

조선시대 규표의 대형화와 횡량의 역할 THE ROLE OF A CROSS-BAR AND THE ENLARGEMENT OF A GNOMON IN JOSEON DYNASTY

민병희^{1,2}, 이기원³, 김상혁¹, 이용삼²

¹한국천문연구원, ²충북대학교 천문우주학과, ³대구가톨릭대학교 교양교육원

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

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

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

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

E-mail: bhmin@kasi.re.kr

(Received June 15, 2013; Accepted September 26, 2013)

ABSTRACT

Gyupyo (圭表, Gnomon) consists of *Gyu* (圭, Measuring Scale) and *Pyo* (表, Column), and was one of the traditional astronomical instruments in East Asia. *Daegyupyo* (Large Gnomon) was manufactured in the Joseon dynasty around 1434 ~ 1435. To increase the measurement accuracy, it was equipped with a *Hoengyang* (橫梁, Cross-bar) and used a *Youngbu* (影符, Shadow-Definer) which was invented during the Yuan dynasty (1271 ~ 1368). The cross-bar was installed on the top of the column and this structure was called *Eol* (臬). In addition, three plumbs hanging from the cross-bar was employed to vertically built *Eol* on the measuring scale. This method was also used to not only check the vertical of *Eol* but also diagnose the horizontal of the cross-bar. Throughout this study, we found that a cross-bar in a gnomon has played three important roles; measurement of the shadow length made by the central part of the Sun, increase of the measurement precision using the shadow-definer, and diagnosis of the vertical of *Eol* and the horizontal of the cross-bar itself using the three plumbs. Hence, it can be evaluated that the employment of a cross-bar and a shadow-definer in a gnomon was a high technology in the contemporary times. In conclusion, we think that this study is helpful for understanding the Large Gnomon of the Joseon dynasty.

Key words: gyupyo (gnomon); Hoengyang (cross-bar); three plumbs hanging; Joseon dynasty

1. 서론

인류 문명은 오래전부터 해시계를 개발하고 발전시켜왔다. 고대이집트에서 발견된 L자 모양의 시간측정기가 있었는데, 수직으로 선 짧은 팔과 수평의 긴 눈금 팔로 태양의 그림자를 측정하였다. 당시에는 *setchat* 또는 *merkhet*(‘얇을 주는 기기’)라고 불렀고, 기원전 575년 그리스 해시계 발명가 아나크시만드로스(Anaximander, 611? ~ 547? BCE)가 *merkhet* 의미를 본 따 *gnomon*(‘알 수 있게 하는 것’)이라는 해시계의 명칭을 지었다(Gazale, 1999). 동아시아에서도 상고시대부터 규표(圭表)가 사용되었다(潘籟, 2005). 이 규표는 남중하는 천체의 그림자 길이를 측정하여 한 해의 절기를 관측하였다.

규표는 규(圭) 위에 표(表)가 수직으로 서 있는데(이후 ‘고전적 규표’), 중국 한대(漢代)에 이르러 8자[尺]의 표와 13자의 규로 정형화된 것으로 알려져 있다(潘籟, 2005). 13세기부터는 규표의 표 위에 횡량이 추가로 설치되었는데(이후 ‘횡량형 규표’), 『원사(元史)』 「천문지(天文志)」 <규표> 조에 그 전말(顛末)이 기록되어 있다. 횡량이 설치된 규표는 그 구조와 제작기술이 고전적 형태보다 다소 복잡해지지만, 영부(影符)를 함께 사용함으로써 획기적인 관측효과를 얻게 된다(Needham et al., 1986; 나일성 등, 1992; 이용삼 등, 2006; 민병희 등, 2011).

조선시대에는 대규표(大圭表)와 소규표(小圭表)가 제작되었다. 『세종실록』에 의하면, 대규표는 『원사』

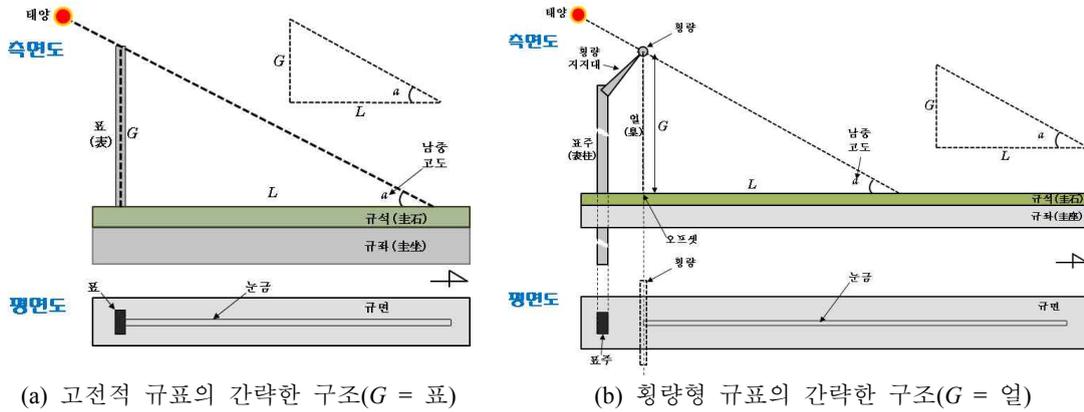


그림 1. (a) 고전적 규표의 간략한 구조($G = \text{표}$)와 (b) 횡량형 규표의 측면도와 평면도(민병희 등, 2012 참조). 고전적 규표는 표(G) 자체의 그림자가 규면 위 눈금에 드리워진다. 반면 횡량형 규표는 규면에서 횡량까지의 높이를 얼(G)의 높이라고 하며, 횡량의 그림자가 생기는 눈금을 보고 그림자 길이(L)를 측정한다.

<규표> 조에 따라 제작된 것이며, 『원사』의 내용은 『제가역상집(諸家曆象集)』, 『국조역상고(國朝曆象考)』에 수록되어 있다(나일성 등, 1995 참조). 대규표는 40자 규표로 세종 16 ~ 17년(1434 ~ 1435)에 먼저 제작되었고, 소규표는 8자 규표로 세종 22년(1440)에 제작된 것으로 추정된다(민병희 등, 2011). 이 대·소규표가 제작된 지 약 100년 후인 명종(1545 ~ 1567) 대에 이들의 관측기록이 남아있다(민병희 등, 2011).

조선시대의 대·소규표는 횡량형 규표로 추론된다(민병희 등, 2011). 대규표에 대한 외형적 모델은 Needham et al.(1986)에 의해 처음 제시되었고, 이 모델에 기초하여 대규표의 축소 모형이 제작되었다(나일성 등, 1995). 최근에는 새로운 대규표의 모델이 제시되었다(민병희 등, 2012). 또한 대규표에 사용된 것으로 알려진 영부에 대한 심도 있는 연구도 있었다(이용삼 등, 2006; 민병희 등, 2011). 반면 소규표의 경우는 2011년에 한국천문연구원에서 복원 제작이 되었다(이용삼 등, 2011).

이 논문은 대규표가 횡량형 규표로써 대형화된 것을 기술적인 관점에서 바라보고자 한다. 이를 위해 먼저 고전적 규표와 횡량형 규표의 구조를 비교하여 구조와 제작에 따른 과학기술적 장단점을 분석하고, 대규표의 두 모델의 차이점에 대해 살펴보았다. 그 다음으로 규표에 횡량을 설치하는 방법과 횡량 정렬의 진단법을 살펴보고, 제작 기술적 관점에서 횡량형 규표의 건설 공정과 대형화의 관계성에 대해 논하였다.

2. 고전적 규표와 횡량형 규표

2.1. 고전적 규표와 횡량형 규표

동아시아에서 정형화된 규표는 앞서 언급한 것처럼 수직으로 선 표와 눈금이 있는 규로 구성된 단순한 구조였다(潘籟, 2005). 그림 1에는 고전적 규표와 횡량형 규표의 구조를 나타내었다(민병희 등, 2011, 2012 참조). 그림 1(a)와 같이 고전적 규표는 남중하는 태양에 의해 생긴 표 그림자 자체의 길이를 측정하였다. 따라서 표의 높이(G)가 그림자 길이(L)와 직접적인 관계를 가진다.

반면 그림 1(b)와 같이 횡량형 규표는 수직으로 세운 표 위에 비스듬하게 횡량이 설치되어 있다. 그리고 횡량형 규표에서는 남중하는 태양에 의해 생긴 횡량의 그림자를 측정한다. 이 때 규면에서 횡량까지의 거리를 얼(臬)이라고 했다. 본래 표(表), 얼(臬), 비(脾)는 같은 의미로 통용되었는데, 조선에서는 횡량형 규표에 대해서 표와 얼의 의미를 차별화한 듯하다(민병희 등, 2011). 횡량은 동서방향으로 설치되어 있고, 아래 규면의 눈금은 남북방향으로 새겨져 있어, 횡량의 그림자를 측정하면 얼의 높이(G)에 대한 그림자 길이(L)를 측정할 수 있다(그림 1(b) 참조). 횡량형 규표에서 표는 기둥의 역할을 하므로 표주(標主)라고 하며, 측정 시 표주의 그림자와 횡량의 그림자가 겹치지 않도록 표주의 머리와 횡량은 서로 떨어져 있어야 한다. 규표의 눈금은 횡량의 연직방향 아래에서 시작해야 한다. 표기둥에서 눈금이 시작되는 고전적 규표(그림 1(a) 참조)와 달리,

횡량을 설치하면 횡량형 규표는 표기등에서 벗어난 눈금(이후 ‘오프셋’)을 설계할 수 있다. 횡량지대의 기울기가 오프셋의 길이를 결정한다(그림 1(b) 참조).

표와 규는 나무, 돌, 금속제 등 다양하게 사용될 수 있다. 주경측경대의 표는 석제이고, 남경 자금산 천문대에 있는 명대 규표는 청동제로 석제 규좌 위에 설치되어 있다. 또한 『원사』 및 『세종실록』에 나오는 규표의 규는 석제이고, 표는 청동제이다. 그림 1에서 표는 청동제, 규는 석제라고 가정한 것이다.

2.2. 고전적 규표의 특성

북반구에서 위도 약 23.5도 이하의 지역에서는 하지 때 태양이 천정에 위치하거나 천정에서 북쪽의 자오선 상(이후 ‘북중’)에 위치하게 된다. 그림 1(a) 측면도와 같이, 규표는 표가 수직으로 세워져 있기 때문에, 북반구에서 태양이 북중하게 되면 표 그림자를 측정할 수 없게 된다. 반대로 남반구에 규표를 설치한다면, 북중하는 태양의 그림자를 측정해야 하는데, 이 경우 동지 때 태양이 남중하는 위도가 규표 설치위도의 한계선이 된다. 따라서 규표 설치위도의 한계선은 남북회귀선 근처임을 알 수 있다. 실제로 규표를 사용했던 고대 이집트 문명권, 이슬람 문화권, 인도 북부 문화권, 중국 문화권 및 한국은 모두 23°5'이상에 위치한다.

고전적 규표에서 표의 높이는 일반적으로 8자이다(潘籊, 2005). 8자는 조선의 주척(周尺)으로는 약 165.6 cm (1자 = 20.7 cm; 남문현, 1995 참고)인데 비해, 중국 명대의 양천척(量天尺)으로는 196 cm, 청대의 영조척(營造尺)으로는 256 cm로(이용삼 등, 2011 참고) 2 m 내외의 크기를 가진다. 고전적 규표는 표의 설치 및 눈금의 정밀도, 표 그림자의 불명확성 등의 단점을 가지고 있다.

2.2.1. 표의 수직 설치와 유지

고전적 규표의 설치 시, 규의 표면에 흙을 파서 물을 두름으로써 그 수평을 잡았다. 그러나 표를 규에 수직으로 설치하는 일은 어려운 작업으로 판단된다. 일반적으로 규에 구멍을 파서 표를 세울 경우, 그림 1(a)와 같이 표를 규에 수직하게 만드는 것과 동시에 표를 고정해야 하는 문제가 발생한다. 물론 과거에도 직각자[曲子]를 사용하였기 때문에 표를 규에 수직하게 세울 수 있었고, 표를 8자보다 길게 제작하여 규에 꽂거나 접착 물질을 이용하여 표를 규에 고정시킬 수 있었을 것이다.

그러나 구조적 지속성을 볼 때, 규의 수평을 유지하는 것이 표를 수직하게 유지하는 것보다 안정적이다. 만약 표가 1° 기울어지면 8자의 표 머리에서는 1치 4푼(0.14자)이, 즉 조선의 소규표는 2.89 cm, 명대 8자 규표

는 3.42 cm, 청대 8자 규표는 4.47 cm가 눈금 시작점과 어긋나게 된다. 규표의 설치 후에도 지속적으로 표가 수직을 유지해야 하는데, 고전적 규표는 표의 수직 상태를 즉각적으로 인지하거나 점검하기 어렵다. 표를 설치하는데 필요한 정밀성과 수직 상태의 점검 가능성이 표의 크기를 8자로 사용하게 했던 원인이 될 수 있다.

2.2.2. 눈금 시작지점의 모호성

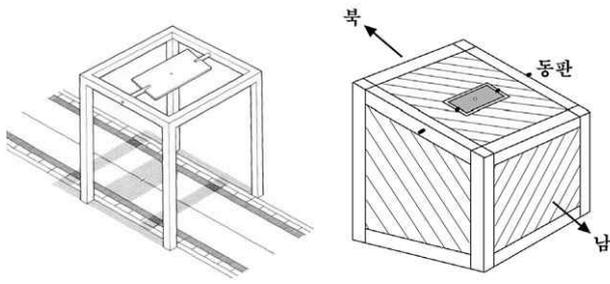
그림 1(a)의 평면도와 같이, 고전적 규표는 표의 뿌리에서 눈금이 시작한다. 나무와 같이 비교적 가공이 용이한 재질로 규표를 제작한다면 눈금의 시작점을 비교적 명확하게 제작할 수 있을 것이다. 그러나 규와 표가 서로 이질적 재료이거나 가공에 어려움이 있는 재료일 경우, 규와 표의 경계영역에서 시작되는 눈금은 그 정밀성이 떨어진다. 우선, 규와 표를 동일한 재료로 만들었다고 하더라도 규와 표의 경계지역 자체에 눈금이 있다는 것이 정밀성을 요구하는 관측기에 큰 약점으로 작용한다. 규표는 야외에 설치되므로 온도, 습도, 햇빛 등 외부환경에 노출되어 있어, 규와 표가 이질적 재료라고 하면, 열팽창, 내습성, 내열성 등의 차이로 눈금의 시작점이 변형되기 쉽다.

2.2.3. 표 그림자의 퍼짐

마지막으로 고전적 규표를 사용할 경우 표 그림자의 측정이 어렵다. 하지 때는 표 그림자의 길이가 짧으면서 그 경계가 명확하지만, 동지로 갈수록 표 그림자의 길이가 길어지고 그 경계가 넓게 퍼져 보인다. 민병희 등(2011)의 8자 규표의 모의실험에서, 약 46°의 태양고도일 때 그림자의 경계가 약 5푼(1.0 cm) 정도의 크기로 농도가 열어지면서 퍼져서 나타났다. 46°의 태양고도는 서울기준으로 경칩 또는 한로 무렵(동지 전후 75일 정도) 태양의 남중고도와 유사하므로, 동지에서의 표 그림자는 이보다 더 크게 퍼질 것이다. 표 그림자의 경계가 퍼지면 퍼질수록 관측자는 정확한 그림자 길이의 측정이 어렵고 부정확하게 된다.

2.3. 횡량형 규표의 특징

횡량형 규표는 고전적 규표의 단점을 개선한 관측기기이다. 그림 1(b)와 같이 횡량을 설치함으로써, 눈금의 시작점을 표에서 떨어뜨릴 수 있었다. 더불어 횡량을 동서방향으로 정렬함과 동시에 눈금의 시작점을 일치시킴으로써, ‘표를 수직하게 설치해야 하는’ 고전적 규표의 기술적 난점을 극복할 수 있었다(3장 참조). 횡량형 규표에서 눈금의 시작점이, 즉 눈금의 오프셋이 정해지면, 남중한 태양에 의해 만들어지는 횡량 그림자의 눈금을 읽음으로써, 그림 1(b)의 열에 대한 그림자 길이를



(a) Needham et al.(1986) 모델 (b) 이용삼 등(2006) 모델

그림 2. 영부의 여러 가지 모델. (a) Needham et al. (1986) 모델과 (b) 이용삼 등(2006) 모델의 개략도.

측정할 수 있다.

그러나 횡량형 규표에서 무엇보다도 중요한 사항은 영부(影符)를 사용한다는 것이다. 규면에 나타나는 횡량의 그림자는 횡량의 본영(umbra)은 사라지고 반영(penumbra)뿐이므로, 그림자의 위치가 횡량으로부터 멀어질수록 횡량의 그림자는 넓고 흐리게 된다. 즉 열이 높이가 높아지거나 태양의 남중고도가 낮아지면 횡량 그림자가 규면 위에 선명하게 나타나지 않는다. 이러한 횡량 그림자를 명확하게 만들어 주는 장치가 영부이다 (Needham et al., 1986; 이용삼 등, 2006). 『세종실록』에서 표현한 영부는 『원사』(그 밖에 『제가역상집』, 『국조역상고』)에서는 경부(景符)로 표현하고 있다(나일성 등, 1995).

2.3.1. 영부와 횡량 그림자 정밀성

영부는 바늘구멍 사진기의 원리를 이용한 것으로, 이용삼 등(2006)은 영부의 바늘구멍, 초점거리, 태양상의 직경 등 광학적 특성을 분석하였다(그림 2 참조). 한편 민병희 등(2011)은 횡량형 규표에서 영부를 통해 얻은 태양상과 횡량 그림자를 분석하였다. 그 결과 태양상은 타원형이며 그 안에 검은 횡량 그림자가 예리한 직선(선의 굵기가 1 mm 이하)으로 나타남을 보였다. 반면 고전적 규표에서는 영부를 사용하더라도 명확한 표 경계를 얻을 수 없었다. 고전적 규표에서는 표 경계가 퍼져 측정의 불확도가 높았지만, 횡량형 규표에서 영부를 사용함으로써 횡량 그림자의 정밀한 관측이 가능해졌다.

2.3.2. 태양 중심부 그림자의 측정

횡량 설치의 가장 큰 의미는 천문학적 측면에 있다. 『원사』<경부>조에는, 고전적 규표의 표 그림자는 태양 상변의 그림자인데 비해, 횡량을 설치하여 영부(또는 경부)로 관측하면 태양 중심의 그림자를 얻는다고

설명하고 있다(Needham et al., 1986; 민병희 등, 2011).

그림 3에서 표 또는 열의 높이(G)와 그림자길이(L)는 태양의 남중고도와 관계가 있으며, 천문학적으로는 당연히 태양의 고도는 태양 중심의 고도이어야 한다. 이러한 점에서 횡량형 규표는 고전적 규표보다 개선된 천체관측기라고 할 수 있다.

2.4. 대규표 모델

앞서 언급한 것처럼 조선시대 제작된 대규표는 『원사』<규표>조에 나오는 횡량형 규표이다. Needham et al.(1986)은 『원사』의 내용과 Ferdinand Verbiest(南懷仁, 1623 ~ 1688)의 8자 규표 설계도를 기초로 대규표의 모델을 제시하였다(이후 N86 모델). 이 모델은 이후 국내에서 규표를 복원하는데 많은 영향을 끼쳤다(나일성 등, 1992, 1995; 이용삼 등, 2006). 최근 민병희 등(2012)은 『원사』<규표>조의 내용을 재해석해서 대규표의 새로운 모델을 제시하였다(이후 M12 모델). N86 모델과 M12 모델의 차이는 열의 구조와 규면의 배치양식에 기인한다. 그림 3에 두 모델의 구조적 특성을 강조하여 나타내었다.

2.4.1. 열의 구조

『원사』<규표>조에 따르면, 대규표의 표 기둥 상단에서 횡량까지 수직으로 4자이다. 따라서 표 기둥 상단으로부터 횡량까지의 수평 거리에 따라 횡량의 구조는 그림 3의 측면도와 같이 가상의 직각삼각형을 만들 수 있다. 이 ‘열의 구조’를 비교해보면, N86 모델은 1 : 4 : $\sqrt{17}$ 의 직각삼각형을 이루고, M12 모델은 3 : 4 : 5의 직각삼각형을 이룬다(Needham et al., 1986과 민병희 등, 2012 참고). 그림 3의 설계를 그대로 따른다고 가정하면, N86 모델은 $\sqrt{17}$ 자, 곧 4.1231자의 횡량 지지대를 만들어야 하고, M12 모델은 5자의 횡량 지지대를 만들어야 한다. 『원사』나 『세종실록』에 따르면 횡량 지지대는 용의 형상으로 제작되었다.

그러나 횡량의 구조적 안정성의 관점에서 보면 N86 모델이 M12 모델보다 유리하다. 청동제 횡량의 무게만 고려하였을 때, M12 모델은 회전력이 약 953 m·N이고(민병희 등, 2012), N86 모델은 약 318 m·N으로 M12 모델보다 약 1/3배 작기 때문이다.

2.4.2. 규면의 배치

규면의 배치는 기본적으로 열의 구조와 연관되어 있다. 그림 3의 평면도에는 규면에 못이 원으로, 물훤이 굽은 선으로 나타내었다. 이 그림에서 N86 모델과 M12 모델은 서로 다른 구성요소의 배치를 볼 수 있다. N86 모델은 못, 표 기둥, 눈금, 못의 순인데 비해 M12 모델은

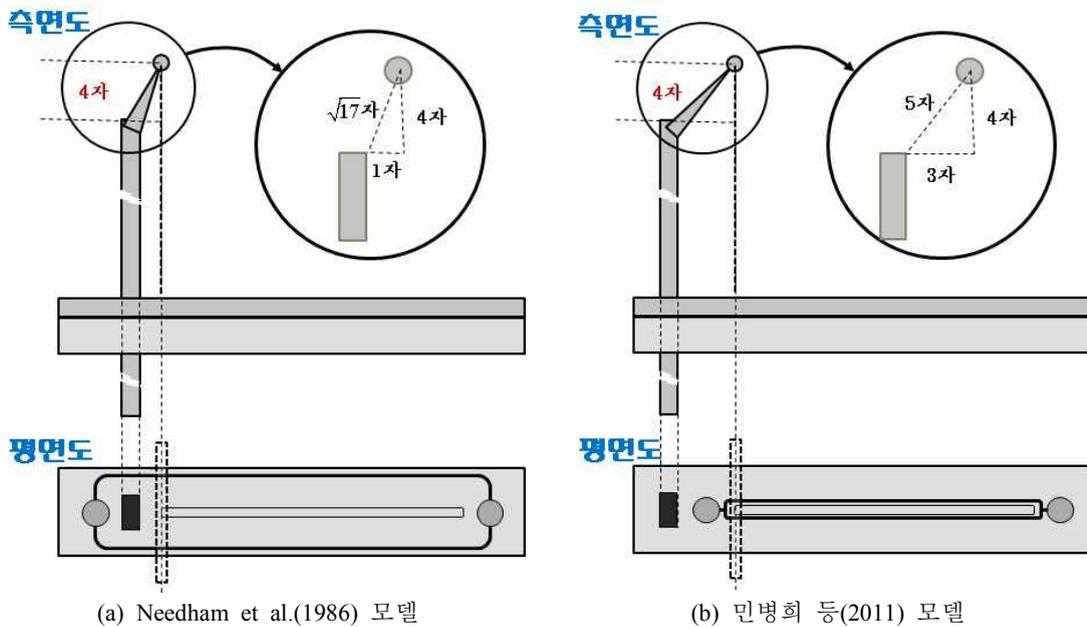


그림 3. 대규표의 두 모델의 구조적 차이. (a) Needham et al.(1986; N86) 모델과 (b) 민병희 등(2011; M11) 모델의 측면도와 평면도.

표 기둥, 못, 눈금, 못의 순이다(민병희 등, 2012).

한편 그림 3과 같이 못과 못 사이는 물홈으로 연결되어 있는데, N86 모델은 물홈이 규면의 가장자리를 둘러 ‘규면의 수평’을 바로잡는데 유리한 반면, M12 모델은 물홈이 눈금을 둘러싸고 있어 ‘눈금의 수평’을 잡는 주목적에 더 부합한다. 실제 대규표의 경우 그림 1 또는 그림 3의 규석의 총 길이가 128자이므로, 규석은 약 7.5 - 9.0자 길이로 약 14 ~ 17개의 규석조각이 이어져 있었을 가능성이 크다(민병희 등, 2011). 규석 조각마다 눈금을 잇고 물홈도 이어야 하는데, 이 때 물홈은 규면의 수평보다 눈금의 수평을 바로잡는 기능을 해야 한다. 이러한 관점에서는 M12 모델이 N86 모델보다 더 합리적이다.

3. 3차원에서의 횡량 설치방법

3.1. 문헌 기록 분석

『원사』 <규표>에 따라 대규표를 제작할 때, 기술적 어려움 중의 하나는 횡량을 규면으로부터 40자 높이에 설치하는 일이다. 3차원 공간에 횡량을 전후·상하·좌우로 정렬해서 설치해야 한다. 『원사』 <규표>에서 횡량을 설치하는 기술적인 방법을 다음과 같이 설명하고 있다.

그(표) 끝의 양 옆에는 용 두 마리가 있는데, (용의) 반신이 표 위로 횡량을 떠받치고 있으며, 횡량

중심에서 표 꼭대기까지 4자이고, 아래 규면까지 연결하여 합치면 40자가 된다. 횡량은 길이 6자, 지름 3치이고, 위에 물홈이 있어 수평을 취한다. (횡량의) 양 끝과 중앙 허리에 각각 가로구멍이 직경 2푼이고, 철(= 철사)로 가로(구멍)를 관통하는 길이가 5치인데, 선을 메어 중앙에서 합치고, (다시) 추를 매달아 (수직을) 바르게 취해 또 기울거나 땅이 꺼지는 것을 막는다(其端兩傍爲二龍, 半身附表上擎橫梁, 自梁心至表顯四尺, 下屬圭面, 共爲四十尺. 梁長六尺, 經三寸, 上爲水渠以取平. 兩端及中腰各橫竅, 經二分, 橫貫以鐵, 長五寸, 繫線合於中, 懸錘取正, 且防傾墊).¹

위 기사에 따른 횡량의 재원을 표 1에 정리하였다. 횡량에는 상단에 물홈이 있고, 세 지점에 십자 모양으로 철사를 넣을 수 있는 구멍이 있다.

위 기사는 횡량의 재원뿐만 아니라 이를 바르게 정렬하는 방법에 대해서도 설명하고 있다. 즉 횡량의 수평 정렬은 횡량 위의 물홈을 이용하고, 횡량의 길이방향 곧 동서방향의 정렬은 추를 매다는 현추법(懸錘法)으로 설명하고 있다(雷煥芹와 趙逢亂, 1995).

¹ 『원사』 48 지(志) 권1 천문(天文)1 8나-9가(또는 『제가역상집』 권3 의상(儀象) 31가-31나).

표 1. 문헌에 나타난 횡량의 재원

항목		주척[자]	미터법[cm]
횡량	길이[長]	6	124.2
	직경[經]	0.3	6.21
철사	길이[長]	0.5	10.35
	직경[經]	0.02	0.414

3.2. 삼점현추법(三點懸錘法)

횡량형 규표에서 사용되는 현추법을 기술하기 위해 얼의 구조를 그림 4와 같이 <지평좌표계>로 나타내었다. 원점 O는 규면상의 눈금이 시작하는 오프셋이고, x축은 동쪽, y축은 북쪽, z축은 천정이다. 만약 대규표에 횡량을 설치한다면, 횡량이 정렬되어야 할 방향이 x축, 규의 남북길이 방향이 y축, 얼의 높이 방향이 z축이 된다.

그림 5(a)에는 횡량에 고정된 철사의 단면도를 나타내었다. 3.1절에서 언급한 『원사』의 설명과 같이 선을 철사 양끝으로부터 횡량 단면의 중심에 모아 추를 매단다[懸錘]. 추를 매단 선이 곧 연직방향을 나타낸다. 이러한 방법으로 현추법은 천문의기의 수평을 잡는 기능을 수행하였다.

조선 세종(1418 ~ 1450) 대에 창제된 소형의 해시계류인 현주일구, 천평일구, 정남일구에는 이 현추법(懸錘法)을 적용하였다. 그림 4와 같이, 이들 해시계 밑받침상의 원점 위치에 십자선을 새겨놓고 추 끝을 일치시키면, 해시계의 수평을 잡을 수 있었다. 또한 이들 해시계의 밑받침에 있는 물홈도 해시계의 수평을 잡는 기능을 하였다. 만약 물홈과 현추법을 동시에 사용하면, 해시계의 밑받침 위에 설치된 기둥, 시반, 사유환 등을 제작시 바르게 설치할 수 있고, 또한 사용시 구조적 변형을 점검할 수 있었다. 현존하는 관련 유물이 없어, 세종 이전에도 천문의기에 현추법이 사용되었는지는 확인할 수 없지만, 수평을 잡은 방법으로 현추법을 물홈과 함께 적용한 것은 기술적 융합이라고 할 수 있다. 분명한 것은 『제가역상집』에서 수집한 조선 초기 이전 중국의 천문의기에서도 물홈과 현추법을 같은 목적으로 동시에 사용한 흔적이 없다.

횡량형 규표에서는 『원사』<규표>의 기사와 같이, 횡량을 정렬시키기 위해 삼점현추법을 사용하였다. 여기서 삼점은 횡량의 중심(O)과 동서방향으로 같은 거리에 떨어진 위치(p)이고(그림 5(b) 참고), 이 세 점에 철사를 고정시키고 있다. 철사가 놓여있는 방향은 횡량에 수직인 방향(남북방향)이며, 횡량의 물홈으로 수평을 잡을 때 철사도 규면에 대해 평행하게 놓인다. 철사가 설

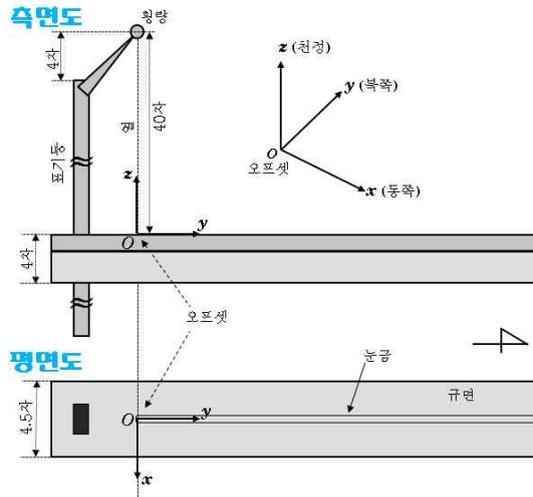


그림 4. <지평좌표계>로 나타낸 얼의 구조.

치된 세 위치에서 그림 5(a)와 같이 추를 매다는 것이 ‘삼점현추법’이다.

이 세 추는 규면 상에서 오프셋의 연장선 상에 일치시켜야 한다. 현추선이 연직선이고, 두 개의 직선이 모두 두 지나는 평면은 오직 하나이므로, 연직선을 품는 평면은 지평에 수직하게 된다. 더불어 세 점의 현추를 사용하면 횡량과 규면을 평행하게 정렬할 수 있다. 횡량의 삼점 현추(z = 얼의 높이)를 오프셋의 연장선(z = 0자)에 일치시키는 조건을 지평좌표계로 나타내면 다음과 같다(그림 6 참고).

$$\overline{A'O'B'} // \overline{AOB}$$

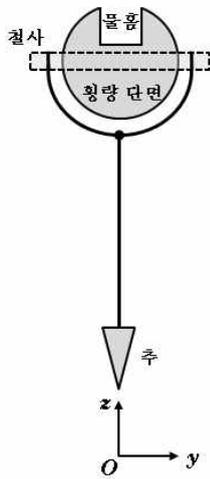
즉,

$$\overline{(-p, 0, z)(0, 0, z)(p, 0, z)} // \overline{(-p, 0, 0)(0, 0, 0)(p, 0, 0)}$$

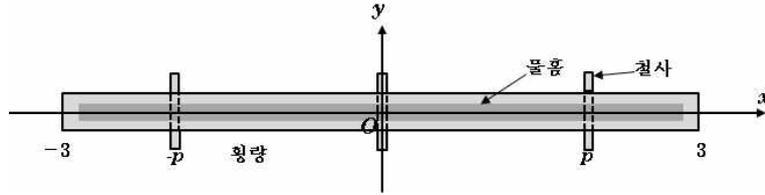
다만 대규표의 경우, 그림 4의 평면도와 같이 규면의 너비가 4.5자로 횡량의 길이, 즉 6자보다 짧다(그림 4 참고).

$$p < 2.25[\text{자}]$$

이 삼점현추법이 횡량형 규표에서 얼을 수직하게 설치할 수 있는 기술적인 핵심이 되며, 2장에서 기술한 고전적 규표에서 표를 수직하게 설치해야 하는 난점을 횡량형 규표가 개선한 부분이다. 이 삼점현추법은 횡량을 설치할 때뿐만 아니라, 관측시 얼의 변형을 점검하는 방법으로 활용될 수 있다.



(a) 횡량의 단면도



(b) 횡량의 평면도

그림 5. 삼점현추법의 도식. (a) 횡량의 단면도와 (b) 횡량의 평면도. (a)에서 추를 매달은 선은 횡량의 동서심과 일치해야 한다. (b) 철사는 횡량의 중심과 동서로 같은 거리(p)에 떨어진 위치에 횡량과 수직한 방향으로 고정되어 있다.

3.3. 횡량의 진단과 삼점현추법의 활용

대규표에서 얼의 높이가 40자(8.28 m)이므로 횡량을 그 높이까지 올려 고정시키는 것은 그 자체가 어려운 공정이었다. 명종 1년(1564) 『명종실록』의 기록에 횡량 설치의 어려움을 토로하고 있다(민병희 등, 2012). 그럼에도 불구하고 삼점현추법은 횡량을 정렬시키는데 핵심적 기술이었다.

최초에 규표가 바르게 설치되었다면, 횡량의 정렬도 오랫동안 지속될 것이다. 그러나 지진이나 폭풍, 홍수가 있으면 지반에 변화가 생겨 횡량은 물론 규표의 정렬에 이상이 발생할 수 있다. 『조선왕조실록』에는 449개의 유의미한 지진 기록 중 17건이 한양에서 일어난 것이었다(윤순옥 등, 2001). 홍수는 493건이 기록이 있으며 한양에서 일어난 홍수는 22 ~ 28건이 있었다(김현준, 1999).

그림 6에 횡량의 설치를 간략하게 나타내었다. 횡량이 정렬되었을 때, 규면에 $A(-p, 0, 0)$ 와 $B(p, 0, 0)$ 가 있고, 횡량에는 철사가 있는 위치인 $O'(0, 0, 40)$, $A'(-p, 0, 40)$ 와 $B'(p, 0, 40)$ 가 있다고 가정할 수 있다.

만약 횡량의 정렬에 문제가 발생하였을 경우, 삼점현추법으로 이를 진단할 수 있다. 만약 지반에 변화가 있어 횡량의 정렬에 문제가 발생하였을 경우, O' , A' , B' 의 좌표를 (x'_i, y'_i, z'_i) (단, $i=0, A, B$)라고 가정하면, 세 개의 현추 중에 하나라도 $y'_i \neq 0$ 이면 횡량의 동서방향의 정렬에 문제가 발생한 것을 의미한다. 반면 A' 와 B' 의 좌표가 $(\pm p', 0, 40 \pm \epsilon)$ [단, 정렬 시 $\epsilon=0$]로 변하고, $p' < p$ ($\epsilon \neq 0$)이면, 횡량의 수평 정렬에 문

제가 발생한 것으로 판단할 수 있다. 만약 O 의 좌표가 $(\alpha, 0, 0)$ [단, α 는 매우 작은 값]를 가리킬 때, A 와 B 의 좌표가 $(\pm p + \alpha, 0, 0)$ 이면, 이는 횡량이 수평과 동서방향의 정렬은 유지되었지만, 동서방향으로 α 만큼 이동한 것이 된다.

횡량의 동서정렬 이상: $y'_i \neq 0$

횡량의 수평정렬 이상: $p' < p$

횡량의 수평이동 진단: $O'(\alpha, 0, 0)$, $A'(-p + \alpha, 0, 0)$, $B'(p + \alpha, 0, 0)$

3.4. 횡량형 규표의 건설 공정과 대형화

앞서 언급한 사항들을 종합적으로 고려해보면 횡량형 규표의 건설 공정은 다음과 같이 예상할 수 있다.

- ① 규의 남북 설치와 규면 눈금 영역의 수평: 먼저 조각의 규좌와 규석, 즉 규를 남북으로 정렬하여 설치한다. 표 기둥이 설치될 남단의 규 아래에는 구덩이를 파둔다.
- ② 표 기둥의 수직 설치: 규면에서 위로 36자가 되도록 표 기둥을 수직으로 꽂는다(이용삼 등, 2006; 민병희 등, 2012). 표 기둥을 정렬한 뒤 고정한다. 이때 표 기둥 위에 횡량지지대[龍]가 설치되어 있을 수 있다.
- ③ 횡량의 정렬 및 눈금 시작선의 작도: 표 기둥 위에 횡량 지지대가 설치되면, 그 지지대 위에 횡량을 올리고, 물흙으로 수평을 맞춘다. 동

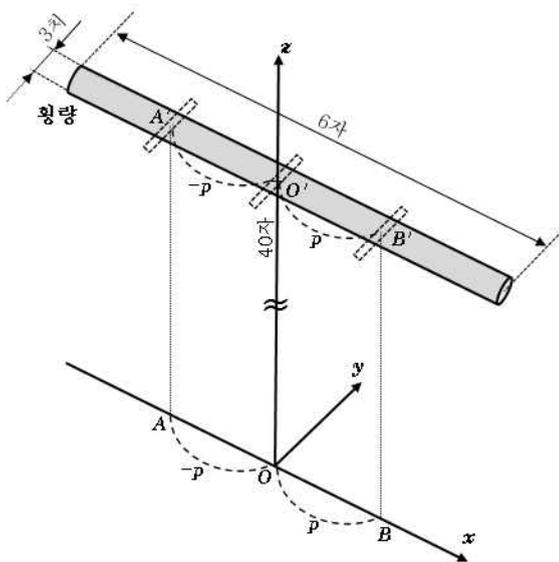


그림 6. 횡량의 설치 및 진단 방법.

시에 삼점현추법으로 횡량을 정렬하면서, 규면에는 오프셋(눈금 시작선)의 중심과 연장선을 그려넣는다. 횡량의 정렬이 끝나면, 횡량을 고정한다.

④ 눈금의 제작:

오프셋을 고려하여 규면에 못과 물홈을 만들고 눈금 영역의 수평이 되도록 규면을 마름질한 후, 눈금을 그리고, 이를 새긴다.

횡량의 설치와 눈금의 제작이 위와 같은 순으로 이루어진다면, 표 기둥의 높이에 상관없이 규면에 대해 얼을 수직으로 설치할 수 있다. 반면 고전적 규표에서는 눈금의 시작선이 정해져 있으므로 제작공정의 마지막에 눈금을 그릴 필요가 없다.

결론적으로 횡량형 규표는 삼점현추법을 통해 횡량의 정렬과 규표의 대형화를 가능하게 하였다. 삼점현추법은 ① 건설 공정 초기에 횡량을 바르게 정렬할 수 있고(그림 5, 6 참조), ② 동시에 얼을 지평에 수직으로 설정할 수 있으며(그림 5 참조), ③ 건설 후에 횡량의 정렬 및 진단이 가능하다는(그림 6 참조) 3가지의 장점을 가지고 있었다. 따라서 고전적 규표가 8자의 표 크기에 머무를 수밖에 없었던 한계를 대규표는 이보다 5배 큰 규표로 제작가능하게 하였다. 중국 명대인 1608년에는 60자의 목제 규표도 만들었던 것으로 알려져 있다(이용삼 등, 2011).

4. 요약

동아시아에서 규표는 가장 전통적인 천문의기 중 하나였다. 그럼에도 불구하고 고전적 규표는 표의 수직 설

치와 유지가 어렵고, 눈금의 시작점이 모호하였으며, 무엇보다도 태양의 표 그림자가 퍼져 관측의 정밀성이 떨어졌다. 이러한 고전적 규표의 단점을 해결하고자 하는 노력의 결과물로 13세기에 횡량형 규표가 개발되었다(민병희 등, 2011).

횡량형 규표는 영부를 사용하여 선명한 횡량 그림자를 얻었다. 영부를 통해 얻은 횡량 그림자는 예리하여 관측의 모호성이 없으며, 동시에 태양의 중심 위치를 관측하는 최적의 천문의기이었다. 대규표는 횡량을 설치하였는데, 이 횡량의 크기는 길이 6자(124.2 cm), 직경 3치(6.21 cm)이었다.

표 기둥 위에 횡량을 올린 것을 얼이라고 하고, 이 얼을 수직으로 설치하는 것이 횡량형 규표의 핵심이었다. 삼점현추법을 사용하여 얼을 규에 수직으로 세울 수 있었다. 삼점현추법을 사용하기 위해 횡량은 길이 5치(10.35 cm), 직경 2푼(4.14 mm)의 철사 3개를 사용하고 있다. 삼점현추법은 단지 횡량을 정렬하는데만 필요한 것이 아니고, 횡량을 점검하고 진단하는데도 활용되었다.

횡량의 개발은 태양 중심의 그림자길이를 측정하는 천문학적 이점과 더불어 규표의 대형화를 가능하게 하였다. 규표의 적절한 건설 공정과 삼점현추법을 적용하면 이상적으로는 높이에 무관하게 얼을 수직하게 설치할 수 있었기 때문이다. 얼의 크기가 높아질수록 결과적으로 눈금의 분해능을 증가시킬 수 있기 때문에(이용삼 등, 2006) 관측의 성능을 향상시킬 수 있었다.

감사의 글

김상혁은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행함(2012R1A1A2003575).

이기원은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행함(2013R1A1A2013747).

참고 문헌

- 김현준, 1999, 조선시대 홍수 기록 조사, 건기연 책임연구과제보고서, 99-090, 한국건설기술연구원
- 나일성, 박성래, 전상운, 남문현, 1992, 과학기술문화재 복원 기초조사 및 설계 용역 보고서, 연세대학교
- 나일성, 정장해, 원유환, 이용삼, 김천휘, 윤명진, 김명희, 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

- 민병희, 김상혁, 이기원, 안영숙, 이용삼, 2011, 조선시대 소규표(小圭表)의 개발 역사와 구조적 특징, 천문학논총, 26, 129
- 민병희, 이기원, 김상혁, 안영숙, 이용삼, 2012, 조선시대 대규표의 구조에 대한 연구, 천문학논총, 27, 29
- 윤순옥, 전재범, 황상일, 2001, 조선시대 이래 한반도 지진발생의 시·공간적 특성, 대한지리학회지, 36, 93
- 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
- 雷焕芹, 赵逢乱, 1995, 对郭守敬部分天文仪器浅析, 邢台师专学报 (知网空间), pp.125-128
- 潘籛, 2005, 彩图本 中國古天文儀器史, 山西教育出版社 (太原) pp.46-62
- Gazale, M. J., 1999, Gnomon: from Pharaohs to Fractals, Princeton University Press, pp.6-8
- 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