

# ARC-NUCLEART연구소의 보존, 복원, 멸균작업

· 자크 뒤센 (ARC-Nucleart 관장)

건조 또는 습윤상태의 고고학 혹은 민속학  
유기자료(목재, 가죽, 목재와 금속혼합제)를 대상으로

---

## 요약

1. 프랑스의 문화재보존과 복원 연구소 조직 현황소개
2. ARC-NUCLEART연구소 소개 - 연구소에서 문화재 보존을 위해서 사용 기술소개
  - 지상과 해양의 고고학 발굴시 젖은 목재와 가죽작품 건조작업, 강화작업, 보수작업 수행
  - 목재문화재 (조각상, 가구, 사적 바닥마루), 멸균및 강화처리
  - 가죽문화재의 복원
3. 연구소 시설
4. 화재 자질의 파손상태파악과 고고학가치의 목재와 가죽작품 보존 방법에 대한 연구 수행
5. ARC-NUCLEART에서 보존, 복원하는 문화재의 처리 용례

아크 뉴클레아르(ARC Nucleart)의 감마선조사기 설치

## 1. 프랑스의 문화재보존과 복원 연구소 조직 현황 및 국가 문화재연구 프로그램 소개

프랑스 보존-복원의 참여체

프랑스에서는 여러연구소에서 문화재의 보존에 대한 연구를 수행하고 있다.

문화재의 보존에 대한 중앙연구기관으로는 다음과 같은 3개의 기관이 있다.

프랑스 박물관연합회 연구복원센터 (C2RMF), 문화부 산하 사적연구소 (LRMH), 문화부와 교육부 산하의 고문서 보존과학연구원 (CRCDG)이 그것이다. 그외에 20여개의 공공의 복원 전문 지역단위 센터가 있어서, 프랑스 국립미술관들의 주재하에 공공소장품의 복원작업을 시행하고 있다. 전체 복원센터의 일부는 보존과학연구와 분석에 대해 자체적인 연구능력을 갖추고 있으며, 국립 보존 연구 센터의 조직을 구성하고 있다.

대부분의 센터는 고고학발굴에 관한 임무를 가지고 있으며 발굴된 여러가지 성분의 다양한 자료를 처리한다. 세라믹, 금속, 모자이크와 유리, 목재, 가죽등의 유기체, 벽화, 그리고 회화, 그래픽아트, 조각, 섬유등의 미술품을 처리하게 된다.

중앙과 지역의 문화재연구소는 연구소별로 역할이 다르다. 어떤 연구소는 보존위원과 복원전문가에 대한 과학연구지원을 하는가 하면 일부는 연구소내에서 자체 연구를 수행하기도 한다.

문화부는 보존관련 연구에 대한 연계성을 보장하기 위해 “국립문화재연구 프로그램”을 2003년 초에 발표하기위해 준비중에 있다. 주요 목표는 다음 4가지 축을 중심으로 진행될 것이다.

- 재질성분파악
- 문화재의 파손과 보존에 대한 오염의 영향
- 문화재변질과정의 이해와 그 이해를 바탕으로 한 보존처리제와 방식 선택
- 보존기술과 방식의 완성

국립 문화재 복원 센터의 조직  
처리 재료

## 2. ARC-NUCLEART연구소의 임무와 활용기술

프랑스 문화재 보존 복원 센터의 조직에서 공공이익단체인 ARC-Nucl art 연구소의 임무는 건조 또는 습화상태의 고고학 혹은 민속학적 유기자료(목재, 가죽, 목재와 금속혼합제)를 대상으로 보존, 복원, 멸균처리를 하는 것이다. 이 목표를 위해서 ARC-Nucl art 는 멸균처리용 감마선 조사나 작품의 보강작업, 수지처리등을 하는데, 일부는 감마선에 의해 고분자화되며, 목재나 가죽성분의 고고학 자료에 대해서 건조처리를 하고 있다.

건조 또는 습화상태의 고고학 혹은 민속학적 유기성분자료의 보존, 복원, 멸균처리  
최근에 연구소는 다음 5가지 분야에서 전문진단과 활동을 강화하고 있다.

- 대규모 고고학발굴지의 유적채집과 적절한 박물관환경 실현지원을 위해 ARC-NUCLEART는 발굴지에서부터 박물관까지 유적처리에 관여한다.

(예 : 오스티아 안티카의 로마양수기 채취, 이탈리아 피사의 고대 선박 처리, 브장송의 골족 분묘처리등)

- PEG 핵분열처리 주입에 의한 혁신적인 처리 방식 완성및 적용

(예 : 프랑스 마르세이유의 그레코 로만형 선박보존처리)

- 오래된 건조가죽 처리

(예 : 프랑스 튀네빌의 금장 가죽 장막 복원)

- 감마선 조사를 통해 고분자화한 폴리에스터 수지 흡수처리를 통한 마루바 닥의 강화

(예 : 프랑스 아르데슈지방의 비비에 옛 주교관의 마루처리)

- 국제적인 개방 : ICOM-CC등 국제회의에 활발한 참여를 도모하며, 이탈리아, 스페인, 포르투갈, 스위스등에 유럽내의 문화재처리작업수행

## 2-1 감마선 투사를 통한 유기 문화재의 멸균처리

람세스 2세 미이라에 대한 감마선 투사및 멸균처리의 예.

ARC-NUCLEART는 멸균처리를 통해 문화재보존을 위한 감마선 조사방식을 활용한다. 이 처리방식은 감마선의 특성을 활용하는 것으로 DNA분자에 대해 회복이 불가능한 손상을 주어서 문화재내에 생존하는 미생물을 파괴하는 것이다. 감마선은 투과력이 뛰어나 의료기구의 소독용으로 많이 사용되고 있다. 왜냐하면 단단한 외장상태의 기구를 소독하여 다음 사용시까지 보존하는 것이 용이하기 때문이며, 이런 특성이 문화재의 보존에도 응용이 된 것이다.

ARC-NUCLEART 연구소가 람세스 2세의 미이라 처리시에 이 용법을 사용한 것이 상징적인 예가 될 것이다. 박물관측은 미이라의 부패의 명백한 원인으로 곰팡이가 생성 발전을 들었다. 감마선의 살진균적 특성에 관한 어떤 박사학위 논문을 바탕으로 연구소는 람세스 2세의 미이라에 대한 감마선 조사프로그램을 1977년 준비하였다. 물론 머리채, 치아, 붕대 천조각등에 대한 무해한 적정량 (18KGray)에 대한 사전연구가 시행되었다.

감마선 조사에 문화재를 노출, 멸균처리를 하는 방식은 ARC-NUCLEART연구소에서 흔한 일로, 이제 30년전부터 목재조각, 가구, 또는 미술관의 소장고에 보관되어있는 민속자료에 대해서도 사용되어오고 있다.

## 감마선 조사에 의한 문화재 멸균처리

감마선 조사에 의한 문화재 멸균처리작업은 몇시간정도의 소요시간만을 필요로 하는 곤충과 그밖의 미생물을 파괴할 수 있는 현재로서는 유일하게 효과적인 기술이다.

파괴해야하는 생물에 따라서 조사량이 다르다.

목재식충멸균 : 500그레이 (블레치 Bletchy의 연구 - 1962년)

목재식충의 박멸 : 1.5킬로 그레이

몇몇 균류의 성장 정지 : 2킬로 그레이 (포자의 농축의 정도가 높은 경우, 7킬로 그레이 까지 사용)

1.4킬로 그레이까지 채색목재의 색깔이 변색되지 않으며, 종이의 섬유소도 마찬가지로이다. 목재의 경우, 건조상태이면 10킬로 그레이까지 어떤 변화도 발생하지 않으며, 습한 상태의 경우 양이 훨씬 많아도 무방하다. 실제로 30 000킬리 활성의 코발트 60이 원료인 경우, 멸균처리를 위한 감마선 조사시간은 500그레이상태에서 약 1시간 정도, 균류 파괴 멸균처리를 위한 조사는 3 킬로그레이의 경우 6시간이 소요된다.

감마선 조사방식이 가장 효과적이고 빠른 멸균처리 방식이긴 하지만 유일한 방식은 아니다.

다른 대안으로 다음의 방식들을 들 수 있다.

- 산소결핍화 (산소제거를 통한)처리 : 처리기간은 일반적으로 3주이다.

- 산화에틸렌 (독성물질)에 노출을 통한 멸균처리 : 처리기간은 더 길며, 산화에틸렌 방사처리후에 독성으로 인해 6-8주이전에는 작품을 다룰수 없다.

## 2. 목재문화재의 작품 강화처리 작업 (목재류, 마루바닥, 가구, 나무조각상등)

산업적으로 사용되는 목재보강처리를 현재까지 사용하고 있다. 액체수지를 목재에 퍼 바른 후에, 감마선에 노출시켜 액체송진을 굳히는 작업을 수행하고 있다. 물리원리에 의해 X선 고분자화가 진행된다. 송진의 고체화는 방사효과에 따른 고분자와 망상화를 통해 얻어진다.

### 그르노블 스탕달 기념관의 마루바닥

사진을 보게되면 그르노블 스탕달 기념관의 마루바닥이 이런 방식으로 강화된 것 예라는 것을 알수 있다. 이 작업의 목표는 파손이 심한 18세기의 쪽마루를 복원하는 것이었다.

150평방미터의 모자이크형 마루는 5가지 목재의 750개의 쪽으로 구성되어있었다. 마루쪽의 두께는 쪽에 따라 9mm도 되지않았기 때문에, 방문객들이 있는 기념관의 보존을 위해서 목재를 보강해야 할 필요가 있다.

ARC-Nucl art는 목재의 손상이 큰 조각상도 처리하고 있다. 감마선 조사에 의해 단단해진 폴리스틸렌 송진을 조각상에 침투했다. 이방식은 전통적인 보수방식과 양립이 가

능하다. 벌레먹은 목재의 경우 종종 분말화상태에 있어서 강화작업을 통해 다시 금박과 채색, 보수된 부분의 꼴라주, 부식부분의 복원과 재조립등 모든 보수과정이 복원전문가들에 의해 이루어졌다. 가구의 경우, 고급세공재의 강화역시 세공전문복원사의 손길이 필요하다. 이작업은 파손이 심한 가구품들을 복원하는데 사용된다.

나무가 심하게 파손된 조각상, 소목재료, 마루바닥 강화작업은 이들 문화재의 구조작업에 다름아니다. 복원작업이 없다면 잃게되는 문화재를 구하는 길인 것이다.

### X선 고분자화의 원칙

감마선은 코발트60을 에너지원으로 발산되는 것으로 ARC-Nucl art 연구소에서 개발한 것이었다. 코발트60 동위성 원소는 코발트 59의 중성자 조사과정을 통해 얻어지는데, 반응식은 다음과 같다 :  $59\text{Co} + n \rightarrow 60\text{Co}$ .

방사시설은 물이 채워진 깊이 4m의 원료저장고에 연결된 방사실을 포함하며 방사용 에너지원료는 32 000퀴리 (1200TBq)정도이다.

감마선의 침투력은 아주커서 예를 들면 20cm정도는 침투를 해야 침투력이 절반으로 감소한다.

어떤종류의 방사능도 처리된 작품에서 발산되지 않는다. 왜냐하면 원자를 활성화시킬 수 있는 방사에너지의 한계치수가 코발트 60에 의해 발산되는 감마 광자보다 훨씬 높기 때문이다. 방사조건은 다음과 같이 정의된다.

- 원자재의 활성화력에 따른 양의 결정
- 방사중의 작품의 발열이 잘 조절이 될수 있게 사용량의 유량조절 : 발열반응이 반복 가능성이 있음. 문화재의 경우, 처리가 효과를 발휘하기 위해서는 양이 충분해야하지만 한계를 넘어서게 되면 조사대상작품에 오히려 파손이 온다.

방사선작업을 하는 경우, 안전성이 완전히 보존되는 상황인 원자핵 연구센터와 같은 환경에서 작업을 할 필요가 있다.

감사선 조사는 비닐 단량체의 유리기나 불포화수지에 의한 고분자화를 유도한다. 폴리에스터 수지의 고분자화는 스티렌기의 전고분자 연쇄의 망상화로 인해 삼차원조직의 형성을 내포한다. 실제로, 불포화 스티렌 폴리에스터 혼합물을 가장 많이 사용하는데 그것은 스티렌의 농도에 따라 6-9%의 부피수축만이 이루어지기 때문이다. 실제상황에서 고분자화반응은 발열반응이며, 양의 유량에 따라 제어가 가능하며 강화목표에 맞게 지나친 온도의 상승을 피할수 있다.

### 현재 감마선 조사작업이 진행중인 조각

압력증기 소독기에 있는 목재 조각상의 침투

### 2-3 유기체 고고학자료의 보존방법

발굴이전의 매장상태나 해양상태에서는 오랜기간 안정상태에 있던 목재와 같은 유기체 자료들은, 대기와와의 접촉, 조심성없는 건조작업으로 인해 파손의 위험에 놓이게 된다. 이들의 보호는 적절한 보존처리를 필요로 한다. 물리화학적인 방법이 ARC-Nucl art 연구소에서 채택되었고 그것은 이자료들의 형태를 유지, 보강하면서 건조시키는 방식이다. 자료의 성분과 상태에 따라 3가지 강화방법이 사용된다.

\* 물에 젖은 목재나 가죽작품에 대해서 :

- 1) 부분적으로 폴리에틸렌-글리콜침투와 냉동건조
- 2) 포화 폴리에틸렌-글리콜침투와 조절된 건조작업
- 3) X선강화가능 폴리에스터 수지침투와 감마선 조사

목재 건조시에 고고학목재 자료의 건조를 제어하는 것이 필요한데 그것은 약해진 목재에 대한 강화과정을 거치게 하는 것이다. ARC-Nucl art에서는 그런 결과를 얻기위해 2가지방식으로 처리를 하고 있다.

감마선 조사에 의해 응고한 수지에 의한 강화방식이 건조목재에게도 적용, 실행중이며 두번째 방식은 수분에 찬 목재에 수용성합성수지를 침투하는 것이다. 바로 폴리에틸 글리콜(PEG)을 사용하는 것이다.

#### 폴리에틸렌 글리콜(PEG)의 침투

가장 많이 사용되는 PEG는 상온에서 액체인 분자군 400의 고분자와 상온에서 고체인 분자군 4000이다.

PEG400은 여러가지 기능을 가지고 있다:

- a. 냉동보호효과, 목재세포가 냉동중에 얼음의 증가와 함께 세포가 상하는 일을 피하게 하는 효과가 있다.
- b. 목재세포의 세포벽의 팽창상태를 안정시키는 효과, 목재섬유의 수축을 막아서 처리된 목재의 형태를 유지해준다.

PEG4000은 세포내의 루멘을 거의 채움으로서 구조강화의 역할을 한다.

1628년 스톡홀름항에서 진수시 난파한 바자호의 잔해보존처리가 바로 폴리스틸렌 글리콜 분사에 의한 목재보존의 첫예이다. 그리고 식품가공업에서 이미 활용되고 있는 건조방식인 냉동건조에 의해 고고학발굴 목재의 건조에 보완적인 조치가 이루어지게 되었다.

#### 폴리에틸렌 글리콜(PEG)의 침투

ARC-Nucl art에의한 중세 카누 냉동건조 보존사례

냉동건조용법은 폴리에틸렌글리콜을 침투한 후에 목재에 함유된 수분을 쟁쟁시간후에 형성된 결빙을 직접 승화 증발시키는 기술이다. 이런 방식을 채택함으로써 건조시에

목재세포의 함몰을 막을 수 있다. 프랑스뿐만 아니라 유럽의 여러세기를 망라한 수천여 개의 목재와 가죽의 작품이 ARC Nucl art연구소에 의해 PEG침투처리와 냉동건조기술로 보존처리를 받았다. 목재와 가죽유적중에는 신석기 시대부터 근대까지의 일상용품도 포함이 되어있다.

#### 2.4 해양발굴 유적의 보존

최근에 ARC Nucl art는 난파선의 잔해와 같은 부피가 큰 유적에 대한 보존처리를 위해서 시설물을 확충한 바있다. 새로운 장비들을 활용하게 되면서 기존의 PEG침투방식을 혁신, 대형 목재 유적에도 물과 PEG 혼합물의 원자핵화 방식을 사용 마르세이유에서 발견된 기원전 6세기의 그리스 상선의 잔해를 보존 처리할 수 있었다. 현재 그르노블에서 처리중에 있는 그리스 상선의 잔해의 크기는 길이 14m에 높이 4m이다. 이 선박의 조립방식은 아주 정교한 것으로, 고리가 달린 장부(일종의 꺾쇠)가 장부구멍에 위치하고 있고, 늑재는 외피판에 고정된 구조를 하고 있다. 이런 건조방식이 바로 고대말까지 선박 건조에서 조립방식으로 사용되는 대표적인 방식이다.

같은 방식으로 처리된 최근의 또하나의 유적의 예는 파리/베르시의 신석기시대의 선박과 카누로, 현장에서 ARC Nucl art로 운송되어 보존처리후 2000년말에 파리의 역사박물관으로 옮겨졌다.

#### 파리/베르시의 신석기시대의 카누보존처리의 사례

1991년 베르시의 지방공사를 하던 중 우연히 신석기시대 제작으로 보이는 카누 여러개를 발굴하게 되었는데, 떡갈나무자재의 통나무배로 그중 가장오래된 것은 기원전 4200년까지 거슬러 올라가는 것으로 추정되었다.

ARC Nucl art가 처리과정의 총괄책임자로 카누채취과정에 참여했다. 카누가 아주 약화되어 자체무게를 견디지 못할 정도의 상태여서 카누가 퇴적된 지반역시 같이 운반해야 했다. 카누는 ARC-Nucl art연구소에 운반되어 수지침투 처리용수조에 담겨 처리하였다. 일부는 PEG침투후에 냉동건조가 되었고, 일부는 감마선 조사에 의한 고분자 폴리에스터수지에 의한 보존처리가 되었다. 강화처리와 건조가 끝난후에 카누의 복원이 완료되었다.

#### 카르나발레 박물관에 전시된 파리/베르시의 카누

여러차례에 걸쳐 ARC-Nucl art연구소는 고고학 발굴자료중 선박유적에 대한 이동, 보존처리를 주도해왔다.

- 툴롱의 로마시대 선박
- 보르도지방의 17세기 하천 운송용선박
- 노와앵 쉬르 센느의 카롤링거왕조 시대의 카누

- 피사 나뭇터에서 발견된 고대 선박

### 2-5 가죽 문화재의 복원작업

가죽원료의 고고학적 발굴물에 대한 발전된 보존-복원처리기술을 바탕으로 ARC-Nucl art연구소는 수년전부터 가죽과 피혁 문화재에 대한 복원작업도 수행하고 있다.

다음 이미지는 튀네빌 미술관의 소장품인 금박, 채색의 인두작업을 한 가죽의 벽걸이 천에 대한 복원작업 과정에 관한 것이다. 이 거대한 천의 주제는 솔로몬과 사바의 여왕이다. 천은 전체 15장의 조각을 박음질에 의해 연결한 것이다. 이 독특한 작품은 17세기의 것으로 추정된다. 다른 종류의 가죽 벽걸이 천이나 병풍, 의자밑부분, 악기, 카약과 같은 소형보트등 가죽이나 피혁의 문화재도 ARC-Nucl art연구소에서 복원된 바 있다.

결론적으로 오늘날 만족스런 보존처리 방식을 사용하고 있다하더라도 더욱 개발을 위해서 연구프로그램을 추구할 필요가 있으며, 특히 처리된 문화재가 보존처리이후에 다시 변질되는 일이 없도록 유의해야 한다. 이런 방식은 ARC-Nucl art연구소가 점점 더 중점을 두고 참여하고 있는 예방보호의 차원에 들어간다.

## 3. 연구소시설

ARC-Nucl art연구소는 16명의 다양한 분야의 전공을 가진 연구원이 근무하며, 그르노블의 CEA 연구센터의 일부인 3000평방미터의 면적에 시설을 가지고 있다. 여기에는 보존, 복원처리와 실험시설이 포함되며, 온도조절처리와 안전처리가 된 수장고, 수지침투용 상자와 수조, 원자핵화 차폐시설, 수지침투자동시설, 냉동건조기, 감마선 조사기, 건조통제시스템, 복원아틀리에, 자재규명도구들, 목공기술실, 사진작업실, 화학약품저장고등을 갖추고 있다.

## 4. 보존연구 프로그램

ARC-Nucl art연구소는 목재와 가죽작품에 대한 강화와 보존작업에 대한 연구및 유기체 자료의 규명연구를 하고 있다.

ARC-Nucl art연구소는 연구원, 보존-복원전문가들을 모두 보유하고 있어서 연구의 높은 잠재성을 가지고 있다. 이런 여러분야의 전문가들이 공동의 작업을 함으로서 보존, 복원관련 처리방식에 대한 개발에 공조하며 유기체물질 고고학 자료의 분석과 성격규명 기술 발전이 용이하다. (연구주제는 부록에 포함이 되어있음)

연구주요주제는 문화재보존에 관한것으로 목재에 수지함유량을 최적화함으로써 보강



하는 처리를 더욱 개선하고, 이미 젖은 상태의 자료의 변질을 막는 건조를 최적화하며, 냉동건조방식에 대한 대안을 추구하고, 유기체와 금속자료 (목재와 금속혼합물) 모두에 적절한 처리방식을 개발하는 것 등이다.

또 처리방식 자체에 대한 주제로 ARC-Nucl art연구소는 예방적 보존방식에도 관여하고 있다. 보존처리한 작품의 노화와 목재의 파손상태를 평가하기 위한 비파괴적인 성분분석의 새로운 도구의 개발이 그것으로 구체적으로 유럽차원의 공동계획인 프랑스 박물관 연합주도 고고학 목재의 미파괴적인 처리방식의 개발중에 있다. 대부분의 연구작업은 프랑스 문화부의 지원을 받고 있다.

#### 양성과 홍보의 노력

ARC-Nucl art연구소는 매년 문화재의 보존기술관련 연수생을 받고 있다.

ARC-Nucl art연구소는 ICOM-CC의 고고학 유기체분야의 Working group (WOAM)에 참여하고 있다.

## 부 록

### ARC-Nucl art연구소 연구(1998-2002)계획

“폴리에틸렌 글리콜 (PEG)침투후 냉동건조처리된 고고학 자료의 노화연구”

기간 : 3년

참여협력기관 : 국립광보호평가센터(CNEP), 바르구앵 미술관(클레르 몽페랑지역),  
도피노와 지역미술관(그르노블)

“문화재보호를 위한 철부식 억제 연구”

기간 : 3년 엘로디 쿨미노(Elodie Cuilminot)의 박사논문

참여협력기관 : 그르노블 화학전자와 금속전자 전문학교 (ENSEEG/INPG), ARC-  
Antique (낭트), 국립고문서 보존연구센터 (CRCDG/Paris)

“분사와 핵원자화를 통한 목재 침투 기술개발”

기간 : 2년

“옷칠을 한 목재 처리 연구”

기간 : 2년

“냉동건조대안처리용 목재 건조기술개발”

기간 2년

참여협력기관 : 사적연구소 (LRMH)

“습윤상태의 목재변질 진단용 이동 센서개발

(프랑스 박물관 연합과 유럽차원의 4번째 계획 PCRD)”

기간 : 4년

참여협력기관 : 마이양스연방 해양박물관 (독일), 피렌체 목재 연구소(이탈리아), 요크  
셔지방 고고학 센터 (영국), 목재와 목공기술 센터(CTBA, 프랑스), 베  
를린 목재기술센터 (독일), 프랑스 목재연구소 (ARTEC)