creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공예·디자인학 석사 학위논문

루틸을 중심으로 한
유약 발색 효과 연구

2020년 8월

서울대학교 대학원

디자인학부 도예전공

정 지 원

루틸을 중심으로 한
유약 발색 효과 연구

지도교수 한정용·허보윤

이 논문을 공예·디자인학 석사
학위논문으로 제출함
2020년 5월

서울대학교 대학원
디자인학부 도예전공
정 지 원

정지원의 석사 학위논문을 인준함
2020년 7월

위 원 장 민 복 기 (인)

부위원장 허 보 윤 (인)

위 원 한 정 용 (인)

국문초록

루틸은 산화티탄의 원료로 TiO_2 성분과 산화철·주석 등이 섞인 불순물로 이루어져 있는 발색 산화물이다. 본 연구는 발색제로서 루틸을 유약에 첨가해 어떤 색을 만들어 내는지 그 결과를 관찰하였다. 그리고 기물에 적용할 수 있는 유약을 선별하고, 그 유약을 서로 조화롭게 배색한 뒤 최종적으로 여러 유형의 도자 기물에 적용하였다. 기물 제작은 일상생활에서 사용할 수 있는 차분하고 안정된 인상을 주는 것을 목적으로 하였다.

본 연구에서는 루틸의 발색 효과를 효과적으로 살펴보기 위해서 소지의 종류, 기본유의 조성 그리고 소성 온도를 고정하였다. 이 세 가지 조건을 통제한 후, 두 가지 기본 유약에 루틸을 각각 1.2%에서 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2%, 4%, 6%, 8%까지 첨가하고 첨가량에 따라 발색과 질감이 어떻게 달라지는지 관찰하였다. 또한 산화와 환원 두 가지 방법으로 모두 소성하여 소성 분위기에 따른 발색 변화를 관찰하였다. 또한 루틸로는 나올 수 없는 색감을 얻기 위해 다른 발색제나 유백제를 보조적으로 추가하였다. 보조 발색제는 각 특징에 맞게 첨가량을 조금씩 조절하면서 실험하였다.

실험 결과 중 유약이 과도하게 흘러내리거나, 기포가 필요 이상으로 생기는 등 기물에 적용할 수 없는 유약을 제외하고 상호 어울리는 색 조합을 구성하고자 하였다. 같은 색 계열 혹은 서로 다른 계열의 유약을 선택하여 조합을 만들었다. 그러한 배색 결과를 잘 보여주기 위해 다수의 도자 기물로 구성된 세트에 색 조합 유약을 적용하였다. 세트는 특정 기능을 갖고 있는 기물들로 구성하기도 하고, 동일한 형태와 크기의 기물들로 구성하기도 하였다. 또

한 유약의 특징을 잘 보여주기 위해 가능한 단순한 형태로 성형하였다.

TiO_2 성분을 첨가한 기존의 유약 중 화려한 색과 질감이 특징인 유약이 있다. 그러나 이러한 유약들은 본 연구에서 목표로 하는 차분하고 안정적인 인상을 주는 유약과는 거리가 멀다. 따라서 깊고 진한 유약의 발색을 위해 순수한 TiO_2 성분으로 이루어진 산화티탄이 아니라, TiO_2 성분에 불순물이 첨가된 루틸을 사용하였다.

루틸을 중심으로 한 유약 발색 효과를 다룬 이 연구는 기존 연구에서는 산화티탄의 원재료로 언급되어온 루틸을 유약의 원료로 주목한 점에서 차별성이 있다. 여기에서 나아가 루틸의 발색 효과를 다양하게 실험하여 그 결과를 활용해 기물을 제작했다는 점에서 이 연구의 의의가 있다.

주요어 : 루틸, 발색, 발색제, 배색, 도자 기물, 유약
학 번 : 2017-24248

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
1. 연구 동기와 목적 ····· 1
2. 연구 범위와 방법 ····· 3

Ⅱ. 유약의 발색제 활용과 루틸의 효과 ····· 6
1. 발색제의 활용 방법 및 종류 ····· 6
1.1. 발색과 발색제의 정의 및 종류 ····· 6
1.2. 도자기에 발색제를 첨가하는 방법 ····· 8
1.3. 발색 산화물의 종류와 특징 ····· 9
1.4. 안료의 종류와 특징 ····· 23

2. 루틸이 포함된 유약의 효과와 기존 작품 사례 ····· 25
2.1. 발색 효과 ····· 25
2.2. 유탁 효과 ····· 27
2.3. 결정 생성 효과 ····· 28

3. 루틸 유약 첨가 실험 ····· 31
3.1. 사용 원료 ····· 31
3.2. 시편 제작 ····· 32
3.3. 기본유 실험 ····· 35
3.4. 기본유에 루틸 첨가 실험 ····· 53
3.5. 루틸 외 발색제 첨가 실험 ····· 59
3.6. 루틸 외 유탁제 첨가 실험 ····· 84

Ⅲ. 작품 제작 연구 ····· 95
1. Oval Tea Set ····· 96
2. Oval Dining Set ····· 103
3. Oval Cylinder Set ····· 107
4. Oval Bowl Set ····· 111
5. 회합(會盒) ····· 116
6. 회담(會壜) ····· 123
7. 짙은 주안상 ····· 126

Ⅳ. 결론 ····· 129

참고문헌 ····· 132
Abstract ····· 135

표 목 차

[표 1] 월주요의 3가지 유약과 용천요의 5가지 유약 성분의 평균값 비교 ····· 14
[표 2] 산화티탄 원료의 각 특징 ····· 16
[표 3] 유약 원료의 화학 조성표 ····· 31
[표 4] 루틸의 화학 조성표 ····· 32
[표 5] 현대소재 RAC-203의 화학 조성표 ····· 33
[표 6] 소성 그래프 ····· 34
[표 7] 결정 생성을 의도한 소성 그래프 ····· 34
[표 8] Al_2O_3-SiO_2 mole 비율 조정 실험 결과 ····· 37
[표 9] 소성 분위기에 따른 G8과 G14의 유표면 ····· 38
[표 10] G8 MgO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식 ····· 45
[표 11] G14 MgO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식 ····· 46
[표 12] G8 ZnO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식 ····· 49
[표 13] G14 ZnO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식 ····· 50
[표 14] 소성 분위기에 따른 G8 M0.1과 G14 M0.4의 유표면 ····· 52
[표 15] 루틸 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ····· 57
[표 16] 산화철 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ····· 64
[표 17] 탄산코발트 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ····· 68
[표 18] 안료 D.Red 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ···· 74
[표 19] 안료 M145 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ····· 77
[표 20] 안료 M800 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ····· 81
[표 21] 산화주석 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ····· 88
[표 22] 규산지르코늄 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류 ·· 93
[표 23] Oval Tea Set에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 99
[표 24] Oval Dining Set에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 105
[표 25] Oval Cylinder Set에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 109
[표 26] Oval Bowl Set (1)에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 113
[표 27] Oval Bowl Set (2)에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 115

[표 28] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (1)에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 118
[표 29] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 121
[표 30] 회담(會壇)에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 125
[표 31] 짙은 주안상에 사용한 유약과 색 계열 분류 ····· 128

도 판 목 차

[도판 1] 산화철의 원석인 운철(iron meteorite), 분말 상태의 산화제1철 (FeO)과 산화제2철(Fe_2O_3) ····· 10
[도판 2] 산화동이 들어간 유약을 활용해 제작한 당삼채(唐三彩) 항아리, 균요 사발, 백자 동채(銅彩) 야외용 합 ····· 11
[도판 3] 동의 원료인 공작석(malachite), 분말 상태의 산화동, 탄산동 ····· 12
[도판 4] 원나라의 월주요, 송나라의 용천요 ····· 14
[도판 5] 분말 상태의 산화티탄 ····· 15
[도판 6] 산화티탄의 원석인 금홍석, 티탄철석, 예추석, 판티탄석 ····· 17
[도판 7] 유약에 티탄철석 첨가 결과 ····· 18
[도판 8] 채광 시점과 원산지에 따라 색이 다른 분말 상태의 루틸 ····· 19
[도판 9] 이산화망간의 원석인 능망간석(rhodochrosite), 분말 상태의 산화망간, 탄산망간 ····· 20
[도판 10] 산화코발트의 원석인 휘코발트석(cobaltite), 분말 상태의 산화코발트, 탄산코발트 ····· 21
[도판 11] 산화크롬의 원석인 회크롬 석류석(uvarovite), 분말 상태의 산화크롬 ····· 21
[도판 12] 산화니켈의 원석인 규니켈석(garnierite), 분말 상태의 산화니켈 ····· 22
[도판 13] Rose Uniacke, <Ceramic Small Bowl in Rutile Glaze>, Brother Thomas Bezanson, <Ovoid procelain vase with rutile blue glaze> ····· 26
[도판 14] 루틸의 다양한 발색을 보여주는 Peter Sparrey의 작업 ····· 26
[도판 15] 유약의 두께에 따라 달라지는 루틸의 발색 ····· 27
[도판 16] 루틸을 함유한 유탁유의 예시 ····· 28
[도판 17] Ben Owen, ‘Stardust Yellow Series’ <Egg Vases>, <Edo Jar in Golden Stardust> ····· 29
[도판 18] 시편 예시 ····· 33

[도판 19] Al_2O_3-SiO_2 mole 비율 조정 실험 결과(산화소성) ····· 39
[도판 20] Al_2O_3-SiO_2 mole 비율 조정 실험 결과(환원소성) ····· 40
[도판 21] G8의 CaO-MgO 대치 실험 결과(산화소성) ····· 45
[도판 22] G8의 CaO-MgO 대치 실험 결과(환원소성) ····· 45
[도판 23] G14의 CaO-MgO 대치 실험 결과(산화소성) ····· 46
[도판 24] G14의 CaO-MgO 대치 실험 결과(환원소성) ····· 46
[도판 25] G8의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(산화소성) ····· 49
[도판 26] G8의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(환원소성) ····· 49
[도판 27] G14의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(산화소성) ····· 50
[도판 28] G14의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(환원소성) ····· 50
[도판 29] G8 M0.1 산화티탄 첨가 실험 결과(산화소성) ····· 54
[도판 30] G8 M0.1 루틸 첨가 실험 결과(산화소성) ····· 54
[도판 31] G8 M0.1 산화티탄 첨가 실험 결과(환원소성) ····· 54
[도판 32] G8 M0.1 루틸 첨가 실험 결과(환원소성) ····· 54
[도판 33] G14 M0.4 산화티탄 첨가 실험 결과(산화소성) ····· 55
[도판 34] G14 M0.4 루틸 첨가 실험 결과(산화소성) ····· 55
[도판 35] G14 M0.4 산화티탄 첨가 실험 결과(환원소성) ····· 55
[도판 36] G14 M0.4 루틸 첨가 실험 결과(환원소성) ····· 55
[도판 37] 먼셀 색체계의 10 색상환 ····· 60
[도판 38] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화철을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 62
[도판 39] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화철을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 62
[도판 40] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화철을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 63
[도판 41] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화철을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 63
[도판 42] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 66

[도판 43] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 66
[도판 44] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 67
[도판 45] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 67
[도판 46] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를 각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 72
[도판 47] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를 각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 72
[도판 48] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를 각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 73
[도판 49] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를 각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 73
[도판 50] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 75
[도판 51] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 75
[도판 52] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 76
[도판 53] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 76
[도판 54] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 79
[도판 55] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 79
[도판 56] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 80
[도판 57] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을 각각 1%, 3%,

5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 80
[도판 58] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%,
9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 86
[도판 59] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%,
9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 86
[도판 60] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%,
9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 87
[도판 61] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%,
9% 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 87
[도판 62] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%,
7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 91
[도판 63] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%,
7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 91
[도판 64] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%,
7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성) ····· 92
[도판 65] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%,
7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성) ····· 92

작 품 목 차

[작품 1] Oval Tea Set ····· 98
[작품 1-1] Oval Tea Set의 도침 장식 부분 ····· 100
[작품 1-2] Oval Tea Set 세부 사진 ····· 101
[작품 1-3] Oval Tea Set 세부 사진 ····· 101
[작품 1-4] Oval Tea Set 세부 사진 ····· 102
[작품 2] Oval Dining Set ····· 104
[작품 2-1] Oval Dining Set 세부 사진 ····· 106
[작품 2-2] Oval Dining Set 세부 사진 ····· 106
[작품 3] Oval Cylinder Set ····· 108
[작품 3-1] Oval Cylinder Set 세부 사진 ····· 110
[작품 3-2] Oval Cylinder Set의 도침 장식 부분 ····· 110
[작품 4-1] Oval Bowl Set (1) ····· 112
[작품 4-2] Oval Bowl Set (1) 세부 사진 ····· 112
[작품 4-3] Oval Bowl Set (2) ····· 114
[작품 4-4] Oval Bowl Set (2) 세부 사진 ····· 114
[작품 4-5] Oval Bowl Set (2)에 사용한 유약 세부 사진 ····· 115
[작품 5-1] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (1) ····· 117
[작품 5-2] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (1) 세부 사진 ····· 117
[작품 5-3] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2) ····· 120
[작품 5-4] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)의 도침 장식 부분 ····· 120
[작품 5-5] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2) 세부 사진 ····· 122
[작품 5-6] 회합(會合): 작은 합들의 모임 전체 사진 ····· 122
[작품 6] 회담(會壇) ····· 124
[작품 6-1] 회담(會壇) 세부 사진 ····· 125
[작품 7] 짙은 주안상 ····· 127
[작품 7-1] 짙은 주안상 세부 사진 ····· 128

Ⅰ. 서론

1. 연구 동기와 목적

도자기는 광물을 원재료로 하는 사물 중 하나다. 도자기 제작에 있어서 소지나 유약을 어떤 원료로 만들었는가와 그 원료에 어떤 원소가 포함되었는지를 아는 것은 소지나 유약의 특징을 파악하는 데에 도움을 준다. 반대로 특정한 성질의 소지나 유약을 만들고 싶으면 그 의도에 맞는 원료를 선택할 수 있다. 도자기의 원료는 높은 온도에서 용융 과정을 거치는데 이 과정에서 서로 다른 화학적 특징을 갖는 원료들이 상호작용하며 결합하기 때문에 소성 전과 소성 후의 성질이 다를 수 있다. 따라서 선택한 원료의 조합이 제작 의도에 맞는지 반드시 실험해야 한다.

연구자는 소지와 유약 가운데 특히 '유약'에 주목하여 연구를 진행하였다. 유약은 소지를 감싸는 유리막이며, 도자기의 내구성을 높이고 오염을 방지하는 실용적 기능을 한다. 이와 더불어 유약은 특정한 원료의 조합을 통해 색이나 결정을 만들 수 있으므로 장식적인 기능도 가진다. 특히 유약의 발색 효과는 즉각적인 시각적 결과를 보여주고, 사용 원료나 첨가량, 소성 방법 등에 따라 다양한 결과를 얻을 수 있다는 점에서 주목을 끈다.

유약의 발색 효과를 얻기 위해서는 Fe·Cu·Ti·Co·Ni·Cr 등 발색 원소를 함유한 산화물을 첨가해야 한다. 대표적인 발색 산화물로 $FeO·CuO·TiO_2$가 있다. 이 중 연구대상으로 선정한 루틸의 주 발색 원소는 Ti이고, 보조 발색 원소는 소량의 Fe·Sn·Mn 등이다.

선행 연구에서는 Ti가 주 발색 원소인 산화물로 산화티탄을 주로 다루어왔다. 예를 들어 김기연(2000)은 산화티탄의 성질·역할·발색 효과를 이론적으로 고찰한 뒤 산화티탄이 첨가된 기본 유약의 Al_2O_3-SiO_2의 mole 수를 변화시켜 유약 실험을 하고, 백자 소지와 청자 소지로 만든

시편에 각각 시유를 해서 소지에 따른 발색 변화를 비교하였다. 우난희(2004)는 석회유·석회마그네시아유·석회바륨유 계열의 세 가지 기본 유약에 산화티탄을 첨가해 유약의 변화를 관찰하고, 발색 산화물과 유백제를 첨가한 결과를 분석하였다. 최현심(2018)은 백운석유 계열의 기본 유약에 산화티탄을 첨가해 결정 유약을 만드는 것을 목적으로 삼아, 3성분계와 5성분계 실험을 통해 유약 조성을 설정하고 유백제와 안료 및 다른 발색 산화물을 첨가하는 실험을 한 후 그 결과를 분석하였다. 그러나 세 연구 모두 루틸을 산화티탄의 원료로만 기술하였으며 불순물이 일정량 첨가되어 있기 때문에 잘 사용하지 않는다는 제한을 두고 있다.

기존의 연구들과 대조적으로 본 연구에서는 루틸을 발색 산화물로 사용하여 Ti의 발색 효과를 추구함과 동시에 산화철을 주성분으로 하는 불순물의 발색 효과를 노리는 것을 시도하였다. 이를 위해 연구자는 루틸을 포함한 여러 원료를 조합하여 유약의 효과를 실험하고, 실험에서 얻은 결과 중에서 기물에 적용 가능한 것들을 선별하였다. 이를 토대로, 선별된 유약 가운데 서로 어울리는 조합으로 배색한 뒤 최종적으로 여러 유형의 도자 기물에 적용하였다.

루틸 유약을 첨가한 다양한 실험들을 접목하여 연구자는 기물 세트를 제작하였다. 특히, 자연에서 볼 수 있는 수많은 색상의 조화를 중시하면서 다채로운 기물 세트를 구성하고자 하였다. 우리가 숲을 찾으면 나무, 풀, 꽃, 이끼, 돌 등을 만날 수 있는데 이들은 각기 다른 색을 띠고 있지만 숲을 전체적으로 보았을 때 특정 색만 부각되지 않고 함께 어울려 존재한다는 것을 안다. 이러한 이치를 살려, 연구자는 함께 모여서 숲을 이루는 나무처럼 각기 다른 색을 가진 기물이 모였을 때 더 아름다운 조합이 되도록 기물들을 제작하였다.

2. 연구 범위와 방법

유약은 광물 원료를 조합해 만들고, 이를 높은 온도에서 가열해 융해하는 과정을 거친다. 이 과정에서 원료들은 서로 반응하여 원래의 화학구조를 바꾸어 흡수, 굴절, 산란, 반사 등의 빛의 작용을 받아 발색이 이루어지기 때문에[1] 유약의 성질과 특성은 어떤 원료를 사용하느냐에 따라 결정된다. 도자기 제작에 사용하는 원료는 산화물(oxide)과 탄산염(carbonate)을 모두 사용한다. 산화물은 산소가 다른 원소와 결합하여 만들어진 화합물로 온도가 높을수록 더 쉽게 생성된다. 석회석($CaCO_3$)이나 백운석($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) 모두 시유 과정까지는 탄산염이지만 소성 과정에서 받은 열로 이산화탄소가 떨어져나가면 산화물로 존재하므로[2] 도예에서 사용하는 모든 원료는 산화물로 보아도 무방하다.

루틸을 포함한 발색 산화물은 원료 자체에 색이 있으므로 소성한 후에도 그 색이 그대로 나올 것으로 오해하는 경우가 흔하다. 하지만 융해 과정에서 다른 원료와 반응하면서 화학적인 변화가 일어나기 때문에 원료의 색이 그대로 나오는 경우는 거의 없다. 예를 들어 붉은색 분말인 산화철을 기본 유약에 0.5% 첨가해서 환원 소성을 하면 붉은색을 띠는 유약이 나오는 것이 아니라 푸른색이 나오고, 산화 소성을 하면 황색이 나온다. 그리고 소지 또는 기본 유약의 어떤 원료와 만나느냐에 따라 발색 결과가 상이한데, 기본 유약이 달라지면 똑같이 산화철을 0.5% 첨가해도 다른 결과가 나올 수 있다. 유약 제조에 사용되는 원료의 종류는 다양하며 이를 조합할 수 있는 경우의 수도 무한대에 가깝다. 게다가 유약은 소지와 소성 온도에도 영향을 받기 때문에 결과는 무궁무진하다고 할 수 있다.

연구자는 발색 산화물 중 루틸의 발색 효과를 연구대상으로 정했으나, 기본유의 조성에 따라서 그 결과가 크게 달라지기 때문에 특정 조건을

---

1) 변규리,「염기조성에 따른 철유의 발색조건 연구」, 명지대학교 산업대학원 도자기기술학과 석사학위논문, 2003, p.1.
2) 이병하,『나만의 유약 만들기- 기본 유약 편』, 예경, 2004, p.21.

제한하여 연구 범위를 설정하였다. 본 연구의 유약 실험에서 설정한 제한 조건은 다음 세 가지이다.

첫 번째 제한 조건은 '소지의 종류'이다. 이 연구는 철분이 없는 백자 소지를 대상으로 했다. 유약은 소성 과정에서 소지에 사용된 원료와도 서로 영향을 주고받는다. 따라서 동일한 유약을 다른 소지에 시유하면 소성 후 다른 결과를 얻는다. 연구자는 유약 내 성분 조정을 통한 결과만을 살피고자 했으므로 소지의 종류를 제한했다. 또한 연구대상인 루틸에 이미 소량의 철분이 함유되어 있고, 이 철분과 TiO_2가 만났을 때 나오는 발색을 살펴보고자 했으므로 철분이 없는 백자 소지를 사용하는 것이 실험에 효과적이라고 판단했다.

두 번째 제한 조건은 '기본유의 화학적 조성'이다. 앞서 언급했듯이 유약은 다수의 원료를 조합하여 만든다. 어떤 원료를 어떻게 조합하고, 얼마나 넣을 것인지에 따라 유약의 가짓수는 무한하다. 게다가 발색 산화물을 유약에 첨가하는 경우, 기본 유약의 조성에 따라 발색이 달라진다. 따라서 기본 유약의 조성을 설정해야 발색 산화물이 유약에 어떻게 영향을 미치는지 명확히 알 수 있다. 이 연구에서는 제겔(Hermann August Seger)이 고안한 '제겔식(Seger fomula)'을 사용하였다. 연구자는 Al_2O_3-SiO_2 비율 조정과 융제 대치 실험을 거쳐 반광택유와 무광택유를 기본 유약으로 선정하였다. 그 이유는 유약에 광택이 덜하면 차분하고 부드러운 질감 표면을 가지므로 안정적인 인상을 주기 때문에[3] 기존 티탄유의 강한 장식성과 대비되는 유약 데이터를 얻을 수 있을 것으로 판단했기 때문이다.

세 번째 제한 조건은 '소성 온도'이다. 모든 유약 실험은 고화도 소성 온도인 1280℃를 기준으로 진행했다. 유약은 소성 온도에 따라 크게 고화도 유약과 저화도 유약으로 분류할 수 있다. 고화도 유약은 1,200℃와 1,300℃ 사이에서, 저화도 유약은 670℃와 1,020℃ 사이에서 소성되는 유약을 말한다.[4] 저화도 유약에 비해 고화도 유약은 소지와 유약이 서로

3) 김면보,「안료를 이용한 무광 색유의 개발」, 명지대학교 산업대학원 도자기기술학과 석사학위논문, 2007, p.3.
4) 글렌 C. 넬슨,『도자예술』, 임무근·신광석 역, 미진사, 2001, p.174.

완전히 결합되기 때문에 강도가 높고 단단하다. 따라서 유약이 적용될 기물의 실용성을 생각하여 고화도 유약을 대상으로 실험했다. 일정한 발색을 얻기 위하여 소성 온도를 고정했다.

이상과 같은 세 가지 조건을 통제한 후, 기본 유약에 루틸을 첨가하여 어떠한 발색 변화가 일어나는지 살펴보았다. 두 가지 기본 유약에 각각 1.2%부터 1.4%·1.6%·1.8%·2%·4%·6%·8%까지 루틸을 첨가하고, 산화와 환원 두 가지 방법으로 모두 소성하여 발색 변화를 살펴보았다. 그리고 루틸만 단독으로 첨가해서는 나올 수 없는 색감을 얻기 위해 다른 발색제나 유백제를 보조적으로 추가하는 실험을 하였다. 연구자는 보조 발색제가 가진 저마다의 특징에 맞게 첨가량을 조금씩 바꾸면서 실험을 이어나갔다. 그리고 이 모든 유약 실험의 결과 중 적용 가능한 결과를 선별하고, 함께 사용했을 때 어울리는 조합을 만들어 다양한 기물 작업에 적용하였다.

Ⅱ. 유약의 발색제 활용과 루틸의 효과

1. 발색제의 활용 방법 및 종류

Ⅱ장 1절에서는 발색제의 활용 방법과 종류에 대해서 논의하려고 한다. 먼저 발색과 발색제의 개념을 정의하고, 발색제의 유형과 각 특징을 서술하고자 한다.

1.1. 발색과 발색제의 정의 및 종류

‘발색’은 어떤 물질에서 색을 내거나, 색이 나오는 현상을 말한다. 도자기에서 나타나는 발색 현상은 대부분 금속 원소에 의해 나온다. 도자의 모든 원료는 금속 원소와 산소가 결합한 화합물인 ‘산화물’이나 이산화탄소와 결합한 ‘탄산염’으로 이루어져 있다. 따라서 금속 원소는 소지와 유약 속에 모두 들어있으며, 소지와 유약의 성분이 어떠한가에 따라 발색이 달라진다.

소지나 유약의 발색은 산화물 또는 탄산염 자체의 색과 반드시 일치하지 않는데, 그 이유는 용융 과정을 거치면서 금속 원소끼리 서로 반응하여 원래의 화학적 구조가 바뀌기 때문이다. 어떤 금속 원소들끼리 만났느냐에 따라 빛을 흡수, 굴절, 산란, 반사하는 성질이 달라지며, 그 결과로 사람의 눈에 보이는 색도 달라진다. 따라서 산화물 자체의 색을 보고 유약의 색을 예측하는 것은 굉장히 어렵다. 이는 흔히 볼 수 있는 발색제인 회화용 물감과 구분되는 속성이다.

유약에서 사용하는 ‘발색제’는 크게 두 종류가 있다. 하나는 ‘산화물’이다. 유약뿐만 아니라 소지나 이장에도 첨가할 수 있으며, 백분율에 따라 그램(g) 단위로 넣는다. 한 가지 산화물만 쓸 수도 있고 두 가지 이

상 산화물을 섞어서 쓸 수도 있다. 산화물 대신 탄산염을 사용하는 것도 가능한데, 같은 양을 사용했을 때 산화물은 탄산염보다 최소 1.5배 발색이 좋다.[5] 예를 들어 산화코발트는 탄산코발트 보다 색이 약 3배로 진하게 나온다. 발색의 효율을 높이기 위해 산화물을 주로 쓰지만, 세심한 발색 효과를 위해 탄산염을 쓰는 경우도 있다. 유약에 쓰이는 산화물은 보통 발색 원소를 다량 함유한 광물을 분해하고 불순물을 정제한 형태로 사용되는데 천연 재료이기 때문에 산지나 채광 시점에 따라 성분이 조금씩 상이할 수 있다.

유약에 사용하는 또 다른 발색제로는 '안료(stain)'가 있다. 안료는 산화물과 다른 광물에서 찾을 수 있는 색료를 일정한 비율로 혼합해서 소성한 후 일정 입도로 분쇄한 것을 말한다. 산화물을 사용하는 것보다 발색 결과를 더 쉽게 예상할 수 있으며, 더 다양한 색을 구현할 수 있다. 안료 제작에는 안티몬·주석·티탄·지르코늄 등이 결합된 화합물을 사용하며, 다른 재료들도 다양하게 사용된다. 고화도 안료에는 내화성을 높이기 위해 적절한 양의 석영·장석·알루미나가 첨가되며 저화도 안료는 용제가 첨가된다. 직접 재료들을 조합해 안료를 만들 수 있지만 원하는 발색을 얻기 위해 많은 실험을 해야 하고, 어떤 안료는 도자기 소성 온도보다 훨씬 높은 온도에서 구워야하기 때문에 개인 공방에서 만드는 일은 쉽지 않다. 안료를 사용하면 확실한 발색을 손쉽게 얻기 때문에, 고가임에도 수요가 높다.

유약에서 발색제를 사용할 때 유의할 점은 발색제를 첨가하기 전에 기본유의 구성을 살피는 것이다. 앞서 언급했듯이 유약의 발색은 원료에 있는 금속 원소가 소성 과정 중에 어떻게 서로 반응하는지에 따라 나타나므로, 기본유의 원료에 따라 발색이 달라진다. 따라서 발색제의 원료를 알아보는 것도 중요하지만, 기본 유약의 염기성·중성·산성 성분에 어떤 원료가 들어있는지 보는 것도 매우 중요하다. 또한 Al_2O_3와 SiO_2 성분의 비율에 따라서도 발색이 달라지는데, 이 모든 경우의 수를 생각하면 기

5) Yvonne Hutchinson Cuff,『Ceramic Technology for Potters and Sculptors』, University of Pennsylvania Press, 1996, p.344.

본 유약의 종류만으로도 무한대에 가까우며, 발색제와의 조합을 고려하면 그 경우의 수가 더 크게 늘어난다. 따라서 발색제 첨가 실험을 진행하기 전에 기본 유약에 어떤 원료를 사용할 것이며, 어떤 조성으로 실험을 할 것인지 명확하게 설정하고 실험을 진행하는 것이 중요하다.

1.2. 도자기에 발색제를 첨가하는 방법

도자기에 색을 더하기 위해서는 소지 또는 유약에 발색제를 첨가하는 방법이 있다. 소지에 발색제를 첨가한 색 소지를 사용하는 경우 표면에 시유를 하는 방법과 시유를 하지 않는 방법 중에서 선택할 수 있다. 전자의 경우 소지의 색을 그대로 보여줄 수 있는 투명유를 사용하는 경우가 많은데, 투명유는 대부분 광택이 있다. 따라서 색 소지를 드러내고 싶은 경우에 불투명유를 사용하는 것은 그다지 바람직한 선택이 아니다.

광택을 피하면서 색 소지를 잘 드러내는 방법 중 겉면을 시유하지 않고 소성하는 방법이 있다. 이 방법은 소지의 색과 질감을 온전히 드러내기에 적합한 방법이나, 유약이 없어 여러 단점이 발생한다. 실용기의 경우에 유약은 강도를 더하고 흡수성을 없애서 청결을 유지하는 데에 도움을 준다. 또한 세척과 사용을 편리하게 해 실용성을 높이며 수천 년이 지나도 산 또는 알칼리에 변색되거나 변질되지 않는다.[6] 시유하지 않은 면을 연마해 표면을 매끄럽게 할 수 있지만, 시간이 지나면 때가 타기 때문에 다시 연마를 해야 하는 번거로움이 있다. 색 이장으로 분장하는 방법도 색 소지 사용과 비슷한 문제점을 가진다.

만약 발색제를 소지에 첨가하면, 광택이 있는 유약으로 시유하거나 유약을 아예 하지 않는 방법으로 색 소지의 효과를 드러내야 한다. 그러나 전자는 투명유가 소지의 발색을 강화시켜 연구의 목적인 부드럽고 안정적인 느낌을 주는 도자 기물을 제작하기에 부적절하다. 또한 후자는 두 가지 경우로 나눠볼 수 있는데, 먼저 고온 소성된 거친 표면을 연마하지 않는 방법이 있다. 이러한 기물은 사용하면서 편안한 느낌을 주지 않아

6) 정동훈, 『도예가를 위한 유약연구』, 한국학술정보, 2011, p.15.

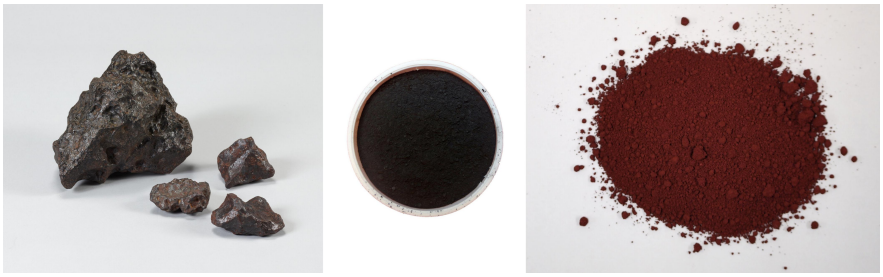
이 연구에서 지향하는 바와 어긋난다. 그리고 표면을 연마해도 시유한 것보다 내구성이 떨어지거나 때가 타서 다시 연마를 해야 하는 번거로움이 있다. 따라서 본 연구에서는 유약에 발색제를 첨가하는 방법을 택했다. 유약에 발색제를 첨가하면 원하는 발색으로 의도할 수 있으면서, 외부 충격 및 오염 요소로부터 소지를 보호할 수 있어 실용적이다. 이에 더하여 소지에 첨가하는 방법보다 연마할 부분이 적기 때문에 작업 과정도 간단하다고 볼 수 있다.

1.3. 발색 산화물의 종류와 특징

고화도 유약의 발색제로 주로 사용하는 일곱 가지 발색 산화물과 각 특징을 다음과 같이 정리했다. 본 연구는 고화도 유약을 연구대상으로 삼았기 때문에 저화도 유약에서 발색제로 사용하는 산화우라늄(UO_2), 산화카드뮴(CdO), 산화셀레늄($TeSeO_3$) 등은 언급하지 않는다.

(1) 산화철(iron oxide, FeO)

산화철은 토양의 갈색, 철의 녹슨 붉은색, 혹은 암석·모래가 회색을 띠게 하는 주요 원소다. 다시 말해서 자연에서 가장 흔하게 볼 수 있는 산화물이며, 천연 원료를 재료로 사용하는 도예에서 가장 중요한 발색 산화물로 꼽힌다. 산화철은 흑색 분말인 산화제1철(FeO)과 붉은 분말인 산화제2철(Fe_2O_3)이 있다. 산화철의 원석과 분말 상태의 산화제1철·산화제2철은 [도판 1]과 같다.



[도판 1] (왼쪽부터) 산화철의 원석인 운철(iron meteorite), 분말 상태의 산화제1철(FeO)과 산화제2철(Fe_2O_3)[7]

유약에는 산화제2철을 주로 첨가하는데, 산화제1철은 발색이 굉장히 강해서 소량을 첨가해도 상당히 어두운 색조의 유약을 만들기 때문이다. 따라서 다른 원료와의 조화를 고려해 산화제2철을 주로 사용한다. 산화철은 청자유 제작에 결정적인 역할을 한다. 중국 송나라의 용천청자를 대표적인 예로 들 수 있는데, 용천청자의 전성기를 이룩한 남송 시대 때 산화철의 함량이 가장 높았다. 산화철을 전체 유약의 0.5%~2% 첨가하고, 강한 환원 분위기에서 소성을 함으로써 용천 청자 특유의 하늘빛 유약이 만들어질 수 있었다.

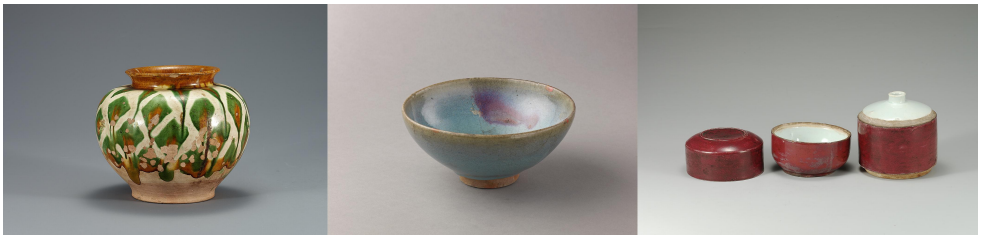
전체 유약의 1%에서 4%에 해당하는 양을 산화철로 첨가하고 산화소성하면 노란색 또는 갈색을 내며, 첨가하는 비율이 높아질수록 검은색에 가까워진다. 환원소성을 하면 회색빛을 띠는 녹색, 초록색, 혹은 어두운 회색으로 발색된다. 산화철을 높은 비율로 첨가할 경우 매우 강한 용제로 작용하여 유약이 쉽게 흐르는 문제가 발생하기도 한다. 따라서 시유 과정에서 예민하게 유약 두께를 살필 필요가 있다. 과포화될 경우 금속과 비슷한 표면을 생성하기도 한다. 또한 기본유에 어떤 융제를 사용하느냐에 따라 크고 작은 결정이 생기기도 한다.

---

7) 이미지 출처: https://www.kyongbuk.co.kr/news/articleView.html?idxno=1005154 (2020년 4월 11일 검색), https://www.amertek.co.uk/product/iron-ii-oxide-black/ (2020년 4월 12일 검색).

(2) 산화동(copper oxide, CuO)

산화동은 약 6,000여 년 전 인류가 처음으로 만든 도자기의 유약에 사용되었을 정도로 역사가 오래된 발색 산화물이다. 여러 발색 산화물 중 산화동은 특이하게도 소성 분위기에 따라 나오는 색이 확연하게 다르다. 산화소성에서는 녹색 계통으로 나오고, 환원소성에서는 적색 계통으로 나온다. 중국 당나라 때 유행한 당삼채(唐三彩)의 녹색 부분은 산화동을 사용한 것으로 알려져 있는데, 채색 후 산화소성을 한 것으로 짐작할 수 있다. 산화동을 사용한 가장 오래된 자기는 중국 송나라 시대 때 사용된 균요(鈞窯) 유약이다. 균요 유약은 유탁성이 강한 재 유약에 산화동을 1~1.5% 첨가한 것으로, 분홍색·적색·보라색·청색 등 소성 분위기에 따라 다양한 색으로 발색된다. 특히 청색 위 보라색 반점은 산화철의 청색과 산화동의 붉은색이 혼합되어 나온 것이다.[8] 조선 시대에는 진사유(辰砂釉)라는 이름으로 산화동 유약을 시유하거나, 산화동이 들어간 안료를 개어 백색 유약 위에 붉은색 문양을 그리거나 채색하여 장식하는 데에 사용했다. 산화동을 활용해 제작한 기물의 예시는 [도판 2]와 같고, 산화동의 원석과 분말 상태의 산화동·탄산동은 [도판 3]과 같다.

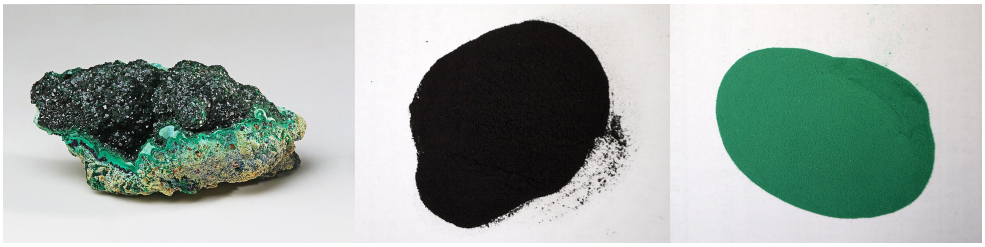


[도판 2] (왼쪽부터) 산화동이 들어간 유약을 활용해 제작한
당삼채 항아리, 균요 사발, 백자 동채(銅彩) 야외용 합[9]

8) 넝수,「중국 균요 자기의 미학적 특성 연구」, 단국대학교 도예학과 도자조형디자인전공 대학원 박사학위논문, 2019, p.42.
9) 이미지 출처: https://www.museum.go.kr/site/main/relic/search/view?relicId=57895 (2020년 4월 13일 검색), https://www.metmuseum.org/art/collection/search/461491 (2020년 4월 13일 검색), https://www.museum.go.kr/site/main/relic/s

산화동은 적은 양으로도 발색이 강하기 때문에 다른 발색 산화물과 조화가 어렵다. 또한 산화동은 유약의 용융을 도와 많은 양을 투입하면 거의 납 유약에 가까운 용융도를 보인다. 그렇기 때문에 본격적인 기물 소성 전에 반드시 시편으로 실험을 해서 유약의 안전성을 확인해야 하며 소성 전 가마에 적재할 때 각별한 주의가 필요하다. 산화 소성에서는 1~5% 함유로 연두색을 내며, 5% 이상은 그을린 듯한 검은색을 보인다. 따라서 금속과 비슷한 표면을 내고 싶을 때 사용하면 좋다. 환원 소성에서 1% 미만은 적동색, 1~5%는 푸른색 또는 푸른색을 띠는 회색으로 나온다.

산화동이 적동색으로 나오기 위해서는 소성 과정이 무척이나 중요해서 이 유약을 위한 특별한 소성 스케줄을 세심하게 계획해야 한다. 세심하게 소성하지 않으면 가마에 따라 결과가 다르게 나올 수 있다. 또한 산화동은 소성 중에 가마 내 다른 기물에 영향을 줄 수 있으며, 가마의 내화벽돌·내화판·지주에 달라붙어 다음 소성에 의도치 않은 붉은색이나 푸른색이 나올 수 있다. 따라서 산화동을 함유한 유약을 사용할 경우에는 전용 가마를 사용하거나 남아 있는 산화동 성분을 완전히 날리기 위해 한 가마를 여러 번 소성해야 하므로 각별한 주의가 필요하다.



[도판 3] (왼쪽부터) 동의 원료인 공작석(malachite),
분말 상태의 산화동, 탄산동[10]

---

earch/view?relicId=1049 (2020년 4월 13일 검색).

10) 이미지 출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Malachite (2020년 4월 12일 검색).

(3) 산화티탄(titanium oxide, TiO_2)

산화티탄은 순수한 TiO_2 성분으로 이루어진 산화물로 자연 상태에서는 존재하지 않아 반드시 원석에서 정제하여 얻어야 한다. 흰 분말의 산화티탄은 산성 성분으로 유약에서 최대 1%까지 규석(SiO_2)처럼 용제로서 기능한다.[11] 산화티탄은 크게 세 가지 효과를 내며, 이를 위해서는 최소 1% 이상 유약에 첨가되어야 한다. 첫 번째 효과는 발색이다. 산화소성에서는 유백색으로 발색되고, 환원소성에서는 약간 회색이 섞인 푸른색 유약으로 나온다. 철분에 민감하므로 소지에 들어있는 소량의 철분에도 반응한다.

TiO_2 성분이 유약의 색상에 영향을 준 역사적 사례는 중국의 월주요(越州窯)[12]를 꼽을 수 있다. 월주요 청자의 빛깔을 보면 푸른색보다는 녹색에 가까운 푸른색인데, 이는 월주요 유약에 포함되어 있는 TiO_2 성분 때문이다. TiO_2 성분은 청자유에서 파란 기운이 아닌 노란 기운이 도는 올리브 색조를 만들어내는 역할을 하는 성분으로, 월주요 청자가 녹색을 띠는 주요한 원인이다.[13] 월주요의 3가지 유약의 평균값과 용천요(龍泉窯)의 5가지 유약의 평균값을 비교한 [표 1]을 보면 월주요의 TiO_2 성분이 용천요에 비해 월등히 높고, 환원소성 시 푸른색을 띠는 Fe_2O_3의 성분이 비교적 낮은 것을 확인할 수 있다. [도판 4]를 보면 월주요와 용천요의 발색 차이를 확인할 수 있다.

---

11) Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.367.

12) 월주요는 중국 도자사에서 가장 유명한 청자 요(窯)다. 중국 동한(25년~220년) 시기, 최초의 자기가 월주요에서 성공적으로 소성된 이래로 1,000여 년의 발전을 거쳐 중국 북송(北宋, 960년~1127년) 말기 남송(南宋, 1127년~1279년) 초기에 생산을 멈추었다. 중국 청자 생산에서 지속시간이 가장 길고 영향 범위가 가장 넓다. (전민영,「고려청자와 중국 청자의 유형 연구」, 단국대학교 도예학과 도자조형디자인전공 대학원 박사학위논문, 2016, p.2)

13) 이가진,「청자유를 두껍게 시유한 도자작품의 사례분석 및 제작에 관한 연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문, 2012, p.17.

	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_3
월주요	60.00	12.30	0.70	2.10	18.30	2.20	1.20	0.60	0	0.80
용천요	67.24	14.48	0.12	0.60	9.26	0.86	4.90	0.40	0.2	0.40

[표 1] 월주요의 3가지 유약과 용천요의 5가지 유약 성분의 평균값 비교[14)]

[도판 4] (왼쪽부터) 원나라의 월주요, 송나라의 용천요[15)]

유약에서 산화티탄의 두 번째 효과는 실투(失透) 현상이다. '실투'란 유리의 내부에 결정이 생겨 투명도가 낮아지는 현상을 말한다. 유약의 유리질은 소성 시 높은 온도에 장시간 놓이게 되면 결정화가 일어나 유약의 일부분 또는 전부가 불투명해진다. 앞서 언급했듯이 TiO_2 최대 1%까지 용제로 기능하며 2~5%로 첨가되면 반광택유를, 5% 이상 첨가되면 무광택유(matt glaze)를 만든다.[16)] 무광택유를 만드는 방법으로는 유약 내 작고 무수한 결정을 생성하거나, 유약의 일부 성분을 녹지 않게 만들어 반용융 상태로 머물게 하여 광택을 제거하거나 유약 내 기포를 생성

14) 이가진, 앞의 책, 2012, p.17.
15) 이미지 출처: https://alaintruong2014.wordpress.com/2014/11/23/a-longquan-celadon-handled-vase-yuan-early-ming-dynasty/ (2020년 4월 12일 검색), https://www.metmuseum.org/art/collection/search/42447 (2020년 4월 12일 검색).
16)Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.367.

하는 방법이 있다.[17] 산화티탄을 첨가하면 첫 번째 방법처럼 유약 내 무수한 미세결정을 만들고 그 미세결정이 소지를 감춰 불투명유도를 높이는 동시에 무광택유를 만든다.

세 번째 효과는 결정유(crystalline glaze) 생성이다. 이는 산화티탄을 10% 정도 첨가하면 만들어지는데, 결정의 크기와 수는 가마의 냉각 속도와 유약의 비중에 따라 달라진다[18]. 결정은 유약 조성에도 영향을 받는데, ZnO·MgO·TiO_2.Fe_2O_3.CuO와 같은 산화물은 유약의 결정을 더 많이 생기게 한다.

[도판 5] 분말 상태의 산화티탄[19]

(4) 루틸(rutile, TiO_2)

루틸은 산화티탄의 원석 중 하나이며 금홍석이라고도 불린다. 산화티탄은 여러 천연광물로 존재하는데, 지구상에 존재하는 광물 중 TiO_2를 1% 이상 함유한 천연광물은 약 140여 종에 이른다. 이 중 상업적으로 가치가 있는 광물은 금홍석(rutile), 티탄철석(ilmenite), 예추석(anatase), 판티탄석(brookite) 등 10여 종에 불과하다.[20]

---

17) 김면보, 앞의 책, p.3.
18) Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.367.
19) 이미지 출처: https://www.refractorymetal.org/interesting-facts-about-titanium/ (2020년 4월 12일 검색).
20) 이광훈,「하동지역 저품위 티탄철광의 선별 기술 및 선별 공정에 관한 연

산화티탄과 금홍석·예추석·판티탄석은 서로 '동질이상(polymorphism, 同質異像)' 관계이다. '동질이상'이란 화학 성분은 같으나 생성 당시의 온도나 압력 조건에 따라 그 결정 구조와 물리적 성질이 다른 광물을 말한다.[21] 따라서 금홍석·티탄철석·예추석·판티탄석의 화학식은 모두 TiO_2이다. 이 천연 광물의 TiO_2를 제외한 나머지 성분은 철과 주석을 포함한 불순물로 이루어져 있고, 광물에 따라 TiO_2와 불순물의 비율이 다르다. 금홍석은 TiO_2 함량이 90% 이상이며, 이는 TiO_2를 가장 많이 함유하고 있는 천연 광물이다. 티탄철석은 50%의 TiO_2 성분과 46%의 산화철, 그리고 불순물을 포함하고 있는 광물이다. 적철석(haematite)는 7%의 TiO_2 성분을 포함한다.

산화티탄의 원석은 화학 조성이 미세하게 다르기 때문에 결정 구조에 차이가 있다. 이 결정구조의 차이로 색상이나 강도 등 물리적인 특징이 다르다. 예를 들어 금홍석의 경도는 6-6.5이고, 티탄철석은 5-6으로 금홍석이 조금 더 단단한 성질을 가지고 있다. 아래 [도판 6]은 결정구조의 차이로 색상이나 모양이 각기 다른 금홍석·티탄철석·예추석·판티탄석의 모습이다.

국문명	금홍석	티탄철석	예추석	판티탄석	적철석
영문명	rutile	ilmenite	anatase	brookite	haematite
화학식	TiO_2	$FeTiO_3$	TiO_2	TiO_2	Fe_2O_3
결정구조	정방정계	삼방정계	정방정계	사방정계	삼방정계
비고	90% TiO_2 10% 불순물	50% TiO_2 46% 불순물			7% TiO_2 70% FeO

[표 2] 산화티탄 원료의 각 특징

구」, 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 석사학위논문, 2014, p.1.

21) KORES(한국광물자원공사), https://www.kores.or.kr/views/cms/hmine/mi/mi02/mi0202.jsp (2020년 5월 18일 검색).

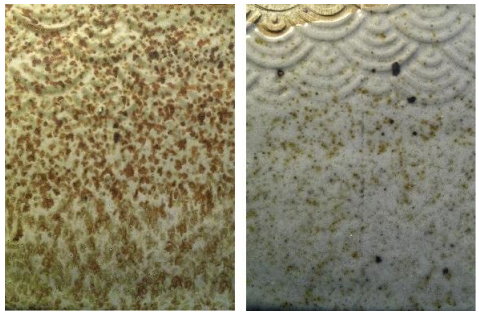
[도판 6] 산화티탄의 원석인 금홍석, 티탄철석, 예추석, 판티탄석[22]

많은 화학자는 루틸을 산화티탄의 원료 중 하나로 인식하고 TiO_2 성분 외의 다른 불순물은 고려하지 않지만, 도예가에게 이 불순물은 정제된 산화티탄을 쓰지 않고 루틸을 쓰는 이유이며, 무시할 수 없는 요소다.[23] 같은 이유로 본 연구에서도 루틸을 연구대상으로 설정했으며, 유약 실험 결과에서도 루틸을 사용했을 때 더 깊고 진한 색감을 보여주었다.

루틸은 천연 재료이기 때문에 정제된 산화티탄보다 유약 재료로서 가격 경쟁력이 높다고 생각하기 쉽다. 그러나 예상과는 달리 산화티탄이

22) 이미지 출처: https://www.fabreminerals.com/specimens/BR-brasil-minerales.php (2020년 4월 12일 검색), https://georgiynn.ru/lt/mir-muzhchiny/osnovnye-svoistva-i-harakteristiki-ilmenita.html (2020년 4월 12일 검색), https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Brookite (2020년 4월 12일 검색), https://www.crystalclassics.co.uk/product/anatase-1/ (2020년 4월 12일 검색).
23) Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.368.

더 저렴하게 판매되는데, 그 이유는 세계적으로 루틸의 매장량이 적고 호주·남아공 등에 95% 이상 매장되어 있어 지역 편재성이 심하기 때문이다. 그러한 희소성 때문에 루틸의 가격이 산화티탄보다 상대적으로 높다. 반면 티탄철석의 경우 TiO_2 함유량은 루틸보다 낮으나 세계적으로 매장량이 풍부하여 루틸 가격의 약 5분의 1이기 때문에 산화티탄은 대부분 티탄철석을 정제하여 추출해낸다. 산화티탄이 더 저렴한 이유가 바로 이 때문이다. 가격이 높음에도 불구하고 연구자가 루틸을 유약에 사용하는 이유는 여러 티탄 원석 중 TiO_2 함유량이 가장 높기 때문이다. 즉, 루틸을 사용하여 TiO_2의 발색 효과를 주로 활용하되, 함유된 불순물로 더 깊은 색감을 낼 수 있기 때문이다. TiO_2와 불순물이 함께 들어있으면서도 가격 경쟁력이 높은 티탄철석은 사용하지 않았는데, 티탄철석은 TiO_2의 비율과 산화철 성분의 비율이 5대5에 가까워 유약에 첨가하면 [도판 7]처럼 산화철로 인해 갈색 반점이 두드러지게 나타나기 때문이다.



[도판 7] 유약에 티탄철석 첨가 결과[24)]

루틸의 단점은 원산지와 채광 시점에 따라 TiO_2와 불순물의 비율이 조금씩 다르다는 점이다. 즉, 화학적 조성이 일정하지 않으므로 루틸을 유약에 첨가했을 때 결과물이 다르게 나올 수 있다. 다른 발색 산화물과 비교했을 때, 루틸은 구입 시점에 따라 [도판 8]처럼 분말의 색에 약간 차이가 있다. 유약에 루틸을 단독 사용했을 때 산화소성에서는 호박색을

24) 이미지 출처: http://mikepottery.blogspot.com/2014/06/ilmenite-glazes.html (2020년 6월 1일 검색).

띠고, 환원소성에서는 푸르스름한 색감을 주면서[25] 유약에 작은 반점이나 줄무늬를 만든다[26]. 루틸을 소지에 첨가하면 작고 어두운 반점들을 표면에 만든다.

[도판 8] 채광 시점과 원산지에 따라 색이 다른 분말 상태의 루틸

(5) 이산화망간(manganese dioxide, MnO_2)

이산화망간은 분말 상태에서 검은색을 띠고, 산화소성과 환원소성 모두 밤색이나 보라색을 만드는데 용이하다. 보통 2~3% 정도 첨가하지만, 유약에 망간 화합물이 과포화가 되면 금속의 석출이 생겨 금속과 비슷한 광택을 만들어낸다. 고화도 유약에서는 결정적인 융제 역할을 한다. 단독으로 고온인 1305℃에서 발색 산화물로 사용되면 금속성의 금색을 내지만, 심하게 흘러내리므로 이것을 방지하기 위해 고령토나 다른 내화물질을 추가로 넣을 수 있다. 망간이 잘 혼합되지 않으면 반점이 생기므로 의도적인 뚜렷한 반점을 얻으려면 분쇄되지 않은 것을 구입해야 한다. 망간은 철과 더불어 유약과 소지에 쓸 수 있는 발색 산화물 중 가장 저렴하고 효과가 좋은 물질이다. 이산화망간의 원석과 분말 상태의 이산화망간·탄산망간은 [도판 9]와 같다.

---

25) 위의 책, p.368.
26) 용혜영,「안료를 사용한 색유약 연구」, 명지대학교 산업대학원 도자기기술학과 석사학위논문, 2013, p.6.

[도판 9] (왼쪽부터) 이산화망간의 원석인 능망간석(rhodochrosite), 분말 상태의 산화망간, 탄산망간[27]

(6) 산화코발트(cobalt oxide, CoO)

산화코발트는 모든 온도 대와 산화·환원소성에서 푸른색을 나오게 한다. 소성 온도와 분위기에 큰 제약을 받지 않기 때문에 역사적으로 널리 쓰인 산화물로, 조선 시대 청화백자에도 사용되었다. 유약에는 0.25%만 넣어도 푸른색을 만들기에 충분하다. 0.5%는 강한 청색을 내며, 1%을 첨가하면 검은 청색, 1% 이상 첨가하면 아주 진한 검은 청색이나 검은색을 낸다. 과도하게 코발트를 첨가하면 검푸른 반점이 고르지 못하게 나타나고, 금속 질감이 나타난다. 이를 방지하기 위해서는 적절한 비율로 코발트를 사용하는 동시에 분쇄기로 고르게 갈아야 한다. 산화철과 같이 강력한 융제 역할을 해서 시유와 소성 시 주의해야 한다. 루틸·산화철·산화망간·니켈 등 다른 발색 산화물과 함께 쓰면 다른 색감의 청색을 만들 수 있으며, 이 경우에는 다른 산화물과의 충돌을 막기 위해 0.1% 혹은 0.2%의 첨가가 적당하다. 혹은 산화코발트보다 발색이 약한 탄산코발트를 사용하는 방법이 있다. 산화코발트의 원석과 분말 상태의 산화코발트·탄산코발트는 [도판 10]과 같다.

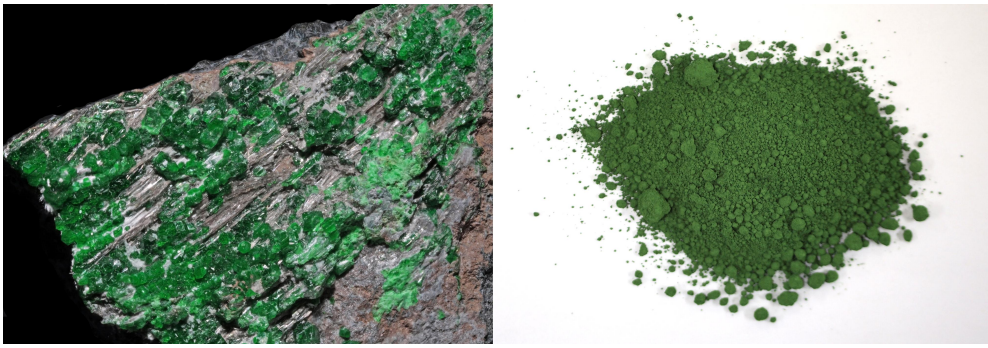
---

27) 이미지 출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Rhodochrosite (2020년 4월 12일 검색).

[도판 10] (왼쪽부터) 산화코발트의 원석인 휘코발트석(cobaltite), 분말 상태의 산화코발트, 탄산코발트[28]

(7) 산화크롬(chrome oxide, Cr_2O_3)

산화크롬은 대체로 차분한 초록색 유약을 만드는 데에 사용되지만 소성 온도와 기본유에 따라 붉은색, 노란색, 분홍색, 갈색, 청색을 낸다. 산화코발트나 산화동의 색상을 변화시키는 역할로 많이 쓰인다. 산화크롬은 자체로 내화성이 강하여 유약 안에서 산화철, 산화동, 산화코발트처럼 빨리 용해되지 않는다. 1% 정도 용해되며 나머지는 아주 작은 결정을 생성하며, 이 결정으로 불투명의 녹색 유약을 얻을 수 있다. 납 유약에 넣어 저온 소성을 하면 밝은 붉은색을 얻을 수 있으나, 납 유약은 독성이 있어 식기 제작에서는 피해야 한다.



28) 이미지 출처: https://stocksnewswire.com/2019/10/09/pacific-rim-cobalt-corporation-otcqb-pcrcf-nickel-cobalt-global-demand-gives-rise-to-high-grade-mineralization/ (2020년 4월 12일 검색).

[도판 11] (왼쪽부터) 산화크롬의 원석인 회크롬 석류석(uvarovite), 분말 상태의 산화크롬[29)]

(8) 산화니켈(nickel oxide, Ni_2O)

다른 발색 산화물은 발색 외에 용융을 더 쉽게 하는 역할도 겸하지만, 산화니켈은 발색 역할에만 국한되어 있다. 산화니켈은 다양한 색을 내지만 가장 전형적인 색은 갈색으로, 2% 이상 첨가하면 갈색이 나오고 1% 이하의 적은 양은 거의 모든 기본 유약에서 회색을 낸다. 산화코발트, 산화철, 산화구리에 1% 이하를 첨가하면 차분한 회색을 얻을 수 있다. 그러나 산화니켈은 발색이 매우 불안정하기에 상업적 착색제로는 거의 사용하지 않는다. 또한 매우 내화성이 강하여 무광택유에 2% 이상 첨가하면 과도하게 표면을 거칠게 만든다.

[도판 12] (왼쪽부터) 산화니켈의 원석인 규니켈석(garnierite), 분말 상태의 산화니켈[30)]

---

29) 이미지 출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Uvarovite (2020년 4월 12일 검색).
30) 이미지 출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Garnierite (2020년 4월 12일 검색).

1.4. 안료의 종류와 특징

일반적으로 안료는 물·기름에 녹지 않는 흰색 또는 유색의 가루로 유기 안료와 무기 안료로 나누는데 이 중 도예 작업에서 사용하는 안료는 무기안료에 속한다.[31] 모든 안료는 750℃와 1,300℃ 사이의 온도에서 소지와 유약에 안정성을 가진다. 어느 소성 온도에서 일정하게 발색하는지에 따라 '고화도 안료'와 '저화도 안료'로 나눌 수 있다. 보통 1,200℃ 이상의 고온 소성에서 일정하게 발색하는 안료를 '고화도 안료'라 하고, 900℃ 이하의 저온 소성에서 발색하는 안료를 '저화도 안료'라 부른다.

고화도 안료는 내화도를 높이기 위해 석영, 장석, 알루미나를 적절량으로 첨가해 제조한다. 몇몇 도예가들은 경제성을 위해 저화도 안료를 구입한 후 고화도 소성이 필요한 경우 용제 역할을 하는 원료를 추가하기도 한다. 안료는 비싸지만 산화물로 조합해 만들었을 때 제작비가 훨씬 많이 들거나 혹은 산화물로 제작할 수 없는 색상을 만드는데 유용하다.[32] 고화도 안료는 '하회안료(underglaze stain)'라고도 하는데, 생소지 혹은 초벌 소성한 기물 위에 그림을 그린 후 시유하여 재벌 소성하여 사용한다. 고화도에서 소성하기 때문에 변색 또는 탈색 가능성이 높아 소성 전과 소성 후의 색채가 상당히 달라질 수 있다. 예를 들어 분홍색이나 보라색 등 붉은색 계열의 색채는 고온에서 버티지 못해 회색으로 나오거나 전혀 나오기도 한다. 사용하는 가마 소성 조건에 따라 알맞은 안료를 찾아야 하며, 같은 색이더라도 제조사에 따라 사용하는 원료가 다르므로 반드시 실험 후 사용해야 한다. 또한 고화도 안료는 제한된 색만 얻을 수 있어 저화도 안료보다 종류가 다양하지 않다.[33]

저화도 안료는 '상회안료(onglaze stain)'라고 하며 재벌 소성이 끝난 기물에 그림을 그릴 때 사용한다. 700~800℃의 낮은 온도에서 안료를 유약 위에 융착시키며, 저온에서 소성하므로 하회안료보다 더 다양한 색

---

31) 용혜영, 앞의 책, 2013, p.2.
32) Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.368.
33) 송태경,「고화도 하회안료 개발」, 명지대학교 산업대학원 도자기기술학과, 2009, p.2-3.

상을 얻을 수 있다. 전사나 수금·수은 장식이 이에 포함된다. 그러나 소성 온도가 낮으므로 기물을 오랜 시간 사용했을 때 장식이 흐려지거나 아예 떨어지는 단점이 있다.

최근 개발된 안료는 기존 안료보다 더 나은 발색 결과를 제공하면서 독성도 거의 없다. 안료의 유용성에도 불구하고, 일부 도예가들은 원료의 불순물로 인한 부수적인 효과를 활용하기 위해 안료 대신 산화물을 사용하는 것을 선호한다.[34]

본 연구에서는 산화물인 루틸을 유약의 주 발색제로 활용하되, 추가 발색제로 안료를 첨가하기도 하였다. 효율적인 실험을 위해 기본유를 설정했지만, 한정된 기본유에 루틸을 단독 첨가해서는 발색 범위가 제한적임을 극복하고자 하였다. 이를 위해 루틸을 첨가한 유약에 안료를 추가로 사용함으로써 발색 범위를 넓히고자 하였다.

34) Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.345.

2. 루틸이 포함된 유약의 효과와 기존 사례

앞서 발색 산화물의 종류와 특징을 설명하면서 산화티탄이 유약에서 어떤 효과를 내는지 살펴보았다. 산화티탄은 순수한 TiO_2 성분으로 이루어져 있으며 루틸은 TiO_2 성분이 90% 이상, 철을 비롯한 불순물이 10% 이하를 차지한다. TiO_2의 성질이 루틸에 지배적인 영향을 끼치기 때문에 유약에서 산화티탄의 효과와 루틸의 효과는 유사하다. 다만 두 원료는 발색에서 차이를 보이는데, 루틸은 TiO_2와 불순물이 결합되어 있어 산화티탄보다 발색이 더 진하고 깊다. 루틸이 포함된 유약의 효과와 이를 활용한 기존 사례는 다음과 같다.

2.1. 발색 효과

루틸의 발색 효과는 본 연구의 연구대상이며, 시각적으로 분명한 효과이다. 루틸만 단독 사용했을 때에 산화 소성에서 황색을 나오게 하고, 환원 소성에서는 푸르스름한 색감을 준다고 알려져 있고,[35] 그 예는 [도판 13]과 같다. 하지만 루틸의 발색은 기본유의 조성 또는 소지의 종류에 따라 달라질 수 있고, 그 예는 [도판 14]와 같다.

영국 출신 작가 Peter Sparrey는 물레성형으로 백자토와 유색 점토 모두 사용해 기물을 제작하며, 다양한 유약을 적용하여 가스 가마로 1,280℃에서 소성한다. 특히 극동 아시아 지역의 도자기의 전통적인 고화도 유약의 천목유, 청자유, 동유약를 사용해 작업을 진행한다.[36]

---

35) 위의 책, p.368.

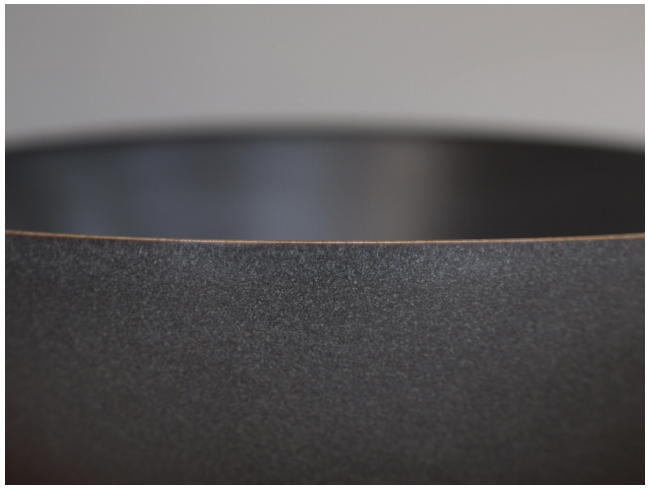
36) http://www.nicholasbowlby.co.uk/en-GB/gallery/peter-sparrey-porcelain-bowl-with-rutile-glaze-/prod_11382#.XoX_-tMzbq0

[도판 13] (왼쪽부터) Rose Uniacke, <Ceramic Small Bowl in Rutile Glaze>, Brother Thomas Bezanson, <Ovoid procelain vase with rutile blue glaze>[37]

[도판 14] 루틸의 다양한 발색을 보여주는 Peter Sparrey의 작업[38]

37) 이미지 출처: https://www.eporta.com/item/76820/rose-uniacke/ceramic-small-bowl-in-rutile-glaze/ (2020년 6월 1일 검색), https://www.mutualart.com/Artwork/Ovoid-porcelain-vase-with-rutile-blue-gl/7AB05B87727A8A6F (2020년 6월 1일 검색).
38) 이미지 출처: https://www.valentineclays.co.uk/potter/peter-sparrey (2020년 4월 12일 검색), http://www.nicholasbowlby.co.uk/en-GB/gallery/peter-sparrey-porcelain-bowl-with-rutile-glaze-/prod_11382 (2020년 4월 12일 검색).

[도판 13]과 [도판 14]에 제시한 작업 모두 전 부분의 색이 다른 것을 관찰할 수 있다. 이는 유약 두께의 차이 때문으로, 기물의 두께가 얇은 전 부분은 흡수할 수 있는 유약의 양이 적어 얇게 시유되기 때문이다. 이 연구에서 실험한 유약을 기물에 적용했을 때도 [도판 15]처럼 전 부분에서는 다른 색상으로 변하는 경우를 종종 발견할 수 있다.



[도판 15] 유약의 두께에 따라 달라지는 루틸의 발색[39]

2.2. 유탁 효과

유탁 효과는 앞서 산화티탄의 효과 중 하나로 언급한 '실투 효과'와 같으며 루틸을 5% 이상 첨가하면 얻을 수 있다. 유약에 눈에 보이지 않는 미세한 결정을 일정하게 생성해 유약 표면을 불투명하게 만들고, 광택을 감소시켜 유약 아래 소지가 보이지 않게 하는 현상이다. 유탁 효과로 만들어진 미세한 바늘 모양 결정은 굴절률이 높아 유약층 중에서 현탁되어 빛을 산란시켜 광택이 없고 부드러운 표면의 유약을 만들 수 있다.[40] 유

39) 볼(bowl)의 전 부분이며, 사용 유약은 G14 M0.4 루틸 8%+M800 1%이다.
40) 우난희,「산화티탄이 발색산화물에 미치는 영향 연구」, 명지대학교 산업대

탁제를 다량 첨가한 유약을 '유탁유(乳濁釉)'라고 하며 유탁제를 첨가해 부드러운 유백색을 띠는 유약을 '유백유(乳白釉)'라고 한다. 따라서 사실상 유약에서 사용하는 유탁제와 유백제는 같은 원료지만 본 연구에서는 유탁제로 통일하여 기재한다. 루틸 이외에 산화아연·규산지르코늄·산화주석도 유탁제에 해당한다.[41] 루틸의 경우 발색 효과와 유탁 효과를 함께 갖고 있는 산화물인데, 예술 작품이나 많은 변화를 요구하는 제품들을 제작할 때는 루틸처럼 약간의 색상이 들어가 있는 유탁제를 선호하는 경향이 있다.[42] 루틸을 함유한 유탁유의 예시는 [도판 16]과 같다.

[도판 16] 루틸을 함유한 유탁유의 예시[43]

2.3. 결정 생성 효과

앞서 루틸을 5% 이상 첨가하면 유탁 효과로 무광택유를 만들 수 있다고 언급하였다. 무광택유를 만드는 결정은 육안으로 볼 수 없을 정도로 작지만, 최소 10%, 최대 25% 루틸을 첨가하면 육안으로 볼 수 있을 정도로 큰 결정이 유약 표면에 만들어진다. 루틸에 함유된 TiO_2는 작은 핵, 즉 결정이 자랄 수 있는 씨앗을 형성한다.[44]

학원 도자기기술학과 석사학위논문, 2004, p.5.

41) 최현심,「티탄결정 유백유약 연구」, 명지대학교 산업대학원 세라믹아트공학과 석사학위논문, 2018, p.5.

42) 이복규,『도자원료』, 미진사, 1993, p.129.

43) 이미지 출처: https://ceramicartsnetwork.org/ceramic-recipes/reference/strontiumbarium/# (2020년 4월 26일 검색).

유약에 결정을 생성하기 위해서는 몇 가지 조건이 있다. 첫 번째 조건은 적절한 냉각 속도를 조절하는 것이다. 결정은 유약이 녹았다가 가마 안에서 냉각될 때 유약에 여분으로 녹아 있던 성분이 그대로 또는 다른 유약 성분과 화합하여 표면에 나타나는 현상이며, 천천히 냉각할수록 결정은 크게 성장한다.

두 번째 조건은 유약 조성이다. $ZnO{\cdot}MgO{\cdot}TiO{\cdot}Fe_2O_3{\cdot}CuO$처럼 특정 산화물이 결정화를 촉진시키며, 또한 Al_2O_3 성분이 적을수록 결정 생성이 더 잘 된다.[45] Al_2O_3는 중성 성분으로 많이 첨가될수록 유약의 점도가 높아져 유약의 유동성을 낮춘다. 유약의 유동성이 낮아지면 결정이 생성되는 온도 구간에서 성분 간의 이동을 방해하므로 결정이 크게 성장할 수 없다. SiO_2 첨가량도 적정 수준을 초과하면 같은 현상을 보인다. 또한 Al_2O_3 성분은 결정핵을 많이 생성해 미세한 결정을 만들어 결정유보다는 무광택유를 만드는데 더 용이하다. 따라서 결정유를 만들기 위해서는 Al_2O_3의 비가 낮은 유약으로 조성해야 한다.[46]

[도판 17] Ben Owen, 'Stardust Yellow Series'
(왼쪽부터) <Egg Vases>, <Edo Jar in Golden Stardust>[47]

---

44) Yvonne Hutchinson Cuff, 앞의 책, p.368.
45) 최현심, 앞의 책, p.5.
46) 임세현,「Augite계 금색결정 유약에 관한 연구」, 명지대학교 산업대학원 세라믹아트공학과 석사학위논문, 2018, p.4.
47) 이미지 출처: https://benowenpottery.com/prior-works#/stardust-yellow (20

Ben Owen의 연작인 'Stardust Yellow'는 루틸의 발색 효과와 결정유 생성 효과를 동시에 이용한 좋은 예시다. 루틸의 TiO_2 성분과 철 성분이 만나 황색 밑바탕을 만들었으며, 그 위에 흰색 결정이 피어오른 것을 볼 수 있다. Ben Owen은 유약 내 결정 생성을 위해 가마 온도의 상승 속도와 냉각 속도를 세심하게 조절하고, 가마에서 기물의 적재 위치 또한 중요하게 생각했다. 이는 결정유 생성을 위한 세 번째 조건으로, 온도가 높은 곳에 재임하면 많이 흐르고, 온도가 낮은 곳에 재임하면 결정이 피지 않으므로 주의해야 한다.[48]

결정유를 생성하는 네 번째 조건은 시유된 유약의 두께이다. 두껍게 시유하면 유약의 성질과 질감을 극대화할 수 있는데, 결정은 유약의 질감과 연결되어 있는 성질이기 때문에 일정 두께 이상으로 시유를 해야 결정이 형성된다. 유약의 성질에 따라 적절한 두께는 다르지만 일반적인 경우 소성 전 시유된 유약의 두께는 약 0.8mm이고, 이보다 '무거운 시유'의 경우에는 그 두 배인 약 1.6mm, 하얀 도기에 얇게 시유하는 투명유의 경우 약 0.4mm나 그 이하이다.[49] Ben Owen은 스프레이 시유법으로 서로 다른 유약을 겹겹이 올려 유약의 두께를 형성했다.[50] 스프레이 시유법은 산업 도자에서 많이 이용되며 넓은 표면을 빠르게 시유할 수 있고 쉽게 색 차이를 낼 수 있으며, 적은 양의 유약으로도 시유할 수 있다는 장점을 지닌다.[51]

20년 4월 12일 검색).

48) Emmanuel Cooper 외,『도예유약』, 김남수 역, 미진사, 1992, p.61.

49) Daniel Rhodes, 이부연 외 역,『도예가를 위한 점토와 유약』, 한양대학교 출판부, 2014, p.278.

50) https://benowenpottery.com/prior-works#/stardust-yellow

51) Emmanuel Cooper 외, 앞의 책, p.61.

3. 루틸 첨가 유약 실험

3.1 사용 원료

연구자가 본 연구에서 사용한 유약 원료의 화학조성은 [표 3]과 같다. 유약 원료는 중국장석과 부여장석을 혼합한 장석, 청주 석회석, 인도네시아 고령토, 김천 규석, 중국 활석을 사용했다. 알루미나·산화지르콘·산화주석·산화아연·탄산코발트는 화공약품을 사용했으며, 안료 M145(Avocado Green)과 M800(Black)은 대원도재에서 판매하는 것을 사용했고 안료 D.Red는 석산도재에서 판매하는 것을 사용했다.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	Ig.Loss
장석	73.92	15.80	0.47	0.16	4.36	3.07	0.01	-
고령토	43.31	40.18	0.008	0.64	0.03	0.79	0.05	14.25
석회석	0.08	0.05	54.20	0.04	-	0.02	0.39	-
활석	56.00	3.00	2.00	3.00	-	-	28.00	-
규석 (석영)	99.70	0.01	-	0.02	-	0.02	-	-

[표 3] 유약 원료의 화학 조성표[52)]

본 연구에서 사용한 루틸은 모두 대원도재에서 구입했으며, 구입한 시기에 따라 두 종류로 나뉜다. 루틸 A는 2018년 7월경 구입했으며, 루틸 B는 2020년 1월경 구입했다. 두 가지 모두 짙은 갈색이나 색상이 약간 달라 화학 조성에도 차이가 있을 것으로 예상했다. 그러나 성분 분석 결과, 루틸 A와 B의 TiO_2 성분과 Fe_2O_3 성분 함량에 큰 차이는 없었다.

52) 인성기업사 제공.

따라서 구입 시점에 따라 구분하지 않고 모두 루틸로 통일하여 기재한다. 루틸 A와 B의 화학 조성표는 [표 4]와 같다.

	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	Ig. Loss
루틸 A	0.33	0.29	98.56	0.12	0.04	0.05	0.11	0.01	0.01	0.09	0.36
루틸 B	0.83	0.28	97.98	0.22	0.04	0.04	0.10	0.01	0.01	0.06	0.41

[표 4] 루틸의 화학 조성표[53)]

3.2. 시편 제작

‘시편’이란 어떤 소지나 유약을 작품 연구에 본격적으로 사용하기 전에 만드는 표본을 가리킨다. 본 연구는 현대소재에서 판매하는 백자 소지인 RAC-203에 사용할 유약을 실험하는 것이므로, RAC-203으로 시편을 제작했다. RAC-203의 화학 조성표는 [표 5]와 같다. 적절한 크기로 시편을 제작한 후, 천천히 건조시켜 950℃에서 초벌 소성해 사용했다. 시편의 예시는 [도판 18]과 같다.

시편 제작에 필요한 유약의 전체 중량은 40g과 45g 사이로 조정했다. 200mesh 체로 걸러준 후, 하루 뒤에 떠오른 물을 제거해 유약의 비중을 적절히 높였다. 유약의 비중을 높이는 이유는 일정 두께 이상으로 시유해 얇은 두께에서는 확인할 수 없는 유약의 성질과 결함을 드러내기 위해서이다. 그리고 시유 두께의 차이를 주기 위해 최소 세 겹으로 시유를 한다. 소성 분위기에 따라 유약이 어떻게 달라지는지 알아보기 위해 한 가지 유약으로 두 개의 시편을 시유하여 하나는 산화소성, 다른 하나는 환원소성을 했다. 산화소성과 환원소성 모두 cone 9(1280℃)를 기준으로

53) 서울대 기초과학공동기기원 WD-XRF I(XRF-1700) 파장분산형 X선 형광분석기 I 기기 사용.

소성하였다. 환원소성은 도염식 가마를 사용했고 약 12시간 정도 소성했으며 시간과 온도에 따른 소성 그래프는 [표 6]와 같다. 만약 이 연구가 루틸의 결정 생성 역할을 중점적으로 다루었다면 소성 그래프의 모양은 [표 7]과 같을 것이다. 유약의 결정 생성은 유약이 가마 안에서 냉각될 때 유약에 여분으로 녹아 있던 물질이 그대로 나타나거나 다른 유약 성분과 화합하여 표면에 나타나는 현상이다. 따라서 커다란 결정을 만들기 위해서는 천천히 냉각할 필요가 있거나[54] 최고 온도를 일정 시간 유지했을 것이다.

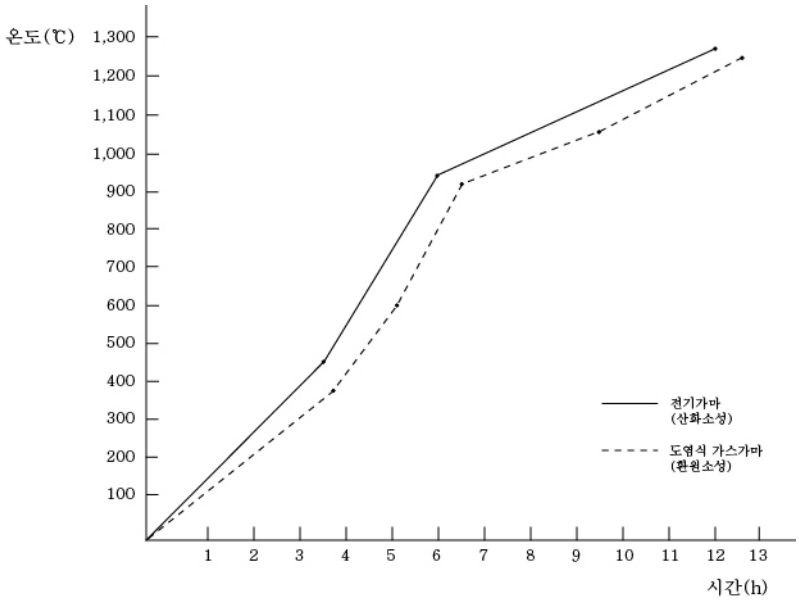
그러나 본 연구에서는 루틸의 발색 효과가 주 연구대상이고, 차분하고 안정적인 느낌을 주는 기물 제작을 목표로 설정했다. 따라서 유약 내에 크기가 큰 결정을 생성하는 것은 기물의 장식성을 높이므로 연구에서 지향하는 바와 다르다. 그래서 소성 시 냉각 속도를 따로 조정하거나 최고 온도를 유지하지 않았다. 최현심(2018)의 경우 TiO_2 성분이 함유된 결정 유약을 만드는 것이 연구의 목표였기 때문에, [표 7]과 같이 최고 온도인 1250℃을 1시간 유지시킨 후 자연 냉각하였다.[55]

원료	조합비
도석	30
고령토	25-35
장석	10-15
규석	10
수입 점토 (가소성 점토)	10

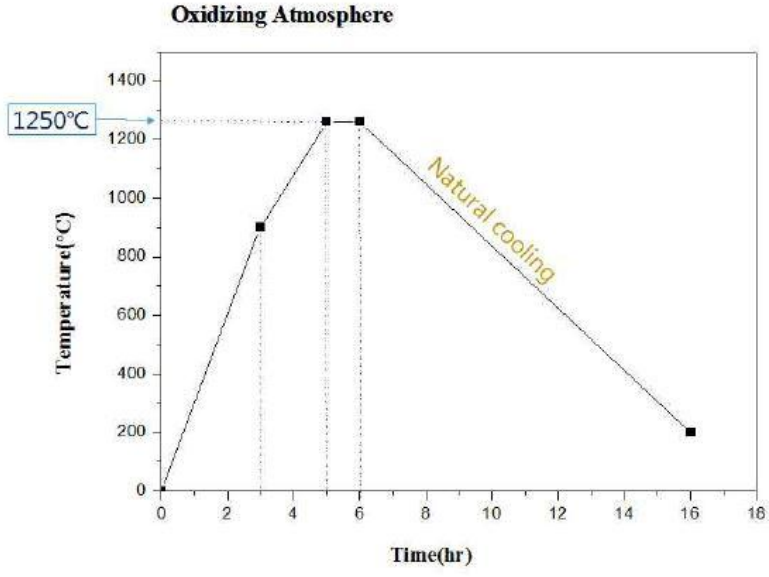
[표 5] 현대소재 RAC-203의 화학 조성표 [56]

[도판 18] 시편 예시

54) 최현심, 앞의 책, p.2.
55) 최현심, 앞의 책, p.28.
56) 현대소재 제공.



[표 6] 소성 그래프



[표 7] 결정 생성을 의도한 소성 그래프[57]

57) 위의 책, p.28.

3.3. 기본유 실험

‘기본유’란 발색제를 첨가하기 전 상태의 유약을 말한다. 기본 유약은 염기성·중성·산성 성분에 어떤 원료를 어떤 비율로 배합하느냐에 따라 성질이 달라진다. 유약 원료의 종류는 굉장히 다양하고, 배합 비율을 얼마든지 다양하게 할 수 있기 때문에 사실상 기본유의 가짓수는 무한하다. 그러나 유약 실험에서 이 모든 경우의 수를 다룰 수 없기 때문에 실험의 목적에 맞게 기본유의 범위를 좁히는 것이 중요하다. 이 연구는 루틸을 발색제로서 첨가하되, 차분하고 안정적인 인상의 유약 개발을 목적으로 한다. 그래서 광택이 적은 반광택유 또는 무광택유에 발색제를 첨가하는 것이 이 연구의 목적과 부합한다고 불 수 있다.

따라서 RAC-203 소지와 수축률이 맞고, 성질이 좋되 광택이 적은 조성을 찾는 것이 기본유 실험의 목적이다. $0.3K_2O$-$0.7CaO$로 염기성 성분을 고정하고, 크게 두 단계로 기본유 실험을 진행했다. 첫 번째 단계에서는 Al_2O_3-SiO_2의 비율, 즉 유약의 중성 성분과 산성 성분의 비율을 조정해 광택이 적은 비율을 찾아냈다. 두 번째 단계에서는 염기성 성분, 즉 융제 성분의 일부를 활석 또는 산화아연으로 대치했다. 이 두 가지 원료를 선택한 이유는 융제 역할을 하는 동시에 유약의 광택을 감소시키기 때문이다.

3.3.1. Al_2O_3 - SiO_2 비율 조정 실험

유약 조성을 계산하는 방법은 제겔식을 사용했다. 제겔식은 유약 원료의 성분을 염기성(RO)·중성(R_2O_3)·산성(RO_2)으로 나누어 유약의 성질을 파악할 수 있다. 또한 원하는 원료를 선택해 제겔식으로 계산 후 새로운 유약을 만들 수 있다. 특히 염기성 성분은 다른 물질과 쉽게 반응하려는 성질이 강하기 때문에[58] 유약에서 어떤 원료를 융제로 쓰느냐에 따라 유약의 특성을 결정한다. 연구자는 융제 구성을 $0.3K_2O$-$0.7CaO$로 결정

58) 이복규, 앞의 책, p.25.

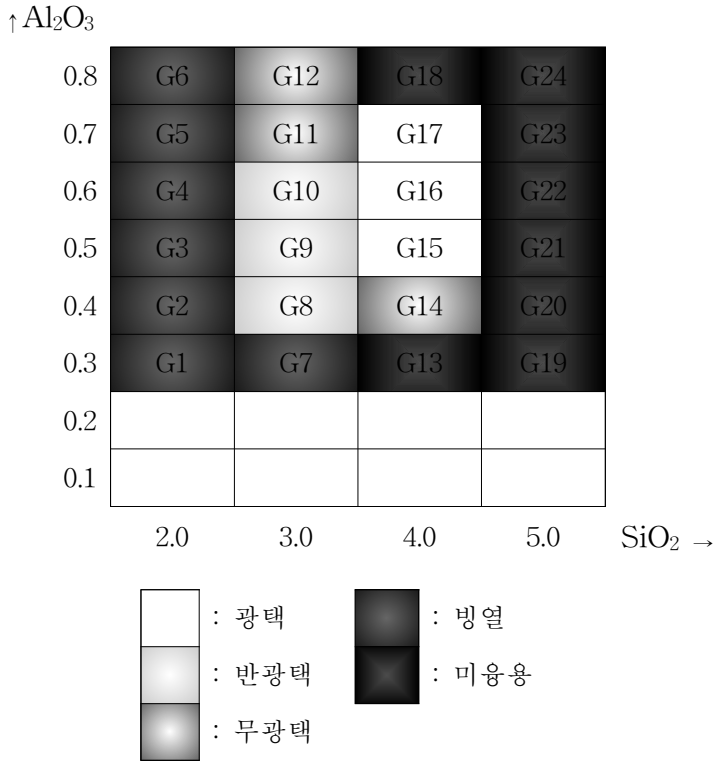
했는데, 이는 장석 및 석회 성분으로 융제 성분이 구성된 유약이다. 이 두 가지 성분을 선택한 이유는 장석과 석회석이 유약의 융제로서 가장 경제적이고 안정적이기 때문이다. 또한 석회유는 발색에 유리하다는 장점 때문에 일반적 유약 실험의 기본유로 가장 많이 사용된다.[59]

이를 종합해 기본유 실험을 위한 제겔식 구성을 정리하면 다음과 같다.

$0.3K_2O$	(x) Al_2O_3	(y) SiO_2
$0.7CaO$		

Al_2O_3는 0.3 mole부터 0.1 mole씩 증가시켜 최대 1.0 mole까지 첨가했다. SiO_2는 2.0 mole부터 1.0 mole씩 증가시켜 최대 5.0 mole까지 첨가해 실험을 진행했다. SiO_2가 약 1 mole 이하인 경우는 실험하지 않았는데, 이 경우 유약이 아예 녹지 않는 현상이 발생하기 때문이다. 기본유 실험에서 활용한 Al_2O_3와 SiO_2의 mole의 비율 표와 실험 결과는 [표 8]과 같다.

59) 이혜미,「SiO_2 함유량이 적은 무광택유에 관한 연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문, 2015, p.16



[표 8] Al_2O_3-SiO_2 mole 비율 조정 실험 결과

Al_2O_3와 SiO_2의 mole 비율 조정 실험 결과, 유표면이 양호한 유약을 만들기 위해서는 Al_2O_3와 SiO_2 성분이 어느 하나에 치우치지 않고 적절한 비율로 있어야 한다는 점을 알 수 있었다. G1부터 G7은 SiO_2 성분이 지나치게 적은 구간으로, RAC-203과 수축률이 맞지 않아 유약 표면에 눈에 띄게 빙열이 생겼다. 반대로 유약에서 SiO_2 비율이 과하게 많아도 사용할 수 없는 유약이 나왔다. SiO2가 5 mole 이상인 G19부터 G24는 거칠거나 표면이 심하게 갈라졌다. Al_2O_3에 비해 SiO_2의 비율이 과하게 많은 G13과 Al_2O_3와 SiO_2 함량이 모두 높은 축에 속하는 G18은 유약이 완전히 녹지 못하고 표면이 울퉁불퉁했다.

Al_2O_3가 0.4 mole 이상이고, SiO_2가 3 mole에서 4 mole 사이일 때 사용할 수 있는 유약이 나왔다. G8에서 G10까지는 광택이 너무 많지도 적

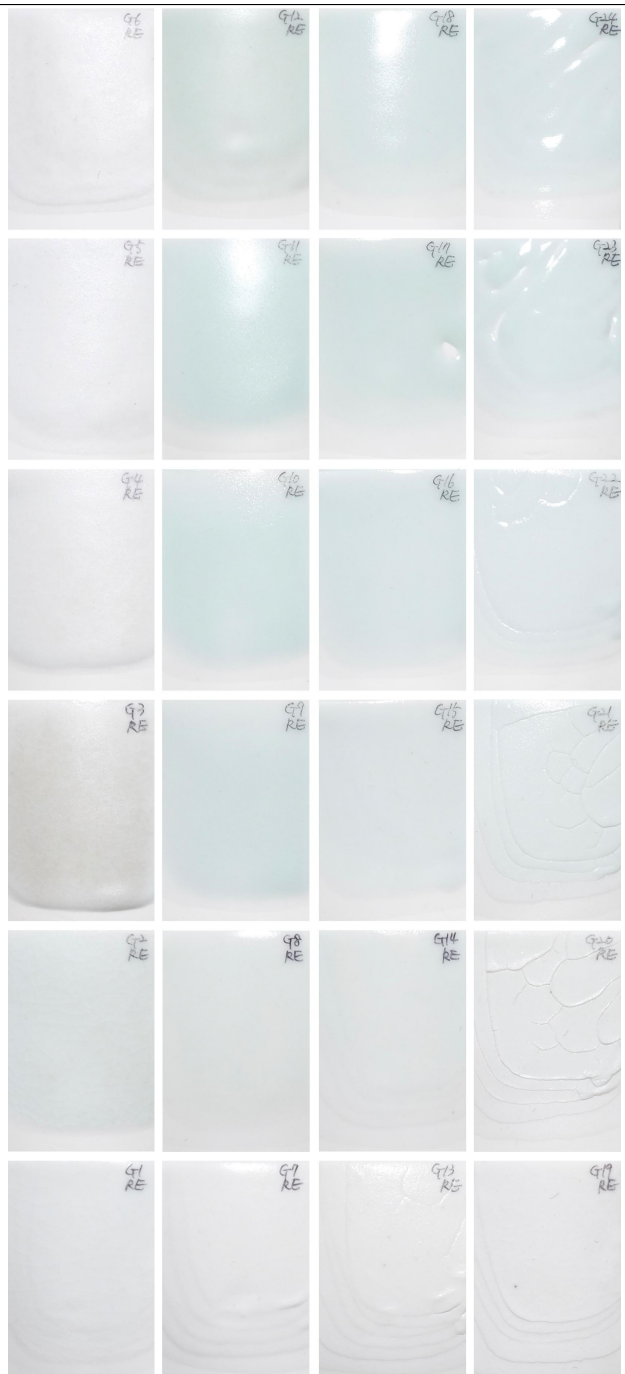
지도 않은 반광택유가 나왔다. Al_2O_3의 함량이 상대적으로 많아진 G11과 G12는 무광택 표면이 형성되었다. 또한 G14도 무광택 표면이 형성되었는데, G13보다 Al_2O_3의 양이 증가해 안정적인 표면을 보여준다. G15부터 G17은 광택이 두드러지면서 적절한 표면이 나왔다.

Al_2O_3와 SiO_2의 mole 비율 조정 실험은 반광택유와 무광택유에 해당하는 비율을 찾는 데 목적이 있다. 실험 결과, 반광택유는 Al_2O_3가 0.4mole이고 SiO_2가 3mole인 G8을 선택하고, 무광택유는 Al_2O_3가 0.4mole 이고, SiO_2가 3mole인 G14을 선택했다. SiO_2가 1mole 적고 많음에 따라 표면이 다르게 나온 점이 흥미로웠고, 이 차이가 루틸의 발색에 어떻게 영향을 주는지도 알아보고 싶었다. 소성 분위기에 따른 두 유약의 표면은 [표 9]와 같다. Al_2O_3와 SiO_2의 mole 비율 조정 실험의 산화소성의 결과는 [도판 19]와 같고, 환원소성의 결과는 [도판 20]과 같다.

	산화소성	환원소성
G8		
G14		

[표 9] 소성 분위기에 따른
G8과 G14의 유표면

[도판 19] Al_2O_3-SiO_2 mole 비율 조정
실험 결과(산화소성)



[도판 20] Al_2O_3-SiO_2 mole 비율 조정
실험 결과(환원소성)

3.3.2. 융제 대치 실험

앞서 실험을 통해 연구자가 원하는 반광택유와 무광택유의 Al_2O_3와 SiO_2 비를 찾아냈고, 각 Al_2O_3-SiO_2 비를 고정한 후 융제 대치 실험을 진행하였다. 융제 대치 실험은 석회유 융제인 석회석을 다른 융제로 대치하는 실험으로, 각기 다른 융제의 역할과 효과를 알아보는 실험이다. 또한 장석이나 도석을 제외하고 한 가지 융제보다 여러 가지 융제를 사용하면 서로 잘 녹는 성질을 갖기 때문에[60] 유약의 성질이 좋아진다. 이미 기본유에 석회석이 첨가되어 있었고, 여기에 다른 융제를 함께 사용했을 때 어떤 결과가 나오는지 알아보고자 한다. 고화도 유약에서 석회석을 대치할 수 있고 광택이 덜한 융제로는 활석·산화아연·탄산바륨·탄산스트론튬·백운석 등이 있다. 연구자는 이 중 활석과 산화아연을 선택해서 실험을 진행했다.

탄산바륨은 보통 부드럽고 윤기 없는 무광택 표면을 만드는데 사용하고, 발색제와 잘 맞는 융제로 알려져 있어 화려한 구리 청색을 만드는데 중요한 역할을 한다.[61] 그러나 탄산바륨은 독중석이라고 부를 만큼 심한 독성을 가지고 있어[62] 본 연구에서는 사용하지 않았다. 탄산스트론튬은 석회석보다 비싼 것에 비해 뚜렷한 장점이 없기 때문에 거의 사용하지 않아[63] 본 연구에서 실험하지 않았다. 백운석은 활석과 함께 유약에 MgO 성분을 첨가하고 싶을 때 사용하지만, 석회 성분을 함께 포함하고 있어 유약에서 마그네시아 성분의 효과를 알고 싶은 본 연구의 취지와 맞지 않아 실험 대상에서 제외하였다.

융제 대치 실험은 K_2O의 mole 수를 그대로 0.3 mole로 고정하고, 석회성분인 CaO의 mole 수를 대치 융제로 0.1 mole씩 대치하여 마지막은 0.7 mole을 첨가함으로써 완전히 CaO을 대신하도록 실험했다. 앞서

60) 이병하,『나만의 유약 만들기- 기본 유약 편』, 2003, p.43.
61) Daniel Rhodes, 앞의 책, p.113-114.
62) 이복규, 앞의 책, p.45.
63) Daniel Rhodes, 앞의 책, p.114.

Al_2O_3와 SiO_2 조정 실험에서 결정한 반광택유인 G8과 무광택유인 G14를 사용한 각 제겔식의 구성은 다음과 같다.

① G8	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.7	x CaO		
		y 대치 융제		
		(x+y=0.7)		
② G14	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.7	x CaO		
		y 대치 융제		
		(x+y=0.7)		

예를 들어 G8의 일부 융제를 활석으로 0.1 mole 대치하면 제겔식은 다음과 같다.

G8 M0.1	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.6	CaO		
	0.1	MgO		

0.1 mole 단위로 융제를 대치하고, 마지막은 CaO의 전체 mole 수인 0.7 mole로 융제를 대치했다. 연구자가 선택한 대치 융제인 활석과 산화아연의 특성과 융제 대치 실험 결과는 아래와 같다.

(1) 활석(3 MgO·4 SiO_2· H_2O)

MgO은 내화성이 강해 고화도 유약의 융제로 사용되며, 저화도 유약에서는 투명도를 낮추고 윤기를 없애는 용도 외에는 잘 사용하지 않는다.[64] 유약에서 결정의 성장을 촉진하여 반광택유와 무광택유를 만들어 특히 환원 소성에서 부드럽고 매끄러운 유표면을 만든다. 커다란 결정을 성장시키는 데는 2% 미만으로 첨가되어야 하는데, 과도하게 첨가하면 유약이 말리거나 핀홀(pinhole) 현상이 나타날 수 있다.[65] 또한 MgO는 철의 발색을 좋게 하므로 천목유 같이 산화철을 사용하는 유약에 필수적인 원료다.[66] MgO를 함유하고 있는 원료로는 활석·백운석·탄산마그네슘 등이 있다[67]. 탄산마그네슘은 소지에 첨가할 경우 강력한 융제로 작용하여 소성온도를 낮추고 투광성을 높이나, 수축률이 커지고 변형이 심한 단점이 있다. 유약 제조용으로는 거의 사용하지 않아 유약에서 MgO 성분이 필요하면 일반적으로 활석이나 백운석을 사용한다.[68]

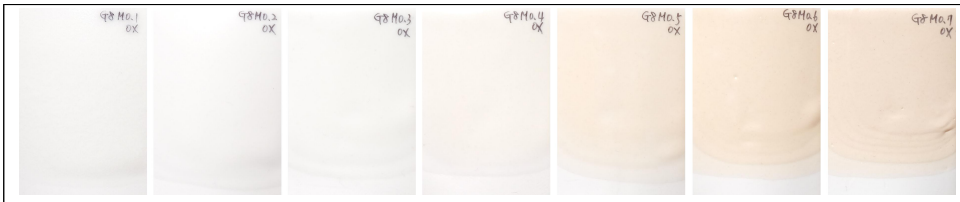
활석을 유약 원료로 사용할 때는 MgO 외에 SiO_2 성분을 포함하고 있다는 점을 고려해야한다. SiO_2 성분이 있어 5% 이내로 소량 첨가하면 투광성을 좋게 해서 광택을 나게 하며, 20% 이내로 비교적 많이 첨가하면 질감이 부드러운 유백색의 무광택 유약이 된다.[69] 석회유보다 백색도와 경도가 높아 칼이나 포크를 사용해도 흠집이 잘 나지 않으므로 유럽에서 식기로 많이 사용되고 있다.[70] 특히 석회석과 활석을 같이 융제로 사용한 유약은 내부에 결정이 쉽게 만들어져 따로 유백제나 결정 생성제를 첨가하지 않아도 좋은 유백유와 결정유를 만들 수 있다.[71]

G8의 MgO 대치 실험에 사용한 제겔식은 [표 10]과 같고, 그 결과는

64) Daniel Rhodes, 앞의 책, p.114.
65) 이복규, 앞의 책, p.43.
66) 이병하,『나만의 유약 만들기- 기본 유약 편』, 2003, p.57.
67) 이혜미, 앞의 책, p.28.
68) 이복규, 앞의 책, p.44.
69) 이병하,『나만의 유약 만들기- 기본 유약 편』, 2003, p.57.
70) 위의 책, p.108.
71) 위의 책, p.123.

산화소성의 경우 [도판 21]과 같고, 환원소성의 경우 [도판 22]와 같다. 활석으로 0.1mole 대치한 경우, 결정이 생기고 광택이 좋아졌다. 활석을 0.2 mole부터 0.4mole까지 대치했을 때 성질이 좋은 흰 무광택유가 나왔다. 0.5mole부터는 잘 녹지 않아 시유 흔적이 보이고, 0.6 mole부터는 빙열이 생겼다.

G14의 MgO 대치 실험에 사용한 제겔식은 [표 11]과 같다. 실험 결과는 산화소성의 경우 [도판 23]과 같고, 환원소성의 경우 [도판 24]와 같다. G14의 경우 활석 대치 실험에서 모두 무광택 유약이 나왔지만, 0.4mole 대치했을 때 가장 결과가 좋았다. 0.4 mole 이하 혹은 이상 대치하면 녹지 않아 표면이 퍼석하고 시유 흔적이 그대로 나오는 등 성질이 좋지 않았다.

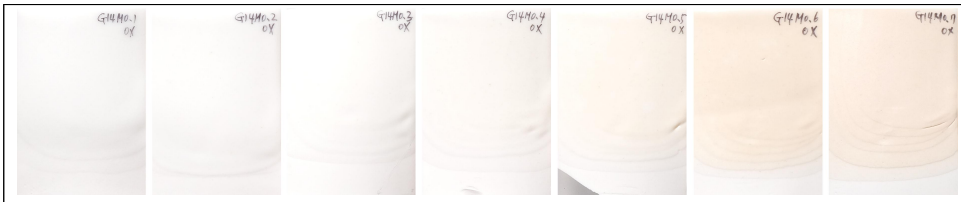


[도판 21] G8의 CaO-MgO 대치 실험 결과(산화소성)

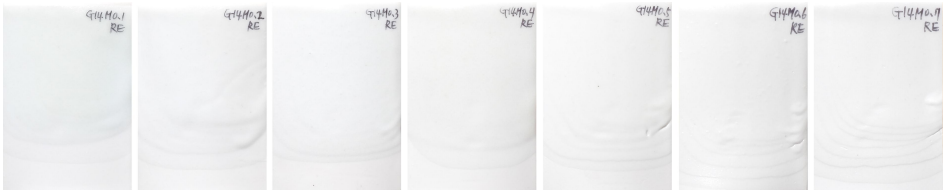
[도판 22] G8의 CaO-MgO 대치 실험 결과(환원소성)

G8 M0.1	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2	G8 M0.5	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.6	CaO				0.2	CaO		
	0.1	MgO				0.5	MgO		
G8 M0.2	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2	G8 M0.6	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.5	CaO				0.1	CaO		
	0.2	MgO				0.6	MgO		
G8 M0.3	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2	G8 M0.7	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.4	CaO				0.0	CaO		
	0.3	MgO				0.7	MgO		
G8 M0.4	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2					
	0.3	CaO							
	0.4	MgO							

[표 10] G8 MgO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식



[도판 23] G14의 CaO-MgO 대치 실험 결과(산화소성)



[도판 24] G14의 CaO-MgO 대치 실험 결과(환원소성)

G14 M0.1	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2	G14 M0.5	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.6 CaO				0.2 CaO		
	0.1 MgO				0.5 MgO		
G14 M0.2	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2	G14 M0.6	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.5 CaO				0.1 CaO		
	0.2 MgO				0.6 MgO		
G14 M0.3	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2	G14 M0.7	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.4 CaO				0.0 CaO		
	0.3 MgO				0.7 MgO		
G14 M0.4	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2				
	0.3 CaO						
	0.4 MgO						

[표 11] G14 MgO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식

(2) 산화아연(ZnO)

산화아연은 아연 성분으로서 도자기에 사용되는 유일한 원료로, 유약에 사용할 때는 반드시 1200℃ 내외로 하소(煅燒)하여 사용해야 한다. 순수한 산화아연은 공기 중의 수분을 흡수하여 굳어지는 성질이 있어 이를 그대로 사용하면 소성 때 수축률이 높아 유약이 말리거나 기포가 생기는 확률이 높아진다.[72] 연구자는 초벌 소성온도인 950℃에 하소하여 사용했다.

산화아연은 고화도 유약에 3% 이내 첨가하면 용융온도를 낮춰 더욱 완벽한 유면을 형성한다. 일반적으로 말하는 아연 유약은 석회·아연 유약으로, 석회석을 사용하지 않고 장석 또는 도석에 산화아연만을 사용해 유약을 만드는 경우는 드물다. 석회유는 1200℃의 낮은 온도에서는 사용할 수 없기 때문에 아연을 첨가해 서양에서 저화도 유약을 개발하고 발달시킨 유약이 석회·아연 유약이다.[73] 소성 온도를 낮추기 때문에 각종 발색제의 발색이 석회유보다 더 탁월하게 나타나고[74] 납처럼 강력한 매용제는 아니지만 납를 대신하여 많이 사용했다.

산화아연을 소량으로 사용하면 광택유를 만들지만 많은 양을 사용하면 무광택유를 만들고, 과포화가 될 정도로 많이 사용하면 결정유를 만든다. 다른 결정유와 마찬가지로 소성 후 냉각 속도 조절이 중요하다. 아연이 유동상태가 되도록 일정 온도로 소성하고 결정핵이 형성된 다음에 일정 온도로 낮추어 그 온도에서 장시간 유지하면 커다란 결정을 얻을 수 있다. 그러나 결정유 소성은 많은 변수가 있기 때문에 시행착오를 여러 번 겪어야 한다.[75]

ZnO으로 G8의 CaO 성분을 대치한 실험에서 사용한 제겔식은 [표 12]와 같다. 실험 결과는 산화소성의 경우 [도판 25], 환원소성의 경우는 [도판 26]과 같다. 0.1 mole부터 0.5 mole까지 CaO를 ZnO으로 대치했을

72) 이가진, 앞의 책, 2012, p.66.
73) 이병하,『나만의 유약 만들기- 기본 유약 편』, 2003, p.179.
74) 이병하, 위의 책, p.192.
75) 이복규, 앞의 책, p.46.

때는 미세한 기포가 있는 광택유약이 나왔다. 그러나 0.6 mole부터는 기포의 크기가 커져 유약 표면이 균일하지 않았으며, 0.7 mole을 대치했을 때는 표면의 질감이 퍼석하고 잘 녹지 않은 유약이 나왔다.

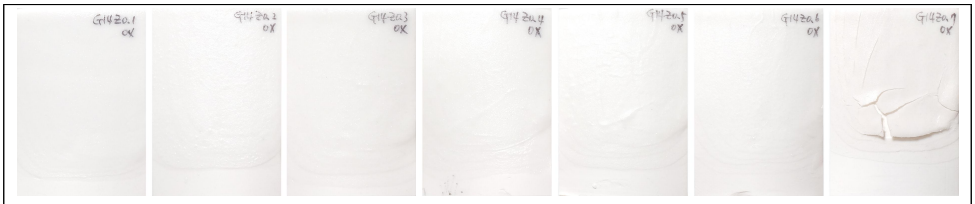
G14의 ZnO 대치 실험에 사용한 제겔식은 [표 13]과 같으며, 결과는 산화소성의 경우 [도판 27], 환원소성의 경우 [도판 28]과 같았다. 실험 결과는 대체로 좋지 않는데, 시유 과정에서부터 미세하게 갈라지는 현상이 생겼고 소성 후에도 그 흔적이 남아 있다. 0.2 mole부터 푸석한 질감이 느껴지고, 더 많은 mole 수를 대치할수록 그 정도가 심해지다가 완전히 ZnO로 대치했을 때는 박피 현상을 보였다.

[도판 25] G8의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(산화소성)

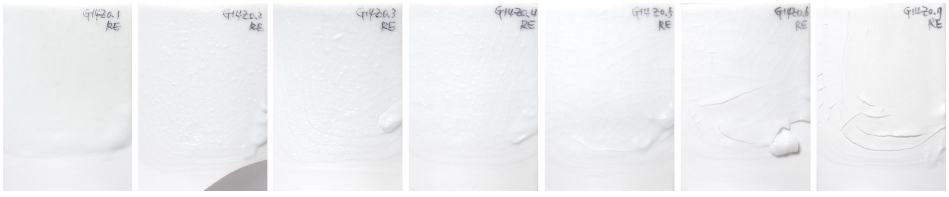
[도판 26] G8의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(환원소성)

G8 Z0.1	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2	G8 Z0.5	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.6	CaO				0.2	CaO		
	0.1	ZnO				0.5	ZnO		
G8 Z0.2	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2	G8 Z0.6	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.5	CaO				0.1	CaO		
	0.2	ZnO				0.6	ZnO		
G8 Z0.3	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2	G8 Z0.7	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2
	0.4	CaO				0.0	CaO		
	0.3	ZnO				0.7	ZnO		
G8 Z0.4	0.3	K_2O	0.4 Al_2O_3	3 SiO_2					
	0.3	CaO							
	0.4	ZnO							

[표 12] G8 ZnO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식



[도판 27] G14의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(산화소성)



[도판 28] G14의 CaO-ZnO 대치 실험 결과(환원소성)

G14 Z0.1	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2	G14 Z0.5	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.6 CaO				0.2 CaO		
	0.1 ZnO				0.5 ZnO		
G14 Z0.2	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2	G14 Z0.6	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.5 CaO				0.1 CaO		
	0.2 ZnO				0.6 ZnO		
G14 Z0.3	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2	G14 Z0.7	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2
	0.4 CaO				0.0 CaO		
	0.3 ZnO				0.7 ZnO		
G14 Z0.4	0.3 K_2O	0.4 Al_2O_3	4 SiO_2				
	0.3 CaO						
	0.4 ZnO						

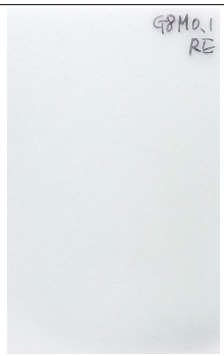
[표 13] G14 ZnO 융제 대치 실험에 사용한 제겔식

3.3.3. 최종 기본유 선택

지금까지 연구자는 총 두 단계에 걸쳐 기본유 실험을 진행하였다. 첫 번째로, Al_2O_3와 SiO_2 비 조정 실험을 거쳐 반광택유인 G8과 무광택유인 G14의 Al_2O_3-SiO_2의 비율을 찾았다. 그리고 두 번째로 G8과 G14의 융제 역할을 하는 석회석의 일부를 다른 융제로 대치하는 실험을 진행했다. 융제 대치 실험을 한 이유는 장석과 석회석 외 다른 종류의 융제를 함께 사용함으로써 유약의 성질을 좋게 하기 위해서이다.

두 단계에 걸친 이 기본유 실험은 발색제를 첨가하기 전 좋은 밑바탕을 만드는 데에 목적이 있다. 최종 실험 결과, 활석으로 융제를 대치한 G8 M0.1과 G14 M0.4이 성질이 좋고 연구 목적에 부합하기 때문에 기본유로 선택했다. 산화아연으로 융제를 대치했을 때 G8은 연구 목표와 맞지 않은 광택 유약이 나왔고, G14는 결함이 심해 아예 사용할 수 없는 유약이 나왔다. 또한 산화아연은 필연적으로 하소해야 하는데, 유약의 결함을 미리 방지하기 위해 반드시 거쳐야하는 과정이지만 물에 완전히 녹지 않기 때문에 유약을 만들 때 매우 번거롭다.

G14 M0.4는 흰 무광택유로, G14 활석 대치 실험 결과 중 가장 양호한 결과를 보였다. 0.4 mole보다 적게 또는 많이 대치하면 유약이 완전히 녹지 않았다. G8 M0.1은 마그네슘 성분이 만들어낸 결정이 있는 반광택유다. 활석을 0.1 mole 이상 대치하면 흰 무광택 유약이 나왔는데, 이미 G14 M0.4가 있었기 때문에 다른 성질의 유약을 선택했다. G8 M0.1과 G14 M0.4의 산화소성 및 환원소성 결과를 정리하면 [표 14]와 같다.

	산화소성	환원소성
G8 M0.1		
G14 M0.4		

[표 14] 소성 분위기에 따른 G8 M0.1과
G14 M0.4의 유표면

3.4. 기본유에 루틸 첨가 실험

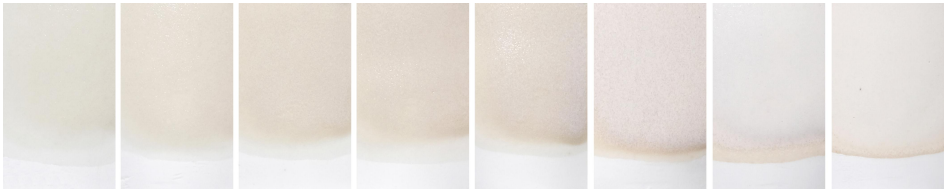
(1) 산화티탄과 루틸의 발색 비교 실험

1절에서 발색제로서 사용하는 산화물을 언급하며 산화티탄과 루틸의 차이를 설명한 바 있다. 루틸은 산화티탄의 원료이며 TiO_2 성분은 90~95%, 철이나 주석과 같은 불순물을 5~10% 포함하고 있다. 이 불순물로 인해 유약에 산화티탄을 첨가했을 때보다 더 진하고 깊은 발색을 낼 수 있다. 앞서 선택한 기본유인 G8 M0.1과 G14 M0.4에 루틸 첨가 실험을 진행하면서 동시에 유약에서의 산화티탄과 루틸의 발색을 비교하고자 한다.

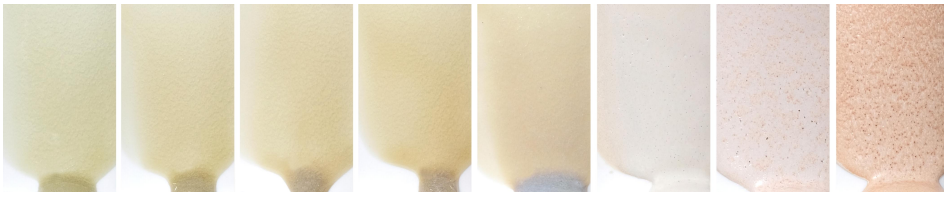
앞서 기본 유약 실험에서 최종적으로 선택한 반광택유 G8 M0.1과 무광택유 G14 M0.4에 산화티탄과 루틸을 각각 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2%, 4%, 6%, 8%씩 첨가 후 산화소성과 환원소성으로 1280℃ 소성을 했다. G8 M0.1의 산화티탄과 루틸 발색 비교 실험 결과는 산화소성의 경우 [도판 29]·[도판 30], 환원소성의 경우 [도판 31]·[도판 32]과 같다. G14 M0.4는 산화소성의 경우 [도판 33]·[도판 34], 환원소성의 경우 [도판 35]·[도판 36]과 같다.

[도판 29] G8 M0.1 산화티탄 첨가 실험 결과(산화소성)

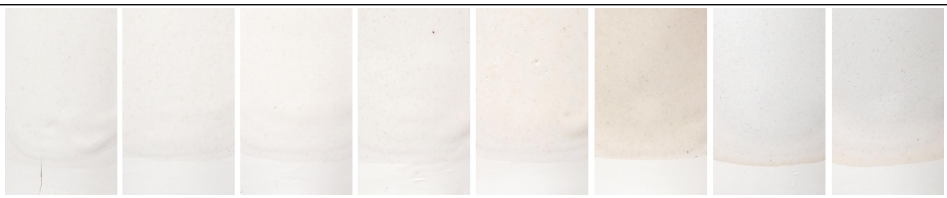
[도판 30] G8 M0.1 루틸 첨가 실험 결과(산화소성)



[도판 31] G8 M0.1 산화티탄 첨가 실험 결과(환원소성)

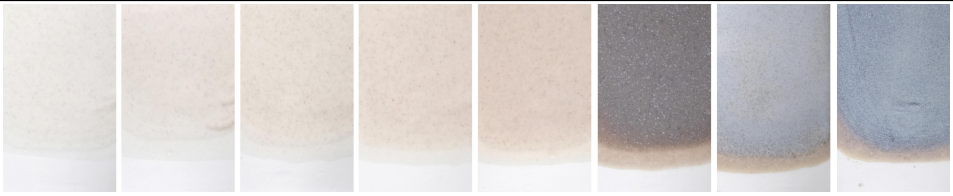


[도판 32] G8 M0.1 루틸 첨가 실험 결과(환원소성)

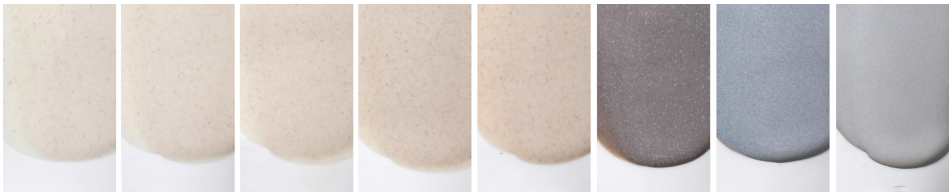


[도판 33] G14 M0.4 산화티탄 첨가 실험 결과(산화소성)

[도판 34] G14 M0.4 루틸 첨가 실험 결과(산화소성)



[도판 35] G14 M0.4 산화티탄 첨가 실험 결과(환원소성)

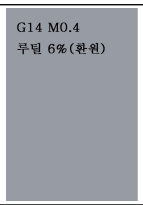


[도판 36] G14 M0.4 루틸 첨가 실험 결과(환원소성)

실험 결과, 유약에서 산화티탄과 루틸의 차이를 확인할 수 있었다. G8 M0.1을 기본유로 설정한 경우 루틸을 첨가했을 때 더 짙고 깊은 색이 나왔고, G14 M0.4의 경우 루틸을 첨가했을 때 시유 두께와 크게 상관없이 대체로 균일한 발색 결과를 보여주었다. 산화티탄과 루틸 모두 기본유에 1.2%부터 2%까지 첨가했을 때 비슷한 색감을 보여주나 첨가량이 높아질수록 발색이 서서히 진해지는 결과를 보인다. 그러나 산화티탄이나 루틸을 4% 이상 첨가하면 소성 후 발색 결과를 예측할 수 없었다. 이전과 전혀 다른 색감이 나오거나, 표면에 두드러지게 기포가 생기기도 했다. 이런 결과는 산화티탄보다는 루틸을 첨가했을 때 더 극적인 변화를 보여주었다. 이런 극적이고 예측할 수 없는 효과가 루틸의 매력적인 부분으로 느껴졌다. 특히 표면에 생기는 기포는 과도하지만 않다면 유약의 질감을 형성한다는 점에서 매력적인 요소로 활용할 수 있다.

루틸 첨가 실험 결과로 나온 유약들은 큰 결함이 없으므로 모두 기물 적용이 가능한 유약으로 선별할 수 있었다. 다만 G8 M0.1의 경우 유약 두께가 너무 두꺼워지지 않도록 시유할 때 신경을 써야 한다. 유약이 과도하게 두꺼우면 흘러내리거나 기포가 많이 생기기 때문이다. G14 M0.4의 경우에는 유약이 두꺼워도 흘러내리지 않고 비교적 안정적인 결과를 보여주었다. 루틸 첨가 실험의 색 추출 결과는 [표 15]와 같다. 여기서 색 계열의 분류와 명칭은 한국표준산업의 ‘먼셀 색 체계(Munsell color system)’을 따랐는데, 자세한 내용은 다음 절에서 언급하고자 한다.

색 계열	선별된 유약 색 추출 결과					
빨강계	G8 M0.1 루틸 4%(산화)	G8 M0.1 루틸 6%(산화)	G8 M0.1 루틸 6%(환원)			
주황계	G8 M0.1 루틸 8%(산화)	G14 M0.4 루틸 1.6%(산화)	G14 M0.4 루틸 1.8%(산화)	G14 M0.4 루틸 2%(산화)	G14 M0.4 루틸 4%(산화)	G14 M0.4 루틸 6%(산화)
	G14 M0.4 루틸 8%(산화)	G8 M0.1 루틸 4%(환원)	G8 M0.1 루틸 8%(환원)	G14 M0.4 루틸 1.2%(환원)	G14 M0.4 루틸 1.4%(환원)	G14 M0.4 루틸 1.6%(환원)
	G14 M0.4 루틸 1.8%(환원)	G14 M0.4 루틸 2%(환원)				
노랑계	G8 M0.1 루틸 1.2%(산화)	G8 M0.1 루틸 1.4%(산화)	G8 M0.1 루틸 1.6%(산화)	G8 M0.1 루틸 1.8%(산화)	G8 M0.1 루틸 2%(산화)	G14 M0.4 루틸 1.2%(산화)
	G14 M0.4 루틸 1.4%(산화)	G8 M0.1 루틸 1.2%(환원)	G8 M0.1 루틸 1.4%(환원)	G8 M0.1 루틸 1.6%(환원)	G8 M0.1 루틸 1.8%(환원)	G8 M0.1 루틸 2%(환원)

남색계	
보라계	
자주계	

[표 15] 루틸 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

3.5. 루틸 외 발색제 첨가 실험

유약은 다양한 산화물의 조합으로 발색 결과가 다양하게 나올 수 있다. 지금까지 Al_2O_3-SiO_2 비 조정과 융제 대치 실험을 거쳐 두 가지 기본 유약을 설정하고, 기본 유약에 발색제로서 루틸을 첨가해 산화티탄을 첨가한 결과와 다른 색과 질감을 가진 유약을 얻었다. 하지만 두 가지 기본 유약에 오직 루틸만을 첨가해서는 색상에 한계가 있었다. 이를 보완하기 위해 루틸 외 발색제를 추가로 첨가하는 실험을 했다. 이 실험은 '발색제', 즉 특정 색을 내는 산화물 또는 안료를 첨가하기 때문에 오직 루틸만을 발색제로 사용했을 때 주로 나오지 않았던 색 계열의 유약을 얻고자했다. 즉, 주황·노랑 계열을 제외한 색 유약을 목표로 했다.

먼셀 색 체계는 색상·명도·채도의 3속성을 이용하여 색을 표기하는 방법이다.[76] 먼셀 색 체계에서 색상의 기본 원색은 빨강(R)·노랑(Y)·초록(G)· 파랑(B)·보라(P) 5종류로 표기한다. 그리고 두 원색 사이 색인 주황(YR)·연두(GY)·청록(BG)·남색(PB)·자주(RP)를 넣어 총 10종류를 대표 색상으로 표기한다.[77] 이를 나타낸 색상환은 [도판 37]과 같다. 명도는 빛의 반사율에 따른 색의 밝고 어두운 정도를 나타내며, 이상적인 흑색을 1, 이상적인 백색을 10으로 표기하여 그 사이 밝기의 감각차를 시각적으로 등 간격이 되도록 나누었다. 채도는 회색을 띠고 있는 정도, 즉 색의 맑고 탁한 정도를 나타낸다.[78]

앞서 기본유 두 가지에 루틸을 첨가했을 때 총 32개의 결과가 나왔고, 모두 기물에 적용할 수 있는 유약으로 선별할 수 있었다. 이 중 세 가지 결과를 제외하고 모두 따뜻한 느낌을 주는 난색 계열인 빨강·주황·노랑 계열 유약이 나왔다. 세 가지 경우는 G14 M0.4에 루틸 4%·6%·8% 첨가 후 환원소성을 한 결과이며, 각각 자주·남색·보라 계열 유약이 나왔다.

---

76) https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%A8%BC%EC%85%80_%EC%83%89_%EC%B2%B4%EA%B3%84.

77) https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%83%89%EC%83%81%ED%99%98.

78) 김민경,「먼셀 10 색상과 메이크업 컬러에 대한 뇌파분석」, 숭실대학교 환경공학과 뷰티공학전공 박사학위논문, 2011, p.5-6.

그러나 대부분의 결과가 빨강·주황·노랑 계열 유약이 나와 루틸만을 넣어서는 다채로운 색 유약을 만들 수 있다고는 말할 수 없다. 따라서 다양한 색 계열을 얻고자 루틸 외에 추가 발색제를 첨가하는 실험을 진행했다.

[도판 37] 먼셀 색체계의 10 색상환[79]

앞서 언급하였듯이 유약에서 발색제는 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 첫 번째는 산화물로, 이 실험에서는 산화철과 탄산코발트를 활용했다. 산화물을 사용하면 자연스러운 색감과 예상하지 못한 좋은 결과를 얻을 수 있다는 특징이 있다. 두 번째로 고화도 소성에서 안정적인 발색을 얻을

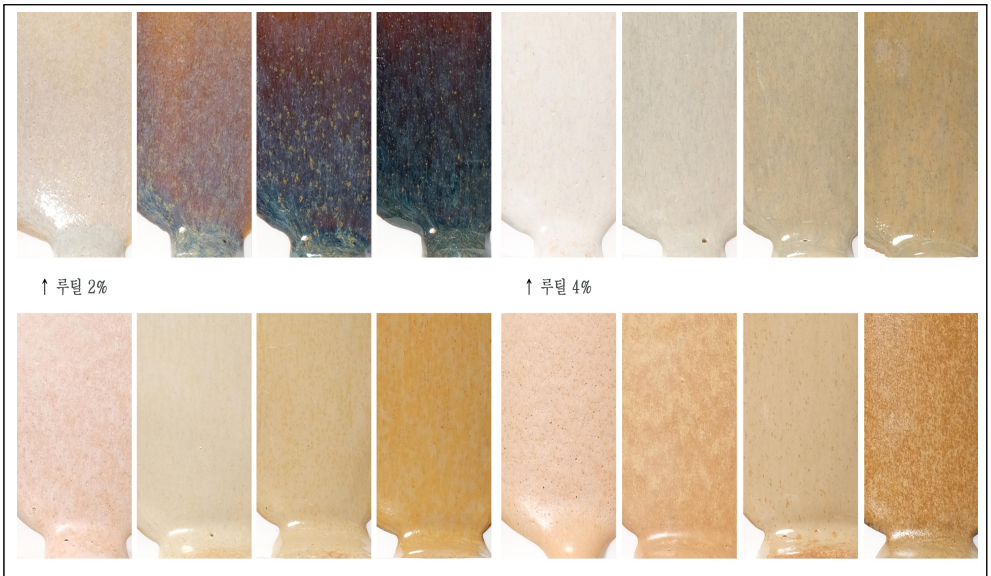
79) 이미지 출처: https://thewiki.kr/w/10%EC%83%89%EC%83%81%ED%99%98(2020년 6월 4일 검색).

수 있는 하회안료를 활용하였다. 안료를 첨가하면 산화물보다 더 특정한 색상을 확실히 얻을 수 있는 장점이 있다. 이 실험에서는 총 세 가지 안료를 첨가했다. 첫 번째로 빨강 계열 유약을 얻기 위해 D.Red 안료를 첨가했으며, 두 번째로 연두 또는 초록 계열 유약을 얻기 위해 M145를 첨가했다. 그리고 마지막으로 검은색 안료인 M800을 첨가해 명도가 낮아 어두운 색을 띠는 남색 또는 보라 계열 유약을 얻고자 했다.

(1) 산화물

첫 번째 추가 발색 산화물인 산화철은 1%에서 4%를 첨가하면 산화소성에서 노란색 또는 갈색을 내고, 환원소성에서는 회색빛을 띠는 녹색, 초록색, 그리고 어두운 회색으로 나온다. 또한 4% 이상 높은 비율로 첨가할 경우 검은색에 가까워진다. 기존 서울대학교 도예전공 유약 시스템에서 산화철을 활용하는 방법은 0.5% 정도 미량 첨가하여 청자유를 만드는 데에 그쳤다. 그러나 이 실험에서는 훨씬 많은 양을 첨가해 발색 변화를 살펴보고, 루틸에 함유된 산화철과 어떤 반응을 보이는지 관찰했다.

산화철을 높은 비율로 첨가할 경우 매우 강한 용제로 작용하여 유약이 쉽게 흐른다. 특히 반광택유인 G8 M0.1에 산화철을 1% 첨가했는데도 과도하게 유약이 흘러내렸다. 하지만 시유 및 소성 과정에서 유의한다면 기물에 적용할 수 있다. 대체로 표면에 광택이 더 생겼으며, 몇몇 결과물은 유약에 결정이 피거나 금속기와 비슷한 질감을 보인다. 무광택유인 G14 M0.4인 경우 G8 M0.1와 비교해서 유약이 과다하게 녹거나 광택이 더 생긴 결과는 적었다. 그러나 산화소성에서 가스가 배출되지 못해 표면에 기포가 과하게 크게 또는 많이 생겼으며, 질감이 푸석푸석했다. 이런 경우 기물에 적용하기에는 부적절하다. 또한 산화철의 반점이 두드러지게 나타난 경우도 기물에 적용할 수 있는 유약으로 선택하지 않았다. 추가 발색제로 산화철을 첨가한 결과는 G8 M0.1의 경우 [도판 38]·[도판 39]와 같으며, G14 M0.4의 경우 [도판 40]·[도판 41]와 같다.



[도판 38] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화철을
각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성)

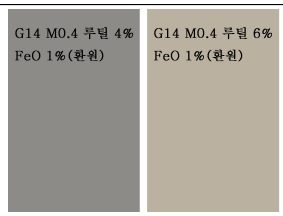
[도판 39] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화철을
각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

[도판 40] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화철을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성)

[도판 41] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화철을 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

산화철을 추가했을 때 나오는 색은 빨강·주황·노랑 계열로, 예상했던 것보다 다양하지 않았다. 그 중 주황 계열 유약이 가장 많았다. 색 계열은 다양하지 않으나 산화철의 첨가량이 높아질수록 점점 명도가 낮은 유약을 얻을 수 있었다. 기물에 적용할 수 있는 산화철 추가 실험의 색 추출 결과는 [표 16]과 같다.

색 계열	선별된 유약 색 추출 결과
빨강계	G14 M0.4 루틸 2% FeO 5%(환원) G14 M0.4 루틸 4% FeO 7%(환원)
주황계	G8 M0.1 루틸 2% FeO 1%(산화) G8 M0.1 루틸 4% FeO 1%(산화) G8 M0.1 루틸 6% FeO 1%(산화) G8 M0.1 루틸 8% FeO 1%(산화) G8 M0.1 루틸 4% FeO 1%(환원) G8 M0.1 루틸 6% FeO 1%(환원) G8 M0.1 루틸 8% FeO 1%(환원) G14 M0.4 루틸 2% FeO 3%(환원) G14 M0.4 루틸 2% FeO 7%(환원) G14 M0.4 루틸 4% FeO 3%(환원) G14 M0.4 루틸 4% FeO 5%(환원) G14 M0.4 루틸 6% FeO 3%(환원) G14 M0.4 루틸 6% FeO 5%(환원) G14 M0.4 루틸 8% FeO 1%(환원)

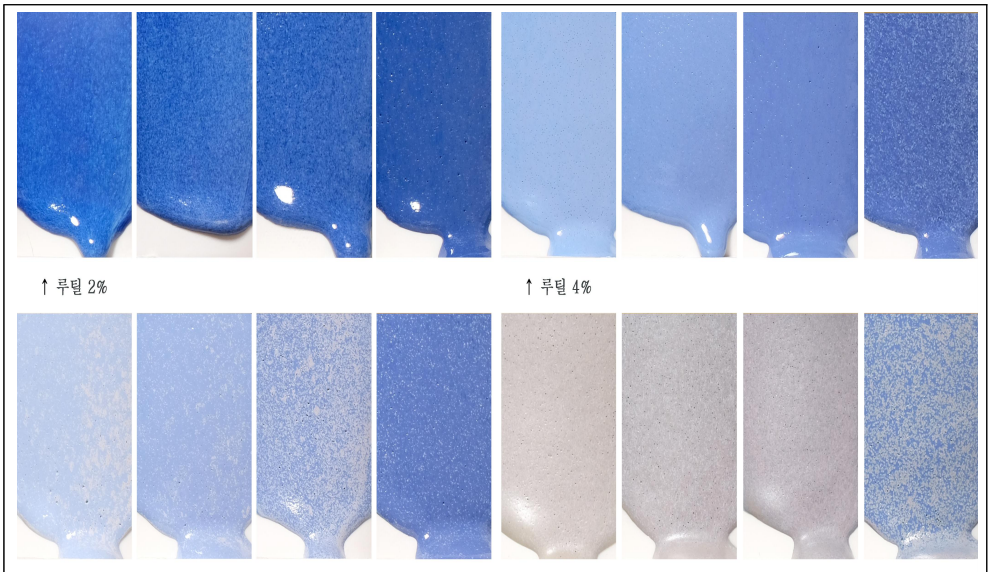
노랑계	

[표 16] 산화철 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

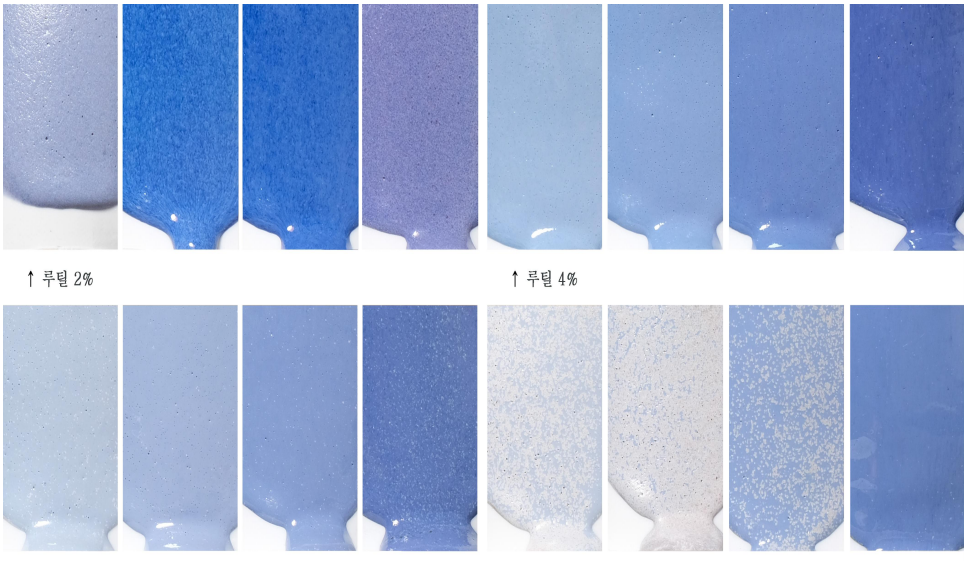
다른 발색 산화물로 탄산코발트를 첨가해 실험을 진행하였다. 탄산코발트는 푸른색으로 발색되며, 매우 적은 양인 0.5%를 첨가해도 발색 효과가 나타난다. 기존 백자 유약에서는 푸른색으로 발색하지만 루틸과 만났을 때 어떤 효과를 나타내는지 살펴보고자 한다. 산화코발트는 탄산코발트보다 약 3배 강하게 발색되는데, 루틸과의 발색 조합을 고려하여 산화코발트 대신 탄산코발트를 사용했다.

G8 M0.1과 G14 M0.4에 탄산코발트를 첨가했을 때 가장 눈에 띄는 차이점은 발색의 차이다. G8 M0.1을 기본유로 사용했을 때 선별된 20개의 결과 중 17개가 남색 계열로 나왔다. 반면 G14 M0.4를 기본유로 사용했을 때는 다양한 색 계열의 유약이 나왔다. 주황·노랑·연두·초록·청록·파랑 계열 유약은 모두 G14 M0.4를 기본유로 사용했고, 보라 계열 유약은 대부분이 G14 M0.4를 기본유로 사용한 유약이었다. 이렇게 기본유의 조성에 따라 유약의 발색이 확연하게 차이가 나는 것은 예상하지 못한 결과이다.

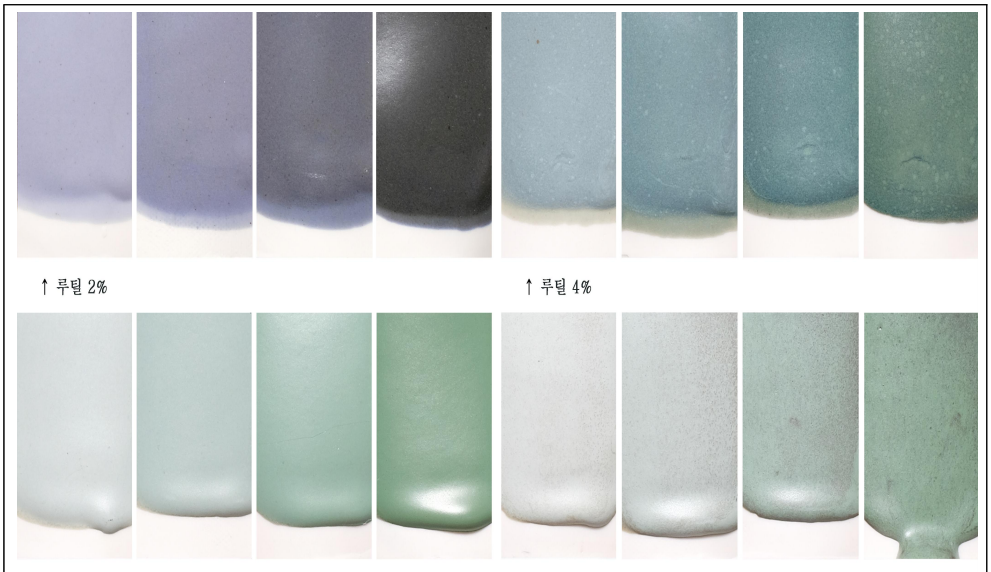
탄산코발트는 산화철처럼 유약 내에서 강력한 융제의 역할을 한다. 이로 인해 G8 M0.1에서는 과도하게 유약이 흘러내려 기물에 적용하기 힘든 유약이 몇 가지 있었다. 특히 환원소성에서 유약이 더 심하게 흘러내렸기 때문에 연구자는 산화소성을 주로 택하여 작업을 진행하였다. G14 M0.4의 경우에는 비교적 덜 흘러내렸고, 흘러내려도 시유 및 소성 과정에서 유의하면 큰 무리가 없을 것으로 판단했다. 추가 발색제로 산화코발트를 첨가한 결과는 G8 M0.1의 경우 [도판 42]·[도판 43]과 같으며, G14 M0.4의 경우 [도판 44]·[도판 45]와 같다. 또한 기물에 적용 가능한 유약을 선별해 색 추출한 결과는 [표 17]과 같다.



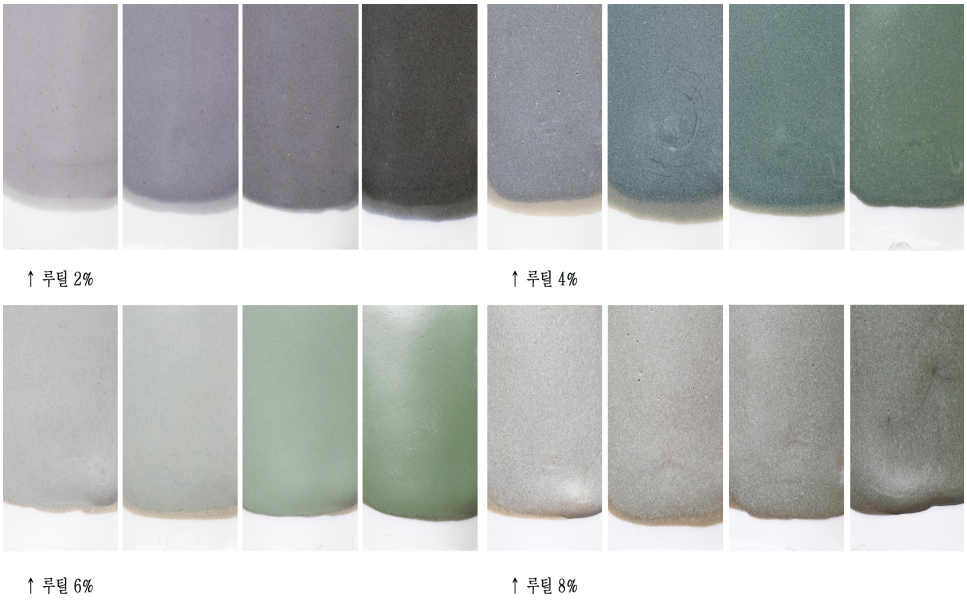
[도판 42] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(산화소성)



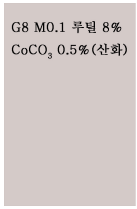
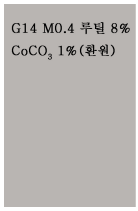
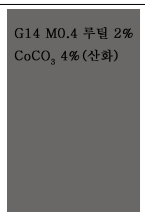
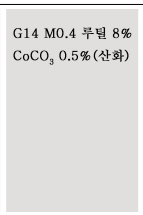
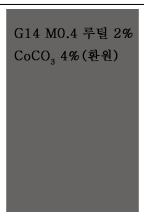
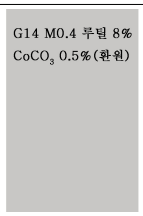
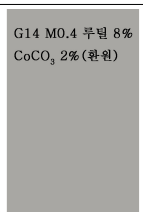
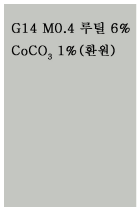
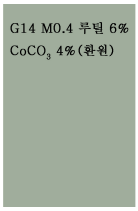
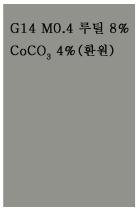
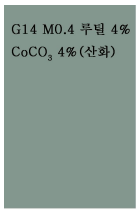
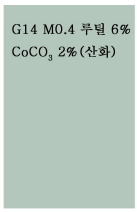
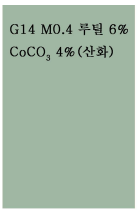
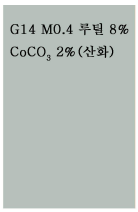
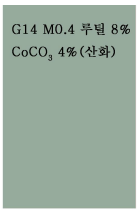
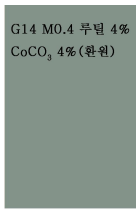
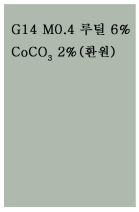
[도판 43] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(환원소성)



[도판 44] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(산화소성)



[도판 45] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 탄산코발트를 각각 0.5%, 1%, 2%, 4%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

색 계열	선별된 유약 색 추출 결과
빨강계	
주황계	
노랑계	    
연두계	  
초록계	      

청록계
G14 M0.4 루틸 4% $CoCO_3$ 2%(산화)
G14 M0.4 루틸 6% $CoCO_3$ 0.5%(산화)
G14 M0.4 루틸 6% $CoCO_3$ 1%(산화)
G14 M0.4 루틸 8% $CoCO_3$ 1%(산화)
G14 M0.4 루틸 4% $CoCO_3$ 2%(환원)
파랑계
G14 M0.4 루틸 4% $CoCO_3$ 0.5%(산화)
G14 M0.4 루틸 4% $CoCO_3$ 1%(산화)
G14 M0.4 루틸 4% $CoCO_3$ 1%(환원)
남색계
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 0.5%(산화)
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 1%(산화)
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 2%(산화)
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 4%(산화)
G8 M0.1 루틸 4% $CoCO_3$ 0.5%(산화)
G8 M0.1 루틸 4% $CoCO_3$ 1%(산화)
G8 M0.1 루틸 4% $CoCO_3$ 4%(산화)
G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 0.5%(산화)
G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 1%(산화)
G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 2%(산화)
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 0.5%(환원)
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 1%(환원)
G8 M0.1 루틸 2% $CoCO_3$ 4%(환원)
G8 M0.1 루틸 4% $CoCO_3$ 0.5%(환원)
G8 M0.1 루틸 4% $CoCO_3$ 1%(환원)
G8 M0.1 루틸 4% $CoCO_3$ 4%(환원)
G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 2%(환원)
G8 M0.1 루틸 8% $CoCO_3$ 2%(환원)
G8 M0.1 루틸 8% $CoCO_3$ 4%(환원)
G14 M0.4 루틸 2% $CoCO_3$ 0.5%(산화)
G14 M0.4 루틸 4% $CoCO_3$ 0.5%(환원)

[표 17] 탄산코발트 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

(2) 안료

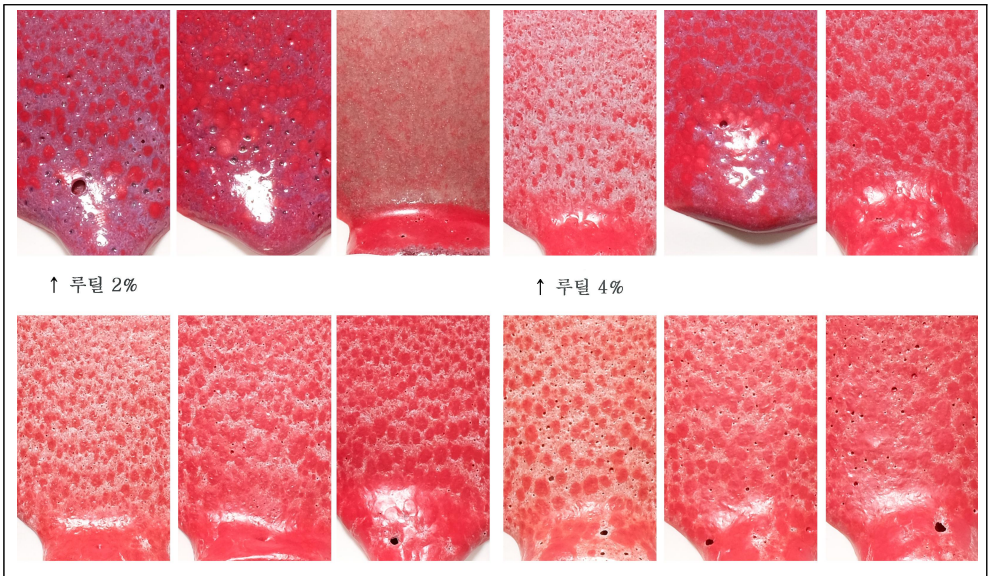
안료의 종류 가운데 하회안료는 고화도 소성에서도 안정적으로 발색되므로, 연구자는 다음과 같이 세 종류의 안료를 선택하였다. 첫 번째로 석산요업의 D.Red, 두 번째로 대원도재의 M145(Avocado Green), 마지막으로 M800(Black)을 추가하였다. M145는 지르콘·규소·크롬·코발트가 주성분이며, M800은 크롬·철·코발트·니켈이 주성분이다.[80]

석산요업의 D.Red을 첨가한 실험의 경우, 기물에 적용 가능한 유약의 비중이 적었다. G8 M0.1에 첨가했을 때 산화소성에서 실험한 모든 유약은 과도한 기포와 질감이 생겼고, 두껍게 시유한 부분은 유약이 뭉쳐 덩어리지는 현상을 보였다. 가스 분출이 어렵기 때문에 발생한 현상으로 보이며, 같은 유약을 환원소성 했을 때는 이러한 현상이 눈에 띄게 줄었다. 그러나 환원소성을 했을 때는 과도하게 유약이 흘러내리는 경우가 많았다. D.Red를 G14 M0.4에 첨가했을 때도 산화소성에서 실험한 모든 유약은 기포 발생이나 유약이 덩어리지는 현상이 나타나 기물에 적용할 수 없었다. G8 M0.1과 마찬가지로 환원소성에서는 이런 현상이 덜했지만, 유동성이 강해 기물에 적용하기 어려운 유약이 있었다. 추가 발색제

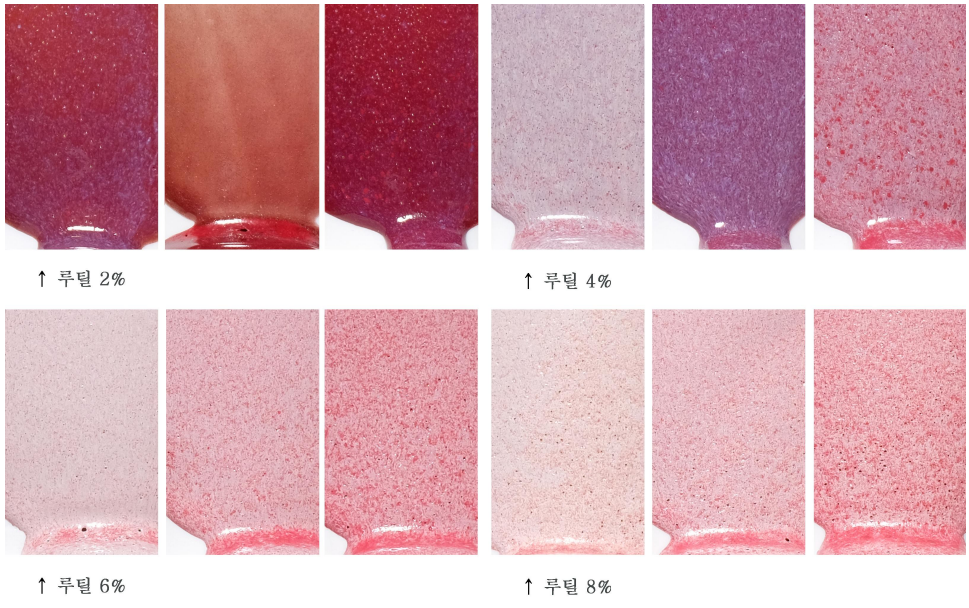
80) 대원도재 홈페이지 제공.

로 D.Red를 사용한 결과는 G8 M0.1의 경우 [도판 46]·[도판 47]와 같으며, G14 M0.4의 경우 [도판 48]·[도판 49]와 같다.

실험의 결과는 의도한 바와 같이 빨강·자주 계열 유약이 나왔다. 색 범위를 넓히는 것은 성공했지만 결함이 있는 유약들이 대부분이여서 기물에 적용할 수 있는 유약은 소수다. 그러나 표면에 미세한 기포나 결정이 있는 유약은 기물에 활용 가능할 수 있다. 선별된 유약의 색 추출 결과와 색 계열 분류는 [표 18]과 같다.

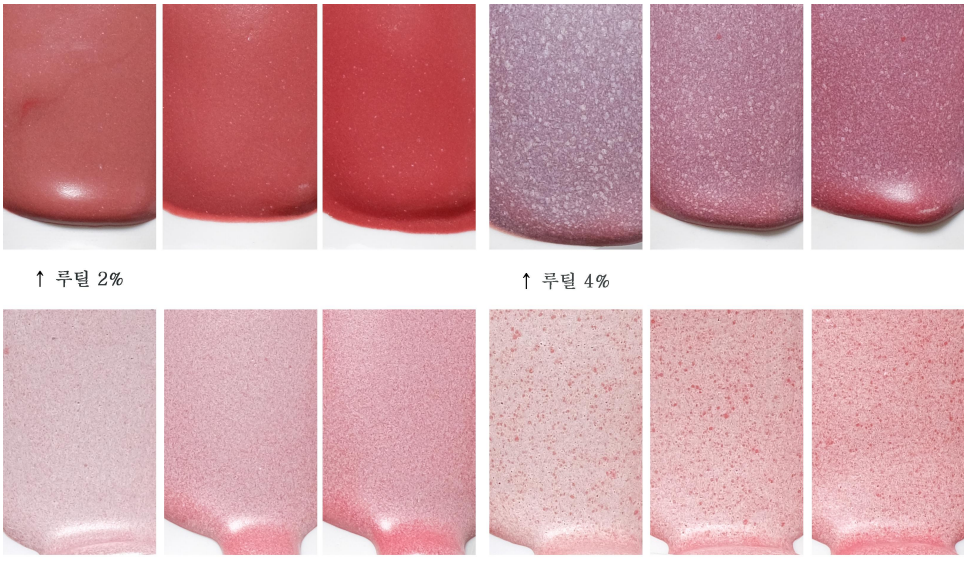


[도판 46] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를
각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(산화소성)

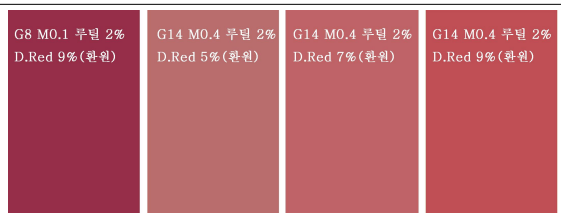
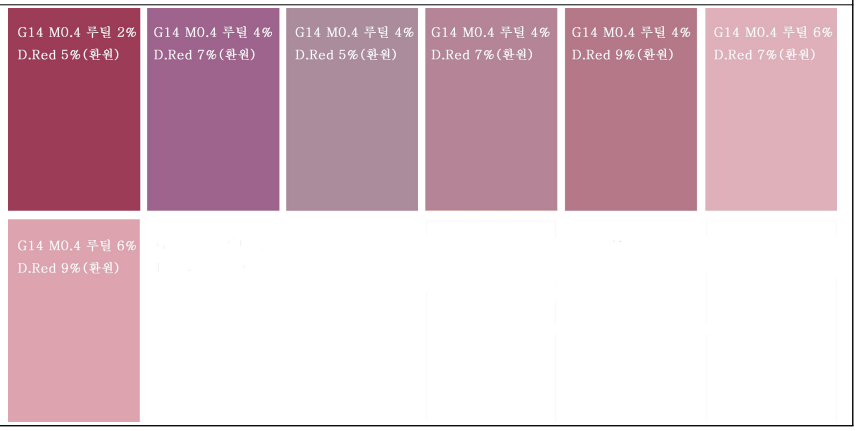


[도판 47] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를
각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

[도판 48] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를 각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(산화소성)

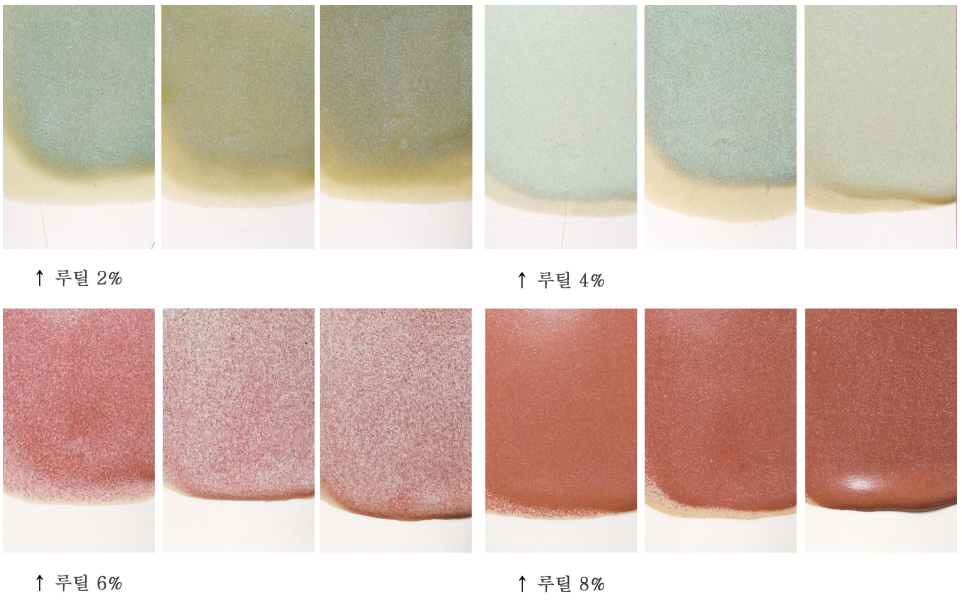


[도판 49] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 D.Red를 각각 5%, 7%, 9%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

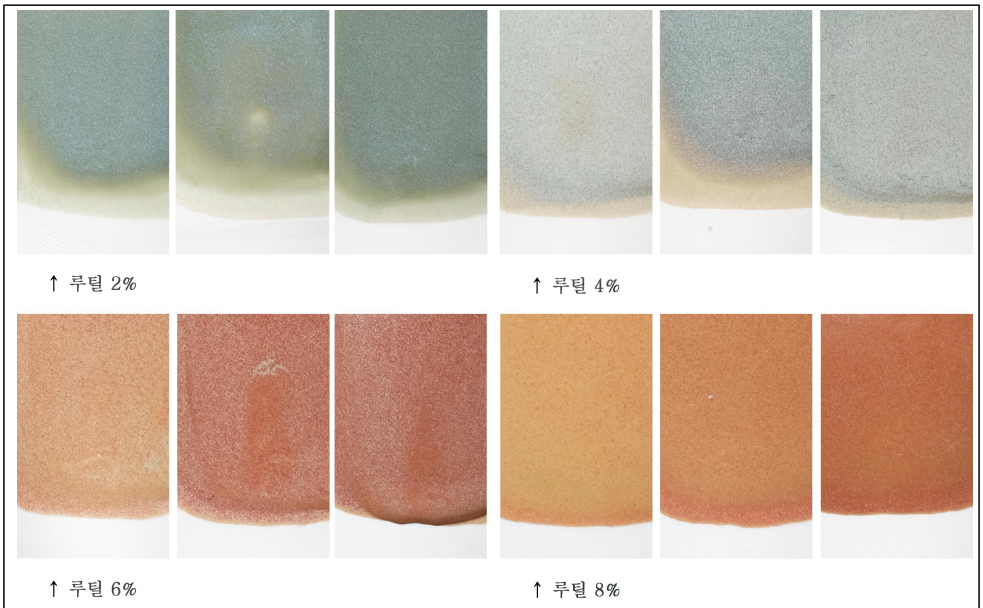
색 계열	선별된 유약 색 추출 결과
빨강계	
자주계	

[표 18] 안료 D.Red 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

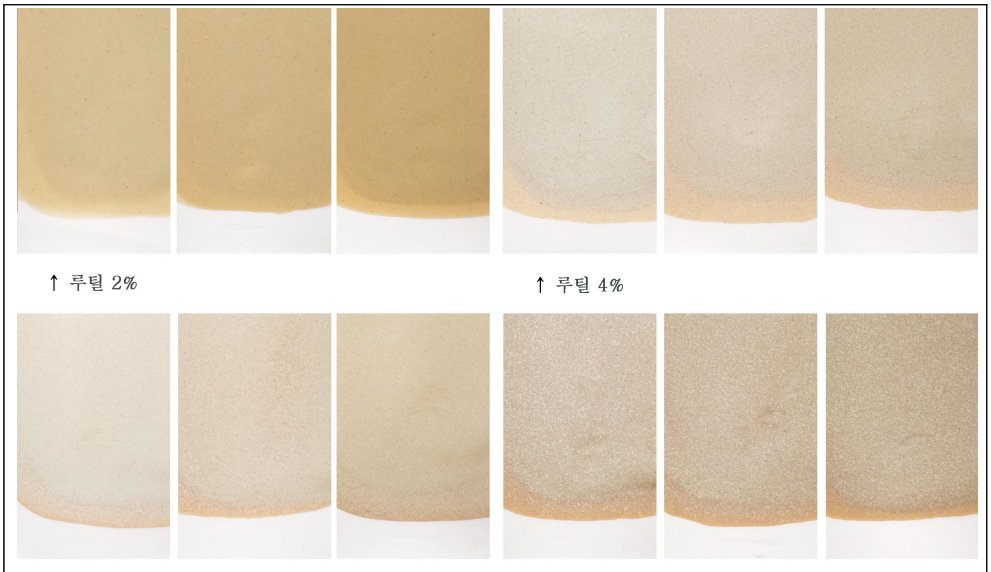
대원도재의 M145은 연두 또는 녹색 계열의 유약을 만들 것을 의도하고 첨가했다. M145를 두 가지 기본유에 첨가했을 때, 과도하게 흘러내리거나 기포가 생기는 유약이 없어 모든 실험 결과가 기물적용이 가능했다. G14 M0.4의 경우 모두 주황·노랑 계열 유약이 나왔고, M145의 함량이 증가함에 따라 색이나 질감 변화가 크게 달라지지 않았다. 그래서 유약 제조 시 경제성을 위해 M145을 가장 적게 첨가한 유약을 선별했다. 그러나 G8 M0.1의 경우 흥미로운 결과를 얻을 수 있었다. 루틸을 2% 또는 4% 추가했을 때는 노랑·연두·초록 계열 유약이 나왔지만, 6% 또는 8% 첨가했을 때는 예상하지 못한 빨강·주황 계열 유약이 나왔다. 그리고 M145의 함량에 따라 질감과 색이 약간 달라졌다. 추가 발색제로 M145를 첨가한 결과는 G8 M0.1의 경우 [도판 50]·[도판 51]과 같으며, G14 M0.4의 경우 [도판 52]·[도판 53]와 같다. M145 첨가 실험의 색 추출 결과와 분류는 [표 19]와 같다.



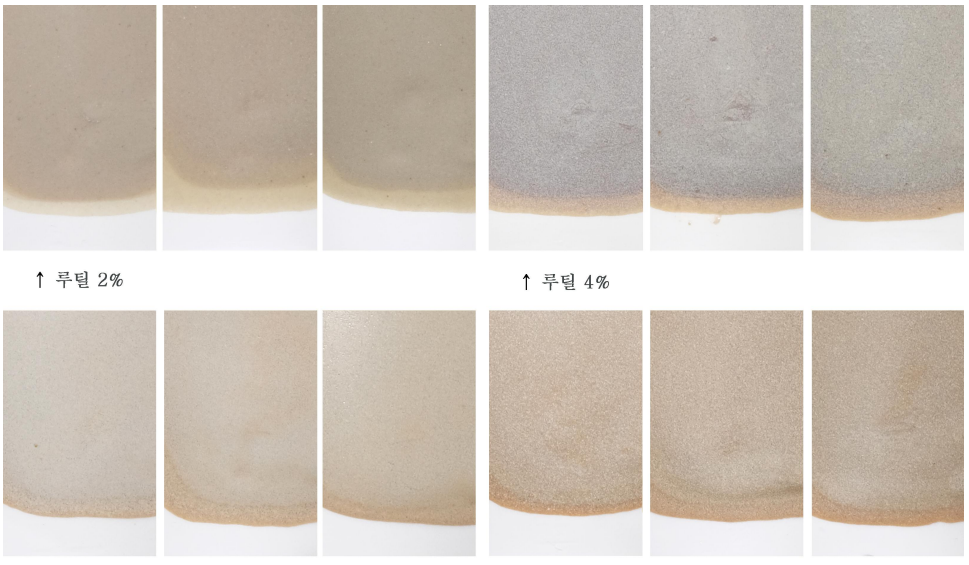
[도판 50] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를
각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성)



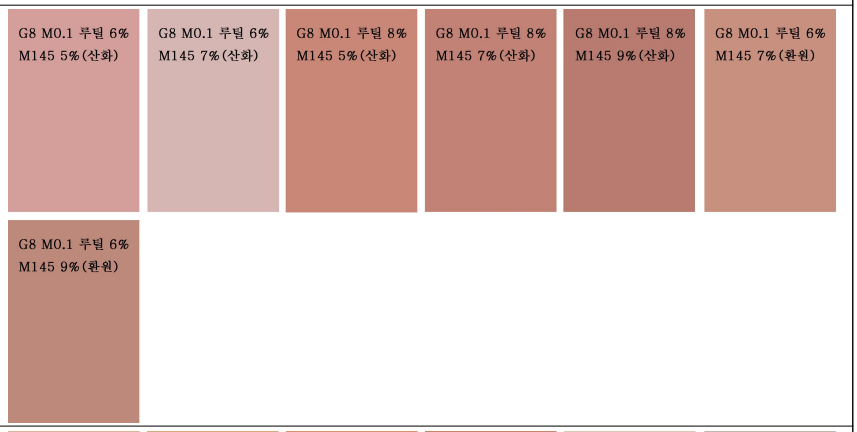
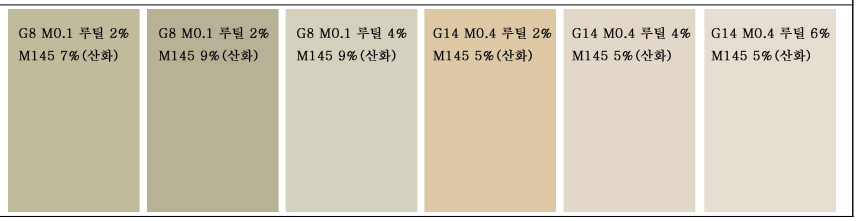
[도판 51] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를
각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성)

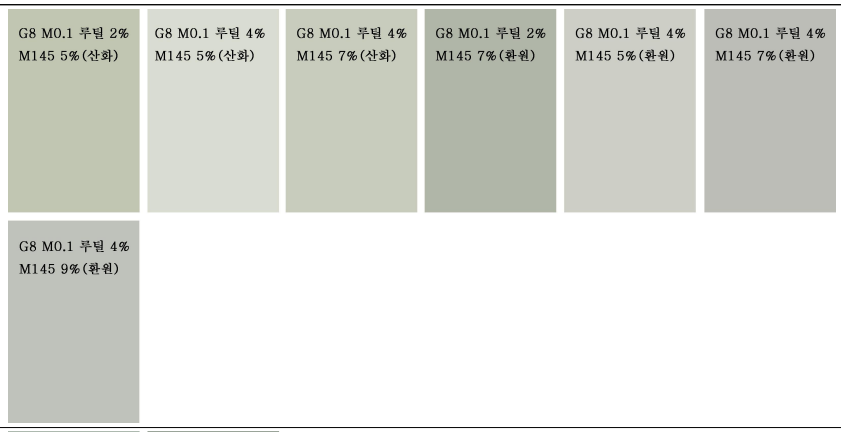
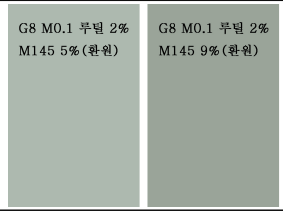


[도판 52] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를
각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성)



[도판 53] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M145를
각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성)

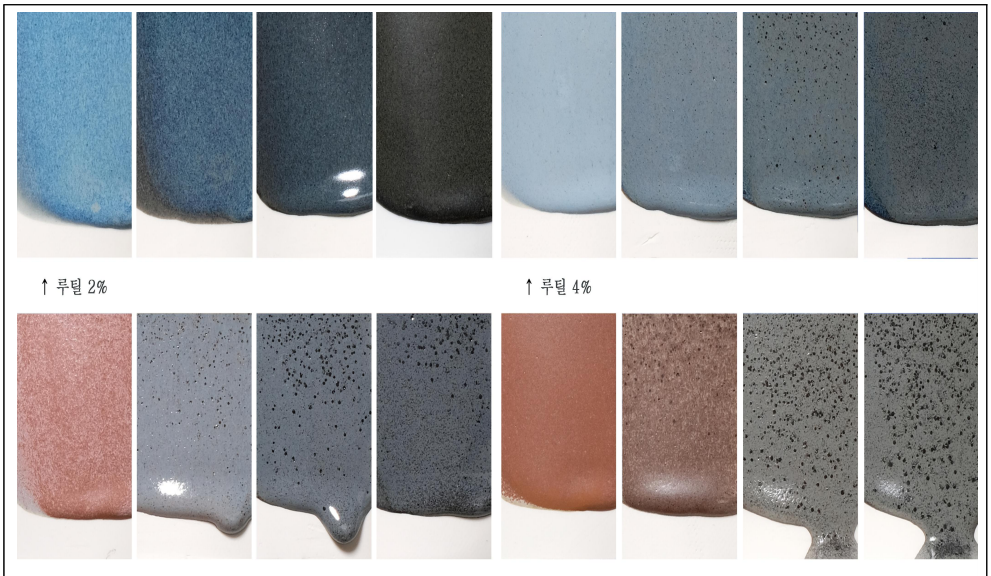
색 계열	선별된 유약 색 추출 결과
빨강계	
주황계	
노랑계	

연두계	
초록계	

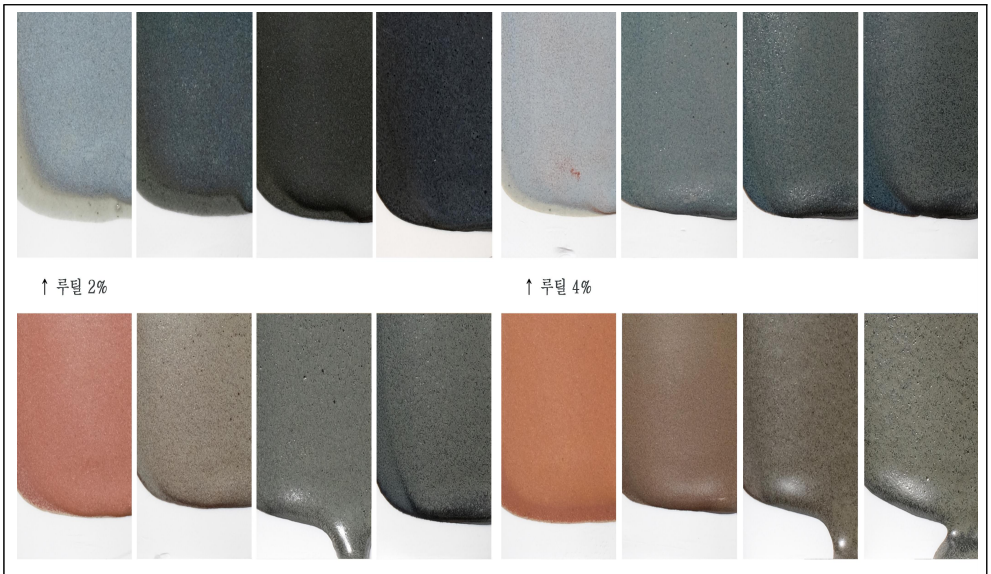
[표 19] 안료 M145 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

대원도재의 M800은 일반적으로 검은색 유약을 만들 때 사용된다. 이 실험에서는 명도가 낮은 남색·보라 계열 유약을 얻고자 했으며 루틸과 만났을 때 어떤 반응을 하는지 알아보고자 했다. 모든 결과물이 기물에 적용했을 때 무리가 없는 유약들이 나왔다. 다만 M800의 첨가량이 높은 몇 가지 결과는 유약이 두꺼운 경우 흘러내지만 유약 두께를 면밀히 조절하면 문제가 없을 것으로 판단했다.

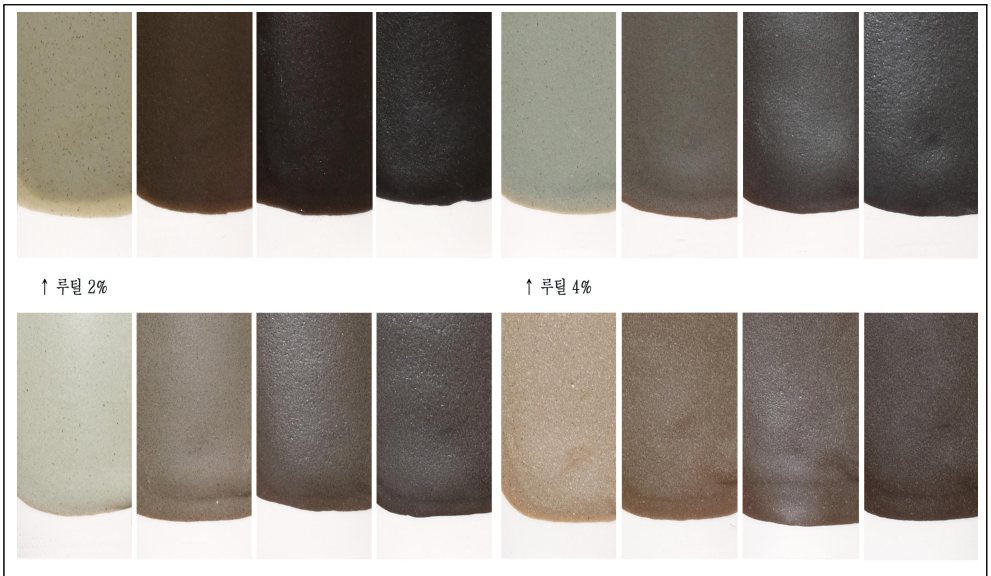
G8 M0.1에 M800을 첨가한 경우 명도와 채도가 낮은 파랑·남색 계열이 주를 이루었다. 그리고 일부 유약은 손으로 만지면 푸석한 표면 질감을 느끼게 하는 기포가 생겼다. G14 M0.4의 경우 명도와 채도가 낮은 주황·노랑계가 주를 이루고, 일부 연두·남색·자주 계열이 나왔다. 또한 일반 검은색 유약과 달리 표면에 미세한 결정들이 있어 손으로 만졌을 때 잔잔한 질감이 느껴진다. 추가 발색제로 M800를 첨가한 결과는 G8 M0.1의 경우 [도판 54]·[도판 55]와 같으며, G14 M0.4의 경우 [도판 56]·[도판 57]과 같다. 색 추출과 분류 결과는 [표 20]과 같다.



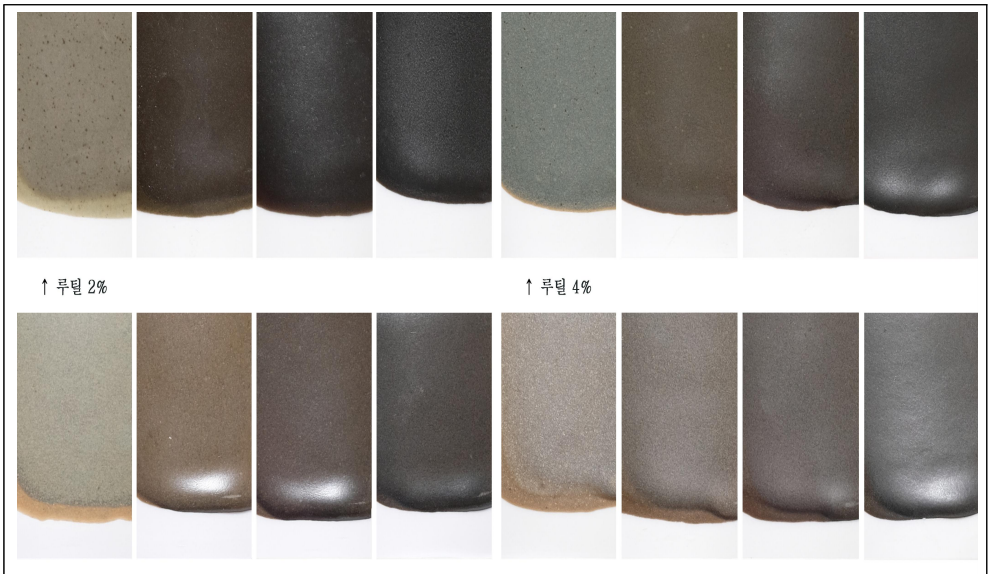
[도판 54] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을
각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성)



[도판 55] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을
각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

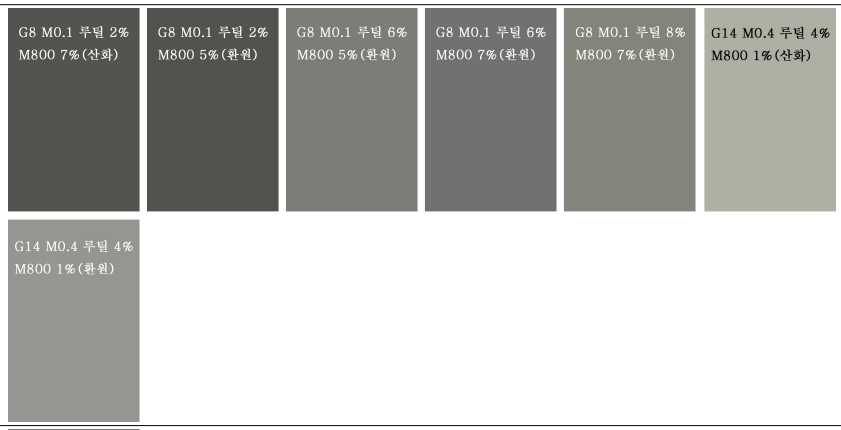
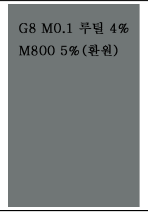


[도판 56] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을
각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(산화소성)



[도판 57] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 안료 M800을
각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가한 실험 결과(환원소성)

색 계열	선별된 유약 색 추출 결과					
빨강계	G8 M0.1 루틸 6% M800 1%(산화)	G8 M0.1 루틸 8% M800 1%(산화)	G8 M0.1 루틸 6% M800 1%(환원)	G14 M0.4 루틸 8% M800 7%(산화)	G14 M0.4 루틸 6% M800 5%(환원)	G14 M0.4 루틸 6% M800 7%(환원)
주황계	G8 M0.1 루틸 8% M800 3%(산화)	G8 M0.1 루틸 6% M800 3%(환원)	G8 M0.1 루틸 8% M800 1%(환원)	G8 M0.1 루틸 8% M800 3%(환원)	G14 M0.4 루틸 2% M800 3%(산화)	G14 M0.4 루틸 2% M800 5%(산화)
	G14 M0.4 루틸 2% M800 7%(산화)	G14 M0.4 루틸 4% M800 3%(산화)	G14 M0.4 루틸 4% M800 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 6% M800 3%(산화)	G14 M0.4 루틸 6% M800 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 6% M800 7%(산화)
	G14 M0.4 루틸 8% M800 1%(산화)	G14 M0.4 루틸 8% M800 3%(산화)	G14 M0.4 루틸 8% M800 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 2% M800 3%(환원)	G14 M0.4 루틸 4% M800 3%(환원)	G14 M0.4 루틸 4% M800 5%(환원)
	G14 M0.4 루틸 6% M800 3%(환원)	G14 M0.4 루틸 8% M800 1%(환원)	G14 M0.4 루틸 8% M800 3%(환원)	G14 M0.4 루틸 8% M800 5%(환원)		

노랑계	G8 M0.1 루틸 8% M800 5%(산화) G8 M0.1 루틸 8% M800 7%(산화) G8 M0.1 루틸 8% M800 5%(환원) G14 M0.4 루틸 2% M800 1%(산화) G14 M0.4 루틸 6% M800 1%(산화) G14 M0.4 루틸 2% M800 1%(환원) G14 M0.4 루틸 2% M800 5%(환원) G14 M0.4 루틸 4% M800 7%(환원) G14 M0.4 루틸 6% M800 1%(환원)
연두계	 G8 M0.1 루틸 2% M800 7%(산화) G8 M0.1 루틸 2% M800 5%(환원) G8 M0.1 루틸 6% M800 5%(환원) G8 M0.1 루틸 6% M800 7%(환원) G8 M0.1 루틸 8% M800 7%(환원) G14 M0.4 루틸 4% M800 1%(산화) G14 M0.4 루틸 4% M800 1%(환원)
청록계	 G8 M0.1 루틸 4% M800 5%(환원)

[표 20] 안료 M800 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

3.6. 루틸 외 유탁제 첨가 실험

유약의 유탁제는 눈에 보이지 않는 미세한 결정을 일정하게 생성하여 유약 표면을 불투명하게 만들고 광택을 감소시켜 유약 아래 소지가 보이지 않게 해준다. 이 결정들은 유약층에서 빛을 산란시켜 광택이 없고 부드러운 표면의 유약을 만들 수 있다.[81] 대표적인 유탁제로는 산화주석·규산지르코늄·인산칼슘($Ca_3(PO_4)_2$)이 있다. 산화주석과 규산지르코늄은 루틸의 화학 조성의 90% 이상을 차지하는 TiO_2 성분과 잘 맞는 산화물로 알려져 있다.[82] 본 연구에서는 이 두 가지의 유탁제를 추가로 첨가하는 실험을 진행하였다. TiO_2를 포함하는 산화티탄이나 루틸도 유약에서 유탁제 역할을 하지만, 규산지르코늄이나 산화주석과 달리 발색제 역할 또한 겸한다. 따라서 연구자는 이미 루틸을 함유하고 있는 유약에 규산지르코늄 또는 산화주석을 첨가하면 루틸의 발색 효과가 어떻게 달라지는지 살펴보고자 하였다.

(1) 산화주석(SnO_2)

산화주석은 대표적인 유탁제로, 수천 년 전부터 극동아시아 지역에서 사용되었으며 유약 재료로서 산화주석의 발견은 백자기의 생산을 가능하게 하여 도자 공예의 역사상 커다란 진전을 이루게 된 계기가 되었다. 산화주석은 부드럽고 좋은 질감을 가진 재료로 발색 산화물에서 색을 끌어내 이를 한 차원 높은 색으로 승화시킨다. 유약에 주석을 첨가한 자기는 페르시아, 스페인, 서부 유럽 그리고 중부 유럽의 자기에 많이 사용되었다. 약 1~3%의 미량의 산화주석을 첨가하면 유약은 반투명해지거나 뿌옇게 흐려지며, 5%를 첨가하면 불투명하게 된다.[83]

예전부터 도예가들은 색 유약 데이터를 확보하기 위해서 안정적인 투명 광택유에 산화주석 또는 규산지르코늄을 첨가해 유백 유약을 만든 후

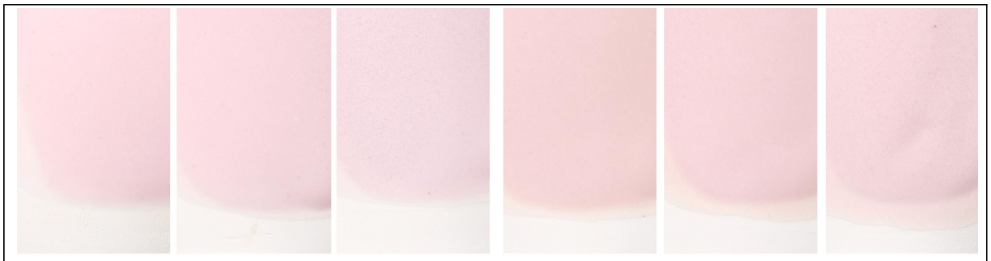
81) 우난희, 앞의 책, p.5.
82) 최현심, 앞의 책, p.3.
83) Daniel Rhodes, 앞의 책, p.248.

발색 산화물이나 안료를 첨가했다.[84] 이 실험은 이전에 해왔던 방법과 다르게 이미 발색제와 유탁제 역할을 겸하는 루틸을 함유한 유약에 산화주석을 각각 5%·7%·9%을 첨가함으로써 루틸의 발색이 어떻게 변하는지 비교하여 고찰하였다.

산화주석 첨가 결과, 모두 기물에 적용하기 용이한 유약들이 나왔다. 일부 유약은 유동성이 높지만, 유약 두께를 면밀하게 조절하면 무리 없이 사용할 수 있을 것으로 보았다. G8 M0.1에 산화주석을 첨가하여 산화소성을 하면 루틸을 단독 발색제로 사용했을 때보다 채도가 높은 빨강·주황·자주 계열 유약이 만들어졌다. 다만 산화소성 결과, 산화주석의 첨가량을 증가시켜도 발색이나 질감이 크게 달라지지 않았다. 그래서 산화주석을 5% 첨가한 유약만 기물 적용 유약으로 선별했다. 환원소성을 했을 경우는 모두 주황 계열 유약이 나왔고, 산화주석의 첨가량을 증가시킬수록 미세하게 점점 명도가 높아졌다.

G14 M0.4의 경우 산화로 소성했을 때는 대체로 주황 계열 유약이 나왔다. 루틸 함량이 2%인 경우는 거의 백색 유약에 가까울 정도로 명도가 높은 색이 나왔다. 루틸 함량이 4%인 경우도 밝은 유약이 나왔다. 그러나 산화주석의 첨가량에 따른 발색 변화가 크게 없어 산화주석을 가장 적게 첨가한 유약만 기물에 적용하였다. 루틸이 6%·8%로 비교적 높은 비율이 함유되어 있는 유약에 산화주석을 첨가하고, 산화소성한 경우에는 루틸만 첨가한 유약보다 채도가 높은 유약이 나왔다. 환원으로 소성했을 때는 주황·남색·보라 계열로 G8 M0.1보다 비교적 다양하게 나왔다. 그리고 산화소성과 반대로 루틸만 사용했을 때보다 명도가 낮아져 비교적 어두운 색 유약이 만들어졌다. G8 M0.1에 첨가한 결과는 [도판 58]·[도판 59]과 같고, G14 M0.4의 경우는 [도판 60]·[도판 61]과 같다. 색 추출과 분류 결과는 [표 21]과 같다.

84) Emmanuel Cooper 외, 앞의 책, p.29~30.



↑ 루틸 2%　　↑ 루틸 4%

↑ 루틸 6%　　↑ 루틸 8%

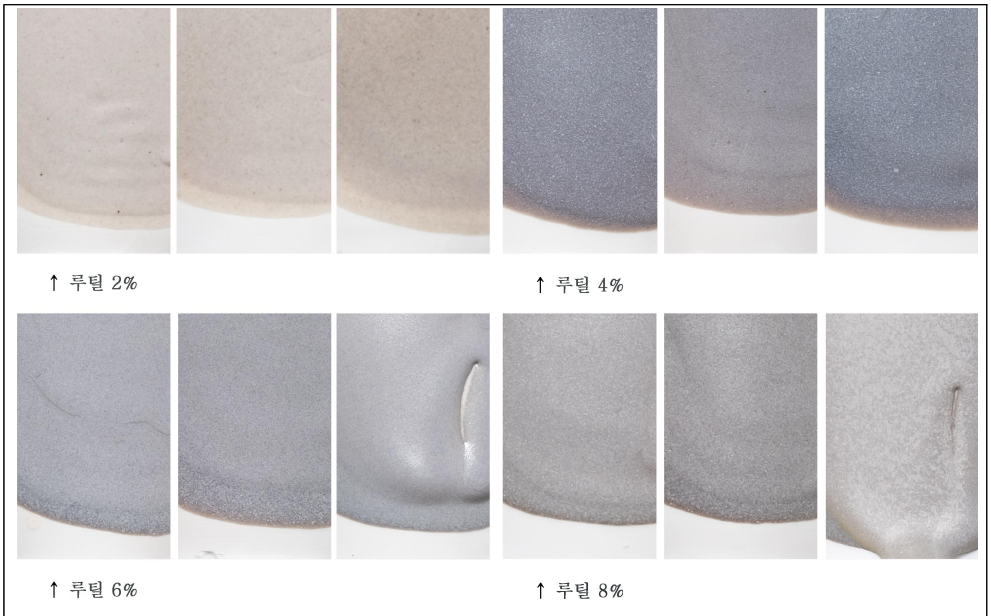
[도판 58] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성)

↑ 루틸 2%　　↑ 루틸 4%

↑ 루틸 6%　　↑ 루틸 8%

[도판 59] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성)

[도판 60] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성)



[도판 61] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 산화주석을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성)

색 계열	선별된 유약 색 추출 결과
빨강계	G8 M0.1 루틸 4% SnO 5%(산화) G8 M0.1 루틸 6% SnO 5%(산화)
주황계	G8 M0.1 루틸 8% SnO 5%(산화) G8 M0.1 루틸 2% SnO 5%(환원) G8 M0.1 루틸 4% SnO 5%(환원) G8 M0.1 루틸 4% SnO 7%(환원) G8 M0.1 루틸 4% SnO 9%(환원) G8 M0.1 루틸 6% SnO 5%(환원) G8 M0.1 루틸 6% SnO 7%(환원) G8 M0.1 루틸 6% SnO 9%(환원) G8 M0.1 루틸 8% SnO 5%(환원) G8 M0.1 루틸 8% SnO 7%(환원) G8 M0.1 루틸 8% SnO 9%(환원) G14 M0.4 루틸 2% SnO 5%(산화) G14 M0.4 루틸 4% SnO 5%(산화) G14 M0.4 루틸 6% SnO 5%(산화) G14 M0.4 루틸 8% SnO 5%(산화) G14 M0.4 루틸 2% SnO 5%(환원)
남색계	G14 M0.4 루틸 4% SnO 5%(환원)
보라계	G14 M0.4 루틸 6% SnO 5%(환원) G14 M0.4 루틸 8% SnO 5%(환원)

자주계	G8 M0.1 루틸 2% SnO 5%(산화)

[표 21] 산화주석 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

(2) 규산지르코늄($ZrSiO_4$)

규산지르코늄은 산화주석과 더불어 유약 제조에서 가장 많이 사용되고 있는 유탁제이다. 약 7%를 첨가하면 대부분의 유약들은 불투명해지며, 12%을 첨가하면 흰색 유약을 만들어낸다. 규산지르코늄은 다른 유탁제에 비해 넓은 온도 범위를 가지며 뛰어난 유탁 효과를 나타낸다. 하지만 규산지르코늄이 함유된 몇몇 유약에서는 핀홀 현상이 발생하는 등 유약에 다소 거친 질감을 주는 경우가 있다. 산화주석의 백색 효과가 1이라고 하면, 규화지르코늄의 효과는 0.673으로[85] 약간 떨어지나 훨씬 저렴하기 때문에 산화주석의 대체품으로 종종 사용된다. 하지만 산화주석만큼 아름다운 색을 만들어내지 못한다고 알려져 있다.[86]

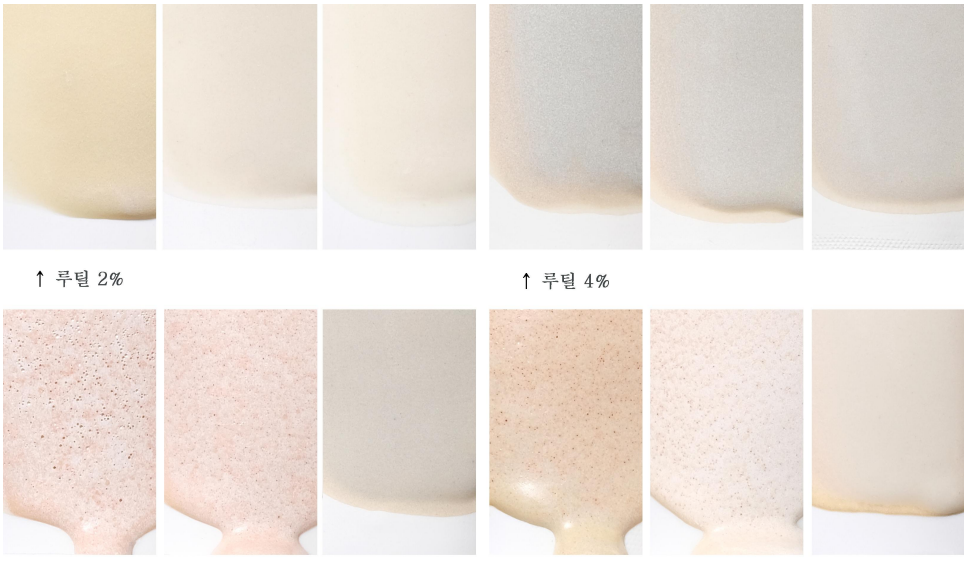
이 실험에서는 이미 루틸이 함유된 유약에 산화주석 또는 규산지르코늄을 첨가하여 루틸의 발색 변화를 살펴보는 것에 목적을 두었다. 어느 경우이든 모두 좋은 색감의 유약이 나왔지만 오히려 규산지르코늄을 넣었을 때 채도가 낮아져 차분한 느낌을 주는 유약을 만들어냈다. 유약의 색은 기본유에 상관없이 대부분 빨강·주황계로 나왔으며 일부 노랑·자주계로 나왔다. G8 M0.1의 경우, 루틸이 2% 또는 4% 함유된 경우 거의 백색에 가까운 결과를 볼 수 있다. 이는 루틸의 발색 효과보다 규산지르코늄의 유백 효과가 더 크게 나타났기 때문으로 보이며, 루틸의 함유량이 높아지면 반대 현상이 나타났다. 산화소성에서는 규산지르코늄의 함

85) 이복규, 앞의 책, p.129.
86) Daniel Rhodes, 앞의 책, p.248-249.

량이 높아질수록 유약의 색이 점차적으로 옅어졌으나, 환원소성에서는 규칙성이 뚜렷하지 않았다.

G14 M0.4에 첨가했을 때는 루틸과 규산지르코늄의 함량에 관계없이 비교적 유사한 색감과 명도가 나왔다. 규산지르코늄의 첨가량이 늘어날수록 미세하게 명도가 높아지기는 했지만 큰 차이는 없었다. 그래서 규산지르코늄을 5% 또는 7%를 첨가한 결과만 기물 적용 유약으로 선별했다. G8 M0.1에 첨가한 결과는 [도판 62]·[도판 63]와 같고, G14 M0.4의 경우는 [도판 64]·[도판 65]와 같다. 유약 두께와 소성 과정을 면밀히 조정하면 모든 결과가 기물에 적용 가능했으며, 유약의 색을 추출하고 분류한 결과는 [표 22]와 같다.

[도판 62] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성)



[도판 63] G8 M0.1의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성)

[도판 64] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(산화소성)

[도판 65] G14 M0.4의 루틸 함유량에 따라 규산지르코늄을 각각 5%, 7%, 9% 첨가한 실험 결과(환원소성)

색 계열	선별된 유약 색 추출 결과					
빨강계	G8 M0.1 루틸 2% ZrO 5%(산화)	G8 M0.1 루틸 6% ZrO 5%(산화)	G8 M0.1 루틸 6% ZrO 7%(산화)	G8 M0.1 루틸 6% ZrO 9%(산화)	G8 M0.1 루틸 6% ZrO 5%(환원)	G14 M0.4 루틸 6% ZrO 5%(환원)
	G14 M0.4 루틸 8% ZrO 5%(환원)					
주황계	G8 M0.1 루틸 8% ZrO 5%(산화)	G8 M0.1 루틸 8% ZrO 7%(산화)	G8 M0.1 루틸 8% ZrO 9%(산화)	G8 M0.1 루틸 2% ZrO 5%(환원)	G8 M0.1 루틸 2% ZrO 7%(환원)	G8 M0.1 루틸 4% ZrO 5%(환원)
	G8 M0.1 루틸 4% ZrO 7%(환원)	G8 M0.1 루틸 4% ZrO 9%(환원)	G8 M0.1 루틸 6% ZrO 7%(환원)	G8 M0.1 루틸 6% ZrO 9%(환원)	G8 M0.1 루틸 8% ZrO 5%(환원)	G8 M0.1 루틸 8% ZrO 7%(환원)
	G8 M0.1 루틸 8% ZrO 9%(환원)	G14 M0.4 루틸 4% ZrO 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 6% ZrO 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 8% ZrO 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 2% ZrO 5%(환원)	
노랑계	G8 M0.1 루틸 4% ZrO 5%(산화)	G14 M0.4 루틸 2% ZrO 5%(산화)				

자주계	G14 M0.4 루틸 4% ZrO 5%(환원)

[표 23] 규산지르코늄 첨가 실험 결과 중 선별된 유약의 색 추출 및 분류

Ⅲ. 작품 제작 연구

지금까지 연구자는 기본유에 일정 비율로 루틸을 첨가하거나 추가 발색제를 첨가한 유약 실험 결과에 관하여 기술하였다. 이제 Ⅲ장에서는 실험 결과를 토대로 기물에 적용할 수 있는 유약을 선별하여 적정한 배색 과정을 거쳐 기물에 적용한 결과를 기술할 것이다.

기물에 적용할 유약의 선별 기준은 루틸 첨가 후에도 광택이 많이 나지 않고, 과다하게 흐르지 않아 시유 후에도 문제가 없으며 유약 제조 시 경제성 등을 고려하였다. 연구자는 일부 작품은 실용성을 위해 광택이 약간 있는 유약을 적용하였다. 이렇게 선별한 유약들의 평균 색상을 추출하고, 먼셀의 10색상환에 따라 계열별로 분류하였다. 그 결과, 10색상환에 있는 모든 색 계열이 나왔으나 탄산코발트와 안료 D.Red를 추가 발색제로 사용한 일부 경우를 제외하고는 주황계 유약이 압도적으로 많았다.

본 연구의 연구대상은 루틸의 발색 효과이기 때문에 작품 제작 연구는 실제로 사용할 수 있는 유약 중 서로 어울리는 색상을 배색해 기물에 적용하는 것을 목표로 하였다. 같은 계열 안에서 어울릴만한 조합을 만들거나, 서로 다른 계열의 유약을 선택해 조화를 이루도록 구성하였다. 그리고 특정한 기능이 있는 기물에 유약을 적용하거나, 특정한 형태의 기물에 유약을 적용하기도 하였다. 예를 들어 차를 마실 때 사용하는 찻잔·찻잔받침·차합 등을 세트로 구성한 뒤 배색한 유약을 적용하거나, 같은 형태와 크기의 합(盒)을 제작한 뒤 서로 색이 어울리도록 유약을 적용하기도 했다.

앞서 실험 결과를 보았을 때, 유약의 두께가 얇은 부분보다 두꺼운 부분이 루틸의 깊은 발색을 효과적으로 잘 보여주었기에 유약의 두께는 가능한 1mm 이상이 되도록 시유하였다. 이를 위해서 담금법으로 1차 시유한 뒤, 2차로 스프레이 시유를 해서 유약 두께를 확보하였다. 처음부터 스프레이 시유를 할 수 있지만, 시간이 오래 걸려 효율이 떨어지기 때문

에 이처럼 두 번 시유하는 방법을 택하였다. 발색제로서 루틸이 유약에 미치는 효과를 적용한 작품의 사례는 다음과 같다.

1. Oval Tea Set

'Oval Tea Set'는 차를 마실 때 필요한 찻잔·찻잔받침·퇴수구·차합으로 구성하였다. 그 결과는 [작품 1]과 같으며, 사용 유약을 색 계열별로 구분한 결과는 [표 23]과 같다. 이 작품에 사용한 유약은 빨강·주황·노랑·남색·보라 계열에 속한다. 이 중 주황계가 가장 많이 사용되었는데, 같은 주황계라도 다른 느낌의 유약을 택해 서로 어우러지도록 구성했다. 예를 들어 G14 M0.4에 루틸을 6% 넣은 유약과 8%을 넣어 산화소성을 하면 언뜻 비슷해 보이지만 색상에 미묘한 차이가 있다.

그리고 같은 유약이지만 소성 분위기에 따라 색이 달라지기도 하는데, 예를 들어 G14 M0.4에 루틸을 6% 넣고, 추가 발색제로 M145를 5% 첨가한 유약은 산화소성하면 노랑 계열 유약이 나오지만, 환원소성하면 주황 계열이 나온다. 이렇게 산화·환원소성에서 모두 안정적으로 나오는 유약은 기물 제작의 효율을 높이므로 활용성이 높다. 같은 맥락에서 G14 M0.4에 루틸을 6% 넣은 유약과 8%을 넣은 유약을 환원소성하면 각각 남색 계열과 보라 계열이 나오는데, 다른 유약과 조화를 잘 이루기 때문에 기물 제작에 활용했다. 또한 유약 구성의 다양성을 더하기 위해 빨강 계열 유약도 선택했다.

연구자는 이러한 조합으로 유약을 구성한 후, 시유 방식도 고민하였다. 일반적으로 시유를 마치면 굽 부분의 유약을 모두 닦아낸다. 그러나 이 작품 연구의 목표는 루틸이 함유된 유약의 색을 효과적으로 기물에 적용하는 것이며, 따라서 기물의 여러 요소 중 유약이 가장 돋보이는 시유 방법을 선택해야 했다. 연구자는 '도침(陶枕)'을 사용해 굽 부분에 시유된 유약을 닦아내지 않는 방법을 사용하기로 결정하였다. 도침은 시유된 굽 부분을 받쳐 소성하는 도구로, 과거에 요도구가 많이 발전되지 않았을

때 가마의 적재 효율을 최대로 높이기 위해 사용되었다. 주로 뾰족한 돌이나 조개껍질을 도침으로 활용했다. 이 연구에서 사용한 도침은 모래질 점토로, 관악산 계곡에서 채취한 모래를 점토에 80% 혼합해 제작했다.

소성 후에 도침을 자세히 들여다보면 투명한 모래, 검은색 모래, 갈색 모래, 분홍색 모래 등 다양한 모래들이 미세하고 밀도 높게 모여 있다. 한편, 루틸이 함유된 유약도 미세한 기포와 결정들이 모여 하나의 색을 이루고 있어 도침 장식과 비슷한 맥락을 갖고 있고, 따라서 루틸이 첨가된 유약과 도침 장식이 서로 어울릴 것이라 생각했다. 'Oval Tea Set' 중 도침 장식을 활용하여 제작한 기물은 찻잔, 찻잔받침, 퇴수구이며, 그 중 찻잔에 적용한 도침의 모습은 [작품 1-1]과 같다.

도침 장식을 활용하지 않은 향꽂이와 차합은 태토인 백자 소지와 가장 유사한 밝은 톤의 유약을 사용했다. 향꽂이는 10각으로 면을 깎았으며, 모서리는 유약이 얇게 시유될 수밖에 없기 때문에 태토가 거의 그대로 드러난다. 만약 색이 진한 유약을 사용했다면 태토의 색과 유약의 색이 대비되어 보였을 것이다. 그렇기 때문에 밝은 색의 유약을 선택해 은은한 변화를 주었다. 차합은 찻잎의 향을 보존하기 위해 뚜껑을 이중으로 제작했는데, 뚜껑과 몸통을 분리하기 위해 반드시 유약을 닦아주어야 하기 때문에 태토가 드러날 수밖에 없다. 따라서 마찬가지로 태토의 색과 간극을 좁히기 위해 밝은 색 유약을 적용하였다.

[작품 1] Oval Tea Set, 백자소지, 물레성형(일부 형태변형),
1280℃ 산화 및 환원소성, 2018

찻잔 66*74*61(mm)
찻잔받침 129*137*32(mm)
퇴수구(大) 141*156*96(mm)
퇴수구(小) 91*103*77(mm)
차합 ∅82*125(mm)
다면향꽂이 ∅61*40(mm)

색 계열	사용한 유약
빨강계	 G8 M0.1 루틸 6% (산화)
주황계	 G14 M0.4 루틸 6% (산화) G14 M0.4 루틸 8% (산화) G14 M0.4 루틸 6% M145 5% (환원)
노랑계	 G14 M0.4 루틸 6% M145 5% (산화)
남색계	 G14 M0.4 루틸 6% (환원)

보라계	 G14 M0.4 루틸 8% (환원)

[표 23] Oval Tea Set에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 1-1] Oval Tea Set의 도침 장식 부분

[작품 1-2] Oval Tea Set 세부 사진

[작품 1-3] Oval Tea Set 세부 사진

[작품 1-4] Oval Tea Set 세부 사진

2. Oval Dining Set

‘Oval Dining Set’는 다섯 가지의 유약을 적용했으며, 한 유약 당 4개의 기(器)로 구성했다. 구성은 메인 요리를 담을 수 있는 대접, 앞 접시로 사용할 수 있는 중간 크기의 접시, 반찬이나 피클 등을 담아 먹을 수 있는 작은 접시, 그리고 소스를 담을 수 있는 작은 볼로 구성하였다. 그 결과는 [작품 2]와 같으며, 사용한 유약과 색 분류는 [표 24]와 같다.

모두 주황계와 노랑계에 속하는 유약을 사용해 잔잔한 변화가 있는 조합을 만들고자 했다. G14 M0.4에 루틸을 4% 첨가하고 추가 발색제로 산화철을 1% 첨가한 유약은 노랑계에 속하지만, 실제로 기물을 제작하니 짙은 녹색 빛이 되었다. 이는 환원의 세기에 민감한 루틸의 성질 때문으로 추측된다. 이 유약을 자세히 들여다보면 여러 가지 색을 띤 결정들이 모여 있는데, 이 결정은 시각적 효과도 있지만 촉각적 효과도 동시에 갖고 있다. 또한 유약이 짙은 색을 띠고 있어서 밝은 유약과 비교했을 때 유약의 두께가 얇아지는 전 부분과 색 차이가 확연하게 난다. 이런 색 변화는 또 다른 시각적인 효과를 준다.

그 다음 짙은 색을 띠는 유약은 G14 M0.4에 루틸을 8% 첨가하고 추가 발색제로 안료 M145를 5% 첨가한 유약이다. 이 유약도 노랑 계열에 속하면서 여러 결정들이 모여 한 색을 이루고 있다. 유약이 얇은 전 부분은 주황색을 띄어 유약 두께에 따른 색 변화를 보여준다. 나머지 세 유약은 앞서 언급한 유약보다 색이 밝은 유약을 선별했으며, 여러 결정이 모여 있다기보다는 단색으로 이루어져있는 유약을 선택해 조화를 이루고자 했다.

앞서 ‘Oval Tea Set’와 같이 ‘Oval Dining Set’에서도 유약의 특성을 더 잘 보여주기 위해 도침을 사용했다. 대접의 크기가 크기 때문에 무게중심을 맞추기 위해 도침을 다섯 점 놓아 소성했다. 모두 물레성형 후 타원형으로 형태를 변형하고, [작품 2-1]처럼 위에서 바라보면 물에 돌을 던지면 생기는 파동 모양과 유사하다. [작품 2-2]처럼 측면에서 바라보면 변형된 형태가 중첩된 모습을 더 잘 볼 수 있다.

[작품 2] Oval Dining Set, 물레성형 후 형태변형,
1280℃ 산화 및 환원 소성, 2020

Oval Plate(大) 211*256*71(mm)
Oval Plate(中) 154*171*54(mm)
Oval Plate(小) 110*120*41(mm)
Oval Sauce bowl 65*73*45(mm)

색 계열	사용한 유약
주황계	G14 M0.4 루틸 6% (산화) G14 M0.4 루틸 8% ZrO 5% (산화)
노랑계	G14 M0.4 루틸 6% M145 5% (산화) G14 M0.4 루틸 8% M145 5% (산화) G14 M0.4 루틸 4% FeO 1% (환원)

[표 24] Oval Dining Set에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 2-1] Oval Dining Set 세부 사진

[작품 2-2] Oval Dining Set 세부 사진

3. Oval Cylinder Set

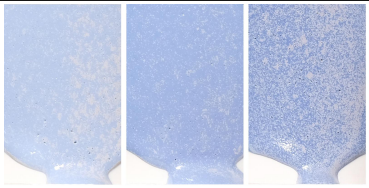
‘Oval Cylinder Set’는 형태를 낮고 넓은 원통형으로 고정하되, 크기와 비례에 변화를 주어 세트로 구성했다. 그 결과는 [작품 3]과 같고, 사용한 유약과 색 분류는 [표 25]와 같다. 앞서 연구 작품에서 사용하지 않은 남색·보라 계열 유약을 사용했고, 앞서 연구 작품에 사용한 유약의 대부분을 차지하는 주황 계열 유약을 사용하지 않아 세트 전체적인 느낌을 이전과 다르게 하고자 했다.

따라서 이 세트 제작을 위해 남색·보라 계열 유약을 선별했으며, 이 색 계열은 G8 M0.1에 탄산코발트를 추가 발색제로 사용했을 때 주로 나타났다. 루틸 함유량에 무관하게 모두 남색·보라 계열 유약이 나왔지만, 루틸이 2% 또는 4% 함유된 유약은 채도가 높아 선택하지 않았다. G8 M0.1에 탄산코발트를 첨가한 유약들 모두 작은 결정들이 모여 있어 시각적·촉각적 재미를 준다. 몇몇 유약은 전 부분으로 갈수록 푸른색으로 색이 변했다. 세부 사진은 [작품 3-1]과 같다.

탄산코발트가 발색제 역할을 하지만 동시에 융제 역할을 하기 때문에 시유 과정에 주의가 필요했다. 시유 두께가 과하게 두꺼우면 유약이 흘러 내화판에 기물이 붙을 가능성이 높다. 또한 이 연구 작품도 유약을 잘 보여주기 위해 도침을 사용했는데, 유약이 많이 흐르면 도침 주변에 유약이 맺히기 때문에 얇고 날렵한 도침 모양이 나올 수 없다. 게다가 기본유인 G8 M0.1은 잘 흐르는 성질을 갖고 있기 때문에 더욱 주의가 필요했다. 기물의 형태가 낮고 넓은 원통형이기 때문에 도침을 세 점으로 하면 무게 중심이 맞지 않아 다섯 점으로 도침을 놓았으며, 그 세부 모습은 [작품 3-2]와 같다.

[작품 3] Oval Cylinder Set, 백자소지, 물레성형 후 변형,
1280℃ 산화 및 환원 소성, 2020

(왼쪽 하단부터) 121*134*60(mm)
156*182*78(mm)
206*224*94(mm)
178*200*100(mm)
159*175*76(mm)
103*118*54(mm)

색 계열	사용한 유약
빨강계	 G8 M0.1 루틸 8% $CoCO_3$ 0.5% (산화)
남색계	 G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 0.5% (산화) G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 1% (산화) G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 2% (산화)
보라계	 G8 M0.1 루틸 8% $CoCO_3$ 1% (산화) G8 M0.1 루틸 8% $CoCO_3$ 2% (산화)

[표 25] Oval Cylinder Set에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 3-1] Oval Cylinder Set 세부 사진

[작품 3-2] Oval Cylinder Set의 도침 장식 부분

4. Oval Bowl Set

‘Oval Bowl Set’는 두 가지로 구성했으며 색 구성과 형태를 기준으로 나누었다. ‘Oval Bowl Set (1)’은 비교적 밝고 따뜻한 느낌을 주는 색 유약으로 세트를 구성했고, 형태는 높고 폭이 좁은 볼을 선택했다. 그 결과는 [작품 4-1]과 같고, 사용한 유약을 색 계열별로 나눈 결과는 [표 26]과 같다.

‘Oval Bowl Set (1)’에는 빨강·주황·노랑 계열 유약을 사용했으며, G8 M0.1에 추가 발색제로 M800을 사용한 유약은 빨강 계열 유약으로, 특유의 질감이 있는 것이 특징이다. 전 부분에 가까워질수록 질감의 변화가 시각적으로 두드러진다. 그리고 G8 M0.1에 산화철을 추가 발색제로 사용한 유약은 표면에 기포가 두드러지는 주황 계열 유약이다. G14 M0.4에 탄산코발트를 추가 발색제로 사용한 유약은 연두색에 가깝게 발색된 노랑 계열 유약으로, 표면에 미세한 기포가 있는 것이 특징이다. 이 세 가지 유약을 보다 자세히 들여다보면 [작품 4-2]와 같다.

‘Oval Bowl Set (2)’는 어둡고 채도가 낮으며, 형태 또한 낮고 넓은 볼로 구성하였다. 그 결과는 [작품 4-3]와 같으며, 사용한 유약과 색 분류는 [표 27]과 같다. 주황·노랑 계열 유약을 사용했으며, 모두 G14 M0.4를 기본유로 하는 유약이다. M800 또는 탄산코발트를 추가 발색제로 사용했으며, 세부 사진은 [작품 4-4]와 같다. 루틸 8%에 M800을 추가 발색제로 1% 첨가한 경우, 질감이 있는 유약이 만들어졌으며 유약 두께가 얇은 전 부분에 가까워질수록 색상 변화가 눈에 띄게 생겼다. M800을 3% 첨가한 경우, 짙은 밤색 바탕에 금속기와 유사한 반질반질한 표면 질감이 생겼다. 루틸 6%에 M800을 추가 발색제로 1% 첨가한 유약은 월주요 유약과 유사한 올리브 색조의 유약이 만들어졌다. 루틸의 발색은 환원의 세기에 예민하기 때문에 시편과 상이할 수 있다. 탄산코발트를 추가 발색제로 사용한 유약은 짙은 녹색에 가까우며, [작품 4-5]와 같이 작은 질감이 고르게 생성되었다.

[작품 4-1] Oval Bowl Set (1), 백자소지, 물레성형 후 변형,
1280℃ 산화 및 환원 소성, 2020
185*191*141(mm)

[작품 4-2] Oval Bowl Set (1) 세부 사진

색 계열	사용한 유약
빨강계	 G8 M0.1 루틸 6% M800 1% (산화)
주황계	 G8 M0.1 루틸 8% FeO 1% (환원)
노랑계	 G14 M0.4 루틸 6% M800 1% (산화)

[표 26] Oval Bowl Set (1)에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 4-3] Oval Bowl Set (2), 백자소지, 물레성형 후 변형,
1280℃ 산화 및 환원 소성, 2019
219*227*111(mm)

[작품 4-4] Oval Bowl Set (2) 세부 사진

색 계열	사용 유약
주황계	G14 M0.4 루틸 8% M800 1% (환원) G14 M0.4 루틸 8% M800 3% (환원)
노랑계	G14 M0.4 루틸 6% M800 1% (환원) G14 M0.4 루틸 8% $CoCO_3$ 2% (환원)

[표 27] Oval Bowl Set (2)에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 4-5] Oval Bowl Set (2)에 사용한 유약[87] 세부 사진

5. 회합(會合): 작은 합들의 모임

‘회합(會合): 작은 합들의 모임’은 작지만 귀중한 물건을 보관할 수 있는 합들로 구성했다. 유약의 색 계열 조합에 따라 ‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (1)’과 ‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)’으로 나누었다.

‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (1)’은 밝고 따뜻한 느낌을 주는 빨강·주황·노랑·초록·청록 계열 유약을 1가지씩 선택하여 구성했다. G14 M0.4에 루틸을 8% 첨가하고 추가 발색제로 탄산코발트를 2% 첨가한 유약은 소성 분위기와 상관없이 유약에 질감이 생겨 기물을 만졌을 때 촉각적인 재미가 있다. 또한 G14 M0.4에 루틸을 8% 첨가하고 추가 발색제로 규산지르코늄을 5% 사용한 유약은 모두 면치기 기법을 적용한 기물에 적용했다. 면을 치면 모서리에 유약이 얇게 시유되어 유약의 발색에 변화가 있을 수 있다. 그러나 이 유약의 경우 유약의 두께와 상관없이 발색이 일정해서 면치기 기법의 장식성을 해치지 않을 것이라고 판단했다. G14 M0.4에 루틸을 6% 첨가하고, 추가 발색제로 탄산코발트를 0.5% 첨가한 유약은 청록 계열 유약이긴 하나 채도가 낮기 때문에 다른 유약과 잘 어울릴 것으로 판단하고 적용했다. ‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (1)’은 [작품 5-1]과 같으며, 사용 유약을 색 계열별로 구분한 결과는 [표 28]과 같다. 또한 세부 사진은 [작품 5-2]와 같다.

87) G14 M0.4 루틸 8%+$CoCO_3$ 2%(산화소성)

[작품 5-1] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (1),
백자소지, 물레성형(일부 성형 후 면치기),
1280℃ 산화 및 환원 소성, 2019
∅7.5*7.5(mm)

[작품 5-2] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (1) 세부 사진

색 계열	사용 유약
빨강계	 G14 M0.4 루틸 8% ZrO 5% (환원)
주황계	 G14 M0.4 루틸 8% ZrO 5% (산화)
노랑계	 G14 M0.4 루틸 8% $CoCO_3$ 2% (환원)
초록계	 G14 M0.4 루틸 8% $CoCO_3$ 2% (산화)

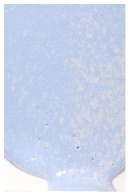
청록계	 G14 M0.4 루틸 6% $CoCO_3$ 0.5% (산화)

[표 28] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (1)에 사용한 유약과 색 계열 분류

‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)’는 앞에서 구성한 유약 조합과 다른 느낌으로 남색·보라 계열 유약을 포함한 명도가 낮은 유약들로 구성했다. 다만 G14 M0.4에 루틸 6% 첨가 후 추가 발색제로 탄산코발트를 0.5% 추가한 유약은 시편은 보라 계열에 속하나 기물 제작에서는 어두운 남색 계열로 발색이 완전히 달라졌다. 이는 루틸의 발색이 환원의 세기에 따라 달라져 생긴 현상이다. G14 M0.4에 루틸 2%을 첨가하고 탄산코발트를 4% 추가한 유약도 환원소성 결과 시편과 약간의 발색 차이가 있었다. G8 M0.1가 기본유인 유약은 두께에 따라 발색이 다양해 유약의 장식적 효과를 잘 보여준다. 루틸을 6% 첨가하고 탄산코발트를 추가 발색제로 0.5% 첨가해 산화로 소성한 유약은 하늘색 바탕이나 유약이 흘러서 맺힌 부분은 보라색 결정을 보인다. 반대로 루틸을 8% 첨가하고 탄산코발트를 0.5% 추가해 산화로 소성한 유약은 보라색 바탕이나 유약이 맺혀 두꺼워진 부분은 보랏빛이 진해지고, 얇은 부분은 푸른색에 가까워졌다. G14 M0.4가 기본유인 유약에 비해 G8 M0.1가 기본유인 유약은 잘 흘러내리기 때문에 특히 합을 시유할 때 유약 두께가 과도하게 두꺼워지지 않도록 유의해야한다. ‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)’은 [작품 5-3]과 같으며, 사용 유약의 색 계열 분류 결과는 [표 29]와 같다. 세부 사진은 [작품 5-4]와 같고, ‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (1)’과 ‘회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)’를 모은 전체 사진은 작품 [5-5]와 같다.

[작품 5-3] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2),
백자소지, 물레성형, 1280℃ 산화 및 환원 소성, 2020
∅7.5*7.5(mm)

[작품 5-4] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)의
도침 장식 부분

색 계열	사용 유약
빨강계	 G8 M0.1 루틸 8% $CoCO_3$ 0.5% (산화)
노랑계	 G14 M0.4 루틸 2% $CoCO_3$ 4% (산화) G14 M0.4 루틸 2% $CoCO_3$ 4% (환원)
남색계	 G8 M0.1 루틸 6% $CoCO_3$ 0.5% (산화)
보라계	 G14 M0.4 루틸 6% $CoCO_3$ 0.5% (환)

[표 29] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2)에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 5-5] 회합(會合): 작은 합들의 모임 (2) 세부 사진

[작품 5-6] 회합(會合): 작은 합들의 모임 전체 사진

6. 회담(會壇)

‘회담(會壇)’은 화기(花器)로 사용할 수 있는 기물들로 구성했으며, 그 결과는 [작품 6]과 같다. 사용 유약을 색 계열별로 구분한 결과는 [표 30]과 같다. 실제로 꽃이 꽂아질 모양새를 생각하며 전체 크기나 입구의 크기에 변화를 주었다. 유약 색 구성은 부드럽고 따뜻한 빨강·주황 계열 유약을 선택했다. 세부 사진은 [작품 6-1]과 같다.

특히 이 유약 조합은 루틸만 발색제로 사용했을 경우와, 루틸과 규산지르코늄을 동시에 사용했을 때 발색의 차이를 실제 기물을 통해 살펴볼 수 있다. 먼저 G8 M0.1에 루틸만 6% 첨가했을 때는 산호색에 가까운 빨강 계열의 색이 나오면서 표면에 광택이 거의 없다. 이 유약에 규산지르코늄을 5% 첨가하면 같은 빨강 계열이나 밝은 분홍빛을 띠는 유약이 나온다. 또한 규산지르코늄은 유약에 질감을 형성하는 역할도 하기 때문에 발색 변화뿐만 아니라 질감 변화에도 영향을 끼쳤다. 또한 규산지르코늄을 첨가하니 이전보다 광택이 증가해 실용성이 더 높아졌다.

G14 M0.4을 기본유로 한 경우도 규산지르코늄의 유무에 따라 발색이 달라졌다. 두 경우 모두 주황 계열에 속하지만 발색에는 차이가 있었다. G14 M0.4에 루틸을 8% 첨가하면 베이지색의 무광택유가 되었다. 여기에 규산지르코늄을 5% 첨가하면 밝은 노란색 무광택유가 되었다. G14 M0.4의 경우 규산지르코늄의 첨가에 따라 광택에 차이는 없었지만, 원래 유백제로 사용되는 규산지르코늄이 루틸과 만났을 때 발색이 달라진다는 점이 흥미로웠다. 두 유약 모두 기포가 잘 생기기 때문에 유약 두께가 과도하게 두꺼워지지 않도록 유의해야 한다. G14 M0.4에 루틸만 첨가한 유약은 크기가 큰 항아리에 적용했으며, 규산지르코늄을 추가로 첨가한 유약은 면치기를 한 좁고 긴 화병과 목이 긴 화병에 적용했다.

[작품 6] 회담(會壇), 백자소지, 물레성형(일부 성형 후 면치기),
1280℃ 산화소성, 2020

(왼쪽 하단부터) ∅70*115(mm)
∅85*169(mm)
∅90*142(mm)
∅65*160(mm)
∅80*111(mm)
∅36*99(mm)

색 계열	사용한 유약
빨강계	G8 M0.1 루틸 6% (산화) G8 M0.1 루틸 6% ZrO 5% (산화)
주황계	G14 M0.4 루틸 8% (산화) G14 M0.4 루틸 8% ZrO 5% (산화)

[표 30] 회담(會壇)에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 6-1] 회담(會壇) 세부 사진

7. 짙은 주안상

‘짙은 주안상’은 주병·잔·안주를 담을 수 있는 접시로 구성했으며, 그 결과는 [작품 7]과 같다. 이전 연구 작품의 유약 조합과 차이를 두기 위해 명도가 낮은 어두운 유약으로 조합하고자 했다. 따라서 검은색 안료인 M800이 포함된 유약 중 명도가 낮은 유약을 선택했다. 또한 이전 연구 작품에 주황 계열 유약이 주로 선택되었기 때문에 주황 계열에 속하지 않는 유약을 선택하고자 했다. 사용한 유약과 색 계열 분류 결과는 [표 31]과 같다.

안료 M800을 추가 발색제로 사용했을 때 주황 계열 외 빨강·노랑·연두·청록·파랑·남색·자주 계열 유약이 나왔다. 그 중 G8 M0.1에 루틸을 2% 첨가하고, M800을 5% 추가한 파랑 계열 유약을 선택했다. 이 유약은 독특한 질감이 있고, 다른 유약보다 광택이 있다. 특히 이 세트는 음식을 자주 담아 먹기 때문에 세척이 용이해야 한다. 그래서 안쪽 면을 모두 이 유약으로 시유하였다.

만일 모든 면을 이 유약으로 시유한다면 광택과 질감으로 인해 차분한 느낌이 덜할 것으로 예상하였다. 그래서 바깥 면에는 안쪽 면에 비해 광택과 질감이 없으면서도 명도가 낮은 유약을 적용하였다. M800이 많이 첨가될수록 잘 흐르는 성질을 갖기 때문에 기본유가 G8 M0.1이 아닌 G14 M0.4인 유약을 선택했다. 루틸이 4%, M800이 5% 첨가된 유약이 가장 명도가 낮으면서 앞서 선택한 유약과 잘 어울리기 때문에 바깥 면에 적용할 유약으로 결정했다. 안쪽 면과 바깥 면을 다른 유약으로 시유하니 두 유약이 만나는 경계선인 기물의 전 부분에 [작품 7-1]와 같이 독특한 질감이 생겼다.

[작품 7] 짙은 주안상, 백자소지, 물레성형, 1280℃ 산화소성, 2020

주병 ∅55*149(mm)

술잔 ∅72*61(mm)

안주접시 ∅172*64(mm)

색 계열	사용 유약
주황계	 G14 M0.4 루틸 4% M800 5% (산화)
파랑계	 G8 M0.1 루틸 2% M800 5% (산화)

[표 31] 짙은 주안상에 사용한 유약과 색 계열 분류

[작품 7-1] 짙은 주안상 세부 사진

Ⅳ. 결론

지금까지 연구자는 발색제로서 루틸이 유약에 미치는 효과를 실험을 통해 살펴보고, 이 중에서 몇 가지 데이터를 선별해 기물에 적용한 결과를 기술하였다. 연구자가 '유약'에 주목한 이유는 도자기의 소지를 감싸 내구성을 높이고 오염을 방지하는 실용적 역할을 하는 동시에 색이나 질감으로 장식적 역할도 겸할 수 있기 때문이었다.

본 연구에서는 특히 '색'으로 유약에 장식 효과를 더하고자 했으며, 유약 제조 시 사용하는 여러 광물 중 발색 역할을 하는 산화물을 첨가하고자 했다. 유약에서 사용하는 대표적인 발색 산화물로는 산화철·산화동·산화티탄 등이 있지만 연구자는 그 중 산화티탄의 원료인 루틸을 연구대상으로 설정했다. 루틸은 산화티탄의 원료 중 하나로, TiO_2 성분 외에 산화철과 산화주석 등으로 이루어진 불순물이 첨가되어 있기 때문에 연구대상으로 크게 주목받지 못하였다. 그러나 연구자는 오히려 이 불순물이 더 깊고 진한 발색을 나타나게 하는 효과가 있다는 점을 발견하고 이에 주목하여 순수한 TiO_2 성분으로 이루어진 산화티탄이 아닌 루틸을 연구대상으로 설정하여 연구를 진행하였다.

Ⅱ장의 1절에서는 도자기에서 발색 및 발색제의 정의와 종류, 그리고 발색제의 종류에 따른 특징과 발색제를 첨가하는 방법을 기술하였다. 도자기에서 사용하는 발색제로는 크게 산화물과 안료로 나누어 볼 수 있다. 산화물은 광물을 그대로 갈아 만든 것이며 고화도 유약에서 사용하는 대표적인 발색제인 산화철·산화동·산화티탄 등의 특징을 언급했다. 안료는 특정 색을 내기 위해 여러 산화물을 조합해 고온으로 소성하고, 다시 일정 입도로 갈아 분말 상태로 만든 것이다. 이러한 발색제를 소지 또는 유약에 첨가해 도자기에 색을 낼 수 있지만, 연구자는 앞서 언급했듯이 유약에 발색제를 첨가해 장식적 기능과 실용적 기능을 동시에 취하고자 하였다.

다음 2절에서는 유약에서 루틸의 효과와 이를 활용한 기존 실험 또는

작품을 살펴보았다. 유약에서 루틸의 효과는 크게 발색 효과·유탁 효과·결정 생성 효과로 나눌 수 있으며, 이미 많은 도예가들은 이러한 효과 때문에 루틸을 매력적인 재료로 인식해 종종 사용해 왔다. 이 세 가지 효과 중 연구자는 발색 효과에 주안점을 두고 연구를 진행하였다.

3절에서는 본격적으로 유약 실험을 진행했다. 연구자는 어떤 유약을 기본으로 하여 루틸을 첨가할 것인지 정하기 위해 기본 유약 실험을 진행했다. 제겔식을 이용해 유약에 첨가되는 원소의 mole 수를 계산했다. 가장 좋은 고화도 유약 조성인 $0.3K_2O$-$0.7CaO$을 기준으로 Al_2O_3-SiO_2의 비를 조정하여 연구자가 원하는 반광택유와 무광택유 조성을 정하고, 더 좋은 성질의 유약을 만들기 위해 융제의 CaO 성분을 ZnO 또는 MgO 성분으로 대치하는 실험을 진행했다. 최종적으로 두 가지 기본유를 선택한 후, 루틸의 양에 따라 어떻게 발색이 달라지는지 살펴보았다. 마지막으로 먼셀의 10색상환을 참고해 루틸을 단독으로 첨가해서는 나올 수 없는 색 범위를 구현하기 위해 다른 발색 산화물이나 안료를 첨가하는 실험을 했다.

본 연구의 Ⅲ장에서는 앞서 진행한 유약 실험의 결과 중 작품에 적용할 수 있는 유약을 선별하고, 선별된 유약 중 서로 어울리는 색 조합을 찾아 도자 기물에 적용하는 연구를 진행했다. 주된 성형 방법은 물레 성형이며, 유약에 장식성이 있기 때문에 단순한 형태로 유약의 특징을 보여주고자 했다.

유약은 어떤 광물을 어떻게 조합하느냐에 따라 달라지기 때문에 유약의 종류는 무한대에 가깝다고 볼 수 있다. 발색 산화물의 발색도 기본 유약의 조성에 따라 달라지기 때문에 같은 발색 산화물이라도 색감이 다양하게 나올 수 있다. 본 연구에서는 연구의 효율성을 위해 유약의 조성을 제한할 수밖에 없었고, 따라서 유약의 극히 일부분을 다룬 한계점을 가진다. 그러나 지금까지 연구대상으로 크게 주목받지 못했던 ‘루틸’을 선택하여 유약에서 어떠한 발색 효과를 가지는지에 관하여 규명한 의의가 있다. 또한 루틸의 속성을 적용하여 다양한 기물을 제작하고 그 결과를 상세하게 기술한 데에도 의미를 가진다. 이 연구가 추후 유약의 발색

제를 다루고자 하는 도자 연구자에게 도움이 되기를 바란다.

참 고 문 헌

단행본

글렌 C. 넬슨, 『도자예술』, 임무근·신광석 역, 미진사, 2001
방병선,『중국도자사 연구』, 경인문화사, 2012
오이뮤(OIMU),『색이름352』, 오이뮤(OIMU), 2019
이병하,『나만의 유약 만들기-기본유약편』, 예경, 2004
이병하,『나만의 유약 만들기-종합편』, 예경, 2014
이복규,『도자원료』, 미진사, 1991
정동훈, 『도예가를 위한 유약연구』, 한국학술정보, 2011
Daniel Rhodes, 『도예가를 위한 점토와 유약』, 이부연·김두식 외 1명 역, 한양대학교 출판부, 2014
Emmanuel Cooper 외, 『도예 유약』, 김남수 역, 미진사, 1991
Yvonne Hutchinson,『Ceramic technology for potters and sculptors/Yvonne Hutchinson Cuff; line drawings by Peter Bramhald』, University of Pennsylvania Press, 1996

논문

김기연,「티탄 柚 에 관한 발색 실험 연구」, 동덕여자대학교 대학원, 2000
김면보,「안료를 이용한 무광 색유의 개발」, 명지대학교 산업대학원, 2007
김민경,「먼셀 10 색상과 메이크업 컬러에 대한 뇌파분석」, 숭실대학교 환경공학과 뷰티공학전공 대학원, 2011
김선영,「균요유의 생성범위와 발색특성 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2009
김화순,「착색산화물에 의한 발색 효과」, 명지대학교 산업대학원, 2003
녕수,「중국 균요 자기의 미학적 특성 연구」, 단국대학교 도예학과 대학

원, 2019
배경원,「천연염색 컬러 차트 개발」, 국민대학교 디자인대학원, 2015
변규리,「염기조성에 따른 철유의 발색조건 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2003
손호익,「탄산리튬(Li_2CO_3)이 발색산화물에 미치는 영향 연구」, 『한국도자학연구』, 14(1), 한국도자학회, 2017, p.63-77
송태경,「고화도 하회안료 개발」, 명지대학교 산업대학원, 2009
심보경,「산화동과 산화철을 이용한 색유약」, 명지대학교 산업대학원, 2005
용혜영,「안료를 사용한 색유약 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2013
우난희,「산화티탄(TiO_2)이 발색산화물에 미치는 영향 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2004
윤은정,「유백유 색상 개발」, 명지대학교 산업대학원, 2014
이가진,「청자유를 두껍게 시유한 도자작품의 사례분석 및 제작에 관한 연구」, 서울대학교 대학원, 2012
이광훈,「하동지역 저품위 티탄철광의 선별 기술 및 선별 공정에 관한 연구」, 한국해양대학교 대학원, 2014
이규선,「산화니켈(NiO)과 산화망간(MnO_2)을 이용한 색유약 발색연구」, 명지대학교 산업대학원, 2009
이진복,「유약조합을 쉽게 접근하는 유약 연구 제안: 산화동 외 두 가지 산화물 배합을 중심으로」, 『한국도자학연구』, 4(2), 한국도자학회, 2007, p.70-95
이혜미,「SiO_2 함유량이 적은 무광택유에 관한 연구」, 서울대학교 대학원, 2015
임세현,「Augite계 금색결정 유약에 관한 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2018
전민영,「고려청자와 중국 청자의 유형 연구」, 단국대학교 도예학과 도자조형디자인전공 대학원, 2016
진일화,「장석유에서 산화철 발색 조건에 미치는 산화물의 영향」, 명지대학교 산업대학원, 2001
최현심,「티탄결정 유백유약 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2018

함운숙,「유백 유약 개발에 관한 연구」, 명지대학교 산업대학원, 2009
황선희,「석회-마그네시아를 이용한 유약 만들기」, 명지대학교 산업대학원, 2001
웹사이트

https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3343472&cid=47340&categoryId=47340
https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=894473&cid=42642&categoryId=42642
https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1064903&cid=40942&categoryId=32305
https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1524085&cid=47341&categoryId=47341
https://benowenpottery.com/prior-works#/stardust-yellow

Abstract

Study on Color Formation Effect of Glaze : Focusing on Rutile

Jeewon Jeong
Major in Ceramics
Faculty of Craft and Design
The Graduate School
Seoul National University

Rutile is chemically known as a coloring oxide composed of TiO_2 more than 95% and impurities containing less than 5% iron oxide and tin. This study observes the results of what colors are produced by adding rutile to the glaze as a colorant. Then, the glazes that could be applied to ceramic objects are selected, and the glazes are harmoniously arranged with each other, and finally applied to various types of the ceramic objects. The production of the object is intended to give a calm and stable impression that can be used in everyday life.

In order to effectively examine the color formation effect of rutile, the type of the ceramic body, the composition of the base glaze, and the firing

temperature are fixed. After controlling these three conditions, rutile is added from 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2%, 4%, 6% and to 8% respectively in two basic glazes. In addition, both the oxidation and reduction firing are used to observe the color change according to the firing atmosphere. Furthermore, other colorant or opacifier are additionally added to obtain a color that cannot be produced by adding rutile alone. The auxiliary colorant is tested while adjusting the amount of addition little by little for each feature.

Among the experimental results, a combination is made except for glazes that could not be applied to ceramic objects, such as excessively flowing glaze or much more bubbles than necessary. Combinations are made in the same color series or by selecting among different color series. In addition, glazes are applied to a number of set consisting of some objects to show the color combination well. These sets consist of items with specific functions, or items of the same shape and size. And they are made into a simple shape to show the characteristics of the glaze.

Some of the existing glaze with TiO_2 ingredients are characterized by fancy colors and textures. However, these glazes are not appropriate because this study aims to give a calm and stable impression. Therefore, for the formation of deep color of glaze, rutile is used in which impurities and TiO_2 are combined rather than titanium oxide composed of pure TiO_2 component. In addition, this study has significance in that rutile, which was mentioned only as a raw material for titanium oxide in the previous study, is noted as a raw material for glaze, and furthermore, it is used to produce ceramic objects.

keywords : rutile, color formation, colorant, color combination, ceramic object, glaze

Student Number **: 2017-24248**