

조선초기의 시제와 세종의 자격루:(1) 물시계

Horary System of the Early Choson and the King Sejong's Striking Clepsydra : (1) Water-Clocks

남 문 현 · 한 득 영 (건국대학교)

Nam Moon-Hyon · Han Deuk Young(Konkuk University)

ABSTRACT

King Sejong's Striking water-clock which brought in use on the first of July in 1434 was mainly composed of timekeeping and time announcing parts signalling twelve double-hours, and five night-watches and night-watch-divisions automatically by means of ball-operating jackworks. The clock was arranged with dual timekeeping system, the one for a full day(twelve double-hours) and the other for five night-watches achieving twelve double-hours and one-hundred interval horary systems. The vessels were arrayed in inflow-type water-clock, a large reservoir on the highest story, a constant-level tank for supplying water to the measuring vessel evenly in the middle, and the lowest tank to receive water from the above constant-level tank. An indicator-rod on the float was raised upwards depending on the water-level increase to show timing scales and also to release small bronze balls from the ball-rack mechanisms implanted on the measuring vessel to signal timing intervals.

Keyword : horary system(시제), twelve double-hours(12시), five night-watches(5경),
the King Sejong's Striking Clepsydra(세종자격루), analog-digital converter
(아날로그-디지털 변환기), measuring vessel(계량호)

I. 서론

우리나라 역사상 과학기술의 황금시대였던 조선조 세종대에는 1432년부터 7년간의 대역사인 의묘창제(儀表創制)사업을 펼쳐 해시계인 혜주, 정남, 천평, 양부일구(懸珠, 定南, 天平, 仰釜 日晷), 물시계인 자격루(自擊漏), 옥루(玉漏), 행루(行漏)와 천문시계인 일성정시의(日星定時儀), 그리고 간의(簡儀) 등 역법(曆法)을 교정하기 위한 천문기기들이 제작되었다. 이러한 결과로 중국에 의존했던 역법을 조선 독자적으로 교정함으로서 천문학과 시간측정사에 한 획을 긋는 불후의 업적이 이때 성취되었다.

장영실 등이 만든 자격루는 1434년 7월 1일부터 공식 표준시계로서 오정(午正), 인정(人定), 파루(罷漏) 등을 시보하는데 사용되었다. 이 시계는 수력식 계시기로서 '자동 시보장치를 갖춘' 천문시계였으며, 경복궁내의 경회루 남쪽에 보루각을 짓고 그 안에 설치하여 운영했으므로 '보루각루(報漏閣漏)'라고 했고, 임금이 거처하고 들보는 궁중의 시계라는 뜻으로 '금루(禁漏)'라고도 불렸다. 보루각의 정확한 위치는 알 수 없으나 18세기에 제작된 경복궁전도(景福宮全圖)에 따르면 현재 경회루 남쪽 수정전의 서쪽에 있었다.

자격루는 불어나는 수위를 재서 수시력(授時曆)에 맞춰 1일 12시 100각(刻)과 밤시간인 5경

(更)을 측정하는 측시장치인 물시계와 지정된 시각을 자동적으로 알려주는 시보장치의 두 부분으로 되어 있다. 물시계들이 나타내는 12지시(支時)와 5경 25점(點)을 시각과 청각으로 알리는 장치가 시보장치인데, 12시를 보시하는 장치는 매시마다 종을 울리는 인형기구(jackwork mechanism)와 종이 울리면 그것이 무슨 시(時)인가를 시페로 알리는 종표(鍾表) 기구로 되어 있다. 5경과 매경의 점을 알리는 인형기구는 매우 복잡한 보경(報更) 및 보점(報點) 시스템으로 되어 있다. 매경과 그것의 초점(初點)은 북과 정으로, 2점부터 5점까지는 징만을 울려 점의 수를 알리게 되어 있다.

본 논문은 <보루각기(報漏閣記)> (『세종실록』 권65 : 1가~3나)의 내용에 따라 자격루의 12시(十二時) 및 경점(更點) 시간측정장치의 원리와 구조를 재현한 것이다.

II. 조선 초기의 시제와 시간 측정의 원리

1. 시제

조선 초기에는 원(元)의 곽수경(郭守敬, 1231-1316)이 만든 수시력(授時曆)을 바탕으로 다음과 같이 1일을 12시(十二時)와 100각(百刻)으로 나누었으며, 밤시간은 5경(五更)으로 나누었다.

1) 온 하루[a full day, 자정(midnight)부터 다음 자정까지]를 12개의 시간간격인 子, 丑, 寅, 卯, 辰, 巳, 未, 申, 酉, 戌, 亥로 나누고, 매시는 초(初, beginning)와 정(正, mid-point)의 두 부분으로 나눠 오늘날의 24시간과 같이 썼다.

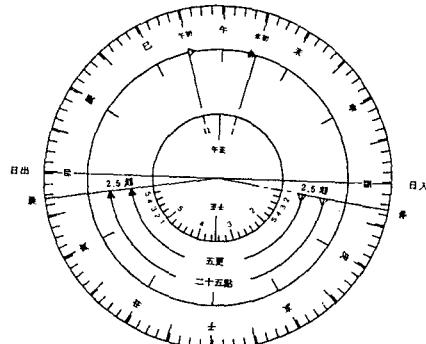
2) 온 하루를 100각(one hundred-interval, centi-day)으로 나눴으며, 1각(刻)은 오늘날의 14분 24초와 같다. 매시는 8 1/3각이며 초와 정은 각각 4 1/6각이다. 각은 분(分)으로 세분하였으며, 분은 보통 6이나 그것의 배수로 하였다.

위의 두 가지는 연속적으로 반복되는 등시법(等時法, constant 'clock-time')이다.

3) 하룻밤[a night, 해진 후 2.5각인 혼(昏, dusk)의 시각부터 다음날 해뜨기 전 2.5각인 신

(晨,dawn)의 시각까지]을 5등분하여 5개의 경(更, night-watch)으로 나누고, 매경을 다시 5등분하여 5점(點, night-watch 'division', 중국에서는 '점(點)'을 '주(籌)'라고 하였다)으로 세분하여 하룻밤을 25등분하였다. 하룻밤의 길이는 연중 주기적으로 변화하므로 5경 25점의 시보를 위해 세종때부터는 잣대의 눈금을 다르게 배겨 연중 11개의 잣대를 차례로 써서 시간을 측정하였다.

서울에서의 춘·추분일의 시각 모델은 그림 1과 같다. 그림 1의 가장 바깥 눈금은 12시 100각, 그 안의 것은 12시, 가장 작은 원의 부채꼴은 밤시간을 나타낸다. 시각을 읽는 방법은 오시의 경우 오초(午初) 초각, 1각, 2각, 3각, 4각, 오정(午正) 초각, 1각, 2각, 3각, 4각의 순으로 읽어 가면 되고 다른 시의 경우도 마찬가지이다. 밤시간을 알리는 순서는 1경 1점(또는 초점), 2, 3, 4, 5점, 2경 1점, …, 5경 1점의 순으로 읽어 가면 된다.



<그림 1> 춘·추분일의 시각 모델

2. 계시 시스템

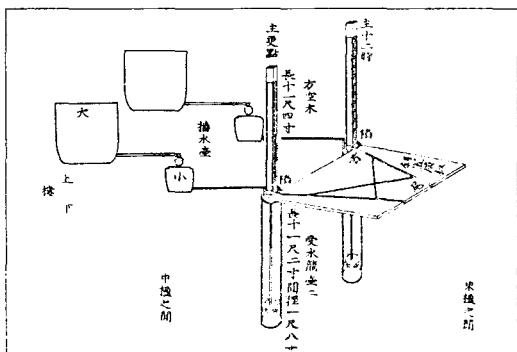
(1) 누기(漏器)와 부전(浮箭)

자격루의 기본이 되는 시간 유지 기기인 물시계는 네 개의 급수용 항아리, 두 개의 측정용 항아리, 그리고 그 안에 띄운 잣대(浮箭)로 구성된 전형적인 부루(浮漏, inflow clepsydra)이다. 일정하게 물이 수수호에 흘러 들어들어가면 수위가 직선적으로 증가하는 현상을 이용하여, 균일하게 눈금을 매긴 잣대를 부표(浮標, float)에 꽂아 시간을 알아냈다.

자격루는 12시(온 하루)를 연속적으로 측정하고 아울러 정해진 시간 동안 밤시간(5경)을 동시에 측정하여 12시와 5경을 시보하도록 구조

를 이원화(급수용 2개, 측정용 1개의 항아리가 한 개의 계시시스템을 구성하도록 하였다.

그림 2는 2원화된 계시 시스템의 구조를 나타낸 것이다. <보루각기>에 따르면 보루각의 가운데 칸에는 마루를 충으로 놓고 위에는 파수호를, 아래에는 수수호를 배열하고 수수호 위에는 방(공)목을 설치하였다. 물시계와 시보장치(그림 2에는 나타내지 않았음)는 넓은 판으로 접속하였다.



<그림 2> 누기와 부전, 방공목 및 사치광판(척(尺)은 周尺을 뜻하며 1주척은 20.7cm)

(2) 방목(方木)

12시와 5경점을 순서에 따라 시보하려면 각각 12개와 25개의 시점(時點)(또는 시각)이 필요하며 이 시점마다 신호를 발생시켜 이것에 따라 종이나 북 등을 울려주는 시보장치를 작동시켜 주어야 한다. 이러한 신호를 이산적으로 발생시키기 위해 자격루에서는 수수호 위에 네 모난 나무[方(空)木]들을 세우고 그 안에 기구를 설치하여 각각 12개와 25개의 작은 구리구슬을 놓을 수 있게 만들었다. 떠오르는 잣대가 작은 구슬이 놓인 기구의 한쪽을 위로 밀었을 때 구리구슬이 굴러 떨어지도록 하였다. 방목장치는 현대적인 의미의 아날로그-디지털 변환기이다.(그림 3 참조)

(3) 잣대(浮箭)

<보루각기>에 따르면 잣대의 눈금매김에 대해 규정해 놓았다. 먼저 십이지(十二支)시 잣대에 대해서는 “…面分十二時每時八刻并初正餘分爲百各各十二分…”이라고 기록하였다. 즉, 앞 절에서 설명한 12시 100각에 대한 설명이다. 아무 11전을 규정한 『누주통의』에서는 1각은 6분으로 규정하였으나 12시 100각의 잣대에서

는 1각을 12분으로 보다 세밀하게 눈금을 나누도록 규정하였다. 12시 잣대를 제작하려면 그림 1의 12시 100각 모델을 직선으로 펴서 눈금을 매기면 된다. <보루각기>에 따르면 잣대의 길이는 10척 2촌(…箭二長十尺二寸...)이며 주척(周尺) 1척이 20.7cm인 점을 감안하면 잣대의 길이는 211.14cm가 된다.

<보루각기>에는 밤의 잣대가 12개라고 기록되어 있고, 『누주통의』에는 11개로 적혀 있어 두 가지 기록이 일치되지 않으나 『칠정산』<내편>에 따라 편찬된 『누주통의』대로 11개 잣대만으로도 1년간을 통용할 수 있음이 밝혀졌다.

III. 이산신호 발생

1. 신호발생의 원리

자격루는 누기(漏器 : clepsydra vessels)와 부전(浮箭 : floating indicator-rod)으로 구성된 물시계, 방목(方木 : ball-rack mechanism)과 동통 및 철환 방출장치(ball-relay mechanism)로 구성된 변환장치, 12시 시보장치(十二時 時報裝置 : visible and audible time-indicator for twelve double-hours)와 경점 시보장치(更點 時報裝置 : visible and audible time-indicator for night-watches and night-watch divisions)로 구성되었다. 본 연구에서는 자격루의 유물(국보 229호)과 『세종실록』 등의 관련문헌을 참고하여 물시계를 설계하였다.

그림 2와 3을 통하여 물시계의 동작을 설명하면 다음과 같다. 우선 저수용 항아리인 대파수호에 저장된 물이 대파수관을 통하여 수위 조절용 항아리인 소파수호에 급수되면, 소파수호 내에 설치된 액위 조절기구에 의하여 소파수호 내에서 미리 설정된 일정한 수위가 유지된다. 이 일정하게 유지되는 소파수호의 수위에 의하여 소파수관을 통하여 시간에 대해서 일정한 유량의 물이 수수호로 유입되고, 수수호에서는 그 일정하게 유입되는 물이 누적되어 수수호의 수위가 시간에 대하여 일정하게 상승한다. 그 일정하게 상승하는 수위와 함께 수수호 내의 부전(浮箭)도 일정하게 상승되며 부전의 상단이 수수호의 덮개에 수직으로 설치한 방목에 차례로 배열해 둔 작은 구슬을 시각마다 아래의 것부터 순서적으로 떨어뜨려 시보장치로 보

내 12시 시보장치 또는 경첩기를 동작시킨다. 물시계의 시간은 수수호에 유입되는 시간당 유량에 의하여 결정되며, 이 유량은 소파수호의 수위에 의하여 결정된다. 이 설정된 수위가 적정수위보다 높으면 수수호에 유입되는 유량이 많아서 물시계가 빨라지고, 반대로 설정된 수위가 적정 수위보다 낮으면 수수호로의 유량이 적어서 물시계가 늦어진다. 따라서 이 적정 수위의 결정이 자격루의 시간유지에 가장 중요한 요소이다. 이 유량을 조절하는 방식에 대해서는 관련 문현에 자세한 언급이 없으며 overflow방식이나 float-valve방식이 사용되었으리라 추정된다. Overflow방식을 사용하였을 개연성도 있지만 본 연구에서는 플로트밸브 방식을 채택하였다.

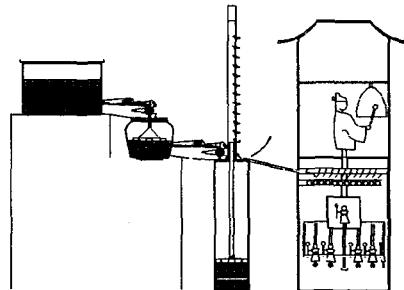
일정시간 계량후에 수수호를 교체하려면 수수호에 차있는 물을 배수해야 한다. 현재 남아 있는 수수호의 일부분에 배수를 위한 구멍이 없는 것으로 보아 수수호에 배수관을 꽂아 두고 싸이펜 원리를 응용하여 배수하였음이 분명하다.

2. 측시 시스템의 설계

앞 절에 언급한 바와 같은 측시 시스템인 물시계를 설계하기 위하여 물을 저장하는 저수조인 대파수호 2기(器), 물의 유출량을 일정하게 유지하기 위한 조절호인 소파수호 2기, 대파수호에서 흘러 나오는 물을 소파수호로 안내하기 위한 도수관인 대파수관 2개 대파수관을 통하여 흘러나오는 물의 양을 일정하게 조정하기 위하여 소파수호에 설치한 액위 조절용 플로트밸브 2개, 그 소파수호에서 일정한 유량의 물을 그 다음의 수수호로 안내하는 소파수관 2개, 소파수관을 통하여 유입되는 일정한 유량의 물의 누적에 의해 시간을 계량하는 수수호 2기, 수수호에 띄운 부전(부자와 잣대) 각각 2개, 수수호의 배수관 2개, 배수호 2기 기타 부품을 부분별로 설계하였다.

위의 설계에 따라 구성한 모의실험 장치에서 수수호 내의 수위상승율이 2시간당 16.6cm가 되려면 소파수호의 수위는 그 내부바닥에서 12cm가 적당하였다. 차단밸브를 잠가 플로트밸브를 닫았을 때 누수가 되지 않았으며, 또 플로트밸브의 부력에 의해 상부의 파수관이 밀려 올라 가지도 않고 정상적으로 동작하였다.

소파수호에서 2시간당 19,025cm³의 유량이 수수호로 유입되면 수수호 내의 수위가 2시간당 16.6cm(주척으로 8촌)가 상승하고, 그에 따라서 수수호 내의 부전도 동일한 속도로 상승하였다.



<그림 3> 12시 이산신호 발생과 시보 원리

3. 아날로그 - 디지털 변환기

1) 구슬 방출장치

수수호의 상단에는 작은 구리구슬이 수납된 기구를 수용한 4각단면구조를 가진 방목(方木)을 설치하여 이 내부로 잣대가 상승하면서 수납기구에 장치된 작은 구리 구슬을 일정한 시점마다 방출시키게 된다. 따라서 그림 3에서와 같이 수수호의 수면의 높이를 나타내는 아날로그(analog)신호를 방출된 시점(時點)만을 이산적으로 지시하는 디지털(digital)신호로 바꾸어 주게 된다. 방출된 작은 구슬은 철환방출장치에서 구리구슬보다 훨씬 더 질량이 큰 쇠구슬을 방출시켜 쇠구슬이 12시점 및 경첩기를 동작시키도록 한다.

2) 방목과 잣대의 설계

<보루각기>에 따르면 방목은 수수호의 상단에 세워진 길이가 11척 4촌(11.4×20.7cm)이며 너비가 6촌(0.6×20.7cm)이며 깊이가 4촌, 두께가 8푼인 네모난 나무틀로 그 안은 비어 있으며, 작은 구리구슬을 수납할 수 있는 선반(rack)을 설치한 구리판이 앞면에서 한 치 가량 들어가게 설치되어 있고, 구리구슬 방출부분의 반대편으로 칸막이를 설치한다고 기술되어 있다.

잣대는 길이가 10척 2촌으로 부자에 꽂힌 부분을 2촌으로 할 경우 10척이라는 긴 길이를 갖는다. 이 경우 폭이 좁은 잣대가 2m 정도로 바닥 이외에는 잡힌데 없이 허공에 있을 경우, 잣대의 하중과 높이의 효과에 의한 모멘트가 발생하여 잣대가 휘어지게 되면 정확한 위치에서 구리구슬 방출장치를 작동시킬 수가 없을 뿐만 아니라 지지되지 못한 쪽으로 기울어 절겨우 잣대가 다시 내려오지 못하는 경우도 생길 수 있다. 이러한 잣대의 동작을 인도하기 위하여 잣대의 꼭대기 부근에는 한 쌍의 젓가락 모양의 가로쇠(4촌5푼)를 부착하고 방목의 내부에는 이 가로쇠 한 쌍이 타고 오르내도록하여 굽힘 변형에 의한 오동작을 막을 수 있는 칸막이를 부착하였다.

작은 구리구슬 방출장치는 방목의 한쪽 면에 구리구슬 수납장치를 부착한 구리판을 밀어 넣어 장착시킬 수 있도록 흄을 파서 경용의 경우 절기마다 다른 간격의 구멍이 뚫린 11개의 구리판을 차례대로 설치할 수 있도록 설계하였다.

그림 4는 5경용 방목과 그 안에 설치한 작은 구슬 수납기구와 구리판, 잣대와 가로쇠의 구조이다. 방목의 세 면은 막혀 있으며 한쪽의 전면이 열려진 구조이며 구리구슬을 수납하는 장치를 설치한 구리판은 열려진 쪽의 바로 오른쪽면에 장착되어 있다.

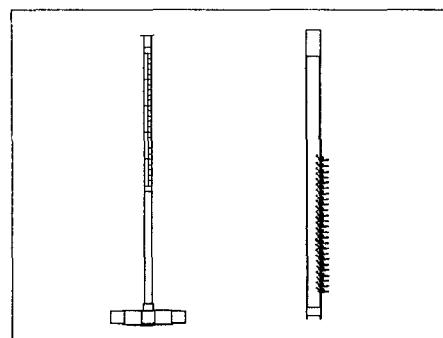
3) 사발모양의 용기 및 구슬 통로

그림 3은 왼쪽부터 소파수호, 수수호와 그 상단에 설치한 방목과 구리판에 설치한 구슬 수납장치에서 떨어진 구슬을 받아주는 사발모양의 용기(함)와 용기의 밑에 뚫린 구멍을 통해 나온 작은 구슬을 시보장치로 보내주는 통로(사치광판)를 나타낸 것이다. 방목에서 떨어진 구슬은 사발모양의 용기에 떨어져 그 밑에 뚫린 구멍을 거쳐 통로를 통해 오른쪽의 시보장치로 들어가 장치들을 작동시켜 준다.

IV. 자격루의 연원

자격루는 학술적인 용어로 기계적 디지털 시계(mechanical digital clock)이다. 자격루는 우

리나라 고유 기술의 바탕위에 외래기술이 가미되어 제작된 것이다. 지금까지 고찰한 바에 따르면 자격루는 중국의 누각(漏刻)과 소송(蘇頌)이 만든 천문시계에다 원대의 꽈수경이 만든 대명전등루(大明殿燈漏)와 순제(順帝)의 궁漏(宮漏), 그리고 더 거슬러 올라가 비잔틴의 자동장치와 1206년에 제작된 알자자리(al jazari)의 물시계 등에서 얻은 아이디어를 모두 수렴하여 창조적으로 발전시킨 조선조 최고의 발명품이다.



< 그림 4 > 5경점용 부전(왼쪽)과 방목(오른쪽)

[* 본 연구를 지원해 주신 과학기술처와 과학기술정책관리연구소에 감사를 드립니다.]

참고 문헌

1. 『世宗實錄』 卷 六十五.
2. 남문현 등, 『전통과학 기기의 복원기술개발』, 과학기술처 제 1차년도 보고서(1995. 10) 및 최종 보고서 1996. 10.
3. 남문현, 『한국의 물시계』 -자격루와 제어계 측정학의 역사, 건국대 출판부 1995.
4. Nam M. H., Han D. Y., and Jeon S. W., "A Flow Regulating System for the Reconstruction of the King Sejong's Striking Water-Clock", 7th Int. Conf. History of Sci. China, Jan. 19-21, 1996, Shenzhen, China.