

접촉쌍성의 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 절대 물리량과 거리의 결정 – I. V417 Aquilae

이재우^{1,2†}, 김천휘¹, 이충욱², 오규동³

¹충북대학교 자연과학대학 천문우주학과, 기초과학연구소

²한국천문연구원

³전남대학교 지구과학교육과

DETERMINATIONS OF ITS ABSOLUTE DIMENSIONS AND DISTANCE BY THE ANALYSES OF LIGHT AND RADIAL-VELOCITY CURVES OF THE CONTACT BINARY – I. V417 Aquilae

Jae Woo Lee^{1,2†}, Chun-Hwey Kim¹, Chung-Uk Lee², and Kyu-Dong Oh³

¹Department of Astronomy & Space Science, College of Natural Sciences and Institute for Basic Science Research, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

²Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

³Department of Earth Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

E-mail: jwlee@ast.chungbuk.ac.kr

(Received April 14, 2004; Accepted May 27, 2004)

요 약

Samec *et al.*(1997)의 *UBV* 광도곡선과 Lu & Rucinski(1999)의 시선속도곡선을 2003년에 개정된 Wilson-Devinney 쌍성모형을 적용하여 W형 과접촉쌍성 V417 Aql의 측광 및 분광학적 해를 새롭게 산출하였다. 광도곡선 분석에서 Qian(2003)이 제안한 제3천체의 광도를 광도곡선 분석에서 고려한 결과, 삼체의 광도가 *U, B, V* 필터에서 각각 2.7%, 2.2%, 0.4% 존재하고, 삼체의 광도를 고려한 경우가 그렇지 않은 경우보다 이론치와 관측치가 극심 부근에서 더 잘 일치하였다. 우리의 해로부터 V417 Aql의 절대 물리량을 $M_1 = 0.53M_\odot$, $M_2 = 1.45M_\odot$, $R_1 = 0.84R_\odot$, 그리고 $R_2 = 1.31M_\odot$ 으로, 거리를 216pc으로 산출하였다. 우리가 구한 거리는 Rucinski & Duerbeck(1997)의 관계식 $M_V = M_V(\log P, B - V)$ 으로 부터 계산한 거리(204pc)와 잘 일치하는 반면, Hipparcos 삼각시차에 의한 거리(131±40pc)보다 멀다. 그 차이는 Hipparcos 시차의 비교적 큰 오차때문에 생긴 것일 수 있다.

ABSTRACT

New photometric and spectroscopic solutions of W-type overcontact binary V417 Aql were obtained by solving the *UBV* light curves of Samec *et al.* (1997) and radial-velocity ones of Lu & Rucinski (1999) with the 2003 version of the Wilson-Devinney binary code. In the light curve synthesis the light of a third-body, which Qian (2003) proposed, was considered and obtained about 2.7%, 2.2%, and 0.4% for *U, B, and V* bandpasses, respectively. The model with third-light is better fitted to eclipse parts than that with no third-light. Absolute dimensions of V417 Aql are determined from our solution as $M_1 = 0.53M_\odot$, $M_2 = 1.45M_\odot$, $R_1 = 0.84R_\odot$ and $R_2 = 1.31M_\odot$, and the distance to it is deduced as about 216pc. Our distance is well consistent with that (204pc) derived from Rucinski & Duerbeck's (1997) relation,

[†]corresponding author

$M_V = M_V(\log P, B - V)$, but is more distant than that (131 ± 40 pc) determined by the Hipparcos trigonometric parallax. The difference may result from the relatively large error of Hipparcos parallax for V417 Aql.

Keywords: contact binary, V417 Aql, absolute dimension, distance

1. 서 론

일반적으로 W UMa형 쌍성으로 불리는 접촉 또는 과접촉 쌍성들은 로쉬모형의 내부와 외부 임계면(critical surface) 사이에 있는 공통대기(common envelope)로 둘러싸여 있고, 두 성분별은 분광형이 A~K인 주계열성이다. 이 부류의 쌍성들은 주극심에서 어느 성분별이 가려지는지에 따라 A형과 W형의 두 종류로 분류된다. A형은 두 성분별 중 질량과 반경이 큰 별이 그렇지 않은 별에 의해 가려지는 경우이고, W형은 그 반대의 경우로써 질량과 반경이 작은 성분별이 큰 성분별보다 표면온도가 더 높다(Binnendijk 1970). 이제까지 발견된 접촉쌍성의 공전주기는 $0^d.22068$ (CC Com, K5V)에서 $1^d.8855$ (V382 Cyg, O7V)의 넓은 범위에 분포하지만 대부분 $0^d.25 < P < 0^d.5$ 이고, 분광학적으로 결정된 두 성분의 질량비도 0.066(SX Crv, F6V)에서 0.97(V753 Mon, A8V) 사이의 영역에 고루 분포하고 있다(Pribulla et al. 2003). 또한, 분광형이 F~K인 주계열별 중에서 접촉쌍성의 공간 빈도수(spatial frequency)는 1/130-1/100 만큼 높다(Rucinski 1998). 이와 같이, 접촉쌍성들은 주기가 짧고 공간밀도가 높을 뿐만 아니라, 변광 진폭이 크기 때문에 발견 및 관측이 용이하다. 따라서, 접촉쌍성들은 성단이나 외부은하 등의 거리결정을 위한 거리지수(distance indicator)로서 이용되고 있다(Rucinski 1997, 2003).

최근에 캐나다 토론토 대학의 David Dunlap Observatory(이하 DDO)에서는 Slavek M. Rucinski의 주도하에 공전주기가 1일 이하이고 대부분 Hipparcos 측성위성에 의해 관측된 접촉쌍성들에 대한 일련의 분광관측을 지속적으로 수행하고 있고, 현재까지 80개의 쌍성들에 대한 시선속도와 예비 분광궤도요소를 발표하였다(Lu & Rucinski 1999, Rucinski & Lu 1999, Lu et al. 2001, Rucinski et al. 2000, 2001, 2002, 2003, Pych et al. 2004). 이 시선속도곡선과 완전한 광도곡선을 이용하면, 각각의 접촉쌍성들에 대한 절대 물리량과 거리를 합리적으로 결정하고, 공간속도와 같은 운동학적 특성을 이해할 수 있다. 따라서, 우리는 접촉쌍성을 이용한 거리 결정의 첫 번째 시도으로써 W형 과접촉쌍성 V417 Aql(BD +05° 4202, GSC 4904-531, HIP 96349)을 우리의 연구대상으로 선정하였다.

V417 Aql($V = 10^m.52$, $\ell = 43^\circ.21$, $b = -7^\circ.03$)은 Hoffmeister(1935)에 의해 변광성으로 발견된 이후에 Soloviev(1937)에 의해 주기가 $0^d.370114$ 인 W UMa 쌍성으로 분류되었다. Koch(1974)은 이 쌍성계를 색지수가 0.62인 강한 상호작용 쌍성(strongly interacting system)으로 동정하였다. V417 Aql의 광전관측에 의한 광도곡선은 Faulkner(1983)와 Samec et al.(1997, 이하 SPC)에 의해 각각 BV와 UBV 필터에서 완성되었고, 분광관측에 의한 시선속도곡선은 Lu & Rucinski(1999, 이하 LR)에 의해 수행되었다. 불행하게도, Faulkner의 관측자료는 발표되지 않았다.

SPC는 그들의 UBV 광도곡선을 Wilson-Devinney(Wilson & Devinney 1971, 이하 WD) 프로그램을 이용하여 분석함으로써 표 1의 3번째 열에 제시한 바와 같이 V417 Aql은 분광형이 F9V+G0V이고, 접촉도(f)가 19%인 W형 과접촉쌍성임을 보고하였다. SPC의 측광해를 이용하여 그린 이론적인 광도곡선과 색 곡선을 관측점과 함께 그림 1에 점선으로 나타내었다. LR은 DDO에서 관측한 분

광 시선속도곡선을 근접효과를 고려하지 않고 순수 sine 곡선에 맞추어 분광 질량비($q=2.76$)와 분광 궤도요소를 결정하였다.

V417 Aql의 공전주기 변화에 대한 연구는 Kämper(1984), Pauley *et al.*(1996), SPC, 그리고 Qian(2003)에 의해 수행되었다. Pauley *et al.*(1996)와 SPC는 이전에 발표된 극심시각 중 극심의 형태를 잘못 분류한 극심시각들을 새로이 동정하고, 이 쌍성계의 공전주기가 HJD2433000을 전후로 약 0.16초 감소함을 보였다. 한편, Qian은 궤도 공전주기가 이전 연구자들이 제안한 영년주기감소에 42.4년의 주기와 0.0130의 진폭을 가지는 규칙적인 주기변화가 겹쳐서 일어남을 제시하였다. 그는 규칙적인 주기변화의 원인을 제3천체에 의한 광시간 효과나 자기활동에 의한 4극 모멘트의 변화로 설명하였고, 영년주기감소는 질량이 큰 반성에서 질량이 작은 주성으로의 질량이동으로 해석하였다.

요약하면, W형 과접촉쌍성 V417 Aql은 현대적인 방법에 의한 관측이 이루어졌음에도 불구하고, 쌍성의 근접효과와 주기변화에 대한 고려 없이 관측자료가 분석되었다. 이 연구에서는 SPC의 *UBV* 광도곡선과 LR의 시선속도곡선을 재분석함으로써 V417 Aql의 새로운 측광 및 분광해 뿐만 아니라, 이 쌍성계의 절대 물리량과 거리 등을 정량적으로 산출하고자 한다.

2. 광도와 시선속도곡선의 분석

이 연구는 V417 Aql의 측광 및 분광해를 산출하기 위하여 SPC의 *UBV* 광도곡선과 LR의 시선속도곡선을 2003년 11월에 개정된 WD 쌍성 모델(Wilson 2003, 이하 WD2003)로 분석하였다. WD2003은 1993년에 개정된 WD 프로그램(이하 WD1993)과 비슷하게 LC(light curve)와 DC(differential correction) 2개의 메인 프로그램과 약 30개의 서브프로그램으로 구성되어있는데, 변수와 배열의 저장크기를 4byte에서 8byte인 배정도 실수형(double precision)으로 변환하였다. WD2003과 WD1993의 주요한 차이점은 다음과 같다: WD2003은 광도와 시선속도곡선 이외에도 circumstellar cloud, spectral line profile, 시간에 따른 각 항성의 pole, point, side, back 반경과 천구 상에 투영된 항성의 이미지 좌표(y_{sky} 와 z_{sky}) 등을 계산할 수 있게 하였고, 관측시간은 위상과 HJD를 분석자의 선택에 따라 사용할 수 있게 하였다. 또한, WD1993의 30개 인자에 광도요소(T_0 와 P), 주기변화율(dP/dt) 그리고 근성점 이각의 변화율($d\omega/dt$) 등 5개의 인자들을 추가하였고, 흑점인자들 중에서 위도, 경도 그리고 각반경은 단위를 각도가 아닌 라디안으로 바뀌었다. 우리는 LC와 DC 두 프로그램을 김진희 등(2001)이 사용한 방법을 이용하여 통합하였다. 즉, DC로부터 조정인자들을 구하는 경우에는 조정인자의 보정치가 그 인자의 표준편차보다 커질 때까지 반복 계산을 하도록 WD2003 프로그램을 수정함과 동시에, 매 번 반복 계산한 후 그 계산결과와 LC를 이용하여 관측과 이론치가 컴퓨터 화면에 그림으로 나타나도록 하여 분석자가 해의 수렴여부를 볼 수 있도록 하였다. 여기에, 새로운 프로그램에는 광도곡선외에도 시선속도곡선과 로쉬모형을 컴퓨터 화면에 그림으로 제시하도록 하여 분석을 용이하게 하였다. 우리는 광도와 시선속도곡선을 세 단계를 나누어 분석하였다. 첫 번째 단계(이하 Model 1)는 LR의 분광 질량비와 SPC의 광도곡선만을 이용하여 측광인자들을 구하고, 두 번째 단계(이하 Model 2)에서 이 측광인자들을 초기값으로 사용하여 광도와 시선속도곡선을 분석한 다음, 마지막 단계(이하 Model 3)에서 Qian(2003)이 제안한 삼체의 광도를 고려하여 광도와 시선속도곡선을 재분석함으로써 최종적인 측광 및 분광학적 해를 산출하였다. 이 연구에서는 혼동을 피하기 위해 질량과 반경이 작고 온도가 높은 성분별을 주성, 그렇지 않은 경우를 반성으로 정의

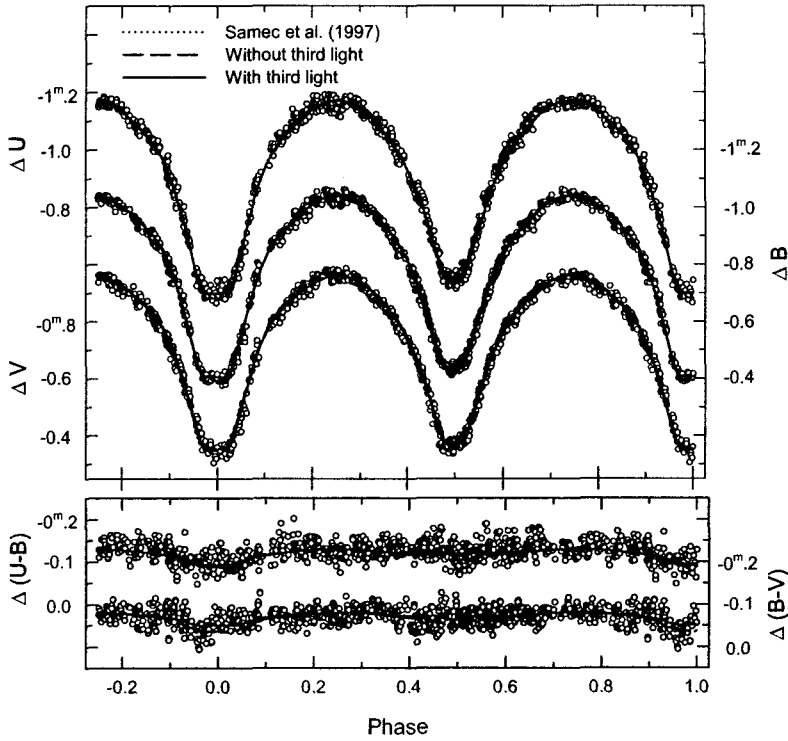


그림 1. V417 Aquilae의 *UBV* 광도곡선과 색 곡선. 실선과 파선은 각각 삼체의 광도를 고려한 경우(Model 3)와 그렇지 않은 경우(Model 2)의 이론적인 광도곡선을 나타낸다.

하였다. 또한, 잇따른 분석에서 아래 첨자 1과 2는 각각 주성과 반성을 의미하고, 대표점을 사용함으로써 생길 수 있는 효과들을 없애기 위하여 모든 관측점들을 분석에 사용하였다.

V417 Aql은 로쉬모형이 과접촉 쌍성이므로 WD2003의 Mode 3을 사용하였고, 반사효과와 비선형 주연감광법칙을 고려하여 광도곡선을 분석하였다. 우리는 WD2003의 인자 중에서 반성의 온도(T_2), 주연감광계수($x_1 = x_2, y_1 = y_2$), 중력감광지수($g_1 = g_2$) 그리고 반사율($A_1 = A_2$)은 고정인자로 사용하고, 그 외의 다른 인자들은 조정인자로 사용하였다. 반성의 온도는 분광형 G0V와 주성이 완전히 가려지는 주극심에서의 색지수 $(B - V)_0 \approx 0.60$ 을 이용하여 각각 Popper(1980)와 Flower(1996)의 표로부터 결정한 온도의 평균값인 5900K로 고정시켰고, 반사율은 0.5(Rucinski 1969), 중력감광지수는 0.32(Lucy 1967), 주연감광계수는 Van Hamme(1993)가 제시한 비선형 로그함수법칙에 의한 이론적인 값을 사용하여 고정시켰다. 또한, 질량비(q)는 LR이 산출한 2.76을 사용하였다.

먼저, 우리는 SPC의 3색 광도곡선을 분석하기 위하여, 위상 0.25를 기준위상으로 하여 U, B, V 의 모든 관측치에 각각 $-1^m.17, -1^m.04, -0^m.96$ 을 더하여 규격화시켰다. 규격화된 광도곡선을 Wilson & Biermann(1976)이 제시한 다중 부그룹(multiple subsets) 방법으로 분석하여 측광학적 해를 구하고, 그 결과(Model 1)를 표 1의 4번째 열에 수록하였다. 그 다음에, 이 연구에서는 우리가 산출한 V417 Aql의 측광인자와 LR의 분광궤도요소를 초기값으로 사용하여 광도와 시선속도곡선을 함

표 1. V417 Aquilae의 측광 및 분광학적 해.

Parameter	LR ^a	SPC ^b	This Paper		
			Model 1	Model 2	Model 3
$\gamma(\text{km s}^{-1})$	-14.2			-15.2(1.2)	-15.2(1.2)
$a(\text{R}_{\odot})$	2.68			2.73(2)	2.73(2)
q	2.76	2.714	2.76 ^c	2.72(4)	2.72(5)
$i(^{\circ})$		84.5	83.8(1)	83.4(1)	85.5(1)
$T_1(K)$		6256	6105(3)	6101(3)	6111(1)
$T_2(K)$		6030	5900 ^c	5900 ^c	5900 ^c
$\Omega_1=\Omega_2$		6.118	6.177(4)	6.122(4)	6.125(3)
Ω_{in}		6.235	6.297	6.250	6.250
Ω_{out}		5.621	5.682	5.629	5.629
$f(\%)$		19	20	21	20
$X_1=X_2$		0.644	0.647 ^c	0.647 ^c	0.647 ^c
$Y_1=Y_2$		0.224	0.221 ^c	0.221 ^c	0.221 ^c
$x_{U1}=x_{U2}$		0.764	0.872 ^c	0.872 ^c	0.872 ^c
$x_{B1}=x_{B2}$		0.709	0.829 ^c	0.829 ^c	0.829 ^c
$x_{V1}=x_{V2}$		0.573	0.745 ^c	0.745 ^c	0.745 ^c
$y_{U1}=y_{U2}$			0.143 ^c	0.143 ^c	0.143 ^c
$y_{B1}=y_{B2}$			0.185 ^c	0.185 ^c	0.185 ^c
$y_{V1}=y_{V2}$			0.256 ^c	0.256 ^c	0.256 ^c
ℓ_{1U}^d		0.329	0.341(4)	0.343(4)	0.337(4)
ℓ_{1B}^d		0.332	0.330(3)	0.332(3)	0.327(4)
ℓ_{1V}^d		0.324	0.318(2)	0.320(2)	0.321(3)
ℓ_{3U}^d		0.0	0.0 ^c	0.0 ^c	0.027(2) ^e
ℓ_{3B}^d		0.0	0.0 ^c	0.0 ^c	0.022(2) ^e
ℓ_{3V}^d		0.0	0.0 ^c	0.0 ^c	0.004(2) ^e
$r_1(\text{pole})$		0.2850	0.2839(3)	0.2850(3)	0.2850(2)
$r_1(\text{side})$		0.2983	0.2971(3)	0.2983(3)	0.2983(3)
$r_1(\text{back})$		0.3377	0.3367(6)	0.3378(6)	0.3378(5)
$r_1(\text{volume})^f$		0.3089	0.3078	0.3089	0.3089
$r_2(\text{pole})$		0.4477	0.4492(3)	0.4479(3)	0.4479(2)
$r_2(\text{side})$		0.4808	0.4826(4)	0.4811(4)	0.4811(3)
$r_2(\text{back})$		0.4796	0.5120(5)	0.5105(4)	0.5105(4)
$r_2(\text{volume})^f$		0.4811	0.4828	0.4813	0.4813
$\Sigma W(O-C)^2$		0.395	0.390	0.390 ^g	0.377 ^g

^a: Lu & Rucinski (1999), ^b: Samec et al. (1997), ^c: fixed parameter,

^d: $\ell_i = L_i/(L_1 + L_2 + L_3)$, ^e: value at phase 0.25, ^f: mean volume radius,

^g: the standard deviations for only light curve synthesis.

계 분석하였다. 원칙적으로, 광도와 시선속도곡선은 동시에 분석할 수 있다. 그러나, 두 관측자료는 관측시기와 관측점의 개수 그리고 관측방법이 다르기 때문에, 상대적인 가중치와 표준편차(WD 프로그램의 SIGMA 변수)를 적절하게 할당하기 어렵다. 또한, 시선속도곡선은 광도곡선에 비하여 관측점의 개수는 적을지라도, 질량비 등에 대해서는 더 좋은 제한을 준다. 따라서, 우리는 두 관측자료를 개별적으로 분석하였다. 즉, 첫 번째 단계에서 광도곡선을 분석하여 산출한 측광인자들을 이용하여 시선속도곡선을 분석하고, 그 다음에는 시선속도곡선으로부터 구한 분광인자를 이용하여 광도곡선을 분석하는 방식을 취하였다. 이 과정을 두 관측자료가 모두 만족할 때까지 반복 계산하여 측광

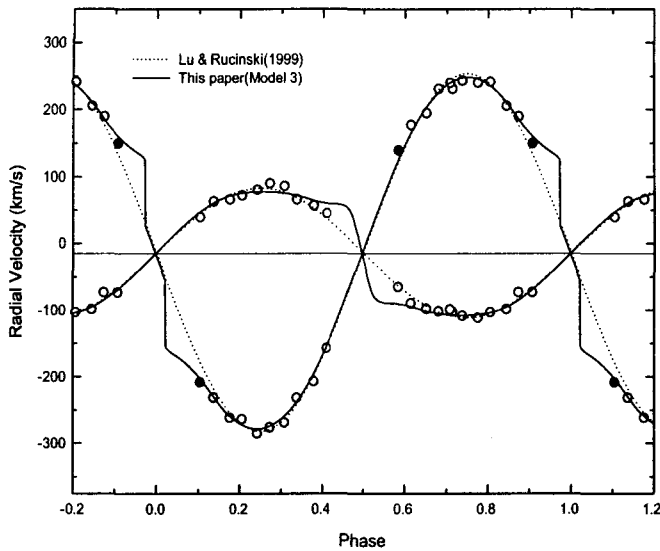


그림 2. V417 Aquilae의 시선속도곡선. 원과 점선은 LR의 관측과 이론적인 시선속도곡선이고, 실선은 이 연구에서 구한 삼체의 광도를 고려한 경우의 이론적인 시선속도곡선이다. 분석에서 열린 원과 닫힌 원의 관측점들은 각각 1.0과 0.5를 가중치로 사용하였다.

및 분광해를 구하였고, 그 결과를 표 1의 5번째 열에 수록하였다. 또한, 이 해를 이용하여 산출한 이론적인 광도곡선과 색 곡선을 그림 1에 파선으로 그렸다. 그림 1에서 보듯이, Model 2의 결과는 SPC의 이론적인 광도곡선과 거의 일치하지만, 두 결과 모두 주극심과 부극심에서 이론치가 관측치와 일치하지 않음을 알 수 있다. 이 분석에서 측광자료는 모든 관측점에 동일하게 1.0을 가중치로 할당하였고, 분광자료는 근접효과에 의해 관측오차가 큰 식 부근에 있는 주성의 3개 관측점(그림 2의 닫힌 원; LR)은 0.5, 나머지는 1.0을 가중치로 사용하였다.

서론에서 기술하였듯이, Qian은 V417 Aql의 규칙적인 주기변화의 원인으로 제3천체에 의한 광시각 효과를 제안하고, 제3천체의 최소질량을 $M_3 \approx 0.31M_{\odot}$ 로 산출하였다. 만약 이 천체가 주계열성으로 존재한다면, 질량-광도 관계에 의해 제3천체의 광도는 $L_3 \geq 0.024L_{\odot}$ 이고, 삼체의 광도는 삼체계 전체광도에 $L_3/(L_1 + L_2 + L_3) \geq 0.016$ 만큼 기여한다. 따라서, 우리는 삼체의 광도를 조정인자에 포함하여 광도와 시선속도곡선을 이전과 같은 방법으로 재분석하였고, 그 결과(Model 3)를 표 1의 마지막 열에 제시하였다. 표 1에서 보듯이, 우리의 분석으로부터 삼체의 광도는 U, B, V 필터에서 각각 2.7%, 2.2%, 0.4%로 검출되었다. 이 결과는 Qian이 제안한 제3천체의 존재를 지지한다. 그림 1의 실선은 삼체의 광도를 조정인자에 포함한 이론적인 광도곡선과 색 곡선을 나타내는데, 삼체의 광도를 고려하지 않은 경우보다 주극심과 부극심 부근의 관측치에 더 잘 맞는 것으로 나타났다. 우리는 V417 Aql의 관측과 이론적인 시선속도곡선을 그림 2에 그렸다. 이 그림에서 점선은 근접효과를 고려하지 않고 순수 sine 곡선에 맞춘 LR의 분석결과를 나타내고, 실선은 이 연구에서 구한 이론적인 시선속도곡선을 나타낸다.

표 2. V417 Aquilae의 절대 물리량.

Parameter	Primary	Secondary
M/M_{\odot}	0.53	1.45
R/R_{\odot}	0.84	1.31
$\log g(cgs)$	4.32	4.36
$T(K)$	6111	5900
L/L_{\odot}	0.89	1.87
$M_{bol}(mag)$	4.82	4.01
$M_V(mag)$	4.90	4.11
$M_{V,Tot}(mag)$	3.68	

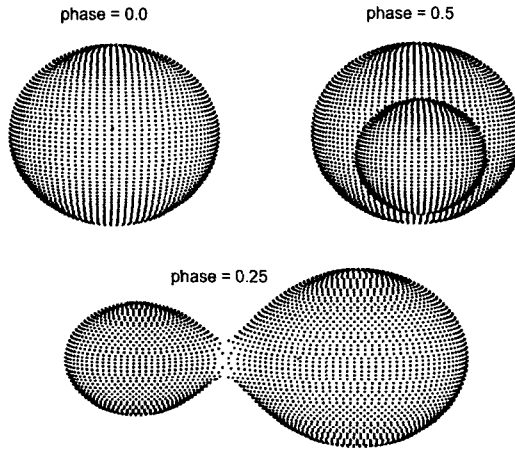


그림 3. 위상에 따른 V417 Aquilae의 로쉬모형. 이 쌍성계는 주성이 위상 0.0에서 완전히 가려지는 과접촉 쌍성계이다.

3. 절대 물리량과 거리의 결정

우리는 새로 구한 측광 및 분광학적 해를 이용하여 V417 Aql의 절대 물리량을 표 2와 같이 산출하였다. 여기서, 반경은 Mochnacki(1984)의 표를 이용하여 계산한 평균 체적반경(mean volume radius)이다. 이 연구에서는 절대광도(L/L_{\odot})와 등급(M_{bol})을 계산하기 위하여, 태양의 온도($T_{eff\odot}$)와 복사등급($M_{bol\odot}$)은 각각 Popper(1980)가 산출한 5780K와 $4^m.69$ 를 사용하였다. 또한, 주성과 반성의 안시 절대등급(M_V)도 각각 Popper의 복사보정(BC) $-0^m.08$ 과 $-0^m.10$ 을 사용하여 계산하였다. 표 1에 주어진 질량비($q = 2.72$)와 표면 포텐셜($\Omega_{1,2} = 6.125$)을 사용하여 이 쌍성계의 위상에 따른 로쉬모형을 그림 3에 제시하였다. 이 그림에서 보듯이, V417 Aql은 주성이 위상 0.0에서 완전히 가려지고, 접촉도(f)가 20%인 과접촉쌍성임을 알 수 있다.

V417 Aql의 최대 밝기 $V_{max} = 10.52$ (SPC, 위상 0.25와 0.75의 평균등급)와 표 1의 6번째 열(Model 3)에 있는 광도비를 이용하면, 주성과 반성의 겉보기 등급은 각각 $V_1 = 11^m.76$ 와 $V_2 = 10^m.95$ 이고,

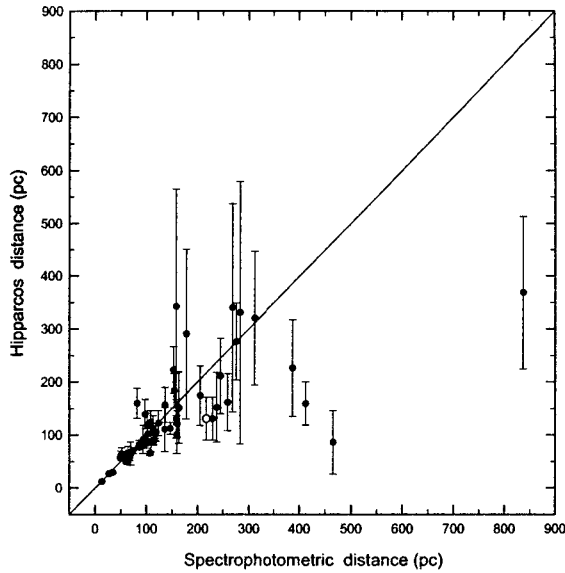


그림 4. 측광 및 분광해와 삼각시차에 의한 접촉쌍성의 거리. 가로축은 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 거리이고, 세로축은 Hipparcos 측성위성의 삼각시차에 의한 거리이다. 열린 원은 이 연구의 대상인 V417 Aquilae를 나타낸다.

Qian(2003)이 규칙적인 주기변화의 원인으로 제안한 제3천체의 궤보기 등급은 U , B , V 에서 각각 $15^m.2$, $15^m.3$, $16^m.5$ 이다.

한편, 우리는 성간흡수계수 A_V 와 색초과 $E(B - V)$ 의 관계식(Cox 2000):

$$A_V/E(B - V) = 3.30 + 0.28(B - V)_0 + 0.04E(B - V) \quad (1)$$

과 SPC의 $E(B - V) \simeq 0^m.05$ 을 사용하여 성간흡수계수 $A_V \simeq 0^m.17$ 을 구하고, 이 쌍성계의 거리지수(distance modulus)와 거리를 각각 $V_{max} - A_V - M_{V,tot} = 6^m.67$ 와 $d = 216\text{pc}$ 로 산출하였다. 그러나, 우리가 산출한 거리는 Hipparcos 측성위성의 삼각시차 $p = 7.65 \pm 2.35\text{mas}$ 에 의한 거리 $d \simeq 131 \pm 40\text{pc}$ 보다 멀다. Hipparcos 시차를 이용한 안시 절대등급 $M_{V,Tot} = V + 5 \log \pi(\text{mas}) - A_V - 10 \simeq 4^m.78$ 은 이 연구에서 측광 및 분광해에 의해 산출한 등급 $M_{V,Tot} \simeq 3^m.68$ 보다 약 $1^m.1$ 정도 어둡다. 최근에, Rucinski & Duerbeck(1997)은 Hipparcos 삼각시차에 의해 산출한 안시 절대등급의 오차가 $\epsilon M_V < 0^m.5$ 인 40개의 W UMa형 접촉쌍성들에 대한 $M_V = M_V(\log P, B - V)$ 의 관계식:

$$M_{V,Tot} = -4.44 \log P + 3.02(B - V)_0 + 0.12 \quad (2)$$

을 제시하였다. 이 식을 이용한 안시 절대등급과 거리는 각각 $M_{V,Tot} \simeq 3^m.80$ 와 $d = 204\text{pc}$ 로 우리가 산출한 값과 잘 일치한다. 따라서, 우리는 Hipparcos 삼각시차에 의한 거리와 이 연구에서 산출한 거리가 다른 이유를 Hipparcos 삼각시차의 비교적 큰 오차때문에 생긴 것으로 추정할 수 있다.

우리는 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 거리와 Hipparcos 삼각시차에 의한 거리 사이에 임의의 경향이 존재하는지를 조사하기 위하여, 361개의 접촉쌍성(Pribulla et al. 2003) 중에서 Hipparcos

측성위성과 측광 및 분광관측이 수행된 60개의 접촉쌍성을 수집하여 각 방법에 의한 거리를 구하였다. 그림 4는 수집한 60개의 접촉쌍성 중에서 오차가 측정된 삼각시차보다 큰 5개를 제외하고, 총 55개의 접촉쌍성에 대한 거리를 나타낸다. 이 그림에서 보듯이, 120pc보다 짧은 거리에서는 두 방법에 의한 거리가 잘 일치하지만, 그 보다 긴 거리에서는 오차가 크고, V417 Aql의 경우처럼, 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 거리가 Hipparcos 삼각시차에 의한 거리보다 일반적으로 긴 경향을 보인다.

4. 요약과 논의

V417 Aql은 현대적인 방법에 의한 측광 및 분광관측이 이루어졌음에도 불구하고, 쌍성의 근접 효과와 주기변화에 대한 고려 없이 광도와 시선속도곡선이 개별적으로 분석되었고, 아직까지 이 쌍성계의 합리적인 절대 물리량이 알려져 있지 않다. 따라서, 이 연구에서는 SPC의 *UBV* 광도곡선과 LR의 시선속도곡선을 2003년 11월에 개정된 WD2003 쌍성모델을 적용하여 W형 과접촉쌍성 V417 Aql의 측광 및 분광학적 해 뿐만 아니라, 절대 물리량과 거리 등을 새롭게 산출하였다.

우리는 광도와 시선속도곡선을 세 단계로 나누어 분석하였다. 첫 번째 단계는 LR의 분광 질량비를 고정인자로 사용하여 SPC의 광도곡선만을 분석하였고, 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 구한 측광인자들을 초기값으로 사용하여 광도와 시선속도곡선을 분석하였다. 마지막 세 번째 단계는 Qian(2003)이 규칙적인 주기변화의 원인으로 제안한 삼체의 광도를 조정인자에 포함하여 광도와 시선속도곡선을 재분석함으로써 최종적인 측광 및 분광학적 해를 산출하였다. 그 결과, 삼체의 광도가 *U, B, V* 광도곡선에서 각각 2.7%, 2.2%, 0.4% 존재하고, 삼체의 광도를 고려한 경우가 그렇지 않은 경우보다 이론치와 관측치가 극심 부근에서 더 잘 일치하였다.

한편, 우리의 해로부터 V417 Aql의 절대 물리량을 $M_1 = 0.53M_{\odot}$, $M_2 = 1.45M_{\odot}$, $R_1 = 0.84R_{\odot}$, 그리고 $R_2 = 1.31M_{\odot}$ 으로, 거리를 216pc으로 산출하였다. 우리가 구한 거리는 Rucinski & Duerbeck(1997)의 관계식 $M_V = M_V(\log P, B - V)$ 으로 부터 계산한 거리(204pc)와 잘 일치하는 반면, Hipparcos 삼각시차에 의한 거리(131 ± 40 pc)보다 멀다. 그 차이는 Hipparcos 시차의 비교적 큰 오차(31%)때문에 생긴 것일 수 있다. 또한, 우리는 Hipparcos 측성위성과 측광 및 분광관측이 수행된 60개의 접촉쌍성을 수집하여 각 방법에 의한 거리를 구하였다. 그 결과, 120pc보다 짧은 거리에서는 두 방법에 의한 거리가 잘 일치하지만, 그 보다 긴 거리에서는 오차가 크고 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 거리가 Hipparcos 삼각시차에 의한 거리보다 일반적으로 긴 경향을 보인다. 따라서, 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 거리와 Hipparcos 측성위성의 삼각시차에 의한 거리가 다른 원인을 규명하기 위해서는 신뢰할 수 있는 Hipparcos 시차를 가진 많은 접촉쌍성들의 광도와 시선속도곡선의 분석에 의한 절대 물리량과 거리를 정량적으로 산출할 필요가 있다.

감사의 글: 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(과제번호: KRF-2002-015-CP0150).

참고문헌

- 김천휘, 이충욱, 강영운 2001, 한국우주과학회지, 18, 43
Binnendijk, L. 1970, *Vistas Astron.*, 12, 217

- Cox, A. N. 2000, *Allen's Astrophysical Quantities* (New York: Springer-Verlag)
- Faulkner, D. R. 1983, *IBVS* 2439
- Flower, P. J. 1996, *ApJ*, 469, 355
- Hoffmeister, C. 1935, *Astronomische Nachrichten*, 255, 403
- Kämpfer, B.-C. 1984, *Rundbrief der Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne*, 33, 152
- Koch, R. H. 1974, *AJ*, 79, 34
- Lu, W., & Rucinski, S. M. 1999, *AJ*, 118, 515 (LR)
- Lu, W., Rucinski, S. M., & Ogloza, W. 2001, *AJ*, 122, 402
- Lucy, L. B. 1967, *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89
- Mochnacki, S. W. 1984, *ApJS*, 55, 551
- Pauley, B., Carrigan, B., French, J., Looi, M., & Samec, R. G. 1996, *IBVS* 4358
- Popper, D. M. 1980, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 18, 115
- Pribulla, T., Kreiner, J. M., & Tremko, J. 2003, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 33, 38
- Pych, W. P., Rucinski, S. M., Debond, H., Lu, W., Thomson, J. R., Capobianco, C. C., Blake, R. M., Ogloza, W., Stachowski, G., Rogoziecki, P., Ligeza, P., & Gazeas, K. 2004, *AJ*, 127, 1712
- Qian, S. 2003, *A&A*, 400, 649
- Rucinski, S. M. 1969, *A&A*, 19, 245
- Rucinski, S. M. 1997, *AJ*, 113, 407
- Rucinski, S. M. 1998, *AJ*, 116, 2998
- Rucinski, S. M. 2003, *IAUJD*, 13, 7
- Rucinski, S. M., Capobianco, C. C., Lu, W., Debond, H., Thomson, J. R., Mochnacki, S. W., Blake, R. M., Ogloza, W., Stachowski, G., & Rogoziecki, P. 2003, *AJ*, 125, 3258
- Rucinski, S. M., & Duerbeck, H. W. 1997, *PASP*, 109, 1340
- Rucinski, S. M., & Lu, W. 1999, *AJ*, 118, 2451
- Rucinski, S. M., Lu, W., Capobianco, C. C., Mochnacki, S. W., Blake, R. M., Thomson, J. R., Ogloza, W., & Stachowski, G. 2002, *AJ*, 124, 1738
- Rucinski, S. M., Lu, W., & Mochnacki, S. W. 2000, *AJ*, 120, 1133
- Rucinski, S. M., Lu, W., Mochnacki, S. W., Ogloza, W., & Stachowski, G. 2001, *AJ*, 122, 1974
- Samec, R. G., Pauley, B. R., & Garrigan, B. J. 1997, *AJ*, 113, 401 (SPC)
- Soloviev, A. 1937, *Tadjik Obs. Circ.*, 22, 1
- Wilson, R. E. 2003, <ftp://ftp.astro.ufl.edu/pub/wilson/>
- Wilson, R. E., & Biermann, P. 1976, *A&A*, 48, 349
- Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605
- Van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 209