

조선 현종 5년 1665년 대혜성의 궤도 요소 결정

안상현^{1†}, 최윤희², 김성수²

¹한국천문연구원 광학천문연구부, ²경희대학교 우주과학과

DETERMINATION OF PRELIMINARY ORBITAL ELEMENTS OF THE GREAT COMET C/1665 IN KOREAN HISTORY

Sang-Hyeon Ahn^{1†}, Yunhee Choi², and Sungsoo S. Kim²

¹Division of Optical Astronomy, KASI, 61-1 Hwaam-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-348, Korea

²Department of Astronomy & Space Science, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

E-mail: sha@kasi.re.kr

(Received August 24, 2005; Accepted February 2, 2006)

요 약

한국의 역사서에 속에는 혜성을 관측한 기록이 많이 있다. 우리는 그 가운데 조선 현종 5년 1664년 겨울에 나타난 혜성을 관측한 기록을 〈성변측후단자〉, 〈천변등록〉, 〈승정원일기〉, 〈조선왕조실록〉에서 수집 정리하였다. 우리는 올버스(Olbers)의 방법을 사용하여 혜성의 예비 궤도 요소를 구하고, 그것을 이전의 연구들과 비교하였다. 올버스의 방법에서는 혜성 궤도의 이심률 $e = 1$ 인 포물선 궤도로 가정한다. 관측 자료를 사용하여 궤도를 계산한 결과, 근일점 거리(perifocal distance) $q = 1.07 \pm 0.008\text{AU}$, 근일점 통과 시간 $T = 2329165.50 \pm 0.72$ 일, 승교점과 근일점의 이각(argument of the perifocus) $\omega = 318^\circ.2 \pm 2^\circ.29$, 승교점 경도(longitude of the ascending node) $\Omega = 85^\circ.23 \pm 2^\circ.53$ (J1665), 궤도 경사(inclination) $i = 160^\circ.28 \pm 1^\circ.56$ 를 얻었다.

ABSTRACT

There are many astronomical records of comets in Korean history books. We collected those of the comet that appeared in the winter of the year 1664. These records were written in Daily Reports of the Royal Observatory on Astronomical Events (星變測候單子), Final Reports of the Royal Observatory on An Astronomical Events (天變臚錄), the Daily Records of the Royal Secretariat of the Joseon Dynasty (承政院日記), and the Chronicle of the Joseon Dynasty (朝鮮王朝實錄). We used the Olbers' method for determination of preliminary orbit of the comet, and compared the result with the previous researches. In the Olbers' method the orbit is assumed to be parabolic ($e = 1$). We obtained the following orbital elements: perifocal distance $q = 1.07 \pm 0.008\text{AU}$, perifocal passage time $T = 2329165.50 \pm 0.72$ days, argument of the perifocus $\omega = 318^\circ.2 \pm 2^\circ.29$, longitude of ascending node $\Omega = 85^\circ.23 \pm 2^\circ.53$ (J1665), inclination $i = 160^\circ.28 \pm 1^\circ.56$.

[†]corresponding author

Keywords: comet, orbit, historical astronomy

1. 서 론

역사에 기록된 혜성 관측 자료를 활용하여 그 혜성들과 알려진 주기 혜성과 비교하여 정체를 밝혀내는 연구는 지금까지 꾸준히 계속되어 오고 있다(Marsden 1973, Yau, Yeomans, & Weissman 1994, Hasegawa & Nakano 1995). 이러한 연구에서 활용되는 역사 혜성 자료는 주로 세계의 여러 문명권에서 수집하게 되는데, 문명의 흥망성쇠에 따라 각 문명이 제공하는 기록의 시기가 제한이 있게 된다. 반면 한국, 일본, 중국은 한 문명이 수 천 년을 지속해왔기 때문에 역사 천문 기록도 꾸준한 점이 큰 특징인데, 그 가운데 본 논문에서 관심을 두고 있는 혜성 관측 자료를 말하자면, 중국의 혜성 관측 자료는 《中國古代天象記錄總集》(北京天文臺 1988)으로 정리되어 있고, 일본의 혜성 관측 자료는 《日本天文史料》(神田武 1935)와 《近世日本天文史料》(大崎正次 1994)로 정리되어 있다. 이에 비해 한국의 옛 역사 속에 기록된 혜성의 관측 자료는 매우 풍부함에도 불구하고, 일본인 關口鯉吉(1917)가 삼국시대의 혜성을 조사한 이후, Ho(1962), 박동현(1963), 전상운(1970), 나일성(1978, 1979), 박성환(1982a) 등이 일부의 자료를 모으거나 과학사적인 논의를 한 연구들이 있을 뿐, 자료 정리가 되어 있지 않다. 더욱이 옛 혜성 기록을 천문학적으로 분석하여 그 혜성의 궤도를 결정한 연구는 박성환(1982b)의 연구가 거의 유일하다고 볼 수 있다. 최근에는 박소연(2005)은 석사학위 논문으로 우리나라 역사 속에 기록된 혜성들을 연구하고 있다. 한국 역사 속의 혜성 기록은 단순히 일반 시민의 관측 기록이 아니라 전문 천문학자들이 정밀하게 관측한 수치 기록이라는 점에서 매우 값어치가 있다. 그러나 關口鯉吉(1917)의 목록, Ho(1962)의 목록은 완전한 목록이 아니며, 원천 자료부터 《삼국사기》, 《고려사》, 《조선왕조실록》, 《승정원일기》, 《천변객성등록》 등의 원사료를 바탕으로 한 것이 아니어서 한계가 있다. 이러한 불완전한 자료가 한국의 것으로 세계 학계에 유통되고 있는데, 이는 하루라도 빨리 바로 잡아야 할 것이다.

역사 혜성을 동정하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫째 방법은 혜성의 위치가 세 번 이상 측정되어 있는 경우, 궤도 요소를 계산하여 현재 알려져 있는 주기 혜성과 비교하는 방법이다. 두 번째 방법은 현재 알려져 있는 주기 혜성의 궤도 요소를 이용하여 시간을 거꾸로 거슬러 올라가 혜성의 위치를 계산하여 기록에 나오는 옛 혜성의 위치와 비교하는 방법이다. 옛 기록의 대부분이 혜성의 움직임을 별자리를 기준으로 기록하고 있으므로 두 번째 방법이 유용하다. 물론 이 방법에서는 혜성이 태양계의 다른 천체들로부터 받는 중력 섭동을 고려해야 하고, 혜성마다 다른 특성을 갖는 비중력적 효과를 고려하기가 간단하지는 않다.

본 논문에서는 전문 천문학자들이 혜성의 위치를 정밀 관측하여 그 수치 자료가 남아 있는 현종 5년 혜성에 대해 첫 번째 방법을 사용하여 그 혜성의 궤도 요소를 계산하려고 한다. 혜성의 위치 정보는 주로 《승정원일기》와 《천변등록》에서 모으고, 《성변측후단자》와 《조선왕조실록》을 보충하여 마련하였다. 이 자료를 사용하여 올버스(Olbers)의 방법으로 혜성의 궤도를 구하였다.

2. 관측 자료

역사 혜성 자료는 여러 문명권의 기록이 남아 있지만, 한국의 역사에 기록된 혜성들은 부분적으로 사용되어 왔다. 그 까닭은 지금까지 역사 혜성에 대한 연구가 서구와 일본의 학자들에 의해 이루어

어졌는데, 한국 역사의 천문 관측 기록이 목록으로 만들어져서 국제학계에 제대로 알려져 있지 않았기 때문이다. 특히 조선의 역사 천문 기록은 매우 조직적이고 전문적인 관측의 결과임에도 불구하고, 《조선왕조실록》과 《승정원일기》가 너무 방대한 나머지 지금까지 아주 부분적으로만 천문 현상 기록이 검색되어 자료로 정리되었다. 그런데 최근에는 《조선왕조실록》이 전산 입력되어 쉽게 검색할 수 있게 되고, 《승정원일기》도 영조 39년까지의 기록이 전산 입력되어 쉽게 검색이 가능하게 되었다.

2.1 조선시대 기록 방법

조선 시대에는 관상감이라는 왕실 천문대에서 천문 현상을 관측하여 기록으로 남겼다. 이 왕실 천문대의 구조와 운영에 관해서는 1818년 성주덕이 편찬한 《서운관지》(이면우 등 2003)에 자세히 기록되어 있다. 이 책에 따르면, 관상감의 천문학자들은 세 명이 상변, 중변, 하변의 3조로 나누어 밤을 새워 천변을 관측하였다. 해뜨기 전까지 관측한 천변의 기록은 아침에 궁궐 문이 열리면 보고한다. 각각의 해당 관원이 천변이 발견되는 대로 보고서를 기록하되, 수정 갱신된 보고서를 올릴 때는 하변이 작성해서 승정원과 시강원에 제출하고, 또 간략 보고서를 4건 만들어서 2건은 승정원과 역사 기록을 맡은 승정원의 주서에게 제출하고, 1건은 시강원에, 1건은 규장각에 각각 제출한다. 그러나 흰무지개가 해를 뚫었다거나[白虹貫日], 흰무지개가 달을 뚫었다거나[白虹貫月], 지진, 객성, 혜성, 패성, 치우기, 영두성 등의 1급 이상 천변은 발견되자마자 즉시 임금에게 보고한다. 상변이 곧 승정원, 시강원에 나아가서 말로 전하여 임금과 세자에게 아뢰게 하되, 밤이면 소단자를 작성해서 문틈으로 넣어 보고한다. 중변과 하변이 사령들을 시켜 삼정승과 두 제조와 구임관들에게 나누어 고하게 한다. 이들이 천변을 관측하여 기록하는 문서 형식도 매우 분명하게 정해져 있었다. 관상감 천문학자들이 작성한 일일 보고서는 《성변측후단자》라고 하며, 이 보고서 가운데 승정원에 보내진 것은 그 내용이 《승정원일기》와 《일성록》 등에 남게 된다. 그 천변이 사라지면, 그 동안의 기록을 모두 모아 《천변등록》, 《객성등록》을 만들어 관상감에 보관한다. 이러한 모든 자료는 임금이 승하하면 모두 참고하여 그 임금의 실록을 쓰는데 활용하므로 천변 관측 기록이 《조선왕조실록》에도 기록되게 된다. 그러나 이 과정에서 정보는 압축되고 재정리되게 된다. 이러한 사실은 다음의 현종 5년 11월 10일 혜성 관측 기록들을 살펴보면 알 수 있다.

현종 5년 11월 10일 丁酉,

(가)성변측후단자: 今十一月初十日丁酉, 夜二更四點, 彗星始出於巽方濁氣中, 而月光且盛, 不能測候. 及其三更, 月落之後, 詳細測候, 則在星宿初度外廚星東, 去極一百十七度, 形色尾迹與昨無異.

오늘 11월 10일 정유일에 밤 2경 4점에 혜성이 비로소 손방 탁기 속에서 나왔으나, 달빛이 또한 밝아서 관측할 수가 없었다. 그 밤 3경에 이르러 달이 진 뒤에 상세히 관측해 보니, 혜성은 성수(星宿) 초도(初度), 외주성의 동쪽에 있었으며, 거극도수는 117도였고, 모양과 색깔, 꼬리의 자취는 어제와 더불어 다름이 없었다.

(나)천변등록: 夜二更四點, 彗星始出於巽方濁氣中, 而月光且盛, 不能測候. 及其三更, 月落之後, 詳細測候, 則在星宿初度, 外廚星東, 去極一百十七度.

밤 2경 4점에 혜성이 비로소 동남쪽 지평선의 탁한 하늘 속에서 나왔으나, 달빛이 또한

밝아서 관측할 수가 없었다. 그 밤 3경에 이르러 달이 진 뒤에 상세히 관측해 보니, (혜성은) 성수(星宿) 초도(初度), 외주성의 동쪽에 있었으며, 거극도수는 117도였다.

(다)승정원일기: 夜自二更至三更, 彗星見於箕星¹下, 外廚星東.

밤 2경부터 4경 사이에 혜성은 기성(箕星)의 아래, 외주성(外廚星)의 동쪽에 나타났다.

(라)현종실록: 夜, 彗星見.

밤에 혜성이 나타났다.

2.2 혜성의 종류

동양의 역사 기록에는 혜성(comets)을 다양하게 표현한다(안상현 2000). 혜성(彗星)은 꼬리가 보이는 천체를 일컫는 일반적인 말이며, 순우리말로는 빗자루별²이라고 불렸다. 또한 하늘에 못 보던 별이 나타나는 것을 객성(客星)이라고 했는데, 객성이 시간이 지나면서 꼬리가 생기거나 이동을 하면 이것은 혜성으로 분류하였다. 패성(패星)은 꼬리가 곤자 모양으로 생긴 혜성을 말하며, 혜성을 정면에서 바라보면 그렇게 보인다. 치우기(蚩尤旗)는 마치 깃발처럼 보이는 혜성을 말하는데, 혜성이 지평선 아래에 있을 때 그 꼬리가 지평선 위로 나타나는 현상을 말한다. 고대 중국의 신화에 나오는 치우(蚩尤)라는 영웅의 무덤에서 그러한 깃발 같은 기운이 뿜어 나왔다는 전설에서 그 이름이 비롯하였다. 혜성은 요성(妖星)이라고도 불리는데, 요성이란 ‘요사스런 별’이라는 뜻의 일반 명사이므로 혜성은 그 부분집합이다. 또한 혜성을 장성(長星)이라고도 부르기도 하였는데, 혜성이 기다랗게 퍼진 천체(extended objects)이기 때문에 붙은 이름이다. 역사 속에 기록된 혜성 관측 기록을 모을 때 이러한 모든 종류의 이름을 검색하여야 한다.

2.3 C/1664 혜성

본 논문에서는 이러한 역사 속의 혜성 기록 가운데, 특히 1664년부터 1665년에 걸쳐 약 90일 동안 관측된 혜성의 관측 기록을 분석하여 그 혜성의 궤도 요소를 계산하고자 한다. 이 혜성은 1664년 12월 29일에 지구에 0.17AU까지 가장 가까이 접근하였는데, 꼬리의 길이가 40°나 되었으며, 유럽에서는 4달 정도에 걸쳐 천체망원경으로 관측되었다(Yeomans 1981). 특히 조선의 관상감 천문학자들이 관측하여 남긴 보고서인 《성변측후단자》, 《천변등록》이 지금까지 잘 남아 있기 때문에 매우 관심을 끈다. 그러나 서양에 알려진 조선의 관측 정보는 당시 바다에서 난파하여 조선에 표착했던 네덜란드 사람들의 경험을 기록한 《하멜 표류기》 정도이다(Kronk 1999). 따라서 본 연구에서는 《천변등록》, 《성변측후단자》, 《승정원일기》, 《조선왕조실록》에 나오는 혜성 관측 기록을 수집하여 연구 자료로 삼았다. 개별 관측 기록의 원문은 박성환(1982a)에 정리되어 있다.

옛 혜성 기록을 천문학적으로 이해하려면 우리는 몇 가지 지식이 필요하다. 첫째는 혜성을 관측한 시각 표현법, 옛 별자리들의 정체, 혜성이 나타난 방향 표현법, 혜성의 위치를 좌표로 나타내는 표현법, 좌표값의 숫자 표현법 등을 확실하게 이해해야 한다. 다음에 이러한 사전 지식을 설명하였다. 몇 가지는 지금까지 통용되던 사실을 교정한 것이므로 앞으로의 연구에 활용되기를 기대한다.

¹혜성의 이동 경로로 볼 때 이날 혜성은箕星(궁수자리)에 있을 수가 없었다. 국사편찬위원회에 문의해 본 결과 원문에는 분명히箕星이라고 한다. 기록을 살펴보면, 당시 혜성의 이동 경로는張宿, 星宿, 柳宿의 순이다. 星宿의 바로 위에는 鬼宿가 있다. 사관이 귀수를 기수로 잘못 알아 듣고箕宿로 적었을 가능성이 크다.

²음천사의 혜성가에 이 용어가 나온다.

표 1. 조선시대 경점법에서 박명 시간에 대한 정의의 변화. 《국조역상고》의 서술을 근거로 하였다.

시행 시점	근거	1일	1각	혼명분	신명분
1442년	《칠정산》〈내편〉	100각 12시	14.4분	2.5각	2.5각
1754년	안국빈 《누주통의》	96각 12시	15분	6각	7각
1725년	시헌력	96각 12시	15분	8각(동지) 6.4각(하지)	8각(동지) 6.4각(하지)
1789년	김영 《신법누주통의》	96각 12시	15분	$h=-18^\circ$ 절기마다 다름	$h=-18^\circ$ 절기마다 다름

2.4 음양력 변환 및 시간 변환시 주의 사항

안상현과 박종우(2004)는 《삼국사기》, 《고려사》, 《조선왕조실록》, 《승정원일기》 등에 실려 있는 달가림(lunar occultation) 기록을 재현하여 발생 시간과 기록된 관측 날짜를 비교하여 고려시대와 조선시대에는 하루가 해 뜰 때 시작되었고, 삼국시대에도 그랬을 가능성이 있음을 증명하였다. 하루가 해 뜰 때 시작된다면, 지난밤에 일어난 천문 현상은 어제 날짜로 역사에 기록되게 된다. 따라서 만일 자정 이후 해뜨기 전에 일어난 천문 현상 기록이 있다면 기록된 날짜에 24시간을 더해 주어야 한다.

이와 같은 실수는 지금까지 역사 천문 기록을 활용한 연구에서 흔히 반복되어 왔을 것으로 생각된다. 박성환(1982b)의 논문에서도 마찬가지로 실수를 범하였다. 현종 5년 1664년 10월 27일 4경의 관측 기록은 한보식(1987)의 음양력 환산표에 따라 12월 13일로 변환이 되지만, 4경이 자정 이후 해뜨기 전에 해당하므로, 실제로는 LST가 12월 14일이 된다. 이 값으로부터 UT를 구해야 정확하게 시간 변환을 할 수 있다.

옛 천문 기록에서 시간은 주로 경점법(更點法)으로 적고, 가끔은 백각법(百刻法)으로도 적었다. 낮 시간은 해시계로 시간을 측정하므로 등시법인 12시 백각법을 사용하여 시간을 나타냈다. 반면에 밤 시간은 물시계를 사용하여 시간을 측정하는 부정시법인 경점법을 사용하고, 남중하는 별로 시간을 측정하는 정시법을 보조적으로 함께 사용했다.

경점법에서 저녁 박명 시간과 새벽 박명 시간을 제외한 밤 시간을 5등분하여 다섯 경(更)으로 나누며, 각 경은 다시 5등분하여 다섯 점(點)으로 나눈다. 박명시간을 혼명분(昏明分)이라고 하였다. 시대에 따라 1태양일을 몇 개의 시간으로 쪼개는가 하는 것도 변하였지만, 더 복잡한 문제들은 세차운동 때문에 밤에 별들이 남중하는 시간이 시대에 따라 점차 변하는 점과 밤의 길이 곧 혼명분이 한 해 동안 변한다는 것이다. 그러므로 등시법인 백각법 또는 12진법과 부정시법인 경점법을 절기마다 눈금조정(calibration)하고, 또한 이 시간들을 남중하는 별들과 일치시키기 위한(synchronization) 표를 만드는 작업이 옛 천문학자들의 힘겨운 일거리였다. 이러한 용도의 표가 바로 《중성기(中星記)》와 《누주통의(漏籌通義)》라고 하는 것들이다.

조선시대에는 태조 때 《천상열차분야지도》를 새기면서 《중성기》를 새로 작성하였고, 세종 때에 원의 수시력을 연구하여 《칠정산》〈내편〉을 개발하여 이것에 의해 시간제도를 운영하였다. 조선 정조 20년인 1796년에 관상감 제조인 서호수의 책임하에 관상감원 성주덕(成周應)과 김영(金泳)의 주도로 편찬된 《국조역상고》(이은희와 문중양 2004)에 따르면, 《칠정산》〈내편〉에 의한 역법은 1653년에 시헌력으로 변경되었지만, 시간제도의 변화는 그 후로도 우여곡절을 겪었다. 1725년에는 물시계의 시간을 시헌력의 중성(中星)으로 바꾸었고, 1754년에는 안국빈이 《누주통의》를 편찬하였

다. 1789년에는 김영(金泳)이 안국빈의 《누주통의》가 시현력과 대통력의 정통 계산법을 따르지 않았기 때문에 시현력에 따라 《신법중성기》와 《신법누주통의》를 저술했다. 1895년에는 태양력이 채택되어 경점법은 더 이상 쓰이지 않게 되었다.

고대 역법에서 말하는 밤[夜]이란 것은 저녁과 새벽의 박명 시간, 즉 혼명분을 뺀 시간이다. 현대의 박명(twilight)은 해가 진 이후로부터 해의 고도가 각각 -6° , -12° , -18° 가 되는 때까지를 각각 시민박명, 항해박명, 천문박명이라고 정의한다. 《국조역상고》(이은희와 문중양 2004)의 김영(金泳)의 설명에 따르면, 시현력법에서는 혼명분을 해의 고도가 -18° 가 되는 것을 기준으로 했다고 설명하고 있다. 이것은 현대의 천문박명(astronomical twilight)과 완전히 같은 개념이다. 표 1은 《국조역상고》에 설명된 각 시기의 시간제도에 대한 표이다. 혜성을 관측한 시간을 정확하게 변환하기 위해서는 시대마다 변한 시간 제도를 고려해 주어야 한다. 본 논문의 대상인 1664년 혜성의 경우, 시현력으로 변경하기는 하였으나 시간제도는 1725년에야 비로소 시현력으로 교체하였으므로 혼명분은 2.5각을 쓰면 될 것이다. 안상현과 박종우(2004)는 달가림 기록을 연구하여 경점법에 따른 시간 표현을 논의하였다. 본 연구에서 사용한 시간 변환 과정은 그들의 논문에 따랐다.

2.5 소수 표현의 교정

중국에서는 소수를 쓰지 않고 분수를 사용했다(潘內 1989). 12분법 분수 표현법은 다음과 같은 법칙으로 설명된다. 우선 1을 2등분하여 $1/2$ 를 반(半)이라 하고, $1/2$ 을 2등분한 것을 소(少)라고 하며, $1/2$ 과 1사이를 등분한 것을 태(太)라고 한다. 즉 $1/4$ 는 少, $2/4$ 는 半, $3/4$ 는 太로 쓴다. 여기에 강(強)과 약(弱)을 붙여서 $1/4$ 보다 작은 단위를 나타내는데, 強은 $+1/12$ 를 나타내고, 弱은 $-1/12$ 를 나타낸다. 少半太와 強弱을 차례로 조합하면 12분법의 소수 표현이 된다. 예를 들어, 소강(少強)은 $1/4+1/12=4/12=1/3$ 이 되며, 태약(太弱)은 $3/4-1/12=10/12=5/6$ 이 된다. 예를 들어, 고문헌의 “一度弱”이란 표현은 정확하게 번역하면 “1도에 약하다”가 되며, 숫자로는 $11/12$ 도가 된다.

潘內(1989)의 표에서 도약(度弱)을 $11/12$ 라고 한 것은 오해의 소지가 있다. 보통 “二度少弱”이라는 표현은 “ $2+小弱(3/12)$ ”을 뜻하는 것으로 해석한다. 그러나 “二度弱”은 “ $2+11/12$ ”을 뜻하는 것이 아니라 “ $2-1/12$ ”을 뜻한다. 옛 기록을 분석할 때 이 점을 주의해야 한다.

한편 《신편산학계몽³》〈총괄 명이명결(明異名訣)〉에는 또 다른 분수 표현이 정의되어 있다. 明異名訣이란 “다른 명칭을 밝히는 마디맺음”이라는 뜻인데, “각루(刻漏)에서 쓰는 숫자로서 정교하게 부르는 명칭이다”라고 덧붙여 설명하고 있다. 그 표현법을 논리적으로 살펴보면, 먼저 $1/2$ 을 뜻하는 半을 정의하고, 半을 수식하는 글자를 앞에 써서 분수를 나타낸다. 수식어는 少太弱強이 있는데, 少는 $-1/6$ 을 나타내고, 太는 $+1/6$ 을 나타내며, 弱은 $-1/4$ 을 나타내고, 強은 $+1/4$ 을 나타낸다. 이것을 조합하면, 少半은 $1/2-1/6=1/3$ 이 되고, 太半은 $1/2+1/6=2/3$ 가 된다. 또한 弱半은 $1/2-1/4=1/4$ 이 되고, 強半은 $1/2+1/4=3/4$ 이 된다. 그러나 우리 역사 속에 기록된 혜성의 위치는 이와 같은 표현으로는 기록되지 않은 것으로 보인다.

2.6 初度

혜성의 위치를 각도로 표시할 때 입수도에 흔히 나오는 표현이다. 이것은 수거성에서 1° 까지의 각도를 뜻한다. 쉽게 말해서 初度は 0° 를 뜻한다. 이것은 1861년 남병길 등에 의해 편찬된 성경에 나

³元나라의 朱世傑이 편찬한 것을 조선 전기에 세조 때 만든 금속활자인 을해자(乙亥字)로 출판한 것.

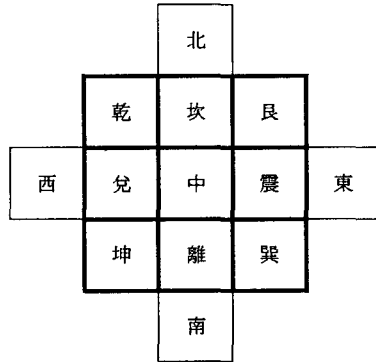


그림 1. 8괘 방위.

오는 별들의 좌표 가운데 初度로 표현된 별들의 위치를 연구해 본 결과도 이 사실을 지지해 준다(안상현 외 1996).

2.7 혜성의 위치

옛 기록에는 혜성의 위치를 여러 방식으로 기록하였다. 삼국시대 혜성 기록은 대부분 방위를 기준으로 묘사한 지평 좌표계를 사용했다. 삼국시대에는 주로 8방위 체제를 사용하였는데, 동서남북으로 표현한 경우가 많고, 때로는 중국 별자리를 기준으로 혜성의 위치를 표현하기도 했다. 후대에도 혜성의 위치를 8방위 체계로 기술하기도 하였는데, 이 경우에는 주로 8괘를 사용하였다. 앞으로 옛 천문 기록을 활용할 연구자를 위해 그림 1에 8방위와 8괘방위 변환도를 실는다.

혜성의 위치를 지평 좌표계로 나타냈다면, 관측 시간을 정확하게 알 수 있어야 적도좌표계로 변환이 가능하다. 그러나 삼국 시대 혜성 기록들은 혜성이 나타난 달(month)까지만 기록된 것이 대부분이고, 일부는 계절만 알 수 있다. 더욱이 시간까지 알 수 있는 경우는 없다. 이렇게 관측 시간이 불분명한 경우에는 혜성의 위치 정보를 활용하기가 불가능하다. 다만 동쪽에 나타났는지 서쪽에 나타났는지 만이 혜성의 궤도에 대한 단순한 정보를 준다. 반면, 별자리를 기준으로 혜성의 위치를 기술하는 것은 적도 좌표계를 쓴 것이지만, 대략 별자리의 크기인 10° 정도의 위치 오차를 갖고 있으므로 궤도 요소들 계산하는데 쓰기는 어렵다. 이런 경우는 1장에서 설명한 두번째 방법을 활용하는 것이 좋을 것이다.

시간이 지나 고려시대에는 날짜까지는 잘 알 수 있지만, 시간은 밤과 낮을 구분할 뿐이다. 반면에 조선 시대의 혜성 관측 기록에는 혜성을 관측한 시간을 알 수 있는 자료들이 상당히 존재하고, 그 위치도 거극도와 입수도로 나타낸 것이 여럿 있다. 거극도와 입수도는 안상현(2000)에 잘 설명이 되어 있는데, 거극도라는 것은 어떤 천체가 천구의 북극에서 떨어진 각거리를 나타낸다. 또한 황도와 적도를 따라 28수(宿) 별자리를 정해두고, 각각의 별자리를 이루는 별 가운데 가장 서쪽의 별을 그 별자리의 기준이 되는 별인 수거성(宿距星)으로 정했다. 다른 천체의 위치를 나타낼 때 적경에 해당하는 좌표값은 그 천체가 들어 있는 宿의 수거성에서부터 서에서 동으로 켜 각거리로 나타낸다. 적도 좌표계는 세차 운동 때문에 적경과 적위가 시간에 따라 변한다. 따라서 우리는 <예일 밝은 별 목록>

표 2. 28수 수거성의 적경과 적위(1665년 1월 1일 기준).

이름	HR	Bayer	R.A.		Dec.	
			h m s	°	° ' "	°
壁宿一	39	γ Peg	23 56 2	359.011	+13 19 8	13.319
奎宿一	271	η And	0 39 25	9.855	+21 35 48	21.597
婁宿一	553	β Ari	1 36 14	24.062	+19 8 45	19.146
胃宿一	801	35 Ari	2 23 56	35.984	+26 14 45	26.246
昂宿一	1142	17 Tau	3 25 5	51.273	+23 0 50	23.014
畢宿一	1409	ε Tau	4 9 7	62.282	+18 23 11	18.387
斗宿一	1879	λ Ori	5 16 42	79.178	+ 9 39 28	9.6580
參宿一	1948	ξ Ori	5 23 52	80.968	- 2 10 2	-2.167
井宿一	2286	μ Gem	6 2 41	90.672	+22 37 41	22.628
鬼宿一	3357	θ Cnc	8 12 24	123.104	+19 11 0	19.184
柳宿一	3410	δ Hya	8 19 52	124.969	+ 6 49 57	6.833
星宿一	3748	α Hya	9 11 6	137.779	- 7 14 6	-7.235
張宿一	3903	ν1 Hya	9 35 22	143.842	-13 17 58	-13.300
翼宿一	4287	α Crt	10 43 29	160.872	-16 31 36	-16.527
軫宿一	4662	γ Crv	11 58 38	179.661	-15 40 43	-15.679
角宿一	5056	α Vir	13 7 36	196.904	- 9 23 42	-9.395
亢宿一	5315	κ Vir	13 55 5	208.775	- 8 41 13	-8.687
저宿一	5531	α Lib	14 32 26	218.110	-14 36 51	-14.614
房宿一	5944	π Sco	15 38 41	234.674	-25 6 1	-25.100
心宿一	6084	σ Sco	16 0 55	240.230	-24 44 11	-24.737
尾宿一	6247	μ Sco	16 29 17	247.323	-37 24 39	-37.411
箕宿一	6746	γ Sgr	17 47 17	266.075	-30 21 59	-30.367
斗宿一	7039	φ Sgr	18 24 42	276.176	-27 16 34	-27.276
牛宿一	7776	β Cap	20 2 7	300.533	-15 47 41	-15.795
女宿一	7950	ε Aqr	20 29 29	307.372	-10 40 59	-10.683
虛宿一	8232	β Aqr	21 13 52	318.470	- 7 0 50	-7.014
危宿一	8414	α Aqr	21 48 33	327.138	- 1 55 25	-1.924
室宿一	8781	α Peg	22 48 6	342.027	+13 24 51	13.414

록(Yale Bright Star Catalogue)에서 28수의 각 수거성의 적경과 적위를 1665년 1월 1일을 기준으로 변환하고, 혜성의 적경과 적위는 이 기준별들의 좌표로부터 계산하였다. 이 변환에 사용된 28수 수거성의 1665년 적경과 적위는 표 2와 같다.

2.8 시간 및 좌표 변환의 예

다음의 예를 들어 시간과 변환 및 좌표 변환 방법을 살펴보자.

현종 5년 10월 14일 壬申 5更 軫宿 2度強, 去極 103度強 (軫宿A°度強, 去極Δ°)

현종 5년 10월 14일 임신일은 한보식(1987)의 음양력 변환표에 의하면 1664년 11월 30일이다. 이날 경점법에 따라 계산을 해 보면, 5경은 4^h1^m33^s부터 6^h28^m2^s까지이다. 따라서 LST로는 1664년 12월 1일 5^h15^m이다. 이것을 UT로 고치려면, $UT = LST - \phi/15^\circ$ 의 관계식에서 구한다. 여기서 ϕ 는 서울의 경도이며 137.°5이다. 이 UT를 JD(Julian Day)로 고치면, 2329159.366일이다. UT를 JD로 변환할 때 Meeus(1998)의 방법으로 구하였다. 진수의 거성은 표 2에서 보듯이 γ Crv이며, 혜성의 적경은 이 별의 적경에서 (A+強)° = (2+強)° = 2°.08를 더한 값이다. 여기서 強은 1/12임을 고려하였다. 이상을 종합하면 179°.661 = 12^h6^m58^s이다. 또한 혜성의 적위는 δ = 90° - Δ = -13°이다.

표 3. 현종 5년 혜성의 관측 자료를 현대적인 값으로 변환한 자료. 해와 지구 사이의 거리는 빛이 걸린 시간을 분(minute) 단위로 나타냈으나, 광속 $c=299792458\text{m/s}$ 과 $1\text{AU}=149597870691\text{m}$ 임을 고려하면 AU단위로 쉽게 변환할 수 있다.

년도	음력	양력	경	LT	UT	JD-	R.A. _☉	Dec. _☉	거리(min)	입수도	거북도	R.A.	Dec.
						2329000							
1664	10	10	무진	11/27	5경	5 11 41 20 43 45	155.364	16 38 22.98	-22 09 30.5	8.195568	彗宿4	106	12.244 -16.00
1664	10	13	신미	11/30	5경	5 14 1 20 46 5	158.365	16 51 26.66	-22 32 55.6	8.191909	彗宿3	104	12.177 -14.00
1664	10	14	임신	12/01	5경	5 14 48 20 46 52	159.366	16 55 48.94	-22 39 51.4	8.190781	彗宿2强	103强	12.116 -13.08
1664	10	23	신사	12/10	4경	2 53 32 18 25 36	168.268	17 34 55.20	-23 21 30.9	8.183132	彗宿初	109	11.977 -19.00
1664	10	24	임오	12/11	4경	2 54 6 18 26 10	169.268	17 39 21.21	-23 23 56.1	8.182471	彗宿初	109	11.977 -19.00
1664	10	25	계미	12/12	4경	2 54 40 18 26 44	170.269	17 43 47.43	-23 25 53.2	8.181847	彗宿17半	109	11.891 -19.00
1664	10	26	갑신	12/13	4경	2 55 14 18 27 18	171.269	17 48 13.82	-23 27 22.2	8.181258	彗宿17	109半	11.858 -19.50
1664	10	27	을유	12/14	4경	2 55 47 18 27 51	172.269	17 52 40.36	-23 28 22.9	8.180702	彗宿15	109半	11.725 -19.50
1664	10	28	병술	12/15	4경	2 56 21 18 28 25	173.270	17 57 06.99	-23 28 55.3	8.180179	彗宿13	109	11.591 -19.00
1664	10	29	정해	12/16	4경初	2 19 49 17 51 54	174.244	18 01 33.68	-23 28 59.4	8.179687	彗宿12	109	11.525 -19.00
1664	11	01	무자	12/17	4경初	2 20 21 17 52 25	175.244	18 06 00.40	-23 28 35.2	8.179227	彗宿11	109弱	11.458 -18.92
1664	11	02	기축	12/18	5경	5 26 20 20 58 24	176.374	18 11 00.64	-23 27 35.8	8.178575	彗宿9	110	11.325 -20.00
1664	11	03	경인	12/19	4경	2 58 29 18 30 33	177.271	18 15 04.96	-23 26 18.2	8.178338	彗宿8强	110	11.130 -20.00
1664	11	04	신묘	12/20	4경初	2 21 54 17 53 58	178.245	18 19 20.31	-23 24 32.5	8.178038	彗宿8强	111	10.930 -21.00
1664	11	05	임진	12/21	3경	0 31 6 16 3 10	179.169	18 23 24.30	-23 22 27.2	8.177786	彗宿18	112	10.789 -22.00
1664	11	06	계사	12/22	3경	0 31 36 16 3 40	180.169	18 27 50.58	-23 19 43.9	8.177489	彗宿14	114半	10.523 -24.50
1664	11	07	갑오	12/23	3경	0 32 6 16 4 10	181.170	18 32 16.66	-23 16 32.5	8.177230	彗宿11	115	10.323 -25.00
1664	11	08	을미	12/24	3경3점	0 32 36 16 4 40	182.170	18 36 42.51	-23 12 53.1	8.177009	彗宿7	113	10.056 -23.00
1664	11	09	병신	12/25	4경3점	0 3 26 18 33 30	183.273	18 41 41.61	-23 08 13.7	8.176713	彗宿1	116	9.656 -26.00
1664	11	10	정유	12/26	3경	0 33 36 16 5 40	184.171	18 45 33.37	-23 04 10.6	8.176692	彗宿初	117	9.185 -27.00
1664	11	11	무술	12/27	3경	0 34 6 16 6 10	185.171	18 49 58.32	-22 59 07.8	8.176599	彗宿4	116半	8.598 -26.50
1664	11	12	기해	12/28	3경2점	0 4 57 15 37 1	186.151	18 54 22.90	-22 53 37.6	8.176554	柳宿27	115	7.845 -25.00
1664	11	13	경자	12/29	2경2점	21 37 22 13 9 26	187.048	18 58 13.72	-22 48 27.0	8.176500	井宿9	113	6.645 -23.00
1664	11	13	경자	12/29	4경4점	3 32 48 19 4 52	187.295	18 59 20.44	-22 46 54.2	8.176468	井宿7	113	6.511 -23.00
1664	11	14	신축	12/30	1-2경	20 53 33 12 25 37	188.018	19 02 26.47	-22 42 22.6	8.176497	参宿2	109	5.531 -19.00
1664	11	14	신축	12/30	3경	0 35 34 16 7 38	188.172	19 03 10.87	-22 41 15.2	8.176615	参宿1半	108	5.498 -18.00
1664	11	15	임진	12/31	3경2점	0 6 28 15 38 32	189.152	19 07 34.20	-22 34 23.5	8.176725	畢宿10半	105	4.852 -15.00
1664	11	16	계묘	01/01	1경3점	19 40 53 11 12 57	189.967	19 11 01.81	-22 28 40.6	8.176686	昴宿9	98	4.018 -8.00
1664	11	17	갑진	01/02	1경	19 41 35 11 13 39	190.968	19 15 24.29	-22 21 01.1	8.176896	昴宿4半	92	3.718 -2.00
1664	11	18	을사	01/03	1경	19 42 17 11 14 21	9191.968	19 19 46.26	-22 12 55.2	8.177162	胃宿14	89	3.332 1.00
1664	11	19	병오	01/04	1경	19 43 0 11 15 4	192.968	19 24 07.71	-22 04 23.2	8.177482	胃宿11	86	3.132 4.00
1664	11	21	무술	01/06	1경	19 44 29 11 16 33	194.970	19 32 48.95	-21 46 01.8	8.178280	胃宿2强	83	2.538 7.00
1664	11	22	기유	01/07	1경	19 45 14 11 17 18	195.970	19 37 08.71	-21 36 12.9	8.178752	婁宿12	82	2.404 8.00
1664	11	23	경술	01/08	1경	19 45 59 11 18 3	196.971	19 41 27.86	-21 25 59.0	8.179269	婁宿10	81	2.271 9.00
1664	11	25	임자	01/10	1경	19 47 32 11 19 36	198.972	19 50 04.26	-21 04 16.9	8.180427	婁宿7	80	2.071 10.00
1664	11	26	계축	01/11	1경	19 48 19 11 20 23	199.972	19 54 21.48	-20 52 49.4	8.181062	婁宿5半	78强	1.971 11.92
1664	11	27	갑인	01/12	1경	19 49 7 11 21 11	200.973	19 58 38.00	-20 40 58.0	8.181733	婁宿4	78强	1.871 11.92
1664	11	28	을묘	01/13	1경	19 49 55 11 21 59	201.974	20 02 53.82	-20 28 43.1	8.182436	婁宿3半	78强	1.837 11.92
1664	11	29	병진	01/14	1경	19 50 43 11 22 47	202.974	20 07 08.92	-20 16 05.0	8.183172	婁宿3	77	1.804 13.00
1664	11	30	정사	01/15	1경	19 51 31 11 23 35	203.975	20 11 23.27	-20 03 04.0	8.183940	婁宿半	76	1.771 14.00
1664	12	01	무오	01/16	1경	19 52 20 11 24 24	204.975	20 15 36.87	-19 49 40.5	8.184737	婁宿2	76	1.737 14.00
1664	12	03	경신	01/18	1경	19 53 58 11 26 2	206.976	20 24 01.74	-19 21 47.4	8.186423	婁宿1强	75	1.676 15.00
1664	12	04	신유	01/19	1경	19 54 48 11 26 52	207.977	20 28 12.98	-19 07 18.5	8.187312	婁宿1	75	1.671 15.00
1664	12	05	임술	01/20	1경	19 55 37 11 27 41	208.978	20 32 23.42	-18 52 28.7	8.188231	婁宿1弱	75半弱	1.665 14.58
1664	12	06	계해	01/21	2경3점	22 20 20 13 52 24	210.078	20 37 04.42	-18 35 21.5	8.189466	婁宿初	77	1.604 13.00
1664	12	08	을축	01/23	1경	19 58 6 11 30 10	211.979	20 45 00.14	-18 05 16.3	8.191292	奎宿15半	75	1.690 15.00
1664	12	18	을해	02/02	1경	20 6 21 11 38 25	221.985	21 25 33.35	-15 10 01.3	8.203794	奎宿15半	75	1.690 15.00
1664	12	19	병자	02/03	1경	20 7 10 11 39 14	222.986	21 29 32.19	-14 50 58.6	8.205300	奎宿15半	75	1.690 15.00
1664	12	20	정축	02/04	1경	20 7 58 11 40 2	223.986	21 33 30.26	-14 31 40.8	8.206848	奎宿15	75	1.657 15.00
1665	01	06	계사	02/20	1경	20 20 26 11 52 30	239.995				是改甚減		

이날 해의 지심좌표는 JPL HORIZON이나 IDL subroutine으로 구하면, $\alpha_{\odot} = 16^h 41^m 43^s$, $\delta_{\odot} = -22^{\circ}.264$, $|r| = 0.984854\text{AU}$ 이다. 이와 같은 방법으로 현종 5년의 혜성 관측 기록을 시간은 UT와 줄리안 날수로 고치고, 혜성의 위치는 1665년 1월 1일 기준 적경과 적위로 변환하여 표 3에 실었다.

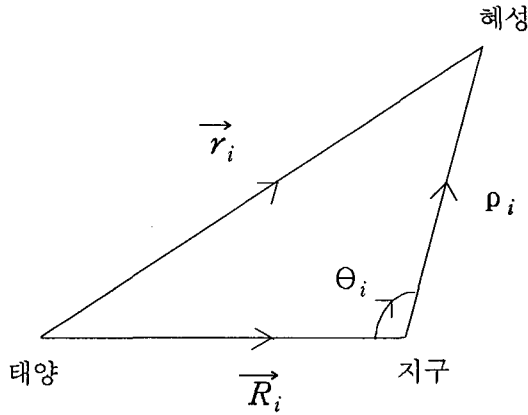


그림 2. 지구와 태양과 혜성 사이의 좌표와 각도.

3. 궤도 결정 방법 - OLBERS의 방법

혜성의 궤도 요소를 결정하기 위해서는 최소한 세 번에 걸쳐 혜성의 위치를 측정해야 한다. 측정 시간은 간격이 짧을수록 좋고, 비슷한 간격을 지나는 것이 좋다. 세 번의 혜성 위치 관측 자료를 가지고, 혜성의 궤도 요소를 구하는 방법에는 라플라스(Laplace)의 방법, 가우스(Gauss)의 방법, 올버스(Olbers)의 방법이 있다. 우리는 이 가운데 올버스의 방법을 사용하였다. 그 방법은 Boulet(1991)에 자세히 설명되어 있으며, 박성환(1982b)은 Dubyage(1961)에 설명되어 있는 올버스의 방법을 바탕으로 하여 혜성의 궤도를 계산하는 과정을 설명하였다. 본 논문에서는 박성환(1982b)의 논문에 제시된 계산 순서와 수식을 사용하여 계산하였다.

박성환(1982b)의 계산순서 중 필수적인 내용만 여기에 다시 정리해 보겠다. 우리가 구하고자 하는 궤도 요소는 다음과 같다.

- T : 혜성의 근일점 통과 시각
- q : 근일점의 거리(AU)
- ω : 근일점의 이각
- Ω : 승교점의 황경
- i : 혜성의 궤도와 황도면이 이루는 각도

그림 2는 지구, 태양 그리고 혜성의 위치를 나타낸 것이다. 먼저, 관측기록 당시의 세 번의 관측 시각과 일자를 UT와 JD로 환산한다. 세 번의 관측시각을 $t_i (i = 1, 2, 3)$, 각 시각에 관측된 혜성의 적경과 적위를 각각 α_i 와 δ_i , 태양의 지심좌표를 X_i, Y_i, Z_i 라고 하겠다. 여기서 $t_1 < t_2 < t_3$ 이다. 그림 2에서 지구 중심 좌표계에서의 혜의 위치 벡터 $\vec{R}_i = (X_i, Y_i, Z_i)$ 이며, 우리는 JPL에서 제공하는 HORIZONS나 IDL에서 제공하는 서브루틴으로 계산하였다. 그림 2에서는 혜성과 태양간의 좌표 (x_i, y_i, z_i) 이다. \vec{L}_i 를 지구 중심 좌표계에서의 혜성의 방향 벡터라고 하면, 다음과 같은 적도 좌표계

에서 관측한 혜성의 방향여현 (directional cosine)들로부터 $\vec{L}_i = (a_i, b_i, c_i)$ 는 식(1)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a_i &= \cos \delta_i \cos \alpha_i \\ b_i &= \cos \delta_i \sin \alpha_i \\ c_i &= \sin \delta_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

그리고 θ_i 는 지구에서 혜성 방향과 태양 방향의 각도이며, ρ_i 는 각 관측 시점에서 지구와 혜성 사이의 거리이다. 여기서 ρ_i 가 미지수이다.

혜성은 태양을 원점으로 하는 궤도 평면인 $A_x + B_y + C_z = 0$ 을 지난다. 이때 상수 A, B, C 를 구하면 식(2)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} A &= b_2 Z_2 - c_2 Y_2 \\ B &= c_2 X_2 - a_2 Z_2 \\ C &= a_2 Y_2 - b_2 X_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

혜성의 첫 번째 위치와 세 번째 위치 사이의 기하학적인 현의 거리 S_g 를 구하기 위해서 R_1, R_3 를 구하면 식(3)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} R_1^2 &= X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 \\ R_3^2 &= X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

그리고 r_1, r_3 와 θ_1, θ_3 는 식(4), (5)로부터 구해진다.

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= R_1^2 + 2R_1\rho_1 \cos \theta_1 + \rho_1^2 \\ r_3^2 &= R_3^2 + 2R_3\rho_1 M \cos \theta_3 + \rho_1^2 M^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} 2R_1 \cos \theta_1 &= -2(a_1 X_1 + b_1 Y_1 + c_1 Z_1) \\ 2R_3 \cos \theta_3 &= -2(a_3 X_3 + b_3 Y_3 + c_3 Z_3) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

그러면 기하학적으로 계산된 현의 길이는

$$S_g^2 = g^2 + 2gh\rho_1 \cos \chi + \rho_1^2 h^2 \quad (6)$$

가 되는데, $g, h, \cos \chi, M$ 은 식(7)과 같이 정의된다.

$$\left. \begin{aligned} g^2 &= (X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2 + (Z_1 - Z_3)^2 \\ 2gh \cos \chi &= 2\{(a_3 M - a_1)(X_1 - X_3) + (b_3 M - b_1)(Y_1 - Y_3) + (c_3 M - c_1)(Z_1 - Z_3)\} \\ h^2 &= (a_3 M - a_1)^2 + (b_3 M - b_1)^2 + (c_3 M - c_1)^2 \\ M &= -\left(\frac{r_1}{r_3}\right) \frac{Aa_1 + Bb_1 + Cc_1}{Aa_3 + Bb_3 + Cc_3} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

여기서 $r_1/r_3 = (t_3 - t_2)/(t_2 - t_1)$ 이다. 또한, Euler식으로부터 역학적인 현의 길이 S_d 를 구할 수 있다.

$$S_d = (r_1 + r_3)\eta\mu \quad (8)$$

여기서 η 와 μ 는 식(9)와 같이 정의된다.

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \frac{2k(t_3 - t_1)}{(r_1 + r_3)^{\frac{3}{2}}} \\ \mu &= 1 + \frac{1}{24}\eta^2 + \frac{5}{384}\eta^4 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

이 때 k 는 Gauss의 중력상수 ($0.0172021\text{AU}^{3/2}/\text{day}$)이다.

계산하는 순서를 정리해 보면, ρ_1 의 값을 가정하여 r_1 과 r_3 의 값을 구하고, 식(6)으로부터 구한 기하학적인 현의 길이 S_g 와 식(8)로부터 구한 역학적인 현의 길이 S_d 를 비교한다. 서로 다른 방법으로 구한 현의 길이가 같아질 때까지 ρ_1 의 값을 조정하여 반복 계산한다. $S_g = S_d$ 가 될 때의 ρ_1 의 값으로부터 ρ_3 를 식(10)과 같이 구한다.

$$\rho_3 = M\rho_1 \quad (10)$$

태양 중심 좌표계에서 본 행성의 첫 번째 위치와 세 번째 위치는 식(11)로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1\rho_1 - X_1, x_3 = a_3\rho_3 - X_3 \\ y_1 &= b_1\rho_1 - Y_1, y_3 = b_3\rho_3 - Y_3 \\ z_1 &= c_1\rho_1 - Z_1, z_3 = c_3\rho_3 - Z_3 \end{aligned} \quad (11)$$

그리고 새로운 변수 σ 를

$$\sigma = \frac{x_1x_3 + y_1y_3 + z_1z_3}{r_1^2} \quad (12)$$

라 하고, x_0, y_0, z_0, r_0, f 를 식(13)과 같이 정의한다.

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_3 - \sigma x_1 \\ y_0 &= y_3 - \sigma y_1 \\ z_0 &= z_3 - \sigma z_1 \\ r_0^2 &= x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 \\ \cos 2f &= \sigma \frac{r_1}{r_3} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

이 때 $2f = \nu_3 - \nu_1$ 이다. 또한 σ_1, σ_3 를 식(14), (15)와 같이 정의한다.

$$\sigma_1 \equiv \tan \frac{1}{2} \nu_1 = \cot f - \frac{\sqrt{r_1}}{\sqrt{r_3}} \operatorname{cosec} f \quad (14)$$

$$\sigma_3 \equiv \tan \frac{1}{2} \nu_3 = \tan \left(\frac{1}{2} \nu_1 + f \right) \quad (15)$$

이상과 같은 방법과 순서에 따라서 계산된 값들로부터 우리가 최종적으로 얻고자 하는 궤도요소들을 다음과 같이 구한다. 근일점의 거리 q 는 식(16)으로부터 얻는다.

$$q = \frac{r_1}{1 + \sigma_1^2} \quad (16)$$

그리고 근일점 이각 M_1, M_3 는 식(17), (18)과 같이 구해진다.

$$M_1 = \sqrt{2} \left(\sigma_1 + \frac{\sigma_1^2}{3} \right) \frac{1}{k} \quad (17)$$

$$M_3 = \sqrt{2} \left(\sigma_3 + \frac{\sigma_3^2}{3} \right) \frac{1}{k} \quad (18)$$

식(16), (17), (18)로부터 근일점 통과 시각 T 를 구하면

$$T = t_1 - M_1q^{3/2} = t_3 - M_3q^{3/2} \quad (19)$$

이다. 마지막 궤도요소들인 근일점의 편각 ω , 승교점의 황경 Ω , 혜성의 궤도와 황도면이 이루는 각도 i 를 구하기 위해, 근일점 방향의 단위벡터 $\vec{P}(P_x, P_y, P_z)$ 와 궤도면에 수직인 벡터성분 $\vec{Q}(Q_x, Q_y, Q_z)$ 를 식(20)과 같이 구한다.

$$\left. \begin{aligned} P_x &= x_1 \frac{\cos \nu_1}{r_1} - x_0 \frac{\sin \nu_1}{r_0}, & Q_x &= x_1 \frac{\sin \nu_1}{r_1} - x_0 \frac{\cos \nu_1}{r_0} \\ P_y &= y_1 \frac{\cos \nu_1}{r_1} - y_0 \frac{\sin \nu_1}{r_0}, & Q_y &= y_1 \frac{\sin \nu_1}{r_1} - y_0 \frac{\cos \nu_1}{r_0} \\ P_z &= z_1 \frac{\cos \nu_1}{r_1} - z_0 \frac{\sin \nu_1}{r_0}, & Q_z &= z_1 \frac{\sin \nu_1}{r_1} - z_0 \frac{\cos \nu_1}{r_0} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

그러면 ω, Ω, i 는 식(21)과 같이 얻어진다.

$$\left. \begin{aligned} \sin i \sin \omega &= P_z \cos \epsilon - P_y \sin \epsilon \\ \sin i \cos \omega &= Q_z \cos \epsilon - Q_y \sin \epsilon \\ \cos \Omega &= P_x \cos \omega - Q_x \sin \omega \\ \cos i &= -(P_x \sin \omega + Q_x \cos \omega) \operatorname{cosec} \Omega \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

여기서 ϵ 은 적도면에 대한 황도 경사각이다.

4. 결과 및 토론

올버스의 방법으로 혜성의 궤도를 계산하려면, 혜성의 위치를 세 번 관측한 자료가 필요한데, 박성환(1982b)은 현종 5년 10월 27일, 11월 9일, 11월 25일의 단 한 별의 관측 자료를 사용하여 혜성의 궤도를 계산하였다. 그러나 그의 연구는 날짜 변환에 약간 문제가 있고, 경점법에 의한 시간 표현을 현대의 시간제도로 변환하는데 정밀하지 못했으며, 옛 분수 표현법을 현대의 소수 표현법으로 변환하는데 약간의 실수가 있었으나, 본 논문에서는 이를 교정하였다.

우리는 90일 동안의 관측 자료에서 각각 시간간격 $\Delta t = 5$ 일, 10일, 15일, 20일, 30일인 여러 별의 자료 쌍들을 대상으로 혜성의 궤도 요소를 구하였다. 각 시간간격에 해당하는 궤도 요소들의 평균과 표준 편차를 구하였다. 그 결과를 표 4와 그림 3에 나타냈다. 표준편차가 가장 작은 $\Delta t = 20$ 일일 때의 결과를 현종 5년 혜성의 궤도 요소로 정하였다.

우리의 결과를 이전 연구와 비교해 보았다. 박성환(1982b)이 구한 궤도 요소와 비교하면 오차 범위 이내에서 일치함을 볼 수 있다. 반면에 Lindelof의 궤도 요소(Kronk 1999)와는 차이를 보인다. 이상의 결과를 종합하여, 우리는 현종 5년에 나타난 대혜성의 궤도 요소는 올버스의 방법으로 대략 계산해 본 결과, $e = 1$ 인 포물선 궤도라고 가정할 때,

$$\begin{aligned} q &= 1.07 \pm 0.008 \text{ AU} \\ T &= 2329165.50 \pm 0.72 \text{ 일} \\ \omega &= 318^\circ.22 \pm 2^\circ.29 \\ \Omega &= 85^\circ.23 \pm 2^\circ.53 \\ i &= 160^\circ.28 \pm 1^\circ.56 \end{aligned}$$

임을 알았다.

우리의 연구를 좀더 개선하기 위해 장래에 하고자 하는 일들이 있다. 첫 번째, 올버스의 방법에서는 기본적으로 하늘에 나타나는 혜성들이 대개 비주기 혜성들이며, 이러한 비주기 혜성들은 포물선 궤도를 그린다고 가정한다. 올버스의 방법은 관측 횟수가 많지 않을 때 사용하지만, 현종 5년의 대혜

표 4. 시간간격 Δt 를 다르게 하면서 구한 혜성의 궤도 요소.

연구자	q (AU)	T (UT)	ω	Ω (J1665)	i	e
박성환(1982b)	1.058	1664/12/7.7	317.2	83.2	159.9	1.0
Lindelof(1854)	1.02553	1664/12/4.983	310.675	86.063	158.697	1.0
<5일 간격>						
날짜	q	T	ω	Ω	i	
10/23-10/28-11/2	1.015	1664/12/05/12	323.6	89.8	157.0	
10/26-11/1-11/5	1.014	1664/12/08/00	326.6	89.1	157.5	
10/29-11/3-11/8	1.104	1664/12/10/12	306.7	72.2	165.3	
11/9-11/14-11/19	1.043	1664/12/07/06	316.7	86.2	158.2	
11/12-11/17-11/22	1.021	1664/12/07/06	315.1	85.8	160.3	
11/15-11/21-11/26	1.000	1664/12/06/12	314.8	87.7	156.7	
11/18-11/23-11/28	1.053	1664/12/11/00	320.9	85.9	159.6	
11/21-11/26-12/1	0.991	1664/12/07/18	315.6	88.9	159.7	
11/25-11/30-11/28	0.934	1664/12/22/00	329.8	72.4	172.3	
평균 q = 1.01916 ± 0.03019 AU		T = 2329167.00 ± 5.00일				
$\omega = 318^\circ.89 \pm 7^\circ.07$		$\Omega = 84^\circ.23 \pm 6^\circ.92$		$i = 160^\circ.74 \pm 5^\circ.06$		
<10일 간격>						
날짜	q	T	ω	Ω	i	
10/24-11/3-11/13	1.066	1664/12/15/00	322.9	82.6	161.6	
11/1-11/11-11/21	1.084	1664/12/14/18	326.3	85.5	160.2	
11/6-11/16-11/26	1.085	1664/12/13/18	326.2	86.7	156.3	
11/12-11/22-12/1	1.055	1664/12/11/00	321.7	87.2	156.9	
11/16-11/26-12/6	0.922	1664/12/05/00	308.4	88.2	167.9	
11/21-12/1-12/8	0.907	1664/12/09/18	314.3	83.2	168.1	
평균 q = 1.02 ± 0.08 AU		T = 2329168.75 ± 3.85일				
$\omega = 319^\circ.96 \pm 7^\circ.16$		$\Omega = 85^\circ.57 \pm 2^\circ.26$		$i = 161^\circ.84 \pm 5^\circ.14$		
<15일 간격>						
날짜	q	T	ω	Ω	i	
10/27-11/9-11/25	1.070	1664/12/10/18	320.7	84.3	160.7	
10/23/11/7-11/22	1.048	1664/12/06/06	314.7	83.1	161.0	
11/1-11/16-12/1	1.084	1664/12/13/00	325.6	87.4	159.0	
11/5-11/21-12/5	1.063	1664/12/07/06	317.4	85.4	159.3	
11/12-11/27-12/8	0.959	1664/12/01/18	307.4	86.7	161.7	
11/21-12/6-12/20	0.938	1664/12/07/00	310.4	90.0	167.3	
평균 q = 1.03 ± 0.04 AU		T = 232916.75 ± 3.89일				
$\omega = 316^\circ.02 \pm 6^\circ.68$		$\Omega = 86^\circ.14 \pm 2^\circ.43$		$i = 161^\circ.48 \pm 3^\circ.02$		
<20일 간격>						
날짜	q	T	ω	Ω	i	
10/10-10/29-11/19	1.076	1664/12/08/06	316.1	81.8	162.6	
10/24-11/13-12/3	1.057	1664/12/09/00	321.5	87.9	159.3	
11/1-11/21-12/8	1.067	1664/12/07/12	317.8	85.8	160.1	
11/5-11/25-12/8	1.069	1664/12/07/12	317.5	85.4	159.2	
평균 q = 1.07 ± 0.008 AU		T = 2329165.50 ± 0.72일				
$\omega = 318^\circ.22 \pm 2^\circ.29$		$\Omega = 85^\circ.23 \pm 2^\circ.53$		$i = 160^\circ.28 \pm 1^\circ.56$		
<30일 간격>						
날짜	q	T	ω	Ω	i	
10/10-11/10-12/8	1.074	1664/12/06/06	318.0	85.9	161.6	
10/13-11/12-12/8	1.094	1664/12/08/18	322.3	87.7	163.8	
10/23-11/22-12/20	1.012	1664/11/28/00	304.5	80.4	162.0	
평균 q = 1.06 ± 0.003 AU		T = 2329161.75 ± 5.63일				
$\omega = 314^\circ.95 \pm 9^\circ.33$		$\Omega = 84^\circ.70 \pm 3^\circ.81$		$i = 161^\circ.47 \pm 1^\circ.20$		

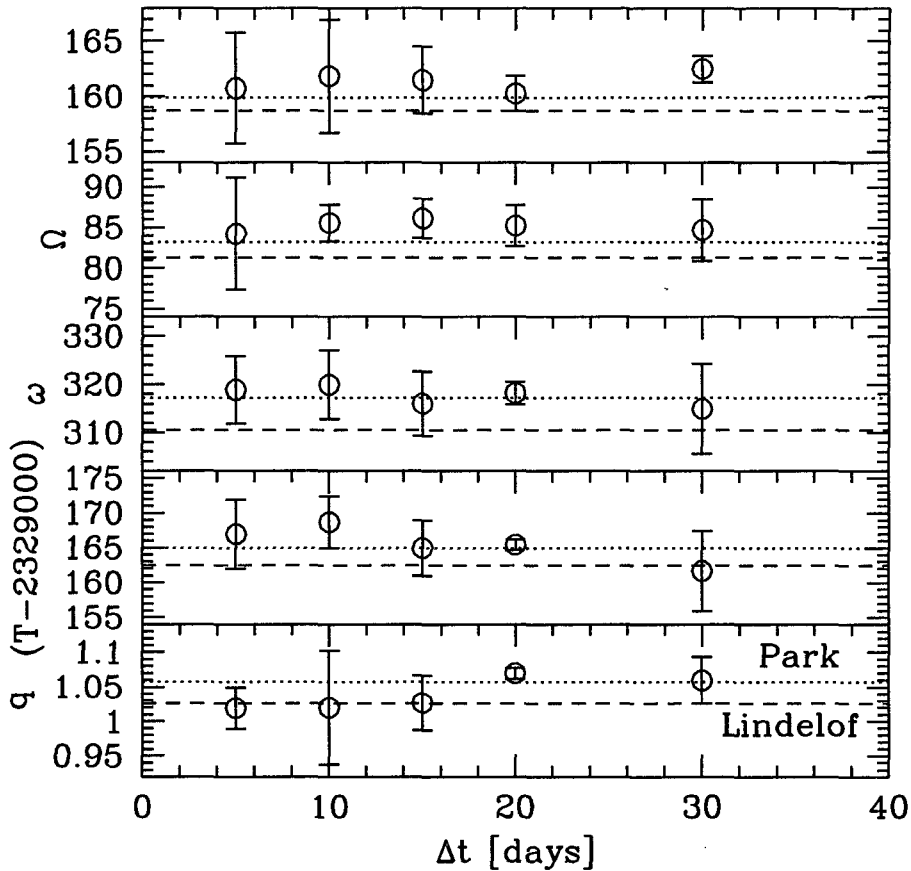


그림 3. 일정한 시간간격 Δt 를 갖는 관측 자료 쌍으로부터 구한 궤도 요소 가운데 근일점 거리(perifocal distance) q , 근일점 통과 시각 T , 승교점과 근일점의 이각(argument of the perifocus) ω , 승교점의 황경 Ω , 혜성의 궤도와 황도면이 이루는 각도 i . 하나의 시간 간격에 대해 여러 쌍의 자료가 존재하므로 그 결과들의 표준 편차로 오차를 삼았다. 각 그래프에 있는 가로 점선은 박성환(1982b)의 결과를 나타내며, 가로 파선은 Lindelof의 결과(Marsden 1979)를 나타낸다.

성 기록은 자료가 자세하고 풍부하므로 타원궤도($e < 1$)나 쌍곡선 궤도($e > 1$)일 가능성도 배제하지 않고 궤도 요소를 찾는 가우스(Gauss)의 방법 등을 사용해서 혜성의 궤도를 결정해 보아야 할 것이다. 두 번째, 현종 5년의 대혜성 기록에 대해 최적 궤도(optimized orbit)를 찾는 일을 시도해야 할 것이다. 세 번째, 만일 현종 5년의 대혜성이 주기 혜성라면 그 이전 회귀가 역사 기록으로 증명될 수 있는지도 흥미로운 문제가 될 것이다.

감사의 글: 본 연구는 한국학술진흥재단의 2004년도 기초과학연구 지원사업 KRF-2004-015-C00212에 의해 재정 지원을 받았음. 혜성 궤도 결정에 관한 책을 빌리는데 도움을 준 연세대학교의 정성욱씨께 감사한다.

참고문헌

- 나일성 1978, 동방학지, 24, 209
- 나일성 1979, 천문학회지, 12, 35
- 박동현 1963, 한국연구원논총, 2, 179
- 박성환 1982a, 동방학지, 19, 233
- 박성환 1982b, 한국과학사학회지, 4, 52
- 박소연 2005, 석사학위논문, 서울대학교
- 안상현 2000, 우리가 정말 알아야 할 우리별자리 (서울: 현암사), pp.26-74
- 안상현, 박종우 2004, 한국우주과학회, 21, 505
- 안상현, 박창범, 유경노 1996, 한국과학사학회지, 18, 3
- 이면우, 허운섭, 박권수 역주, 성주덕 편저 2003, 서운관지 (서울: 소명출판)
- 이은희, 문종양 역주, 서호수, 성주덕, 김영 편저 2004, 국조역상고 (서울: 소명출판)
- 전상운 1970, 한국천문기상학사 한국문화사대계 III (서울: 고려대학교 민족문화연구원), pp.660-663
- 한보식 1987, 한국년력대전 (대구: 영남대학교 출판부)
- 北京天文臺 1988, 中國古代天象記錄總集 (江蘇: 江蘇科學技術出版社)
- 潘内(Fan Nai) 1989, 中國恒星觀測史 (上海: 學林出版社), pp.88-89
- 神田武(Kanda Shigeru) 1935, 日本天文史料綜覽 (東京: 原書房)
- 大崎正次(Ozhaki Masaji) 1994, 近世日本天文史料 (東京: 原書房)
- 關口鯉吉(Sekiguchi Rigichi) 1917, 朝鮮古代觀測記錄調查報告, 朝鮮古記錄中 彗星 (仁川: 朝鮮總督府觀測所)
- Boulet, D. L. 1991, Methods of Orbit Determination for the microcomputer (Richmond: Willmann-Bell Inc.)
- Dubyage, A. D. 1961, The Determination of Orbits (New York: McMillan Co.)
- Hasegawa, I. & Nakano, S. 1995, PASJ, 47, 699
- Ho, P. Y. 1962, Vistas Astron., 5, 127
- Kronk, G. W. 1999, Cometography: a catalogue of comets vol.1 (Cambridge U.K.: Cambridge Univ. Press)
- Marsden, B. G. 1973, AJ, 78, 654
- Marsden, B. G. 1979, Catalogue of Cometary Orbits 3rd ed. (Cambridge MA: Smithson. Astrophys. Obs.)
- Meeus, J. 1998, Astronomical Algorithms 2nd ed. (Richimond: William-Bell Inc.)
- Yau, K., Yeomans, D., & Weissman, P. 1994, MNRAS, 266, 305
- Yeomans, D. K. 1981, MNRAS. 197, 633