3절의 분석에서 특별한 특성을 보이고 있는 몇 개의 별들에 대하여서는 보다 정확한 물리량이 필요하겠다.

감사의글: 이 논문은 1997년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

Duquennoy, A., & Mayor, M., 1990 *New Windows to the Universe*, ed. F. Sanches & M. Vasquez(Cambridge: Cambridge Univ. Press), 253.

Duquennoy, A., & Mayor, M., 1991 A&A, 248, 485.

Kaluzny, J., & Krzeminski, W. 1993, MNRAS, 264, 785.

Kaluzny, J., Mazur, B., & Krzeminski, W. 1993, MNRAS, 262, 49.

Kopal, Z. 1978, *Dynamics of Close Binary Systems*, ApSS Library Vol. 68, (Dordecht: Kluwer), p332.

Latham, D.W., Mazeh, T., Stefanik, R.P., Mayor, M., & Burki, G. 1989, *Nature*, 339, 38.

Lucy, L.B. 1968, ApJ, 151, 1123.

Lucy, L.B. 1976, ApJ, 205, 208.

Maceroni, C., & van't Veer, F. 1996, A&A, 311, 523.

Marcy, G.W., & Benitz, K.J. 1989, ApJ, 344, 441.

Mateo, M., Harris, H.C., Nemec, J., & Olszewsky, E.W. 1990, AJ, 100, 469.

Mazeh, T., & Goldberg, D. 1992, ApJ, 394, 592.

Mazeh, T., Latham, D.W., Stefanik, R.P., Torres, G., & Wasserman, E. 1990, *Active Close Binaries*, ed. C. Ibanoglu(Dordrecht: Kluwer), p267.

Mazur, B., Krzeminski, W., & Kaluzny, J. 1995, MNRAS, 273, 59.

Shaw, J.S. 1990, *Active Close Binaries*, ed. C. Ibaniglu(Dordecht: Kluwer), p241.

Shaw, J.S., Caillault, 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 (Ural State U. Press: USSR)

Tout, C.A. 1991, MNRAS, 242, 79.

Trimble, V. 1990, MNRAS, 242, 79.

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