

자기소지의 소성과정중 열변형과 색변화에 관한 연구 (I)
A Study on the Effect of Thermal Deformation and Colour
Changes during the Firing Processes of Porcelain Clay (I)

청주대학교 예술대학 공예학과
김 종 태

1. 서론

2. 실험 방법

2 - 1 원료

2 - 2 시편 제작

2 - 3 건조

2 - 4 재입

2 - 5 소성

2 - 6 왜곡도

3. 결과 및 고찰

3 - 1 왜곡도

3 - 2 소지색상

4. 결론

참고 문헌

ABSTRACT

There were the changes of shapes and color tones when the soil materials - e.g. Blue-Porcelain, White-Porcelain, Bunchong, mixed A and B, mullite, Sanchong and Ongki - used by most domestic ceramic artists - were glazed at 950°C, 1200°C, 1250°C, 1280°C, and 1300°C.

After the materials were dried out at 120°C in an electric oven, they were mixed with water, keeping the percentage of moisture content 25% and kneaded specimens which are hexahedron by 250 × 30 × 8 were produced and dried after calibrated at 200mm interval with a vernier caliper.

After the materials were dried and glazed, they showed few shape-changes at 950°C but began to changed at 1200°C, especially Bunchong and Ongki made rapid changes.

In the case of color-change, White-Porcelain changed very little. The color of Blue-Porcelain, mixed A and B, Sanchong, Mullite changed to Jaune brilliant as temperature went up but Bunchong and Ongki changed to dark brown or dark chocolate under the same conditions.

This study aims at suggestion of the basic data which minimize failure rates by recognizing the property of the materials on the basis of this study and regulating shape-change phenomena and sensitive changes of color when ceramic artists work.

논문 요약

국내에서 도예가들이 가장 많이 사용하고 있는 청자토, 백자토, 분청토, 혼합 A토, 혼합 B토, 물라이트토, 산청토, 옹기토들을 950°C, 1200°C, 1250°C, 1280°C, 1300°C로 소성했을때의 자화왜곡도와 발색 변화를 살펴보았다.

각 소지 원료를 전기로에서 120°C로 완전히 건조한 다음, 함수율이 25%가 되도록 일정하게 유지시켜 혼합한후 반죽하였다. 시편은 250 x 30 x 8mm의 직육면체로 제작하였다. 시편에 버니어 클레버스로 200mm 간격의 눈금을 표시한후 충분히 건조시켰다.

건조후 전기로에서 소성하였을 때의 소지들의 왜곡도 변화를 살펴보면 950°C에서는 변형이 일어나지 않았고, 1200°C부터 왜곡현상이 발생되었다. 특히 분청토와 옹기토가 급격한 변화를 보였다.

발색변화를 살펴보면 백자소지 자체는 거의 변화가 없었다. 청자토, 혼합A토, 혼합B토, 산청토, 물라이트토는 고온으로 올라갈수록 Jaune brilliant 색을 띄었다. 그러나 분청토, 옹기토는 dark brown 내지 dark chocolate 색으로 변화되었다.

본 연구는 이러한 소지실험을 토대로 각 소지의 특성을 사전에 인식하여, 도예가들이 작업에 임할 때 고려해야하는 작품의 열변형과 민감한 색상변화를 조절할 수 있게 함으로서 작업 실패률을 최소화할 수 있는 기초자료를 제시하고자 하였다.

이 논문은 1996년도 청주대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

1. 서론

흙은 지구의 지각을 구성하는 주요한 부분으로서 다양한 종류의 광물로 구성되어진 암석이 오랜 세월을 통해 풍화된 미세한 입자의 혼합물이다. 물과 더불어 이 흙의 존재로 인해 지구는 이 우주속의 가장 대표적으로 살아있는 행성이 되었다. 지구의 지표면을 주로 구성하고 있는 흙은 수백 종 이상의 광물로 구성되어 있으며, 그 중에서 도자기용 점토 또한 최소 30가지 이상의 분자식으로 표현될 수 있는 광물로 이루어져 있어 매우 복잡한 성질을 나타내고 있다. 흙에 대해서 다양한 각도로 바라보는 것이 가능한데 이러한 시각에 따라 나타나는 흙에 대한 인간의 이용은 도예가, 지질학자, 토목공학자, 재료공학자, 농학자 등 많은 학문과 예술의 영역을 창조해내었다. 도예적인 입장에서 흙은 예술 표현의 한 영역으로서 무진한 소재를 제공하여 준다. 도예가는 흙으로부터 적절한 가소성과 내화성을 가진 부분을 추출하여 도자기 성형용 점토로 이용하고, 가소성을 가지지 못한 부분은 유약원료와 소지첨가제 등으로 이용하고 있다.

도예적인 목적에서 바라볼 때 소지에 있어서 중요한 요소를 대별하자면 가소성, 내화성 및 소성색상을 들 수 있다. 가소성은 성형의 용이성과 건조강도 등에 영향을 주고 있지만 현실적으로 가소성이 적절한 흙은 구하기가 용이하다. 또한 다소 가소성이 적절치 않더라도 작가의 성형 능력에 따라 그 허용 범위가 넓어질 수 있으므로 본 연구에서는 주목의 대상으로 삼지 않고자 한다. 그 반면 점토의 내화성은 소성온도와 소성변형에 큰 영향이 미치며, 소성 색상은 무유소성에 의한 작품 활동의 영역에서 그 가치가 커지는 경향이 있으므로 주목해 볼 가치가 있다고 판단된다.

도예작업에서 사용되고 있는 소지는 흙이 산출되는 지역이나 소지를 제조하는데 사용하는 원료조합비와 사용 원료의 광물 구성비에 따라 수많은 종류의 소지가 제조될 수 있다. 따라서 그 많은 소지를 모두 화학분석한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이며, 작품활동에 있어서 필수 불가결한 요소가 되는 것도 아닐 것이다. 그럼에도 불구하고 소지의 물성을 파악한다는 것은 여전히 도예작업에 있어서 매우 중요한 일이다. 그러므로 화학적인 분석과정을 거치지 않고도 미지의 흙을 도예작업의 환경 안으로 이끌어들이는 기법의 연구는 현실적으로 작가의 작품활동 영역을 폭넓게 하는데 있어서 매우 중요한 기초적인 일인 것이다. 작가의 작품세계에 따라 특수하게 제조되는 소지는 작가 개인의 작품활동 영역에 속하는 것이다. 특수한 소지를 개발하고자하는 연구는 작가 자신을 위해 매우 중요한 의미를 갖는다.

그러므로 본 연구에서는 이러한 특수 소지의 개발을 예비하는 일단계로서 일반적으로 널리 사용하고 있는 8가지 소지를 선별하였다. 동시에 도예가들이 자신의 작업장에서 현실적으로 연구를 시도해 볼 수 있는 방법을 모색하였다. 각 소지들을 화도별로 소성하고 난 후 소지 자체의 발색도와 자화왜곡률을 측정함으로써 소지의 소성 특성을 조사하였다.

본 연구의 목적은 차후 이러한 관찰을 토대로 도예가들에게 작업 실패률을 최소화하고, 작업결과를 예측 가능케 하는데 있다.

2. 실험 방법

2-1 원료

본 실험에 사용한 소지는 주로 도예가들이 가장 많이 사용하는 백자토, 청자토, 혼합A토(일명 무극토), 혼합B토(일명 웅진토), 산청토, 물라이트토(일명 배토), 분청토, 옹기토를 전기로에서 120℃로 건조시켜 200mesh에 체가름했다. 소지의 특성상 조립의 마사 성분을 함유한 흙의 경우에는 체가름과정을 생략하였다. 건조된 원료에 물(H₂O)을 첨가하여 함수율 25%가 되도록 혼합, 반죽하였다. 또한 원료를 구성하는 광물의 종류 및 함량을 정성적으로 비교해보기 위하여 X-ray 회절분석기(Rigaku, D/Max. 3, Japan)를 이용하여 X-ray 회절패턴을 측정하였다.

2-2 시편제작

반죽된 점토를 이용하여 250 x 30 x 8mm 크기로 직육면체형의 시편을 제작하였으며, 각 시편 위에 버니어캘리퍼스로 200mm 간격으로 '+' 모양의 눈금을 표시하였다.

2-3 건조

건조 중에 시편이 휘지않도록 수시간 만에 한번씩 뒤집어 놓으면서 풍건한 다음, 120℃ 전기로에서 하루동안 유지하면서 완전히 건조하였다.

2-4 재입

전기로에 Fig. 1과 같이 특수한 형상의 지주를 제작 설치하고, 지주 위에 각 시편에 표시된 '+' 모양의 표점을 맞추어 정렬하였다.

2-5 소성

전기로에서 950℃, 1200℃, 1250℃, 1280℃, 1300℃ 로 각각 산화소성하였다.

가마에는 전기가마, 가스가마, 석유가마, 등요 등 다양한 가마가 있다. 도자기의 소성특성은 소성온도, 소성과정, 소성 분위기 등에 따라 크게 좌우된다. 그러므로 세가

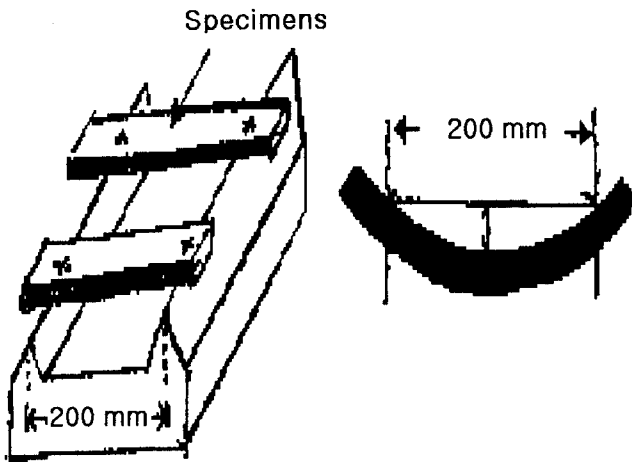
지 요소를 일정하게 하는 것이 중요하다. 가마들 중에서 여러번 소성하였을 때 이 세 가지 요소가 가장 재현성있게 나타내는 것이 전기가마이므로 본 연구에서는 전기가마를 소성용 가마로 채택하였다.

소성하였을 때 모든 가마가 온도구배를 나타내므로 가마내의 위치에 따라 온도 편차가 존재하게 된다. 따라서 본 연구에서는 전기가마 속의 일정한 위치에 시편을 설치한 후 소성하였다.

2 - 6 왜곡도

왜곡도는 다음식에 의해 산출하였다. 소성온도별로 5개의 시편을 측정하고, 그 중에서 양호한 3개의 실험값을 선정하여 평균치를 구하였다.

$$\text{왜곡도}(\%) = \frac{\text{삼각지지대의 간격} - \text{왜곡 깊이}}{\text{삼각지지대의 간격}} \times 100$$



(a) before firing (b) after firing
Fig 1. Schematic representation of the slump test

3. 결과 및 고찰

3 - 1 왜곡도

Table 1에 각 소지의 종류별, 소성온도별 왜곡도의 측정값을 정리하여 나타내었다. Table 1에서 왜곡도가 100%로 나타나는 것은 변형이 전혀 발생되지 않는 경우이며, 수치가 작아질수록 변형이 커지는 것을 의미한다. 또한 Fig. 2에 왜곡도의 변화도를 나타내었다.

소성온도 \ 소지종류	950℃	1200℃	1250℃	1280℃	1300℃
White-ware	100	96.80	95.45	95.45	95.40
Celadon ware	100	96.78	94.08	92.50	92.30
Mixed A	100	96.84	96.50	95.45	94.90
Mixed B	100	98.30	96.40	96.20	95.00
Sancheung	100	97.20	97.00	96.50	96.00
Mullite	100	98.00	97.96	97.90	96.15
Bun cheung	100	93.60	89.53	89.53	89.53
Ong gi	100	89.93	89.88	89.63	84.88

Table 1. Experimental data for slump test. (단위 : %)

Table 1과 Fig. 2에서 볼 수 있는 것과 같이 8가지 종류의 소지는 초벌온도인 950℃에서는 전혀 왜곡이 발생되지 않은 것으로 보아, 이 온도에 이르기까지는 소성에 의한 기물의 변형은 발생되지 않는 것으로 나타났다. 초벌에서 균열 등 실패가 발생한다면 열변형에 원인이 있는 것이 아니라 초벌작품의 건조 정도, 560℃에서 SiO₂의 급작스런 팽창, 또는 소성 미숙등으로 보는 것이 좋다.

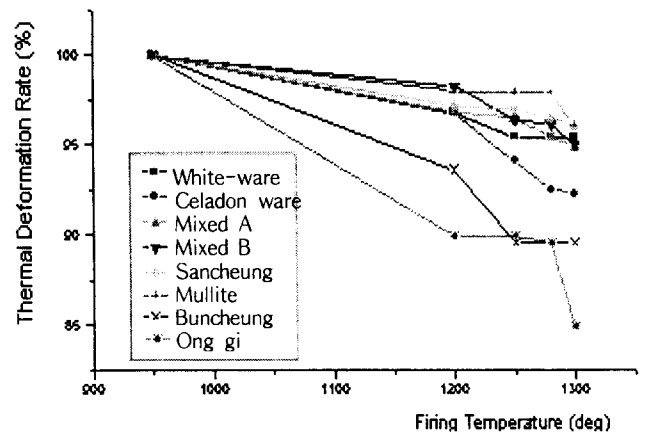


Fig 2. Variations of thermal deformation depending on the firing temperature and clays.

가장 열변형이 크게 일어난 소지는 옹기토이고, 그 다음은 분청토, 청자토의 순서이었다. 가장 적은 열변형이 일어난 소지는 플라이트이었다. 그 다음은 산청토, 혼합 B토, 혼합 A토, 백자토, 청자토의 순서로 열변형이 적게 발생되었다.

소성온도별 열변형도를 살펴보면 옹기토는 1200°C가 되기 전에 현저한 열변형이 일어났으며, 1280°C-1300°C에서 다시 급격한 열변형이 발생되므로 주의가 필요함을 알 수 있었다. 분청토의 경우 1200°C에서 1250°C 사이에서 큰 열변형이 일어나며, 청자토의 경우 1200°C-1280°C 범위에 걸쳐 가장 큰 변형이 일어났다. 혼합 B토의 경우에는 1200°C까지는 열변형이 작으나 그후 1300°C에 이르기 까지 계속 열변형이 발생하고, 백자토의 경우 1250°C까지 열변형은 크지만 그 후에는 안정화된다.

Fig.3에 X-ray 회절패턴을 나타내었다. 정성적인 분석에 의하면 내화도를 증가시키는 규석과 카올린나이트를 많이 보유하고 있는 원료는 백자토, 산청토, 혼합 A토, 혼합 B토로 나타났다. 이 중에서 백자토와 산청토는 회장석의 함량이 적고 혼합 A토, 혼합 B토는 높아 내화도가 백자와 산청토, 혼합 A토, 혼합 B토의 순서로 높게 나타난 왜곡도 실험 결과와 잘 일치되었다. 또한 내화도를 감소시키는 역할을 하는 철분과 칼슘 성분을 다량 함유한 원료는 옹기토, 분청토, 청자토 이었다. 이 것 또한 열변형의 정도를 나타내는 왜곡도 실험과 그 결과가 잘 부합하는 것으로 나타났다.

따라서

① 백자토

1300°C 까지 사용할 수 있으나 1250°C에 도달하기 까지 열변형이 서서히 발생하므로 1150°C-1250°C범위에서 소성에 주의할 필요가 있다.

② 청자토

1280°C까지 급격한 열변형이 발생하는 것으로 보아 1220°C-1250°C 정도가 적정온도이다.

③ 혼합A토 (일명 무극토)

1200°C-1300°C 범위에서 열변형이 서서히 일어나므로 1300°C 까지 소성범위가 넓다.

④ 혼합B토 (일명 웅진토)

혼합 A토와 같이 소성범위가 넓으나 혼합A토 보다는 1200°C부터 1300°C 사이에서 왜곡이 조금 크게 일어난다.

⑤ 산청토

1200°C-1300°C 범위에서 열변형이 서서히 일어나므로 1300°C까지 소성범위가 넓으며, 혼합A 및 B토 보다 열변형이 적게 일어난다.

⑥ 플라이트토 (일명 배토)

1280°C까지 열변형이 가장 작게 나타나며, 1280°C-1300

°C에서 급격한 열변형이 일어나므로 조금은 주의할 필요가 있다. 1300°C까지 소성범위가 넓다.

⑦ 분청토

1250°C 까지 큰 열변형이 일어나므로 1150°C-1250°C 범위에서 주의해야할 필요가 있다. 소성온도는 1220°C 정도가 적당하다. 이는 Fe₂O₃이 용융작용을 일으킨 결과이므로 고온소성은 피하는 것이 좋다.

⑧ 옹기토

1200°C가 되기 이전에 열변형이 이미 가장 크게 발생하였다. 이것은 Fe₂O₃ 와 유기물질을 함유한 것이기 때문에 1200°C 이하로 소성하는 것이 좋다.

3 - 2 소지색상

소성온도 및 소지의 종류에 따른 색상의 변화를 Fig. 4에 사진으로 나타내었다. 또한 Table 2에 각 소지를 950°C와 1300°C로 소성했을 때 나타나는 색상을 소지 종류별로 정리하여 나타내었다. 950°C-1300°C 사이의 온도로 소성하였을 때 나타나는 색상은 Table 2에 나타난 색상의 중간 색상으로서 소성온도에 비례하는 gradation을 나타내었다.

Clay	colour		remark
	#1	#5	
white-ware	white	light white	
cleadon ware	orange	jaune brilliant	
mixed A	orange	jaune brilliant	
mixed B	orange	jaune brilliant	
san cheung	orange	jaune brilliant	
mullite	light orange	jaune brilliant	
bun cheung	orange	dark brown	
ong gi	coral	dark chocolate	#3-5 : gloss and swelling

Table 2. Typical variations of colour of test specimens

소지의 소성색상은 백자토의 경우 흰색을 띄며, 소성온도가 높아질수록 밝은 흰색이 나타났다. 가장 진한 색상은 옹기토에서 얻어졌으며, 950°C에서 coral색이었으나 소성온도가 높아질수록 점진적으로 짙은 chocolate색이 되었다. 분청토는 orange색으로 부터 어두운 갈색으로 변화하였으며, 청자토, 혼합 A, B토, 산청토, 플라이트토는 orange색으로 부터 jaune brilliant색으로 변화되었다.

Fig. 3의 분석 결과에 의하면 원료 광물의 구성에서 색

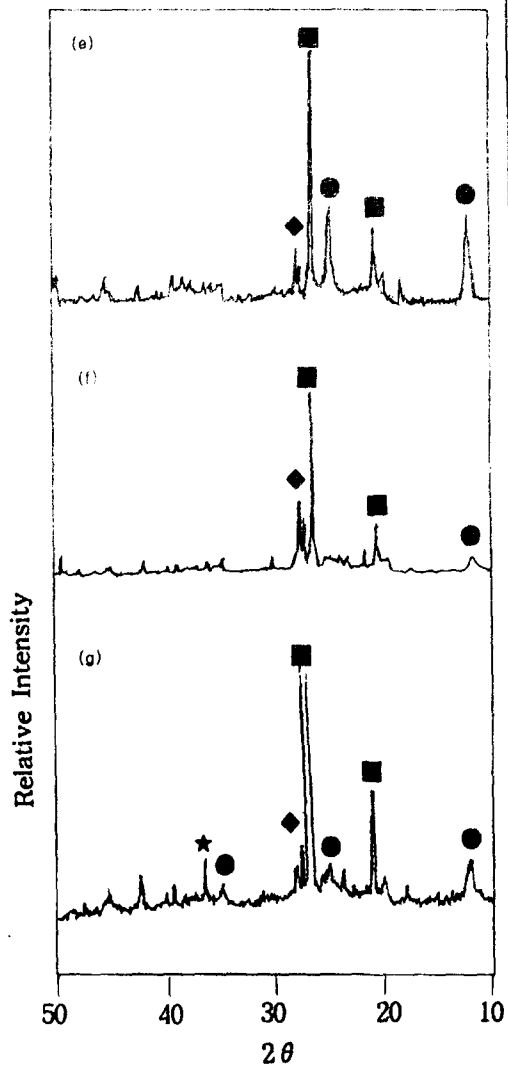
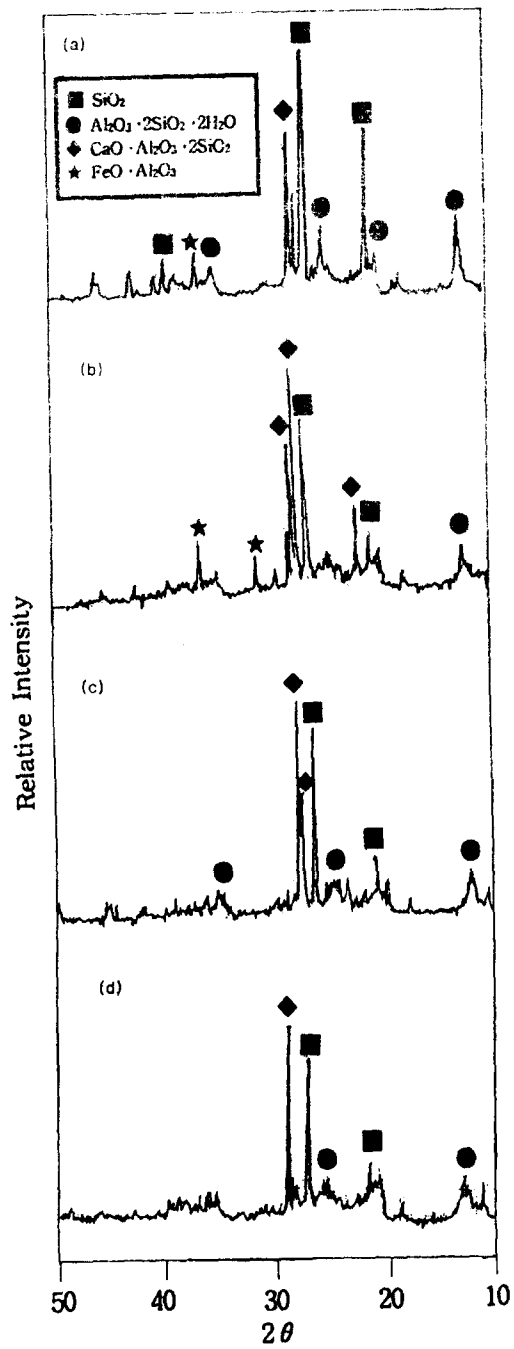


Fig. 4. X-Ray diffraction pattern of raw material, (a) bun chung (b) ong gi (c) mixed B (d) mixed A (e) white-ware (f) san chung (g) cleadon ware

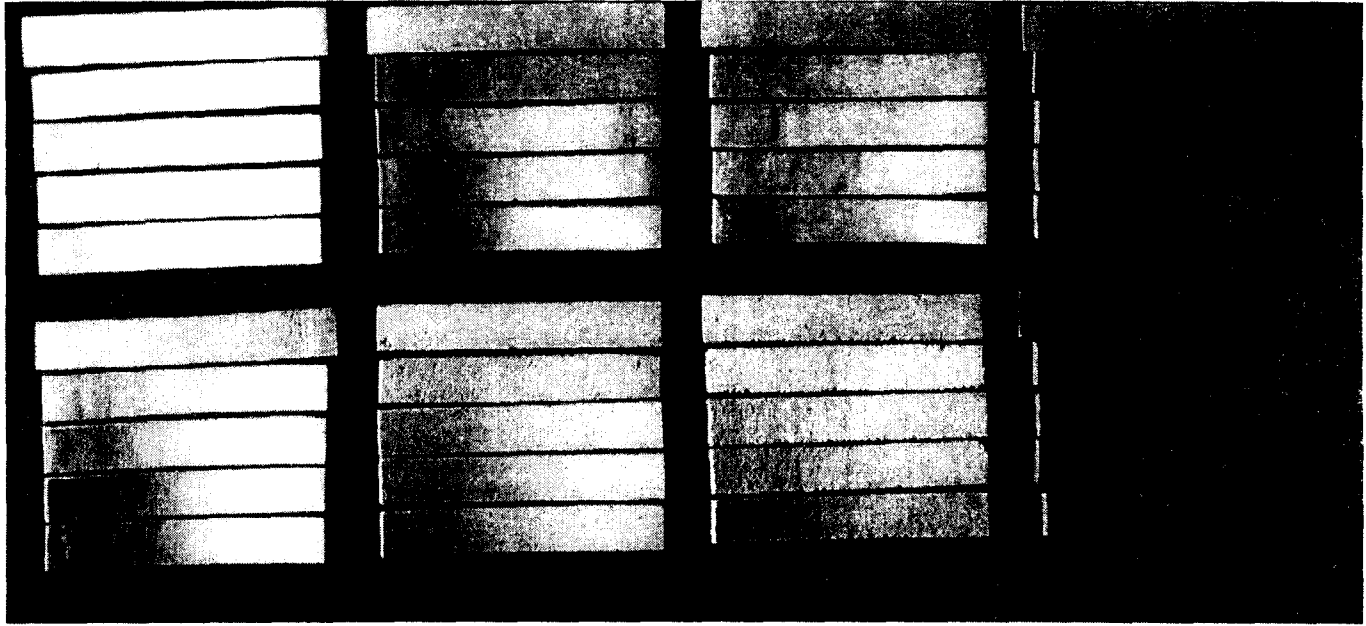


Fig3. Color variations of test specimens ; from left, white-ware clay, Mixrd A clay, San cheung, Bun cheung clay (up), celadon-ware, Mixed B clay, Mullite clay, and ounggi clay (down)

상에 가장 큰 영향을 주는 광물은 Hercynite로서 이 광물이 보유하는 철분으로 인해 색상이 나타나게 된다. Hercynite의 함량은 옹기가 가장 많았고, 분청토, 청자토의 순서로 나타났으며 그밖의 광물은 철분 함량이 낮은 것으로 판단된다. 이 실험 결과 또한 위에서 분석한 소성 색상 결과와 잘 부합하는 것으로 판단되었다.

① 백자토

SiO₂, Al₂O₃, Na₂O가 주성분이고 Fe₂O₃가 매우 적게 포함되어 있으므로 거의 백색을 띤다.

② 청자토

Fe₂O₃ 성분이 소량 함유되어 있어서 orange색을 띄고 있으나 고온으로 올라갈수록 jaune brilliant색을 띤다.

③ 혼합 A토

Fe₂O₃이 소량 혼합된 소지이기 때문에 청자소지 보다 색상이 조금더 진하다.

④ 혼합 B토

Fe₂O₃가 혼합 A토보다 소량이므로 오히려 옅은 orange색을 띤다.

⑤ 산청토

규석과 카오린 성분이 많은 탓으로 고온으로 올라갈수록 jaune brilliant색을 띤다.

⑥ 물라이트토

물라이트 성분이 많은 탓에 산청토 보다 더 jaune brilliant색을 띤다.

⑦ 분청토

Fe₂O₃이 다량함유된 소지이므로 고온으로 올라갈수록

어두운 갈색을 띤다.

⑧ 옹기토

분청토 보다 더 유기물과 Fe₂O₃ 이 다량 함유한 탓에 어두운 chocolate색을 띤다. 소지 자체가 매우 어두운 색상을 가지고 있으므로 시유할 때 주의를 기울이는 것이 좋다.

4. 결론

이상의 실험을 통하여 도예 작업에서 가장 널리 사용되고 있는 8종의 소지를 선정하여 각 소성온도에 따르는 열변형 정도 및 소성 색상의 변화도를 살펴 보았다.

본 실험의 결과로서 얻어진 결론은 다음과 같다.

① 8가지 종류의 소지는 초벌온도 까지는 소성에 따르는 열변형이 발생되지 않는 것으로 측정되었다.

② 열변형이 일어나는 정도는 물라이트토, 산청토, 혼합 B토, 혼합 A토, 백자토, 청자토, 분청토, 옹기토의 순서로 열변형이 크게 발생되었다.

③ 바람직한 소성온도 범위를 살펴보면 옹기토는 1200℃ 이하, 분청토의 경우 1220℃ 부근, 청자토의 경우 1220℃ -1250℃ 범위에 걸쳐 사용할 수 있으며, 1300℃ 까지 사용온도 범위가 넓은 소지는 물라이트토, 산청토, 혼합 A, B토, 백자토이었다.

④ 소지의 소성색상은 백자토의 경우 흰색, 옹기토가

coral색에서 짙은 chocolate색, 분청토가 orange색으로 부터 어두운 갈색으로 변화하였으며, 청자토, 혼합 A, B토, 산청토, 물라이트토는 orange색으로 부터 jaune brilliant 색으로 변화되었다.

⑤ 백자토를 제외한 나머지 소지의 소성색상은 소성온도가 높아질수록 색상이 진해졌으며 중간 온도에서는 degradation에 의한 중간 색상을 나타내었다.

참고 문헌

- 김영진, 김덕민, 요업공학 핸드북 대광서림 (1984)
임웅극 요업학 기초실험, 한국요업학회 (1979)
素木洋一, 유약과 그 안료, 대광서림 (1990)