

## IQ Persei의 근성점 운동

이충욱<sup>1,2†</sup>, 김천휘<sup>2</sup>, 오규동<sup>3</sup>, 변용익<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원

<sup>2</sup>충북대학교 자연과학대학 천문우주학과, 기초과학연구소

<sup>3</sup>전남대학교 지구과학교육과

<sup>4</sup>연세대학교 천문우주학과

### ON THE APSIDAL MOTION OF IQ PERSEI

Chung-Uk Lee<sup>1,2†</sup>, Chun-Hwey Kim<sup>2</sup>, Kyu-Dong Oh<sup>3</sup>, and Yong-Ik Byun<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Astronomy & Space Science, College of Natural Science and Institute for Basic Science Research, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Earth Science Education, Chonnam National University, Kwangju 500-757 Korea

<sup>4</sup>Department of Astronomy and Space Science, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

E-mail: leecu@kao.re.kr

(Received November 8, 2003; Accepted November 21, 2003)

### 요 약

근성점 운동을 하는 IQ Per의 극심 시각 관측을 2002년 11월과 12월에 걸쳐 4일간 VR 파장 영역에서 수행하였다. 이 관측으로부터 4개의 새로운 극심시각을 결정하였다. 우리의 극심시각과 여러 문헌으로부터 수집한 극심시각을 이용하여 IQ Per의 근성점 운동을 분석하였다. 우리가 구한 항성 주기  $P_s$ 와 근성점 운동 주기  $U$ 는 Değirmenci(1997)의 것보다 약 0.035초와 0.2년 약간 길게 각각 계산되었다. 이 논문에서 새로 구한 IQ Per의 근성점 운동 변수들은 Değirmenci(1997)가 결정한 변수들과 거의 일치하고 있다. 우리의 결과는 그가 관측으로 구한 IQ Per의 내부 밀도 상수  $\bar{k}_{2obs} = 0.0038$ 와 약 5% 이내에서 관측치와 이론치가 일치한다는 그의 결론을 지지한다.

### ABSTRACT

CCD observations of times of minimum light of IQ Per with apsidal motion were made in VR bandpasses for four nights from November to December, 2002. From the observations four times of minimum light were determined. All times of minimum light collected from literatures, including ours, were analyzed to determine the apsidal motion parameters of IQ per. The sidereal and apsidal motion periods were calculated to be 0.<sup>o</sup>035 and 0.<sup>y</sup>2 slightly longer than those of Değirmenci (1997), respectively. The apsidal motion parameters of IQ Per derived in this paper show good agreement with Değirmenci's values. Our results support his internal density constant of  $\bar{k}_{2obs} = 0.0038$  for IQ Per and 5 % accuracy of agreement between the observed and modelled values of the apsidal motion constant.

*Keywords:* eclipsing binary, IQ Per, times of minimum light, apsidal motion

---

<sup>†</sup>corresponding author

## 1. 서 론

근성점 운동을 하는 식쌍성의 극심시각 관측과 분석은 항성 내부의 밀도 분포에 대한 정보를 우리에게 제공한다는 점에서 중요하다(Schwarzschild 1958). 즉, 극심시각 관측으로 얻은 근성점 운동과 항성 내부 구조 이론으로부터 구한 근성점 이동을 상호 비교함으로써 항성 내부구조 이론을 시험할 수 있다. 현재까지 밝혀진 근성점 운동 주기는 보통의 식쌍성에서 짧게는 수십년(GL Car,  $U=25.2$ 년)에서 수만년(DI Her,  $U=46700$ 년)에 이르므로(Petrova & Orlov 1999), 관측적으로 근성점 운동 주기를 결정하기 위해서 식쌍성의 지속적인 극심시각 관측이 요구된다.

근성점 운동을 하는 식쌍성 중에서 IQ Per(BD +47°920, HD 24909)는 근성점 운동 성질이 비교적 덜 연구된 별들 중에 속한다. 이 별의 변광이 Hoffmeister(1949)에 의하여 처음으로 알려진 이후, IQ Per의 최초 광전 관측은 Hall et al.(1970)에 의하여 수행되었다. 그 이후 몇몇 학자들에 의하여 IQ Per의 측광(Lacy & Frueh 1985, Değirmenci 1997), 분광(Young 1975, Lacy & Frueh 1985) 관측, 그리고 근성점 운동 연구(Lacy & Frueh 1985, Drozd et al. 1990, Değirmenci 1997)가 수행되었다. 이 쌍성계의 자세한 연구 역사는 Lacy & Frueh(1985)와 Değirmenci(1997)가 자세히 소개하였으므로 이 논문에서 피하겠으나, 이 논문의 주제인 근성점 운동에 관해서 간단히 소개하고자 한다.

Hall et al.(1970)은 IQ Per의 *UBV* 광도곡선을 완성하였고, 이 별이 이심율을 가진 궤도로써 부극심의 위상이 0.542에 편이되어 있음을 발견하였다. 또한, Schwarzschild의 항성 내부 구조 이론에 입각하여 근성점 운동 주기를 70년으로 추정하였다. Young(1975)은 분광관측을 수행하여 시선 속도 곡선을 구하였고, Lacy & Frueh(1985)는 분광 및 측광 관측을 수행하여 이 쌍성계의 절대량을 약 1%의 정확도로 산출하였을 뿐만 아니라, 이심율을  $0.075 \pm 0.004$ , 그리고 근성점 운동주기를 Hall et al.이 추정된 값의 두 배인  $140 \pm 30$ 년으로 결정하였다. Drozd et al.(1990)은 극심시각 관측을 통하여 이심율과 근성점 운동 주기를 각각  $0.076 \pm 0.004$ 와  $119 \pm 9$ 년으로 개선하였다. 그들은 이론적인 근성점 운동 주기가 관측된 근성점 운동 주기보다 약 16년 정도 작음을 보였다. 가장 최근에 Değirmenci(1997)은 *BV* 필터로 광전 관측을 수행하여 새로운 광도곡선을 완성하였고, 1950년부터 1993년까지 관측된 극심시각을 분석하여 궤도 이심율과 근성점 운동주기를 각각  $0.074 \pm 0.001$ 와  $122 \pm 7$ 년으로 결정하였다. 그는 이론적으로 구한 근성점 운동 계수( $\bar{k}_{the} = 0.0040$ )와 관측으로 구한 값( $\bar{k}_{obs} = 0.0038$ ) 사이에 약 5% 정도 이내에서 거의 일치한다고 하였다. Değirmenci의 연구 이후, Müyesseroglu et al.(1996)와 Hegedüs et al.(1996)에 의하여 극심시각 관측이 수행되었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 측광 및 분광 관측이 축적됨에 따라 IQ Per의 근성점 운동 성질이 더 자세히 밝혀져 왔음을 볼 수 있다. Değirmenci가 그의 근성점 운동 연구에 사용한 마지막 극심시각은 1993년에 관측된 것으로, 그 후 약 10년에 걸쳐 축적된 극심시각을 이용하여 IQ Per의 근성점 운동에 관한 연구가 시도되지 않고 있다. 따라서, 우리는 이 논문을 통하여 우리가 새로이 관측한 극심시각과 이전에 관측된 극심시각을 이용하여 IQ Per의 근성점 운동을 재검토해 보려 한다.

## 2. 측광 관측 및 극심시각

2002년 11월 22일부터 2002년 12월 19일까지 총 4일간 충북대학교 교내 관측소에서 IQ Per의 CCD 관측을 *VR* 파장 영역에서 수행하였다. 초점 비가  $f/7$ 인 구경 35cm 카세그레인 망원경이 관측에 사용되었으며, 그 망원경의 초점 면에 ST-8 CCD 카메라를 부착하였고, CCD 앞 면에 focal

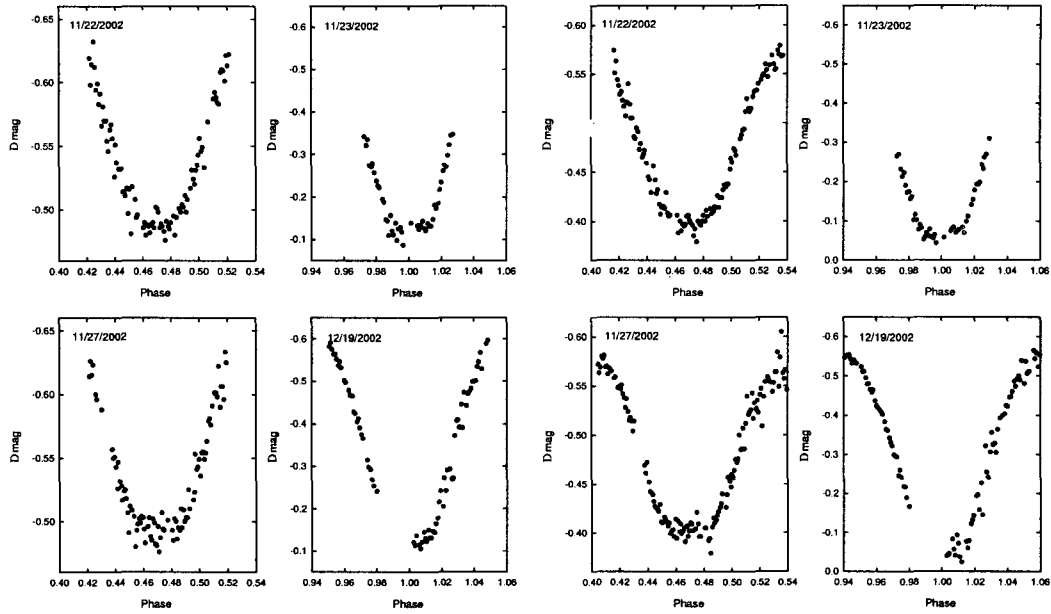


그림 1. IQ Per의 극심 부근의 관측된 광도곡선. 좌측 4개의 광도곡선은 V 필터로, 우측의 4개는 R 필터로 관측한 것이다.

reducer를 장착하여 CCD 시야가 약  $19.1 \times 12.6$ 가 되도록 하였다. 우리가 사용한 망원경에 관한 자세한 내용은 이충욱 등(2003)에 기술되어 있다.

CCD를 이용한 변광성의 시계열 차등 측광 관측이 가장 이상적인 경우는 변광성의 등급과 색깔이 비슷한 별들이 CCD의 한 시야 안에 많이 있을 때일 것이다. CCD의 시야가 제한되어 있기 때문에 관측 기간동안 밝기가 변하지 않는 비교성을 CCD의 한 시야 안에서 찾을 수 있는 확율이 그만큼 커지기 때문이다. 이런 연유로 CCD를 이용하여 변광성을 측광할 때는 변광성의 밝기가 어두운 경우가 유리하다. 그러나, 우리의 관측성인 IQ Per( $m_V = 7.73$ , Sp.=B9)는 비교적 밝은 별이기 때문에 관측시야에 비교성으로 사용할 만한 적당한 별을 찾기가 어려운 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 변광성 근처에서 비슷한 색깔과 등급의 비교성과 검토성을 선정하고 이들 사이로 망원경을 옮기며 관측을 수행할 수 있도록 하였다.

관측에 사용한 비교성(comparison star)과 검토성(check star)은 각각 BD+47°923( $m_V = 8.36$ , Sp.=A2)과 BD+47°929( $m_V = 7.92$ , Sp.=B5)으로 Değirmenci(1997)가 사용한 것과 같다.  $\Delta m$ (검토성 - 비교성)으로 부터 얻은 우리의 관측 표준 오차는 V와 R 파장대에서 각각  $\pm 0.002$ 와  $\pm 0.002$ 이다.

모든 관측자료는 IRAF의 apphot package를 사용하여 처리하였는데, 관측한 원시자료를 일괄 처리할 수 있는 파이프 라인을 perl script로 구축하여 사용하였다. 자세한 자료 처리 방법은 이충욱 등(2003)에 기술되어 있다.

그림 1은 총4일간의 관측으로부터 얻은 IQ Per의 극심 부근의 VR 광도곡선이다. 이 그림에서 좌

표 1. Değirmenci(1997)의 연구 이후 발표된 IQ Per의 광전 및 CCD 극심시각.

HJD	$\sigma$	method	type	reference
2448546.4067	0.0011	Pe	pri	Müyesseroğlu et al.(1996)
2448926.5043	0.0006	Pe	pri	Müyesseroğlu et al.(1996)
2449023.2577	0.0010	Pe	sec	Müyesseroğlu et al.(1996)
2450047.6178	0.0001	Pe	pri	Hegedüs et al.(1996)
2450061.5686	0.0001	Pe	pri	Hegedüs et al.(1996)
2452594.9767	0.0004	CCD	pri	이 논문
2452601.0264	0.0006	CCD	sec	이 논문
2452601.9503	0.0005	CCD	pri	이 논문
2452606.2572	0.0005	CCD	sec	이 논문

측 4개는 일자별  $V$  광도곡선을, 우측 4개는  $R$  광도곡선이다. 우리의 관측으로부터 총 4개의 극심시각(제1극심시각: 2개, 제2극심시각: 2개)을 Kwee & van Woerden(1956) 방법을 사용하여 구하였다. 표 1은 Değirmenci(1997)의 연구 이후 발표된 IQ Per의 광전 및 CCD 극심시각들과 우리가 새롭게 결정한 극심시각을 함께 수록하였다.

### 3. 근성점 운동 분석

IQ Per의 근성점 운동을 조사하기 위하여 문헌에 발표된 모든 극심시각을 수집하였다. 수집된 극심시각은 총 126개(안시 관측치: 68개, 사진 plate 관측치: 2개, 광전 및 CCD 관측치: 56개)로 그 중 제1극심시각은 107개이다. 1993년 이전까지의 극심시각은 Değirmenci(1997)에 제시되어 있으며, 그 이후에 발표된 극심시각은 표 1에 보인 바와 같다. 모든 극심시각은 Keriner, Kim & Nha(2001)의 database에 저장되어 있다.

IQ Per의 근성점 운동을 살펴보기 위하여 수집한 모든 극심시각으로 IQ Per의  $(O - C)$ 도를 작성하였다. 이 때 사용한 광도요소는

$$C = \text{HJD } 2444290.3640 + 1.^{\text{d}}7435620E \mp 0.^{\text{d}}042 \cos(0.^{\circ}0141E + 62.^{\circ}61) \quad (1)$$

으로 Değirmenci(1997)가 결정한 것이다. 여기서, cosine 함수는 IQ Per의 근성점 운동을 나타내는 방향으로 그 계수의 부(-)의 값은 제1극심시각을, 정(+)의 값은 제2극심시각을 위한 이론적인 식을 나타낸다. 그림 2는 (1)식의 선형 광도요소로 작성한 IQ Per의  $(O - C)$ 도로 실선은 (1)식의 cosine 함수를 나타낸다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, Değirmenci의 광도요소는 제1극심시각을 최근까지 잘 맞추고 있으나, 2000년 이후의 제2극심시각은 그의 광도요소에서 점차 비껴나고 있다. 이는 그의 광도요소를 약간 수정할 수 있음을 암시한다. 따라서, 우리는 IQ Per의 근성점 운동 변수들을 재결정하기로 하고, 그림 2에 보인 극심시각들을 재조사하였다. 그림에서 볼 수 있듯이, 안시관측 극심시각들은 실선으로 표시된 cosine 함수로부터 짧은 시간에도 약  $\pm 0.^{\text{d}}025$  정도의 심한 분산을 보이고 있는 반면, 광전 및 CCD 관측치들은 몇개를 제외하곤 모두 약  $\pm 0.^{\text{d}}003$ 의 분산 폭 내에 있다. 안시관측과 사진 plate 극심시각들의 심한 분산은 짧은 시간에 공전주기가 급격하게 변했기 때문이라기 보다는 오히려 관측 오차에 기인한 것으로 보는 것이 타당하기 때문에, 1960년 이후에 관측된 안시관측 극심시각과 광전 및 CCD 관측 극심시각이라 하더라도 이웃하는 극심시각에 비해 큰 차이가 나는 총 3개(JD 2439859.933, 2446492.4809, 2451932.4087)는 우리의 분석에서 제외하기로 하였다. 그

러나, 1960년 이전의 5개(사진 plate 관측치: 2개, 안시관측 관측치: 3개)의 관측치는 비록 심한 분산을 보이거나, 분석의 시간 간격을 늘린다는 점에서 포함시켰다. 또한, 광전 및 CCD 관측치들의 가중치는 10으로, 그 나머지는 1로 두었다. 따라서, 우리의 분석에 사용된 극심시각은 총 51개(안시 관측치: 3개, 사진 plate 관측치: 2개, 광전 및 CCD 관측치: 46개)로 그 중 제1극심시각은 38개이다.

최종적으로 선정된 총 51개의 극심시각을 이용하여 IQ Per의 근성점 운동 변수를 구하였다. 이 때, 사용한 이론적인 근성점 운동 광도요소는 Giménez & Garcia-Pelayo(1983)와 Giménez & Bastero(1995)가 제시한 식 중에서  $e^5$  항까지 사용하였다. 즉, 그 식은

$$T = T_0 + P_s E + (j-1)\frac{P}{2} + (2j-3)A_1\frac{eP}{2\pi}\cos\omega + A_2\frac{e^2P}{4\pi}\sin 2\omega - (2j-3)A_3\frac{e^3P}{8\pi}\cos 3\omega - A_4\frac{e^4P}{16\pi}\sin 4\omega + (2j-3)A_5\frac{e^5P}{32\pi}\cos 5\omega, \quad (2)$$

으로 표현된다. 여기서,  $T_0$ 는 기산점,  $P_s$ 와  $P$ 는 각각 항성 주기와 근점 주기(anomalous period)이며,  $j$ 는 1, 또는 2로 1인 경우는 제1극심시각을, 2는 제2극심시각을 나타낸다. 또한, (2)식의 근성점 이각(argument of periastron)  $\omega$ 는

$$\omega = \omega_0 + \dot{\omega}E \quad (3)$$

으로 기술되며, 시간에 따라 변한다. 여기서,  $\dot{\omega}$ 는 근성점 이동을 이다. 또,  $P_s$ 와  $P$  사이에는

$$P_s = P\left(1 - \frac{\dot{\omega}}{2\pi}\right) \quad (4)$$

인 관계가 있다. 근점 주기  $P$ 와 근성점 운동 주기  $U$  사이에는

$$U = \frac{2\pi}{\dot{\omega}}P \quad (5)$$

인 관계가 있다.

IQ Per의 극심시각들을 Levenberg-Marquardt 방법을 사용하여 (2)식과 (3)식으로 주어진 식들에 맞추었다. Levenberg-Marquardt 방법은 모델 변수를 차등 보정함으로서 관측 자료를 비선형 함수에 맞추는 기법이다(Press *et al.* 1992). 차등 보정을 위한 IQ Per의 근성점 운동 변수의 초기값은 Lacy & Frueh(1985)의 값을 사용하였다. 최종적으로 새롭게 결정한 IQ Per의 근성점 운동 변수를 다른 연구자들이 구한 것들과 함께 표 2에 수록하였다. 그림 3은 우리가 구한 기산점과 항성주기를 이용하여 그린 IQ Per의 ( $O-C$ )도로, 이 그림에서 실선은 새롭게 구한 IQ Per의 근성점 운동 변수를 이용하여 그린 이론적인 근성점 운동을 나타낸다.

#### 4. 논의

표 2에서 보듯이, IQ Per의 근성점 운동 변수는 점차 개선되어 왔음을 알 수 있다. 특히, 근성점 운동 주기는 초기의 140년에서 18년이 줄어든 122년으로 개선되었다. 이 논문에서 새로 결정한 IQ Per의 근성점 운동 변수는 Degirmenci(1997)의 변수들과 잘 일치한다. 다만, 우리가 구한 항성 주기  $P_s$ 와 근성점 운동 주기  $U$ 가 Degirmenci의 값보다 각각 약 0.035초와 0.2년 더 길다. 이 차이로 인하여 그림 2에서 보듯이 최근에 관측된 제2극심시각이 Degirmenci의 이론적 근성점 운동 광도요소에서 약간 벗어난 것이다. 그러나, 이 양들은 그가 구한 내부 밀도 상수  $\bar{k}_{2obs} = 0.0038$ 를 개선시킬 수

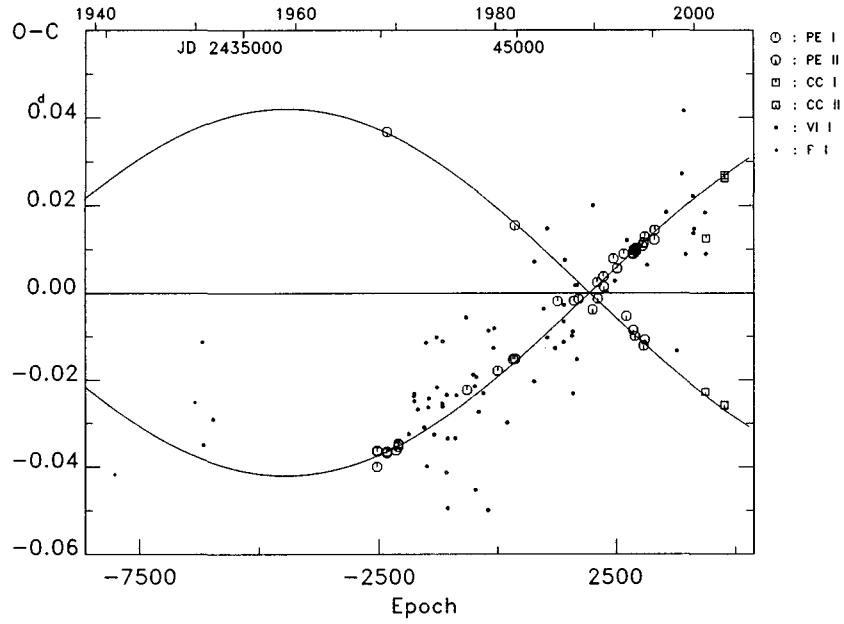


그림 2. Degirmenci(1997)의 광도요소로 그린 IQ Per의 (O - C)도.

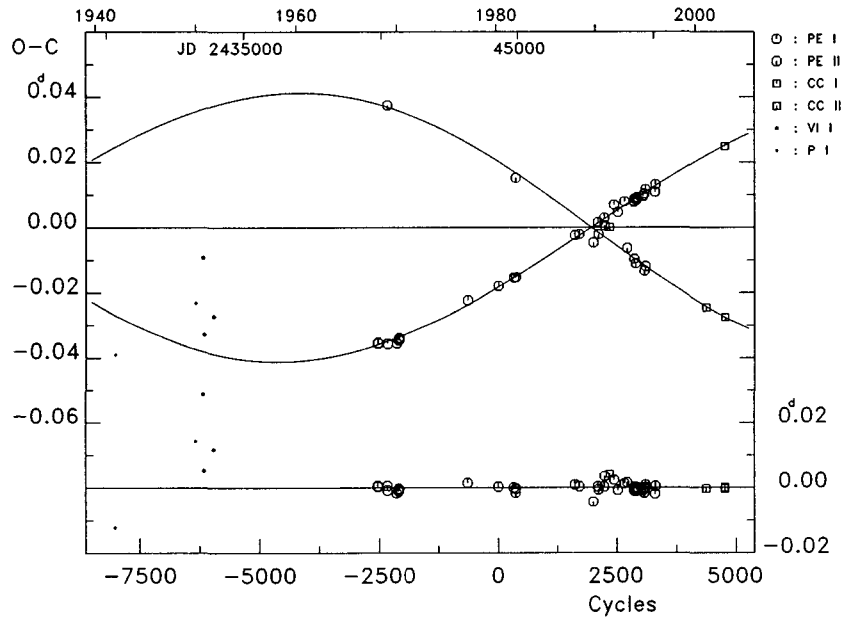


그림 3. 이 논문에서 결정한 광도요소로 그린 IQ Per의 (O - C)도.

표 2. IQ Per의 근성점 운동 변수.

Parameter	Lacy & Frueh(1985)	Drozd <i>et al.</i> (1990)	Değirmenci(1997)	이 논문
$P_s$ (day)	1.7435699 ± 0.0000007	1.7435818 ± 0.0000002	1.7435620 ± 0.0000001	1.7435624 ± 0.0000001
$T_0$ (day)	2440222.5974 ± 0.0004	2444290.3640	2444290.3640 ± 0.0004	2444290.3639 ± 0.0007
$P$ (day)	—	—	—	1.7436305 ± 0.0000001
$e$	0.075 ± 0.006	0.076 ± 0.004	0.074	0.074 ± 0.007
$\omega_0$ (°)	—	—	62.61	62.65 ± 0.07
$\omega_1$ (°)	—	—	0.0141	0.01406 ± 0.00003
$i$ (°)	89.3 ± 0.8	89.3	88.4	88.4 <sup>1</sup>
$U$ (year)	140 ± 30	119 ± 9	122 ± 7	122.2 ± 0.3

<sup>1</sup>fixed parameter

있을 만큼 큰 양은 아니다. 따라서, IQ Per의 내부 밀도 상수의 관측치와 이론치가 약 5% 이내에서 일치한다는 그의 결론은 변하지 않을 뿐만 아니라, IQ Per의 근성점 운동에 대하여 그가 내린 결론이 당분간 유효할 것으로 생각한다.

감사의 글 : 이 연구는 학술연구재단의 기초기술과제(과제번호: KRF-2002-070-C00045)의 지원을 받아 수행 되었습니다.

### 참고문헌

이충욱, 박성수, 김천휘, 변용익 2003, 한국우주과학회지, 20, 143  
 Değirmenci, Ö. L. 1997, Ap&SS, 253, 237  
 Drozd, M., Krzesinski, J., & Pajdosz, G. 1990, IBVS, 3494  
 Gimenez, A., & Bastero, M. 1995, Ap&SS, 226, 99  
 Gimenez, A., & Garcia-Pelayo, J. M. 1983, Ap&SS, 92, 203  
 Hall, D. S., Gertken, R. H., & Burke, E. W. 1970, PASP, 82, 830  
 Hegedüs, T., Biró, I. B., Borokovits, T., & Paragi, Z. 1996, IBVS, 4340  
 Hoffmeister, C. 1949, Astr. Abh. Erg. Astr. Nach., 12, A21  
 Kreiner, J. M., Kim, C.-H., & Nha, I.-S. 2001, An Atlas of ( $O - C$ ) Diagrams of Eclipsing Binary Stars, vols.1-6 (Krakow : Press of Pedagogical Univ.),  
 Kwee, K. K., & van Woerden, H. 1956, BAN, 12, 327  
 Lacy, C. H., & Frueh, M. L. 1985, AJ, 295, 569  
 Müyesseröglü, Z., Gürol, B., & Selam, S. O. 1996, IBVS, 4380  
 Petrova, A. V., & Orlov, V. V. 1999, AJ, 117, 587

Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. 1992, *Numerical Recipes in C*  
(Cambridge : Cambridge University Press)

Schwarzschild, M. 1958, *Structure and evolution of the stars* (Princeton : Princeton University  
Press)

Young, A. 1975, *PASP*, 87, 717