

《특별기고》 방사성 동위원소를 이용한 문화재의 과학적보존

— 고고유품 및 미술품의 조사감식(調査鑑識)법 —

김 유 선

원자력 연구소 화학연구실

(문화재위원)

(1972년 6월 5일 접수)

Abstract

Radioisotopes and their related techniques have recently been applied for scientific conservation works of cultural property and resulted many excellent findings or conservation data which could never be achieved by means of other techniques. Radiocarbon dating have widely been applied for dating the antique of organic origin, whereas the determination of radioactive contents in metal, ceramics, environmental soil, and classical objects could be able to afford many useful informations on the age, genuiness, and archeological significances as it had been produced. Trace quantity of contents of each antique have successfully been analyzed by means of radioactivation analysis or radio active tracer techniques, which could afford important technical data and results for the conservation of each object. Radiography have also been applied for detecting the internal defects of metal objects and furthermore β -and γ -ray radiography were proved to be effective for such thin material as textile, painting, and fibres. In this article the detailed principle and procedures of each technique were presented so that the society could be able to make efforts to familiarize all concerns with these modern trends of the conservation techniques of cultural property.

1. 緒 論

文化財를 保存하는데 關한 여러가지 科學的方法이 있는 가운데 最近 10年間에 걸쳐서 放射性同位元素를 利用하는 方法이 先進國家에서 注目되어 여러 分野에 걸쳐서 다른 方法으로는 얻을 수 없는 獨特한 結果를 얻고 있으며 開發된 方法이 널리 普及 實用化 되어 가고 있다. 우리나라에는 國寶 및 寶物級文化財를 爲始하여서 많은 文化財가 先祖의 卓越한 文化水準을 誇示하고 있는 만큼 그 保存問題는 深刻히 다루어져야 하겠으며 可能的한 모든 科學技術을 動員하여서 最上의 方法을 擇

하여 永久的인 保存을 期하여야 할것이다. 한편 埋藏된 文化財들이 發掘되었을 境遇 이들의 文化財의 價値를 正確히 調査鑑識하여서 그 輕重에 따라서 適合한 保存 對策을 마련하여야 할것이다. 未確認된것 또는 指定되지 않은 文化財, 考古美術品들도 正確한 科學的鑑識을 거쳐서 그 眞僞가 判定되어야 할것이며 眞品인 境遇에는 그 遺物들이 流失되지 않도록 保存方案을 마련하여야 할것이고 그 遺物들이 類似品에 지나지 않는 것이라면 이들을 따로히 分類保管함으로써 低俗品에 依한 文化財의 價値損傷을 事前에 豫防하여야 할 것이다.

放射性同位元素를 利用하는 方法은 위의 두가지 方面

의 文化財保存에 있어서 다른 方法으로는 얻을 수 없는 正確하고 獨特한 結果를 보여주고 있다.

따라서 原子力利用의 國內普及를 爲하여서 先導의 役割을 하고 있는 本學會에서 이 方面의 開發과 普及 및 國內 技術化에도 努力하여야 할 意義가 있다고 본다. 祖國의 文化遺産을 科學的으로 保存하여 後世에 繼承시켜야 한다는 國家의 見地에서 國民의 한 사람으로서의 原子科學者의 立場에서 文化財保存에 寄與할 수 있는 契機를 마련하여 돕은 또한 뜻있는 일이라 할 것이다.

여기 發表하는 內容은 이러한 目的下에 最近 發刊되어 있는 國內外 文獻를 參考로하여 編輯하여 본 것으로서 讀者 여러분의 參考가 되어서 앞으로 國內에서 이 方面의 學術活動이 盛行되어 가기를 바라는 바이다.

2. 古代陶磁器의 熱螢光(Thermo-Luminescence)을 이용한 年代測定

熱螢光現象은 數百年前(1663) R. Boyle 氏에 依하여서 發見된 以來 固體物質의 特性으로서 여러 方面에 應用되어 왔다.

考古遺物中 土質로 된 것은 固體狀結晶의 集合體이므로 이 現象이 應用될 수 있는 것으로서 最近에 그 具體的인 研究實驗內容이 公表된 바 있다¹⁾. 即 陶磁器 및 土器 등은 製造된 當時에 燒結되었을 것이 確實하며 普通 燒結溫度는 750~1000°C 인바 이 溫度에서는 그 當時까지 陶磁器內에 蓄積되어 있는 熱螢光性을 除去하는데 充分하였을 것이므로 이 時點을 年代 零年으로 看做한다. 다음에 現時點에 이르기까지 內部 또는 周邊의 放射性物質로 부터 放出되어온 放射線(특히 α線)에 依하여 固體內部에 蓄積되어온 熱螢光性을 加熱에 依하여서 (400~500°C) 測定하고 固體內部에 存在한 放射性物質의 濃度를 測定한다.

다음 그 試料의 強度를 正確히 校正한 放射線源으로 一定時間 照射한 다음 얻어진 熱螢光을 測定함으로써 每年 照射된 線量에 對한 熱螢光造成率을 計算할 수 있다. 이 Data가 얻어지면 다음 式에 依하여서 熱螢光年代測定이 可能하게 된다.

$$\text{年代} = \frac{\text{試料가 가진 熱螢光}}{(\text{熱螢光/rad}) \times (\text{rad/年})} \quad (1)$$

註: Irad. = 每 g 當 100 erg 의 Energy가 吸收된 것.

이 方法은 放射性炭素測定에 依한 年代測定法 보다도 試料가 豊富하고 年代零年의 設定이 炭素試料때 보다도 正確하고 無機物로서의 安定度가 有機物의 것보다 크다는 諸般 利點이 있다. 그러나 實際에 있어서는 여러가지 複雜한 環境의 與件이 影響을 미치게 되어 그 精密度는 炭素法보다 높지 못하다. 試料의 Size는 두께 5mm, 넓이 10mm² 程度의 것으로 充分하지만 測定用試料調製

에 있어서 粒子의 Size, 粉碎方法 등에 따라서 結果에 差異가 있다.

Kennedy 氏 등은 이 方法으로 1000 B. C. ~ 400 A. D. 年代에 屬하는 陶磁器破片을 調査한 結果 모든 試料를 誤差範圍 400年 以內로 年代測定할 수 있었고 11개試料는 200年 以內로, 9개試料는 100年 以內의 精密度로 年代測定할 수 있었다. Tite 氏²⁾ 등은 試料調製方法을 改良하고 粉碎中에 일어나는 Gas 吸着誤差를 校正하여 年代測定한 結果 그림 1에 보여주는 바와 같은 結果를 얻었다. Tite 氏 등은 비열형광도(Specific Thermo Luminescence)를 測定하여 보았는데 그의 計算式은 다음과 같다.

$$\text{비열형광도} = \frac{\text{자현열형광도}}{\left(\frac{^{224}\text{Ra 溶液에}}{\text{依한 熱螢光}} \right) \times \left(\frac{\text{放射線}}{\text{線量}} \right) / \text{年/g}} \quad (2)$$

第2式에서 보여 주듯이 ²²⁴Ra 溶液內에 試料를 約 2~3週 浸漬하였다가 그 試料中의 熱螢光을 測定한 것이다. 그림 1에 보여 주듯이 비열형광도는 考古學的 年代와 比例關係가 充分히 成立되지 않고 있으며 그 精密度는 ±10% 程度에 不過하다. 그러나 年代의 差異가 큰 것은 이를 區別할 수 있을 程度는 되며 이러한 뜻에서 遺物鑑識에 實用될 만 하다. 實際로 B. C. 510~490年 時代의 作品으로 推定되었던 土器製 婦人像을 이 方法으로 調査한 結果 近代에 模作된 模造品인 것이 判明되어 美國 考古學界에서 크게 論議된 經驗이 있었다고 한다³⁾.

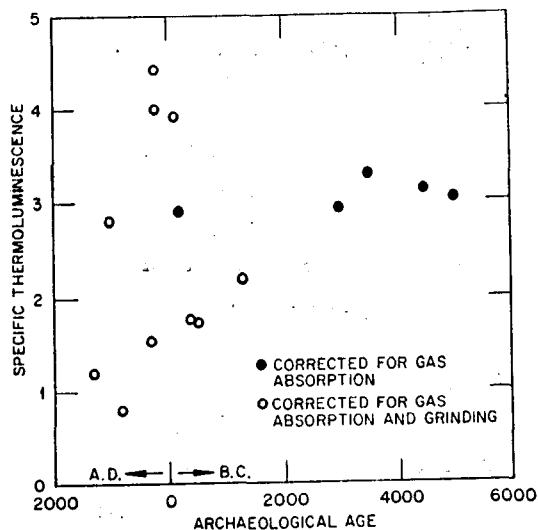


그림 1. 도자기의 열형광법에 의한 년대측정 예비실험 결과

3. 自然 α線放射體(α-emitter)의 放射能測定에 依한 年代測定 및 鑑識

1928年代에 Ziegart 氏는⁵⁾ 金屬납(pb)속에 함유되어 있는 α線 放射能은 年代가 오래 된것일 수록 그 값이

알다는 사실을 확인한바 있고 1939年 Evan 氏가⁶⁾ 이 現象을 應用하여서 油畫의 年代를 가려내고자 試圖한바 있다. 그 當時에는 分析技術이 아주 精密하지 못하여서 試驗結果가 고르게 얻어지지 못하였으나 最近數年間に 이 方面의 技術이 開發되어서 正確한 實驗結果를 얻게 되었다.

1967年에 Keisch 氏⁷⁾ 등은 最近技術을 利用하여서 납 속의 α 線 放射線測定으로 그림의 年代測定을 할 수 있게 되었다.

即 납을 主成分으로 하는 白色顏料을 그림으로 부터 分離하여 그 속에 含有되어 있는 二種類의 自然 α -線 放射體(^{210}Po , ^{226}Ra)의 放射能을 測定하고 이들 放射體의 放射性崩壞過程을 計算에 依하여 追跡함으로써 年代를 推定하는 것이다. 原來 납은 精製當時에 原鑛石에 含有되어 있는 우라늄, 라듐 및 그들의 放射性崩壞生成物들로부터 分離되었다고 볼 수 있고 이 分離操作으로 因하여서 原來 維持되고 있었던 放射性平衡이 깨져 납 속에 含有된 ^{210}Pb 은 그 以上 母元素로부터 生成되지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 다음 式에 依하여서 그 精製된 以來의 年代를 算出하게 된다.

$$[\text{Pb}]_t - [\text{Ra}] = ([\text{Pb}]_0 - [\text{Ra}])e^{-\lambda t} \quad (3)$$

但 $[\text{Pb}]_t$ ……試料중에 現在 含有되어있는 ^{210}Pb 의 濃度

$[\text{Ra}]$ ……試料中の ^{226}Ra 의 含量

λ …… ^{210}Pb 의 放射性崩壞常數

t ……납이 精製된 後의 年代

$[\text{Pb}]_0$ ……납이 精製된 當時의 濃度

$[\text{Pb}]_0$ 은 實驗으로 定할수는 없으나 試料中の Ra의 含量 및 分離恒數 $[\text{Pb}]/[\text{Ra}]$ 의 測定으로 逆算하여 算出할 수 있다. ^{210}Pb 의 濃度測定에 있어서는 α -線放

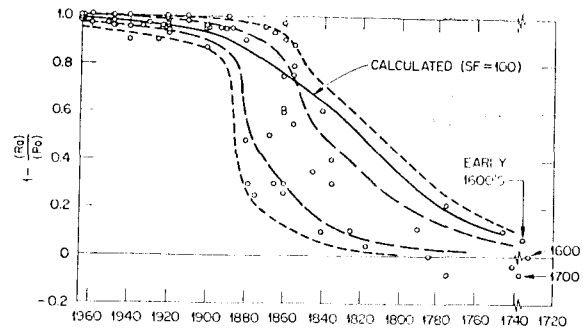


그림 2. 흰색 안료의 년대측정 곡선

출체인 崩壞生成物 ^{210}Po 의 放射能을 α -Counting으로 測定한다. 60種類 以上の 試料를 對象으로 調査한 結果에 依한다면 最初의 우라늄濃度 및 精製當時의 分離恒數를 좁은 數值限度內에 局限시키기 困難하였고 따라서 (3)式에 依한 年代測定은 事實上 그 正確性을 期待하기 困難하였다. 그러나 古代品과 現代製品사이의 區別은 어느 程度 正確히 가려낼수 있었으므로 實用性을 지니고 있다고 할수 있다.

Keisch 氏는 分離技術 및 分析方法을 改良하고 ^{133}Ba 追跡子를 Ra 濃度測定에 利用하는 한편 選擇의인 沈澱 및 溶解法을 마련하였으며 이 技術을 가지고 30種 以上の 試料를 檢査한 結果 좋은 成績을 얻고 있다. 그 結果에 依한다면 現代의 납에는 ^{210}Po ($\approx^{210}\text{Pb}$)이 過量的 ^{226}Ra 과 함께 含有되고 있으나 古代의 것은 ^{226}Ra 의 含量이 적으므로 거의 確實하게 가려낼 수 있었다고 한다.

그림 2에 Keisch 氏의 研究結果를 表示하였다. 1740 ~ 1960年度 사이에 만들어진 繪畫를 對象으로하여 比較

제1표

油畫의 眞僞判別을 爲한 data

Description	^{210}Po concentration (dpm/g of Pb)	^{226}Ra concentration (dpm/g of Pb)	$[1 - (\text{Ra})/(\text{Po})]$
Van Meegeren, "Washing of Feet," Vermeer style	12.6 ± 0.7	0.26 ± 0.07	0.98 ± 0.01
Van Meegeren, "Woman Reading Music," Vermeer style	10.3 ± 1.2	0.30 ± 0.08	0.97 ± 0.01
Van Meegeren, "Woman Playing Mandolin," Vermeer style, pigment sample	8.2 ± 0.9	0.17 ± 0.10	0.98 ± 0.02
"Woman Playing Mandolin," ground and pigment sample	7.4 ± 1.5	0.55 ± 0.17	0.93 ± 0.03
Van Meegeren, "Woman Dinking," Hals style	8.3 ± 1.2	0.1 ± 0.1	0.99 ± 0.01
Van Meegeren, "Disciples at Emmaus," Vermeer style	8.5 ± 1.4	0.8 ± 0.3	0.91 ± 0.04
Unknown, "BoySmoking," Hals style	4.8 ± 0.6	0.31 ± 0.14	0.94 ± 0.02
Vermeer, "Lace-maker"	1.5 ± 0.3	1.4 ± 0.2	0.07 ± 0.23
Vermeer, "Laughing Girl"	5.2 ± 0.8	6.0 ± 0.9	-0.15 ± 0.25

의 좋은 결과를 보여주고 있으며 $[1-(Ra)/(Po)]$ 의 값을測定한다면 그 값을 살펴서 그 繪畵의 眞僞를 가려낼수 있다. 이 方法을 應用하여 名畵의 模作品을 가려낸 例가 第1表에 例示되어 있다.

白色顏料는 鎳 成分이 많이 含有된 것이 古代에는 東西洋을 莫論하고 通例이었으며 鎳金에도 鎳이 利用되었던만큼 國內의 美術作品 또는 工藝品, 文化財等의 鑑識에 이 方法이 活用될 수 있을 것으로 思料된다.

4. 핵반응 흔적(核反應痕跡) 추적법(Nuclear Track Method)에 의한 考古學的 年代測定

放射線이 放出되거나 또는 무거운 原子가 核分裂性방사성붕괴를 일으켜 2~3箇의 子元素로 갈라지면 原子核 또는 各 子元素는 放出當時 Kinetic energy를 갖게 되며 이 Kinetic energy는 物體內의 다른 分子들 과의 衝突 또는 運動으로 消耗된다. 따라서 周邊의 原子 또는 分子의 配列狀態를 攪亂하게 되고 이로 因하여서 track가 生成되며 單位面積內의 이 Track의 數를 計算할 수 있다면 그 數는 物體內에 含有되었던 放射性元素의 放射能과 그 存續期間에 比例하게 된다. 放出되는 粒子의 크기에 따라 track 形成程度에 差異가 생기게 되는데 그 順序는 γ -線이 가장 작고 다음에 β 線, α 線, 核分裂 生成物等이다.

이 原理를 利用하여서 Walker氏⁹⁾等은 鑛物, 硝子, 重合物等에 生成되어 있는 Nuclear Track를 그 表面을 化學的處理에 依한 侵蝕(Etching)으로 擴大하고 普通의 光學顯微鏡을 써서 測定할 수 있었고 年代와의 相互關係를 檢討한 結果 다른 方法에 依한 年代測定에 比 等할만한 測定法이 될수 있음을 確認한바 있다. 即 地中에 埋沒되었거나 또는 地面에 存在 하였던 考古遺物들은 周邊의 放射性物質 特히 不純한 우라늄(Uranium)의 核分裂 粒子들에 依하여 Nuclear Track를 形成하게 되며 電子, α 粒子 및 宇宙線等의 影響도 받기는 하지만 이들이 形成하는 Nuclear Track는 크지 못하여 測定되기 힘들고 또 그 內容이 複雜하고 確然치 못하다.

따라서 主로 發見될 수 있는 것은 核分裂粒子에 依한 Track 生成이며 「Fission track」라고도 稱할 수 있다. 遺物中에 含有되어 있는 Track의 密度는 우라늄의 濃度×存續時間에 比例하게 될 것으로 보여진다. 우라늄의 含量은 試料를 一定한 中性子線束에 照射하여 別途로 測定하고 試料中의 Track 密度를 中性子線束에 照射한 前後에 各各 測定하면 그 年代를 算出할 수 있는 것이다. 實驗結果에 따르면 이 方法으로는 10⁶年代까지 다른 年代測定法과 거의 比等한 結果를 보여 주고 있다고 한다.

이 方法을 考古年代 測定法으로서 實用化하는데 있어

隘路事項으로 보여지고 있는 것은 그 感度問題이다. 우라늄 1 p. p. m.의 濃度로 形成될 수 있는 Track(t)의 密度는 0.3/cm²/1000年이며 한편 10t/cm² 以下の 密度를 가진 試料를 測定하기가 매우 困難하다. 따라서 이 程度의 우라늄을 가진 試料에 대하여서는 10⁴年—10⁵年 以上の 年代에 對하여서만 Fission Track Dating이 可能하게되는 것이다. 그러나 우라늄의 含量이 많은 것에서는 이러한 制限이 없으므로 實用化될 수 있고 事實上 20~100年代의 유리제품을 測定하여 좋은 結果를 얻고 있으며 年代가 큰 先史時代人類의 遺品들을 이 方法으로 測定하여 좋은 成果를 얻을수 있었다고 한다.

이 方法과 類似한 것으로서 「 α -Recoil Dating」이라는 것이 있다. 即 Nuclear Track 中에서 α -線 放出에 따르는 무거운 原子들의 Recoil Energy로 因하여 形成된 것을 測定하여 그 年代를 定하는 方法이다.

그러나 α -線 Recoil track는 $\sim 100\text{\AA}$ 以下이어서 特別한 顯微鏡(電子顯微鏡 또는 Phase contrast 顯微鏡)에 依하여서만 비로서 測定될 수 있고 한편 α -線을 放射하는 元素인 우라늄 및 토륨의 濃度를 各各 따로히 測定하여야하는 어려움이 있다.

α -線 Recoil Track를 Fission Track에 比較한다면 그 數가 數千倍나 되므로 感度が 커지는 事實일 것이고 따라서 考古學的 年代測定法으로서 더 實用性이 있을 것이 期待되는 바 있다. 이러한 緣由로 因하여서 더 確實한 實驗方法을 開拓하고자 美國에서 繼續研究가 進行되고 있는 것이다. 앞으로 그 成果에 期待되는 바 크다고 할 수 있다.

Nuclear Track Dating 方法은 一般的으로 말하여서 年代가 큰 太古時代것의 測定에 有利하며 그 以外의 것이라도 우라늄의 含量이 큰 것이면 有効한 方法이 될수 있다.

5. 방사성탄소(放射性炭素) 測定에 依한 年代測定法*

1946年 Libby氏⁹⁾에 依하여 開發된 以後 이 方法은 考古學 分野에 널리 利用되어 왔고 考古學的 年代鑑定에 革命的인 結果를 보여주고 있다. 따라서 그 方法에 關한 莫大한 數의 論文이 發表된바 있으며 現在에는 日常化(Routinize)되어 關係專門家以外的 人士들도 그 原理程度는 다 理解할수 있게 되고 있다. 따라서 이 稿에 說明할 必要조차 없다고 할 수 있겠으나 參考事項으로 그 要點과 當面된 問題點 몇가지를 追記하여 보고자 한다. 原來 炭素(原子量 12)에는 여러가지 同位元素가 있

* 現在 原子力研究所 保健物理室에서 施行 國內外에 普及되고 있다.

으나 그 중에서 탄소-14(^{14}C)는 반감기가 5730년으로서 普通 탄소-12와 物理化學的인 性質은 거의 같다. 탄소-14는 空氣中에 宇宙線等의 放射線이 照射되어 그 中の 窒素-14(^{14}N)가 核反應을 일으켜 탄소-14로 變하게 된다. 이 境遇에 空氣中의 다른 成分 即 酸素等은 그 放射線吸收率(斷面積)이 작아서 核反應을 일으키지 못한다.

탄소-14는 β -線을 放出하는 同位元素로서 計測器(Co-counter)로 測定될 수 있고 空氣中의 酸素와 反應하여서 $^{14}\text{CO}_2$ 를 形成하고 이것이 太古時代부터 現在까지 普通의 $^{12}\text{CO}_2$ 와 一定한 比率($1:0.8 \times 10^{12}$)을 維持하면서 現在에 이르고 있다. 地球上의 植物은 空氣中의 CO_2 를 吸收하고 同化作用을 하여 그 生命을 維持하며 따라서 그 組織內에는 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 比率이 空氣中의 것과 同一하게 維持될 것이고 植物을 採食하는 動物 및 이 動物을 取食하는 또 다른 動物들의 體內에는 亦是 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 比率이 같을 것으로 推定된다. 植物이나 動物이 그 生命을 다하였을 境遇에는 外部로부터의 $^{14}\text{CO}_2$ 의 攝取가 그 以上 없게됨으로 體內의 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 比率은 ^{14}C 이 每 82年마다 1%의 比例로 放射能을 잃게 됨으로 漸次 減少되어가게 된다. 따라서 現時點에서 遺物中의 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 比率을 測定하고 이것을 大氣中의 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 比率과 比較하여 본다면 그 遺物이 構成된 材質의 生命이 없어졌을 當時부터 現在까지의 年代를 計算할 수 있게 된다

이 原理는 大氣中의 $^{14}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 의 比率이 現在까지 一定하다는 것 및 모든 材質中의 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 의 比率은 生命이 없어진後에는 恒常減少만 한다는 두가지 假定에 基礎를 두고 있다. 그림 3에 이 方法에 의한 結果를 보여 주었다. 이 그림에 依한다면 年代測定에 거의 正確한 Data를 보여주고 있으나 앞서 言及한 假定에 따른 誤差 및 實驗技術上의 難點等으로 因하여서 若干의 年代

測定值의 差異가 있다. 그러나 現在까지 實用化된 方法으로서의 가장 感度가 큰 것으로 보여지며 約 7萬年前까지의 것은 이 方法으로 年代가 測定 可能하나 그보다 앞선 것이 있다면 이 方法으로는 測定되기 힘든다. 實例로서 Egypt의 遺物의 年代測定에 있어서(B. C. 2000~) 誤差는 5%內外의 것이라고 한다.

이 測定方法에서는 다음과 같은 特徵을 갖는 同時에 短點을 갖고 있다.

가. 材質의 生命力終熄點을 年代零年으로 삼으나 材質이 考古遺物로 利用된 時間은 반드시 이것과는 一致되지 못한다(이點이 도자기의 경우와는 다른 點이 될 것이다)

나. 生命이 終熄된 然後에 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比가 그 以上 一定하게 維持되지 않음은 事實이지만 生體 組織內作用의 差異에 따라서 組織外部와 內深部の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比는 差가 있다. 따라서 試料를 採取한 場所에 따라서 年代에 差異가 있다. 即 木材의 境遇(約 1300年前의 것) 年輪外部와 內部間에는 1~2%의 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 差異가 있고 年代에 80~160年의 誤差를 보여 주고 있다.

다. 試料周邊의 有機物에 依하여(即 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比가 試料의 것과 다른 것) 汚染되면 年代測定에 誤差가 있다.

라. 産業革命 以後(1850年以後) 石炭, 石油等이 많이 普及 利用되어 왔고 따라서 空氣中의 CO_2 는 이들의 燃燒로 發生되는 CO_2 gas로 汚染되고 왔으며 石炭이나 石油은 原來 太古時代(數萬年前)의 것으로 그中的 炭素-14는 거의 다 소멸되어 거의 含量이 없음으로 $^{12}\text{CO}_2$ gas만 空氣中에 放出되어 結果적으로 空氣中의 $^{14}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 의 比가 變化를 일으켜 왔다. 1850年 以前에 生命이 終熄된것은 問題視되지 못하나 그 以後의 것은 $^{14}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 의 比가 다른 空氣中에서 生存하고 있는 것임으로 이 方法에 依한 測定을 하면 誤差가 나타나게 된다(1954년까지 略算하면 約 2% 程度 $^{14}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 의 比가 低下되어 있다)

마. 年代가 23000年 된것을 例로든다면 原來 植物體가 保有하고 있던 ^{14}C 의 방사능이 15 β 粒子/分/g(炭素)이고 이것이 減少되어 約 1/16 即 1 β 粒子/分/g(炭素)로 되어 있다. 따라서 이 試料의 放射能은 아주 弱하여 普通方法으로는 測定되기 困難함으로 Low Back Ground Counter 등의 特殊計測器 또는 測定方法이 마련되어야 한다. 한편 試料中에 炭素成分이 많아야만 測定이 容易하며(例 木材) 含量이 적으면(例 鋼鐵等) 많은 量의 試料를 處理하게 됨으로 特別한 種類의 試料, 年代가 너무 크지 않은것에서는 方法自體의 制限이 있다. 한편 無機物(例 金屬, 도자기等)로 만들어진 것은 炭素含量이 아주 적음으로 이 方法으로는 測定되기 힘든다.

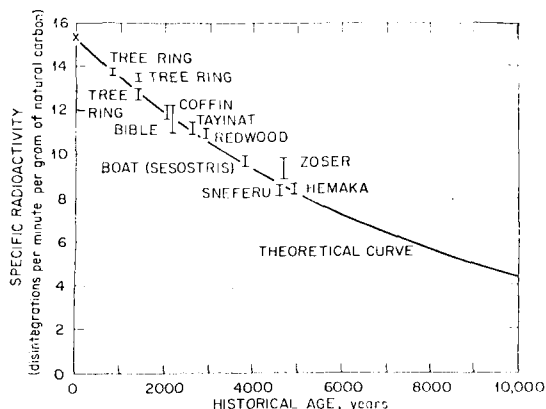


그림 3. 年代(既知)와 방사능과의 相互關係

바. 最近 水素爆彈實驗等에 依하여서 1962년까지에 炭素-14가 多量生成되어 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比는 거의 倍加되고 있다. 따라서 近世의 生物體 또는 이를 原料로 하는 材質中の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比는 19世紀의 것과는 거의 倍程度에 達하고 이 數値는 漸次 增加되어갈 可能性이 크다. 따라서 後世에서 現代를 年代測定한 境遇에는 다른 方法이 마련되어야 할 것이다.

以上이 年代測定法으로서의 問題點이지만 現時點에서는 1850年代 以前의 것의 年代測定法으로 가장 그 利用率이 높은 것으로 보여지고 있다. 이 方法을 應用한 例로서 다음과 같은 것이 있다. 即 繪畫 또는 其他 有機材質로된 考古藝術品の 模造品을 鑑識할 수 있다. 繪畫의 境遇 材料로 使用된 纖維(絹, 麻布 等), 油(亞麻仁油 等)類가 現代의 것이면 그중의 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比는 클것이 豫想되고 古代의 것이면 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比가 작을것이 確實하다. 따라서 이點을 檢討하여 본다면 그 材質로 마련된 製品의 所屬時代를 鑑別할 수 있게 된다. 事實上 이 方法으로 많은 模造品이 識別되었다고 한다.

6. 비파괴 검사법**(Radiography)

비파괴 검사법이라 함은 放射線(物質 透過性을 갖고 있는것, 例: β 線, γ 線, X 線, 中性子線等)을 物體에 照射하고 透過된 線을 工業用 X-線寫眞乾板에 撮影하여 物體內部의 構造또는 缺陷을 外部로 부터 鑑識하는 方法이다. 그 原理나 技術은 比較的 簡單하여 1962年以來 國內에서도 여러 方面에 應用되고 있다**. 現在로서는 技術이 發達되어 日常化(Routinize)되고 있을 程度의 것이다. 文化財調査에 있어서는 原試料에 損傷을 주지 않고 檢査할 수 있다는 點에 特色이 있어 여러모로 利用되고 있다.

가. β -線을 利用한 檢査

β 線은 두꺼운 物體를 透過하지 못하지만 얇은 纖維 또는 紙類는 잘 透過함으로 이 性質을 이용하여서 古代文書의 年代鑑識 또는 內部缺陷을 調査할 수 있으며 Kaiser 氏等¹⁰⁾이 古文書鑑定에 實用한 例가 알려져 있다. 即 弱한 β -線을 放出하는 炭素-14로 標識된 有機化合物을 被覆한 Plastic sheet를 마련하고 이것을 線源으로 하여 調査하고자 하는 古文書片에 덮고 그 古文書의 裏面に X-線用寫眞乾板을 密着시켜 暗室內에 保管하였다가 寫眞乾板을 現象하여본 結果 古文書內에 浮刻된 紋樣을 그림 4와 같이 確認할수 있었다. 이 例는 β -線에 依한 비파괴 檢査를 考古學에 利用한 첫 實例이다.

** 現在 國內에도 이 方面의 施設 또는 技術者가 마련되고 있다. 過去 原子力研究所에서도 直接 施行한 實績을 갖고 있다.



그림 4. 조의 인쇄물의 β -radiography
Beta radiograph of a page from Caxton's
Golnen Legend, ca. 1484.

이때 線源으로 使用된 것을 ^{14}C -impregnated perspex라고 하여 英國의 原子力研究機關인 Umersham에서 製造된 것이라고 되어 있다. 詳細한 內容이 文獻¹⁰⁾에 紹介되어 있는바 炭素-14는 半減期가 5930年임으로 線板一枚만 準備하여 두면 數千年間 使用할 수 있다는 特點이 있다. β -線의 線源의 強度는 對象物의 材質과 두께에 따라 調節하여야 하나 一般의으로 $6\text{mg}/\text{cm}^2$ 의 두께를 갖인 紙類의 境遇 $80\mu\text{Ci}/\text{g}$ 의 強度를 지닌 線板을 使用하고 15時間程度 乾板에 露出시키면 充分하다고 한다. 이 方法은 材料를 傷하지 않고 얇은 材質의 內部를 檢査할 수 있다는 長點이 있어 여러모로 利用될 전망이 있다. 古文書, 古畫, 또는 衣類의 内部的인 檢査는 豫期치 못한 考古的資料를 提供할 수 있게 될것임으로 國內에서도 將次 實用化될것이 期待되고 있다.

나. γ -線을 利用한 檢査

γ -線은 β -線이나 X-線보다 物體透過力이 強함으로 金屬類와 같이 密度가 큰 것의 內部檢査에 利用되고 있다. γ -線의 線源으로서 ^{60}Co , ^{137}Cs 등이 利用되고 있

으며 그 強度는 2.5Ci~5.0Ci 程度의 것이 利用된다. 이 方法의 特徵는 金屬의 接着, 鎔接, 鑄造物의 龜裂, 內部破裂 또는 破壞 등을 外部에서 觀察할 수 있다는데 그 特徵이 있다. 國內의 境遇 金屬文化財가 古來로 그 數가 많고 特히 佛像, 鍾과 같은 大型鑄造物이 혼한 만큼 그 調査는 큰 뜻을 갖는 것으로써 1962年 以來 原子力研究所에서 自發적으로 그 施行普及에 努力하고 있다. 日本의 境遇는¹¹⁾ 그들의 有名な 鎌倉大佛을 2.5Ci ^{60}Co 線源을 使用하여 佛像表面으로부터 10m의 距離에서 全面透過寫眞을 撮影한 例가 있다. 그 結果 大佛의 鑄造當時의 內部狀態, 內部龜裂狀態, 鎔接狀態를 뚜렷히 觀察할 수 있었다고 한다. 國內에서는 이러한 大規模 撮影을 實施한 例가 아직은 없지만 將來 이 方面의 開拓이 要望되는 바 크다. 얇은 金屬類의 檢査에서는 γ -線을 利用하는 것보다 X-線을 利用함이 더 便利하고 寫眞의 陰影이 더 뚜렷한 長點이 있다. 그러나 野外에서는 電氣를 얻기 힘들게 됨으로 考古學에서는 γ -線을 普通 利用하고 있다.

最近 이러한 缺點을 是正하기 爲하여서 携帶用 X-線裝置가 考案되어 있음으로 小型物體는 이것을 利用할 수도 있다.

이 裝置는 X-線을 放出하는 放射性同位元素를 線源으로 利用하는 것으로서 X-線이 同位元素의 崩壞過程에 따라 發射되는 것임으로 普通 X-線 裝置의 境遇 必要한 高壓電流없이도 그 檢査가 可能한 것이다. 이러한 裝置에 있어서는 發射되는 X-線의 強度 即 에너지를 잘 選擇하여 願하는 程度에 適合한 것을 使用하여야 한다는 缺點이 있다.

Sayre¹²⁾ 氏等은 鐵의 放射性同位元素로부터 發射되는 弱한 X-線을 使用하여 紙類, 纖維質, 및 日本의 「浮世繪」等의 內部를 檢査한 바 있다. 이때 使用된 線源으로는 5"×6" 크기의 유리板에 0.5mCi의 ^{59}Fe 을 含有한 Polyvinyl alcohol을 Coating 시킨 것을 使用하였다.

國內에서 現在 生産되고 있는 放射性同位元素를 利用하여서도 이러한 線源이 마련될 수 있는 만큼 繪畫調査 纖維調査等に 이 方法이 實用化될 수 있다고 思料된다.

7. 방사화 법(放射化法)

放射化法에는 그 原理에 있어서 크게 두 가지로 分類될 수 있다. 考古遺物에는 無機成分이 含有되는 것이 大部分이고 이들은 原子爐, 加速器, 싸이크로트론等의 大量線源에 依하여 照射되면 放射化되어 各各 放射能을 갖는 元素(放射性同位元素)로 變하게 되며 이들 元素가 지니고 있는 放射能을 計測하여 그 濃度を 各各 測定할 수 있다. 따라서 遺物中에 含有되어 있는 여러가지 成分을

微量의 것 까지도 손쉽게 分析할 수 있고 이 分析結果를 살펴서 考古學으로 貴重한 資料를 얻게 되는 것이다. 한편 이와 같은 操作을 거쳐서 遺物中에 生成된 放射性同位元素에서 放射되는 放射線을 寫眞乾板에 感光시켜 所謂 Autoradiography를 만들면 遺物中の 各成分別로 獨特한 寫眞을 얻게 되고 이것을 檢討하면 各成分의 濃度, 配合狀態 등을 容易하게 判別할 수 있다. 前者를 放射化分析(Radio Activation Analysis)라고 하여서 微量元素의 檢出에 利用하고 있으며 後者를 Radio autography라고 하여서 全體的인 成分分布를 判斷하는데 利用하고 있다.

가. 放射化分析

放射化分析은 原來가 微量成分의 檢出을 目標로하여 開發된 分析技術이며 少量의 試料를 使用하여도 正確한 分析結果를 얻을 수 있다는 特點이 있다. 考古學에서는 이 點을 應用하여서 現在까지 實用된 例가 許多하다.

外國의 實例를 들어 본다면 다음과 같다.

(1) 硬貨成分 分析

外國硬貨에는 金貨 銀貨 등이 많이 使用되어 왔고 그 成分에 따른 時代別 變遷過程을 研究하고 個個의 硬貨의 成分을 分析하여 그 鑑識을 하는 方法을 마련하고자 하는 努力은 考古學研究에 큰 比重을 차지한다고 할 수 있다. 따라서 이 方面의 實驗檢討가 많이 施行된 바 있다. 金 또는 銀貨中の 成分中 微量成分을 檢討하는 方法으로서는 放射化分析法이 가장 便利한 手段이고(試料의 少量, 分析操作의 簡便, 微量成分의 檢出可能等) 原來는 照射된 試料中の 成分을 化學分離過程을 거쳐서 操作을 하여야 하였으나 最近에는 高性能探知裝置*를 使用하여 分離操作없이 簡便하게 分析할 수 있게 되어 더욱 그 應用도가 커지고 있다. 照射源으로서는 中性子線束(原子爐), 粒子加速器, Van der Graaf 加速器, Cyclotron 등이 利用되고 있으나 國內에서는 現在 原子爐만이 利用可能하다. 第2表에 34개의 銀貨를 分析한 例¹³⁾가 表示되어 있다. 이 表에서 보여주듯이 類型 또는 年代別로 區分된 銀貨의 成分은 同一性을 가지고 있고 各 Group 相互間엔 若干씩이지만 成分含量에 差異가 있다. 따라서 이 差를 系統的으로 分析하여 가던 時代別 鑄造術의 變遷을 究明할 수 있고 아울러서 銀貨의 時代別 鑑識에도 實用될 수 있다.

最近 數年來 國內에서는 葉錢의 文化財의 價値가 再認識된 바 있거니와 이러한 系統的인 研究가 하루 빨리 遂行되어 가야 할 것으로 보인다. 葉錢은 眞鍮 또는 靑銅 製造品으로서 이것을 放射化하면 第3表에 보여주는 여러 種類의 元素가 放射化될 것이고 이들의 濃度即含量을

* Li-drifted Ge-Detector

제2표 銀貨 34個을 分析한 例(Results of the analysis of 34 silver coins)

Group	Number of coins	Weight in grams	%Ag	%Cu	%Pb	%Au
I	5	12.1±0.1	93.6±1.2	4.8±1.3	1.5±0.4	0.09±0.03
II	8	2.70±0.04	90.0±0.6	7.9±0.3	0.2±0.3	0.2±0.1
III	7	2.27±0.02	85.4±1.4	13.2±1.4	1.2±0.3	0.28±0.02
IV	4	1.90±0.06	86.1±2.4	12.1±2.8	1.5±0.6	0.29±0.03
V	5	0.81±0.04	92.5±1.2	5.7±0.7	1.5±0.7	0.23±0.06
VI	5	0.38±0.03	95.6±1.1	2.0±0.9	2.1±1.2	0.26±0.09

제3표 銅製品分析에 利用되는 核反應(Principal nuclear reactions for the analysis of objects with a copper matrix)

Target element	Nuclear reaction	Half-life of nuclide produced	Energy of gamma ray used for analysis (KeV)
Cu	$^{65}\text{Cu}(n, 2n)^{64}\text{Cu}$	12.8 h	511 (annihilation radiation)
	$^{63}\text{Cu}(n, \alpha)^{60}\text{Co}$	5.3 y	1173 (1332)
Zn	$^{67}\text{Zn}(n, p)^{67}\text{Cu}$	61.1 h	186
	$^{66}\text{Zn}(n, 2n)^{65}\text{Zn}$	245 d	1119
Sn	$^{118}\text{Sn}(n, 2n)^{117}\text{Sn}^m$	14 d	159
	$^{117}\text{Sn}(n, n')^{117}\text{Sn}^m$	14 d	159
	$^{112}\text{Sn}(n, 2n)^{111}\text{Sn} \xrightarrow{\beta^+} ^{111}\text{In}$ E.C.	2.8 d	not used
Pb	$^{204}\text{Pb}(n, 2n)^{203}\text{Pb}$	52 h	280
As	$^{75}\text{As}(n, 2n)^{74}\text{As}$	18 d	596
Sb	$^{121}\text{Sb}(n, 2n)^{120}\text{Sb}$	5.8 d	not used
	$^{123}\text{Sb}(n, 2n)^{122}\text{Sb}$	2.8 d	566
Ni	$^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$	71 d	810
Fe	$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$	2.6 h	850 (1870, 2120)

簡便하게 測定할 수 있을 것으로 思料된다.

(2) 陶磁器의 產地分類

陶磁器 또는 土器의 成分은 그 原料인 粘土의 成分을 分析하는 것이 되며 纖細한 加工品에 있어서는 釉藥의 類型을 찾을 수 있는 手段도 亦是 그 成分의 分析에 依持하는바 클 것이다. 考古學 專用으로 利用되는 照射裝置(分析用)로서는 原子爐와 같은 大型의 것이 適合치 못하여서 Johnson 氏¹⁴⁾ 등은 中線子線束이 $10^7 \sim 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{sec}$. 程度의 加速器를 推薦하고 있으나 現在로서는 國內에 原子爐가 2基 施設되고 있으므로 이것을 利用한다면 至急한 問題를 解決하는데는 充分할 것이 豫想되고 있다. 陶磁器의 試料를 原子爐 內部에서 照射할 때 얻어지는 核反應生成物은 제4표에 보여주는 바와 같다. 따라서 이들 成分은 微量까지도 이 分析方法으로 檢出할 수 있는 것이므로 이들 成分의 含量을 系統化하여 研究한다면 時代別, 產地別 類型을 가려낼 수 있게 되며 더 나아가서 그 物品의 考古學的 眞偽까지도 鑑識할 수 있게 된다.

外國에서는 이 方法을 使用하여서 陶磁器製品의 地域

의 分布, 交易狀態 등을 研究하여 많은 成果를 얻고 있다.

제5표에 보여주는 例¹⁵⁾는 美國 Brookhaven 研究所에서 遂行한 것으로서 陶磁器의 產地別 品種別 成分含量 特別 Mn 含量을 比較檢討하여 본 것이다. 이 結果에 依한다면 外形은 類似하지만 그 內部成分에 差異가 있는 것이 確認되었고 따라서 그 產地別 由來를 確認할 수 있는 重要한 資料가 提供된 것이다.

(3) 硝子의 成分 分析¹⁶⁾

硝子로된 考古工藝品의 成分을 分析하여 比較檢討할 수 있는 結果는 陶磁器의 境遇와 같다.

제6표에 硝子試料를 原子爐內에서 照射하였을 때 얻어지는 核反應生成核種이 要約되어 있는바 이들 元素의 含量을 系統적으로 比較檢討하면 類型別 및 地域別 分布系統을 確立시킬 수 있으며 이 結果에 따라서 그物品의 考古學的 眞偽를 識別할 수 있게 된다. 硝子中엔 珪砂成分이 많고 따라서 이 原料의 產地別 鑛物學의 特性을 가려낼 수 있다면 그 物品의 產地 또는 繼承되어온 經路를 確然하게 識別할 수 있고 文化史 또는 技術史의

제4표 방사화된 시료중의 방사성핵종(Isotopes measured following neutron activation)

Element	Isotope measured	Energy of γ -ray chosen (Kev)	Half-life	Time of measurement after activation
Manganese	Mn-56	845	2.58 hours	1 hour
Lanthanum	La-140	1600	40.2 hours	8 days
Thorium	Pa-233	312	27 days	26 days
Chromium	Cr-51	321	27.8 days	26 days
Cerium	Ce-141	144	32.5 days	26 days
Iron	Fe-59	1290	46 days	35 days
Scandium	Sc-46	890	84 days	8 days
Cobalt	Co-60	1172	5.26 years	35 days
Europium	Eu-152	122	12.7 years	26 days

제5표 陶磁器破片의 Mg 함량 分析值 (Percent manganese found by instrumental neutron activation analysis in potsherd chips from Cuicuilco and Teotihuacan)

No.	Sample	Per Cent Manganese			
	Description	Individual		Mean	Std Error (Abs)
1	Cuicuilco plain	0.075, 0.082, 0.075, 0.082		0.079	0.002
2	Cuicuilco red	0.087, 0.089, 0.092, 0.089, 0.091		0.089	0.001
3	Cuicuilco negative	0.070, 0.071, 0.074		0.072	0.0015
4	Cuicuilco negative	0.079, 0.076, 0.082		0.079	0.002
5	Tzacualli negative from Cuicuilco	0.054, 0.054, 0.055		0.054	0.0003
6	Tzacualli negative from Cuicuilco	0.065, 0.066		0.066	0.001
7	Tzacualli negative from Cuicuilco	0.056, 0.057, 0.055		0.056	0.001
8	Tzacualli negative from Teotihuacan	0.042, 0.044, 0.043		0.043	0.001
9	Tzacualli negative from Teotihuacan	0.059, 0.056, 0.005, 0.056, 0.057		0.057	0.0005
10	Tzacualli R/Y from Teotihuacan	0.047, 0.046		0.047	0.001
11	Tzacualli plain from Teotihuacan	0.049, 0.049, 0.047		0.048	0.001

제6표 硝子器試料의 放射化分析에 利用된 核種 (Isotopes measured following neutron activation)

Isotope	Energy of measured gamma ray (MeV)	Half-life
Aluminum 28	1.78	2.3 min
Manganese 56	0.85	2.58hrs
Sodium 24	1.37	15.0 hrs
Lanthanum 140	1.60	40.2 hrs
Protoactinium 233	0.312	27.4 days*
Chromium 51	0.321	27.8 days
Cerium 141	0.144	32.5 days
Hafnium 181	0.133	40.6 days
Iron 59	1.290	45 days
Scandium 46	0.890	84 days
Cobalt 60	1.172	5.27 yrs
Europium 152	0.122	13 yrs

*Because the half-life of the parent thorium 233, 22.1 minutes is short compared to that of the measured daughter protoactinium 233, protoactinium would be decaying with essentially its own half-life at the time of measurement, fifty days after activation.

연구에 있어서 貴重한 資料를 提供할 수 있게 되는 것이다.

(4) 丹青顔料 또는 油畫顔料의 成分 分析

油畫의 彩色材料로서 使用되는 顔料에는 여러 種類의 金屬成分이 含有되어 있으며 各色彩에 따라서 主成分으로 되어 있는 金屬元素의 種類가 一定하고 그 含量이 時代別로 差異가 있다. 이 點은 顔料製造技術史의 考察을 加하는데 重要한 資料를 提供할 수 있는 것이며 各文化圈內의 技術의 差異로서도 그 成分含量에 差異를 보여 줄수도 있다.

實際 問題로서는 外國의 境遇 Turkstra 氏等¹⁷⁾이 繪畫에 使用되는 彩色材料의 成分分析이 그 繪畫의 眞僞(時代別)을 識別하는데 重要한 資料를 提供할 수 있다는 期待를 갖고 各 顔料成分의 放射化分析이 研究檢討되어 왔는 것이다. 그 結果의 一部를 그림 5에 보여주고 있으며 白色顔料의 Ag(銀), Cu(銅), Hg(水銀)成分의 含量이 年代別로 크게 區分될 수 있음이 判明된 것이다.

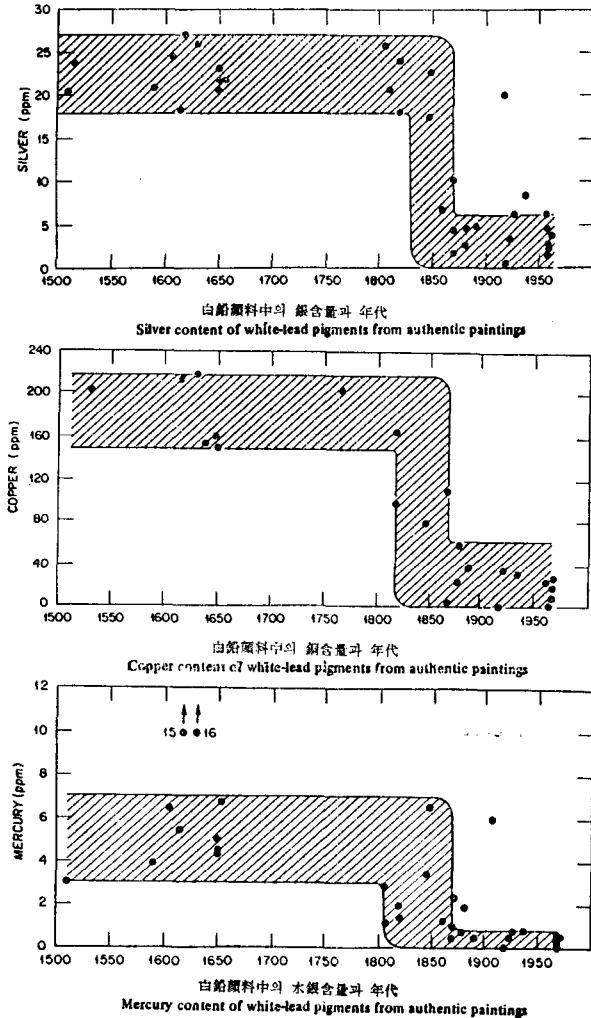


그림 5. 標準 顔料中の 金屬成分 含量과 年代와의 相互關係

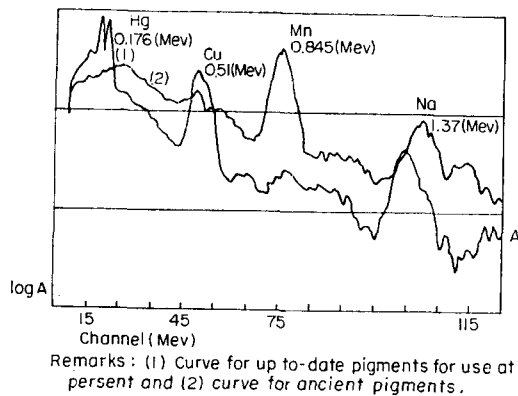


그림 6. 단청안료의 γ -spectrum(yellowish green)
(γ -spectrum of classical pigments of yellowish green)

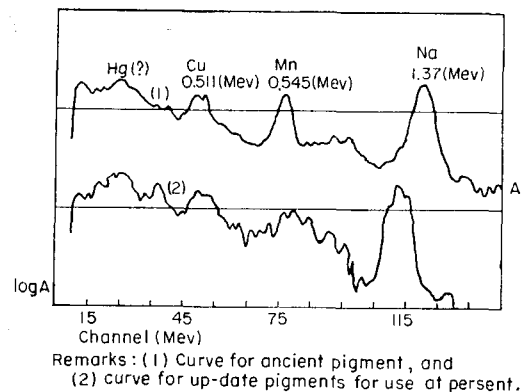
이 結果를 利用한다면 繪畵의 彩色材料의 成分을 分析한 結果만을 가지고서도 그 物件의 年代別 鑑識을 거의 確實하게 할 수 있게 되고 따라서 이 研究檢討를 더 廣範圍하게 擴張시켜 나갈 수 있다면 모든 彩色材의 年代別 系統圖를 마련할 수도 있을 것이다.

國內의 境遇는 繪畵의 模造問題가 그리 深刻하지 않고 東洋畵에 使用되는 顔料의 試料를 採取하기 困難한 點이 있다. 그러나 問題되는 彩色物의 識別에는 亦是 有效한 方法이 될 수 있다고 볼 수 있다.

한편 國內에서도 關心을 가질 수 있는 問題로서 木造 建物에 塗付되는 丹青材料에 關한 問題가 있다. 原來 丹青顔料는 無機性原料로 되었던 것으로서 太陽光線에 依한 變色 또는 褪色이 쉽게 일어나지 않도록 考案된 것으로 보여진다. 이러한 顔料들은 주로 中國 山東省 附近의 것을 輸入 使用한 것으로 보여진다.

現在로서는 各種의 有機性顔料(合成品)가 製造販賣되어 있고 이것들의 彩色面은 在來 丹青보다 華麗하게 보여진다. 그러나 被膜을 입혀 塗付하여야 하는 關係上 表面에 龜裂이 가기쉬우며 한편 從來方法과의 混用으로 金屬粉末을 有機顔料에 混合하여 在來式으로 塗付하기도 하나 이 境遇에도 亦是 그 色彩의 變色이 極甚한 것이 經驗되고 있다. 따라서 各 丹青顔料의 成分含量을 時代別로 調査分析하여서 系統化하여 두면 丹青의 考古學的 價値를 識別하기 容易할 것이 豫想되며 앞으로 良質의 丹青顔料를 考案하는데도 重要한 資料를 提供할 수 있을 것으로 보여진다.

그림 6에 國內 良質 丹青의¹⁸⁾ 放射化分析의 結果를 表示하여 두었다. 即 古代丹青을 建物에서 採取한 것과 現在 使用中인 것을 區分하여 比較檢討하여 본 것이다. 아주 充分한 數의 丹青材料를 얻지 못하여서 系統化 시



단청안료의 γ -spectrum(orange)
(γ -ray spectrum of classical pigments of orange color)

그림 6. 丹青顔料의 γ -spectrum

키기는 困難하지만 顔料 成分 含量의 變化度는 觀察할 수 있었다고 思料된다.

나. Auto radiography

Auto Radiography 라는 方法은 앞서 說明한 Radiography 의 一種이나 主로 表面에 分布되어 있는 放射性核種의 濃度를 寫眞乾板에 感光된 放射能의 強度를 觀察하여 調査하는 方法을 뜻한다. 表面에 放射性核種을 만드는 方法으로서 앞서 說明한 各種의 照射裝置를 利用하여 放射化시키는 方法이 흔히 實用되고 있다. 實驗 方法을 說明하면 表面에 分布되어 있는 各種의 元素는 原子爐內에서 照射됨으로서 各各 該當하는 放射性同位元素가 되고 이들 同位元素는 各各 固有한 Energy 의 放射線을 放出하면서 固有한 速度(半減期)로 그 放射能을 減退시켜 가게 된다. 이와 같이 放射化된 物體의 表面에 寫眞乾板을 密着시켜 一定時間 暗室內에 保有하면 乾板에 放射線이 感光됨으로 現像後 調査하면 그 分布狀況을 一次로 觀察할 수 있으며 이와 같은 撮影을 一定時間 間隔으로 反覆하면 後期에 撮影된 것에서는 短壽命同位元素에 該當하는 元素의 分布는 보이지 않고 長壽命의 것만이 感光되므로 元素의 分布狀況을 詳細히 觀察할 수 있다. 外國의 境遇에는 油畫의 表面分布調査에 이 方法이 많이 應用된바 있으며¹⁹⁾ 油畫를 加速器等으로 照射시켜도 別로 材質面의 損傷은 없었다고 한다. 國內의 境遇에는 東洋畫가 大部分이고 彩色된 것이라도 얇은 絹布 또는 紙類에 그려진 것들이므로 이 方法을 直接 應用하기에는 어려운 點(即 照射中의 材質의 損傷)이 있으나 對象物의 種類如何에 따라서는 이 方面의 應用이 可能한 것으로 보여지며 앞으로의 研究實驗이 期待되는 바 있다.

Auto radiography 는 아니지만 그 原理에 있어서 比等한 褪色品의 復元方法이 있다. 即 寫眞等 年代가 오래 된 것들은 表面의 銀이 酸化褪色되어 그 陰影을 區別하기 힘든 것들이 있다. 이러한 境遇에 試料를 原子爐內에 照射한 다음 Auto radio graphy 로 感光寫眞을 만들어 觀察한다면 寫眞表面에 銀이 分布된 곳에는 放射性銀이 生成되어 있고 따라서 그 銀의 放射線이 感光된 模樣을 判別할 수 있게 된다(參考: 銀의 放射性同位元素는 弱한 β -線을 放射하며 그 半減期는 2.3分이다). 이 實驗結果 얻어진 銀의 分布狀況을 描寫追跡하여 간다면 原 寫眞을 復元할 수 있다고 한다²⁰⁾. 이 方法은 Ostroff 氏等이 開發한 것으로서 寫眞뿐만 아니라 其他 彩色物 또는 褪色表面의 復元等에 널리 實用되고 있다고 한다. 國內에서도 이와 類似한 境遇는 許多할 것으로 보여짐으로 將次 많은 實例가 나타나서 그 復元이 이루어지기를 바라고 싶다.

8. X-線 螢光分析(X-Ray Fluorescence)

X-線螢光分析法은 一般 機器分析法으로서 開發된 技術로서 微量의 成分을 分析하는데 그 目的이 있다. 따라서 그 應用分野는 放射化分析의 것과 大同少異하다. 그러나 이 分析法은 試料表面에 X-線을 照射하여 그 結果發生된 螢光을 測定하는 것임으로 一個試料의 放射化로 얻어지는 放射化 分析結果보다도 더 平面의 範圍가 넓게 表面에 含有된 成分含量을 調査할 수 있는 特徵이 있다. 即 ㉑ 表面의 侵蝕狀態 및 表面 各部位의 成分含量을 連續적으로 測定할 수 있다. ㉒ 試料를 따로히 多量 採取하지 않고서도 分析이 可能하다. ㉓ 密度를 調査할 수 있다.

以上の 特點이 있고 最近에는 X-線線源으로 放射性同位元素를 使用하는 簡便한 裝置²¹⁾가 考案되고 있음으로 考古學者들에게도 室內外에서 容易하게 使用될 수 있게 되고 있다. 英國의 Metcalf 氏等²²⁾은 이 裝置를 利用하여서 硬貨分析, Anglo-saxon 寶物中の 金含量調査, 合金表面의 調査等を 遂行한바 있다. 이 裝置는 國內에도 여러 研究所에 固體表面 調査研究用으로 導入되어 있음으로 必要한 境遇 이 裝置들을 活用할 수 있을 것으로 보여진다. 그러나 放射性同位元素를 X-線線源으로 利用한 簡便裝置는 아직 國內에는 없으나 必要에 따라서는 그 導入도 그리 힘들지는 않을 것이다.

9. 將來展望

國內의 文化財의 保存 및 調査研究事業은 1960年代以後 相當히 活潑하여져 있으며 復元工事, 發掘調査, 古蹟踏査等の 事業이 促進됨에 따라서 많은 問題點들이 續出되고 있다²³⁾. 特히 科學의 手法에 熟練되지 않은 考古學者 또는 歷史學者들이 至難한 問題를 새로운 手法으로 解決하고자 하는 觀心과 努力이 漸次 昂揚되어 가고 있는 實情이다. 原來 外國에서는 科學의 手法이 考古學에 巧妙하게 導入되어 놀라운 成果를 거둔지 이미 數十年이며 特히 原子力의 平和利用事業의 一環으로서 放射性同位元素를 利用하여 問題解決에 큰 寄與를 한 實例들이 여기에 紹介한것 以外에도 許多하다.

著者は 過去 4年間 文化財委員으로서 文化財에 關聯을 갖게 됨으로부터 여러가지 科學의 手法이 問題點解決에 活用되도록 積極勸奨 및 遂行한바 있으나 力不足으로 充分한 成果를 거두었다고는 할 수 없는 狀況에 있다.

將次 國內의 文化財는 좀 더 科學的인 手法을 써서 調査鑑識이 이루어져야 할 것이고 觀光客의 雲集으로 文化財自體의 價値가 再認識되어 가는 過程에 있으니

만큼 不正確한 調査鑑識으로 인한 文化財의 價値損傷이 있어서는 아니된다고 思料된다. 國內에는 原子力研究所가 設置되어 있어 위의 紹介한 分野의 科學의 手法은 거의 다 그 實行이 可能한 것이며 其他의 科學的인 機器 또는 裝置들도 거의 全部가 各分野機關에 導入되어 있다. 따라서 誠意와 努力만 있으면 最新의 科學의 手法으로 問題點 解決이 거의 可能하다고도 할 수 있다. 著者는 이러한 뜻에서 國內의 關係學者 또는 實務陣의 積極的인 協調가 있기를 바라마지 않으며 그 結果로 많은 實績이 이루어진다면 國內의 文化財들의 價値는 倍加되어 갈것이 確實하며 考古學自體의 水準도 크게 向上되어 갈 것이다.

參 考 文 獻

- 1) N. Grogler, F. G. Houtermans, and H. stauffer, *Helv. Phys. Acta.* **33** 595~596(1960)
- 2) G. C. Kennedy and L. Knopff, *Archeology* **13** 147~48(1960)
- 3) M. S. Tite and J. Waive, *Archeometry* **5** 53~79(1962)
- 4) E. L. Kohler, *Expedition* 9(2), 16~21(1967)
- 5) H. Ziegert, *Z. Physik*: **46** 668~715(1928)
- 6) R. D. Evan *et al*, *Technical study in the Fine Arts* **8** 99ff. (1939-40)
- 7) B. Keisch *et al*, *Science* **155**, 1238~42 (1967)
- 8) P. B. Price and R. M. Walker, *J. Geophys. Res* **68**, 4847~62 (1963)
- 9) M. J. Aitken, *Contemp. Phys.* **3**, 161~76(1962)
- 10) Perspex, Carbon-14, and Beta Radiography, *The Antiquarian Book seller* p. p 3~4(Jan, 2~9 (1967))
- 11) K. Toishi, *Radioisotopes (Tokyo)* **11**, 337~343 (1962)
- 12) E. V. Sayre, *A Comparison of Eastern and Western Methods of their study and conservation*, Asian Conservation Lab. Chicago Ill. 1966
- 13) H. A. Das and J. Zonderhuis, *Archeometry* **7** 90~96 (1964)
- 14) R. A-Johnson and F. H. Stross, *American Antiquity* **30**(3), 345~47 (1965)
- 15) E. V. Sayre *et al*, U. S. AEC Report BNL-13133 (1968)
- 16) E. V. Sayre and R. W. Smith, *Science* **133**, 1824~1826 (1961) and U. S. AEC Report BNL-9614 (1965)
- 17) J. P. W. Houtman and J. Turkstra, *Radiochemical Methods of Analysis*, vol. 1 Salzburg Oct 19~23 1964 IAEA Vienna, 1965 pp 85~103 (STI/PUB/88)
- 18) Y. S. Kim *et al*, STF-71-1, Report of Ministry of Science & Technology (1971)(Korea)
- 19) E. V. Sayre, U. S. AEC Report BNL-12365 (1968)
- 20) E. Ostroff, *J. Phot. Sci*, **13**, 213-227 (1965)
- 21) J. R. Rhodes, U. S. AEC Report ORO-3224-14 September 1968 (CFSTI)
- 22) S. C. Hawkes, J. M. Merrick, and D. M. Metcalf, *Archeometry* **9**, 98-138 (1966)
- 23) 科學技術處: 「文化財의 科學的 保存에 關한 調査研究」 科技處報告書 (1969)