

원대(元代)와 세종대(世宗代) 자동 물시계 시보시스템 비교  
COMPARISON OF THE TIME-SIGNAL SYSTEM OF AUTOMATIC WATER CLOCKS  
DURING THE YUAN DYNASTY AND THE KING SEJONG ERA OF THE JOSEON  
DYNASTY

윤용현<sup>1</sup>, 김상혁<sup>2†</sup>, 민병희<sup>2,3</sup>, 임병근<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>국립중앙과학관, <sup>2</sup>한국천문연구원, <sup>3</sup>과학기술연합대학원대학교, <sup>4</sup>(주)전홍

YONG-HYUN YUN<sup>1</sup>, SANG HYUK KIM<sup>2†</sup>, BYEONG-HEE MIHN<sup>2,3</sup>, AND BYONG GUEN LEEM<sup>4</sup>

<sup>1</sup>National Science Museum, Daejeon 34143, Korea

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea

<sup>3</sup>Korea University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea

<sup>4</sup>Jeon Heung Total Art Company, Gimpo 10044, Korea

E-mail: [auspice@korea.kr](mailto:auspice@korea.kr) & [astro91@kasi.re.kr](mailto:astro91@kasi.re.kr)

(Received September 12, 2023; Revised December 21, 2023; Accepted January 10, 2024)

ABSTRACT

In this study, we investigated the time signal devices of *Deungnu* (circa 1270) and *Gungnu* (1354), the water clocks produced during the Yuan Dynasty (1271–1368). These clocks influenced *Heumgyeonggaknu* (1438) of the Joseon Dynasty (1392–1910), exemplifying the automatic water clocks of the Yuan Dynasty. *Deungnu*, *Gungnu*, and *Heumgyeonggaknu* can be considered as automatic mechanical clocks capable of performances. The *Jega-Yeoksang-Jip* (Collection of Calendrical and Astronomical Theories of Various Chinese Masters) contains records of *Deungnu* extracted from the History of the Yuan Dynasty. We interpreted these records and analyzed reproduction models and technical data previously produced in China. The time signal device of *Deungnu* featured a four-story structure, with the top floor displaying the four divine constellations, the third floor showcasing models of these divinities, the second floor holding 12-h jacks and a 100-Mark ring, and the first floor with four musicians and a 100-Mark Time-Signal Puppet providing a variety of visual attractions. We developed a 3D model of *Deungnu*, proposing two possible mechanical devices to ensure that the Time-Signal Puppet simultaneously pointed to the 100-Mark graduations in the east, west, south, and north windows: one model reduced the rotation ratio of the 100-Mark ring to 1/4, whereas the other model maintained the rotation ratio using four separate 100-Mark rings. The power system of *Deungnu* was influenced by *Suunuisangdae* (the water-driven astronomical clock tower) of the Northern Song Dynasty (960–1127); this method was also applied to *Heumgyeonggaknu* in the Joseon Dynasty. In conclusion, these automatic water clocks of East Asia from the 13th to 15th centuries symbolized creativity and excellence, representing scientific devices that were the epitome of clock-making technology in their times.

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

1. 서론

조선에서 장영실(蔣英實, ? ~ ?)은 두 가지의 자동 물시계를 개발했다. 하나는 보루각에 설치한 자격루이고, 다른 하나는 함경각에 설치한 옥루이다(Hong, 1946).<sup>1</sup> 보

루각루(報漏閣漏, *Borugaknu*)는 1434년 7월 1일을 기하

<sup>1</sup> 보루각루와 함경각루는 모두 자동 물시계이다. 함경각의 물시계를 옥루로 부른 것은 Hong(1946)이 저술한 『조선과학사』에서 처음 구분한 것으로 나타난다. 두 물시계 모두 자동으로 격발(激發)하는 자격루의 일종으로 이후 본문에서는 보루각의 물시계를 보루각루로, 함경각의 물시계를 함경각루로 구분해 명명하였다.

<sup>†</sup> corresponding author

여 운영한 국가 표준시계이다. 이로부터 몇 년 후인 1438년 흥경각루(敬敬閣漏, *Heumgyeonggaknu*)를 만들어 세종을 위한 왕실 물시계로 운영했다.

장영실이 제작한 보루각루가 매우 정밀했음을 알리는 조선왕조실록 기록에는 원대(元代) 순제(順帝, 1320 ~ 1370)의 궁루(宮漏, *Gungnu*)가 언급되어 정밀함을 견주는 대목이 흥미롭다.<sup>2</sup> 아쉽게도 기록에는 궁루의 자세한 운영 방식이 나와 있지 않다.

이순지(李純之, 1406 ~ 1465)가 저술한 『제가역상집(諸家曆象集)』에는 원대 궁루보다 먼저 제작된 등루(燈漏, *Deungunu*, 1270년경)가 기술되어 있다.<sup>3</sup> 이러한 사실은 조선의 과학자들이 등루에 대한 기초적인 연구를 마치고, 새로운 형태의 물시계 제작에 응용했던 정황을 추정해 볼 수 있다.

세종대(世宗代) 자동 물시계를 원대의 등루와 궁루의 연관성을 중심으로 파악하는 견해가 지배적이다. Nam(1995)은 이슬람 천문학의 영향으로 원대에 제작된 등루와 궁루가 명대(明代)까지 이어지지 못했고, 조선 세종 때 새로운 형태의 물시계에 활용되어 이슬람식 기술이 유지되었다고 보았다. Jeon(1994)은 흥경각루에서 수차 기원(機輪)의 기원을 소송(蘇頌, 1020 ~ 1101)의 천문시계의 원형에서 찾을 수 있다고 하면서, 원(元) 순제의 궁정 물시계의 장치들도 그 모델의 하나로 생각했다. Needham et al.(1986)은 보루각루에 직접적인 영감을 준 것을 궁루로 보았다. 그들은 순제 지정(至正) 14년(1354)에 제작된 궁루를 수루식(水漏式) 물시계로 이해했으며, 보산루(寶山漏)(1262년 제작)와 등루(1270년경 제작)를 모티브로 삼아 발전한 것으로 보았다(Needham et al., 1986). 보산루는 원 세조(世祖, 1215 ~ 1294)를 위해 관수경(郭守敬, 1231 ~ 1316)이 만든 물시계이다.<sup>4</sup>

현재 원대의 두 물시계 중에서 등루의 재현 모델이 중국의 주요 과학박물관에 전시되어 있다. 또한 관련한 기술자료가 공개되었다.<sup>5</sup>

2 『세종실록』, 15년 9월 6일(을미), 予聞元 順帝時, 有自擊宮漏, 然制度精巧, 疑不及英實之精也.

3 『제가역상집』 권 3:29ㄴ ~ 30ㄱ, 燈漏之制, 高丈有七尺 ... 其機發隱於櫃中, 以水激之.

4 Needham et al.(1986)은 등루에 있는 등구(燈球)에 부연하여 설명하면서, 이슬람 기기의 신호발생 장치로서의 기술을 연관 지었다. 아울러 등루의 등구와 관계없어 보이지만, 『원사(元史)』 본기(本紀)의 세조(世祖)에 있는 다음 기사를 소개하였다. “중통 3년(1262)... 2월... 병신일(10日) (양력. 1262. 3. 1.) 관수경이 만들던 보산루(寶山漏)가 완성되어, (이를) 연경(燕京)으로 옮겼다(中統三年... 二月... 丙申, 郭守敬造寶山漏成, 徙至燕京.)”(『元史』 卷五〈世祖二〉2a). 이 시기 세조(쿠빌라이 칸)는 몽골대칸으로 스스로 등극하였으나 남송과의 전쟁 중이었다. 위 기사에서 보산루가 어떠한 형태와 위상을 가졌는지 짐작할 수 없다. 금(金)의 수도였던 연경(燕京)은 이때까지도 여전히 정치적 수도(首都) 역할을 하였다.

본 연구는 원대 자동 물시계 중에서 시보 작동이 비교적 자세히 설명된 등루를 중심으로 조선 세종 때 자동 물시계와 비교하여 논의하고자 한다. 2장에서는 등루의 세부적인 문헌 분석을 통해 전반적인 형태와 구조를 유추하고, 3장에서는 분석 모델과 중국에서 재현한 모델을 중심으로 비교하며 시보장치의 작동구조를 이해하도록 한다. 4장에서는 등루의 모델링 작업을 진행하고, 5장에서는 등루와 조선의 두 가지 자동 물시계와 비교하고, 6장에서는 결과를 기술하고자 한다.

## 2. 문헌 분석

『원사(元史)』에는 등루와 궁루에 대한 설명이 남아 있다.<sup>6</sup> 이중 등루에 대한 기록은 『제가역상집』 권 3에도 실려 있다. 본 연구에서는 Nam(1995)과 Nam(2013)이 제시한 국문 번역 결과를 참고하여 연구에 활용하였는데, 구조에 대한 명확한 이해와 설명이 필요한 경우 수정해 제시했다.

등루의 기록은 크게 규모, 외형 모습, 층별 시보 작동, 그리고 동력에 대하여 언급하고 있다.<sup>7</sup>

### 2.1. 규모와 동력

규모와 동력에 대하여 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫 문장에 나오는 등루의 제도는 높이가 1장 7자(약 5.4 m, 1자=31.76 cm)<sup>8</sup>로 소개하였다. 문헌의 마지막 문장

5 중화인민공화국 국가지식재산권국, 실용신형 명칭: 대명전 등루, 등록 공고 번호: CN 204731539 U, 등록 공고일: 2015. 10. 28.

6 대명전 등루는 『원사』 권48 「천문지」 권1, 8a-9a에 나온다. 〈大明殿燈漏〉燈漏之制, 高丈有七尺, 架以金為之. 其曲梁之上, 中設雲珠, 左日右月. 雲珠之下, 復懸一珠. 梁之兩端, 飾以龍首, 張吻轉日, 可以審平水之緩急. 中梁之上, 有戲珠龍二, 隨珠俯仰, 又可察準水之均調. 凡此皆非徒設也. 燈球雜以金寶為之, 內分四層, 上環布四神, 旋當日月參辰之所在, 左轉日一周. 次為龍虎鳥龜之象, 各居其方, 依刻跳躍, 鏡鳴以應於內. 又次周分百刻, 上列十二神, 各執時牌, 至其時, 四門通報. 又一人當門內, 常以手指其刻數. 下四隅, 鐘鼓鈺鏡各一人, 一刻鳴鐘, 二刻鼓, 三鈺, 四鏡, 初正皆如是. 其機發隱於櫃中, 以水激之. 한편 궁루는 『원사』 권43 「순제」 권6, 16b-17a에서 나온다. 十四年(1354) 是歲, ... 又自制宮漏, 約高六七尺, 廣半之, 造木為匱, 陰藏諸壺其中, 運水上下. 匱上設西方三聖殿, 匱腰立玉女捧時刻籌, 時至, 輒浮水而上. 左右列二金甲神, 一懸鐘, 一懸鈺, 夜則神人自能按更而擊, 無分毫差. 當鐘鈺之鳴, 獅鳳在側者皆翔舞. 匱之西東有日月宮, 飛仙六人立宮前, 遇子午時, 飛仙自能耦進, 度仙橋, 達三聖殿, 已而復退立如前. 其精巧絕出, 人謂前代所鮮有. 상기 자료는 《이조당 사고전서 회요(摛藻堂四庫全書摘要)》본을 참고하였다.

7 『제가역상집』 권3 「의상(儀象)」 〈원사(元史)〉 29b-30a; 위 주석의 대명전 등루와 내용이 일치한다. 다만, 『원사』 「천문지」의 ‘左轉日一周’가 『제가역상집』 권3 「의상(儀象)」에서 ‘左轉日一週’로 차이를 보인다. 그러나 해석에는 큰 차이가 없다.

8 이 값은 중국역사박물관에서 소장 중인 명대 골척(骨尺, 31.78 cm)의 치수와 거의 일치하는데, 중국 재현품도 이 치수를 근거로 하여 제작한 것으로 보인다(골척의 치수: 김기협 역주, 1993, 중국

에서는 ‘이수격지(以水激之)’로 표현하여 수차 형식의 동력장치가 있다는 것을 알 수 있다. 등루의 총 높이는 동력장치까지 포함해 언급한 것으로 추정된다.

燈漏之制，高丈有七尺...以水激之.

등루의 제도는, 높이가 1장 7자이고...물로 부딪혀 움직이게 한다.

### 2.2. 지붕의 형상

외형 모습에 대한 설명은 다음과 같다. 등루의 상단 마루는 금속[金] 재질로 되어있다. 여기서 금(金)은 쇠를 이르는 것으로 생각된다.<sup>9</sup> 용마루와 구름 문양의 운주가 있고, 동쪽에 태양을, 서쪽에 달을 장식하여 두었다. 운주 아래에는 구슬을 매달았다. 들보의 양 끝에는 용머리로 장식했는데, 용은 주둥이를 벌리고, 눈알이 움직이는 구조를 갖는다. 눈알의 움직임으로 내부에 위치한 물시계인 평수호의 완급 조절, 즉, 수위 변화를 표현해주었다. 물시계의 특성상 수위에 따라 유속이 달라진다. 유속의 변화는 시간이 느리거나 빨라지는 것에 관계한다.

架以金為之，其曲梁之上，中設雲珠，左日右月。雲珠之下，復懸一珠。梁之兩端，飾以龍首，張吻轉目，可以審平水之緩急。

마루[架, 등(燈)의 덮개]는 금(金)으로 되어 있다. 그 굽은 들보[曲梁] 위 가운데에 운주(雲珠)를 설치하고, 왼쪽(동쪽)에 태양, 오른쪽(서쪽)에 달을 설치하였다. 운주 아래에 다시 구슬[珠] 하나를 매달았고, 들보[梁]의 양쪽 끝에 용머리로 장식하였는데, 주둥이를 벌리고 눈(알)이 구르는 것으로 평수(平水)<sup>10</sup>의 완급(緩急)을 살필 수 있다.

물의 수위를 살피는 방법으로 들보에 매달린 두 마리 용이 구슬을 살피는 것으로 설명한다. 또한 이렇게 설치한 모든 장치가 쓸모 있는 것임을 표현하고 있다.

中梁之上，有戲珠龍二，隨珠俯仰，又可察平水之均調，凡此皆非徒設也。

도량형도집, 법인문화사.

<sup>9</sup> 등루의 규모를 고려할 때 전체 골격은 금속(‘쇠’의 의미)으로 제작한 것으로 보인다. 다만, 금속의 재질이 어떠한 것인지 확정할 수 없다.

<sup>10</sup> 평수호(平水壺): 3단 물시계의 가장 아래 과수호의 명칭. 일례로, 종표관(鐘表館)의 동호적루(銅壺滴漏)의 경우, 맨 위부터 단계적으로 일천호(日天壺), 야천호(夜天壺), 평수호(平水壺)가 있고, 마지막으로 물을 받는 수수호(受水壺)가 있음.

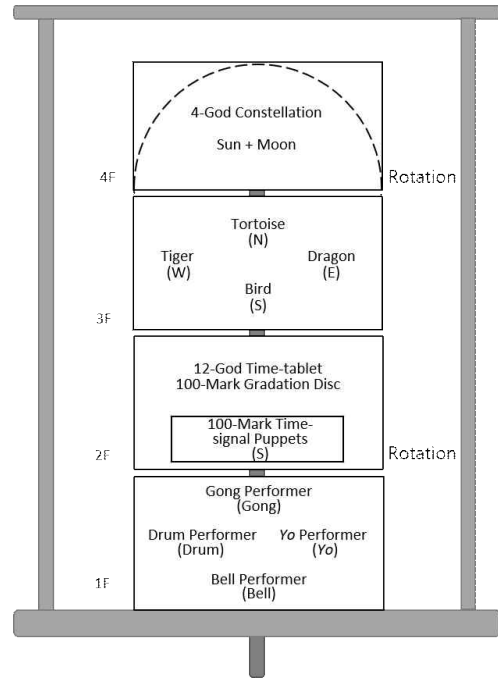


Fig. 1. Diagram illustrating the 4-floor configuration and its time-signal operation. Decorative elements on the 1st and 3rd floors rotate, while those on other floors remain stationary. On the 3rd floor, four animal divinities are positioned in their respective directions, with four time-jacks located at the four ordinal directions.

중앙 들보[中梁] 위에 구슬[珠]을 가지고 노는 용 두 마리가 있는데, (용들이) 구슬을 따라 굽어보거나 우러러보는 것으로 또 평수(平水)의 고른 정도[均調]를 살필 수 있다. 무릇 이런 것은 모두 쓸데없이 설치한 것이 아니다.

등(燈)을 장식하는 것으로 금(金)과 보석으로 표현하였다. 여기서 언급한 ‘금(金)’은 금(gold)장식을 나타낸 것으로 보인다.

燈毯雜以金寶為之.

등구(燈毯)는 금(金)과 보석을 섞어서 만들었다.

### 2.3. 본체의 구조

등루 본체의 내부는 총 4개 층으로 구분하여 설명하고 있다. 아래에서 위로 층의 순서를 매긴다면, 1층에는 악공 인형이 있고, 2층에는 100각 바퀴와 12신(神) 인형이 있으며, 3층에는 4개의 동물 신(神) 인형이 있고, 4층에는 별자리가 있다(Fig. 1 참조). 1·2층은 지상의 영역이고, 3·4층은 천상의 영역으로 구분되는 듯하다. 등루 원문은 천상의 영역인 4층부터 아래로 각 내용을 서술하

고 있다.

### 2.3.1. 천상 영역: 4층

맨 위(4층)의 환(環)에는 4신(四神, 4-god)의 별자리가 있다. 이는 적·황도면에 분포하고 있는 별자리를 지칭하는 것으로 추정된다. 이곳에서 일월(日月)이 운행한다. 특히 삼신(參辰)이 있다고 표현하고 있는데, 이는 혼천의 삼신의(三辰儀)를 연상시킨다. 삼신의는 북극을 중심으로 회전한다. 삼신의는 적도환, 황도환, 백도환이 있어서 붙여진 이름으로(Lee et al., 2010), 각각 일주하는 하늘, 태양의 운동, 달의 운동을 재현할 수 있다.

內分四層。上環布四神，旋當日月參辰之所在，左轉日一週。

안은 4층으로 구분된다. 위에는 환(環)이 4신(四神)(사신의 별자리)을 두르고 해당하는 태양(모형)과 달(모형)이 삼신(參辰)이 있는 곳에서 도는데, 좌전(左轉)하여 하루에 한 번 돈다.

다만 구조에 대한 의문이 남는다. 여기서 언급한 ‘환에 4신을 둘러싸’라는 서술이, 환(環) 구조에 4신을 붙였다는 것인지, 구(球) 구조의 둥근 환에 4신을 붙였다고 말한 것인지 확실하지 않다. 전자는 혼천의의 링(ring) 구조를 적용해야 하고, 후자는 혼상(渾象)의 구(球)를 활용하는 것이 적절하겠다.

이 층은 하루에 한 번씩 회전한다. 좌전(左轉)한다고 하였는데, 이는 왼손법칙(left-handed rule)을 의미하며(Mihn et al., 2021), 곧 하늘의 일주운동을 말한다.

### 2.3.2. 천상 영역: 3층

다음으로 3층에는 4신(四神, 용·호랑이·새·거북)들이 정해진 방향에 머물러 있다가 각(刻)에 맞추어 도약한다. 도약 시간은 요(鑿)<sup>11</sup>가 울리는 동안이다.

次為龍虎鳥龜之象，各居其方，依刻跳躍，鑿鳴以應於內。

다음으로 용, 호랑이, 새, 거북의 상(象)이 각각 그(자신의) 방위에 거처하고 각(刻)에 따라 도약하는데 요(鑿)가 울리는 동안(등루) 안에서 반응한다.

여기서 언급한 4신이 4층에서 말하는 환(環)을 두른 4신을 말하는 것인지 확실하지 않다. 통상 층을 구분하

<sup>11</sup> 요(鑿)는 타악기의 하나로 작은 징[鉦]으로도 부른다. 탁(鐃)과 같이 손에 들고 망치로 쳐서 소리를 낸다(『악학궤범』 권6, 257 ~ 267).

여 ‘4신’이라는 용어를 사용하였기 때문에, 4층의 4신과 3층의 4신이 다른 형태라고 이해할 수 있다.<sup>12</sup> 그런데도 만약 4층과 3층의 4신이 서로 같은 인형이라고 하면, 4층에서 언급한 환은 혼천의에서 보이는 환의 형태로 생각해 볼 수 있겠다. 본 연구에서는 4층의 4신과 3층의 4신이 서로 다른 형태의 부품이라고 보았다.

4신은 동물의 형상을 한 신(神) 인형이다. 즉 용, 호랑이, 새, 거북의 모습을 하고 있다. 이는 고구려 고분 벽화에서 보이는 청룡, 백호,朱雀, 현무 회화의 사신도와 같은 동물일 것으로 보인다.

4신 인형은 특정 시각에 맞추어 도약하는 연출을 한다. 그 신호는 각(刻, 14.4 min)마다 요가 울릴 때이다. 이에 대한 자세한 내용은 뒤에 다시 언급한다.

### 2.3.3. 지상 영역: 2층

그다음 2층 바퀴는 100각으로 나누고, 그 위에 시패(時牌)를 든 12신(神)을 설치하였다. 시패는 둥근 메달(medal)을 말하는데, 시패 안에 각각 12시진(時辰)이 새겨져 있다(Kim et al., 2011). 여기서 100각의 눈금은 12시 100각법에 따라 새겨야 한다(Lee et al., 2009).

해당 시간이 되면 4개의 문(門)으로 시각을 알려주는데, 4개의 문은 1·2층 4방위의 각 면 가운데에 위치한 창문을 말한다. 이는 1층에서 고약기와 악공들 간의 공간을 말한다. 그리고 100각의 눈금인 각수(刻數)를 지시하는 시보 인형(이하 ‘100각 시보인형’으로 부름)이 있다. 여기서 100각 시보인형은 창문 안에 고정되어 있고, 손으로 가리켜서 시간의 흐름을 각(刻)의 수치로 알려준다. 이를 위해서 100각을 새겨놓은 환이 회전해야 한다.

又次週分百刻，上列十二神，各執時牌，至其時，四門通報。又一人當門內，常以手指其刻數。

또 다음으로 바퀴[週]에 100각을 나누었고, 위에 12신을 벌려놓고 각각 시패를 잡고 있는데, 그 시각에 이르면 네 문에 통보한다. 또 사람 하나가 해당 문 안에서 항상 손으로 그 각수(刻數)를 지시한다.

### 2.3.4. 지상 영역: 1층

맨 아래층(1층)의 네 모퉁이에 악공과 고약기가 위치한다. 매시(每時)는 오늘날 2시간에 해당하는데, 이를 1시간 간격의 초(初)와 정(正)으로 구분했다. 초(初)와 정

<sup>12</sup> 사신(四神)은 두 가지 뜻이 있는데, 사성(四星) 즉 청룡, 백호,朱雀, 현무를 이리기도 하고, 남해(南海)의 신 축융(祝融), 북해(北海)의 신 현명(玄冥), 동해(東海)의 신 구망(句芒), 서해(西海)의 신 옥수(蓊收)를 이리기도 한다. 각 바다의 신은 시대에 따라 달리 나타난다.

(正)은 각각 4개의 각(刻)으로 나눈다. 등루에서 1각에는 종을, 2각에는 북을, 3각에는 징을, 4각에는 요를 친다. 매시 초(初)에도 그러하듯 매시 정(正)에도 동일한 타격 순서가 반복된다.

下四隅，鐘鼓鈺鑊各一人，一刻鳴鐘，二刻鼓，三鈺，四鑊，初正皆如是。其機發隱於櫃中。

아래에는 네 모퉁이에 종(鐘), 북[鼓], 징[鈺], 요(鑊)에 각 한 사람이 있어, 1각에는 종을 치고, 2각에는 북을 치고, 3각에는 징을 치고, 4각에는 요를 치는데, 초(初)와 정(正)이 모두 같다. 그 기기는 궤(櫃) 안에 숨어 있다가 나타난다.

2.3.5. 본체의 기능과 동작 특성

문헌 기록에서 제시한 시보 작동을 관련 기기와 비교 설명하고, 세부 움직임을 추론하여 다음과 같이 정리하였다.

첫째, 시보 작동 4층에서는 별자리 사이를 태양과 달이 옮겨 다니는 것으로 설명한다. 이러한 천체의 이동을 보여주는 기기로는 북송 때(1092년경) 완성한 수운의상대(水運儀象臺)와 세종 때(1435년경) 혼의·혼상(渾儀渾象)이 있다. 이들 기기에서 보이는 태양 운행과 유사한 연출로 추측해 볼 수 있는데, 별을 품고 있는 혼상의 구는 매일 한 바퀴씩 돌고 약 1°를 더 회전한다(Lee and Kim, 2012). 동시에 구면에 매달린 태양은 매일 약 1°씩 뒤로 후퇴해야 한다. 이것은 실제 하늘에서 일어나는 별들과 태양의 운동을 기계적으로 구현하기 위한 연출이다. 또한 태양과 달은 매일 약 12.2°씩 차이가 나며 멀어지도록 구성해야 한다(Lee and Kim, 2007).

둘째, 4신의 등장은 흠경각루에서도 동일하게 적용되었다. 흠경각루에서 4신은 가산(假山)의 동·서·남·북 방향에 배치하여 12시의 정해진 영역(3시간씩 배분)에서 초정(初正) 마다 90°씩 회전하도록 했다(Kim et al., 2011). 등루의 4신은 매 시진 초와 정(正)의 4각에 요가 울릴 때 도약하는 움직임을 보여준다. 이때 ‘4각’은 오늘날(24시) 매 시의 57.6분에 시작하고 2.4분의 길이를 가진다. 즉 4각에 요가 울리는 것은 매 시진 초정의 끝을 나타내지만<sup>13</sup>, 동시에 시작[初刻]을 의미하는 소리로 판단된다. 한편, 흠경각루와 마찬가지로 등루도, 4신에 신호를 발생시키기 위해, 맨 하단의 동력장치가 내부의 기륜으로 동력을 전달하는 체계를 동일하게 적용되었을 가능성이 있다.

셋째, 100각이 새겨진 환은 구조적으로 회전하도록 구성되어야 한다. 시각을 알려주는 100각 시보인형은

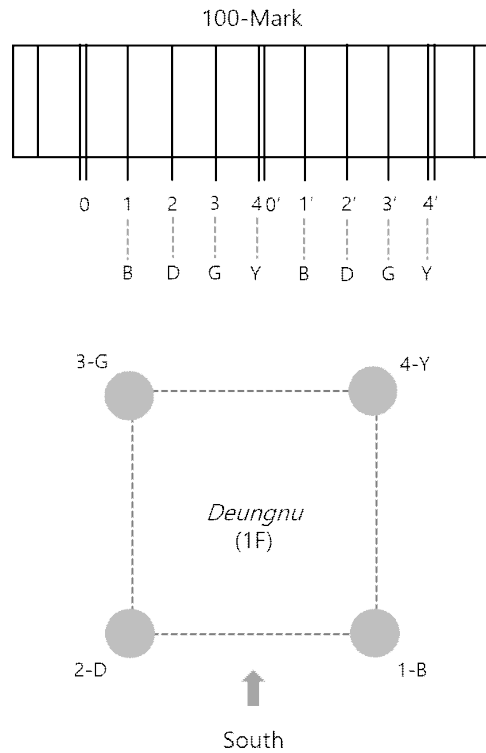


Fig. 2. The arrangement of performers with ancient musical instruments is as follows: 'B' represents a Bell player, 'D' stands for a Drum player, 'G' indicates a Gong player, and 'Y' denotes a Yo performer. The Yo, in this context, refers to a bell-like instrument equipped with a handle.

각 문(門)당 1명이 등장하는데, 그 규모가 언급되지 않았다. 따라서 100각 시보인형이 자리하고 있는 곳이 2층 공간이어야 하는지, 1층 공간에 있어야 하는지 모델링 작업을 통해 최적의 위치를 선정하는 것이 중요하다.

넷째, 4명의 악공과 4개의 고악기는 고정된 위치에서 고악기를 타격한다. 악공이 모퉁이에 있다면, 고악기는 앞서 언급된 4개의 문 앞에 있을 것으로 생각된다. 다만, 4명의 악공을 4유(維, 동남, 서남, 서북, 동북 방향)의 어느 위치에 배치하는지에 대해서는 언급하고 있지 않다.

악공 배치에 대하여 기본적인 구성을 다음과 같이 가정해 보았다. 동남쪽에 종(Fig. 2의 'B')을 치는 악공이 있도록 하고, 시간의 흐름에 따른 진행 방향(위에서 등루 중심을 바라볼 때를 기준)을 시계방향으로 정렬하도록 배치하는 것이다. 이러한 가정을 따르면, 서남쪽에 고인(鼓人)과 북(D)이, 서북쪽에 정인(鈺人)과 징(G)이, 동북쪽에 요인(鑊人)과 요(Y)가 배치된다. 이는 매시 초정의 첫 타종을 1각에 울리게 하고 이를 앞쪽(남쪽)에

<sup>13</sup> 『악학궤범』에 따르면, 요는 음악의 끝을 담당하는 것으로 기술하였다.

서 잘 보이도록 하기 위해서이다.<sup>14</sup> 홈경각루 시보대 위의 중 위치를 동편에, 북·징을 서편에 둔 것을 참고해 볼 때 등루의 경우도 유사할 것으로 생각된다(Kim et al., 2011).

### 3. 중국 등루 모델 분석

등루의 재현 모델은 중국 허베이성(河北省) 형싱타이시(邢台市)의 달활천(达活泉) 공원 내 광수경기념관(郭守敬纪念馆) 및 난징(南京)의 과학기술관에서 전시 중이다. 이외에도 베이징(北京)의 중국과학기술사관에서 전시된 바 있다.<sup>15</sup>

#### 3.1. 재현 모델

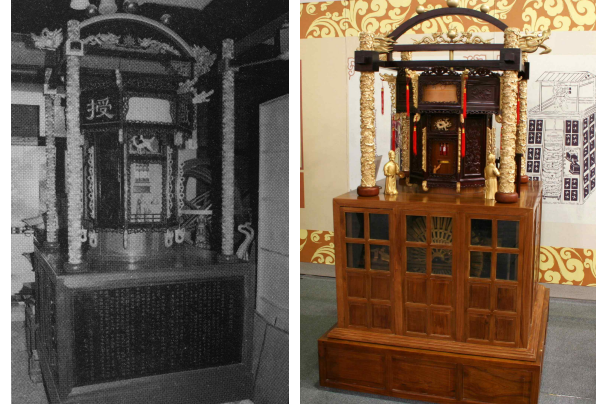
최근 중국에서 제작된 등루를 100각 시보인형의 형식에 따라 2가지 형태로 구분할 수 있다. Fig. 3(a)와 같이 광수경기념관의 모델(이하 ‘광수경관 모델’)은 악공과 고악기를 100각 눈금 바로 아래 배치하고 있다. 이와 다르게 Fig. 3(b)처럼, 북경과 남경의 과학기술관 모델(이하 ‘과기관 모델’)은 금속제 기둥 곁에 배치하여 두 모델을 쉽게 구분할 수 있다.

Jin & Hwa(2011)에 따르면, 2001년 10월에 쑤저우시(蘇州市) 고대천문계시의기연구소(古代天文計時儀器研究所)에서 등루 재현 모델을 개발했다. 이 모델의 전체 높이를 1장 7자의 1/2 크기로 제시했는데, 현재 광수경관에 전시된 것과 동일한 형태로 파악된다. 한편, 과기관 모델은 광수경관 모델보다도 더 작다.

주목할 부분은 두 재현 등루의 본체는 위에서 본 단면이 4각형이 아니라 8각형이라는 점이다. 이 본체 밖의 4유(維) 방향에 기둥이 있고 그 위에 지붕이 설치되어 있다.

시보 작동을 나타내는 상단의 4신 별자리 부분은 두 모델 모두 구 형태가 아닌, 일정 높이를 갖춘 환이다. 그 환에 별자리를 그려 놓았다. 광수경관 모델에서 별자리는 밤하늘의 기준이 되는 28수(宿) 별자리와 28수 명칭을 표시했다. 태양이나 달이 운행하는 것은 표시되어 있지 않다. 28수의 배치 방향은 전통적인 천문도류(천상열차분야지도 또는 소주천문도)에서 보이는 28수 진행 방향(시계방향)을 따르고 있다.

두 재현 모델 모두 100각 시보인형을 4개의 문 앞에 각각 배치하였다. 다만 악공의 위치가 서로 다르다. 광



(a)

(b)

Fig. 3. Reconstruction model of a *Deungnu*(燈漏). (a) from Guo Shoujing Memorial Hall (source: Jin & Hwa, 2011), and (b) from the Nanjing Science and Technology Museum (source: Kim et al., 2017a).

수경관 모델은 100각 시보인형과 동일한 공간에 두었고, 과기관 모델은 4개의 기둥 주변에 배치하였다. 또한 등루 중심을 기준으로 했을 때, 종·북·정·요의 위치는 광수경관 모델은 시계방향으로 배열하고, 과기관 모델은 반시계 방향으로 기둥에 배치하였다. 광수경관 모델은 정면(남쪽)에 종인을 배치하였고,<sup>16</sup> 과기관 모델은 정면 우측에 종인과 종을, 좌측에 요인과 요를 배치하여 두 모델 간 차이가 있다.

두 재현 모델 모두 4개의 문에 동일한 12신의 시패가 위치하게 되고, 4방향에서 동일한 시각을 읽을 수 있다. 12신 인형 아래 100각의 바퀴도 100각 시보인형의 손이 지시하는 눈금을 보고 알 수 있다. 이렇게 구현하기 위해서는 내부를 두 가지 구조로 유추해 볼 수 있다. 하나는 등근 원판을 1/4씩 구간으로 나누고, 각각 12시진 시패인형을 배치하는 방법이다. 이럴 경우, 등근 원판에는 모두 48명의 시패인형이 놓인다. 주동력 기륜이 1회전시 큰 원반은 1/4회전 동력만 전달되어야 한다. 다른 방법으로는 작은 원판 4개를 구성하고 각각 12시진 시패인형을 배치하는 방법이다. 이 경우 4개의 작은 원반은 각각 하루 1회전 하도록 해야 한다. Fig. 3에서 12신 인형이 조밀하게 배치하고 있어 하나의 원판에 48명의 인형이 놓여 있을 것으로 예상된다.

등루 하단부는 동력을 발생시키는 부분이다. 광수경관 모델은 전면부 및 양 측면이 목재로 마감되어 있지만, 후면이 유리로 마감되어 있다.<sup>17</sup> 과기관 모델 역시 전면부 상단이 유리로 마감되어 있어 두 모델의 동력

<sup>14</sup> 세종대 홈경각루는 가산 앞쪽을 남쪽(12시진의 오시 방향)으로 삼고 시간 관리를 위한 관인을 배치했는데, 등루의 배치도 기기의 남쪽 면을 기준으로 삼았을 것으로 판단하였다.

<sup>15</sup> 중국과학기술관 특별전(2012.1.)을 통해 대중들에게 공개되었다. 등루는 다양한 기관에서 형태와 규모를 다르게 하여 전시하고 있으나, 본문에서는 중국의 대표 과학관이라고 할 수 있는 중국과학기술관 전시 모델을 대상으로 기술하였다.

<sup>16</sup> 등루 맨 위에서 바라본 고악기 배치 모습.

<sup>17</sup> 광수경기념관에 설치된 재현 유물의 동영상 자료를 통해 확인할 수 있었음.

방식을 대략 유추해 볼 수 있다. 동력 발생은 물시계와 수차 기륵에 의해 작동되는 형태로 북송대 수운의상대의 형태를 따르고 있다.<sup>18</sup>

### 3.2. 기술자료 분석

중국 쑤저우 고대천문계시의기연구소에서 재현한 대명전 등루의 기술자료<sup>19</sup>가 공개되어 있다. 외형 구조는 좌대(座臺), 기둥(立架), 들보[曲梁], 일월삼신기륵(日月參辰機輪), 용·호랑이·새·거북(龍虎鳥龜), 종·북·장·요(鐘鼓鉦鑼)로 이루어진 고악기(古樂器), 구동장치와 추륵(樞輪, 수차)으로 구분한다. 기술자료에서 밝힌 대명전 등루의 구조와 작동 설명을 요약해 정리하였다.

기둥(pillar)은 좌대(plinth) 위에 설치되어 있는데, 들보(girder)와 골격 구조를 형성한다. 들보 중간에 수위를 관측하는 쌍룡희주(雙龍戲珠, double play dragon with ball) 부품이 있어 들보 양측에 수위 변화를 살피는 용머리 부품(dragon head)이 있다.

좌대 내부에는 수차 기륵(water wheel)을 두어 동력을 발생하도록 했다. 동력 방식은 북송대(北宋代) 수운의상대 복원 모델에 적용한 천형(天衡) 시스템을 차용했다(Kim et al., 2016).

세부적인 구성을 살펴보면, 4층(맨 위)의 일월삼신기륵(gear wheel rotating for the equator, ecliptic and moon-pass rings)에 등롱(燈籠)<sup>20</sup> 나무틀(lantern wooden frame)이 설치되어 있고 태양과 달, 별을 새겨서 매일 한 바퀴씩 회전한다. 이는 태양이 동에서 뜨고 서쪽으로 지는 것을 상징한다.

용·호랑이·새·거북(4-god)은 3층에 위치하는데, 구조상 동·서·남·북 4방향을 따라서 순차적으로 설치되어 있고, 접촉하여 작동하는 구조로 되어 있다. 중심축에는 몇몇 짧은 빗장이 설치되어 용·호랑이·새·거북이 각(刻)에 뛰어오르게 한다.

회전 원반에 100각을 새기고(100-Mark graduation disc), 둘레에 십이신인(double-hour jacks)<sup>21</sup>이 균등하게 배열되어 있다. 각 신인(神人)은 1시진(時辰)을 나타낸다. 3층에는 목인(木人, 곧 ‘100각 시보인형’, 100-Mark time-signal puppets)이 있고 이 목인이 손으로 각(刻) 단위의 시각을 가리킨다.

1층에는 4명의 목인이 있고, 각 목인(이후로는 ‘타격 목인’으로 부름)은 고악기와 대응한다. 고악기륵(ancient musical instrument’s gear wheel)은 반시진(半時辰)마다 한 바퀴를 도는데, 그 위에 긴 빗장이 연결되어 있다. 이 긴 빗장은 목인이 접촉하는 구조와 대응하여 타격 목인이 1각에는 종을 울리고, 2각에는 북을 두드리고, 3각에 징을 치고, 4각에 요를 두드리게 한다.

이상의 대명전 등루 기술자료에 따르면, 등루의 형상은 고대로부터 사용해 온 등롱으로 보았고, 높이는 약 5.4 m로 제시하였다. 대체로 기존의 문헌에서 언급한 내용을 중심으로 서술되어 있지만, 내부 작동 부분에 대한 추가적인 서술이 포함되어 있다.

기술자료에서 밝힌 등루는 내구성이 높은 재료를 선택했다. 금속으로는 황동이나 스테인리스(Stainless) 재료를 사용하고 목재의 경우 탈지(脫脂), 건조, 침유(浸油), 방수, 비틀림 방지 등의 처리를 거쳐 나무의 부패, 변형 혹은 화재를 방지하고 안정성을 향상하도록 하였다.

## 4. 등루 시보시스템의 모델

등루를 소개하고 있는 옛 문헌자료와 기술자료 등을 참고하여 시보장치 모델링 작업을 진행했다. 이 작업을 통해 전체적인 시보 작동 메커니즘을 이해하고, 조선의 자동 물시계와 비교하는 데 활용하고자 한다.

### 4.1. 설계 착안점

등루를 소개한 문헌 분석 내용, 재현 모델과 기술자료 등을 기초하여, 등루 시보시스템의 운행 메커니즘에 대하여 다음과 같이 설정하였다.

시보 작동의 4층은 4신(神) 별자리, 태양과 달이 있는 공간이다. 이 4층에 속한 기륵은 천구의 일주운동처럼 하루에 한 번 회전한다.<sup>22</sup> 여기서 4신 별자리는 고구

<sup>18</sup> 두 모델 하단의 동력 부분이 실제 작동하는지에 대한 여부는 정확히 파악할 수 없으나 외형상 드러나는 모습과 구조를 볼 때, 작동하지 않는 전시용 모델로 생각된다.

<sup>19</sup> 중국 국가지식재산권국에 제출된 대명전 등루의 실용신형특허 자료.

<sup>20</sup> 대오리나 쇠로 살을 만들고, 곁에 종이나 형짚을 덮어씌워 그 속에 촛불을 켜놓는 형식의 등.

<sup>21</sup> 등루의 십이신인(十二神人)은 조선의 보루각루나 흠경각루에서 12지신(十二支神, double-hour jacks 또는 twelve zodiac animals)과 동일한 의미로 파악된다.

<sup>22</sup> 실제로 밤하늘의 별자리는 1일 1회전 한 후 1도만큼 더 운행해야 한다. 본 연구에서 1회전 하는 것은 1도를 더 운행하는 것을 포



려 고분벽화의 사신도와 같은 회화적 이미지(Yang et al., 2003)에, 천상열차분야지도에서 보여주는 28수의 별자리로 구성된다고 가정한다. 다만 4신 별자리가 ‘삼신(三辰)의 환’, 즉 일정한 너비를 갖는 환 위에 표현될 때는 혼상(渾象)에서 보이는 28수 별자리의 배치로 연출되어야 한다. 즉 4신 별자리는 천상열차분야지도의 4신 별 그림에 대해 역상(mirror image)으로 배치되어야 한다.<sup>23</sup> 본 설계에서는 혼상의 별자리 배치대로 28수를 등근 환에 부착한 모습으로 구현한다.

다음으로 고려할 사항은 문헌에 나오는 태양과 달의 구현 방식이다. 태양과 달의 운동은 수동으로 작동한다고 가정한다. 28수 별자리가 그려진 환(일월삼신기륜으로 구동)은 수차 동력에 의해 매일 회전한다. 이때 이 별자리 환 밖으로 황도환과 백도환을 설치하고 각각 태양상(太陽象)과 태음상(太陰象)을 넣고 뿔 수 있는 구멍을 만든다. 황도환은 365개의 구멍을 만들어 매일 태양상을 반시계 방향으로 이동시킨다. 반면 백도환은 쌍환으로 만들어 두 환에 지그재그로 구멍을 만드는데, 총 59개의 구멍을 만들고(Mihn et al., 2021), 매일 태음상을 2구멍씩 띄어 이동시킨다.<sup>24</sup> 왜냐하면 태양의 위치가 황도상 매일 약 1°씩 이동해야 하고, 달의 위치도 매일 약 13.2°씩 움직여야 하기 때문이다.

시보 작동의 3층은 4신이 있는 공간이다. 4신의 운행은 매각에 따라 순차적으로 움직일 수도 있고, 한꺼번에 움직일 수 있다. 문헌에서는 “각(刻)에 따라 도약하는데 요(鑿)가 울리는 동안(등루) 안에서 반응한다.”고 하였다.<sup>25</sup> 고약기는 4방향의 4개가 등장하는데, 요 하나만을 언급한 것은 중·북·정 타격 때는 반응이 없다가 요가 울릴 때만 운행하는 것처럼 묘사했다. 본 연구에서는 1시진(時辰)의 초·정 시각에서 4각 신호인 요가 울릴 때 4신이 동시에 움직이는 것으로 설계하였다.

시보 작동의 2층은 12신 시패, 100각 눈금, 100각 시보인형이 있는 공간이다. 100각 시보인형은 4방향에 각각 배치되어 있어 시간을 측정하고자 하면, 어느 방향에서나 볼 수 있도록 했다. 12신 시패와 100각 눈금을 4방향에서 동일하게 볼 수 있는 방법은 다양하다. 본 연구에서는 2가지 방안에 대하여 제시하였다.

합한 표현이다.

<sup>23</sup> 혼상 구에 그려진 28수 별자리와 진행 방향은 천상열차분야지도의 그것들과 반대이다. 천상열차분야지도는 구 중심에서 하늘을 바라보는 투사법이지만 혼상 구는 천구 밖에서 구심으로 바라보는 투사 방법을 사용하기 때문이다. 그런 연유로 혼상 구 별자리 이미지는 우리가 하늘을 볼 때와 좌우 대칭이고, 28수 진행도 반시계 방향이 되는 것이다.

<sup>24</sup> 백도환에서 태음상의 이동은 월주(月周) 운동(syzygy motion)이라고 한다. 관련 내용은 Mihn et al.(2021) 참고.

<sup>25</sup> 依刻跳躍, 鑿鳴以應於內.

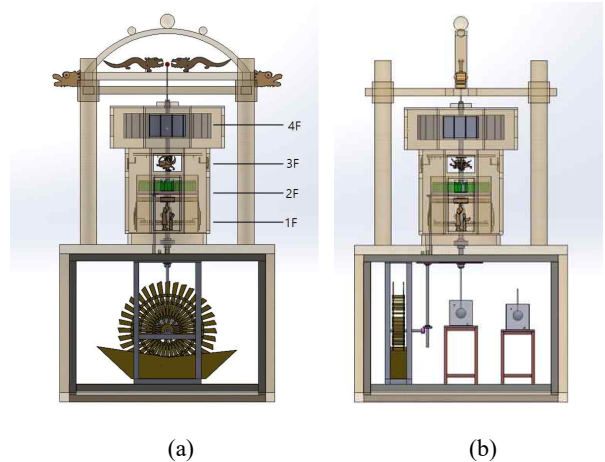


Fig. 4. Type I *Deungnu*'s model with 3D modeling in our study: (a) Front view (facing south), and (b) Side view (facing east).

Type I: 시패와 눈금을 등근 환을 이용하여 표현할 때 1/4영역마다 동일하게 표시하는 것이다.

Type II: 작은 등근 환을 4개로 구성해 같은 효과를 볼 수 있도록 구동하는 방법이 있다.

시보 작동의 1층은 4명의 악공과 4개의 고약기가 있는 공간이다. 문헌에서는 악공과 고약기의 위치가 명확하게 나와 있지 않다. 본 설계에서는 Fig. 2와 같이 악공과 고약기를 배치하도록 설계한다.

#### 4.2. 3D 모델링

본 연구에서는 시보 작동 부분을 중점적으로 연구하였지만, 중국의 재현 모델, 기술 자료를 참고하여 동력 전달 메커니즘을 포함해 모델링 작업을 진행했다.

Fig. 4는 Type I의 등루 모델링 자료를 나타낸 것이다. 1층에는 중·북·정·요를 배치하고, 1각에 중을, 2각에 북을, 3각에 정을, 4각에 요를 타격한다. 타격은 반시진마다 반복한다. 2층에는 48명의 12지신 시패 인형과 등근 환에 4개의 100각 눈금을 새겨넣었다. 3층에는 4신에 해당하는 용·호랑이·새·거북을 동서남북에 배치하고, 요가 울릴 때 움직인다. 4층은 등루 조명기구에 해당하는데, 별자리가 1일 1회전 한다.

Fig. 5는 Type II의 등루 모델링 자료를 나타낸 것이다. 1층 구조는 Type I과 같으며, 2층에는 12명의 12지신 시패 인형을 네 쌍으로 각 방향에 배치한 점이 Type I과 다르다. 3층과 4층의 구조는 Type I과 같다.

Fig. 6(a)는 Type I 등루 모델의 기륜 구성도를 나타낸 것이다. 수차동력은 동력기륜(W0)으로 전달되며, 각각 고약기기륜(W1), 12시 시패와 100각을 나타내는 시각기륜(W2), 4신기륜(W3), 일월삼신기륜(W4)으로 전달



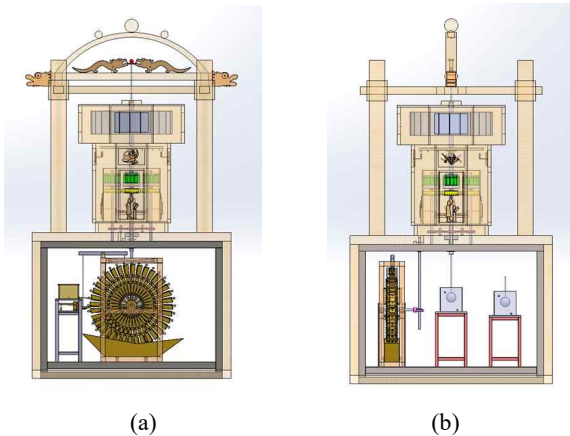


Fig. 5. Type II *Deungnu*'s model with 3D modeling in our study: (a) Front view (facing south), and (b) Side view (facing east).

된다. 고악기 타격을 위해 기륜 상단에 걸턱 장치를 마련했다. 시각기륜 상단은 12신 시패인형을 배치하고, 하단에는 100각 눈금이 보인다. 4신기륜은 하단에 4신이 작동할 수 있는 장치를 마련해 두었다. 이때 동력기륜(W0)과 시각기륜(W2)의 회전비는 4:1이다.

Fig. 6(b)는 Type II 등루 모델의 기륜 구성도를 나타낸 것이다. 수차 동력이 동력기륜(W0)으로 전달되는 것은 Type I과 동일하다. 다만 시각기륜(W2)에는 4개의 12시진 시패와 100각 눈금이 있는 곳으로 동력을 분산하여 배치했다. 동력기륜(W0)으로 전달된 동력은 시각기륜 전달기어(W2a)를 통해 2개의 연결기어(W2b, W2c)로 전달된 후 시각기륜(W2)으로 전해진다. 결국 동력기륜(W0)과 시각기륜(W2)의 회전비는 1:1이 된다.

Fig. 6(a)와 (b)의 시보 작동 개념도처럼, 먼저 Type I은 100각기륜의 수직 기어 축이 1개로 그 위에 48개의 12지신 시패가 하루에 1/4회전 하는데, Type II는 100각기륜의 수직 기어 축이 4개로 각기 그 위에 12지신 시패가 올려져 있도록 설계되어 하루에 1회전씩 한다. 이 두 가지 형식의 공통점은 모두 100각을 지시하는 12시패 인형을 서로 밀착하여 배치한 점이다.

## 5. 토의

본 장에서는 원대 등루의 재현품, 기술자료, 모델링 자료를 통해 세종대 보루각루와 함경각루의 시보 작동구조에 대하여 쟁점별로 논의하였다.

### 5.1. 4신(神)

등루의 4방향에 위치한 4신은 세종대 함경각루에서도 동일하게 적용되었다. 등루 4신의 세세한 동작은 표현하고 있지 않지만, 함경각루의 4신은 조선왕조실록 기

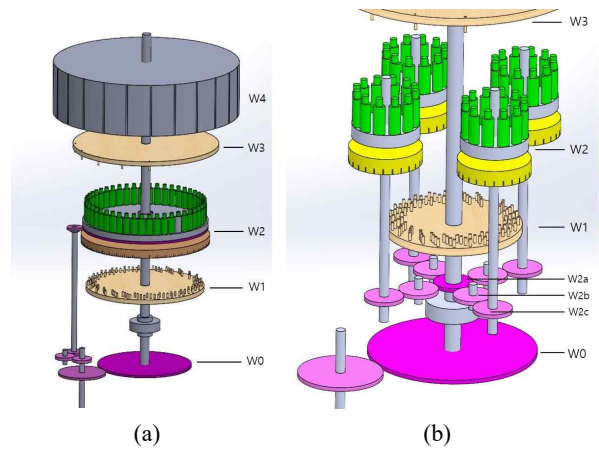


Fig. 6. Structure of the mechanism wheels of *Deungnu* model (a) Type I, (b) Type II.

록에서 명확히 설명하고 있다.

함경각루의 4신은 4방향에 설치되어 있는데, 모두 산 중심을 바라본다. 동쪽의 청룡(靑龍)은 인시, 묘시, 진시를 담당하고, 남쪽의 주작(朱雀)은 사시, 오시, 미시를 담당한다. 서쪽의 백호(白虎)는 신시, 유시, 술시를 담당하고, 북쪽의 현무(玄武)는 해시, 자시, 축시를 담당한다.

예를 들어 청룡신은 3시진을 담당하는데, 2시간 간격으로 90°씩 회전한다. 3시진이 지나면 청룡신은 원래의 위치로 되돌아온다. 이때 주작신도 2시간 간격으로 움직이며, 3시진이 지나면 원래의 위치로 되돌아온다. 백호신과 주작신도 마찬가지로이다. 여기에 4신과 대응하는 4명의 옥녀(玉女)가 등장하며, 해당 신이 관장하는 동안 반시진마다 금탁(金鐸, 이하 ‘탁’)을 흔들어 주었다.<sup>26</sup>

이러한 측면에서 4신의 도약 기능을 하는 등루는 아주 간소한 운행을 보여주는 것으로 이해되며, 이를 세세하게 연출하여 발전시킨 것이 함경각루로 볼 수 있다.

### 5.2. 12시 100각

원대 등루에서 보이는 12신 시패와 100각 눈금은 북송 때 완성된 수운의상대의 전통을 잘 계승하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 전통은 조선 세종대 보루각루와 함경각루에서도 잘 드러난다.

보루각루 수수호에 적용된 부전(떠오르는 갓대)에는 12시진과 100각 눈금이 새겨져 있다. 시보장치의 시각 알람 창을 통해 볼 수 있는 12시진 시패 인형도 비슷한 형식이 적용된 것을 확인할 수 있다.

<sup>26</sup> 『세종실록』, 20년 1월 7일(임진), 玉女四人, 手執金鐸.

하지만, 12시진 시패를 어떻게 보여줄 것인가에 대해서는 다른 점이 존재한다. 등루가 4방향에서 바라보는 시각 정보를 주었다면, 보루각루는 한 방향에서의 시각 정보를 얻을 수 있다. 따라서 12시진 시패의 연출은 흥경각루의 4방향에서 바라보는 형식에 가깝다고 할 수 있다. 다만, 흥경각루는 중심의 가산을 중심으로 12시진을 배치하는 구조라면, 등루는 모든 방향에서 같은 시간정보를 살필 수 있다는 차이점이 있다.

중국의 원대는 1시진을 8각(刻)+1/3각으로 사용하는 데, 조선 전기도 유사한 시각 체계를 사용했다(Lee et al., 2009). 조선 전기 사용한 시각체계에서 매 초(初)와 매 정(正)은 4각+1/6각을 배분해 사용한다. 등루의 문헌에서는 4개의 4각만 제시하고 있어 나머지 1/6각을 실제 눈금에 적용했는지 확인할 수는 없다. 다만, 요를 올리는 것이 4각(1각은 매 시 14.4 min에 해당하며, 4각은 매 시의 57.6 min이다.)에 이루어지고, 요가 올리는 시각에 4신이 움직이는 것으로 연출한 것으로 볼 때 1/6각을 엮두에 둔 운영으로 판단된다. 그리고 이 시간(57.6 min ~ 정각까지의 2.4 min) 동안 4신의 공연(performance)이 이루어졌을 것으로 추정된다. 이러한 공연을 멈추면 매 시진 초정의 초각(初刻)이 된다.

등루의 시각 구현에서 12시 100각법에 대한 것은 있으나, 주전(籌筭)을 활용한 밤의 경점 시각에 대한 부분은 없다(Yun et al., 2021). 이는 수운의상대, 보루각루, 흥경각루의 사례와 다른 점이다.

등루를 비롯하여 보루각루와 흥경각루에도 모두 고악기가 등장한다. 등루에 등장하는 고악기는 중·북·징·요로 모두 4개이다. 보루각루와 흥경각루에는 중·북·징으로 3개의 종류만 등장한다. 두 물시계에서 12시진 시각은 종을 통해, 밤에 사용하는 경점 시각은 북과 징을 이용했다. 하지만 흥경각루의 경우엔 4신과 대응하는 옥녀가 탁을 흔들어 시간을 알렸기에, 탁을 포함하면 총 4개의 고악기로 볼 수도 있다. 『악학궤범』에 따르면, 요와 탁을 같은 범주에 놓고 기술하고 있으며, 형태가 유사한 것으로 소개했다.

흥경각루는 4방향의 4신과 4명의 옥녀, 평지의 12신과 12명의 옥녀의 연출을 살리면서도 시간을 알려주는 기능을 중앙무대 전면에 배치한 점이 등루와 대비되는 점이다. 보루각루와 흥경각루는 시간을 알려주는 전용 공간인 시보대(時報臺)가 따로 마련되었다. 보루각루의 시보장치 상단과 흥경각루의 가산 앞쪽의 공간이 그것이다. 시간을 통제하고 집중하는 배치가 당시의 시보에 대한 왕실의 의무와 중앙집권적인 제도 상을 반영한 것으로 보인다.

### 5.3. 수차 동력

본문에서 등루의 동력시스템은 자세히 다루지 않았다.

북송 수운의상대의 천형 시스템을 적용해 정속 운동을 갖춘 동력이 적용되었을 것으로 추정할 뿐이다.

세종 때 제작한 두 가지 형태의 자동 물시계 중에서 보루각루는 부력의 힘으로 운행되며, 흥경각루는 수차 동력으로 운행된다. 따라서 수차 동력을 기반으로 완성된 북송대 수운의상대, 원대 등루, 조선의 흥경각루가 유사한 동력 방식으로 적용했을 것으로 판단된다.

수차가 운영되는 공간은 수운의상대가 방형의 공간에 기륜과 수차를 배치하고 있는데, 등루에서도 방형 또는 8각형의 공간에 배치되었을 것으로 추정된다.

중국의 등루 재현 모델은 전체 높이를 5.4 m로 보았고, 여기에는 기륜, 수차, 물시계 등을 포함하고 있다. 흥경각루에서는 가산의 높이가 7자(주적으로 1.4 m)로 하였는데, 이때 7자의 높이에는 동력장치인 기륜과 수차 공간이 들어가는데 매우 협소한 공간이 된다. 따라서 동력 발생을 고려한 흥경각루의 전체 높이는 3 m 내외로 보는 것이 자연스럽다. 이러한 수차시스템은 중국의 수차 동력 물시계처럼 방형의 공간에 배치된 것으로 보인다(Kim et al., 2017b).

### 5.4. 외형 연출과 시각 연출

등루와 흥경각루는 다양한 볼거리를 제공한다는 측면에서 상당 부분 관련성이 제기된다. 먼저 4신의 존재이다. 비록 세부 작동은 다르더라도 4신의 배치를 통해서 시각적 정보를 주고자 했다.

등루에서 물의 수위를 알려주거나 공급할 때 구슬과 용머리 장식 등의 변화가 보여주는 연출이 있었다. 이는 보루각루와 흥경각루처럼 구슬이 시각의 신호를 발생하는 역할과 차이가 있다. 원대에 제작된 구루나 보산루에 구슬이 시각신호를 발생하는 기능이 있었을 수 있지만 자세한 기록이 없어 확인할 수 없다. 어쩌면 보루각루와 흥경각루의 구슬시보 기능은 세종과 장영실의 별도 창작일 가능성도 있다. 이슬람의 알 자자리(al-Jazeri, 1136 ~ 1206)가 제작한 코끼리 물시계에서 보이는 구슬도 시각 신호를 발생하는 방식은 유사하지만, 보루각루의 구슬에 비하면 극히 단순한 역할만 수행하였다.

한편, 구슬과 용머리 장식의 연출은 흥경각루 기기(欵器)의 작동이 보여주는 공통적 의미를 생각해 볼 수 있다. 물시계 내부의 상황을 외적 공간으로 확장하여 수위 변화를 알려주거나 넘치는 물의 양을 활용해 기기를 연출하였다. 흥경각루의 기울어진 기기에 물이 공급되고, 기기는 바로 서고, 물이 가득 차면 기울어지는 연출을 통해 절제된 권력을 상징적으로 보여주었다.

등루는 기본적으로 12시 100각 시각만 알려줄 뿐 밤에 사용한 경점시각을 알려주지 않았다. 조선의 상황에서 보자면 국가표준시계인 보루각루와 임금을 위한 전

용시계인 흠경각루는 모두 야간의 시각 제도인 경점법이 적용되었다. 한편으로, 등루의 시각 연출이 원대에서 야간 활동의 국가적 통제가 조선의 경점법의 모습처럼 심하지 않았거나 궁내에서 그러한 시간 통제가 불필요했던 것을 반영하는 것일 수도 있다.

## 6. 결론

조선에서 장영실은 두 가지 형식의 자동 물시계를 개발했다. 부력 기반의 보루각루와 수차 동력 기반의 흠경각루가 그것이다. 이 두 물시계에 영향을 준 것으로 알려진 원대 궁루와 등루가 있는데, 궁루 형태에 대해서는 거의 알려지지 않았다.

『제가역상집』에는 원대 궁루보다 먼저 제작되었던 등루의 기록을 확인할 수 있고, Nam(1995), Jeon(1994), Needham et al.(1986)은 궁루와 등루가 조선의 자동 물시계에 영향을 준 것으로 보았다.

본 연구에서는 시보 작동이 비교적 자세히 기술된 등루의 문헌과 중국에서 재현하여 만든 대표적인 등루 모델과 기술자료로 세부 기능과 역할을 분석하였다. 이러한 작업을 통해 두 가지 형식의 3D 모델링 자료를 완성하였다. 먼저 Type I은 100각기륜의 수직 기어 축이 1개로 그 위에 48개의 12지신 시패가 하루에 1/4회전 하는 데 비해, Type II는 100각기륜 수직 기어 축이 4개로 각기 그 위에 12지신 시패가 올려져 있도록 설계되어 하루에 1회전씩 하는 점이 Type I과 다르다. 이 가운데 Type II는 본 연구에서 새롭게 제시하는 개념이라는 점에서 향후 등루의 복원 방향에 다양성을 제시할 수 있다.

원대에 제작한 등루는 복송 때 수운의상대의 영향을 받아 제작된 것으로, 160여 년 뒤에 만들어진 조선의 흠경각루는 등루의 수직식 기계장치와 시각적인 연출 부분과 닮아있고, 기능과 역할이 임금을 위한 전용 물시계로 활용된 것임을 알 수 있었다.

등루와 흠경각루는 자동으로 움직이는 기계장치인 오토마타(automata)로 일종의 공연을 위한 시계의 전형으로 볼 수 있다. 4신의 배치와 운행, 12시 100각의 시각 정보 연출, 내부 구조를 외부 공간으로 확장하는 등 다양한 볼거리를 제공해 자동기술을 접목한 물시계라고 할 수 있겠다.

특히 등루(13세기)와 흠경각루(15세기)의 인형에 의한 시보장치, 태양 운행 시스템 등 제작 원리와 기계장치들은 당시 동아시아의 대표적인 기술로서 원과 조선의 과학 창조성과 우수성을 상징하는 발명품이다.

## ACKNOWLEDGMENTS

이 연구는 2022년 국립중앙과학관 기본연구과제 “조선 전기 자동 물시계의 주전(籌箭) 전시품 개발 연구(연구책임자 윤용현)”와, 2023년 국립중앙과학관 기본연구과제 “조선시대 원구형 해시계 체험 전시품 개발 연구(연구책임자 윤용현)”의 지원으로 수행되었습니다. 또한 이 논문은 2023년 및 2024년 정부(과학기술정보통신부) 재원으로 한국천문연구원 ‘고천문 자산의 과학적 활용과 동북아 협력 연구’ 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Hong Y. -S., 1946, History of Joseon Science, Jeongeumsa (Seoul), p.155.
- Jeon S. -W., 1994, Time and Clock, and History, Wolgan-Sigyesa (Seoul), pp.81-82.
- Jin M. D. & Hwa D. W., 2011, Zhongguo Jishi Yiqi Tongshi, Anhui Education Press (Hefei), pp.523-529.
- Kim S. H., Ham S. Y., & Lee Y. S., 2017a, Jang Yeong-Sil's Heumgyeonggaknu, and Science Walk, Minsokwon (Seoul), p.71.
- Kim S. H., Ham S. Y., & Lee Y. S., 2016, Model Design for Water Wheel Control System of Heumgyeonggaknu, JASS, 33, 55
- Kim S. H., Lee Y. S., & Lee M. S., 2011, A Study on the Operation Mechanism of Ongnu, the Astronomical Clock in Sejong Era, JASS, 28, 79
- Kim S. H., Yun Y. -H., Ham S. Y., Mihn B. -H., Ki H. -C., & Yoon M. -K., 2017b, A Study on an Analysis and Design of the Internal Structure of Heumgyeonggak-nu, JASS, 34, 171
- Lee Y. S. & Kim S. H., 2007, Study on the Structure and Working Principle Of Song I-Yöng's Armillary Clock, JASS, 24, 167
- Lee Y. S. & Kim S. H., 2012, Structure and Conceptual Design of a Water-Hammering-Type Honsang for Restoration, JASS, 29, 221-232.
- Lee Y. S., Kim S. H., & Jeong J. H., 2009, Automatic Clock and Time Signal System of the Astronomical Agency in East Asia Area, JASS, 26, 355
- Lee Y. S., Kim S. H., Lee M. S., & Jeong J. H., 2010, A Study on the Armillary Spheres of the Confucianists in Joseon Dynasty, JASS, 27, 383
- Mihn B. -H., Yun Y. -H., Kim S. H., & Ki H. -C., 2021, A Study on the Armillary Sphere of Tongcheon-ui Described by Hong Dae-Tong, PKAS, 36, 79
- Nam J. -J., 2013, Korean translation Jegayeoksangjip, King Sejong the Great Memorial Society (Seoul), pp.194-195
- Nam M. -H., 1995, Korean Water-Clocks: Jagyongnu, The Striking Clepsydra & The History of Control & Instrumentation Engineering, Konkuk University Press (Seoul), pp.175-176.
- Needham J., Lu G. -D., Combridge J. H., & Major J. S., 1986, The Hall of Heavenly Records: Korean Astronomical Instruments and Clocks 1380-1780,

Cambridge Univ. Press (Cambridge), pp.39-40.

Yang H. -J. & Park M. G., 2003, A Study of Sasin-Animal Sky Map on Chonmunryucho, JASS, 20, 83

Yun Y. -H., Kim S. H., Mihn B. -H., & Oh K. -T., 2021, A Study on the Jujeon of Automatic Clepsydra in Early Joseon Dynasty, PKAS, 36, 65