

# 전통 목조건축물(여산향교 대성전)의 비파괴검사

한소라, 이상준, 박천영, 이진제  
서울대학교 산림과학부

## NDE (NondestructiveEvaluation)ofTraditionalWoodenBuilding “Daeseongjeon, Yeosan Hyanggyo”

So-Ra Han, Sang-Joon Lee, Chun-Young Park, Jun-Jae Lee  
*Department of Forest Science, Seoul National University, Seoul, Korea*

### 1. 서론

현재까지의 목조건축문화재 연구방법은 건축물의 형태와 양식을 중심으로 이루어져 왔으며, 사용된 부재에 대해서는 크게 관심을 갖지 않았다. 따라서 역사적으로 가치가 높은 건축일수록 부재가 약간만 손상이 되어도 신부재로 교체하고, 교체되어진 부재는 소홀히 다루어진 예를 쉽게 볼 수 있다. 이러한 문제는 경제적 손실 뿐 아니라, 천연재료로서 성장이나 사용되어진 환경에 대한 정보를 갖는 자료(목재)를 잃게 되는 결과를 낳게 된다. 따라서 전통목조건축에 사용되어지는 목재는 최대한 처음의 상태를 유지하도록 관리되어야 하며, 이를 위해서는 비파괴검사법등을 이용한 꾸준한 모니터링을 통해 체계적이고 과학적인 보존관리가 이루어져야 한다.

목재에 적용되는 비파괴검사방법은 대부분 원목을 제재할 때 수율을 높이기 위함이나 제재목의 등급구분을 위한 목적으로 발달되어 왔다. 게다가 전통목조건축물 부재의 비파괴검사는 안전진단을 목적으로 사용되기 때문에 열화의 정확한 원인과 초기 열화를 확인해야만 한다. 이에 최근 전통목조건축물의 비파괴검사 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 개별 부재에 대한 열화 판단에 대한 연구가 대부분이며, 실제 현장에서의 비파괴 검사법 적용의 문제점을 파악하고 해결하려는 연구는 아직 미비한 실정이다<sup>1~6</sup>.

따라서 본 연구에서는 현재까지 연구가 진행된 목재 비파괴검사 방법 중 현장 적용이 가능하다고 판단되는 초음파 CT와 드릴저항시험 방법의 현장 적용성을 확인하고자 하였다. 이를 위해 여산향교 대성전 기둥부재를 대상으로 비파괴검사법을 적용하

였고, 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 방법을 고찰하였다.

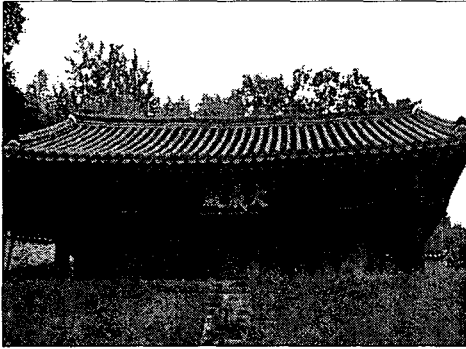


그림 1. 여산향교 대성전 전경

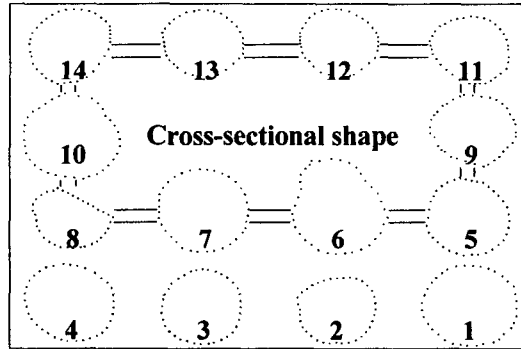


그림 2. 3D좌표측정을 통한 실제 단면 형상

## 2. 연구 대상

본 연구에서는 여산향교 대성전의 기둥부재에 대한 비파괴검사를 실시하였다. 여산향교는 전북 익산시 여산면에 위치하고 있으며, 대성전은 전면 3칸 측면 2칸 반의 맞배지붕 건물이다(그림 1). 비파괴 검사가 실시된 기둥은 그림 2에서와 같이 총 14개이고, 실험 단면의 높이는 일괄적으로 지상에서 75cm떨어진 지점이 되도록 하였으며, 부재의 지름은 35~50cm로 다양하게 나타났다. 본 연구에서는 건물 외부에 있는 4개의 기둥을 노출기둥, 벽과 연결된 나머지 10개의 기둥은 묻힌기둥이라 명명하였다.

## 3. 실험방법

### 1) 단면 형상 측정

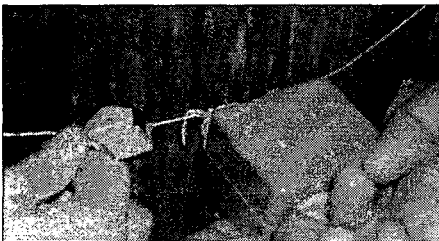


그림 3. 기둥의 좌표 측정 모습

비파괴 검사에 앞서 육안 조사를 실시하고, 정확한 기둥의 형상을 파악하기 위해 3D 좌표 측정기(3SPACE ISOTRAK II)를 이용하여 단면의 형상을 확인하였다(그림 3). 부재의 정남쪽을 기준하여 반시계방향 10°간격으로 36개의 점에 대한 좌표를 측정하였다.

## 2) 초음파 CT

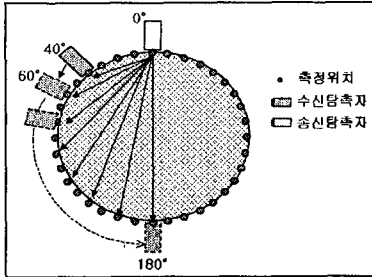


그림 4. 초음파 전달속도 측정방법

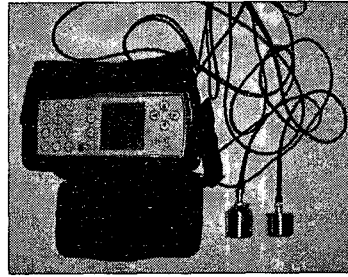


그림 5. 초음파 장비(PUNDIT-plus)

목재의 초음파 전달 속도는 초음파장비(PUNDIT-plus)에서 방출되는 초음파(54kHz)가 두 탐촉자 사이의 매질을 통과하는데 걸리는 시간(Time of Flight : TOF)을 측정하여 얻을 수 있다. 부재의 초음파 CT 영상을 얻기 위해, 그림 4와 같이 36개의 측정 위치를 정하였으며, 송신 탐촉자를 0°에 고정하고 수신 탐촉자를 40° 떨어진 위치에서 시작하여 20°간격으로 320°까지 15회 초음파 전달속도를 측정한다. 이후 송신 탐촉자를 10°간격으로 170°까지 이동시키면서 각각의 위치에 대해 앞서 언급한 방법과 동일하게 수신 탐촉자를 옮겨가며 초음파 전달 속도를 측정하여 총 270개의 데이터를 획득하였다. 이렇게 얻은 초음파 전달 속도를

CT영상 구성 방법 중의 하나인 DET법을 이용하여 영상을 구성하였다<sup>26</sup>.

본 실험에서는 PUNDIT-plus(그림 5)를 이용하여 실험을 실시하였고, 접촉매질(couplant)로는 그리스(grease)를 사용하였다.

물건 기둥의 경우 초음파 전달 시간의 측정이 불가능한 부분(벽과 붙어있는 부분)이 존재하였기 때문에 이러한 영역을 제외한 최대한의 데이터를 확보하고, CT이미지를 구성할 때 측정되지 않은 부분에는 매우 큰 값(해당 각도 측정값의 최대값)을 주었다. 이를 통해 측정이 불가능한 영역이 열화로 판단되어 결국 빈 공간으로 나타나게 함으로서 측정 영역과 구별이 될 수 있도록 하였다.

## 3) 드릴 저항 시험법

드릴저항 시험법은 그림 6과 같이, 지름 3mm의 드릴날을 일정한 속도로 목재에 관통시키면서 이때 발생하는 저항력을 연속적으로 측정하여 재료 내부의 열화 위치와



그림 6. 드릴 저항시험 측정 모습

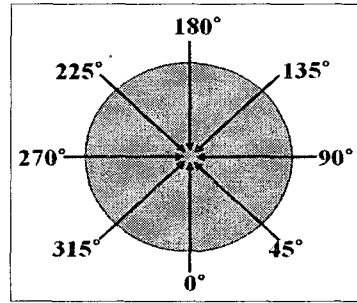


그림 7. 드릴저항시험 측정방향

정도를 비교적 정확하게 확인할 수 있는 방법이다<sup>7</sup>. 드릴의 길이가 35cm인데 비해 대성전의 기둥은 지름이 상대적으로 크기 때문에(약 35cm~50cm) 한 부재에 대하여 그림 7과 같이 8회 측정하였다. 측정에는 IML RESI F-400를 사용하였다.

드릴저항 시험에서도 묻힌 기둥의 특정 각도는 측정이 제한되어 초음파 CT구성과 마찬가지로 실험결과로 이미지를 구성할 때(Drilling Resistography) 측정 불가능 영역은 0의 저항값을 주어 측정영역과 구별되도록 하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

실제 실험에 앞서 실시한 육안 검사에서 대성전 기둥은 전체적으로 열화가 심각하게 진행되었고, 모든 기둥에 심한 할렬이 존재함을 확인하였다. 또한 4, 6번 기둥은 열화된 부분을 제거하고 신부재로 덧댄 흔적을 확인 할 수 있었다. 그림 2는 3D 좌표측정을 통해 실제 기둥 단면 영상을 구성한 결과이다. 그러나 8번 기둥의 경우 좌표 측정 시 건물 안쪽 부분에 장애물이 존재하여 이 부분에서는 데이터를 얻지 못하였다.

그림 8과 그림 9에 전체 기둥의 초음파 CT 영상과 드릴저항 시험 결과를 이미지로 구성한 결과를 제시하였다. 이를 통해 대성전을 구성하고 있는 14개 기둥 대부분에서 열화가 심각한 수준이라는 것이 확인되었다. 특히, 건물 안쪽 부분에는 흰개미의 피해가 심하게 나타났고, 건물 바깥쪽 부분이 상대적으로 건전한 것으로 파악되었다. 초음파 CT 결과는 3D 좌표로 얻은 단면 형상에 맞게 구성하여 보다 정확한 단면의 모습을 확인할 수 있었다.

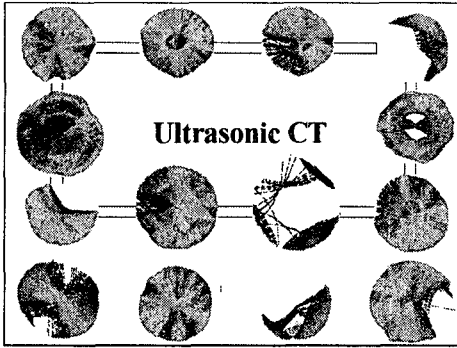


그림 8. 초음파 CT 결과

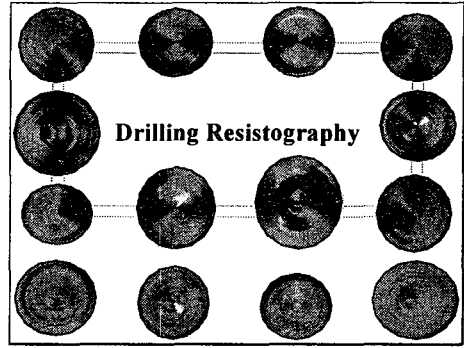


그림 9. 드릴저항시험 결과

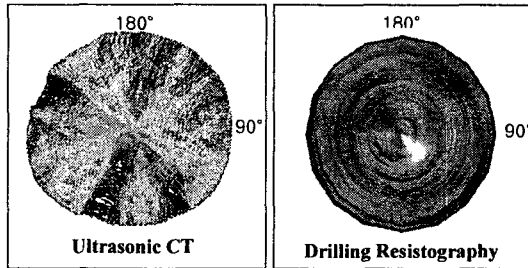


그림 10. 노출기둥(3번)의 비파괴검사 결과

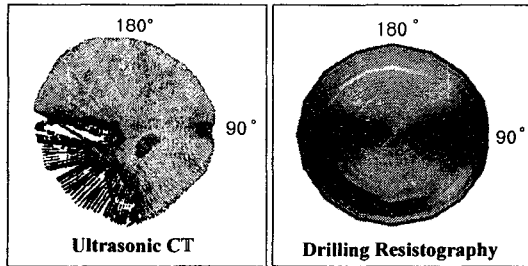


그림 11. 묻힌기둥(12번)의 비파괴검사 결과

1, 2, 6, 8, 11번 기둥의 결과를 보면 빈 부분이 존재하는데 이는 표면 열화가 심각하여 탐촉자가 부재에 밀착되지 않았거나, 충해에 의해 내부의 빈 공간이 존재하여 초음파가 전달되지 않기 때문에 이러한 결과를 얻은 것으로 판단된다.

각 기둥의 결과를 자세히 보면 노출기둥(3번 기둥)의 경우(그림 10) 드릴저항 시험의 결과에서는 약 0°~45°, 220°~300° 부분에 연륜을 따라 열화가 나타난 것을 확인할 수 있는데 이는 충해에 의한 피해로 판단된다. 초음파 CT의 결과에서는 0°와 270° 주변에서 열화가 존재하는 것으로 나타났다.

그림 11은 12번 문헌 기둥의 결과이다. 이 기둥은 90°와 270°부분이 벽과 연결되어 있기 때문에 이 부분에서는 초음파 CT와 드릴저항 시험 모두 낮은 밀도값이 나타났다. 또한 건물의 안쪽 부분에 해당하는 270~360°부근의 밀도값이 상당히 떨어지는 것으로 나타나는데 이는 층해에 의한 결과로 두 시험 방법의 결과가 비교적 일치하게 나타났다.

## 5. 결론

본 연구에서는 여산향교 대성전의 기둥 부재를 대상으로 현재까지 연구가 진행된 목재의 비파괴검사 방법 중 현장 적용이 가능한 초음파 CT와 드릴저항시험을 적용하여 비파괴검사의 현장 적용성을 확인하여 보았다. 또한 3D좌표 측정을 통해 실제 기둥의 단면 모습을 얻었고 이를 초음파 CT결과에 반영함으로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 부재의 표면 열화나 할렬 등의 이유로 목재의 탐촉자와 부재사이의 접촉이 불량할 경우 TOF의 측정이 어려운 점, 2개의 탐촉자의 사용으로 인한 시험시간의 지연문제, 접촉매질인 그리스의 사용으로 부재 표면의 오염문제 등은 비파괴검사의 현장 적용에 있어 앞으로 해결해 나가야하는 과제이다. 본 연구 결과는 목조건축 비파괴검사의 정확성과 현장 적용성을 높이기 위한 이후 연구의 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 국립문화재연구소. 2001. 목조 문화재 검사용 초음파 CT 연구개발 보고서. pp.45.
2. 김광모. 2005. 목재 열화 탐지용 초음파 CT에 있어서 목재 이방성 및 초음파 회절의 영향을 고려한 알고리즘 개발. 서울대학교 박사학위논문. pp.145.
3. 김광철, 배문성, 이진제. 2003. 노출 환경에 따른 목조 고건축물 기둥의 열화 차이. 한국목재공학회. 목재공학. 31(2): 58-68.
4. 이진제, 김광모. 2004. 목재의 열화 탐지를 위한 현장용 CT 개발. 대한건축학회. 2004년 춘계학술발표대회논문집(구조계). 24(1): 391-394.
5. 한국과학재단. 2004. 목조 고건축물의 안전성 평가에 관한 연구. pp.111.
6. Kim, K. M., and J. J. Lee. 2005. CT Image Reconstruction of Wood Using Ultrasound Velocities II - Determination of the Initial Model function of the SIRT Method. The Korean Society of Science & Technology. MOKCHAE

KONGHAK. 33(5): 29-37

7. Park, C. Y. 2003. Reliability Analysis of Deteriorated Post Member. Master's Thesis. Seoul National University. Korea. pp.73.