

# 천상열차분야지도 삼차원 스캔

양 홍 진

한국천문연구원 고천문연구그룹

## 1. 서 론

현재 국내에는 두 개의 석각 천상열차분야지도가 전해지고 있으며 이들은 각각 국보와 보물로 지정되어 있다. 국보 228호로 지정된 태조본 천상열차분야지도는 조선 태조 4년(1395)년 고구려의 천문도를 돌에 새겼다고 알려진 천문도이다. 이후 숙종대에 다시 복각한 천문도가 보물 837호 석각 천상열차분야지도이다. 이외에 석각 천문도와 관련된 기록으로 세종 15년(1433)에 천문도를 돌에 새겼다는 기록이 있기는 하지만 현재 유물은 전하지 않다<sup>1)</sup>.

국보 천상열차분야지도는 양면에 천문도가 하나씩 새겨져 있으며 양면의 천문도는 위·아래가 서로 뒤집혀 있다. 두 천문도는 ‘天象列次分野之圖’라는 제목이 각각 위쪽과 가운데에 새겨져 있어 전체적 구성에서 쉽게 구분이 가능하다. 현재 국립고궁박물관에 전시중인 국보 천문도는 제목이 가운데에 있는 천문도 면이(이하 앞면<sup>2)</sup>) 바르게 세워져 있다. 앞·뒷면의 천문도를 눈으로 비교해보면 제목이 가운데 있는 앞면의 천문도가 뒷면보다 별그림이나 명문이 잘 남아 있다. 태조본 양면의 천문도와 숙종본을 함께 비교해보면, 천문도 내용은 태조본 앞·뒷면과 숙종본이 거의 같으나, 내용 배치에 있어서 태조본 앞면이 뒷면이나 숙종본과 일부 다르다고 알려졌다. 그러나 어떤 이유에서 양쪽에 반대 방향의 천문도를 새겨 놓았는지 그리고 숙종본 천문도와 어떤 연관성과 차이점이 있는지 여전히 명확하게 밝혀지지 않

1) 일부 학자들은 세종대에 각석 했다는 천문도는 태조본의 한 쪽에 새긴 것이라 주장하기도 하였다. 한편 이기원(2008)은 세종대에 석각한 것은 천문도가 아닌 천문(天文)이라는 책을 석본(石本)으로 간행하였을 가능성을 주장하였다.

이기원 2008, “세종 석각 천문도에 관한 재고”, 한국천문학회지 34(1) 49

2) 본 논문에서는 천문도의 제목이 가운데에 새겨 있는 면을 천문도 앞면이라 하겠다. 현재 국립고궁박물관에 전시중인 천문도는 앞면이 바른 모습으로 세워져 있다. 이는 이전 박창범(1998)이 정의한 것과 동일하다.

았다. 박창범(1998)<sup>3)</sup>은 천문도의 배치는 태조본 뒷면과 숙종본이 같지만 별자리는 오히려 태조본 앞면과 숙종본이 유사함을 발표하였다. 그는 태조본의 앞·뒷면과 숙종본의 별들의 위치를 사진으로 비교하여 세 천문도 모두 조금씩 차이가 있음을 보고하였으나, 이들의 차이에 대한 정량적 분석은 이루어지지 않았다.

천상열차분야지도에 대해서는 지금까지 여러 학자들에 의해 연구가 진행되었다. 박성환(1987)<sup>4)</sup>은 춘추분점 주변의 별 위치를 조사하여 별의 관측시기가 서기 500년임을 계산하였으며, 박창범(1998)은 별들의 위치를 측정하고 이들을 통계적으로 분석해 적위 50도 아래쪽은 약 1세기의 별들을, 북극에서 적위 50도 사이의 별들은 14세기의 별들을 그린 것임을 알아냈다. 이러한 연구결과는 천문도의 설명문에 기록된 고구려의 천문도 유래설과 일치한다. 한편, 박창범(1998)은 북두칠성 꼬리 별의 사이각, 동정(東井)의 길이와 오제후(五諸侯)까지의 거리 비를 비교해 태조본 뒷면이 앞면이나 숙종본의 별들과 다름을 확인하였다. 또한, 그는 태조본 앞면을 사진 촬영하여 측정한 별의 크기로부터 이들이 실제 별의 밝기를 반영하고 있다는 것을 확인하였다. 양홍진 & 안영숙(2007)<sup>5)</sup>은 3차원 측정 자료를 이용해 숙종본 천문도의 별에 대해서도 같은 결과를 확인하였다.

본 연구의 최종 목표는 국보 천문도의 별자리와 명문을 정밀 스캔해서 앞·뒷면의 전체 별자리에 대해 위치와 크기를 정밀하게 측정/연구하고 이를 숙종본 천상열차분야지도와 비교하는 것이다. 이를 위해 지금까지 사진 확대 방법으로 측정한 자료보다 정밀하고 객관적인 자료 측정 방법을 사용하였다. 아울러, 석각 천문도의 삼차원 정밀 스캔을 통해 천문도의 보존과 복제를 위한 정밀 측정 DB도 함께 구축하고자 한다.

## 2. 천문도 3차원 스캔

본 연구에서는 비접촉 3D 스캔 방법으로 국보 석각천상열차분야지도를 정밀 측정하였다. 앞·뒷면의 천문도 중에서 전체적으로 양호한 앞면의 천문도를 먼저 측정하였다. 3차원 비접촉 광학식 스캔은 측정 시간은 많이 소요되지만 측정 분해능과 정확도가 뛰어나며 유물의 훼손 없이 측정이 가능한 장점이 있다. 또한 많은 유물이나 고정밀 측정에 사용되는 방법으로 객관적으로 신뢰할 수 있다는 장점도 있다.

석각 천상열차분야지도는 조선 태조 4년(1395)에 제작되어 오랜 시간을 거치며

3) 박창범, 1998, “천상열차분야지도의 별그림 분석”, 한국과학사학회지 20(2) 113-149

4) 박성환, 1987, “태조의 석각천문도와 숙종의 석각천문도와 비교” 동방학지 54/55/56 329-357

5) 양홍진, 안영숙, 2007, “석각 천상열차분야지도의 3차원 측정 및 복원” 한국천문학회지 32(1) 59

표면이 많이 마모되고 일부는 깨져 있는 상태이다. 천문도의 명문 일부는 눈으로 확인이 어려운 상태이고, 1400여개의 별은 작고 섬세하게 새겨져 있어 사진이나 탁본으로는 원래의 모습을 상세히 확인하기 어려운 실정이다. 따라서 고정밀 비접촉 스캔 장비를 이용해 석각 천문도의 명문과 별자리를 높은 해상도로 측정하였다.



그림 1. 국보 석각 천상열차분야지도 3차원 스캔

## 2.1 3차원 광학식 비접촉 측정기

본 연구에서는 Breukmann 장비를 활용해 석각 천문도를 측정하였다(그림2). Breukmann은 광학식 3차원 비접촉 정밀 측정 장비로 최대  $80\mu\text{m}$ 의 형상분해능(feature resolution)을 갖고 있다. 이는 비슷한 3차원 스캐너인 Vivid( $200\mu\text{m}$ ) 보다 형상분해능이 뛰어나 정밀한 측정이 가능한 반면 유물의 스캔과 후처리 작업 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 실제 국내에서 귀중본 유물의 형체 측정과 정밀 측정을 위한 3차원 스캔에 Vivid와 Breukmann 장비가 가장 많이 활용되고 있다.

광학식 스캔은 물체 표면에 대한 3차원 정보를 얻기 위해 간섭 패턴을 이용한 기술과 삼각측량 기술을 함께 이용한다(그림 3). 또한, 면 단위 측정이 이루어지기 때문에 측정부의 이동이 필요 없으며, 전체 형상을 측정하기 위하여 여러 대의 측정부를 적절하게 배열하여 시스템을 구성하게 된다. 국보 천문도의 경우는 크기가 크고 사료적 중요성 때문에 유물을 옮겨서 측정하기 어려운 상황인데, 이 경우 광학식 스캔 방식이 적합하다. 또한, 석각 천문도와 같이 설계도면은 없고 유물만 남아

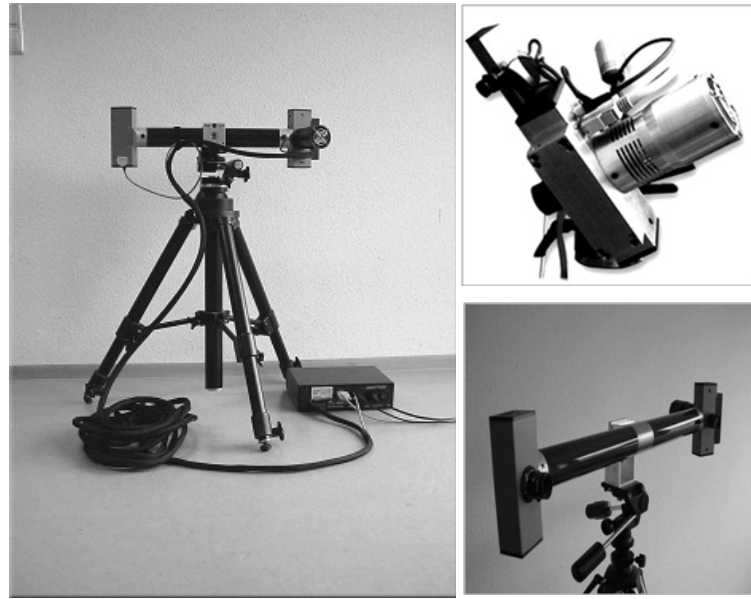


그림 2. Breukmann 측정 장비

있는 경우, 3차원 스캔을 통해 도면 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있다. 실제 3차원 스캐너는 여러 분야에서 사용하고 있는데, 유물과 관련해서는 형상보정과 복원 자료구축을 위한 3차원 측정, 그리고 비문의 명문 판독 등에 활용되고 있다.

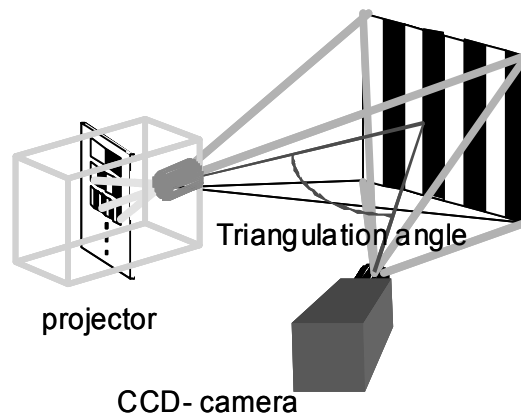


그림 3. 광학식 스캐너의 측정 투사 방식

## 2.2. 천문도 실측

본 연구에서는 국보 제228호로 지정된 태조본 천문도를 정밀 측정하였다. 태조본 천문도는 숙종본과 달리 앞·뒷면에 모두 천문도가 새겨져 있어 천문도 복제 DB구축을 위해서는 전체 석각 천문도의 외형 스캔과 함께 앞·뒷면의 명문과 별자리를 모두 정밀 측정해야 한다. 한편, 중국의 석각 천문도와 달리 천상열차분야지도에는 별이 다양한 크기로 새겨져 있다. 이 별들은 매우 작게 새겨져 있기 때문에 각각의

별에 대한 정확한 위치와 함께 크기 측정이 필요하다.

Breukmann 장비는 최대  $80\mu\text{m}$  해상분해능을 가지고 있기 때문에 천문도의 작은 별자리 홈을 정밀하게 측정할 수 있다. 일반적으로 명문 스캔은 해상도가 더 낮은 Vivid를 이용해 스캔해도 충분하지만 석각 천문도가 전반적으로 많이 훼손되어 있어 명문을 포함한 천문도 전체를 Breukmann을 이용해 정밀 스캔하였다. 석각 천문도 3차원 스캔은 일정한 격자 간격으로 표면 깊이를 측정하게 된다. 천문도 스캔은  $200\mu\text{m}(0.2\text{mm})$ 의 격자 간격으로 측정하였다. 그림 4는 천문도의 스캔 격자점을 보여준다. 아래 그림은 주극원 안쪽의 별이 있는 영역을 확대한 것으로 격자점이 없는 부분은 별이 새겨진 부분이다.

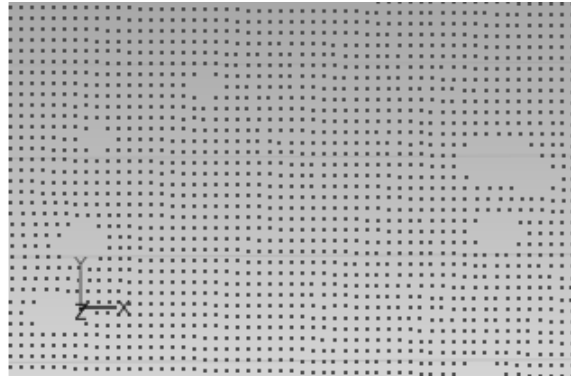


그림 4. 측정 격자점( $200\mu\text{m}$ )과 별의 크기

본 연구에서는 먼저 천문도의 별자리 상태가 비교적 양호한 태조본 앞면을 측정하였다. 반대편에 새겨진 천문도와 달리 이 천문도는 돌의 중앙에서 약간 왼쪽으로 치우쳐 새겨져 있다. 그림 5는 천문도의 전체 크기와 주요한 영역의 크기를 보여준다<sup>6)</sup>. 아울러, 표 1에 이들의 실측값을 정리하였다.

표 1. 석각 천상열차분야지도 태조본 실측 값

[단위 mm]

| 내용 | 전체 각석     | 두께      | 외규(R)   | 내규(R) | 별 부분    | 제목+논설   |
|----|-----------|---------|---------|-------|---------|---------|
| 크기 | 1244*1991 | 124~139 | 382/365 | 95    | 895*984 | 895*267 |

천문도 각석의 크기는 현재 설치된 받침돌부터의 높이를 측정한 것이다. 천문도의 옆면은 많은 부분 깨져 나가거나 훼손 되었지만 전체적으로 아래쪽과 위쪽의 몸체의 두께 차이를 확인할 수 있다. 천문도를 만들 당시 위쪽과 아래쪽의 두께를 의

6) (주)다인, 2009, 석각천문상열차분야지도 3차원 실측 보고서



## 2.3 별자리 측정

천문도의 별자리 연구에서 별의 위치는 매우 중요한데, 가운데 성도 영역은 별의 좌표를 측정하기 위해 특히 중요한 부분이다. 따라서 별자리 영역의 좌표 기준을 주극원의 중심으로 정하고 모든 별의 상대적 좌표를 측정하였다. 실제 밤 하늘을 정확하게 표현했다면 본 연구에서 정한 천문도의 좌표 기준은 천문도 제작 당시의 하늘의 북극이 된다. 실측 자료를 살펴보면 하늘의 북극인 좌표 기준점은 북극성과 약간 떨어져 있다. 또한 표면의 높이나 별자리 홈의 깊이를 나타내는 Z 값도 별자리 좌표 기준점인 주극원 중심에서의 표면 값을 기준으로 측정 위치와의 차이 값으로 나타냈다. 기본적으로 Breukmann 측정 장비의 한계 측정 정밀도까지 측정이 가능하며, 본 연구에서는 별의 위치와 홈의 크기를 측정하기 위해 0.2mm의 격자 간격 자료를 이용하였다. 또한, 스캔한 모든 별들에 대해 고유 번호를 지정하였는데, 이는 향후 앞·뒷면의 별자리 비교를 위한 것으로 지금까지 알려진 속종본 천문도의 1,467개 별들을 기준하였다.

주극원에는 모두 161개의 별자리 홈이 확인되었으며 이는 동일한 영역의 속종본 천문도의 별의 개수와 동일하다. 그림 7은 태조본 앞면의 주극원 일부 별들에 대해 좌표와 표면 깊이 그리고 별의 반경을 정리한 자료를 보여준다. 태조본 앞면의 주극원 별들 중에서 가장 크게 새겨진 별은 북두칠성의  $\gamma$ UMa로 반경 2.12mm의 크기로 새겨져 있다.

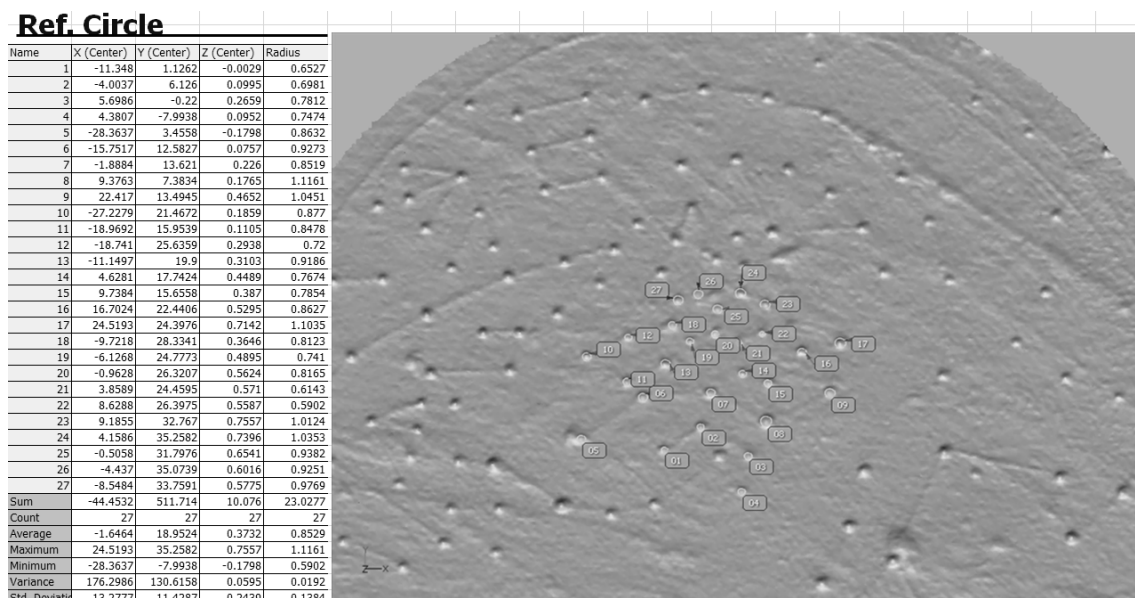


그림 7. 주극원 안쪽 별자리의 좌표와 크기 측정 데이터

### 3. 3차원 실측 자료의 활용

#### 3.1 복제 자료 DB 구축

국보 석각천상열차분야지도는 뛰어난 문화재적·사료적 가치를 가진 유물임에도 지금까지 정밀 측정은 이루어지지 않았다. 지금까지 축적된 자료 형태는 사진이나 탁본 정도이다. 그러나 사진과 탁본은 천문도의 정밀한 크기 측정과 별자리의 위치 측정에 한계가 있다. 사진은 렌즈의 곡률로 인해 렌즈와 피사체의 거리 그리고 피사체의 크기에 따라 왜곡이 발생하게 된다. 탁본의 경우는 왜곡 현상이 더욱 심하다. 사진 자료의 경우는 카메라의 특성에 따라 왜곡 보정을 시도 할 수 있으나 탁본은 종이 두께의 균질성과 온도, 습도 그리고 탁본 당시의 주변 상황에 따라 예측하기 어려운 변형이 많이 일어나게 된다. 이는 현재 규장각에 남아 있는 천상열차분야지도의 탁본이 그 크기가 모두 다르다는 것에서도 변형이 다양하게 일어남을 짐작할 수 있다. 더구나 사진이나 탁본은 2차원 표면 위치 정보만 알려 줄뿐 표면의 높낮이와 전체 윤곽에 대한 정밀한 실측 자료를 제공하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 3D Scanning 방식을 이용해 석각천문도를 측정하였다. 3차원 스캔 방식은 유물을 직접 측정하고 별의 크기와 위치 측정 정밀도가 높아 사진과 탁본의 단점을 해결할 수 있다. 이번에 스캔한 천문도 자료는 현재 유물상태를 그대로 보여주는 것으로 이미 훼손된 부분과 일부 복원된 상태도 가감 없이 측정된다. 그림 8은 천문도 3차원 스캔 이미지의 일부를 보여준다. 표면이 많이 훼손되기는 했지만 별의 위치와 크기가 잘 나타나며 옆면의 깨진 상태도 잘 보여준다.

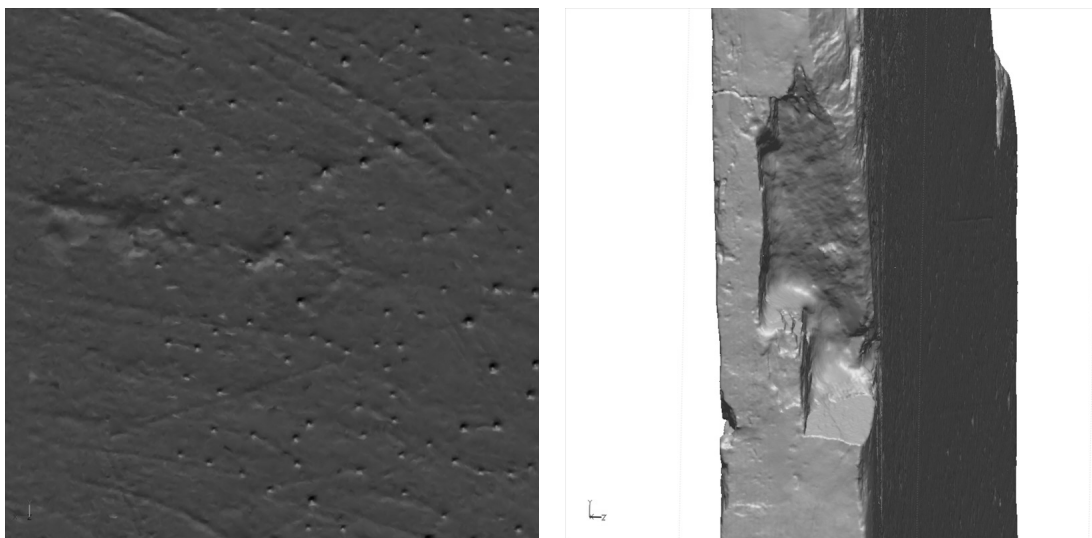


그림 8. 천문도 부분 스캔 이미지. 별자리 부분(왼쪽)과 옆면 깨진 부분 (오른쪽)



태조본 천문도는 표면이 많이 마모되어 별자리 뿐 아니라 명문도 눈으로 판독하기 어려운 부분이 많다. 실제 Breukmann 광학 스캔 이미지에서도 상당부분의 글자를 확인하기 어려운 상태이다. 그러나 3차원 정밀 측정 자료를 활용하면 명문의 판독성을 높일 수 있다. 현재 (주)다인에서 개발 중인 프로그램은 광학적으로 부정확한 명문의 가독성을 높여준다. 이는 정밀 측정 데이터를 이용해 표면의 미세한 깊이 차이를 이용해 글자의 형태를 찾아내는 것으로 탁본의 효과와 비슷하다. 이러한 방법은 태조본 천문도의 명문 확인에 유용하게 적용할 수 있다. 그림 9는 Breukmann 3차원 광학 스캔 사진과 (주)다인에서 개발 중인 프로그램을 이용한 명문의 가독의 유용성을 보여준다.

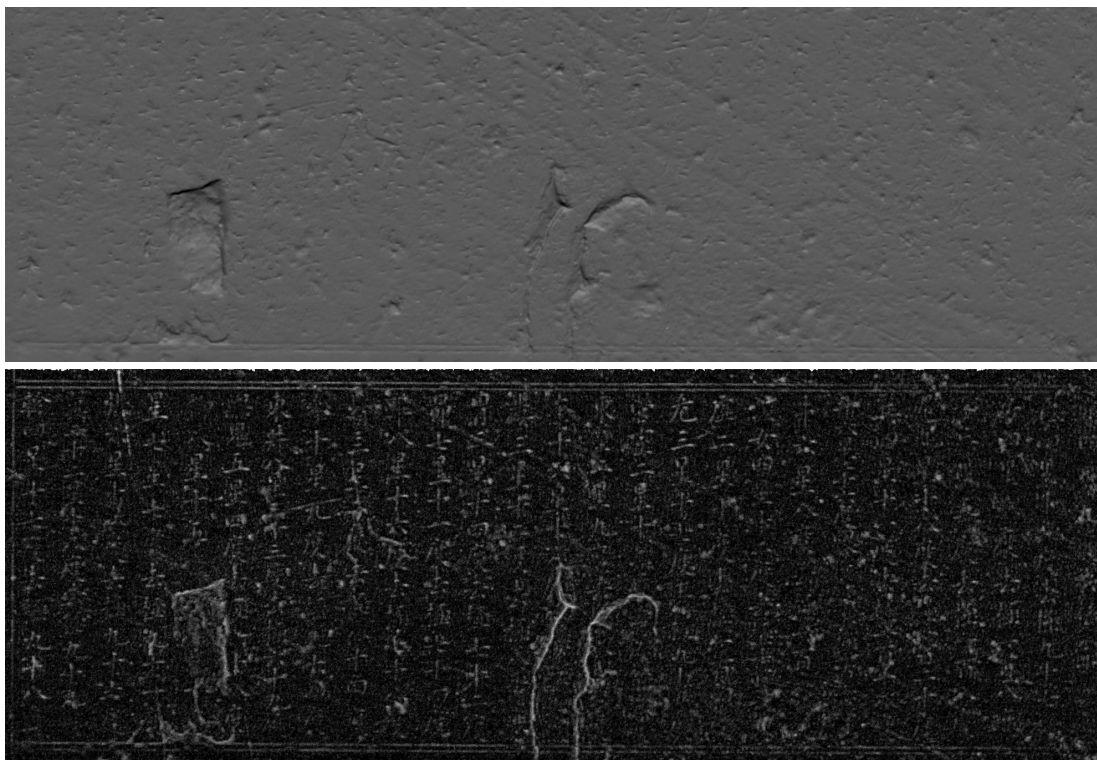


그림 9. 천문도 명문 비교. 스캔 원본 사진(위)와 표면 높이를 이용한 보정 결과(아래)

### 3.2 별자리 연구

국보 천문도는 당시 우리나라에서 관측 가능한 1400여개의 별을 다양한 크기로 새겨 놓았다는 점에서 천문학적·과학사적 가치 또한 매우 높은 유물이다. 천문도는 세차운동과 관측자의 위치에 따라 천문도에서 별들의 위치가 다르게 그려지기 때문에 천문도 연구는 현대의 과학적 분석을 통해 여러 사실을 확인할 수 있다. 박창범(1998)의 연구에서도 보이듯 별의 위치는 천문도 제작시기와 관측자의 위도 정보를

알려준다.

그러나 태조본 천문도는 표면이 많이 훼손되어 앞·뒷면의 별의 위치와 크기 비교가 완전하게 이루어지지 못했다. 태조본 앞면의 경우에는 삼수에서 노인성에 이르는 영역이 많이 훼손되어 있으며 뒷면은 전면에 걸쳐 훼손 정도가 심각하다 (박창범 1998). 그래서 지금까지 별자리 연구비교는 특정 별자리에 국한되어 이루어 졌다. 따라서 태조본 앞·뒷면과 숙종본의 별의 위치 차이가 별을 새길 때의 오차 때문인지, 의도적 수정인지가 명확하지 않았다. 이는 별의 위치를 정확하고 객관적으로 측정하기 어려운 근본적인 문제 때문이기도 했다.

본 연구는 이러한 근본적 문제를 해결하기 위해 석각 천문도를 3차원 스캐너로 정밀 측정하고 별 자리를 비교 연구하기 위한 것에 중요한 목적이 있다. 이번 논문에서는 태조본의 앞면 별자리 중에서 주극원 안쪽의 161개의 별에 대해서 간략히 살펴보았다. 태조본과 숙종본의 내규 크기는 95mm와 96mm로 거의 비슷하기 때문에 별자리 분석에서 실측 데이터를 보정 없이 사용하였다. 태조본 앞면과 숙종본을 비교한 결과 천문도 상에서 평균 거리 차이는 0.6mm이며 표준편차는 0.3mm로 나타났다. 이는 천문도 상에서 실제 각거리 1°가 20.5mm임을 감안하면 1.8'에 해당하는 거리이며 전체 크기에 비해 무시할 만한 차이이다. 이는 두 천문도의 별의 위치가 오차 범위 내에서 일치함을 말해준다. 주극원의 별 들 중에서 위치 차이가 가장 큰 별의 경우에도 1.8mm의 작은 차이만이 보인다. 이는 각거리 5'에 해당하는 것으로 태조본 앞면과 숙종본의 주극원 별들은 거의 비슷한 위치에 새겨져 있음을 알 수 있다. 한편, 태조본과 숙종본 주극원 별의 상대적 크기를 비교해 보았다. 전체적으로 두 천문도의 주극원 별들은 0.3mm의 반경 차이를 보이고 있어 별의 크기에 있어서도 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 10은 태조본과 숙종본의 주극원 별의 크기 차이를 보여준다. 가로축[2.2~0.5mm]은 별의 반경이며 세로축[-1.2~0.4mm]은 두 천문도에 새겨진 별의 반경 차이를 나타낸다. 전체적으로 태조본의 별이 숙종본보다 작게 그려져 있음을 알 수 있다. 또한 그림에서 보이듯 크게 새겨진 별은 차이가 작은 반면, 작게 새겨진 별일수록 홈 크기의 차이가 커지는 경향을 보인다. 이것은 큰 별의 크기는 같지만, 태조본의 경우 작은 별일수록 크기 차이가 더 커지는 경향을 볼 수 있다. 태조본은 별을 새길 때, 별의 크기 차이를 더 크게하여 새겼음을 짐작케 한다.

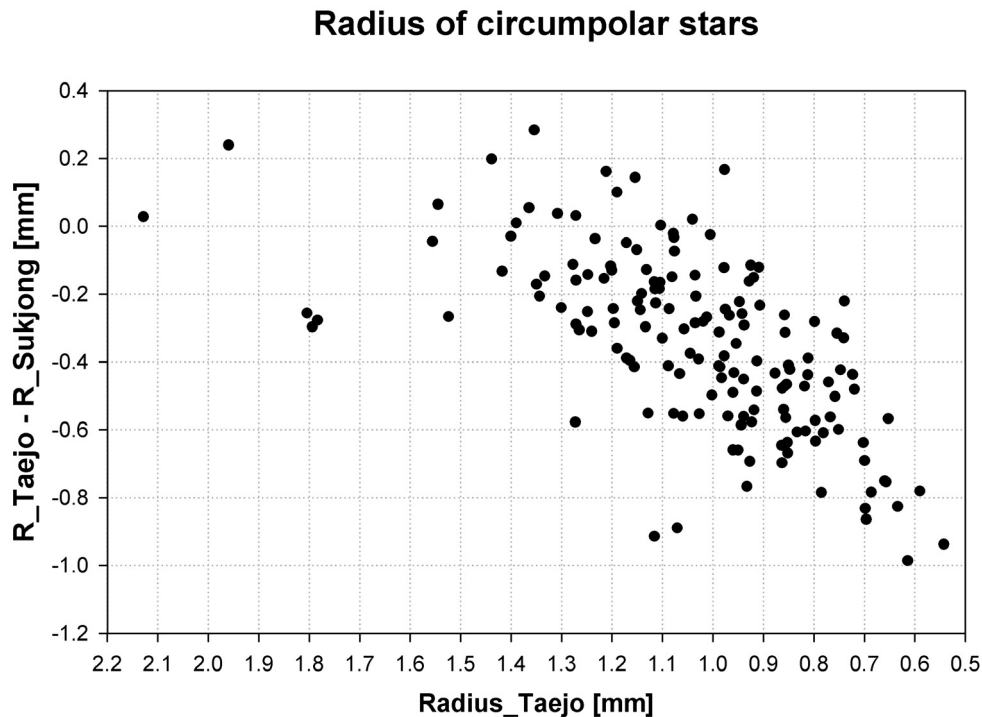


그림 10. 태조본 앞면과 숙종본 주극원 별들의 크기 비교

### 3. 맺음말

태조본 천문도는 이미 숙종대에 표면이 많이 훼손되었다고 알려져 있다. 더구나 이 천문도는 국보로 지정되기 전까지 외부에 방치되어 별자리를 비롯해 전체적으로 심각하게 훼손된 상태이다. 그러나 표면이 많이 훼손되기는 했지만 자세히 살펴보면 상당부분 별과 명문의 판독이 가능하다. 따라서 태조본 천문도에 대한 정밀 측정은 별자리 연구 뿐 아니라 천문유물의 보존과 복제 자료 구축이라는 점에서 중요하고 시급한 일이다. 비록 현재 국립고궁박물관에서 잘 보관되어 있기는 하지만 역사 유물은 시간이 지나면 원래 모습이 훼손되기 마련이다.

본 연구는 천문도의 별자리 연구를 위해 3차원 비접촉 정밀측정기인 Breukmann 장비를 이용해 200 $\mu$ m 격자 간격으로 천문도를 스캔하였다. 3차원 스캔은 객관적 측정 데이터로 현재의 천문도를 저장 할 수 있는 가장 정밀하고 효과적인 방법이다. 천문도 스캔 자료는 복제 할 때 가장 기초되는 자료 일 뿐만 아니라 별자리 연구에 있어서도 필수적인 자료이다. 지금까지 국보 천문도의 별자리 연구는 사진 측정이나 탁본 자료를 이용하였지만 전체 별자리를 정량적으로 분석하기 위해서는 객

관적 실측 데이터가 필요하다.

이번에 실측한 3차원 정밀 측정 결과, 태조본 앞면의 주극원 별들은 숙종본의 별들과 거의 같은 위치에 비슷한 크기로 새겨져 있음을 확인하였다. 두 천문도의 사이의 별의 위치는 평균 0.6mm 떨어져 있으며, 별자리 홈의 반경은 숙종본에 비해 평균 약 0.3mm 작게 그려져 있음을 확인하였다. 측정 결과를 살펴보면, 두 천문도의 별의 위치와 크기가 놀라울 정도로 유사하게 새겨져 있음을 알 수 있다. 특히, 별의 크기는 별의 크기에 따라 일정한 변화 양상을 보이고 있어 특정한 방법에 따라 크기를 달리했음을 짐작케 한다. 결과적으로 과거 천문도 별자리는 특정 자료에 근거해서 매우 정밀하게 새겼으며, 천문도에 새겨진 별 하나 하나의 정보가 매우 유용한 것임을 말해준다.

지금까지 석각 천문도에 대해 많은 연구가 이루어졌다. 그러나 이번 3차원 스캔 자료를 정밀 분석하면 지금껏 명확하게 비교하지 못했던 태조본 앞·뒷면의 별 위치와 크기 그리고 숙종본과의 차이점을 정량적으로 분석할 수 있을 것이다. 아울러, 천문도 스캔 자료는 앞으로 천문도의 훼손에 대비해 주요한 기초 복원/복제 자료로 활용될 수 있을 것이다.