

소행성 55 Pandora의 CCD 측광 연구

권순길¹ · 김승리² · 이 호^{1,*} · 전영범² · 박홍서¹

¹한국교원대학교 제3대학 지구과학교육과, 363-791 충북 청원군 강내면 다락리 산 7

²한국천문연구원, 305-348 대전광역시 유성구 화암동 61-1

CCD Photometry of the Asteroid 55 Pandora

Sun-Gill Kwon¹, Seung-Lee Kim², Ho Lee^{1,*}, Young-Beom Jeon², and Hong-Suh Park¹

¹Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,
Choongbuk 363-791, Korea

²Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

Abstract: We performed R band time-series CCD photometric observations of the 55 Pandora for 2 nights using the 0.6 m telescope equipped with 2K CCD camera at SOAO (Sobaeksan Optical Astronomical Observatory). From the observation we determined its rotation period $P = 0.^d2007 = 4.^h8168$, and maximum amplitude 0.281 ± 0.001 . We also derived the pole position $\lambda_p(^{\circ}) = 342$, $\beta_p(^{\circ}) = 64$, and the shape parameter $a/b = 1.27$, $b/c = 1.31$ by applying Amplitude-Magnitude method.

Keywords: asteroid, 55 pandora, CCD photometry, rotation period, Amplitude-Magnitude Method

요 약: 소백산 천문대의 0.6 m 광학망원경과 2K CCD 카메라를 이용하여 소행성 55 Pandora에 대한 R 필터 시계열 측광관측을 수행하였다. 관측으로부터 소행성의 자전 주기($P = 4.^h8168$)와 진폭($\Delta R = 0.281 \pm 0.001$)을 구하였고, Amplitude-Magnitude 방법을 이용하여, 소행성 55 Pandora의 자전축 방향 $\lambda_p(^{\circ}) = 342$, $\beta_p(^{\circ}) = 64$ 와 세 축의 비는 $a/b = 1.27$, $b/c = 1.31$ 인 형태로 자전하고 있음을 알아내었다.

주요어: 소행성, 55 pandora, CCD 측광, 자전주기, 진폭-등급 방법

서 론

소행성(asteroid)은 화성과 목성 사이에 위치하는 작은 천체들로, 크기는 수 km에서 수백 km 정도이고, 긴 타원체의 모양을 한 천체가 3~20시간을 주기로 회전을 하고 있는 것으로 여겨진다(이시우와 안병호, 1997).

1706년 Titius는 화성과 목성사이의 2.8AU인 곳에 하나의 행성이 존재한다고 예언했었고, 1801년 Giuseppe Piazzi가 이 부근에서 1 Ceres를 발견 후 차례로 발견이 이루어졌으며, William Herschel 은 그 크기가 너무 작아서 육안으로 볼 수 없고 망원경

으로 본 모습이 별과 비슷하여 'asteroid', 즉 'star-like'라는 뜻의 이름을 제안하였다(이시우와 안병호, 1997).

소행성은 위치 분포에 따라 크게 세 종류로 구분될 수 있다. 소행성대 안쪽에는 화성형 소행성이 분포하고, 소행성대 내에는 휘발성 물질이나 물이 사라진 원시 물질에서 생겨난 변성형 소행성이 분포한다. 소행성대 바깥쪽에는 물, 휘발성 물질 등을 그대로 포함한 원시 물질에서 생성된 원시형 소행성이 분포한다. 소행성대 내에서 소행성이 존재하지 않는 영역이 있는데, 이를 커어크우드 틈새(Kirkwood gap)라 한다. 이 지역은 소행성의 공전주기가 목성의 공전 주기의 분수로 표시되는(즉, 1/2, 1/3, 1/4, 2/5, 3/7) 영역이다(이시우와 안병호, 1997).

소행성의 분류는 표면의 반사율과 분광형을 측정하여 소행성의 구성 성분에 따라 C형, S형, M형, E형

*Corresponding author: leeoh119@blue.knue.ac.kr
Tel: 82-43-230-3794
Fax: 82-43-233-2960

으로 분류되며 95% 이상이 C형 또는 S형이다. C형(carbonaceous)은 가장 일반적인 형으로 탄소를 함유하고 있는 구립운석(chondrite meteorite)과 닮아있고 주로 소행성대 바깥쪽에 위치한다. S형(silicaceous)은 규산염 물질들로 이루어져 있고, 철과 니켈 등의 함량도 높다. 주로 소행성대 안쪽에 분포하며 붉은 색을 띤다. M(metallic)형은 금속성 물질로 구성되어 있고, 심한 열적 용융 진화를 보인다. 주로 소행성대 중앙과 안쪽에 분포하며 약한 붉은 색을 띤다. E형(enstatite)은 금속 철이나 휘석을 함유하고 있으며, 반사율이 가장 크다. 주로 소행성대의 가장 안쪽에 위치하며 약한 붉은 색을 나타낸다(이시우와 안병호, 1997).

소행성의 측광학적 관측으로부터 얻어진 광도곡선은 자전주기, 극의 좌표, 크기와 형태들을 결정하는 연구에 사용되고 있다(Shevchenko et al., 1993; Johanna et al., 2003).

소행성 관측은 고전적인 건판기술과 함께 시작됐지만, 최근 CCD 카메라를 이용한 디지털 검출 기술의 혁신에 힘입어 소행성의 찾는 양은 매우 많아졌다. 현재 미항공우주국과 메사추세츠 공과대, 미공군 등에서는 탐색 망원경과 초고속 컴퓨터를 이용해서 지름 1 km급 지구 접근 소행성의 90% 검출을 목표로 관련 프로젝트를 수행하고 있다.

연구의 대상으로 선정한 55 Pandora는 Searle(1858)에 의하여 1858년 9월 10일에 미국 뉴욕의 Albany 천문대에서 처음으로 발견되었다. 이후 Johanna et al. (2003)은 측광학적 데이터로부터 $a/b=1.2$, $b/c=1.2$, 궤도의 황위는 9° 이내, 주기는 4h.80804044를 얻었으며, James(1859, 1860)는 1858년, 1859년, 1860년에 55 Pandora의 위치를 측정하였으며, Safford(1958), Möller(1877)도 역시 위치를 측정하였다. Schober(1978)은 UBV측광으로부터 $V=10^m.71$, $B-V=0^m.62$, $U-B=0^m.22$ 와 주기 $4^h.8043$ 을 구하였고 근일점에서 추정된 최대밝기는 $V=8^m.0$ 으로 극대시각 $T_0=2443380^d.7154$ 를 구하였다. Angelis(1995), Zappalà

and Martino(1986), Drummond et al.(1988, 1991)은 자전과 형태 요소를 결정하였고, Zellner and Bowell(1977)은 55 Pandora의 직경을 75 km, 반사율 $P_v=0.12$ 인 M형 소행성으로 궤도 장반경 $a=2.7598$ AU, 궤도 경사각은 $i=7^\circ.196$ 으로 결정하였다.

본 연구에서는 소행성 55 Pandora에 대한 CCD 측광 자료로부터 자전 주기와 형태를 결정하였다. 제 2 절에서는 관측 및 자료처리를 제 3 절에서는 결과를 그리고 마지막 절에 전체결과를 요약하였다.

관측 및 자료처리

관측

55 Pandora의 CCD 측광 관측은 한국천문연구원 소백산천문대(SOAO)의 61 cm Ritchey-Chrétien형 반사 망원경(F/13.5)과 SITE 2K CCD 카메라를 사용하여 2002년 1월 5일 9시간 동안 이루어졌으며 R 필터 영상 168장의 CCD 영상을 얻었다. 검출기로 사용한 SITE 2K CCD 카메라의 이득값(gain)은 $2.37e^-/ADU$, 읽기 잡음(readout noise)은 $5.43e^-$ 이며, 한 화소당 $0.60''$ 의 시야로 전체 시야는 $20'.5 \times 20'.5$ 를 갖는다. CCD 냉각은 액체질소 냉각방식으로 $-110^\circ C$ 로 CCD를 유지하므로 열전자 발생량을 무시할 수 있다. 관측 기간 동안에 시상은 평균 $1''.5 \sim 3''.5$ 이었으며, 평균 노출시간은 300초 이었다.

관측일지는 Table 1에 정리하였으며, 적경과 적위는 $UT=0^h$ 때의 값이고, 태양-소행성간의 거리 r 과 지구-소행성간의 거리 Δ 는 국제 소행성 센터(Minor Planet Center, MPC)에서 찾아 관측 중간 시간대의 값을 표시하였다. Fig. 1은 관측영역의 CCD 영상으로 55 Pandora와 비교성으로 사용한 u1200_06012852, 점검성으로 사용한 u1200_06013489를 C(Comparison), K(Check)로 각각 나타내었고 소행성의 진행 방향을 화살표로 표시하였다. 소행성, 비교성, 점검성의 등급과 색지수는 Table 2에 정리하였다.

CCD 측광 관측 자료의 처리는 미국 국립 광학천

Table 1. Observation Log

Date (UT)	Starting HJD (+2452000)	r (AU)	Δ (AU)	α ($^\circ$)	Filter	Frames	Duration (h)	Exposure time (s)
2002.01.05	280.0204	2.768	1.817	6.4	R	168	9.0	300

r: The distance between the sun and the asteroid.

Δ : The distance between the earth and the asteroid.

α : phase angle: The angle subtended at the center of the asteroid by the vector directed to the sun and the observer.

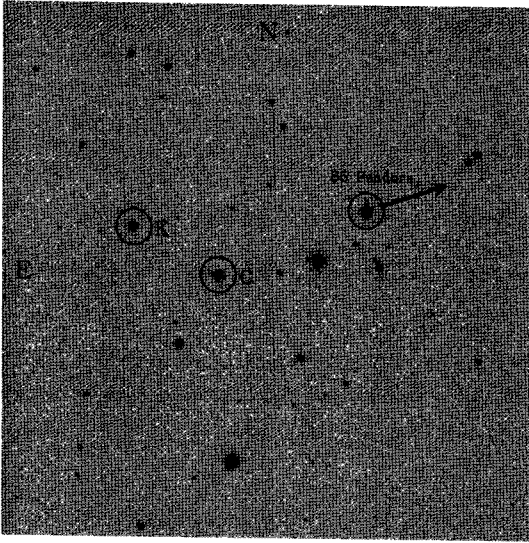


Fig. 1. CCD image of observed field (10'.0×10'.0). The comparison star as C, and check star as K. The arrow mark represents the direction of the asteroid's progression. North is up and the East to the left.

문대(NOAO)의 IRAF(Image Reduction and Analysis Facility) 2.12를 이용한 일반적인 측광 순서에 따라서, 관측한 자료에서 기기 요소에 의한 성분을 제거하는 전처리단계(Preprocessing)를 수행하고, 구경측광(APPHOT)으로 등급을 구하였다. 전체 자료에 대한 비교성과 점검성의 등급 차에 대한 표준오차는 ±0.005이다.

소행성과 비교성의 등급 보정

소행성은 별과는 달리 자신이 빛을 내지 않고 태양 빛을 반사하므로 태양으로부터의 거리, 태양 쪽을 향하는 면의 면적에 따라 받는 빛의 양, 지구로부터의 거리에 따라 도달하는 빛의 양에 따라 그 변화도 크다. 그래서 날짜별 등급 변화에 대해서는 거리의 영향을 보정해 주어야 한다. 본 연구에서는 관측된 소행성의 phase angle에 대한 등급을 보정해 주었다. 관측된 소행성의 등급을 R_{obs} 라고 하고, 주어진 phase angle에서의 소행성의 등급을 $R(\alpha)$ 라고 하면 다음과

같은 방법으로 보정할 수 있다(Magnusson et al., 1989).

$$R(\alpha) = R_{obs} - 5\log(r\Delta) \tag{1}$$

식 (1)에서 r 은 태양에서 소행성까지의 거리이고, Δ 은 지구에서 소행성까지의 거리이다. 비교성과 소행성이 같은 화면에 들어오는 경우는 식 (2)와 같이 $R(\alpha)$ 와 관측된 비교성의 등급 R_{co} 를 구해서 둘의 차이 ΔR 을 구하면

$$\Delta R = R(\alpha) - R_{co} \tag{2}$$

이렇게 계산된 2002년 1월 5일의 ΔR 값은 -3.283 ± 0.007 등급이다.

결 과

광도 곡선 및 자전 주기 결정

Fig. 2-(a)는 소행성 55 Pandora의 2002년 1월 5일 광도변화를 시간에 대하여 나타내었고, Fig. 2-(b)는 비교성과 점검성의 차등 등급을 나타낸 것으로 비교성에 특이한 변화가 보이지 않는다. Fig. 3은 위상맞추기 방법으로 결정한 자전주기 0.d2007을 이용한 위상 등급도이다.

위상맞추기 방법은 관측된 시간 t 와 기준시점 t_0 의 차이를 주기 P 로 나눈 값의 몫을 제외한 나머지 부

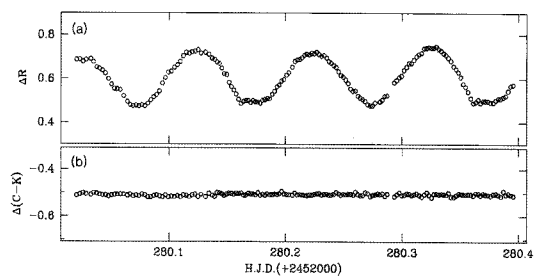


Fig. 2. (a) The ΔR variations of the asteroid 55 Pandora. (b) Magnitude differences between comparison and check star.

Table 2. Basic Data for 55 Pandora and Comparison Stars

	Star ID	R.A.(2000)	Dec.(2000)	V	R	B-V	References
Asteroid	55 Pandora	08 ^h 19 ^m 59.10 ^s	+30°29'29.9"	10 ^m .71	-	0.62	Schober (1978)
Comparison	u1200_06012852	08 ^h 20 ^m 02.28 ^s	+30°28'15.49"	-	12 ^m .2	-	USNO-A2.0 [†]
Check	u1200_06013489	08 ^h 20 ^m 09.47 ^s	+30°29'07.51"	-	13 ^m .1	-	USNO-A2.0 [†]

[†]Catalog of USNO (U.S. Naval Observatory)-A2.0

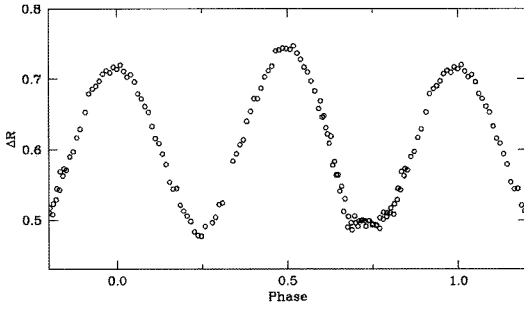


Fig. 3. ΔR photometric data for 55 Pandora, phased with the period of 0.^d2007.

분을 가로축으로 하고, 세로축은 ΔR로 하여 광도곡선을 그렸을 때 위상이 가장 잘 맞는 주기를 선택하는 방법이다.

소행성의 자전축 방향과 모양 결정

소행성의 자전축에 대한 정보를 얻는 방법으로 가장 대표적인 것은 PA(Photometric Astronomy)방법으로, 자전축의 황경 λ_p와 황위 β_p, 자전주기 등에 대한 비선형 방정식을 풀어서 해를 구하는 것이나 서로 다른 층에서 여러 개의 광도 곡선이 있어야 자전축의 정보를 구할 수 있다(Magnusson et al., 1989).

본 연구에서는 AM(Amplitude Magnitude)방법을 사용하여 자전축의 정보를 얻었다. AM방법은 소행성이 세 개의 축(a ≥ b ≥ c)을 가진 타원체이고 그 중 가장 길이가 짧은 축을 따라 자전한다고 가정하고, 관측된 소행성의 광도 변화가 주로 소행성의 반사되는 면의 면적과 관계있다는 기본적인 생각을 적용시킨 것이다. 반사되는 면적은 각 축의 길이 비와 aspect angle, rotational phase 등의 함수로 나타내어지고, 관측된 진폭과 최대, 최소 밝기 등은 aspect angle의 함수로 나타나므로 이들의 관계를 통해서 축에 대한 정보를 얻어낸다. 이 방법은 c축을 중심으로 단순하게 자전하는 소행성을 가정하므로, 소행성의 a축과 b축의 단면적의 차이에 의해 생기는 일반적인 특이하지 않은 광도 곡선 모양에 대해 적용할 수 있다(Magnusson et al., 1989; 우화성, 2001).

AM 방법에 의하면, 관측된 진폭 A는 아래 식 (3)과 같다.

$$A = 1.25 \cdot \log \left[\frac{\left(\frac{b}{c}\right)^2 \cos^2 \psi + \sin^2 \psi}{\left(\frac{b}{c}\right)^2 \cos^2 \psi + \left(\frac{b}{c}\right)^2 \sin^2 \psi} \right] + \beta_A \alpha \quad (3)$$

식 (3)에서 ψ는 aspect angle, α는 phase angle이고, a, b, c는 각각 소행성의 세 축의 길이로 a ≥ b ≥ c이며, 소행성은 c축을 중심으로 회전하고 있다고 가정한다. β_A는 phase에 대한 선형 보정항의 계수이다. ψ는 식 (4)를 통해서 구할 수 있다.

$$\cos \psi = -\sin \beta_p \sin \lambda_p - \cos \beta_p \cos \lambda_p \cos(\lambda - \lambda_p) \quad (4)$$

식 (4)에서 λ와 β는 관측할 당시의 소행성의 황경과 황위이고, λ_p와 β_p는 소행성의 자전 북극의 황경과 황위이다. 식 (3)에서 우변의 선형 보정항 β_Aα를 좌변으로 옮긴 후 log를 없애고 식을 다시 정리하면 다음의 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (5)의 C₁과 C₂는 각각 식 (6), 식 (7)과 같다 (Michalowski and Velichko, 1990).

$$C_2 \cdot \cos^2 \psi + C_1 \left(\frac{b}{a}\right)^2 - 1 = 0 \quad (5)$$

$$C_1 = 10^{0.8(A - \beta_A \alpha)} \quad (6)$$

$$C_2 = C_1 \left(\left(\frac{b}{c}\right)^2 - \left(\frac{b}{a}\right)^2 \right) - \left(\frac{b}{c}\right)^2 + 1 \quad (7)$$

본래 AM 방법은 비선형 회귀 방정식을 풀어야 하지만, 좀 더 효율적인 접근을 위하여 본 연구에서는 우화성(2001)에 사용한 β_A, λ_p, β_p 등에 임의의 값을 대입하여 선형 회귀 방정식으로 접근하였다.

위의 식 (5)에 식 (7)을 대입하여 전개한 후 b/a와 b/c에 대해 정리하면,

$$1 - \cos^2 \psi = \left(\frac{b}{a}\right)^2 (1 - \cos^2 \psi) C_1 + \left(\frac{b}{c}\right)^2 (C_1 - 1) \cos^2 \psi \quad (8)$$

이 되고,

$$1 - \cos^2 \psi = y, \left(\frac{b}{a}\right)^2 \equiv a_1, \left(\frac{b}{c}\right)^2 \equiv a_2, x_1 \equiv (1 - \cos^2 \psi) C_1,$$

x₂ ≡ (C₁ - 1) cos²ψ 라고 두면, 식 (8)은 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (9)$$

앞의 식 (9)를 다음의 최소 자승법에 적용하여 선형 회귀 방정식을 풀게 된다.

Table 3. The observed maximum amplitude, A, and observational conditions for 55 Pandora

$\lambda(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	A	References
335.38	-6.140	5.6	0.250	Schober et al.(1978)
338.85	-6.950	4.0	0.240	Schober et al.(1978)
357.45	2.640	6.9	0.220	Shevchenko et al.(1993)
67.940	9.680	11.1	0.268	This work
59.720	10.64	6.6	0.281	This work

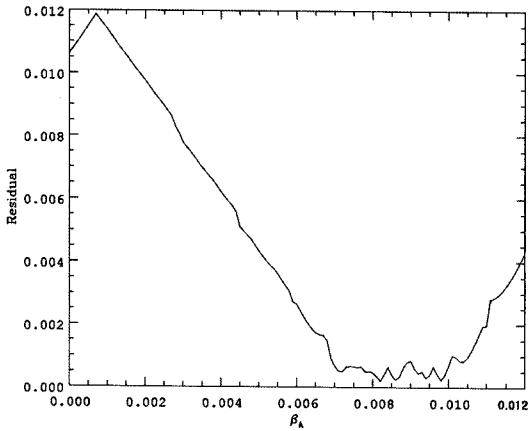


Fig. 4. Residual as a function of the phase factor, β_A . It reaches the minimum near $\beta_A = 0.0082$.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{y_i - \sum_{k=1}^M a_k X_{k,i}}{\sigma_i} \right]^2 \quad (10)$$

위의 식 (10)에서

$y_i = a_1 \cdot x_{1,i} + a_2 \cdot x_{2,i}$, $x_1 = (1 - \cos^2 \psi) C_{1,i}$, $x_{2,i} = (C_{1,i} - 1) \cos^2 \psi$ 이다.

계산에서 β_A 는 0~0.02까지 범위에서 +0.0001씩 증가시켰고, 그 각각의 경우에 대해서 λ_p 는 0°~359°까지,

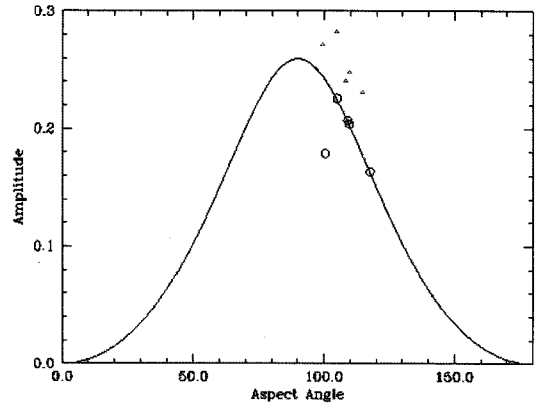


Fig. 5. Theoretical amplitude (solid line) of 55 Pandora as a rotating triaxial ellipsoid with $a/b = 1.27$, $b/c = 1.31$. Triangles are observed amplitudes and circles are corresponding amplitude corrected by the phase factor $\beta_A = 0.0082$.

β_p 는 0°~89°까지의 범위에 +1°씩 증가시키면서 각 β_A 에 대해서 χ^2 이 최소가 될 때의 a_1 과 a_2 를 얻었다.

이 연구에서 관측한 소행성들처럼 크기가 큰 경우에는 물리적으로 각 축의 비가 매우 크지는 않기 때문에 $0.25 \leq a_1 \leq 1$ ($1 \leq \frac{a}{b} \leq 2$), $1 \leq a_2 \leq 4$ ($1 \leq \frac{b}{c} \leq 2$)의 경우에서만 구했다. 최종적으로 각 β_A 에 대해 얻어진 200개의 값들과 각각에 대한 오차를 비교하여 오차가 가장 작을 때의 β_A 를 선정하고, 그 때의 λ_p , β_p , $\frac{a}{b}$, $\frac{b}{c}$ 를 택하였다.

기존의 55 Pandora의 관측 값은 Schober(1978)와

Table 4. The Pole position and shape information of the asteroid 55 Pandora

$\lambda_p (^{\circ})$	$\beta_p (^{\circ})$	a/b	b/c	method	Reference
342	64	1.27	1.31	AM	This work
226±1	59±1	1.27	1.10	AM	Zappala and Martino (1986)
-	-	1.76±0.03	1.52±0.10	EAM	Drummond et al. (1988)
224±8	32±8	1.34±0.06	1.47±0.07	EAM	Drummond et al. (1991)
230±9	18±6	1.29±0.02	1.25±0.10	EA	Angelis (1995)

AM: Amplitude Magnitude Method

EA: Epoch Amplitude Method

EAM: Epoch Amplitude and Magnitude Method

Shevchenko et al.(1993)을 이용하였다. Table 3에 지금까지의 관측으로 얻어진 최대의 진폭과 황경, 황위, Phase angle 등을 정리하였고, 이 자료를 식 (10)에 대입하여 각 β_A 에 대해 오차가 최소가 되는 a_1 과 a_2 를 찾았다. 이 때, 식 (10)에서 $M=2$, $N=5$ 인 경우가 된다. 여기서 각 β_A 와 거기에 따른 오차를 Fig. 3에 나타내었으며 편의상 β_A 가 0.01일 때까지만 그려 보았다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 오차가 가장 작은 β_A 값은 0.0082이다. 그러므로 β_A 가 0.0082일 때의 λ_p , β_p , $\frac{a}{b}$, $\frac{b}{c}$ 값이 우리가 구하고자 하는 값이 된다. 우리가 얻은 값을 이전의 연구 결과와 함께 Table 4에 정리하였고, 우리의 결과는 자전축 방향은 약간의 차이는 있지만 형태는 나머지 세 모델링 결과와 비슷한 결과를 얻었다. 이러한 차이는 관측된 aspect angle의 범위가 협소했기 때문으로 추정된다(Fig. 5 참조).

결론 및 토의

소백산 천문대 61 cm 망원경과 2K CCD 카메라를 이용하여 2002년 1월 5일 9시간동안 55 Pandora를 관측하여 $P=0.4^{d}2007=4.8168$, $\lambda(^{\circ})=67.94$, $\beta(^{\circ})=+9.68$, Amplitude = 0.268을 얻었다.

관측된 광도 곡선으로부터 얻은 최대 진폭을 사용하는 AM 방법을 바탕으로 모델링을 거쳐 55 Pandora의 자전 북극 좌표 $\lambda_p(^{\circ})=342$, $\beta_p(^{\circ})=64$ 와 세 축의 비 $a/b=1.27$, $b/c=1.31$ 을 얻었다. 자전축의 방향이 이전의 결과와 차이를 보이는 것은 관측된 aspect angle의 범위의 협소에 기인하는 것으로 다양한 aspect angle의 추가적인 관측이 필요하다.

사 사

논문을 심사하시면서 미처 생각하지 못하였던 부분까지 섬세하게 보여주신 강원대학교의 권석민 교수님과 한국천문연구원의 임홍서 박사님께 감사를 드립니다. 본 연구는 한국고원대학교 2007학년도 기성 회계 학술연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

우화성, 2001, 소행성 165 Loreley, 402 Chloe, 423 Diotima, 895 Helio의 CCD 측광. 경북대학교 이학석사 학위논문, 50 p.

이시우, 안병호, 1997, 태양계천문학. 서울대학교출판부, 서울, 459 p.
 Angelis, G., 1995, Asteroid spin, pole and shape determinations. Planetary and Space Science, 43, 649-682.
 Drummond, J.D., Weidenschilling, S.J., Chapman, C.R., and Davis, D.R., 1988, Photometric geodesy of main-belt asteroids. II - Analysis of lightcurves for poles, periods, and shapes. Icarus, 76, 19-77.
 Drummond, J.D., Weidenschilling, S.J., Chapman, C.R., and Davis, D.R., 1991, Photometric geodesy of main-belt asteroids. IV - an updated analysis of lightcurves for poles, periods, and shapes. Icarus, 89, 44-64.
 James, F., 1859, Observations of (25) Phocaea and (55) Pandora. Astronomical Journal, 6, 22-23.
 James, F., 1860, Observations of Leda, Polyhymni, Mnemosyne and Pandora, made with the Equatorial by J. Ferguson. Astronomische Nachrichten, 52, 233.
 Johanna, T., Kaasalainen, M., Michalowski, T., Kwiatkowski, T., Kryszczyńska, A., Denchev, P. and Kowalski, R., 2003, Shapes and rotational properties of thirty asteroids from photometric data. Icarus, 164, 346.
 Magnusson, P., Barucci, M.A., Drummond, J.D., Lumme, K., Ostro, S.J., Surdej, J., Taylor, R.C., and Zappala, V., 1989, In: Binzel, R.P., Gehrels, T., Matthews, M.S. (eds.), Asteroid II. University of Arizona Press, 67.
 Michalowski, T. and Velichko, F.P., 1990, Photoelectric photometry, parameters of rotation and shapes of asteroids 22 Kalliope and 79 Eurynome. Acta Astronomica, 40, 321-332.
 Möller, A., 1877, Ephemeride der Pandora (55). Astronomische Nachrichten, 90, 171.
 Safford, T.H., 1958, Elements of (55) Pandora. Astronomical Journal, 5, 192-192.
 Schober, H.J., 1978, Photometric Variations of the Minor Planets 55 Pandora and 173 Ino during the Opposition in 1977: Light Curves and Rotation Periods. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 34, 377-381.
 Searle, G., 1858, New Planet discovered. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 18, 302.
 Shevchenko, V.G., Krugly, Y.N., Lupishko, D.F., Harris, A.W., and Chernova, G.P., 1993, Lightcurves and phase relations of asteroid 55 Pandora. Astronomicheskii Vestnik, 27, 75-80.
 Zappala, V. and Martino, M., 1986, Rotation axes of asteroids via the amplitude-magnitude method: Results for 10 objects. Icarus, 68, 40-50.
 Zellner, B., Bowell, E., 1977, Asteroid compositional types and their distributions. In: Comets, asteroids, meteorites: Interrelations, evolution and origins; Proceedings of the Thirty-ninth International Colloquium, Lyons, France, August 17-20, 1976. (A78-19751 06-88) Toledo, Ohio, University of Toledo, 1977, 185-195, Discussion, 195-197.

2007년 5월 30일 접수
 2007년 7월 14일 수정원고 접수
 2007년 8월 3일 채택