

송이영(宋以穎) 혼천시계(渾天時計)의 천체운동 장치 구조와 작동원리 연구[†]

이용삼^{1,2†}, 김상혁³
¹충북대학교 천문우주학과
²충북대학교 천문대
³중앙대학교 과학문화학과

STUDY ON THE STRUCTURE AND WORKING PRINCIPLE OF SONG I-YÖNG'S ARMILLARY CLOCK[†]

Yong Sam Lee^{1,2†} and Sang Hyuk Kim³

¹Dept. of Astronomy & Space Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

²University Observatory, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

³Dept. Science of Culture, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

E-mail: leeysam@hanmail.net

(Received February 1, 2007; Accepted February 28, 2007)

요 약

국보 제230호 송이영(宋以穎)의 혼천시계(渾天時計)는 동아시아에 유일하게 현존하는 혼천시계로서 현재 보존 상태는 부품 일부가 훼손되고 유실되어 작동되지 않고 있다. 우리는 고려대학 박물관에 소장된 이 유물의 학술조사를 수행하여 혼천의 부분의 구조와 원리를 분석하고, 유실된 기계의 태양과 달의 구동장치를 복원하고, 각 부품과 장치를 제작 조립하여 혼천시계의 혼천의 부분의 작동모델을 복원함으로써 천체운동 장치를 작동하게 하였다.

ABSTRACT

We analysis the structure of Song I-yöng's Armillary Clock, a Korean National Treasure (No. 230) that is displayed at Korea University Museum. This Armillary Clock is only one remained in east Asia, but does not working because some parts had been broken away. We measured this remains and reconstructed a working model of the astronomical armillary sphere system of the his armillary clock, which system is consisted of Solar and lunar moving devices.

Keywords: Song I-yöng, armillary clock

1. 개 요

조선시대(朝鮮時代)에 제작한 혼천시계(渾天時計)는 시계장치에 혼천의(渾天儀)를 연결하여 실시간(實時間)으로 천체(天體)의 움직임을 살펴볼 수 있도록 만들었다. 현재 고려대학교 박물관에 소장된 혼천시계(渾天時計)는 국보 제230호로 지정된 서양식 자명종(自鳴鐘) 원리를 이용하여 만든 천문시계이다.

[†]이 연구는 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

[†]corresponding author

현종10년(1669년) 당시 천문학교수였던 송이영(宋以穎)이 제작한 이 혼천시계는 홍문관에 설치되었다. 제작 이후에 한 차례의 수리(1687-1688)한 기록이 있고, 현재에 이르고 있다. 혼천시계는 부품들이 훼손되고 유실되어 현재는 작동되지 못한 채 전시되고 있는 실정이다. 이 혼천시계는 세종 때 창제한 수격식(水擊式) 혼천의와 자격루의 시보(時報) 장치의 전통을 이어온 것으로 동아시아 최초의 금속계 기계식이며 유일하게 현존하는 혼천시계로서 세계적인 과학유물 중에 하나로 평가되고 있다.

송이영의 혼천시계는 서양식 자명종이 결합된 것이지만 동아시아에서 오랫동안 사용해오던 혼천의와 서양의 기계장치인 자명종과 결합하여 천체의 운행(태양의 운동, 달의 운동)을 나타내었다. 또한 시간알림 창을 통해 현재 시간을 표현하고, 쇠구슬을 이용한 신호를 만들어 종을 치고 시간을 알리는 방법은 조선 초기의 자격루 전통을 그대로 이은 것이다.

현재까지 송이영의 혼천시계에 관한 발표들이 있었는데 Rufus(1936)가 "Astronomy in Korea"에 소개함으로써 세계적인 천문시계로 널리 알려지게 되었고, 1960년대에는 미국 Smithsonian 박물관에서 특별전을 요청하기도 하였다. 국내 최초의 연구로는 전상운(1963)의 "선기옥형(천문시계)에 대하여"가 있고, 그의 사진 자료를 토대로 세부적인 연구를 발표한 Needham et al.(1986)의 "The Hall of heavenly records"는 세계적인 연구 성과로 평가되고 있다.

우리의 연구는 혼천의 부분이 훼손되고 유실된 형태로 남아 있는 유물의 실측과 필요한 각종 문헌을 분석하여 혼천의 부분에 대한 태양운행장치와 달운행장치에 대한 연구를 수행한 것이다. 그리고 이를 위한 기술적 논의 타당성을 검토하여 부품들의 정교한 제작을 통하여 그동안 멈춰져 있었던 천체운동 메커니즘을 복원하고자 한다.

천문의기와 시계들은 당대로서는 세계 최고의 과학기술을 보유하고 있는 것이 많았지만 현존하는 유물은 남아있지 않다.

2. 혼천시계 유물의 학술조사와 실측

송이영의 혼천시계 유물은 고려대학교 박물관에 국보 제230호로 지정되어 소장되어 있는데, 그 모습만 볼 수 있을 뿐 부품들이 훼손되고 유실되어 작동되는 모습은 볼 수가 없는 상태이다. Needham et al.(1986)의 자료를 바탕으로 혼천시계 복원의 기술적 논의와 타당성을 검토하기 위하여 연구진(이용삼 연구팀장, 이용복, 김상혁)과 (주)옛기술과문화의 제작진(정해성, 최용식, 한경수)은 유물답사와 실측조사를 수행하였다.

혼천시계의 혼천의는 목재와 동(銅)재질을 이용하여 만들어졌다. 일부 부품들이 유실되고 훼손된 상태이지만 전체적인 형태는 잘 보존되어 있다. 그림 1은 실측한 혼천시계의 혼천의 부분과 각 부분의 명칭이다. 그림 2와 그림 3은 실측 조사한 결과로 혼천시계의 각 부품에 대한 입체구조도와 혼천의 부품도를 나타내었다. 표 1에서는 혼천시계의 천체운동 메커니즘이 있는 삼신의와 지구의에 대한 구조와 특징을 나타내었다.

혼천의 각 부분들을 살펴보면 동판과 목재로 만들어진 지평환 윗면에는 24방위가 새겨져 있고, 24방위의 간(艮; 북동), 건(乾; 북서), 손(巽; 남동), 곤(坤; 남서)의 방향에 4개의 다리가 있다. 혼천의 다리는 중국 문헌에서도 소개된 바 없는 조선의 독특한 형태의 용 모양으로 나무로 조각되었다. 청동으로 만든 오운주(龍雲柱)는 천경흑쌍환을 위로 바치고 있고 예술적 미가 돋보이는데 맨 아래에

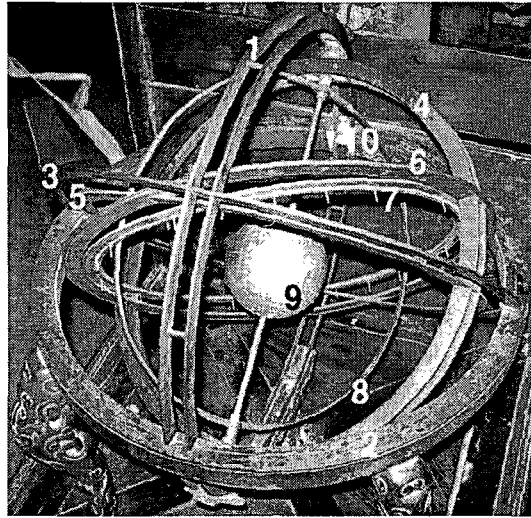


그림 1. 송이영 혼천시계의 혼천의 부분. 1. 천경흑쌍환 2. 지평환 3. 천상적단환 4. 삼신의흑쌍환 5. 적도단환 6. 황도단환 7. 백도단환 8. 월운환 9. 지구의 10. 태양장치

자라가 엮드려 있고 그 위에는 둥근 구슬을 감싼 화려한 구름문양이 혼천의의 고풍스런 모습을 잘 담아내고 있다.

혼천의 황도단환 바깥에 있는 둥근 관의 양측 면에는 주천도수가 새겨져 있다. 이 관 안에서 태양운행장치가 실에 묶여 움직이게 된다. 또한 태양을 쬐을 수 있는 핀 장치가 있다. 태양운행장치는 황도단환의 하지점에서 시작하여 추분, 동지 다음해 춘분과 하지까지 움직인다. 1년이 지나면 실을 풀어 원래의 하지 위치로 끌어당겨 놓아야 한다.

실은 혼천의 북측에 위치한 시계장치상자에서 돌출된 36-톱니기어 축에 감기게 된다. 이렇게 감긴 실은 작은 추에 의해 항상 팽팽하게 유지된다. 실은 하루에 약 3.01mm씩 아주 천천히 감기므로 실이 엉키거나 헛도는 일은 발생하지 않는다. 다만 실에 작용하는 장력으로 인해 실제 날짜를 기준으로 약간 늦어지거나 빨라질 수 있는 오차가 생길 수 있다. Needham et al.(1986)은 태양운행장치를 보완하기 위한 별도의 일운환(日運環)의 존재를 밝히고 있으나 실제 유물에서 그러한 장치를 설치한 흔적을 발견할 수 없었다.

백도단환은 고정되어 있는 환이 아니라 삼신의에 걸쳐져 있다. 황도단환과 5°정도 비스듬한 각도를 유지하는데, 실제 달의 운행궤도는 지구, 태양 등에 의해 민감한 영향을 받기 때문에 고정된 궤도로 표현할 수 없다. 백도단환 남측 면에는 27개의 핀이 박혀 있는데, 일부는 부러져 유실되었다. 환의 안쪽 끝에는 백도단환의 안쪽 면에서 슬라이딩되며 운행하는 환이 있다(그림 6 참고). 이곳에 기다란 핀 2개가 환 중심방향으로 향해 있다. 이 핀에 매달려 달운행장치가 장착된 것으로 보이며 이것을 월운환이 이끌고 운행한 것으로 보인다.

백도단환은 삼신의흑쌍환에 걸쳐져 있는 상태로 슬라이딩 환만 회전시키게 된다. 그러므로 월운환이 운행되면 슬라이딩장치에 부착된 달 운행 장치의 위상변화기어와 백도단환 남측면에 박혀있는 27개 핀이 맞물려 스치면서 달의 위상이 변하게 된다. 송실대학교 한국기독교박물관에 소장된 혼천

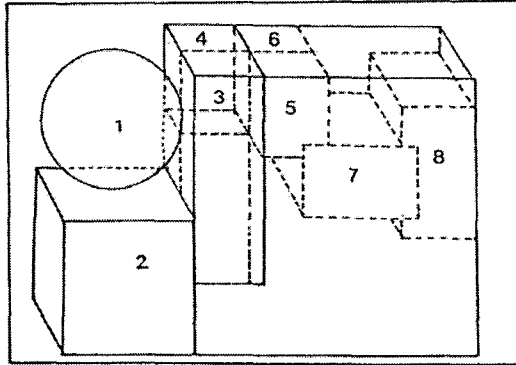


그림 2. 송이영 혼천시계의 입체구조도. 1. 혼천의 2. 혼천의 받침대 3. 추 4. 타종장치 5. 시간지속장치 6. 종 7. 시간지시장치 8. 구슬신호발생장치

의 유물에도 혼천시계 백도단환에 있는 2개의 핀과 유사한 장치가 있음을 확인하였다.

3. 혼천의 구조와 작동원리

3.1 혼천의(渾天儀)의 구조

고려대학교 박물관에 보관되어 있는 혼천시계(국보 제230호)는 길이 약 120cm, 높이 98cm, 너비 52cm의 나무상자 속에 기계장치들이 있고 바깥 측면에 혼천의가 설치되어 있다. 이 혼천시계는 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데, 지구를 중심으로 천체움직임을 보여주는 혼천의 부분과 시보장치가 있는 시계장치 부분으로 구성되어 있다(그림 2 참고). 혼천시계의 동력발생은 2개의 추(錘)를 이용한다. 하나의 추는 시간지속장치의 동력기어 축에 체인으로 연결되어 동력을 발생시켜 시간지시장치와 혼천의의 회전동력을 만들어 낸다. 또 다른 추는 타종장치를 운행하는데 사용된다.

일반적으로 혼천의(渾天儀) 구조는 대부분 3층의 각종 환으로 구성되어 있는데 바깥층은 육합의(六合儀)가 있고 가운데 층은 삼신의(三辰儀)가 있고 안쪽의 층에는 사유의(四遊儀)로 구성되어 있다. 송이영의 혼천의는 관측할 때 사용하는 사유의 대신에 지구의위를 설치하였다.

3.2 혼천의의 작동원리

혼천의의 운행은 시간지속장치의 추력에 의해 작동되고 있다. 태양운행은 황도단환 상에 설치된 구슬모양의 태양이 1년 동안 태양의 연주운동과 하루 동안의 일주운동을 하도록 해준다. 달의 위상은 지구와 달의 공전에 의한 상대적 위치에 따라 변화된다.

실제 동력이 전달되는 과정은 시계장치와 연결된 시간지속장치의 회전축과 혼천의의 극축과 차차로 연결되어 있다. 혼천의의 삼신의혹쌍환에 전달된 동력으로 황도단환(黃道單環)과 백도단환(白道單環)을 운행(1일 1회전) 시킨다. 또한 태양의 위치는 계절에 따라 바뀌는데, 황도단환위에서 실에 묶여 운행되는 태양은 실이 감기면서 움직이게 된다. 이러한 황도단환에서의 태양 운동은 조선 초기의 수격식 혼의와 혼상의 운행에서 보여주는 작동원리를 따르고 있다. 혼천의의 운행은 태양의 운동과 더불어 달의 공전 위상에 따른 형태의 변화를 제어하기도 한다.

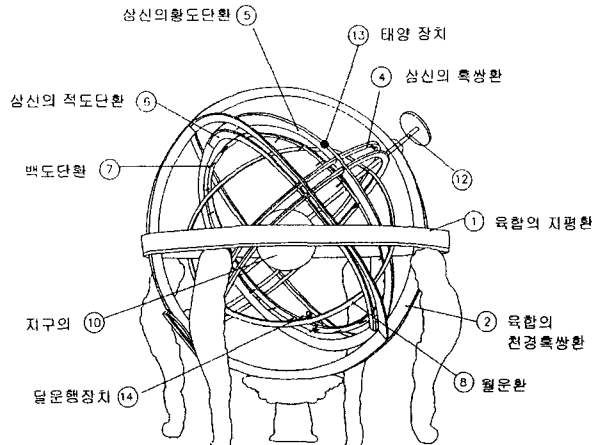


그림 3. 혼천의 부품도(이용삼 외 2005). 전통적인 혼천의의 중앙에는 사유의(四遊儀)가 있으나 이 혼천의는 실내용으로 지구의가 설치되어 있다.

표 1. 혼천시계의 천체운동 부분의 구조와 특징(Needham et al. 1986).

구조	부품명칭	구조와 특징
삼신의	삼신의흑쌍환	쌍환, 흑색, 직경 35cm
	적도단환	단환, 적색 칠(벗겨진 부분이 많음), 직경 35cm 북면 24기, 남면 28수 남북 양면 외측에 주천도(365도+1/4도)
황도의	황도단환	단환, 황색 칠(흔적이 있음), 직경 36cm 적도교각 23.5° 북면 24기, 남면 28수 남북 양면 외측에 주천도(365도+1/4도)
	백도단환	단환, 백색 칠 황도교각 5도 정도 내면에 달운행장치 장착(실제유물은 유실) 남면에 작은 막대(핀) 27개를 균등배열(몇 개의 핀은 유실)
월운환	월운환	단환, 흑색 달운행장치를 매달고 백도단환의 핀을 건드리면서 회전
	달운행장치	유실
지구의		지구의는 회전하지 않고 매달려 있음

혼천시계의 추력(錘力)은 혼천의의 북극 축(삼신의)을 하루에 1회전 시키는 동작을 하도록 한다. 이렇게 전달된 회전력은 달 운동을 위한 동력으로 연동되어 사용된다. 그림 4는 실측과정에서 찍은 혼천의 남측 하단의 유물사진과 세부도(Needham et al. 1986)를 나타낸 것으로 K1-톱니기어는 57-톱니기어(C6, 삼신의흑쌍환 운행)와 59-톱니기어(E3, 월운환 운행)를 연결해주는 작은 톱니기어이다.

삼신의흑쌍환이 1회전하게 될 때 월운환은 완전한 1회전을 하지 못한다. 그것은 월운환을 운행시키는 톱니수가 더 많기 때문이다. 월운환이 하루에 2-톱니가 덜 돌아가므로 이것이 누적된다고 하면 삼신의흑쌍환이 59번 회전할 때 월운환은 57번 회전하게 된다. 즉, 월운환은 1일 28.5/29.5(=57/59)의

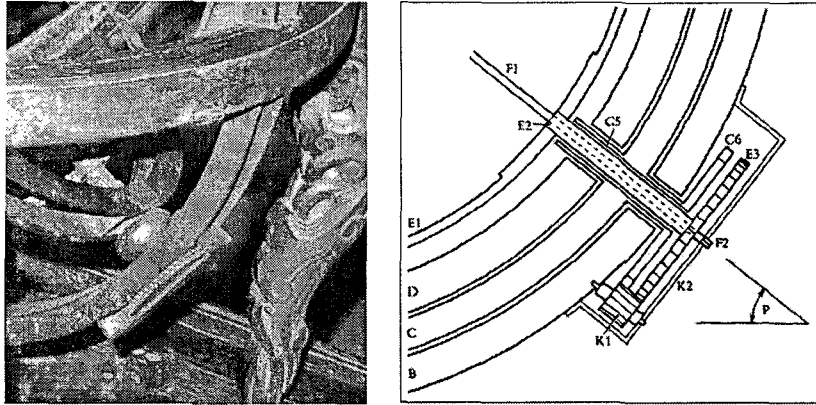


그림 4. 혼천시계의 혼천의 남측 하단과 세부도(Needham et al. 1986). B: 천경흑쌍환 C5: 삼신의흑쌍환 회전축 외관 C6: 57-톱니기어(적도환 운행) D: 삼신의흑쌍환 E1: 월운환 E2: 월운환 회전 지지 관 E3: 59-톱니기어(달 운행) F1: 지구의 축 F2: 혼천의 남측 회전축 K1: C6의 회전을 E3으로 전달 k2: 기어뭉치 지지대, P: 극의 고도는 37.5°

표 2. 혼천시계 시간지속장치의 동력전달.

시간지속장치의 동력전달(Weight 1)	
혼천의 운행 - 삼신의: 1일 1회전	시간지시장치 운행
삼신의흑쌍환 (적도단환 + 황도단환): 1일 1회전	구슬신호발생장치 운행
황도단환위의 태양운동: 1일 (1/365.25)회전	신호발생
백도단환: 1일 (28.5/29.5)회전	1. T자형막대-시패장치를 들어 올림
월운환 (달의 위상변화): 1일 (1/29.5)회전	2. 타종장치-시간에 따라 타종

회전비를 갖는다.

추력에 의한 동력전달 과정을 통해 혼천의 운행과 시간지속장치의 동력전달 과정을 표 2에 제시하였다. 시간지속장치로부터 전달받은 동력이 혼천의로 전달되면서 삼신의흑쌍환의 운행(1일 1회전, 태양의 일주운동), 황도단환위의 태양의 연주운동(1일 1/365.25회전), 월운환의 회전(1일 28.5/29.5회전), 달운행장치의 위상변화(1일 1/29.5)를 만들어낸다. 시간지속장치의 또 다른 동력축은 시간지시장치와 구슬신호장치로 연결되어, 12지 시패의 회전, 쇠구슬 신호장치의 발생, 타종장치로의 신호전달, 12지 시패를 들어 올리는 T자형 장치의 상하운동을 만들어낸다.

3.3 태양운동 메커니즘

혼천시계의 천체운동은 삼신의흑쌍환을 1회전 시키는 메커니즘을 구현하여 하루 동안 태양의 일주운동을 나타냈고, 노끈을 이용하여 하루에 3.01mm씩 끌어당김으로써 태양의 연주운동을 표현하였다(그림 5 참고). Needham et al.(1986)은 태양운동장치를 실로 이끄는 장치와 함께 일운환(日運環)을 두어 태양 운동의 정밀성을 높인 것으로 보고 있으나, 실제 유물에서 일운환의 장착 흔적을 발견할 수 없었다.

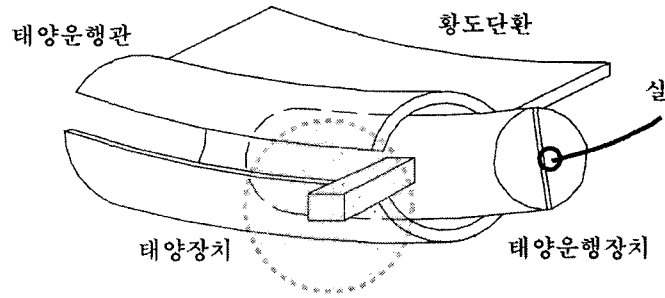


그림 5. 태양운동장치들.

3.4 달 운행 메커니즘

달의 운행은 천구상에서 지구 주위를 공전하면서 지구와 함께 태양 주위를 운행함으로써 지구에서 볼 때 태양의 운행보다 더 복잡하다. 달의 공전 주기인 항성월(恒星月)은 약 27.3일이지만 지구에서 볼 때 삭(망)에서 다음 삭(망)까지는 지구공전으로 인해 약 29.5일의 삭망월의 주기가 된다. 이 삭망월의 매일 매일의 날자가 음력의 날자가 되고 바로 음력으로 한 달이 된다. 이와 달리 항성을 기준으로 하여 달의 실제적 위치를 계산하면 이보다 작은 약 27.3일의 항성월이 있다.

항성월은 달이 어떤 항성(별)을 출발하여 백도를 따라 서쪽에서 동쪽으로 하루에 약 $13^{\circ}.1764(360^{\circ} / 27.3216\text{일})$ 씩 옮겨 가서 처음의 항성 위치로 되돌아오는 주기를 말한다. 달은 항성월을 주기로 지구의 둘레를 공전하면서 태양의 둘레도 공전하게 된다. 그런데 달이 약 $13^{\circ}.1764$ 도 만큼 움직일 때, 태양은 하루 동안에 다른 항성에 비해 평균적으로 $0^{\circ}.9856(360^{\circ} / 365.25636)$ 씩 동쪽으로 움직인다. 그러므로 하루 동안 달과 태양의 운동을 나타낸다면 달은 태양의 동쪽으로 $12^{\circ}.1908(13^{\circ}.1764 - 0^{\circ}.9856)$ 만큼 옮겨가게 된다.

천구상에서 달과 태양이 동쪽 위치에서 함께 떠오르는 경우를 생각해보자(합삭인 경우). 하루가 경과하면 달은 태양보다 $12^{\circ}.1908$ 만큼 늦게 떠오르게 된다. 2일째인 경우 차이는 더 벌어져 $24^{\circ}.3816$ 만큼 차이가 난다. 달은 이러한 비율로 태양과 멀어지게 되는데, 이는 달이 점점 늦게 뜨고 있음을 보여준다. 결국 혼천의에서 태양과 달을 한 달 동안 운행시킨다면 달이 태양보다 1회전 덜하게 됨을 알 수 있다. 이렇게 달이 혼천의(또는 천구상)에서 한 바퀴를 일주하는 주기를 태음일(太陰日)이라하며 평균 길이는 24시간 50.47분이 된다.

태양이 하루에 한 번씩 남중하는 것처럼 달도 하루에 한 번씩 남중하게 된다. 이러한 월남중 시 간은 평균적으로 50.47분씩 늦어지게 되며 매일 밤 달의 남중시각은 약 30분에서 최고 약 75분까지 범위에서 늦어진다(서울기준). 이러한 변동의 원인은 백도상의 달 운동의 부등성(不等性)과 백도면의 천구적도면에 대한 경사가 $18^{\circ} \sim 29^{\circ}$ 의 범위 안에서 변동하기 때문이다. 이 경사의 변동은 백도면의 황도면에 대한 경사각 $5^{\circ}9'$ 을 황도면의 적도면에 대한 경사각 $23^{\circ}27'$ 에서 빼거나 더한 값이 되기 때문이다.

이와 같이 달의 운동은 매우 복잡하고 불규칙하다. 진태양일(眞太陽日)의 길이가 24시 20분에서 25시 15분 정도의 범위에서 변동된다. 그러므로 월출과 월입시간을 정확히 추산하는 것은 간단한 일

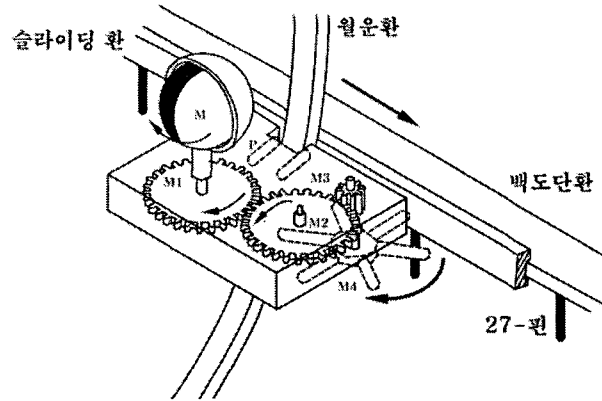


그림 6. 달운행장치.

이 아니다. 혼천의의 달 운행장치(달)는 황도단환위의 태양 운행장치(태양)보다 하루에 $12^{\circ}.1908$ 씩 늦게 떠오르는 것을 표현해주어야 한다. 이를 위해 혼천의 남측에 월운환은 59-톱니기어로, 태양장치를 매달고 운행하는 삼신의흑쌍환은 57-톱니기어로 나타내었다. 즉 혼천의 삼신의흑쌍환(태양 운행장치가 함께 운행)의 1회전에 따른 월운환은 57/59 회전비를 갖는다. 그러므로 월운환이 2-톱니만큼 덜 회전하는 것을 360° 상에서 표현하면 약 $12^{\circ}.2(2\text{-톱니} / 59\text{-톱니} \times 360^{\circ})$ 씩 차이가 난다. 그러므로 월운환의 57/59 회전비는 하루 동안 달의 공전을 잘 나타내고 있다.

달의 위상 변화는 천구상의 삭망월(29.530589)을 나타낸 것이다. 그러므로 달운행장치가 천구상에서 일주운동을 할 때 29.5일의 주기를 같도록 기계적 장치를 표현해 주어야 한다.

그림 6은 새롭게 제작한 달운행장치이다. 이 구성을 보면 달의 위상이 달려 있어 회전하는 곳에 29-톱니기어(M1)를 설치했고, 이 톱니기어는 중간 기어인 29-톱니기어(M2)와 6-톱니기어(M3, 상단에 27개의 핀과 맞물려 회전하는 6-핀기어 M4가 있음)의 조합으로 이루어 졌다. 달의 구면중 절반이 검게 칠해져 있는데, 이는 1657년 최유지의 혼천의나 1762년 홍대용의 통천의(筒天儀)의 달운행장치에서 볼 수 있는 형태이다(구만옥 2005, 한영호 2003).

혼천의 백도단환 남측 면에 27개 핀이 있고, 월운환은 백도단환 안쪽에 있는 슬라이딩 장치를 구동시키면서 달운행장치를 이끌고 움직인다. 그런데 백도단환은 삼신의흑쌍환과 함께 운행하고 있고, 월운환과 백도단환의 슬라이딩 장치는 삼신의흑쌍환의 57/59의 회전비로 운행되므로 백도단환의 27-핀이 달운행장치의 6-핀기어(M4)를 회전시키도록 되어있다. 이때, 백도단환의 27-핀은 $13^{\circ}.33$ 간격으로 배치되어 있으므로 달운행장치의 6-핀기어를 27회 작동시키게 된다. 여기에 달운행장치가 하루에 약 $12^{\circ}.2$ 씩 뒤쳐져 운행하므로, 계산상으로 2.5회 더 마주쳐야 달운행장치의 일주운동(360°)이 완성된다. 즉, 백도단환의 27-핀으로 달위상 톱니기어(M1)를 27회 운행시키고, 2.5회 더 작동시켜 총 29.5회 작동되도록 한다. 이렇게 달운행장치는 매월 약 29.5일의 주기를 갖도록 제작되었다.

4. 혼천시계(渾天時計)의 천상운행(天象運行) 재현(再現): 작동모델 복원

혼천시계(渾天時計)의 시계장치와 연결된 혼천의(渾天儀) 부분을 복원 제작하여 구동시킴으로

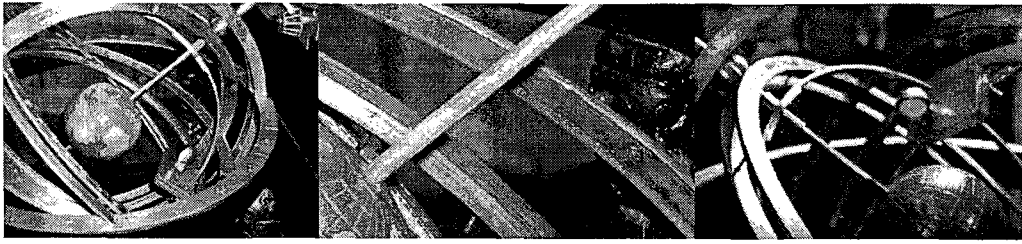


그림 7. 복원한 혼천의의 지구의와 달의 위상변화 장치와 황도환(좌측). 황도환의 태양(작은 구슬)의 이송 장치(중앙). 달의 위상변화는 현재 망월(望月)을 보여주고 있다(우측).

천상(天象)의 천체 운동을 재현하였다. 복원된 혼천시계를 들여다보면 천구(天球)상에서 태양이 매일 1도씩 운행하는 동안 태양위치에 따른 24기와 28수(宿)의 별자리를 적도단환과 황도단환에서 볼 수 있다. 현존하는 혼천시계의 혼천의에는 황도단환과 백도단환이 잘 보존되어 있다. 하늘에서 태양이 지나가는 길인 황도단환의 바깥쪽 레일에 작은 구슬모양의 태양이 조립되어야 한다. 이것은 혼천시계의 작동과 함께 지속적으로 매일 1도씩 뒤로 움직여 24기에 해당하는 날짜에 이 구슬이 머물게 되어 양력 날짜에 해당되는 절기를 알 수 있게 된다. 그러나 현재 혼천시계 유물에는 이 장치가 유실되어 작동되지 않고 있다. 또한 백도(白道)는 달이 하늘에서 지나가는 길로 백도단환(白道單環)의 27개 핀의 기능을 살피서 매일 핀이 하나씩 이동하면서 달의 위상을 변화시키도록 되어있다. 달운행장치의 작동모델은 그림 8과 같이 복원 하였다. 달의 위상변화는 당시 음력 날짜에 해당하는 것으로 시계장치의 작동과 함께 매일 지속적으로 초승달, 상현달, 보름달, 하현달 등의 달의 위상 장치를 변화시켜주게 된다. 그림 7의 우측 그림은 복원한 달운행장치로 달의 위상은 보름달을 보여주고 있다. 이 그림에서 보이는 장치의 밑 부분에 백도단환의 27개 핀으로 회전되는 일부 핀의 모습을 볼 수 있다.

혼천시계의 황도단환(黃道單環)의 태양과 백도환(白道環)상에 설치되어 있는 달의 모습을 살펴 매일 매일 이 혼천의의 천상운행의 모습을 지켜보면 혼천시계속의 달력(양력 및 음력)을 살펴볼 수 있는 천문시계(天文時計)임을 알 수 있다. 우리나라에서 전통적으로 사용한 역(曆)은 이와 같이 달과 태양의 운동을 계산하여 음력과 양력을 동시에 사용하는 태음태양력(太陰太陽曆)이다. 이 태음태양력은 국가 천문기관에서 제작된 각종 천문의기로 천체관측을 수행하여 얻은 자료로 복잡한 계산을 수행할 수 있었다. 이러한 과정으로 해와 달이 겹쳐지는 일식과 월식을 정확히 계산하고 예측하는 것과 오행성의 위치를 계산하는 과학의 우수성을 보여주었다.

특히 유학자들은 조선시대 학문의 과정 중에 가장 기본단계를 격물(格物)을 이해할 수 있도록 하고, 천문교육을 위해 혼상(천구의)과 혼천의를 제작하여 후학들을 가르쳤다. 혼천시계는 이에 그치지 않고 혼천의를 보면서 천상의 운동을 실시간으로 알 수 있도록 시계장치와 결합하여 제작한 것이다.

5. 결과 및 토의

이 연구 과정을 통하여 혼천의의 각종 환을 포함하여 각 부품들을 실측하고 유실된 부분과 파손된 부품들의 구조와 특징을 분석하여 새롭게 작동모델을 복원하였다. 유물을 살펴 본 결과 황도단환

에는 태양운행장치가 있었고, 백도단환에는 달운행장치의 흔적이 있음을 확인하고 이 장치들의 메커니즘을 분석하여 작동모형을 복원하였다.

태양운행장치는 황도단환 위에 레일장치를 복원하여 작은 구슬 모양의 태양이 하루 동안 천구(天球)를 1회전 일주(一周)운동함과 동시에 1년 동안 매일 1도씩 동쪽으로 이동하게 하였다. 이 장치는 황도단환 레일장치 위에 있는 태양을 레일 속으로 연결한 실에 묶어 그 실이 극축을 통해 빠져나와 시계 내부 장치의 태양운행 톱니 축에 감기어 태양이 매일 1도씩 운행시키도록 하는 정밀하고 정교한 작업이 필요했다.

유실되었던 달운행장치의 복원은 천구상에서 달의 운동과 관련된 계산이 필요하였다. 백도단환의 파손된 핀의 개수를 27개로 확정하고 이 핀과 달 운행장치의 톱니바퀴 기어수를 조정하여 달의 위상이 1/29.5일씩 변할 수 있도록 장치하여 음력 날짜에 해당하는 삭, 초승, 상현, 망, 하현, 그믐 달의 형태로 변화하도록 하였다. 이와 같은 달의 운동을 위해서 삼신의흑쌍환과 월운환의 회전비가 57:59(28.5:29.5)가 되도록 톱니기어를 복원하였다. 이 메커니즘에 의하여 삼신의흑쌍환(57-톱니기어)이 1일 1회전 할 때 월운환(月運環, 59-톱니기어)은 57/59의 회전비를 갖게 된다. 이러한 회전비는 월운환과 황도단환의 태양과 약 12°.2씩의 간격을 벌리면서 운행하게 되고, 월운행장치의 달의 위상을 1일 1/29.5씩 회전시키도록 해준다.

송이영 혼천시계 유물의 중요한 특징 중에 하나는 혼천의 중앙에 지구의(地球儀)가 설치되어 있는 것이다. 현존하는 혼천시계의 제작시기가 1669년임을 감안한다면 과연 당시 지구의를 이해할 수 있었을지 의심을 갖게 한다. 현재 송이영 혼천시계의 지구의를 정밀하게 살펴보면 구조적으로 회전(자전)되는 모델이 아니다. 이와 같은 지구의 위에는『양의현람도』(1603)나『직방외기』(1631) 등에 영향을 받은 지구의 형태와 세계지도의 지명을 사용했을 것으로 보인다. 특히 1636년(Johnn Adam Schall von Bell; 湯若望, 1591-1666)의『혼천의설(渾天儀說)』에도 지구가 장치된 혼천의가 포함되어 있고, 또한 소현세자가 1645년 북경에서 돌아올 때 여지구(與地球)를 가져온 기록을 확인할 수 있다. 현재 유물에 희미하게 보이는 지구의의 지명(地名) 중에는 후대에 새로 기입했거나 수선 한 것도 있을 수 있다.

많은 혼천시계의 제작된 기록들이 있지만 국보 제230호 송이영 혼천시계는 동아시아에서 유일하게 현존하는 것으로 우리나라의 전통적인 시계기술의 축척과 천문학적 원리를 바탕으로 하여 현종 10년(1669년)에 당시 서양의 기계시계 기술을 집약하여 이룩한 천문시계이다. 즉, 동서양의 자동시계들의 주요한 특징을 잘 조화시켜 새로운 모델의 천문시계로 제작한 것으로 그 창조성이 높이 평가는 것이다. 뿐만 아니라 서양이나 중국과 일본에서도 찾아볼 수 없는 우리의 전통적인 방법으로 창제한 것이다.

혼천시계 기록 중 중국에서 혼천의가 포함되어 있는 대표적인 천문시계는 1092년에 소송이 만든 수운의상대와 1276년 원대(元代) 괘수경이 만든 것이 있다. 그 이후에는 기계식 혼천시계의 전통을 조선에서만 계승 발전시킨 것으로 보아 당시(17C)의 과학기술은 15세기 세종시대의 과학기술 업적을 지속적이고 창조적으로 계승 발전시켰다고 볼 수 있겠다. 한편 이러한 전통적 기술발전을 이어온 혼천시계는 과학적 창조성이 높이 평가되어 한국은행에서 2007년 1월부터 발행한 만원권 지폐에 혼천(渾天)시계의 혼천의 부분의 그림도안이 들어가 있다. 그림 8을 보면 만원권 뒷면 중앙에 국보 제228호인 천상열차분야지도를 바탕으로 국보 제230호 혼천시계의 혼천의 부분과 한국천문연구원

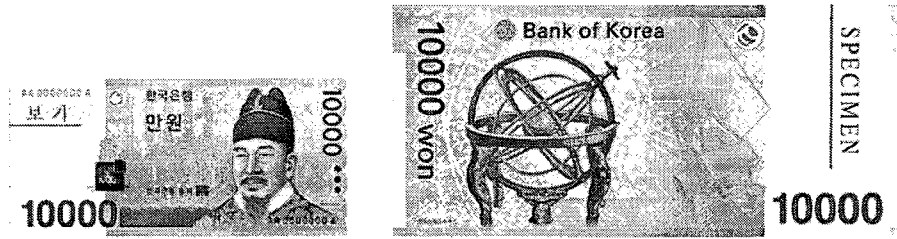


그림 8. 2007년 1월부터 발행한 한국은행 일만원권. 뒷면에 천상열차분야지도(국보 제228호) 배경과 혼천시계(국보 제230호)와 보현산 1.8m 천체망원경(그림: 한국은행).

의 보현산 천문대 1.8m 천체망원경 그림이 있다.

송이영 혼천시계는 그 유래를 찾아보기 힘들 정도로 기술적 진화를 거친 자명종 혼천시계이다. 이것은 세종대 자격루의 타종장치와 수격식 혼의(혼천의)의 구동장치로 이어지는 기술적 전통과 이를 계승 발전시키려는 조선시대 과학자들의 창조적 능력이 결합하여 이루어낸 성과물임에는 틀림없는 것이다. 이는 조선의 과학기술이 당시 첨단 산업이었던 시계 제작사에 커다란 발자취를 남겼다고 할 수 있다. 그러나 서양의 자명종의 도입과 적용과정을 통해 세계의 기계시계 제작기술이 조선의 과학자들에 의해 어떻게 수용되고, 새롭게 바뀌었는가는 앞으로 더 살펴봐야 할 것이다.

송이영 혼천시계가 제작 되던 해(1669년)에 이민철의 혼천시계도 함께 제작되었다. 효종 5년(1654)부터 사용한 시헌력(時憲曆) 시행을 전후 하여 조선(朝鮮)에서 서양과학서 등 서양 과학이 유입되었다고 알려지고 있었으나, 당시 조정(朝廷)에서는 서양의 기계식의 자명종 원리를 갖춘 송이영의 혼천시계보다 조선의 옛 법의 전통을 고수한 이민철의 수격식 혼천시계를 더 크게 제작하여 세종시대 옥루에 버금가는 의의와 위상으로 어전(御殿)에 설치하였다. 이에 반하여 송이영의 혼천시계는 규모도 작았고, 홍문관에 설치되었다.

송이영 혼천시계가 제작된 17세기 중·후반은 서학(西學)을 통해 조선 조정에서 서양과학서 등 서양의 자연과학적 지식이 유입되었지만 당시 지식인들이나 정치인들은 주자도통주의자(朱子道統主義者, 주자의 도를 계승하고자 하는 하는 사람)로서 서학의 역법의 자연과학적 측면보다는 정치사상적 측면을 강조하여 이해하고자 하는 태도와 종교적인 측면(西教)에 집중하여 기존의 상식에 추상적인 논의가 될 뿐이었다(구만옥 2004).

당시 조선은 청(淸)과의 외교 관계 때문에 시헌력을 사용함으로써 1일 100각 체제가 96각 체제로 변경되고, $365^{1/4}$ 도의 원주도 360도 체제로 변경되었다. 이로 인해 24기의 순서에 어그러짐이 발생했다고 잘못 파악하였다. 시헌력을 '청력(淸曆)'으로 간주하는 지식인들은 일단 시헌력 자체에 대한 거부감을 가지고 있었다.

이와 같은 시기에 이민철은 옛 법의 전통을 고수한 수격식 혼천의를 제작하였다. 이 혼천의는 관측에 사용하는 것이 아니었으므로 관측할 때 사용하는 직거와 망통과 사유의 대신에 혼천의 중심에 산하도(山河圖)로 설치하였다. 이민철의 혼천의는 중심에 산하도(山河圖)를 그린 지판(地板)을 설치함으로써 동아시아에서 전통적으로 이어온 혼천설 우주론을 가정한 모습으로 새롭게 창제한 새로운 모델로 소개하였다. 이러한 이민철의 혼천시계는 세종대 흠경각의 옛 제도를 복구할 수 있을 것으로 여겨 송준길이 주청한 것이다. 문헌을 통해 이민철의 혼천시계를 살펴보면 세종대의 자격루의 시간의

시보장치와 자격방법 뿐만 아니라 옥루와 관련된 모습으로 혼천시계의 혼천의 중심에 산하도(山河圖)로 설치한 점을 볼 수 있다(한영호와 남문현 1997). 이에 반해 전상운(1994)은 송이영이 서양의 신문명(新文明)의 도입과 함께 추를 동력으로 이용한 서양 자명종식 첨단기술을 포함하여 혼천의를 제작하고, 중심에 지구의(地球儀)를 설치하였다고 소개 한바 있다.

결국 당시 인간사회의 윤리 도덕이 배제된 자연법칙의 탐구란 비록 정확성이 뛰어났다 할지라도 그 가치를 인정할 수 없다는 당시 지식인들의 완고한 입장으로 인하여 조선의 17세기의 자연과학은 서양의 첨단적인 과학기술인 자명종 원리를 이용한 혼천시계라는 혁신적인 창제물(創製物)을 만들어 놓고도 성리학적인 자연관의 전통의 벽을 뛰어 넘지 못하는 아쉬운 역사를 남기게 되고 말았다.

이제 우리의 유산인 천문시계의 전통적인 특징을 그대로 간직한 과학과 기술의 역사가 작동이 멈춰선지 오랜 시간이 지나 비로소 정확한 작동원리를 완전히 이해 할 수 있었다. 송이영의 혼천시계는 동양과 서양이 하나로 조화되어 그대로 살아 새롭게 움직이게 되었다. 혼천시계의 작동모델의 복원 제작은 (주)옛기술과문화에서 완성하였고 현재 서울특별시과학전시관에 전시운영되고 있다. 앞으로 이러한 과학기술의 전통을 국내외는 물론 세계의 우수한 과학박물관이나 전시관에서 볼 수 있는 날이 오기를 기대해본다.

참 고 문 헌

- 구만옥 2004, 조선후기 과학사상사 연구 (서울: 혜안)
 구만옥 2005, 한국사상사학, 25, 173
 이용삼, 이용복, 김상혁 2005, 국보 230호 혼천시계(渾天時計) 복원제작 (서울: 옛기술과문화)
 전상운 1963, 古文化, 2, 2
 전상운 1994, 시간과 시계 그리고 역사 (서울: 월간시계사)
 한영호 2003, 역사학보, 177, 1
 한영호, 남문현 1997, 한국과학사학회지, 19, 3
 Needham, J., Lu, G.-D., Combridge, J. H., & Major, J. S. 1986, The Hall of Heavenly Records: Korean astronomical instruments and clocks 1380-1780 (London: Cambridge University Press)
 Rufus, W. C. 1936, Transactions of the Korea Branch of the Royal Asiatic Society, 26, 1