

## 고려 청자 유약 발색에 미량 성분이 미치는 영향

김형태<sup>†</sup> · 이세용 · 함청순 · 최의석  
요업기술원 도자기센터  
(2001년 1월 2일 접수; 2001년 5월 17일 승인)

### The Effect of Micro Constituent Element on the Development of Unique Color of Koryo Celadon

Hyeong Tae Kim<sup>†</sup>, Se Yong Lee, Choung Soon Ham and Eui Seok Choi

Pottery Research Center, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-023, Korea  
(Received January 2, 2001; Accepted May 17, 2001)

#### 초 록

발굴된 과거 고려청자의 화학성분조성과 물리적 특성에 대한 평가를 하고 미량성분이 청자의 발색에 미치는 영향을 고찰한 결과, 고려 청자 태토는  $Fe_2O_3$ 가 2%,  $TiO_2$ 가 0.8% 함유되어 있었으며, 청자유는 석회·장석유로서  $Fe_2O_3$ 가 1.0~1.2%,  $TiO_2$ 가 0.16% 포함 되어 있었다. 비색청자의 경우 미량성분인  $MnO_2$ 와  $P_2O_5$ 의 함량이 0.37%와 0.76%,  $CuO$ 는 300~500 ppm 정도 함유하고 있었다. 반사율 측정 결과 일반적인 청자가 540~570 nm의 장파장대에서의 반사율이 급격히 떨어지는데 반하여, 13세기 비색 청자의 것은 적색 파장대에서 10%이상 높았다.  $CoO$ 는 미량 첨가로도 유약의 청색 파장대 반사율이 높고, 적색 파장대의 반사율이 급격히 떨어지며 청자 발색에 부정적인 영향을 미쳤다.  $CuO$ 는 0.05%를 첨가했을 경우 적색 파장대에서 반사율 곡선이 높게 나타나고 있어 비색 청자발색에 효과적이었다. 또한 명도를 나타내는  $L^*$ 값도  $CuO$ 가 첨가된 유약이 가장 높았고, 비색청자의 색상은 녹색청자에 비해 맑고 깊은 색감을 보였다.

#### ABSTRACT

Analysis and evaluation of chemical compositions and physical properties of excavated Koryo Celadon were carried. For observing the influence of color variation, micro constituent elements were added to reproduce composition of glaze. The peculiar properties of jedish blue celadon bodies have been observed. The reflexivity of jedish blue celadon bodies is comparatively high all the area from 350 nm to 740 nm wave length. Also, jedish blue celadon glaze includes small amount of iron oxide, but the contents of 0.4%  $MnO_2$ , and 0.8%  $P_2O_5$  are much higher than others. The content of  $CoO$  and  $CuO$  are finely sensitive in developing the unique color of celadon, they lead too much blue or red color.

**Key words :** Koryo celadon, Body, Glaze, Iron oxide, Coloring mechanism

#### 1. 서 론

고려 청자의 독특한 발색은 태토 및 유약의 화학 성분, 소결·용융 번조 분위기, 태토·유약의 소결 용융정도, 유약의 두께 및 표면 상태 등의 특별한 조건에 의해 결정된다.<sup>1-6)</sup> 일반적으로 청자의 발색은 석회·장석 유약에 내포되어 있는 산화철과 산화 티타늄이 환원 소성에 의해  $Fe_2O_3$ 가  $FeO$ 로 그리고,  $TiO_2$ 가  $TiO$ 로 환원되는 것에 따르며 이때 생성된  $Fe^{2+}$ ,  $Ti^{2+}$  이온이 유약의 유리질 구조내에 분포하여 나타내는 이온 발색이기 때문에 번조 분위기에 민감하게 좌우된다.<sup>7)</sup> 이러한 번조 분위기는 로내의 불꽃가스의 성분 조성뿐만 아니라 로압, 번조 온도, 가열 시간, 냉각 조

건 등에 따라서 달라질 수 있다.<sup>8)</sup> 또한 이온 발색의 경우 기본유의 유리질 silicate구조 내로 혼입될 수 있는 또 다른 극히 미량의 발색원소에 의해 뚜렷하지는 않으나 미묘한 발색의 차이를 보일 수 있다.<sup>9)</sup>

고려 청자 재현의 어려움은 이러한 미세한 발색단 및 이온 원소에 작용하는 산화물 등에 의한 영향을 규명하는데 있는 것으로 판단된다. 특히 유약은 용제로 사용한 초목의 재에 함유되어 있는 다양한 미량 성분이 전이원소 산화물에 의해 미묘한 발색 차이를 나타내기 때문이다.

청자색은 대체로 회청, 녹색 및 비청색으로 발색되며,<sup>10)</sup> 이러한 청자색의 정색 발색은  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  주성분의 발색에 대하여  $MnO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $CuO$ ,  $BaO$ ,  $SrO$  등 미량성분에 의한 채색 합성 및 간섭 작용과 상관 관계가 있는 것으로 생각된다.

<sup>†</sup>Corresponding author : htkim@kicet.re.kr

따라서 본 연구는 이러한 미량 성분이 발색에 미치는 영향을 고찰하므로써, 청자의 발색 기구를 규명하여 고려청자의 우수성을 입증하고자 하였다.

2. 실험방법

발굴 도자기편 청자 태도와 유약의 화학 성분, 물성에 대하여 분석하였다. 이를 기초로 하여 여러 가지 조성의 예비 실험을 실시하고 이들 중 가장 양호한 결과를 보인 태도 및 유약을 제조하였다. 유약은 광택유와 반광택 유를 1종씩 선정하였으며 이들 유약에 대하여 미량 성분을 첨가하여 이에 따른 발색 변화를 색도계를 통하여 측정, 발굴된 고려 청자 도자기편의 발색 기구를 분석하였다.

2.1. 고도자 분석

수집된 발굴 청자의 도자기편의 태도와 유약에 대하여 시기별로 구분, 화학 성분 분석을 실시하였고, 유도프라즈마분광기(ICP-OES) 분석방법으로 미량 성분 함유량을 분석하였다. 또한 이들 도자기편의 물리적 특성을 검토하기 위하여 흡수율, 기공률, 진비중 등을 측정하였다. 또한, 도자기편 및 유약의 색도와 반사율은 물체색의 측정 방법(KSA 0066 : 색도 측정계 : Macbeth사의 Color eye 7000A)에 의해 측정하였다.

2.2. 태도 및 유약 제조

고려 청자 발굴 도자기편의 화학 분석 결과를 참고로, 압해 도석, 대명 카올린, 청주 석회석, 부여 장석, 성안 장석 및 김천 규석을 이용하여 비색 청자가 활발히 제조되었던 13세기 초<sup>10)</sup>의 조성과 유사한 태도 및 유약을 제조하였다. 실험에 사용된 원료의 성분분석은 Table 5와 같으며 본 연구에서 제조한 소지와 유약의 평균 입경은 각각 8.41 μm, 10.96 μm이었다.

번조는 가스가마에서 승온 속도 150°C/hr로, 1250°C에서 30분 유지하였다. 이때 환원 개시 온도는 950°C였으며, 환원 시 로내 가스 분포를 측정된 결과 CO 약 4%, O<sub>2</sub> 7%, CO<sub>2</sub> 10% 정도이었고, 최고 온도에서 유지할 때의 가스 분석치는 중성 분위기로서 CO 2%, O<sub>2</sub> 9%, CO<sub>2</sub> 10%의 조건이었다.

2.3. 유약실험

유약 실험은 비색청자 생산 추정 시기인 11세기 말부터 13세기 초에 생산된<sup>10)</sup> 도자기편의 화학 분석 결과를 기본으로 하여 기초 실험하여 가장 양호한 투명 광택유와 반광택 유를 선정하였다. 선정된 유약을 기초로 미량 성분이 미치는 영향에 대하여 검토하기 위하여 SrO-BaO를 0.25~0.5%, MnO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 0.4~0.8%, CuO를 0.05~0.2%, CoO를 0.01~0.05% 교차 첨가하여 독립적인 변수에 대한 발색기구를 평가하였다. 이 때 태도 두께는 5 mm, 유약 두께는 0.15 mm로 하였다.

3. 결과 및 고찰

고려 청자는 중국의 영향을 받은 것은 분명하지만, 중국 청자와는 다른 조형적 차이가 있으며, 특히 발색된 색상이 다르다. 이는 중국 청자의 경우 소지가 철분 함유량이 적은 원료를 사용하는 등 태도와 유약에 사용되었던 천연 원료의 조성에 의한 차이로 볼 수 있다.

청자 유약은 일반적인 투명 광택 유약과는 발색기구가 다소 달라서 유약 중에 내포된 기포와 미량의 미용해 석영 입자, 혹은 제결정화 된 회장석 등에 의해 일반적인 투명 유와 달리 일부 난반사가 일어나므로 태도의 발색이 간접 반사됨에 따라 발색에 미묘한 효과를 주게 된다.<sup>11)</sup> 따라서 철분이 적은 태도를 사용한 중국의 청자가 수청(水靑)색이라면 고려의 것은 오히려 회청색이거나 녹색에 가깝다.

Table 1. Chemical Composition of Excavated Celadon Bodies

Comp. Samples	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	BaO	SrO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NiO	
	11C	75.30	18.13	2.73	0.74	0.39	0.76	2.12 1.46	0.839	0.292	0.032	0.057	0.072	0.015	0.008	0.004
13C	72.08	20.16	3.00	0.47	0.36	0.88	1.95 1.22	0.765	0.140	0.041	0.036	0.069	0.016		0.006	
CC (B)	77.84	14.16	1.84	1.01	0.4	0.5	1.68 1.08	1.41								
comp. samples	Cu	Co	Cr	Zn	Pb	Sn	Ce	Sc	Gd	La	Nd	Pr	Er	Sm	Th	Y
11C	33	14	49	181	51	19	56	10	12	33	28	24	5	8	16	19
13C	62	18	59	69	10	22	82	8	10	43	32	26	7	2	22	20

remark; 11C : 11C Kangjin celadon, 13C : 13C Buan celadon, CC (B) : China ancient celadon (Wolju)

3.1. 태토 분석 결과

태토 분석 결과는 Table 1과 같이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.95~2.12%, TiO<sub>2</sub> 0.76~0.84%이었으며 소성 색상이 모두 회청색으로 발색되고 있다.

가장 유려한 비색을 보이는 13세기의 청자 태토가 산화철 함량이 2%, TiO<sub>2</sub>의 함량은 0.8%이하이었다. 미량 성분은 다른 시기의 것보다 Mn과 Ba 등이 적고 색상이 밝게 나타났다. 또한, 반사율도 가장 높게 나타나고 있어 진하지 않은 태토의 발색이 적절한 상태의 발색 관계임을 알 수 있었다.

또한 13세기 청자태토는 Seger식과 Fig. 1의 조성좌표에서 RO가 0.3~0.4, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 6.48~7.0으로 11세기 것보다 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 높고 RO가 많은 성분조성이므로 소성범위가 넓은 태토(1,250~1,280°C)라는 것을 실험실적으로 측정할 수 있었다.

이들 발굴 도자기편의 물리적 특성을 측정한 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 비색 청자가 가장 활발하게 제작되었던 13세기 도자기편이 부피 비중이 크고 기공률과 흡수율이 적으며 꺾임 강도가 큰 것으로 나타났다.

또한 13세기 조성에 맞춘 실험태토의 경우 과거 도자기편

에 비해 흡수율과 기공률이 작고 강도는 비교적 강하게 나타나고 있는데 이는 사용 원료의 입도 및 소성온도에 의한 영향으로 판단된다. Fig. 2의 SEM 관찰 결과에서 볼 수 있듯이 과거 도자기편의 경우 태토면이 거칠고 미 반응된 입자들이 보이고 있는 반면, 실험 태토는 비교적 기공의 크기가 작고 균일한 미세조직을 나타내고 있다. 또한 실험 태토의 경우 발굴 도자기편 보다 약간 높은 반사율을 나타내고 있는데, 이는 태토면을 이루고 있는 입자 크기와 소결도에 의한 영향으로 생각된다.

0.16 ~ 0.17 K <sub>2</sub> O		
0.04 ~ 0.07 Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.48 ~ 7.05 SiO <sub>2</sub>
0.04 ~ 0.06 CaO		
0.03 ~ 0.11 MgO		

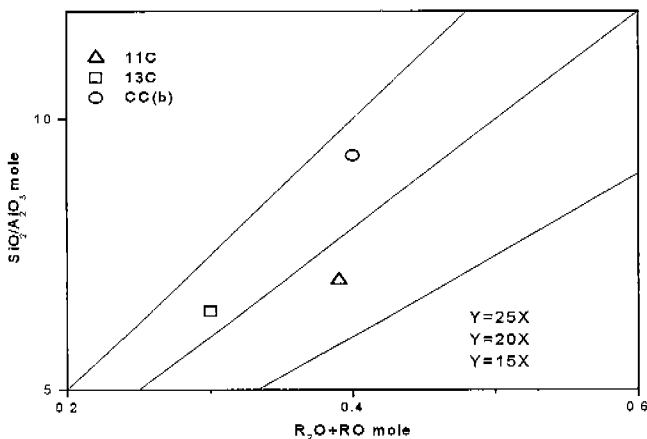


Fig. 1. The slope and distribution of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>-RO of excavated celadon bodies.

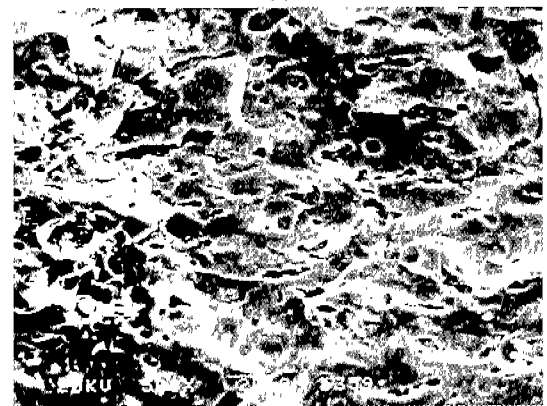
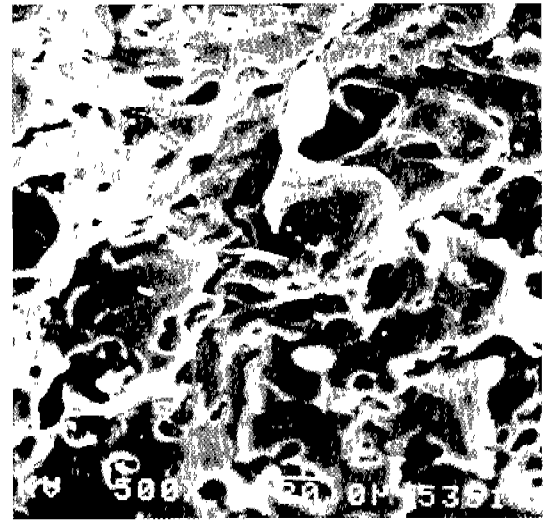


Fig. 2. The SEM of celadon bodies. (a) excavated (b) tested.

Table 2. Physical Properties of Excavated and Tested Bodies

Samples	Item	Bulk density	Water absorption (%)	True density	Porosity (%)	Modulus of rupture (MPa)
11C		2.22	1.08	2.5291	12.22	45.2
13C		2.24	0.26	2.4625	9.04	61.3
Tested sample		2.33	0.12	2.519	4.85	65.8

Table 3. Chemical Composition of Excavated Celadon Glaze

Comp. Samples	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	BaO	SrO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NiO
	11C	63.43	13.41	5.10	2.64	13.23	2.18	1.23	0.96	0.157	0.231	0.579	0.035	0.148	0.108	0.001
13C	64.46	14.09	4.77	2.38	12.24	2.05	1.078	0.82	0.161	0.373	0.759	0.044	0.123	0.125	0.001	0.001
CC(G)	60.79	11.03	3.02	1.74	15.96	2.25	2.60		1.14	0.16	0.20					
Comp. Samples	Cu	Co	Cr	Zn	Sn	Pb	Ce	Er	Gd	La	Nd	Pr	Sm	Sc	Th	Y
	11C	319	106	25	87	875	0	51	5	7	30	39	15	6	3	25
13C	508	49	20	56	719	1	70	3	9	28	66	25	2	5	34	18

remark ; 11C : 11C Kangjin celadon, 13C : 13C Buan celadon, CC (G) : China ancient celadon (Wolju)

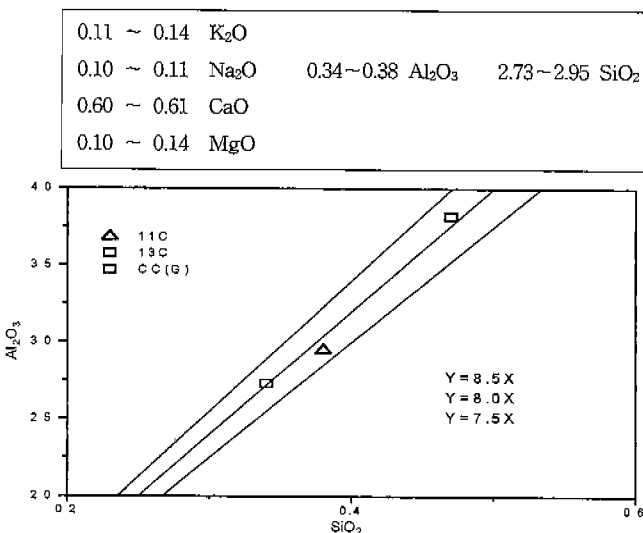


Fig. 3. The slope and distribution of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>-RO of excavated celadon glaze.

3.2. 유약 분석 결과

유약의 화학 성분 분석 결과 Table 3과 같으며, 고려청자와 중국청자는 석회유를 기본으로 하는 기본 조성에서 큰 차이를 보이지 않고 있으나 MnO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함유량이 0.2~0.3%, 0.5~0.7%로 2, 3배 많게 나타났다. 미량 성분은 비색청자를 나타내는 13세기 유약의 CuO, CoO의 함량이 500, 50 ppm 정도이었다. 이들 유약의 Seger식과 기울기는 Fig. 3와 같이 0.34~0.38 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=8.0의 조성으로 13세기 유약이 무균열 광택유 범위의 조성임을 확인할 수 있었다. 11, 13세기 유약의 반사율 측정 결과는 Fig. 4와 같으며, 13세기 청자는 독특한 반사율 곡선을 보이고 있다. 즉, 11세기 청자의 경우 적색 파장대의 반사율이 급격히 저하하는데 비하여 13세기 청자 유약의 반사율 곡선은 이 부분의 반사율 크다. 즉, 광학적으로 볼 때 적색을 함유한 청자임을 알 수 있다.

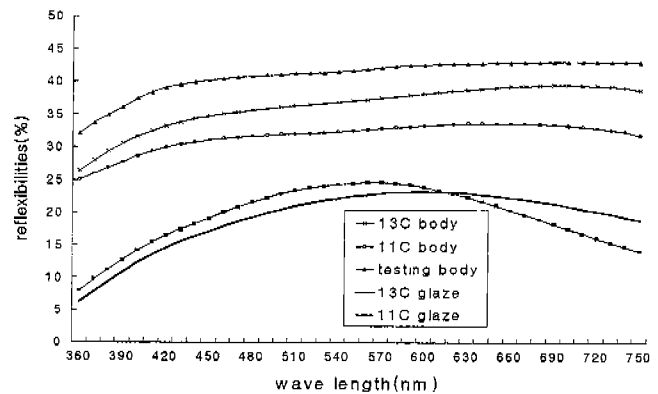


Fig. 4. Reflexibilities of body and glaze.

3.3. 유약의 특성

Table 4의 유약 성분 조성은 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 8.0은 광택유, 5.0는 반광택 범위였음이 유약 용융 실험결과와 일치하였다. 또한, 발색원소 Fe, Ti, Mn, P, Cu, Co의 조성을 Fig. 5와 6과 같이 첨가한 유약의 반사율 측정 결과는 Fig. 7, 8, 9와 같다.

실험 유약의 경우 기초 유약의 색도는 11세기나 13세기 유약과는 달리 색상이 오히려 회청에 가까운 발색을 보이고 있다. 이는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub>의 환원에 의한 발색인 것으로 생각된다. 기초유에 SrO와 BaO를 첨가한 유약은 기초유와 큰 차이를 확인 할 수 없었으나 반사율이 약간 높아지고 있음을 알 수 있었다. 이는 BaO와 SrO의 용제 작용에 의한 것으로 생각된다. 그러나 MnO<sub>2</sub>와 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 증가시키면 적색 부근의 파장에서 반사율이 약간 높게 나타나고 있으며, Fig. 10과 같이 L\*a\*b\*값도 녹색과 청색의 발색이 다소 약해지고 적색 방향으로 색상이 약간 이동하는 경향을 보이고 있다. Mn은 일반적으로 유리중에서 적자색 및 갈색을 나타내며, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 결합하여 환원염에서 핑크색으로 발색하기 때문에 이들에 의한 영향으로 사료된다. 이를 만셀 기호로 환산했을 경우 5G(녹색)에서 10GY(황록) 쪽으로 색상이 이동

Table 4. Chemical Composition of Testing Glaze

comp.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO <sub>2</sub>
transparent glossy	64.09	13.65	4.89	2.54	12.90	1.93	1.10	0.18	0.01	0.06
semi matt	57.43	19.57	5.05	2.62	13.32	1.99	1.14	0.20	0.01	0.08

Classifying	Seger formular					
Transparent glossy	0.13	K <sub>2</sub> O	0.36	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	SiO <sub>2</sub>
	0.11	Na <sub>2</sub> O				
	0.63	CaO				
	0.13	MgO				
Semi matt	0.15	K <sub>2</sub> O	0.50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.49	SiO <sub>2</sub>
	0.10	Na <sub>2</sub> O				
	0.62	CaO				
	0.13	MgO				

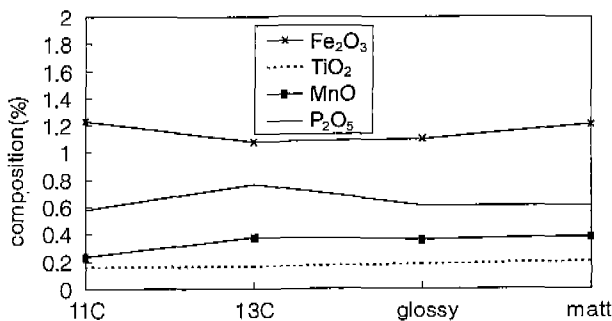


Fig. 5. The composition of major coloring element of celadon glaze.

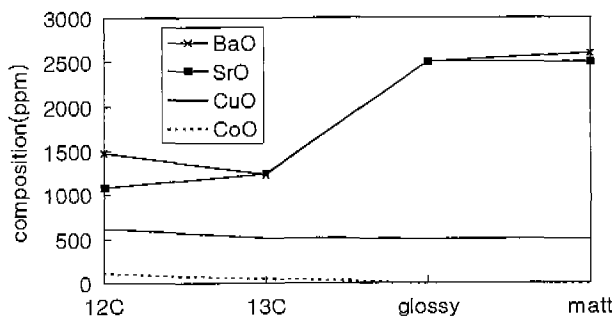


Fig. 6. The composition of micro constituent of celadon glaze.

하고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 사실로 미루어 MnO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 첨가는 장파장대에서의 반사율을 증가시키는 것으로 판단되며 이는 회청 계열의 발색에서 비교적 녹색이 강한 비청색 쪽의 발색으로 이동하고 있음을 나타내고 있다. 한편 Fig. 9에서 보는 바와 같이 CoO를 첨가한 시료의 경우 0.01% 정도의 미량 첨가로도 청색 파장에서의 반사율이 높고 적색파장의 반사율은 급격히 떨어지고 있으며,

CuO의 경우는 0.2% 첨가했을 경우 육안으로 적색이 확인 될 정도의 발색이지만, 0.05%를 첨가하였을 경우 비청색의 과거 도자기편과 유사한 반사율 곡선을 나타내고 있어 가장 효과적이었다. 이러한 실험결과는 Fig. 10의 색도 좌표계에서 보는 바와 같이 11세기 청자의 경우 녹색이 강한 녹색자의 발색을 보이는 것을 알 수 있으며, 13세기 청자의 경우 적색방향으로 많이 이동되어 있음을 알 수 있다. CuO의 첨가는 유리중에서 강한 환원 소성에서는 Cu<sup>2+</sup>와 Cu<sup>0</sup>를 생성, 콜로이드에 의한 청색 또는 적색을 나타내는 발색 영향으로 생각된다. 이는 반사율 측정 결과에서도 언급하였듯이 570 nm 이상의 장파장대에서의 반사율이 높은 것과 일치하고 있다. 또한, 명도를 나타내는 L\*값의 경우 13세기 청자가 가장 큰 수치를 보이고 있는데, 이는 빛의 3원색인 청·적·녹색의 합성이 백색으로 나타나는 효과와 같은 것으로 생각된다. 이러한 결과로 보아 비색 청자의 색상은 적색을 함유한 청색으로서 여타 청자에 비해 밝고 선명한 색상을 보인다고 할 수 있다.

특히 반광택 유약에서 그러한 경향이 두드러지고 있는 바, 고려시대 순청자의 대부분이 반광택이었던 것과 일치하고 있다. 이는 발색 원소의 이온 농도가 광택 투명유에서 보다 높은 때문인 것으로 생각되며 또한, 광택 유약의 경우 소지 발색의 영향을 크게 받게 되지만, 반광택 유약은 투광성이 떨어지기 때문에 소지 발색이 유약 발색에 미치는 영향이 훨씬 작기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 소지 자체에서 발색된 색상의 간섭이 작으므로 미량 성분에 의한 유면의 발색 효과가 훨씬 높은 것으로 볼 수 있다.

이들의 성분 분석치를 비교해 보면 13세기의 청자유는 특히 Co의 함량이 적고 Cu, Mn과 P 함량이 높다. 즉, 비청색을 나타내는 청자는 Co의 함량이 낮고 환원소성에서 적색계를 나타낼 수 있는 MnO<sub>2</sub>와 CuO의 함량이 높는데서 기인한 것으로 해석할 수 있다. 특히 P의 함량이 높다는 것은 유약의 분상을 초래할 수 있기 때문에<sup>12)</sup> 유약이 훨씬 부드러운 느낌을 가져올 수 있을 것으로 생각된다.<sup>4)</sup>

#### 4. 결 론

고려 청자에 대한 화학성분 조성과 물리적 특성 평가를 하고 미량성분이 청자 발색에 미치는 영향에 대하여 색도를 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고려 청자 태토는 조성중에 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 2%, TiO<sub>2</sub>가 0.8

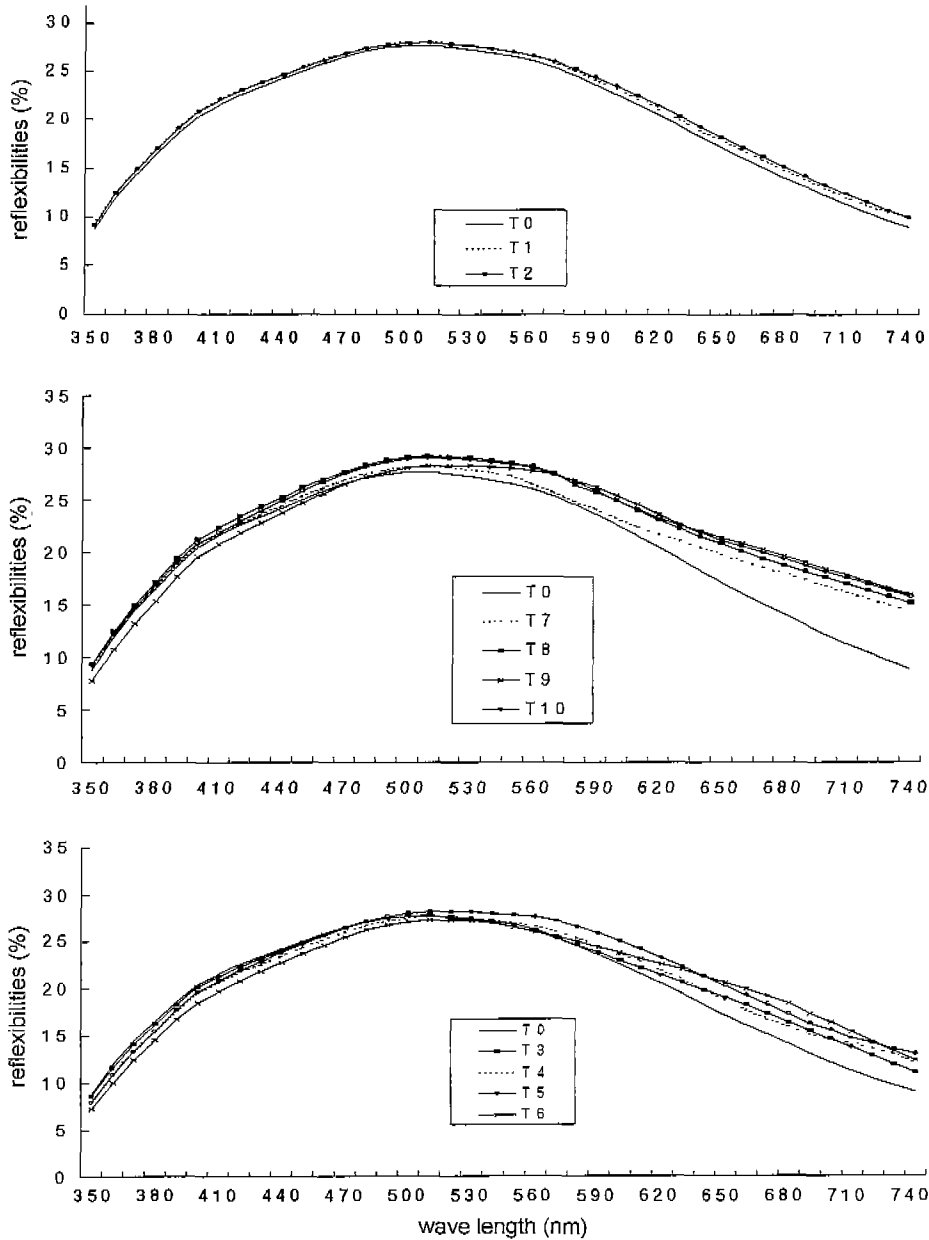


Fig. 7. Reflexibilities of opaque celadon glaze.

T<sub>0</sub>: basic glaze, T<sub>1</sub>: BaO-SrO 0.25%, T<sub>2</sub>: BaO-SrO 0.50%, T<sub>3</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, T<sub>4</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%, T<sub>5</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, T<sub>6</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%, T<sub>7</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, T<sub>8</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%, T<sub>9</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, T<sub>10</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%.

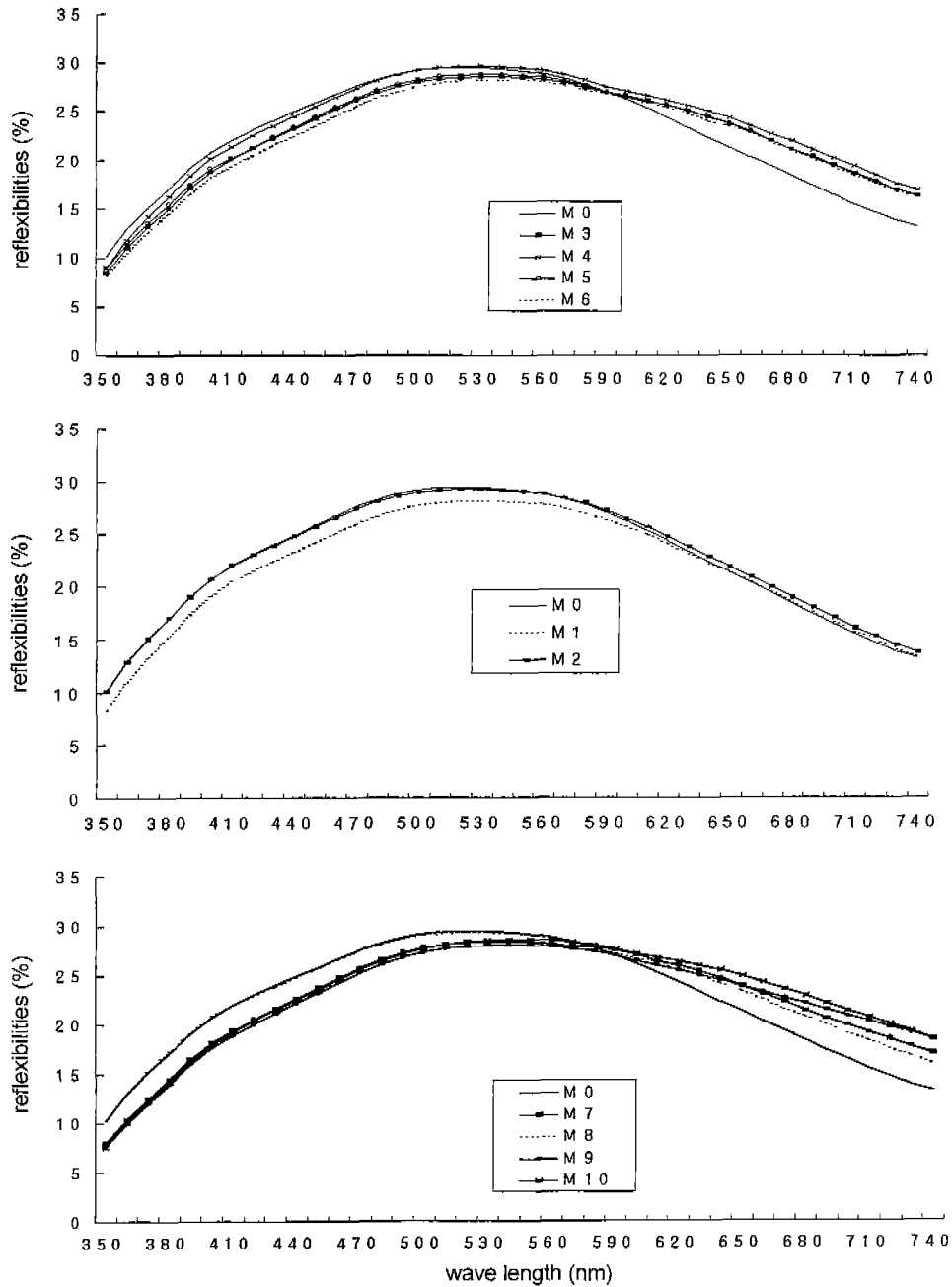
%함유되었으며, 또한 청자유는 석회·장석유로서 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 1.0~1.2%, TiO<sub>2</sub>가 0.16%이었다. 비색청자의 경우 미량성분인 MnO<sub>2</sub>와 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량이 0.37%와 0.76%, CuO가 300~500 ppm 정도 함유하고 있었다.

2. 반광택 유약의 명도와 반사율이 광택 투명유에 비해 2~3% 정도 높았다. 이는 미량 성분을 첨가한 반광택 유약이 발색원소의 용액상에 대한 이온 농도가 광택유보다 높고, 또한 소지의 발색이 유약을 통하여 간접 반사되기

때문이다.

3. 반사율 측정 결과 일반적인 청자가 540~570 nm의 장파장대에서의 반사율이 급격히 떨어지는 데 반하여, 13세기 비색 청자의 것은 적색 파장대에서 10%이상 높았다. 이는 MnO<sub>2</sub>와 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 첨가한 유약이 회청색의 발색으로부터 보다 강한 녹색 계열의 비청 발색을 보이고 장파장대에서의 반사율이 증가한 결과와 같았다.

4. CoO는 미량 첨가로도 유약의 청색 파장대 반사율이



**Fig. 8.** Reflexibilities of semimatt celadon glaze.

M<sub>0</sub>: basic glaze M<sub>1</sub>: BaO-SrO 0.25%, M<sub>2</sub>: BaO-SrO 0.50%, M<sub>3</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, M<sub>4</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%, M<sub>5</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, M<sub>6</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%, M<sub>7</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, M<sub>8</sub>: BaO-SrO 0.25, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%, M<sub>9</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%, M<sub>10</sub>: BaO-SrO 0.50, MnO<sub>2</sub> 0.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6%.

높고, 적색 파장대의 반사율이 급격히 떨어지며 청자 발색에 부정적인 영향을 미쳤다. CuO는 0.05%를 첨가했을 경우 적색 파장대에서 반사율 곡선이 높게 나타나고 있어 비색 청자발색에 효과적이었다. 또한 명도를 나타내는 L\*값도 CuO가 첨가된 유약이 가장 높았고, 비색청자의 색상은 녹청자에 비해 맑고 깊은 색감을 보였다.

## REFERENCES

1. N. Wood, I. Freestone and C. Stapleton, "Some Technological Parallels between Chinese Yue Wares and Korean Koryo-celadons," *Monogr. Mater. Soc.*, 2 (ceramics cultural heritage), 175-182 (1995).
2. P. B. Vandiver and W. D. Kingery, "Composition and Struc-

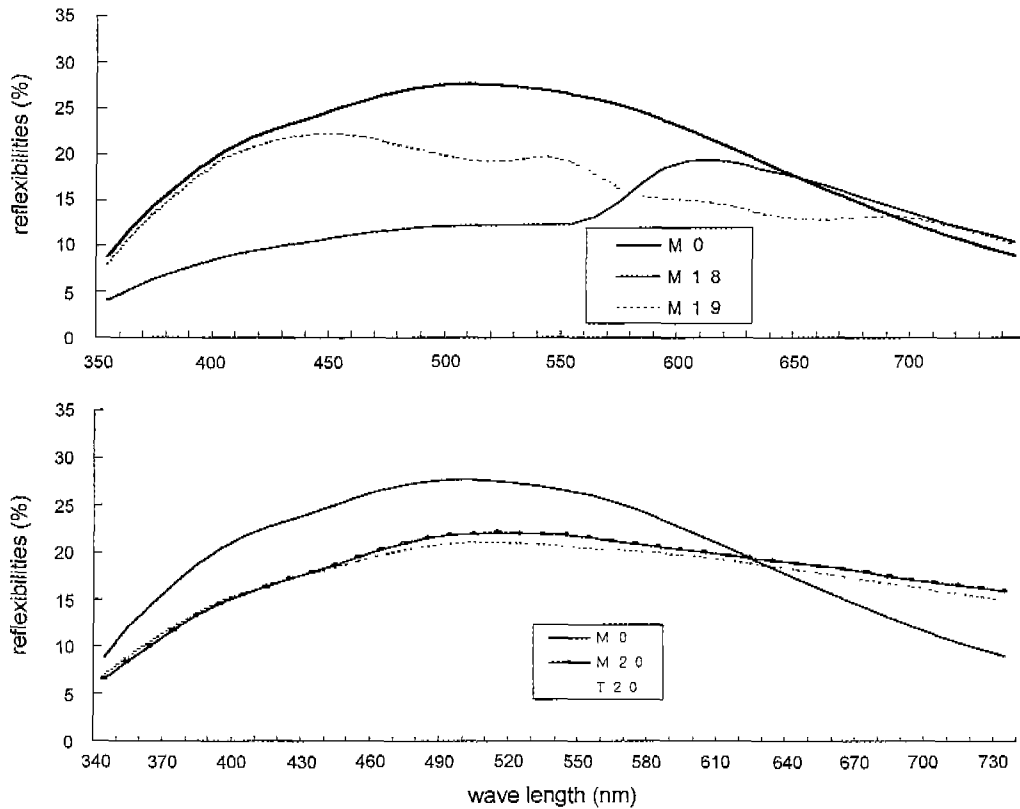


Fig. 9. Reflexibilities as adding CoO & CuO of micro constituent.  
 M<sub>18</sub>: CuO 0.2%, M<sub>19</sub>: CoO 0.01%, M<sub>20</sub>: semimatt (CuO 0.05%), T<sub>20</sub>: opaque (CuO 0.05%).

Table 5. Chemical Composition of Raw Materials

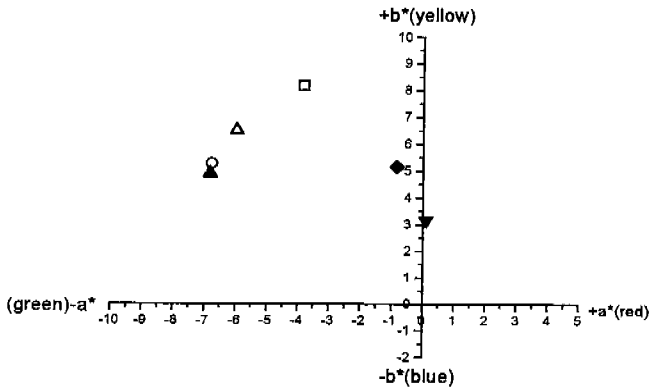
Samples \ Comp.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	BaO	SrO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NiO	Ig Loss
Aphae potterystone	75.8	14.9	1.18	0.13	0.13	0.36	3.44	Tr	0.02	0.04		0.01	0.03	Tr	Tr	Tr	4.56
Sungan feldspar	69.02	16.83		0.027	0.2	0.11	11.62	1.48	0.024			0.011	0.21	0.04	0.002	0.001	0.36
Chungju limestone	2.53	0.18	0.01		53.8	Tr	0.01	Tr									42.9
Manju talc	57.1	0.25	0.34	0.01	0.73	33.2	0.01	0.08									8.0
Quartz	99.06	0.04	0.19			0.26	0.55										0.05
Daemyung kaolin	44.6	36.6	3.16	0.31	0.11	0.71	0.6	0.07	0.02	0.01		Tr	0.02	Tr	Tr	Tr	13.9
Muan clay	55.35	27.38	0.67	0.19	0.46	2.23	0.60	0.03	0.02								9.74
Oak ash	6.71	1.56	0.20	0.03	47.0	2.34	1.82	0.10	1.15	0.35	0.03	0.03	0.10	0.17	Tr	Tr	38.4
Rice hull ash	68.5	6.27	2.36	0.31	4.37	2.36	10.08	0.68	2.57	1.01	0.12	0.01	0.07	Tr	Tr	Tr	1.27
Pine tree ash	17.8	7.22	2.24	0.19	26.6	7.30	3.86	0.56	3.04	2.06	0.13	0.05	0.43	0.23	Tr	Tr	28.4

ture of Chinese Song Dynasty Celadon Glazes from Longquan," *Ceramic Bulletin*, **63**(4), 612-616 (1984).

- C. Choo and K. Koh, "Technology of Traditional Korean Celadons Relative to Modern Developments," *Monogy. Mater. Soc.*, 2 (ceramics cultural heritage), 141-152 (1995).
- B. U. Kim, C. H. Chai and D. G. Jaung, "Udies on Manufacturing of Koryo Celadon," 국립공업연구소 연구보고, **123**, 67-75 (1973).
- P. B. Vandiver, L. A. Cort and C. A. Handwerker, "Vari-

- ation in the Practice of Ceramic Technology in Different Cultures : A Comparison of Korean and Chinese Celadon Glazes, Cross-craft and Cross-cultural Interactions In Ceramics," (Ed. M. D. Notis), *Ceramics and Civilization ser.*, Vol. 4, Am. Ceram. Soc., Columbus, Ohio. (1989)
- R. Newman, "A Compositional and Microstructural Study of Korean Celadon Glazes of the 11th to 15th Centuries," *Materials Research Society Symposium Proceedings*, **185**, 429-434 (1991).





**Fig. 10.** The color chromatographs of celadon glaze.  
 □ : 11C ▼ : 13C ▲ : testing (base) ○ : Sr-Ba adding  
 △ : Sr-Ba, Mn, P adding ◇ : Sr-Ba, Mn, P, Cu adding.

7. T. Moritani *et al.*, Glass Engineering Handbook, Asakura-shyorin Co. (1973).
8. 최의석 외 2인, “청자, 분청, 백자소지의 환원불성,” 도자기 심포지움, 9, 3-31 (1996).
9. S. Onishi, “Technique of Potter,” Rikoukakushya (1992).
10. 정양모, 한국의 도자기, 문예출판사 (1994).
11. P. B. Vandiver, “Ancient Glazes,” Scientific American (1990).
12. W. H. Earhart, “Use of Phosphate Opacifying Agents in Sanitary Ware Glazes,” *Bull. Am. Ceram. Soc.*, 20(9), 118-123 (1949).