

# 금산사 벽화 안료성분에 관한 비교분석

홍종욱, 정광용

## X-ray Diffraction Analysis of Kumsansa Mural Painting and Dan-Chong

Hong, Jong Ouk, Kwang Yong Jung

**ABSTRACT** : Some pigments of Kumsansa mural painting and Dan-Chong were analyzed by X-ray diffraction spectrometry.

Red colour of mural painting and Dan-Chong are all of hematite based quartz and calcite. White blue were found to lead sulphate based calcite on mural painting. Blue pigment on mural painting was found to be quartz, albite, calcite, gypsum and talc while Dan-Chong lazurite and gypsum.

\* Dan-Chong : Exterior painrig with various colours and desingns.

### I. 서 론

고고학적 유물의 성분에 대한 과학적인 분석과 고찰이 활발하게 연구되고 있다. 즉 이들 유물의 연대를 방사성동위원소  $^{14}\text{C}$ 의 함량을 측정하는 방법, 고대 금속유물의 합금 조성 또는 고대 미술품(벽화)의 X-ray, 자외선, 적외선 등 照射에 의한 眞僞판별 및 훼손된 밑그림 확인, X-ray,  $^{60}\text{CO}$ 의  $\Gamma$ 선 등에 의한 불상, 범종 등 주물의 내부구조 규명 또 고대안료, 염료, 단청 등 채색물질의 화학조성에 대한 실험연구와 고화, 벽화, 석조 등의 화학적보수 및 보존방법등이 종합적으로 연구 검토되고 있다. 본 연구에는 우리나라의 고대건물 및 사찰에 사용되고 있는 단청안료 및 벽화의 채색이 수백년이 지난 현재에도 고유한 색채가 생생하게 유지되고 있는 반면 요즘의 단청안료는 불과 수년이 못되어 곧 퇴색되는 경향이 있어서 현재의 안료와 고대안료의 물리, 화학적으로 비교 구명하여 보고자 금산사 미륵전에 사용된 안료를 시료로 하여 비교 분석을 실시하게 되었다.

---

소속 : 문화재연구소 보존과학실

National Laboratory of Conservation Science, Research of Culrural Properties of Korea.

## II. 안료에 대한 연구사

단청 안료의 발달은 일찍이 구라파에서 오-리니악크期 및 마도레-누基 즉 狩獵拾民(新生人類)의 미술에 회화와 조각에 있어서 회화에는 동굴의 岩陰의 벽화가 있었고 채화의 색채는 복잡하여, 흑, 적, 갈, 황계통의 색조는 거의 사용되지 않았다. 繪具에는 赤鐵鑛, 黃鐵鑛, 만강鑛 등에서 적, 황, 청, 흑색을 또는 뼈를 태운 것에서 흑을 백악토에서 백을 얻었으리라 하며 아프리카의 미개민족의 암벽화는 잘 보존되어 羚羊, 牛, 獅子, 鳥, 人物 등이 백, 황, 흑, 적등으로 착색되고 착색에 쓰는 안료는 황색이? 石 적색의 赤鐵鑛, 백색, 갈색의 土를 石臼로 부수어서 그것을 砂岩製의 파렛트 상에서 동물의 骨髓에서 취한 지방과 혼합해서 만들었다 한다. 중국에는 前漢時代 이전부터 채색화의 뜻으로 전용되고 단청이라 하면 회화일반을 말할 정도로 채색화가 보급되었다. 채색으로는 흑, 황, 옥, 자의 多色을 배열해서 입체적, 평면적인 관계를 나타내고 일본의 회화사를 보면 天平時代의 회화안료에 대해서 그 주용한 것을 보면 白土, 胡粉, 銅黃(또는 同黃이라고함), 白綠, 綠青, 雌黃, 紫黃, 金青, 白青, 空青, 紅青, 靑?, 藍, 蘇芳(赤色染料), 丹, 朱沙, 硃子, 硃紫, 下, 紫上, 금박, 은박, 金黑 등이다. 우리나라에 들어오기는 낙랑 이전으로 추측되고 있다.

단청도 건물에 따라 여러 가지 종류로 분류되며 단청의 고유한 색으로는 靑(灰綠色), 綠靑(錄), 三綠(白綠色), 三靑(白群靑色), 진청(郡靑色), 荷葉(暗綠靑), 石間朱(붉은흑색), 多紫(暗朱色), 眞粉(純白), 번주홍(眞紅色), 燕脂(紅色), 朱紅(紅色), 胡粉, 丁粉(粉色), 黃(石子黃)등 대별해서 10여종이고 옛날에는 중국에서 들어오는 唐彩를 많이 사용했으나 지금은 唐彩를 구하기가 어려워 英國, 獨逸, 日本 등지에서 들어오는 안료를 많이 사용하고 있다.

문헌에 의하면 石間朱(赤色)는 朱【辰砂, 朱砂, 銀朱 모두 동일품이며 화학성분은 硫化水銀(HgS)】, 鉛丹(赤鉛, 光明丹, 赤色の 酸化鉛 모두 동일품이고 화학성분은  $Pb_3O_4$ ), 鐵砂( $Fe_2O_3$  혹은  $Fe_2O_3$ 을 다량으로 함유한 적토, 혹은 紅穀, 血赤, 鐵丹, 구르가스 등의 명칭도 있다) 등이 있으며 辰砂는 高價이어서 사용된 부분은 輪廓의 線 혹은 臺座의 문양등 비교적 면적이 적은 부분에 사용되고 면적이 넓은 곳의 적색에는 주로 鉛丹, 鐵砂를 주로 사용하였다. 녹색은 綠靑(동 또는 동합금의 표면에 생기는 엷은 청녹의 녹색)으로 천연 안료는 공작석이란 광물질에서 산출되는 것으로 화학성분은 鹽基性炭酸銅【 $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ 】 또는 鹽基性초산동【청색의 것  $Cu(CH_3CO_2)_2CuO$  또는 녹색의 것  $2Cu(CH_3CO_2)_2CuO$ 가 있다】이다. 지금은 靑色の 안료로 산화크롬( $Cr_2O_3$ )을 사용하고 있다. 황색 및 褪色에는 密陀僧(화학성분은  $PbO$ 이고 연단같이 鉛을 태워서 만드는 인조품임), 黃土(천연으로 矽광석 및 長石等の 풍화에 의해 생긴 것으로  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ 을 주성분으로 하는 규산 알루미늄등의 含有하며 含有하고 있는 철분의 양에 따라 황색에서 갈색까지 여러 가지 색상을 내고 가열에 의해 수분을 제거하면 적갈색으로 변함), 雄黃(石黃, 石子黃, 砒黃이라는 별칭으로도 부리우며 그 주성분은  $As_2S_3$ 임)등이다. 靑色の 안료는 靑 프러시안 부루【일명

Milori blue, 철청, 회청, 회화청, 삼청, 청화라고도 하고 화학성분은  $\text{Fe}(\text{CN})_3n\text{H}_2\text{O}$ 으로 천연 안료에서는 藍鑛銅으로써 녹청과 같이 산출된다. 화학성분은 녹청과 같이 鹽基性炭酸銅이나 組成은 다르다. 현재는 청색의 안료로 군청 울트라마린(Ultramarine,  $3\text{NaAl. SiO}_4. \text{Na}_2\text{S}_2$ )이 많이 쓰이고 있다. 천연품도 드물게 있기는 하나 대부분은 陶土, 탄산칼슘 및 유황 등의 혼합물을 용융해서 만드는 인조품이고 그 주 성분은 복잡하여  $3\text{NaAl. SiO}_4. \text{Na}_2\text{S}_2$  또는  $2(\text{Na}_2\text{O. Al}_2\text{O}_3. 2\text{SiO}_2)\text{Na}_2\text{S}_2$  등 아직 정설이 없는 실정이다. 日光과 알카리에 안전하고 산에 의해서 分解되고  $\text{H}_2\text{S}$ 를 발생하며, 白色의 胡粉(패각을 풍화해서 만든 것으로 주 성분은  $\text{CaCO}_3$ ), 白土(백색 陶土) 등을 쓰고 黑色에는 黑을 쓴다고 한다. 嚙支(또는 嚙脂)는 紅花에서 특수방법에 의해 추출한 염료를 면에 도포하여 건조시켜 錦嚙脂로 한 것을 중국으로 부터 수입하여 水浸해서 사용하였다. 또 녹청의 종류는 같으나 색이 다른 것은 분말이 粗雜할수록 색이 깊고 분자가 미세한 것은 색이 깊고 선명하여 아름답고 또 진사 역시 분자가 미세할수록 황색이 되고 입자가 클수록 紫色을 띤다.

鉛丹은 세월이 경과됨에 따라 表面의 색상이 변하고 辰砂의 경우에 세월이 어느정도 경과하여도 색상에 변화가 없으며 때가 끼어 더러워진다. 또 辦柄의 적갈색을 태우면 적색을 되고 군청, 녹청을 태우면 흑색으로 변하고, 황색을 태우면 회백색으로 변하고, 진사는 황색으로 변하며 호분을 태우면 약간의 着色현상이 발생된다.

### III. 분석방법

#### 1. 분석시료

본 실험에 사용된 시료는 約 350年前(仁祖13年, 1635年)의 안료로 추정되나 7차에 걸쳐 重, 改修되어 오늘에 이르고 있는 전북 김제군 금산사의 목조건물인 미륵전에서 목부재의 단청 안료와 벽화에서 수습한 벽화 안료를 채취하였다.

미륵전은 신라 법상종시대의 미륵본존을 봉안한 절의 중심건물인 금당이다. 초창된 시기나 당시 건물의 형태는 알 수 없으나 『三國遺事』와 『五層石塔重修記』, 『金山寺蹟』 등에 의하면 眞表律師의 重創時에 彌勒拔文佛像이 鑄成되고 삼층 건물인 금당에 봉안하였음이 기록에 남아있다.

Table 1.의 시료는 3층 현관 뒤 벽화에서 백색덩어리, 석간주, 청색, 녹색 등 시료와 단청안료시료는 석간주, 회청색 등의 안료를 분류하여 채취하였다.

Table 1. 분석시료의 종류 및 색상

종류	색상	종류	색상	종류	색상
벽화	석간주 A	벽화	청색 C	단청	석간주 A
	" B		" D		" B
	" C		녹색 A		청색 A
	백색 A		" B		" B
	" B		" C		연두색 A
	주황 A		연두색 A		적색 A
" B	연두색 A	" B			
" B	" B	" C			
" B	" C	주황색 A			
" B	" C	" B			

## 2. 시료에 대한 준비

안료의 오염 또는 바탕색과 표면색의 혼합피크를 방지하기 위하여 색상별 층위를 매스 등으로 조심스럽게 거두어 내고 오염된 이물질은 알콜 및 증류수로 세척 분리하여 전처리를 실시하였다.

## 3. 분석 조건 및 과정

준비된 시료는 X-선 회절분석기의 시료장착대에 고정시킨후 Cr타게트와 주사속도(SCAN SPEED)를 40/min, 분해시간을 1초로 조절하여 Fig.1과 같은 과정으로 분석하였다.(\*분석과정은 기기의 특성에 따라 각기 그 조건이 다르고 광범위하기 때문에 그 내용을 생략함).

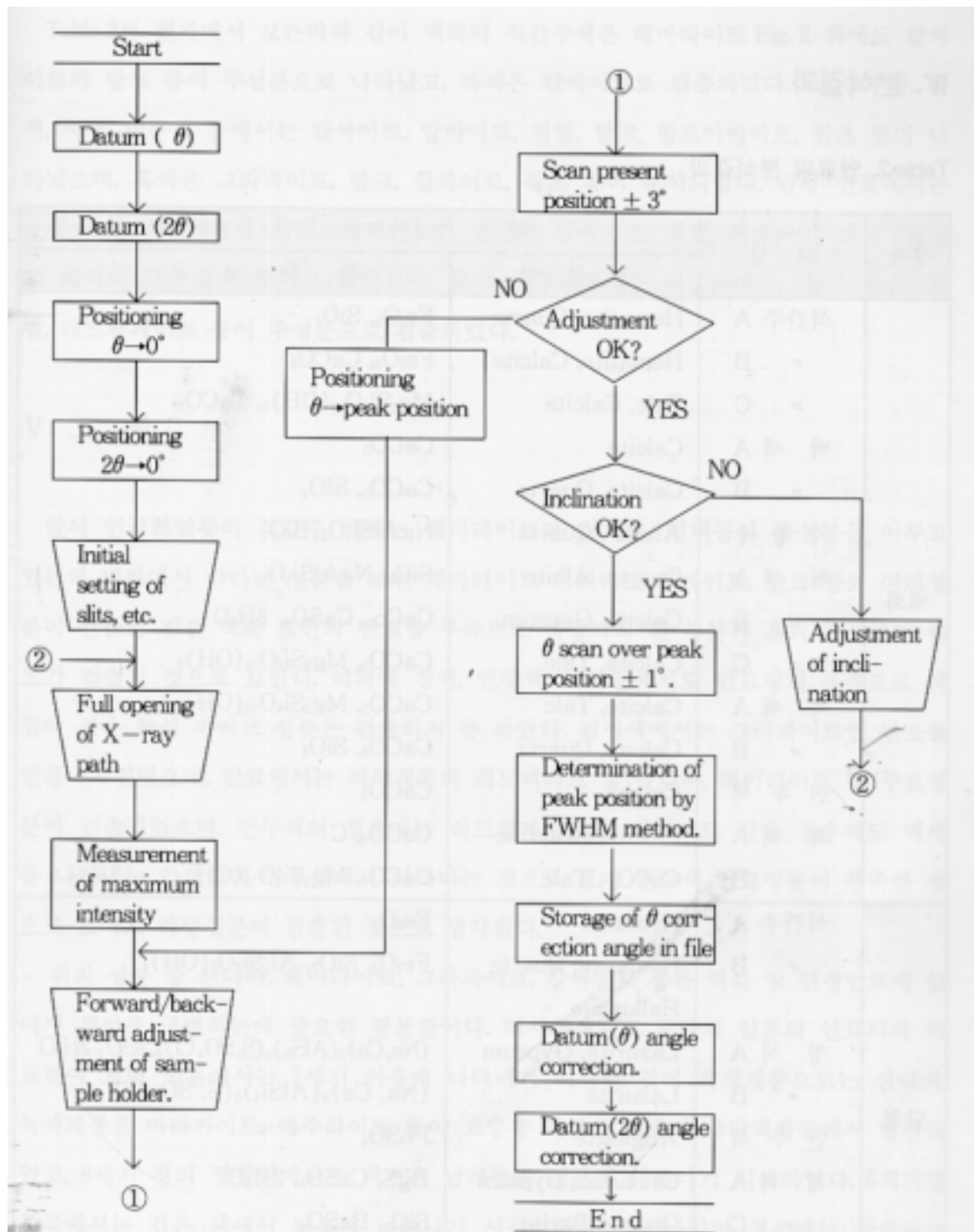


Fig. 1. XRD ANALYSIS FLOW CHART

#### IV. 분석결과

Table 2. 안료의 분석결과

종류	색상	분석결과	
		광물명	화학구조식
벽화	석간주 A	Hematite, Quartz	$Fe_2O_3, SiO_2$
	" B	Hematite, Calcite	$Fe_2O_3, CaCO_3$
	" C	Talc, Calcite	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2, CaCO_3$
	백색 A	Calcite	$CaCO_3$
	" B	Calcite, Quartz	$CaCO_3, SiO_2$
	주황색	Albite, Quartz	$NaAlSi_3O_8, SiO_2$
	청색 A	Quartz, Albite	$SiO_2, NaAlSi_3O_8$
	" B	Calcite, Gypsum	$CaCO_3, CaSO_4 \cdot 2H_2O$
	" C	Calcite, Talc	$CaCO_3, Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
	녹색 A	Calcite, Talc	$CaCO_3, Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
	" B	Calcite, Quartz	$CaCO_3, SiO_2$
	연두색	Calcite	$CaCO_3$
	흑색 A	Calcite, Graphite	$CaCO_3, C$
" B	$CaCO_3, Talc$	$CaCO_3, Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	
단청	석간주 A	Hematite	$Fe_2O_3$
	" B	Hematite, Quartz Halloysite	$Fe_2O_3, SiO_2, Al_2Si_2O_5(OH)_4$
	청색 A	Lazurite, Gypsum	$(Na, Ca)_8(AlSi_6)(S, SO_4, Cl)CaSO_4 \cdot 2H_2O$
	" B	Lazurite	$(Na, Ca)_8(AlSi_6)(S, SO_4, Cl)$
	연두색	Anglesite	$PbSO_4$
	적색 A	Cinnabar, Gypsum	$HgS, CaSO_4 \cdot 2H_2O$
	" C	Quartz, Barite	$SiO_2, BaSO_4$
	주황 A	Calcite, Minium, Barite	$CaCO_3, Pb_3O_4, BaSO_4$
	" B	Minium	$Pb_3O_4$

Table 2의 결과에서 보는바와 같이 벽화의 석간주색은 헤마타이트 Fig.2 외에도 칼싸이트와 탈크 등의 주성분으로 나타났고, 백색은 칼싸이트로 검출되었다. Fig.3 주황, 청색, 녹색, 연두색 등에서는 칼싸이트, 알바이트, 집섬, 탈크, 할로이싸이트, 퀴츠 등이 나타났으며, 흑색은 그라파이트, 탈크, 칼싸이트, 퀴츠 등이 분석되었다. 단청 안료에서는 주황색 및 적색계통에서 리드셀페이트인 연단과 칼싸이트, 집섬,

씨네바인 진사 Fig.4 및 헤마타이트, 퀴츠 등이 나타났으며, 청색, 연두색에서는 라 주라이트 Fig.5 퀴츠, 집섬, 리드셀페이트 등이 주성분으로 검출되었다.

## V. 고 찰

앞서 언급하였듯이 석간주 색에는 헤미타이트와 신나바, 엄버등이 주성분을 이루고 있는데 벽화에서 나타난 성분을 보면 헤마타이트 이외에도 칼싸이트, 탈크 등의 여러 성분이 검출된 것은 벽화 표면의 안료량 부족으로 바탕색의 흰 부분과 흙의 주성분인 퀴츠가 검출된 것으로 보인다. 이외에 청색, 연두색, 녹색등에서도 안료량의 부족으로 색깔이 같은 특성 피이크 성분은 검출하지 못 하였다. 검정색에서는 그라파이트인 탄소를 얻을 수 있었으며, 안료에서는 적색계통의 레드피이드 및 신나바, 헤마타이트 등 주요성분이 검출되었으며, 연두색의 경우에는 리드셀페이트나, 칼싸이트 같은 경우에도 백색을 나타내는 안료인데 연두색에서 나타나는 것으로 보아 연두색 안료성분이 부족한 것으로 보이고 바탕성분이 검출된 것으로 생각된다.

위의 성분 중 신나바, 헤마타이트, 그라파이트, 칼싸이트 등은 벽화 및 단청안료에 있어서 색상을 구별하는데 중요한 광물들이다. 역사학적으로 중국과 일본의 안료사와 비교하여 보면 일본에서는 7세기 이후에 나타나기 시작한 것이 적색계통으로는 신나바, 녹색계통은 마라카이트, 에주라이트 등이 고송총 벽화와 범룡사 금당벽화등에서 발견되었고, 8세기 경의 정창원에서도 백색은 납계통의 성분이 나타나기 시작하였다. 6세기경 중국에서는 검은 색에서 탄소가 나타나기 시작하였다. 우리나라의 경우에는 삼국시대 후반에서 통일 신라시대, 즉 5~8세기 경에 쌍영총벽화에서 헤마타이트와 씨네바, 송산리 고분벽화에서 백색의 칼싸이트, 부여 부소산성 서복사지출토 벽화편에서 검은색 그라파이트와 마그네타이트가 검출되었다. 이러한 예로보아 미륵전 벽화안료도 동시대에 사용되었던 안료로 보이나 수차례에 걸친 중수로 당시의 안료로 파악하기에는 어려운 상황이며 헤마타이트, 칼싸이트, 그라파이트 등은 화학약품에 의한 안료가 아니라 광물로 구성된 천연안료 이므로 상당기간 동안 고유한 색상을 유지하고 있었던 것으로 보인다.

SAMPLE NAME: KUNSRN-SR DATE: 02.05.15  
 TARGET : C+ SMOOTHING NO.: 19  
 VOL and CUR: 50KV 10uA THRESH. INTEN.: 47 CPS  
 SLITS : 05 1 RS 1 SS 0 2nd DERIV.: 1 CPS/(DEG\*DEG)  
 SCAN SPEED: 4 DEG/MIN. B.G. (SAMP.): 52  
 STEP/SAMPL.: 05 DEG B.G. (CYCLE): 52  
 PRESET TIME: 0 SEC OUTPUT FILE :  
 FILE NAME : B012100  
 OPERATOR : CPRI COMMENT : Hematite(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Peak No.	Position	Intensity	Width	Area
1	52.00	100	0.5	100
2	54.00	10	0.5	10
3	56.00	10	0.5	10
4	58.00	10	0.5	10
5	60.00	10	0.5	10
6	62.00	10	0.5	10
7	64.00	10	0.5	10
8	66.00	10	0.5	10
9	68.00	10	0.5	10
10	70.00	10	0.5	10
11	72.00	10	0.5	10
12	74.00	10	0.5	10
13	76.00	10	0.5	10
14	78.00	10	0.5	10
15	80.00	10	0.5	10
16	82.00	10	0.5	10
17	84.00	10	0.5	10
18	86.00	10	0.5	10
19	88.00	10	0.5	10
20	90.00	10	0.5	10
21	92.00	10	0.5	10
22	94.00	10	0.5	10
23	96.00	10	0.5	10
24	98.00	10	0.5	10
25	100.00	10	0.5	10
26	102.00	10	0.5	10
27	104.00	10	0.5	10
28	106.00	10	0.5	10
29	108.00	10	0.5	10
30	110.00	10	0.5	10

Sample Name : KUNSRN-SR

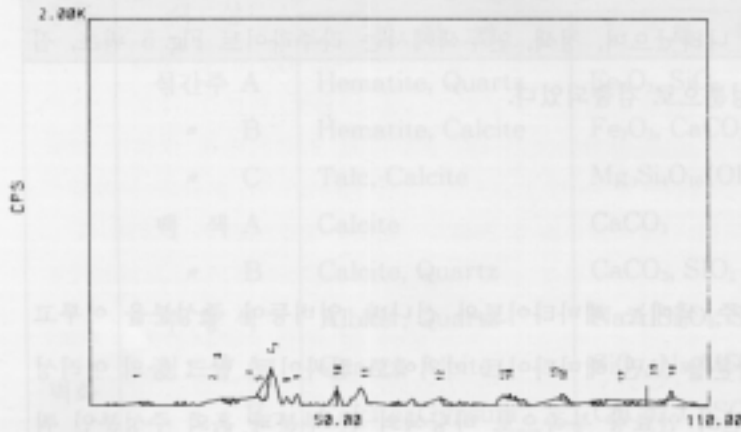


Fig. 2.

SAMPLE NAME: KUNSRN-SR DATE: 02.01.01  
 TARGET : C+ SMOOTHING NO.: 19  
 VOL and CUR: 27.5KV 10uA THRESH. INTEN.: 6.5 CPS  
 SLITS : 05 1 RS 1 SS 0 WIDTH: 0.5 DEG  
 SCAN SPEED: 4 DEG/MIN. B.G. (SAMP.): 52  
 STEP/SAMPL.: 05 DEG B.G. (CYCLE): 52  
 OPERATOR : CPRI COMMENT : COMMENT FILE :

Peak No.	Position	Intensity	Width	Area
1	18.00	10	0.5	10
2	20.00	10	0.5	10
3	22.00	10	0.5	10
4	24.00	10	0.5	10
5	26.00	10	0.5	10
6	28.00	10	0.5	10
7	30.00	10	0.5	10
8	32.00	10	0.5	10
9	34.00	10	0.5	10
10	36.00	10	0.5	10
11	38.00	10	0.5	10
12	40.00	10	0.5	10
13	42.00	10	0.5	10
14	44.00	10	0.5	10
15	46.00	10	0.5	10
16	48.00	10	0.5	10
17	50.00	10	0.5	10
18	52.00	10	0.5	10
19	54.00	10	0.5	10
20	56.00	10	0.5	10
21	58.00	10	0.5	10
22	60.00	10	0.5	10
23	62.00	10	0.5	10
24	64.00	10	0.5	10
25	66.00	10	0.5	10
26	68.00	10	0.5	10
27	70.00	10	0.5	10
28	72.00	10	0.5	10
29	74.00	10	0.5	10
30	76.00	10	0.5	10
31	78.00	10	0.5	10
32	80.00	10	0.5	10
33	82.00	10	0.5	10
34	84.00	10	0.5	10
35	86.00	10	0.5	10
36	88.00	10	0.5	10
37	90.00	10	0.5	10
38	92.00	10	0.5	10
39	94.00	10	0.5	10
40	96.00	10	0.5	10
41	98.00	10	0.5	10
42	100.00	10	0.5	10
43	102.00	10	0.5	10
44	104.00	10	0.5	10
45	106.00	10	0.5	10
46	108.00	10	0.5	10
47	110.00	10	0.5	10

Calcite(CaCO<sub>3</sub>)

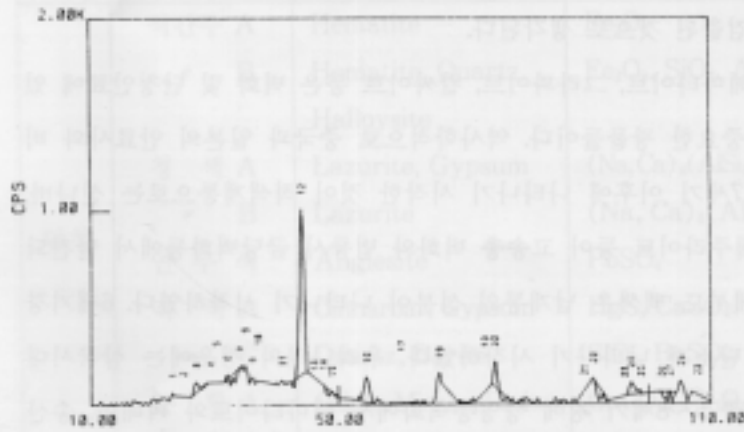


Fig. 3.



TARGET : C-  
 VOL and CUR: 27.5KV 10mA  
 SLITS : 0.5 1 RS 1 SS 0  
 SCAN SPEED: 4 DEG/MIN.  
 PRESET TIME: 0 SEC  
 FILE NAME : 0111100  
 OPERATOR : CPRI  
 COMMENT :

DATE: 00.07.86  
 SMOOTHING NO.: 19  
 THRESH. INTEN.: 64 CPS  
 2nd DERIV.: 1 CPS/(DEG\*DEG)  
 WIDTH: 5 DEG  
 B.G. (SRMP.): 52  
 B.G. (CYCLE): 52

Cluster(Hg8)  
 Sample Name : KUMSAR-SR

CH	INTEN.	WIDTH	AREA
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
25	1	1	1
26	1	1	1
27	1	1	1
28	1	1	1
29	1	1	1
30	1	1	1
31	1	1	1
32	1	1	1
33	1	1	1
34	1	1	1
35	1	1	1
36	1	1	1
37	1	1	1
38	1	1	1
39	1	1	1
40	1	1	1
41	1	1	1
42	1	1	1
43	1	1	1
44	1	1	1
45	1	1	1
46	1	1	1
47	1	1	1
48	1	1	1
49	1	1	1
50	1	1	1

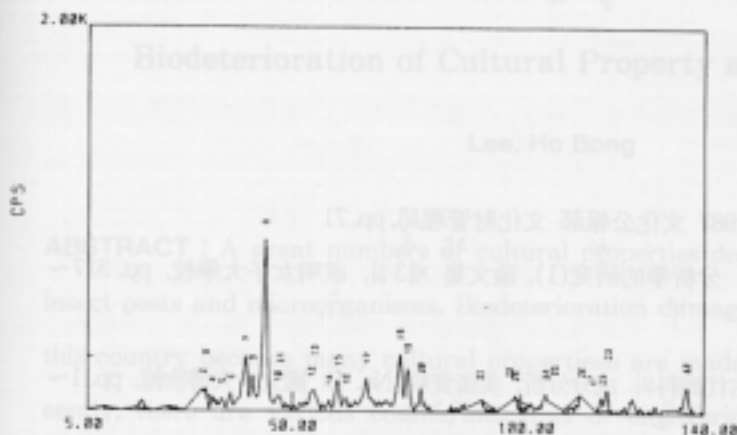


Fig. 4.

SAMPLE NAME: KUMSAR-SR  
 TARGET : C-  
 VOL and CUR: 27.5KV 10mA  
 SLITS : 0.5 1 RS 1 SS 0  
 SCAN SPEED: 4 DEG/MIN.  
 PREP/SAMP.: 05 DEG  
 PRESET TIME: 0 Sec  
 FILE NAME : 0522100  
 OPERATOR : CPRI  
 COMMENT : Lazurite (Na Ca<sub>2</sub> (AlSiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub> Cl)  
 Sample Name : KUMSAR-SR

DATE: 00.09.87  
 SMOOTHING NO.: 19  
 THRESH. INTEN.: 75 CPS  
 2nd DERIV.: 1 CPS/(DEG\*DEG)  
 WIDTH: 5 DEG  
 B.G. (SRMP.): 52  
 B.G. (CYCLE): 52  
 OUTPUT FILE :

CH	INTEN.	WIDTH	AREA
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
25	1	1	1
26	1	1	1
27	1	1	1
28	1	1	1
29	1	1	1
30	1	1	1
31	1	1	1
32	1	1	1
33	1	1	1
34	1	1	1
35	1	1	1
36	1	1	1
37	1	1	1
38	1	1	1
39	1	1	1
40	1	1	1
41	1	1	1
42	1	1	1
43	1	1	1
44	1	1	1
45	1	1	1
46	1	1	1
47	1	1	1
48	1	1	1
49	1	1	1
50	1	1	1

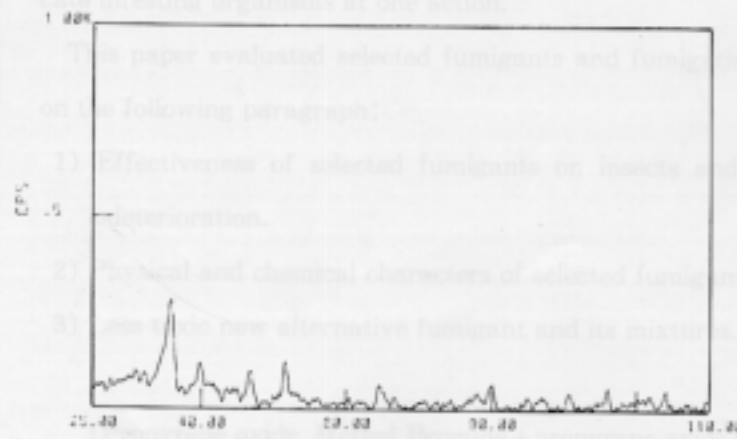


Fig. 5.

## VI. 참고문헌

1. 金山寺 實測調査報告書, 1987 文化公報部 文化財管理局, pp.71
2. 李淑淵, 1963, 古代丹青의 分析學的研究(1), 論文集 제3집, 淑明女子大學校, pp.317~320
3. John Winter, 1989, 한국 古代顔料의 成分分析, 美術資料, No.43 國立中央博物館, pp. 1~36
4. 成瀬正和, 1992, 正倉院寶物と古代顔料の分析, 日韓たおけろ考古遺物の材質的検討と保存法の開發研究, pp.77~81
5. MARY VIRGINIA ORNA, O.S.U., and THOMAS F. MATHEWS, 1981, Pigment analysis of the Glajor Gospel book of U.C.L.A, Studies in conservation, 26, pp.57~72