

남병철의 혼천의 연구 II: 『의기집설』에 나오는 <혼천의용법>의 역해설

김상혁^{1†}, 이응삼², 남문현³

¹중앙대학교 과학학과, ²충북대학교 천문우주학과, ³건국대학교 전기공학과

ON THE ARMILLARY SPHERE OF NAM BYEONG-CHEOL-II: Translation of a chapter on how to use an armillary sphere in Uigijipseol

Sang-Hyuk Kim^{1†}, Yong-Sam Lee², and Moon-Hyon Nam³

¹Department of Science of Sciences, Chung-Ang University

²Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University

³Department of Electrical Engineering, Konkuk University

E-mail: leeysam@hanmail.net

(Received October 24, 2005; Accepted December 12, 2005)

요 약

『의기집설(儀器輯說)』의 <혼천의설(渾天儀說)>, <혼천의제법(渾天儀製法)>에 이어서 이 논문에서는 <혼천의용법(渾天儀用法)>을 연구하였다. <혼천의용법>의 원문을 해석하여 혼천의의 설치, 관측 및 사용법, 천문이론과 계산방법 등을 15개 항목으로 정리하였다. 그리고 원문에서 제시하고 있는 그림을 이해하기 쉽도록 표현하였고 풀이과정을 상세히 기술하였다. 혼천의 사용법에서 소개하고 있는 천문학적 계산방법은 주로 구면 삼각법과 비례법을 이용하고 있으며, 천문학적 이론이나 계산과정을 체계적으로 자세하게 다루고 있어 당시의 천문과학 수준을 알아 볼 수 있었다.

ABSTRACT

This study is about <Honcheonui-yongbeop(Instructions for Use of an armillary sphere)>, which constitutes Honcheonui(an armillary sphere) part of 『Uigijipseol』 (Volume I) together with <Honcheonui-seol> and <Honchoenui-jebeop>-dealt with earlier than this subject. The study's construction on the text of <Honcheonui-yongbeop> is organized into 15 categories, including installation, observations, instructions for use, astronomical theories and formulas, etc. This study provides easy-to-understand illustrations of the figures shown in the original and contains detailed descriptions of the related calculation procedures. In the “Instructions for Use of Honcheonui” discussed here, the readers are introduced to astronomical computation systems, mainly based on spherical trigonometry and proportional methods. The section also provides systematic and detailed reviews of astronomical theories and calculation procedures, allowing you to assess the level of astronomy knowledge at that time.

Keywords: Honcheonui, Jaegeukgwon, Nam Byeong-Cheol, Uigijipseol

[†]corresponding author

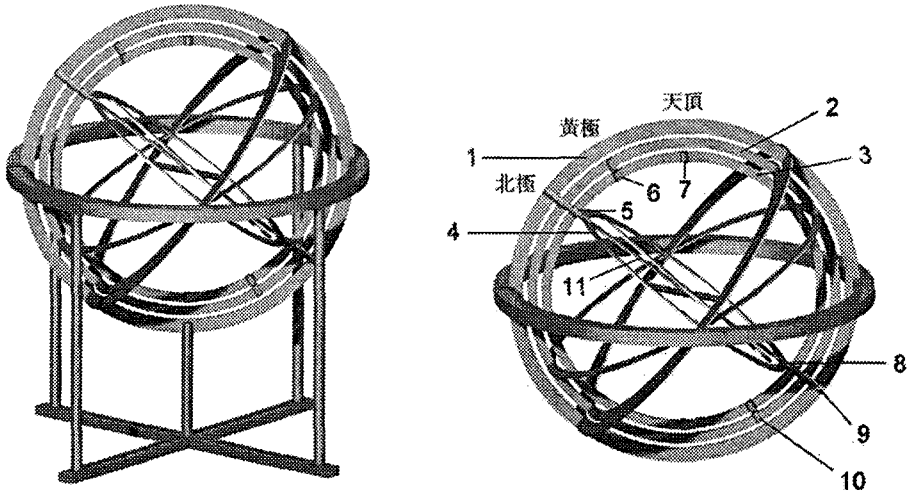


그림 1. 남병철 혼천의 모델과 주요 부품구성도. 1. 자오권, 2. 삼진권, 3. 재극권, 4. 사유권, 5. 적극궁, 6. 황극궁, 7. 천정극궁, 8. 사유환축, 9. 남북극천경지축, 10. 황극삼진권극축, 11. 직기

1. 서론

『의기집설(儀器輯說)』은 조선후기 천문학자 남병철(南秉哲, 1817~1863)이 서양과학기술에 대한 지식을 바탕으로 편찬한 천문과 여러 측정기구의 제작법과 사용법을 다룬 책이다. 『의기집설』 상권은 고대로부터 오랜 기간동안 일(日)·월(月)·5행성(五行星) 등 천체를 관측해 오던 ‘혼천의’를 다루고 있다. 「혼천의」의 기술은 <혼천의설>, <혼천의제법>, <혼천의용법>의 세 부분으로 되어 있다. 우리는 앞서 <혼천의설> 연구를 통해 역대 중국에서 혼천의의 제작과 관련하여 역사적인 변천 과정과 새로운 혼천의를 제작하게 된 동기와 경위, 혼천의 구조상의 특징을 알아보았다. 또한 <혼천의제법> 연구에서는 제작방법을 연구하여 혼천의의 주요부품을 설계하고 혼천의의 3D Modeling & Rendering 작업(그림 1)을 통하여 전체적인 혼천의 형태를 나타내었고 남병철 혼천의의 구조로 살펴볼 수 있는 특징적인 구성을 살펴보았다(이용삼 등 2001).

남병철은 박학다식하고 문장에 능하였을 뿐 만 아니라 수학에 뛰어났다. 1837년(헌종 3) 정시문과(庭試文科) 병과(丙科)에 합격하였고 규장각 대교를 거쳐 1851년(철종 2)에 승지가 되고, 이어서 규장각 제학, 예조, 공조, 형조, 이조판서를 거쳐 대제학에 올랐으며, 관상감제조도 겸하였다. 만년에는 한성부판윤, 광주유수 등의 외직을 거친 경화사족(京華士族) 출신의 관료였다. 따라서 『의기집설』은 아마도 관상감 제조를 맡았던 시기에 간행되었을 가능성이 높다. 그는 혼천의와 기계시계인 험시의(驗時儀)를 직접 제작하는 등 높은 천문학 지식과 의기 제작 기술을 지녔다. 또한 규장각에서 오래 근무하면서 한역 서양 과학서들을 자유롭게 접할 수 있어 서양과학에 대한 남다른 지식을 갖고 있었으며, 그의 동생인 남병길, 당대의 저명한 수학자인 이상혁(李尙熾), 친구이며 과학자인 박규수(朴珪壽, 1807-1877) 등과 천문의기 제작과 관측에 있어서 서로 교류가 있었다(김명호 1996). 남병철의 저작으로는 『규재유고』를 비롯하여 『해경세초해(解鏡細草解)』, 『추보속해(推步續解)』 등이 있다.

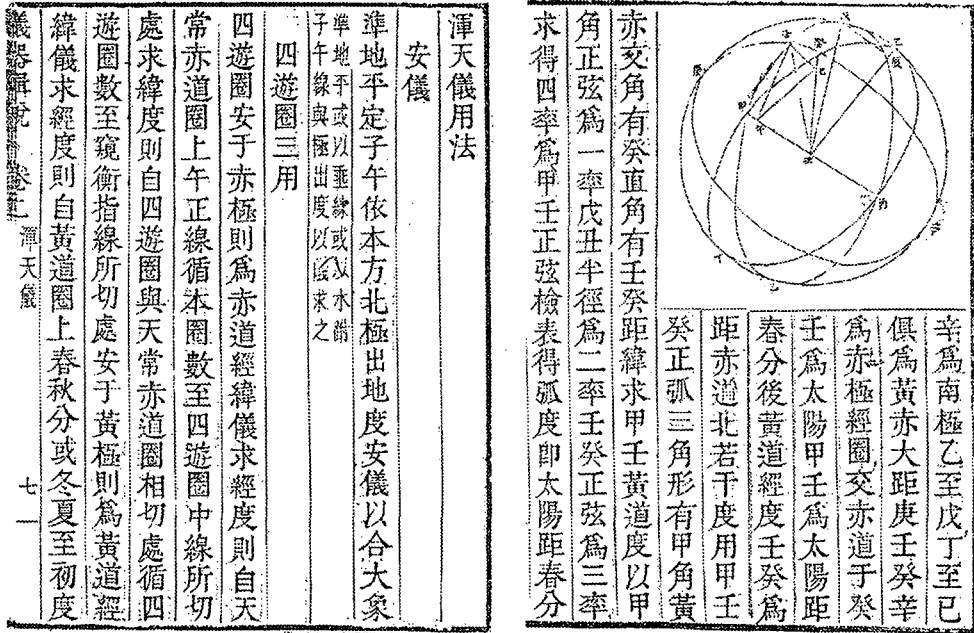


그림 2. 의기집설 상권에 기술된 <혼천의용법>의 원문내용.

본 논문에서 다룬 <혼천의용법>은 「의기집설」 상권 마지막 부분에 기술되어 있는 것이다. <혼천의제법>에서 연구되었던 혼천의 구조와 기능을 검증하였고 당시의 천문이론과 계산법을 살펴볼 수 있었다.

2. 혼천의 계산의 기본개념과 용법항목

「의기집설」 상권 「혼천의」 중 <혼천의용법> (그림 2)에 등장하는 천문관측과 계산 및 이론은 주로 구면 삼각법과 비례식을 이용하였으며 이에 대한 기본 개념을 정리하였다. 또한 혼천의의 사용법 항목을 알기 쉽게 풀이하여 나타내었다.

그림 3과 같이 단위 원 위의 점 $P(x, y)$ 를 원점과 이어, x축의 양의 방향과 이루는 각을 θ 라고 놓으면, θ 가 결정될 때마다 x, y 가 정해지게 된다. 이때 함수 $\theta \rightarrow x$ 와 $\theta \rightarrow y$ 를 각각 여현(cosine) 함수, 정현(sine) 함수라 하며 $x = \cos \theta, y = \sin \theta$ 로 나타낸다. 또한 표 1과 같이 <혼천의용법>에 나오는 6개의 삼각함수 용어를 정리하였다. 이러한 삼각함수는 서양 선교사들이 중국에 가져온 서양역법인 「승정역서(崇禎曆書)」 등에서 사용한 방법이다(藪內清 1974). 적도대원(赤道大圓)의 반원에서 90도 보다 큰 호장(弧長, 호의 길이)을 끼고 있는 현(弦)을 대시(大矢)라 하고, 90도 보다 작으면서 그와 마주한 현을 정시(正矢)라고 한다.

본문에서 호(弧)와 각(角)의 표현은 표 2와 같이 나타내었다. 그리고 <혼천의용법>에서 소개하고 하는 혼천의 사용법을 각 항목별로 정리하여 표 3과 같이 나타내었다.

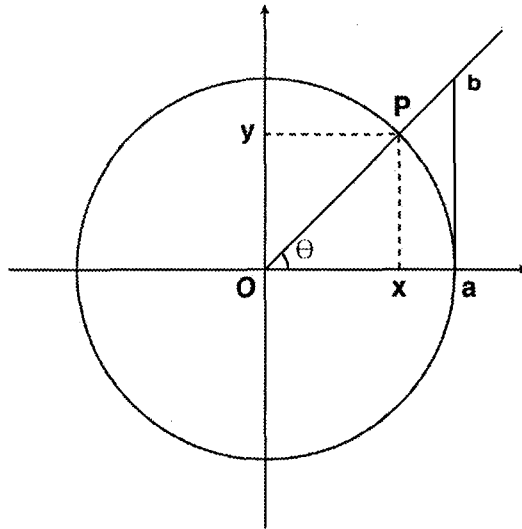


그림 3. 삼각함수 정리. $x = \cos \theta$: 여현(餘弦), $y = \sin \theta$: 정현(正弦), $\sin \angle P-a = \text{정현} \angle P-x$, $\cos \angle P-a = \text{여현} \angle P-y$, $\tan \angle P-a = \text{정절} \angle a-b$

표 1. <혼천의용법>의 삼각함수 용어.

용어	정현(正弦)	여현(餘弦)	정절(正切)	여절(餘切)	정할(正割)	여할(餘割)
삼각함수	sine	cosine	tangent	cotangent	secant	cosecant

표 2. 호(弧)와 각(角)의 표현.

용어	수학적 표기	본문	원문
호(弧)	\frown	호<甲-乙>	甲乙弧
각(角)	\sphericalangle	각<甲-辛-丁>	甲辛丁角

3. 혼천의 사용방법

<혼천의용법>은 혼천의의 사용 방법을 설명하고 있다. 이 책에는 기기의 설치, 사유권의 세가지 용도, 남·북 방향을 측정하는 진선(眞線), 북극 출지 고도 측정 등 총 37항목의 사용법이 나와 있다. 본문에서는 기본적인 혼천의 사용법 및 측정방법 등 15항목의 원문을 번역하여 설명하였다. 원문은 직역을 중심으로 표현하였고 의미 전달을 위해 의역과 역주를 달아 풀이 하였다. 또한 이해를 돕기 위하여 원문의 그림을 알기 쉽도록 표현하였다.

3.1 기기의 설치: 안의(安儀)

혼천의 받침대와 지평환을 편평하게 설치해 놓은 다음, 자오환을 남북 방향으로 맞추고, 한양의 북극출지고도(北極出地高度)에 맞게 혼천의의 극축 고도를 조정하여 설치한다. 수평을 조정하는 방

표 3. <혼천의용법>의 항목들.

항 목	내 용
안의(安儀)	혼천의로 관측하기 위한 수평 조정과 극축 조정
사유권삼용(四遊圈三用)	사유권을 적극, 황극, 천정극으로 변환하여 사용하는 측정법
측남북진선(測南北眞線)	정확한 남·북 방향을 측정하기 위한 진선(眞線)의 결정법
측북극출지도(測北極出地度)	북극고도의 측정
측북극출지도 산법(算法)	북극고도의 측정 계산법
측적도고도(測赤道高度)	하늘의 적도 고도 측정
측적도고도 산법(算法)	하늘의 적도 고도 측정 계산법
측태양전도(測太陽前度)	황도상에서 태양의 위치 측정
측태양전도 산법(算法)	황도상에서 태양의 위치 측정 계산법; 정오에 태양 적위를 관측하여 황도경도 계산
측태양시각(測太陽時刻)	현재의 태양 위치로 시각을 측정
측태양시각 산법(算法)	현재의 태양 위치로 시각을 측정하는 계산법
측태양출입시각급주야영단 (測太陽出入時刻及晝夜永短)	지평에서 태양의 출입 시각과 낮과 밤의 길이 측정
측태양출입시각급주야영단 산법(算法)	지평에서 태양의 출입 시각과 낮과 밤의 길이 측정 계산법
측태양적경위도(測太陽赤經緯度)	태양의 적경과 적위 측정
측태양적경위도 산법(算法)	태양의 적경과 적위 측정 계산법; 태양의 적위로 적경을 구함

법으로는 연수선(鉛垂線)[역주: 납을 실에 매달아 아래로 떨어뜨리는 장치]을 사용하거나, 받침대의 물 홈(水渠)에 물을 채워 사용할 수 있다.

3.2 사유권의 세 가지 사용법: 사유권삼용(四遊圈三用)

사유권의 극축을 3가지 용도로 적극(赤極), 황극(黃極), 천정(天頂)의 극공(極孔)에 설치하면 적도경위의(赤道經緯儀), 황도경위의(黃道經緯儀), 지평경위의(地平經緯儀)로 사용할 수 있다(그림 1 참고). 첫 번째 방법으로 사유권 극축을 적도의 극공에 삽입하면 적도경위의가 된다. 적도의 경도(經度)를 구하려면 천상적도권의 오정(午正) 지점에서부터 천상적도권을 따라 천상적도권이 사유권과 서로 맞물리는 지점까지 세어나간다. 두 번째, 사유권의 극축을 황도의 극공에 삽입하면 황도경위의가 된다. 황도의 경도를 구하려면 황도권의 춘분·추분 또는 동지·하지의 초도점(初度點)부터 황도권을 따라 오른쪽으로 회전하여 사유권의 중선과 서로 맞물리는 지점까지 세어나간다. 황도의 위도를 구하는 경우에는 사유권이 황도권과 교접하는 지점에서부터 사유권을 따라 규형의 지시선이 사유권과 교접하는 지점까지 세어나간다. 세 번째, 사유권의 극축을 천정의 극공에 삽입하면 지평경위의가 된다. 지평의 경도를 구할 때는 지평권의 정오 지점에서부터 지평권을 따라 지평권이 사유권의 중선과 교접하는 지점까지 세어나간다. 지평의 위도를 구할 때는 사유권이 지평권과 서로 교접하는 곳으로부터 사유권을 따라 규형의 지시선이 사유권과 교접하는 지점까지 세어나간다.

3.3 자오선 방향의 측정: 측남북진선(測南北眞線)

방향을 판별하고 위치를 정하는 것은 역법(曆法)과 성상(星象)을 연구함에 있어서 먼저 선행되어야 한다. 따라서 남·북의 방향을 먼저 확정된 후 중성을 관측하면 태양의 운행 도수를 추산할 수 있다. 남·북 방향의 대략적인 위치는 쉽게 알 수 있지만 선(線)을 세워 방향을 정하는데 있어 미세한 오차도 없어야 하며 이 때, 확고부동한 진선(眞線)을 얻어낼 수 있다. 가령 자석을 이용하는 경우, 어느 한쪽으로 치우칠 수 있으며, 그 치우친 각도 역시 지역에 따라 달라질 수 있다. 따라서 남·북 진선을

구하려면 반드시 측정하여 표준으로 삼아야 한다.

3.3.1 태양을 이용한 자오선 방향의 결정법

우선 앞서 소개한 방법에 따라 의기를 설치한다. 그런 다음, 태양이 지평선에서 막 떠오를 때, 혼천의 자오환을 기준으로 오정으로부터 동쪽으로 떨어진 적도도수(赤道度數)를 측정하고, 다시 태양이 막 지평선으로 질 때 오정에서 서쪽으로 떨어진 적도도수를 측정한다. 태양이 지평선에서 나오고 들어간 시각이 오정시각과 몇 시간 몇 분이나 떨어졌는가를 가지고서 적도도(赤道度)를 삼는데, 이것이 바로 태양이 지평을 드나드는 것으로 오정에서 떨어진 적도도이다. 가령 춘분일과 추분일의 경우, 태양은 묘정(卯正)에서 떠오르는데, 묘정에서 오정까지가 오동적도도(午東赤道度)이다. 또 태양은 유정(酉正)에서 지는데, 오정에서 유정까지가 오서적도도(午西赤道度)이다. 만약 동·서 두 개의 거오도(距午度)를 측정하여 서로 같은 경우에는 의기가 지시하는 자오권의 방향이 구하려는 남·북의 진선이다. 측정결과, 오동도(午東度)가 크고 오서도(午西度)가 작은 경우에는 자오권이 서쪽으로 치우쳤음을 의미하고, 오동도가 작고 오서도가 큰 경우에는 자오권이 동쪽으로 치우쳤음을 의미한다. 이처럼 동서 두 개의 거오도수(距午度數)를 상쇄하여 줄어든 수를 반으로 나누면 의기의 자오권이 자오선에서 벗어난 적도경도(赤道經度)가 된다. 이 벗어난 도수에 의거하여 자오권과 일치한 방향으로 선을 그으면 이것이 바로 구하려는 남·북의 진선이 된다.

3.3.2 항성(恒星)을 이용한 자오선 방향의 결정법

사유권의 극축을 천정의 극공에 삽입하고, 규형을 사용하여 임의의 밝은 항성 하나를 조준하여 동쪽에 있을 때, 그것의 고도와 지평경도를 측정한다. 그리고 그 항성이 서쪽으로 움직여 동일한 고도에 위치하기를 기다려 다시 그것의 지평경도를 측정하여 이 두 경도의 차수(差數)를 반으로 나누면, 이것이 바로 남·북 방향에서 벗어난 지평경도가 된다. 이것을 혼천의를 움직여 자오권 방향과 일치시켜 선을 그으면 남·북 방향의 진선이 된다.

3.4 북극고도의 측정: 측북극출지도(測北極出地度)

하늘에서 북극은 일정한 지점이 된다. 그러나 북극과 지평과의 각 거리는 위도에 따른 차이를 지니는데, 이는 사람들의 거주 위치가 남·북으로 차이가 있기 때문이다. 북극고도의 차이는 지역에 따른 주야(晝夜)의 장단, 추위와 더위의 진퇴, 그리고 태양과 달을 비롯한 각종 천체들의 천정으로부터 거리 차(각 거리)가 생기게 된다. 북극 출지가 높은 경우는 거주지가 북극에 가깝고 겨울과 여름의 밤과 낮 길이가 큰 차이를 보이며, 추위와 더위의 변화 또한 극심하고, 태양과 달을 비롯한 운행되는 모든 천체가 황도상의 위치를 하강하여 천정에서 아주 멀어지게 된다. 사실, 북극 출지 고도는 적도가 천정에서 떨어진 도수와 정확하게 일치한다. 만약 측정이 정밀하지 못하여 측정된 북극고도가 1분(分)의 차이만 있게 되더라도 춘분과 추분의 추산 시각이 실제와 1시간의 차이가 나게 되고, 동지와 하지의 경우는 하루 내지 이들의 차이가 나게 된다. 추산해 낸 태양의 행도가 정확하지 못하다면 추산된 달과 5행성의 경도 및 위도가 실제 위치와는 상당한 차이를 보이게 된다. 따라서 반드시 세밀하게 북극 출지 고도를 측정해야 한다.

3.4.1 태양을 이용한 북극 출지 고도 측정

의기 설치법에 따라 기기를 설치하고, 해당일의 황도상에서의 태양 경도를 계산한다. 삼진의의 황도권에서 상응하는 위치를 찾아 이를 자오권의 중선에 맞춘다. 그런 다음 오정의 시각이 되기를 기다려서 태양 빛이 황도권의 내벽(内壁)을 전혀 비추지 못하게 되었을 때를 맞춘다. 만약 황도권의

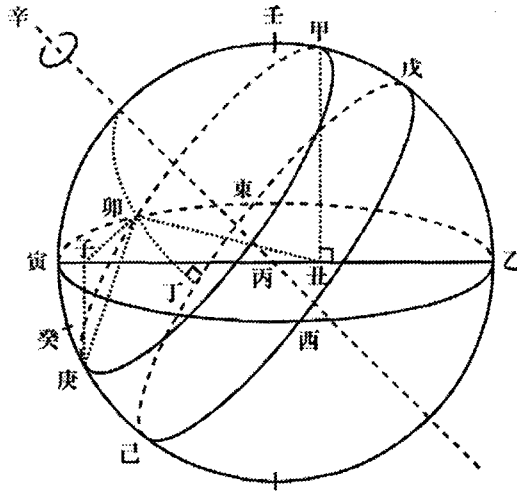


그림 4. 북극출지고도 측정법.

내부에 아직 태양 빛이 비춘다면, 태양 빛이 자오권의 내벽을 비추지 않을 때까지 육합의 자오권을 지평권과 마주하여 위아래[역주: 중국 혼천의의 하나인 삼진공귀의는 자오권과 지평권이 고정되어 있지 않기 때문 극 고도에 따라 움직일 수 있는 형태인데, 이러한 형식의 것을 설명한 것으로 보인다. 실제로 남병철의 혼천의의 구조는 <혼천의제법>에서 언급했듯이 육합의 부분이 고정된 형태로 본문의 설명과는 차이가 있다.]로 이동시킨다. 지평권이 자오권과 교접하는 자선(子線)의 지점으로부터 자오권을 따라 위쪽으로 극축이 있는 지점까지 세어 나가면 이 도수가 바로 해당 지역의 북극 출지 고도이다.

3.4.2 항성을 이용한 북극 출지 고도 측정

또 다른 방법은 사유권의 극축을 천정의 극공에 삽입하고, 규형을 이용하여 임의로 북극에 가까우면서 하중천(下中天; 극지방을 중심으로 회전하는 천체가 지평선으로부터 가장 가까워 질 때)에 위치한 항성 하나를 선택한다. 그리고 그것이 가장 낮은 지평고도에 이르렀을 때의 도수를 측정한다. 다음, 다시 그것이 상중천(上中天; 극지방을 중심으로 회전하는 천체가 지평선으로부터 가장 멀어 질 때)에 이르기를 기다려 그것이 가장 높은 지평고도에 위치하였을 때의 도수를 측정하여 두 도수를 반으로 나누면 이것이 바로 그 해당 지역의 북극 출지 고도이다.

3.5 북극고도의 측정 계산법: 측북극출지도 산법(算法)

북극 출지 고도의 계산법은 하나의 항성을 관측하여 그것이 지평(卯방향)에서 나와 오정(甲)에 이르기까지 소요되는 시각[역주: 적도도수로 환산]과 오정 때의 지평고도를 측정한다. 그리고 여기에 소요된 시각을 적도도수로 환산하여 그림 4에서 보여주듯이 대시<戊-丁>을 1율(率)로, 정시<丁-己>를 2율로, 고도<甲-乙>의 정현<甲-丙>을 3율로 하여, 비례법으로 정현<庚-子>를 구하면 4율이 된다. 원문에 나와 있는 수식은 一率 戊丁大矢(1율 무-정 대시), 二率 丁己正矢(2율 정-기 정시), 三率 甲丙正弦(3율 갑-축 정현), 四率 子庚正弦(4율 자-경 정현)과 같다. 이 수식을 sin 값을 사용하여

나타내면 식 (1)과 같다.

$$\text{호} \langle \text{戊-丁} \rangle : \text{호} \langle \text{丁-己} \rangle = \sin \langle \text{甲-乙} \rangle : \sin \langle \text{庚-寅} \rangle \quad (1)$$

삼각함수표에서 호 <庚-寅>에 해당하는 값을 찾아 이 수치에서 항성(甲의 위치)이 천정에서 떨어진 도수를 빼고 남은 수치를 다시 4사분면에 더하고 반으로 나눈다. 여기에서 얻어지는 도수[역주: 그 지방의 북극고도 즉, 북극출지도]를 다시 4사분면에서 빼고 남은 수치가 바로 극출도(極出度, 북극이 천정에서 떨어진 도수)로 식 (2)와 같다[역주: 이는 서양의 선교사인 안가락(安家樂)이 소개한 방법으로 중국 청나라 1758년(乾隆23年)에 매각성(梅穀成 1681~1763)이 저술한 산학(算學)서인 《적수유진(赤水遺珍)》에도 나와 있다].

$$\text{극출도} = 90\text{도} - \text{북극출지도(北極出地度)} \quad (2)$$

그림 4에 나타난 것처럼, <壬>은 천구(天球)의 천정이고, <寅-內-乙>은 지평이며, <辛>은 북극이다. <辛-壬-乙-己-寅>은 자오권이고, <戊-己>는 적도이다. 별은 동쪽의 묘(卯) 방향에서 지평선을 올라 중천까지 운행하여 자오권의 <甲>을 통과한다. 이 별이 <卯>에서 <甲>까지 운행하는데 소요된 시간을 도수로 변환하면 각 <甲-辛-丁>에 해당한다. <丁>은 <卯>지점을 통과하여 만들어진 적도경선으로 <丁>에서 적도와 교접한다. 대시 <戊-丁>은 각 <甲-辛-丁>과 연장하는 적도의 호장(弧長)이고, 정시는 <丁-己>이다. 이는 바로 각 <丁-辛-己>의 정시이다. 호 <甲-乙>은 항성이 상중천에 위치하였을 때의 지평고도로, 정현은 바로 <甲-丑>이다. <甲>점을 거쳐 적위등거권(赤緯等距圈) <甲-庚>을 형성하고, <庚>에서 자오선의 하중천과 서로 엇갈린다. <庚>이 지평선을 향하여 수선(垂線) <庚-子>를 만들면서 호 <庚-寅>의 정현이 된다. 위의 내용을 정리하면 다음과 같다.

$\Delta \langle \text{甲-卯-丑} \rangle$ 과 $\Delta \langle \text{子-卯-庚} \rangle$ 은 닮은꼴의 호직각 삼각형으로, $\text{호} \langle \text{甲-卯} \rangle : \text{호} \langle \text{卯-庚} \rangle = \langle \text{甲-丑} \rangle : \langle \text{子-庚} \rangle$, $\text{호} \langle \text{甲-卯} \rangle : \text{호} \langle \text{卯-庚} \rangle = \text{호} \langle \text{戊-丁} \rangle : \text{호} \langle \text{丁-己} \rangle$ 따라서, $\text{호} \langle \text{戊-丁} \rangle : \text{호} \langle \text{丁-己} \rangle = \langle \text{甲-丑} \rangle : \langle \text{子-庚} \rangle$ 이 된다. 이때, $\langle \text{子-庚} \rangle = \sin \langle \text{庚-寅} \rangle$ 이고, $\langle \text{甲-丑} \rangle = \sin \langle \text{甲-乙} \rangle$ 이므로, $\sin \langle \text{庚-寅} \rangle$ 는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\sin \langle \text{庚-寅} \rangle = \sin \langle \text{甲-乙} \rangle \cdot \text{호} \langle \text{丁-己} \rangle / \text{호} \langle \text{戊-丁} \rangle \quad (3)$$

여기서 $\sin \langle \text{甲-乙} \rangle$ 은 항성이 상중천(甲의 위치)에 왔을 때 지평고도를 관측하여 값을 얻을 수 있고, $\text{호} \langle \text{戊-丁} \rangle$ 은 항성이 지평에서 상중천(甲)까지 이르는 소요시간(적도도수로 환산)이 되며, $\text{호} \langle \text{丁-己} \rangle$ 는 $180\text{도} - \text{호} \langle \text{戊-丁} \rangle$ 그리고 $\sin \langle \text{庚-寅} \rangle$ 은 항성이 하중천(庚의 위치)에 왔을 때 지평고도이다.

<子-庚>의 수치를 구하면 삼각함수표에서 호 <寅-庚>의 호장을 구할 수 있다. 호 <寅-庚>에서 해당 항성이 천정에서 떨어진 호장 <癸-庚>(호 <癸-庚> = 호 <壬-甲>)을 빼면 호 <寅-癸>의 호장이 나온다. 이를 4사분면 호 <寅-壬>과 더하면 호 <壬-辛-癸>가 된다. <辛>은 그 중점(中點)으로 반을 나누면 호 <辛-壬>의 길이가 나오는데, 이것이 바로 북극이 천정에서 떨어진 거리이다. 이를 4사분면 호 <壬-寅>에서 빼면 호 <辛-寅>이 나오는데, 이것이 북극출지평고도이다. 상중천(甲)에서 하중천(庚)까지의 호의 길이는 호 <寅-庚> = 호 <寅-癸> + 호 <癸-庚> 이므로 호 <寅-庚> + 90도 + 호 <壬-甲>과 같다.

또한 호 <寅-癸> + 호 <癸-庚> + 90도 + 호 <壬-甲>인데, 이때 호 <癸-庚> = 호 <壬-甲>이다. 이를 천정에서의 각 거리로 나타내기 위해 호 <壬-甲>과 호 <癸-庚>을 소거하면, 호의 길이 = 호 <寅-癸> + 90도가 된다. 이 값의 1/2은 <辛>이 되고, 호 <壬-辛>은 천정에서 북극까지의 각 거리가 된

다. 즉, 북극출지평고도 = 90도 - 천정에서 북극까지의 각 거리이다.

3.6 하늘의 적도 고도의 측정: 측적도고도(測赤道高度)

적도는 하늘의 요대(腰帶)와 같다. 태양이 동쪽에서 떠오르면 낮이 되고, 서쪽으로 지면 밤이 된다. 태양의 남행(南行) 또는 북행(北行)은 동하거위(冬夏距緯)의 제한[역주: 정오를 기준으로 볼 때 태양의 고도는 하지 때 가장 높고 동지 때 가장 낮게 되며, 각 절기의 태양 고도는 항상 이 범위 내에 있게 된다. 춘분 날 이후 태양의 고도는 천구 적도의 남쪽으로 이동했다가 다시 동지를 기점으로 다시 북쪽으로 향하게 된다. 그리고 하지 날 이후 태양의 고도는 다시 남쪽으로 움직인다.]을 받는다. 춘·추분 날에 의기를 설치하여 사유의 극축을 천정의 극공에 삽입한 다음, 오정의 초각(初刻)이 되기를 기다려 규형을 이용하여 태양의 지평고도를 측정하면 이것이 바로 적도의 고도이다. 이는 춘분 또는 추분에 태양이 바로 적도 위에 위치하여 거위(距緯)[역주: 적도에서 극축 방향으로 떨어진 각도로 춘·추분 때 적위 값이 0°가 된다.]가 없기 때문에 태양 오정의 고호(高弧)가 바로 적도의 고도인 것이다.

3.7 하늘의 적도 고도 측정 계산법: 측적도고도 산법(算法)

북극 출지 고도를 90도에서 뺀 것이 적도고도이다. 이는 북극 출지 고도가 바로 적도가 천정에서 떨어진 도수이기 때문이다. 따라서 적도 고도 = 90도 - 북극 출지 고도이다.

3.8 황도에서 태양의 위치 측정: 측태양전도(測太陽進度)

태양은 황도상에서 동쪽을 향하여 오른쪽으로 운행한다. 매일 약 1도씩을 운행하는데, 의기를 설치하고 사유의 극축을 적극의 극공에 삽입한 다음, 사유권의 중선을 자오선의 중선과 하나로 일치하여 오정의 초각이 되기를 기다려 규형을 이용하여 적도의 남북방향에서 태양이 적도에서 남·북으로 떨어진 위도를 측정한다. 자오권에 태양의 적위에 해당되는 지점을 점으로 표시하고, 삼진권의 황도권을 돌려 황도권에서 자오권에 태양을 표시한 점과 일치되는 지점을 찾아내면 이것이 바로 당일 태양의 행도이다. 이런 방식으로 황도권의 춘분점·추분점 또는 동지점·하지점으로부터 오른쪽으로 태양을 표시한 곳과 일치하는 점까지 세어 나가면 이것이 바로 당일 중오(中午)의 태양의 황도 궁도(宮度)이다.

그러나 연중 각 절기와 72후(候)[역주: 1년의 길이는 4계(季), 24기(氣), 72후(候)로 나타내는데, 1후는 약 5일을 지칭하며, 매 기는 초후(初候), 1후(一候), 2후(二候)를 포함한다.]의 태양의 적도위도는 실사 절기가 다르더라도 위도는 같을 수 있다. 예를 들면 하지의 1후(候)와 망종(芒種)의 2후[역주: 하지 1후와 망종 2후의 어느 시점에서는 태양 적위가 일치한다.]가 같고, 동지의 1후는 대설(大雪)의 2후와 서로 같다. 따라서 의기상의 황도권과 자오권의 표시점이 서로 일치하는 곳은 적도권의 남쪽 또는 북쪽에 모두 두 곳에 존재한다. 관측시에는 반드시 관측 당일이 주야가 점점 길어지는지 혹은 점점 짧아지는지를 알아야만 그것이 결국 어느 지점에서 일치되는지를 판별할 수 있다.

3.9 황도에서 태양의 위치 측정 계산법: 측태양전도 산법(算法)

비례계산법을 이용하여 황도와 적도의 교각(交角)의 정현을 1율로, 반경(半徑)을 2율로, 태양이 적위에서 떨어진 정현을 3율로 하여 당일 오정에 태양이 춘분 또는 추분 이후 떨어진 황도 경도의 정현인 4율을 구한다. 삼각함수표에서 태양 황경의 도수를 찾아, 동지 또는 하지에서 떨어진 도수에 근거하면 해당일 태양의 궁도를 알 수 있다. 원문에 나와 있는 수식은 一率 戊辰正弦(1율 무·진 정현),

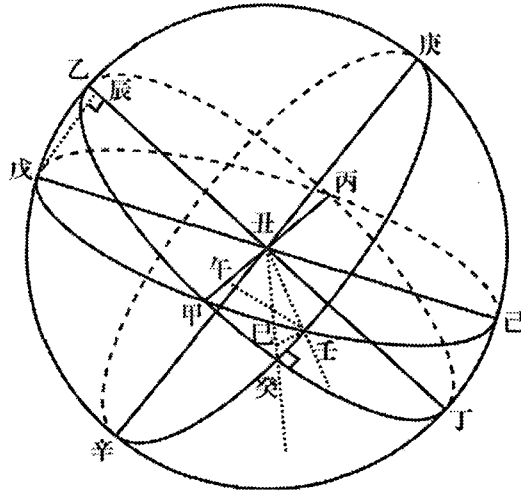


그림 5. 태양의 적위로부터 황경 구하기.

二率 戊丑半徑(2을 무-축 반경), 三率 壬巳正弦(3을 임-사 정현), 四率 壬午正弦(4을 임-오 정현)과 같다. 이 수식을 sin값을 사용하여 나타내면 식 (4)와 같다.

$$\sin\langle\text{戊-乙}\rangle : \langle\text{戊-丑}\rangle = \sin\langle\text{壬-癸}\rangle : \sin\langle\text{壬-甲}\rangle \quad (4)$$

여기서, $\sin\langle\text{戊-乙}\rangle$ 은 황적대거리이고, $\langle\text{戊-丑}\rangle$ 은 반경이며, $\sin\langle\text{壬-癸}\rangle$ 은 정오에 태양의 적위를 관측한 값이고, $\sin\langle\text{壬-甲}\rangle$ 은 구하고자 하는 태양의 황도 경도 값이다. 식 (4)를 간단히 하면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin\langle\text{壬-甲}\rangle = \langle\text{戊-丑}\rangle \cdot \sin\langle\text{壬-癸}\rangle / \sin\langle\text{戊-乙}\rangle \quad (5)$$

그림 5에 나타난 것처럼, $\langle\text{甲-乙-丙-丁}\rangle$ 은 적도이고, $\langle\text{甲-戊-丙-己}\rangle$ 는 황도이다. $\langle\text{甲}\rangle$ 은 춘분점이고, $\langle\text{丙}\rangle$ 은 추분점이며, $\langle\text{甲}\rangle$ 과 $\langle\text{丙}\rangle$ 은 각각 춘분과 추분의 황도와 적도의 교점이다. $\langle\text{戊}\rangle$ 와 $\langle\text{己}\rangle$ 는 동지와 하지로, 여기의 $\langle\text{庚-乙-戊-辛-丁-己}\rangle$ 은 남극·북극과 동지·하지를 지난 적경권(赤經圈; 적도의 수직권)으로, $\langle\text{庚}\rangle$ 은 북극이고 $\langle\text{辛}\rangle$ 은 남극이다. $\langle\text{乙}\rangle$ 에서 $\langle\text{戊}\rangle$ 까지, $\langle\text{丁}\rangle$ 에서 $\langle\text{己}\rangle$ 까지는 황도와 적도의 대거(大距)이다. 그리고 $\langle\text{庚-壬-癸-辛}\rangle$ 은 태양이 위치한 적도경권이고, 태양은 황도상의 $\langle\text{壬}\rangle$ 점으로 $\langle\text{癸}\rangle$ 에서 적도와 교차한다. 호 $\langle\text{甲-壬}\rangle$ 은 태양이 춘분에서 떨어진 황도 경도이고, 호 $\langle\text{壬-癸}\rangle$ 는 적도에서 북쪽으로 떨어진 도수이다.

구면 삼각형 $\langle\text{甲-壬-癸}\rangle$ 에서 $\langle\text{甲}\rangle$ 각은 황도와 적도의 교각이고, $\langle\text{癸}\rangle$ 는 직각이며, 호 $\langle\text{壬-癸}\rangle$ 는 태양의 적도에서 황도까지 거위(距緯)로 태양이 춘분점에서 떨어진 황도 경도를 구할 수 있다. 각 $\langle\text{甲}\rangle$ 의 정현을 1율로, $\langle\text{戊-丑}\rangle$ 의 반경을 2율로, $\langle\text{壬-癸}\rangle$ 의 정현을 3율로 하여 구해진 4율이 바로 정현 $\langle\text{壬-午}\rangle$ 이다. 위의 내용을 정리하면 다음과 같다.

$\Delta\langle\text{甲-壬-癸}\rangle$ 와 $\Delta\langle\text{甲-戊-乙}\rangle$ 은 닮은꼴의 구면 삼각형이다.

$\Delta\langle\text{甲-壬-癸}\rangle$ 에서 호 $\langle\text{甲-壬}\rangle$ 의 정현은 $\langle\text{壬-午}\rangle$ 가 되고, 호 $\langle\text{壬-癸}\rangle$ 의 정현은 $\langle\text{壬-巳}\rangle$ 가 된다. 그리고, $\Delta\langle\text{甲-戊-乙}\rangle$ 에서 호 $\langle\text{甲-戊}\rangle$ 의 정현은 반경 $\langle\text{戊-丑}\rangle$ 이 되고, 각 $\langle\text{甲}\rangle$ 의 정현은 $\langle\text{戊-辰}\rangle$ 이

된다(각<甲> = 각<丑>). 그런데, $\triangle<午-壬-巳>$ 와 $\triangle<丑-戊-辰>$ 은 닮은꼴 직각 삼각형이 되므로 식 (6)과 같이 된다.

$$\langle 戊-辰 \rangle : \langle 戊-丑 \rangle = \langle 壬-巳 \rangle : \langle 壬-午 \rangle \quad (6)$$

이를 sin값을 이용하여 정리하면 앞에서 주어진 식 (4)와 같이 표현된다. 즉, 식 (4)의 $\sin\langle 壬-甲 \rangle$ 을 계산하여 삼각함수표에서 얻어지는 도수가 바로 태양이 춘분점에서 떨어진 황도 경도이다. 이를 춘분이 하지에서 떨어진 궁도 $\langle 甲-己 \rangle$ 에서 빼면 해당일의 태양이 하지점에서 떨어진 궁도를 구할 수 있다.

3.10 태양 위치로 시간 측정: 측태양시각(測太陽時刻)

태양은 본래 황도를 따라 운행한다. 그러나 태양은 천구(天球)를 따라 왼쪽[역주: 혼천의 황도환에 태양이 매달려 있다고 할 때, 북극을 중심으로 1일 태양의 운행은 동쪽에서 서쪽으로 움직임]으로 하루에 한바퀴씩 회전한다. 이는 적도도에 따라 계산한 것이다. 따라서 태양은 적도에서 출발할 때의 궁도로 시각을 추산하는 경우는 계절이나 주야에 관계없이 일치[역주: 실제로 태양은 황도상을 운행하므로 적·황도의 교점 이외의 지점에서는 적도상의 운행과 일치하지 않는다. 다만 적도상으로 운행하는 것으로 시간을 추산한다면 항상 일정한 움직임을 나타냄]한다.

지금까지 소개한 방법으로 의기를 설치하고 사유권 극축을 적도의 극공에 삽입한다. 그런 다음, 사유권을 동서 방향으로 돌리는 한편 규형을 남북 방향으로 이동시켜 태양의 위치를 맞추고, 사유권 둘레에서 회전하는 규형 지시도표(指時圖表)에 따라 천상적도권의 시반(時般)[역주: 천상적도권 양측면에 12시와 96각이 새겨져 있어 시간을 읽을 수 있음]과 서로 엇갈리는 도수를 읽으면 시각이 나온다. 야간에 시각을 알고자 한다면 달과 항성으로 거도(距度)를 삼아 측정한다. 적도 경도를 알고 있는 항성 하나를 골라 사유권의 중선을 이용하여 유선적도권에서 이 항성의 궁도를 맞춘다. 그런 다음 이 시각 태양의 적도 경도를 산출하여[역주: 태양은 매일 1도를 운행하는데 시간으로 환산하면 4분(分)에 해당한다. 태양은 매 시간마다 5분을 운행하는데 시간으로 환산하면 20초(秒)가 된다. 따라서 측정시에는 비례법을 이용하여 이 때의 적도 경도를 알아내어 이것으로 시각을 측정할 수 있다.] 직선(直線)을 사용해 유선적도권의 해당 궁도에 매단다. 그런 다음, 사유권과 유선적도권을 동서쪽으로 돌리게 하고, 규형으로 해당 항성을 맞추면, 직선이 천상적도권의 시반과 서로 엇갈리는 지점의 시각이 바로 구하고자 하는 시각이다. 달을 이용하여 관측할 경우에는 달이 태양의 떨어진 도수를 거도로 삼고, 5행성을 이용하여 관측할 경우에는 먼저 해당 별의 적도 경도를 구하여 거도로 삼는다.

3.11 태양 위치로 시간 측정 계산법: 측태양시각 산법(算法)

적도 경도 360도를 3도 45분마다 1각으로 바꾸면, 4각이 오늘날의 1시간이 되고, 하루는 총 96각이 된다. 태양이 오정 전후에 위치한 것을 이용하여 태양의 시각을 추산한다. 표 4는 도수(度數)의 시분(時分) 환산표이다. 도(度)·분(分)·초(秒)의 각 수를 4로 곱하여 나오는 수가 바로 다음 줄에 환산된 시각을 나타내는 10개의 수로 나타낸 것으로, 1도는 4분이고 15도는 60분 즉, 1시간이다. 그리고 표 5는 시분의 도수 환산표이다. 시·분·초 각 수를 4로 나누는 수가 바로 다음 줄에 환산된 호장대수(弧長大數)로, 4분이 1도로 바뀌게 된다. 이에 양식을 추산하여 도(度)를 1열에 배열 한 경우[역주: 분(分)으로 나눌 수도 있고, 초(秒)로 나눌 수도 있는데, 환산된 시·분·초는 다음 줄에 배열함]에는 시분을 거꾸로 도수로 바꾼 것이다. 가령 두 자리 이상의 시분을 찾는 경우, 첫줄에 없을 경우에는 거

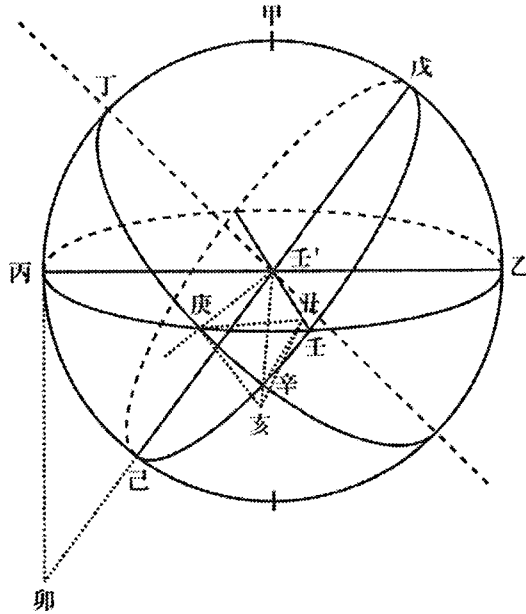


그림 6. 태양 출입지평 시각 구하기.

드는 시각과 주야의 장단은 모두 절기의 변화에 따라서 바뀐다. 이는 천구상에서 위도가 서로 다른 적도평행권(赤道平行圈)이 지평면과 서로 다른 방위에서 교차하기 때문에 생기는 것이다.

앞서 소개한 방법으로 의기를 설치하고 태양이 지평면을 드나들 때에, 앞서 소개한 방법을 이용하여 출입시간을 측정한다. 만약 황도권에서 당일 태양의 적경을 이용하여 그 위치를 돌려서 동쪽의 지평권과 서로 부합되도록 하면 이와 대응하는 천상적도도수(天常赤道度數)를 얻을 수 있다. 동시에 황도권에서 당일 태양이 있는 위치를 돌려서 서방지평권에 맞추면 또 다른 천상적도도수를 얻을 수 있다. 동쪽의 도수를 얻은 곳으로부터 천상적도권을 따라 위쪽으로 서쪽 지평에서 도수를 얻는 곳까지 세어나간 후 얻어진 도수를 시간으로 바꾸면 이것이 당일 대낮의 시간이다. 서쪽 지평에서 도수를 얻은 곳으로부터 천상적도권을 따라 아래쪽으로 동쪽 지평에서 도수를 얻는 곳까지 세어나가, 얻어진 도수를 시간으로 바꾸면 이것이 당일 밤의 시간이다.

3.13 지평에서 태양의 출입 시각과 낮과 밤의 길이 측정 계산법: 측태양출입시각급주야영단 산법(算法)

3.13.1 계산법 1과 2

적도고의 정절을 1율로, 반경을 2율로, 태양이 적위로부터 거(距)한 정절을 3율로 하여, 4율을 구하면 정현이 된다. 삼각함수표에서 찾아낸 적도도가 바로 태양의 '묘전(卯前)' 또는 '유후(酉後)'에 위치한 각분(刻分)으로, 이를 '묘정(卯正)' 과 '유정(酉正)'에서 가감하면 태양의 출입시각이 나온다. 다시 '묘전' 또는 '유후'의 각분을 배로 더하여 48각(하루의 반에 해당하는 시간)과 서로 가감하면 구간과 야간의 시간이 나온다.

다른 한 가지 방법은 태양이 북극에서 떨어진 호(弧)를 변(邊)으로 하는 정절을 1율로, 북극고의 정절을 2율로, 반경을 3율로 하여, 4율을 구하면 여현이 된다. 삼각함수표에서 도수를 찾아 이를 시간으로 바꾸면 바로 일출에서 자정까지와 일몰에서 자정까지 서로 떨어진 시간값이다. 자정부터 계산하면 일출 시각이 나오고 24시간으로 빼면 일몰 시간이 나온다. 일출·일몰과 자정이 떨어진 각분을 두배로 곱하면 바로 야간의 시간이며, 이를 96각에서 뺀 것이 바로 주간의 시간이다. 원문에 나와 있는 수식은 一率 壬角正切(1율 임각 정절), 二率 半徑(2율 반경), 三率 庚辛正切(3율 경-신 정절), 四率 辛壬正弦(4율 신-임 정현)과 같다. 다른 방법의 수식은 一率 丁庚正切(1율 정-경 정절), 二率 丁丙正切(2율 정-병 정절), 三率 半徑(3율 반경), 四率 丁角餘弦己辛(4율 정각 여현 기-신)과 같다.

그림 6을 참고하여 이 수식을 tan, sin, cos값을 사용하여 나타내면 식 (7)과 같다.

$$\tan\langle\text{丙-己}\rangle : \langle\text{丁-壬}'\rangle = \tan\langle\text{庚-辛}\rangle : \sin\langle\text{辛-壬}\rangle \tag{7}$$

다른 방법으로 나타내면 식 (8)과 같다. .

$$\tan\langle\text{丁-庚}\rangle : \tan\langle\text{丁-丙}\rangle = \langle\text{丁-壬}'\rangle : \cos\langle\text{己-辛}\rangle \tag{8}$$

그림 6에 나타난 것처럼 <甲>은 천정이고, <甲-乙-丙-丁>은 자오권이며, <乙-丙>은 지평이다. <丁>은 북극이고, 호<丁-丙>은 북극출지고도 이다. <戊-己>는 적도이고, 호<戊-乙>은 하늘의 적도고도이다. <庚>은 태양이 지평면에서 출입하는 지점이고, 호<庚-辛>은 태양의 적도 위도이다. <癸>와 <壬>은 ‘묘정’과 ‘유정’의 방위[역주: 묘정은 동쪽, 유정은 서쪽]이고, 호<辛-壬>은 태양이 ‘묘전’과 ‘유후’[역주: ‘묘정’ 이후의 각도와 ‘유정’ 이후의 각도]에서 적도도수이다. 구면 삼각형<庚-辛-壬>에서 <辛>은 직각이고 <壬>각은 적도고이며, 호<庚-辛>은 태양의 적위이다. 이를 통하여 <辛-壬>변을 구하면, 태양이 드나들 때 ‘묘전’과 ‘유후’에서 떨어진 적도도가 된다. <壬>각의 정절을 1율로, 반경을 2율로, <庚-辛>각의 정절을 3율로 하여, 4율을 구하면, <辛-壬>의 직각변의 정현이 되어 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 위의 내용을 정리하면 다음과 같다.

△<丙-己-壬>과 △<庚-辛-壬>은 닮은꼴 구면 삼각형이므로, 호<丙-己> : 호<己-壬> = 호<庚-辛> : 호<辛-壬>이며, 여기서, 호<丙-己>는 각<壬> 또는 각<丙-壬'-己>로 정절은 <丙-卯>가 되고, 호<己-壬>의 정현은 반경 <己-壬'>, <丁-壬'>과 같다. 호<庚-辛>은 각<庚-壬'-辛>으로 정절은 <庚-亥>이며(태양의 적위), 호<辛-壬>의 정현은 <辛-丑>이다(태양의 적경). 이를 tan와 sin 값으로 나타내 정리하면 식 (7)과 같고, sin<辛-壬> 값을 구하기 위해 정리하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \sin\langle\text{辛-壬}\rangle &= \langle\text{丁-壬}'\rangle \cdot \tan\langle\text{庚-辛}\rangle / \tan\langle\text{丙-己}\rangle \\ \langle\text{辛-丑}\rangle &= \langle\text{丙-壬}'\rangle \cdot \langle\text{庚-亥}\rangle / \langle\text{丙-卯}\rangle \end{aligned} \tag{9}$$

두 번째 방법은 태양의 자정 전후의 적도도인 <己-辛>을 구하는 것으로, 구면 삼각형<丁-丙-庚>에서 <丙>은 직각이고, 호<丁-丙>은 북극출지고도 이다. 호<丁-庚>은 태양이 북극에서 떨어진 도수로 각<丁>을 구해야 한다. 호<丁-庚>변의 정절을 1율로, 호<丁-丙>변의 정절을 2율로, 반경을 3율로 하여 4율을 구하면 <丁>각의 여현이 되어 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

3.13.2 계산법 3

동지와 하지때에 태양의 오정 고도의 정현(正弦) 값을 더한 다음 절반으로 나누어 1율[역주: 하지날과 동지날의 태양의 남중고도를 더하여 1/2을 하면 춘추분 때의 남중고도가 되며, 이는 하늘의 적도고도가 됨]로 하고, 당일 태양 오정 고도의 정현을 2율로, 반경을 3율로 하여 4율을 구하면 반주분(半周分)의 현의 길이가 된다. 춘분후·추분전은 대시(大矢)로 즉, 여름날 일출 지점의 적도도에서

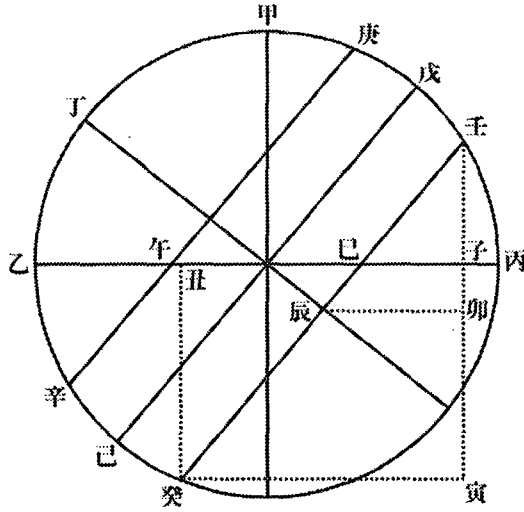


그림 7. 태양출입시각 및 주야의 장단 구하기.

오정 적도도에 이르는 사이의 협각(夾角)의 현이다. 추분 후·춘분 전은 정시(正矢)로 겨울날 일출 지점의 적도도에서 오정 적도도에 이르는 사이의 협각의 현[역주: 춘분 이후, 하지, 추분 이전까지는 낮의 길이가 길어지므로 일출에서 태양 남중까지의 시간각은 대시(大矢)가 되고, 자정부터 일출까지는 밤의 길이가 짧으므로 시간각은 정시(正矢)가 됨. 추분 이후 등지, 춘분 이전까지는 낮의 길이가 짧아지므로 일출에서 태양 남중까지의 시간각은 정시가 되고, 자정부터 일출까지의 밤의 길이가 길어지므로 대시가 됨]이다. 삼각함수표에서의 호의 길이를 구하여 적도도를 시간으로 바꾼 다음 둘로 곱하면 주간의 길이가 나온다. 또, 96각에서 빼면 야간의 길이가 나온다.

그림 7에 나타난 것처럼 <甲>은 천정이고 <乙-丙>은 지평이며, <丁>은 북극이고 <戊-己>는 적도이다. <庚-辛>은 하지점 위도에서 등거권(等距圈)이고, <壬-癸>은 동지점 위도에서 등거권이다. 호<壬-丙>은 동지일 태양 오정 시각의 고평호이고, <壬-子>는 그것의 정현이다. 호<庚-丙>은 하지일 태양 오정 시각의 고평호 호<乙-癸>의 길이와 서로 같다. <丑-癸>는 호<乙-癸>의 정현으로 <子-寅>의 길이와 같다. 호<壬-丙>과 호<乙-癸>의 두 정현인 <壬-子>와 <丑-癸>(= \langle 丑-寅 \rangle)을 더하면 <壬-寅>이 나오고, 중요(中腰)의 <卯>에서 반으로 나누면 <壬-卯>가 나오게 되고, <壬-卯>와 <卯-寅>은 서로 같게 된다. <壬-辰>은 동지거위처(冬至距緯處)의 적도등거권(赤道等距圈)의 반경이고, <壬-巳>는 동지 때의 반주분[낮 길이의 반, 오정을 전후로 하여 해가 뜨기 시작하거나 해가 지기까지의 시간]이며, <庚-午>는 하지때의 반주분이다. <壬-卯-辰>과 <壬-子-巳>는 서로 닮은 꼴 직각 삼각형으로 <壬-卯>와 <壬-子>의 비는 <壬-辰>과 <壬-巳>의 비와 같다. 위의 내용을 정리하면 다음과 같다.

Δ <壬-卯-辰>과 Δ <壬-子-巳>는 닮은꼴의 직각 삼각형이므로, <壬-卯> : <壬-子> = <壬-辰> : <壬-巳>이며, 여기서, <壬-卯>는 동·하지의 오정 남중고도를 합한 값의 1/2이면서, 춘·추분날 남중고도인 호<戊-丙>의 정현과 같다. <壬-子>는 동지날 정오의 남중고도로 호<壬-丙>의 정현이 되

고, <壬-辰>은 동지날 적도등거권의 반경이 되며(시간각으로 환산), <壬-巳>는 동지날 태양이 출입하는 낮 시간의 1/2(시간각으로 환산)이므로 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin\langle\text{戊-丙}\rangle : \sin\langle\text{壬-丙}\rangle = \langle\text{壬-辰}\rangle : \langle\text{壬-巳}\rangle \quad (10)$$

즉, 이미 알고 있는 동지일의 낮 시간(시간각)과 태양의 남중고도를 이용하여 구하고자 하는 당일의 태양의 남중고도를 측정하여 낮 시간을 알 수 있어 해 뜨는 시각과 해지는 시각을 구할 수 있다.

3.14 태양의 적경과 적위 측정: 측태양적경위도(測太陽赤經緯度)

태양은 황도를 따라 동쪽으로 향하여 오른쪽으로 운행[역주: 태양은 혼천의의 황도환상에서 매일 약 1도씩 뒤로 물러난다. 그리고 1일 동안 태양의 움직임은 황도와 함께 1회전하게 된다]한다. 최근에 측정한 동지와 하지의 황적대거(黃赤大距)는 23도 27분[역주: 황도와 적도의 교각으로 23도 27분(= 23°.450)이 되며, 현재의 값(2005년 역서)은 23°.439 임]이다. 동지와 하지를 전후하여 매일의 황도와 적도 사이의 거리는 모두 일정하지 않는데, 이는 황도와 적도가 비스듬하게 교행하기 때문이다. 다만 춘분·추분점, 하지·동지점에 있어서 서로의 경도가 같을 뿐 나머지 경우는 전혀 부합되지 않는다.

태양의 적도 위도를 구하려면 먼저 앞에서 소개한 방법에 따라 의기를 설치하고, 사유권의 극축을 적극권의 극공에 삽입하고 사유권의 중선(中線)과 자오권의 중선을 서로 중첩시킨다. 오정 초각(남중시각)이 되기를 기다려 사유의에 설치되어 있는 규형을 돌려 남북방향으로 움직여 이를 태양에 맞추고 사유권 직거의 중선으로부터 위 또는 아래방향으로[역주: 위를 향하면 북위(北緯)가 되고, 아래를 향하면 남위(南緯)가 됨]규형의 지시선이 사유권과 서로 교접되는 지점까지 세어나가면 이것이 태양의 적도 위도이다.

태양의 적도 경도를 구하는 경우에는 항성의 도움을 빌어 거도(距度)를 만들어 관측을 진행한다. 의기와 사유권을 앞서와 같은 방법으로 잘 설치하고 적경(赤經)이 알려진 항성 하나를 선택하여 사유권의 중선을 유선적도권상의 해당되는 별의 궁도에 맞춘다. 그런 다음 사유권과 유선적도권을 동·서쪽으로 움직여 가면서 하늘에 이 별의 방위를 맞춘다. 그리고 황도권에서 해당일의 태양의 행도를 조사[역주: 해당일의 황도상의 태양의 위치는 역법관련 서적에 계산되어 기록되어 있음]하여 사유권을 황도상의 태양이 위치한 곳까지 움직여서 유선적도권에서 교차하도록 하면, 사유권의 중선이 서로 맞물리는 지점에서부터 알려진 항성이 위치한 유선적도권상의 궁도와 각 거리가 바로 태양의 해당 항성과의 적도 거도이자 태양 황도상의 적도 경도이다.

3.15 태양의 적경과 적위 측정 계산법: 측태양적경위도 산법(算法)

황적대거(黃赤大距)의 정절을 1율, 반경을 2율, 태양의 적위의 정절을 3율로 하여, 구해낸 4율이 정현이 된다. 이는 곧 관측시의 태양의 춘분점, 추분점 이후에서 떨어진 적도경도이다. 동지 또는 하지에서 떨어진 도수를 관측하면, 이의 궁도(宮度)를 구할 수 있다. 만약 경도를 구하고 나서 위도를 구하는 경우에는 반경을 1율로, 황적 대거의 정절을 2율로, 태양 적경의 정현을 3율로 하여 구해낸 4율이 적위의 정절이다.

그림 8에 나타난 것처럼, <甲-乙-丙-丁>은 적도이고, <甲-戊-丙-己>는 황도이며, <甲>과 <丙>은 황도와 적도의 교점(交點)이다. <甲>은 춘분점이고, <丙>은 추분점이며, 호<乙-戊>와 호<丁-己>는 황도와 적도의 대거이다. <壬>은 황도상 태양이 위치한 곳이고, <丙-壬>은 태양 황도의 경도이며, <庚-癸-壬-辛>는 태양을 통과한 적도경권으로 <癸>에서 적도와 교차한다. <癸>지점은

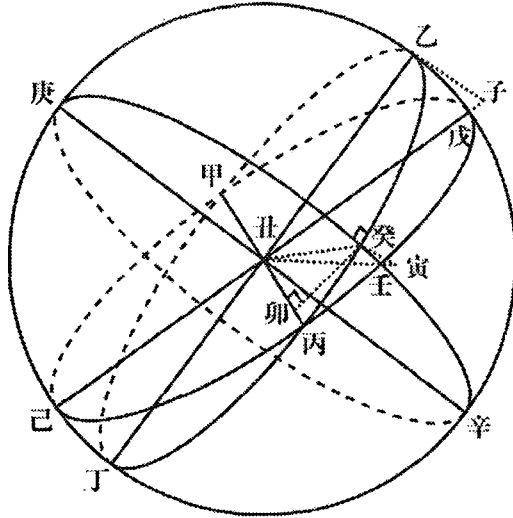


그림 8. 태양의 적위, 적경 구하기.

태양이 위치한 적도의 궁도이고, 호<丙-癸>는 태양의 적도 경도이며, 호<癸-壬>은 태양이 적도에서 떨어진 위도이다. 구면 삼각형 <丙-壬-癸>에서 <丙>은 황도와 적도의 교각이고, <癸>는 직각이며, <壬-癸>는 태양의 거위(距緯)로, <丙-癸>를 구하면 태양이 추분점에서 떨어진 적도도(赤道度)이다. 각<甲>(=각<丑>)의 정절 <子-乙>을 1율로, 반경 <乙-丑>을 2율로, 태양 적위인 호<壬-癸>의 정절 <癸-寅>을 3율로 하여 구해낸 4율이 호<丙-癸>의 정현<癸-卯>가 된다. 원문에 나와 있는 수식은 一率 甲角正切乙子(1율 갑각 정절 을-자), 二率 半徑乙丑(2율 반경 을-축), 三率 壬癸正切癸寅(3율 임-계 정절 계-인), 四率 甲癸正弦癸卯(4율 갑-계 정현 계-묘)와 같다[역주: 4율의 원문은 “四率 甲癸正弦癸卯”인데 그림 설명의 편리를 위해 “四率 丙癸正弦癸卯”로 표기하고 본문에 기술하였다.]. 이 수식을 tan과 sin값을 사용하여 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan\langle\text{乙-戊}\rangle : \langle\text{乙-丑}\rangle = \tan\langle\text{壬-癸}\rangle : \sin\langle\text{丙-癸}\rangle \quad (11)$$

위의 내용을 정리하면 다음과 같다.

$\Delta\langle\text{甲-乙-戊}\rangle$ 와 $\Delta\langle\text{丙-癸-壬}\rangle$ 은 닮은꼴의 구면 삼각형이다. $\Delta\langle\text{甲-乙-戊}\rangle$ 에서 각<甲> 또는 호<乙-戊>의 정절은 <乙-子>가 되고(각<甲> = 각<丑>), 호<甲-乙>의 정현은 반경<乙-丑>이 된다. 그리고, $\Delta\langle\text{丙-癸-壬}\rangle$ 에서 각<癸-丑-壬> 또는 호<癸-壬>의 정절은 <癸-寅>이 되고(태양의 적위), 호<丙-癸>의 정현은 <癸-卯>이 된다(태양의 적경).

여기서 $\Delta\langle\text{丑-乙-子}\rangle$ 와 $\Delta\langle\text{卯-癸-寅}\rangle$ 은 닮은꼴의 직각 삼각형으로 식 (12)가 성립 된다.

$$\langle\text{乙-子}\rangle : \langle\text{乙-丑}\rangle = \langle\text{癸-寅}\rangle : \langle\text{癸-卯}\rangle \quad (12)$$

식 (12)는 식 (11)로 나타낼 수 있으므로, 태양 적위를 알고 태양 적경을 구하고자 할 때는, $\sin\langle\text{丙-癸}\rangle = \langle\text{乙-丑}\rangle \cdot \tan\langle\text{壬-癸}\rangle / \tan\langle\text{乙-戊}\rangle$ 와 식 (13)을 이용하고,

$$\langle\text{癸-卯}\rangle = \langle\text{乙-丑}\rangle \cdot \langle\text{癸-寅}\rangle / \langle\text{乙-子}\rangle \quad (13)$$

태양 적경을 알고 태양 적위를 구하고자 할 때는 식 (14)를 이용하면 된다.

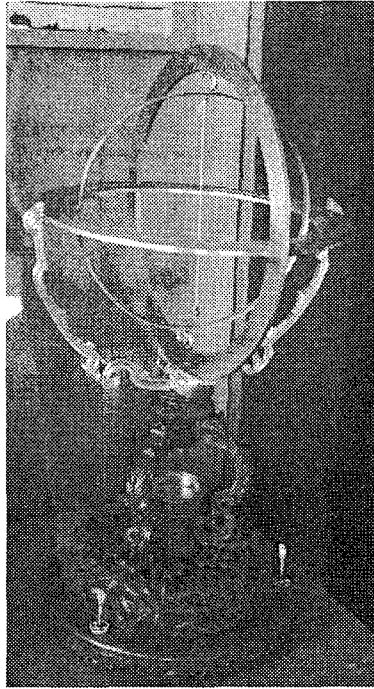


그림 9. 삼진공귀의(북경고궁박물관 소장).

$$\tan\langle壬-癸\rangle = \tan\langle乙-戊\rangle \cdot \sin\langle丙-癸\rangle / \langle乙-丑\rangle$$

$$\langle癸-寅\rangle = \langle乙-子\rangle \cdot \langle癸-卯\rangle / \langle乙-丑\rangle \quad (14)$$

삼각함수표에서 식 (13)에 대한 도수를 찾아 대입하여 구하는 값이 바로 태양이 춘분점에서 떨어진 이후의 적도 경도[역주: 조선 초기에는 ‘입수도’라 하여 28개의 기준 항성(수거성)으로부터 해당 항성까지의 각거리로 나타냈다. 시헌력 이후에는 하늘의 적도를 30도씩 12궁으로 나타내고 속해 있는 궁도에서의 각거리로 사용하였다. 그런데 여기서의 춘분점으로 부터의 각 거리라고 한 것은 현대적 적경 표기방법이라 할 수 있다.]이다. 이것을 춘분이 동지에서 떨어진 궁도와 더하면 바로 호<丁-癸>의 궁도의 길이가 나온다.

4. 고찰 및 결론

고대로부터 동·서양에서 주로 사용한 천체관측기기는 혼천의였다. 조선시대에도 천문·역법의 연구를 위하여 천체 현상을 정밀하게 측정할 수 있는 혼천의가 제작되었다. 17세기 서양 역법을 바탕으로 한 시헌력(時憲曆)을 받아들이면서 종래의 혼천의 제작에도 서양과학의 영향을 받게 되었고 관측, 전시 및 교육의 용도로 제작되었다.

19세기 중반에 남병철은 역대 중국 혼천의를 섭렵하고 혼천의 역사에 일대 혁신을 가져온 새로운 혼천의를 설계·제작하였다. 이것은 재극권(載極圈)을 새롭게 창안하여 사유환 축을 지평, 적도, 황

도 좌표로 자유롭게 변환하는 것이 가능해졌기 때문이다. <혼천의용법>은 천문학적 이론이나 계산 방법을 종합적이고 체계적으로 자세히 기록하고 있다. 또한 남병철 혼천의의 특징적인 구성부품인 재극권으로 얻어지는 관측 값과 계산방법이 나와 있다. <혼천의용법>에서 가장 먼저 다루고 있는 것은 기기의 설치방법과 재극권을 활용한 사유권의 3가지 사용법, 정확한 극축을 맞추는 방법이다. 사유권의 3가지 사용법에서는 사유권을 재극권의 적극공과 황극공에 삽입하여 사용하는 적도경위의 측정법과 황도경위의 측정법, 그리고 천정극공에 삽입하여 사용하는 지평경위의 측정법을 설명한 것으로 남병철 혼천의의 특수한 기능인 재극권의 활용방법을 기술해 놓은 것이다.

남병철의 혼천의와 유사한 기능을 갖는 것으로 청대에 제작된 삼진공구의(三辰公晷儀)가 있다. 그림 9는 삼진공구의의 최초 모델로 여겨지는 것으로 현재 북경의 고궁박물관에 소장되어 있다. 북경천문관에서 1985년에 편찬한「중국고대천문학성취(中國古代天文學成就)」에는 “기형무진의의 최초 모델은 ‘삼진공구의’라고 불렸다. 이 모델은 극축이 자유롭게 조절가능하여 적도좌표 또는 황도좌표, 지평좌표로 바꿀 수도 있다. 나중에 몇 차례의 수정을 거쳐 정형화되어 ‘기형무진의’로 명명되었다.”라고 언급하고 있다. 이것은 남병철 혼천의의 극축 변환방식과 매우 유사한 설명이다. 「중국고대천문학성취」의 삼진공구의의 개요와 사용법에 나와 있는 내용을 살펴보도록 하자. 삼진공구의를 설치할 때 그 지방의 북극고도를 맞추어야 하는데, 자오권을 돌려 도수를 맞추는 것으로 보아 자오권을 움직여서 사유권의 축을 적극, 황극, 천정극으로 변환했던 것으로 보인다. 이것은 작은 규모의 서양식 혼천의에서 흔히 보여지는 기능적 특징이다. 하지만 삼진공구의의 구조에서는 재극권의 기능을 갖는 것은 밝혀지지 않았다. 삼진공구의는 자오환 자체가 회전하므로 따로 극공을 둘 필요는 없었을 것이다. 여기까지는 삼진공구의의 축 변환 기능과 남병철 혼천의의 축 변환의 기능적 측면은 거의 유사하다. 하지만 하루 동안의 황극과 황도면의 변화는 시간에 따라 달라지므로 자오환 상의 변환만 가능했던 삼진공구의 구조로는 엄격한 의미에서 황도좌표를 측정할 수 있는 것은 아니다. 결국 삼진공구의의 황도경위도 측정은 하루 동안의 특정한 어느 시기에만 가능하다. 이에 반하여 남병철의 혼천의로 황도경위도를 측정하는 경우에는 사유환 축을 재극권의 황극공에 삽입하여 동서방향으로 움직일 수 있고, 동시에 삼진권은 자오권 극축을 중심으로 회전하기 때문 하루 동안의 태양의 위치를 완벽하게 나타낼 수 있었다. 즉, 남병철의 혼천의로 황극을 맞추어 놓으면 오늘날에 사용하는 황경과 황위를 측정할 수 있었다. 그리고 지평좌표계로 변환하여 지평경위도를 측정할 수 있었다. 남병철 혼천의는 <혼천의설>에서 이미 언급하였듯이 옛부터 내려오는 중국의 여러 혼천의를 구조와 기능을 새롭게 추가하여 혼천의의 제작기술을 집약시켜 만든 하나의 창제품이다. 그 중에서도 재극권의 역할은 다용도와 기능성을 갖도록 만든 혼천의 제법의 역사에서 커다란 기술혁신으로 동아시아 혼천의 제작사에 커다란 발자취를 남긴 것은 틀림없는 사실이다.

<혼천의용법>에서 다루고 있는 북극 출지 고도 측정, 적도 고도의 측정, 태양의 궤도 측정, 태양의 시각 측정, 태양의 지평면 출입시간 및 낮과 밤의 길이 측정, 태양의 적도와 적경의 측정 등은 역대 조선의 역법에 나오는 중요한 천문학적 내용이었다. 하지만 그 계산법이나 이론 등은 종합적으로 소개되어 있지는 않았다. 그런 측면에서의 『의기집설』<혼천의용법>에서 소개하고 있는 이론과 산법(算法)은 과거의 이론적 토대와 서양 과학적인 계산법이 함께 표현되어 있어 당시의 천문학 계산에서 구면 삼각법을 도입했던 것을 알 수 있었다. 이는 천문수표를 활용하던 조선의 천문 계산체계에서도 일대 혁신을 가져오게 되었다. 앞으로 남병철 혼천의의 실제 제작을 통하여 <혼천의제법>과

<혼천의용법>의 내용을 검증, 발전시키고 복원 제작한 혼천의를 사용하여 <혼천의용법> 항목에 따라 성능 점검을 통하여 당시의 과학기술적 수준을 가늠할 수 있기를 기대한다.

감사의 글: <혼천의용법> 標點과 翻譯에 참여해주신 中國科學院 自然科學史研究所의 陳久金 教授께 심심한 사의를 표하는 바입니다.

참고문헌

김명호 1996, 震檀學報, 82, 237

이용삼, 김상혁, 남문현 2001, Journal of the Korean Astronomical Society, 34, 47

藪内 清 1974, 中國의 數學 (岩波書店: 東京), pp.140-141