

19세기 남병철 『의기집설(儀器輯說)』 혼천의 용법 분석
ANALYSIS OF THE USAGE OF NAM BYEONG-CHEOL'S ARMILLARY SPHERE IN
UIGIJIPSEOL IN THE 19TH CENTURY

최홍순^{1,2†}, 김상혁², 민병희^{1,2,5}, 남경욱³, 유경한¹, 김용기^{1,4}

¹충북대학교, ²한국천문연구원, ³국립과천과학관, ⁴충북Pro메이커센터, ⁵과학기술연합대학원대학교

HONG SOON CHOI^{1,2†}, SANG HYUK KIM², BYEONG-HEE MIHN^{1,2,5}, KYOUNG-UK NAM³,
GEOYOUNG-HAN YOO¹, AND YONGGI KIM^{1,4}

¹Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

²Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea

³Gwacheon National Science Museum, Gwacheon 13817, Korea

⁴Chungbuk Pro Maker Center, Cheongju 28644, Korea

⁵University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea

E-mail: alfo2220@kasi.re.kr

(Received January 17, 2024; Revised February 20, 2024; Accepted February 20, 2024)

ABSTRACT

The armillary sphere, an astronomical observation device embodying the Orbital Heaven Theory of the Later Han Dynasty in China, holds both historical and scientific significance. It has been produced in various forms by many individuals since its inception in the era of King Sejong in the Joseon Dynasty. A prominent figure in this field was *Nam Byeong-cheol* (南秉哲, 1817-1863), known for his work '*Uigijipseol*' (儀器輯說), published in 1859, which detailed the history, production methods, and usage of the armillary sphere. This text particularly highlights 21 applications of the armillary sphere, divided into 33 measurements, covering aspects like installation, time, and positional measurements, supplemented with explanations of spherical trigonometry. Despite numerous records of the armillary sphere's design during the Joseon Dynasty, detailed usage information remains scarce. In this study, the 33 measurements described in '*Uigijipseol*' (儀器輯說) were systematically classified into six for installation, nineteen for position measurement, seven for time measurement, and one for other purposes. Additionally, the measurement methods were analyzed and organized by dividing them into the ecliptic ring, moving equatorial ring, and fixed equatorial ring of the armillary sphere. In other words, from a modern astronomical perspective, the results of schematization for each step were presented by analyzing it from the viewpoint of longitude, right ascension, and solar time. Through the analysis of *Nam's* armillary sphere, this study not only aims to validate the restoration model of the armillary sphere but also suggests the potential for its use in basic astronomical education based on the understanding of the 19th-century Joseon armillary sphere.

Key words: General: history and philosophy of astronomy, Astronomical instrumentation, methods and techniques: instrumentation: miscellaneous

1. 서론

혼천설(渾天說)은 후한(後漢, 25-220) 대에 동아시아에서 본격적으로 제기된 새로운 우주관이다. 이는 기존의 개천설(蓋天說)과 대비되는 것이다. 후한의 학자 장형(張衡, 78-139)은 혼천상(渾天象)을 제작하여 혼천설을 실제 형

상으로 표현하였다(Mihn, 2016). 혼천설을 구현하는 천문 관측기기의 하나로 혼의(渾儀)가 있다. 혼의는 고리 모양의 환(環, ring)을 여러 개 결합하여 구의 형태를 만드는

¹ 『儀器輯說』에서는 환(環)을 권(圈)으로 표현했다. 따라서 본 연구에서는 권으로 표현한다.

† corresponding author

데, 크기가 다른 구형들을 같은 중심을 가지고 서로 포개어 놓아 하늘의 형상을 표현한 것이다. 장형이 만든 혼천상은 지평권을 결합하였는데, 이 지평권은 이후의 동아시아에서 제작되는 모든 혼의에 기초적인 뼈대가 되었다. 이러한 구조는 유럽에 남아 있는 혼의와 차이를 보이는 부분이다(Needham et al., 1986).

혼의는 동아시아의 대표적인 천문관측기기로 활용되었다. 반면 원(元, 1271-1368)대에 혼의의 관측 부품인 사유의를 밖으로 드러낸 간의(簡儀)를 만들기 시작하였고, 동시에 혼의 자체는 자동 운행 장치에 결합하기도 하였다. 이렇게 자동 운행 장치가 결합된 혼의를 혼천의로 부르기 시작하였다(Hahn et al., 2001). 한편 송(宋, 960-1279)대의 성리학자에 의해 혼의는 유가(儒家)의 대표적인 교재로 여겨졌다(Lee et al., 2010).

조선에서는 세종대에 처음 국가에서 혼천의²가 만들어진 이후 혼천의를 꾸준히 보수하고 개량했다(Hahn et al., 2001). 특히 조선 유학자들이 교육용으로 혼천의를 만들기 시작하면서, 혼천의라는 명칭이 혼의보다 보편적으로 사용됐다(Lee et al., 2010). 각 혼천의는 서로 다른 특징들을 가지고 있으며, 혼천의들을 통해 그 용도와 기술적 발전 등 당시의 시대상과 우주관을 유추할 수 있다.

남병철 혼천의는 자동 운행 장치가 연결된 기기나 교육용 교재가 아닌 관측용 기능을 가진 천문관측기기로 복귀하도록 개량되었다. 이는 서양 과학이 자리 잡힌 이후인 19세기에 만들어진 조선 후기의 혼천의로써 기존 동아시아에서 볼 수 없던 혼천의 구조를 보인다(Lee et al., 2001). 남병철은 『의기집설(儀器輯說)』(1859) 상권에서 혼천의에 관해 설명하였는데, 그 설(說)과 제작법[製法], 사용법[用法] 등을 기술하였다. 이와 관련된 선행연구로 『의기집설』 번역 및 해제작업(Nam and Chen, 2013)과 함께 혼천의 제작법에 대한 기초적인 연구가 진행되었다(Lee et al., 2001). 아울러 이 혼천의를 사용하는 방법에 관한 기초적인 연구도 시도되었다(Kim et al., 2006).

본 연구는 남병철 혼천의의 제법과 용법을 병행하여 재분석하였다. 『의기집설』에 수록된 남병철 혼천의의 용법은 모두 21개의 항목으로 구성되어 있다.

2장에서는 남병철을 소개하면서 그의 혼천의의 기본적인 구조에 대해 재검토하고, 3장에서는 의기집설 혼천의의 사용법을 문헌에 기초하여 용법들에 관해 그 과정을 기술하고 분류하였다. 용법들에 대한 각 과정과 현대천문학과 연관성을 그림과 표로 정리하였다. 마지막으로 4장에서는 본 연구를 요약하였다.

2. 남병철 혼천의의 구조

2.1. 남병철과 의기집설

남병철(南秉哲, 1817 ~ 1863)은 19세기 중반에 활약했던 조선 후기 대표적인 관료이자 지식인이다. 그는 1837년(헌종 3) 만 21세의 나이로 관직 생활을 시작하였으며³, 1852년(철종 3)에는 예방승지(禮房承旨)가 되었다.⁴ 1856년(철종 7)에 만 39세의 나이로 정2품인 예조 판서(禮曹判書)⁵와 공조 판서(工曹判書)⁶를 역임하고, 1857년(철종 8)에 형조 판서(刑曹判書)⁷와 의정부(議政府) 좌참찬(左參贊)⁸을 지냈다. 1858년(철종 9)에 병조 판서(兵曹判書)로 임명되고⁹ 뒤이어 규장각 제학(奎章閣提學)을 겸하였다.¹⁰ 같은 해 연말에는 이조 판서(吏曹判書)가 되었다.¹¹ 1859년(철종 10)에는 대제학(大提學)이 되었다.¹² 그 이후 정2품의 관직을 두루 거쳐, 1863년(철종 14) 7월 13일에 세상을 떠났다.¹³ 1856년 중2품 이조참판¹⁴이 되었을 때부터 관상감(觀象監) 제조(提調)를 겸임하였을 것으로 보인다(Lee et al., 2001). 그의 동생 남병길(南秉吉, 1820 ~ 1869)은 별의 위치를 기록한 천문서인 『성경(星鏡)』(1861)을 저술하기도 하였다.

『철종실록』에서 그의 졸기(卒記)를 살펴보면, 남병철에 대해 3가지로 정리하고 있다. 첫째, 서적을 통해 여러 분야를 섭렵하였다. 둘째, 성력(星曆)에 통달하여 천문(天文)의 미묘한 이치를 세밀히 분석했다. 셋째, 관

3 『헌종실록』 5권, 헌종 4년 6월 29일(무술); 設翰林召試于仁政殿, 洪在龍、鄭基世、南秉哲, 被選.

4 『철종실록』 4권, 철종 3년 2월 13일(갑오); 命禮房承旨南秉哲, 對舉承旨任百秀加資.

5 『철종실록』 8권, 철종 7년 6월 6일(신묘); …, 南秉哲爲禮曹判書, ….

6 『철종실록』 8권, 철종 7년 11월 20일(갑술); …, 南秉哲爲工曹判書, ….

7 『철종실록』 9권, 철종 8년 5월 10일(경신); 以南秉哲爲刑曹判書, ….

8 『철종실록』 9권, 철종 8년 9월 15일(계사); …, 南秉哲爲議政府左參贊.

9 『철종실록』 10권, 철종 9년 2월 11일(정사); …, 南秉哲爲兵曹判書, ….

10 『철종실록』 10권, 철종 9년 9월 19일(신묘); 以南秉哲爲奎章閣提學, ….

11 『철종실록』 10권, 철종 9년 12월 26일(경묘); 以南秉哲爲吏曹判書, ….

12 『철종실록』 11권, 철종 10년 7월 8일(병자); 以南秉哲爲大提學. 당시 홍문관(弘文館), 예문관(藝文館), 규장각(奎章閣) 중의 어느 관청의 대제학인지 확실하지 않다.

13 『철종실록』 15권, 철종 14년 7월 13일(정사); 前大提學南秉哲卒.

14 『철종실록』 8권, 철종 7년 2월 9일(정유); 以南秉哲爲吏曹參判.

2 『세종실록』 60권, 세종 15년 6월 9일(경인); 鄭招朴堧金鎮等進新造渾天儀.

료가 지녀야 할 능력이 뛰어나 청현직(淸顯職)을 두루 거쳤지만, 퇴근하면 조용한 선비 같았다.¹⁵ 남병철은 학문에 관한 관심은 시기마다 변화가 있었는데, 천문과 역산에 관심을 가지기 시작한 것은 그를 총애하던 헌종이 승하하면서이다(Noh, 2010). 철종 치세 기간 권력의 중심 세력에 있었던 남병철은 관상감 제조와 규장각에 근무하면서 서양 과학에 대한 여러 서적을 접했음을 짐작할 수 있다(Lee et al., 2001).

남병철은 천문학 관련해서 여러 책을 저술하였다. 대표적으로 『의기집설』(1859년경), 『해경세초해(海鏡細初解)』(1861), 『추보속해(推步續解)』(1862), 『회회력법(回回曆法)』, 『성요(星要)』(1860년대) 등이 있다(Nam, 2011). 이 중 『의기집설(儀器輯說)』은 천문기기와 관련된 여러 문헌들을 연구하고, 19세기 조선에서 제작된 천문기기를 참고하여 그 설, 제작법, 용법에 대해 집필한 전문 서적이다(Kim et al., 2000).

『의기집설』 상권에는 혼천의(渾天儀)를, 하권에는 혼개통헌의(渾蓋通憲儀), 간평의(簡平儀), 험시의(驗時儀), 적도고일구의(赤道高日晷儀), 혼평의(渾平儀), 지구의(地球儀), 구진천추합의(勾陳天樞合儀), 양경구일의(兩景揆日儀), 양도의(量度儀) 총 10개의 천문의기를 설명하고 있다. 『의기집설』에서 기술하고 있는 내용은 당시 구할 수 있는 천문기기 관련 참고문헌을 두루 인용한 것으로 알려져 있다(Nam, 2011). 혼천의(渾天儀)는 대진현(戴進賢, Ignatius Kögler)의 『흠정의상고성(欽定儀象考成)』(1745)의 「어제기형무신의설(御製璣衡撫辰儀說)」과 애신각라 윤록(愛新覺羅 允祿, 1695-1767)과 하국종(何國宗, ?-1767) 등이 진상(進上)한 『어제역상고성(御製曆象考成)』(1722)을 참고한 것으로 보인다. 혼개통헌의(渾蓋通憲儀)는 이지조(李之藻, 1565-1631)의 『혼개통헌도설(渾蓋通憲圖說)』(1607)을, 간평의(簡平儀)는 웅삼발(熊三拔, P.S. de Ursis, 1575 ~ 1620)의 『간평의설(簡平儀說)』(1611)을, 지구의(地球儀)는 위원(魏源)의 『해국도지(海國圖誌)』(1852), 모유렴(慕維廉, W. Muirhead)의 『지리전지(地理全志)』(1853-1854) 등을 참고하였다고 한다. 그 밖에도 남회인(南懷仁, Ferdinand Verbiest, 1623-1688)의 『영대의상지(靈臺儀象志)』(1674), 오위업(吳偉業, 1609-1672)의 자명중 시(詩), 매문정(梅文鼎, 1633-1721)의 천문역산 관련 저술서, 완원(阮元, 1764-1849)의 『연경실집(擘經室集)』(1823), 『흠정의상고성속편(欽定儀象考成續編)』(1845), 서계여(徐繼畬)의 『영환지략(瀛環志略)』(1848) 등을 인용하고 있다(Nam, 2011).

본 연구에서는 『의기집설』 상권의 「혼천의」의 〈혼천의 제법〉과 〈혼천의 용법〉을 중심으로 살펴보고자 한다.

2.2. 혼천의 구조

혼천의는 전통적으로 육합의(六合儀), 삼신의(三辰儀), 사유의(四遊儀) 3중 구조를 가진다.¹⁶ 조선의 혼천의들 또한 기본적으로 3중 구조로 되어 있다. 임병양란(壬丙兩亂) 이후에 제작된 최유지(崔攸之, 1603 ~ 1673)의 죽원자(竹園子)(Koo, 2005), 이민철(李敏哲, 1631 ~ 1715)의 혼천의(Hahn & Nam, 1997), 송이영(宋以穎, 1619 ~ ?)의 자명중(곧, 혼천시계)(Kim et al., 2018; Kim, 2012), 홍대용(洪大容, 1731 ~ 1783)의 통천의(Mihn et al., 2021)와 같이 관측 용도가 아닌 외부 동력장치에 의해 운행되는 혼천의는 2중의 형태를 취하고 있다. 하지만 이는 관측을 담당하는 사유의 대신 다른 기물을 넣은 형태로 전통적인 3중 구조에서 크게 벗어난 형태라고 볼 수 없다.

남병철은 <혼천의설>에 “역대 각종 혼의의 제작 방법을 보편적으로 살펴 복잡한 부속품은 제거하고, 간단한 부속품은 보강하여 5중(中) 8권(圈)의 새로운 혼의를 제작하였다.”¹⁷고 밝히고 있다. 기존 3중 구조가 아닌 5중 구조는 바깥에서 안으로 ①외환(外環), ②육합의(六合儀), ③삼신의(三辰儀), ④재극권(載極圈), ⑤사유(四遊儀)의 구조를 말한다. (Figure 1. 참조)

남병철 혼천의 5중 8권 구조의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 전통적인 육합의에서 지평권(地平圈, horizontal ring)이 외환으로 분리되어 있다. 지평권은 기존 전통적인 혼천의 구조에서는 육합의에 포함되어 있다(Lee et al., 2010).¹⁸ 전통적인 혼의의 육합의는 지평권을 포함하고, 위도(북극고도) 36°에 고정된 채 변경할 수 없게 하였다(Mihn et al., 2021). 남병철 혼천의에서 외환의 기능은 혼천의 용법과 연관 지어 보아야 한다. 『의기집설』 〈혼천의 용법〉에는 그 4항목에 ‘북극출지도 측정(測北極出地度)’이 있다. 외환인 지평권은 바닥에 고정된 상태에서, 그 안에 있는 육합의는 자오선 상에서 회전할 수 있도록 하고 있다. 즉 남병철 혼천의의 회전축을 천구의 양극에 일치시킬 수 있다.¹⁹ 관측지의 위도가 변경되더라도 남병철 혼천의는 변경된 위치에 맞게 혼천의의 북극고도를 정하여 양극을 설치할 수 있다.

¹⁶ 『書纂言』 卷 1, “歷代相因由唐至宋, 漸加精緻, 為儀三重.”

¹⁷ 『儀器輯說』 「渾天儀」 「渾天儀說」 “今考諸法, 損益煩簡, 作新儀, 儀凡五重八圈.”

¹⁸ 『書纂言』 卷 1 선기옥형, “가장 바깥에는 제1중 육합의가 있으며, 여기에는地平環, 天經環, 天緯環이 포함되어 있다.”

¹⁹ 『儀器輯說』 「渾天儀」 〈渾天儀說〉, “依法安儀, 以黃道圈上本日躔度, 切于子午圈中線, 候太陽, 正午時視, 黃道圈內無景. 【圈內或有景, 運子午圈, 或上或下, 至無景, 乃止】 自地平圈子線, 循子午圈, 數至極軸所在處, 即得本方極出度.”

¹⁵ 『철종실록』 15권, 철종 14년 7월 13일 (정사): 秉哲, 文淸公·有容五世孫, 博綜書籍, 透悟而後已, 一寓日終身不忘. 旁通星曆, 鈎玄剔微. 雅不以一藝能沾譽, 人或不知其所蘊. 早通閩籍, 歷颺淸顯, 而公退之暇, 簾閣闃寂, 迢然若遁士之不可狎焉.

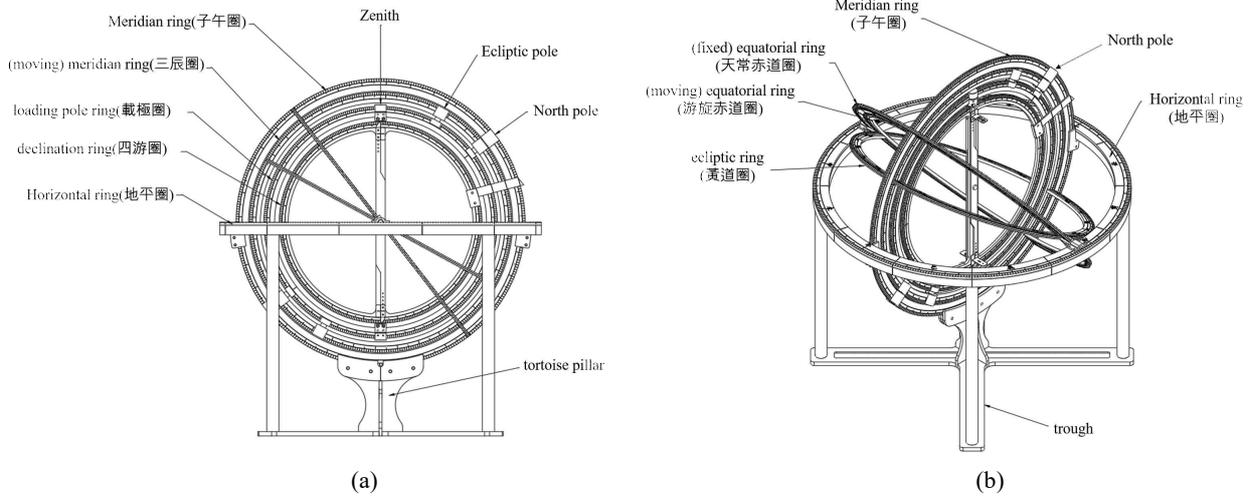


Figure 1. Armillary sphere designed according to the description in the ‘Uigijipseol’ (儀器輯說)(1859). (a) Front view of the armillary sphere featuring a stack of 5 spherical frames. (b) A bird's-eye view.

(2) 자오권(子午圈, fixed meridian ring)과 천상적도권(天常赤道圈, fixed equatorial ring)이 서로 수직으로 결합하여 있는데, 본 연구에서는 이를 육합의(六合儀)라고 명명한다. 천상적도권에는 시각의 눈금이 있고, 자오권은 위도(緯度)의 눈금이 새겨져 있다(Lee et al., 2001). 자오권의 극축은 삼신의와 결합할 수 있는 구멍이 있다.

(3) 육합의 안에는 삼신의가 있는데, 삼신권(三辰圈, moving meridian ring)과 유선적도권(游旋赤道圈, moving equatorial ring)이 서로 수직으로 결합하여 있고, 황도권(黃道圈, ecliptic ring)은 유선적도권으로부터 23.5도 기울어진 채로 삼신권에 붙어 있다. 삼신의는 육합의(자오권)의 극축을 중심으로 회전할 수 있다. 유선적도권과 황도권은 12궁(宮) 360도 주천도수의 눈금이 새겨져 있고, 삼신권은 양극에서 허리까지 90도의 위도 눈금이 그려져 있다(Lee et al., 2001). 또한 삼신권은 적극과 황극을 나타내는 각각 양쪽의 구멍이 있다. 적극의 구멍은 육합의의 자오권 극축과 연결되며, 안에 있는 재극권의 적극에 연장하여 축을 연결할 수 있다. 황극의 구멍은 재극권과 연결된다.

(4) 삼신의 안쪽에는 재극권(載極圈, loading pole ring)이 있다. 재극권에는 3쌍의 극공이 있는데, 각각 적극공, 황극공, 천정극공이다. 적극공과 황극공은 23.5도 떨어져 있다. 『의기집설』 혼천의 용법의 2항과 같이, 이 한 쌍의 극공에 사유권의 극축이 결합한다.

(5) 재극권 안에는 사유권(四游圈, declination ring)과 사유권 양면의 중심에서 회전하는 규형(窺衡, alidade or dioptra) 2개가 있다. 본 연구에서는 이를 사유의(四游儀)라고 부르겠다. 사유권에는 양극에서부터 시작해서

90° 되는 지점까지 주천도수의 눈금이 새겨져 있다. 하나의 규형에는 통광표(通光表)가, 또 다른 한 규형에는 측성표(測星表)가 부착된다. 통광표와 측성표는 각각 상표와 하표의 쌍을 이루며 각 규형의 양 단에 있다(Lee et al., 2001). 통광표는 태양 관측에, 측성표는 ‘달, 행성과 항성[月星](이후 ‘월성’으로 축약하여 지칭함)’의 관측에 사용되는 것으로 보인다.²⁰

사유권의 극축을 재극권의 어느 극공에 삽입하느냐에 따라 적도좌표, 황도좌표, 지평좌표의 3개 좌표에 따른 관측을 수행할 수 있다. 재극권의 극공에 사유권의 축을 변경함으로써 두 좌표 간의 변환을 쉽게 추구할 수 있다. 예를 들어 적극공7에 설치한 사유의는 적도경도(곧 적경)와 적도위도(곧 적위)를 관측하여 임의 천체의 위치를 적도 좌표로 얻고, 곧바로 사유권의 축을 재극권의 황극공으로 변경하고 같은 천체를 관측하여 황도좌표로 위치를 획득한다. 이 두 좌표의 위치를 비교함으로써 두 좌표 간 변환을 할 수 있다.

3. 남병철 혼천의의 용법

『의기집설』 〈혼천의용법〉에는 총 21개 항목의 사용법을 다음과 같이 기술하고 있다. 이처럼 혼천의 용법에 관해 상세히 기술한 자료는 드물다.

1. 혼천의 설치[安儀]

²⁰ 『儀器輯說』 「渾天儀」 〈渾天儀用法〉에서 규표(窺表) 또는 사유규표(四遊窺表)라는 표현이 나오는데, 이는 사유권에 있는 규형의 통광표와 측성표를 말한다. 본 연구에서, 규표(窺表)의 해석을 태양 관측에서는 통광표로, 월성 관측에서는 측성표로 가정하였다.

2. 사유권 설치[四遊圈三用]
3. 남북진선 측정(測南北眞線)
4. 북극출지도 측정(測北極出地度)
5. 적도고도 측정(測赤道高度)
6. 태양전도 측정(測太陽躔度)
7. 태양시각 측정(測太陽時刻)
8. 태양 출입시각 및 주야장단 측정(測太陽出入時刻及晝夜永短)
9. 태양적도경위도 측정(測太陽赤道經緯度)
10. 태양 각 절후 오정 및 각 시각의 고도 측정(測太陽各節候午正及各時刻高度)
11. 태양의 지평경위도 및 편도 측정(測太陽地平經緯度及偏度)
12. 몽영시각 측정(測朦影時刻)
13. 황적대거 측정(測黃赤大距)
14. 태양 교절기의 시각 측정(測太陽交節氣時刻)
15. 월성 적도경위도 측정(測月星赤道經緯度)
16. 월성 황도경위도 측정(測月星黃道經緯度)
17. 월성 지평경위도 및 편도 측정(測月星地平經緯度及偏度)
18. 월성 지평출입시각·당중시각과 편도의 측정(測月星出入地平時刻與當中及偏)
19. 두 별 사이의 사거도 측정(測兩星斜距度)
20. 황백대거의 한계측정(測黃白距限)
21. 황적동승도차 측정(測黃赤同升度差)

21개의 용법 중에는 한 주제 안에서도 다른 방식의 측정법이나 여러 관측 대상을 하나의 주제로 기술하기도 한다. 예를 들어, 태양 각 절후 오정 및 각 시각의 고도 측정(10)의 경우, 첫 번째 내용은 각 절후의 오정(午正)에서의 태양 고도를 관측하는 것으로 사유의 축을 적극공에 설치하는 반면, 두 번째 내용은 각 절후의 각 시각에서의 태양 고도를 관측하는 것으로 천정극공을 활용한다.

예시1) 태양의 각 절후 오정(午正) 고도 측정법

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 사유권을 자오권에 일치시킨다.
- c. 각 절후의 오정초각(남중시각)에 태양을 관측하는데, 규형 통광표를 위아래로 움직여 태양과 맞춘다.
- d. 사유권의 직거의 중심선(적도면)에서 규형 지시선이 표시하는 곳까지 셈하는 데, 곧 적도위도이다. 자오권에 이 적도위도에 해당하는 점을 표시한다.
- e. c 과정과 같은 방법으로, 삼신의 황도권에 있는 절후 위치를 자오권에 일치시키면,

두 권이 만나는 점이 그 절후의 오정(초각)에 태양의 위치와 일치한다. 그 위치를 자오권에 점으로 표시한다(이 e점은 d점과 같다).

- f. 이 점이 바로 서로 다른 절기의 오정 태양 고도가 된다.

예시2) (태양의 각 절후) 각 시각의 고도 측정법

- a. 사유권을 재극권의 천정극공에 설치한다.
- b. 규형으로 오정 전후의 각 시각에 태양을 관측한다.
- c. 사유권이 지평권과 만나는 지점으로부터 규형의 지시선이 사유권과 서로 엇갈리는 지점까지 셈한다.
- d. 이것이 바로 각 시각의 태양 지평고도이다.

이처럼 한 용법에 대해서 여러 방법이 포함되어 있거나, 서로 다른 관측이 포함되어 있다.

본 연구는 『의기집설』에 표현된 남병철의 21개 용법에 대한 분류를 차용하지만, 실제 측정하는 가지 수를 고려하면 총 33가지의 측정법으로 세분할 수 있다(이후 33가지 측정법을 ‘항목’이라고 칭함). 이들 항목은 ①혼천의 설치를 위한 ‘선행 과정(preprocess)’ 6가지, ②천체의 위치 측정 18가지, ③천체 위치를 통한 시간 측정 7가지, ④기타 보조적인 활용법 2가지로 나눌 수 있다. 33개 항목을 Table 1에 정리하였다.

Table 1에서, 1열은 항목 순서, 2열은 측정 내용, 3열은 측정 대상, 4열은 사유권이 재극권의 어느 극공에 삽입되는지의 여부, 5열은 해당 항목 측정 전에 먼저 수행해야 하는 측정 항목을 나타내었다. 2열을 보면, 5~21항목 중 13항목과 20항목은 보조 측정이고, 7항목, 8항목, 12항목, 14항목과 18-1항목이 시간을 측정하는 것이며, 나머지는 천체의 위치를 측정하는 내용이다.

4열에 따르면, 혼천의를 설치(preprocess)하거나 12항목의 몽영시각을 구할 때는 사유의를 천정극공에 삽입하여 사용한다. 물론 10항목, 11항목과 17항목과 같이 지평경도(방위각)와 지평위도(고도)를 구할 때는 천정극공을 사용해야 한다. 한편 황적동승도차(21항목)를 측정할 때는 황극공에 사유권의 축을 설치한다. 16항목은 황도경위를 측정하기 때문에 당연히 재극권의 황극공을 활용해야 한다. 이를 제외한 많은 항목에서 사유의는 적극공에 삽입된다. 이전 시기 유학자들이 혼천의를 제작할 때 삼신의 회전축을 극축에 고정하였는데(Lee et al., 2010), 남병철의 혼천의도 약 11개 항목에서 사유의를 적극공에 고정하여 사용한다.

Table 1을 확장하여, 남병철 혼천의의 용법은 Figure 2와 같이 도식화될 수 있다. Figure 2는 Table 1에 제시한 4열의 극공별 사유권의 설치 내용을 사유권이 관측할 수

Table 1. A classification of measurements using by the Nam's armillary sphere. There are 21 usages of his armillary sphere in *Uigijipseol*.

| Item | Measurement ¹ | Measurand | Setting up DEC ring into Poles | Precedence |
|------|--------------------------|------------------|--------------------------------|------------|
| 1 | preprocess | -- | zenithal | |
| 2 | preprocess | -- | -- | |
| 3-1 | preprocess | Sun | -- | |
| 3-2 | preprocess | stars | zenithal | |
| 4-1 | preprocess | Sun | -- | |
| 4-2 | preprocess | stars | zenithal | |
| 5 | (P) Alt | Sun | zenithal | Item 11-1 |
| 6 | (P) Long. | Sun | equatorial | |
| 7-1 | (T) Daytime | Sun | equatorial | |
| 7-2 | (T) Night | stars | equatorial | |
| 8 | (T) Rise & Set | Sun | equatorial | |
| 9-1 | (P) DEC | Sun | equatorial | |
| 9-2 | (P) RA | stars | equatorial | |
| 10-1 | (P) DEC | Sun | equatorial | Item 9-1 |
| 10-2 | (P) Alt | Sun | zenithal | |
| 11-1 | (P) Alt | Sun | zenithal | |
| 11-2 | (P) Az | Sun | zenithal | |
| 11-3 | (P) ΔAz | Sun | zenithal | |
| 12 | (T) Twilight | -- | zenithal | |
| 13 | (P) Obl. Ecl | Sun | equatorial | |
| 14 | (T) ΔTransit | Sun | equatorial | Item 10-1 |
| 15-1 | (P) DEC | MPS [†] | equatorial | |
| 15-2 | (P) RA | MPS [†] | equatorial | |
| 16-1 | (P) Long. | MPS [†] | ecliptic | |
| 16-2 | (P) Lat. | MPS [†] | ecliptic | |
| 17-1 | (P) Alt | MPS [†] | zenithal | Item 11-1 |
| 17-2 | (P) Az | MPS [†] | zenithal | Item 11-2 |
| 17-3 | (P) ΔAz | MPS [†] | zenithal | |
| 18-1 | (T) Rise & Set | MPS [†] | equatorial | |
| 18-2 | (T) Transit | MPS [†] | equatorial | |
| 19 | (P) Ang. Dist. | stars | equatorial | |
| 20 | -- | Moon | equatorial | |
| 21 | (P) DEC-Lat. | -- | ecliptic | |

1 P: position, T: time

2. Alt: Altitude

3. Long: Longitude

4. DEC: Declination

5. RA: Right Ascension

6. Az: Azimuth

7. Obl. Ecl: Obliquity of the Ecliptic

8. Lat: Latitude

9. Ang. Dist: Angular Distance

† MPS: the Moon, planets, or stars,

있는 좌표계로 구분하였다. 즉 지평좌표 10가지, 적도좌표 14가지, 황도좌표 3가지 항목이 여기에 해당한다. 태양을 측정하는 것은 실선으로, 월성을 관측하는 것은 점선으로, 관측 없이 혼천의 자체로 사용하는 것은 일점 쇄선(dashed dotted line)으로 표기했다. 기호 ○는 오정초각(午正初刻)에 관측하는 것이며, 태양과 관련하여 관측 시각을 표기한다. 기호 ●, □, ■는 각각 황도권, 유선 적도권, 천상적도권의 눈금을 사용하는 경우로, 각각 황경(황도경위), 적경(적도경위), 시각(12시 96각)을 잴 수 있다.

3.1. 혼천의 설치 (선행 과정)

앞의 6가지 항목은 남병철 혼천의의 설치와 사유권의 용도에 대한 개괄적인 내용을 설명하고 있다. 1항목은 혼천의의 자오(子午) 정렬과 수평 정렬을 하여 혼천의 자리를 잡는 방법이다. 실제 두 정렬은 3-1항목에서 4-2항목까지의 측정을 통해서 이루어진다. 1항목에서 4-2항목까지는 혼천의 설치 단계이면서 동시에 모든 천체 관측의 선행 과정에 해당한다.

2항목은 본격적인 관측에 들어가기 전에 사유권을 재극권의 3가지 극공 중 하나에 설치하는 것이다. 2항목에 따르면, 사유권을 적극공, 황극공, 천정극공에 설치함으로써, 남병철 혼천의가 각각 적도경위의(赤道經緯儀), 황도경위의(黃道經緯儀), 지평경위의(地平經緯儀)의 역할을 한다고 기술하고 있다.²¹ 다시 말해서 사유권을 적극공, 황극공, 천정극공에 설치하면, 각각 적도좌표계(적도경도, 적도위도), 황도좌표계(황도경도, 황도위도), 지평좌표계(지평경도, 지평위도)로 천체의 위치를 구할 수 있다. 남병철 혼천의의 가장 중요한 기능이 바로 사유권을 유연하게 설치함으로써 세 가지 좌표계 사이를 쉽게 전환할 수 있는 것이다.

3-1항목은 태양이, 3-2항목은 항성(恒星)이 뜨고 질 때, 정동과 정서에서 치우쳐진 정도를 가지고 남북진선을 정하는 방법이다. 이는 혼천의 자오를 천체의 자오선에 바로 세우는 것이다. 4-1항목, 4-2항목은 북극출지를 측정하는 것으로, 북극출지도수는 적도의 천정거리[距天頂] 도수이며,²² 설치한 지역의 위도(ϕ)에 해당한다.

4-1항목의 북극출지를 측정하는 법은 그날 태양의 황도상의 위치[躔度]와 황도권의 그림자 여부를 이용한다. 정오(正午) 때 해당하는 날 태양의 황경을 자오권에 일치시킨 후, 혼천의의 황도권이 만드는 태양의 그림자가 안쪽의 권면(圈面)과 정확히 일치하도록, 육합의의 자오권을 돌린다. 즉 정오에 황도권 그림자가 생기면 ..

²¹ 『儀器輯說』 「渾天儀」 〈渾天儀用法〉, 四遊圈, 安于赤極, 則爲赤道經緯儀. ... 安于黃極, 則爲黃道經緯儀. ... 安于天頂, 則爲地平經緯儀. ...

²² 『儀器輯說』 「渾天儀」 〈渾天儀用法〉, 蓋北極出地之度, 卽赤道距天頂之度.”

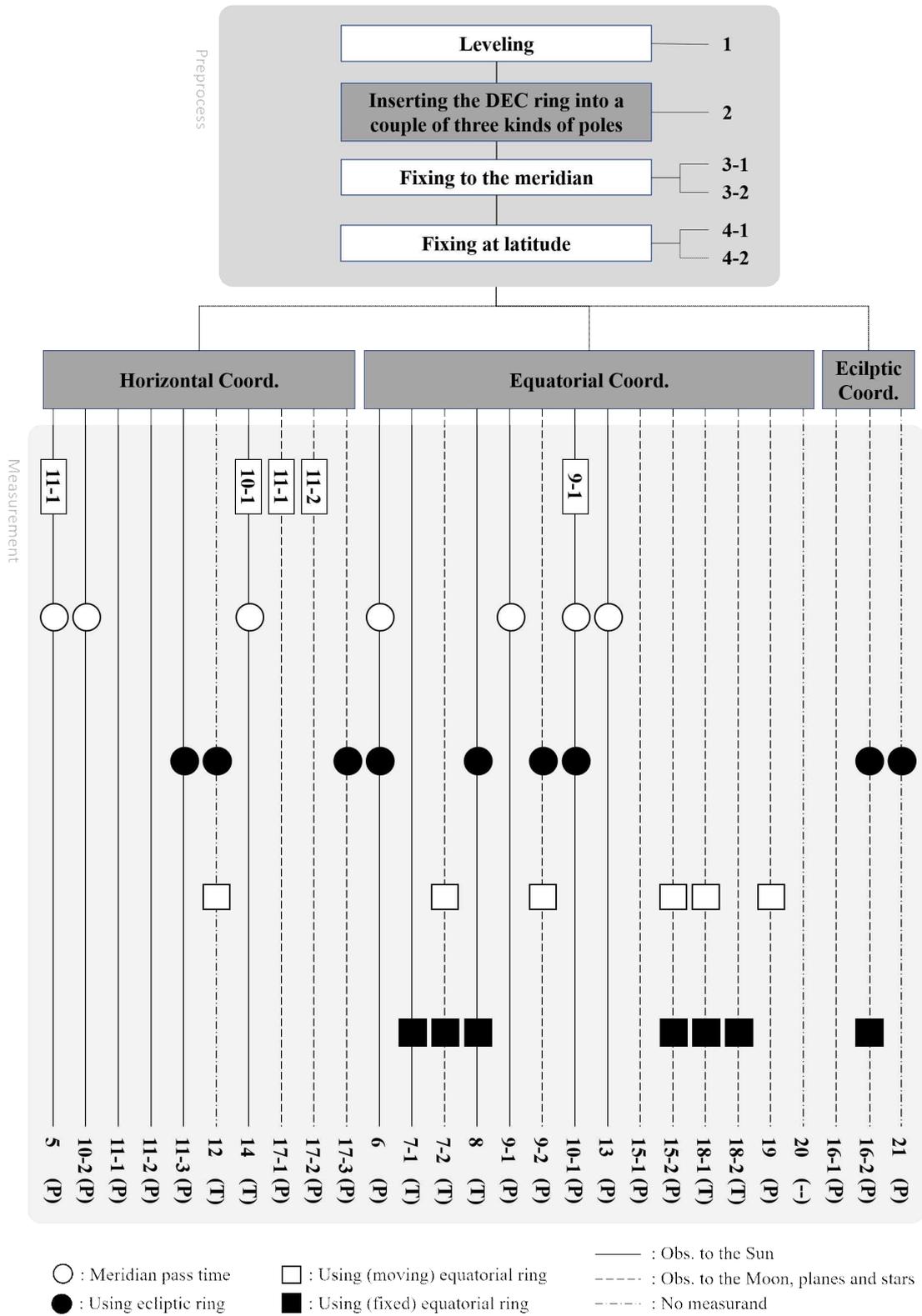


Figure 2. Schematic reclassification of Nam's armillary sphere.

자오권을 위 또는 아래로 돌려서 그 그림자가 없을 때까지 돌려 맞춘다.²³ 그 순간에 북극이 가리키는 지평고도가 지역의 북극출지도수(위도)이다. 4-2항목의 밤의 경우에는 북극 주위의 밝은 항성 하나를 측정하여 최비(最卑, 가장 낮음)의 도수와 최고(最高)의 도수를 통해 측정한다.

3.2. 천체의 위치 측정

남병철 혼천의로 천체의 위치를 측정하는 용법은 20가지 항목이 있다. 『의기집설』에서는 월성과 태양을 달리하여 서술하고 있는데, 관측 대상만 다를 뿐 용법의 과정 자체가 같은 경우도 있다.

3.2.1. 적도고도(赤道高度)

5항목에 적도고도를 측정하는 방법을 설명하고 있다. 적도고도는 관측지의 천구에 지평으로부터 적도가 지나는 각이다. 혼천의에서는 적도권이 자오권과 만나는 점의 고도로 자오권을 따라 각도를 재는 것이다. 이렇게 재는 적도의 지평위도(고도)는 여위도($90^\circ - \phi$)에 해당한다. 5항의 설명에 따르면, 분점에서 사유권을 자오권에 일치시켜서 사유권의 눈금을 통해 적도고도를 측정한다.

- a. 춘추분 날에 사유권을 재극권의 천정극공에 설치한다.
- b. 사유권을 자오권에 일치시킨다.
- c. 오정초각(남중시각)에 규형의 통광표로 태양을 관측하여 자오권에 표시한다.
- c. 지평으로부터 자오권 표지까지 눈금을 읽어서 고도를 얻는다.

3.2.2. 태양의 전도(躔度)

태양의 전도는 황도상에서 해당 날짜 태양의 위치를 말하는데, 태양의 평균운동을 가정하면, 하루에 약 1°씩 우선(右旋, 오른손 회전²⁴)하는 정도를 재는 것이다. 5항목인 태양 전도는 다음과 같은 과정으로 구한다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 사유권을 자오권에 일치시킨다.
- c. 오정초각(남중시각)에 규형의 통광표로 태양을 관측하여 자오권에 표시한다.
- d. 삼신의 황도권을 돌려 자오권 표지와 황도권이 일치하는 순간을 찾아 그 눈금을 읽는다.

²³ 『儀器輯說』 「渾天儀」 〈渾天儀用法〉, 圈內 或有景, 運子午圈, 或上或下, 至無景, 乃止.

²⁴ 우선(右旋)은 오른손 엄지손가락을 회전축으로 지향할 때 나머지 네 손가락이 감는 방향을 말한다. (Mihn et al., 2021)

Table 2. Zodiac signs, 12 Branches and Orders (Rufus, 1913)

| Signs | Zodiac Korean [宮] | Branches (animal) | Chinese Orders |
|-------------|----------------------------------|----------------------|-------------------|
| Capricornus | Ma Kai (磨羯) | 丑 (Ox) | 星紀 |
| Aquarius | Precious water bottle (寶瓶) | 子 (Rat) | 玄枵 |
| Pisces | Two Fish (雙魚) | 亥 (Pig) | 娵訾 |
| Aries | White Sheep (白羊) | 戌 (Dog) | 降婁 |
| Taurus | Golden Bull (金牛) | 酉 (Cock) | 大梁 |
| Gemini | Eum-yang (陰陽) | 申 (Monkey) | 實沈 |
| Cancer | Great Crab (巨蟹) | 未 (Sheep) | 鶉首 |
| Leo | Lio (獅子) | 午 (Horse) | 鶉火 |
| Virgo | Two Womsn (雙女) | 巳 (Serpent) | 鶉尾 |
| Libra | Celestial Balance (天秤) | 辰 (Dragon) | 壽星 |
| Scorpius | Celestial Scorpion (天蠍) | 卯 (Hare) | 大火 |
| Sagittarius | Man and Horse (人馬) | 寅 (Tiger) | 析木 |

여기서 태양의 적위가 같은 날이 연중 2회 있기 때문에 해당 날짜가 어느 계절에 해당하는지 확인해서 태양의 전도를 찾아야 한다. 또한 측정한 눈금을 분점이나 지점으로부터 차이를 읽어서 황도궁도(黃道宮度)로 변환한다. 춘분은 백양술궁(白羊戌宮), 추분은 천칭진궁(天秤辰宮)이고, 동지는 마갈축궁(磨羯丑宮), 하지는 거해미궁(巨蟹未宮)이다. 당시에는 황도의 12궁(宮)을 12지지(地支)로 표현하였다. Table 2에는 천상열차분야지도에 소개된 황도대의 12궁과 12지지의 관계를 나타내었다(Rufus, 1913).

3.2.3. 태양 적도경위도(赤道經緯度)

『의기집설』에서는 태양이 황도를 따라 운행하기 때문에, 매일의 황적상거도(黃赤相距度)가 다르다고 설명한다. 황적상거도(黃赤相距度)는 매일 황도상의 진태양과 적도상의 가상 태양(fictitious sun)의 위치 차이를 의미하는 것으로 보인다. 따라서 매일의 태양 적도경도(적경)와 적도위도(적위)가 변한다. 먼저 9-1항의 태양의 적도위도는 다음과 같이 측정한다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 사유권을 자오권에 일치시킨다.
- c. 오정초각(남중시각)에 규형의 통광표로 태양을 관측하여 그 위치를 (사유권에) 표시한다.
- d. 사유권의 직거 중심에서 규형의 지시선까지의 눈금을 읽어 위도를 얻는다.

반면 태양의 적도경도는 태양이 항성에서 떨어진 거리로 측정하는데, 이때 항성의 경도를 미리 알고 있다고 가정한다. 9-2항은 다음과 같이 측정한다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 유선적도권 상의 항성의 경도에 맞게 사유권을 일치시키고 이 두 권(圈)이 함께 움직일 수 있도록 고정한다.
- c. 유선적도권과 사유권을 서로 함께 회전하여 사유권으로 항성을 측정하여 그 위치를 고정한다.
- d. 그날 황도상 태양의 전도에서 유선적도권에 수직하게 직선표를 위치시킨다.
- f. 유선적도권 상에서 직선표와 맞닿은 곳(d)과 사유권이 있는 곳(b)의 거리는 곧 항성과 태양의 적경차이다. 곧 유선적도권 상에서 직선표와 맞닿은 곳이 태양의 적도경도이다.

3.2.4. 태양 각 절후 오정 및 각 시각의 고도

『의기집설』 10항목은 고도(지평위도)를 측정하는 방법을 설명하고 있다. 다만 10항목은 각 12기[節]와 72후(候)에서의 오정시각(남중시각)과 그 밖의 시각에서의 태양의 고도를 측정한다. 앞서 언급한 예시1; 예시2가 각각 10-1항목과 10-2항목의 측정법이다. 다만 10-1항목에서 자오권에 표시한 점은 사유권을 천정극공에 설치하는 10-2항목의 방법을 사용하여 최종적으로 얻어야 한다.

『의기집설』 〈혼천의제법〉에는 천상적도권의 양 측면에 12시 96각의 눈금을 새겨놓았다.²⁵ 여기서 10-2항목에서 각 시각에 대한 태양 고도 관측은 그 설명이 소략한 측면이 있다. 이를 보강하면 10-2*항목으로 다음과 같은 순서로 진행된다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 사유권과 삼신권을 천상적도권에서 구하고자 하는 시각에 맞게 일치시킨다.
- c. 태양이 구하고자 하는 시각에 도달하면 규형의 통광표로 태양을 관측하고 그 위치를

삼신권에 (점) 표시한다.

- d. 사유권을 재극권의 천정극공에 설치한다.
- e. 삼신권을 천상적도권에서 구하고자 하는 시각에 맞게 일치시킨다.
- f. 사유권(의 중선)을 삼신권의 점 표시에 일치시키고, 규형의 통광표를 점 표시에 오게 한다.
- g. 사유권이 지평권과 만나는 지점으로부터 규형(통광표)의 지시선까지 셈한다.

3.2.5. 태양의 지평경위도(地平經緯度)와 편도(偏度)

『의기집설』에서, 지평위도(고도)의 시작은 지평이고 끝은 천정으로 삼고 있어 오늘날과 같다. 11-1항(태양 지평위도)의 측정법은 10-2항목의 태양의 고도 측정과 같다.

한편, 『의기집설』 〈혼천의용법〉에 따르면, 지평경도(방위각)는 시작을 정동(正東)과 정서(正西)로 삼고, 끝을 정남(正南)과 정북(正北)으로 하는 것이 특징이다. 오늘날 방위각의 원점을 북점이나 남점을 설정하는 것과 다르다. 남병철의 시대에 동점과 서점이 방위각 측정의 기준이 된 것은 태양과 달, 오행성의 출몰 위치와 관련 있는 것으로 보인다. 11-2항목(태양 지평경도)은 다음과 같이 측정한다.

- a. 사유권을 재극권의 천정극공에 설치한다.
- b. 사유의 규형의 통광표로 태양을 관측하여 사유권을 고정한다.
- c. 지평권의 정동 또는 정서에서 사유권과 접하는 b점까지 남북으로 지평권의 눈금을 셈하여 읽는다.

11-3항목은 태양의 지평편도로써, 해당 일에 해가 뜨거나 질 때, 각각 정동이나 정서에서 남북으로 벗어난 정도를 말한다. 전자를 출지평편도(出地平偏度), 후자를 입지평편도(入地平偏度)라고 한다. 11-3항목의 태양지평편도는 다음과 같이 측정한다.

- a. 심신의의 황도권에서 해당 일의 태양 전도를 점으로 표시한다.
- b. 황도권의 a점을 동쪽 지평권에 접하게 돌리고 그 접점을 지평권에 표시한다.
- c. 지평권 정동인 묘선(卯線)에서 지평권의 b점까지 눈금을 읽으면, 이것이 출지평편도이다.
- d. 마찬가지로 황도권의 a점을 서쪽 지평권에 접하게 돌리고 그 접점을 지평권에 표시한다.
- e. 지평권 정서인 유선(酉線)에서 지평권의 d점까지 눈금을 읽으면, 이것이 입지평편도이다.

²⁵ 『儀器輯說』 「渾天儀」 〈渾天儀製法〉, 天常赤道圈, ... 兩側邊, 畫周日十二時、九十六刻. ...

3.2.6. 월성 적도경위도

3.2.3절에서 태양의 적도경위도 측정을 설명할 때, 적도경도의 경우, 항성의 위치로부터 태양의 적경을 유도하고 있다. 바꾸어 말하면, 월성의 적도경도를 구하는 것, 특히 항성의 적경이 태양 적경을 측정하는데 영향을 준다. 반면 월성의 적도위도(15-1항)는 3.2.3절의 태양에서 보이는 측정 방법과 일치하므로 생략한다. 월성을 관측할 때는 사유권은 규형의 측정표를 사용한다.

『의기집설』 〈혼천의용법〉에서는 월성 관측을 준비하기 전에 하루 중의 시각에 따른 태양의 적도경도의 변화량을 참고한다. 월성의 관측은 밤에 수행한다. 밤 시각은 항성시를 사용하게 되는데, 태양이 매일 1°씩 공전하기 때문에, 항성시가 태양시와 매일 미소한 차이를 가지게 된다. 15-2항목은 다음과 같은 과정을 가진다.

[준비 사항] 당일과 다음날을 태양 적도경도를 확인하고, 관측 순간의 해당 시각이 하루 12시 중 위치하는 간격만큼 두 날의 적도경도에 대해 비례하게 계산한다. 즉 해당 시각의 태양 적도경도를 계산한다.

- 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- 유선적도권 상의 해당 태양의 적경이 천상적도권 상 해당 시각에 일치하도록 유선적도권을 돌려 고정한다.
- 사유권과 규형의 측정표를 회전시켜 월성을 관측한다.
- 사유권(중선)이 유선적도권에 접하는 곳이 월성의 적도경도이다.

3.2.7. 월성 황도경위도(黃道經緯度)

월성의 황도경위도는 사유권을 황극공에 설치하는 것이 적도경위도 측정과 주요한 차이점이다. 월성의 황도경위도 측정도 3.2.6.절의 준비 사항과 비슷한 과정을 따른다.

[준비사항] 해당 시각의 태양 전도를 계산한다.

- 사유권을 재극권의 황극공에 설치한다.
- 황도권 상의 해당 태양의 전도가 천상적도권 상 해당 시각에 일치하도록 삼신의를 돌려 고정한다.²⁶
- 사유권과 규형의 측정표를 회전시켜 월성을 관측한다.
- 직거의 중선부터 규형의 지시선이 접하는 곳까지 사유권의 눈금을 읽으면 월성의 황

도위도이다. (16-1항)

- 사유권(중선)이 황도권에 접하는 곳을 읽으면 월성의 황도경도이다. (16-2항)

3.2.8. 월성 지평경위도 및 편도

월성의 지평경위도와 출지평편도/입지평편도를 측정하는 과정은 태양의 사례와 같다. 17-1항목, 17-2항목, 17-3항목은 각각 10-2항목(11-1항목, 지평위도), 11-2항목, 11-3항목을 참고한다. 마찬가지로 월성은 사유권 규표의 측정표를 관측해야 한다.

3.2.9. 두 별 사이의 사거도

두 별 사이의 사거도(斜距度)는 각거리를 구하는 것을 말한다. 19항목은 다음과 같은 과정으로 측정한다.

- 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- 사유권과 재극권을 일치시켜 함께 움직여서 별 하나의 적도경위도를 관측하고, 재극권에 관측 위치를 점으로 표시한다.
- 사유권만 따로 움직여서 다른 별 하나의 적도경위도를 관측하고, 사유권에 관측 위치를 점으로 표시한다.
- 별도의 반주호(半周弧)(반원호)로 두 점을 지나는 대원으로 사거도를 구한다.

구면천문학에서 두 점을 잇는 가장 짧은 각거리는 대원이 그리는 호이다. 따라서 구면삼각형은 세 대원의 호로 구성된다. 19항목에서 두 별의 적경과 적위, 즉 적도경위도를 구하였다. 재극권의 점을 (α_1 , δ_1), 사유권의 점을 (α_2 , δ_2)이라고 한다면, 사거도 d 는 다음과 같이 표현된다(Meeus, 1998).

$$\cos d = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos \Delta\alpha \quad (1)$$

여기서 $\Delta\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2|$ 이다.

19항목은 사유권을 적극공에 삽입하여 적도경위도를 측정하는 것을 대표적인 사례로 설명하였다. 그 이유는 재극권의 외부로 북극축에 연결하여 지탱하고 있다고 가정하였기 때문이다. 또한 d 의 반원도를 사용하려면 두 환이 서로 접해야 하고 실제 사유권이 재극권 안에 접해 있기 때문이다(Figure 1 참고).

한편 Figure 1(a)에 따르면, 재극권은 삼신권의 황극과도 연결하여 지탱할 수 있다. 이 경우, 사유권을 황극공에 설치하여 a ~ d의 과정으로 황도경위도를 측정하여 두 별의 사거도, d 를 다음과 같이 구할 수 있다.

²⁶ 『의기집설』 〈혼천의용법〉에 명시적인 설명이 없지만, 실제 다음과 같은 과정을 추가하면 관측에 도움이 된다. 황도권이 천상적도권과 평행하지 않으므로, 9-2항 [처럼 직선표를 이용하여 유선적도권 상에 해당 점을 표시하고, 이 점으로 천상적도권과 비교할 수 있다.

$$\cos d = \sin \beta_1 \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos \Delta\lambda \quad (2)$$

여기서 두 별의 황경과 황위를 각각 $(\lambda_1, \beta_1), (\lambda_2, \beta_2)$ 이며, $\Delta\lambda = |\lambda_1 - \lambda_2|$ 이다.

3.2.9. 황적동승도와 황적대거

황적동승도(黃赤同升度)는 춘추분부터 (또는 동하지부터) 황경 1°씩 증가할 동안 적경은 몇 °씩 증가하는지를 비교하는 양이다. 실제 두 경도가 일정한 크기로 증가하거나 감소하지 않고 그 차이가 발생하였다가 이분점이나 이지점에서 서로 일치하게 된다. 다만, 원문에서는 황적동승도의 적도와 황도 궁도값을 비교하였는데, 적경을 기준으로 했을 경우를 적고 있다. 황극을 기준으로 했을 경우, 원문의 설명과 반대로 적용해야 한다. 21항목은 다음과 같이 계측한다.

- a. 사유권을 재극권의 황극공에 설치한다.
- b. 사유권(중선)이 황도권 임의의 궁도에 머물게 하여 고정한다.
- c. 사유권이 교차하는 곳의 적도권 상의 궁도를 일고, 황도권 상의 궁도와 차이를 비교하는데, 이것이 황적동승도의 차이이다.

황적동승도는 황도와 적도가 황적대거(黃赤大距), ϵ 만큼 기울어져 있기 때문이다. 황적대거는 황도경사각을 말한다.

$$\tan \alpha = \tan \lambda \cos \epsilon \quad (3)$$

여기서 α 는 적경(적도경도)이고, λ 는 황경(황도경도)이다. 단, 태양의 황위는 0°라고 가정하기 때문에, 식 (3)에서도 황위 $\beta = 0$ 으로 가정하였다. 황적대거의 변화량은 무시할 만큼 작다고 가정하면, 식 (3)의 변화량은 다음과 같다.

$$d\alpha \equiv \frac{\cos \epsilon}{1 - \sin^2 \epsilon \sin^2 \lambda} d\lambda = \frac{\cos \epsilon}{\cos^2 \delta} d\lambda \quad (4)$$

여기서 δ 는 황도상 위치의 적위이다.

한편 <혼천의용법>에서, 황적대거의 측정(13항)은 다음과 같다.

- a. 하지일이나 동지일의 오정초각(남중시각)에 사유환을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 하지일이나 동지일의 오정초각(남중시각)에 각각 북이나 남으로 태양의 적도위도를 관측하는데, 이것이 황적대거이다.

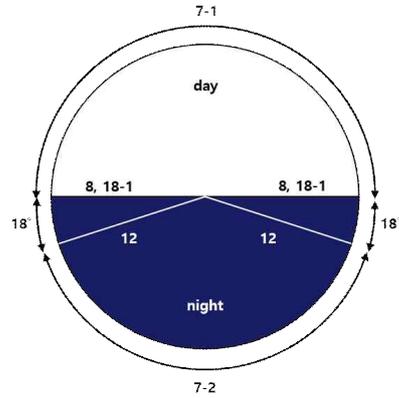


Figure 3. Daytime and nighttime on equinoctial days. Here a number is corresponding to a item in Table 1. The astronomical twilight is lined in white at 18° lower than the horizon.

3.3. 시간 측정법

조선에서는 시각을 측정하는 데 있어서 낮에는 해시계를 이용한 태양시를 활용했다. 밤에는 태양이 뜨지 않기에 물시계를 활용하거나 일성정시의처럼 항성을 활용하여 시각을 측정했다. 『의기집설』 시간 측정과 관련하여 총 5개의 용법에 관해 기술하고 있다. 여기에는 낮 시각(7-1항목)과 밤 시각(7-2항목)뿐만 아니라 지평 출입 시각(8항목과 18-1항목)과 몽영시각(12항목)도 포함하고 있다. 시간측정법은 Figure 2에서는 (T)로 표현되어 있다. 전체적인 시간측정법에 관한 그림은 Figure 3으로 표현할 수 있다.

3.3.1. 태양시각

태양이 만드는 시각이란, 태양의 일주운동에 기인하는데, 태양의 운동을 적도의 궁도(宮度)에 투영한 것이 시각이다. 여러 해시계가 그림자를 통해 측정하는 것과 달리, 7-1항목은 사유권 규형의 통광표로 태양상을 얻어서 규형이 태양을 지향하게 한다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 사유권을 동서로, 규형을 남북으로 움직여 태양의 위치를 관측하여 고정한다.
- c. 지지도표²⁷를 사유권의 둘레에서 천상적도권 시반(時盤)에 접하게 하여 (태양의) 시각을 본다.

하지만 태양이 없는 밤에는 월성을 관측할 수밖에

²⁷ <기형무신의>에는 지지도표에 관해서는 구조가 기술되어 있지만, 직선표에 관해서는 기술되어 있지 않다. 직선표 역시 직선으로 내린다는 의미로 지지도표와 그 역할은 비슷한 것으로 추정되나, 그 구조가 명확하지 않다.

없다. 이때는 적도경도를 알고 있는 행성을 활용한다. 7-2항목 밤 시간의 태양시 측정은 다소 복잡한 과정으로 측정한다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 적도경도를 알고 있는 행성을 선택하여, 사유권(중선)을 삼십의 유선적도권 상의 알고 있는 행성의 궁도(宮度)에 일치시킨다.
- c. 유선적도권의 해당 일의 태양 적도경도를 표시한다.
- d. 사유권을 유선적도권과 함께 고정된 채로 동서로 돌리고 규형의 측성표로 해당 행성의 위치를 관측한다.
- e. c에서 표시한 태양 적도경도가 천상적도권 시반(時盤) 어디에 접하였는지를 통해 (태양의) 시각을 본다.

3.3.2. 태양의 출입시각 및 주야의 장단

태양이 지평을 출입하는 시각, 즉 일출시각과 일몰시각(일입시각)을 가지고 낮의 길이와 밤의 길이를 알 수 있다. 이 주야(晝夜) 시각은 계절에 따라 다른데 적도거등권(赤道距等圈), 즉 소원(small circle)이 만드는 지평의 출입점이 다르기 때문이다. <혼천의용법>에서 태양의 출입시각의 측정은 7-1항목을 그대로 사용하되 태양이 지평에 있을 때를 관측한다고 설명하고 있다. 그러나 이어지는 내용을 살펴보면, 일출시각부터 오정초각까지의 거리인 오정거리[距午正]를 설명하고, 오정거리의 배를 주각이라고 소개하고 있다. 그러나 실제 관측에서 태양이 지평에서 나오는 순간을 측정하기가 쉽지 않다. 남병철이 오정거리를 언급한 것은 오정초각(남중시각)의 관측을 염두에 두었기 때문으로 보인다. 현실적인 8*항목의 태양 출입 시각의 측정 과정은 다음과 같다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 사유권을 자오선에 일치시킨다.
- c. 오정초각(남중시각)에 사유권 규형의 통광표로 태양의 위치를 관측하고 사유권에 점으로 표시한다.
- d. 사유권을 동쪽으로 돌려 점 표시를 지평권에 일치시킨 후, 지시도표로 천상적도권 시반의 시각을 읽는다. 이것이 일출시각이고, 오정시각과의 차이가 오정거리이다.
- e. 사유권을 동쪽으로 돌려 점 표시를 지평권에 일치시킨 후, 지시도표로 천상적도권 시반의 시각을 읽는다. 이것이 일입시각이다.

주각(낮 시간)은 e의 일입시각과 d의 일출시각의 차이가 주각이다. 또는 d의 오정거리의 2배가 주각이다.

야각(밤 시간)은 일입시각에서 지평 아래로 셈하여 일출시각까지 쟈 값이다.

3.3.3. 월성 지평출입시각당중시각과 편도의 측정

18-1항목은 월성의 지평출입시각으로 7-2항목의 밤 시각의 측정과 8항목의 태양의 출입시각을 구하는 방법을 혼용하여 사용한다.

- a. 사유권을 재극권의 적극공에 설치한다.
- b. 삼신의 유선적도권 상에 당일 자정의 태양 적도경도에 표시한다.
- c. 사유권 (중선)을 당일 자정의 월성 적도경도에 일치시킨다.
- d. 사유권을 유선적도권과 함께 고정된 채로 동서로 돌리고 규형의 측성표로 해당 월성이 **지평에 출입하는 위치**를 관측한다.
- e. 이때, 유선적도권 상의 태양의 적도경도가 천상적도권의 시반(時盤)에 접한 부분을 통해 시각을 본다.

태양 출입시각의 경우, 태양을 지평면에 맞닿은 시점이 출입시각이 된다. 하지만 월성의 경우에는 추가 과정을 거쳐야 한다. 시각을 측정하는 것은 항상 태양을 기준으로 한다. 하지만, 달 혹은 행성의 경우에는 적경값이 시간에 따라 변하게 된다. f-h 과정은 이러한 적경의 변화를 반영하여 시각을 측정한다. 다만, 항성은 적경값이 변하지 않기 때문에 a~c 과정만 진행한다.

- f. e에서 구한 측정 시각을 태양의 행분(行分, 매 1° 4분)으로 환산한 값에 비례하게 계산하여 태양 시차(時差)를 얻는다.
- g. 마찬가지로 측정 시각을 달/행성의 행분으로 환산한 값에 비례하게 계산하여 달/행성 시차를 얻는다.
- h. 월성을 측정한 시각에 태양 시차를 빼고 달/행성 시차를 더한 것이 월성의 지평출입시각이다.

18-2 당중 편도는 월성을 관측했을 때, 사유권이 자오권과 일치하면 당중(남중)이고, 사유권이 자오권의 전후로 동쪽이나 서쪽에 있으면 당중편도라고 한다. 이는 월성 출입시간과도 관련이 있는데, 당중일 때의 월성을 관측하면 적위 (혹은 황위)를 구할 수 있게 된다. 그 후, 이를 동, 서 방향으로 이동하면 이것이 편도가 된다. 앞선 18-1항목에서는 적도권의 경도만으로 출입시각을 측정한다. 실제 적위값($\delta \neq 0$)을 가지는 월성 출입시각은 18-1항목의 출입시각과 차이를 보인다. 따라서 지평편도를 통해, 실제 지평출입시각을 보정한다. 만약

적위가 양수의 값을 가지면 卯(또는 酉)에서 子방향으로 편도가 생기고, 지평출시간은 18-1에서 구한 시간보다 더 빠르게 뜨거나 느리게 진다. 반대로 음수의 값을 가지면 卯(또는 酉)에서 午방향으로 편도가 생기고, 지평출시간은 18-1에서 구한 시간보다 더 늦게 뜨거나 빨라진다.

3.3.4. 몽영시각(朦影時刻)

12항목은 몽영시각은 오늘날의 천문박명에 해당한다. 서쪽 지평선 아래의 몽영분을 혼분(昏分)이라고 하고, 동쪽 지평선 아래의 것을 신분(晨分)이라고 한다.²⁸ 아래는 12항목 혼분의 측정 과정을 나열한 것이다.

- 사유권을 재극권의 천정극공에 설치한다.
- 사유권을 돌려 서쪽 지평에 접하게 한 뒤, 사유권의 지평 아래 18°에 점으로 표시한다.
- 삼신권을 돌려서 황도권에서의 당일 태양 위치를 사유권의 점 표시에 일치시키고, 그 순간 유선적도권이 서쪽 지평과 만나는 부분에 점을 표시한다.
- 삼신권을 돌려서 황도권에서의 당일 태양 위치를 지평에 일치시키고, 그 순간 유선적도권이 서쪽 지평과 만나는 곳에서 앞서 찍은 (유선적도권의) 점 표시까지의 도수를 셈하여 시각으로 변환한다. 이것이 해당 일의 몽영분이다.

12항목에서 신분의 측정은 b의 사유권을 동쪽 지평에 접하게 하여 이후의 과정을 수행하면 된다.

3.4. 기타 사항

『의기집설』에는 역(曆)과 관련된 용법에 관해서 황적대거(13항목)와 황백거한(黃白距限)(20항목)을 기술하고 있다. 대거(大距)란 가장 멀리 떨어진 각 거리를 의미한다. 즉, 황도와 적도, 황도와 백도 면의 최대 각 거리이다. 13항목의 황적대거는 앞서 언급하였다. 황적대거의 경우 적도좌표계에서 하지와 동지에 태양의 적위를 측정하면 쉽게 구할 수 있다.

하지만 20항목의 황백거한(黃白距限)의 경우는 좀 더 복잡하다.²⁹ 달의 운행은 항성월, 분점월, 근점월, 교점월, 삭망월 등 여러 주기를 생각해야 한다. 원문 내용을 살펴봐도 당시에는 이를 정확하게 구하는 것은 매우 어

려웠던 것으로 추정된다. 원문에서는 황백대거의 측정법에 대해 2가지 방법을 서술하고는 있지만, 남병철 혼천의 자체에 백도(白道)의 기능을 하는 부품이 없어 그 내용을 확실하게 증명할 방법이 없다. 이 부분에 대해서는 추후 산법 연구를 통해 추가적인 검증이 필요하다.

4. 결론

『의기집설(儀器輯說)』은 당시 사용되던 천문의기들에 대해 제법과 용법에 관해 상세히 적어놓아, 매우 중요한 사료적 가치를 지니고 있다. 기존 혼천의에 대한 언급은 많이 있었지만, 용법에 관하여 상세히 기록된 자료는 찾기가 힘들다. 의기집설에는 혼천의 제작법뿐만 아니라 혼천의 용법에 관해 총 21개의 항목이 기술되어 있으며, 세부적으로는 33가지 항목으로 구분할 수 있다. 33가지 항목은 혼천의 설치 6개, 위치 측정 20개, 시간 측정 5개, 그 외 2개로 분류하였다.

남병철 혼천의는 태양의 관측과 월성의 관측으로 구별된다. 이러한 구분은 전자가 낮의 관측이고 후자가 밤의 관측인 점으로 이해되지만, 한편으로는 태양은 사유환 유형의 통광표(通光表)로 관측하고, 월성은 측정표(測星表)로 관측하는 기기적 특성을 반영하여 구분한 측면도 있어 보인다. 이들 측정 용법의 세부적인 활용을 살펴보면, 오정초각(남중시각)에 특화된 관측을 비롯하여, 해당 일의 태양 위치를 나타내는 황도권 12궁의 활용, 태양과 월성의 적경을 나타내는 유선적도권의 각도 및 시각이 새겨져 있는 천상적도권의 12시 96각의 사용 등이 있다.

이러한 변화무쌍한 남병철 혼천의의 용법은 재극권이 가지는 구조적 특징에서 비롯된다. 남병철은 기존 유학자의 혼천의에 재극권이라는 새로운 고리를 추가함으로써 지평좌표, 적도좌표, 황도좌표, 3개의 좌표를 손쉽게 사용할 수 있도록 했다. 기존에 개별적으로 제작되었던 적도경위의, 황도경위의, 지평경위의 등 천문관측기기를 하나의 혼천의 안에 모두 담은 것이다.

이 혼천의의 용법을 통해, 기존의 혼천의 제법 연구에서 드러나지 않았던 부분을 개선하거나 이해할 수 있었다. 첫째, 기존 유학자의 혼천의에서 육합의의 지평권이 남병철 혼천의에서는 외환으로 분리되었다는 점이다. 이를 통해 육합의의 자오권을 외환이 아래에서 지탱하여 회전할 수 있어 다양한 관측지에서 북극고도를 설정하여 사용할 수 있도록 개선하였다. 둘째, 사유권의 직거 양 측면에 규형을 설치하고 각각 통광표와 측정표를 설치하게 하였는데, 그 용도를 구분할 수 있었다. 앞서 언급했듯이, 통광표는 태양의 관측에, 측정표는 월성의 관측에 특화된 기능을 가지고 있다. 특히 통광표는 세종 당시에 제작한 영부(影符)나 정남일구에 사용된 바늘구멍 장치와 유사한 측면이 있다.

남병철 혼천의의 경우, 『의기집설』의 문헌적 기록

²⁸ 『의기집설』 〈혼천의용법〉 원문에서는 신분과 혼분을 반대로 설명하였다.

²⁹ 거한(距限)의 용어가 대거(大距)를 의미하는데, 이러한 용어를 쓴 것은 대거를 명확하게 관측하기 어렵다는 방증으로 보인다.

으로만 접할 수 있을 뿐, 그 기기가 제작되었는지, 제작되었다면 유물이 어떠한 과정으로 유실되었는지 확인할 수 없다. 그런데도 『의기집설』 〈혼천의 용법〉은 천문관측기기의 세 가지 좌표를 제시하고 실용적인 천체관측의 가이드를 제공하고 있다. 본 연구는 남병철 혼천의의 용법을 현대적 관점으로 분류하고 조사함으로써 남병철 혼천의를 활용하여 고천문 관측기기를 소개하고 지평, 적도, 황도 좌표계에 대한 구면천문학 등과 같은 천문 교육에 널리 활용되기를 기대한다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 한국천문연구원 ‘고천문 자산의 과학적 활용과 동북아 협력 연구’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한 본 연구는 국립과천과학관과 충북대학교 충북Pro메이커센터의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Hahn, Y. H. & Nam, M., 1997, Reconstruction of the Armillary Spheres of Mid - Choson : The Armillary Clocks of Yi Minch'ol, *Journal of the Korean History of Science Society*, 19, 3
- Hahn, Y. H., Nam, M. H., and Lee, S. Y., 2001, Study on the Astronomical Clock in Joseon Dynasty: on the Focus of the Water-Powered-Type Astronomical Clock, *Journal of Korean Historical Studies*, 113, 57
- Kim, S. H., 2012, Song, I-Yeong's Armillary Clock, *Korean Studies Information Co. (Paju)*, pp.37-205
- Kim, S. H., Lee, Y. S., and Nam, M. H., 2006, On The Armillary Sphere Of Nam Byeong-Cheol - II: Translation of a chapter on how to use an armillary sphere in *Uigijipseol*, *JASS*, 23, 71
- Kim, M. H., Nam, M. H., and Kim, J. I., 2000, Cooperation of Nam Byeng-chul and Pak Kyu-soo in the Astronomical Instrument Making: From the *Uigi Jipseol*, *Journal of the Choson Dynasty History*, 12, 99
- Kim, S. H., Mihn, B. -H., Seo, Y. -K., and Lee, Y. S., 2018, Life and Astronomical Contribution of Song, I-Yeong, *PKAS*, 33, 31
- Koo, M. O., 2005, Ch'oe Yuchi's Chukwŏnja: A water operated armillary sphere developed in 17th century Chosŏn, *The Society for Study of Korean History of Thoughts*, 25, 173
- Lee, Y. -S., Kim, S. -H., and Nam, M. -H., 2001, On The Armillary Sphere of Nam Byeong-Chul - I, *JKAS*, 34, 47
- Lee, Y. S., Kim, S. H., Lee, M. S., and Jeong, J. H., 2010, A Study on the Armillary Spheres of the Confucianists in Joseon Dynasty, *JASS*, 27, 383
- Nam, K. U., 2011, Nam Byeongcheol's Time-checking Instrument in Nineteenth-century Korea, *The Korean Journal for the History of Science*, 33, 139
- Nam, M. H. & Chen, J. J., 2013, Korean Translation of *Ukiljae-Chongseo*, I : *Uigijipseol*, King Sejong the Great Memorial Society (Seoul), pp. 43-183
- Needham, J., Lu, G. -D., Combridge, J. H., and Major, J. S., 1986, *The Hall of Heavenly Records - Korean astronomical instruments and clocks 1380-1780*, Cambridge University Press (Cambridge), pp.150-152
- Noh, D. H., 2010, The Study and Reality Perceptions of Nam Byeong-Cheol (1817-1863) in the Middle 19th Century, *Ewha Historical Institutions*, 40, 163
- Meeus, J., 1998, *Astronomical Algorithms*, 2nd Ed. Willmann-Bell Inc. (VA), p.109
- Mihn, B. -H., 2016, Study on the Astronomical Instruments and Calendars in Early Joseon Dynasty, Chungbuk National University, Ph.D Thesis
- Mihn, B. -H., Yun, Y. H., Kim, S. H., and Ki, H. C., 2021, A Study On The Armillary Sphere Of Tongcheon-Ui Described By Hong Dae-Yong, *PKAS*, 36, 79
- Rufus, W. C., 1913, The Celestial Planisphere of King Yi Tai-Jo, *Transactions of the Korean Branch of the Royal Asiatic Society*, 4, 23