

혼천시계의 시보시스템 구조 분석 AN ANALYSIS OF STRUCTURE ON TIME SIGNAL SYSTEM OF HONCHEONSIGYE

김상혁¹, 이용삼²
¹한국천문연구원, ²충북대학교

SANG HYUK KIM¹ & YONG SAM LEE²

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

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

E-mail: astro91@kasi.re.kr

(Received June 04, 2013; Accepted August 21, 2013)

ABSTRACT

Song I-Yeong (宋以顯, 1619 ~ 1692), who was an astronomy professor of Gwansanggam (觀象監, Bureau of Astronomy), created the Honcheonsigye (渾天時計, Armillary Clock) in 1669 (10th year of King Hyeonjong Era). Honcheonsigye was a unique astronomical clock which combined an armillary sphere, the traditional astronomical instrument of the Far East, with the power mechanism of western alarm clock. The clock part of this armillary clock is composed of two major parts which are the going-train, power unit used the weight, and the time signal system in a wooden case. The time signal system is composed of four parts which are the time-annunciator, the striking train, the 12 different time-announcing medallions and the sound bell. This clock has been neglected for many years and its several components have been lost. This study is to understand the structure of time signal system and suggests the restoration process.

Key words: Honcheonsigye (armillary clock); Song I-Yeong; time signal system; western alarm clock; astronomical instrument

1. 서론

1669년(현종 10)에 관상감의 천문학교수였던 송이영(宋以顯, 1619 ~ 1692)은 자명종의 추동력을 이용한 혼천시계를 제작하였다.¹ 혼천시계는 조선의 전통적인 혼천의에 서양식 자명종 원리를 이용하여 독창적으로 제작한 천문시계이다. 송이영의 혼천시계는 1687 ~ 1688년에 수리한 기록이 있고, 이후 이 혼천시계의 역사에 대해서는 자세히 알려지지 않았다. 세월이 흘러 일제 강점기인 1930년대 초 인사동 골동품 거리에서 인촌(仁村) 김성수(金性洙, 1891 ~ 1955)가 이 혼천시계를 구입하였고 오늘날의 고려대학교박물관에 기증(1985년에

국보 제230호로 지정)하여 지금까지 이르고 있다(전상운, 2000). 현재 혼천시계의 부품 일부가 훼손되거나 유실되어 실제 운행은 이루어지지 않는다.

1936년 연희전문학교의 천문학 교수인 루퍼스(W. C. Rufus)가 혼천시계를 국외에 처음 소개한 후(Rufus, 1936), Needham et al.(1960)은 혼천시계에 담긴 기술사적 의미와 작동구조에 대해 자세히 기술하였다. 전상운(1963)은 구체적인 문헌 해설을 덧붙이고 작동 구조에 대한 구체적인 묘사를 진행하였다. Needham et al.(1986)은 혼천시계에 대하여 각 부품별 특징을 자세히 소개하여 각 부품별 작동 메커니즘에 대하여 상세히 분석하였다. 이후 김상혁(2007) 그리고 이용삼과 김상혁(2007)은 혼천시계의 천체운동 및 작동 메커니즘을 유기적으로 규명하여 실제 작동하는 혼천시계 모델을 완성할 수 있도록 하였다.

국보 제230호 혼천시계의 작동 모델은 현재 두 기관

¹ 혼천시계(armillary clock)라는 명칭은 '혼천의(armillary sphere)'와 '시계장치(clockwork)'를 합성한 데에서 기인한다. 옛 문헌에서는 혼천의(渾天儀) 또는 자명종(自鳴鐘)이라고만 되어 있을 뿐이며 '혼천시계'라는 용어는 등장하지 않는다. 하지만 본 논문에서는 시계의 전체적인 구성과 부속장치들 표현하기 위해 혼천의나 자명종 대신 혼천시계로 명명하고, 혼천의와 시계장치로 구분하여 기술하였다.

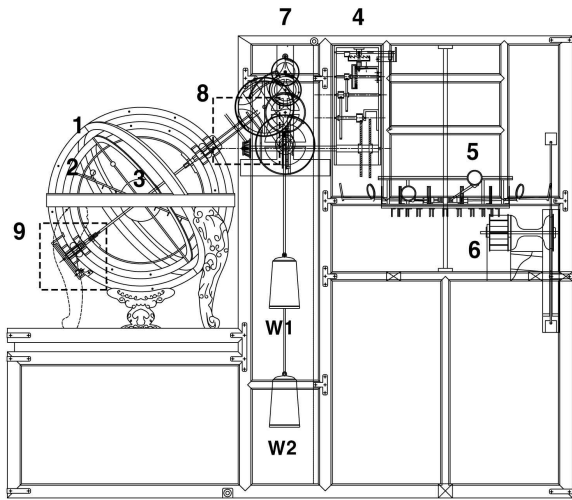


그림 1. 국보 제230호 혼천시계 구성도(김상혁, 2007).

- 혼천의:** 1. 육합의, 2. 삼신의, 3. 지구의
시계장치: 4. 시간지속장치(weight 1 포함)
 5. 시간지시장치, 6. 구슬신호발생장치
 7. 타종장치(weight 2 포함)
동력연결: 8. 혼천의 북극쪽의 동력연결장치
 9. 혼천의 남극쪽의 동력연결장치

에 설치되어 운영되고 있다. 서울특별시과학전시관(2005년 제작)과 국립중앙과학관(2009년 제작)에 설치한 두 대의 혼천시계 제작과정을 통해 보다 상세한 구조적 특징과 작동 원리를 이해할 수 있었다. 이 연구는 김상혁(2007)의 논문에서 다룬 혼천시계의 전체적인 작동 메커니즘을 바탕으로 시보시스템 작동에 대한 부분을 보다 구체화하여 기술하고 유사 기기들의 시보시스템의 장단점을 비교하여 기술하였다. 그리고 동시대의 제작한 이민철의 수격식 혼천시계의 구슬신호 체계에 대하여 분석하였다.

2. 송이영 혼천시계의 시보시스템

2.1. 혼천시계의 구성과 동력발생

김상혁(2007)은 혼천시계의 구조를 그림 1과 같이 혼천의와 시계장치로 구분하였다. 혼천의는 전통적인 형태로 제작되었는데, 육합의(1), 삼신의(2), 지구의(3) 등으로 이루어져 있다(괄호안의 번호는 그림 1의 번호와 일치). 나무상자안의 시계장치는 동력을 발생시키는 시간지속장치(4), 시패의 시간을 알려주는 시간지시장치(5), 구슬을 이용해 타종신호를 발생하는 구슬신호발생장치(6), 시간에 따라 종을 치는 타종장치(7)로 구성된다. 본 연구에서는 시계장치 중에서 동력장치인 시간지속장치를 제외한 시간지시장치, 구슬신호발생장치, 타종장치를

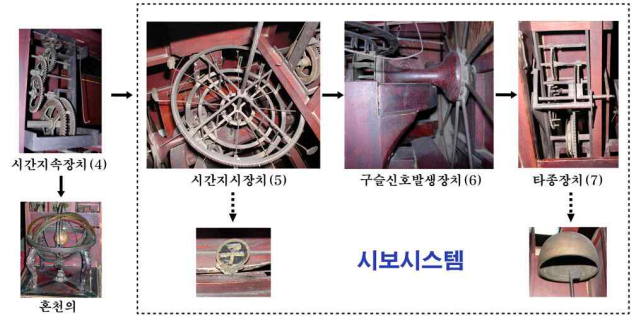


그림 2. 시보시스템의 동력 전달 체계도.

시보시스템으로 명명하여 기술하였다.² 혼천시계는 시간지속장치에 매달린 추력에 의해서 동력이 발생되며, 추의 낙하속도는 진자장치의 주기에 의해서 결정된다.

혼천시계의 시간지속장치에서 발생한 동력은 혼천의와 시보시스템으로 전달된다(그림 2). 이 동력은 혼천의 북극쪽의 동력연결장치(8)와 연결된 시간지속장치를 통해서 혼천의로 전달되어 삼신의를 회전시킨다. 동시에 그 동력이 혼천의 남극쪽의 동력연결장치(9)로 전달된다. 시간지속장치에서 발생한 또 다른 동력은 시간지시장치로 전달되어 구슬신호발생장치의 쇠구슬을 떨어뜨리고, 타종장치의 타종신호를 발생시켜 타종하도록 되어 있다.

2.2. 시보시스템

2.2.1. 시간지시장치

시패로써 시간을 시각적으로 알려주는 장치가 시간지시장치이다. 시간지시장치에서는 혼천시계 전면부의 시간 알림 창을 통해 매시간(현대의 2시간)에 해당하는 시패를 보여준다. 시패 장치를 붙잡아 주는 직사각형의 직립횡이(直立橫耳, ‘π’형태)가 있고, 둥근 시패가 연결된 막대는 이 직립횡이 안에서 상하방향으로 움직인다. 송이영은 이러한 직립횡이 장치를 사용하여 보루각루 평륜(平輪) 시스템에서 작동하는 시보인형(혼천시계의 ‘시패 장치’에 해당)의 상승 및 하강 운동을 보다 안정적으로 개선하였다.

시간지시장치는 360-톱니기어와 24-쌍톱니기어가 있다. 360-톱니기어는 시간지속장치의 120-톱니기어와 맞물려 시계방향으로 회전한다. 이와 동시에 시간지시장치의 24-쌍톱니기어는 구슬신호발생장치의 구슬이 장착할 수 있는 바퀴(구슬장착바퀴)로 동력을 전달해 준다.

² 본 연구에서 사용한 그림 설명의 부품 명칭과 부품 번호는 김상혁(2007)의 “송이영 혼천시계의 작동 메커니즘에 대한 연구”에 제시된 것을 사용함.

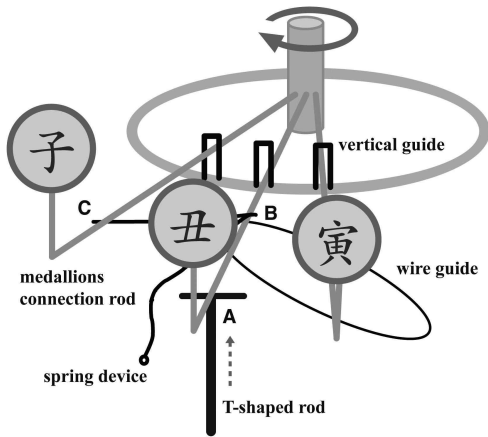


그림 3. 시패장치의 작동 개념도.

시패 연결막대의 끝 쪽에 등근 시패가 있고, 시패에는 12시 글자가 새겨져 있다. 12시 시패는 ‘子丑寅卯辰巳午未申酉戌亥’의 글자가 2시간 간격으로 시간알림 창에 나타난다. 보루각루의 시간지시장치에서는 시간알림 창 아래에서 시패를 든 인형이 출현하도록 하여 시패의 순간적인 상하운동과 회전운동이 동시에 요구되었다. 송이영의 혼천시계에서는 시패를 천천히 운행시켜 느린 상하운동과 회전운동만 필요하도록 한 것이 보루각루와 다르다. 혼천시계에서는 다음 시패가 올라오면 지나간 시패는 자동으로 내려가도록 되어있다. 이러한 작동을 하기 위해 시간알림 창 전면부에 탄성력을 갖는 장치가 있고, 구슬신호발생장치로부터 발생하는 신호가 긴 막대와 연결된 T자형 장치와 함께 연동되어 작동한다.³

그림 3은 시간지시장치의 시패장치의 작동을 개념도로 나타낸 것이다. 시패알림 창 안쪽으로, ‘了’ 형태의 스프링 장치(spring device)가 있다. 송이영은 해당 시간에 맞는 시패 1개만 보이도록 이러한 스프링 장치를 고안한 것으로 보인다. 이 장치 우측 안쪽으로 철재로 만든 활모양의 슬라이딩 장치(wire guide)가 있어 시패 장치는 이것을 타고 올라오게 된다. 이때 구슬신호발생장치의 구슬받음주걱장치로부터 온 동력이 T자형 장치(T-shaped rod)로 전달(A)되어 순간적으로 시패장치를 올려주게 된다(B). 이때 스프링장치를 건들리게 되는데, 이 순간에 지나간 시패를 떨어뜨리는 작용을 한다(C). 그러므로 시간알림 창에는 2개의 시패가 동시에 올라 올 수 없는 구조가 된다.

하지만 이러한 메커니즘은 시패장치와 T자형 장치가 오작동을 일으키는 원인이 되기도 한다. 혼천시계가

³ 시패 중에서 ‘卯’, ‘辰’, ‘申’의 3개의 글자판은 부러져 유실되었다.

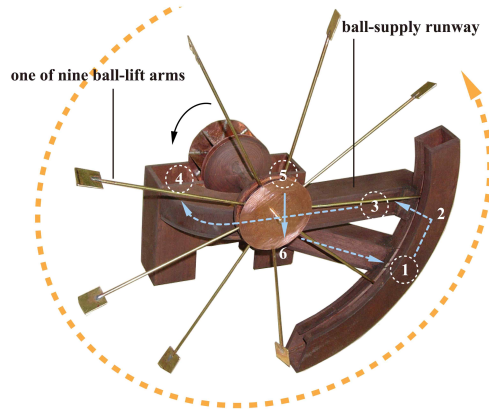


그림 4. 구슬신호발생장치의 복원 사진. 구슬의 이동은 1→2→3→4→5→(T자형 장치→타종신호 발생)→6을 반복함.

설치된 두 기관에서는 이러한 오작동을 방지하기 위해 T자형 장치를 풀어 놓고 운행하고 있다. 이러한 장치가 효과적으로 사용되기 위해서는 정확한 타이밍에 12시 시패와 T자형 장치가 동작하도록 하는 작동기술이 수반되어야 한다.⁴

2.2.2. 구슬신호발생장치

타종장치로 신호를 발생시키는 것이 구슬신호발생장치이다(그림 4). 구슬장착바퀴는 9개의 구슬 장착 틀이 있으며 시간지시장치 24-쌍톱니기어와 맞물려 회전한다. 이 회전축은 1시간에 15°(360° ÷ 24시간)씩 운행하기 때문에 이것과 맞물려 있는 구슬장착바퀴의 축도 최구슬을 장착한 후 1시간에 40°씩(360° ÷ 9칸) 움직이게 된다. 구슬장착바퀴의 회전으로 최구슬이 구슬받음주걱장치로 떨어지고(T자형 장치로 시패들어 올림→타종장치로 신호발생) 구슬이동통로를 통해 이동한 후 구슬들어 올림장치(ball-lift arm)에 의해서 천천히 올려지게 된다. 이러한 장치는 수운의상대에서 볼 수 있는 물을 퍼 올리는 승수상·하륜의 역할과 유사하다. 하지만 수동으로 작동하는 승수상·하륜과 달리 송이영은 자동운행의 구슬신호발생장치로 개선하였다.

송이영은 보루각루 시보시스템의 구슬이용 방식을 새롭게 변화시켜 구슬신호발생장치를 제작했다. 송이영은 보루각루의 최구슬에 의한 시패장치의 회전, 종의

⁴ 본 장치의 실험을 수차례 수행하면서 여러 번 오작동이 발생되었다. 이 경우 12시 시패장치가 휘어져 훼손된 경우도 있었다. 시패의 작동과 구슬신호발생장치의 초기 setting이 무엇보다도 중요하다.

타종, 구슬이동장치의 개폐가 동시 발생적인 일괄적 시스템으로 진행되었던 것을 효과적으로 개량시켰다(김상혁, 2007). 보루각루의 일괄적 시스템은 쇠구슬 에너지의 힘이 그만큼 커야하고, 원활한 기계적 운행에 여러 한계점이 있었다.⁵ 그러므로 혼천시계를 제작할 때 시간지시장치에서 발생하는 동력을 타종장치로 연결하는 매개체로 활용되도록 구슬의 활용을 제한하였고, 이로 인한 동력을 무한순환이 가능한 구조로 개선할 수 있었다.

2.2.3. 타종장치

시간에 따라 종이 울리는 장치가 타종장치이다. 타종장치는 구슬신호발생장치에서 발생하는 타종신호를 받아 해당시간의 타종수기어의 톱니수 만큼 타종한다. 타종수기어는 45-톱니기어로 되어 있다. 이 기어는 16세기 네덜란드에서 성행했던 형식이다(Needham et al., 1986). 또한 일본에서 성행하는 화시계(일본 자명종)에서도 이러한 방식이 적용되고 있다(김상혁, 2007). 타종수기어의 톱니는 깊은 톱니와 낮은 톱니로 구성되어 있다. 깊은 톱니에 타종제동장치가 위치할 때 종의 타격을 멈추게 된다. 타종제동장치는 내부와 외부에 각각 1개씩 있다. 내부의 장치는 회전드럼을 제어하고, 외부의 장치가 타종수 기어를 제어한다. 구슬신호로부터 발생하는 신호가 타종장치로 전달되면, 타종장치를 멈추게 하고 있는 제동장치가 풀리게 된다.

타종신호가 발생되면 이후 동작은 타종수 기어의 톱니수에 따라 결정된다(그림 5). 구슬신호발생장치로부터 오후 11시부터 1시간 간격으로 9회, 1회, 8회, 1회, 7회, 1회, 6회, 1회, 5회, 1회, 4회, 1회 종을 치도록 되어있다. 그리고 오전 11시부터 앞서 진행한 순서대로 종 치는 것을 반복한다. 이렇게 종을 치는 방법은 매우 독특한 데 9, 8, 7, 6, 5, 4회 타종하는 방식은 일본 화시계(자명종)에서 전형적으로 보여주는 특징이다(김상혁, 2007). 이는 타종방식과 기어구성이 일본 자명종의 제작방식을 따르고 있음을 확인할 수 있다. 다만 12시의 정(正)에서 1회 타종하는 방법은 현재까지 일본의 자명종 타종에서는 찾아 볼 수 없다.

타종장치에서 타종수 기어의 톱니 깊이는 매우 중요하다. 톱니의 깊이는 타종 속도를 제어하는 바람개비 중량에도 관계된다. 작동 모델로 제작한 초기의 혼천시계에서 많이 발생되었던 오작동은 톱니수 기어의 오작



그림 5. 타종장치의 타종수기어 복원 사진. 타종수기어에 갈고리 모양의 타종제동장치(외부)가 물려 있다. 타종수기어에는 타종의 개수를 나타내는 숫자를 적어놓았다.

동이다. 타종수를 제어하는 타종제동장치는 타종수 기어의 미세한 높이차에 의해서 해당 톱니를 지나치는 경우가 종종 발생된다. 이럴 경우 타종 횟수가 틀려지게 된다. 바람개비의 중량이 지나치게 가벼우면 타종장치추의 하강속도가 증가되어 기계장치에 무리를 주게 되며, 반대로 바람개비의 중량이 지나치게 무거우면 초기 동작이 일어나지 않게 된다(타종장치의 무게추가 운행하지 않게 되며, 결국 타종수 기어가 작동되지 않음). 톱니수 기어와 바람개비 중량은 수많은 반복 실험을 통해 조정되었음을 알 수 있다.

3. 구슬신호 체계의 혁신적 변환

3.1. 물시계의 구슬 운영 시스템

조선시대의 천문의기 중에서 구슬을 사용한 시보시스템은 보루각루와 흠경각루가 있다. 흠경각루에 비하여 보루각루의 구슬시스템은 상당히 자세히 나와 있다.⁶ 남문현(2002)에 의하면 보루각루는 12시 및 경점 신호를 발생하는 작은 구슬과 중·북·징을 타격하게 하는 큰 구슬로 구성된다. 방목(方木) 장치에는 12시 신호용 구슬 12개, 경점용 구슬 25개가 있다. 방목은 2개의 수수호 위에 설치되어 있고, 각각의 방목에는 좌우에 12시와 경점용 구슬고임장치가 있다. 수수호 부표에 꼽혀 있는 갓대는 시간이 지남에 따라 떠오르게 되고, 방목에 설치된 구슬고임장치를 건드려 구슬이 아래로 떨어져 신호를 발생시킨다.

⁵ 송이영의 시보시스템은 보루각루에 비하여 안정적 운영을 가능하게 하였다. 회전운동과 상하운동을 보다 부드럽고, 정확히 구현하였다. 이에 반하여 보루각루의 시보시스템은 일괄적 작동에 의해서 각 부품들의 마찰력이 커지고 기계적 피로도가 증가되었다.

⁶ 흠경각루에서 구슬에 대한 사용은 『광해군일기』(1614년 7월 9일자)에서 언급되고 있으나, 작동방식과 개수에 대하여 자세히 알려져 있지 않다.

아래로 떨어진 작은 구슬은 보루각루의 광판(廣板)을 통해 시보장치로 굴러들어간다. 시보장치 내부에는 조금 더 커다란 구슬이 숟가락 기구(시·경·점 신호 발생장치)에 의해 제동되어 있다가 작은 구슬이 숟가락 기구를 건드려 큰 구슬이 움직일 수 있도록 구성되어 있다. 12시 시보를 담당하는 큰 구슬은 12개로 매시 타종을 진행한다. 경점 시보를 담당하는 큰 구슬은 25개로 야간의 경점시간에 북과 징을 타격한다. 따라서 보루각루에 사용된 작은 구슬은 37개, 큰 구슬은 37개로 모두 72개의 구슬이 사용되고 있다. 보루각루의 관리 운영자는 매일 72개의 구슬을 방목과 숟가락 기구에 배치하여 다음날의 시보를 준비해야 한다.

3.2. 구슬신호 체계의 혁신적 변환

송이영의 혼천시계에서는 구슬장착바퀴(9개의 홈이 있어 순차적으로 구슬을 물고 들어가는 형태의 장치)와 구슬들어올림바퀴, 구슬이동통로 등으로 이루어진 구슬신호발생장치가 있다. 타종신호를 발생한 구슬은 구슬들어올림바퀴에 의해서 들어 올려지게 되어 다시 구슬이동통로를 통해 구슬장착바퀴 입구로 위치하게 된다. 즉, 이 장치에서 구슬은 무한순환을 반복하게 된다. 바로 이 점이 송이영의 구슬신호에 대한 혁신적 창안이라고 할 수 있겠다. 송이영은 장영실의 구슬신호체계에서 많은 수의 구슬이 사용되고, 다시 장착해 주는 반복되고 단순화된 행위에서 무한순환의 원리를 적용하여 단 4개의 구슬만으로 구슬신호를 발생하는 새로운 방식을 창안하였다.

3.3. 이민철 혼천시계의 구슬신호 체계

송이영의 혼천시계가 제작된 시점(1669년)에 또 다른 혼천시계가 제작되었다. 이민철의 혼천시계는 전통방식의 수격식 동력체계에 구슬신호를 활용한 특징을 갖고 있다. 『국조역상고』 권3, 「의상」 <규정각기>에서 소개하고 있는 이민철의 구슬 작동메커니즘의 문헌기록은 다음과 같다.

『국조역상고』 권3, 「의상」 <규정각기>⁸

쇠방울을 24개를 만들었는데 그 크기는 비둘기 알만 하다. 시령 위의 동쪽 가까이에 한 개의 구멍을 설치하고 그 안

에는 방울이 굴러다니는 길이 굴곡(屈曲)으로 비스듬하게 통하고 있다. 구리를 부어서 부거(浮車, 물에 뜨는 수레)를 만들어서 구리 항아리 속에 넣어 두었다. 물이 물시계 술에서 향아리로 통과하여 물이 차서 수레가 뜨면 기륜(機輪)이 돌고 혼천의(渾天儀)의 삼신의(三辰儀)가 자동으로 그 궤도(軌度)를 따라 돌면서 쇠방울을 구멍으로 던진다. (이것들이) 차레로 굴러 내려가서 그 기계의 톱니를 움직인다. (그 결과) 매 시각마다 종치는 사람이 종을 치고 시각을 알리는 관원이 번갈아 올라오게 된다.

문헌기록에서 제시한 쇠구슬의 개수는 24개이다. 이는 자격루의 12시 시간과 경점시간에 사용한 72개의 구슬보다 작은 숫자이다. 이민철의 혼천시계에서도 종을 치는 12시에 대한 기록이 나와 있을 뿐 경점시간은 나와 있지 않다. 송이영의 혼천시계에서도 12시 시간만 알려 줄 뿐 경점시각은 생략되었다. 조선 중기의 혼천시계에서는 밤 시간을 알려주는 경점 시간의 사용은 생략되었던 것으로 생각된다. 따라서 이민철의 혼천시계에서 24개의 구슬에 대한 역할은 12명의 목각 인형들이 12시 정각[初]과 매시 중간[正]에 타종과 연관이 있었을 것으로 생각된다. 또한 24개의 방울 크기가 비둘기 알만하다고 한 것은 이 구슬이 보루각루의 큰 구슬의 역할처럼 인형의 타격 행위와 관계하고 있음을 짐작해 볼 수 있다.

구슬의 이동은 굴곡(屈曲)진 경로를 통해 시보장치 상자로 들어간다. 보루각루에서도 방목의 쇠구슬 고임 장치에 장착된 작은 구슬이 떨어지면 광판에 새겨진 길을 따라서 시보장치 안으로 들어가도록 되어 있다. 바로 이러한 점은 보루각루의 구슬 이동과 동일한 유사성을 지닌다고 할 수 있겠다. 또한 물시계의 아날로그(analogue)적 운행이 쇠구슬을 통한 디지털(digital)화 된 신호체계로 변환되는 지점임을 알 수 있다.

이민철의 혼천시계에서 설명한 구슬신호는 청동 항아리 안의 부거(浮車, 물에 뜨는 수레)에 의한 것이다. 이 수레의 모습에 대한 구체적인 설명은 나와 있지 않지만, 물에 뜨는 구리 재질인 것으로 보아 공기가 차단된 밀폐된 형태로 생각된다. 수레가 떠오르면서 쇠구슬을 떨어뜨려야 하기에 신호발생을 위한 연결 장치가 필요하고, 쇠구슬이 안정적으로 대기할 장소도 필요하다. 보루각루에서는 이러한 장치를 수수호 안의 부표와 수수호 위의 방목과 구슬고임장치 등을 활용한 바 있다. 따라서 물에 뜨는 수레는 구슬신호를 발생하기 위한 장치가 되며, 이 시간을 정확히 맞추기 위해서 일정량의 물이 공급되도록 수위조절장치(overflow)가 된 수호(水壺, 물항아리)가 필요하다.

그런데, <규정각기>에서 제시한 이민철의 혼천시계에서 삼신의의 운행을 수레에 의한 부력에 의한 것인지, 일반적인 수격식 운행에서 볼 수 있는 수차의 회전

7 『국조역상고』 권3, 「의상」 <규정각기> 36b: line 2 ~ line 7; 爲金鈴二十四 大如鳩卵 架上近東 設一竅 內有鈴路屈折斜通 鑄銅爲浮車 納銅壺中水 自漏釜通干壺 水盛而車浮則機輪旋轉 儀上三辰 自循其軌 擲金鈴于竅 次次走下 動其機牙 每時至 鍾人擊鍾 奏時官 遞升. 『명곡집(明谷集)』 권9, <제정각기(齊政閣記)> 2b: line 2 ~ line 7 에 거의 같은 기록이 기술됨.

8 『국조역상고』 권3, 「의상」 <규정각기>의 번역 내용은 이은희, 문중양 역주의 국역본 국조역상고(소명출판, 2004), 211쪽의 자료를 조금 수정하여 인용함.

력에 의한 것인지 불분명해 보인다. 이러한 모호함은 ‘수레가 뜨면 기륜이 돌고 혼천의의 삼신의가 자동으로 운행’하는 것을 연이어 기술했기 때문으로 생각된다. 수레가 뜨는 작동과 삼신의가 회전한다는 운동을 독립적인 운행으로 간주하는 것이 보편적인 수격방식의 메커니즘이라고 할 수 있다. 중국 수운의상대와 조선 후기에 제작된 홍대용의 수격식 작동 메커니즘에서 확인할 수 있듯이 물시계에서 공급된 물이 수차에 매달린 작은 수호[小壺]로 공급되어 수차의 회전이 생기고 이 동력과 연결된 혼상 또는 혼천의가 운행하게 되는 것이다(박계훈, 2011). 이때 시보장치의 운행도 수차에 의한 기륜의 회전력에 의해서 전달된다.

『국조역상고』 권3, 「의상」에 나오는 1669년(현종 10)의 기록에는 수격식 혼천시계의 작동을 보다 명확하게 기술하면서 별도의 톱니바퀴를 설치해 구슬신호에 관여한 것으로 설명하고 있다.⁹

『국조역상고』 권3, 「의상」 1669년(현종 10)¹⁰

이것은 수호(水壺, 물항아리)를 널빤지 뚜껑 위에 안전하게 설치하여 물이 누끼(漏甗, 물이 흘러보내는 배수관)를 통하여 통안의 소호(小壺, 작은 항아리)에 흘러 들어가서 번갈아 채워져 바퀴를 돌립니다. 여러 날 물을 채워 법도에 의거하여 시행해 보면 삼신의의 환(環, 고리)이 모두 한 겹 같이 회전하고 또 각각 그것들의 원래 운행하는 길을 따라갈 수 있어서 속도에 어그러짐이 없습니다. 또 그 옆에 톱니기어[牙輪]를 설치하고 아울러 구슬이 내려오는 길을 설치하여 시간을 알려 종을 치는 기관(機關)이 되게 했습니다.

위의 문헌기록에 의하면 혼천의의 삼신의는 수격방식에 의해서 정밀하게 운행된다. 큰 물통에서 공급된 물이 수차에 매달린 소호(小壺, 작은 항아리)에 담겨 수차가 회전하는 것을 표현하고 있다. 이러한 장치 곁에 톱니기어[牙輪]를 설치해 구슬이 운행하는 길을 만들고 종을 쳐서 시간을 알리도록 하였다. 여기서 아륜은 24개의 구슬을 제어하는 역할로 생각되며, 종을 타격하는 연결장치로 생각된다. 전상운(2000)은 1961년에 제작한 이민철의 혼천시계 복원 모형에서 24개의 쇠구슬이 쇠망치를 작동하게 하여 종을 치고 회전바퀴에 장치된 패달(송이영의 구슬들어올림장치와 유사한 장치)에 의해서 쇠구슬을 반복적으로 이동시키는 모델을 제시한 바

있다.

『국조역상고』에서 제시한 아륜과 부거에 대한 상호 연관성을 명확히 입증하기 어렵지만, 부거(부력에 의해서 떠오른 수레)를 아륜에 연결하여 순차적 구슬신호를 내보내는 시스템으로 생각해 볼 수 있다. 이민철 혼천시계에서 부거에 의한 시보시스템은 추동력으로 시간지시장치와 구슬신호발생장치를 운행하는 송이영의 시보시스템과 차이를 보인다. 이민철의 수격시스템과 구슬의 사용은 조선 초기에 제작한 보루각루의 구슬신호발생에 관계하고 있는 방목시스템을 창의적으로 개량화한 성과로 생각할 수 있다.

4. 결론과 고찰

송이영의 혼천시계는 동아시아에서 발전한 혼천의 시스템에 서양의 자명종 동력을 융합하여 제작한 새로운 형식의 시계장치이다. 송이영은 전통적으로 사용해 오던 수격방식의 동력체계를 자명종의 진자장치와 무게추를 이용한 방식으로 변환시키면서 여러 가지 시보장치에 대하여 개량하였다.

송이영 혼천시계의 시보시스템에서 살펴볼 수 있는 특징을 다음과 같이 요약하여 정리하였다. 첫째, 혼천시계의 구슬시스템은 보루각루의 구슬신호 체계의 전통을 새로운 형식으로 변화시키고, 구슬의 개수를 4개로 하여 무한순환이 가능하도록 개선하였다. 둘째, 12시 시패장치는 보루각루의 평륜시스템을 계승하면서 보다 세밀한 구현을 위해 탄성력을 지닌 스프링 장치와 직립형이 장치를 두어 안정적인 시패운행을 구현하였다. 셋째, 경점 시보는 생략되어 12시 시보만 알려주고 있고, 12시 시보에 작동하는 타종수기어는 일본식 타종법을 따르며, 1시간 간격으로 9회, 1회, 8회, 1회, 7회, 1회, 6회, 1회, 5회, 1회, 4회, 1회를 반복하여 타종한다.

동시기에 제작한 이민철의 혼천시계에서도 구슬신호에 대하여 문헌을 통해 살펴볼 수 있었다. 우선 24개의 구슬은 12시의 초·정 시간을 알리는 것으로 짐작된다. 송이영과 이민철의 혼천시계에서는 경점시간에 대한 부분은 생략되었다. 경점시간의 생략에 대하여 구만옥(2005)은 ‘전통적인 경점법은 부정시법이었기 때문에 이에 따라 많은 시간을 계산해서 작은 기계 안에 배열하기에는 현실적인 어려움이 있었기 때문이다.’고 기술하고 있다. 덧붙여 말하자면 보루각루와 같은 국가의 표준시계가 아닌 혼천시계에서 경점시간의 사용은 불필요한 요소였을 것으로 생각된다.

이민철의 혼천시계에서 보이는 구슬의 사용은 보루각루의 구슬 이용과 관계가 깊은데, 보루각루의 ‘광판(廣板)’의 역할이 이민철 혼천시계에서 ‘굴곡(屈曲)진 경로’와 비교될 수 있으며, 부전과 방목의 관계도 이민철의 혼천시계에서는 부거와 아륜의 역할로 비교될 수 있

9 『국조역상고』 권3, 「의상」 34a: line 7 ~ 34b: line 1; 安設水壺於板蓋之上 水由漏甗下灌於皮內小壺 遞遞盈滿 以爲激輪之地 累日盛水依法試之 則三辰之環 竝能一齊運轉 而又能各循其本行 遲速之度 無所差忒 又於其旁 疊設牙輪 兼設鈴路 竝爲奏時擊鐘之機關. 『식암선생유고(息庵先生遺稿)』 권17, 「신조혼천의량가정진계(新造渾天儀兩架呈進啓)」 8a: line 4 ~ line 8 의 기록과 일치함.

10 『국조역상고』 권3, 「의상」 1669년(현종 10)의 번역 내용은 이은희, 문중양 역주의 국역본 국조역상고(소명출판, 2004), 206쪽의 자료를 조금 수정하여 인용함.

다. 이러한 정황으로 볼 때, 이민철의 혼천시계에서 구슬신호 체계는 보루각루의 전통을 계승하고 발전시켜 새로운 개량을 구현한 것으로 보인다.

우리는 송이영의 혼천시계의 시보시스템을 중심으로 작동메커니즘에 대하여 세부적으로 살펴보았고, 그 특징들을 기술하였다. 또한 동시기에 제작한 이민철 혼천시계의 구슬신호 체계에 대하여 조선 초기의 보루각루의 작동메커니즘과 비교하였다. 이러한 시보시스템과 구슬신호의 연구는 조선 초기의 함경각루의 수격식 운영시스템에 대한 유추와 조선 중기 혼천시계 연구에 있어 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2003575).

참고 문헌

- 구만옥, 2005, 崔攸之(1603 ~ 1673)의 竹園子: 17세기 중반 朝鮮의 水激式 渾天儀, 韓國思想史學, 25, 173
- 김상혁, 2007, 송이영 혼천시계의 작동 메커니즘에 대한 연구, 중앙대학교 박사학위논문
- 남문현, 2002, 장영실과 자격루: 조선시대 시간측정 역사 복원, 서울대학교출판부, pp.181-192
- 박제훈, 2011, 조선의 수격식 기계시계의 유량조절과 탈진시스템 연구, 충북대학교 석사학위논문
- 이용삼, 김상혁, 2007, 송이영(宋以穎) 혼천시계(渾天時計)의 천체운행 장치 구조와 작동원리 연구, 한국우주과학회지, 24, 167
- 전상운, 1963, 璇璣玉衡(天文時計)에 對하여, 古文化, 2, 2
- 전상운, 2000, 한국과학사, 사이언스북스, pp.118-124
- Needham, J., Lu, G. D., Combridge, J. H., & Major, J. S., 1986, The Hall of Heavenly Records: Korean Astronomical Instruments and Cocks 1380-1780, Cambridge University Press, pp.115-152
- Needham, J., Wang, L., & Price, D. J., 1960, Heavenly Clockwork: The Great Astronomical Clocks of Medieval China, Cambridge University Press, pp.161-163
- Rufus, W. C., 1936, Astronomy in Korea, Transactions of the Korea Branch of the Royal Asiatic Society, 26, 1