

철도막에 사용된 안료 비교분석

A Study for analysing pigments on the lacquer with wooden

洪種郁*

Hong, Jong Ouk*

□**ABSTRACT** : For the study of the pigments on lacquer with wooden for comparing a characteristics and chemical structures have been selected samples from tombs at Tanwol-dong, Ch'ungch'öng-do, Hwang-namtaech'ong, Anapchi Lake in Kyöngju-shi and Miröksa Site.

Analysis showed that red pigments on the lacquer with wooden from Anapchi Lake and Tomb at Tanwol-dong was found to Cinnabar, and those samples excavated from Hwang-namtaech'ong have been analyzed to calcite, maghematite and kornelite. In general, red pigments have two components like cinnabar and hematite. Hematite was found that red lacquer at Hwang-namtaech'ong was to be identified Maghematite caused by their environment air pollution.

Cinnabar was handled more valuable than hematite for unchanging characteristics for their colour under same condition since old times.

I. 서 언

유적지의 고고학적 발굴 또는 조상들의 유품으로 전해 내려오는 학술적인 가치가 풍부한 여러 종류의 다양한 유물들이 발굴되고 있으며 재질별로 분류하여 보면 금속, 도토기, 또는 목제류들이 주종을 이루고 있다. 그에 비하여 칠기류들은 실제로 수는 많지 않으나 그 수에 비하여 다양한 형태의 이기, 장신구 또는 의식용 제기 등 그 사용 범위는 광범위하고 다른 재질 즉 석재나 금속제 등과는 다르게 환경 오염이나 기타 인위적인 훼손에 민감하기 때문에 그 수가 많이 남아 있지 않으며 남아 있다 하더라도 그 형태는 다소 변형되었다든지 그렇지 않으면 안료의 색이 변색되었든지 혹은 칠기막과 목제 소지와 수축팽창에 의하여 박락되어 칠장식을 하였는지 종종 혼돈을 야기하곤 한다.

* 國立文化財研究所 保存科學研究室

Conservation Science Dept. National Research Institute of Cultural Properties

철기의 사용은 중국에서 최초로 등장하기 시작하여 발전한 것으로 알려지고 있는데 그 기원을 보면 중국의 헨난(Henan)지방의 주(Chu)왕조 고분(BC 5C), 후난(Hunan)지방의 고분(BC 180~160), 후베이(Hubei)지방의 고분 등에서 발굴되었으며 철기공예는 전국시대에서부터 한대에 이르는 기간 동안에 전성기를 맞이한 것으로 전해지고 있다.¹⁾ 일본의 경우 히노 마루봉이라고 불리는 네고로(根來, 지명)에서 헤이안(平安) 가마꾸라(鎌倉)시대의 쟁반이 발굴된 것을 비롯하여 무로마찌(室町), 모모야마(桃山), 에도(江戸) 등 각 시대의 특징을 나타내는 장신구 및 식기 등그들의 당시 생활과 문화 환경, 신분 등을 비교할 수 있는 여러 가지 기물이 발굴되었다.²⁾ 한반도의 경우 기원전 108년 위씨 조선이 멸망하고 낙랑, 진번, 임둔의 3군이 개설되고 이듬해에 현도군이 설치되면서 한반도에는 한사군이 설치되게 되었고, 이후 한반도는 직접적인 한의 발달된 여러 가지 공업기술 등의 영향을 받기에 이른다.³⁾ 그 중 낙랑의 문화를 잘 대변해주고 있다할 수 있는 낙랑고분에서 많은 부장유물이 출토된 것을 모토로 하였고 그 중에서 철기는 낙랑사회를 이해하는데 좋은 자료로 활용되고 있다. 철기의 출토상황을 보면 경주 황남대총 남분, 안압지, 익산 미륵사지, 충주 단월동 고분군 등에서 철이 입혀진 장식 및 철기 등이 출토된 것을 볼수 있다.

본디 철기란 철을 사용하여 제작한 기물⁴⁾을 가리키는 것으로서 철의 물리적인 특성은 장식효과가 뛰어날 뿐만 아니라 방수, 방식, 방지의 기능이 우수하여 고래로부터 고급물로 취급되어 왔다. 그 중 매장 발굴된 철기류들은 섬유질 분자를 주성분으로 장기간 물속이나 부식토층에 있었던 까닭으로 손상되거나, 생물학적인 저해요인을 포함하게 된다. 발견 당시 과학적인 조치가 수반되지 않는 경우 양호한 상태의 원형 일지라도 시간의 흐름에 따라 수분이 증발되어 수축과 함께 균열이 발생하고 철층의 이탈현상으로 본래의 모습을 잃게 된다. 이러한 사항은 철기보존에 항구적인 영향을 미칠뿐 아니라 미래에 있어 고고학적인 발굴과 과학적인 연구, 전시에 있어서까지 영향을 미치게 될 것이다. 이러한 당면한 철기 보존문제 즉 탈수처리, 경화처리방법, 복원처리에 따른 제반 문제점들은 문화유적의 과학적 보존처리에 있어 중대한 문제가 아닐수 없다. 또한 이에 반하여 철의 고유한 색상인 광물 안료가 환경오염 및 기타의 훼손으로 변색 및 손실되어 가고 있는 것 또한 커다란 문제가 아닐수 없다. 본 안료의 비교 연구는 소멸되어 가는 안료성분을 시대에 따른 지역에 따른 또는 변색된 안료의 본래 성분과의 환경 메카니즘을 규명하고 이들의 특성을 구분하여 소멸되기 전에 체계적으로 정리하여 안료성분을 데이터할 목적으로 1차적으로 경주, 전북, 충북 지역의 시료를 선정하게 되었다.

II. 시료의 현황과 제작방법

1. 시료의 현황

가. 황룡사지 출토

황룡사지 출토 칠기는 主槨上 東南隅, 收藏部 木蓋下 南便과 收藏部內 등 여러 곳에서 출토되었으나 대부분 收藏部內에서 가장 많이 출토되었고 그 수는 완형으로 보이는 그릇이 15점과 다수의 편 등이다.

나. 안압지 출토

안압지에서 출토된 칠기는 주로 갯벌층(層)과 바닥층에서 주로 收拾되었다. 출토된 칠기 점수는 片이 100여점과 完形으로 보이는 것이 33점으로 총 133점이다. 南岸 護岸石築 갯벌층에서 瓦塼과 木製木簡이 함께 출토 되었으며, 흑색의 칠을 하고 일종의 花鳥文樣을 찍은 것 같으나 부식되어 없어진 것도 있고 붙어 있는 것도 있다.

다. 미륵사지 출토

미륵사지에 대한 본격적인 발굴조사가 이루어지기 이전부터 寺地內에서는 적지 않은 유물들이 출토 되었으며 특히 서탑을 중심으로 한 지역조사와 동탑지에 대한 발굴조사에서 출토되는 유물에 의하여 그 성격을 파악하기가 쉬워졌으며 그 중 목제품은 북편 石築의 동쪽 지역에 자리하고 있는 유구에서 거의 모두라 할 정도로 집중 출토되었다. 이 유구에서는 수습할 수 없을 정도로 잔존상태가 불량한 목기와 초제품류가 출토되었으며 20cm 이상의 층위에 가공되지 않은 나무와 그 부스러기들이 형태를 파악하기 힘든 다수의 편 등으로 출토되었다.

라. 충주 단월동 고분 출토

충주 단월동 고분군에서는 통일신라시대 석곽묘 2기, 고려시대 토광묘 5기, 고려시대 석곽묘 1기를 발굴하였다. 그 중 칠기그릇 3개는 생토를 굴착하고 벽과 바닥에 점토와 백회를 3~5cm 두께로 처리된 B-1호에서 유리구슬과 청동제합 등과 함께 출토되었다.

2. 제작방법

황룡사지 출토 칠기의 경우 바닥 아래는 단면 方形의 圓形態로 보완하고 그 안쪽에는 굽을 끼웠는데 역시 竹板으로 만들어졌다. 口緣에 두줄, 저부가끼이에는 한줄의 주색선대를 돌리고 그 안에는 마치 붓에 안료를 묻혀 뿌린 것 같은 모양의 점열이 뽁뽁하게 施文하였으나 현재는 안료가 거의 탈락된 상태이다. 안압지 출토 기형은 두가지 형식으로 분류된다. 즉 찬함에 속하는 것은 저부에 얇은 나무판을 자른후 양면에 마포를 붙이고 나서 흑색의 칠을 하였다. 그리고 구연부쪽에서는 한판의 나무로 저부와 같은 양식으로 나무판을 양면에 마포를 붙이고 나서 흑색의 漆을 하였다.

구연부에는 대바구니를 만들 듯이 폭이 좁으며, 얇은 것으로 여러겹씩 붙여 위로 올라가는 양식으로 나타내며 양면에 마포를 붙힌 것으로 보인다. 주로 안쪽에는 적색을 칠하고 외부에는 흑색을 칠한 것이 공통적이며 저부에는 각선이나, 혹은 墨書로 써 銘文을 써놓았다. 미륵사지 출토 칠기는 안압지와 황룡사지 출토 칠기와 제작방법이 유사하고 충주 단월동 칠기는 칠막으로 분석되어 그 기법을 파악하지 못하였다.

출토지	분류	시 료 구 분		시 대	출토 상황	비 고
		수량	색상			
경주 황남대총		1	적색	LAQ31	통일신라 시대	매 장
		1	적색	LAQ41		
		1	적색	LAQ51		
경주 안압지		1	적색	Z041	통일신라 시대	습 지
		1	검정	Z042		
전북 미륵사지		1	검정	Z0311	백제 시대	매 장
		1	검정	Z0312		
충주 단월동		1	적색	LAQ11	고려 시대	매 장
		1	적색	LAQ21		

Ⅲ. 분석원리 및 조건

1. XRD(X-RAY DIFFRACTION)의 원리

타겟트(Target)에 전압을 주어 전압량에 따라 타겟트에서 발생하는 X-ray의 양이 결정된다. 이 X-ray는 분석하고자 하는 시료에 조사되어 물질의 특성 즉 원자구조에 의한 특성 X선을 방출하게 하고 그것을 검출기로 검출하여 원소 및 결정구조의 존재를 확인한다. 원소마다 많은 수의 특성 X-선이 방출되고 그 결정에 의해 1차, 2차, 3차 등으로 회절되어 복잡한 스펙트럼이 발생된다. 단일 원소보다 복잡한 원소일 경우 회절빈도가 많이 일어난다.

X-선회절은 Bragg식에 의해 $n\lambda=2d\sin\theta$ 로 결정되며 θ 회절각을 나타내고 n 은 정의정수, d 는 전자간의 거리, λ 는 파장을 나타낸다. 이러한 특성을 이용하면 문화재에 손상 및 파손이 전혀없이 비파괴분석이 가능하고 특히 금속, 토기, 도자기와 벽화 등에 광범위하게 적용될수 있는 장점을 가지고 있다.

2. 분석조건

시료는 오염이 적게 되고 표면상태가 매끄러운것(☆시료분류 참조)을 선정하였고, 분석기는 RIGAKU社의 RAD/B-SYSTEM X-RAY DIFFRACTION INSTRUMENT 를 이용하였다. 분석조건은 SCAN SPEED(4deg./min), KV(30), mA (10), START(10deg.), STOP(110deg.)로 고정하였으며 시료당 2회 반복하여 그 중 분해능 이 가장 좋은 피이크(peak)를 선택하였다.

IV. 분석결과

1. 황남대총 출토

경주98호(황남대총) 출토 칠의 적색 부분에서는 57개의 피이크가 검출되었고 그 중 대표적인 성분은 3개의 물질로서 칼싸이트(Calcite)인 CaCO_3 와 마그헤마타이트 (Maghemite,syn)인 적철광($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 그리고 코넬라이트(Kornelite)인 $\text{Fe}_4(\text{SO}_4)_6 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ 가 검출되었다. 피이크 비율은 CaCO_3 (54.2%) : $\text{Fe}_4(\text{SO}_4)_6 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ (25.7%) : $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (20.0%)로 분석되었고 기타 오염에 의한 무시될 수 있는 피이크는 검출에서 배제되었다. 분석치(d-value)는 칼싸이트에서 3.04(100 i / ii), 2.29(18), 3.86(12)으로 나타났고, 마그헤마타이트는 2.514(100 i / ii), 1.474(40), 2.950(30), 1.604(20)로, 코넬라이트는 10.0(100 i / ii), 6.64(80), 4.67(80), 10.0(100)로 검출되었다.

2. 안압지 출토

안압지의 적색칠에서는 시나바(Cinnabar)인 진사(HgS)가 미소량의 칼싸이트와 퀴츠가 함께 검출되었고 분석치(d-value)는 3.36(100 i / ii), 28.86(95), 1.98(35), 3.59(6) 분석되었고, 검정색은 익산 미륵사지 칠기의 검정색과 함께 판독불능으로 씨치매칭 (Search matching)이 되지 않았다.

3. 충주 단월동 고분 출토

충주 단월동 고분에서 출토된 칠의 적색은 33개의 피이크가 검출되었으며 그 중 대표적인 것은 시나바(Cinnabar)인 진사와 퀴츠(Quartz)인 석영(SiO_2)이 90:10의 비율로 검출되었다. 분석치(d-value)는 진사가 3.39(100 i / ii), 4.04(80), 3.92(80), 7.4(4)와 석영 4.11(100 i / ii), 4.33(90), 3.82(50), 4.33(90)로 나타났다(Table. 1 참조).

V. 고찰

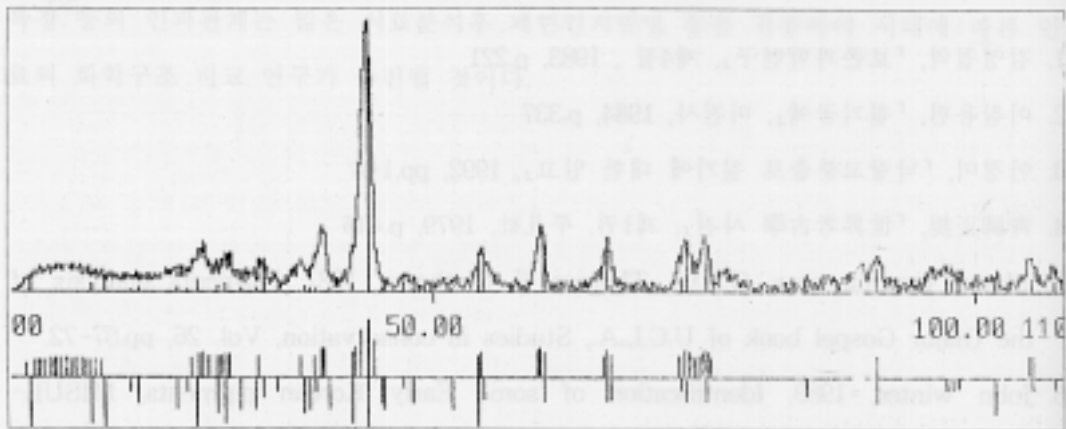
분석치의 d-value는 $\pm 0.05 \sim 0.1$ 오차의 범위내에서 매칭이 이루어졌으며 분석치의 검증은 국제회절자료인 ASTM(American Society for Testing and Materials)에서

확인하였다. 회절자료에 수록된 검증번호는 황남대총의 칼싸이트는(50586), 마그헤마타이트(251402), 코넬라이트(170159)이고 안압지의 시나바는(60256)에서 검증하였고 충주 단월동의 시나바와 퀴츠는(60256, 181170)에서 확인하였다(Table. 2, 3, 4 참조). 석간주는 일반적으로 진사, 연단, 철사 등이 주종을 이루고 있으며 본 연구 검체(경주 안압지, 충주 단월동) 적색철에서는 입자가 細粒인 고색 창연한 황색계통인 진사(시나바)와 마그헤마타이트(코넬라이트)가 검출되었다. 이 코넬라이트($Fe_4(SO_4)_6 \cdot 15H_2O$)는 오염된 주위 환경내에 장시간 노출되어 Fe_2O_3 가 변환되어 생성된 광물로 추정된다. 진사는 예로부터 고가이어서 사용된 부분은 輪廓의 線혹은 臺座의 문양 등 비교적 면적이 적은 부분에 사용되고 반면 넓은 곳에는 주로 연단(Pb_3O_4), 철사(Fe_2O_3) 등이 많이 사용되지만 이것들은 시간의 흐름에 따라 표면의 색이 변하는 단점을 지니고 있다. 이상과 같이 분석된 칠기 안료의 조성은 현대의 화학적인 안료가 아닌 자연 상태에서 얻을 수 있는 화학구조를 가지고 있고 검은색 부분은 뼈를 태워서 얻을 수 있다는 문헌은 볼 수 있었지만 본 시험에서는 분석되지 못한 아쉬움이 남고 차후에 비교연구가 될 것으로 확신한다. 아울러 시대에 따른 색의 변천과정과 그 특징 등의 인과관계는 많은 시료분석후 페틴인지방법 등을 적용하여 시대에 따른 안료의 화학구조 비교 연구가 추진될 것이다.

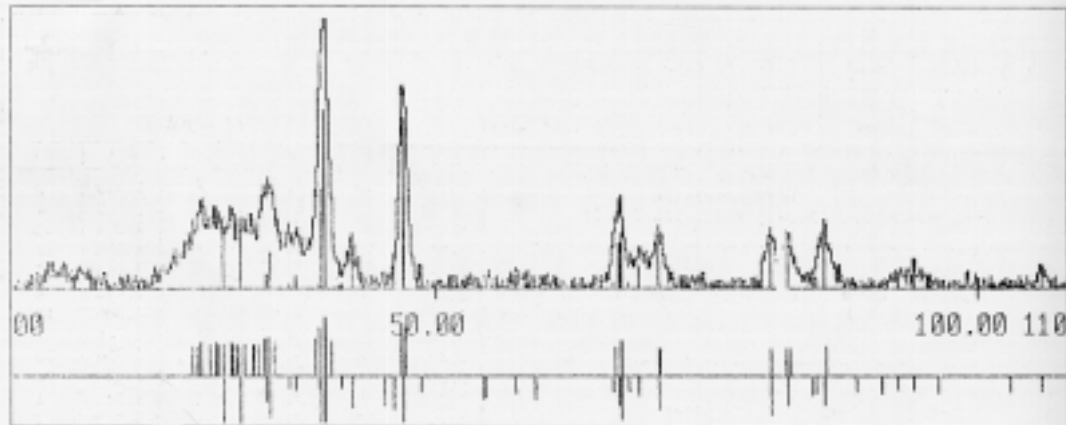
□ 參考文獻 □

1. 김영철역, 「보존과학연구」, 제4집, 1983, p.221
2. 이철용편, 「칠기공예」, 미진사, 1984, p.337
3. 이경미, 「낙랑고분출토 칠기에 대한 일고」, 1992, pp.1-4
4. 靑柳正規, 「世界考古學 사전」, 제1권, 平凡社, 1979, p.446
5. Marry virginia orna, O.S.U., Thomas F, Mathews, 1981, Pigments analysis of the Glajor Gospel book of U.C.L.A., Studies in conservation, Vol. 26, pp.57-72.
6. John winter, 1989, Identification of some Early Korean pigments, MISULCHARYO, No. 43, pp.1-36.
7. 中里壽克, 1985, 古代漆下地の 研究, 保存科學, Vol. 24, pp.1-15.

Table 1. 분석된 피크의 색어치 매칭(Search Matching)



충주 단일동 고순도 출토 적색철기(HgS, SiO₂)



황룡사지 출토 적색철기(CaCO₃, Fe₂O₃, Fe₄(SO₄)₆·15H₂O)

Table 2. ASTM에 의한 각 지역의 성분 비교

d	3.36	2.86	1.98	3.59	HgS (HEXAGONAL) ★					
I/I ₁	100	95	35	6	MERCURY(II) SULFIDE			'CINNABAR		
Rad. CuKα	λ 1.5405	Filter Ni			d Å	I/I ₁	hkl	d Å	I/I ₁	hkl
Dia.	Cut off	Coll.			3.59	6	100	1.258	8	116
I/I ₁ DIFFRACTOMETER		d corr. abs.?			3.35	100	101	1.248	4	213
Ref. SWANSON ET AL., NBS CIRCULAR 539 Vol. IV		P. 17-20 (1953)			3.15	30	003	1.1975	2	300
Sys. HEXAGONAL		S.G. *			2.863	95	102	1.1883	4	301, 206
a ₀ 4.149 b ₀ c ₀ 9.495		A C 2.289			2.375	10	103	1.1787	4	214
α β γ		Z 3 Dx 8.187			2.074	25	110	1.1614	4	302
Ref. Ibid.					2.026	12	111	1.1358	2	117
					1.980	35	104	1.1271	4	108
					1.900	4	112	1.1201	4	303
					1.765	20	201	1.1047	6	215
εα	nαβ 2.905	εγ 3.256	Sign +		1.735	25	113	1.0828	2	207
2V	D 8.090 mp	Color Red			1.679	25	105	1.0693	2	304
Ref. DANA'S SYSTEM OF MINERALOGY, VOL. 1 7TH Ed.					1.583	6	006	1.0309	4	221
					1.562	6	203	1.0132	2	222, 305
					1.433	8	204	0.9910	<1	311, 208
*P ₃ , 41 (152) OR P ₃ , 21 (154)					1.401	2	115	.9859	4	223
SAMPLE FROM THE FISHER SCIENTIFIC CO.					1.358	6	210	.9753	4	312
SPECT. ANAL.: <0.1% AL, CA, MG, NA; <0.01% Fe, Mn, Si; <0.001% AS, CU, Pb.					1.344	12	211	.9599	4	217
X-RAY PATTERN AT 26°C.					1.305	10	212, 205	.9503	4	224, 313
					1.269	4	107	.9400	4	119

충주 단월동 출토 적색 안료(60256)

d	4.11	4.33	3.82	4.33	SiO ₂ ★					
I/I ₁	100	90	50	90	Silicon Oxide			(Tridymite)		
Rad. CuKα	λ 1.542	Filter Ni			d Å	I/I ₁	d Å	I/I ₁	d Å	I/I ₁
Cut off	I/I ₁ Diffractionmeter				4.328	90	2.609	2	1.829	2
Ref. Sato, Mineral J. (Japan) 4	215-225 (1964)				4.236	2	2.540	<1	1.783	4
					4.107	100	2.500	16	1.715	2
					3.867	20	2.490	14	1.695	12
Sys. Monoclinic		S.G.			3.818	50	2.385	2	1.654	2
a ₀ 10.04 b ₀ 17.28 c ₀ 8.20		A 0.581 C 0.475			3.672	2	2.342	2	1.635	8
α β 91°50'		Z 32 Dx 2.24			3.642	4	2.308	16	1.600	10
Ref. Ibid.					3.461	2	2.294	2	1.546	2
					3.396	4	2.238	2	1.534	10
					3.297	<1	2.205	2	1.530	<1
εα	nαβ	εγ	Sign		3.250	4	2.137	2	1.517	2
2V	D mp	Color			3.215	2	2.117	4	1.510	2
Ref.					3.171	<1	2.086	8	1.488	<1
					3.126	<1	2.049	8	1.467	2
Transform to S ₂ type at 60-75°C, orthorhombic with a=10.04, b=17.28, c=8.20.					3.087	<1	2.031	<1	1.443	2
Synthetic formed from quartz and Na ₂ WO ₄ , heated at 1300°C for 24 hours.					3.049	<1	1.976	<1	1.439	2
Type Si - low temperature.					3.017	4	1.943	<1	1.434	2
					2.975	25	1.905	<1	1.413	2
					2.950	2	1.874	2	1.402	4
					2.776	8	1.855	2		

충주 단월동 출토 적색 안료(181170)

Table 3. ASTM에 의한 각 지역의 성분 비교

d	3.04	2.29	2.10	3.86	CaCO ₃						
I/I ₁	100	18	18	12	CALCIUM CARBONATE	(CALCITE)					
Rad. CuKα ₁	λ 1.5405				Filter Ni	d Å	I/I ₁	hkl	d Å	I/I ₁	hkl
Dia.	Cut off				Cell	3.86	12	102	1.897	2	218
I/I ₁ G.C. DIFFRACTOMETER					d corr. abs.?	3.035	100	104	1.284	1	306
Ref. SWANSON AND FUYAT, NBS CIRCULAR 539, Vol. II					51 (1953)	2.845	3	006	1.247	1	220
						2.495	14	110	1.235	2	1.1.12
Sys. HEXAGONAL					S.G. D _{6h} - R3c	2.285	18	113	1.1795	3	2.1.10
a ₁ 4.989	b ₁	c ₁ 17.062	A	C 3.420		2.095	18	202	1.1538	3	314
α	β	γ	Z 6			1.927	5	204	1.1425	1	226
Ref. Ibid.						1.913	17	108	1.1244	<1	2.1.11
						1.875	17	116	1.0613	1	2.0.14
						1.626	4	211	1.0473	3	404
Es	n _ω 1.659	f _γ 1.487	Sign -			1.604	8	212	1.0447	4	138
2V	D _x 2.711mp	Color				1.587	2	1.0.10			0.1.16
Ref. Ibid.						1.525	5	214	1.0352	2	1.1.15
SAMPLE FROM MALLINKRODT CHEM. WORKS, SPECT.						1.518	4	208	1.0234	<1	1.2.13
ANAL. <0.1% Sr; <0.01% Ba; <0.001% Al, B, Cs,						1.510	3	119	1.0118	2	3.0.12
Cu, K, Mo, Na, Si, Sn; <0.0001% Ag, Cr, Fe, Li, Mn.						1.473	2	215	0.9895	<1	231
X-RAY PATTERN AT 26°C						1.440	5	300	.9846	1	322
REPLACES 1-0837, 2-0623, 2-0629, 3-0569, 3-0593,						1.422	3	0.0.12	.9782	1	1.0.17
3-0596, 3-0612, 4-0636, 4-0637						1.356	1	217	.9767	3	2.1.14
						1.339	2	2.0.10	.9655	2	234

황룡사지 출토 적색 칠기(50586)

γ-Fe ₂ O ₃	d Å	Int	hkl	d Å	Int	hkl
Iron Oxide	7.91	1	101	1.3180	6	205
Maghemite, syn	6.94	2	102	1.2720	8	315
	5.90	6	103	1.2580	3	626
Rad. Co λ 1.78897	5.33	1	112	1.2040	5	441
Cut off Int. Visual	4.82	6	113	1.1150	6	621
Ref. Brown, X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay, (1961)	4.29	2	105	1.0860	10	312
	3.730	6	203	1.0430	7	002
Sys. Tetragonal	3.400	7	116	0.9830	5	224
S.G. A C 3.0000	3.200	3	205	0.9630	8	512
a 8.34	2.950	30	206	0.9320	4	841
b						
c 25.02						
α						
β						
γ						
Z						
Ref. Ibid.	2.780	3	216			
	2.638	4	109			
D _x D _m mp	2.514	100	119			
	2.408	2	226			
Metastable with respect to hematite. Spinel group, related structures.	2.315	2	209			
Spinel-like structure, with cubic subcell (a = 8.34). Spinel group. Related structures subgroup. P ₃₂ = 5.3(0.031, 187). To replace 15-615.	2.230	2	316			
	2.086	15	0012			
	1.865	1	406			
	1.820	3	2112			
	1.701	9	2212			
	1.670	2	500			
	1.604	20	1115			
	1.550	2	2015			
	1.525	3	2115			
	1.474	40	4012			

황룡사지 출토 적색 칠기(251402)

d	10.0	6.64	4.67	10.0	Fe ₇ (SO ₄) ₆ ·15H ₂ O					
I/I ₀	100	80	80	100		Iron Sulfate hydrate Komelite				
Rad. CuKα	λ 1.5418	Filter		Dia. Monochromator	d Å	I/I ₀	hkl	d Å	I/I ₀	hkl
Cut off	I/I ₀				10.0	100	020	2.97	20	421
Ref. Cesbron, Bull. Soc. franc. Mineral. Crist.	87 125-143 (1964)				7.04	60	200	2.85	10	251,431
					6.64	80	210	2.80	20	510
Sys. Monoclinic		S.G. P2 ₁ /n	(14)		5.74	20	220	2.74	10	161,360
a ₀ 14.29	b ₀ 20.10	c ₀ 5.45	A 0.711	C 0.271	5.15	10	111	2.71	10	421,062
β 97°01'	γ	Z 2	Dx 2.29		5.01	30	040	2.67	5	012,441
Ref. Ibid.					4.67	80	121	2.62	30	531,321
					4.59	5	310	2.599	5	521
					4.39	40	121	2.340	5	610
Ex	nαβ	εγ	Sign		4.30	60	320	2.288	5	402
2V	D 2.30	sp	Color		4.09	30	240	2.240	20	151
Ref. Ibid.					3.93	30	131	2.125	20	471
					3.72	5	311	2.001	5	471
Sample from Tintic Standard Mine, Utah, USA.					3.50	40	250,141	1.910	5	641
Analysis %: 30.53 Fe ₂ O ₃ , 43.59 SO ₃ , 26.25 H ₂ O					3.44	30	340	1.852	10	362,272
					3.30	30	311	1.790	10	551,013
					3.26	5	160	1.741	10	811
					3.14	60	241			
					3.09	5	151			
					3.05	20	350			

황룡사지 출토 적색 철기(170159)