

문화재 보존처리를 위한 방사선 기기의 활용

양석진

국립중앙박물관 학예연구사

1. 문화재 보존과학과 방사선

보존과학(Conservation Science)은 유형 문화재를 과학적으로 연구하고, 훼손을 방지하여 보존되도록 하는 활동이다. ICOM-CC(International Council of Museums Committee for Conservation)는 보존(Conservation)을 다음과 같이 정의하고 있다. 보존은 유형문화재를 현재와 미래 세대에게 접근을 보장하며 보호하기 위한 모든 수단과 활동이다. 또 예방 보존, 보존처리 보존, 복원을 포괄한다. 그리고 모든 수단과 활동은 문화재의 중요성과 물리적 특성들을 존중하여야 한다.

여기에서 문화재는 인위적, 자연적으로 형성된 국가적, 민족적, 세계적 유산으로서 역사적, 예술적, 학술적, 경관적 가치가 큰 것을 말하며 유형문화재, 무형문화재, 기념물, 민속자료로 나눌 수 있다.

보존과학은 크게 보존처리, 분석, 환경으로 나눌 수 있다. 방사선은 이 3가지 분야에서 모두 활용가능하다. 보존처리는 문화재의 훼손을 방지하거나 손상된 문화재를 복원하는 것으로 방사선은 문화재 복원 재료 개발과 방사선 경화 기술을 이용한 수지 강화 처리법 연구에 사용된

다. 분석은 문화재가 가지고 있는 특성을 과학적인 방법으로 밝히는 것으로, 문화재의 기본적인 구조분석, 제작기법 연구 등을 위한 비파괴분석, X선 및 CT촬영 등을 이용한 디지털 기록화가 있다.

문화재 환경 분야는 문화재가 더 이상 손상이 발생하지 않도록 주변 환경을 조성하고 그 상태를 유지하는 것이다. 더 나아가 방사선이나 전자선을 이용한 훈증 대체 기술을 연구하는 분야라고 할 수 있다.

방사선을 이용한 문화재 조사 목적의 가장 큰 이유는 비파괴조사가 가능하다는 점이다. 역사적, 학문적 가치가 높은 문화재는 연구를 위한 분해 또는 가공이 어려운 문제점을 안고 있다. 이런 문제점은 문화재 연구에서 방사선을 이용한 비파괴검사가 필수적인 이유이다. X-선의 물질을 투과하는 특성을 이용한 X-선 투과 영상 검사 방법은 문화재를 분해 또는 훼손하지 않고 내부구조를 조사하는데 매우 유용한 방법이다.

보존처리에 앞서 문화재의 재질과 상태에 따라 보존처리 방향이 설정되는데, 이는 문화재가 외부 환경(화학적, 생물학적, 물리적, 인위적 요인)과 반응하여 변화된 문화재 재료와 손상 정도를 정확히 파악해야만 적합한 보존처리 방법



[사진 1] 허리띠고리(국보 제89호)

을 선택할 수 있으며, 보존처리 후에도 안정하게 보존 상태를 유지할 수 있다.

문화재 상태조사는 유물의 형태와 구조 파악, 재질의 손상정도 측정, 열화정도, 미술사적 가치, 유물의 제작시기, 고고학적의미를 파악하는 것으로 보존 조치, 보존처리 및 분석 방법, 보관, 전시, 유물이동 등에 정보를 제공하게 된다. 또 이러한 비파괴 조사는 보존처리뿐만 아니라, 고대 과학기술사 연구, 고대 생활사 복원에도 사용되며, 문화재 손상 부위 진단 및 디지털 원형자료 확보에도 매우 유용하게 사용된다.

2. 문화재 적용 방사선 연구 및 현황

최근에는 문화재 기본정보와 분석자료들을 디



[사진 2] 주인상 도기기마인물형명기(국보 제91호)

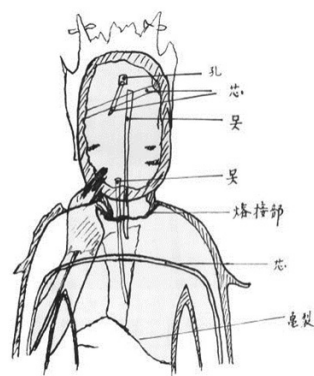
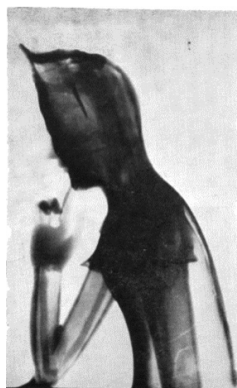
지털 자료화하여 보관하는 추세이다. 이 때, 방사선 촬영은 비파괴적으로 문화재에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있기 때문에 매우 중요하다.

방사선이 물질을 투과하면, 대상의 밀도, 두께에 따라 그 흡수 정도가 달라진다. 예를 들어 금, 은입사 유물들은 밀도가 높아 방사선을 많이 흡수하여 흰색으로 보이며, 부식부위 또는 복원부위는 방사선을 덜 흡수하여 검은색으로 보인다. 또한, 투과성이라는 방사선의 기본특성 때문에 눈에 직접 보이지 않는 부분까지도 확인이 가능한데, 대표적으로 불상의 내부 복장품을 식별하거나, 회화작품의 밑그림이나 수정, 복원부분 등을 판별할 수 있다.

국내에서 문화재 분야 방사선 활용의 시작은 방사선 비파괴 진단 조사이다. 1960년대 초 우



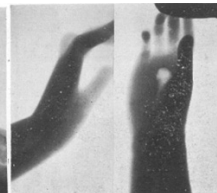
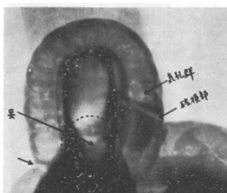
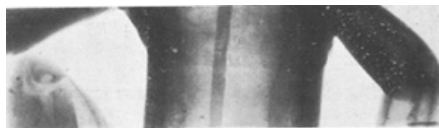
본02789-00-05



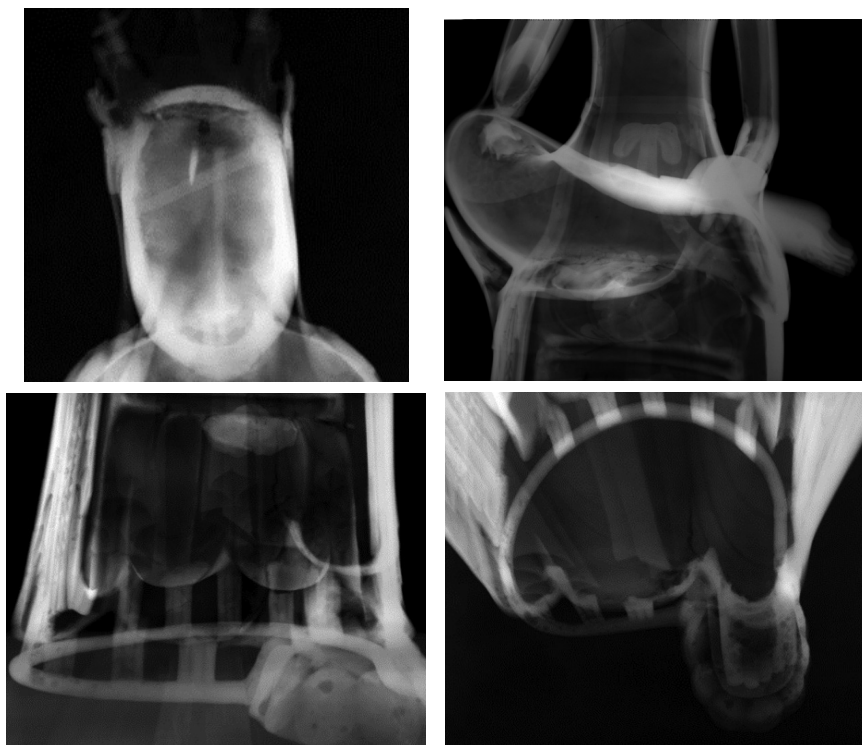
[사진 3] 1963년 감마선(코발트: 60)을 이용하여 금동미륵보살반가상(국보 제78호) 내부구조와 결함 조사



덕03312-00-07



[사진 4] 감마선(세슘: 137)을 이용하여 금동미륵보살반가상(국보 제83호) 내부구조와 결함 조사



[사진 5] (이리듬: 192)를 이용하여 금동미륵보살반가상(국보 제78호) 내부구조와 결함 조사

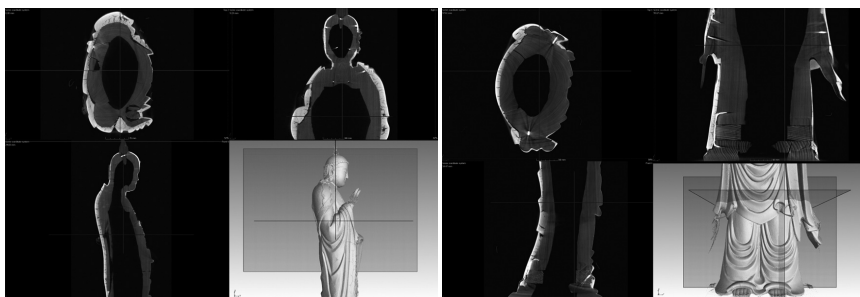
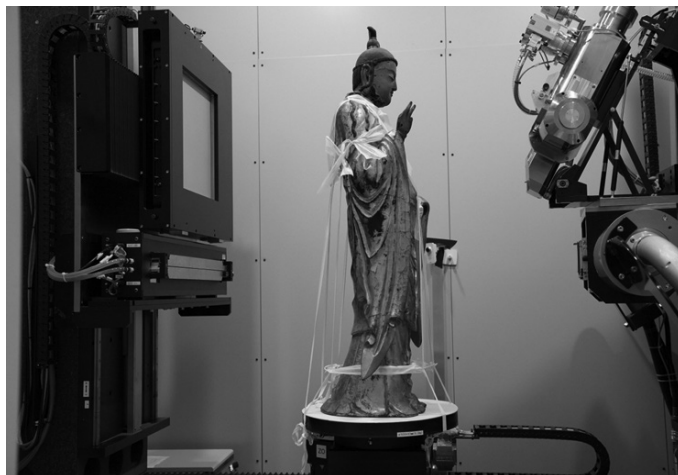
리나라에 처음으로 방사선 기술이 소개된 이후 문화재 연구에서 가장 먼저 활용한 사례는 1963년 코발트(^{60}Co)와 세슘(^{137}Cs)의 방사성동위원소를 사용한 국보 제78호와 제83호 금동미륵보살반가사유상의 비파괴 투과 조사이다. 이후 2002년 이리듬을 이용한 방사선 비파괴 조사도 실시하여 비파괴 진단을 실시하였다. 이러한 문화재의 비파괴 투과 조사는 외형의 변화 없이 비교적 안전하게 문화재 내부 상태를 조사할 수 있는 방법으로 보급되어 폭 넓게 활용되고 있다.

과거의 방사선 촬영은 주로 2차원 투과 영상이 사용되어 왔지만, 이는 내부의 복잡한 구조

나 내용물이 겹쳐서 보이는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서 최근에는 3차원의 단층 촬영을 도입하여 진행하고 있다.

문화재를 CT촬영 하면, X,Y,Z축 방향의 단면 영상과 3차원 입체 영상을 얻을 수 있는데, 이를 통해 겹쳐 보이는 내부 구조나 내용물을 각각 독립적으로 분리하여 확인할 수 있다. 또한 형태나 크기, 부피 등의 다양한 측정도 가능하다. 더 다양하게는 목재 내부의 충해흔을 확인할 수 있고, 목재 유물의 나이테를 통한 연륜 연대 정보, 신석기시대 토기의 토기비집에 사용된 계재물의 형태와 크기 등을 분석할 수 있다.

국립중앙박물관에서 사용중인 방사선 기기의



[사진 6] 소조보살입상 CT촬영 결과

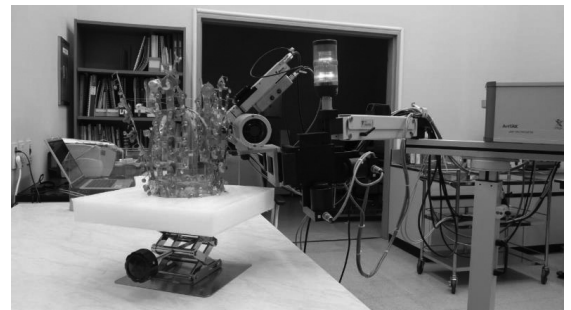
〈표 1〉 문화재 보존처리를 위한 방사선 기기 연구 현황

연번	장비명	성능	용도	비고
1	X선 형광분석기	40kV, 60μA	성분분석	휴대용
2	X선 형광분석기	45kV, 50μA	성분분석	휴대용
3	X선 형광분석기	50kV, 0.2mA	성분분석	휴대용
4	X선 형광분석기	50kV, 1mA	성분분석	휴대용
5	X선 형광분석기	50kV, 0.8mA	성분분석	SEM 부착용
6	X선 촬영기	60kV, 5mA	내부구조 조사	
7	X선 회절분석기	60kV, 80mA	화합물 조사	
8	X선 검색대	140kV, 0.7mA, 2대	화물 검색	상설전시실
9	X선 투과촬영기	300kV, 4.5mA	내부구조 조사	
10	컴퓨터단층촬영기(CT)	225kV, 3mA	3차원 스캔	
		600kV, 4.9mA		
11	컴퓨터단층촬영기(CT)	190kV, 1mA	3차원 스캔	
합계		11건 12대		

현황은 다음과 같다(〈표 1〉 참고).

이중 엑스선형광분석(XRF: X-ray Fluorescence Spectrometry)은 비파괴분석법 중 가장 대표적인 방법으로 문화재에 엑스선을 조사하고 이때 방출되는 특성 엑스선(형광엑스선)의 파장과 강도를 측정하여 문화재를 구성하고 있는 물질을 정성 및 정량 분석하는 방법이다. 엑스선형광분석은 짧은 시간 안에 전처리 없이 분석할 수 있고 분석 가능한 원소의 폭이 광범위하다는 장점이 있다. 문화재의 재질조사 및 고대 안료 규명, 제작기법 조사 등 다양한 연구에 활용되고 있다.

엑스선회절분석(XRD: X-ray Diffraction Analysis)은 문화재에 엑스선을 조사하여 발생하는 산란선의 회절현상을 통해 문화재를 구성하는 물질의 화합물 결정구조를 알아보는데 사용한다.

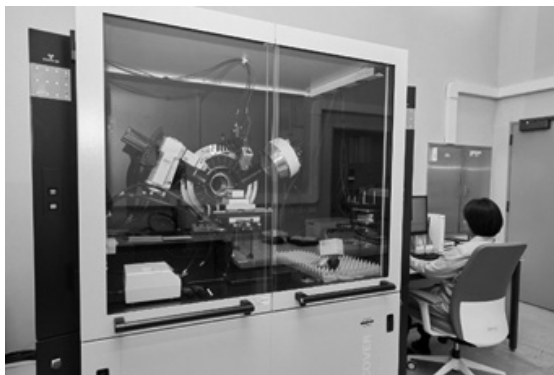


[사진 7] 엑스선형광분석(XRF)

청동 및 철기 유물의 표면 부식물 조사, 광물, 보석, 안료 등의 결정구조 조사에 활용되고 있다.

3. 문화재 방사선 활용가능 분야

문화재에 사용되는 방사선의 활용가능 분야 중 문화재 환경 분야는 방사선을 응용한 가스훈



[사진 8] 엑스선회절분석기(XRD)

증을 대체하는 것이다. 1987년 몬트리올 의정서에 따라 메틸브로마이드 사용 금지로 인한 훈증 대체기술 적용이 시급하다. 현재 훈증가스에 사용되는 HFC도 규제 대상으로 2024년에 소비를 동결하고, 45년 까지 24년 대비 80%까지 감축 의무를 지닌 냉매이다. 이미, 프랑스에서는 1970년대부터 감마선을 활용한 유기질문화재의 살균 및 살충처리에 대한 기술을 개발하여 사용하고 있기 때문에 우리나라에서도 기술개발과 도입이 시급한 실정이다.

유기질 문화재는 생물학적 열화의 위험성이 항상 존재한다. 가해 곤충이나 곰팡이로 인해 손상되는 경우를 방지 위해 가장 빠르고 강한 방

법은 방사선을 조사하는 것이다. 충의 경우, 살충을 위한 필요 선량이 연구되었지만, 균의 경우는 아직 기준점이 없다. 균은 어디에서나 포자 상태로 존재하기 때문에 완전 살균을 어려우며, 방사선 조사에 따른 살균은 균의 급속한 생장이 우려될 때(침수 등의 자연재해)에 사용되는 것이 필요하다. 프랑스의 ARC-Nucleart에서는 미이라, 냉동 보존된 맘모스 등을 방사선으로 살균살충 처리한 예가 있다.

현재 문화재 보존을 위한 방사선 살충/살균 기술개발은 진행중이며, 유기질 문화재의 보존 훈증실 처리 절차나 방사선 처리 관련 평가기준을 마련하기 위해서는 방사선 조사가 유기질 문화재에 미치는 영향에 대한 평가가 선행되어야 한다. 특히 서화에 사용되는 안료의 변색이나 목재의 열화 상태를 평가해야 그 기준을 마련할 수 있을 것이다. 나아가 문화재 수장고 맞춤형 X-선 기기의 개발에 있어서 진단, 소독처리, 복원소재 생산 등 다목적 선형 방사선기기 개발이 필요한 시점이다.

비파괴 분석으로는 외기빔PIXE를 들 수 있다. 외기빔PIXE는 진공중에서 시료를 측정하는 PIXE와 달리 양성자빔을 빔창을 통해 공기중으로 인출해 시료에 조사한 후 시료로부터 발생하는 X-선을 측정하는 장치로서 진공 중에 넣기 어려운 분말, 액체 등의 시료의 분석이 가능하고 공간적인 제약이 없어 크기가 큰 시료의 분석이 가능하다는 장점이 있어 문화재 분석에 크게 활용 가치가 있다. **KIIF**