

조선전기 대규표의 구조에 대한 연구
THE STUDY ON THE STRUCTURE OF DAEGYUPYO IN THE EARLY JOSEON DYNASTY

민병희^{1,2}, 이기원³, 김상혁¹, 안영숙¹, 이용삼²

¹한국천문연구원, ²충북대학교 천문우주학과, ³대구가톨릭대학교 교양교육원

BYEONG-HEE MIHN^{1,2}, KI-WON LEE³, SANG HYUK KIM¹, YOUNG SOOK AHN¹, AND YONG SAM LEE²

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

E-mail: bhmin@kasi.re.kr

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

³Catholic University of Daegu, Gyeongsan, 712-702, Korea

(Received April 16, 2012; Accepted June 12, 2012)

ABSTRACT

In this paper, we study the structure of the Daegyupyo (大圭表, Large Gnomon) of the early Joseon dynasty. A Gyupyo (圭表, Gnomon that is Guibiao as pronounced in Chinese) is composed of a Pyo (表, Biao as pronounced in Chinese) making a shadow and a Gyu (圭, Gui as pronounced in Chinese) measuring its length. It is known that the Daegyupyo with the 40-feet height was constructed between the sixteenth to seventeenth year of the King Sejong reign (1444 - 1445) on the basis of the record of Yuanshi (元史, the History of the Yuan Dynasty). By analyzing historical documents such as Joseonwangjosillok (朝鮮王朝實錄, the Annals of the Joseon Dynasty), Yuanshi, and Jegaryeoksangjip (諸家曆象集, a work written by Sunji Lee), we found a possibility that the Ji (池, a pond) on the Gyu was located in the north side of the Pyo. This structure is different from that in previous studies, but is in a good agreement with that of the 40-feet Guibiao remaining in Dengfeng (登封) of China. Regarding to the Hoengyang (橫梁, cross-bar), we suggest that it was set up by double 5-feet supporting arms apart from the north tip of the Pyo in the radial direction. The 3:4:5 ratio in a rectangular triangle was used to place the Heongyang on the top of the Pyo at a distance of 4-feet (3-feet) in the vertical (horizontal) direction. We also discuss the structural problem when the Hoengyang is positioned apart from the top of the Pyo by supporting arms. In conclusion, we think that this study should be useful in restoring the Daegyupyo of the Joseon dynasty.

Key words: Daegyupyo (大圭表, Large Gnomon), 40-feet (尺) gnomon; King Sejong (世宗), Joseon dynasty

1. 서론

규표(圭表)는 남중하는 태양의 그림자를 측정하는 동아시아에서 가장 오래된 천문관측기기 중의 하나이다. 원시적이면서도 단순해 보이는 규표는 수직 막대기둥인 표와 표그림자를 측정하는 규로 이루어져 있다.

규표의 용도는 24기(절기와 중기)의 측정¹, 1 태양년 길이의 측정(나일성 등, 1995), 동지시각의 측정(Li, 1995), 위도의 측정(潘鼐, 2005; 민병희 등, 2011) 등이다. 특히 천문학적인 부분인 절기와 중기, 태양년의 길

이, 동지시각의 측정은 오랜 기간의 관측경험과 기술에 의해 발전해 왔고 역법이나 달력의 제작에 활용된 것으로 널리 알려져 있다(이은성, 1985).

「제가역상집(諸家曆象集)」의 <발문>과 「명종실록(明宗實錄)」에 따르면, 조선시대에는 대규표와 소규표가 있었다. 조선왕조실록에 따르면, 세종 16 ~ 17년(1434 ~ 1435)에 40자[尺] 크기의 규표를 제작하였다. 이 40자 규표를 대규표라 할 수 있다. 또한 세종 22년(1440)에도 규표가 새롭게 제작되었는데, 이는 8자 크기의 소규표로 추정된다(민병희 등, 2011).

지금까지 세종의 대규표는 「원사(元史)」에 수록된

¹ 「세종실록」 권77, 세종 19년(1437) 4월 15일(갑술).

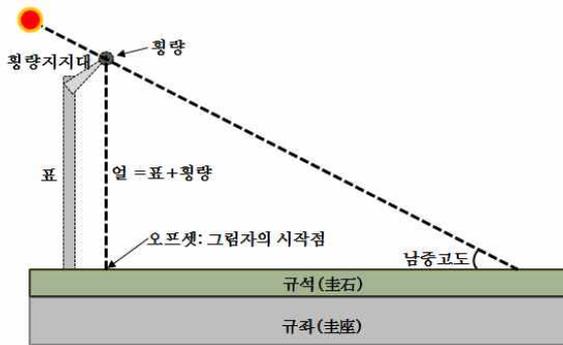


그림 1. 대규표를 측면에서 본 모식도. 규좌, 규석, 표, 횡량, 그리고 횡량지저대로 구성되어 있다.

<규표>에 의거하여 만들어졌을 것으로 추정되었다 (Needham et al., 1986). 「원사」<천문지(天文志)> ‘규표’는 관수경(郭守敬, 1231 ~ 1361)에 의해 제작된 것으로 알려져 있다. 이 규표는 13세기 이전의 것과 달리 표 위에 횡량(橫梁)이 있으며, 횡량의 그림자를 만드는 장치인 영부(影符) 또는 경부(景符)를 이용하여 그 그림자를 측정한다. 중국 하남성 등봉(登封, 당시의 양성(陽成))에는 원대(元代) 건축물로 알려진 횡량을 가진 규표가 있다(Situ & Yi, 1995).

지금까지 대규표의 복원을 위한 연구(나일성 등, 1992, 1995)와 영부에 대한 연구(Needham et al., 1986; 이용삼 등, 2006)가 있었다. 이러한 복원 연구를 통해 대규표의 구조에 대한 본격적인 연구가 시작되었고, 규표의 그림자와 영부의 활용에 대한 심도있는 연구가 진행되었다. 이러한 연구를 바탕으로 대규표의 축소 모델이 다수 제작되기도 하였다(이용삼 등, 2011). 한편 대규표와 간의대의 설치 장소에 대한 연구도 있었다(김상혁 등, 2011). 최근에는 조선시대의 소규표에 대한 연구도 시작되었고(민병희 등, 2011), 새로운 소규표 복원 모델도 제작되었다(이용삼 등, 2011). 본 논문은 대규표의 원형으로 여겨지는 「제가역상집」<규표>의 내용을 구조적 관점에서 재분석하자 한다.

2. 대규표의 구조적 요소

「세종실록」에는 간의대(簡儀臺)와 규표에 대한 기록이 나오는데, 이 부분을 「동문선(東文選)」의 예를 따라 통상 <간의대기(簡儀臺記)>라고 한다(민병희 등, 2011). <간의대기>에는 간략하게 대규표에 대해 설명하고 있다. 이 규표는 40자 높이의 구리로 된 얼을 가졌으며, 청석(靑石)으로 규를 만들고, 규면에는 장·자·치·푼[丈·尺·寸·分]의 눈금이 새겨져 있다². 영부를 사용하여

² 본 논문에서는 조선의 길이의 단위인 장·척·촌·분(丈·尺·寸·分)을 우

그림자를 얻었음을 알 수 있다.

대규표에 대한 자세한 제법(制法)은 세종 27년(1445)에 완성된 이순지(李純之, 1406 ~ 1465)의 「제가역상집」의 3권 ‘의상(儀象)’에도 수록되어 있다(한국과학사학회, 1979b). 이 「제가역상집」<규표>의 내용은 「원사」<천문지>를 원본으로 하고 있다. 정조 20년(1796)에 출간된 「국조역상고」에도 「제가역상집」<규표>와 같은 내용이 기록되어 있다(한국과학사학회, 1979a; 나일성 등, 1995). 「세종실록」<간의대기>의 동표와 규는 「원사」<천문지>의 ‘규표’의 재질과 크기가 서로 일치하고, 영부는 「원사」<천문지>의 ‘경부’에 해당하는 것으로 보여진다(Needham et al., 1986; 민병희 등, 2011).

「제가역상집」<규표>의 기록 일부분을 살펴보면 다음과 같다(나일성 등, 1995).

규표는 돌로 만든 것(규표석 또는 규석)으로써 길이 128자, 너비 4자 5치, 두께 1자 4치이다. (규) 좌의 높이는 2자 6치이다. ...

표는 길이 50자, 넓이 2자 4치, 두께는 넓이의 반(1자 2치)인데, (표)는 규의 남쪽 끝 규석과 (규) 좌 중심에서 십여자, 땅으로 들어간 부분과 (규) 좌 중앙까지 1장 4자(14자)이고, 위로 높이 36자이다. 그(표) 끝의 양 옆에는 용 두 마리가 있는데, (용)의 반신이 표 위로 횡량(橫梁)을 떠받치고 있으며, 횡량 중심에서 표(머리) 끝까지 4자이고, 아래 규면까지 연결하여 합치면 40자가 된다.³

대규표 동표의 높이는 규면에서 40자인데, 이는 표 머리 위에 떠받쳐진 횡량까지의 높이를 말한다. 그림 1과 같이 이를 「세종실록」에서는 얼이라고 명명하고 있다⁴. 대규표의 규는 규석과 규좌로 구성되며, 통칭하여 규표석이라 한다(민병희 등, 2011). 「제가역상집」<규표>에서 규좌는 규석을 받치는 좌대로서 적어도 규

리말 표현인 장·자·치·푼으로 표기한다.

³ 「제가역상집」 권3 의상(儀象) 31a:line2-31b:line10(한국과학사학회, 1979b) 또는 「원사」 48 지제(志第)1 천문(天文)1 규표 996:line4-997:line1(中華書局, 1997).

圭表以石爲之, 長一百二十八尺, 廣四尺五寸, 厚一尺四寸. 座高二尺六寸. ... 表長五十尺, 廣二尺四寸, 厚減廣之半, 植於圭之南端圭石座中, 入地及座中一丈四尺, 上高三十六尺. 其端兩傍爲二龍, 半身附表上擎橫梁, 自梁心至表頭四尺, 下屬圭面, 共爲四十尺.

⁴ 중국 전국시대에는 표(表)를 지칭하는 이름이 다양했는데, 얼(臬)이 그 중 하나였다(潘鼐, 2005). 「세종실록」에서 40자의 ‘얼’이라고 한 것은 ‘표’와 횡량의 구조적 특징을 표현한 용어로 보인다(민병희 등, 2011). 13세기 이전의 규표는 표 자체의 그림자 길이를 측정하였고, 표보다 더 높은 구조물이 없어 표의 높이가 자체가 중요했다. 그러나 대규표의 동표는 횡량의 그림자를 측정하므로, ‘표’보다 ‘횡량’까지의 높이가 중요했다.

석의 길이와 너비를 가져야 한다. 규석과 규좌의 높이의 합은 '4자'로서 사람 평균 키의 반이며, 관측하기에 편리한 높이이다. 이는 소간의 평방석(민병희 등, 2010)이나 일성정시의 평방석⁵ 높이가 '4자'인 점(전상운 등, 1984)과 비교된다⁶. 그림 1의 측면도와 같이 대규표는 규석, 규좌, 표, 횡량과 횡량지지대로 구성되어 있다.

3. 규면의 구성요소와 배치순서

3.1. 규면의 구성요소의 제원

이 규석의 윗면을 규면이라고 한다. 규면에는 다양한 기능을 하는 구성요소들이 있다. 규면의 크기는 길이 128자, 너비 4자 5치이다. 「제가역상집」 <규표>에는 규면의 구성요소를 다음과 같이 기술하고 있다.

남북의 양끝에 못[池]이 있는데, 직경 1자 5치, 깊이 2치이고, 표로부터 북으로 1자이며, 더불어 표와 횡량의 중심 위아래에 서로 수직하게 놓인다. (그) 밖으로 120자이고, 중심의 너비 4치, 양 옆 각 1치으로 자·차·푼을 그려서(새겨서) 북쪽 끝까지 달한다.

양 옆에서 1치씩 떨어져 물홈이 있는데, 깊이와 너비가 각 1치이며, 남북 양 못과 서로 물길이 연결되어 이로써 수평을 취할 수 있다.

5 전상운 등(1984)에서는 소간의나 일성정시의를 올려놓는 돌을 각각 '석대'와 '일성정시대'라고 표현하였다. 「서운관지(書雲觀志)」 <관해(官廡)>에는 소간의를 올려놓는 돌을 '평방석(平方石)'이라고 표현하고, 이 관측대를 첨성대, 소간의대, 또는 관천대라고 하고 있다(민병희 등, 2010). 또한 이 책에는 일구대(日晷臺), 측우대라는 용어가 보인다. 대(臺)는 돌을 쌓아 만든 것을 말하고, 석(石)은 관측의기를 올려놓는 돌을 지칭하거나 돌 자체로 관측의기의 일부로 인식하는 듯하나, 당시에 대(臺)와 석(石)을 혼용하였던 것 같다. 한편 일성정시의를 설치한 대를 일영대(日影臺)로 나타낸 듯하다(정연식, 2010; <서궐도(西闕圖)> 참조). 관천대에 평방석을 놓고 소간의를 설치한 것과 같이, 일영대에 평방석을 놓고 일성정시의를 설치한 듯 보인다.

6 현존하는 유물 중 북부광화방 관천대의 소간의 평방석의 실측 높이는 760 ~ 780 mm이고, 창경궁 일성정시의 평방석 역시 245 mm(대리석) + 990 mm(화강석)로 총 1,235 mm이다(전상운 등, 1984; 민병희 등, 2010). 전자는 주척(周尺)으로 3.7 ~ 3.8자이고, 후자는 영조척(營造尺)으로 4자이다(남문현, 1995 참조). 전상운 등(1984)에 조사된 일구대 및 일성정시의 평방석은 대부분 주척 4자(828 mm) 또는 영조척 4자(1,232 mm)에 가깝다. 주척 높이를 가지는 받침석은 평균 3.91자, 표준편차 0.35자이고, 영조척 높이를 가지는 대는 평균 3.89자, 표준편차 0.33자이다.

7 주척 3의 척
南北兩端爲池，圓徑一尺五寸，深二寸，自表北一尺，與表梁中心上下相直。外一百二十尺，中心廣四寸，兩旁各一寸，畫爲尺寸分，以達北端。兩旁相去一寸 爲水渠，深廣各一寸，與南北兩池相灌通以取平。表長五十尺，廣二尺四寸，厚減廣之半，植於圭之南端圭石座中，...

표 1. 「제가역상집」 <규표>에서 나타난 규면의 구성요소와 제원

요소	제원			위치
	남북길이	동서너비	깊이	
못	직경 1자 5치		2치	남·북단
눈금	120자	6치		중간
물홈	1치		1치	눈금 옆
표기둥	두께 1자 2치	2자 4치		남단
규면	128자	4자 5치		

규면에는 장·자·차·푼 눈금 말고도 두 개의 못과, 물홈, 표기둥(표를 설치하는 부분)이 있다. 개념적으로 규는 수평을 유지하고, 표는 수직하게 세워야 한다. 「제가역상집」 <규표>에 따르면, 물홈은 규의 수평을 잡는 역할을 하며, 못은 물홈에 물을 대는 역할을 한다. 그러나 규의 수평을 잡는 것이 표를 수직하게 세우는 것을 담보하지는 않는다.

「제가역상집」 <규표>에는 규면의 구성요소를 설명하면서 이들의 제원에 대해 설명하고 있다. 표 1은 「제가역상집」 <규표>에서 나타난 규면의 구성요소와 제원을 정리한 것이다. 표 1에서 알 수 있듯이, 못 2개와 눈금, 표기둥의 남북길이의 합은 규면의 총 길이 128자보다 작다.

$$1자5치+1자5치+120자+1자2치 = 124자2치 < 128자$$

못의 직경이 눈금과 물홈의 동서영역보다 크며, 규면 너비의 1/3에 해당한다. 한편 표기둥의 너비는 2자 4치로 규면 너비의 53%에 해당하며, 양 옆으로 약 1자의 여유가 있다.

3.2. 규면 구성요소의 배치순서

위 「제가역상집」 <규표>의 내용을 분석하면 규면의 구성요소가 남에서 북으로 어떻게 배치되었는지 유추할 수 있다. 기존 연구에서는 그 배치 순서를 그림 2(a)와 같이 못, 표기둥, 눈금, 못으로 인식하고 있다(Needham et al., 1986; 나일성 등, 1995).

Needham et al.(1986)은 「원사」 <천문지> '규표' 중 못과 표기둥, 눈금에 관해 설명하는 부분을 'From 1.0-foot distance from the gnomon for 120 feet a central strip of 4 inches wide is marked off, 1 inch on each side of which is divided into ...'라고 번역하고 있다. "自表北一尺，與表梁中心上下相直，外一百二十尺，中心廣四寸，兩旁各一寸，畫爲尺寸分，以達北端."를 한 문장으로 인

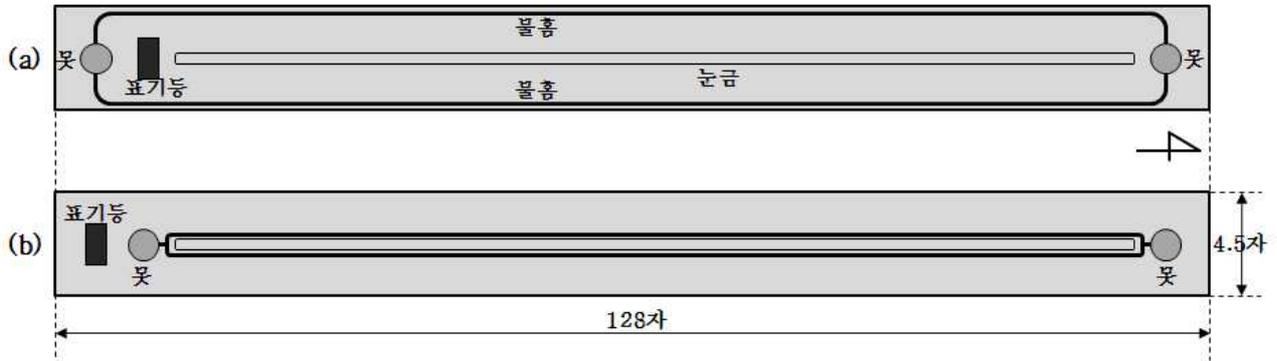


그림 2. 규면 구성요소의 배치. (a) 남(왼쪽)에서 북(오른쪽)으로 못-표기등-눈금-못의 배치순서(Needham et al., 1986; 이용삼 등, 2006). (b) 본 연구에서 「제가역상집」 <규표>를 재해석하여 구성한 표기등-못-눈금-못의 배치순서.

표 2. 「제가역상집」 <규표>에서 나타난 규면의 구성요소의 배치 순서 (그림 2 (b) 기준, 기호는 그림 5 참조)

순서	구성	남북길이	기호
1	남단 ~ 표기등	-	a
2	표기등	1자 2치	b
3	표기등 ~ 못	1자	c
4	못	1자 5치	d
5	못 ~ 눈금	-	e
6	눈금	120자	f
7	눈금 ~ 못	-	e
8	못	1자 5치	d
9	못 ~ 북단	-	a
규면 전장 (남단 ~ 북단)		128자	

식하여 해석한 결과이다. 나일성 등(1995)은 Needham et al.(1986)이 모호하게 해석한 “與表梁中心上下相直” 부분을 보완하여 “표의 북쪽으로 1자되는 곳에 있는, 들보의 중심과 수직인 곳에서부터 120자까지 눈금을 매긴다.”라고 번역함으로써 “自表北一尺, 與表梁中心上下相直, 外一百二十尺.”과 “中心廣四寸, 兩旁各一寸, 畫爲尺寸分, 以達北端.”의 두 문장으로 해석하고 있다. 이 두 경우 모두 그림 2(a)와 같은 구성요소의 배치를 유추할 수 있다.

그러나 3.1 절에서 기술한 바와 같이, 「제가역상집」 <규표>의 원문은 “南北兩端爲池, 圓徑一尺五寸, 深二寸, 自表北一尺, 與表梁中心上下相直.”과 “外一百二十尺, 中心廣四寸, 兩旁各一寸, 畫爲尺寸分, 以達北端.”의 두 문장으로 해석할 수 있다(中華書局, 1997). 이에 따

르면, 규면의 구성요소는 그림 2(b)와 같이 못-표기등-눈금-못의 배치순서로 유추할 수 있다.

그림 2(a)와 (b)의 배치순서는 물홈의 연결 형태의 차이를 가져온다. 특히 그림 2(a)는 물홈을 못에 연결하기 위해, 물홈이 표기등을 우회하여 규면의 가장자리를 둘러 못과 연결되는 구조를 가지게 되었다. 규면의 가장자리 물홈은 규면의 수평을 취할 수 있지만, 규면에 있는 120자의 눈금까지 수평을 바로잡았다고 하기에는 부족한 면이 있다. 반면 그림 2(b)와 같이 규면의 구성요소가 표기등-못-눈금-못의 순서를 가질 경우, 물홈은 눈금 주변을 두르면서 남북의 못 사이에 놓여 이들과 연결할 수 있다. 그림 2(b)의 물홈은 눈금의 수평은 물론 규면의 수평을 모두 취할 수 있다. 표 1의 규면 구성요소의 제원으로부터 규면 남북의 전장에 대한 제원을 표 2에 나타내었다.

3.3. 규면의 구성요소와 유물과의 비교

중국 하남성에 있는 등봉 관성대(觀星臺)는 광수경이 만들었다고 전해지는 규표가 있다(Situ & Yi, 1995 참조). 이 규표는 「제가역상집」 <규표>에 기술된 표(기둥)를 가지고 있지 않고, 표(기둥)를 대신하여 벽돌로 쌓은 규표대(brick platform)가 있다. 규표대의 북쪽에 횡량이 설치되어 있다. 한편 원 왕조 초기에는 금(金) 왕조의 연경(燕京, 지금의 북경 근처) 천문대를 사용하였다고 한다. 금 왕조의 천문대에는 표(기둥)가 나무로 제작된 규표가 있었는데, 「제가역상집」 <규표>에 기술된 표와 같이 너비 2자 4치, 두께 1자 2치의 나무기둥을 2층으로 올린 것이라고 한다(Situ & Yi, 1995). 「제가역상집」 <규표>에는 구리로 표를 만들었다고 하는데, 이 구리 표를 가진 규표는 원 왕조 수도인 대도(大都, 지금의 북경 근처)에 세워진 천문대에 설치된 것으로 여겨진다. 그러나 현재 남아있지 않다(Situ & Yi, 1995).

등봉 관성대 규표의 규면은 그림 3(b)와 (c) 같이 못



그림 3. 중국 하남성에 있는 등봉 관성대의 40자 규표. (a) 등봉 관성대의 전경으로 규표대의 창문으로 횡량이 설치되어 있고, 아래에 규가 있다. (b) 규의 북쪽으로 못과 물홈이 있으며, (c) 규의 남쪽으로 물홈과 못이 배치되어 있다. (b)와 (c)에서 물홈 안의 눈금은 지워져 확인할 수 없다(사진출처: 양홍진 등 제공).

-물홈-못의 배치순서를 가지고 있다. 표기둥에 해당하는 것이 규표대이기 때문이다. 이렇게 규표대가 설치된 이유는 5장에서 언급하겠지만, 구리로 만든 규표 상부(표기둥-횡량지지대-횡량)의 구조적 안정성을 높이기 위한 것이었다.

그림 3(b)와 (c)에서는 못-눈금-못의 배치순서를 볼 수 있다. 눈금은 물홈 안에 그려져 있었지만, 지금은 마모되어 볼 수 없다. 그림 2(b)의 배치순서와 많이 일치한다. 표기둥-못-눈금-못의 규면 배치순서는 등봉 관성대의 표기둥(규표대)와 못-눈금-못의 규면 배치순서에 전승되어 남아 있다. 다만 그림 3(b)와 (c)에서 못이 사



그림 4. (a) 과거 창덕궁 소장 일성정시의(송상용 등, 1994). (b) 합천 해인사 소장 현주일구(남문현, 2002). 두 유물 모두 세종 대에 제작된 것으로 추정되며, 그림 2 (b)의 못과 물홈의 연결 방식을 보여주고 있다.

각형으로 「제가역상집」 <규표>의 못과 차이를 보인다. 그림 3(b)와 (c)에서는 못과 물홈 사이의 연결 관계를 보여 주고 있다. 이는 물홈과 못을 각각 독립적인 규면의 구성요소로 인식하여 이 둘을 연결하고 있다. 기존 연구는 그림 2(a)와 같이 물홈이 못을 관통하는 연결 방식을 취하고 있었다.

조선시대 일성정시의와 현주일구의 유물에도 못과 물홈의 연결 방식을 확인할 수 있다. 그림 4와 같이 창덕궁 소장 일성정시의(송상용 등, 1994)나 합천 해인사 소장 현주일구(남문현, 2002)⁸를 보면, 못과 물홈의 연결 방식이 그림 3(b)와 (c)에 유사함을 볼 수 있다. 물홈이 못의 원형을 관통하지 않는다. 일성정시의나 현주일구는 물홈은 밀받침의 가장자리를 두르고 있고, 그 내부에 못이 있다⁹. 그림 2(b)의 못과 물홈의 연결은 기존 유물의 특성을 반영하였다.

「제가역상집」 <규표>에서 눈금은 길이 120자, 너비 6치이며, 눈금 옆에 1치의 간격을 띄우고 다시 1치의 물홈이 있다. 덧붙여 중국의 등봉 관성대의 유물을 보았을 때, 실제로는 눈금 주변을 1치의 간격을 두고 1치 너비의 물홈이 둘렀음을 추론할 수 있다.

따라서 대규표의 규면은 그림 2(b)와 같이 남에서부터 표기둥-못-물홈-눈금-물홈-못이 순서대로 배치되어 있었을 가능성이 매우 높다. 따라서 표 2에서 ‘못 ~ 눈금’ 또는 ‘눈금 ~ 못’ 사이(그림 5의 기호 e 위치)에 1치의 물홈이 있었음을 예상할 수 있다.

그림 5의 평면도에서 못의 위치를 보면, 「제가역상집」 <규표>에서 설명한 ‘(못이) 더불어 표와 횡량의 중심 위아래에 서로 수직하게 놓인다(與表梁中心上下相直)’와 정확하게 일치함을 볼 수 있다. 여기서 ‘표와 횡량의 중심’은 동서축에 대한 못의 위치를 설명한 것이

⁸ 합천 해인사 성보박물관(<http://www.haainsamuseum.com/>) 참조.

⁹ 일성정시의나 현주일구 유물에서 물홈이 밀받침 가장자리를 두르는 것은 간의의 물홈에서 비롯된 것으로 보이며, 이는 밀받침 전체의 수평을 맞추기 위한 것으로 보인다.

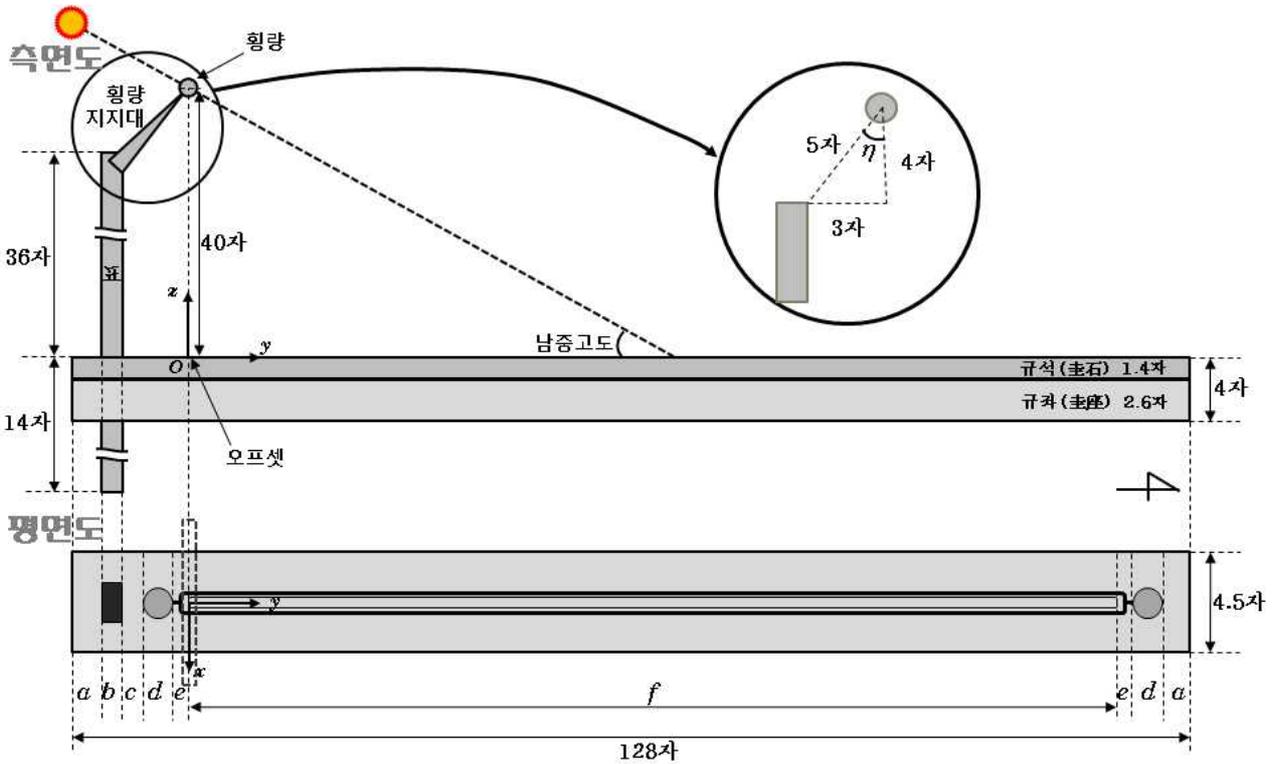


그림 5. 본 연구에서 「제가역상집」 <규표>를 재해석하여 설계한 대규표의 개념도. 위는 대규표의 측면도이고, 아래는 규의 평면도이다. 아래 평면도에서 표현한 알파벳 기호는 표 2에서 참조한 것이다.

고, ‘표와 횡량의 위아래’는 남북축 상에서의 못의 위치를 표현한 것으로 볼 수 있다.

4. 표기등과 횡량의 위치 관계

4.1. 3차원 상에서 횡량의 위치

「제가역상집」<규표>는 표 꼭대기에서 횡량 중심까지 수직방향(z축 방향)으로 4자인 것만 기술하고 있다. 그러나 횡량 중심선이 표(기둥)에서 수평방향(y축 방향)으로 얼마만큼 떨어져 있는지 알지 못하면, 3차원에서 횡량의 위치를 정할 수 없다. 횡량 중심이 표에서 떨어진 정도를 추론하기 위해서는 3장의 규면 구성요소를 다시 살펴보아야 한다.

대규표 규면의 길이는 128자로, 규면에는 표, 못, 눈금, 물흠 등이 있고, 이들은 표-못-물흠-눈금-물흠-못의 순서로 배치되어 있다고 가정한다(그림 2(b) 참조). 그림 5는 「제가역상집」<규표>에 따라 그런 대규표의 개념도이다. 그림 5에서 위쪽 그림은 측면도이고, 아래쪽 그림은 규의 평면도이다. 이 평면도에 나타난 알파벳 기호는 표 2에서 참조한 것이다. a는 규면 양단의 여백이고, b는 표의 두께이며, c는 표와 못 사이의 거리이고, d는 못의 지름이다. e는 못에서 오프셋까지의 거리가

며, f는 눈금의 길이이다. 오프셋은 눈금이 시작하는 위치이며, 횡량중심선을 연직방향으로 규면 상에 투영했을 때 만나는 선이다.

$$2a + b + c + 2d + 2e + f = 128 \text{ [자]}$$

표 2에 따라 $b = 1.2, c = 1, d = 1.5, f = 120$ 이다.

$$a + e = 1.4 \text{ [자]}$$

수평방향으로 표기등과 오프셋 사이의 거리는 $c + d + e$ 이다. $c + d$ 는 2.5자이다. 한편 그림 2(b)와 같이 못과 눈금 사이에는 물흠이 있다고 가정하면, 눈금에서 1치 떨어져 1치의 물흠이 있으므로, e는 적어도 0.2자 이상이어야 물흠과 눈금, 물흠과 못이 접하지 않는다.

$$c + d + e > 2.7 \text{ [자]}$$

또한 규면의 너비가 4.5자이고, 표의 너비가 2.4자이므로 표를 제외한 규의 양쪽 너비의 여분이 약 1.05자이다. 이러한 크기를 엄두에 두었을 때, a의 크기도 1

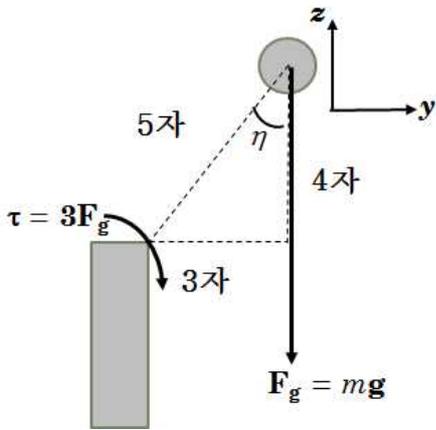


그림 6. 대규표의 횡량과 횡량지지대가 받는 중력과 회전력.

자 내외($a \approx 1$ 자)를 가질 가능성이 높다. 만약 e 가 0.5 자라고 가정하면, a 는 0.9자가 된다. 이럴 경우 표에서 눈금까지 3자가 된다. 마찬가지로 그림 5의 평면도에서 규면 상 표기둥은 약 1자의 공간으로 둘러싸임을 확인할 수 있다.

$$c + d + e = 3 \text{ [자]}$$

이렇게 표(기둥)에서 오프셋까지 거리를 3자라고 가정하여 보자. 표 꼭대기 북변에서 횡량 중심까지 y 축으로 3자가 되고, z 축으로 4자가 된다. y 축과 z 축이 서로 수직이므로, 표 꼭대기 북변에서 횡량 중심선까지 직각삼각형을 그릴 수 있다. 따라서 그림 5와 같이 횡량지지대의 길이를 5자로 추론할 수 있다.

표 꼭대기에서 횡량을 설치하기 위해 3:4:5의 길이 비를 가진 직각삼각형을 사용했을 수 있다. 만약 이 직각삼각형을 사용했다면, 그림 2(b)의 규면 배치와 잘 어울리고, 표 2에서 미지수인 a 와 e 의 값은 각각 0.9자와 0.5자로 결정할 수 있다.

오늘날 피타고라스의 정리로 알려진 3:4:5의 직각삼각형이 당시에도 활용되었는가? 3:4:5의 비율을 가진 직각삼각형은 이미 「주비산경(周髀算經)」에 기록되어 있다. 이 「주비산경」은 3세기 초 중국 후한말에서 삼국시대의 수학자인 조상(趙爽)이 주석을 달아 (A.D.) 222년에 출판한 것이 현재까지 전해지고 있다. 조상의 주비산경 주석에서, 구고(句股) 정리(피타고라스 정리)는 물론 직각삼각형에 대한 24개의 명제를 증명하였다(김창일, 2006). 또한 수시력이나 칠정산내편 등에서 교식(일월식) 계산을 위해 개평근(開平根, 제곱근)을 사용

하고 있다. 원 왕조(1206 ~ 1367) 초기의 40자 규표나 조선 세종(1418 ~ 1450)의 대규표가 만들어진 당시에는 직각삼각형의 3:4:5 길이 비율은 이미 잘 알려져 있었을 것이다.

4.2. 대규표 횡량의 구조적 문제

대규표에서 3:4:5 직각삼각형의 성질을 이용하면 표 꼭대기로부터 횡량을 설치하는데 매우 유리하지만, 반면 횡량의 구조적인 문제점이 발생할 수 있다.

그림 6과 같이 z 축에 대한 횡량지지대의 경사각을 η 라고 하면, η 는 약 36.86° 이다.

$$\sin \eta = \frac{3}{5}, \quad \cos \eta = \frac{4}{5}$$

횡량의 질량을 m 이라 할 때, 이는 횡량 재질의 밀도(ρ)와 부피(V)의 곱으로 주어진다.

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \pi r^2 l$$

전상운(1998)은 전통 한국의 청동 금속기술은 아연-청동 합금으로 그 품질이 우수하였는데, 세조 1년(1455)의 을해자(乙亥字)의 화학 분석 결과, 구리 79.45%, 주석 13.20%, 아연 2.30%, 철 1.88%, 납 1.66%, 망간 0.45%라고 하였다. 구리의 밀도는 8.94 g/cm^3 이고, 주석의 밀도는 7.365 g/cm^3 이며, 아연의 밀도는 7.14 g/cm^3 이다. 철의 밀도는 7.86 g/cm^3 이고, 납의 밀도는 11.342 g/cm^3 이며, 망간의 밀도는 7.2 g/cm^3 이다.

횡량의 합금을 을해자와 비슷하다고 가정할 때, 그 밀도는 8.61 g/cm^3 이다. V 는 $\pi r^2 l$ 이고, r 은 횡량의 반지름으로 1.5치이며, l 은 횡량의 길이 6자이다. 횡량의 물흙과 3점의 철사를 무시하고 단순히 원형막대라고 가정하고, 남문현(1995)의 연구처럼 1자를 20.7 cm라고 하면, 횡량의 부피는 $3,761.791 \text{ cm}^3$ 이다. 횡량이 균일한 청동이라고 가정하면, 횡량의 질량은 약 32.4 kg이 된다.

그림 6과 같이 횡량은 중력($F_g = mg$)의 영향을 받는다. 따라서 F 는 -317.52 N 이다. 한편 표 꼭대기에서 받는 횡량지지대의 회전력은 $\tau = D \times F$ 이다.

$$\tau = D F_g \sin \eta$$

여기서 D 는 횡량지지대의 길이로 5자이다. 횡량지지대 자체의 질량을 고려하지 않을 때, 횡량에 의한 회전력은 $3F (= 5 \cdot F \cdot \frac{3}{5})$ 로, 약 -952.56 N 이다. 따라서 표 기둥에 부착하여 횡량을 받드는 횡량지지대는 약 950

N의 회전력을 지탱해야 한다.

다만 Situ & Yi(1995)가 언급했듯이, 「원사」 <천문지> ‘규표’의 모본이 금(金) 왕조의 천문대에도 있었는데, 표기등을 나무로 만들었다고 한다. 원 왕조에 와서 표기등이나 횡량을 구리로 대체했던 것이다¹⁰. 일 레로 참나무의 밀도가 약 0.85 g/cm³이다. 만약 표와 횡량을 목재로 제작하여 3:4:5 직각삼각형에 맞게 표-횡량을 설치하였다면 횡량의 회전력이 약 1/10배(94 N) 작아진다. 따라서 금 왕조의 목재 횡량 규표는 횡량의 정역학적 문제가 심각하지 않았을 수 있다.

대규표의 복원에 있어서, 금속제 횡량은 구조적으로 불안정하므로 이를 해결할 수 있는 연구가 지속되어야 하겠다.

4.3. 횡량의 구조적 문제에 관한 기록

대규표의 구조적 문제는 명종 1년(1546) 실록의 기록에서 나타난다.

관상감이 아뢰기를, 간의대의 규표가 터진 곳은 지금 이미 보강하였고 이제 (규좌)대석을 연정하는 일만 끝나면 세울 것입니다. 다만 (세종의) 옛 제도는 표기등 가운데 빈 곳을 유희(기름석회)로 채웠는데 지금도 옛 제도를 따라서 해야 하나, 표기등이 터지고 기운 이유를 생각해 보니, 기등 위에 횡량을 바친 두 마리의 용과 부착한 두갑이 매우 무거워 30여 명이 겨우 세워 올릴 수 있는 정도이고, 용의 형상도 북쪽을 향하여 횡량을 받치고 있어 북면에 무게가 치우쳐서 그러한 것입니다. 규석은 그림자를 취하는 것이니 쌍룡이 횡량을 받치도록 무겁게 만들 필요가 없습니다. 한 마리의 용을 가볍게 주조하여 기등머리에 서려 있게 하고 손을 곧바로 하여 위를 향해 들보를 받쳐서 표주 사면의 경증을 고르게 하면 기울거나 터지지 않을 것이나 다만 선왕(先王)의 옛 제도를 경솔하게 고칠 수 없으므로 감히 못하는 것입니다. 지금 마땅히 옛 제도를 따라 세워야 하나 얼마 안 되어 다시 기울고 터질 것 같기에 얇은 돌을 표기등에 올려 놓고 구리철사로 만든 띠로 너댓 군데를 묶어서 후환을 대비하려 합니다. 규의 기등을 보수하고 다시 세우는 것은 지극히 어려운 일이니 깊이 생각하시어 잘못되는 일이 없게 하소서.¹¹

¹⁰ 주석 3의 책
今以銅爲表, 高三十六尺, ...

¹¹ 「명종실록」 권3, 명종 1년(1546) 6월 24일(기유)
觀象監啓曰, 簡儀臺主表拆破處, 今已補鑄, 時方鍊正臺石, 畢則將立. 但舊制表柱中空處, 實以油灰, 今亦依舊制爲之, 但表柱拆破傾側之由, 則意必柱上擎樑兩龍及所附着頭甲, 極爲斤重, 三十餘人,

위 기록에 따르면, 명종 1년(1546)에는 대규표의 표기등과 횡량지지대가 훼손되었음을 추측할 수 있다. 실록 기록에서 알 수 있듯이 횡량을 설치하는데 장정 30명이 투입될 정도로 무거웠다. 대규표는 그림 6과 같이 횡량 자체의 무게뿐만 아니라 횡량지지대마저도 매우 무거웠다. 세종 25년(1443) 간의대가 경회루 북서쪽에서 신무문 서쪽으로 옮겼을 때 대규표도 함께 이전했다(김상혁 등, 2011). 그 이후로 간의대 및 간의의 보수공사가 종종 9년(1514)¹²과 종종 21년(1526)¹³에 있기는 하나, 이때 대규표도 함께 수리했는지는 알 수 없다.

중국에서는 횡량의 구조적 문제를 개선한 형태가 3.3절에서 설명한 하남성의 등봉 관성대일 것으로 추측된다. 횡량지지대와 횡량이 구조적으로 표기등에 가하는 정역학적 무게를 개선하기 위해 표기등을 규표대로 변형하고, 규표대 건물의 북쪽 창에 횡량을 설치하게끔 구조를 변경하였을 것이다.

5. 결론

지금까지 「세종실록」에 기록되어 있는 대규표의 구조에 대해 살펴보았다. 조선 전기 대규표는 「제가역상집」 <규표>에 따라 설계되었을 것으로 여겨지고 있다. 기존 연구에서 대규표의 규면은 못-표기등-눈금-못의 배치를 추정하였다. 그러나 본 연구에서 제시한 「제가역상집」 <규표>의 새로운 해석에 따르면, 대규표의 규면은 표기등-못-물홈-눈금-물홈-못의 순으로 배치되어 있었음을 유추할 수 있다. 이는 「원사」 <천문지> ‘규표’에 따라 제작되었을 것으로 여겨지는 중국 등봉 관성대의 규면의 모습인 못-물홈-(눈금)-물홈-못과 유사하다.

대규표의 횡량은 표 꼭대기 북단에서 북쪽방향으로 비스듬히 기울어져 설치되어 있으며, 표 꼭대기에서 수직으로 4자만큼 높게 위치하고 있다. 대규표의 규면이 표기등-못-물홈-눈금-물홈-못의 순으로 배치되었다면, 표기등에서 눈금의 오프셋까지 3자만큼 떨어져 있었음을 유추할 수 있다. 따라서 대규표의 횡량은 표 꼭대기에서 수직으로 4자만큼 높게 위치하여야 하고, 수평으로 3자만큼 떨어진다고 가정하면, 직각삼각형의 빗변에 해당하는 횡량지지대는 5자가 되어야 한다.

만약 표와 횡량을 나무 재질로 만들었다면 횡량은

僅能運轉, 龍形又北向擎樑, 北邊偏重而然也. 圭石取影, 不必體重, 雙龍擎樑, 然後爲之. 雖以獨龍輕鑄, 蟠據柱頭, 直手向上擎樑, 而使表柱, 四面輕重均平, 則不至傾側拆破, 而第以先王舊制, 難於輕改, 故未敢爲之. 今當仍舊制整整, 疑其不久而復至傾拆, 故欲於狹石上柱表, 以銅鐵作帶四五處束之, 以備後患. 圭柱修補改立, 極爲重難, 須窮思極慮, 俾無差違.

¹² 「중종실록」 권20, 중종 9년(1514) 5월 20일(임오).

¹³ 「중종실록」 권57, 중종 21년(1526) 5월 11일(계사).

구조적으로 문제를 발생하지 않지만, 대규표와 같이 금속 재질로 이들을 제작한다면 정역학적인 문제를 발생시킬 수 있다. 용의 형상(횡량지지대)과 관련하여, 향후 횡량의 구조적 문제에 대한 연구가 필요하다.

지금까지 논의한 규면의 구성요소의 배치순서와 표-횡량의 위치 관계는 향후 간의대 및 대규표 복원 사업에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문의 저자 중 이기원은 2011년도 대구가톨릭대학교의 교내정착연구비를 지원받아 연구를 수행하였습니다.

참고 문헌

김상혁, 민병희, 안영숙, 이용삼, 2011, 조선시대 간의대의 배치와 척도에 대한 추정, 천문학논총, 26, 115

김창일, 2006, 중국 수학자와 산서, 한국수학사학회지, 19, 21

나일성, 박성래, 전상운, 남문현, 1992, 과학기술문화재 복원 기초조사 및 설계용역 보고서, 연세대학교 천문대

나일성, 정장해, 원유한, 이용삼, 김천휘, 윤명진, 김병희, 나사라, 이충욱, 1995, 축소 제작한 세종의 규표, 세종조 과학기구 규표 복원제작 연구보고서, 세종대왕 유적관리소

남문현, 1995, 한국의 물시계 - 자격루와 제어계측공학의 역사, 건국대학교출판부(서울), pp.269-304

남문현, 2002, 장영실과 자격루(조선시대 시간측정 역사 복원), 서울대학교출판부(서울), pp.66-69

민병희, 이기원, 안영숙, 이용삼, 2010, 조선시대 관상감과 관천대의 위치 변화에 대한 연구, 천문학논총, 25, 141

민병희, 김상혁, 이기원, 안영숙, 이용삼, 2011, 조선시대 소규표(小圭表)의 개발 역사와 구조적 특징, 천문학논총, 26, 129

이용삼, 정장해, 김천휘, 김상혁, 2006, 조선의 세종시대 규표(圭表)의 원리와 구조, 한국우주과학회지, 23, 289

이용삼, 양홍진, 김상혁, 2011, 조선의 8척 규표 복원 연구, 한국과학사학회지, 33, 509

이은성, 1985, 역법의 원리분석, 정음사(서울), pp.13-19

전상운, 김성삼, 김정흠, 나일성, 남천우, 박성래, 박익수, 박홍수, 유경로, 이은성, 이태녕, 송상용, 1984, 한국의 과학문화재 조사보고, 한국과학사학회지, 6, 58

전상운, 1998, 한국과학사의 새로운 이해, 연세대학교출판부(서울), pp.306-316

정연식, 2010, 조선시대 관천대(觀天臺)와 일영대(日影臺)의 연혁(창경궁 일영대와 관련하여), 한국문화, 51, 265

송상용, 유경로, 박성래, 이성규, 성영곤, 이필렬, 문중앙, 1994, 우리의 과학문화재, 한국과학기술진흥재단(서울), p.84

한국과학사학회, 1979a, 서운관지·국조역상고(한국과학고전총서I), 성신여자대학교 출판부(서울), pp.497-499

한국과학사학회, 1979b, 제가역상집·천문유초(한국과학고전총서II), 성신여자대학교 출판부(서울), pp.325-326

潘鼐, 2005, 彩图本 中國古天文儀器史, 山西教育出版社(太原) pp.46-62

中華書局, 1997, 二十四史-十八元史, 中華書局(北京, 北京未來科學技術研究所印刷廠), pp.996-997

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 University Press (Cambridge), pp.70-74

Li, Q., 1995, Application of Pinhole Imaging Principle in Guo Shoujing's Measurements of Tropical Year, in International Conference on Oriental Astronomy from Guo Shoujing to King Sejong, Yonsei University Press (Seoul), pp.229-236

Situ, D. & Yi, S., 1995, The Gnomon in the Yuan Dynasty and Dengfeng Observatory, in International Conference on Oriental Astronomy from Guo Shoujing to King Sejong, Yonsei University Press (Seoul), pp.237-241