

동아시아 천문관서의 자동 시보와 타종장치 시스템의 고찰†
- 수운의상대, 자격루, 옥루, 송이영 혼천시계 등을 중심으로 -

이용삼^{1,2†}, 김상혁³, 정장해^{1,2}
¹충북대학교 천문우주학과, ²충북대학교 천문대, ³한국천문연구원

Automatic Clock and Time Signal System of the Astronomical
Agency in East Asia Area†

Yong Sam Lee^{1,2†}, Sang Hyuk Kim³, and Jang Hae Jeong^{1,2}
¹Dept. of Astronomy & Space Science, ChungBuk National University Cheongju 361-763, Korea
²ChungBuk National University Observatory, Cheongju 361-763, Korea
³Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea
E-mail: leeysam@hanmail.net

(Received June 1, 2009; Accepted June 15, 2009)

요 약

동아시아 천문관서의 자동 시보와 타종시스템에 대하여 분석하였다. 조선의 서운관에서는 1434년(세종 16)부터 국가 표준시계로 자격루를 운영하였고, 1438년에는 옥루를 제작하였다. 이러한 자동 시보시스템은 당시 시각제도에 따라 시보장치와 타종장치로 운영되었다. 이보다 앞서 제작한 중국의 수운의상대(1092)에서도 당시의 시각제도에 따른 시보시스템을 이루고 있다. 한국과 중국 그리고 일본은 12시 100각법에 따른 동일한 시각제도를 사용하고 있었지만 세부적인 시보시스템은 다소 차이가 있었다. 시보장치와 타종장치의 제작기술은 중국의 전통을 기반으로 자격루와 옥루라는 독창적인 시보시스템을 나타내는 종합적인 시계 기술로 이어졌다. 시보시스템에 대한 연구로 당시 시각제도에 대한 사례와 새롭게 복원할 천문유물의 시보와 타종시스템에 대한 정보를 제공할 수 있게 되었다.

Abstract

We analysed the old automatic clock and time signal system that was used by the national astronomical agency in East Asian Area. Jagyeongnu is a kind of water clock that was operated by the flowing water in Joseon Dynasty. Seowoongwan managed the water clock so as to keep the standard time system in the dynasty from the 16th year (1434) of King Sejong's reign. In 1438 the Okru that was invented in the period. Such kind of clock system already was used in China, which was Shui yün i hsiang t'ai (水運儀象臺) in 1092. During the period Joseon Dynasty, China and Japan had been kept the time system that one day is divided into 12 shin (12辰) or 100 gak (刻). However detailed part of the system had a little difference among the three countries. Though the whole system of water clock in Joseon had manufactured on the basis of Chinese, it had been gradually developed by own method and idea. In this study

†이 연구는 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었음

‡corresponding author

we show the historical records of the standard time keeping system in East Asian history. And then we can inform materials on the structure and functional devises for the purpose of new restoration models about the automatic clock and time system.

Keywords: time keeping system, time annunciator mechanisms, East Asian history

1. 서 론

예로부터 동아시아 지역의 제왕들은 “관상수시(觀象授時)”의 임무를 수행하였다. 천문과 역법, 시간을 담당 하는 기관을 두고 하늘에서 천체의 운동을 관측하여 백성들에게 농사의 절기와 시간을 정확히 알려주어야 했다. 시간은 천체의 움직임과 밀접한 관계를 갖고 있으며 인류 생활의 편리함을 주기 위한 중요한 것 중에 하나이다.

시대가 변함에 따라 시간을 담당하는 천문관서(天文官署)에서는 주야(晝夜)시간을 시계 스스로 시간을 알려주는 자동 시보장치(時報裝置)와 타종장치(打鐘裝置) 시스템을 개발하여 사용하였다. 중국 북송(北宋)의 소송(蘇頌)과 한공렴(韓公廉)은 1092년 물시계와 수차(水車)의 동력과 기어장치를 연결하여 혼상(渾象)과 혼의(渾儀)를 구동(驅動)하는 혼천시계의 일종인 수운의상대(水運儀象臺)를 완성하였다(『新儀象法要』)¹. 수운의상대는 그 규모가 3층 건물로 높이가 약 12m, 길이와 너비는 각각 7m이다(山田慶兒와 土屋榮夫 1997). 물시계는 유출되는 물의 흐름을 일정하도록 유지시키고 이 일정한 흐름의 낙차로 기계식 수차를 회전시키는데, 천형장치를 사용하여 수차들의 속도를 일정하게 조절해 사용했다. 따라서 주야(晝夜)의 시간에 따라 스스로 시간을 알리는 자동 시보장치(時報裝置)와 타종장치(打鐘裝置) 시스템과 함께 혼상(渾象)과 혼의(渾儀, 또는 혼천의)를 정확하게 구동(驅動)할 수 있었다.

이러한 시스템은 조선으로 옮겨져 1433년 경복궁 안에는 천문대인 간의대가 세워졌다. 여러 가지 관측 기기들과 각종 시계들을 설치하면서 1435년 혼의와 혼상을 수력으로 작동하는 자동시계장치로 설치하였다. 1434년에 장영실이 만든 자동 시보장치와 타종장치가 있는 자격루(自擊漏)를 제작하여 당시 세계적인 수준의 기술력을 보여주었다. 1438년 제작한 옥루(玉漏, 흠격각루)는 태양운행 시스템을 포함한 자동시보시계이다.

1657년에 최유지는 대나무를 사용해 만든 혼천의에 달 운행장치가 있는 자동시계를 만들었다(구만옥 2005). 이후 이를 바탕으로 국가에서는 수격식 시스템으로 제작하고 운영하였으나 고장으로 운영이 지속되지 못하였다. 이 메커니즘을 이용해 1669년(현종 10) 이민철은 수격식(水激式)으로, 송이영은 추를 이용한 기계식의 혼천시계를 제작하였다. 모두 자동 시보장치(時報裝置)와 타종장치(打鐘裝置) 시스템이 포함되어있다. 특히, 송이영 혼천시계의 동력은 서양식 자명종을 이용하였다. 이 당시 호이헨스는 시간의 정밀도를 획기적으로 개선시킨 진자시계를 발명했는데, 호이헨스의 진자시계 제작기술을 응용하여 혼천시계를 제작하였다.

이 연구에서는 동아시아 시계장치기술의 관한 문헌과 유물을 통해 자동 시보(時報)와 타종장치(打鐘裝置) 시스템에 대한 충분한 이해와 검토를 수행하고자 한다. 아울러 오랜 기간 전통적으로

¹Gao Xuan 2003, Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, August,

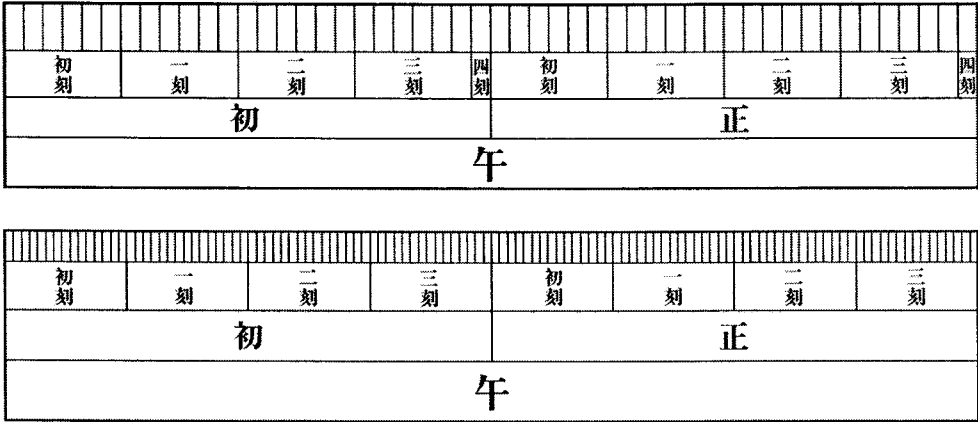


그림 1. 12시 100각(상)과 12시 96각(하)의 오시(午時) 시각 눈금.

계승된 각종 자동시계기술의 원천 기술을 밝히고, 또한 역사적 변천 과정을 제시함과 동시에 사라져 버린 유물들의 복원을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 동아시아의 시각법

한국, 중국, 일본의 시각제도에 대하여 살펴보았다. 12시 100각법(또는 96각법)은 동일하나 세부적인 표현 방식은 다양하게 나타나고 있다. 밤 시간을 나누는 경점시간에 대해서도 살펴보았다. 이러한 시각제도는 당시의 자동시보 및 타종장치의 작동 원리와 범위를 구현해주는 기본적인 메커니즘을 제공해준다. 시각제도에 따른 자동 시보와 타종장치는 나라마다 독특한 형식으로 발전해 왔다.

2.1 조선의 시각법

동아시아에서는 전통적으로 하루를 12시(時)로 12등분하여 1시간을 1시진(時辰)으로 하여 각각 시간의 이름을 자(子), 축(丑), 인(寅), ... , 술(戌), 해(亥)로 정하였다. 좀 더 정밀한 단위를 위해 한 시간을 초(初)와 정(正)으로 나누는 후 각각을 각(刻)으로 구분하였다. 또한 하루는 총 100등분하여 100각으로 나누어 사용하는 정시법(定時法)을 사용하였다. 조선에서는 1654년(효종 5) 이전 까지 하루가 100각인 시각법을 사용하다가 그 후부터 시헌력법(時憲曆法)을 사용하면서 12시 96각이 사용되었다.

조선 전기의 100각법은 하루를 12시(十二時)로 나누어 사용하면서 100각이 12시의 정수배가 되지 않으므로 매 시(時)에 8과 1/3각을 배당하였다. 그리고 매 시를 초와 정으로 2등분하여 초와 정은 4각 + 1/6각이 되고 1각은 6분(分, 分은 等分의 개념임)으로 구분하였다. 100각법의 시간 순서는 매시의 첫 각이 초초각(初初刻)이 되고 다음에 초일각(初一刻), 초이각(初二刻), 초삼각(初三刻)까지 각각 6분(分)씩이며 나머지는 1분(分)은 초사각(初四刻)이 된다. 그리고 정초각(正初刻)과 정일각(正一刻), 정이각(正二刻), 정삼각(正三刻)까지 각각 6분씩이며 마지막 남은 1분은 정사각(正四刻)이 되어 1시(時)는 총 50분이 된다(그림 1의 상).

96각법은 하루를 12시(十二時)로 나누어 사용하면서 매 시를 8각으로 초와 정으로 2등분하였고, 1각은 15분(分)이 된다. 초와 정은 각각 4각이 되어, 초초각, 초일각, 초이각, 초삼각, 정초각, 정일각,

初刻	一刻	二刻	三刻	四刻	五刻	六刻	七刻	八刻
午								

그림 2. 송대 12시 100각법(『隨書』, 『律曆志』·4, 『舊唐書』, 『曆志』·1, 『宋史』, 『律曆志』의時刻圖).

정이각, 정삼각의 순서로 시간을 정한다(그림 1의 하).

낮과 밤 시간은 계절의 변화에 따라 변한다. 해가 지면 일 할 수 없었던 당시의 밤 시간은 저녁 박명 시간이 지난 후 아침 박명 시간 전 까지 1야(夜)를 5경(更)으로 5등분하여 일몰 후 2.5각인 혼(昏)에서 일출 전 2.5각인 신(晨)까지 계산하였다. 이 밤 시간은 매일 초경(初更), 이경(二更), 삼경(三更), 사경(四更), 오경(五更)으로 다섯으로 등분하여 사용하였다. 매 경(更)은 5점(點)으로 구분하여 하루 밤 동안을 총 25점으로 등분 하였다. 밤 시간의 시간 순서는 일(또는 初)경 일점(一點), 일경 이점(二點), ... 일경 오점(五點), 이경 일점(一點), ..., 오경 오점(五點)이 된다. 이렇게 밤 시간을 경과 점으로 나누는 시간법이 경점법(更點法)이다.

밤 시간은 계절에 따라 각 경점(更點)의 시간 간격이 변하기 때문에 시간을 관장하는 국가기관에서는 매일 밤의 정확한 시간을 관리하였다. 낮에는 정시법(定時法)을 사용하고 밤에는 부정시법(不定時法)인 경점법을 사용하여 생활 리듬에 맞도록 시간을 활용하였다.

2.2 중국의 시각법

중국 고대의 시각법은 전통적으로 청대(清代) 이전까지는 하루를 12시 100각법을 사용하였다. 송대(宋代) 부터 원대(元代) 이전까지는 매 시를 8과 1/3각으로 배분하여 사용하였다(그림 2). 원대에는 매 시를 초(初)와 정(正)으로 2등분하여, 4와 1/6각씩 초와 정에 배분하여 사용하였다. 원대의 시각법은 조선 전기에 사용한 12시 100각법과 일치한다.

1일을 100각으로 사용하고 또한 1각의 시간을 세분하여 분(分) 단위를 사용하고 있지만 1분(分)의 시간 길이는 시대에 따라 다르게 사용하였다. 사이토 쿠니하루(1995)가 연구한 중국 시각법을 정리하면 다음과 같다. 『수서』, 『율력지』에는 1일은 6,000분(分)이며 1각은 60분(分)이다. 『구당서』, 『역지·1』의 1일은 2,400분(分)이며 1각은 24(分)을 사용하고 있다. 『송사』, 『율력지·3』의 대중상부(大中祥符, 1010년)의 E 표에는 1일은 14,700분(分)이며 1각은 147분(分)을 사용하고 있는데, 『송사』, 『율력지·9』의 황우누각(皇祐漏刻)의 F표(1049-1054년 관측자료)에 의하면 1일은 6,000분(分)이며 1각은 60분(分)으로 되어 있다. 『원사』, 『역지·4』에는 하루 600분(分)이며 1각은 6분(分)을 사용하였다. 청대(清代)에는 1일 12시 96각과 1,440분(分)을 사용하여 1각은 15분(分)으로 현대에 사용하는 분 단위(minute)의 간격과 동일한 간격을 사용하고 있다.

2.3 일본의 시각법과 자명종 타종

일본 정향력법(貞享曆法)은 하루를 12시로 나누고 100등분한 100각을 사용한다. 매 시는 초와 정으로 나누지 않고, 8각과 1/3각으로 구성된다. 송대의 12시 100각 제도와 유사하다. 칠요력법(七曜曆法)에서는 조선 전기와 원대 사용한 시각제도를 사용하고 있다(그림 3). 한편 서양과학의 도입에 따

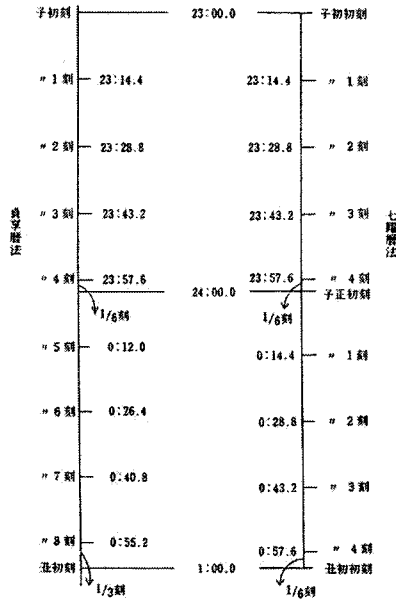


그림 3. 일본의 정향력법과 칠중법의 현행시간과의 비교(사이토 쿠니하루 1995).

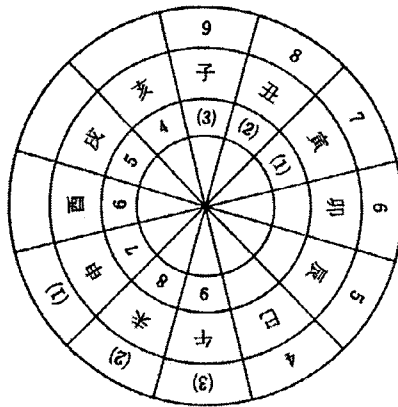


그림 4. 12시에 따른 일본 자명종의 타종수(橋本万平 2002).

라 서양식 자명종을 개량하여 독특한 타종법으로 사용하였다. 자시(子時)에 9회, 축시(丑時)에 8회, 인시(寅時)에 7회, 묘시(卯時)에 6회, 진시(辰時)에 5회, 사시(巳時)에 4회 타종하는 방식을 이용한다. 또한 오시, 미시, 신시, 유시, 술시에도 9, 8, 7, 6, 5, 4회 타종한다(그림 4).

송이영의 혼천시계도 서양식 자명종을 응용하여 운행하던 시계인데, 혼천시계의 타종법이 일본 자명종의 타종법과 유사하다. 일본에서도 이러한 타종법에 대하여 뚜렷한 근원을 밝히고 있지 않는데, 주역에 의한 타종방식의 해석(사이토 쿠니하루 1995, 김상혁 2007)이 유력할 것으로 보인다. 즉,

표 1. 한국, 중국, 일본의 시각법.

구분	시각제도	세부내용					관련근거	비고	
		初	正	1時	1日	1刻			
한국 (朝鮮)	12시	4刻	4刻	8刻	600分	6分	『世宗實錄』 『漏籌通義』	1654년 이전	
	100각법	+1/6刻	+1/6刻	+1/3刻					
	12시 96각법	4刻	4刻	8刻	1,440分	15分	『新法漏籌通義』	1654년 이후 ~1896년	
중국	隋	12시			6,000分	60分	『隋書』 「律曆志」		
	唐	100각법			2,400分	24分	『舊唐書』 「曆志·1」		
	宋			8刻 +1/3刻	14,700分 6,000分	147分 60分	『宋史』 「律曆志」 『宋史』		
	元		4刻 +1/6刻	4刻 +1/6刻	8刻 +1/3刻	600分	6分	『元史』 「曆志·4」	
	明		4刻 +1/6刻	4刻 +1/6刻	8刻 +1/3刻	3,600分	36分	명대 간의 눈금	
	淸	12시 96각	4刻	4刻	8刻	1,440分	15分		
일본	12시			8刻			貞享曆	17C, 初와正 을 구분안함	
	100각법			+1/3刻					
		4刻 +1/6刻	4刻 +1/6刻	8刻 +1/3刻			七曜曆	조선 12시 100각법 동일	

자시와 오시가 기준이 되어 가장 완전한 수를 0이나 10으로 보지 않고, 9로 보는 주역에서의 의미로 볼 때, 자시에 9를 배치하고 순차적으로 8, 7, 6, 5, 4를 배치하고 다시 오시부터 9, 8, 7, 6, 5, 4를 배치하는 방법이다.

2.4 한국, 중국, 일본의 시각법 요약

한국, 중국, 일본의 시각법을 요약하여 표 1에 정리하였다. 조선의 자격루는 12시 100각법에 따라서 잣대의 눈금이 그려져 있다. 조선 전기 문헌인 『누주통의』에는 5경 5점에 따른 구분을 12시 100각법으로 표현하고 있다. 기록을 보면 각(刻)은 초각(初刻)에서 사각(四刻) 이내로 값이 적혀 있고 분(分)은 1분(分)에서 6분(分)까지의 값이 기록되어 있다. 『세종실록』에서 기술하고 있는 일성정시의 기록에서 매각을 6분(分)으로 나누고 있다. 조선 후기의 『신법누주통의』에는 초각(初刻)에서 삼각(三刻) 이내로 값이 적혀 있고 분(分)은 1분(分)에서 15분(分) 사이의 값이 기록되어 있다.

송이영의 혼천시계는 12시 96각법에 따른 시스템이 적용되었다. 김상혁(2007)은 혼천시계 작동 운행에서 1각(刻)에 대한 타종 행위는 없으나 현재 유실된 시간알림 창에 시각표가 부착되었던 흔적을 발견했다. 이 곳에 12시 96각법 제도에 따른 시각표가 있었을 것으로 추정되고 있다. 중국과 일본의 12시 100각 또는 96각 눈금은 사이토 쿠니하루(1995)의 연구 내용을 요약하여 표 1로 완성하였다.

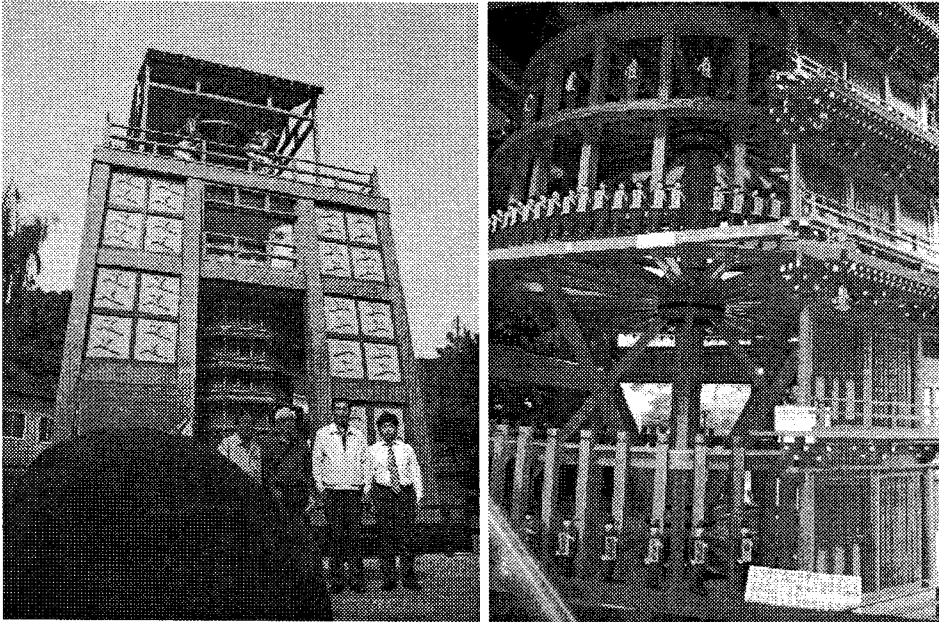


그림 5. 스와코 시계과학관에서 복원한 수운의상대(좌)와 시보시스템(우).

3. 자동 시보와 타종장치의 역사

본문에서는 중국의 수운의상대, 한국의 자격루와 옥루, 혼의와 혼상, 송이영 혼천시계, 일본의 자명종을 중심으로 주요 메커니즘 구성과 역사에 대하여 살펴보았다.

3.1 중국의 수운의상대(水運儀象臺)와 한국의 혼의·혼상(渾儀渾象)

중국의 수운의상대는 1092년 북송(北宋)의 소송과 한공렴이 완성하였다. 수운의상대의 외형 모습은 『신의상법요』에서 살펴볼 수 있고, 실제로 운행하는 수운의상대 복원품은 일본 나가노(長野, Nagano)현 스와코 시계과학관에 있다(그림 5, 필자방문사진). 이 시설에는 동력장치인 물시계와 수차, 구륜장치 등이 작동하여 혼상과 혼의, 시보장치를 운행한다(그림 5 우측). 중국의 이러한 시스템은 조선으로 옮겨져 혼의와 혼상(1435)의 운영이나 조선 중기 혼천시계 운행 메커니즘에도 영향을 주었던 것으로 보인다.

그림 6은 수운의상대의 동력전달 개념도를 나타낸 것이다. 개념도를 통해 작동구조와 원리에 따라 단계별로 구분하여 소개하면 다음과 같다.

한국에서도 중국 수운의상대와 유사한 천문시계에 대한 기록이 남아 있다. 1437년(세종 19) 4월 15일(갑술)의 『세종실록』 기록에는, 1435년에 제작한 혼의와 혼상의 설치와 작동기술 등에 대하여 나와 있다.

표 서쪽에 작은 집을 세우고 혼의와 혼상을 놓았는데, 혼의는 동쪽에 있고 혼상은 서쪽에 있다. 혼의의 제도는 역대와 같지 아니하나, 이제 《오씨서찬(吳氏書纂)》에 실린 글에 의해 나무에 칠을 하여 혼의를 만들고, 혼상의 제도는 베[布]에 칠을 하여 몸통을 만들되 둥글기는 탄환(彈丸)같고 둘레

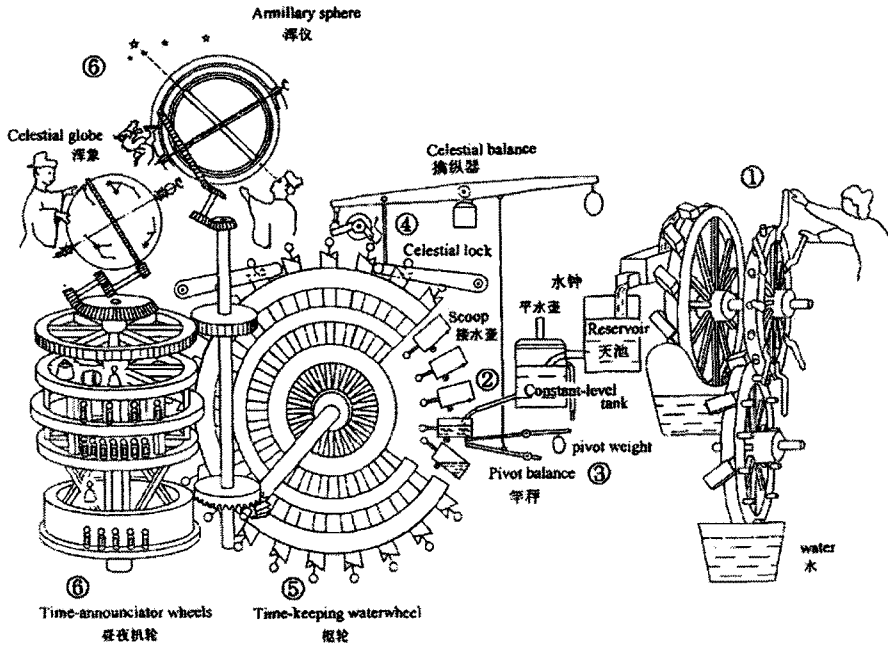


그림 6. 수운의상대의 동력전달 개념도(諏訪湖時の科學館 儀象臺 1998). ① 물 공급 장치(수차). ② 물시계. 천지와 평수호의 2단으로 구성된 물시계이다. ③과 ④는 물 공급 제어장치-천형으로 일정량 물이 차면 일정한 각도만큼 돌아가게 한다. ⑤ 동력발생장치-구륜. 혼의나, 혼상을 움직이는 동력이 되기도 하고, 주야기륜으로 전해져 시보장치의 회전과 타종장치의 동력으로 사용된다. ⑥ 혼의, 혼상, 시보 작동장치. 천체(태양과 별들)의 운동을 그대로 보여주게 된다. 가장 아래층에는 시보장치가 있다.

는 10척 8촌 6분이다. 중형으로 하늘 둘레의 도·분을 그렸는데, 적도는 중간에 있고 황도는 적도의 안팎에 나뉘되 각각 24도 약이다. 중외관성(中外官星)이 두루 벌여 있어 하루에 한 바퀴를 돌고 1도를 더 지나간다. 노끈으로 해를 얹어 황도에 매고, 매일 1도씩 물러나서 행하여 하늘의 행함과 합하였다. 물을 이용하여 기계가 움직이는 공교로움은 숨겨져서 보이지 아니한다.

문헌기록에 의하면 혼의와 혼상은 별도의 건물(小閣)을 지어 그 속에 설치하였다. 혼의는 원대(元代)에 오징(吳澄)이 편찬한 『찬언(纂言)』의 기록을 따랐음을 알 수 있다. 문헌에서 밝힌 혼상의 크기가 10척 8촌 6분(주척 1척=20.7cm로 적용, 혼상 지름은 71.5cm)이라고 언급하고 있으나 함께 있는 혼의의 크기는 언급하지 않았다. 혼상 둘레에는 적도와 황도를 그렸고, 그 교각을 24도 약(弱, 24도 약은 360도 법으로 환산하면 23.572도에 해당)으로 제시하고 있다. 그리고 하늘에 떠있는 별들이 하루에 1회전하고 1도를 더 회전한다고 하였다. 이는 지구가 자전을 하면서 공전하기 때문에 일어나는 현상이다. 또한 노끈을 이용하여 태양이 황도상을 따라 1도씩 후퇴하는 메커니즘을 언급하고 있다. 이 모든 작동은 수력을 이용한 기계장치로 운영되고 있다.

중국은 오래 전부터 혼의를 물로 작동시키고 혼의와 혼상을 함께 두어 사용하였다. 수운의상대와 세종대 혼의와 혼상은 같은 동력을 사용하는 시스템으로 기본적인 원리는 같다고 할 수 있다. 한영호 외(2001)은 수운의상대의 혼의에 달려 있는 태양과 달운행장치는 수동이었을 것으로 추정하고,

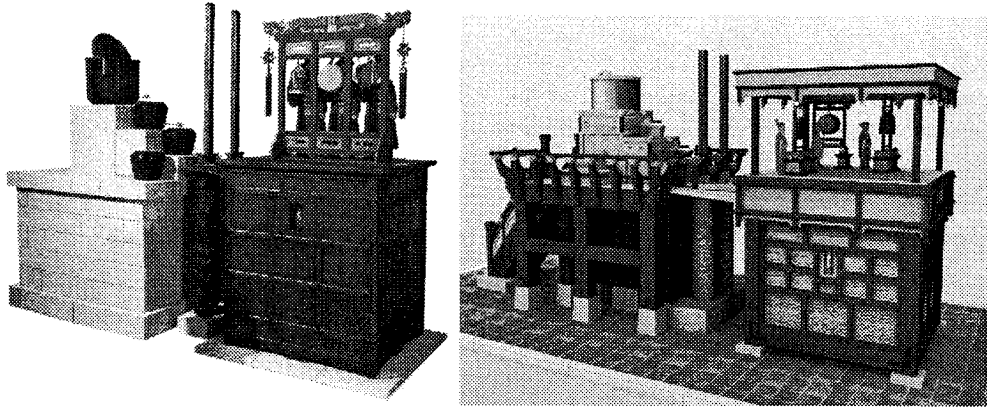


그림 7. 자격루의 서울역사박물관 모델과 국립고궁박물관 모델(사진: 남문현 제공).

이에 비하여 조선은 태양운행을 자동화 시킨 것은 진일보한 발전이라고 평가했다.

3.2 자격루(自擊漏)

세종시대 자격루는 물시계 부분과 시보장치로 구성되어 있다. 경희루 남쪽에 지은 보루각에 설치하여 운영(1434년)하였으나 현존하지 않는다. 현재 덕수궁 야외에 전시되어 있는 자격루는 중종 때 제작한 것이다. 국보 제229호에 지정된 이 자격루는 물시계 부분만 남아 있다. 이 자격루는 여러 차례의 개조와 보수를 거쳐 조선 말기까지 전해졌다. 자격루의 시보장치는 언제 없어졌는지 알 수 없다.

최근에 서울역사박물관(2002년 제작)과 국립고궁박물관(2005년 제작)에서 자격루를 복원하였다. 그림 7은 자격루의 서울역사박물관 모델과 국립고궁박물관 모델이다. 서울역사박물관에서 복원한 자격루는 전체 크기의 60% 수준이며 물로 작동되지 않고 전자제어로 운행되고 있다. 국립고궁박물관에서 제작한 자격루는 물에 의해서 작동되고 있다. 내부 기계장치는 크고 작은 쇠구슬에 의해서 타격하고 시패장치로 시간을 알려준다. 교육전시를 위해 밤 시간에 사용한 경점시간(북과 징 타격)을 낮 시간에 맞추어 타격하도록 조정되었다. 2가지 모델에서 공통점은 현존하는 덕수궁 물시계의 청동제 물항아리 배치를 바로 잡았고, overflow 기능을 고려한 설계가 이루어진 점이다.

자격루에는 2개 수수호 위쪽으로 방목장치가 있다. 방목의 좌우측에 끼워져 있는 동판에는 12시와 5경 5점을 알려주는 쇠구슬 고임장치가 있다. 따라서 방목장치 안에서 물시계 부진(浮箭, 잣대)이 상승함에 따라 쇠구슬 고임장치를 건드리면 구슬이 떨어진다. 즉 낙하하는 구슬로 신호가 발생한다. 이때 물시계의 아날로그 신호(analogue signal)가 쇠구슬의 디지털 신호(digital signal)로 바뀌게 되므로 방목 장치를 디지털변환 장치라고 볼 수 있다. 여기서 발생한 작은 쇠구슬 신호는 철환방출부에서 큰 구슬 신호로 변환된다. 철환방출부는 작은 에너지가 큰 에너지로 증폭되는 역할을 한다.

그림 8은 자격루의 12시 시패장치 구조도(좌)와 국립고궁박물관 시보인형(우)이다. 12시 기계장치로 보내진 큰 구슬은 12지 시패를 회전시키는 동력을 만들고 동시에 종을 울리게 된다. 김상혁(2009)은 12시 시패장치에 대한 작동 메커니즘에 대하여 다음과 같이 정리하고 있다.

큰 구슬이 12시용 시계장치로 들어가면 쇠구슬은 A관을 지나서 B 기구를 건드리게 된다(그림 9

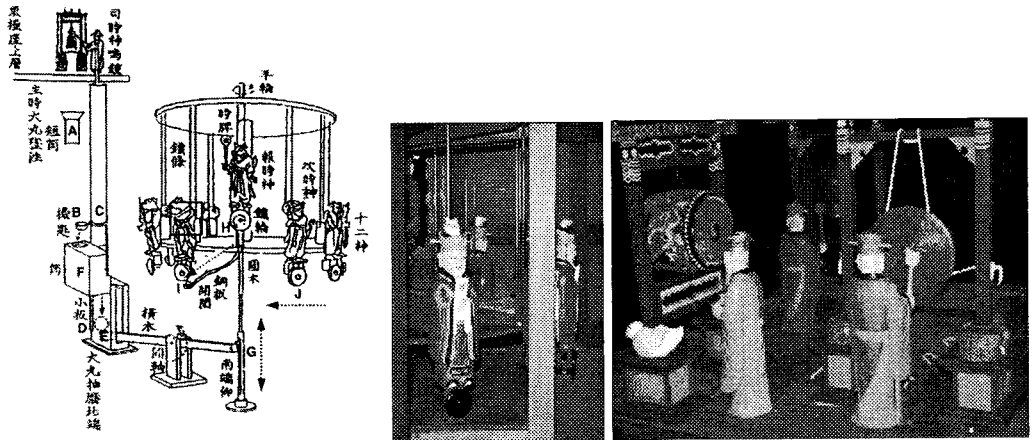


그림 8. 자격루의 12시 시폐장치 구조도(좌)(남문현 1998)와 국립고궁박물관 시보인형(우).

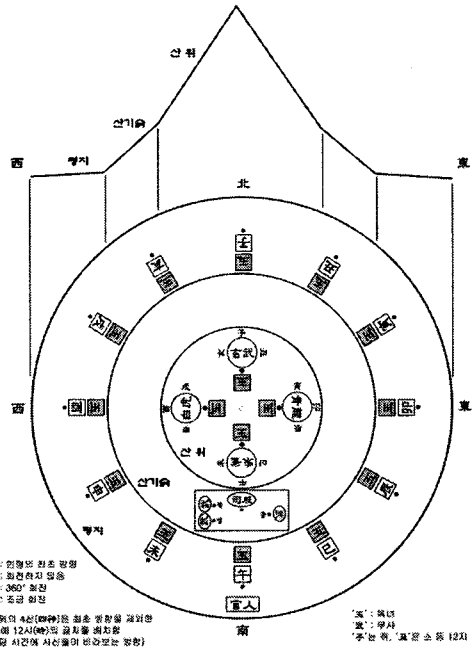
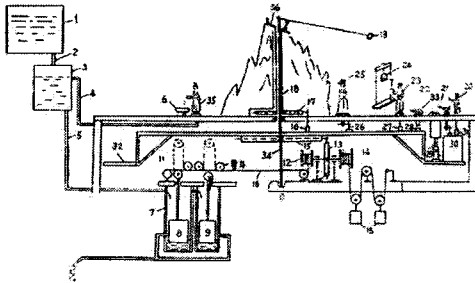
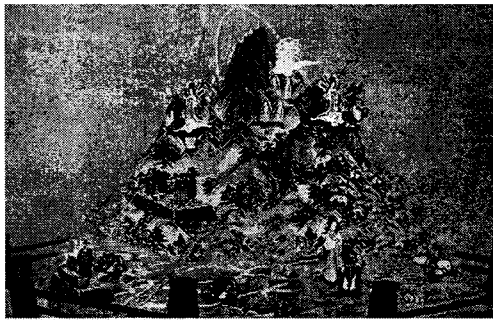


그림 9. 옥류 상상도(좌-상)(남문현 2002), 작동 메커니즘(좌-하)(조선기술발전사원찬위원회 1997), 자동인형 배치도(우) (김상혁 2009).

참고). 이때 B 기구에 연결된 12시용 연결 장치가 C관속에서 연결된 장치가 위의 종 담당 인형과 아랫부분의 D의 소판(小板)으로 전달된다. 종 담당 인형으로 전달된 힘에 의해서 종을 타종하도록 인형의 팔 동작을 연출한다. 소판으로 연결된 힘은 소판을 들어 올리도록 한다. 소판이 열리면 B 부분을 누르고 있던 쇠구슬이 빠져나간다. 동시에 G 부분의 지지막대는 아래로 내려가고, H 부분의 시폐

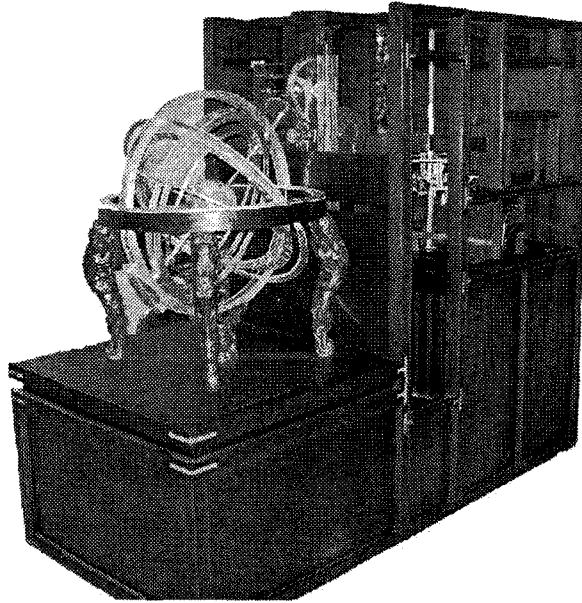


그림 10. 복원한 혼천시계 모델(옛기술과문화 2005년 제작).

인형은 I 위치로 슬라이딩 되듯이 내려오게 된다.

시패인형이 슬라이딩 되는 것은 시패인형의 자체 중량을 이용하는 것으로 이 내려가는 힘으로 12지 시패장치는 좌측에서 우측으로 회전(위에서 보면 시계방향)하게 된다. 한편 쇠구슬은 F를 통과 하면서 다시 E 지점에 오게 되어 있다. 먼저 있던 쇠구슬은 소판(D)이 열리면서 지나갔으므로 이제 새로운 구슬이 그 자리를 차지하게 된다. J 위치에 있던 시패인형은 평륜의 회전운동에 의해 G 부분의 지지막대 위에 서게 되고, 잠시후 G 부분이 올라가면서 시패인형을 위로 받혀 주게 된다. 시패인형이 H 부분에 머무는 시간은 오늘날의 2시간씩이다.

12지 시패작동 운동을 요약해 기술하면 쇠구슬이 낙하하는 힘으로 종을 친다. 또한 쇠구슬이 낙하하는 힘은 시보장치의 12지 시패인형을 회전시키며 이 때 시패인형은 시간알림 창을 통해 몇 시 인가를 알려주게 된다.

3.3 옥루(玉漏)

1438년 장영실은 세종을 위하여 자동물시계인 옥루(玉漏)를 제작하였다. 시간은 종과 북, 징으로 알려주었고 천체의 운행으로 춘분, 하지, 추분, 동지 등의 24기를 알려주는 자동물시계 이다(조선기술발전사편찬위원회 1997). 김상혁(2007)은 옥루의 운영 시스템은 자격루(1434년 제작), 혼의와 혼상(1435년 제작)의 운행에서 당시에 연구되거나 개발된 모든 기술적 성과들이 집대성 되었다고 보았다.

조선기술발전사편찬위원회(1997)에서 기술하고 있는 작동 메커니즘을 그림 9(좌·하)에 제시하였다. 이 그림에서 16, 26, 27, 28, 29, 30, 31은 회전판에 고정되어 돌출된 걸 턱 인데, 이 장치들이 돌아가면서 시간을 알려주는 옥녀와 같은 인형들과 동물 모형들을 동작시킨다. 그림 9의 우측은 자동인

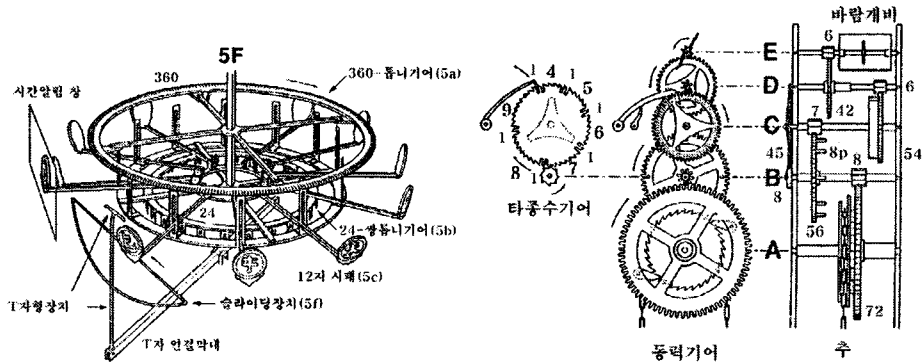


그림 11. 혼천시계 12지 시패장치(좌)와 타종장치(우)의 구조도(Needham et al. 1986).

형의 배치도로 「흙경각기」의 문헌기록을 바탕으로 옥루의 인형을 산의 정면과 평면에서 살펴보도록 그린 것이다(김상혁 2009). 문헌을 검토해 보면 산 위의 태양장치 바로 아래에 4명의 옥녀가 있고, 그 아래에 4명의 사신(四神; 청룡, 주작, 백호, 현무)이 있다. 산기슭에는 시간을 관장하는 사신(司辰) 1명, 종·북·징을 타격하는 무사(武士) 3인을 두었다. 평지로 내려오게 되면 신(神) 12명과 옥녀 12명, 그리고 남쪽에 물그릇 뒤에 서 있는 관인 1명이 있다. 그러므로 산 위에 8명, 산기슭에 4명, 평지에 25명이 되어 모두 37명의 인형이 등장한다.

3.4 송이영 혼천시계(渾天時計)

1669년(현종 10)에 제작한 송이영의 혼천시계는 세종 때 창제한 자격루, 수격식(水擊式) 혼의와 혼상의 자동 시보(時報)장치의 전통을 이어왔다. 혼천시계는 동양과 서양과학이 결합한 추동식 혼천시계로서 세계적인 과학유물 중에 하나로 평가 되고 있다. 현재까지 송이영의 혼천시계에 관한 글들이 발표된바 있었는데 Rufus(1936)가 소개함으로써 세계적인 천문시계로 널리 알려지게 되었고, 1960년대에는 미국 Smithsonian 박물관에서 특별전을 요청하기도 했었다.

국내 최초의 연구로는 전상운(1963)의 “璇璣玉衡(天文時計)에 대하여”가 있고, 그의 사진 자료를 토대로 세부적인 연구를 시도한 Needham et al.(1986)의 “The Hall of heavenly records”는 세계적인 연구 성과로 평가되고 있다. 최근 혼천시계의 작동모델(2005년 제작)이 완성되었고(그림 10), 이 용삼과 김상혁(2007), 김상혁(2007)의 연구를 통해 혼천시계 문헌연구와 역사적 고찰, 복원설계, 천체운행 메커니즘 등에 대한 연구 성과가 있었다.

그림 11은 Needham et al.(1986)이 발표한 송이영 혼천시계의 12지 시패장치(좌)와 타종장치(우)의 구조도이다. 12지 시패장치는 자격루의 시패장치와 유사하다. 혼천시계는 진자장치에 의해서 조금씩 회전시키게 되므로 자격루에 비해 부드러운 움직임을 나타낸다. 혼천시계의 타종장치는 자격루나 옥루에서 구현되었던 정점시간에 따른 타종은 생략되었다. 혼천시계는 12시에 대한 타종만 이루어지며, 타종수는 타종수 기어의 기어수에 따라 결정된다.

3.5 일본의 차명종

일본 초기의 기계시계에 대한 내용은 『일본서교사(日本西教史)』에 나온다. 전상운(1994)은 『일본서교사』에서 “규슈(九州)에 선교사들이 유럽에서 기계시계를 가지고 들어왔을 때, 그것을 본떠

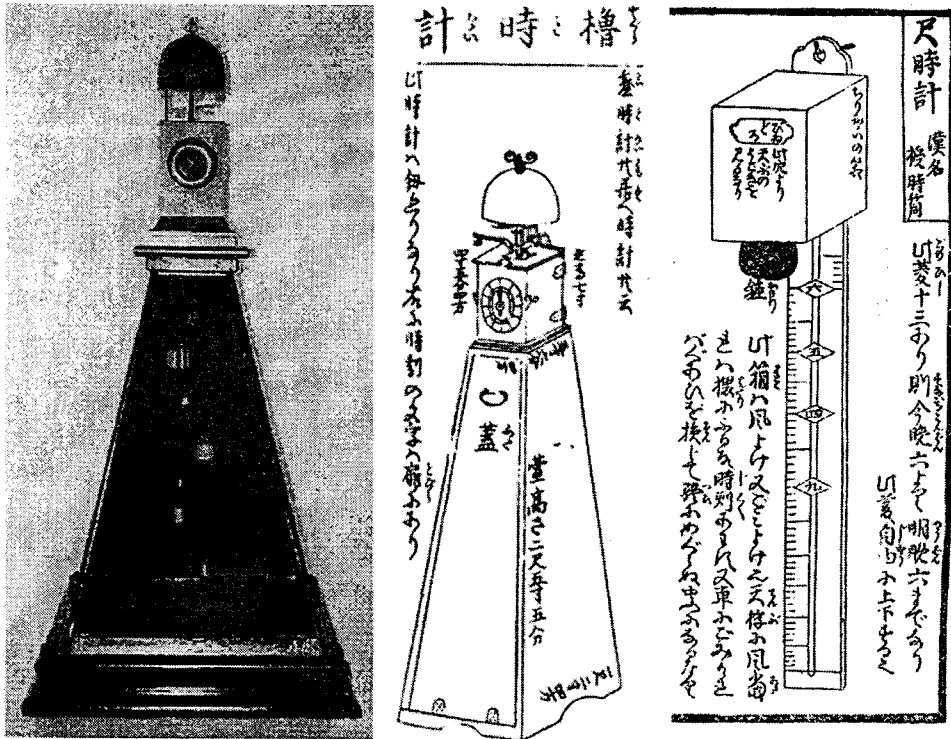


그림 12. 일본 노시계(좌)(千田靖子 2005)와 척시계(우)(細川半藏頼直 1796).

일본의 공장(工匠)들이 자명종을 만들었고, 1607년 에도(江湖)에서 장군의 명령으로 자명종의 감수인(感守人)이 된 일본인 천주교 교사는 나가사키(長崎)에서 만든 시계를 조절하는 일을 맡았다”는 내용을 소개하면서 17C 초반에 일본에서 자명종이 제작한 것으로 보았다.

일본은 서양 자명종을 받아들여 새롭게 개조하여 사용하였다(그림 12). 일본의 시각제도에 따라 시보시스템에 대한 변화를 주었는데, 시각판을 자시와 오시를 기준으로 일본에서 사용하고 있는 타종수로 개조하였다. 서양에서는 1시부터 12시까지 순차적으로 늘어나는 타종시스템이다. 반면에 일본에서는 자시(子時)에서 사시(巳時)까지 9, 8, 7, 6, 5, 4회 타종을 한다. 오시(午時)에서 해시(亥時)까지 9, 8, 7, 6, 5, 4회 타종을 한다.

1796년 일본에서 발행된 『기교도회(機巧圖彙)』는 기계시계 제작법에 대해서 쓴 책이다. 이 책에는 괄시계(卦時計), 노시계(槽時計), 척시계(尺時計)에 대해 소개하고 있다. 이 중에서 척시계는 일본에서 새롭게 제작한 시계이다. 둥근 시계판에 시계바늘이 돌아가지 않고, 1척(尺)에서 2척(尺)의 길쭉한 직사각형의 세로로 된 문자판으로 되어 있다(그림 12 우측).

4. 시보시스템과 타격장치 비교분석

시보시스템은 시간을 보여주거나 소리로 알려준다. 즉, 시각적 신호와 청각적 신호를 발생시킨다. 이러한 작동은 내부에 복잡하게 설계된 기계적 장치로 구현된다. 기계적 장치를 운행시키는 동력

은 초기에 물을 사용하였고 점차 일정한 무게를 지닌 추의 질량을 활용한 방식으로 변화해 왔다. 본문에서는 수격식 운행 장치에서 추동력에 의한 기계식 운행 장치의 발전 과정을 조명하였다. 기계장치가 일정한 속도를 내도록 제어하는 핵심적 장치인 탈진시스템에 대한 연구와 타격장치로 연결되는 신호발생장치에 대하여 분석하였다. 마지막 부분에서는 시간알림 기능과 타종시스템에 대한 비교 연구도 진행하였다.

4.1 수격식 운행 장치에서 기계식 운행 장치로 발전

중국 북송의 수운의상대와 한국의 옥루는 모두 수격식(水激式) 운행 체계이다. 수격식 운행에서 동력 방식은 물에 의한 것이다. 물을 일정한 속도로 흘러보내면 일정한 양의 물을 담을 수 있다. 이것을 수차와 연결한 그릇을 사용한다면 일정한 회전력을 발생시킬 수 있다. 또한 회전하는 수차는 일정한 간격의 신호를 발생시킬 수 있다.

수운의상대에는 물을 공급하는 수차가 2개 있다. 사람이 직접 수차를 돌려 하단의 물통에서 상단의 물통으로 물을 올려 주게 된다. 그러면 상단의 물통에서 내부에 있는 물시계로 물이 공급된다. 그런데 수운의상대 내부에 있는 물시계는 이전 시기의 물시계와 대비되는 기술적 발전이 있었다. 2단으로 구성된 물시계의 하단 누호에 물의 수위를 일정하게 유지시켜주는 over flew 기술이 적용되었다. 즉, 일정한 수위까지 물을 채운 뒤 넘쳐나는 물은 폐수로 되어 별도의 공간으로 보내지게 된다. 이러한 over flew 기술은 조선으로 전해졌다. 조선 자격루에서 물시계 마지막 단의 파수호에는 over flew 시스템을 갖추고 넘쳐나는 물은 보상으로 보낸다. 조선 초기 over flew 기술이 실현된 것은 신라나 백제의 물시계 제작기술이 한 단계 업그레이드된 기술적 진보를 의미한다.

자격루를 비롯하여 옥루 시스템은 모두 물시계의 운영으로 인해 만들어진 수력의 힘을 바탕으로 움직였다. 또한 혼의·혼상 시스템은 세종 19년 4월 15일의 기록(『세종실록』 권77:26ㄴ)에 의하면 “물을 이용하여 기계가 움직이는 공교로운 숨겨져서 보이지 아니한다.”라는 문장으로 보아 수격식 시스템이라는 것을 알 수 있다. 따라서 수운의상대와 세종대 혼의와 혼상 운행 시스템은 같은 동력으로 운행되는 시스템으로 기본적 운행 원리가 유사할 것으로 보인다(김상혁 2007).

수격식의 전통은 1657년 최유지의 수격식 혼천시계 시스템까지 이어졌다. 그런데 1669년에는 수격식 시스템과 함께 등장한 추동식 혼천시계가 등장한다. 송이영 혼천시계는 서양의 자명종 동력을 기반으로 전통적인 혼천시계 운영시스템과 결합한 형태로 운영되었다. 이후 조선에서 자동시보 기계장치는 추동식 시스템으로 3개 더 만들어 졌다. 현존하는 숭실대학교 한국기독교박물관 소장 혼천의 부품, 흥대용의 혼천시계(후종과 결합한 통천의), 강이중·강이오가 제작한 19C의 혼천시계가 그것이다.

추동식 혼천시계의 출현은 전통방식의 수력을 대신하게 되면서 각종 기어장치가 목재에서 기계식 톱니바퀴로 전환되었음을 말한다. 실제로 송이영의 혼천시계에서 대부분의 기어장치는 청동제이고 기어를 고정하는 지지 틀이나 혼천시계 상자만 목재를 사용하였다. 서양의 기계식 시계에서는 추동력 방식과 태엽 방식을 시계 동력에 사용하였다. 주로 소형의 시계장치에 태엽방식을 사용하였다. 조선후기에 들어온 자명종은 주로 소형의 추가 장착되어 운영된 추동력 방식이었다.

4.2 천형장치에서 탈진시스템으로 발전

수운의상대의 대형 수차가 회전하면서 시보장치나 혼상과 혼의를 운행시키게 된다. 그중에서 일정한 속도로 수차를 운행시키는 핵심장치가 천형장치이다(그림 13 좌측). 이 장치의 원리를 설명하

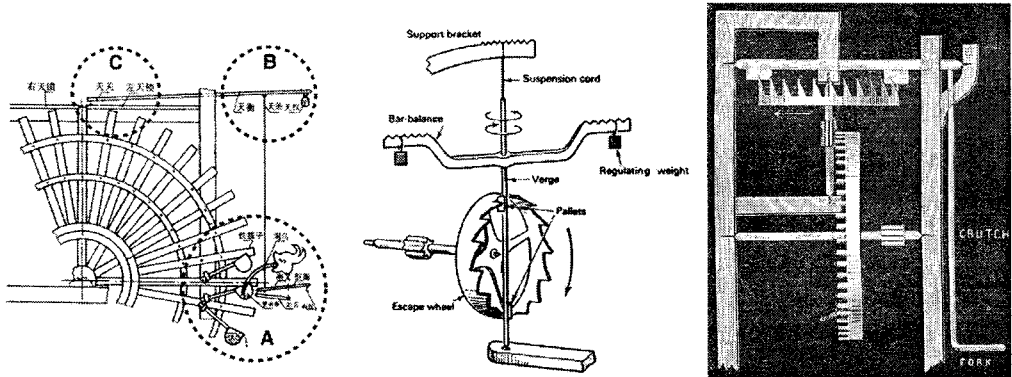


그림 13. 천형 장치 시스템(좌)(山田慶兒와 土屋榮夫 1997), 폴리오트식 탈진시스템(중간)(Barnett 1999), 진자식 탈진시스템(우)(Denison 1850).

면 다음과 같다. 물시계로부터 대형 수차의 A부분에 있는 물그릇에 일정한 속도로 물이 흘러 들어온다. 물그릇은 추 저울과 연결되어 있어 일정량의 물이 있어야 회전한다. 물그릇에 일정한 양의 물이 담기면 대형 수차는 아래로 회전한다. 아래로 향한 물그릇은 밑 쪽에 있는 천형(天衡) 장치를 밀게 된다. 천형장치에 연결된 선은 B부분의 횡목을 잡아당긴다. 이때 횡목 끝에는 대형 수차 운동을 제어하는 장치가 C부분에 있다. 결과적으로 천형장치에서 연결된 수차의 잠금장치가 풀리면서 대형 수차가 회전하게 된다. 이후 잠금장치는 다시 잠기게 되어 대형 수차를 정지하도록 한다. A부분에서 물이 다시 채워지면 앞의 과정을 반복하고 대형 수차는 일정한 속도로 회전하게 된다.

그런데 수운의상대의 천형장치는 서양의 기계시계의 탈진장치와 유사한 기능을 갖는다. 서양 자명종에는 폴리오트 장치가 있고 이것의 좌우회전을 제어하는 탈진장치가 있다(그림 13 중간). 폴리오트 장치 수직 방향으로 긴 관이 있고, 이 관에는 왕관형기어의 회전을 제어하는 횡이(橫珥)가 달려 있다. 이 횡이가 왕관형 톱니기어를 잡았다가 풀었다를 반복한다. 반복 주기는 폴리오트 양 끝에 매달린 추의 질량과 중심으로부터 떨어진 위치에 기인한다. 즉, 추의 질량이 무거울수록 주기는 느려진다. 또한 추가 중심으로부터 멀리 있을수록 반복주기는 느려진다.

1657년 호이헨스는 폴리오트 방식을 진자 방식으로 변화시켜 시계의 정밀도를 획기적으로 개선하였다(그림 13 우측). 이때 왕관형 톱니기어는 수평으로 배치되었고, 진자가 부착된 관도 수평으로 변화하게 되었다. 관에 부착한 횡이도 왕관형 톱니기어를 제어해 준다. 왕관형 톱니기어, 관, 횡이, 폴리오트 장치 또는 진자장치를 탈진시스템이라고 부른다. 17C 서양에서는 탈진시스템의 혁신적인 변화가 있었고, 이를 기점으로 시계의 정밀도는 10초 미만의 정확성을 기할 수 있었다(Whitrow 1989)

4.3 승수상·하륜과 구슬신호발생장치의 비교

조선의 자격루에는 작은 구슬과 큰 구슬이 있다. 작은 구슬은 물시계 수수통 위에 방목장치에 장착되어 있다. 주로 12시와 경점시간의 신호를 만들어주는 역할을 한다. 이후 철환방출장치에서 작은 구슬 신호는 큰 구슬로 전해져 자격루의 12지 시페장치의 회전력을 만들어 낸다. 또한 중, 북, 징을 타격하는 운동으로 전해진다. 물시계에서 구슬을 사용한 전통은 이슬람 물시계에 찾아 볼 수 있다. 13C 알자자리가 고안한 여러 물시계에서 대부분 구슬을 사용하여 시간을 알리거나 악기를 연주하도

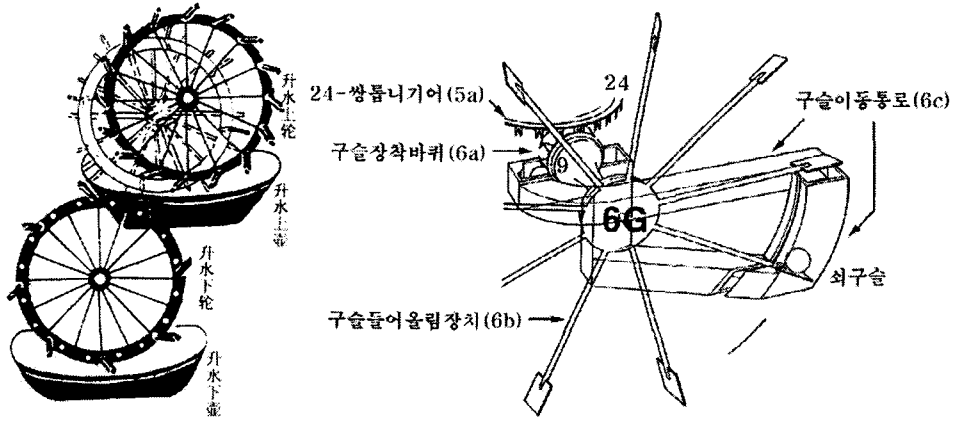


그림 14. 『신의상법요』수운의상대 승수상·하륜(좌)과 혼천시계 구슬신호발생장치(우)(Needham et al. 1986).

록 하는 시스템을 구성하고 있다(Hill 1989).

송이영의 혼천시계에도 구슬신호발생장치가 있다(그림 14 우측). 4개의 쇠구슬만으로 무한순환을 만들어 낼 수 있었다. 기존의 자격루에서 74개의 작은 쇠구슬과 큰 쇠구슬을 매일 장치하였던 번거로움을 일소에 해결 할 수 있었다. 송이영은 쇠구슬이 순환하는 시스템에서 수차가 물을 퍼 담아 올려주는 아이디어를 차용한 것으로 보인다. 구슬신호발생장치에서는 구슬이 떨어지면서 생긴 신호는 타종장치로 보냈다. 이후 구슬은 9개의 발이 달린 수차 형태의 구슬 주걱에 올려져 원래의 위치로 돌아오도록 만들어 졌다. 이러한 식으로 구슬의 손실이 없이 무한적인 사용이 가능해졌다. 승수상·하륜(수차)이 물을 담아 퍼 올려주는 것은 앞서 살펴본 수운의상대에도 나오는 주요한 기술이었다(그림 15 좌측). 여기에 이슬람의 구슬 사용 전통을 융합하여 무한순환으로 구슬신호발생장치의 개발은 송이영의 기술 개량 지점이면서 창조성이 돋보이는 제작물이라고 할 수 있다.

4.4 시각알림 창 비교

자격루와 혼천시계의 시간알림 창은 매우 비슷하다. 사각형의 모습에 각기 12지 시패 인형이 나오거나 12지 시패 장치가 나오는 유사성을 지녔다. 하지만 이 두 가지 기기에서 12지 시패의 운영은 다르다. 자격루는 매 시(時)마다 12지 시패가 보이게 된다. 오늘날의 시각시스템으로 2시간이 흐른 뒤 다음 시각 시패가 오게 된다. 따라서 2시간동안 항상 같은 시간을 보여준다. 이에 반하여 혼천시계의 12지 시패는 진자식 탈진시스템 운행 속도에 의해서 아주 조금씩 움직이게 된다. 시패는 우측에서 좌측으로 움직이며, 미세한 운동으로 마치 정지해 있는 것처럼 느낄 수 있다.

중국 수운의상대는 조선의 시간알림 기능보다 화려한 볼거리를 제공한다. 김상혁(2007)이 정리한 수운의상대의 각 층별 모습은 다음과 같다.

가장 아래층에는 시보장치가 있는데, 시보장치는 모두 5개의 층으로 구성되어 있다. 가장 위인 1층에는 3가지 인형 존재한다. 서남쪽의 인형은 12시(時)의 중간시간에 징을 타격한다. 중간 인형은 매각마다 북을 타격해 하루 100각(刻)을 타격한다. 동남쪽의 인형은 매시마다 종을 타격한다. 2층에 있는 인형은 매시의 시작과 중간에 시패를 들고 나와 시간을 알려준다. 3층의 인형은 하루 시간인 100각 중에서 매각마다 시간을 알려준다. 4층에 있는 인형은 해가 진후 밤부터 해뜨기 전까지 징을

표 2. 수운의상대 시보시스템 작동내용과 정보.

구분	인형	작동내용	음향정보	시각정보	비고
1층 (위)	종 인형	12시(時) 매시 정각에 종을 타격	종소리		동남 방향
	북 인형	100각(刻) 매각에 북을 타격	북소리	인형동작	중간 방향
	징 인형	12시(時) 매시 중간에 징을 타격	징소리		서남 방향
2층	초정	매시 시작(初)과 중간(正)에	-	初正 시패	1층 종과 징
	시패 인형	시패 인형 출현			인형과 연계
3층	백각	하루 100각(刻)동안 매각에	-	每刻 시패	1층 북 인형과
	시패 인형	시패를 든 인형 출현			연계
4층	밤시간	밤시간동안 38회 징을 타격	징소리	인형동작	
	징 인형				
5층 (아래)	밤시간	밤시간동안 38회 시패 인형 출현	-	38개 시패	4층 징 인형과
	시패 인형				연계

표 3. 자격루 시보시스템 작동내용과 정보.

구분	인형	작동내용	음향정보	시각정보	비고
시(時)	종 인형	12시(時) 매시 정각에 종을 타격	종소리	인형동작	하루 12번 타종
경(更)	북 인형	밤시간 동안 매경 마다 북을 타격	북소리	인형동작	1,2,3,4,5회 순차적 타북
점(點)	징 인형	밤시간 동안 매점 마다 징을 타격	징소리	인형동작	1,2,3,4,5회 순차적 타징
시패	12지	시간 알림 창에서 현 2시간동안	-	12지 시패	
	시패 인형	시패 인형 표시			

타격한다. 시보장치의 가장 아래인 5층은 38개의 인형이 해가 진 밤 시간부터 해 뜨는 시간까지 알려 준다.

수운의상대에는 시간알림 창과 타격장치가 같은 공간에 배치되어 있다. 자격루의 경우 시보장치 상자 위쪽에 종치는 인형, 북치는 인형, 징치는 인형이 있었던 것과는 다르다. 중국의 타격 인형은 시패 인형과 잘 어울리는 작은 인형의 모습으로 나타낸 반면, 조선의 자격루는 비록 규모는 작지만 사람의 형태로 종이나 북을 치는 모습으로 나타내고자 했다. 인형이지만 사람처럼 보이고자 했기 때문에 특별히 시보장치 상자 위에 올려놓고 타격했던 것임을 유추해 볼 수 있다.

조선의 옥루는 가산(假山)으로 꾸며놓은 산 전체가 시보장치이면서 시간알림 창 기능을 하고 있다. 옥루는 태양 아래의 산위에서 산 밑 평지까지 옥녀(玉女), 4신(四神), 사신(司辰)과 무사(武士), 12신(神)과 옥녀(玉女), 관인(官人)의 인형들이 있다. 인형들은 각각의 맡은 역할에 따라 요령을 흔들거나, 방향을 회전하거나, 종·북·징을 타격하거나, 시패장치로 시간을 알려준다. 이러한 옥루의 시보시스템(시간알림 기능)은 혼천시계의 시보시스템보다 복잡한 과정들로 이루어 졌다. 옥루는 12시간을 종을 울려 알려주었고, 경점시간은 북과 징소리로 알려주었다.

4.5 타격장치와 작동정보 비교

시보시스템에는 타격장치가 포함된다. 표 2는 수운의상대 시보시스템 작동내용과 정보이다. 수운의상대 시보 장치는 5개 층으로 구성되며 1층과 4층에 타격장치가 있다. 1층에는 3가지 타격장치와 관계된 인형이 존재한다. 서남쪽의 인형은 12시(時)의 중간시간에 징을 타격한다. 중간 인형이 하루 100각(刻) 중에서 매각마다 북을 타격한다. 동남쪽의 인형은 매시마다 종을 타격한다. 4층에 있는

표 4. 옥루 시보시스템 작동내용과 정보.

구분	인형	작동내용	음향정보	시각정보
산위	옥녀(玉女)	해당 시간이 되면 요령을 혼듬	요령소리	-
	사신(四神)	4신은 자기의 방위에 서서 산을 바라 보다가 시간에 따라 회전	-	사신회전
산기슭	사신(司辰)	무사 3인은 갑옷과 투구를 갖추.	-	-
	무사(武士)	시간마다 사신이 종을 치는 사람을 돌아다보면 종을 치는 사람도 돌아다보고 종을 칩. 경점시간에도 동일한 동작을 함.	종·북·징소리	-
산 밑 평지	12신(神)	12신이 각각 제자리에 엎드려 있다가 해당시간에 일어남	-	-
	옥녀(玉女)	해당시간이 되면 평지에 구멍이 열려 12지 시패를 들고 나옴	-	12지 시패
	관인(官人)	금병으로 물을 따름	-	-

표 5. 혼천시계 시보시스템 작동내용과 정보.

구분	인형	작동내용	음향정보	시각정보	비고
시(時)와 종(鐘)	타종장치	12시(時) 매시 정각에 종을 타격 자·오-9회, 축·미-8회, 인·신-7회, 묘·유-6회, 진·술-5회, 사·해-4회	종소리	-	매시정각 1회 타종
시패	12지 시패장치	시간알림 창에서 2시간 동안 시패 장치가 아주 조금씩 회전(우→좌). 2시간 후에 다음 시패가 출현하고 이전 시간 시패는 사라짐	-	12지시패	2시간 마다 시패장치 순환

인형은 해가 진후 밤부터 해뜨기 전까지 징을 타격한다.

이러한 타격방식은 조선의 자격루에도 적용된다(표 3 참고). 하루 12시마다 1회의 종을 타종하고, 경점시간은 북과 징을 타격하였다. 하지만 수운의상대처럼 매시 중간에 타격하거나 매각에 타격하는 제도는 없었다. 수운의상대는 징과 종을 사용해 하루 동안 24번 신호를 발생시켰다. 징이나 종의 횟수는 1차례씩만 울렸다. 하루 동안 24회 신호를 알리는 것은 조선 현종 때 제작한 송이영 혼천시계에서 적용되고 있다. 서양에서는 1330년경 기계시계가 등장하면서 하루의 길이를 24시간으로 균등하게 분할하여 사용했다. 1370년에 프랑스 왕은 파리의 시계 종소리를 모두 24시간으로 통일시키라는 명을 내렸다(남경태 2002).

한편 옥루의 타격 방식은 아주 세밀한 움직임임을 보여준다(표 4). 옥루는 산 높이에 따라 산위, 산기슭, 산 밑으로 구분하고 있다. 이 중에서 산기슭에는 높은 대가 있고, 그 위에 시간을 맡은 사신(司辰, 시간을 맡은 인형) 한 사람이 붉은 옷을 갖추어 입고 산을 등지고 서 있다. 무사 3인은 모두 갑옷과 투구를 갖추고 있다. 시간마다 사신이 종을 치는 사람(동쪽 무사)을 돌아다보면 종을 치는 사람도 돌아다보고 종을 친다. 경마다 북을 치는 사람이 북을 치고 점마다 징을 치는 사람이 징을 친다. 서로 돌아다보고 타격하는 것은 종치는 사람과 같은데, 북과 징을 치는 수는 모두 각각의 관례에 따른다. 이는 자격루의 타격 횟수와 유사할 것으로 추정해 볼 수 있다.

산 밑 평지에는 12신(十二神)이 각각 제자리에 엎드려 있고, 12신 뒤에는 각각 옥녀가 나오는 구

멍이 있다. 자시가 되면 쥐의 인형(신) 뒤 구멍이 저절로 열리고 옥녀가 시패를 들고 나오면 쥐의 신은 그 앞에서 일어난다. 자시가 지나면 옥녀가 다시 들어가고 쥐의 신은 다시 없드린다. 축시가 되면 소의 인형(신) 뒤 구멍이 저절로 열리고 옥녀가 시패를 들고 나오면 소의 신은 그 앞에서 일어난다. 이렇게 12시(時)는 모두 동일한 메커니즘으로 동작한다.

혼천시계의 타종장치는 시보시스템 뒤편에 있는 종을 타격하여 소리를 낸다. 타종장치의 동력전달은 구슬신호로부터 발생하는 신호가 타종장치로 전달되면, 제동(또는 정지)장치를 해제하여 타종장치의 기계장치를 움직이게 되면서 시작된다. 타종장치에 미세한 충격을 줌으로써 타종장치에 부착된 혼천시계 추를 하강시킨다.

타종신호가 타종장치로 보내지면 타종수에 따른 타종이 이루어지게 된다(표 5). 이때 타종 횟수는 타종수기어의 톱니수에 따라 결정된다. 예를 들면 자초 초각에 해당하는 9회 타종신호를 받게 되면 타종기어 수에 따라 9회 종을 타격한다. 그리고 타종수기어의 깊은 톱니 홈에 타종제동장치가 물려 타종이 멈춰지게 된다. 이후 1시간이 흘러 자정 초각 신호를 받게 되면 1회 타종을 한 후 또 다시 깊은 톱니 홈에 의해 타종을 멈추게 된다. 이렇게 진행하면 자초 초각부터 사정 초각까지 9, 1, 8, 1, 7, 1, 6, 1, 5, 1, 4, 1의 타종수(=타종기어 톱니수)만큼 타종하게 된다. 같은 방법으로 오초 초각부터 해정 초각까지 타종하게 된다.

5. 결론

조선, 중국, 일본의 시각법은 모두 12시 100각법에 따라 사용했다. 하지만 세부적인 시각 분할에서 조선은 1각(刻)을 6분(分)하여 사용했고 1654년 이후 96각법에는 1각이 15분으로 바뀌었다. 중국 원대는 6분, 명대는 36분, 청대는 15분으로 사용하였다. 일본 정향력법에서는 매시(每時)를 초·정(初正) 구분 없이 8각+1/3각으로 사용했다. 동아시아 국가들의 시각제도에서 눈금의 세부 분할은 각국의 문화적 전통에 기인한 것으로 보인다.

동아시아의 자동 시보시스템은 물로 사용하던 전통에서 추력이나 태엽으로 발전해왔다. 중국 수운의상대, 한국 자격루와 옥루, 혼의·혼상, 최유지와 이민철의 혼천시계가 그 예이다. 이후 서양에서 발전한 기계시계의 영향으로 물 대신 추동력이 사용되었다. 한국에서는 송이영의 혼천시계가 대표적이다. 동력의 변화뿐 아니라 탈진시스템의 변화도 있었다. 서양에서는 폴리오토식 탈진시스템이 진자식 탈진시스템으로 변화했다. 수력 운행에서 사용되었던 천형장치는 이러한 탈진시스템의 원천 기술이 되는 것이다.

송이영의 혼천시계에는 구슬이 자동으로 장착되는 시스템이 개발되었다. 무한순환이 가능하도록 설계된 구슬신호발생장치의 원천기술은 전통적인 수차기술을 응용한 것으로 볼 수 있다. 중국 수운의상대에는 사람이 인위적으로 승수상·하륜(수차)을 움직여 물을 떠서 올렸다. 상하로 구분된 기륜에서 상부의 기륜을 회전시키면 그 아래에 연결된 기륜이 연동되어 움직인다. 따라서 상부 기륜에서 물시계로 물을 공급하면 자동으로 하부의 물이 상부의 물그릇에 담기게 된다. 구슬이 자동으로 장착되는 것과 아래의 물이 위로 공급되는 자동 원리가 유사한 원리로 적용되었다.

시간알림 기능은 자격루와 혼천시계는 유사한 모습과 기능을 보이는데, 이는 중국의 수운의상대의 5층 규모의 시보장치를 간략하게 표현한 것이다. 자격루의 시보인형은 시보장치상자 위에 설치하여 운영하였다. 옥루는 도교적 사상을 기반으로 빈풍 사시(四時)의 형태로 산을 꾸미고 작동시켰다.

종·북·징 타종시스템과 더불어 계절에 따른 태양의 운행, 선녀와 4신(청룡, 주작, 백호, 현무)의 동작, 12방향의 옥녀와 12지 동물들의 화려한 작동모습이 구현되어 있다. 따라서 옥루는 동아시아 자동 시보와 타종시스템 발전이 최 정점에 오른 시기라고 평가 할 수 있다.

이 연구를 통해 자동 시보와 타종장치의 기술발전이 유기적 발전과정과 기술적 개량을 확인할 수 있었다. 특히 송이영 혼천시계는 서양식 과학기술과 전통적인 시보시스템을 융합시키는 천문시계 기술사에서 중요한 발전을 이루었다. 아울러 당시 시각제도에 대해 조사와 연구를 통해 새롭게 복원할 천문유물의 시보와 타종시스템에 대한 정보를 제공할 수 있게 되었다.

참고문헌

- 구만옥 2005, 한국사상사학, 25, 173
 김상혁 2007, 박사학위논문, 중앙대학교
 김상혁 2009, 충북사학, 22, 25
 남경태 2002, 시간의 발견 (서울: 휴머니스트)
 남문현 1998, 한국사연구, 101, 75
 남문현 2002, 장영실과 자격루 (서울: 서울대학교 출판부)
 사이토 쿠니하루 1995, 日本.中國.朝鮮-古代の時刻制度 (東京: 雄山閣出版), p.283
 이용삼, 김상혁 2007, 한국우주과학회지, 24, 167
 전상운 1963, 古文化, 2, 2
 전상운 1994, 시간과 시계 그리고 역사 (서울: 월간시계사)
 조선기술발전사편찬위원회 1997, 조선기술발전사, 권4 (평양: 과학백과사전종합출판사)
 한영호, 남문현, 이수웅 2001, 한국사연구, 113, 69
 橋本万平 2002, 日本の時刻制度 (동경: 각선서)
 山田慶兒, 土屋榮夫 1997, 復元水運儀象臺: 十一世紀中國の天文觀測時計塔 (東京: 新曜社)
 細川半藏頼直 1796, 土州 (東都書林)
 千田靖子 2005, 圖說 からくり人形の世界 (東京: 法政大學出版局)
 諏訪湖時の科學館 儀象臺 1998, 儀象臺展示解説 (長野縣: 諏訪湖時の科學館)
 Barnett, J. E. 1999, Time's Pendulum: From Sundials to Atomic Clocks, the Fascinating History of Timekeeping and How Our Discoveries Changed the World (New York: Plenum Press)
 Denison, E. B. 1850, A Rudimentary Treatise on Clock & Watch Making: With a chapter on church clocks (London)
 Hill, D. R. 1989, The book of knowledge of ingenious mechanical devices (Islamabad: Pakistan Hijra Council)
 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
 Whitrow, G. J. 1989, Time in history: View of time from prehistory to the present day (Oxford: Oxford University Press)