

재현 실험을 통한 백제 사비기 목곽고 가공흔 연구: 자귀, 끌, 톱을 중심으로

A Study on the Tool-Trace of Wooden Storage Facilities in Sabi Baekje through the Reproduction Experiments: Focusing on the Adze, Chisel, and Saw

Heesoo SONG¹ · Soochul KIM^{2,†}

¹Departments of Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo 33115, Korea

²Departments of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo 33115, Korea

초록 : 본 연구는 사비기 백제시대 목곽고의 가공 과정을 재현하기 위해 진행되었다. 고대 목재 가공 도구를 이용하여 상수리나무류 생재를 가공하였으며, 이 과정에서 형성된 가공흔을 실제 출토 유물의 가공흔과 비교하였다. 가공흔 분석에는 3D Scan을 이용하여 가공흔의 길이 및 형태를 객관적으로 기록하였고, 사진으로 확인하기 어려운 부분은 실제현미경을 통해 관찰하였다. 그 결과 두 종류의 자귀흔이 확인되었다. 그중 하나는 목재 표면을 다듬을 때 발생하는 미세한 직선형의 날끝흔적이며, 다른 하나는 목재를 강하게 찍었을 때 나타나는 뜯긴흔적이다. 끌흔의 경우 끌 방망이를 사용하지 않았을 때는 길고 넓은 연속형 날흔이 생성되었다. 반면, 끌 방망이로 끌 머리를 내리쳐서 가공할 시에는 직선형의 날끝흔적이 규칙적으로 관찰되었다. 톱흔은 미세한 직선형 줄무늬가 여러 층으로 나타났다. 이를 통해 각 가공 과정에서 사용되었을 것으로 추정되는 목재 가공 도구의 가공흔과 백제시대 목곽고 부재에 남아 있는 가공흔이 일치함을 알 수 있었다.

1. 서론

목재는 선사시대부터 현재까지 천연 재료로서 목조 건축물, 목구조물, 가구 등의 제작에 흔히 사용되어 왔으며 별채, 전조, 접합 및 결합 등의 공정을 거쳐 제조된다(Ghani and Lee, 2021; Hadi *et al.*, 2022; Jamaludin *et al.*, 2020; Kim and Kim, 2020; Ozdemir *et al.*, 2023; Park *et al.*, 2023). 이러한 목재 유물에 남아 있는 가공 흔적(이하, 가공흔)은 유물을 제작할 당시 가공 도구에 의해 남겨진 흔적을 뜻하며 가공방향에 따라 다르게 나타난다(Lim, 2010). 많은 고고학적 유물에 나타나는 가공흔적은 도구의 추정 가능성이 높고, 기록이 부족한 고대의 기술 발달과정을 복원함에 있어서 중요한 단서를 제공할 수 있다(Han, 2005). 또, 목공 문화를 통해 당시 제작 기술의 수준을 짐작할 수 있으며 전문적인 장인의 존재 확인 등 기술 변화를 통한 사회상도 확인할 수 있다(Kim, 2009). 그러나 그 중요성에 비해 가공흔(tool-trace) 분석을 통한 목재 가공 도구 연구 사례는 희소한 편이다. 특히 대부분의 연구는 소형 목기만을 대상으로 진행되었으며, 대형 건축 목부재에 관한 내용은 존재하지 않는 실정이다.

대표적인 대형 건축물 중 하나인 목곽고(wooden storage facilities)는 (장)방형 수혈의 네 면에 판자벽을 잇대어 올려 판의 형태로 만든 구조물로 곡물이나 물품 등을 저장하기 위한 건축 시설을 말하며, 연구 대상인 목곽고 3기를 기준으로 그 규모가 약 5 × 5 m, 깊이 약 2 m에 달한다(Park, 2022). 대부분 도성이나 주요 관방 유적에서 확인되어 당대의 사회를 이해하는 데 중요한 자료로 활용되고 있다(Kwon, 2020). 일반적인 마을 유적에서는 발견된 예가 없으며 비교적 규모가 크고 목재와 같은 재료의 수급, 다수의 인력이 필요하다는 점 등을 감안했을 때 사적으로 운영한 것이 아닌 도성이나 중요 관방 유적에서 공공의 목적을 위해 축조하였던 것으로 추정된다(Shin, 2005). 위의 근거로 목곽고는 당대의 목재 가공기술

본 문서는 출판된 영문논문의 국문서입니다. 출판된 영문논문은 아래의 DOI를 통해서 확인하실 수 있습니다.
Journal of The Korean Wood Science and Technology 52(3): 276-288. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2024.52.3.276>

이 집약된 산물일 것으로 보인다.

가공흔은 피삭재, 절삭 공구, 절삭 조건에 따라 다른 양상을 보일 수 있다. 피삭재는 가공 대상 목재로 수종, 비중(specific gravity), 함수율, 온도, 목리(grain), 결점(옹이; knot 등)의 조건이 다를 수 있으며, 공구의 형상과 크기, 칼날의 각도, 절삭 공구의 재질과 전처리 등에 따라 각기 다른 형태를 띌 수 있다. 절삭 조건으로는 절삭 속도(회전수와 송재 속도), 칩 두께와 폭, 절삭 방향 등이 있다(Jeong, 1994). 기존 가공흔 재현 실험은 소나무 건조목을 대상으로 진행하였기 때문에 대부분 상수리나무류(*Quercus* spp.) 등의 활엽수재 수종으로 제작된 백제시대 목곽고 가공흔 분석에는 적용하기 어렵다. 또한, 소형 목기의 제작 과정을 재현한 연구(Gaya National Research Institute of Cultural Heritage, 2020)가 있으나 공구의 크기, 가공 방법이 상이할 것으로 판단되어 위의 내용만으로는 대형 건축 부재의 가공 기술을 추정하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 충남지역 백제 사비기(538~660년) 출토 목조 건축물인 서천 봉선리 유적 목곽고(Wooden storage facility of Bongseon-ri Site, Seochon)와 천안 성거산 위례성 목곽고(Wooden storage facility of Seonggeosan Mountain Wirye Fortress, Cheonan), 금산 백령성 목곽고(Wooden storage facility of Baekryung Fortress, Geumsan)를 대상으로 목곽고 조성의 주요 수종을 파악하였다. 조사 결과를 바탕으로 목곽고 부재의 주요 수종인 상수리나무류를 이용하여 목곽고에 잔존한 가공흔을 재현하고 실제 출토 유물의 가공흔과 비교하여 교차 검증하고자 하였다.

가공흔에 관한 선행연구에서는 가공흔 관찰 시 대부분 육안 관찰, 실제 현미경 촬영, 주사전자현미경 촬영 등의 방법을 활용하였다(Han, 2005; Park, 2022). 위의 선행연구 사례를 통해 일부 가공흔 연구는 시료를 채취하는 파괴 분석으로 이루어졌음을 알 수 있었다. 이에 본 연구에서는 비파괴적 방법인 3D Scan을 활용하여 가공흔의 길이 및 형태 등을 객관적으로 기록하여 분석하였으며 3D Scan Data와 사진 상 확인이 어려운 미세한 가공흔에 대해서는 실제 현미경을 이용하여 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

2.1.1. 가공 대상 목재

가공 대상 목재는 충청남도 부여군에 위치한 숲에서 벌채한 직경 40 cm, 길이 400 cm의 상수리나무류로 기건 비중은 0.82, 전건 비중은 0.80이다(Forestry Research Institute, 1994). 전건 함수율(oven-dry moisture content) 측정 결과 평균적으로 56.3%의 함수율을 보였다. 가공 대상 목재의 정확한 수종을 확인하기 위해 핸드 섹션 방식을 통해 수종 식별을 진행하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

활엽수재(broadleaved wood)로 공권(pore zone)이 고립하여 1~2열로 존재하는 환공재(ring-porous wood)이며 소도관은 원형의 후벽으로 방사성 배열하였다. 축방향유세포(longitudinal parenchyma cell)는 산재상·짧은 점선상으로 배열하였으며 방사조직(medullary ray)은 동성형(homogeneous ray)이었다. 광방사조직(broad ray)과 함께 단일 방사조직(compound ray)이 관찰되어 복합방사조직(compound ray)으로 확인되었다. 상수리나무아속(*Lepidobalanus*) 중 소도관이 후벽이며 대체로 원형-타원형인 것으로 보아 상수리나무류로 식별하였다. 상수리나무류에는 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 존재하지만 해부학적으로 구분이 어려워 최종 상수리나무류로 식별하였다(Park *et al.*, 2022).

수종 식별은 ‘목재조직과 식별(Park *et al.*, 1987)’, ‘한국산 목재의 구조 I(Lee, 1997a)’, ‘한국산 목재의 구조 II(Lee, 1997b)’를 참고하였다(Choi *et al.*, 2022).

2.1.2. 목재 가공 도구 선정

목곽고 각각의 부재 중 판재(plank) 형태의 부재 표면에서 약 50~60 mm 크기의 선명한 자귀흔(adze-trace)이 다수 관찰되었다. 일부 주목의 톱흔(saw-trace)이 관찰되었는데 톱흔의 끝점을 명확히 알 수 없기 때문에 길이를 특정할 수는 없었다. 지지목 부재에서는 약 100 mm의 결구를 위한 홈을 볼 수 있었는데 이 홈을 만들기 위해 끌을 사용했을 것으로 추정된다. 실제 일부 목곽고 지지목 부재의 결구 구멍에서 약 25~35 mm의 끌흔(chisel-trace)으로 추정되는 흔적을 관찰할 수 있었다(Table 2). 따라서 위의 가공흔 및 가공흔의 치수를 근거로 유사한 크기의 톱, 자귀, 끌을 사용하여 백제시대 목곽고 제작 과정을 재현하고 가공흔을 관찰하였다(Table 3). 가공 흔적의 세부적인 분류는 기존 발표된 학술 논문을 바탕으로 절삭면에 나타난 흔적을 날끝 흔적(blade-top trace), 날흔(blade trace), 뜯긴 흔적(Plucked trace)으로 세분화하였다. 날끝 흔적은 칼날 끝 부분이 목재를 파고 들어감으로써 남게 되는 흔적이며 다른 절삭면에 간섭을 받지 않은 독립된 한 개의 날끝 흔적으로 칼날의 너비를 알 수 있다. 날흔은 칼날이 목재 표면을 지나가면서 남긴 흔적이며 뜯긴 흔적은 주위에 붙어있던 목질이

떨어져 나오는 현상으로 날끝 흔적 바로 앞부분에서 나타난다(Han, 2005).

2.2. 방법

2.2.1. 백제시대 목곽고 부재의 가공흔 재현

백제시대 목곽고 3기에 남아있는 가공흔을 형태별로 분류하고 자귀, 끌, 톱을 이용하여 직접 재현하였다. 가공흔 재현을 위한 백제시대 목곽고 부재의 제작은 다음과 같이 진행하였다.

목곽고 부재를 형태 별로 분류하여 가공 대상을 선정하였으며(Table 4), 주목(tenon)은 각재 형태로 가공한 후 하단부에 원기둥형의 축을 가공하여 완성하였다. 판재는 선행 연구사례(Park, 2022)를 활용하여 판목(板木)형으로 제재하고 판재의 중단부에 반턱형의 결구를 제작하였다. 또한, 반턱(halving) 결구부에 원형의 홈(mortise)을 파서 지지목 부재에서 관찰되는 가공흔을 확인할 수 있도록 하였다.

제작 과정은 다음과 같다. 참나무 생재를 벌채한 후 통나무 형태에서 자귀로 모든 면을 다듬기에는 어려움이 있기 때문에 기계를 이용하여 일정한 형태로 제재하였다. 그 다음 주목 가공을 위해 나무에 밀그림을 그리고 톱과 자귀를 이용하여 가공하였다. 가공 과정에서 제작자의 숙련도에 따라 가공흔의 양상이 상이할 것으로 판단하여 자귀 사용에 익숙하지 않은 사람과 자귀를 이용한 목재 가공에 능숙한 경력이자 각각 면의 일부를 가공하였다. 면을 가공한 후에는 끌과 자귀를 이용하여 지름 약 95 mm, 길이 약 250 mm의 원기둥형 축을 제작하였다(Table 5). 판재 형태의 부재에는 결구 구멍 가공을 위해 밀그림을 그리고 끌을 이용하여 구멍을 파낸 후 다듬기 작업을 거쳤다. 또한, 주목의 축을 구멍에 끼웠을 때 고정될 수 있도록 약 20 mm 높이의 반턱을 자귀로 파내서 완성하였다(Table 6). 주목과 결구 구멍을 포함한 판재 부재의 완성된 모습은 Table 7과 같다.

2.2.2. 3D Scan

제작 과정 재현을 통해 형성된 가공흔의 길이 및 형태를 객관적인 형상으로 기록하기 위해 3D Scan을 진행하였다. 3D Scan은 대상을 근거리(약 2.5 m 이내)에서 스캐닝하여 정밀도와 정확도가 높은 비접촉식 능동방식의 정밀 스캐닝을 진행하였으며 Scanner는 Handheld형 VCSEL 스캐너(Artrec Leo, Artrec 3D, LUX)를 이용하였다. 3D Scan 시 부재의 가공흔이 충분히 기록될 정도의 정밀도를 조절하며 HD 데이터 기록 1/4 이상, 텍스처 노출 시간 200 us 이상으로 촬영하였다. 3D Scan을 통해 얻은 부재의 3차원 데이터를 Artrec Studio 17 Professional 프로그램으로 편집하여 완성하였다.

2.2.3. 실체현미경 촬영

육안상과 3D Scan Data로 확인이 어려운 미세한 가공흔은 실체현미경 촬영을 통해 확인하였다. 실체현미경은 대상의 크기를 고려하여 이동형 실체현미경(Dino-Lite plus, AM313, TWN)을 이용하였으며 대상의 가공흔이 선명히 관찰되도록 초점과 배율을 조절하며 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 백제시대 목곽고 부재 가공흔 재현

3.1.1. 주목

주목 부재의 전반에서 약 60 mm의 자귀로 인한 날끝 흔적과 뜯긴 흔적이 산재하였다. 또한, 축 부분 횡단면에는 톱의 절삭운동에 따른 사선형의 연속적인 절삭흔이 관찰되었으며, 축을 원기둥형으로 가공하는 과정에서 나타난 약 35 mm의 끌에 의한 찍힌 흔적이 남아있었다(Fig. 1). 위의 가공흔을 가공 숙련도에 따라 분류해 봤을 때, 초보자의 자귀흔과 숙련자의 자귀흔은 형태적으로 큰 차이를 보였다. 초보자의 경우 표면이 평탄하지 않고 전반적으로 뜯긴 흔적이 다수 관찰되었으나 숙련자의 경우 표면이 평탄하였으며 일부 날끝 흔적만이 남아있었다(Fig. 2).

본 가공흔을 실제 유물 사진(Table 2)과 비교한 결과, 잔존 양상은 유사하였으나 실제 유물의 가공흔이 보다 선명하게 남은 것으로 보였다. 위의 결과는 크게 두 가지로 추정이 가능하였는데, 첫 번째로 가공 도구의 중량과 회전반경의 차이를 들 수 있다. 본 재현에서는 한 손으로도 사용이 가능한 손자귀를 이용하였으나 실제 유물 제작 당시에는 자귀날의 중량이 더 무거웠거나 긴 손잡이를 이용한 양손 가공 과정에서 목재 표면에 더 깊은 가공흔이 남았을 것으로 추정할 수 있다. 그리고 두 번째로 가공 후 후처리 과정의 차이를 들 수 있다. 재현품의 경우 전체에 대한 세밀한 가공과정을 거쳤지만, 실제 유물의 경우 반턱이음과 결구부가 실제 결합 부재와 맞지 않을 경우 추가적인 가공을 통해 맞추는 등의 과정에서

상대적으로 가공이 세밀하게 진행되지 않았을 가능성도 있을 것으로 판단하였다.

3.1.2. 판재

판재의 반턱 이음부에서는 약 60 mm의 자귀 날끝 흔적을 미세하게 발견할 수 있었다. 판재 부재에서는 주목과 달리 자귀날의 뜯긴 흔적이 적었으며 전반적으로 자귀흔 관찰이 어려웠다. 이는 주목 부재 가공 시에는 자귀를 일반적으로 부재의 절삭 용도로 사용하였으나 판재 부재 가공 시에는 부재의 평탄화를 위해 사용했기 때문으로 판단된다. 그리고 결구 구멍에서는 연속적인 끝 날흔을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

위의 결과를 실제 유물과 비교한 결과, 주목과 마찬가지로 실제 유물의 가공흔이 보다 선명하게 남은 것으로 보였다. 이는 주목과 동일하게 가공 도구의 차이 및 완성도의 차이로 판단하였다.

3.2. 3D Scan

3.2.1. 주목

주목의 3D Scan 결과, 자귀흔의 경우 초보자의 가공흔에서는 뜯긴 흔적이 다수 관찰되며 주변 목질부의 박리가 관찰되었다. 하지만 숙련자의 가공흔에서는 약 60 mm의 매끄러운 날끝 흔적과 연속적인 날흔이 관찰되었으며 초보자의 가공흔과 달리 목질부의 박리는 나타나지 않았다. 이를 통해 3D Scan을 활용할 경우 보다 연속적인 날흔 관찰 시 사진 촬영보다 선명한 결과를 확인할 수 있음을 알 수 있었다. 끝흔 역시 사진 촬영으로는 조명의 세기 및 각도에 따라 담기 어려웠던 부분을 3D Scan을 통해 기록할 수 있었다(Fig. 4). 마지막으로 톱흔은 연속적인 표면 스크래치 형태로 관찰되었으며 이를 통해 개략적인 톱의 절삭 진행 방향을 유추할 수 있었다(Fig. 5).

3.2.2. 판재

판재의 3D Scan 결과, 전체적인 표면 가공 결과는 주목과 유사하였으나 끝을 이용한 가공부에서 차이를 보였다. 주목의 끝 가공부에서는 약 35 mm의 희미한 날끝 흔적과 연속적인 날흔을 확인할 수 있었다. 반면, 판재의 끝 가공부에서는 날끝 흔적을 관찰하기 어려웠으며 주목의 끝 날흔과 비교했을 때 비교적 납작한 형태의 날흔이 나타났다. 이는 주목의 경우 도구 사용 시 회전 반경이 자유로운 반면 판재의 결구 구멍을 가공할 때는 회전 반경 및 기타 도구 사용 범위가 제약적이기 때문인 것으로 추정된다(Fig. 6).

3.3. 실체현미경 촬영

주목과 판재의 가공흔 중 자귀와 끝의 날끝 흔적 실체현미경 촬영 결과, 자귀의 경우 약 60mm의 섬유 끊김 흔적이 관찰되었다. 3D Scan 결과와 유사하게 자귀는 타격 각도나 작업자의 숙련도에 따라 뜯긴 흔적을 형성하기도 하며, 날끝 흔적만을 남기기도 하는 것을 확인하였다[Fig. 7(a) and 7(b)].

끝의 경우, 약 35 mm의 열은 날끝 흔적이 관찰되는데 자귀의 날끝 흔적과 비교했을 때 실체 현미경 관찰에서도 크게 다른 양상을 보이지 않았다[Fig. 7(c) and (d)]. 따라서 자귀와 끝은 일반적으로 날의 너비에서 차이가 있기 때문에 날끝 흔적의 길이를 통해 구분이 가능하며 날끝 흔적의 형태만을 통한 구분은 어려울 것으로 보인다. 또한, 3D Scan 결과와 같이 끝의 진행방향에 따라(섬유방향, 직각방향) 잔존 흔적에 차이가 있는 것으로 판단하였다. 본 연구를 통해 부재에 남겨진 날끝 흔적으로 제작 당시 사용된 목재 가공 도구의 날 너비를 추정하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

위의 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 자귀의 가공흔은 숙련도에 따라 크게 차이를 보이며 가공의 정도와 방향에 따라 잔존 흔적의 차이가 큰 것으로 확인되었다. 자귀 초보자의 경우 목재 표면의 날끝 흔적 외에도 뜯긴 흔적이 다수 관찰된 반면, 숙련자의 경우 육안상 표면에서 날끝 흔적을 제외한 가공흔은 거의 관찰되지 않았으며 3D 스캔과 실체현미경 관찰에서 그 흔적을 찾을 수 있을 정도로 평탄하게 가공이 되었음을 확인하였다. 재현 제작 부재와 실제 유물 간의 가공흔을 비교한 결과 실제 유물에 잔존하는 가공흔이 더 선명한 것을 확인할 수 있었는데, 이는 목곽고 조성 당시 사용한 가공도구의 중량 혹은 회전반경에 의한 차이가 있었을 것으로 보이며 당시 제작 과정에서 면밀한 가공을 하지 않은 것으로 판단된다.

2. 끝 가공흔은 끝 가공방향에 따라 상이한 결과가 나타남을 확인하였다. 끝을 섬유방향으로 찍어 가공한 경우 일자형의 열은 날끝 흔적이 연속적으로 잔존하는 형태였으나 섬유 직각방향으로 가공한 경우 뜯긴 흔적이 선명하게 잔존하였다. 끝의 날끝 흔적은 자귀의 날끝 흔적과 형태적으로 매우 흡사하기 때문에 날의 너비를 통해 구분이 가능할 것으로 보인다.

3. 톱흔은 직선상의 줄무늬가 여러 층으로 나타났으며 이를 통해 개략적인 절삭방향을 유추할 수 있었다. 그러나 절삭 특성상 톱흔은 중첩적으로 나타나기 때문에 끝점을 특정할 수 없어 톱날의 길이를 추정하는 데에는 어려움이 있었다.

4. 가공흔 연구에 사용되는 방법 중 주사전자현미경 촬영은 일부 시료의 파괴가 이루어질 수밖에 없으나 세포의 절삭 양상 등을 면밀하게 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서 사용된 연구 방법 중 3D Scan은 비파괴적으로 목재 문화유산의 가공흔을 조사할 수 있지만 세포 단위의 관찰은 불가능하다는 한계가 있다. 이러한 이유로 추후 진행될 가공흔 연구에서는 문화유산의 상태에 따른 연구자의 적절한 연구 방법 선택이 중요할 것으로 생각된다.

위의 연구 결과를 통해 고대 대형 목조 건축물의 치목 기술과 목재 가공 도구에 관한 기초 자료 구축에 기여 및 활용될 수 있을 것으로 보이며, 향후 발굴 목재 문화유산의 가공흔 분석에 참고 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.