PUBLICATIONS OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY
35: 043 ~ 057, 2020 December
ⓒ 2020. The Korean Astronomical Society. All Rights Reserved.
pISSN 1225-1534
eISSN 2287-6936
https://doi.org/10.5303/PKAS.2020.35.3.043

홍대용이 제작한 천문시계 통천의의 기계동력시스템
MECHANICAL POWER SYSTEM OF TONGCHEON-UI, AN ASTRONOMICAL CLOCK MADE BY *HONG, DAE-YONG*

민병희[1,4†], 윤용현[2], 김상혁[1], 기호철[3]
[1]한국천문연구원, [2]국립중앙과학관, [3]고대문화재연구소, [4]과학기술연합대학원대학교

BYEONG-HEE MIHN[1,4†], YONG-HYUN YUN[2], SANG HYUK KIM[1], AND HO CHUL KI[3]

[1]Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea
[2]National Science Museum, Daejeon 34143, Korea
[3]Ancient Institute of Heritage, Gwangju 62050, Korea
[4]Korea University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea
E-mail: bhmin@kasi.re.kr
(Received October 07, 2020; Revised November 28, 2020; Accepted November 30, 2020)

ABSTRACT

Hong, Dae-Yong manufactured the Tongcheon-ui (Pan-celestial Armillary Sphere) with cooperating clock researcher Na, Kyeong-Jeok, and its craftsman An, Cheo-In, in Naju of Jeolla Province in 1760 ~ 1762. Tongcheon-ui is a kind of astronomical clock with an armillary sphere which is rotated by the force generated by a lantern clock's weight. In our study, we examine the lantern clock model of Tongcheon-ui through its description of the articles written by Hong himself. As his description, however, did not explain the detail of the mechanical process of the lantern clock, we investigate the remains of lantern clocks in the possession of Korea University Museum and Seoul National University Museum. Comparing with the clocks of these museums, we designed the lantern clock model of Tongcheon-ui which measures 115 mm (L) × 115 mm (W) × 307 mm (H). This model has used the structure of the striking train imitated from the Korea University Museum artifact and is also regulated by a foliot escapement which is connected to a going train for timekeeping. The orientation of the rotation of the going train and the striking train of our model makes a difference with the remains of both university museums. That is, on the rotation axis of the first gear set of Tongcheon-ui's lantern clock, the going and the striking trains take on a counterclockwise and clockwise direction, respectively. The weight of 6.4 kg makes a force driving these two trains to stick to the pulley on the twine pulling across two spike gears corresponding to the going train and the striking train. This weight below the pulley may travel down about 560 mm per day. We conclude that the mechanical system of Tongcheon-ui's lantern clock is slightly different from the Japanese style.

Key words: history and philosophy of astronomy, instrumentation: miscellaneous

1. 서론

홍대용(洪大容, 1731 ~ 1783)은 그의 문집 『담헌서(湛軒書)』에 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」를 남겼다.[1] 「농수각의기지」에는 통천의(統天儀), 혼상의(渾象儀), 측관의(測管儀), 구고의(勾股儀), 규의명(圭儀銘) 등 그가 제작한 다양한 천문관측기기를 기록하고 있다. 한편 홍대용은 김석주(金錫胄, 1634 ~ 1684)처럼 지전설을 주창하였는데, 이러한 그의 과학철학적 관점이 조명받기도 하였다(Minn, 1975; Park, 1981; Park, 1995). 본 연구는 「농수각의기지」에 있는 통천의의 동력발생과 시간제어에 관한 부분을 논의한다.

† 교신저자

1 홍대용은 생전에 15권으로 편집한 『담헌서(湛軒書)』 수고본(手稿本)을 문집으로 발간하지 못하였다. 그의 5대손 홍영선(洪榮善)이 정인보(鄭寅普, 1893 ~ 1950), 홍명희(洪命憙, 1888 ~ 1968) 등과 함께, 수록 내용의 변동 없이 내집(內集) 4권, 외집(外集) 10권으로 총 14권을 7책으로 합편하고 교정하여, 1939년에 신조선사(新朝鮮社)에서 연활자(鉛活字)로 간행하였다. 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」는 『담헌서』 외집 6권에 실려 있는데 1939년 발간할 때에 벽초(碧初) 홍명희가 이 부분을 교정하였다.

조선 초기에 천문학의 기틀을 마련하는 노력이 있었다. 태조 대에는 석각천문도를 제작하였고(Lee, 1986), 무엇보다도 세종 대에는 천문역법을 개발하는 과정에서(Hahn & Lee, 2011) 다양한 천문관측기기가 제작되었다(Nam, 2008; Mihn et al., 2011; Kim et al., 2011a). 1405년(태종 6) 한양 천도 이후에도 고려의 금루(물시계)를 사용하다가, 세종의 간의대 개발사업 중에 표준시각을 시보하는 보루각루를 창제하였다(Nam, 1998; Hahn & Nam, 2008). 아울러 수력에 기초한 기계시계의 개발 연구를 진행하여 혼의-혼상각, 흠경각루 등을 새롭게 창제하였다(Kim et al., 2011b; Kim et al. 2017). 청(淸)이 건국된 이후에는 시헌력의 도입과 아울러 서양식의 기계시계가 조선에 소개되면서 왕실을 중심으로 새로운 형태의 천문시계를 제작하기 시작하였다(Kim, 2012). 그 중 혼의와 결합된 자명종(自鳴鐘)이 1669년(현종 10) 송이영(宋以穎, 1619 ~ 1682)[2]에 의해 처음 창제되었고, 후에 서운관원(書雲觀員) 이진(李縝, ? ~ ?) 등이 추동식 자명종을 개량하였다(Kim, 2012). 물론 1669년에 이민철(李敏哲, 1631 ~1715)에 의해 '혼천의(渾天儀)'이라고 불린 수격식 혼천시계가 함께 개발되어 편전(便殿)인 창덕궁 희정당(熙政堂) 옆인 제정각(齊政閣)에 설치되었다(Hahn et al., 2001). 그 후에 영조가 오랜기간 경희궁에 거처하자 경희궁 내에 규정각(揆政閣)을 지어 제정각(齊政閣)의 혼천의 등의 천문기기를 옮겨와 설치하였다.

18세기 중반에는 홍대용(洪大容)이 나경적(羅景績)을 만나서 통천의(統天儀)와 혼상의(渾象儀)를 제작하였다(Hahn, 2003). 최근에는 나경적에 관한 심화된 연구를 통해 그의 과학기술이 홍대용에게 많은 영향을 주었다는 것이 밝혀졌다(An, 2017; Mihn et al. 2017).

본 연구는 홍대용의 통천의에서 동력을 발생하고 제어하는 부분에 대해서 기술하고자 한다. 2장에서는 통천의와 관련한 문헌을 분석하고, 3장에서는 현존하는 자명종 유물에 대해 서술한다. 4장에서는 통천의의 동갑(자명종)에 대한 내부 구조를 개념화하고 설계한 모델을 제시한다. 5장에서는 통천의의 역사적 의의를 논의하며, 6장에서 본 연구의 결론을 맺는다.

2. 문헌

『담헌서(湛軒書)』「농수각의기지(籠水閣儀器志)」[3]에는 <통천의(統天儀)>와 <혼상의(渾象儀)> 등 홍대용(洪大容, 1731 ~ 1783)이 제작하여 농수각(籠水閣)[4]에 안치한 천문관측기기에 대한 내용이 소개되어 있다. 『담헌서』「항전척독(杭傳尺牘)」<건정동필담(乾淨衕筆談)>[5]에 따르면, 이들 천문관측기기는 홍대용이 30대 초반인 1760 ~ 1762년 사이에 나경적(羅景績, 1690 ~ 1762)과 함께 설계하고, 안처인(安處仁, 1710 ~ 1787)이 제작하였다(Han, 2003; An, 2017). 당시 홍대용의 부친 홍륵(洪櫟, 1708 ~ 1767)이 나주목사(정3품)로 부임하여 근무하던 시기였다.[6] 황윤석(黃胤錫, 1729 ~ 1791)은 『이재난고(頤齋亂藁)』에서, 당시 홍대용이 몸소 나경적을 찾아뵙고 나주관아로 초빙해서 통천의와 혼상의를 제작하였다고 한다.[7] 『이재난고(頤齋亂藁)』<윤종기서(輪鐘記序)>에는 나경적이 홍대용을 위해 금성관(나주관아)에서 통천의를 제작했는데, 당시 공역비용으로 40,000 ~ 50,000 푼[文](400 ~ 500 냥[兩])을 사용했다고 한다(An, 2017).[8] 권제응(權濟應, 1724 ~ 1792)의 『취정유고(翠亭遺稿)』에는 나경적이 금성관에서 기형(璣衡, 곧 통천의)을 만든 후, 나경적과 서로 주고 받은 시(詩)의 설명에서, 나경적이 동복(同福) 고향집에 연못을 파고 연못 가운데에 섬을 만들어 그 위에 정자를 짓고 기형을 설치하였다고 한다.[9] <건정동필담>에 따르면, 홍대용이 동복에 있던 통천의를 자신의 고향집에 가져왔는데, 나경적의 집과 똑같이 네모진 연못에 섬을 만들고 농수각을 지어 천문기기를 안치하였다(An, 2017).[10] 본 논문에서 통천의가 안치된 장소에 따라 종종 '나경적 통천의' 또는 '홍대용 통천의'라고 기술한다.

2.1 홍대용의 『담헌서』

통천의는 혼천의(渾天儀, armilary sphere)와 동갑(銅匣, brass case), 목갑(木匣, wooden box), 대탁(大卓, work-table)으로 구성된 기기이다. 동갑은 목갑 위에 올려져 있으며, 혼천의와 목갑은 큰 탁자 위에 서로 나란히 설

---

2 송이영의 생몰년에 대해서는 Kim et al.(2018)을 따랐다.

3 『담헌서(湛軒書)』 외집(外集) 6권, 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」 <통천의(統天儀)> 21a-22b.

4 현재 홍대용의 생가(31252, 충청남도 천안시 동남구 수신면 장산서길 95-10) 터가 보존되어 있다.

5 『담헌서(湛軒書)』 외집 3권, 「항전척독(杭傳尺牘)」 <건정동필담(乾淨衕筆談)> 12a-15a.

6 『경국대전(經國大典)』에 따르면, 지방관인 목사는 900일(2.5년)을 근무한다(Yun, 2005).

7 『이재난고(頤齋亂藁)』22권, 병신년(1976) 8월 5일 갑진(甲辰), ... 德保聞, 同福羅景績<本名景壎>及其門徒安處仁, 略究渾儀製造·運用之理, 躬往邀, 至來衙, 遂得鑄成.

8 『이재난고(頤齋亂藁)』19권, 갑오년(1774) 3월 27일 <윤종기서(輪鐘記序)>, ... 嘗與羅老景績, 偕製輪鐘, 又偕爲籠水閣主人洪大容德保, 製大璣衡于錦城館, 功費四五萬文.

9 『취정유고(翠亭遺稿)』<次羅老見寄韻>, ... <羅老 曾手造自鳴鐘鐘·璿璣玉衡 常置座右 又鑿沓爲池 池中爲島 島上起小亭 詩中有力綿中撤之語 故兩參及之>.

10 『담헌서(湛軒書)』 외집 3권, 「항전척독(杭傳尺牘)」 <건정동필담(乾淨衕筆談)> 14-a, 渾儀旣成, 輸置之湖庄, 堂室隘陋, 且未可褻而汚之. 乃於齋舍之南, 新鑿方沼, 引水灌之, 中築圜島, 上建小閣, 幷兩儀及新得西洋候鐘而藏之.

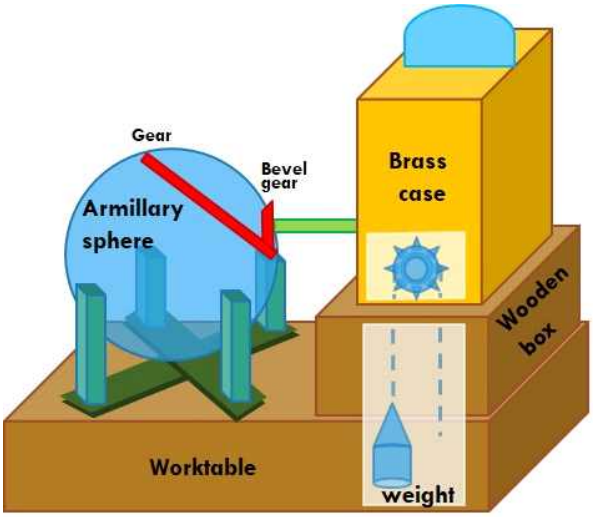


Figure 1. Conceptual diagram of Tongcheon-Ui (統天儀, Pan-celestial Armillary Sphere). The configuration consists of an armillary sphere, a brass case, a wood box and a worktable.

치되어 있다(Fig. 1 참조). 그 중에서 본 연구는 동갑에 관한 부분에 집중하고자 한다.

「농수각의기지」<통천의>에 따르면, 동갑은 후종(後鍾)의 방식을 따른다고 하면서, 그 안에 4개의 아륜(牙輪)이 있다고 하여 4층의 윤열(gear train)을 암시하고 있다. 또한 가장 아래에 있는 대륜에는 10근(斤)의 추를 매달아 끌고 있다고 묘사하고 있다.[11] 조선시대 1근은 약 640 g에 해당하므로(Lee, 2019), 10근은 약 6.4 kg에 해당한다. 목갑 위에 동갑을 놓은 것은 매달아 놓은 추가 상하로 움직일 수 있는 공간을 확보하기 위한 것이다. 대륜 위에 있는 톱니바퀴는 톱니가 60개인데, 그 중심축이 동갑 밖으로 길게 돌출하여 혼천의 자오규[子午之規]에 가설(架設)되어 있고 그 끝에 15-톱니의 소륜이 혼천의의 북극환을 돌린다고 한다.[12] 또한 이 60-톱니 톱니바퀴가 4각에 1회전 하고, 소륜의 톱니만큼 북극환이 회전하는데, 하루에 소륜이 24회 회전한다고 설명하고 있다.[13] 동갑의 남쪽에는 두 개의 동그라미가 있는데, 4각(刻) 60분으로 나뉘어 있으며, 동갑 위에 작은 종을 달고 동갑 속에 '기괄(機括, 기계장치)'을 장착하여 각(刻)에 따라 운다고 한다.[14] 즉 동갑에는 시각판이 존재하며, 일정한 시간마다 종을 친다.

지금까지의 설명에서 주목할 점은 3가지이다. 하나는 동갑이 후종의 방식대로 제작되었다는 것이고, 다음으로 4층 윤열의 2째 층 윤열의 축이 혼천의와 연결되어 있다는 것이며, 마지막으로 동갑 위에는 종이 있고 매각에 종을 울리기 위한 '기괄'이 그 내부에 있다는 것이다. 다시 말해서 동갑에는 시간을 일정하게 조절하여 지속하는 영역과 타종을 제어하는 영역이 있고, 이것은 후종의 제작법[制]이면서 '기괄'이라고 표현하고 있다. 이러한 설명으로부터 이 동갑이 자명종(lantern clock)이라고 추정할 수 있다.

2.2. 황윤석의 『이재난고』

황윤석의 『이재난고(頤齋亂藁)』 병인년(1746, 영조22)[15] <자명종(自鳴鐘)>에는 이언복(李彥復, 1699 ~ ?)이 새로 구입한 60냥짜리 자명종에 대해서 서술하고 있다.[16] 황윤석이 묘사한 '이언복 자명종'은 통천의 동갑의 설계와 제작에 어느 정도 영향을 주었을 것으로 보인다. 이언복의 자명종은 17세기 일본의 에도시대에 유행했던 자명종의 모델로 보인다(Lee, 2010). 이것이 18세기 전반기에 조선의 유생층에서도 유통되었던 것으로 보이는데, 서울에서 활동하던 진주 출신 최천약(崔天若, 1684 ~ 1755), 기장 출신 홍수해(? ~ ?)와 동복현(同福縣)의 나경적만 자명종을 제작했다고 한다(An, 2017; Lee, 2018).[17] 김상용(金尙容, 1561 ~ 1637)의 현손인 김시찬(金時粲, 1700 ~ 1767)이 1759 ~ 1764년에 흑산도에서 유배 생활을 할 때, 나경적이 김시찬에게 자명종을 만들어 주기도 했다(An, 2017).[18]

---

11 『담헌서(湛軒書)』 외집 6권, 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」22a, 外層之北, 設木匣, 高出地平之上。匣上安銅匣, 內藏四牙輪, 如候鍾之制. 最下大輪, 懸鍾而引之, 重可十斤. … 別爲大卓, 十字之跗、機輪之匣, 幷安置其上.

12 『담헌서(湛軒書)』 외집 6권, 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」22a, 次上之輪, 爲六十牙, 中軸長出匣外, 架子午之規. 末置小輪, 爲牙十五, 入內層北極之環而牽轉之

13 『담헌서(湛軒書)』 외집 6권, 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」22a, 盖六十之輪, 四刻而一周, 則十五小輪, 亦得一周, 北極之環, 從以左旋而移十五牙。一日十二時而六十之輪二十四周, 則十五小輪, 亦得二十四周, 而北極之環, 正移三百六十牙, ...

14 『담헌서(湛軒書)』 외집 6권, 「농수각의기지(籠水閣儀器志)」22a, 銅匣之南, 爲兩圈.分爲四刻六十分, 以考分刻.上懸小鍾, 內藏機括. 隨刻自鳴.

15 『이재난고(頤齋亂藁)』 권1은 비교적 정서한 글씨체를 가지고 있는데, 이는 황윤석(黃胤錫, 1729 ~ 1791)이 그의 인생 후반기에 자신의 일기(연구노트)를 정리하던 시기에 작성된 것으로 알려져 있다. 정확한 시기를 확정할 수 없지만, 『이수신편(理藪新編)(1774)』을 집필하던 전후부터 몰년(1791)까지의 기간일 것으로 추정된다. 다만 <자명종(自鳴鐘)> 이 병인년(1746)의 기사 항목에 있고 (그 해) 가을에 옥천(玉川, 순창)에서 초산(楚山, 정읍)으로 돌아올 때(今秋歸自玉川, 歷訪請見)에 이 자명종을 살펴본 것으로 기술하고 있다.

16 『이재난고(頤齋亂藁)』 권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 余曾聞楚山李上舍彥復新購自鳴鐘, 其直六十兩, 其制精巧

17 『이재난고(頤齋亂藁)』 권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 蓋是鐘始出西洋, 或云歷倭國傳至我國.其能倣製者, 京城則崔天若、洪壽海, 湖南則同福縣人羅景勳而已.

18 『이재난고(頤齋亂藁)』 권16, 경인년(1770) 10월 24일 (병신), 居安丈座上 得觀自鳴鍾 鋼鐵造成 乃同福羅景壎甫 所鑄而藏弆者也.

2.1절에서 홍대용이 간략히 표현한 후종의 제도를 이해하기 위해서는 황윤석이 묘사한 이언복 자명종(lantern clock)을 살펴볼 필요가 있다. 『이재난고』에 따르면, 이 자명종은 위로부터 아래로, 종(鐘), 형(衡), 시각판과 철갑(鐵匣), 무게추의 순서로 그 구조가 설명되어 있고, 마지막에 탈진장치와 타종방법에 대한 기능적 요소가 기술되어 있다.

첫째, 이 자명종은 맨 위에 종이 있고, 종을 치는 도구를 가지고 있다.[19] 『취정유고(翠亭遺稿)』에 실린 권재응의 시에는, 나경적이 만든 기형(璣衡)을 묘사하며, 이들을 경(磬, 종)과 추(椎, 망치)로 표현하였다.

둘째, 종 아래에는 저울대[衡], 즉 폴리오트(foliot)와 시각조절추가 있다.[20]

셋째, 저울대 아래에 사각 철판과 그 아래 네 개의 쇠기둥을 세우고 사면에 철판을 둘렀다.[21] 이는 홍대용이 통천의에서 설명한 동갑에 해당한다.

넷째, 철갑(鐵匣)의 한 면에는 시각판이 있고,[22] 나머지 3면은 문처럼 여닫을 수 있다.[23] 여기서 시각판은 시각을 알려주는 다이얼이 있고[24] 그 안에 달의 위상변화를 알려주는 기구가 있는 것이 특징이다.[25] 다이얼에는 소공(小杠)이 있어 분침 또는 각침(刻針, quarter hand)의 기능을 하는데, 각침은 하루에 한바퀴 돈다.[26]

다섯째, 철갑 안은 좌우 두 부분으로 나누는데, 시각판(좌) 쪽을 '선천(先天)', 나머지 한쪽을 '후천(後天)'이라고 기술했다.[27] 선천에는 왕관바퀴(crown wheel)와 폴리오트의 굴대(verge)가 있으며,[28] 후천에는 바람개비[薄鐵, wind wheel][29]와 타종수기어[30]가 있다. 이는 홍대용 통천의에서 후종과 '종 치는 기괄'에 비교되는 것이다. 다시말해서 선천은 동력발생과 탈진 부속이 있는 시간지속장치이며, 후천은 타종장치이다.

여섯째, 철갑 아래는 개방되어 있고, 3자(600 ~ 900 mm)[31] 높이의 의자 위에 올려져 있다.[32] 이는 홍대용 통천의의 목갑에 해당하는 것이다.

일곱째, 철갑의 선천과 후천 아래에는 추가 매달려 있어 추의 무게로 각각의 회전동력을 얻는다. 통상 선천과 후천의 가장 아래에 있는 첫 윤열(gear train) 대륜(大輪)에는 침이 있어 자신을 감싼 노끈을 잡고 있으며, 노끈에는 추를 매달고 있기 때문이다. 다만 이언복 자명종은 하나의 노끈을 선천과 후천의 대륜에 모두 연결하고, 노끈의 가운데 부분에 도르래를 넣고 여기에 추를 매달아 놓았다.[33]

남병철(南秉哲, 1817 ~ 1863)의 『규재유고(圭齋遺藁)』<험시의설(驗時儀說)>에는 19세기 중국을 통해 전해진 서양의 자명종에 대해 기술하고 있는데, 선천과 후천을 각각 시변(時邊)과 종변(鐘邊)으로 표현하고 있다(Nam, 2011). 시변과 종변의 윤열을 각각 시륜(時輪), 종륜(鐘輪)이라고 하고, 모두 4륜 또는 5륜으로 구성된다고 하였다.[34] 본 논문에서는 시간지속장치를 시변, 타종장치를 종변으로 구분해서 기술한다.

서조준(徐朝俊, ? ~ ?)의 『고후몽구(高厚蒙求)』(1809) 「자명종표도설(自鳴鐘表圖說)」에서는 이언복 자명종의 왕관바퀴, 폴리오트와 굴대, 바람개비, 타종수 기어, 첫 윤열 대륜를 각각 '소화파(梳火擺)', '화륜(火輪)', '풍륜(風輪)', '만시기수륜(滿時記數輪)', '정륜(釘輪)',이라고 하였다.[35] 또한 일본은 폴리오트, 바람개비, 타종수기어,

19 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 上設一小鐘, 鐘右設擊具.

20 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 下橫一衡, **衡背作鉏鋙刻**, 兩端懸小錘.

21 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 其下平布一方鐵, 若宇其四隅各立一條方鐵柱. ... 四面周布四片方鐵若壁.

22 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 其左邊側施一方鐵薄而長, 以十二時每時八刻之數, 周圓而刻之

23 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 四面周布四片方鐵若壁. 其連貼處施小鐵樞, 任意闔闢.

24 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 以十二時每時八刻之數 周圓而刻之

25 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 其外則施一圓赤鐵, 作一小竅, 以爲月輪. 周而望之, 便有弦望晦朔之分. 上·下弦月缺其半, 缺處黑, 不缺處白. 望則全白而圓, 朔晦則全黑.

26 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 以十二時每時八刻之數 周圓而刻之. 最中橫施一小杠。所以旋杠者, 內面諸環之爲也.

27 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 最中立一條薄鐵, 以中分其廣焉。左曰先天, 右曰後天.

28 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, **上面鉏鋙刻之環**, 被其傍鐵子之所軋, 徐徐環匝, 其聲錚錚.

29 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 左曰先天, 右曰後天, 各有二三箇鐵環。環背各有鉏鋙刻, 應刻·分. 其環之傍立薄鐵焉.

30 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 子·午時九鳴；丑·未時八鳴；寅·申時七鳴；卯·酉時六鳴；辰·戌時五鳴；巳·亥時四鳴, 應先天十二支之數。每時初必一鳴。所以報其八[入]界也。每時正必如其數鳴。【如子·午時初一鳴, 所以報子午之初入也；子·午時正必九鳴, 所以報的爲子·午也。】

31 3자는 주척으로 약 600 mm, 영조척으로 약 900 mm이다.

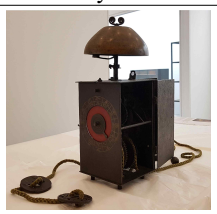
32 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 下面立四腳椅子, 高三尺許.

33 『이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 先·後天二區下面, 各橫設圓環, 環形如腰鼓. 而腰纏帘子. 帘子餘長五·六寸, 垂于椅下. 末施大錘, 可拱把.

34 『규재유고(圭齋遺藁)』 권5, <험시의설(驗時儀說)>, 儀內分左右, 以安時鐘諸輪. 時邊四輪【或設五輪】... 鐘邊四輪 【或設五輪】.

35 『고후몽구(高厚蒙求)』3集 目4,「자명종표도설(自鳴鐘表圖說)」. 이 책에서 폴리오트를 '소파(梳火擺)'라고 하였는데, 모든 왕복회전운동하는 탈진 부품을 파(擺)라고 기술하였다.

Table 1. Characteristics and specifications of lantern clocks in Korea

Institution	Korea University Museum	Seoul National University Museum
Image		
Type	Lantern clock (Japanese style before the mid-17th century)	Lantern clock (Japanese style after the mid-17th century)
Dim. (L×W×H) [mm]	102×103×169	120×120×201
Escapement	(Single) Foliot (missing)	Double foliot (One of the foliots is missing)
Crown wheel	17-teeth	15-teeth
Gear train	- Going: 4 layers - Striking : 5 layers	- Going: 4 layers - Striking : 5 layers
Dial	- Double-hour & 96-quarter - Striking-number	- Double-hour - Striking-number
Count wheel	Missing (strinking the bell once every quarter-hour)	Equipped (regulating the number of times the bell is struck)
Bell	- Bell is missing - Hammer	- Bell (H: 133 mm) - Hammer
Wind wheel	2-leaf	4-leaf
Weight	Missing	Main weight is missing

1열 대륜을 '템포[天符]', '풍절차(風切車)', '설륜(雪輪)', '구차(溝車)'라고 한다(Sawada, 1996; Lee, 2010). 험시의에서는 또 왕관바퀴, 바람개비, 종치는 망치를 각각 앙치(仰齒), 풍륜, 종퇴(鐘槌)라고 하였다(Nam, 2011).

3. 관련 유물

홍대용 통천의에 영향을 주거나 받았을 자명종 유물을 조사하였다. 국내의 자명종 유물 중에 17세기 성행하는 형식으로 제작된 두 개의 유물이 있다. 하나는 고려대학교박물관에서 소장하고 있는 것으로 1개의 폴리오트(foliot)를 탈진장치로 적용한 방식이다. 또 다른 하나는 서울대학교박물관에서 소장하고 있는 17세기 중반 일본에서 개량한 2개의 폴리오트가 있는 자명종이다(Lee, 2010). 실제 이 두 가지 유물의 제작시점을 명확히 추정할 수 없으나, 대체로 17세기부터 19세기 사이에 조선의 기술자들이 제작한 것으로 볼 수 있다. Table 1은 두 유물에 대한 외형적 특징을 나타낸 것이다.

3.1. 고려대학교박물관 자명종

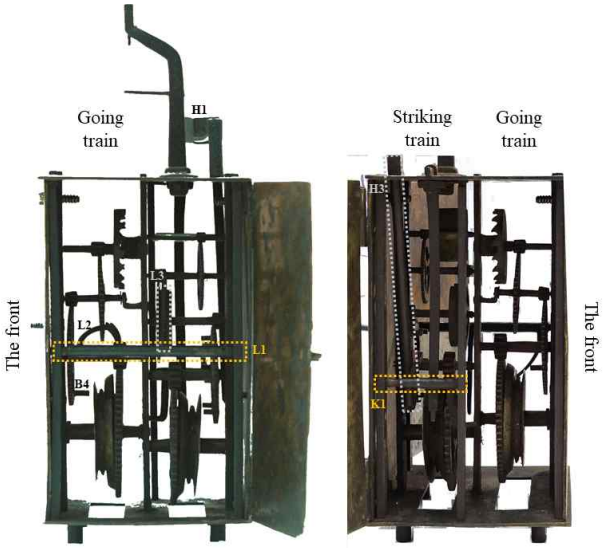
고려대학교박물관의 자명종은 기어장치를 감싸고 있는 직육면체의 형상이 남아 있는데, 그 외형의 크기는 102 × 103 × 169(mm)이다. Table 1과 같이, 종과 폴리오트는 유실되었고, 타종 및 시각판, 기어장치 부품 등은 일부 훼손된 상태이다. 직육면체 외형은 구리판으로 여닫을 수 있고, 내부의 시변과 종변의 기둥, 윤열, 축은 철로 제작되었다.

자명종 전면부에는 시각판이 있었을 것으로 보이는 영역이 원형으로 절단되어 있고, 그 안쪽에 57-톱니기어가 있다. 57-톱니기어는 송이영 혼천시계의 혼천의(Lee & Kim, 2007)나 숭실대학교한국기록교박물관의 홍대용 가문의 혼천의(Nam et al., 1995; Kim, 2012)에 설치된 톱니바퀴와 마찬가지로 달의 백도상 운행을 모사(模寫)하기 위한 것으로 보인다. 송이영 혼천시계에 장착된 혼천의의 달 운행장치는 57-톱니바퀴와 59-톱니바퀴가 12-아륜(牙輪, pinion)과 동시에 연결되어 있고, 혼천의 삼신의가 하루 1회전할 때 57-톱니바퀴를 돌리고 12-아륜을 통해 월운환과 연결된 59-톱니바퀴는 상대적으로 2-톱니가 덜 회전하게 한다. 이를 통해 백도상의 달의 모형은 약 12.2°/day씩 본천(本天)보다 덜 회전하는(다시말해서 12.2°/day씩 오른손방향운동[右旋]하는) 것으로 표현된다.

고려대학교박물관 유물에서 보이는 57-톱니바퀴는 유실된 시각판 안쪽의 59-톱니기어와 함께 달 운행과 관련된 기능을 적용했을 것으로 추정된다. 심지어 『담헌서』「주해수용」의 <천의분도(天儀分度)>에 따르면, 후종(候鍾)에 57-톱니의 일륜(日輪)과 59-톱니의 월륜(月輪)이 있다고 기술되어 있는 것으로 보아,[36] 당시 일륜과 월륜이 후종의 보편적인 구조였던 것으로 보인다. 나경적이 제작한 김시찬의 자명종도 일륜과 월륜이 있었을 가능성이 많다. 이러한 일륜과 월륜은 달의 위상 변화를 표현하는 기능을 가졌을 것으로 보인다.

이 유물에서 전면부 시각판 중심에 있어야 할 시침(또는 각침)은 유실이 되었다. 에도시대 일본식 자명종의 경우, 시침이 회전하여 고정된 시각판의 문자를 가리키거나, 시침은 고정된 채로 시각 문자판이 회전하도록 했다. 본 연구자들이 유물을 조사했을 때, 57-톱니바퀴 전후에 각각 15-톱니와 48-톱니가 붙어있는 것을 확인하였다. 아마도 시변 1열의 회전력을 활용하여 또 다른 층의 윤열을 만들어 48-톱니와 연결하여 시각판 시침을 회전시켰을 가능성이 높다(Lee, 2010).

36 『담헌서(湛軒書)』 외집 5권, 「주해수용(籌解需用)」 내편 하(內編 下) 12b, <천의분도(天儀分度)>.



(a) Right side (b) Left side

Figure 2. The gear trains of the lantern clock at Korea University Museum on the (a) right side and the (b) left side.

B4: Lifting pins
L1: Arbor carrying lifting lever and locking lever
L2: Lifting lever
L3: Locking lever
K1: Arbor carrying lifting lever
H1: Hammer
H3: Arbor carrying the hammer

고려대학교박물관 자명종의 시변은 4층의 윤열로 구성되어 있다. 가장 아래 윤열인 1층에 노끈으로 무게추가 매달려 있을 것으로 추정되며 추가 중력 방향으로 낙하하면서 동력을 발생한다. 1층 대륜[釘輪, 큰톱니바퀴] 내부에는 깔쭉톱니(rachet wheel)와 깔죽니(pawl)가 조성되어 있고, 이 대륜은 추에 의해 시계방향으로 회전한다. 본 연구에서 윤열의 회전방향은 시각판의 전면에서 회전축이 나오는 방향을 기준으로 한다. 따라서 시변의 2층 윤열의 축은 반시계방향으로 회전하고 그 축의 큰기어(주톱니바퀴) 측면에 붙어있는 오르막핀(lifting pin)(Fig. 2(a) B4)이 매각에 오르막지레(lifting lever)(Fig. 2(a) L2)를 올려주기 때문에(Lee, 2010), '타종시각전달축(arbor carrying lifting lever and locking lever)(Fig. 2(a) L1)'이 시각판에서 보았을 때 오른쪽에 있다. 시변 4층에는 17-왕관바퀴가 수직으로 놓여 있고, 수평의 폴리오트로부터 수직으로 뻗은 굴대의 두 개의 주걱손(pallet)과 맞물리면서 등속도 운행을 가능하게 해준다. 다만 이 유물은 폴리오트가 유실되었다.

종변은 5층의 윤열로 구성되어 있다. 이 부분도 시변과 마찬가지로 윤열 가장 아래인 1층에 무게추를 장착하여 동력을 만든다. 5층 윤열의 풍륜은 2개의 날개를 가지고 있어 종변의 전체적인 운행속도를 제어해 준다. 한편 타종시각전달축에 연결된 잠금지레(locking lever)(Fig. 2(a)의 L3)가 3열 큰기어 면에 있는 잠금테두리에서 이탈되면 3열 회전축은 1회 회전한다. 이때 Table 2과 같이, 2층의 회전축이 1/6회 회전하는데, 종변 2층의 큰기어의 원주에 균등배치된 6개의 오르막핀 중 하나가 이 당김지레축의 오르막지레를 한번 올렸다 내린다. 다만 고려대학교박물관 자명종은 타종수기어는 설치되어 있지 않았기 때문에 타종시각전달축을 통해 들어온 신호에 따라 매 1회만 타종한다. 한편 종변 1층 대륜 내부에도 깔쭉톱니와 깔죽니가 있는데 이들은 반시계방향으로 회전하고, 2층의 축은 시계방향으로 회전한다. 따라서 2층에 있는 오르막핀에 의해 타종 행위를 발생시키는 당김지레축(arbor carrying lifting lever)(Fig. 2(b) K1)의 오르막지레를 움직이므로, 당김지레축과 종망치[鍾槌] 회전축(Fig. 2(b) H3)은 시각판에서 보았을 때 왼쪽에 있다. Table 2에서 시변과 종변의 톱니바퀴의 1일 또는 1회 회전수를, Table 3에서 각 톱니바퀴에 대한 제원을 정리하였다.

Table 2. Revolutions per day of gear axes mounted by the lantern clock in the possession of Korea University Museum

	Going train			Striking train		
	No. of teeth		Rev. [/day]	No. of teeth		Rev.
	Gear	Pinion		Gear	Pinion	
5-layer				2	9	45
4-layer	17	9	4188.4	54	8	7½
3-layer	57	9	661.3	60	8	1
2-layer	62	12	96	48	14	1/6
1-layer	64		18	48		≒ 1/2

전반적으로 고려대학교박물관의 자명종은 17세기 중반 이전에 일본에서 성행하던 자명종의 구조를 따르고 있다. 실제 조선에서 언제부터 이러한 자명종을 만들어졌는지 확정할 수 없지만, 17 ~ 19세기에 조선의 기술자들에 의해 만들어지거나 수리되어진 것은 의심할 여지는 없어 보인다.

3.2. 서울대학교박물관 자명종

서울대학교박물관의 자명종은 거의 원형에 가까운 모습을 유지하고 있다. 기어장치를 감싸고 있는 직육면체의 외형은 120 × 120 × 201(mm)이다. 고려대학교박물관 유물과 다르게, 외곽의 재질은 철판이며 옻칠을 하여 온전하게 보존되고 있다. 다만 2개의 폴리오트 중에 하나가 유실되었고, 다른 하나는 훼손된 상태이다. 반면 종과 종망치, 시각판, 추나 이들을 매달았던 노끈 등은 함께 잘 보존되어 있다.

Table 3. Specification of the two gear trains of the lantern clock in the possession of Korea University Museum

Going train						
	No. of teeth		Diameter [mm]		Thickness [mm]	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
4-layer	9	17	8	39	5	
3-layer	9	57	11	43	5	2
2-layer	12	62	14	49	6	2
1-layer	-	64	-	66	-	
Striking train						
	No. of teeth		Diameter [mm]		Thickness [mm]	
	Pinion	Gear	Pinion	Gear	Pinion	Gear
5-layer	9	[wind] 2	-	-		1
4-layer	8	54	9	36	6	2
3-layer	8	60	9	40		8
2-layer	14	48	16	48	3	
1-layer	-	48	-	59	-	3

이 자명종은 2겹의 폴리오트를 사용였는데, 이것은 주야 부정시법을 반영한 17세기 중반 이후의 일본식 자명종에서 나타난다. 즉 낮에서 밤으로 바뀔 때 밤시간용 폴리오트를, 밤에서 낮으로 바뀔 때 낮시간용 폴리오트를 변경하여 사용하였다(Sawada, 1996; Lee, 2010). 한편 조선에서는 하루를 12등분하여 12시로 구분한 정시법으로 사용하면서 동시에 밤시간만 계절에 따라서 오경오점(五更五點)으로 25등분하는 야간 부정시법을 사용했다. 조선에서는 일본 자명종의 2겹 폴리오트에서 1개의 폴리오트를 떼어 내고, 조선의 실정에 맞게 남은 1개의 폴리오트만 사용했을 것으로 추정하고 있다(Lee, 2010).

서울대학교박물관의 자명종의 시변은 4층의 윤열로 구성되어 있다. 고려대학교 유물과 마찬가지로 아래 1층의 대륜에 무게추가 매달려 동력을 발생하며, 시계방향으로 회전한다. 2층은 반시계방향으로 회전하기 때문에 '타종시각전달축(Fig. 3(a) L1)'이 시각판에서 보았을 때 오른쪽에 있다. 맨 위의 4층에 15-왕관바퀴 2개가 수직으로 놓여 있고, 각각의 폴리오트와 연결되어 있다.

종변은 5층의 윤열로 구성되어 있다. 5층의 풍륜은 4개의 날개를 가지고 있다. 이 부분도 시변과 마찬가지로 1층에 무게추가 장착되어 있고 반시계방향으로 회전한다. 2층은 시계방향으로 돌기 때문에 고려대학교박물관의 것과 마찬가지로 당김지레축(Fig. 3(b) K1)과 종망치[鍾槌] 회전축(Fig. 3(a) H3)은 시각판에서 보았을 때 왼쪽에 있다.

(a) Right side (b) Left side

Figure 3. The gear trains of the lantern clock at Seoul National University Museum on the (a) right side and the (b) left side.

B4: Lifting pins
L1: Arbor carrying lifting lever and locking lever
K1: Arbor carrying lifting lever
H3: Arbor carrying the hammer

이 유물은 서양식의 타종수기어를 가지고 있어, 매 시각에 타종할 때 타종수(1, 2, 3,…, 9, 10, 11, 12)에 따라 종을 울린다. 다만 전면부의 시각판에 타종수를 문자로 표현하고 있다. 통상 일본의 유물에서는 11시, 1시, 3시, 5시, 7시, 9시에 각각 9, 8, 7, 6, 5, 4번 치고, 0시, 2시, 4시, 6시, 8시, 10시에는 1번만 친다(Lee, 2010). 이는 송이영의 혼천시계와 밀양출신인 유흥발이 소개한 것과 일치한다(Kim, 2012). 다만 황윤석이 묘사한 이언복 자명종에서는 오히려 홀수시각에 종을 한번 치고, 자시(0시), 축시(2시), 인시(4시), 묘시(6시), 진시(8시), 사시(10시)에 각각 9, 8, 7, 6, 5, 4번 친다고 설명하고 있다.[37] 서울대학교박물관 자명종의 시각판 타종수 글자는 기존의 것과 달리 9, 4, 5, 6, 7, 8로 적혀 있어, 서양식 타종수기어와 함께 타종 방식도 서양식의 흐름대로 변경하려 했던 것으로 보인다. 이에 대해 일본식 타종 표기의 단순한 오류로 보는 시각이 우세하다(Lee, 2010).

종망치와 관련 부품들은 완전한 형태으로 남아 있어 작동을 통해 메커니즘을 확인해 볼 수 있었다. 이 유물의 타격방식은 고려대학교박물관 자명종과 유사하다. 종변 2층의 큰기어 면에 있는 6개의 핀이 올라오면서 당김지레축의 오르막지레를 끌어올리면 동시에 당김지

37 이재난고(頤齋亂藁)』권1, 병인년(1746) <자명종(自鳴鐘)>, 【如子·午時初一鳴, 所以報子午之初入也；子·午時正必九鳴, 所以報的爲子·午也】.

레가 망치회전축의 뒷걸음지레를 회전시켜 동시에 (종) 망치도 종의 안쪽 면에서 뒤로 후퇴한다. 이 때 막대모양의 판스프링이 뒷걸음지레에 의해 복원력을 비축하게 된다. 핀으로부터 오르막지레가 이탈하면 판스프링에 의해 빠르고 강하게 당김지레와 뒷걸음지레가 제위치로 돌아오며 동시에 종망치가 종을 친다.

이 유물은 2열의 폴리오트가 장치된 17세기 중반 이후의 기술이 접목된 것으로써 고려대학교박물관 자명종보다 나중에 제작된 것으로 보인다(Lee, 2010).

4. 통천의 동갑 모델

4.1. 동력발생 및 전달

『담헌서』「주해수용」의 <천의분도(天儀分度)>에는 통천의 기륜(機輪)에 대한 자세한 설명이 있다. 아마도 통천의 동갑의 시변에 있는 4층의 윤열(going train)에 대한 설명으로 판단할 수 있는데, 아래에서 위로 각 층을 갑륜(甲輪), 을륜(乙輪), 병륜(丙輪), 정륜(丁輪)이라고 정의하였다.[38] 예를 들어 2층 윤열이 을륜인데, 거기에는 소아(小牙)와 대아(大牙)가 있다. 여기서 소아는 톱니 수가 많은 큰기어(gear)이고, 대아는 그 수가 적은 작은기어(pinion)이다. Table 4에 <천의분도(天儀分度)>에 기술된 통천의 윤열을 정리하였다.[39]

Table 4와 같이 갑륜에는 80-톱니바퀴의 소아가 있으며 하루에 2.4회 회전한다. 24시간제에서 1회전에 10시간이 걸린다. 갑륜소아는 을륜대아와 결속되어 있다. 을륜의 대아(pinion)는 8-톱니바퀴이고 갑륜소아와의 기어비가 10 : 1이므로 하루에 24회, 1시간에 1회를 돈다. 을륜소아는 60-톱니바퀴이고 병륜대아인 6-톱니바퀴와 맞물려 돌아간다. 따라서 병륜은 하루에 240회를 돈다. 병륜소아와 정륜대아는 각각 54-톱니바퀴와 6-톱니바퀴이며, 결국 정륜은 1회 회전하는 데 40 s가 소요된다.

여기서 주의할 점은 을륜의 1일 회전수인데, 이것은 고려대학교박물관 자명종의 2층 윤열이 하루에 96회, 1시간에 4회 도는 것과 근본적인 차이를 보인다. 2.1절의 설명에서, 통천의는 대륜(=갑륜) 위에 있는 톱니바퀴(을륜소아)는 톱니가 60개이며, 을륜의 축이 동갑 밖으로 길게 돌출하였다고 한다. 또한 이 혼천의 자오규에 직접 연결되어 있다고 하였다(Fig. 1 참고). 그리고 을륜축 끝에 15-톱니의 소륜이 혼천의의 북극환을 돌린다고 하는데, 을륜소아가 매시에 1회전하여 소륜이 하루에

Table 4. The going train of the lantern clock which is a part of the Tongcheon-ui (Pan-celestial Armillary Sphere).

Going train						
	No. of teeth		Rev. [/day]	Time [/rev.]	Orient.	Ratio betw. gears
	Gear	Pinion				
1-layer	80		2.4	10 h	CCW	-
2-layer	60	8	24	1 h	CW	10
3-layer	54	6	240	6 min	CCW	10
4-layer	15†	6	2160	40 s	CW	9

† In the original text, 50 tooth is a typo.
* The shade content is not described in the original text.
CCW: Counter-clockwise, CW: Clockwise

24회 회전한다고 하였다. 이러한 설명은 Table 4에 제시한 것처럼 을륜의 1일 회전수와 잘 일치하고 있다. 더욱이 <천의분도>에서는 소륜의 톱니가 1일 맞물리는 회전수는 360회라고 하면 359-톱니를 가진 북극환을 하루에 1회전시킨다고 설명하고 있다.[40]

이 때 혼천의의 북극환은 적도의 북쪽, 사유환에 고정되어 있다. 태양의 일주운동을 재현하기 위하여(혼천의 남측에서 바라볼 때) 북극환은 반시계방향으로 회전하여야 하고, 이것과 맞물려 있는 을륜축의 소륜은 시계방향으로 회전해야 한다. 결국 을륜이 시계방향으로 회전하면 갑륜은 반시계방향으로 회전해야 한다. 이는 고려대학교박물관/서울대학교박물관 자명종의 1층 윤열이 시계방향으로 도는 것과 차이가 있다.

Fig. 3이나 황윤석의 이언복 자명종에 대한 설명과 같이 폴리오트는 양팔을 가지고 각각 시간조절추를 매달고 있으며 굴대(verge)를 축으로 운행한다. 굴대에는 위와 아래로 주걱손(pallet)이 서로 다른 각도(대개 90° 차이)로 달려있어 왕관바퀴의 톱니와 마찰력을 주고받는다. 가장 위에 있는 왕관바퀴의 톱니가 굴대의 주걱손을 밀면 굴대와 함께 폴리오트가 운행하고, 곧이어 굴대 아래에 있는 다른 주걱손이 왕관바퀴의 다른 톱니를 때려 관성모멘트를 멈추게 한다. 이때 굴대 주걱손이 왕관바퀴의 톱니를 때리는 충격량은 폴리오트의 시간조절추의 무게와 중심까지의 거리에 영향을 받는다. 폴리오트의 시각조절추가 무거우면 굴대의 주걱손이 왕관바퀴의 톱니를 때리는 충격이 증가하여 반동(recoil)이 커진다. 한편 왕관바퀴의 톱니 수는 반드시 홀수이어야 한다(Denison, 1850).

38 『담헌서(湛軒書)』 외집 5권, 「주해수용(籌解需用)」 내편 하(內編 下) 12b-13a, <천의분도(天儀分度)>, 甲輪小牙八十. 乙輪小牙六十大牙八. 丙輪小牙五十四大牙六. 丁輪小牙五十大牙六.

39 『담헌서(湛軒書)』 외집 5권, 「주해수용(籌解需用)」 내편 하(內編 下) 13a, <천의분도(天儀分度)>, 甲輪一轉五時, 一日二輪又三十二牙. 乙輪一轉四刻, 一日二十四轉. 丙輪一轉六分, 一日二百四十轉. 丁輪一轉三分分之二, 一日 二千一百六十轉.

40 『담헌서(湛軒書)』 외집 5권, 「주해수용(籌解需用)」 내편 하(內編 下) 13b, <천의분도(天儀分度)>, 今有乙輪南端小輪, 牽轉天輪. 一日一周而過一度, 天輪凡三百五十九牙, 問小輪牙幾何? ... 置天輪牙搭入過一度, 得三百六十爲實. 以二十四 一日乙轉, 爲法除之.

Table 4에서 정륜소아는 왕관바퀴인데, <천의분도> 원문에는 톱니가 오십(五十)라고 기록하고 있다. 만약 톱니가 짝수 개이면 굴대의 두 주걱손이 왕관바퀴에 끼어서 옴짝달싹할 수 없기 때문에, 이는 십오(十五)의 오기로 보아야 한다. 3.2절에서 서울대학교박물관 자명종의 왕관바퀴의 톱니수도 15개이며, 송이영 혼천시계도 15-톱니 왕관바퀴를 가지고 있다(Kim, 2012). 이 경우 폴리오트의 왕복시간은 2⅔ s이다.

결과적으로 통천의의 동갑은 후종의 제작법을 따른다고 하였지만, 고려대학교박물관/서울대학교박물관 자명종에 비해 다음과 같은 점에서 차이를 보인다.

첫째, 시변 갑륜이 반시계방향으로 돌아야 한다. 반면 현존하는 자명종 유물은 시변 1층 윤열이 시계방향으로 회전한다.

둘째, 시변 을륜이 하루에 24회 회전한다. 반면 고려대학교박물관 자명종의 을륜은 하루에 96회 회전한다.

셋째, 이 둘 모두 매 각에 타종을 하고 있다. 고려대학교박물관 자명종의 경우, 2층 큰 기어에 오르막핀이 1개 있는데, 통천의는 을륜소아에 오르막핀이 4개 있어야 한다.

넷째, 시변 을륜의 축이 동갑 밖으로 길게 뻗어 나온다. 현존하는 자명종 유물은 시변의 축이 시각판 외부로 돌출하지 않았다.

다섯째, 통천의 동갑의 폴리오트의 왕복시간은 2⅔ s이다. 계산에 따르면, 고려대학교박물관 자명종은 1.21 s의 왕복시간을 가진다.

4.2. 구조 설계

2.1절에서 통천의 동갑에 대해 그 내부가 후종의 제작방식을 채용하고 있고, 종을 치기 위한 기계장치가 있다고 하였다. 이와 유사하게, 『이재난고』에서도 통천의를 언급할 때, 스스로 울리는 윤종(輪鐘)과 문신(問辰)의 방법을 혼의(渾儀)에 결합한 것이라고 하면서 각각을 신종(辰鍾)과 혼의의 제도라고 말하고 있다.[41] 여기서 신종은 문신과 윤종의 합성어로 보인다.[42] 『이재난고』<윤종기서(輪鐘記序)> 에서는 윤종의 단위를 가(架)라고 하면서, 황윤석은 통천의의 동갑과 목갑에 해당하는 것을 '윤종'이라고 표현했던 것으로 보인다. 한편 조선왕조실록에는 1723년(경종 3)에 처음 서양의 문신종(問辰鍾)이 청으로부터 들어왔다고 한다.[43] 즉 서양의 문신종은 '시진(時辰)을 묻는다'는 문자그대로 시각판의 특성을 채택하여 명명한 것일 가능성이 있는데, 동시에 매시에 시(時)의 수만큼 타종하는 기계시계류일 수도 있다.

2.2절에, 황윤석이 묘사한 이언복의 자명종을 통해, 18세기 중반 이후의 유학자 사이에 유행하던 자명종의 전형을 추정해 낼 수 있고, 3.1절의 고려대학교박물관 자명종이 그러한 자명종에 가장 근접한 유물이라고 여겨진다. 특히 홍대용 『담헌서』 <천의분도>에는 후종에 57-톱니바퀴와 59-톱니바퀴가 있다고 하였는데, 고려대학교박물관의 유물에도 57-톱니바퀴가 남아있다. 또한 이들 톱니바퀴의 기능이 이언복의 자명종에서 적용된 것으로 가정한다면, 홍대용이 언급한 후종도 이언복의 자명종이나 고려대학교박물관 자명종과 매우 흡사했을 것으로 추정된다.

『담헌서』의 <천의분도>에서 통천의의 설명은 시변의 윤열이 일반적인 후종과 다르다는 것을 암시하면서, 반대로 종변의 윤열은 큰 맥락에 있어서 이언복의 자명종이나 고려대학교박물관 유물과 서로 일치하다는 것을 역설하는 것으로 파악된다.

따라서 통천의 동갑의 내부 기계장치를 설계할 때, 시변은 <천의분도>를 따라 4.1절에서 추출한 특성을 반영하되(Table 4 참고), 종변은 고려대학교박물관 자명종의 구조를 그대로 참고하였다(Table 3의 종변을 참고). 종과 폴리오트 형식에 대해서도 고려대학교박물관 자명종의 형태를 차용하였다.

통천의 동갑의 시변과 종변의 내부 구조는 각각 Fig. 4와 Fig. 5에 나타냈었다. 동갑은 가로 × 세로 × 높이가 115 × 115 × 182 mm이고, 동갑 하면의 네 다리의 높이는 13 mm이고, 동갑 상면에서 종까지의 높이는 112 mm로 하여, 총 높이는 307 mm이다. 폴리오트의 양팔의 길이는 180 mm 내외로 설정하였다.

Fig. 4에서 시변의 윤열은 <천의분도>의 명명법에 따라 아래에서 위로 갑륜(甲輪), 을륜(乙輪), 병륜(丙輪), 정륜(丁輪)으로 표기한다. 갑륜축(main arbor, A1)에는 80-톱니의 갑륜소아(3-armed 80-toothed wheel, A2)가 있고 사슬바퀴(chain wheel, A3)와 깔쭉바퀴(ratchet wheel, A4)가 있다. 깔쭉바퀴 안에는 120°마다 깔쭉니(pawls)가 있어 시계방향으로 쉽게 돌아가지만 반시계방향으로는 돌아가지 않고, 오직 무게추와 탈진기에 의해서만 회전한다. 을륜축(second arbor, B1)에는 8-톱니의 을륜대아(8-leaf pinion, B2)와 60-톱니의 을륜소아(60-toothed wheel, B3)가 있다. 2.1절의 <통천의> 설명에서 '동갑

41 『이재난고(頤齋亂藁)』 권16, 경인년(1770) 10월 24일(병신), 其大人牧羅州時 則自衙中 往見同福老人羅景壎甫 以渾儀辰鍾制度詳問 商議邀歸衙中 偕鑄鐵渾儀自運報時者 蓋以渾儀 合自鳴輪鐘問辰之法也.

42 『이재난고(頤齋亂藁)』 권19, 갑오년(1774) 3월 27일(병신), 嘗與羅老景績 偕製輪鐘 又偕爲籠水閣主人洪大容德保 製大璣衡于錦城館. ... 又爲丘珍朴上舍燦璿·燦瑛從兄弟 所邀赴興陽虎山 留數年 爲製輪鐘二架, 是其一也. 한편 황윤석은 통천의를 선기옥형[璣衡]이라고 하였다.

43 『경종실록』 권13, 경종 3년(1723) 10월 9일(을묘) 2째 기사, 下西洋國問辰鐘於觀象監, 令新造. ... 淸主送於我國者也. 其法極精妙, 晝夜雨陰, 易以推測晷刻, 本監啓請依樣新造, 上許之.

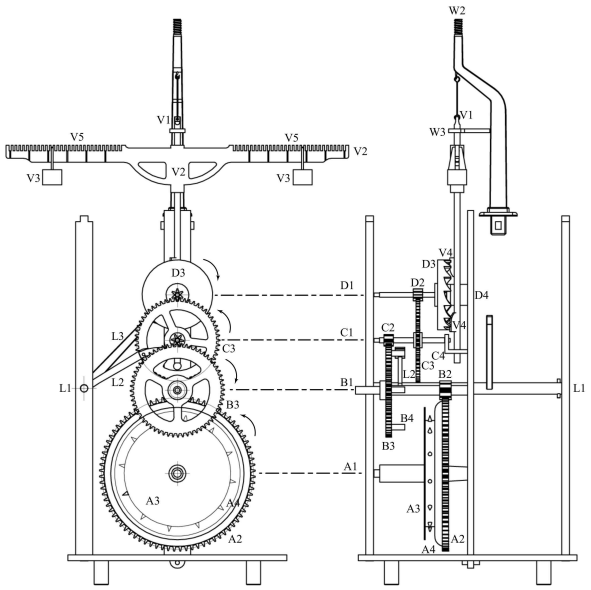


Figure 4. Going train: explanatory drawing.

A1: Main arbor
A2: 3-armed 80-toothed wheel
A3: Chain wheel
A4: Ratchet wheel (+Pawls)
B1: Second arbor
B2: 8-leaf pinion
B3: 60-toothed wheel
B4: Lifting pins each quarter
C1: Third arbor
C2: 6-leaf pinion
C3: 54-toothed wheel
C4: Bracket supporting third arbor & verge
W2: Bracket supporting bell
D1: Fourth arbor
D2: 6-leaf pinion
D3: 15-toothed escapement wheel
D4: Bracket supporting fourth arbor
V1: Verge
V2: Foliot
V3: Regulating weight
V4: Pallets
V5: Contrate wheel
L1: Arbor carrying lifting lever and locking lever
L2: Lifting lever
L3: Locking lever
W3: Verge bearing

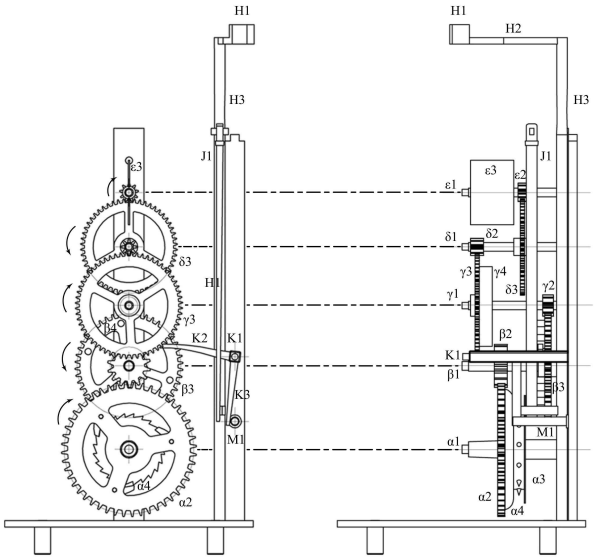


Figure 5. Striking train: explanatory drawing.

α1: Min arbor
α2: 3-armed 48-toothed wheel
α3: Chain wheel
α4: Ratchet wheel (+Pawls)
β1: Second arbor
β2: 14-leaf pinion
β3: 48-toothed striking wheel
β4: 6 striking pins
γ1: Third arbor
γ2: 8-leaf pinion
γ3: 60-toothed wheel
γ4: Locking hoop
δ1: Fourth arbor
δ2: 8-leaf pinion
δ3: 54-toothed wheel
ϵ1: Fifth arbor
ϵ2: 9-leaf pinion
ϵ3: Fly
H1: Hammer
H2: Hammer shank
H3: Arbor carrying the hammer
H4: Draw-back lever
J1: Leaf spring
K1: Arbor carrying lifting lever
K2: Lifting lever
K3: Pulling lever
M1: Stopper

위에 작은 종을 달고 동갑 속에 '기괄'을 장착하여 각(刻)에 따라 운다'고 하였고, 을륜축이 하루에 24회를 회전하므로, 을륜소아의 등에는 90°마다 오르막핀(lifting pins each quarter, B4)을 설치한다. 오르막핀은 오르막지레(lifting lever, L2)를 밀어 올린다. 을륜축은 동갑의 앞면을 뚫고 나오며, 시각판이 있는 곳 가까이에 분침[大杠, minute hand]이 있다. 병륜축(third arbor, C1)은 6-톱니의 병륜대아(6-leaf pinion, C2)와 54-톱니의 병륜소아(54-toothed wheel, C3)가 있으며, 병륜축을 지탱하고 동시에 굴대의 베어링이 있는 병륜축-굴대 버팀쇠(bracket supporting 3rd arbor & verge, C4)가 있다. 정륜축(Fourth arbor, D1)에는 6-톱니의 정륜대아(6-leaf pinion, D2)와 15-톱니의 정륜소아(15-toothed escapement wheel, D3)가 있으며, 정륜축 버팀대(bracket supporting 4th arbor, D4)가 있다.

정륜소아는 왕관바퀴[冠輪]이다. 쌍엽팔(foliot, V2)인 폴리오트는 굴대(verge, V1)와 연결되어 있으며, 폴리오트 양팔 위에는 서어각(鉏鋙刻, contrate wheel, V5)이 있어 시간조절추(regulating weight, V3)를 걸 수 있고, 굴대에는 주걱손(pallets, V4)이 있다. 종버팀쇠(bracket supporting bell, W2)는 동갑의 윗면에 고정되어 있으며, 종(bell)과 굴대지탱쇠(verge bearing, W3)를 가지고 있다. 한편 동갑 앞, 시각판에서 보았을 때 왼쪽에 있는 기둥 사이에 타종시각전달축(arbor carrying lifting lever and locking lever, L1)이 있으며, 시변의 을륜에 오르막지레(L2)가, 종변의 인륜(寅輪)에 잠금지레(locking lever, L3)가 연결되어 있다.

Fig. 5의 종변의 윤열은 아래에서부터 자륜(子輪), 축륜(丑輪), 인륜(寅輪), 묘륜(卯輪), 진륜(辰輪)으로 명명하였다. 종변도 시변과 같이 각 윤열의 축과 톱니바퀴의 결합으로 이루어져 있다. 자륜축(main arbor, α1)에는 48-톱니의 자륜소아(3-armed 48-toothed wheel, α2)가 있고, 사슬바퀴(chain wheel, α3)와 깔쭉바퀴(ratchet wheel, α4)가 서로 붙어 있다. 깔쭉니(pawls)는 시변과 같다. 축륜축(second arbor, β1)에는 14-톱니의 축륜대아(14-

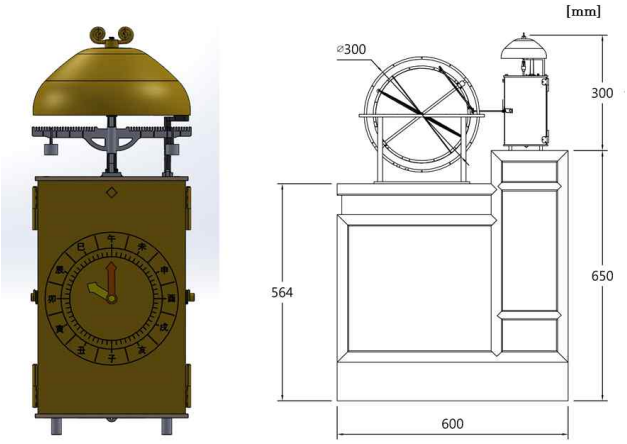
leaf pinion, $\beta 2$)와 48-톱니의 축륜소아(48-toothed striking wheel, $\beta 3$)가 있으며 소아의 기어면에 6개의 타종핀(6 striking pins, $\beta 4$)이 60° 간격으로 설치되어 있다. 인륜축(third arbor, $\gamma 1$)에는 8-톱니의 인륜대아(8-leaf pinion, $\gamma 2$)와 60-톱니의 인륜소아(60-toothed wheel, $\gamma 3$)가 있고, 인륜소아의 기어면에 잠금테두리(locking hoop, $\gamma 4$)가 있어 잠금지레(L3)가 걸려 있다. 만약 시변의 타종시각 전달축의 오르막지레에 의해 동시에 종변의 잠금지레가 열리면 추의 힘으로 종변의 윤열이 회전을 시작한다. 묘륜축(fourth arbor, $\delta 1$)에는 8-톱니의 묘륜대아(8-leaf pinion, $\delta 2$)와 54-톱니의 묘륜소아(54-toothed wheel, $\delta 3$)가 있다. 진륜축(fifth arbor, $\epsilon 1$)에는 9-톱니의 진륜대아(9-leaf pinion, $\epsilon 2$)와 풍륜(風輪, fly, $\epsilon 3$)이 있다.

시각판에서 보았을 때, 오른쪽에 당김지레축(arbor carrying lifting lever, K1)이 있는데 오르막지레(lifting lever, K2)와 당김지레(pulling lever, K3)가 이 축에 고정되어 있다. 타종핀에 의해 오르막지레가 상승하면 동시에 당김지레가 같은 회전방향으로 움직인다. 이 때 당김지레는 망치회전축(arbor carrying the hammer, H3)의 뒷걸음지레(draw-back lever, H4)를 회전시키고, 망치회전축이 함께 회전하면서 망치 [擊具](hammer, H1)와 망치자루(hammer shank, H2)가 종을 치기 위한 적당한 거리만큼 물러나게 된다. 통천의 모델에는 타종수지레(count-lever)가 없다. 뒷걸음지레(draw-back lever, H4)는 뒤로 회전할 때, 판스프링(leaf spring, J1)에 복원력을 축적시키는데, 오르막지레가 타종핀으로 벗어나는 순간 판스프링에 의해 빠른 속도로 뒷걸음지레와 당김지레가 되돌아 회전하며, 멈춤쇠(stopper, M1) 앞에서 정지하고 동시에 망치가 종을 친다. 이 때 잠금지레가 잠금테두리의 홈에 걸려서 종변 윤열의 회전을 멈춘다.

4.3. 시각판과 추

2.1절에서 통천의 동갑의 시각판에 대한 짧은 설명을 정리하면, 동갑의 전면에 있는 시각판은 두 개의 동그라미가 있고 4각 60분으로 나뉘어 있다는 것이다. 본래 후종이 서양식이라고 했기 때문에 4각 60분은 서양식 시각체계를 반영한 것이다. 또한 하나는 4각을, 다른 하나는 60분을 표현하고자 두 개의 동그라미 시각판을 그렸다고 여겨진다. 전자는 매시에 정과 초를 표시하고 다시 4각을 나타내고(즉 12시 96각을 표시하였고), 후자는 한 원을 60분으로 나누고 15분마다 1각을 나타내었다(Fig. 6 (a) 참고[44]).

만약 동갑에 시침과 분침이 있다면, 시침은 하루에 1회를, 분침은 24회를 회전해야 한다. 을륜축이 매시에 1회 회전하기 때문에 분침은 을륜축에 결합되어야 한다. 반면 시침을 1일 1회로 회전시키는 방법은 특정할 수 없다. 즉 인력(人力)에 의해 수동으로 시침을 운전하거나 동갑의 시변에 있는 윤열의 회전력을 빌려와야 한다. 만약 시변의 윤열에서 동력을 얻어 시침을 돌린다면(Lee, 2010), 갑륜의 끝에 20-톱니바퀴를 달고 을륜축에 의지하는 48-톱니바퀴를 서로 맞물리게 할 수 있다. Table 4와 같이, 갑륜축이 반시계방향으로 1일에 2.4회 전하므로, 48-톱니바퀴는 시계방향으로 1일에 1회전하게 된다. 이 때 48-톱니바퀴와 시침을 을륜축과 동심이면서 마찰하지 않는 원통의 금속관으로 서로 결합하면 시침을 자동으로 돌릴 수 있다.



(a) (b)

Figure 6. (a) The dial on the front consists of two parts; One is for 1 hour, the other is for 12 double-hour, (b) The general drawing of Tongcheon-ui. A reserved space of 650 mm is reserved for the weight to move up and down.

Fig. 4에서 갑륜의 사슬바퀴와 Fig. 5에서 자륜의 사슬바퀴의 안지름은 각각 56 mm와 37 mm이고, 바깥지름은 각각 70 mm와 50 mm이다. 만약 각각의 사슬바퀴에 노끈이 연결된다면, 안지름과 바깥지름의 중간값에 대해서 각각 Table 4의 갑륜 회전수와 Table 3 종변의 자륜 회전수을 참고하여 추가 하루동안 내려오는 길이를 계산할 수 있다. 갑륜에 걸린 노끈은 하루에 475 mm를, 자륜에 걸린 노끈은 하루에 645 mm를 내려온다.

Fig. 6(b)에서 동갑 아래의 목갑과 의자에 해당하는 길이를 650 mm로 설정하여 설계하였다. 이는 송이영의 혼천시계에서 추의 이동을 위해 확보한 높이인 710 ~ 720 mm(추의 높이 약 100 mm)에 근접하게 하였다(Kim, 2012). 650 mm의 공간이라면 통천의의 시변과 종변의 각 추를 초기화하는 주기를 1일 내외로 유지할 수

[44] Fig. 6 (a)에서는 매시 각 정과 초 이하의 4각을 표시하지 않았다.

있다. 한편 이언복의 자명종이나 서울대학교박물관의 자명종처럼 시변과 종변의 노끈을 하나로 연결하고 그 사이에 도르래와 한 개의 추를 연결한다면, 통천의의 도르래와 추는 하루에 560 mm씩 하강하므로 650 mm 높이에서는 이상적인 운영을 도모할 수 있다.

5. 통천의 자명종의 역사적 의미

1631년(인조 9)에 정두원(鄭斗源, 1581 ~ ?)이 명(明)에서 활동한 선교사 육약한(陸若漢, Jean Rodriguez, 1561 ~ 1633)으로부터 자명종(lantern clock) 등을 받아서 조선에 처음 소개하였다.[45] 김육(金堉, 1580 ~ 1658)도 1637년(인조 15)에 북경에서 자명종을 보았고, 1715년(숙종 41)에 관상감 관원 허원(許遠, 1662 ~ ?)이 청(淸)에서 자명종을 가지고 들어왔다(Lee, 2018). 1669년 송이영이 혼천시계[自鳴鐘]을 설계하는데, 정두원이 수입한 자명종의 영향을 받았을 가능성이 높다(Kim, 2012).

다만 송이영의 혼천시계는 수평의 왕관바퀴에 진자에 의한 탈진장치를 가지고 있는데, 정두원이 소개한 것은 알 수가 없지만 이언복의 자명종이나 고려대학교박물관/서울대학교박물관의 자명종이 모두 수직의 왕관바퀴에 폴리오트에 의한 탈진장치로 이루어진 것이 서로 차이가 있다. 전자의 탈진방식은 후자의 것보다 훨씬 후대의 개선된 방식이다(Kim, 2012). 다만 1687 ~ 1688년(숙종 13 ~ 14)에 최석정(崔錫鼎, 1646 ~ 1715)이 관상감 관원 이진(李縝)을 시켜 송이영의 혼천시계를 중수하였는데, 이때만 해도 폴리오트[衡牙]를 사용하고 있던 것으로 보인다.[46]

정두원 이래로 조선에서는 자명종의 장인들이 배출되었다. 송이영의 혼천시계에는 유흥발(1650년대)과 이진(1688년)이 있었고, 1731년(영조 7) 문신종 수리에는 최천약이 있으며(Lee, 2010), 1760 ~ 1762년 홍대용 통천의에는 나경적, 안처인, 염영서(廉永瑞, ? ~ 1781)가 있었다. 그 밖에 홍수해 및 강신(姜信)과 그의 아들 강이중(姜彛中, ? ~ ?), 강이오(姜彛五, 1788 ~ 1857) 형제(Kim et al., 2010)[47], 김흥덕(金興德, ? ~ ?), 김명혁(金命炃, ? ~ ?)[48] 등이 있었다.

5.1. 추동식 선기옥형

황윤석은『이재난고』에 1746년경 이언복의 자명종을 자세히 기술하였다. 또한 1762년에 나경적, 홍대용, 안처인 등이 공동으로 제작한 통천의와 혼상의 및 1766년에 홍대용이 연경에서 받아 온 서양의 자명종(自鳴鍾)에 대한 소식도 전하고 있다. 그 밖에 그는 1770년 기록에서 1762년 이전에 나경적이 제작해 준 김시찬의 자명종을 소개하였고, 1772년에 제작된 박찬선(朴燦璿)·박찬영(朴燦瑛)의 윤종(輪鐘) 중 하나에 대한 <윤종기서(輪鐘記序)>(1774년)를 기록하였다. 그의 기록에 따르면 1700년도 중반에 유학자 사이에 제작되거나 유통되었던 5가지의 서로 다른 자명종이 있었다. 따라서 이들 자명종이 모두 한 종류의 모델이었을 리가 없다.

실제 홍대용의 통천의는 혼천의와 자명종을 결합하였기 때문에, 이언복의 자명종과 가장 유사할 것으로 보이는 고려대학교박물관의 자명종 유물과는 여러 가지 차이점이 있다. 앞 장에서 언급했듯이, 통천의 동갑의 시변은 윤열의 구성이 톱니바퀴의 톱니수와 회전 방향의 관점에서 유물과 전혀 일치하지 않다는 것이다. 고려대학교 자명종 유물의 시각판은 시각과 아울러 달의 위상변화를 알려주고 있다. 그와 달리, 홍대용 통천의 동갑은 오직 시각만을 표현하고 있고, 하루에 24회 회전하는 을륜축(2층 윤열축)이 시각판을 뚫고 나와 혼천의에 연결되어 있어, 오히려 혼천의를 통해 달의 위상변화를 확인할 수 있다. 홍대용은 자신의 글에서와 마찬가지로, 기존 후종의 기능을 충분히 활용하면서 동시에 『서경(書經)』의 선기옥형의 운행을 구현하기 위해, 나경적와 함께 상당한 변화를 모색하였던 것으로 보인다.

결국 홍대용은 서양의 기술을 활용하여 선기옥형을 구현하였던 것이다. 이는 세종이 경연(經筵)에서 시·서(詩·書)를 논의하다가 혼천의(渾天儀)를 제작하게 하고, 수격(水激)의 힘으로 돌아가는 혼의와 혼상을 만들었으며(Mihn et al., 2011; Kim et al., 2011a), 이를 더욱 발전시켜 흠경각루(欽敬閣漏)를 구현한 것과 일맥상통하고 있다(Kim et al., 2017). 흠경각루는 시헌력 도입과 맞물려 1657년(효종 8) 최유지의 혼천의[49], 1669년(현종 10)

---

45 『인조실록』25권, 인조 9년(1631) 7월 12일(갑신) 1째 기사; 『국조보감 』35권, 인조조 2권, 9년(신미) 7월; 『성호사설(星湖僿說)』 권4, 「만물문(萬物門)」<육약한조(陸若漢條)>, 壬辰之後 陳慰使 鄭斗源 赴燕遇西洋人陸若漢者 年九十七 精神秀發飄飄 若神仙. 中人云来時 滅紅夷·毛夷之梗者 到廣東 進紅夷炮 天子嘉之, 待以賓師 送於登州 並力恢復遼東.

46 『서운관지(書雲觀志)』권3, 「고사(故事)」숙종 정묘년(1687, 숙종 13) <자명종명(自鳴鍾銘)>, 以鍾引輪中懸針也. 懸針之端 設**衡牙**也 衡有雙珥, 制疾舒也. 다만 Kim (2012)는 '**衡牙**'를 폴리오트가 아닌, "형+아"로 구분하여 왕관바퀴(牙)와 진자를 연결하는 굴대(衡)로 보고, 쌍이(雙珥)를 주걱손(pallet)으로 해석하여 유물의 형상을 설명하려고 시도하였다. 윗 문장의 '設**衡牙**也 衡有雙珥'는 『이재난고』의 '**衡背作鉏鋙刻**, 兩端懸小鍾'(주석 18 참조)과 거의 같은 문장으로 해석될 수 있다(珥=小鍾).

47 『오주연문장전산고(五洲衍文長箋散稿)』인사편(人事篇)7, 「기용류(器用類)」종루(鐘漏) <수명종·루종표변증설(水鳴鍾·漏鍾表辨證說)>, 翼宗在邸時, 命姜彛中、姜彛五【姜信子, 判尹世晃庶孫, 有奇才多巧器. 彛五, 資一品, 官金海府使.】 上設璇璣, 下設鳴鍾, 以牙輪轉機, 與鳴鍾相應, 時刻不爽. 人以爲奇巧有過西人云.

48 『오주연문장전산고(五洲衍文長箋散稿)』인사편(人事篇)7, 「기용류(器用類)」종루(鐘漏) <자명종변증설(自鳴鍾辨證說)>, 近世崔天岳者, 善製此種. 嗣此姜僉樞信 及其胤彛中·彛五 及金興德·命炃 最精。然不知有製作之成書也.

에 이민철의 혼천의[50]로 변형되었다(Han & Nam, 1997; Kim, 2012). 한편 1669년에 송이영도 혼천시계[自鳴鐘]를 제작하였다. 이규경(李圭景, 1788 ~ 1856)의 『오주연문장전산고(五洲衍文長箋散稿)』에 따르면, 순조 대에 왕실에서 강이중, 강이오 형제가 제작한 것도 혼의와 자명종이 결합한 형태였다.

조선시대의 혼의가 자동으로 운행하기 위한 동력을, 조선전기에는 수격식에서 얻었다고 하면, 조선후기에는 자명종의 추의 중력에서 찾았다. 이렇게 혼의를 자동으로 돌리는 기계시계를 혼천시계라고 한다. 통천의는 조선후기 최유지-이민철-송이영의 계보를 잇는 혼천시계류이다. 다만 조선후기 수격식 혼천시계는 김제군수였던 최유지의 방식에서 왕실 주도의 이민철 방식으로 옮겨간 것인데 비해, 추동식 혼천시계는 왕실 주도의 송이영 방식에서 노론 북학파[51]인 홍대용 방식으로 나주목(금성관)에서 제작되었다.

5.2. 시보방식의 변화

조선 세종 대의 보루각루와 흠경각루는 12시진에 맞추어 종을 쳤다. 야간에는 5경 5점으로 구분하여 각각 북과 징을 쳤다(Nam, 1989). 동시에 보루각루나 흠경각루는 인형의 움직임을 통해 시·경·점에 대한 시각적 표현을 병행하였다. 이것이 조선전기의 시보방식이었다.

조선 후기 이민철은 최유지의 혼천의를 참고삼아 혼천의(혼천시계)를 만든다. 김석주(金錫胄)의 『식암선생유고(息庵先生遺稿)』(1680) <신조혼천의양가정진계(新造渾天儀兩架呈進啓)>에 따르면, 이민철의 혼천시계도 흠경각루와 비슷하게 종을 쳐서 12시진를 알려 주었다(Han & Nam, 1997).[52] 당시 함께 만들어진 송이영의 혼천시계 역시 12시진의 초(初)·정(正)에 종을 치는데, 매시 초에 일본의 타종방식으로 종을 쳤다(Kim, 2012). 이 두 혼천의는 동력원만 다를 뿐 기계장치가 비슷하였는데, 종을 치는 것과 함께 매 시진의 시패를 표시하였고, 이러한 모습은 보루각루/흠격각루의 전형(典型)을 따른 것이었다. 당시 중국이나 일본에서 전해진 서양식 자명종은 대부분 24시각제에 따라 종을 쳤다.

홍대용·나경적의 통천의는 분침이 있고 매 각에 종을 치는 반면 시패 장치가 없다. 시헌력은 12시 96각을 채용하였으므로, 종을 치는 횟수를 하루에 96번으로 할 만하였다. 3.1절에서 고려대학교박물관의 자명종도 매 각에 종을 친다.

6. 결론

1760 ~ 1762년 사이에 홍대용·나경적·안처인은 통천의를 제작하였다. 통천의는 혼천시계의 일종으로 혼의를 운용하기 위해 후종(자명종)의 동력을 사용하였다. 통천의의 동갑은 보통의 자명종과 유사하게 시각을 조절하는 시변과 종을 치는 기계장치인 종변으로 구성되어 있다. 홍대용은 자신의 저서를 통해 통천의 동갑(銅匣, 자명종)의 시변의 윤열에 대한 제원과 산술적 특성을 서술하였고, 시각판 및 타종에 대한 간략한 정보만을 기록하였다. 따라서 통천의 동갑의 기록만으로 그 구조를 복원하기 어려운 한계가 있었다.

통천의 동갑을 제작하기 위해서, 본 연구는 고려대학교박물관 자명종과 서울대학교박물관 자명종의 특성과 제원을 활용하였다. 또한 황윤석이 기술한 이언복의 자명종의 특성이 이들 박물관의 자명종 유물과 구조적인 유사성을 보였다. 예를 들면 황윤석은 자명종의 시변과 종변을 구분하였는데, 시변에는 폴리오트의 탈진장치가 연결되어 있으며, 종변의 상층에는 바람개비(풍륜)가 있다고 기술하였다. 이는 고려대학교박물관·서울대학교박물관의 자명종에 공통적으로 나타나는 특성이었다. 또한 황윤석은 시변과 종변의 동력원으로 이 둘의 사슬바퀴는 한 노끈으로 연결되어 있으며 두 사슬바퀴 사이에 도르레와 추를 매달아 놓았다고 하였는데, 이는 서울대학교박물관 유물과 일치하였다. 또한 홍대용과 황윤석이 각각 언급한 시각판에 관련한 57-톱니바퀴는 고려대학교박물관 유물에도 존재하였다. 이러한 문헌과 유물의 유사성을 통해, 통천의는 도르래에 달린 추가 동갑의 동력을 발생시키는데, 그 시변은 폴리오트의 탈진장치로 시각을 조절하며, 그 종변은 고려대학교박물관 유물의 종변과 기계장치가 유사하다고 추정할 수 있었다.

통천의 자명종의 모델은 가로 × 세로 × 높이가 115 × 115 × 307 mm(단, 동갑자체 115 × 115 ×195 mm)이다. 시변의 갑륜(1층 윤열)은 반시계방향으로, 종변의 자륜(1층 윤열)은 시계방향으로 회전한다. 시변의 을륜이 하루에 24회 회전하고, 을륜축이 시각판의 중심을 뚫고 동갑 밖으로 길게 뻗어 나온다. 시각판에는 시침과 분침이 있고 각각 12시 96각과 4각 60분의 다이얼에 맞추어져 있다. 통천의 자명종은 매각에 타종을 하고 있다. 폴리오트의 왕복시간은 2⅔ s이다. 통천의가 도르레-추의 결합으로 갑륜과 자륜을 돌린다고 하면, 이 6.4

---

49 『효종실록』18권, 효종 8년(1657) 5월 26일(무진) 2째 기사.

50 『현종실록』 17권, 현종 10년(1669) 10월 14일(갑술) 1째 기사.

51 홍대용은 황윤석과 함께 미호(渼湖) 김원행(金元行, 1702 ~ 1772)의 문인이다. 『이재난고』에 따르면, 김원행의 부인의 종질(5촌)이 홍대용이라고 한다. 김원행은 노론의 4대신으로 경종 때 처형당한 김창집(金昌集, 1648 ~ 1722)의 손자로, 신임옥사(1771 ~ 1772) 때 아버지 김제겸(金濟謙, 1680 ~ 1722), 친형 김성행(金省行, 1696 ~ 1722), 친아우 김탄행(金坦行, ? ~ 1772)이 모두 처형되었다.

52 『식암선생유고(息庵先生遺稿)』권17, 「계사(啓辭)」<新造渾天儀兩架呈進啓>.

kg의 추는 하루에 약 560 mm를 내려온다.

통천의는 조선 실학자가 제작한 혼천시계이다. 혼천시계는 세종대 처음 제작한 흠경각루의 전통을 계승한 천문시계이다. 송이영의 혼천시계와 유사하게 통천의는 추동식 자명종을 혼의에 연결하였으며, 『서경』에서 설명한 선기옥형에 대한 조선 지식층의 18세기 버전이었다. 통천의를 제작하면서 12시뿐만 아니라 매각에도 종을 치는 방식은 기존의 일본식 자명종과 차이가 나는 방식으로 홍대용이 자랑할 만한 요소이기도 하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구를 위해 자명종 유물을 실측 조사할 수 있도록 허락해 주신 고려대학교박물관과 서울대학교박물관 학예사께 감사드립니다. 본 연구는 2020년 국립중앙과학관 기본연구과제 "조선후기 기계시계 장치 전시품 개발 연구(연구책임자 윤용현)"의 지원으로 수행되었습니다. 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2019R1F1A1057508).

REFERENCES

An D. G., 2017, Korean translation of Seokdang Silki, Compilation Committee of Seokdang Silki, Honam Institute for Korean Studies (Gwangju), pp.101-148

Denison, E. B., 1850, A Rudimentary Treatise on Clock and Watch Making. John Weale (London), pp.32-34

Hahn Y. -H. & Nam M. -H., 1997, Reconstruction of the Armillary Spheres of Mid- Chosun: The Armillary Clocks of Yi Mihnchol, The Korean Journal for the History of Science, 19, 3

Hahn Y. -H., 2003, Astronomical Clocks of Nongsugak, Korean Historical Review, Yoksa Hakbo, 177, 1-32.

Hahn Y. -H. & Nam M. -H., 2008, Systems for Night-Watch Clepsydrae during Chosun Dynasty, The Journal of Korean studies, 143, 167

Hahn Y. -H., Nam M. -H., & Lee S. -W., 2001, Water-Operated Armillary Clocks of the Choson Dynasty, The Journal of Korean History, 113, 57

Hahn Y. -H. & Lee E. -H., 2011, Accomplishment of a Domestic Calendar System during the Late Goryo and the early Joseon period, The Journal of Korean studies, 155, 31

Kim S. H., Lee K. -W., & Lee, Y. S., 2010, A Study on the Sundials of the Kang Family of Jinju, JASS, 27, 161
http://dx.doi.org/10.5140/JASS.2010.27.2.161

Kim. S. H., Mihn B. -H., Ahn Y. S., & Lee Y. S., 2011a, Inference on The Arrangement and Scale of The Ganuidae, PKAS, 26, 115
http://dx.doi.org/10.5303/PKAS.2011.26.3.115

Kim S. H., Lee Y. S., & Lee M. S., 2011b, A Study on the Operation Mechanism of *Ongnu*, the Astronomical Clock in Sejong Era, JASS, 28, 79
https://doi.org/10.5140/JASS.2011.28.1.079

Kim S. H., 2012, Armillary Clock of Song, I-Yoeng, Korea Study Infomation (Paju), pp. 39-183

Kim S. H., Yun Y. -H., Ham S. Y., Mihn B. -H., Ki H. -C., & Yoon M. K., 2017, A Study on an Analysis and Design of the Internal Structure of *Heumgyeonggak-nu*, JASS, 34, 171
https://doi.org/10.5140/JASS.2017.34.2.171

Kim, S. H., Mihn, B. -H., Seo, Y. -K., & Lee, Y. S., 2018, Life and Astronomical Contribution of Song, I-Yeong, PKAS, 33, 31

Lee E. S., 1986, Analysis on Cheonsang-Yeolcha-Bunya-Jido, Sejong Studies Research, 1, 63

Lee Y. S. & Kim S. H., 2007, Study on the Structure and Working Principle of Song I-yŏng's Armillary Clock, JASS, 24, 167

Lee Y. J, 2010. The Automatic Chiming Clock Driven by Weights and Time System of the Joseon Dynasty and the Edo Period, Chungbuk National University MSc thesis.

Lee J. -B., 2018, The Life and Scientific Technique of Choi Cheon-yak of Dongrae in the Late of Joseon Dynasty, Region and History, 43, 59
http://dx.doi.org/10.19120/cy.2018.10.43.59

Lee J. -B., 2019, A Comparative Study on System of Weights and Measures in Early Modern Korea, China and Japan, History & the Boundaries, 110, 417

Minn Y. G., 1975, Tychonic Theory Developed in the 17th Century Korea, The Journal of Korean Studies, 16, 1

Mihn B. -H., Kim. S. H., Lee K. -W., Ahn Y. S., & Lee Y. S., 2011, A Development History and Structural Feature of Sogyupyo in The Joseon Dynasty, PKAS, 26, 129
http://dx.doi.org/10.5303/PKAS.2011.26.3.129

Mihn, B. -H., Ham S. Y., & Choi G. E., 2017, Concept on the Na Kyeong-Jeok's clock and its Structure in Proceeding of Conference on a Pioneer of a Practical Confucian, Seokdang, Na Kyeong-Jeok, Honam Institute for Korean Studies (Gwangju), 69-88

Nam M. H., 1989, A Reconstruction of the Double-hour Annunciating Systems for the King Sejong's Striking Clepsydra, The Korean Journal for the History of

Science, 11, 19

Nam M. -H., Hahn Y. -H., Lee S. -W., & Yang P. -S., 1995, Armillary Spheres during the Chosen Dynasty, KonKuk University Academic Journal, 39, 519

Nam M. H., 1998, On the Kim Don's Borugakki: A Reconstruction of Chagyongnu the Striking Clepsydra, The Journal of Korean History, 101, 75

Nam M. -H., 2008, Ganuidae Observatory: Its past and Present − Restoration and Utilization of Sciecne and Technology-Related Cultureal Heritage of Gyeongbokgung, Gogung munhwa, 2, 84

Nam K. U., 2011, Nam Byeongcheol's Time-checking Instrument in Nineteenth-century Korea, The Korean Journal for the History of Science, 33, 533

Park S. R., 1981, Scientific Ideas of Hong Tae-Yong, Hankuk Hakpo (Journal of Korean Studies), 7, 2159

Park S. R., 1995, Finding of Western Science in *Tamhunseo* written by Hong Tae-Yong, The Chin-Tan Society, 79, 247

Sawada T., 1996, Japanese Clock (和時計), Dankosha(淡交社), pp.16-60

Yun, G. I., 2005, New Edited Gyeongguk Daejeon, Sinseowon (Seoul), pp.21-103