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

미술박사 학위논문

유리질(玻璃質) 점토 개발 및 작품 제작 연구

A Study on the Development and Artistic Application of Vitreous Clay

2023 년 2 월

서울대학교 대학원

디자인학부 공예전공

강 소 청

유리질(玻璃質) 점토 개발 및 작품 제작 연구

A Study on the Development and Artistic Application of Vitreous Clay

지도교수 황갑순·허보윤

이 논문을 미술박사 학위논문으로 제출함
2023 년 2 월

서울대학교 대학원
디자인학부 공예전공
강 소 청

강소청의 박사 학위논문을 인준함
2023 년 2 월

위 원 장 한정용 (인)
부위원장 황갑순 (인)
위 원 허보윤 (인)
위 원 이영미 (인)
위 원 황승욱 (인)

초 록

이 논문은 점토 유리질화의 물리화학적 성질에 주목하여 진행한 유리질 점토의 개발과 이를 활용한 작품 연구를 목적으로 한다. 유리질 점토란 **'낮은 가소성과 넓은 용융범위를 가진 유리질화 재료'**를 말한다. 연구자는 유리질화 점토의 개발과 그 분석을 통해 유리질 점토의 기본 정의를 도출하고 유리질 점토의 구체적인 특성을 개선하였으며 그에 따른 작품 제작을 주제로 다루었다.

점토와 유약의 유사하고도 차별적인 화학구조는 다양한 재료적 응용 가능성을 시사한다. 특히 점토와 유약이 공유하는 물리화학적 성질은 연구자가 유리질 점토의 개발 및 응용을 시도하게 된 직접적인 동기이다. 화학 구조 관점에서 본다면 토기, 석기, 자기 혹은 유약은 유리질화 정도에 따라 각각 일정한 범위 안에서 구성된 결과물로 볼 수 있다. 유리질 점토는 그 중 자기질 점토보다 더 유리질화가 진행된 상태로, 유약의 범주를 포함한다. 연구자는 유약의 가능성 중 특히 점토와 유사한 성질에 주목하였다.

연구는 유약의 조성 중 규석 성분을 증가시켜 유약의 용융도와 발색도를 조절하는 방식으로 진행되었다. 연구자는 먼저 전통적인 청자유약을 대상으로 푸른빛 유리질 점토의 개발을 시도하였다. 청자유약은 대표적인 환원 유약으로 성분의 조성과 소성 방법에 따라 발색 결과가 상이하므로 활용 난이도가 높은 유약에 속한다. 청자유약 조성에서 규석 성분의 함량이 과포화에 이르게 되면 유약의 유동성이 급격히 줄어드는 반면 발색은 어느 정도 지속된다. 연구자는 이 현상에 착안해 연구를 발전시켰다. 연구자는 세 가지 대표적인 기본 청자유약의 조성을 선택하여 규석 성분의 증가에 따른 청자색 유리질 점토의 개발 실험을 다음과 같이 진행하였다. 첫째,

제겔식을 활용한 기본 조성의 규석 성분 증가 실험, 둘째, 장석을 주성분으로 하는 기본 조성의 규석 성분 증가 실험, 셋째, 송 관요 청자유약을 활용한 기본 조성의 규석 성분 증가 실험. 실험을 통해 연구자는 용융 시 재료가 갖는 유동성의 유무에 따라 두 종류의 유리질 점토를 개발하였다.

유리질 점토의 개발 후 점토의 발색과 질감을 풍부하게 표현하기 위해 융제 대치 실험, 발색제 추가 실험, 기포 발생 실험을 추가로 진행하였다. 위 세 종류의 실험을 통해 융제 성분, 발색제 성분 및 발포제 성분의 함량과 비율에 따른 다양한 청자색 유리질 점토의 발색 및 질감을 얻었다.

유리질 점토를 활용하기 위한 제조 방법, 소성 방법 및 소성 후 표면 처리 등 부가적인 연구도 수반되었다. 연구자가 개발한 다양한 청자색 유리질 점토의 특성을 고려한 형태 제작 기법을 선택하였는데, 3D 프린터를 활용한 내화재 개발 및 제작, 소성 스케줄의 변화, 소성 후 연마 처리 등의 기술을 결합하여 사용하였다.

본 연구에서 개발한 유리질 점토 및 변형 실험 결과는 다양한 표현 가능성을 가진다. 연구자는 원기둥, 다면체, 각기둥 등 기하학적이고 추상적인 형태의 작품을 제작하여 유리질 점토의 물성을 온전히 드러내고자 하였다. 또한 역사적 맥락에서, 장식품으로 사용하였던 옥과 청자의 형태, 질감 그리고 발색을 차용하여 전통과 현대가 연결된 작품을 제작하고자 하였다.

청자유약의 화학 조성을 출발점으로 한 유리질 점토의 개발 및 활용은 연구자의 기대에 어느 정도 부응하였지만, 재료 및 기법의 한계와 단점도 분명하게 드러났다. 앞으로 연구자는 유리질 재료를 중심으로 유리질 점토에 관한 재료적 연구와 활용을 계속 시도할 것이다. 또한, 유리질 점토의 가소성, 내화성, 수축률 등의 한계와

단점을 극복한 유리질 점토와 그 효율적인 제조 방법을 모색해 보고자 한다.

주요어: 도자, 유리질 점토, 청자유, 규석의 과포화
학번: 2018-39307

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

1. 연구 동기 ····· 1
2. 연구 목적 ····· 2
3. 연구 범위 및 방법 ····· 3
4. 선행 연구 ····· 5

제 2 장 유리질 점토 ····· 9

1. 유리질 점토 ····· 9
   1-1. 유리질 점토의 정의 ····· 9
   1-2. 유리질의 정의 및 종류 ····· 11
   1-3. 점토의 정의 및 종류 ····· 16
   1-4. 유리질 점토와 유약 ····· 25
   1-5. 유리질 점토와 유리 ····· 27
2. 유리질 점토의 특징 ····· 33
   2-1. 화학적 조성 ····· 33
   2-2. 가소성 ····· 35
   2-3. 투광도 및 발색 ····· 36
   2-4. 내화도 및 유동성 ····· 38
3. 유리질 점토의 사례 연구 ····· 40
   3-1. 역사적 사례 연구 ····· 40
      3-1-1. 중국 덕화백자(德化白瓷) ····· 40
      3-1-2. 이집트 페이스트(Egyptian Paste) ····· 44
      3-1-3. 중국 고대 유리(琉璃) ····· 49
   3-2. 작가 사례 연구 ····· 55
      3-2-1. 알렉스 자블로키(Alex Zablocki) ····· 55

3-2-2. 마사오미 야스나가(安永正臣) ····· 58
3-2-3. 순 쿠마가이(熊谷峻) ····· 59
4. 청자유약을 활용한 유리질 점토 ····· 61
4-1. 청자유약의 역사적 고찰 ····· 62
4-2. 청자유약의 현대적 활용 사례 ····· 66
4-3. 청자색 유리질 점토 ····· 67

제 3 장 유리질 점토 조성 실험 ····· 70
1. 기본 조성의 선택 및 시편 제작 ····· 70
1-1. 기본 조성의 선택 ····· 70
1-1-1. 제겔식(Segerformula)의 활용 ····· 70
1-1-2. 장석의 활용 ····· 73
1-1-3. 송 관요(宋 官窯)청자유약 성분의 활용 ····· 75
1-2. 시편 제작 ····· 78
2. 세 가지 기본 조성의 규석 성분의 증가 실험 ····· 81
2-1. 제겔식을 활용한 기본 조성에 규석 성분의 증가 실험 및 결과 ····· 82
2-2. 장석을 활용한 기본 조성에 규석 성분의 증가 실험 및 결과 ····· 89
2-3. 송 관요(宋 官窯)청자유약을 바탕으로 한 기본 조성에 규석 성분의 증가 실험 및 결과 ····· 94
2-4. 실험 분석 ····· 101
3. 융제 대치 실험 ····· 108
3-1. 탄산칼슘($CaCO_3$) ····· 108
3-2. 탄산바륨($BaCO_3$) ····· 113
3-3. 탄산마그네슘($MgCO_3$) ····· 119
3-4. 산화아연(ZnO) ····· 124
3-5. 탄산스트론튬($SrCO_3$) ····· 131
3-6. 실험 분석 ····· 137

4. 발색제 첨가 실험 ····· 148
4-1. 산화철(Fe_2O_3) 함량의 변화 ····· 149
4-2. 산화철과 탄산망간($MnCO_3$) ····· 152
4-3. 산화철과 산화티탄(TiO_2) ····· 154
4-4. 실험 분석 ····· 157
5. 기포 증가 실험 ····· 159
5-1. 탄화규소(SiC) 성분 첨가 실험 ····· 160
5-2. 인산칼슘[$Ca_3(PO_4)_2$] 성분 첨가 실험 ····· 164
5-3. 실험 분석 ····· 167
6. 실험 결과 분석 및 개선 방향 ····· 169
6-1. 가소성 ····· 170
6-2. 유리질화 정도 및 투광도 ····· 171
6-3. 내화도 및 유동성 ····· 173
6-4. 발색 및 질감 ····· 174
6-5. 유리질 점토의 한계 ····· 176

제 4 장 작품 제작 연구 ····· 178
1. 성형방식과 소성 기법 및 표면 처리 연구 ····· 178
1-1. 성형방식 ····· 178
1-1-1. 내화틀에 투입하여 제작하는 방식 ····· 179
1-1-2. 작은 크기의 개체를 조합하여 제작하는 방식 ····· 184
1-2. 소성 기법 ····· 186
1-3. 표면 처리 ····· 189
2. 작품 제작 ····· 191
2-1. 규석 성분의 증가 실험 결과를 활용한 작품 제작 ····· 191
2-2. 융제 대치 실험 결과를 활용한 작품 제작 ····· 204
2-3. 발색제 첨가 실험 결과를 활용한 작품 제작 ····· 209
2-4. 기포 증가 실험 결과를 활용한 작품 제작 ····· 219

제 5 장 결론 226

참고문헌 228
摘要 233
Abstract 235

표 목 차

[표 1] 유리질 점토의 범위 10
[표 2] 유리질 재료를 형성하는 주요 산화물 및 보조 산화물의 종류와 화학식 13
[표 3] 유리질 재료의 종류 및 화학 성분 14
[표 4] 지표, 일반 점토와 고령토의 화학 성분 및 함량 18
[표 5] 점토 형성원인에 의한 점토 분류표 19
[표 6] 점토 광물의 화학식과 화학 조성 20
[표 7] 점토의 가소성 정도에 의한 점토 분류표 21
[표 8] 내화 정도에 의한 점토 분류표 22
[표 9] 용도별 점토 명칭 및 특성 23
[표 10] 유리질화 정도에 따른 점토 분류와 특징 25
[표 11] 유리질 점토와 유약의 공통점 26
[표 12] 유리질 점토와 유리의 공통점 28
[표 13] 유리질 점토와 유리의 차이점 30
[표 14] 유리질 점토, 유약과 유리의 유사성과 차별성 31
[표 15] 유리질 점토 기본 화학 구성 34

[표 16] 덕화백자 점토의 화학 조성 ·····41
[표 17] 덕화백자의 기본 화학 조성 성분 및 범위 ·····42
[표 18] Cone 08과 Cone 010-06의 이집트 페이스트 조성비 ·46
[표 19] 중국 고대 유리의 화학 성분 변천 과정 ·····51
[표 20]월요(越窯),요주요(耀州窯), 임여요(臨汝窯), 용천요(龍泉窯), 경덕진요(景德鎮窯) 및 고려 청자유의 화학 성분, 함량, 대표 유형과 확대 ·····63
[표 21] 기본 조성 SQ의 제겔식, 성분 및 결과 ·····72
[표 22] 기본 조성 FQ의 조성비 및 결과 ·····74
[표 23] 기본 조성 FQC의 조성비 및 결과 ·····75
[표 24] 송 관요청자의 성분 및 성분비, 사례 ·····76
[표 25] 기본 조성 SS의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····77
[표 26] 시편 예시 ·····79
[표 27] 기본 재료의 화학 조성 ·····80
[표 28] 유리질 점토의 시편 소성 그래프 ·····81
[표 29] 기본 조성 SQ의 제겔식 및 성분비 ·····83
[표 30] SQ1~10의 제겔식 ·····83
[표 31] 기본 조성 SQ에 규석 성분 증가 결과 SQ1~10 ·····84
[표 32] SQ1~10의 발색 및 질감 ·····85
[표 33] SQ1~10의 수축률 ·····86
[표 34] SQ1~10의 흡수율 ·····87
[표 35] SQ1~10의 수축률과 흡수율의 그래프 ·····88
[표 36] 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4 ·····89
[표 37] FQC1~6의 조성비 ·····89
[표 38] 기본 조성 FQC에 규석 성분 증가 실험 결과 FQC1~6 ·····90

[표 39] FQC1~6의 발색 및 질감 ····· 91
[표 40] FQC1~6의 수축률 ····· 92
[표 41] FQC1~6의 흡수율 ····· 92
[표 42] FQC1~6의 수축률과 흡수율의 그래프 ····· 93
[표 43] 청자색 유리질 점토 FQC2와 FQC4 ····· 94
[표 44] 기본 조성 SS의 제겔식 및 성분비 ····· 95
[표 45] SSA1~7의 제겔식 ····· 96
[표 46] 기본 조성 SS에 규석 성분 증가 실험 결과
SSA1~7 및 SS ····· 97
[표 47] SS, SSA1~7의 발색 및 질감 ····· 98
[표 48] SS, SSA1~7의 수축률 ····· 99
[표 49] SS, SSA1~7의 흡수율 ····· 99
[표 50] SS, SSA1~7의 수축률과 흡수율의 그래프 ····· 100
[표 51] 청자색 유리질 점토 SS ····· 101
[표 52] 기본 청자색 유리질 점토 ····· 102
[표 53] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의
SiO_2 및 Al_2O_3의 함량 ····· 103
[표 54] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의
규석 및 고령토의 함량 ····· 104
[표 55] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의
흡수율 ····· 105
[표 56] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의
SiO_2 및 융제 성의 함량 ····· 106
[표 57] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의
발색 변화 ····· 107
[표 58] SQ2.Ca의 제겔식, 성분비 및 결과 ····· 110

[표 59] SQ4.Ca의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····111
[표 60] SS.Ca의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····112
[표 61] SQ2.Ba의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····114
[표 62] SQ4.Ba의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····115
[표 63] FQC2.Ba의 조성비 및 결과 ·····116
[표 64] FQC4.Ba의 조성비 및 결과 ·····117
[표 65] SS.Ba의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····118
[표 66] SQ2.Mg의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····120
[표 67] SQ4.Mg의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····121
[표 68] FQC2.Mg의 조성비 및 결과 ·····122
[표 69] FQC4.Mg의 조성비 및 결과 ·····123
[표 70] SS.Mg의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····124
[표 71] SQ2.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····126
[표 72] SQ 4.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····127
[표 73] FQC2.Zn의 조성비 및 결과 ·····128
[표 74] FQC4.Zn의 조성비 및 결과 ·····129
[표 75] SS.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····130
[표 76] SQ2.Sr의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····132
[표 77] SQ4.Sr의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····133
[표 78] FQC2.Sr의 조성비 및 결과 ·····134
[표 79] FQC4.Sr의 조성비 및 결과 ·····135
[표 80] SS.Sr의 제겔식, 성분비 및 결과 ·····136
[표 81] 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 융제 대치 후 발색 및 질감 ·····137
[표 82] 청자색 유리질 점토 SQ2 및 SQ4에 융제 대치 실험 결과 ·····138

[표 83] SQ2와 SQ4에 융제 대치 실험 결과의 유리질화 정도와 유동성의 순서 ·····139
[표 84] SQ2와 SQ4에 융제 대치 실험 결과에 따른 청자색 색상 ·····140
[표 85] 청자색 유리질 점토 FQC2와 FQC4에 융제 대치 실험 결과의 발색 및 질감 ·····141
[표 86] 청자색 유리질 점토 FQC2 및 FQC4에 융제 대치 실험 결과 ·····142
[표 87] FQC2와 FQC4에 융제 대치 실험에 따른 유리질화 정도와 유동성의 순서 ·····143
[표 88] FQC2와 FQC4에 융제 대치 실험 결과에 따른 청자색 색상 ·····144
[표 89] 청자색 유리질 점토 SS에 융제 대치 후 발색 및 질감 ·····145
[표 90] 청자색 유리질 점토 SS에 융제 대치 실험 결과 ·····146
[표 91] SS에 융제 대치 실험 결과의 유리질화 정도와 유동성의 순서 ·····147
[표 92] SS에 융제 대치 실험 결과에 따른 청자색 색상 ·····148
[표 93] SQ2.f, SQ4.f의 기본 조성 및 산화철 함량 ·····150
[표 94] SQ2 및 SQ4에 산화철 함량 0~2.0%의 색상 변화 ·····150
[표 95] SQ2, SQ4에 산화철 함량 0~2.0%의 증가 실험 결과 ··151
[표 96] SQ2.Mn, SQ4.Mn의 기본 조성 및 탄산망간 함량 ·····153
[표 97] SQ2, SQ4에 탄산망간 함량 0.5~2.5%의 증가 실험 결과 ·····153
[표 98] SQ2 및 SQ4에 탄산망간 함량 0~2.5%의 색상 변화 ···154
[표 99] SQ2.Ti, SQ4.Ti의 기본 조성 및 산화티탄 함량 ·····155

[표 100] SQ2, SQ4에 산화티탄 함량 0.2~1.0%의 증가 실험 결과 ····· 156
[표 101] SQ2 및 SQ4에 산화티탄 함량 0~1.0%의 색상 변화 ·156
[표 102] SQ2, SQ4에 산화철 증가 후 발색, 유리질화 정도, 유동성의 변화 ····· 157
[표 103] SQ2, SQ4에 탄산망간 증가 후 발색, 유리질화 정도, 유동성의 변화 ····· 158
[표 104] SQ2, SQ4에 산화티탄 증가 후 발색의 변화 ····· 159
[표 105] SQ2.SiC 0.1~0.5와 SQ4.SiC 0.1~0.5의 기본 조성 및 SiC 함량 ····· 162
[표 106] SQ2와 SQ4에 SiC 첨가 후 발색 및 질감 변화 ····· 162
[표 107] SQ2.SiC 0.1~0.5 및 SQ4.SiC 0.1~0.5의 실험 결과 ····· 163
[표 108] SQ2.P 5~30과 SQ4.P 5~30의 기본 조성 및 인산칼슘 함량 ····· 165
[표 109] SQ2와 SQ4에 인산칼슘 첨가 후 발색 및 질감 변화 165
[표 110] SQ2.P 5~30 및 SQ4.P 5~30의 실험 결과 ····· 166
[표 111] SQ2, SQ4에 SiC 첨가 후 발색, 기포의 변화 ····· 168
[표 112] SQ2, SQ4에 인산칼슘 첨가 후 발색, 기포의 변화 ···169
[표 113] 청자색 유리질 점토에 SiO_2, Al_2O_3, 융제의 함량 ·····171
[표 114] 청자색 유리질 점토에 규석 함량과 유리질화 정도 및 투명성 ····· 172
[표 115] SiO_2와 융제의 몰(mole)비에 따른 산화철의 발색 및 유동성 ····· 174
[표 116] 청자색 유리질 점토의 발색 변화 ····· 175
[표 117] 청자색 유리질 점토 의 질감 및 유동성의 변화 ·····176
[표 118] 유리질 점토의 한계 ····· 177

[표 119] 내화틀 원형 제작 과정 ·····179
[표 120] 내화틀 조합과 청자색 유리질 점토의 성형 ·····180
[표 121] 한미 제조사의 내화시멘트 종류와 특징 ·····180
[표 122] 분리제의 조성 및 함량 ·····182
[표 123] 개체 조합을 활용한 제작방식의 과정 ·····184
[표 124] 청자색 유리질 점토와 일반 소성 기록 ·····187
[표 125] 유동성을 가진 청자색 유리질 점토의 연마 정도에 따른 세 가지 표면 질감 ·····189
[표 126] 유동성 없는 청자색 유리질 점토의 표면 질감 ·····190

그 림 목 차

[그림 1] 명대와 청대의 덕화요 컵 ·····43
[그림 2] 1. Amulet of Bes with tambourine,
2. Pendant Lotus Sepal, 3.Hand Inlay,
4. Cowroid Seal with Maat inscription ·····48
[그림 3] 전국 곡문유리검수와 전국 심록구름문유리벽 ·····54
[그림 4] 유약 덩어리의 제작과정 ·····56
[그림 5] 알렉스 자블로키의 작품 ·····57
[그림 6] 마사오미 야스나가의 작품 ·····58
[그림 7] 순 쿠마가이의 작품 제작과정 ·····60
[그림 8] 순 쿠마가이의 작품 ·····60
[그림 9] 후카미 수에하루의 작품 ·····66
[그림 10] 요사가와 미사무치의 작품 ·····67
[그림 11] 시편과 시편틀 ·····78
[그림 12] 석고틀을 활용한 시편 제작 과정 ·····79

[그림 13] SiC 3000mesh 분말 ·····161
[그림 14] 조합 내화틀 ·····181
[그림 15] 분리제를 도포한 내화틀 ·····181
[그림 16] 적재 방식 ·····181
[그림 17] 유리질 점토를 괴상으로 주입하는 소성 방식 ·····183
[그림 18] 유리질 점토를 과립상으로 주입하는 소성 방식 ····183
[그림 19] 1차 초벌 소성 ·····185
[그림 20] 분리제 분사 ·····185
[그림 21] 2차 소성 후 볼밀로 연마 ·····185
[그림 22] 3차 소성 ·····185

작 품 제 작

[작품 1] ·····192
[작품 2] ·····193
[작품 3] ·····194
[작품 4] ·····195
[작품 5] ·····196
[작품 6] ·····197
[작품 7] ·····198
[작품 8] ·····199
[작품 9] ·····200
[작품 10] ·····201
[작품 11] ·····202
[작품 12] ·····203
[작품 13] ·····204

[작품 14] ·····205
[작품 15] ·····206
[작품 16] ·····207
[작품 17] ·····208
[작품 18] ·····209
[작품 19] ·····210
[작품 20] ·····211
[작품 21] ·····212
[작품 22] ·····213
[작품 23] ·····214
[작품 24] ·····215
[작품 25] ·····216
[작품 26] ·····217
[작품 27] ·····218
[작품 28] ·····219
[작품 29] ·····220
[작품 30] ·····221
[작품 31] ·····222
[작품 32] ·····223
[작품 33] ·····224
[작품 34] ·····225

제 1 장 서 론

1. 연구 동기

본 논문은 도예의 주재료인 점토와 유약의 상이한 열팽창률에 따른 도자 제작의 기술적 한계를 벗어나 새로운 제작방식을 마련해 보고자 하는 시도에서 출발하였다. 점토로 형태를 제작하고 유약을 시유하는 일반적인 도자 제작과정에서, 두 재료의 상이한 열팽창률은 일정 두께 이상의 유약을 시유하고 소성하는데 큰 제한이 된다. 대표적으로 경험하는 기술적 한계는 유약의 균열 현상이나 나아가 냉각과정에서 기물이 파열하는 현상이다. 두껍게 시유한 유약의 두툼한 유리질 층이 보여주는 발색과 질감은 매우 매력적이지만 열팽창률에 의한 기술적 제약은 많은 도예가에게 커다란 난제이다. 연구자는 관점을 달리해 유약과 점토를 분리하지 않고, 두 가지의 유사성과 상이성을 비교 관찰해 유약 재질만으로 성형과 소성이 가능한 방법을 모색하기 시작하였다.

유약을 너무 두껍게 시유하면 유약은 흘러내림, 말림, 균열, 박리 등의 현상이 일어나는데 그 요인은 다음 세 가지로 열거할 수 있다. 유약과 점토의 상이한 열팽창계수, 유약과 점토의 부족한 중간층, 유약의 탄성 부족 등이다. 점토와 유약의 상이한 열팽창률은 일정한 두께 이상의 기물을 소성하고자 할 때 가장 큰 장애가 된다. 따라서 만약 유약을 점토에서 분리해 유약만으로 어떤 형태를 만들 수 있다면 위에서 언급한 상이한 열팽창률에서 기인하는 기술적 한계를 벗어날 수 있을 것이라고 판단하였다.

유약이 점토와 같이 형태를 유지할 수 있고 일정한 온도에서 원하는 대로 소결될 수 있다면 그 유약은 점토와 같은 성형 재료로 사용될 수 있다.

2. 연구 목적

이 논문의 연구 목적은 점토와 유약의 화학적 구성을 이용하여 다양하고 풍부한 발색의 가능성을 가진 유리질 점토를 개발하고 활용하는 것이다. 본 논문을 통해 개발된 유리질 점토는 전통적인 청자유약의 화학적 조성을 기반으로 개발한 것으로 일정한 가소성과 넓은 용융범위, 그리고 유리질화 된 재료만이 가질 수 있는 환원 발생, 예를 들어 청자와 같은 발색을 갖게 된다.

다양한 점토 중에 SiO_2 성분이 많은 백자 점토는 적절한 소성 과정을 통해 얻을 수 있는 대표적인 유리질화 점토이다. 소성 시 지나친 형태의 변화와 수축을 피하기 위해 점토의 유리질화가 지나치게 진행되어서는 안 된다. 점토에 형성되는 유리질 성분의 양과 분포 상태에 따라 소성되는 점토의 질감과 발색, 흡수율은 서로 다르다. 본 논문에서 개발하고자 하는 유리질 점토는 일반적인 백자 점토보다 더 많은 규석 성분을 가지며 유약이 갖는 발색의 특징을 가진다.

연구자는 유리질 점토의 특성을 파악하고 개발해 하나의 응용사례로 청자유의 발색을 갖는 유리질 점토를 개발하고자 하였다. 청자유의 발색은 가장 다양하고 까다로운 환원소성 발색이다. 청자색 유리질 점토는 다양한 화학 조성에 따라 유리질의 용융 상태와 발색이 다양하다. 유리질 점토의 유리질 용융 상태 차이는 유약과 마찬가지로 주로 SiO_2, Al_2O_3 그리고 알칼리 금속산화물의 함량 및 비율에 따라 결정된다. 본 논문을 통해 연구자는 청자유약에 함유된 SiO_2, Al_2O_3, 알칼리성 금속산화물 및 발색제의 성분비를 조절해 청자색 유리질 점토의 다양한 질감과 발색을 확인할 것이다.

전통적으로 청자유는 항상 점토로 성형된 바탕 기물 위에 시유되어 사용된다. 이때 점토와 유약은 서로 다른 열팽창률을 갖는다. 본 논문은 전통적인 청자유약의 화학 물리적 성질을 바꾸어 청자유약의 전통적인 적용 방식을 탈피해 보고자 하는 고민에서 시작되었다.

점토와 유약은 유사한 화학성분으로 구성되어 있으며 소성 시 두 재료

의 물리적 성질도 유사하다. 뛰어난 발색도가 요구되는 청자유의 화학 조성에 풍부한 유리질 성분은 청자유약의 중요한 특징 중 하나다. 유리질 점토는 청자유와 같이 풍부한 유리질 성분을 가지면서도 유동성이 적어 점토의 특성을 가진다. 따라서 유리질 점토는 청자유와 달리 그 자체만으로 형태 제작이 가능하고 그대로 소성할 수 있다는 가능성을 가진다.

연구자는 구체적인 실험 과정을 통해 개발한 청자색 유리질 점토의 특징을 잘 활용한 적합한 작품을 구상하였다. 유리질 점토는 혼합비 및 소성 방법에 따라 상이한 질감, 발색, 기공을 가지며, 소성 후 표면 가공 방식을 달리 함으로서 다양하고 풍부한 표현을 할 수 있다. 이러한 유리질 점토의 물성을 극대화하기 위하여 실린더, 각기둥, 다면체 등 기하학적이거나 구조적인 형태의 작품을 제작하였다. 또한 작품의 추상적인 형태는 중국 문화사에서 사용했던 옥의 형태와 질감에 영감을 받은 것이기도 하다. 물성과 형태를 현대적으로 재해석함을 통해 도자 역사를 기리고, 도자예술의 새롭고 다양한 표현의 가능성을 탐구하고자 했다.

3. 연구 범위 및 방법

유리질 점토의 성질은 화학적 조성, 소성 온도 및 소성 분위기에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 본 논문을 통해 개발하자고 하는 유리질 점토는 일례로서 1280℃에서 환원 분위기로 소성되어 청자유의 발색을 갖는다.

유리질 점토 개발은 연구자의 석사 논문에서 진행한 실험을 확장하는 방식으로 진행되었다. 석사 논문「청자유의 두께차를 이용한 농담 효과 연구」에서는 청자유의 유동성을 낮추면서도 발색과 투명도를 유지하여 청자유의 농담 효과를 극대화하고자 하였다. 위 논문에서는 기본 청자유에 규석, 알루미나, 용융 알루미나를 추가하는 세 가지 실험을 진행하였는데 이 중 규석과 용융 알루미나 첨가 실험을 통해 유의미한 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 실험은 주로 청자유약의 화학적 조성 중 규석 성분을 증가시키는 방향으로 심화되었다.

연구 진행 방법은 다음 네 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째, 국내외의 문헌 자료, 학위·학술 논문 등을 검토하고 점토와 유약의 특징을 관찰해 두 재료의 유리질 점토로의 전환 가능성에 대한 이론적 근거를 찾아보았다. 두 번째, 유리질 점토의 정의를 규정하고 유약과 유리의 비교 분석을 통해 유리질 점토가 갖는 특징을 구체적으로 제시하였다. 세 번째, 유약의 화학적 조성을 바탕으로 청자색 유리질 점토를 개발하는 구체적인 실험계획을 수립하였다. 네 번째, 실험결과물의 특징을 살려 3D 프린터를 활용해 제작한 내화틀을 사용한 작품 사례를 만들었다.

제 2장에서 연구자는 유리질 점토 개발 실험에 필요한 이론적 배경 자료를 찾아 정리하였다. 먼저 유리질 점토의 기본적인 정의를 위해 점토와 유리질의 정의, 특성, 종류를 정리했으며, 또한 유약과 유리의 성질을 비교해 유리질 점토의 특성을 정의하였다. 또 유리질 점토와 유사한 역사적 사례를 찾아 분석하였다. 이어서 조사한 청자유약의 전통적, 현대적 사례를 청자색 유리질 점토의 특성과 다시 비교하였다.

제 3장은 유리질 점토 개발을 위해 화학적 조성을 변화한 실험 내용이다. 연구자는 유리질 점토의 개발 실험을 위해 재료학적 관점에서 기본 유약의 조성 사례를 검토하였다. 거의 모든 유약의 조합에 규석을 추가하여 유리질 점토로 제작할 수 있으나, 본 논문에서는 청자 발색과 유리질화를 기준으로 하여 세 가지 유약을 선별하였고 규석 성분 추가 실험을 진행하였다.

첫째, 제겔식을 활용한 규석 성분 증가 실험, 둘째, 장석을 주성분으로 하는 유약의 규석 성분 증가 실험, 셋째, 송 관요 청자유약을 기반으로 규석 성분을 증가하는 실험, 이상 세 가지의 실험을 진행하였다. 실험 진행을 위해 유리질 점토의 물리적 성질에 적합한 시편의 크기와 형태를 정하고, 정해진 동일한 규격으로 반복적 생산이 용이하도록 석고를 활용하여 맞춤틀을 제작하였다.

그리고 유리질 점토의 다양한 발색과 질감을 얻기 위해 1차 실험 결과를 토대로 선택한 청자색 유리질 점토에 융제를 대치하는 실험, 발색제 조

합 및 증감 실험, 기포 증가 실험 등 세 가지의 부가 실험을 진행하였다. 다양한 융제 대치 실험을 통해 유리질 점토의 발색과 질감의 변화를 관찰했고 이에 융제가 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 다양한 발색제의 조합 및 증감 실험을 통해 전형적인 발색과 더욱 개선된 발색의 가능성을 검토하였다. 기포 증가 실험으로 기포가 만들어 내는 독특한 질감을 확인했고 이를 적극적으로 활용해 청자색 유리질 점토의 더욱 많은 활용 가능성을 찾아내고자 하였다.

제 4장에서는 개발한 다양한 유리질 점토를 활용해 제작한 여러 작품 사례를 나열하였다. 유리질 점토의 유동성 정도에 따라 두 가지의 실험 결과를 채택해 작품을 제작하였다. 형태의 제작과정에서 유리질 점토의 부족한 가소성은 내화재로 제작한 맞춤 틀을 사용하게 된 결정적 계기가 되었다. 틀을 활용하는 제작방식은 연구자가 봉착한 소성 과정에서 발생할 수 있는 형태 변형의 문제를 어느 정도 해결했으며 나아가 틀을 활용해 제작하는 방식은 이에 적합한 형태를 구성하는 노력을 기울이는 계기가 되었다.

제 5장에서 연구자는 연구를 통해 얻은 실험 결과와 작품 제작 사례를 통해 유리질 점토 개발 실험을 요약하고 본 연구에 대한 성과를 열거하였다. 또한, 유리질 점토의 한계를 구체적으로 분석하고 이를 보완한 향후 유리질 점토 개발 계획을 제시하였다.

4. 선행 연구

유리질 점토는 본래의 점토와 유리질의 화학적 특성을 파악하고 점토의 유리질화를 변화시킨 결과로 새롭게 개발한 재료이다. 따라서 유리질 점토라는 주제와 직접적으로 관련된 자료를 찾는 데에 한계가 있었다. 일반적으로 점토와 관련해서는 다분화되어 점토의 가소성, 내화성, 다공성, 용도 등과 같은 주제로 많은 연구가 진행된 것을 파악할 수 있었다. 2016년 김은경은 고가소성과 고강도 백자 소지를 연구하였고[1], 2010년 정인석은 모

세관 현상을 이용한 다공성 도자소지 개발을 연구하였으며[2], 2009년 김용성은 도자소지(陶瓷素地)실험에 의한 조립식 토벽(土壁)의 건축재료적(建築材料的) 활용에 관한 연구를 발표하였다.[3] 기존의 연구들은 앞서 언급한 점토의 가소성, 내화성, 다공성, 용도 등과 같은 주제의 연구이다.

점토의 작용과 특성, 즉 가소성, 내화성, 다공성 등은 모두 부분적으로 유리질화와 연관되어 있다. 하지만 유리질화를 주요 문제로 작업에 적용하고 진행한 연구는 드물었는데, 연구자는 그 원인을 기존의 점토가 가진 화학적 조성의 특징 때문으로 추측한다.

유리와 거의 유사한 성분으로 가공된 점토는 유리질화가 높고, 높을수록 소성 시 고온에서 쉽게 형태가 변형된다. 그리고 가소성이 부족해서 현실적으로 형태 제작이 어렵다. 따라서 대부분의 연구에서 대상과 범위를 설정하는 데 있어 충분한 가소성을 가진 점토나 형태가 변형되지 않는 소성온도를 고려해 연구계획을 수립하고 재료학 및 조형적 접근을 한 것으로 보인다. 따라서 유리질 점토연구에 대한 직접적인 선행연구는 참고할만한 것이 다양하지 않았다.

그나마 잘 알려진 점토 중 유리질화가 가장 높은 사례로 덕화백자가 있는데, 덕화백자에 관한 연구는 대부분이 그 역사, 전통이나 지역 비교에 관한 연구로 한정되어 있고, 재료학적으로 확대될 수 있는 연구는 전무하다시피 하였다. 2008년 중국 청화대학교의 김석교는 한국 광주 백자와 중국 덕화백자를 비교하는 연구를 하였고[4], 최근 2020년에『조형디자인연구』학술지에 발표된 중국 광저우미술학원 김생화 교수의 중국 덕화 도자 연구는 전통 도자 산지의 현대화 과정을 중심으로 한 연구였다.[5] 본 연구와 완전히 부합되진 않으나 유리질화가 높은 점토에 대한 연구 사례로 2015년 중

---

1) 김은경,「고가소성과 고강도 백자 소지를 연구」, 단국대학교 박사학위논문, (2016).
2) 정인석,「모세관 현상을 이용한 다공성 도자소지 개발 연구」, 단국대학교 박사학위논문, (2010).
3) 김용성,「도자소지(陶瓷素地)실험에 의한 조립식토벽(土壁)의 건축재료적(建築材料的)활용에 관한 연구」, 단국대학교 박사학위논문, (2009).
4) 金硕圭，「韩国广州白瓷和中国德化白瓷之间的比较」，清华大学硕士学位论文，(2008).
5) 김생화, 「중국 덕화(德化)도자 연구」,조형디자인연구, (2020). pp.11~29.

국 경덕진도자대학교의 이건이 발표한 고규소질 자기 제조 및 연구가 있다. 이 연구에서는 단일인자 실험법을 통해 적절한 장석 첨가량과 규석 입자를 선택하고 적당량의 첨가제를 도입하여 소성온도가 성능에 미치는 영향을 연구하였다. 그에 따라 소성온도가 높고 기계적 강도가 높으며 외관이 아름다운 고규소질 도자기를 제조하였으며, 기술지표는 흡수율 0.5% 미만, 소성수축률 13.13%~ 13.36%, 백색도 78.7%~83.4%, 소성온도 범위는 1290~1330℃이다.[6] 이 논문에서 개발된 고규소 도자기용 소지는 연구자가 개발할 유리질 점토와 소성 수축률, 소성온도, 유리질화된 정도 등이 다르며, 특히 결과물에서는 발색의 차이가 가장 크다.

유리질 점토와 가장 유사한 역사적 사례는 저화도로 소성된 이집트 페이스트(Egyptian Paste)가 대표적이다. 이집트 페이스트는 고대 이집트에서 사용된 재료 또는 기법을 일컫는 용어로써 점토함량이 매우 낮으면서도 자체 광택이 나는 것이 특징이다. 알칼리와 규석 성분이 풍부한 사막의 점토에 소다회, 탄산나트륨, 탄산칼륨, 탄산리튬 등 혼합된 반죽이 소성 중에 녹아서 표면에 광택이 생성되고 유리질 구조를 형성한다.[7] 재료 자체가 형태를 이루고 유약처럼 광택이 난다는 점에서 본 연구자의 유리질 점토 개발에 중요한 참고가 되었다. 이집트 페이스트는 유리질 점토 연구에 있어서 소성 범위, 재료, 발색 방법 등이 상이하면서도 한편으로 가장 유사한 사례이기도 하다.

또 다른 역사적 사례로서 고대유리(琉璃)에 관한 자료를 검토하였다. 고대유리는 주로 반투명 유리질 재료로, 제철기술과 함께 철기시대에 처음 등장하였다.[8] 시기와 지역에 따라 발전을 달리하다가 고대 동서 문명 교류를 통해 서양의 유리 개념이 도입된 후 중국 고대유리라는 명칭으로 불리게 되었다. 서양의 유리는 주원료가 나트륨, 칼슘이었으나 동양의 고대유리

---

6) 李建,「高硅质的制备玉研究」,景德镇陶瓷大学, 材料科学与工程学院硕士学位论文, (2020). p.45.

7) Robin Hopper, 『Pottery Making Illustrated』. 'Egyptian Paste', Ceramic Publication Company, (2010:07-08), 페이지없음.

8) 김주홍,「古代琉璃玉製作技術研究」, 목포대학교 대학원 고고인류학과 고고학전공 석사논문, (2007), p.66.

에는 납과 바륨이 들어있었다. 중국의 고대유리는 납, 바륨, 규산염, 칼륨, 규산염 계열에서 고납 규산염 계열, 칼륨칼슘 규산염 계열, 나트륨칼슘 규산염 계열로 이어지며 구성 성분이 보완됨에 따라 고온 소성이 가능해지면서 유리질의 투명도와 광택이 개선되었다. 주로 작은 장식품 형태 혹은 그릇으로 제작되었는데 특히 유리 제작기술 중 거푸집 사용을 통해 고대유리옥이 대량 생산되었다.[9] 고대유리의 성분과 제작 기술, 불완전한 재료는 다양성에 많은 영향을 주었다.

기존 도자 분야의 연구나 작업은 보편적인 점토의 기능, 공정, 형태에 관한 연구가 대다수이다. 도자 제작 과정 중 규석 성분의 과포화 현상에 착안하여 진행된 점토의 유리질화에 관한 연구는 아직 다양하게 진행되지 않았음을 선행연구 조사를 통해 확인할 수 있었다. 유리질화에 관해서는 이집트 페이스트나 고대유리와 같은 유사한 역사적인 사례가 그나마 참고가 되었다. 이를 바탕으로 규석 성분의 과포화를 활용한 점토의 유리질화 현상을 시발점으로 유리질 점토 개발에 관한 연구를 해 보고자 하였다.

9) 위의 논문, (2007), p.35.

제 2 장 유리질 점토

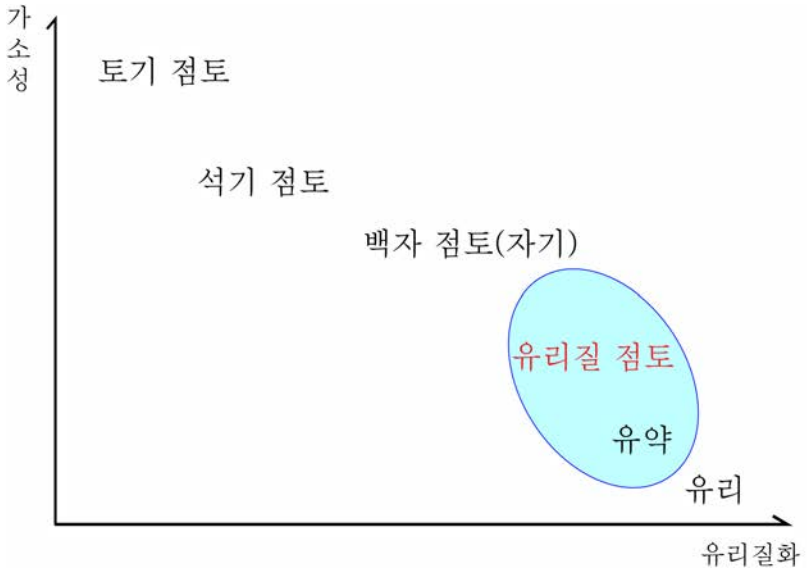
1. 유리질 점토

1-1. 유리질 점토의 정의

본 논문에서 유리질 점토는 **'낮은 가소성과 넓은 용융범위를 가진 유리질화를 위한 재료'**를 말한다. 재료의 유리질화 정도는 화학구조와 그에 따른 용융온도에 가장 크게 영향을 받는다. 점토와 유약은 기본적으로 유사한 화학 구성을 가진다. 두 가지의 차이는 일반적으로 SiO_2, Al_2O_3, 융제의 구성비에 따라 발생한다. 본 논문에서 본 논문에서 연구자는 유리질화 재료 중 점토처럼 형태적 성형가능성을 가진 특정 범위의 재료를 유리질 점토라고 칭하고자 한다. 동시에 점토는 유리질화의 정도가 높아질수록 높은 발색도를 보인다. 점토가 용융되어 형성된 유리질은 유약의 기능을 가지기도 한다.

토기로 시작한 도자 재료는 도자 기술의 발전으로 점차 유리질화가 높은 재료로 발달하였다. 특히 자기의 생산과 함께 점토의 유리질화가 극대화되었다. 연구자가 개발한 유리질 점토는 고정된 성질을 가지는 재료라기보다 가소성과 유리질화 정도에 따라 특정한 용융범위를 가지는 재료로 정의될 수 있다. 유리질 점토는 점토 중 유리질화 정도가 가장 높은 자기 점토보다 더 유리질화가 진행된 상태로, 유약의 범위까지 포함한다. 도자 재료 내에서 유리질 점토의 범위는 [표 1]과 같다.

[표 1] 유리질 점토의 범위



유리질 점토는 일반적인 점토와 유사한 화학 성분을 가지지만 주성분에 큰 차이가 있다. 유리질 점토의 화학 조성 구조는 일반 점토와 마찬가지로 SiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, TiO_2, MnO, P_2O_3 및 기타 화학 성분으로 구성된다. 유리질 점토는 일반적으로 유약이나 점토보다 SiO_2가 65%~75% 더 많이 함유되어 있다. 이러한 종류의 유리질 점토는 '고알칼리 알루미늄 규산염 유리' 또는 '나트륨 칼슘 규소 유리'로 분류될 수 있다. 특히 SiO_2 성분의 주원료인 규석은 비가소성 재료이기 때문에 일반적으로 SiO_2 성분이 증가하면 일반 점토보다 가소성이 떨어진다는 특징이 있다. 따라서 유리질 점토가 가진 낮은 가소성에 들어맞는 제작방법이 요구된다.

유리질 점토는 연화 시작부터 완전한 용융까지 용융범위가 넓다. 유리질 점토는 유약 또는 유리와 마찬가지로 고정된 융점이 없으며 일정한 온도 범위 내에서 점차 녹기 시작한다. 유리질 점토의 용융범위에서 유리질화 된 정도와 유동성은 비례관계이다. 유리질화 된 정도가 높을수록 유동성이 커진다. 유리질 점토의 용융범위는 유약에서 마찬가지로 Al_2O_3, SiO_2, 알칼리성 금속산화물의 비율 및 종류에 따라 달라질 수 있다. 그 중 융제와

SiO_2의 비율이 용융범위 및 유동성에 가장 큰 영향을 미치며 그에 따라 소성 후 형태가 결정된다고 볼 수 있다.

유리질 점토가 용융되어 형성된 유리질은 유약이 용융되어 형성된 유리질과 유사하게 발색도가 높다. 그러나 유리질 점토의 유리질은 소량의 기포를 내포하고 잉여규석과 새로 생성된 결정상을 포함한다. 특히, 잉여규석 입자가 용융하지 못한 분말로서 형태를 유지하는 데 큰 역할을 한다는 것이 유리질 점토의 가장 큰 특징이다. 규석 성분의 과포화는 완전히 유리질화 되기 직전의 상태를 만든다. 규석 성분의 과포화 정도에 따라 유리질 점토는 다양한 발색과 질감을 보인다. 또한, 완전히 유리질화 된 물질, 예를 들어 유리와 유약보다는 흡수율이 다소 높을 수 있다.

1-2. 유리질의 정의 및 종류

일반적으로 유리질 또는 유리는 무정형 비결정질(非結晶質) 상태의 고체(固體)를 칭한다. 비결정질 상태란 물질을 구성하는 원자의 배열이 장거리 규칙도를 결여한 무정형의 상태를 뜻한다.[10] 다만 비결정질의 원자 혹은 분자 배열이 완전히 무질서한 상태는 아니고 짧은 구간에서 질서가 있다.[11] 비결정질 물체는 내부에 격자 구조를 갖추지 않기 때문에 일정한 녹는점을 가지지 않고, 온도가 높아지면 점차 연화되어 유체(流體)로 변하며 불안정한 특징이 있다.[12]

---

10) 윤창주, 『화학용어사전』, 화학용어사진편찬회 (일진사, 2011), p.530. '유리질' 항목, 유리질은"물질을 용융 상태에서 급속히 냉각하면 결정화하지 않고 원자의 배열에 장거리 규칙도가 없는 무정형 고체로 되는 경우가 많다. 이러한 고체를 유리질 또는 유리라고 한다."

11) 지질학백과, 대한지질학회, '비결정질의 원자 구조' 항목, (검색일 2022.11.11). https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5960905&cid=61234&categoryId=61234

12) 马永立，『地理学词典』, (上海, 上海辞书出版社,1983), '非晶质'目录. "비경정질(非結晶質)은 일정한 녹은 점이 없고 열을 받으면 점차 연화되어 유체(流體)로 변한다. 비정질 물체의 내부는 격자 구조를 갖추지 않고 자발적으로 기하 다면체로 성장할 수 없이 무정형체(無定型體)라고 부른다. 결정질에 비해 비정질은 불안정하고 결정질로 바뀌는 자발적인 경향이 있다."

유리는 비결정질 구조를 가지지만 비결정질 고체가 모두 유리에 속하는 것은 아니다. 비결정질 고체 중에서 유리 전이(glass transition) 현상을 보이는 경우만을 유리라고 지칭한다.[13)]

유리질은 여러 무기 광물을 주원료로 하는 혼합물로 불규칙한 구조의 비정질 상태이며, 고정된 융점 및 형상이 없이 고온에서는 연화되어 액체 상태가 되고 저온에서는 결정화되지 않고 점성이 증가하며 단단해져서 유리 상태[14)]가 유지되는 비정질 고체이다. 유리질의 용융과 응고는 계속 바뀔 수 있다. 유리전이온도를 기점으로 상태가 고체-액체로 계속 변형된다. 전이 시에 체적, 열용량, 열팽창률, 탄성률 등이 급격하게 변화한다.[15)] 즉, 유리질은 물리적 상태라기보다 화학적 구조라고 할 수 있다.

원칙적으로는 어떤 재료라도 비정질 상태로 만들 수 있다. 그중 비결정질 고체를 쉽게 생성할 수 있는 재료는 '강한 공통의 결합 결정 또는 비대칭성을 갖는 선상 분자로 이루어진 결정'이다. 세라믹 소재, 고분자 소재는 비정질 형성이 용이하다고 볼 수 있다.[16)] 자연적으로 생성된 비정질 고체로는 화산 용암류(熔岩流)가 빠르게 응축되어 만들어진 흑요암(黑曜岩), 진주암(珍珠岩), 갈렴석(褐廉石) 등을 예로 들 수 있다.[17)]

---

13) 지질학백과, 대한지질학회, '유리와 비결정질' 항목, 검색일 2022.11.11, 재인용. https://terms.naver.com/entry.naver?docld=5960905&cid=61234&categoryld=61234

14) 윤창주,『화학용어사전』, 화학용어사진편찬회, (일진사, 2011), '유리질' 항목, p.530. 유리 상태란 "보통 유리는 무기 물질의 용융체를 급랭하여 결정화하지 않고 과냉각한 재료의 명칭이다. 이에 대하여 성분에 상관없이 액체, 액정, 결정, 겔 등의 급랭법으로 얻어지는 열역학적 비평형에 있는 고체는 널리 유리상태에 있다고 한다."

15) 윤창주,『화학용어사전』,화학화학용어사진편찬회, (일진사, 2011), 검색일 2022.11.11. https://terms.naver.com/entry.naver?docld=1586440&cid=50313&categoryld=50313

16) 吴月华 杨桀,『材料的机构与性能』, (北京, 中国科学技术大学出版社, 2001). "원칙적으로 어떤 재료라도 비정질 상태로 만들 수 있으며, 금속 및 순이온(純離子) 결합정은 차갑지 않은 방법으로 비정질 상태를 얻을 수 없으며, 얻어진 후에도 고온에서 불안정하다. 비정질을 얻기 쉬운 재료는 강한 공통의 결합 결정 또는 비대칭성을 갖는 선상 분자로 이루어진 결정이다. 따라서 세라믹 소재, 고분자 소재는 비정질 형성이 용이하다."

17) 『地质大词典2 矿物，岩石，地球化学分册』, (北京, 地质出版社, 2005) '非晶质'目录. '비정질'목록. "유리질은 비정질(非晶質/Amorphous Substance)이라고도 한다. 물질을 구성하는 원자나 이온이 일정하게 배열되지 않아 격자 구조가 없는 고형물질, 예를 들어 지질

유리질을 형성하는 주요 산화물은 주로 산화규소, 산화알루미늄, 산화나트륨, 산화칼륨, 산화붕소, 산화칼슘, 산화마그네슘이며 주요 보조 산화물은 산화티타늄, 산화바륨, 산화리튬, 산화아연과 산화란탄[표 2][18]이다.

[표 2] 유리질 재료를 형성하는 주요 산화물 및 보조 산화물의 종류와 화학식

산화물	화학 성분	보조 산화물	화학 성분
산화규소	SiO_2	산화티타늄	TiO_2
산화알루미늄	Al_2O_3	산화바륨	BaO
산화나트륨	Na_2O	산화리튬	Li_2O
산화칼륨	K_2O	산화아연	ZnO
산화붕소	B_2O_3	산화란탄	La_2O_3
산화칼슘	CaO		
산화마그네슘	MgO		

상기 산화물과 보조 산화물의 서로 다른 조합과 배합으로 형성된 유리질은 크게 '나트륨-칼슘-규소 유리질', '붕소-규산염 유리질', '알루미늄-규산염 유리질', '고규소 유리질'과 '고굴절률 유리질'등으로 분류할 수 있다[표 3][19]. 같은 무기 규산염 소재인 유리질은 화학적 조성이나 특성에 따라 그 특징이 다르다는 것[표 3]을 통해 알 수 있다.

작용 중에 화산 용암류(熔岩流)가 빠르게 응축돼 만들어진 흑요암(黑曜岩), 진주암(珍珠岩), 방사성 원소 탈바꿈의 영향으로 품격이 훼손된 일부 갈렴석(褐廉石) 등은 비정질이다."

18) 彭寿，『球形玻璃质材料』，(北京，高等教育出版社，2015), p.12.

19) 위의 책, pp.8-11.

[표 3] 유리질 재료의 종류 및 화학 성분	
유리질 종류	주요 성분
나트륨-칼슘-규소 유리질 (鈉鈣硅玻璃質)	· 이산화규소, 산화칼슘, 산화나트륨을 주성분 · 대략 SiO_2 70%, CaO_2 10%, Na_2O 15%
붕소-규산염 유리질 (硼硅酸鹽玻璃質)	· 산화규소, 산화붕소를 주성분으로 함 · 일반적으로 B_2O_3의 함량을 >8%로 규정함
붕소-규산염판 유리질 (硼硅酸鹽平板玻璃質)	· 알칼리 함유 · 붕소 규산염 유리질 재료와 무알칼리 붕소규산염 유리질재료를 나눌 수 있음
붕소-규산염-미결정 유리질 (硼硅酸鹽微晶玻璃質)	· 미결정유리는 일정한 기초유리 배합에 적당한 결정핵제(晶核劑)를 첨가하여 유리에서 석정을 유도하여 만든 것으로 · 미결정유리에는 다량의 미결정체와 잔유리가 포함되어 있음
붕소-규산염-포말 유리질 (硼硅酸鹽泡沫玻璃質)	· 내부에 무수히 미세하고 균일하며, 기공을 연결하거나 폐쇄하는 유리 재료가 가득 차 있으며, 균일한 기상(氣相) 및 고상(固相) 체계임 · 기공은 전체 면적의 80%~95%를 차지함 · 기공 크기는 0.5~5mm · 붕소 규산염유리를 기본으로 발포제를 첨가해 소성했음
알루미늄-규산염 유리질 (鋁硅酸鹽玻璃質)	· 산화규소, 산화알루미늄을 주성분 · 조성 중 알루미늄 함유량은≥6%가 필요함
고염-알루미늄-규산염 유리질 (高鹼鋁硅酸鹽玻璃質)	· 보통은 Al_2O_3≥6%, R_2O≥11%. · 일반적으로 $SiO_2$60~65%, $Al_2O_3$10%~17%, R_2O 11~18%, RO 1~5%
무염-알루미늄-규산염 유리질 (無鹼鋁硅酸鹽玻璃質)	· 알칼리 금속산화물을 함유하지 않은 알루미늄 규산염 RO-Al_2O_3-SiO_2 · 이 중 RO은 MgO, CaO, BaO, ZnO등 이가(二價) 금속산화물을 의미함
고규소 유리질 (高硅氧玻璃質)	· SiO_2 함량이 96%이상 · 일반은 SiO_2 95%~98%, B_2O_3 2.5%~3.5%, Na_2O 0.3%~0.6%

일반 고규소 유리 (普通高硅氧玻璃)	· 우수한 열 안정성, 화학 안정성 및 절연성
다공성 고규소 산소유리 (多孔高硅氧玻璃)	· 고규소 산소유리를 만드는 중간 생성물로 · 일반적으로 다공성 고규소 산소유리는 직경 30mm정도의 고규소 산소 소구가 촘촘히 쌓여 만들어진 것으로 볼 수 있음
고규소 유리섬유 (高硅氧玻璃纖維)	· Na_2O-B_2O_3-SiO_2 삼원계 유리질 재료
고굴절률 유리질 (高折射率玻璃質)	· 굴절률이 1.9보다 큼 · 기본 유리 체계는 주로 PbO-Na_2O-SiO_2, TiO_2-Bi_2O_3,TiO_2-BaO-B_2O_3,TiO_2-BaO-SiO_2, TiO_2-BaO-ZnO-ZrO_2, TiO_2-PbO-B_2O_3-Al_2O_3임

규산염 복염(復鹽)[20] 성분의 유리는 유리 형태의 무정형체로 세라믹 재료 중 한 부분(유리질)이다.[21] 또한, 유리질의 특성을 가장 잘 나타내는 물질이다. 이것은 불규칙 구조의 비정질 고체이며 주요 성분은 SiO_2와 기타 산화물이다. 그중에서도 SiO_2는 주로 유리질이 형성되는 근원이다. 고정된 녹는점이 없고 열을 받으면 점차 연화되어 유체가 되고, 일정 온도로 낮아지면 고체를 형성한다. 유리의 구조는 다른 비정질과 같이 넓은 범위의 평평한 대칭성이 없다. 그러나 화학 결합의 특성상 유리는 작은 범위의 질서성을 가지며 국부 원자는 다면체를 형성한다.[22]

규산염 복합물 성분의 유약은 일반적으로 유리질로 알려졌지만, 유리처럼 균상 물질이 아닌 소량의 가스를 함유하고 있으며 잉여규석과 새로 생성된 뮬라이트, 칼슘장석 등의 결정도 있다. 유리와 유사한 물리 화학적 성질을 가진 유약도 고규소인 유리질 물질로 고정된 녹는점이 없이 고체 상태에서 액체 상태 또는 그 반대로 변화한다. 유약의 화학적 조성과 광물의

20) 두가지 이상의 염류가 결합하여 한 개의 결정을 이룬 규산염.
21) 李言融 恽正中，『电子材料导论』，(清华大学出版社，2001), p.249.
22) P.S.Salmom.「Order whithin disorder」, Nature Materials. (2002), 1(2) : 87-8. PMID 12618817.

조성에 따라 유약이 용융되어 형성된 유리질에 포함된 기포, 잉여규석, 결정의 상이 다양하다.

유리질 물질이 용융 상태에서 고체 상태로 가는 과정은 점진적이고 물리 화학적 성질도 점진적으로 변화한다. 그 변화 과정은 일반적으로 넓은 온도 범위에서 이루어지며, 온도가 높아질수록 연화되고 온도가 점차 낮아질수록 유리질 용융체의 점도가 점점 커진다. 따라서 유리질의 화학적 조성 성분에 따라 용융온도가 달라지고 그 성질과 질감도 다양해진다.

이 연구에서 다룬 유리질 점토가 갖는 유리질화는 단순히 "유리 또는 유약과 같은 유리질화" 만을 의미하지 않는다. 유리나 유약과는 달리 유리질 점토는 규석 성분의 과포화 현상을 활용해서 용융 시 재료의 점성을 통제할 수 있다는 점, 지나친 과포화가 일어나도 석기 점토보다 시각, 촉각적으로 부드럽고 매끈한 효과를 낸다는 점, 또한 흡수율로 유리질화를 어느 정도 측정할 수 있다는 점, 그리고 무엇보다 발색에 있어서 청자유약과 같이 규석 성분이 풍부한 유약 종류들이 가지는 발색력을 가졌다는 점에서 차이가 있다.

1-3. 점토의 정의 및 종류

점토는 현대 도자는 물론 도자기 일반의 창작과 생산에 없어서는 안 될 주요 원료 중 하나이다. 점토는 도자 분야에서 도자기와 내화물의 주요 원료이며[23] 무기재료의 가소성 부문의 대표적인 원료로 사용된다.[24] 가소성, 내화성 등 그 특유의 물리 화학적 성질 덕분에 다양한 크기와 형태의 기물 제작이 가능하다. 특히 점토의 가소성은 성형을 위한 전제조건이다.

---

23) 윤창주,『화학용어 사전』, 화학용어사진편찬회, (일진사, 2011), '점토' 항목, p.619. 점토는 " 천연에 존재하는 미세한 함수 규산염(硅酸鹽) 광물의 집합체로 분말로 하며 물을 가하면 가소성이 생기고, 건조하면 강성(剛性)을 띤다. 고온에서 소성하면 강철처럼 견고하지는 것을 말한다. 도자기와 내화물의 주요 원료가 된다."

24) 李種根, 白龍赫, 金種玉, 李珍性, 李秉復 共著, 『無幾材料工業概論』, (半島出版社 1994), p.24.

지리적 특징에 따라 다양한 광물원료를 함유한 천연점토부터 목적에 따라 인위적으로 제작된 합성점토까지, 그 화학적 조성, 공정 특성, 물리화학적 성질 등에 따라 점토의 종류는 다양하다.

연구자는 먼저 점토의 기본적 정의와 화학 조성, 점토의 생성원인, 기본 화학식, 용도, 유리질화 등의 다양한 측면에서 점토를 분류하고 정리함으로써 유리질 점토의 연구개발에 필요한 이론적 기반을 마련하고자 한다.

점토는 장석 등 알루미늄 규산염 광물이 풍부한 암석으로 다양한 미립 광물 입자의 집합체이다. 운모 및 규석으로 구성된 화강암이나 화성암이 열수작용(熱水作用) 또는 풍화작용(風化作用)을 거치면서 자연적으로 생성되기도 한다.[25]

점토의 입자는 대략 0.01~0.0001mm 이하 크기이고 구성은 토양, 지질 등에 따라 다르며 일반적으로 무기질과 유기질 입자가 혼합되어 있다.[26]

점토의 성분과 제작기법에 따른 차이가 있지만, 일반적인 도자 제작과정에서 도예가는 점토의 세 가지 상태를 모두 경험하게 된다. 점토는 환경에 따라 성질이 변하는데 미립의 토상(土狀)에 습기를 가하면 가소성이 생기고, 건조하면 강성(剛性)을 띠며, 고온에서 구우면 소결한다.[27]

---

25) 위의 책, p.24. “무기재료의 가소성부문의 대표적인 원료인 점토는, 운모 및 규석으로 구성되어 있는 화강암을 비롯하여 여타 화성암이 열수작용(熱水作用) 또는 풍화작용(風化作用)을 받아서 생성된 비교적 복잡한 광물인데, 그 특성을 보면 천연산의 미세한 입자(粒子)의 집합체이고, 습(濕)하면 가소성(可塑性)을 나타내고, 마르면 강성을 나타내고, 충분한 고온에서 구우면 소결(燒結)한다.”

26) 李尚勳, 『粘土鑛物의 合成 및 技能化 技術』, 大韓鑛業振興公社 技術研究所, (세라미스트, 1999), pp.70-81. “일본 점토학회 회장인 나가사와 요시노스케(長澤 敬之助)의 말을 인용하여 위에서 제시한 점토의 여러 가지 정의를 종합하여 논술하자면, “점토란, 미립의 토상(土狀) 자연물로서 물에 젖은 상태에서 가소성이 있는 것”이라고 정의하고 있다. 미립의 범위는 각국의 토양, 지질 등의 차이에 따라 다르지만, 대략 0.01~0.0001mm 이하를 의미하고, 미분체의 물질에 대한 특별한 규정은 없다. 그러나, 토상이라는 표현으로부터 추정해 보면, 당연히 무기질(無機質)과 유기질(無幾質/腐植物)을 포함하고 있는 것을 의미하는 것이다.”

27) 윤창주, 화학용어사진편찬회, 『화학용어 사전』, (일진사, 2011), ‘점토’ 항목. 2011, p.619. 점토는 “천연에 존재하는 미세한 함수 규산염(硅酸鹽) 광물의 집합체로, 분말 상

점토 광물의 성분은 고령석(高嶺石), 다수고령석(多水高嶺石), 몽탈석(蒙脱石), 수운모(水雲母) 등이며 동반 광물로는 규석, 장석, 방해석(方解石), 적철석(赤鐵石), 갈철광(褐鐵礦) 등이 있고 유기물질도 들어 있다.[28] 보통 점토의 화학적 구성은 지표(地表)의 일반적 구성과 매우 흡사하다. 지표와 일반 점토, 그리고 고령토의 대표적인 성분 비율이 [표 4][29]에 있다. 지표, 일반 점토, 고령토의 화학 성분 및 함량표의 비교를 통해 점토의 기본 화학 구성을 알 수 있지만, 점토는 소속 모암의 성분에 따라 구조가 다르고 화학 구성 성분도 다양하다. [표 4]의 데이터를 비교해 보면 점토는 대부분 산화알루미늄과 규석을 주성분으로 하면서 다른 산화물이 섞여 있는 일종의 알루미늄 규산염 광물 혼합체임을 알 수 있다. 주요 화학 성분은 SiO_2, Al_2O_3과 H_2O이며 소량의 Fe_2O_3, FeO, TiO_2, MnO, CaO, MgO, K_2O, Na_2O 등이 있다.

[표 4] 지표, 일반 점토와 고령토의 화학 성분 및 함량

화학성분	지표 함량(%)	일반 점토 함량(%)	고령토 함량(%)
SiO_2	59.14	57.02	46.18
Al_2O_3	15.34	19.15	38.38
Fe_2O_3+FeO	6.88	6.70	0.57
CaO	5.08	3.08	0.00
Na_2O	3.84	4.26	1.22
MgO	3.49	2.38	0.42
K_2O	3.13	2.03	0.00
H_2O	1.15	3.45	13.28
TiO_2	1.05	0.91	0.00

태에서 물을 가하면 가소성이 생기고, 건조하면 강성(剛性)을 띤다. 고온에서 소성하면 강철처럼 견고하지는 것을 말한다. 도자기와 내화물의 주요 원료가 된다.”

28) 李家驹 主编，『陶瓷工艺学』, (北京：中国轻工业出版社 2010), p.14.

29) Daniel Rhodes, 『Clay and Glazes for the Potter(도예가를 위한 점토와 유약)』, 이부연/배미정/송연옥/김동원/조준희/김두식/김진동 공역, (한양대학교 출판부, 2016), p.25.

점토는 여러 광물들의 혼합으로 구성되며, 일정 온도에서 점차 연화된다. 계속 열을 가하면 점토 중에 용융물이 녹기 시작한다. 일반적인 점토의 소결 온도를 넘어 계속 가열되면 최종 유리 상태의 물질로 용융될 수 있다. 점토는 화학 성분 중 용융 물질을 만들어 주는 융제의 함량이 고령토보다 높다. 반면 내화 성분인 Al_2O_3의 함량이 고령토보다 낮아 내화도가 고령토보다 낮으나 유리질 성분이 높다.

점토의 종류는 다양한데 지역의 지질학, 암석학적 조건에 따라 다르게 형성되기 때문이다. 점토는 형성원인, 화학적 조성, 가소성, 내화도, 용도, 유리질화 정도 등으로 분류 및 정리된다.

점토는 크게 잔류 점토와 퇴적 점토의 2종류[표 5][30]로 분류할 수 있다. 잔류 점토질은 순수한 편이지만 가소성이 떨어져서 성형이 어려우므로 단독으로 사용하는 일이 적다. 퇴적 점토는 가소성은 높지만 일반적으로 내화도가 떨어지며 철과 같은 금속산화물이 불순물형태로 많이 섞여 소성 후 색상이 짙은 편이다.

[표 5] 점토 형성원인에 의한 점토 분류표

종류	형성원인	특징
잔류 점토 (일차 점토)	· 모암이 제자리에서 풍화된 점토	· 재질이 순수함 · 입자가 굵음 · 내화도가 높음 · 가소성이 떨어짐
퇴적 점토 (이차 점토)	· 빗물, 하천의 씻김과 흘러내림 등, 풍화작용을 거쳐 분지나 물의 흐름이 느린 호수, 늪지로 옮겨와 퇴적된 점토	· 재질이 복잡함 · 입자가 가늚 · 내화도가 떨어짐 · 가소성이 좋음 · 색을 띤 불순물이 자주 혼입됨

30) 李家驹 主编，『陶瓷工艺学』，(北京：中国轻工业出版社 2010), p.16.

점토는 단일 광물이 아닌 다양한 미세 광물의 혼합체로 '점토 광물'로 통칭되는 알루미늄 규산염이 주요 성분인 광물이다. 이를 화학식으로 표기하면 '$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$'로 점토에서 한 분자의 알루미나($Al_2O_3$)는 두 분자의 규석($SiO_2$), 두 분자의 물($H_2O$)과 결합한다. 이 화학식은 기본적인 항목으로 복잡한 혼합물은 고려하지 않은 것이다. 이러한 순수 점토를 광물학적으로 카올리나이트라고 부른다.[31] 점토는 암석이나 다른 광물이 분해되어 생성된 것이므로 이러한 순수 점토 외에도 많은 종류의 혼합물을 함유하고 있다. 표에 나타난 점토 광물만 보더라도 점토를 구성하고 있는 광물의 종류에 따라서 점토의 특성, 용도가 달라짐을 수 있다.[32] 점토는 광물의 이름과 화학식 구조에 따라 크게 다음과 같이 분류할 수 있다[표 6][33].

[표 6] 점토 광물의 화학식과 화학 조성

광물명칭		화학식	화학 조성(무게 %)				
Kaolin		$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	SiO_2	Al_2O_3	H_2O	K_2O	MgO
Kaolin Mineral	Kaolinite	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	46.54	39.50	13.96	0.00	0.00
	Nacrite	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	46.54	39.50	13.96	0.00	0.00
	Dickite	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	46.54	39.50	13.96	0.00	0.00
	Meta Halloysite	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H2O$	46.54	39.50	13.96	0.00	0.00
	Hydrated Halloysite	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$	40.80	34.70	24.50	0.00	0.00
Montmorillonite		$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 6H2O$	53.40	22.60	24.00	0.00	0.00

31) 위의 책, p.26.
32) 李鍾根, 『無幾材料原料工學』, (半島出版社, 1985), p.61.
33) 李尚勳, 「粘土鑛物의 合成 및 技能化 技術」, 大韓鑛業振興公社 技術研究所, (세라미스트, 1999), pp.70-81.

Pyrophyllite	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H2O$	66.70	28.30	5.00	0.00	0.00
Sericite(Mica)	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$	45.20	38.50	4.50	11.80	0.00
Talc	$3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H2O$	63.40	0.00	4.70	0.00	31.90

점토의 가소성은 점토의 중요한 물리적 성질로서, 각종 세라믹 제품 성형의 기초가 된다. 점토의 화학 조성 중 무기질은 어느 정도 가소성에 영향을 미치지만, 점토에 유기물이 일정량 함유되어 있을 때 가소성에 더 직접적으로 작용한다. 일반적으로 유기물 함량이 높은, 즉 혼합물이 많이 섞인 이차 점토는 순도가 좋은 고령토와 비교했을 때 가소성이 높다. 또한, 점토의 입자 크기, 분산도 등도 가소성에 결정적인 영향을 미친다. 가소성의 기본 특징에 근거하여 크게 점토를 고가소성 점토와 저가소성 점토로 나눌 수 있다[표 7][34].

[표 7] 점토의 가소성 정도에 의한 점토 분류표

종류	기본 특징	대표 점토
고가소성 점토	· 입자가 비교적 가늚 · 분산도가 큼 · 대부분 푸석푸석한 모양, 판상 또는 얇은 판상 모양	· 점성토(粘性土) · 팽윤토(膨潤土) · 목절토(木節土) · 구질토(球土) 등
저가소성 점토	· 입자가 비교적 굵음 · 분산도가 적음 · 대부분 빽빽한 덩어리 모양, 돌 모양	· 엽납석(葉蠟石) · 초보석(焦寶石) · 알칼리석(鹼石) · 자석(瓷石) 등

34) 李家驹 主编，『陶瓷工艺学』. (北京：中国轻工业出版社，2010), p.16.

점토의 내화도는 분류의 중요한 지표 중 하나이다. 점토의 내화도는 주로 그 화학적 조성에 달려 있다. Al_2O_3 함량이 높으면 내화도가 높다. 점토 원료 중 Al_2O_3 / SiO_2값에 따라 내화도를 판단할 수 있는데 값이 클수록 내화도가 높아지고 소결 범위도 넓어진다.[35] 내화도에 근거하여 크게 점토를 3단계로 나눌 수 있다. 내화 점토(耐火粘土), 난융 점토(難熔粘土) 및 이융 점토(易熔粘土)로 나눌 수 있다[표 8][36].

[표 8] 내화 정도에 따른 점토 분류표

점토 종류	정의	기본 특징	용도
내화 점토	내화도 1580℃ 이상	· 순도가 높음 · 불순물이 적음 · 태우면 회색 또는 담황색을 띰	· 도자기, 내화 및 내산(耐酸) 제품의 주원료
난융 점토	내화도 1350~1580℃	· 불순물 함량 10%~15%	· 사기그릇, 토기, 내산제품, 장식 벽돌 및 타일의 원료로 쓸 수 있음
이융 점토	내화도 1380℃ 이하	· 불순물 함량이 높음 · 불순물 중 가장 해로운 것은 황철광으로, 일반적인 소성 온도에서 제품에 기포, 파임 등의 결함 이 발생할 수 있음	· 건축 기와와 조도 제품에 많이 쓰임

점토는 생산 지역에 따라 성질이 조금씩 다르다. 광물 조성, 화학 조성, 입자 조성 등에 따라 성질이 달라지는데 화학 조성에 의해 가소성, 결합성, 내화도, 소결 온도, 소결 범위가 달라지고 이에 맞춰 점토의 종류가 달라진다. 점토는 용도에 따라 크게 가소성 점토, 내화 점토, 벽돌 점토, 석기 점토, 화장토, 유약용 점토, 법랑용 점토, 제지용 점토, 활성 점토로 나눌 수

35) 위의 책, p.39.
36) 위의 책, p.16.

있다[표 9][37].

[표 9] 용도별 점토 명칭 및 특성		
용도별 점토 명칭		특성
가소성 점토 (plastic clay)	영국 ball clay, 일본 목절 점토, 와목점토 등 포함	· 가소성이 큼 · 건조강도가 강함 · 미립자 · 내화도가 높음 · 소성 온도 범위가 넓음 · 유기물 함유량 많음[부식물의 함유량 많을수록 점토색이 진해져서 흑색까지 있음] · 소성 후 색상은 백색, 황색, 담황색 등
내화 점토 (fire refractory clay)		· 내화 온도가 높음. (SK27이상) · 소성 후 색상은 황색과 황갈색 등
벽돌 점토 (brick clay)		· 철분함유량 많음(5~8%) · 색상: 적색 · 가소성이 큼 · 내화 온도가 높음 · 소성 후 색상은 적갈색 등
석기 점토 (stone ware clay)		· 벽돌용에 비해 철분 함량이 적고 내화 온도가 높음 · 소성 온도 범위가 넓음 · 가소성이 큼 · 소성 후 색상은 황색과 회색 등
화장토 (化粧土, slip clay)		· 융제 성분 다량 함유 · SK5~10에서 완전 용융 · 단일 유약원료로 사용 가능

37) 李尚勳, 「粘土鑛物의 合成 및 技能化 技術」, 大韓鑛業振興公社 技術研究所, (세라미스트, 1999), pp.70-81.

유약용 점토 (glaze clay)		· 유약에 첨가함 · 주로 시유 시에 기물과의 부착성을 증진시키는 목적으로 사용함
법랑용 점토 (enameling clay)	독일 vallembar 점토 등	· 시유 시에 법랑을 균일한 두께로 기물에 부착시키기 위하여 첨가하는 점토
제지용 점토 (paper clay)		· 분말 백색도가 높음 · 미세입자(보통 2㎛ 이하) · 유리 규산(free silica)함유량이 거의 없음 · Filler용(납석, 활석), Coating용(Kaolinite, 활석)
활성 점토 (active clay)	벤토나이트 산성백토	· 주요 구성 광물 : Montmorillonite · 점력이 강함 · 팽윤성 및 양이온 교환성이 큼 (벤토나이트) · 팽윤성이 없고 양이온 교환성이 큼 (산성백토)

잘 조성된 유약과 점토는 소성 과정을 통해 소결되고 최고 소성 온도에 이르면 서로 다른 유리질화가 진행된다. 유리질화를 통해 점토나 유약은 단단하고 조밀한 유리와 같은 물리화학적 성질을 갖게 된다. 일정 점토는 다양한 산화물의 집합체이기에 상당히 긴 용융 과정을 거친다. 가마 온도가 올라가면 점토 내 녹기 쉬운 불순물들은 녹아서 작은 유리구슬이 된다.[38] 점토에서 유리질 성분을 형성하는 것은 주로 SiO_2이다. 점토의 소결 순도, 소결 온도 및 연화 온도를 결정하는 주요 요인은 Al_2O_3 함량이며, 점토의 내화도, 용융온도 및 유리질 생산을 촉진하는 것은 알칼리계 산화물의 종류와 배합 비율이다. 따라서 점토의 Al_2O_3, SiO_2, 알칼리성분의 함량과 비중이 높을수록, 일정한 온도에서 생성된 유리질 성분이 많을수록 점토의 유리질화 정도가 커지고 내화 온도가 낮아진다. 일반적으로 도자 제품용

38) Daniel Rhodes, 『Clay and Glazes for the Potter(도예가를 위한 점토와 유약)』, 이부연/배미정/송연옥/김동원/조준희/김두식/김진동 공역, (한양대학교 출판부, 2016), p.38.

점토는 점토의 구조와 그에 따른 기본적 물리적 성질에 따라 분류한다. 유리질화 정도도 도자 분류의 중요한 특징이라서 유리질화 정도가 낮은 것과 높은 것, 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 이는 바로 토질 점토(도기용 점토)와 자기질 점토(자기용 점토) 이다[표 10].

도자기 점토 내부에 존재하는 고체상(固體相)은 원료의 종류나 조합 및 소성 온도 및 시간 등의 조건에 따라 다르지만 원료 중에 존재하고 있는 석영 혹은 석영이 전이된 크리스토발라이트 및 점토에서 생성된 뮬라이트이고, 유리질이 80%~40%정도 존재한다.[39] 도자 제품용 합성 점토는 점토의 화학적 조성에 따라서 유리질화 정도, 밀도와 강도 등이 다르고, 시각적으로 나타나는 유리질의 특징, 질감, 발색이 다양하다.

[표 10] 유리질화 정도에 따른 점토 분류와 특징

종류	유리질화 정도	기본 특징
토질 점토	· 유리질화 정도가 낮거나 없음(미세 유리질화)	· 구조가 치밀하지 않음 · 단면은 거침
자기질 점토	· 유리질화 정도가 높음	· 구조가 치밀하고 섬세함 · 단면은 석상 또는 조개껍데기 모양

1-4. 유리질 점토와 유약

유리질 점토는 재료 그 자체로 성형할 수 있고 소성 후 성형된 형태가 유지된다는 점에서 점토성 물질로 정의할 수 있지만 물리화학적 성질은 오히려 유리와 유사하다. 유리질 점토는 용융 과정에서 형태가 흘러내리거나 변형되지 않을 뿐, 발색도나 시각적으로 관찰되는 표면의 용융 상태는 오

39) 功刀雅長, 加藤悅朗, 長板克己 共著, 『無幾材料』, 김건중, 윤조희 공역, (서울: 東河技術, 1998), pp.119~121.

히려 유약과 유사하다. 유리질 점토와 유약은 유사한 특징을 가지는데, 그 주요 내용은 [표 11]과 같다.

[표 11] 유리질 점토와 유약의 공통점	
본질	· 유리질체(玻璃質體) · 유리질을 포함하거나 유리질과 결정질을 모두 포함 · 균질하지만, 비정질이며, 빛을 투과할 수 있는 등방성 물질 · 높은 점성을 가진 초저온 액체 또는 비결정성 고체
구조	· 원자 간의 구조는 불규칙하고, 일관성이 없고, 무질서하다
특징	· 유리와 유사한 강도, 탄성, 비전도성 및 화학적 안정성 등을 가짐 · 고체에서 액체로 혹은 반대 방향으로의 변화는 점진적인 과정으로, 고정된 융점이 없고 비교적 연화 온도가 넓으며 합리적인 소성 온도 범위 · 용융 후 냉각 경화 과정을 거치면서 불규칙한 구조 상태를 유지하고 있음
조성	· 유사한 화학 구성을 가지며 특정 비율의 화학 조성이 없음 · 단순한 규산염이 아님, 붕산염 또한 인산염 등 기타 염류 · 일반적으로 알루미늄 규산염과 알칼리 금속 산화물이나 알칼리 토금속 산화물로 이루어짐

일반적으로 자기질 점토는 소성을 거쳐 소결되고 유리질화 되는데, 흔히 이를 자화라고 한다. 점토는 최고 소성 온도보다 높게 소성되면 유리질 과정이 신속해지고 유약처럼 액상의 상태가 될 수 있다. 이때 점토에 SiO_2 성분이 충분하면 용융 시 점토는 완전히 유리질화 될 수 있다. 정리하자면 지나치게 높은 온도에서 점토는 유약처럼 녹아 형태를 잃고 녹아내릴 수 있다는 것이고, 반면 유리질 점토는 점토보다 넓은 유리질화 범위를 갖기에 형태가 유지되면서도 유약과 같은 발색을 갖는다는 것이다.

유리질 점토와 유약이 고온에서 녹인 유리질을 형성하게 해주는 주성분은 SiO_2이다. 유약에 유리질을 생성하는 SiO_2 성분이 부족할 경우 광택을

갖는 유약이 될 수 없을 뿐만 아니라 조성에 따라서 녹지 않을 수도 있다. 또한, SiO_2 성분이 지나치게 많아도 용융점이 높은 규석 성분 탓에 녹지 않을 수 있다.

유약은 도자기 제품의 표면에 사용되는 것이 일반적이다. 따라서 유약은 어느 정도의 유동성을 가지고 충분히 용융되어야 한다. 반면 유리질 점토는 필요에 따라 용융 상태를 조절하여 점토 없이 단독으로 점토로 기능할 수 있다. 연구자는 이와 같은 유리질 점토를 크게 용융과 불완전 용융의 두 가지 상태로 나누어 실험했다.

유리질 점토와 유약의 유사성 및 차이점에 대한 고찰을 통해 유리질 점토 연구 방향성을 갖추게 되었으며 유리질 점토의 개발 과정에서 유약의 특징은 효과적으로 활용하는 것이 매우 중요함을 깨달았다.

1-5. 유리질 점토와 유리

유리질 점토는 유리와 같은 완전한 유리질을 추구하는 것이 아니다. 유리질 점토가 용융되면서 형성된 유리질은 유리와 비슷한 물리 화학적 성질을 갖고 있을 뿐이다. 따라서 유리질 점토와 유리에 대한 충분한 비교 연구가 필요하고, 주로 두 가지의 기본 성질과 성형 공법의 측면을 비교해 보았다.

우선 유리질 점토와 유리의 기본 성질로서 그 본질, 구조, 특징, 조성 등 측면을 비교 분석하였다. 유리질 점토와 유리의 유사한 성질은 [표 12]와 같다.

[표 12]유리질 점토와 유리의 공통점	
본질	· 유리질체(玻璃質體) · 균질하지만, 비정질이며, 빛을 투과할 수 있는 등방성 물질 · 높은 점성을 가진 초저온 액체 또는 비결정성 고체
구조	· 원자 간의 구조는 불규칙하고, 일관성이 없고, 무질서함
특징	· 강도, 탄성, 비전도성 및 화학적 안정성 등을 가짐 · 유사한 강도, 탄성, 비전도성 및 화학적 안정성 등을 가짐 · 고체에서 액체로 혹은 반대 방향으로의 변화가 점진적임 · 고정된 융점이 없고 비교적 연화 온도가 넓음 · 합리적인 소성 온도 범위 · 용융 후 냉각 경화 과정을 거치면서 불규칙한 구조 상태를 유지함
조성	· 유리질을 생성하는 성분은 주로 SiO_2 성분 · 유사한 화학 구성을 가지며 특정한 화학 조성이 없음 · 일반적으로 알루미늄 규산염과 알칼리 금속 산화물 또는 알칼리 토금속 산화물로 이루어짐

유리질 점토와 유리는 모두 유리질체이고 보통 균질하지만, 비정질이고 투광성이 있는 등방성 물질이다. 구조적으로 유리질 점토와 유리의 원자 사이의 구조 배열이 불규칙하고 무질서하다. 하지만 용융 후 냉각 경화 과정을 거쳐 불규칙한 구조 상태가 되면서 결국 유리와 유리질 점토는 비슷한 성질이 된다. 유리질 점토는 유리와 마찬가지로 높은 점질성을 가진 액체 또는 비정질 고체이다. 그러나 유리와 달리 유리질 점토의 구조에는 소량의 결정질과 기포가 함께 들어 있어 유리질 점토와 유리의 균일도가 다르다.

유리질 점토와 유리는 유리질을 생성하는 성분이 SiO_2로 같다. 유리는 대부분이 SiO_2 성분으로 이루어져 있으며 유리질 점토는 약간의 Al_2O_3 성분을 포함한다. 용융된 유리질 점토는 유리와 같은 기본 성질, 즉 강도, 탄성, 비전도성 및 화학적 안정성 등을 가지고 있다. 고체에서 액체 또는 그 반대로의 변화하는 데에 일정한 융점이 없고 비교적 넓은 연화 온도 범위

와 합리적인 소성 온도 범위를 가진 점진적인 과정을 거친다.

유리질 점토는 유리와 비슷한 화학적 조성을 가지고 있으며, 비율 조절에 따라 다양한 화학적 조성으로 구성할 수 있다. 유리의 주요 성분은 SiO_2와 기타 산화물로, 주성분에 따라 산화물 유리와 비산화물 유리로 나뉜다. 산화물 유리는 다시 규산염 유리, 붕산염 유리, 인산염 유리 등으로 나뉜다. 유리질 점토는 산화물 유리에 가까우며 유리와 같이 알칼리 금속, 알칼리 토류 등의 금속 산화물 함량에 따라 다른 특징을 보인다.

유리질 점토는 유리와 유사하며 용융 후 유리질 성분이 많고 유동성이 커서 성형이 어렵다. 따라서 유리질 점토의 성형 공정은 유리의 성형법[40]을 참고하였다. 유리질 점토는 용융 상태에 따라 크게 틀을 사용한 성형과 틀을 사용하지 않은 성형으로 나눌 수 있다. 유리와 달리 특수한 물리 화학적 성질 때문에 유리질 점토의 성형 방법은 비교적 단순하다. 용융온도가 낮고 유동성이 있는 유리질 점토는 일반적으로 틀을 사용한 성형, 용융온도가 높고 유동성이 없는 유리질 점토는 틀을 사용하지 않은 성형 또는 틀과 결합하여 성형한다.

유리질 점토와 유리의 유사한 부분을 잇는 동시에 유리질 점토와 유리의 용융 상태, 형성된 유리질, 공정에도 큰 차별성도 보인다. 일반적인 유리의 용융점은 이 논문에서 다루는 유리질 점토보다 낮으며 산화 분위기로 소성된다. 유리질 점토와 유리의 용융 상태, 유리질과 공정의 차이는 [표 13]과 같다.

---

40) 戴金辉，柳伟主编；李春雷，崔德生副主编，『无机非金属材料工学』，(哈尔滨工业大学出版社，2012.08)，p.115. '유리의 성형 방법은 블로잉 기법(내부가 빈 유리형태), 몰드 압착식(재떨이, 물컵 등), 압연법(엠보싱유리 등), 주조법(광학유리 등), 인장법(평판유리, 유리관 등), 원심법(유리면 등), 소결법(공정유리 등), 용접법 등이다. 이상의 성형법은 제품의 형상과 발생되는 방법에 따라 틀을 사용한 성형과 틀을 사용하지 않은 성형의 두 종류로 나눌 수 있다. 틀 성형은 다시 원심성형과 압착성형으로 나뉜다."

[표 13] 유리질 점토와 유리의 차이점		
	유리질 점토	유리
용융 상태	· 유동성(용융 시) · 무유동성(불완전 용융)	· 완전 용융 · 유동성
유리질	· 균질한 물질이 아니라 잉여규석과 새로 생성된 뮬라이트, 칼슘 장석 등의 결정질이 있음 · 유리질 투광도가 낮고 두께가 증가함에 따라 반투명한 실투 현상을 보일 수 있음	· 균일한 물질 · 일반적으로 투광도가 높음 · 결정질과 기포가 없음
공정	· 산화와 환원 분위기 소성 가능 · 정상적인 자연 냉각	· 주로 산화 분위기 소성 · 긴 냉각 시간 필요함
흡수율	· 없거나 미세한 흡수율을 가짐	· 흡수율 없음

유리질 점토와 유리의 가장 큰 시각적인 차이는 투광도이다. 일반 유리는 투광도가 비교적 높고, 결정질이 없으며 기포도 없다. 하지만 유리질 점토는 알칼리 토류금속 및 금속산화물이 많고 용융이 완전히 이루어지지 않은 SiO_2 성분이 많아 미세구조의 섬유상 또는 침상 등 결정이 생성되어 투광성이 약해진다. 따라서 두꺼운 유리질 점토의 소성물은 실투 현상이 매우 높다.

유리질 점토와 유리의 차이는 공정, 소성 과정의 온도와 분위기로 나타난다. 소성 방법은 상온에서 고온으로 가열했다가 다시 고온에서 상온으로 식히는 과정으로 이루어진다. 유리의 용융 과정은 규산염 형성, 유리 형성, 침전, 균질화, 냉각의 다섯 단계로 나뉘며 비교적 긴 소성 과정을 거쳐야 한다. 반면 유리질 점토는 균질한 물질과 소량의 기포를 함유하고 있으며 잉여규석과 새로 생성된 뮬라이트, 칼슘 장석 등의 결정질이 있다. 따라서 유리질 점토는 유리처럼 냉각 시간을 길게 늘릴 필요 없이 자연적으로 냉

각시킬 수 있다. 냉각 과정에서 점성이 적은 유리의 기포는 쉽게 사라지지만, 유리질 점토는 점성이 높아 생성된 기포가 모두 빠져나가는 데 한계가 있다. 특히 미세한 기포는 표면으로 상승하는데 이 필요한 부유력이 작아 그대로 유리질 점토의 내부에 남아 실투 현상을 일으키는데 가장 큰 역할을 하게 된다. 소성 분위기 또한 유리는 산화 분위기가 주류를 이루는 반면 유리질 점토는 발색 요구에 따라 산화 및 환원 분위기가 가능하다. 소성 분위기에 따라 유리질 점토의 색상, 투광도, 유리질 질감까지 중요한 차이를 만든다.

지금까지 유리질 점토와 유리의 비교를 통해 서로 가지고 있는 유사성과 차별성을 분석함으로써 연구자가 개발하고자 하는 유리질 점토의 성질과 특징이 뚜렷하게 제시되었다. 유리질 점토와 유약, 유리의 공통점과 차이점을 정리한 결과는 [표 14]와 같다.

[표 14] 유리질 점토, 유약과 유리의 유사성과 차별성

		유리질 점토	유약	유리
유사성	본질	· 유리질체(玻璃質體) · 균질하지만, 비정질이며, 빛을 투과할 수 있는 등방성 물질 · 높은 점성을 가진 초저온 액체 또는 비결정성 고체		
	구조	· 원자 간의 구조는 불규칙하고, 일관성이 없고, 무질서함		
	특징	· 강도, 탄성, 비전도성 및 화학적 안정성 등을 가짐 · 고체에서 액체로 혹은 반대 방향으로의 변화가 점진적임 · 고정된 융점이 없고 비교적 연화 온도가 넓으며 합리적인 소성 온도 범위 · 용융 후 냉각 경화 과정을 거치면서 불규칙한 구조 상태를 유지함		
	조성	· 유리질을 생성하는 성분은 주로 SiO_2 성분 · 유사한 화학 구성을 가지며 특정한 화학 조성이 없음 · 일반적으로 알루미늄 규산염과 알칼리 금속 산화물 또는 알칼리 토금속 산화물로 이루어짐		

차별성	용융성태	· 유동성(용융 시) · 무유동성 (불완전 용융)	· 일반적으로 충분히 용융되어 유동성을 가짐 · 점토 위에 평평하고 매끄러운 유면이 형성됨	· 완전 용융 · 유동성
	유리질	· 균질한 물질이 아니라 잉여규석과 새로 생성된 뮬라이트, 칼슘장석 등의 결정질이 있음 · 유리질 투광도가 낮고 두께가 증가함에 따라 반투명한 실투현상을 보일 수 있음		· 균일한 물질 · 일반적으로 투광도가 높고 결정질과 기포가 없음
	공정	· 산화와 환원 분위기 소성 가능 · 정상적인 자연 냉각		· 주로 산화 소성 · 긴 냉각 시간 필요함
	응용	· 수요에 따라 용융 상태를 조절하여 응용가능 · 단독으로 사용 가능 · 틀이 있는 성형과 틀이 없는 성형으로 나눌 수 있음	· 일반적으로 도자 제품의 표면에 사용되어 기능성과 미관성을 높이는 역할을 함 · 점토와 유약의 적응성에 제한을 받음	· 완전 용융 후 응용 · 틀이 있는 성형과 틀이 없는 성형으로 나눌 수 있음
	흡수율	· 없으나 미세한 흡수율을 가짐		· 흡수율 없음

2. 유리질 점토의 특징

이 논문에서 다루는 유리질 점토의 특징은 화학적 조성, 가소성, 유리질화, 투명성, 내화도 및 유동성으로 나누어 고찰해 볼 수 있다. 유리질 점토는 명칭대로 유리와 같은 유리질 이지만, 기존의 유리보다는 유리질화 정도가 낮고, 규석 성분이 과포화 되어 용융 시의 점성이 지나치게 높다는 점, 점토이기는 하지만 가소성은 절대적으로 부족하다는 점, Al_2O_3 성분이 부족하기는 하지만 규석 성분의 과포화로 소성된 형태가 비교적 잘 유지된다는 점에서 특징적이다.

2-1. 화학적 조성

유리질 점토는 점토와 유약 또는 유리와 유사한 광물로 이루어져 있으며, 다양한 조합비로 배합하여 만들 수 있다. 배합 광물에 함유된 화학 성분의 종류, 수량, 비율에 따라 나타나는 유리질 점토의 물리 화학적 성질은 다양하다.

유리질 점토는 주로 SiO_2, Al_2O_3 및 알칼리 금속산화물, 알칼리 토류 금속 산화물 등의 성분으로 이루어지며 SiO_2 성분의 과포화 상태는 유리질 점도가 유약 또는 유리와 비교해 현저하게 낮은 유동성을 갖게 만든다. 유리질 점토 배합을 위한 유리질 산성 산화물은 주로 규석으로 공급되며, 융제 산화물은 알칼리 금속산화물인 K_2O, Na_2O 그리고 알칼리 토류 금속산화물인 CaO, MgO 등으로 기본 성분이 조성된다. 유리질 점토의 기본적인 화학 구성은 [표 15]와 같다.

[표 15] 유리질 점토 기본 화학 구성				
	알칼리성 산화물		중성 또는 양성 산화물	산성 산화물
	알칼리 금속산화물	알칼리 토류 금속산화물		
대표적인 기본 화학 구성	K_2O	CaO	Al_2O_3	SiO_2
	Na_2O	MgO	Fe_2O_3	TiO_2
	.	.	Mn_2O_3	.
	.	.	.	.
	.	.	.	.

유리질 점토의 화학 구성 중 SiO_2 성분과 Al_2O_3 성분은 유약과 마찬가지로 장석과 고령토로 공급되며, 소량의 고령토가 장력을 부여하기 위해 사용된다. SiO_2의 함량은 50% 이상으로, SiO_2 비율이 높을수록 소성 온도와 내화도가 높아진다.

유리질 점토에서 Al_2O_3 성분은 주로 가소성을 갖는 점토류와 장석에 포함되어 있다. Al_2O_3은 유리질화 과정 중 SiO_2와 결합할 수 있고 알칼리성 산화물에도 결합할 수 있다. Al_2O_3 성분은 유리질 점토의 성질을 변화시켜 화학적 안정성, 경도 및 탄성을 향상시키고 팽창계수를 낮추며 용융온도와 점도를 높이지만, 함량이 증가할수록 발색을 저해한다. 따라서 특정한 발색이나 광택이 필요하지 않다면 일정한 양의 Al_2O_3 성분을 유리질 점토에 참가할 수 있다. Al_2O_3 성분은 유리질 형성의 매개물질로, 유리질 형성의 안정제 역할도 하기 때문에 최소한의 Al_2O_3 성분은 필요하다. 위와 같이 Al_2O_3의 성질과 역할을 고려해 볼 때, 이상적인 유리질 점토를 만들기 위해서는 가급적 소량의 Al_2O_3 성분을 취해야 한다. 즉 유리질 점토의 발색과 광택을 위해 장석과 고령토의 함유량을 신중하게 결정해야 한다는 말이다. 유리질 점토 조성을 위해서는 유리질을 형성하는 장석이 필수적이나 장석 안에 Al_2O_3 성분이 있고, 출토지에 따라 함유한 Al_2O_3 양이 다르기에 적은 양의 Al_2O_3 성분을 가진 장석을 사용하는 것이 좋다.

유리질 점토가 용융되는 과정에서 알칼리성 산화물은 주로 용융을 돕는 역할을 한다. 이러한 성분은 고온 분화 반응을 촉진하고, 고융점 결정인

SiO_2와 Al_2O_3 성분의 화학 결합을 가속시키며, 하층 용융체의 생성을 촉진한다. 또한, 이 알칼리성 산화물은 유리질 점토의 물리화학적 성질(예를 들어 역학적 성질, 팽창계수, 점도, 화학적 안정성 등)을 조절하는 역할도 한다. SiO_2와 알칼리성 산화물 성분의 조성비 변화에 따라 소성 과정에서 다른 성분과 반응해 용융체가 형성되고, 고온에서 용해 및 용융물에 잔류하는 SiO_2의 함량이 달라 유리질 점토의 물리 화학적 성질이 다양해지는 것이다.

유리질 점토의 발색은 유약과 마찬가지로 Fe_2O_3, CuO, Mn_2O_3, TiO_2, CoO 등을 사용해 조정할 수 있다. 일반적으로 유리질 점토는 유약과 마찬가지로 유리질화 정도가 높을수록 발색이 좋다. 또한, 유리질 점토의 SiO_2 성분과 알칼리성 산화물 및 발색제 성분과의 비율을 적절히 조절함으로써 유리질 점토의 기본적인 물리화학적 특성을 다양하게 할 수 있을 뿐만 아니라 질감과 발색에도 다양한 시각적 효과를 나타낼 수 있다. 이 연구에서는 청자유약의 발색을 그 일례로 삼았으며, 따라서 청자유 발색이 필요한 Fe_2O_3을 주로 부분적으로 TiO_2, Mn_2O_3 등을 첨가하였다.

2-2. 가소성

유리질 점토의 가소성은 소량으로 첨가되는 점토질 성분(고령토)에 의해 주어지며, 가소성이 부족한 경우에 접착성 유기물을 첨가해 증가시킬 수 있다. 반면, 양호한 발색을 위해서는 점토질 성분을 제한적으로 사용해야한다. 결국 접착성 유기물 첨가가 불가피하지만 그보다는 가소성의 한계를 극복할 수 있는 더욱 근본적인 해결 방법으로 새로운 형태 및 제작방식을 연구해 볼 필요가 있다.

가소성이 좋은 점토는 일반적으로 입자가 비교적 작고, 광물의 용융이 뚜렷하거나 완전하며, 특히 판상 구조를 갖추고, 입자 표면의 수막이 비교적 두꺼운 편이다.[41] 유리질 점토는 SiO_2 성분이 주성분이고, 주요한 광물

41) 李家驹 主编，『陶瓷工艺学』. (北京：中国轻工业出版社，2010), p.132.

원료로 규석이 가장 많이 포함된다. 그러나 규석은 아무리 잘게 부숴도 편상(片狀)이 나타나지 않으며, 흡착된 수막이 얇아 가소성이 매우 낮다.[42] 이 때문에 유리질 점토는 가소성이 낮을 수밖에 없다.

따라서 유리질 점토의 성능 향상과 좋은 형태를 얻기 위해서는 점토질 성분을 가소성이 강한 점토 원료로 대체하거나, 적당한 양의 가소제를 첨가하여 가소성을 증가시켜야 한다. 이와 같은 유리질 점토의 한계 때문에 가소성을 증가시키는 위해 첨가제의 투여, 또는 적절한 형태 연구 및 제작 방식에 대한 연구가 필수적이다.

2-3. 투명성 및 발색

도자의 역사는 토기부터 백자에 이르기까지 미적이면서도 위생적으로 사용할 수 있도록 진보해왔다. 점토의 유리질화는 도자기의 발전과정을 통해 성취된 것이다. 도자 제조 기술의 발전에 따라 유리질화의 정도는 점점 높아졌으며, 조합 원료의 종류와 소성 온도, 냉각과정 등의 조건에 따라 생성되는 유리질의 양이 변화하면서 물리화학적 성질이 극대화되었다. 특히 자기가 생산되기 시작하면서 도자기의 유리질화가 완성되었다고 볼 수 있다.

영국의 도예가 로버트 포르니에(Robert Fournier)는 저술한 『Illustrated Dictionary of Practical Pottery』에서 유리질화에 대해 “조직에 유리 형태의 용해체를 만들어 입자를 더 촘촘히 쌓는 결정구조에 관한 것으로 유리질화가 된 형체는 구멍이 없고 물이 투과되지 않으며 점토가 점차 융합되면서 수축, 변형되고 붕괴하여 유리질화 된다. 이때 점토의 용융성 (융제의 양과 종류)과 알루미늄 산화물의 함량에 따라 유리질의 온도가 달라진다. 유리질화의 온도범위는 유리질 형성 초기(수축 시작)와 최종변형 이전의 온도 구간을 모두 포함한다. 유리질의 첫 번째 형성은 850℃ 정도이며, 1030℃(불순물이 많은 적색 점토)에서 1450℃(고령토 자기)까지 온도 범위

42) 위의 책, p.132.

에 포함된다."라고 정리하였다.[43] 따라서 수축 시작부터 최종변형까지 온도 구간에 나타나는 유리질 상태가 다르다고 볼 수 있다. 연구자는 온도 구간에 따라 유리질의 상태를 조절하여 유리질 점토를 개발하는 연구를 진행하였다.

점토의 물리적 성질은 소성 후 두드리는 소리, 치밀성, 흡수율, 수축률, 역학적 강도와 경도 그리고 광택도와 투명성 등으로 알 수 있다. 이렇게 유리질화가 된 물리적 특성에 따라 토기, 석기, 자기 등 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 이 중 유리질화의 정도가 가장 높은 것은 자기이다. 자기 점토는 일정의 혼합물로, 소성 중에 붕괴하지 않으면서도 반투명하게 유리질화될 수 있다.[44] 자기는 소성 후 두드릴 때 금속성 소리를 내고, 기물의 두께가 두꺼울 경우에는 투명성이 없을 수도 있다. 자기 점토는 일반적으로 규석과 장석이 포함된 고령토와 조성된다. 도자기를 구성하는 것은 점토와 유약인데 이 중에 점토는 일반적으로 소결체의 형태로 존재하고 유약은 용융체의 형태로 존재한다. 소결체는 결정질이 대부분을 차지하고, 결정질을 둘러싸고 있는 유리질이 20%-30% 정도 함유된 용융체이다. 점토의 표면에 용해되는 유약은 대부분이 유리질로 형성되고, 소량의 결정질과 준안정 상태의 유리질로 이루어진다.[45]

유리질 점토는 유약과 비슷한 용융체를 형성하기 때문에 유리질화 정도가 높고 함유하는 유리질 성분도 유약과 비슷하다. 유리질 점토는 유약 또는 유리와 비슷한 물리화학적 성질을 가진 용융체이지만 유리처럼 균일화되지 않고 유리질 외에 약간의 결정질과 기포를 포함한다. 또한, 고체에서 액체 또는 그 반대로 변화하는 과정에 고정된 녹는점이 없이 점진적으로 변화한다. 유리질화가 될수록 광택이 높아지고 경도가 크며 산과 알칼리의 침식에 강하고 밀도가 높아 물이 투과되지 않으며 공기가 통하지 않는 특

---

43) Robert Fournier, 『Illustrated Dictionary of Practical Pottery』, (A&C Black・London Krause Publications・Wisconsin, 2000), p.347.

44) 위의 책, p.347.

45) 황성연(黃聖淵), 「유약(釉藥)의 생성(生成)에 관한 고찰(考察)(Ⅰ)-유리의 형과 구조-」, (이화여자대학교 도예연구소, 1984), p.27.

징을 가진다.

점토의 유리질 성분은 유리질화 정도에 크게 영향을 미친다. 유리질 점토의 유리질화 정도는 규석의 양과 알칼리 금속산화물의 용융력 두 가지 측면에 의존한다. 유리질화 정도와 형태의 유지 가능성은 반비례하는데, SiO_2의 성분이 많은 유리질 점토는 유리질화가 완전히 진행되지 않는 반면 용융 시 형태가 잘 유지된다.

투명성은 유리질화가 이루어지면서 발생하기 시작하는 시각적인 효과이다. 유리질화 정도가 높아질수록 투광성이 향상된다. 투광성은 입사광선을 투과시키는 능력을 말한다. 투광성의 고저는 재료의 두께뿐만 아니라 입사광선의 산란 및 흡수와 밀접한 관련이 있다. 유리질 점토로 성형되었다하더라도 두께가 두꺼워지면 투명성을 보이지 않는다. 유리질화가 일어난 자기의 경우에도 두께가 얇을수록 투광성이 뚜렷하다.

유리질 점토는 유약이나 유리에 비해 용융 시 점도가 훨씬 크기 때문에 기포의 발색에 의한 기공성이 매우 높다. 두께가 두꺼워질수록 기포가 크고 많아서 빛의 산란도가 높아진다. 유리질 점토는 유리와 상이한 기공성을 가지기 때문에 다양한 투명도와 표면 질감 등을 만들어 낸다.

또한, 유리질화 정도가 높으면 금속산화물의 발색에도 좋은 효과를 나타낸다. 다시 말해 금속산화물에 의한 발색이 잘 된다는 것으로, 금속산화물이 균일하고 충분히 녹았다는 뜻이다. 따라서 발색이 잘된다는 것은 유리질화 정도가 높다는 시각적 증거이기도 하다. 즉 유리질화, 투광성, 발색은 그 작용과 효과에 있어 비례관계라고 볼 수 있다.

2-4. 내화도 및 유동성

내화도는 재료가 고온에서 하중을 견디는 안정적인 힘이다.[46] 즉, 내화도는 소성 과정에서 점토가 형태를 유지하는 힘을 말하며 미세도, 혼합 균일도, 소성 온도, 소성 시간과 같은 여러 조건에 따라서 결정된다. 그 중에

46) 李家驹 主编，『陶瓷工艺学』, (北京：中国轻工业出版社， 2010), p.39.

서도 소성 온도와 소성 시간은 내화도에 결정적인 영향을 미친다.

Al_2O_3 성분이 부족한 데 비해 SiO_2의 성분비가 높은 유리질 점토는 Al_2O_3 성분이 풍족한 점토보다 고온에서 잘 견디지 못한다. 또한, 유리질 점토는 균질한 물질이 아니라서 일정한 융점이 없으며, 어느 시점부터 서서히 유리질이 나타나기 시작하여 완전히 녹을 때까지 점진적으로 상당히 넓은 범위에 걸쳐 고체와 액체가 공존하기 때문에 소성 온도와 소성 시간을 섬세하게 설정하는 것이 매우 중요하다.

유리질 점토의 내화도는 조합 원료 중 Al_2O_3, SiO_2의 비율과 알칼리성분의 배합비율을 따른다. 알칼리성분의 함량, 종류 및 배합비가 같다면 Al_2O_3, SiO_2의 함량이 높을수록 내화도가 높아지고, 형성되는 유리질이 적으며, 유리질이 적을수록 유동성도 떨어진다. 내화도를 Al_2O_3로 조절할 경우에 발색이 현저하게 떨어지기 때문에 연구자는 Al_2O_3 성분의 함량을 최소한으로 낮춰서 고정하고, SiO_2의 함량을 조절하여 내화도와 유동성을 조정하였다. Al_2O_3의 함량이 낮으므로 내화도를 결정하는 중요한 요인은 결국 SiO_2와 알칼리성분의 함량, 종류, 배합비율이라 할 수 있다.

유리질 점토 입자의 미세도와 혼합 균일 정도는 유리질, 기포, 결정상에 영향을 끼쳐 내화도와 유동성에 영향을 준다. 균일한 유리질과 뛰어난 발색을 위해 유리질 점토의 원료는 미세한 입자상태로 만들어 혼합한다. 초미세 분말로 만든 점토의 결정이 굵은 입자의 점토 결정보다 작고 균일하며 기공의 크기가 작을수록 유리질의 생성이 쉽고 발색에도 유리하다. 그러나 미세한 입자는 표면접촉점이 많아 반응이 빠르고 용융체를 많이 발생시켜 유리질화가 빠르게 진행되어 결국 내화도 및 용융온도가 낮아진다.

유리질 점토의 소성 온도와 소성 시간은 유동성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 유동성을 제어하기 위해서는 소성 온도 및 소성 시간을 적절히 조절하고 통제해야한다. 소성 과정 중 온도의 변화에 따라 유리질 점토는 일련의 물리화학적 변화(탈수, 산화, 환원, 분해, 화합, 용융, 재결정 등)를 일으킨다. 따라서 유리질 점토의 내화도 범위를 정하고 소성 온도와 소성 시간을 합리적으로 운영하는 것은 유리질 점토의 적절한 용융 상태를

성취하는 데에 매우 중요한 요건이다.

3. 유리질 점토의 사례 연구

유리질 점토의 사례 연구는 크게 역사적 사례와 현대적 사례의 두 가지 측면에서 진행하였다. 본 연구의 유리질 점토처럼 규석 성분의 과포화 현상을 활용한 사례는 찾기 어려웠다. 유약이나 점토의 성분 중 단일성분의 과포화는 바로 물리화학적 결함으로 여겨져 왔기 때문이다. 그럼에도 불구하고 연구자는 화학적 조성, 제작방식, 시각적 효과 등을 감안하여 유사 사례를 수집하고 면밀히 검토했다. 역사적 사례로 중국의 덕화백자, 이집트 페이스트 (Egyptian Paste), 중국 고대유리를 살펴보았고, 현대적 사례로는 미국 도예가 알렉스 자블로키(Alex Zablocki), 일본 작가 마사오미 야스나가(安永正臣)와 순 쿠마가이(熊谷峻)의 작품을 고찰하였다.

3-1. 역사적 사례 연구

역사적 사례는 재료학적 측면에서 점토, 유약, 유리의 세 가지 측면에서 정리하고 관찰하였다. 먼저 유리질화 정도가 백자보다 높은 점토의 사례로 중국 덕화백자, 저화도로 소성되었으나 제작과정상 이 논문의 유리질 점토와 가장 유사한 물리적 성질을 가진 이집트 페이스트, 그리고 유리와 가까운 사례로 중국의 고대유리를 선택해 비교분석하였다.

3-1-1. 중국 덕화백자(德化白瓷)

덕화요의 점토는 산화규소와 산화칼륨의 함량이 높고 산화철과 산화티타늄의 함량이 낮아 뛰어난 백색도를 자랑하며 투광성이 뛰어난 것이 특징이다.[47] 특히 단벌로 소성하는 경우 유리질화 정도가 표면에 진주알과 같

은 반광의 유리질 표면이 형성되고 두드리면 청량한 금속음이 난다. 덕화백자는 유리질 점토와 같이 비가소성 성분 함량이 많아 일반 점토와 비교하면 가소성이 떨어지며, 재료 자체의 성질과 소성 후 결과물이 연구자의 유리질 점토와 상당히 유사하다.

덕화백자의 높은 유리질화 특징은 점토 원료와 밀접한 관계가 있다. 중국 청화대학교 김석규 논문 「한국 광주 백자와 중국 덕화백자 비교」에 의하면 일반적인 순수한 점토 성분은 SiO_2 46.51%, Al_2O_3 39.54%, H_2O 13.95%로 용융도가 1780℃다.[48] 그러나 덕화백자의 점토는 SiO_2가 70.963%, Al_2O_3 14.688%, CaO 0.418%, MgO 2.051%, 알칼리 산화물 1.072%이며, Fe_2O_3의 함유량은 극히 적다.[49] 유리질화를 높게 하기 위해서는 덕화백자 점토에 높은 규소 및 알칼리 산화물을 첨가하여야하며, 위 배합비는 백자를 제작하기에 가장 이상적인 화학 조성이라 할 수 있다. 덕화백자 점토의 화학 조성은 [표 16][50]과 같다.

[표 16] 덕화백자 점토의 화학 조성

명칭/%	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
점토1	76.74	16.76	0.35	0.10	0.15	0.08	5.94	0.13
점토2	75.63	17.29	0.18	0.13	0.04	0.10	6.51	0.13

덕화백자의 점토는 SiO_2 함량이 고령토에 비해 매우 높고 Al_2O_3 함량이 상대적으로 낮으며 내화도 역시 고령토에 비해 낮다. 그중에서도 가장 중요한 차이점은 알칼리 산화물 성분의 함유량이다. 덕화백자는 알칼리 산화

47) 장커휘, 김병율, 「중국 명대(明代) 덕화요(德化窯)의 인물조형 연구」, (한국도자학연구 Vol.17, No.1, 17:1, 121-150, 2020), p.130.
48) 金硕圭，「韩国广州白瓷和中国德化白瓷之间的比较」，(清华大学硕士学位论文，2008.11), pp.21~22.
49) CHEN Ling，「An Examiniation of Marco Polo's "China White"」, (Journal of Dialectics of Nature. Vol.40, No.11 (Serial No.243).November 2018)，p.84.
50) 손덕명(孫德明), 『덕화도자예술(德化陶瓷藝術)』, (요녕(遼寧):요녕미술출판사, 2017), p.119.

물 함량이 높고, 이는 유리질화 형성에 유리한 조건을 갖춘 것이다.

덕화백자의 점토는 규석과 견운모(絹雲母), 고령석 등의 광물이 주성분이며 철 함유량이 중국 남방 지역 중 가장 낮아서 백색도가 85% 이상이다. 덕화백자의 점토는 규소 산화물의 함량이 높고 산화철, 산화티타늄 함량이 매우 낮은 현지 점토이며, 6%에 달하는 산화칼륨이 함유되어 있어 유리질화가 높고 소성 시 형태가 변형되기가 쉽다.[51] 그래서 덕화백자의 점토로 부피가 큰 기물을 만드는 경우가 드물며, 일반적으로 1250~1280℃ 범위의 소성 온도를 지킨다. 소성 온도가 너무 높으면 자화된 벽이 변형되기 때문에 소성 온도를 엄격하게 지키는 편이다.[52]

지리표지산품보호공시(地理標誌產品保護公告)에서 덕화백자의 원료 및 화학 조성에 대해서 [표 17][53]과 같이 규정하고 있다. 기본 덕화백자 점토의 화학 조성 성분을 보면 원료 조성물은 고령토, 자석, 장석, 규석 등이며 화학 조성물은 주로 SiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, TiO_2등이 있다. 주요 특징은 SiO_2, Al_2O_3의 비율이 높아 고규질 점토에 속한다는 것이다. 염기성 산화물인 K_2O, Na_2O, CaO, MgO 성분에는 K_2O, Na_2O 함량 범위가 비교적 넓으며 고온에서 다량의 유리질을 생성하여 유리질화 정도가 높다. 반면 발색에 영향을 주는 Fe_2O_3, TiO_2 성분은 함유량이 극히 적어 전체적으로 백색으로 발색되어 보인다.

[표 17] 덕화백자 점토의 기본 화학 조성 및 범위

명칭/%		SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2
고령토	≤68.0	≥18.0	≥1.5	≥0.5	≤0.4	≤0.2	≤0.5	≤0.1	≥11.0
자석	≤70.0	≥13.0	≥3.0	≥1.5	≤3.0	≤0.5	≤0.2	≤0.05	
장석	≤66.0	≥16.o	≥11.0	≥2.0	≤1.5	≤0.5	≤0.4	≤0.05	
규석	≥98.0	≤1.5						≤0.05	

51) 위의 책, p.84.
52) 刘幼铮 著, 『中国德化白瓷研究』, (北京, 科学出版社, 2007), p.7.
53) 德化白瓷地理标志产品保护的公告,
http://www.cpgi.org.cn/?c=index&a=detail&cataid=3&id=857

덕화백자는 화학적 조성 성분비에 따라 물리화학적 특징이 다양하다. 덕화백자는 송 시대부터 제작되었으며 명나라 덕화백자가 한창이던 시기에 도자기로 만든 작품은 세계적으로 유명하다. 1958년 신건축도자공장(新建瓷厂)에서 진행한 명대 덕화 고백자(高白瓷)의 순도 측정 결과, 백색도가 88.1도에 달했다고 한다. 점토의 주성분은 고령토, 장석, 규석(7-15%), 뮬라이트(20~30%), 유리질(55~65%) 등으로, 산화철이나 티타늄 계열 산화물은 거의 없으며, 산화칼륨 함량은 대략 6-10%이다. 번조 온도는 1250℃~1400℃이다.[54] 명대와 청대에 제작된 덕화요 컵[55][그림 1]과 같이 덕화백자 점토는 성질이 섬세하고 백색도와 치밀도가 높으며, 백옥처럼 온윤(溫潤)하다. 그러나 점토에 규소 성분이 많아 가소성이 약해 대부분 틀 성형으로 제작하였다.

[그림 1] 명대와 청대의 덕화요 컵

고규소, 고알칼리라는 덕화백자 점토의 특수한 성분 함량은 대량의 유리질 성분 생성을 촉진한다. 이 높은 유리질화의 정도가 다른 지역 백자와 비교했을 때 다른 질감과 백색도를 나타내는 것이다.

---

54) 王冠英 ,「德化陶瓷及其科技史略」, (陶瓷工程, 30(05), 1996), p.48.
55) 사진 출처: 명나라 덕화요 컵: 높이 5.1cm, 높이 9.2cm.
https://collections.vam.ac.uk/item/O436990/cup-unknown/.
청나라 덕화요 컵: 높이 9.2cm, 높이 14.3cm.
https://collections.vam.ac.uk/item/O436739/cup-unknown/

3-1-2. 이집트 페이스트(Egyptian Paste)

이집트 페이스트는 물리화학적 조성과 제작방식에서 연구자가 개발하려는 유리질 점토와 높은 유사성을 갖췄다. 이에 연구자는 이집트 페이스트의 구체적인 특징과 화학 성분을 관찰하고 분석하여 연구에 도움을 얻고자 하였다.

이집트 페이스트는 알칼리성 소금을 혼합한 저화도 규질점토이다. 가소성이 적어 작고 단순한 형상을 만들거나 틀에 압입하여 제작하는 경우가 많다. 용융 시 다량의 유리질 성분과 함께 질감이 두드러지는 유리질 혼합물이 형성된다. 피터 레이븐 (Peter Raven)이 발표한 잡지에 따르면 이집트 페이스트는 "5000년 전 이집트인들이 푸른색 유리질 재료로 작은 조각상과 장식품을 만들었는데, 이는 그 지역의 풍부한 알칼리점토로 만든 것이다. 이 터키석 색상의 구슬 장식품과 'Egyptian Paste' 라고 불리는 작은 조각들은 사막의 점토와 활석 혼합물에 가용성 나트륨염과 구리 함유 광물을 넣어 만들어졌다."[56]라고 설명되었다.

이를 최초의 유약이라고 보는 견해도 있는데, "유약의 발견은 기원전 5000년으로 거슬러 올라간다. 'Egyptian Paste'는 융제 성분과 점토의 혼합물로, 이집트 지역에서 최초로 개발되었다."[57] 간혹 'Egyptian Faience'로 분류하기도 한다. 규소와 가용성 융제의 높은 함량, 매우 낮은 점토질 함량을 가진 이 유리질 점토혼합물은 당시 형태 성형을 위한 점토이자 유리질 성분을 형성하는 유약으로 사용되기도 하였다. 이 점토와 유약이 일체화되어 원재료의 역할이 바뀌는, 즉 섞인다는 개념은 이 논문의 유리질 점토와 거의 유사하다.

이집트 페이스트처럼 알칼리성분이 많은 알칼리성 점토는 건조 과정에서 순수한 알칼리, 탄산수소나트륨, 탄산칼륨, 탄산리튬의 가용성염이 표면

---

56) Peter Raven, 「Art Education-Egyptian Past」, (Published By: National Art Education Association, Vol. 21, No.2, Feb. 1968), p.22.
57) Daniel Rhodes, 『Clay and Glazes for the Potter』, (KRAUSE, 2000), p.130.

으로 이동해 분말 형태의 흰색 슬래그를 만든다. 소성 과정에서 슬래그가 녹아 유리질 유약과 함께 높은 유리질의 표면상태를 만드는 것이다. 발색제는 기본적인 혼합 산화물에 섞여 알칼리성 재료와 함께 용융되고 유리질이 형성되기 시작하는데, 이는 강렬한 발색을 위한 훌륭한 조건이 된다. 발색제는 주로 구리, 코발트, 망간 등의 혼합물이다. 이집트 페이스트는 알칼리성 산화물 성분의 비율에 따라 유리질 정도와 발색이 다양하다. 이집트 페이스트의 소성 온도 또한 성분비에 따라 다르며 용융온도는 Cone 012(861℃) 과 Cone 04(1063℃) 사이에 있고 산화 분위기가 일반적이다. 일례로 Cone 08(942℃)과 Cone 010~06(903~998℃)의 이집트 페이스트의 조성비는 [표 18][58]과 같다.

58) Robin Hopper, 『Pottery Making Illustrated』.
'Egyptian Paste', (©2010 Ceramic Publication Company. 2010), pp.07-08.

[표 18] Cone 08과 Cone 010-06의 이집트 페이스트 조성비			
Cone 08의 이집트 페이스트 조성비		Cone 010-06의 이집트 페이스트 조성비	
재료	조성비(%)	재료	조성비(%)
Feldspar (장석)	36.0	Soda Feldspar (소다 장석)	38.0
Silica (규석)	18.0	Silica (규석)	38.0
Kaolin (고령토)	14.0		
Ball clay (구상 점토)	5.0	Ball clay (구상 점토)	12.0
Sodium bicarbonate (탄산수소나트륨)	5.5	Sodium bicarbonate (탄산수소나트륨)	6.0
Soda ash (소다회)	5.5	Soda ash (소다회)	6.0
Calcium carbonate (탄산칼슘)	4.5		
Fine white sand (구운 백색 모래)	7.0		
Bentonite (벤토나이트)	4.5		
	100		100

이집트 페이스트 조성 시, 유리질을 충분히 형성하기 위해서는 가급적 용융성 점토의 함량은 높여야 하며, 가용성 성분을 표면으로 잘 이동시키기 위해서는 내부구조가 다공질이어야 한다. 이집트 페이스트에는 일반적으로 모래, 장석 등 약 60% 이상의 비가소성 성분이 포함되어 있다. 점토의 첨가량은 유리질에 따라 보통 20% 정도이며, 가용성 소다 화합물이 적어도 10%는 함유되어 있다. 여기서 소다는 소다회, 탄산수소나트륨, 붕사 또는 이들의 조합으로 이루어져 있다. 대다수 역사적 사례에서 이집트 페이스트는 산화 소성에 따른 구리 성분의 발색으로 터키석의 색상을 띠며, 구리가 3% 정도가 넘으면 강한 청색을 띤다.[59]

59) 위의 책.

이집트 페이스트는 가소성이 부족하므로 성형이 어려워 주로 매우 작은 보석, 부적, 작은 부장 조각상 제작에 사용되었다. 구체적인 예는 [그림 2][60]와 같다. 첫째는, 베스의 부적과 드럼(Amulet of Bes with tambourine), 둘째는 연꽃 받침 펜던트(Pendant Lotus Sepal), 셋째는 핸드 인레이(Hand Inlay), 넷째는 마아트 비문이 있는 코우로이드 도장(Cowroid Seal with Maat inscription)이다. 이 네 개의 이집트 페이스트 조각상은 유리 질감이 비교적 뚜렷하고 광택이 있지만 용융온도가 높지 않아 투광도가 전체적으로 떨어진다. 이 유리질은 유동성이 없는 편이며, 발색제의 성분 조합을 활용해 청색과 녹색계열의 다양한 색을 보여준다.

이집트 페이스트는 이 논문의 연구주제인 유리질 점토의 가능성을 직접적으로 시사하고 있다. 유리질 성분, 융제, 점토 등이 서로 녹아 혼합되는 조성방식은 재료와 불에 대한 직관과 관찰을 통한 창조적 사고방식으로, 오늘날에도 많은 관심을 끌고 있다.

---

60) 사진 출처: 메트로폴리탄 미술관 (The Metropolitan Museum of Art). https://www.metmuseum.org/

'1. Amulet of Bes with tambourine, 기원전 1390-1352년, 높이 1.6cm.

2. Pendant Lotus Sepal, 기원전 1390-1352년, 높이 4.1cm, 넓이 1.2cm, 두께 0.3cm.

3. Hand Inlay, 기원전 1390-1352년, 높이 2.1cm.

4. Cowroid Seal with Maat inscription, 기원전 1390-1352년, 높이 1.5cm.'

[그림 2] 1. Amulet of Bes with tambourine 2. Pendant Lotus Sepal 3.Hand Inlay 4. Cowroid Seal with Maat inscription

3-1-3. 중국 고대유리(古代琉璃)

지역별·시기별로 중국 고대유리의 특징이 다양하나 주로 중국 고대유리의 기본조성과 성분을 파악하고 구체적인 사례들을 비교 분석해 고대유리 유리질의 특징을 파악고자 하였다. 중국 고대유리의 기본조성과 성분, 그리고 유리질의 특징은 이 연구의 유리질 점토와 유사한 점에 많다.

중국 고대유리의 기원은 고대 동서 문명과 깊은 관계에 있다. 중국의 가장 오래된 유리 장식은 춘추 말기, 전국 초기의 귀족묘지에서 발견된 바 있으며 이는 서아시아 제품으로, 중앙아시아 유목민을 통해 중국에 전해진 것이다. 이를 중국의 장인들이 그들의 본토 즉 중국의 원료를 활용하여 모방품을 만들어낸 것이 고대유리의 시작이다. 서아시아의 소다-석회 유리(Soda-lime glass)와 달리 중국 전국 시기의 유리는 납-바륨 유리(Barium Glass)이고, 옥 기물을 모방해 제작되었다.[61]

중국 고대유리는 서주(西周) 시대부터 나타나기 시작해 청 강희건륭(康熙乾隆) 연간에 절정에 달하였다.[62] 과학적 분석에 따르면 중국 고대유리에는 납-바륨, 납, 나트륨, 칼륨, 나트륨-칼슘과 같은 화학 성분이 포함되어 있으며 녹는점은 약 1300℃라고 한다. 성분의 측면에서 중국 고대유리는 서양 유리와 다르다.[63] 서양의 유리는 주로 나트륨-칼슘 원소로 구성되어 있지만, 중국의 고대유리에는 주로 납과 바륨이 함유되어 있다. 고대유리는 화학적 조성에 따라 유리질의 특징과 발색이 다양하다.

중국 고대유리는 당시 장인들이 현지의 광물, 화공 원료, 그리고 녹는 조건을 연구한 결과다. 당나라 손스명(孫思邈)에 따르면"'수정을 2량을 갈아서 분말로 만들어 납을 넣어 녹인다(取水精2兩，未之; 取鉛煉者2斤，熔之)'. 여기서 수정은 이산화규소이고, 이를 간 분말을 납을 매개로 용융시

---

61) 安家瑤, 「중국 고대 유리의 고고학적 발현과 연구」, 한국학연구(제5집), 제5회 학술강연회<동서문화교류와 동양의 고대유리>, (1993), p.421.

62) Wang Chueng-yu, Tang Hua-juan, 「The Evolution and Development of Chinese LIULI(Colored Glaze) Composition」, (Glass & Enamel. 2014.8), pp.37-42.

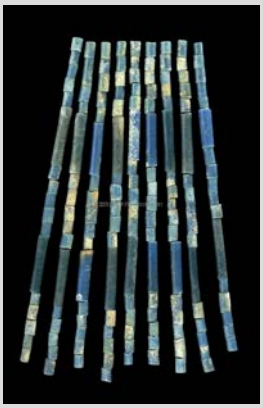
63) 金国民, 「璀璨之中国古琉璃」, (上海工艺美术 2010年02期), p.38.

켜 만들면 고납 유리((高鉛琉璃, SiO_2-PbO)가 된다."[64] 또 송나라의『조성법식(營造法式)』이라는 책에서 소개한 유리의 배합은 "'황납 3근, 구리 3량, 나학석 1근((黃丹3斤, 洛河石1斤, 銅末3兩)'으로, 나학석은 백색 규석암으로 SiO_2가 96.81%이고, 황납은 산화납(PbO)이다."[65] 고대유리에 관한 최초의 과학적 분석은 1789년 독일의 화학자 M.H.Klaproth에 의해 이루어졌다. 고대유리의 특성과 분류에 대한 본격적인 연구는 시간이 더 오래 지난 이후에 이루어 졌다. 1934년 영국의 (C)Seligman이 발표한 중국 전국시대 유리 연구는 서양에 없던 납-바륨 유리의 발견으로 고대유리 연구에 중요한 역사적 근거를 제공했다.[66]

역사 시대별 유리의 수요, 기능 및 원료를 문헌에 기록되거나 출토된 고대유리의 화학 성분을 분석하여 그 변천 과정을 [표 19][67]와 같이 정리하였다.

---

64) Wang Chueng-yu, Tang Hua-juan,
「The Evolution and Development of Chinese LIULI(Colored Glaze) Composition」, (Glass & Enamel. 2014.8), pp.37-42.
65) 위의 책.
66) 김주홍,「古代琉璃玉製作技術研究」, 목포대학교 대학원 고고인류학과 고고학전공 석사논문, (2007), p.3.
67) Wang Chueng-yu, Tang Hua-juan,
「The Evolution and Development of Chinese LIULI(Colored Glaze) Composition」, (Glass & Enamel. 2014.8), pp.37-42.

[표 19] 중국 고대 유리의 화학 성분 변천 과정		
시기	성분 계열과 함량	사례[68]
서주 (西周)	• 주로 칼륨-알루미늄-규산염(SiO_2-Al_2O_3-K_2O) • 규석이 주원료로, 초목재(草木灰)와 물을 섞은 후 가열 • 대부분 규석 결정으로 용융 온도가 700~800℃에 불과 • 유리질이 매우 적고, 때로는 점토를 넣어 성형하기도 함 • SiO_2 89~94%, Al_2O_3 0.3~3.5%, 융제는 대부분 K_2O로 총량이 0.3~3.5%	
춘추 전국 (春秋 戰國)	• 주로 칼륨-칼슘-규산염(SiO_2-Al_2O_3-CaO-K_2O)과 알루미늄 바륨 규산염 (SiO_2-Al_2O_3-PbO-BaO-R_2O) • 질산칼슘(KNO_3)도 융제로 도입 • Al_2O_3 1.35%, CaO 58%, K_2O 10~17% • 이 중 PbO는 저납(10% 이하), 중납(24% 내외), 고납(30%) 고루 사용 • Bao 는 PbO보다 함량이 낮고, 납의 함량은 3.310%	
양한 (兩漢)	• 납-바륨-규산염 계열이 주원료 • 저납 성분은 많지 않고, 대부분은 중납과 고납 • 산화바륨 함량이 높아져 보통 11~19%	
위진 남북 조 (魏晉 南北 朝)	• 고납-규산염(SiO_2-Al_2O_3-PbO-K_2O) 계열 • PbO 35~65%, K_2O 8~10%, Al_2O_3 31.5~2.5%, BaO 성분 없음	

68) 사례 사진 출처: LIULIART.CN http://www.liuliart.cn/Index.html

수, 당 (隋,唐)	• 고납-규산염(SiO_2-Al_2O_3-PbO-K_2O) 주성분 • 서양의 칼슘-규산염(SiO_2-CaO-Na_2O) 성분의 유입으로 SiO_2-Al_2O_3-CaO-Na_2O 성분의 경우도 있음	
송 (宋)	• 고납-규산염 성분이 주를 이룸 • PbO 함량이 낮아지고 K_2O 함량이 높아져 대부분 K_2O 10% 정도, CaO도 0.8~2.3% 함유	
원,명 (元,明)	• 주로 칼륨-칼슘-알루미늄-규산염 (SiO_2-Al_2O_3-CaO-K_2O) • 도가니 가마 유적에서 출토된 청색 유리 덩어리는 SiO_2 58.48%, Al_2O_3 36.58%, Fe_2O_3 0.30%, CaO 9.81%.MgO 0.26%, K_2O 16.07%, Na_2O 4.42%, TiO_2 0.23%, CuO0.81% 등을 함유하고 있음 • 명나라 초기 유리는 Al_2O_3 성분이 8.5~9.98%나 포함되어 있음	
청 (清)	• 청나라 초기에 알루미늄 성분의 점도가 높고 용융이 균일하지 않아 Al_2O_3를 낮춰 보통 0.15~1.97%, 가장 낮은 경우에는 0.08%에 그침 • SiO_2-Al_2O_3-CaO-K_2O 성분 외에 4~5% PbO, 때로는 B_2O_3을 넣어 팽창계수를 낮추고 열안정성을 높임 • 청 말기에는 순수한 염이 수입되고 소다칼슘-규산염 (SiO_2-CaO-Na_2O) 성분도 사용됨	

시기별, 지역별로 고대유리를 분석해 볼 때 고대유리는 납-바륨-규산염($PbO-BaO-Al_2O_3-SiO_2$), 칼륨-규산염($K_2O-Al_2O_3-SiO_2$), 고납-규산염($PbO-Al_2O_3-SiO_2$), 칼륨-칼슘-규산염($K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$), 나트륨-칼슘-규산염($Na_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2$) 크게 다섯 가지 계열로 분류할 수 있다.[69] 또한, 다섯 종류 중 Al_2O_3 성분이 많이 포함된 경우에는 점도가 높아지고 용융 시 얼룩이 생겨 줄무늬 등의 결함을 보인다. 또한 Al_2O_3 성분이 높은 고대유리는 부피가 작고 투명도도 낮은 편이다. 다섯 종류의 계열에서 주성분인 SiO_2와 Al_2O_3 성분을 제외하면 융제 성분의 변화가 가장 뚜렷하다. 융제 성분이 다른 것도 고대유리의 유리질 성격에 결정적인 역할을 하였는데 서주시대부터 K_2O, $PbO-BaO$, PbO, K_2O-CaO, Na_2O-CaO로 융제가 변화하였다.

중국의 고대유리 제조 시 용융 온도를 충분히 높이지 못해 규석이 완전히 녹지 않아 작은 기포가 많이 남았으며 유리질이 탁한 경우가 많다. 그러나 점차 구성 성분이 보완되고 소성 온도가 높아지면서 고대유리의 유리질도 초기 유탁에서 점점 더 투명하게 빛난다. 고대유리는 대부분 유색으로, 대부분 유백색, 연녹색, 짙은 녹색, 청색 등이며, 유리질은 대개 반투명하다. 사용된 발색제는 구리, 철, 망간, 코발트, 크롬 및 금 등이었으며, 굴절률이 높은 산화티타늄과 지르콘을 발색제로 사용하기도 했다. 산화티타늄은 철과 복합적으로 발색을 일으키며, 지르콘은 난용성의 유탁 효과를 낳는다. 화학 성분과 조성비에 따라, 그리고 발색제에 따라 중국 고대유리는 유리질의 성질이 각기 다르다.

그중 서주와 춘추전국시대 유리의 기본조성과 전국시대에 출토된 칼륨-칼슘-규산염 ($SiO_2-Al_2O_3-CaO-K_2O$) 계열의 고대유리가 연구자가 개발한 유리질 점토의 조성과 가장 비슷하였다. 유물로는 전국 곡문유리검수(谷紋琉璃劍首)와 전국 심록구름문유리벽(深綠色雲紋琉璃壁)[그림 3][70]이 있다.

---

69) Wang Changyu, Lu Qi, Wang Paul W, 「The evolution of Al_2O_3 content in ancient Chinese Glasses[A]」. Int Symp mater Eng[C]EDP Science THailang, (2016), pp.609-614.
70) 사진 출처: 中国长沙博物馆, https://www.csm.hn.cn/#/Collection/overview?page=1

[그림 3] 전국 곡문유리검수와 전국 심록구름문유리벽

중국 창사(長沙)에서 출토된 전국의 고대유리 벽은 원형으로 된 얇은 판자 모양으로 제사 등 종교행사에 사용되었다. [그림 3]의 춘추전국 고대유리 벽은 유리질화가 비교적 높고, 유리질 상태도 비교적 양호하며 광택이 있다. 그러나 유리질이 유탁하여 투명도가 높지 않아 옥과 같은 질감을 보인다. 유리질의 발색은 균일하고 맑은 편으로 하나는 청백색이고 하나는 청록색이다.

역사적 사례를 정리하자면 덕화백자는 점토가 고도로 유리질화된 예이며, 이집트 페이스트는 저화도 유리질 점토 혼합물의 예이고, 중국 고대유리의 기본 화학 조성은 연구자가 개발한 유리질 점토의 기본 조성과 유사한 예이다. 이집트 페이스트나 고대유리와 달리 유리질화가 높은 덕화백자의 점토는 유리질 점토와 유사한 소성 범위에서 비교할 수 있는 대표적 유사 사례이기도 하다. 이집트 페이스트는 높은 규소 함량과 높은 가용성 융제 성분과 매우 낮은 점토질 함량으로 유리질 점토 혼합물로 볼 수 있다. 점토와 유약의 역할이 분리되지 않은 제작방식과 그 화학적 조성은 덕화백자나 고대유리보다 연구자가 개발하려는 유리질 점토와 유사하다. 중국 고대유리는 연구자의 유리질 점토와 기본조성이 비슷한 편인데 특히 춘추전국 시대 고대유리의 칼륨-칼슘-규산염 (SiO_2-Al_2O_3-CaO-K_2O) 조성은 유리질 점토와 매우 비슷하다.

3-2. 작가 사례연구

이 연구의 유리질 점토와 유사한 재료 조성, 제작방식을 가진 현대 작가 사례는 대표적으로 미국의 알렉스 자블로키, 일본의 마사오미 야스나가와 슌 쿠마가이가 있다. 연구자는 이 세 명의 작가가 사용한 재료와 구체적인 제작방식을 다음과 같이 분석하였다.

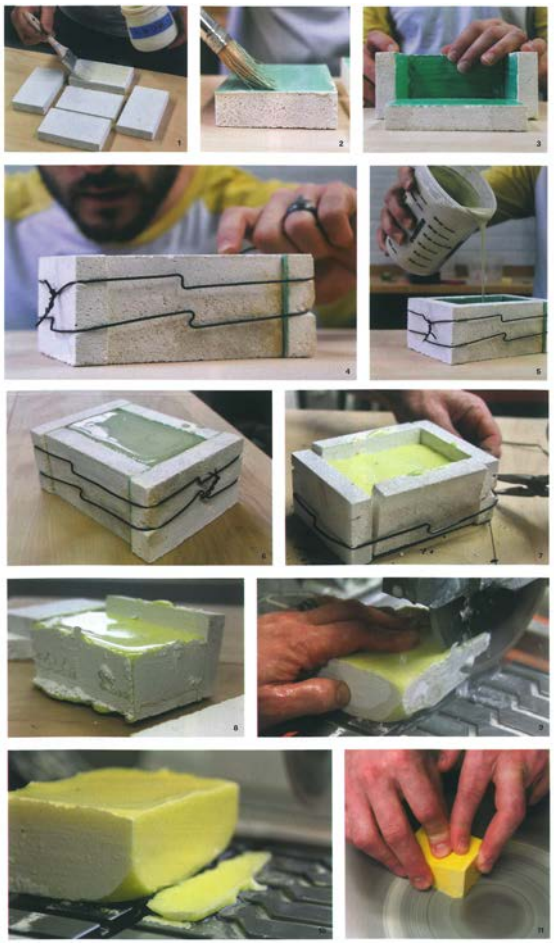
3-2-1. 알렉스 자블로키(Alex Zablocki)

알렉스 자블로키는 유약 덩어리와 점토를 결합하여 작업하는 미국 도예가다. 유약 덩어리와 점토를 따로 소성한 후 낮은 온도에서 소성하여 접착하는 방식으로 작업한다. 유약 덩어리와 점토의 유리질화 정도 차이로 나타나는 성질을 활용해 발색과 질감의 대비를 추구한다.

그는 연질 내화벽돌틀을 활용해 유약 덩어리를 만든다. 제작의 과정은 [그림 4][71]와 같다. 연질 내화벽돌틀은 연질 내화벽돌, 발수제, 부식방지용 왁스, 내열 강선으로 구성된다. 작가는 내화벽돌에 발수제를 바르고 건조 후 그 위에 부식방지용 왁스를 바른 다음 벽돌틀을 조립한다. 조립한 내화벽돌틀의 바깥쪽으로 내열 강선을 구부려 고정한 후 안에 액체 유약을 붓고 건조시킨 뒤 가마에 굽고 이후 내열 강선과 내화벽돌틀을 제거하여 소성된 유약 덩어리를 꺼낸다. 소성한 유약 덩어리는 습식 타일절단기로 절단한 후 연마해 다듬는다.

---

71) Alex Zablocki,『Ceramics Monthly: Glaze Chunks』, (American Ceramic Society, 2020.3), pp.56~59.



[그림 4] 유약 덩어리의 제작과정

유약 덩어리의 소성은 대부분 Cone 02(1102℃)~Cone 05(1031℃) 사이의 낮은 온도로 진행된다. 알렉스 자블로키는 필요에 따라 소성 온도를 조절하여 유리질의 용융 상태를 제어한다. 유약을 충분히 녹이기 위해서 소성을 서서히 진행하며, 유약에 금이 가거나 깨지는 것을 막기 위해 150℃ 이하에서 냉각한다.

알렉스 자블로키의 작품은 보통 3회에 걸친 산화 소성으로 제작된다. 세 번에 걸친 소성은 단계적으로 온도를 낮춰 진행한다. 먼저 Cone 9(1280℃)의 온도에서 물레 성형으로 만든 기물을 굽고, Cone 02에서 Cone 05 사이 온도에서 유약 덩어리를 별도로 제작하고, 기물과 유약 덩어리를 부착하기

위해 더 낮은 온도로 다시 한 번 굽는다. 예를 들어 [그림 5][72]에 나타난 작품은 크기와 색이 서로 다른 유약 덩어리와 거친 점토로 제작된 화병의 형태로 물레 성형한 화병은 Cone 9 온도에서 산화 소성, 유약 덩어리는 Cone 02 온도에서 산화 소성, 그리고 이들을 조합하여 Cone 01(1119℃)의 온도에서 다시 산화 소성하였다.

알렉스 자블로키와 같이 유약을 기물에 시유하는 통상적 방식을 벗어나 다르게 사용하거나, 서로 결합하는 방식, 유약이 만들어내는 독특한 유리질 질감과 색상 등은 연구자의 유리질 점토 개발과정에 많은 시사점을 던져 주었다. 특히 연구자는 틀을 사용하는 제작방식에 주목하고 이를 응용하였다. 가소성이 낮은 유약을 일정한 형태로 소성하기 위해서는 틀 사용이 불가피하다. 그러나 위 사례작가의 틀 제작방식을 사용하는 경우, 소성 후 유약의 형태가 유약의 유동성과 열팽창으로 인하여 기존 틀 형태와 달리 변형된다. 따라서 작가는 직각을 맞춰 절단하거나 연마를 하는 2차 가공을 진행하는 것으로 보인다. 연구자는 소성 과정에서 유약의 변형을 줄일 수 있도록 틀 제작방식과 소성방식을 보완 및 개선하였다.

[그림 5] 알렉스 자블로키의 작품

72) 작품 사진 출처: Alex Zablocki, 『Ceramics Monthly:Glaze Chunks』, (American Ceramic Society, 2020.3), pp.56~59.

3-2-2. 마사오미 야스나가(安永正臣)

유리질화된 조각과 천연 사질을 작품의 주요 재료로 사용하는 일본의 도예가다. 유리질의 재료에 따라 여러 모습으로 녹은 형태와 온도에 따른 점성을 활용하여 완성된 작품들은 천연 사질과 어우러져 독특한 조형성을 연출한다. 마사오미 야스나가의 작품에서는 서로 다른 재료, 각기 다른 질감, 그리고 고온에서 생성된 유리질의 특징이 시각적으로 잘 드러난다.

마사오미 야스나가의 제작 방법은 알렉스 자블로키와 확연히 다르다. 마사오미 야스나가는 자연 모래 또는 돌을 틀로 사용하며 점토의 겉면에 모래나 자갈 등을 묻혀 소성한다. 장석, 암석, 금속 또는 유리 분말 등의 다양한 재료를 섞어 소성하고, 유리질과 모래가 녹아 만들어진 조형물은 유물 발굴현장에서 발굴된 것 같은 느낌을 준다 [그림 6][73].

[그림 6] 마사오미 야스나가의 작품

[그림 6]의 좌측 작품은 유리질 재료를 점토로 사용해 형태를 성형한 후 모래에 묻혀 구워낸 작품이다. 높이가 10cm정도인 그릇 형태로 그리 크지 않다. 자연의 돌이나 모래가 소성 시 녹은 형태 위에 부착되면서 독특한 재질감을 형성한다. [그림 6]의 우측 작품은 유리질 재료를 점토가 아닌

73) 작품 사진 출처: https://www.nonaka-hill.com/artists/118-masaomi-yasunaga/

유약으로 사용한 경우로, 비교적 크기가 큰 조각 작품이다. 다량의 자연재료가 유리질 유약과 얽히며 부착되어 있는 형상이다.

알렉스 자블로키가 냉각 후 가공을 통해 비교적 정돈된 형태로 마무리하는 것과 달리 마사오미 야스나가는 유리질의 유동성과 점성을 적극적으로 활용해 원색적이고 거친 조형성을 표출한다. 다른 유동성과 용융 정도, 점도를 통해 형성되는 유리질이 각기 모래와 자갈 사이로 침투해 달라붙는 정도에 따라 다층적인 질감을 형성한다. 유리질 재료, 유약, 자연 모래 등의 재료가 얽히고설키면서 조화를 이룬다. 또한, 소재의 전체적인 색조 배합에 따라 유리질의 색상도 달라진다. 그는 이렇게 자연스러운 방식으로 거친 대비를 만들어 유리질 재료의 물성을 강하게 드러낸다. 이처럼 마사오미 야스나가의 작품은 유리질 재료를 점토나 유약으로 사용해 함께 조형한 형태로서 도자 재료들 간의 관계를 강조하기도 한다. 또한, 이는 연구자에게 유리질 점토 개발과 제작기법에 대한 다양한 발상을 제공하였다.

3-2-3. 순 쿠마가이(熊谷 峻)

순 쿠마가이는 일본의 유리 공예가다. 그는 유리 주조 방식을 활용하여 내화성 틀에 용융된 유리 소재를 부어 냉각, 경화시켜 모양을 만든다. 주조 방식을 통해 유리 재료의 조성이나 틀의 재질과 표면상태에 따라 다양한 표면 질감을 연출할 수 있다. 순 쿠마가이의 작품은 유리와 점토의 물성을 결합한 것으로 유리, 점토, 금속을 자유롭게 활용해 제작한 작품이다.

그는 작품을 제작하기 위해 먼저 왁스로 원형을 제작하고 석고를 사용하여 틀을 만든다. 제작한 석고틀에 1000℃ 정도에서 녹인 유리, 점토, 금속 등을 함께 붓고 7~10일 정도의 냉각과정을 거친 후 틀에서 분리한다. 틀은 여러 번 사용할 수 있지만, 항아리와 같은 복잡한 형태의 경우에는 [그림 7][74]과 같이 틀을 깨서 제거한다.

석고틀에 유리, 점토, 금속을 섞은 유리질 재료를 넣고 가열되면 화학반

74) 사진 출처: https://kkumashunn.wixsite.com/shunkumagai

응이 일어나 다채로운 유리질 표면을 생성한다. 이와 같은 작업 방식을 통해 슌 쿠마가이는 화학적 변화가 만들어내는 불규칙하고 예상치 못한 질감이 훨씬 매력적이라는 사실을 발견한다. 슌 쿠마가이가 만든 작품 [그림 8][75]을 보면 발색제에 따라 질감과 발색이 다양하고 특히 유리질 표면에 달라붙은 점토가 투명도가 높은 유리질과 강력하게 대비되면서도 시각적으로 조화롭고 자연스럽다.

[그림 7] 슌 쿠마가이의 작품 제작과정

[그림 8] 슌 쿠마가이의 작품

슌 쿠마가이의 작품은 알렉스 자블로키, 마사오미 야스나가의 작품과 마찬가지로 산화 소성이다. 사용하는 유리질 재료는 다르지만 모두 유리질의 용융 특성을 활용해 틀을 이용한 성형법을 채택하였다.

세 작가의 작업에서 가장 큰 차이는 크게 두 가지인데, 하나는 유리질 재료의 차이이고, 다른 하나는 제작방식에서 틀의 선택이다. 첫 번째, 유리

75) 작품 사진 출처: https://kkumashunn.wixsite.com/shunkumagai

질 재료에서 알렉스 자블로키와 마사오미 야스나가는 유약을 주재료로 삼고 있으며, 슌 쿠마가이는 유리를 주재료로 삼는 것이 다르다. 선택한 유리질의 재료에 따라 소성 온도와 냉각 시간이 다르고 유리질의 질감과 발색도 다양하다. 두 번째는 틀의 차이로 알렉스 자블로키는 잘라낸 내화벽돌, 마사오미 야스나가는 천연 모래와 자갈, 슌 쿠마가이는 석고로 틀을 만들어 사용하였다. 틀을 활용한다는 공통적인 제작방식은 유리질 점토가 일반 점토와 달리 가소성이 없다는 점과 용융 시 별도의 틀 없이는 유동성을 통제하기 어렵다는 점에 기인함을 알 수 있다.

4. 청자유약을 활용한 유리질 점토

청자유약은 전형적인 환원 유약이며 발색 조건이 까다롭다. 청자유약의 조성은 일반적인 유약과 비슷하나 풍부한 SiO_2를 함유하고 발색을 위해 일정한 양의 Fe_2O_3 성분이 포함된다는 특징이 있다. 연구자는 지난 수년간 집중적으로 청자유약을 실험•연구하였고 작품 제작에 적극적으로 활용하였다. 또한 청자유약의 효과적인 발색을 위하여 두껍게 시유 하는 기법을 시도했고, 두꺼운 시유와 발색을 위해 더 효과적으로 조성한 청자유약을 개발해 왔다. 앞선 청자유약에 관한 연구가 자연스럽게 이 논문의 유리질 점토 개발과 접목되어, 청자유를 기반으로 한 유리질 점토 연구를 주제로 삼게 되었다.

청자유약을 활용한 청자색 유리질 점토 개발에 관한 이론적 연구는 다음 세 가지로 진행되었다. 첫째는 청자유약의 역사적 사례 조사 및 화학 조성에 따른 발색 분석, 둘째는 청자유약의 현대적 사례에 대한 조사와 분석, 셋째는 청자색 유리질 점토의 기본적 정의와 특징에 관한 연구이다.

4-1. 청자유약의 역사적 고찰

청자유약의 물리 화학적 특징에 대한 이해를 위해 연구자는 청자유약의 대표적인 유형을 열거하고 정리하였으며 유약의 화학 조성, 용융 상태, 유동성, 질감 및 발색 등의 기본적인 특징을 문헌을 통해 비교 분석하였다.

재와 점토의 비의도적인 화학적 결합으로 탄생한 청자유약은 고온 투명 유리질 유약으로서 황색부터 청색까지의 색상을 띤다. 시기별로 청자유약의 특징엔 차이가 있는데, 화학 성분, 조성비, 소성 온도, 소성 방식 등 재료와 소성 방식에 따라 발색과 질감이 다르기 때문이다.

연구자는 중국의 장대한 도자 자료를 활용하여 중국의 월요(越窯), 요주요(耀州窯), 임여요(臨汝窯), 용천요(龍泉窯), 경덕진요(景德鎮窯) 그리고 한국의 고려요에서 만든 청자유약을 집중적으로 탐구하였다. 실물 자료를 바탕으로 진행된 선행연구들을 통해 시기별 청자유약의 화학 조성을 비교 분석할 수 있었는데, 여섯 개의 서로 다른 요에서 생산된 청자유약의 성분 및 화학 조성은 [표 20][76]과 같다.

---

76) 월요, 요주요, 임여요, 용천요, 경덕진요 및 고려청자유의 화학 성분과 함량은
Nigel Wood, 『Chinese glazes:their origins, chemistry, and re-creation』, (University of Pennsylvania Press, 2007), p.40, p.58, p.116.
월요, 요주요, 임여요, 용천요, 경덕진요 및 고려청자유의 사진 출처: 중국 고궁박물관 https://www.dpm.org.cn/Home.html.
고려 청자유의 사진 출처:
한국 중앙박물관 http://www.museum.go.kr/site/main/relic/treasure/view?relicId=1193.

[표 20] 월요, 요주요, 임여요, 용천요, 경덕진요 및 고려청자유의 성분, 함량, 대표 유형과 확대면							
		월요	요주요	임여요	용천요	경덕진요	고려요
성분과 함량 (%)	SiO_2	57.40	61.40	68.10	66.10	65.80	59.60
	Al_2O_3	12.50	16.30	14.50	14.40	13.80	14.10
	TiO_2	0.80	0.41	0.20	0.10	0.06	0.10
	Fe_2O_3	1.80	1.90	1.50	1.00	0.80	1.40
	CaO	20.03	16.00	7.70	13.20	14.15	16.00
	MgO	2.00	1.50	0.60	0.80	0.60	2.70
	K_2O	1.30	1.70	4.30	4.60	1.55	3.80
	Na_2O	0.90	0.20	1.60	0.30	2.74	0.80
	MnO	0.00	0.07	0.00	0.16	0.00	0.40
	P_2O_3	1.50	0.80	0.4	0.00	0.00	0.70
대표유형							
확대면							
명칭		청자유 직경병 (直頸瓶)	청자유 각화병 (刻劃瓶)	청자유 현문병 (鉉紋瓶)	청자유 종식병 (琮式瓶)	청백유 각화매 (刻劃梅瓶)	청자유각 매화병 (梅花瓶)

시대별·지역별 성분과 조성비를 살펴보면 기본적인 화학 조성이 거의 유사함을 알 수 있다. 청자유약을 구성하는 기본 화학 성분은 SiO_2 Al_2O_3, K_2O, Na_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, TiO_2, MnO, 그리고 유탁 성분 P_2O_3 등으로 요약할 수 있다. 주성분이자 유리질 성분인 SiO_2와 Al_2O_3의 조성비에 시기별 차이가 있고, 알칼리성 융제 성분인 K_2O, Na_2O, CaO, MgO의 배합 비율이 각기 다양하며, 발색 성분 Fe_2O_3, TiO_2, MnO의 배합 비율이 서로 달라

유약의 용융 상태, 질감, 발색을 다르게 만든다.

여섯 개의 청자유약 중에서 첫 번째로 월요의 청자유약은 유리질 성분 SiO_2와 Al_2O_3를 가장 적게 함유하고 있지만 융제 성분인 K_2O, Na_2O, CaO, MgO의 총량은 가장 높다. 또한, 월요 청자유약은 CaO 성분이 가장 많이 함유된 석회 유약의 전형이다. 이런 유리질 유형의 특징은 용융온도가 비교적 높고, 유동성이 크고, 투명도와 광택도가 높다. 또 화학 조성 중 발색제의 성분은 Fe_2O_3, TiO_2이며 여섯 개의 청자유약 중 Fe_2O_3와 TiO_2 성분을 비교적 많이 함유하고 있다. TiO_2 성분이 높은 유약은 일반적으로 노란 청록색 색상을 띤다. 하지만 발색에 미치는 영향력은 TiO_2 성분의 함량보다 소성 분위기에 의한 것이 더 크다고 볼 수 있다.

두 번째로 요주요의 청자유약은 유리질 성분 SiO_2와 Al_2O_3 이 가장 많고 융제 성분 K_2O, Na_2O, CaO, MgO 중에서 CaO 성분이 가장 많다. 이 유형도 월요 청자유약처럼 칼슘 함량이 높은 석회유에 가깝다. 발색제의 성분은 Fe_2O_3, TiO_2, MnO로, 여섯 개의 청자유약 중 Fe_2O_3와 TiO_2 성분이 가장 많다. 이러한 유형의 발색은 일반적으로 짙고 탁한 청록색을 띤다.

세 번째로 임여요 청자유약은 SiO_2를 가장 많이 함유하고 있다. 융제 성분인 K_2O, Na_2O, CaO, MgO의 함유량은 적은 편이며, 다른 유약과 달리 CaO 성분을 가장 적게 함유하고 있다. 임여요 청자유약은 칼슘과 칼륨 량이 비슷한 석회-알칼리 유약이다. 이러한 유형의 유리질 특징은 용융 온도가 낮고, 고온 유동성이 적으며, 매우 두꺼운 유리질층을 형성하지만, 두께가 증가하면 투명성과 광택도가 낮아진다는 것이다. 발색제 성분인 Fe_2O_3, TiO_2 중, 특히 TiO_2 성분이 낮다. 이런 유형의 유리질의 발색은 일반적으로 하늘색과 같은 청색을 띤다.

네 번째로 용천요 청자유약은 유리질 성분 SiO_2 및 Al_2O_3 성분이 비교적 높게 함유되어 있다. 융제 성분은 K_2O, Na_2O, CaO, MgO이며, CaO, K_2O, Na_2O를 주요 융제로 하는 유약이다. 이러한 유약은 높은 점성을 가지고 있어 고온에서 잘 흐르지 않기 때문에 두꺼운 유리질층을 형성하기 수월하다. 또한 유리질은 반투명하고 광택이 적다. 발색제 성분 Fe_2O_3, TiO_2, MnO

에서 TiO_2 성분이 비교적 많아서 탁한 녹색이나 청록색을 띤다.

다섯 번째로 경덕진요의 청자유약은 유리질 성분 SiO_2를 많이 함유하고 융제 성분 K_2O, Na_2O, CaO, MgO에서 CaO, K_2O, Na_2O를 주요 융제로 하는 유약이다. CaO, K_2O, Na_2O의 비율이 비교적 크기 때문에 용융도가 비교적 높으며 유동성이 크고 투명도와 광택도가 높다. 이는 임여요 청자유약과 반대되는 특징이다. 발색제의 성분인 Fe_2O_3와 TiO_2의 함량이 적어서 일반적으로 담청색을 띤다.

마지막으로 고려청자유약은 유리질 성분 SiO_2 및 Al_2O_3 함량이 높고 융제 성분 K_2O, Na_2O, CaO, MgO에서 CaO, K_2O, Na_2O의 비율이 비교적 크다. 이러한 화학 조성으로 이루어진 유리질의 특징은 용융도가 높고 유동성이 크고 투명도와 광택도가 높다. 발색제 성분인 Fe_2O_3, TiO_2, MnO에서 Fe_2O_3의 함량이 높다. 이런 유형은 일반적으로 짙은 청록색을 띤다.

역사적인 가치가 있는 청자유약을 여섯 개의 유형으로 나누어 조사·분석한 결과, 청자유약은 기본적으로 SiO_2를 주성분으로 하며, 함유된 유리질 성분과 알칼리 융제 성분의 조합과 배합 비율이 다양해 용융 정도에 따라 생성되는 유리질의 조성 질감과 발색이 다양함을 알게 되었다. CaO, K_2O, Na_2O를 주요 융제로 삼는 경우에, 알칼리 금속의 함량이 높아 점성이 증가하여 고온에서 잘 흐르지 않아 두꺼운 유리질층 형성에 용이하다. 이렇듯이 CaO를 단일 융제로 하는 경우에 K_2O, Na_2O, CaO, MgO 등 다양한 융제를 혼합해 쓰면 진일보하면서 더 안정적인 화학반응이 촉진되고, 용융온도가 넓은 유리질을 형성할 수 있다.

발색제는 모두 기본적으로 Fe_2O_3 성분을 함유하고 유약에 따라 TiO_2, MnO를 포함한다. 발색 산화물의 함량 비율과 종류에 따라 청자색 유리질의 색상과 색조의 농담 변화가 결정된다. TiO_2 성분을 적절히 배합하고 환원 강도를 낮추면 황록색 계열의 청자유가 된다. 또한, MnO 성분의 배합은 청자유약 유리질의 질감을 유지하지만, 색상의 채도를 떨어뜨린다.

4-2. 청자유약의 현대적 활용 사례

연구자는 청자유약의 특징을 효과적으로 활용한 현대적 사례로서 일본 도예가 후카미 수에하루(深見陶治,1947~)와 요사가와 마사무치(吉川正道, 1968~)의 작품을 들고자 한다. 대표적인 작품은 [그림 9, 10]과 같다. 두 작가의 작품에서 유리질의 용융 상태, 고온 유동성 등의 특징을 활용한 작가의 제작 의도를 분석하였다.

후카미 수에하루의 작품[그림 9][77]은 백자 점토로 제작되었는데, 칼날과 같이 유려하게 뻗은 선과 모서리가 날카롭게 마무리된 형태로, 그 위에 청자유약을 매끄럽고 두툼하게 입혀 소성한다. 그의 작품에 활용된 청자유약은 곡선의 형태와 잘 어우러져 꺾이는 각도의 변화에 따라 어느 부분에서는 얇게 때로는 두껍게 퍼지며 농담 효과를 나타낸다. 작가가 사용한 청자유약은 유리질의 용융온도가 넓고 고온에서 점도가 높아 유동성이 낮은 것이다.

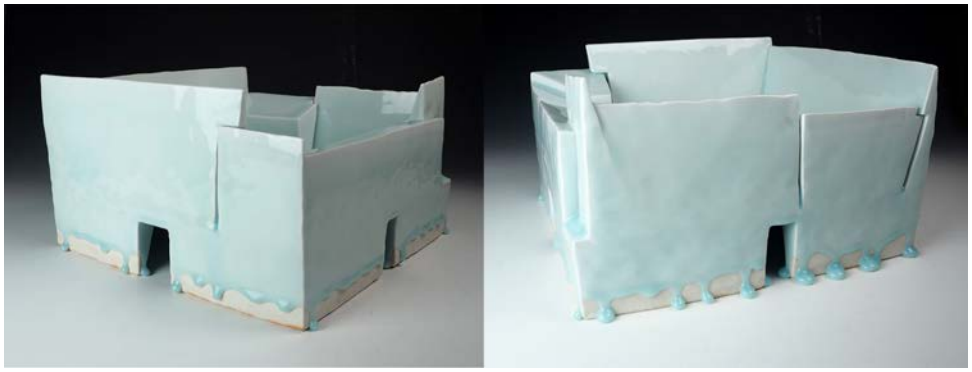
[그림 9] 후카미 수에하루의 작품

이처럼 후카미 수에하루는 청자유약의 특성을 잘 파악하고, 화학 조성을 통해 유리질의 고온 점도와 유동성을 조절하여 청자유약과 백색 점토가 조화를 이루는 표현 가능성을 보여준다.

요사가와 마사무치의 작품[그림 10][78]에서 사용된 청자유약의 가장 뚜렷

77) 작품 사진 출처: 높이 19cm, 넓이 40cm, 길이 120cm.
https://lighthouse-kanata.com/artists/sueharu-fukami
78) 작품 사진 출처: 높이 45.7cm, 넓이 36.8cm, 길이 35cm.

한 특징은 유약의 유동성이다. 요사가와 마사무치의 작품은 백자토를 이용해 개별로 제작한 개체들을 서로 이어 붙여 형태를 만들고 유동성이 비교적 높은 청자유약을 시유하여 제작한다. 그의 작품에 사용된 청자유약은 밑으로 흘러내려 두툼하게 맺힌 유약 부분을 제외하고는 전체적으로 유약이 얇고 퍼져 있고 유리질의 유리질화와 투명성이 높다. 그가 사용한 청자유약이 유리질 점도가 낮고 고온에서 유동성이 크기 때문이다.



[그림 10] 요사가와 마사무치의 작품

이처럼 청자유약을 사용하는 두 명의 현대 작가의 사례 분석을 통해 알 수 있듯이, 모두 유리질의 용융온도를 조절하고 고온 점도 및 유동성을 파악하여, 백자 점토에 결합하는 방식으로 청자유 유리질의 질감과 발색을 효과적으로 활용하고 있다.

4-3. 청자색 유리질 점토

유리질 점토의 일례로서 청자색 유리질 점토의 개발과 활용은 이 논문의 핵심 내용이다. 이 연구의 청자색 유리질 점토는 **가능한 최대치의 가소성, 넓은 용융범위, 용융 시 다양한 유동성, 뛰어난 청자 발색을 확보하면서 소성 후 일정한 형태를 유지할 수 있는 새로운 재료**이다. 청자색 유리

https://www.daiichiarts.com/artworks/categories/1/2978-yoshikawa-masamichi-celadon-sculpture-kayoh-2014/

질 점토는 일정한 융점과 용융 상태가 없는 점토로서 필요에 따라 성분을 조성하여 규석의 함량 및 알칼리성 산화물의 비율 변화를 통해 다양한 효과를 나타낼 수 있다. 이집트 페이스트는 용융범위, 소성 방식, 발색제, 성형, 틀의 내화도에서 연구자가 개발한 청자색 유리질 점토와 구분되고, 덕화백자는 제작방식에서 큰 차이가 있다. 연구자는 유리질 점토에 관한 유사 사례와 청자유약에 대한 조사 분석을 통해 청자색 유리질 점토의 정의, 화학 조성, 가소성, 용융 상태, 발색 및 질감 등의 기본적인 특징을 개괄하여 청자색 유리질 점토의 일정한 기준을 마련해보고자 한다.

청자색 유리질 점토의 화학 조성은 청자유약의 기본 조성을 바탕으로 성분의 함량을 조절하는 방식으로 실험했다. 청자색 유리질 점토는 그 자체로 형태 제작이 가능한데, 성분비율에 따라 유약에 더 가깝거나 혹은 점토에 더 가깝게 만들 수 있다. 청자색 유리질 점토의 화학 조성에서 SiO_2 성분의 함량을 높여 SiO_2 과포화 현상을 유도함으로써 유동성을 조절하고 동시에 뛰어난 발색을 얻을 수 있었다. 여기에 더해 발색에 방해가 되지 않도록 Al_2O_3 성분 함량을 낮게 조정했다. 청자색 유리질 점토 개발은 애초에 SiO_2 함량을 높인 청자유약 실험을 계기로 시작되었다. 즉, SiO_2 함량을 증가시켜 환원 발색이 일정하게 유지되면서도 형태 변형은 최대한 감소시키고자 하는 의도에서 출발한 것이다.

청자색 유리질 점토의 주성분이 규석이고, 이는 비가소성 원료로 일반 점토와 비교하면 가소성이 현저하게 떨어지기 때문에 성형 가소성을 높이기 위해 필요에 따라 적절한 가소제를 첨가하는 실험으로 진행되었다.

청자색 유리질 점토는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 용융온도가 비교적 낮아 발생하는 큰 유동성을 규석 성분 증가로 조절하여 뛰어난 발색을 끌어낸 청자색 유리질 점토. 둘째, 용융온도가 비교적 높아 유동성이 적거나 없으며 규석 성분의 과포화 현상이 극심하면서도 어느 정도의 발색력이 유지되고, 작게나마 유동성을 부여하고자 할 때 규석 성분을 감소시켜 조절할 수 있는 청자색 유리질 점토를 말한다.

청자색 유리질 점토의 발색은 주로 금속산화물인 산화철(Fe_2O_3)을 중심

으로 하여 산화티탄(TiO_2), 탄산망간($MnCO_3$) 등의 발색제를 첨가하고, 거기에 다양한 종류의 알칼리성 융제를 조합해 발색을 조절한다. 하지만 규석의 과포화 정도에 따라 발색도는 현저하게 달라질 수 있는데, 대개 규석 성분의 과포화 정도와 색상의 명도는 비례한다. 일반적으로 청자색 유리질 점토의 발색은 크게 차가운 청색과 녹색 두 가지로 나눌 수 있다. 청색계열과 녹색계열 모두 발색제의 함량과 규석 성분의 과포화 정도에 따라 옅은 색상에서 진한 색상까지 색상 변화를 이루어 낼 수 있다.

청자색 유리질 점토의 질감은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 일반 광택 유약처럼 완전히 녹아 광택이 나는 표면이 형성되는 것이고, 둘째는 규석 성분의 과포화로 인해 불완전하게 용융되어 무광택 표면을 형성하는 것이며, 셋째는 기포를 발생시켜 거친 질감을 형성하는 것이다. 이 세 가지 질감은 청자색 유리질 점토의 화학적 조성과 용융온도를 통해 조절할 수 있다.

다시 정리하면, 유리질 점토는 일정한 융점과 용융 상태가 없는 점토로서 필요에 따라 규석 성분의 함량 및 알칼리성 산화물의 조성비를 달리하여 다양한 결과물을 얻을 수 있다. 단, 청자 발색을 위해 환원 소성은 필수적인데, 작품의 크기와 두께가 요구하는 조건에 소성 시간과 분위기를 잘 맞춰 주어야 한다.

제 3 장 유리질 점토 조성 실험

1. 기본 조성의 선택 및 시편 제작

유리질 점토의 조성을 위해서는 먼저 유리질화 조건에 대한 연구가 선행되어야한다. 따라서 연구자는 유리질화가 가장 높은 단계인 유약의 조성방식을 먼저 고찰한 후, 성분비 조율을 통해 점도와 가소성을 조절하여 새로운 점토를 개발하고자 하였다.

유리질 점토의 조성을 위해 연구자는 먼저 여러 유약 조성식을 비교·고찰하였다. 규석 함유량 증가를 통해 거의 모든 유약으로 사실상 유리질 점토를 개발할 수 있다고 할 수 있다. 유약제작은 기본적으로 제겔식, 장석유약, 전통 유약 조합비를 응용하여 진행된다. 본 논문에서는 이 세 가지 방법을 기본으로 하면서, 청자발색과 유리질화 정도를 조절하는 방식으로 유리질 점토 개발을 시도하였다. 따라서 연구자는 첫 번째, 제겔식(Segerformula)을 활용하였으며, 두 번째, 전형적인 장석유약을 선택했고 세 번째로는 문헌을 통해 송 관요청자의 다양한 성분비를 파악하고 이 중 하나를 선택하여 실험하였다.

1-1. 기본 조성의 선택

1-1-1. 제겔식(Segerformula)의 활용

유리질 점토를 개발하기 위한 기본 조성방법 중 첫 번째는 제겔식을 활용한 실험계획 수립이다. 제겔식은 유약의 조성에 필요한 산화물들을 몰(mole)비례로 염기성($RO+R_2O$), 중성(R_2O_3), 산성(RO_2)으로 묶어 표기해 유약의 성질을 일목요연하게 실험할 수 있고 용이하게 검토할 수 있는 유용한 기술방식이다. 유약의 성질을 쉽게 이해하기 위해서 일반적으로 유약 성분을 중량식이 아닌 제겔식(실험식, 시성식)으로 바꾸어 실험하게 된다.[79] 제

겔식을 사용한 정성·정량적인 조성비 계산으로 유약의 융점이나 표면상태를 예측할 수 있다.

제겔식은 재료를 융제 성분, 중성 성분, 산성 성분으로 나눠 묶어서 다음과 같이 몰(mole) 비례로 표기하는데 이때 융제를 이루는 총 몰(mole)비례의 합은 1로 한다. 이를 종합해 유리질 점토 실험을 위한 제겔식의 몰(mole)비례 구성을 정리하면 다음과 같다.

$$RO+R_2O : (y)R_2O_3 : (z)RO_2$$

제겔식은 원하는 점토의 결과물의 성질에 따라 성분의 종류와 사용량을 결정할 수 있게 한다. 제겔식에서 각 산화물의 몰(mole)량은 세 그룹으로 분류하여 표시는 다음과 같이 표시한다. x_1, x_2, y, z는 각 산화물의 몰(mole)량인데, 단, $x_1+x_2=1$이 되어야 한다.[80]

$$(x_1)RO \quad (y)Al_2O_3 \quad (z)SiO_2$$
$$(x_2)R_2O$$

이 연구에서 제겔식을 활용한 기본 점토의 제겔식, 재료 성분비 및 결과는 [표 21]과 같다. 기본 조성 SQ로 명징한 이 기본 조성에서 S는 제겔식을 의미하며 Q는 규석을 의미한다.

79) 글렌 C. 넬슨,『도자예술』, 임무근 신광석역, (미진사, 2001), p.218.
80) 이혜미,「SiO_2 함유량이 적은 무광택유에 관한 연구」, 서울대학교 대학원, (2015), p.4.

[표 21] 기본 조성 SQ의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.000 SiO_2 0.233 CaO 0.030 Fe_2O_3 0.233 ZnO 0.233 BaO	
성분비 (%)	장석	40.18
	고령토	6.60
	규석	30.67
	석회석	5.96
	산화아연	4.83
	탄산바륨	11.75
	산화철	0.30
결과	 SQ	

일반적으로 청자유약의 기본은 투명유로 거기에 일정량의 산화철을 첨가하고 환원 소성을 통해 청자유약이 완성된다. 실험에 사용하는 기본 조성 SQ 역시 투명유 조성을 바탕으로 한다. 또한, 1260℃ 이상의 고온 소성용 유약은 Al_2O_3과 SiO_2의 비율이 대개 0.5:5의 범위 내외다.[81] 그러나 연구가 출발점으로 삼은 점토의 기본 조성은 Al_2O_3과 SiO_2의 비율을 0.4:4로 조성하여 일반적인 유약의 조성보다 SiO_2의 함량이 많고, 상대적으로 Al_2O_3의 양이 적다. 알칼리성 산화물(융제) 및 Al_2O_3과 SiO_2에 대한 몰(mole)비가

81) 黃聖淵, 「釉의 生成 관한 考察 (Ⅱ) : 釉藥의 種類와 調合式」, 梨花女子大學校 美術大學 陶藝研究所, (1985), p.28.

1:0.4:4 일 때, Cone 9(1280℃)의 자기 소성을 위한 우수한 유리질 유약을 제조할 수 있다. 이론적으로 Al_2O_3과 SiO_2의 비율이 일정하게 높아지면 유약의 용융온도도 높아져 유리질의 유동성이 적어진다. 따라서 기본 조성 SQ의 Al_2O_3과 SiO_2의 비율을 낮춤으로써 유약의 용융온도도 함께 낮아진다.

K/Na_2O와 CaO는 도자 역사 전반에 걸친 필수 융제 성분이며, 청자유에서도 가장 기본적인 융제 성분이다. 또한, ZnO와 BaO의 조합은 유리질 생성 촉진과 산화철의 발색에 최적화된 분위기를 만들어 준다. 청자유약 융제는 단일 융제보다 다양한 융제를 함께 첨가해야 더 안정적인 용융을 촉진할 수 있다. 발색도의 효과적인 비교를 위해 산화철의 함량은 0.03몰(mole)로 정하였다.

1-1-2. 장석의 활용

장석은 가소성이 없고 단독으로 용융할 수 있으며 유약 조성에 활용되는 가장 대표적인 재료이다. 장석은 점토의 융제로도 사용되며 유약에서 유리질을 형성하는 주성분 중 하나이고 동시에 접착제의 역할을 하기도 한다.[82] 또한, 알칼리 금속 산화물(K_2O와 Na_2O)의 주요 공급원이기도 하다.

유리질 점토 개발을 위한 기본 점토 조성의 두 번째 방법으로 장석을 주성분으로 하는 장석유를 선택하였고, 장석과 규석의 함량을 조정하여 기본 점토를 실험하였다.

장석의 종류는 매우 많은데, 일반적으로 알칼리 금속 산화물(K_2O, Na_2O, CaO, BaO), 및 Al_2O_3 와 SiO_2로 이루어진 혼합 용융체이다. 장석을 그 자체만으로 용융시키면 유백색의 반투명한 유리질이 많은 완전히 녹지 않은 유약으로 보일 수 있다.

우선 나트륨-칼륨장석을 주성분으로 하는 기본 조성에서 규석 함량을 10% 늘리는 실험을 진행하였다. 장석, 규석, 산화철 성분의 기본 조성비 및 결과는 [표 22]와 같다. 이 경우 이름을 FQ로 명명했는데, F는 장석을 의미

82) 오영우 편저, 『세라믹스의 분석과 계산』, (경남대학교출판부, 1998), pp.28~29.

하며 Q는 규석을 의미한다.

[표 22] 기본 조성 FQ의 조성비 및 결과

조성비 (%)	규석	장석	산화철
	10	90	0.3
결과	FQ		

조합한 기본 조성 FQ의 실험 결과, 유리질화는 어느 정도 이루어졌지만, 산화철의 발색이 청자색을 띠지 않았다. 융제 성분의 부족과 장석 내 과대한 Al_2O_3 성분 탓에 다량의 탄소가 배출되지 못해 결국 어두운 회색조를 띠게 되었다. 따라서 장석을 기본으로 삼은 기본 조성 FQ에 일정한 융제를 첨가하여 산화철의 발색을 늘릴 필요가 있었다.

따라서 먼저 10%의 석회석을 첨가해 기본 조성 FQ의 유리질화 정도를 높였다. 새로 조합된 기본 조성 FQC(C는 석회석)의 재료 조성비 및 결과는 [표 23]과 같다. 석회석을 적당히 첨가해 용융온도를 낮추자 청자색이 뚜렷이 나타났다.

[표 23] 기본 조성 FQC의 조성비 및 결과				
조성비 (%)	규석	장석	산화철	석회석
	10	90	0.3	10
결과	FQC			

1-1-3. 송 관요(宋 官窯) 청자유약 성분의 활용

송 관요 청자에는 여러 종류가 있는데, 연구 의도에 맞춰 구성 성분 중 유리질 성분인 SiO_2 함량이 높고 Na_2O, K_2O와 CaO를 주 융제로 하는 석회 알칼리성 청자유약을 선택해 실험하였다.

이는 유리질 점토 개발을 위한 기본 점토 조성의 세 번째 방법으로 역사적·전통적 화학 조성비를 참고한 것이다. 연구자는 문헌 자료를 검토하여 용융온도가 높고 유동성이 적으며 유리질 질감과 발색이 뛰어난 송 관요 청자유의 조성비를 찾아냈다. 거기에 화학 조성 함량 비율을 계산하여 기본 점토의 조성식을 구성하였다.

선택한 송 관요 청자유의 화학 성분, 함량 및 사례 사진은 [표 24][83]와 같다. 송 관요 청자유의 성분에 SiO_2가 72%나 함유되어 있고 알칼리성 융제 성분이 14%나 들어 있다. 이 조성에서는 SiO_2와 알칼리 산화물 융제의 비율이 매우 높아 용융온도가 높고 유동성이 약하다는 것을 추정할 수 있

83) 故宮博物馆 编, 『官窑瓷器』, (北京 故宫出版社, 2016), p.70.
'관요분청유성(官窯粉青釉洗), 송, 높이 6.4cm, 구경 22.5cm, 바닥 지름 19cm.'

다. 조성의 높은 산화철 비율로 인해 유리질이 어두운 색상임을 추정할 수 있다.

송 관요 청자의 실물 사례는 [표 24]와 같이, 함량 비율로 추정한 결과와 유사하며, 점토와 유약의 적응성이 떨어져 유리질에 균열이 생기고, 내화도가 높아 유면의 유리질 질감이 약하며, 투명도가 높지 않은 회청색을 띠고 있다.

[표 24] 송 관요청자의 성분 및 성분비, 사례

성분	성분비 (%)	관요 분청청자
Na_2O	0.64	
MgO	0.60	
Al_2O_3	12.07	
SiO_2	72.02	
K_2O	4.64	
CaO	7.80	
TiO	0.08	
MnO	0.07	
Fe_2O_3	1.08	
Rb_2O	0191	
SrO	0.0364	
Y_2O_3	0.0061	
ZrO_2	0.0212	

송 관요 청자유약을 용이하게 조합하기 위해 성분비를 제겔식으로 추정하여 몰(mole)비의 조성식을 만들었다. 송 관요 청자유약을 바탕으로 조성식을 만든 기본 조성은 SS로 명명했다. [표 25] 기본 조성 SS에서 S는 제겔식을 의미하며 S는 송 청자를 의미한다.

[표 25] 기본 조성 SS의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.6501 CaO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2 0.0696 MgO 0.0016 SrO	
성분비 (%)	장석	25.76
	석회석	13.28
	고령토	16.50
	규석	42.14
	활석	1.79
	탄산스트론튬	0.05
	산화철	0.46
	지르콘	0.02
결과	 SS	

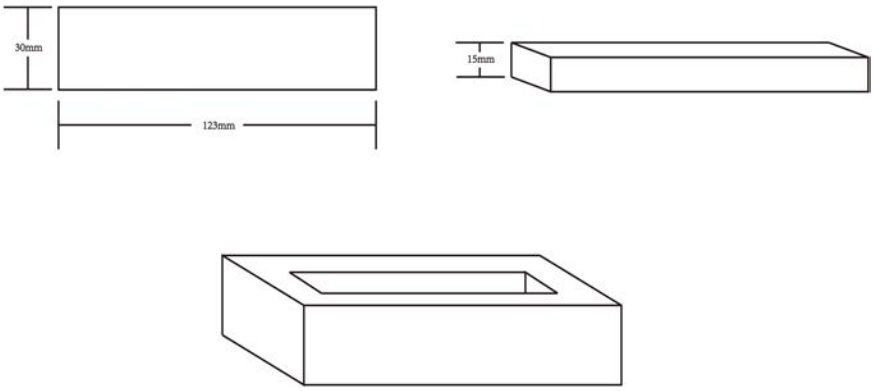
[표 25]와 같이 기본 조성 SS에서 SiO_2:Al_2O_3:알칼리성 산화물에 대한 몰(mole)비는 1:0.3:3.4이다. 염기성 산화물 융제는 Na_2O, K_2O, CaO, MgO 및 SrO이며, 그중 Na_2O, K_2O와 CaO의 몰(mole)비가 비교적 높아 주요 융제로 작용한다. 이 조합 결과를 보면 위의 제겔식, 장석유의 사례와 성질이 많이 다르다. 유동성이 낮고 유리질화가 낮다. 송 관요 청자유약은 유리질의 성질과 상태에 영향을 주는 요소가 많은데, 그중에서도 재료와 소성의 요소가 가장 크게 영향을 미친다. 이 두 가지 요소는 청자유약에 매우 큰 변화를 가져 왔다. 먼저 재료의 차이로, 기존에는 CaO를 주성분으로 하는 석회장석을 사용했다면 연구자는 Na_2O, K_2O를 주성분으로 하는 장석을 사용했다는 점이다. 소성 방법의 차이로, 송 대 가마의 연료는 나무나 석탄이었는

데, 연료가 타면서 나온 재에 있는 융제 성분이 다량 휘발되면서 일정 정도 유약의 용융에 영향을 미쳤다. 재 성분이 유약과 섞이며 용융을 촉진할 수 있기 때문이다. 그러나 연구자는 깨끗하고 빠른 전기환원 가마를 주로 사용하였다. 과거와 현대의 재료와 기술의 차이로 인해 결과에 어느 정도 편차가 생긴 것이다.

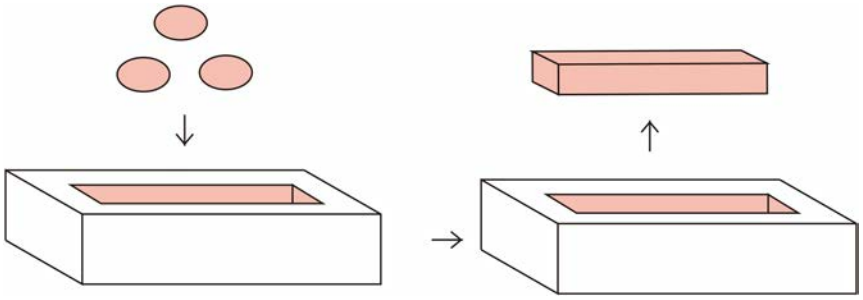
1-2. 시편 제작

시편 제작은 점토와 유약을 연구할 때 진행하는 가장 기초적인 작업이다. 시편의 소성 결과를 보고 비교하고 판단하며 실험을 지속하기 때문에 시편은 재료 연구에 매우 중요하다. 이 연구에서는 유리질 점토의 수축률, 용융도, 발색 효과 등을 쉽게 판단하기 위하여 동등한 직사각형으로 시편을 제작하였다.

시편은 가로 123mm, 세로 30mm, 높이 15mm의 직사각형을 기본으로 제작되었다. 동일 직사각형 시편을 만들기 위해 반복 생산이 가능한 틀을 석고로 제작하고 [그림 11], 석고 틀을 이용하여 [그림 12]와 같은 방식으로 시편을 제작하였다.



[그림 11] 시편과 시편틀



[그림 12] 석고틀을 활용한 시편 제작 과정

시편에 사용한 재료의 전체 건조 중량은 80g이다. 재료를 조합해 200 mesh 체로 섞은 뒤 수분을 넣어 가소성이 있는 수분 함량이 되도록 만든 후 틀에 넣어 만든다. 시편 재료의 종류에 따라 같은 무게를 혼합하여도 밀도나 팽창도가 다른 혼합물이 될 수 있다. 즉, 시편의 화학적 조성에 따라 수축률이 서로 상이하다는 말이다.

SiO_2, Al_2O_3 ,알칼리성분의 함량과 배합 비율이 모두 다르고 용융된 정도에 따라 유리질화 정도가 다르므로 소성 후 시편의 크기와 질감이 모두 다르다. 때문에 유리질 점토의 시편이 같은 크기로 고정되어도 소성 과정에서 서로 다른 화학반응이 일어나 최종적으로 균일한 형태가 되지는 않는다. 시편의 예시는 [표 26]과 같다.

[표 26] 시편 예시

연구자가 본 연구에서 시편을 제작할 때 사용한 재료의 화학조성은 [표 27][84]과 같다. 재료는 부여 장석과 중국 장석을 혼합한 장석, 청주 석회석, 인도네시아 고령토, 김천 규석, 중국 활석을 활용했다. 탄산바륨, 탄산마그네슘, 산화아연, 탄산스트론튬, 인산칼슘, 산화지르콘은 정제된 화공약품을 사용했으며, 산화철(석산도재), 산화티탄과 탄산망간(대원도재), SiC(한송글로벌)는 도재상에서 판매하는 것을 사용하였다.

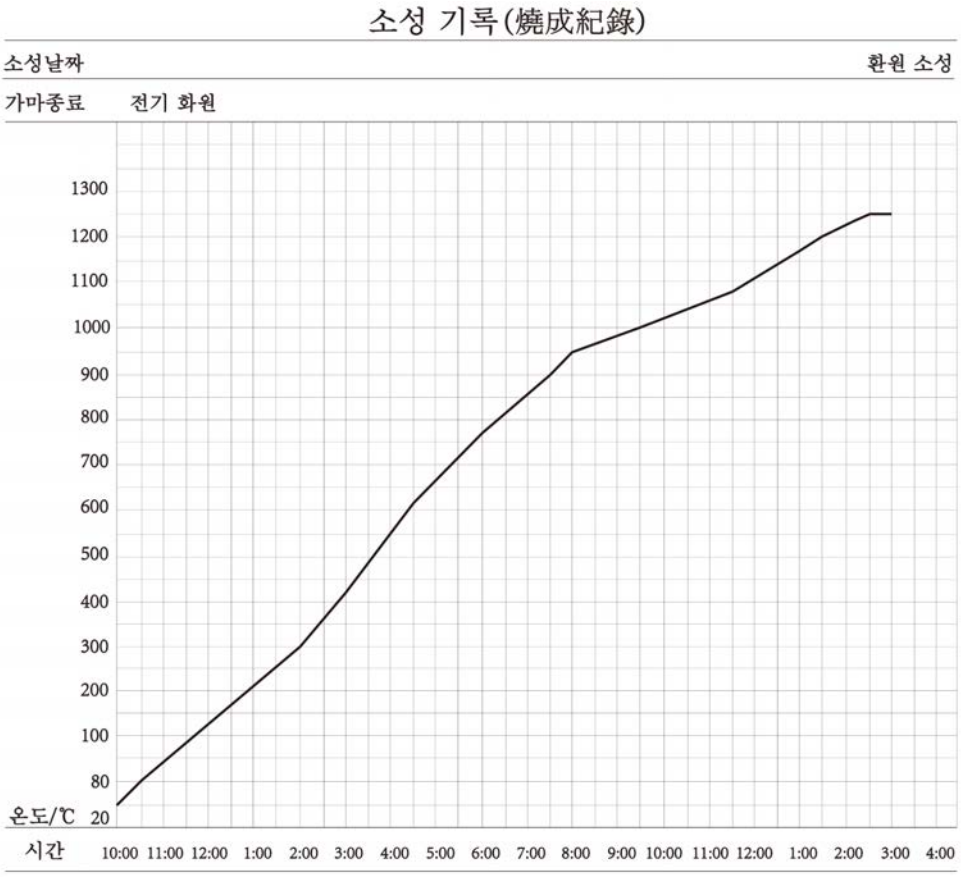
[표 27] 기본 재료의 화학 조성

명칭	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	99.70	0.01	-	0.02	-	0.02		-

유리질 점토로 제작된 소성물의 크기와 두께는 그 조건에 맞는 다양한 소성 스케줄을 필요로 한다. 이 연구는 청자색 유리질 점토의 개발과 연구에 집중되어 있으며, 청자색 발색에 유리한 재료의 조합과 소성 분위기가 매우 중요하다. 따라서 본 연구의 시편은 주로 환원 분위기 1280℃ 기준으로 청자유약을 기본 재료로 조합하여 전기환원 가마에서 약 12시간에 걸쳐 소성하였으며, 시간과 온도에 따른 소성 그래프는 [표 28]과 같다.

84) 인성기업사 제공.

[표 28] 유리질 점토의 시편 소성 그래프



2. 세 가지 기본 조성의 규석 성분의 증가 실험

제 3장에서 다루었듯이 연구자는 유리질 점토의 개발을 위해 제겔식을 활용한 방법과 장석을 기반으로 한 방법 그리고 문헌을 통해 알게 된 송관요 청자유약을 선정하여 기본 조성식을 도출하였다.

유약에 규석(SiO_2) 성분의 추가는 유리질 점토를 조성하는 본질적 접근법이다. 규석을 과포화 상태에 이르도록 추가하면 유약의 전형적인 물리적 성질인 유동성이 감소하지만, 발색도는 어느 정도 유지되기 때문에 발색이 까다로운 청자유약의 발색 실험을 가능하게 만들어 준다. 이를 바탕으로 한 유리질화의 결과를 용융 상태, 발색 및 수축률, 흡수율 등의 측면에서 비교・검토하였다.

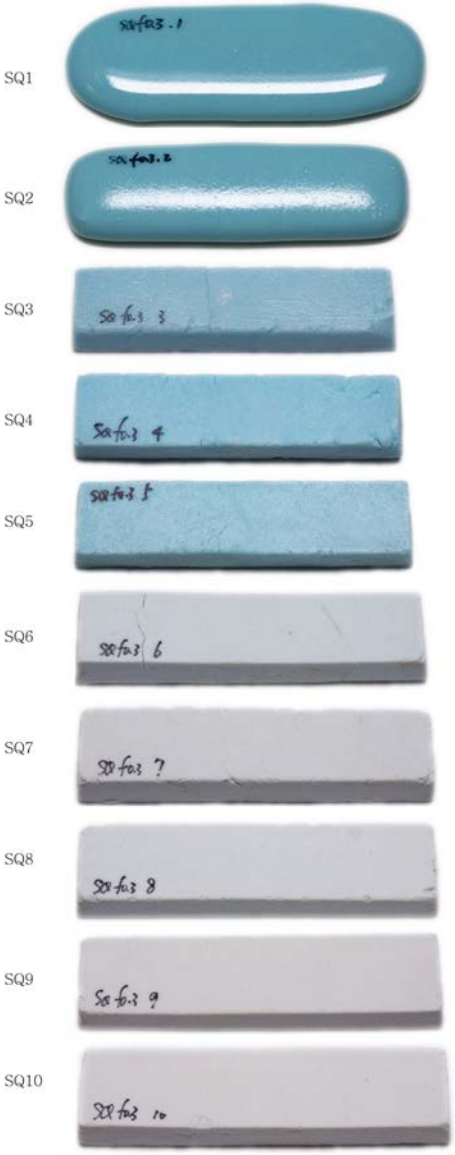
2-1. 제겔식을 활용한 기본 조성에 규석 성분의 증가 실험 및 결과

유리질 점토의 발색과 유리질화의 정도를 고려한 기본 조성은 알칼리성 산화물과, Al_2O_3, SiO_2의 몰(mole)비를 1:0.4:4로 정해 기준 삼았다. 이 비율이 Cone 9(1280℃)를 기준으로 하는 투명유를 위한 최적의 조성이기 때문이다. 그리고 장석을 제외한 고화도 융제는 순수한 알칼리성 고화도 융제를 선택하였다. 제겔식으로 조합된 기본 조성 SQ의 제겔식 및 재료 성분비는 [표 29]와 같다. 연구자는 이를 바탕으로 기본 조성 SQ에 0.5몰씩 규석 성분을 증가하는 실험을 진행하였다. SQ1~10의 제겔식은 [표 30]과 같으며, 실험 결과 및 발색과 질감은 [표 31, 32]와 같다.

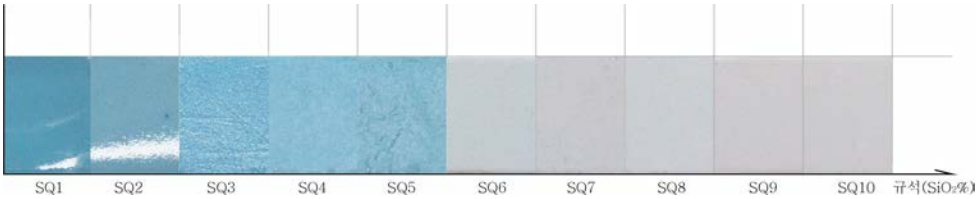
[표 29] 기본 조성 SQ의 제겔식 및 성분비		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.000 SiO_2 0.233 CaO 0.030 Fe_2O_3 0.233 ZnO 0.233 BaO	
성분비 (%)	장석	40.18
	고령토	6.60
	규석	30.67
	석회석	5.96
	산화아연	4.83
	탄산바륨	11.75
	산화철	0.30

[표 30] SQ1~10의 제겔식							
SQ1	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	4.000 SiO_2	SQ6	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	6.500 SiO_2
SQ2	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	4.500 SiO_2	SQ7	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	7.000 SiO_2
SQ3	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	5.000 SiO_2	SQ8	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	7.500 SiO_2
SQ4	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	5.500 SiO_2	SQ9	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	8.000 SiO_2
SQ5	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	6.000 SiO_2	SQ10	0.300 K/Na_2O 0.233 CaO 0.233 ZnO 0.233 BaO	0.400 Al_2O_3 0.030 Fe_2O_3	8.500 SiO_2

[표 31] 기본 조성 SQ에 규석 성분 증가 결과 SQ1~10



[표 32] SQ1~10의 발색 및 질감



SiO_2 성분의 증가에 의한 과포화 현상 때문에 점차 유리질화 정도가 낮아지면서 질감이 유광에서 무광으로 변하였고 용융도가 현저하게 낮아졌다. 산화철 발색도 청색에서 무색으로 뚜렷하게 변화하였다.

유리질화의 정도가 낮아지면서 시편의 소성 수축률과 흡수율도 다른 결과를 보였다. SQ1~10의 구체적인 소성 수축률[85]과 흡수율[86]의 데이터와 계산 결과는 [표 33과 34]와 같다. [표 35]의 그래프에서 보는 것처럼 SiO_2 몰(mole)비가 계속 증가할수록 소성 수축률이 감소하고 흡수율은 증가하였다. SiO_2 몰(mole)값이 6.0일 때, 즉 SQ5일 때 그래프의 곡선 변동이 크다.

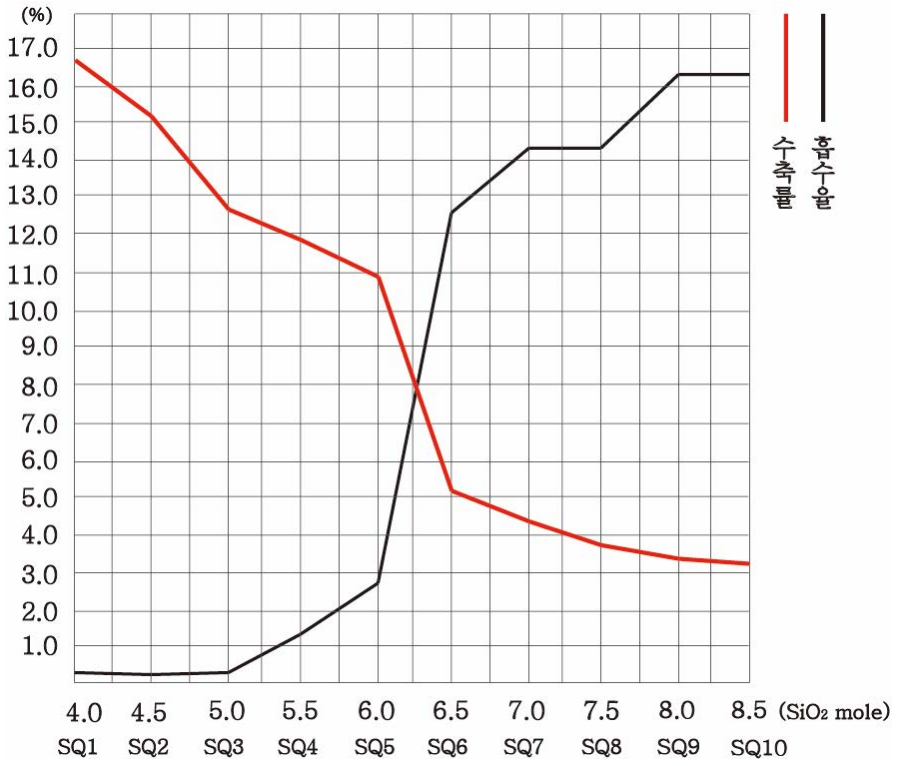
85) 오영우 편저, 『세라믹스의 분석과 계산』, (경남대학교출판부, 1998), p.168. '흡수율 계산법: 시료를 100~120℃의 항온기 중에서 건조하고 함량에 달하였을 때에 무게를 건조 무게 Wd(g)로 한다. 이때 측정한 무게가 1(g) 이상의 차이가 없을 때를 함량으로 한다. 건조 무게를 단 사료를 물속에 다가서 3시간 이상 끓이고 실온까지 식힌다. 이것을 포화 시료로 한다. 다만 물을 가하여 냉각하여도 무방하다. 포화 시류를 수중에서 꺼내어 젖은 수건으로 겉면을 닦고 무게를 달아 포화 시료의 무게 Wsat(g)으로 한다. 이때 물수건은 물에 담근 후 짜서 쓴다. 그리고 무게는 1(g)까지 정확히 된다. 흡수율Aw(%)는 다음 식에 의하여 산출하고 소수점 이하 1자리까지 구한다. Aw=(Wsat-Wd)/Wd*100.' 사용하는 저울은 Sartorius (0.1mg) 분석용 고정밀 저울이다.

86) 李家驹, 『陶瓷工艺学』, (北京 : 中国轻工业出版社, 2010), p.37. '소성 수축률 계산법: ε소= (L건-L소)/L건*100%. (L건: 시편 건조 후 길이. L소: 시편 소성 후 길이. ε소: 시편 소성선의 길이.)'

[표 33] SQ1~10의 수축률				
명칭	건조 후 길이 L건(cm)	소성 후 길이 L소(cm)	L건-L소(cm)	소성 수축률 ε소 (%)
SQ1	12.00	10.00	2.00	16.67
SQ2	12.00	10.20	1.80	15.00
SQ3	12.00	10.50	1.50	12.50
SQ4	12.00	10.60	1.40	11.67
SQ5	12.00	10.70	1.30	10.83
SQ6	12.00	11.40	0.60	5.00
SQ7	12.00	11.50	0.50	4.17
SQ8	12.00	11.55	0.45	3.75
SQ9	12.00	11.60	0.40	3.33
SQ10	12.00	11.60	0.40	3.33

[표 34] SQ1~10의 흡수율				
명칭	건조 후 무게 Wsat(g)	소성 후 물을 흡수한 후의 무게 Wd(g)	흡수한 물의 무게 Wsat-Wd(g)	흡수율 Aw(%)
SQ1	82.1158	82.2694	0.1536	0.1867
SQ2	82.1054	82.1560	0.0506	0.0616
SQ3	80.3786	80.4130	0.0344	0.0428
SQ4	82.3546	83.6054	1.2508	1.4961
SQ5	74.8259	76.9450	2.1191	2.7540
SQ6	79.3089	90.7545	11.4456	12.6116
SQ7	80.3948	93.9065	13.5117	14.3885
SQ8	77.8464	90.7678	12.9214	14.2357
SQ9	76.4174	91.3864	14.9690	16.3799
SQ10	79.2915	94.4730	15.1815	16.0697

[표 35] SQ1~10의 소성 수축률과 흡수율의 그래프



실험 결과 보면, 유리질화가 이루어지고 청자 발색을 보이는 시편은 SQ1~SQ5 사이다. 그중 두 개의 실험 결과를 선택해 이후 실험을 이어 갔는데, 하나는 내화 온도가 낮고 용융 정도가 높아 유동성을 갖는 유리질 점토 SQ2이고, 다른 하나는 내화 온도가 높고 용융온도가 낮아 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4이다. 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 각기 다른 질감과 성질은 [표 36]과 같다.

[표 36] 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4

SQ2

SQ4

2-2. 장석을 활용한 기본 조성에 규석 성분의 증가 실험 및 결과

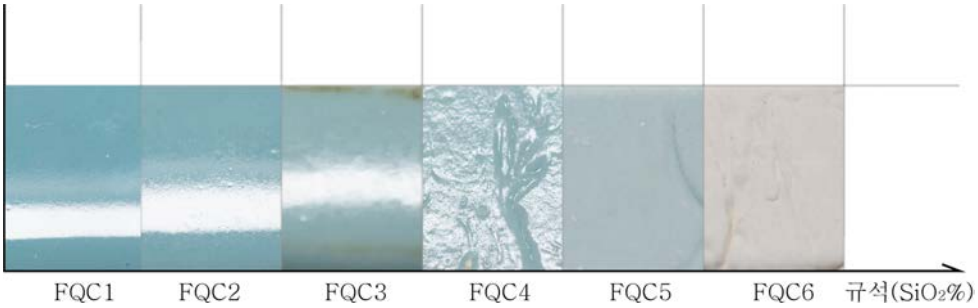
장석을 활용한 기본 조성 FQC에 규석 성분을 10%씩 증가하고 장석은 10%씩 줄이는 방식으로 청자색 유리질 점토 개발 실험을 하였다. 주요 재료의 조성비는 [표 37]과 같으며, 실험 결과인 FQC1~6의 발색과 질감은 [표 38, 39]와 같다.

[표 37] FQC1~6의 조성비 (%)

명칭	규석	장석	산화철	석회석
FQC1	10	90	0.3	10
FQC2	20	80		
FQC3	30	70		
FQC4	40	60		
FQC5	50	50		
FQC6	60	40		

[표 38] 기본 조성 FQC에 규석 성분 증가 실험 결과 FQC1~6

[표 39] FQC1~6의 발색 및 질감



규석 성분이 늘어나면서 시편의 질감, 용융 상태, 발색 및 수축률, 흡수율은 모두 다른 결과를 보여주었다. 규석 성분이 증가하면 내화 온도와 고온 점도가 늘어나는 반면 유동성과 수축률이 감소한다. 하지만 발색 산화물 Fe_2O_3의 양은 변하지 않았는데도 소성 시 탄소가 완전히 방출되지 않는 경우가 있었다. 그런 경우 청자 발색이 탁하고 탄소 불완전 방출에 의한 검은 반점이 생기기도 하였다.

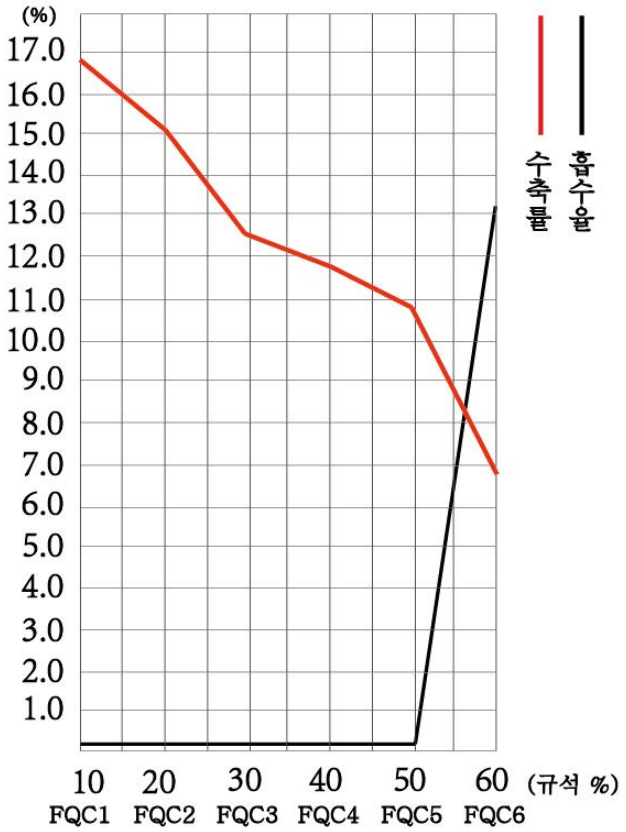
규석 성분의 증가로 기본 유약의 유리질화 정도가 낮아지면서 소성 수축률과 흡수율도 다른 결과를 보였다. FQC1~6의 구체적인 소성 수축률과 흡수율의 데이터와 계산 결과는 [표 40, 41]과 같다. 규석 함량의 변화의 따른 소성 수축률과 흡수율 변화 그래프는 [표 42]와 같다.

[표 42]에 나타난 것과 같이 규석 함량이 증가할수록 소성 수축률은 감소하며 흡수율은 반대로 증가하였다. 규석 함량이 50%일 때, 즉 FQC5일 때 변동이 크게 나오기 시작하였다. 규석 성분을 50% 이상 첨가했을 때 나타난 실험 결과 FQC6은 청자색 유리질 점토의 기본 특징을 잃은 상태였다.

[표 40] FQC1~6의 수축률				
명칭	건조 후 길이 L건(cm)	소성 후 길이 L소(cm)	L건-L소(cm)	소성 수축률 ε소 (%)
FQC1	12.00	10.00	2.00	16.67
FQC2	12.00	10.20	1.80	15.00
FQC3	12.00	10.50	1.50	12.50
FQC4	12.00	10.60	1.40	11.67
FQC5	12.00	10.70	1.30	10.83
FQC6	12.00	11.20	0.80	6.67

[표 41] FQC1~6의 흡수율				
명칭	건조 후 무게 Wsat (g)	소성 후 물을 흡수한 후의 무게 Wd(g)	흡수한 물의 무게 Wsat-Wd(g)	흡수율 Aw (%)
FQC1	78.8563	78.8842	0.02790	0.0354
FQC2	75.3566	75.3920	0.03540	0.0470
FQC3	75.2565	75.2955	0.0390	0.0518
FQC4	74.4700	74.4846	0.0146	0.0196
FQC5	72.6769	72.7240	0.0471	0.0648
FQC6	72.0341	82.9360	10.9019	13.1450

[표 42] FQC1~6의 수축률과 흡수율의 그래프



이번 실험에서 청자색 유리질 점토의 특징을 나타내는 시편은 FQC1~5였다. 그러나 규석 함유량에 따라 유리질 점토의 성격이 달랐다. 제겔식을 활용한 기본 유약의 규석 성분 증가 실험과 마찬가지로 이번 실험에서도 두 가지 유리질 점토를 얻을 수 있었다. 하나는 내화 온도가 낮고 용융온도가 높아 유동성이 높은 FQC2이고, 다른 하나는 내화 온도가 낮고 용융온도가 낮아 유동성이 없는 유리질 점토인 FQC4이다[표 43].

[표 43] 청자색 유리질 점토 FQC2와 FQC4

FQC2

FQC4

2-3. 송 관요(宋 官窯) 청자유약을 바탕으로 한 기본 조성에 규석 성분 증가 실험 및 결과

송 관요 청자유약의 성분 백분율을 기초로 하여 계산한 SS의 제겔식으로 실험을 진행하였다. 알칼리성 산화물, Al_2O_3, SiO_2의 몰(mole)비는 1:0.3:3.4로 분석되었다. 앞서 제겔식으로 조합된 기본 조성과 비교하면 송 관요 청자유약의 몰(mole)비는 SiO_2 성분이 높아 이미 과포화에 가까운 상태임을 알 수 있다. 즉, 기본 조성 SS 자체가 내화도와 용융도가 높고 유동성이 없는 유리질 점토였던 것이다.

송 관요 청자유약을 기반으로 한 조성은 이미 SiO_2 성분 함량이 높았기 때문에 앞의 두 실험과 달리 SiO_2 성분만을 증가시킨 것이 아니라 Al_2O_3 성분을 낮추면서 상대적으로 SiO_2 성분을 증가시키는 방법으로 실험을 진행하였다. Al_2O_3 성분은 약 0.05몰(mole)씩으로 0.3131몰(mole)에서 0몰(mole)까지 줄이고 SiO_2 성분은 0.1몰(mole)씩 늘려 3.4395몰(mole)에서 4.0655몰

(mole)까지 증가하였다.

Al_2O_3 함량에 변화를 주었기 때문에 이름에 알루미나를 의미하는 'A'를 첨가하였다. 송 관요 청자 유약을 바탕으로 조성된 기본 조성 SSA의 제겔식 및 재료 성분비는 [표 44]와 같다. SSA1~7의 제겔식은 [표 45]와 같다. 독특한 성분 조합과 용융 상태로 인해 산화철은 앞의 두 실험 결과와 달리 녹색계열의 청자 색상을 띠었다. 실험 결과는 [표 46], 발색 및 질감은 [표 47]과 같다.

[표 44] 기본 조성 SS의 제겔식 및 성분비

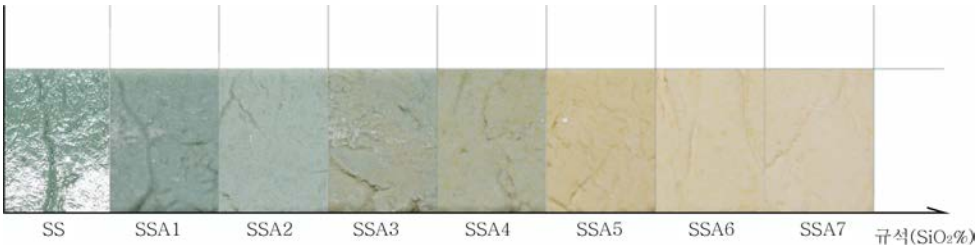
제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.6501 CaO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2 0.0696 MgO 0.0016 SrO	
성분비 (%)	장석	25.76
	석회석	13.28
	고령토	16.50
	규석	42.14
	활석	1.79
	탄산스트론튬	0.05
	산화철	0.46
	지르콘	0.02

[표 45] SSA1~7의 제겔식

SSA1	0.2408	K/Na_2O	0.2631	Al_2O_3	3.5395	SiO_2	SSA5	0.2408	K/Na_2O	0.0631	Al_2O_3	3.9395	SiO_2
	0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2		0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2
	0.0696	MgO						0.0696	MgO				
	0.0016	SrO						0.0016	SrO				
SSA2	0.2408	K/Na_2O	0.2131	Al_2O_3	3.6395	SiO_2	SSA6	0.2408	K/Na_2O	0.0131	Al_2O_3	4.0395	SiO_2
	0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2		0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2
	0.0696	MgO						0.0696	MgO				
	0.0016	SrO						0.0016	SrO				
SSA3	0.2408	K/Na_2O	0.1631	Al_2O_3	3.7395	SiO_2	SSA7	0.2408	K/Na_2O	0.0000	Al_2O_3	4.0655	SiO_2
	0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2		0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2
	0.0696	MgO						0.0696	MgO				
	0.0016	SrO						0.0016	SrO				
SSA4	0.2408	K/Na_2O	0.1131	Al_2O_3	3.8395	SiO_2							
	0.6501	CaO	0.0316	Fe_2O_3	0.0005	ZrO_2							
	0.0696	MgO											
	0.0016	SrO											

[표 46] 기본 조성 SS에 규석 성분 증가 실험 결과 SSA1~7 및 SS

[표 47] SS, SSA1~7의 발색 및 질감



실험 결과를 보면 규석 성분이 늘어나면서 형성된 유리질, 질감, 용융 상태, 발색 및 수축률, 흡수율이 모두 달랐음을 알 수 있다. SiO_2 성분의 증가로 알칼리성 산화물의 몰(mole)비도 함께 증가하면서 용융력이 감소하였다. 그리고 급격히 줄어든 유리질화로 인해 청자의 푸른색은 현저히 감소하였다.

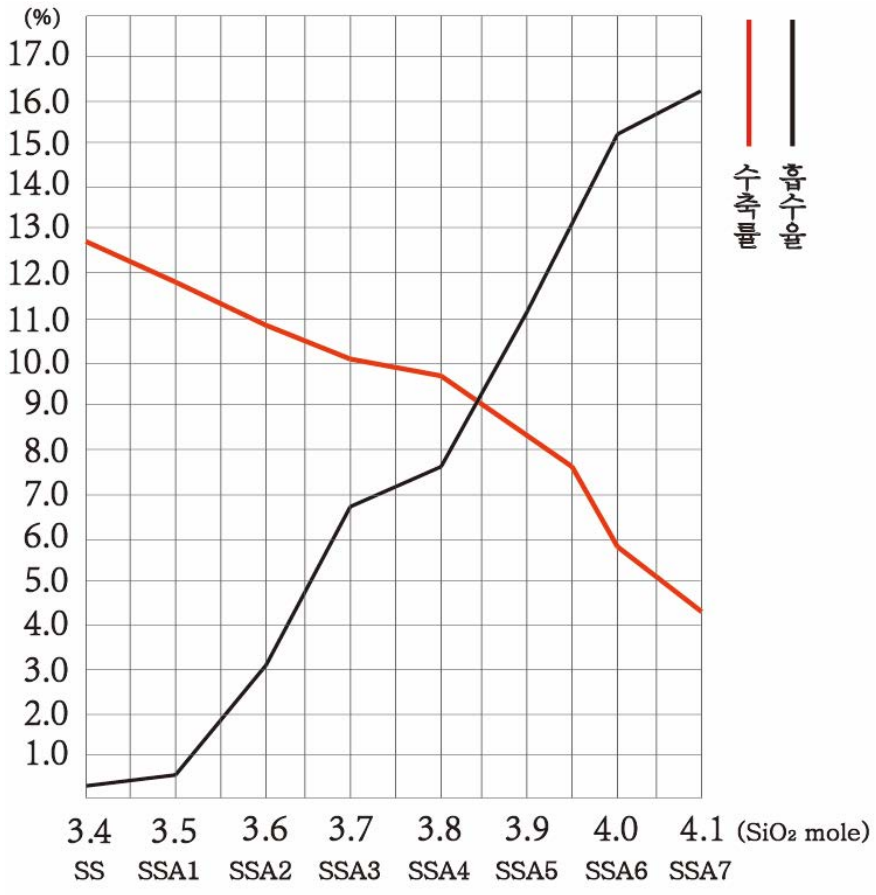
SiO_2 성분이 증가함에 따라 유리질화 강도 역시 낮아졌다. 소성 수축률과 흡수율의 결과는 서로 상이했다. SS 및 SSA1~7의 구체적인 소성 수축률과 흡수율의 데이터와 계산 결과는 [표 48, 49]와 같고 변화 그래프는 [표 50]과 같다.

[표 50]에 나타난 선과 같이 SiO_2 몰(mole)비가 증가하면 소성 수축률은 지속해서 감소하였고, 흡수율은 반대로 증가하였다. 앞의 두 실험보다 비교적 꾸준히 조금씩 증가 혹은 감소하였다.

[표 48] SS, SSA1~7의 소성 수축률				
명칭	건조 후 길이 L건(cm)	소성 후 길이 L소(cm)	L건-L소(cm)	소성 수축률 ε소 (%)
SS	12.00	10.50	1.50	12.50
SSA1	12.00	10.60	1.40	11.67
SSA2	12.00	10.70	1.30	10.83
SSA3	12.00	10.80	1.20	10.00
SSA4	12.00	10.85	1.15	9.58
SSA5	12.00	11.10	0.90	7.50
SSA6	12.00	11.30	0.70	5.83
SSA7	12.00	11.50	0.50	4.17

[표 49] SS, SSA 1~7의 흡수율				
명칭	건조 후 무게 Wsat (g)	소성 후 물을 흡수한 후의 무게 Wd(g)	흡수한 물의 무게 Wsat-Wd(g)	흡수율 Aw (%)
SS	70.8316	70.8280	0.0358	0.0505
SSA1	72.8724	73.3530	0.4806	0.6552
SSA2	72.0313	74.3520	2.3207	3.1212
SSA3	70.9262	76.1040	5.1778	6.8036
SSA4	70.9073	76.7270	5.8197	7.5849
SSA5	72.6216	81.9050	9.2834	11.3344
SSA6	70.4283	83.0489	12.6206	15.1966
SSA7	70.4215	83.9686	13.5471	16.1335

[표 50] SS, SSA1~7의 소성 수축률과 흡수율의 그래프



이 실험에서 청자색 유리질 점토로 선별할 만한 시편은 SS와 SSA1~2 사이에서 관찰되었다. 그중 연구자의 의도에 맞는 청자색 유리질 점토는 SiO_2가 3.6몰(mole)보다 적은 것들이었다. 그중 청자색 유리질 점토의 특징을 가장 잘 보여주는 것은 녹색계열의 SS이었다[표 51].

[표 51] 청자색 유리질 점토 SS

SS

2-4. 실험 분석

연구자는 유리질 점토의 개발 실험 결과에서 얻은 기본 청자색 유리질 점토의 결과와 구제적인 데이터를 결합하여 가소성, 유리질화 정도 및 투명성, 유동성 및 내화성, 발색 및 질감 등 측면을 분석하였다. 유리질 점토 개발 실험에서 얻은 청자색 유리질 점토는 [표 52]와 같이 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS이다.

[표 52] 기본 청자색 유리질 점토

SQ2

SQ4

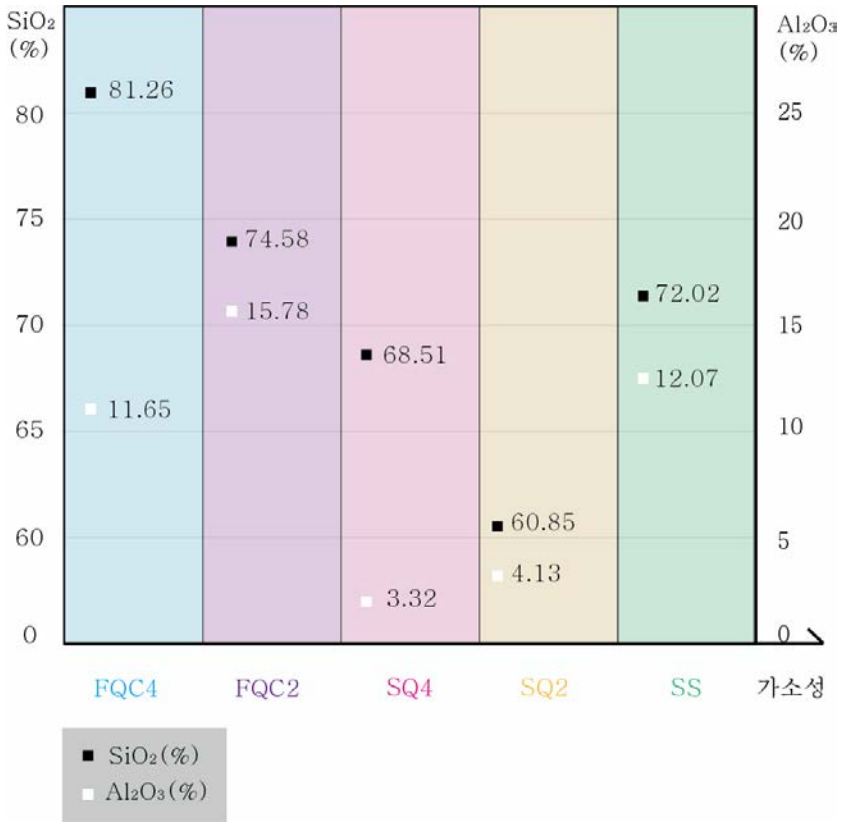
FQC2

FQC4

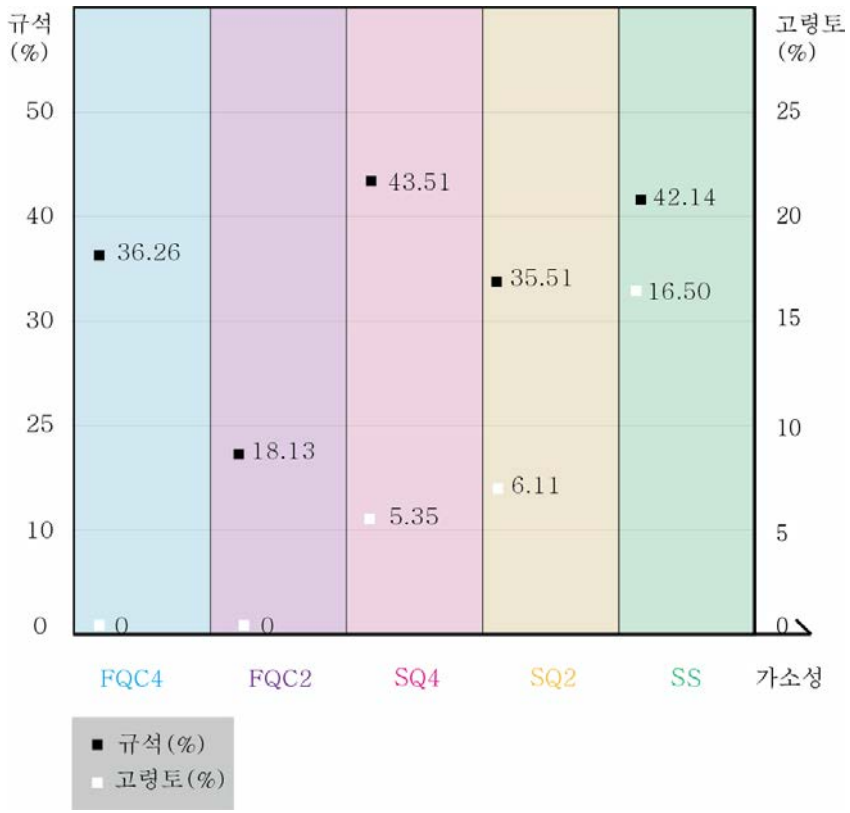
SS

유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 SiO_2 및 Al_2O_3의 함량은 [표 53]과 같다. 각 유리질 점토의 규석 및 고령토 함량은 [표 54]와 같다.

[표 53] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 SiO_2 및 Al_2O_3의 함량

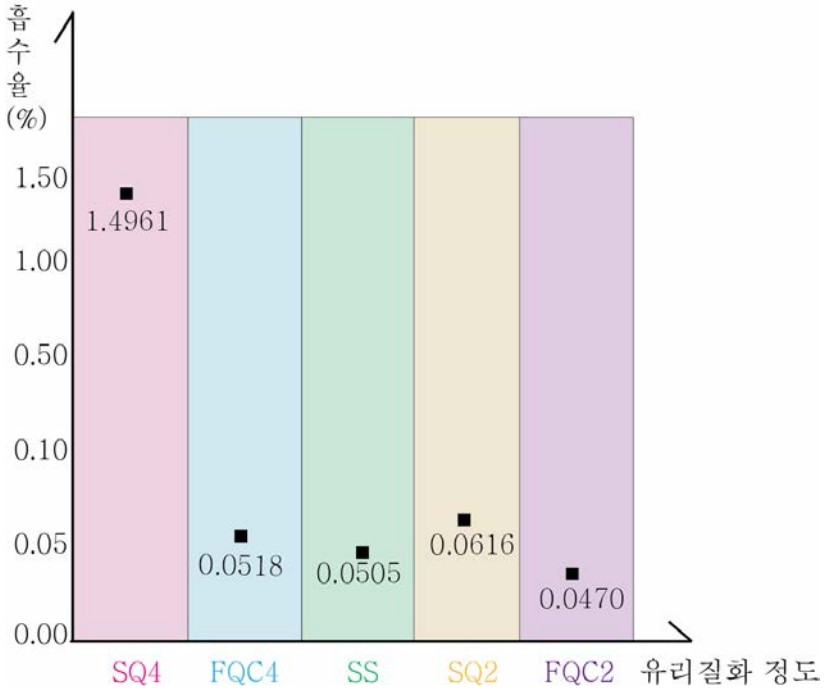


[표 54] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 규석 및 고령토의 함량



성분과 재료의 함량으로 볼 때 청자색 유리질 점토의 가소성은 낮은 편이며 SS > SQ2 > SQ4 > FQC2 > FQC4 순으로 가소성이 떨어진다. 실물 사진을 보면 유리질의 광택을 통해 판별할 수 있는 유리질화의 정도 순서는 FQC2 > SQ2 > SS > FQC4 > SQ4이다. 광택으로 판단하는 것 외에도 유리질 점토의 흡수율을 통해 유리질화의 정도를 판단할 수 있다. 연구자가 개발한 청자색 유리질 점토의 흡수율은 [표 55]와 같다. 흡수율은 낮은 순서대로 FQC2 > SS > FQC4 > SQ2 > SQ4였다.

[표 55] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 흡수율



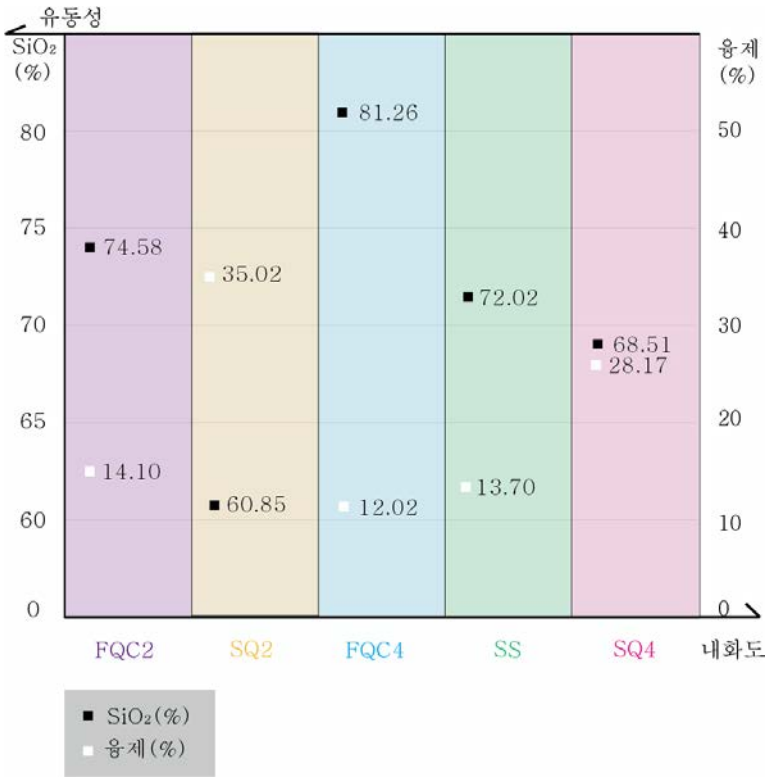
한국 국가기술표준원 고시에 명시된 도자기 타일의 흡수율은 자기질 타일의 경우 3.0% 이하, 석기질 타일은 5.0% 이하로 명시되어 있다.[87] 개발된 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 흡수율은 모두 1.5 이하로 자기질 타일의 범위에 속한다. 흡수율에 따라 유리질화의 정도가 다른데 흡수율이 낮을수록 유리질화의 정도가 높아진다. 그러므로 완전히 유리질화된 물질, 예를 들어 유리와 유약보다는 흡수율이 높을 수밖에 없다. 청자색 유리질 점토의 구체적인 흡수율 데이터로 볼 때 SQ2, FQC2, FQC4 및 SS의 흡수율이 낮으나 유리질화 정도가 높은 것이며, SQ4의 흡수율은

87) 한국 국가기술표준원고시(제 2017-032호) 안전확인 부속서 18. 한국 국가기술표준원, https://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=239&_dc=1531322154531&mode=view&page=68&cid=19117

상대적으로 높고 유리질화의 정도도 상대적으로 낮을 것이다.

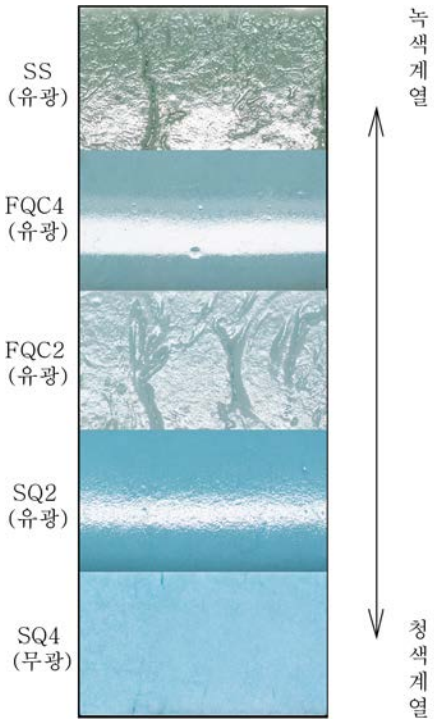
실험을 통해 얻은 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 특성으로 볼 때 내화도는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 내화도가 높고 유동성의 변형이 적으며(SQ4, FQC4, SS), 다른 하나는 내화도가 낮으나 유리질화가 잘 진행되어 유동성이 높은 것이다(SQ2, FQC2). 청자색 유리질 점토의 형태 변형 정도를 통해 본 내화도의 순서는 SQ4 > SS > FQC4 > SQ2 > FQC2이었고, 유동성의 순서는 FQC2 > SQ2 > FQC4 > SS > SQ4였다. 각 유리질 점토의 SiO_2 및 융제 성분의 구체적인 함량은 [표 56]과 같다.

[표 56] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 SiO_2 및 융제 성분의 함량



청자색 유리질 점토의 화학 성분비에서 SQ2, SQ4와 FQC2, FQC4, 및 SS의 용융 정도가 다르며, 고온에서 유리질의 특징이 다르다. SiO_2 성분의 경우, 양의 증가에 따라 일정 정도까지 발색이 유지되다가 과포화에 이르면 발색이 급격히 떨어진다. SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 발색은 [표 57]과 같다. 기본 조성에 따라 색상이 청색계열에서 점차 녹색계열로 변화하였다. 질감은 유광에서 점차 무광으로 변하였다.

[표 57] 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4, FQC2, FQC4, SS의 발색 변화



3. 융제 대치 실험

유약의 조성에서 다양한 융제의 배합 비율은 다양한 발색과 질감의 원인이 된다. 또한, 상이한 융제의 조합은 서로 다른 용융 상태를 만든다. 연구자는 위의 세 가지 기본 유약 실험에서 의도한 청자색 유리질 점토를 얻었지만, 융제의 조합이 유리질 점토의 유리질화, 발색, 용융도, 내화도, 수축률 등에 어떤 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 융제 대치 실험을 진행하였다.

융제 대치 실험을 위하여 대표적인 융제인 탄산칼슘, 탄산바륨, 탄산마그네슘, 산화아연, 탄산스트론튬 등 순수한 고화도 융제 5종류 실험 대상으로 선택하였다. 제겔식으로 조합된 기본 유약에서 규석을 증가시켜 개발한 유리질 점토 SQ2와 SQ4, 장석을 주성분으로 하는 기본 유약에서 규석을 증가시켜 개발한 유리질 점토 FQC2와 FQC4, 송 관요 청자 유약을 기반으로 규석을 증가시켜 개발한 유리질 점토 SS에서 K/Na_2O 융제를 제외한 위의 다섯 종류 융제로 각각 대치하는 실험을 진행하였다.

3-1. 탄산칼슘($CaCO_3$)

탄산칼슘은 백색 미세결정 분말이며 융점이 1339℃로, 산화칼슘(CaO 2570℃)보다 융점이 낮으나 소성 시 산화칼슘과 비슷한 역할을 한다. 탄산칼슘은 산화칼슘에 비해 순도가 높은 편이고, 비중이 가볍고, 밀도와 입자가 작다. 부유성이 좋아서 유약 성분으로 많이 사용된다. 탄산칼슘 886~915℃에서 산화칼슘과 이산화탄소로 분해된다.(입자의 크기에 따라 610℃ 이하에서도 분해 가능) 탄산칼슘과 유리질 성분인 SiO_2가 고온에서 반응하여 규산칼슘($CaSiO_3$)을 생성하기도 한다. 가열 시간이 길면 610℃ 이하에서 탄산칼슘을 생성하기도 한다. 800℃에서 반응이 격렬하며 950℃에서는 가용성 규산염을 완전하게 형성한다. 1150℃에서 유동 용융체가 된다.[88]

88) 李家驹，『陶瓷工艺学』, (北京：中国轻工业出版社，2010), p.193.

탄산칼슘 성분이 첨가되면 유리질 점토의 점도를 낮출 수 있고 유리질의 질감과 금속산화물의 발색 능력을 높일 수 있다. 하지만 조성비율이 높아지면 용융된 유리질에서 미세한 결정이 쉽게 석출된다. 이때 생성되는 결정들은 대부분 아나사이트(Anorthite $CaAlSi_2O_8$)와 규회석(($CaSiO_3$)으로 무광 현상을 일으킨다.[89] 또 소성 시 가스를 많이 방출하고 이산화탄소를 많이 흡착해 발색에 영향을 주며 기포가 발생하기 쉽다.

탄산칼슘 대치 실험을 위한 재료로 석회석을 사용하였다. 탄산칼슘 대치 실험은 우선 유리질 점토 SQ2와 SQ4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 ZnO 및 BaO 융제를 대치하였다. SQ2.Ca의 새로운 제겔식, 성분비 및 결과는 [표 58]에 나타냈고 SQ4.Ca의 새로운 제겔식, 성분비 및 결과는 [표 59]에 나타냈다.

89) H.E. Wilson, 『Matt glazes and the lime-alumina-silica system. Bull. Amer』, (Ceram. Soc.,18(12), 1939), pp.447-454.

[표 58] SQ2.Ca의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.500 SiO_2 0.700 CaO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	37.21
	고령토	6.11
	규석	35.51
	탄산칼슘	20.88
	산화철	0.30
결과	 SQ2 SQ2.Ca	

[표 59] SQ4.Ca의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 5.500 SiO_2 0.700 CaO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	32.57
	고령토	5.35
	규석	43.51
	탄산칼슘	18.27
	산화철	0.30
결과	 SQ4 SQ4.Ca	

실험 결과 SQ2.Ca의 경우 탄산칼슘의 융제 대치가 유리질 점토 SQ2의 유리질 성질에는 큰 영향을 미치지 않았다. 하지만 용융 정도와 유동성, 발색에는 큰 영향을 미쳤다. 융제 대치 후 얻어진 유리질 점토 SQ2.Ca의 상태는 용융 정도가 SQ2에 비해 약하고 고온 유동성과 수축 역시 약했다. 산화철의 발색이 뚜렷하나 유리질의 분위기가 달라 탁한 회색조의 청자색이 나타났다.

또한, SQ4.Ca는 SQ4보다 유리질화의 정도, 용융 강도, 수축률도 높은 것으로 나타냈다. 가장 눈에 띄는 차이는 전체 발색이었다. SQ4.Ca도 SQ2.Ca와 비슷한 회청자색의 유리질로 결과가 산출되었다.

장석을 주성분으로 하는 기본 유약에서는 K/Na_2O 융제를 제외한 주요 융제가 이미 탄산칼슘이기 때문에 더 이상 탄산칼슘 융제 대치 실험을 할 필요는 없었다. 다음으로 송 관요 청자유를 기반으로 개발된 유리질 점토 SS에 대한 탄산칼슘 대치 실험을 진행하였다. 유리질 점토 SS의 성분 중 K/Na_2O 융제를 제외한 MgO 및 SrO 융제를 탄산칼슘으로 대치하였다. SS.Ca의 새로운 제겔식, 재료 성분비 및 결과는 [표 60]과 같다.

[표 60] SS.Ca의 제겔식, 성분비 및 결과

제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.7592 CaO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2	
성분비 (%)	장석	25.76
	고령토	16.50
	규석	42.14
	탄산칼슘	15.12
	산화철	0.46
	지르콘	0.02
결과	SS SS.Ca	

탄산칼슘 대치 결과물인 SS.Ca는 유리질 점토 SS의 발색에 거의 영향을 미치지 않았고 SS와 비슷한 녹색계열로 형성되었다. SS.Ca는 SS보다 용융 정도가 낮고, 용융온도가 높아졌다. 따라서 같은 온도에 표면의 질감이 유광에서 무광으로 바뀌고 유리질화 정도가 낮아지는 현상을 관찰할 수 있었다.

3-2. 탄산바륨($BaCO_3$)

탄산바륨은 보통 질감이 부드러운 무광택 표면을 형성하는 역할을 하고, 발색제와 궁합이 잘 맞아 선명한 구리 청색 발색에 중요한 역할을 한다.[90] 탄산바륨은 BaO의 공급원이며 융점은 1360℃이고 1440℃에서 BaO과 이산화탄소로 분해된다.[91] 도자 재료뿐만 아니라 유리 재료로도 널리 사용된다.

보통 매트유를 조합할 때 사용하는 탄산바륨은 고온에서 강력한 용융력을 갖는 알칼리 토류 금속산화물로 유리질 형성과 금속산화물의 발색에 큰 도움을 준다. 용량 15~20% 사이로 무광 또는 유탁 효과가 있으나 20%를 초과하면 유약이 건조하게 갈라진다. 두껍게 시유하면 효과가 좋지만, 유동성이 강한 편이라 유의해야 한다.[92]

앞서 강조했듯이 탄산바륨은 색유를 만드는 데 있어 발색에 도움을 주는 것으로 알려져 있다.[93] 특히 탄산바륨의 사용은 환원 소성을 하는 청자유의 발색에 매우 효과적이라서 청자유의 발색 실험을 위해서는 포기할 수 없는 융제이다. 그러나 강한 독성을 가지고 있으므로 안전에 주의하며 사용해야 한다.[94]

먼저 제겔식을 바탕으로 개발한 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 탄산바륨 대치 실험을 시행하였다. SQ2와 SQ4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 ZnO 및 CaO 융제를 탄산바륨으로 대치하였다. 대치한 SQ2.Ba 및 SQ4.Ba의 새로운 제겔

---

90) 이병화, 『나만의 유약 만들기-기본 유약 편』, (예경출판사, 2004), p.43.
91) 李家驹，『陶瓷工艺学』, (北京：中国轻工业出版社，2010), p.193.
92) 郑宁，『陶艺的釉』, (北京：清华大学出版社，2005), p.20.
93) 이병화, 『나만의 유약 만들기-종합편』, (예경출판사, 2014), p.74.
94) 이복규,『도자원료』, (미진사, 1991), p.45.

식, 성분비 및 결과는 [표 61, 62]와 같다.

[표 61] SQ2.Ba의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.500 SiO_2 0.700 BaO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	37.21
	고령토	6.11
	규석	35.51
	탄산바륨	20.88
	산화철	0.30
결과	 SQ2 SQ2.Ba	

[표 62] SQ4.Ba의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 5.500 SiO_2 0.700 BaO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	32.57
	고령토	5.35
	규석	43.51
	탄산바륨	18.27
	산화철	0.30
결과	 SQ4 SQ4.Ba	

탄산바륨으로 융제가 대치된 SQ2.Ba는 SQ2보다 유리질화가 현저하게 진행되었으며 뛰어난 발색력을 보였다. 그러나 시편의 형상 변형도 뚜렷하게 관찰되어, 용융온도가 낮아졌고 유동성이 증가하였음을 알 수 있다.

또한, SQ4의 융제는 탄산바륨 대치 후, 전체적인 형태나 크기에는 큰 변화가 없었으나, SQ4.Ba는 SQ4보다 조금 더 유리질화가 진행되어 표면질감에 더 유광으로 보였다. 청자 발색 역시 유리질화가 더 높은 수준으로 일어난 SQ4.Ba가 더 투명하고 맑은 편이었다.

다음은 장석을 주성분으로 개발한 유리질 점토 FQC2와 FQC4에 탄산바

륨으로 융제 대치 실험을 진행하였다. K/Na_2O 융제를 제외한 CaO 융제를 탄산바륨으로 대치한다. FQC2.Ba 및 FQC4.Ba의 조성비 및 결과는 [표 63, 64]와 같다.

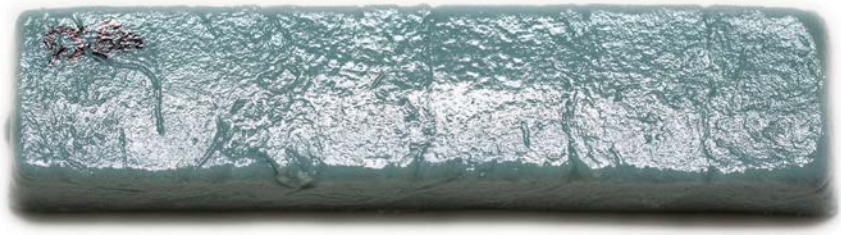
[표 63] FQC2.Ba의 조성비 및 결과

조성비(%)	규석	장석	산화철	탄산바륨
	20	80	0.3	10
결과	FQC2			
	FQC2.Ba			

[표 64] FQC4.Ba의 조성비 및 결과				
조성비(%)	규석	장석	산화철	탄산바륨
	40	60	0.3	10
결과	FQC4 FQC4.Ba			

융제 대치 후 결과물인 FQC2.Ba는 유리질화, 유리질 질감, 수축률, 용융 상태 및 유동성에 거의 변화가 없었으나 발색의 변화를 관찰할 수 있었다. 또한 FQC4.Ba가 FQC4보다 수축률이 낮은 것으로 보아 탄산바륨이 탄산칼슘보다 용융력이 적은 것으로 판단할 수 있다. 다만 FQC4.Ba의 발색이 FQC4보다 훨씬 더 밝은 것이 뚜렷하게 관찰되었다.

탄산바륨의 마지막 대치 실험은 송 관요 청자유를 기반으로 구성된 유리질 점토 SS로 진행하였다. 연구자는 SS의 성분 중 K/Na_2O 융제를 제외한 MgO 및 SrO 융제를 탄산바륨으로 대치하였다. SS.Ba의 제겔식 및 성분비는 [표 65]와 같다.

[표 65] SS.Ba의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.7592 BaO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2	
성분비 (%)	장석	25.76
	고령토	16.50
	규석	42.14
	탄산바륨	15.12
	산화철	0.46
	지르콘	0.02
결과	 SS  SS.Ba	

탄산바륨으로 융제를 대치한 SS.Ba는 SS의 유리질 질감과 거의 동일했으며, SS.Ba가 SS보다 수축률이 작았다. 이 실험의 가장 큰 변화는 색상의 변화였다. 융제 성분의 변화로 유리질 점토의 색상이 SS의 녹색계열에서 SS.Ba의 청색계열로 바뀌었다.

3-3. 탄산마그네슘($MgCO_3$)

탄산마그네슘을 점토에 참가할 경우 강력한 융제 역할을 하여 소성 온도를 낮추고 투광성을 높이는 효과가 있으나, 수축률이 커지고 변형이 심해서 실상 유약용으로는 거의 사용하지 않는다.[95] 화학적으로 정제한 탄산마그네슘은 부피가 크고 비중이 적어 유약으로 사용하면 현탁성이 높아지고, 양이 많을 경우 유동성이 떨어진다.[96] 그리나 유약의 팽창계수를 억제하여, 점토와 유약의 결합에 도움을 준다.[97] 그러나 일정 이상의 양을 투입할 경우 수분과 결합하여 팽창하고 부피가 커지는 현상도 일으킬 수도 있다.

탄산마그네슘은 MgO의 공급원이다. 외관은 흰색 입자 분말이고 경질과 중질 두 가지로 나뉜다. 둘의 화학식은 유사하지만, 중질은 물에 잘 녹지 않고[98] 경질은 무게가 매우 가볍다. 탄산칼슘과 비슷한 점이 많으며 대개 800~900℃에서 MgO와 CO_2로 분해된다.[99] 더 자세히 말하자면 400℃까지만 가열해도 MgO가 분해되어 CO_2가 방출되고 850℃에 이르면 분해 속도가 매우 빨라져 1100℃ 부근에서 분해 반응이 모두 끝난다. 또한 마그네슘은 철의 발색을 억제하는 효과가 있는 반면 산화바륨과 산화알루미늄은 철의 발색에 도움을 준다.[100]

먼저 제겔식을 기본으로 한 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 융제를 탄산마그네슘으로 대치하는 실험을 진행하였다. SQ2와 SQ4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 ZnO 및 CaO 융제를 탄산마그네슘으로 대치하였다. SQ2.Mg 및 SQ4.Mg의 제겔식, 조성비 및 결과는 [표 66, 67]과 같다.

---

95) 이복규,『도자원료』, (미진사, 1991), p.44.
96) 薛瑞芳, 『釉料學』, (台灣:藝術家出版社, 2013), p.36.
97) 郑宁, 『陶艺的釉』, (北京 : 清华大学出版社, 2005), p.21.
98) 위의 책. p.21.
99) 李家驹, 『陶瓷工艺学』, (北京 : 中国轻工业出版社, 2010), p.192.
100) 郑宁, 『陶艺的釉』, (北京 : 清华大学出版社, 2005), p.23.

[표 66] SQ2.Mg의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.500 SiO_2 0.700 MgO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	37.21
	고령토	6.11
	규석	35.51
	탄산마그네슘	20.88
	산화철	0.30
결과	 SQ2 SQ2.Mg	

[표 67] SQ4.Mg의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 5.500 SiO_2 0.700 MgO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	32.57
	고령토	5.35
	규석	43.51
	탄산마그네슘	18.27
	산화철	0.30
결과	 SQ4 SQ4.Mg	

SQ2.Mg와 SQ4.Mg는 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 질감과 발색에 대체로 큰 영향을 미쳤다. 마그네슘 성분은 유리질의 질감을 변화시키고 산화철의 발색을 방해해 유탁 효과를 주었다. 탄산마그네슘의 양이 많아 혼합한 뒤 부피가 부풀어 올라서 다른 것과 같은 크기로 시편을 만들어 소성했지만 수축률이 매우 컸다.

이어서 장석 주성분의 유리질 점토 FQC2와 FQC4에 탄산마그네슘 대치 실험을 진행하였다. FQC2.Mg 및 FQC4.Mg의 조성비 및 결과는 [표 68, 69]와 같다.

[표 68] FQC2.Mg의 조성비 및 결과				
조성비	규석	장석	산화철	탄산마그네슘
	20	80	0.3	10
결과	 FQC2 FQC2.Mg			

[표 69] FQC4.Mg의 조성비 및 결과				
조성비(%)	규석	장석	산화철	탄산마그네슘
	40	60	0.3	10
결과	FQC4 FQC4.Mg			

실험 결과 FQC2.Mg와 FQC4.Mg는 SQ2.Mg와 SQ4.Mg와 유사한 결과를 낳았다. 모두 기본 유리질 점토와 크게 달랐는데, 탄산마그네슘이 산화철의 발색을 방해한 결과였다. FQC2.Mg처럼 유리질화가 많이 진행된 경우에도 색상은 유백색이었다. SQ2, SQ4와 마찬가지로, 탄산마그네슘이 물을 만나 생성되는 특수한 팽창 성질로 인해 소성 후 큰 수축이 일어났다.

탄산마그네슘의 마지막 융제 대치 실험은 송 관요 청자유를 기반으로 한 유리질 점토 SS로 진행하였다. SS의 성분 중 K/Na_2O 융제를 제외한 CaO 및 SrO 융제를 탄산마그네슘으로 대치하였다. SS.Mg의 제겔식, 성분비 및 결과는 [표 70]과 같다. 실험 결과 SS.Mg는 SQ2.Mg, SQ4.Mg 및 FQC2.Mg, FQC4.Mg와 유사하였다. 지나친 탄산마그네슘의 증가는 산화철의 발색을 크게 방해하였다.

[표 70] SS.Mg의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.7592 MgO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2	
성분비 (%)	장석	25.76
	고령토	16.50
	규석	42.14
	탄산마그네슘	15.12
	산화철	0.46
	지르콘	0.02
결과	 SS SS.Mg	

3-4. 산화아연(ZnO)

산화아연은 융해 촉진 효과가 있다. 고온에서 유약의 팽창을 억제하고 균열을 방지하며 화사함을 향상시킨다.[101] 산화아연은 아연 성분의 대표적인 공급원이다. 유리질 성분의 용융을 촉진하고 고온 유약의 소성 온도를

101) 郑宁, 『陶艺的釉』, (北京 : 清华大学出版社, 2005), p.21.

낮춘다. 고화도 유약에 3% 이내로 첨가하면 용융온도를 살짝 낮춰 더욱 완벽한 유면을 형성한다.[102] 미황색 또는 백색의 분말 형태로 유약의 원료로 많이 사용되며 알칼리 토류 금속산화물로 분류된다. 산화아연은 알루미나 또는 소량의 석회석과 혼합하면 강한 백색 유탁, 특히 장석유의 유탁 효과가 더 좋아진다. 그러나 붕규산염을 함유한 유약에는 유탁 효과가 없다.[103]

산화아연은 사용량이 많지 않아도 용융력이 뛰어난 융제이다. 유약에 첨가했을 때 비단과 같은 표면 질감이 생성되며[104] 적절하게 첨가하면 소성의 온도 범위를 넓히고 금속산화물의 발색 효과를 개선할 수 있다. 소성 온도를 낮추어 발색제의 발색이 더 탁월하게 나타나도록 돕기 때문이다.[105] 특히 강한 청색이나 녹색을 더욱 선명하게 만드는 효과가 있고 동에 의한 녹색을 깨끗하고 밝게 만들어 준다.[106]

그러나 일정량을 넘으면 유약이 잘 녹지 않고 유리질이 유탁해지면서 불투명하게 빛이 사라진다. 특히 용융 상태가 좋은 색유라면 금속산화물의 발색에 영향을 주어 발색을 탁하게 만든다.

먼저 제겔식을 기본으로 개발한 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 융제를 산화아연으로 대치하는 실험을 시행하였다. 연구자는 SQ2와 SQ4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 BaO 및 CaO 융제를 산화아연으로 대치하였다. SQ2.Zn 및 SQ4.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과는 [표 71, 72]와 같다.

---

102) 정지원, 「루틸을 중심으로 한 유약 발색 효과 연구」, 서울대학교 대학원, (2020), p.47.
103) 郑宁, 『陶艺的釉』, (北京 : 清华大学出版社, 2005), p.22.
104) 송미경, 「Matt釉料에 관한 研究,이화여자대학교 산업미술대학원」, (1985), p.8.
105) 이병화, 『나만의 유약 만들기-기본 유약 편』, (예경출판사, 2004), p.179.
106) 정동훈, 『도예기를 위한 유약연구』, (한국학술정보, 2011), p.37.

[표 71] SQ2.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.500 SiO_2 0.700 ZnO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	37.21
	고령토	6.11
	규석	35.51
	산화아연	20.88
	산화철	0.30
결과	 SQ2 SQ2.Zn	

[표 72] SQ4.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 5.500 SiO_2 0.700 ZnO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	32.57
	고령토	5.35
	규석	43.51
	산화아연	18.27
	산화철	0.30
결과	 SQ4 SQ4.Zn	

실험 결과, SQ2의 내화도와 유리질의 점도가 증가되었으며 형태 또한 잘 유지되었다. 하지만 수축률이 매우 높았다. 또한, 아연의 함량이 너무 많아 SQ2와SQ4의 산화철 발색이 제대로 이루어지지 않았다.

이어서 장석을 주성분으로 한 유리질 점토 FQC2와 FQC4에 산화아연 대치 실험을 진행하였다. FQC2와 FQC4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 CaO 융제를 산화아연으로 대치하였다. FQC2.Zn 및 FQC4.Zn의 조성비 및 결과는 [표 73, 74]와 같다.

[표 73] FQC2.Zn의 조성비 및 결과				
조성비(%)	규석	장석	산화철	산화아연
	20	80	0.3	10
결과	FQC2 FQC2.Zn			

[표 74] FQC4.Zn의 조성비 및 결과				
조성비(%)	규석	장석	산화철	산화아연
	40	60	0.3	10
결과	FQC4 FQC4.Zn			

융제 성분을 산화아연으로 대치한 후에도 유리질 형성 및 용융 상태에는 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 용융도는 약간 달라졌다. 형성된 유리질은 FQC2, FQC4와 달리 흐리고 탁하며 투광성이 약한 발색을 보였다.

산화아연의 마지막 융제 대치 실험은 송 관요 청자유를 기반으로 한 유리질 점토 SS로 진행하였다. SS의 성분 중 K/Na_2O 융제를 제외한 CaO 및 SrO 융제를 산화아연으로 대치하였다. SS.Zn의 제겔식, 조성비 및 결과는 [표 75]와 같다.

[표 75] SS.Zn의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.7592 ZnO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2	
성분비 (%)	장석	25.76
	고령토	16.50
	규석	42.14
	산화아연	15.12
	산화철	0.46
	지르콘	0.02
결과	 SS SS.Zn	

실험 결과 산화아연으로 융제가 대치되면서 원래 녹색계열이던 청자색 유리질 점토에 큰 변화가 생겼다. 용융온도가 높아져 유리질이 형성되지 않았으며 산화철의 환원 발색이 심히 저조하였다.

3-5. 탄산스트론튬($SrCO_3$)

탄산스트론튬은 유약의 조성에서 스트론튬의 유일한 공급원이며 탄산바륨과 유사한 성질을 갖고 있다. 탄산스트론튬은 용해성이 좋고 독성이 없다. 적절한 함량은 유약의 광택과 투명도에 도움이 되고 유약의 경도를 향상시킨다.[107] 또한, 유약의 용융온도를 낮추고 유리질의 광택을 높여 소성 범위를 넓히다. $SrCO_3$의 분해 온도는 1289℃이며 분해 후 SrO와 CO_2를 형성한다.[108] 탄산스트론튬은 유약의 조성에 따라 각기 다른 유리질을 형성한다. 탄산스트론튬을 적절히 배합하면 유리질의 생성과 고온에서 유동성을 촉진할 수 있고, 연화 온도를 낮추며, 소성 온도 범위를 넓히고, 유리질의 경도를 높이는 등의 작용을 한다. 그러나 함량이 높아지면 금속산화물의 발색과 유약의 질감에 영향을 줄 수 있으며, 20% 이상이면 유약 표면을 무광택으로 바꾼다.

먼저 제겔식을 기본으로 한 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 탄산스트론튬 대치 실험을 실시하였다. SQ2와 SQ4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 BaO 및 CaO 융제를 탄산스트론튬으로 대치하였다. SQ2Sr 및 SQ4Sr의 제겔식, 성분비 및 결과는 [표 76, 77]과 같다.

융제를 탄산스트론튬으로 대치한 후에도 SQ2와 SQ4의 기본적인 특징에는 변화가 없었다. 다만 탄산스트론튬 함량 증가로 소성 수축이 커졌고, 청색계열에서 녹색계열로 발색 방향이 바뀌었다.

---

107) 郑宁，『陶艺的釉』, (北京：清华大学出版社，2005), p.20.
108) 李家驹，『陶瓷工艺学』, (北京：中国轻工业出版社，2010), p.192.

[표 76] SQ2.Sr의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 4.500 SiO_2 0.700 SrO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	37.21
	고령토	6.11
	규석	35.51
	탄산스트론튬	20.88
	산화철	0.30
결과	 SQ2 SQ2.Sr	

[표 77] SQ4.Sr의 제겔식 , 성분비 및 결과		
제겔식	0.300 K/Na_2O 0.400 Al_2O_3 5.500 SiO_2 0.700 SrO 0.030 Fe_2O_3	
성분비(%)	장석	37.21
	고령토	6.11
	규석	35.51
	탄산스트론튬	20.88
	산화철	0.30
결과	 SQ4 SQ4.Sr	

다음으로 장석을 주성분으로 한 유리질 점토 FQC2와 FQC4에 탄산스트론튬 대치 실험을 진행하였다. FQC2와 FQC4에서 K/Na_2O 융제를 제외한 CaO 융제를 탄산스트론튬으로 대치하였다. FQC2.Sr 및 FQC4.Sr의 조성비 및 결과는 [표 78, 79]와 같다.

[표 78] FQC2.Sr의 조성비 및 결과				
조성비(%)	규석	장석	산화철	탄산스트론튬
	20	80	0.3	10
결과	FQC2 FQC2.Sr			

[표 79] FQC4.Sr의 조성비 및 결과				
조성비(%)	규석	장석	산화철	탄산스트론튬
	20	80	0.3	10
결과	FQC4 FQC4.Sr			

실험 결과인 FQC2.Sr와 FQC4.Sr는 기본 유리질 점토인 FQC2와 FQC4의 특징에 큰 영향을 미치지 않았다. 다만, 탄산스트론튬의 영향으로 산화철의 발색은 다르게 나타났다. 특히 FQC2.Sr의 산화철 발색은 FQC2와 확연히 달랐는데 탄소가 많이 섞인 혼탁하고 어두운 색상을 형성하였다. 오히려 규석 함량이 많은 FQC4.Sr은 FQC2.Sr처럼 색이 심하게 변화하지 않았고 청자색의 기본 색상을 비슷하게 유지하였다.

탄산스트론튬의 마지막 대치 실험은 송 관요 청자유 기반의 유리질 점토 SS로 진행하였다. SS의 성분 중 K/Na_2O 융제를 제외한 CaO 및 MgO 융제를 탄산스트론튬으로 대치하였다. SS.Sr의 제겔식, 성분비 및 결과는 [표 80]과 같다.

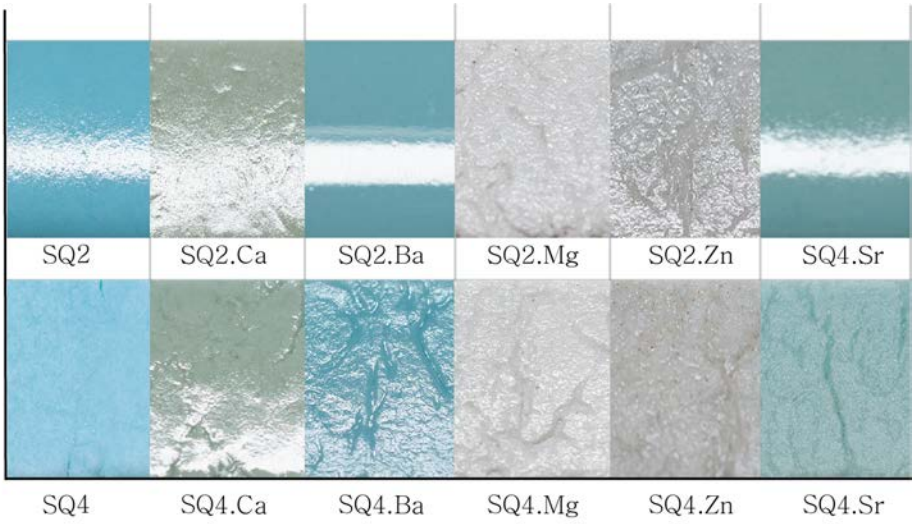
[표 80] SS.Sr의 제겔식, 성분비 및 결과		
제겔식	0.2408 K/Na_2O 0.3131 Al_2O_3 3.4395 SiO_2 0.7592 SrO 0.0316 Fe_2O_3 0.0005 ZrO_2	
성분비 (%)	장석	25.76
	고령토	16.50
	규석	42.14
	탄산스트론튬	15.12
	산화철	0.46
	지르콘	0.02
결과	 SS SS.Sr	

실험 결과인 SS.Sr을 보면 다른 융제를 탄산스트론튬으로 대치해도 유리질 점토 SS의 기본 특징이 거의 달라지지 않았다. 하지만 발색은 SS와 달리 청자색을 형성하고 있다.

3-6. 실험 분석

이상의 실험을 거쳐 제겔식 기반의 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 대한 융제 대치 실험 결과를 전체적으로 비교 분석한 결과, 유리질 성분에 따라 드러나는 작용이 달라, 기본 유리질 점토에 각기 다른 영향을 미치면서 또 다른 유리질 점토를 생성함을 관찰할 수 있었다. SQ2와 SQ4의 융제 대치 실험 결과의 발색 및 질감은 [표 81], 전체 시편 사진은 [표 82]와 같다.

[표 81] 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 융제 대치 후 발색 및 질감



[표 82] 청자색 유리질 점토 SQ2 및 SQ4의 융제 대치 실험 결과

SQ2

SQ2.Ca

SQ2.Ba

SQ2.Mg

SQ2.Zn

SQ2.Sr

SQ4

SQ4.Ca

SQ4.Ba

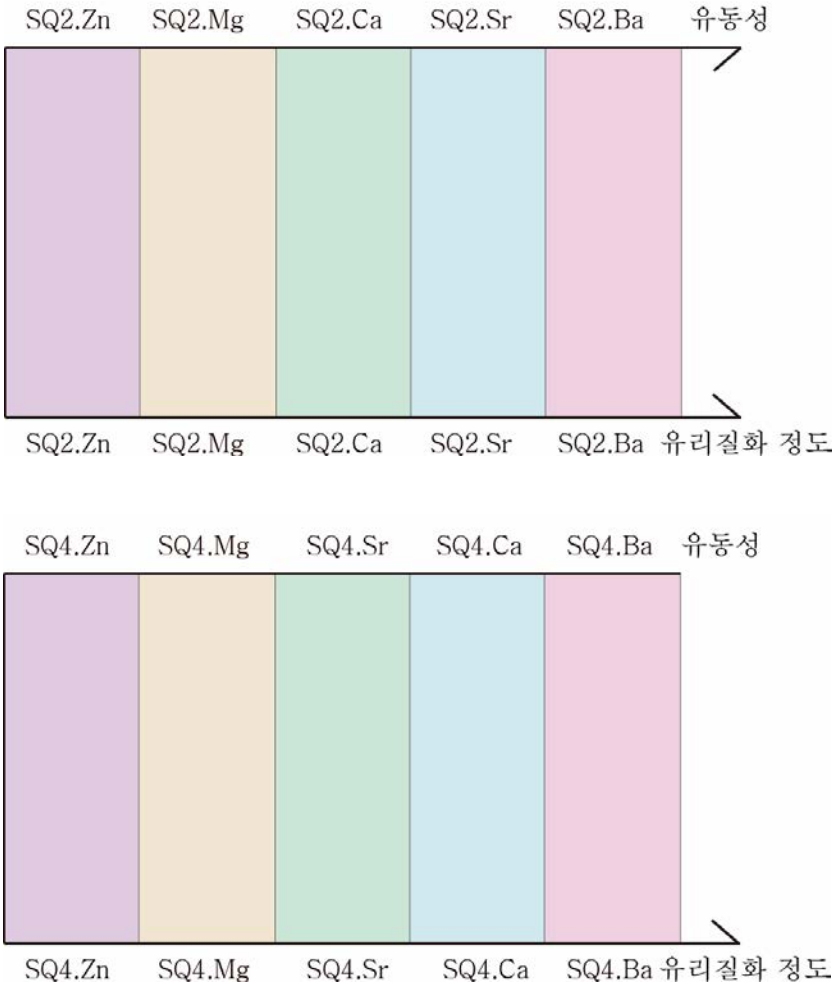
SQ4.Mg

SQ4.Zn

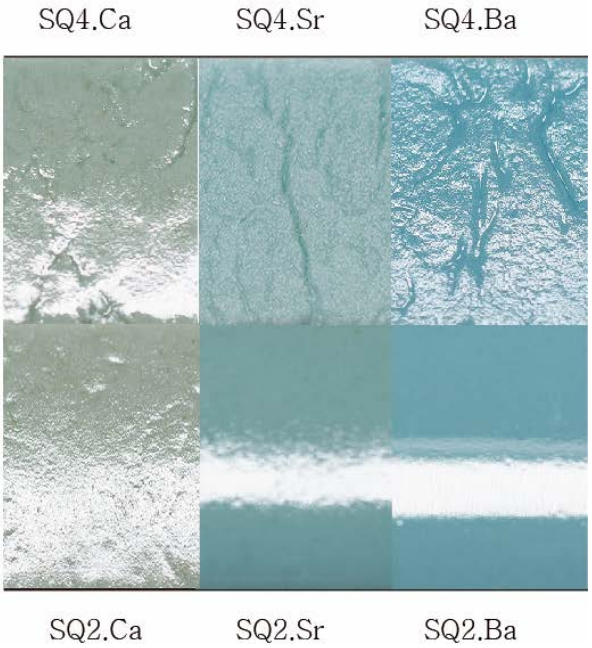
SQ4.Sr

SQ2와 SQ4의 융제 대치 실험 결과 실물 도판은 [표 82]를 통해 연구자는 유리질화의 정도, 발색, 유동성이라는 세 가지 측면에서 결과를 요약하고 정리하였다. 유리질화의 정도는 SQ2의 경우에 탄산바륨> 탄산스트론튬> 탄산칼슘> 탄산마그네슘> 산화아연 순이었으며, SQ4에서는 탄산바륨> 탄산칼슘> 탄산스트론튬> 탄산마그네슘> 산화아연 순이었다[표 83].

[표 83] SQ2와 SQ4에 융제 대치 실험 결과의 유리질화 정도와 유동성의 순서



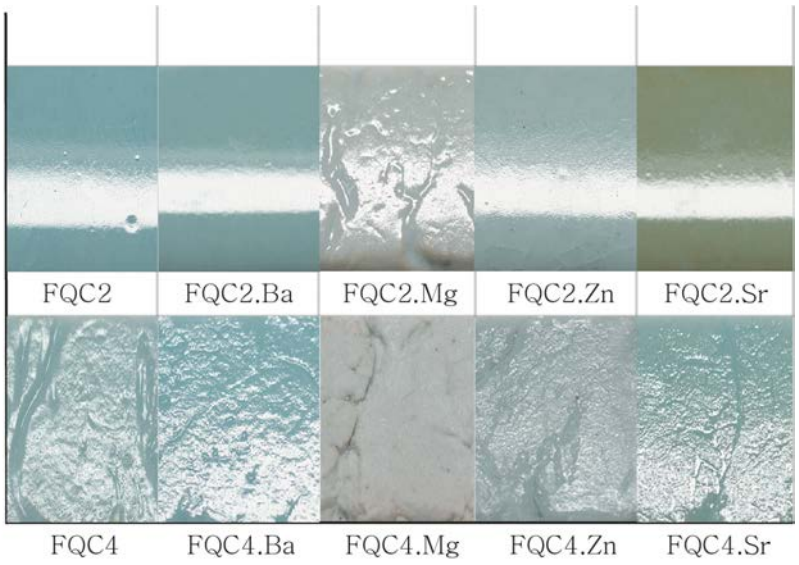
[표 84] SQ2와 SQ4에 융제 대치 실험 결과에 따른 청자색 색상



유리질의 유동성을 살펴보면 SQ2에서는 산화아연> 탄산마그네슘> 탄산칼슘> 탄산스트론튬> 탄산바륨 순으로 적게 나타났다. SQ4의 경우에는 수축률 차이를 제외하고 시편 간 유동성의 변화가 거의 없었다[표 83]. 색상은 SQ2와 SQ4 둘 다에서 탄산바륨, 탄산스트론튬, 탄산칼슘만 청자색을 보였다[표 84]. 이상의 분석에 따라 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 융제 대치 실험에서 SQ2.Ca, SQ2.Ba, SQ2.Sr 및 SQ4.Ca, SQ4.Ba, SQ4.Sr를 만족할 만한 결과로 꼽을 수 있었다.

다음으로 장석 중심의 유리질 점토 FQC2와 FQC4의 융제 대치 결과를 전체적으로 비교 관찰해 보면 융제의 종류와 함량에 따라 다른 발색과 질감이 나타남을 알 수 있다. FQC2와 FQC4의 융제 대치 실험 결과의 발색 및 질감은 [표 85]와 전체 시편 사진은 [표 86]과 같다.

[표 85] 청자색 유리질 점토 FQC2와 FQC4의 융제 대치 실험 결과의 발색 및 질감



[표 86] 청자색 유리질 점토 FQC2 및 FQC4의 융제 대치 실험 결과

FQC2

FQC4

FQC2.Ba

FQC4.Ba

FQC2.Mg

FQC4.Mg

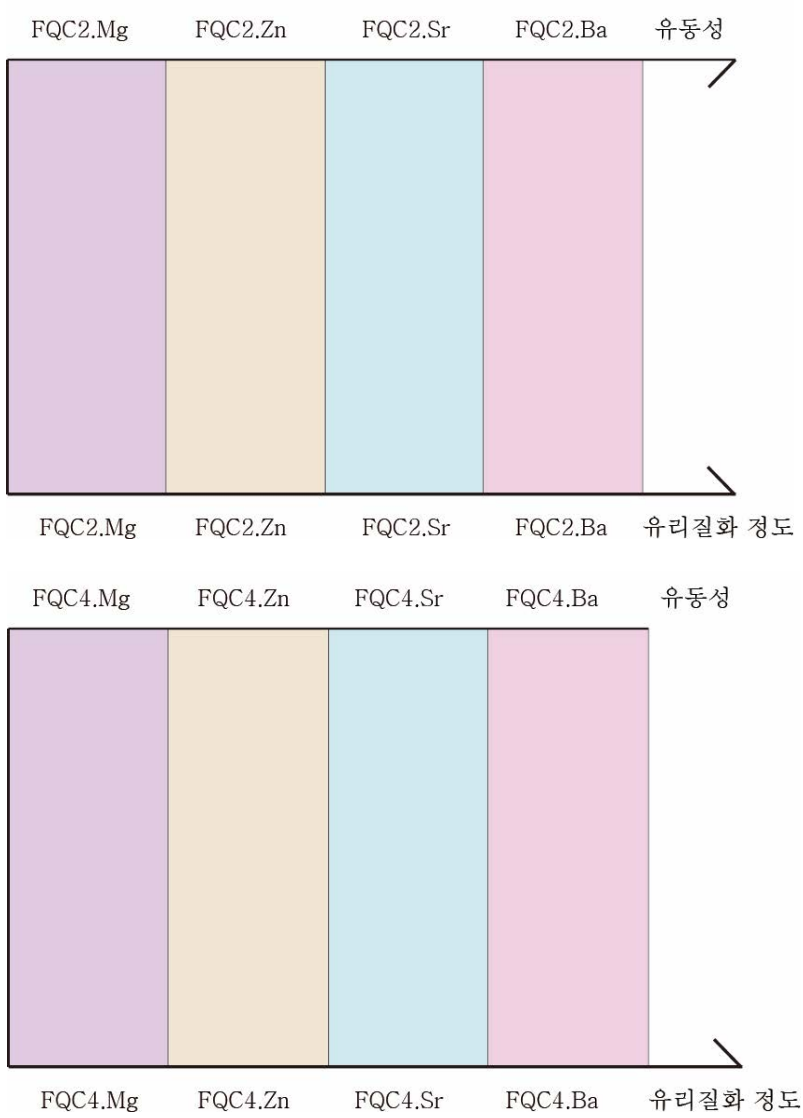
FQC2.Zn

FQC4.Zn

FQC2.Sr

FQC4.Sr

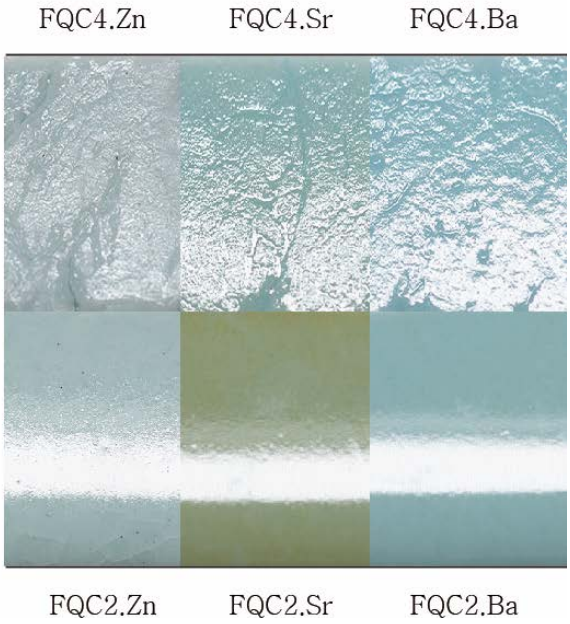
[표 87] FQC2와 FQC4의 융제 대치 실험에 따른 유리질화 정도와 유동성의 순서



이 유리질화의 정도, 유동성, 발색 세 가지 측면에서 결과를 정리하였다. 유리질화의 정도는 FQC2와 FQC4에서 마찬가지로 탄산바륨> 탄산스트론

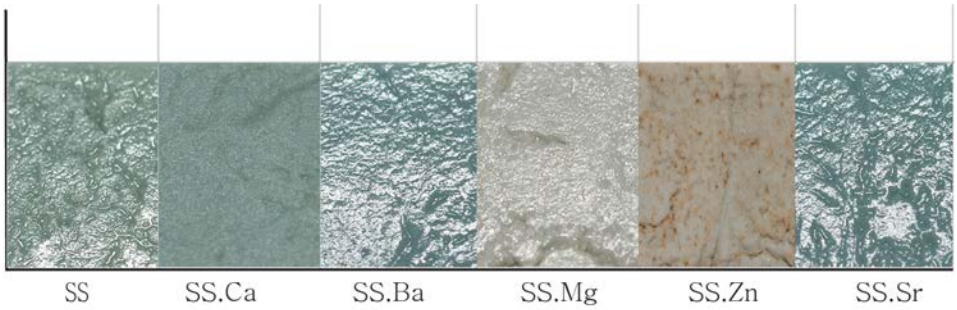
튬> 산화아연> 탄산마그네슘의 순이었다. 유리질의 유동성은 FQC2의 경우 탄산마그네슘을 제외하고 유동성이 있으며 그 정도도 비슷했다. 반면 FQC4에서는 수축률 차이를 제외하고는 모두 유동성이 없었으며 이는 유동성이 없는 FQC4의 특징을 유지하는 수준이었다[표 87]. FQC2에서는 탄산바륨, 산화아연, 탄산스트론튬을 융제로 대치해도 청자색이 유지되었고, FQC4에서는 탄산마그네슘을 제외한 나머지는 모두 청자색을 띠었다[표 88]. 이상의 분석에 따르면 유리질 점토 FQC2와 FQC4의 융제 대치 실험에서 FQC2.Ba, FQC2.Zn, FQC 4.Ba, FQC 4.Zn, FQC 4.Sr가 만족할만한 결과를 보여주었다.

[표 88] FQC2와 FQC4에 융제 대치 실험 결과에 따른 청자색 색상



송 관요 청자유 기반의 유리질 점토 SS의 융제 대치 결과를 전체적으로 보면 융제 성분에 따라 다른 효과가 나타남을 날 수 있다. SS의 융제 대치 실험 결과의 발색 및 질감은 [표 89], 전체 시편 사진은 [표 90]과 같다.

[표 89] 청자색 유리질 점토 SS에 융제 대치 후 발색 및 질감



[표 90] 청자색 유리질 점토 SS에 융제 대치 실험 결과

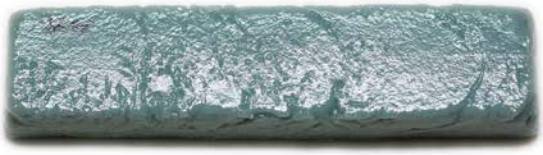
SS

SS.Ca

SS.Ba

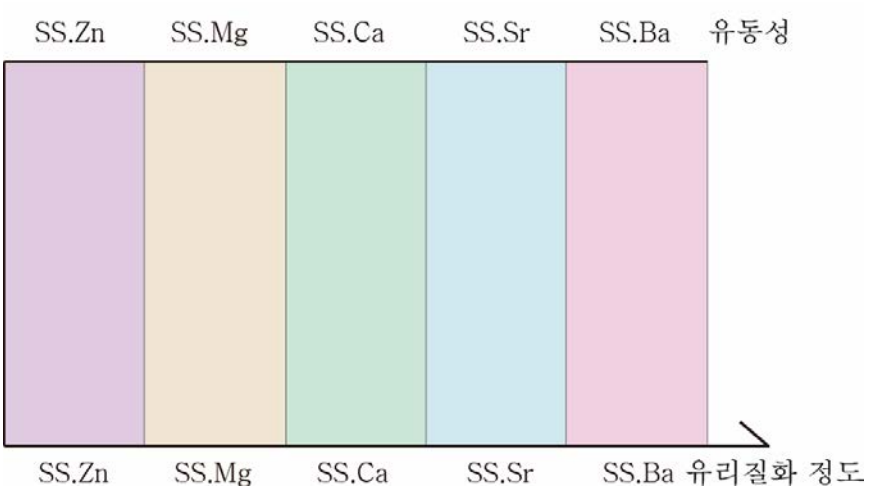
SS.Mg

SS.Zn



SS.Sr

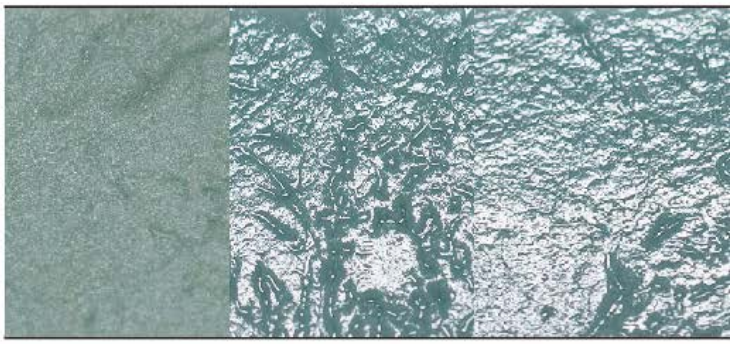
[표 91] SS에 융제 대치 실험 결과의 유리질화 정도와 유동성의 순서



유리질화 정도는 탄산바륨>탄산스트론튬>탄산칼슘>탄산마그네슘>산화아연 순이었으며, 유리질의 유동성은 어떤 융제로 대치해도 SS의 수준에서 변화가 없었다. 즉, 수축률 차이를 제외하고는 공통점으로 유리질의 유동성이 거의 없다는 특징을 가지고 있었다[표 91]. 발색은 탄산바륨, 탄산스트론튬, 탄산칼슘이 비슷한 청자색을 유지한 반면 탄산마그네슘과 산화아연은 청자색을 전혀 띠지 않았다[표 92].

이상의 분석에 따르면, 유리질 점토 SS의 융제 대치 실험 결과에서 SS, SS.Ba, SS.Sr, SS.Ca가 연구자 정의한 청자색 유리질 점토의 특징을 가지고 있었다. 유리질화 정도는 SS>SS.Ba>SS.Sr>SS.Ca순이었으며 발색은 모두 청녹색계열의 발색을 띠었다.

[표 92] SS에 융제 대치 실험 결과에 따른 청자색 색상



SS.Ca SS.Sr SS.Ba

4. 발색제 첨가 실험

이 연구를 위한 모든 유리질 점토는 미량의 철분이 포함되어서 환원소성 후 전형적인 청자유의 발색을 갖는다. 이에 보태 연구자는 다양한 청자색 발색을 위해 추가적인 발색제 첨가 실험을 시도했다. 청자색은 화학 성분으로 볼 때 주로 철 이온의 발색이다. 유리질 점토의 조성 성분과 발색제의 배합에 따라 청자색은 크게 청색계열과 녹색계열로 나뉜다. 또한 유리질 점토의 산-알칼리의 성분비, 소성 온도 및 소성 분위기에 따라 형성되는 유리질이 다르고, 유리질 속 발색제의 용해도에 따라 발색이 다양해진다.

발색제 실험은 청자색 유리질 점토에 추가되는 발색제의 종류와 양에 따른 색상을 검토하는 방향으로 진행하였다. 이 실험은 주로 제겔식 기반의 유리질 점토 SQ 시리즈를 기본유로 삼아 이루어졌다. 그 이유는 발색제의 안정성 때문이다. 융제 대체실험은 첨가 성분에 따라 크기, 발색, 유리질화, 용융도 등 상이한 결과를 볼 수 있었다. 그러나 발색제 첨가 실험에

서는 발색의 미묘한 차이 이외에는 유리질화, 수축률, 유동성에 유의미한 차이가 거의 발견되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 발색이 가장 좋은 SQ 시리즈로 한정하여 실험을 진행하였다.

유리질 점토의 청자색 실험은 산화철, 탄산망간, 인산칼슘, 산화티탄이라는 네 가지 금속산화물을 첨가하는 방식으로 진행되었다. 실험 방식은 네 가지 방향으로, 첫째는 산화철 함량 변화, 둘째는 산화철과 탄산망간의 조합, 셋째는 산화철과 인산칼슘의 조합, 넷째는 산화철과 산화티탄의 조합이다.

4-1. 산화철(Fe_2O_3) 함량의 변화

산화철이 유리질 속에서 보이는 색상은 연두색에서 청록 및 짙은 녹색까지로, 색의 깊이는 산화철의 함량과 성질에 따라 결정된다. 유리질화가 잘 될수록, 유리질 속에서 산화철의 용해도가 높을수록 발색이 우수하다.

유약에서 철의 주요 기능은 색을 내는 것이나 5%를 초과하면 약간의 용매 효과가 있다.[109] 산화철을 환원 분위기에서 소성한 경우 초록색 또는 푸른색을 띠며, 산화 분위기에서는 노란색 또는 갈색을 띤다.[110] 환원 소성 시 철분의 함량을 달리하면 다양한 농담의 청자색을 얻을 수 있다. 또한 유리질의 서로 다른 용융 상태에서 다양한 색상의 변화를 나타낸다.

청자유에 대한 역사적 고찰을 통해 살펴본 바, 산화철의 함량이 가장 높은 요주요에서는 산화철을 유약에 1.9% 첨가하고 환원 분위기에서 소성하여, 어두운 청자색을 얻었다. 일반적으로 유약의 0.2~2%에 해당하는 양의 산화철을 첨가해 청색 또는 녹색을 내며, 비율이 높아질수록 검은색에 가까워진다.

연구자는 청자색 유리질 점토의 풍부한 발색의 범위를 검토하기 위해 산화철 함량 조절 실험을 진행하였으며, 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 산화철

109) 郑宁, 『陶艺的釉』, (北京 : 清华大学出版社, 2005), p.23.
110) Daniel Rhodes, 『Clay and Glazes for the Potter(도예가를 위한 점토와 유약)』, 이부연/배미정/송연옥/김동원/조준희/김두식/김진동 공역, (한양대학교 출판부, 2016), p.220.

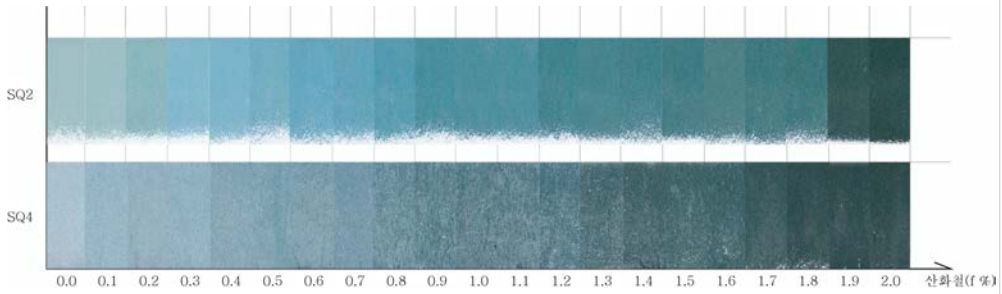
을 0.1%씩 증가시켜 2.0%에 이르기까지 실험을 진행하였다. SQ2.f, SQ4.f의 기본 조성과 산화철의 함량은 [표 93]과 같다.

[표 93] SQ2.f, SQ4.f의 기본 조성 및 산화철 함량

명칭	기본 조성	산화철 함량(%)
SQ2.f	SQ2	0.0~2.0
SQ4.f	SQ4	

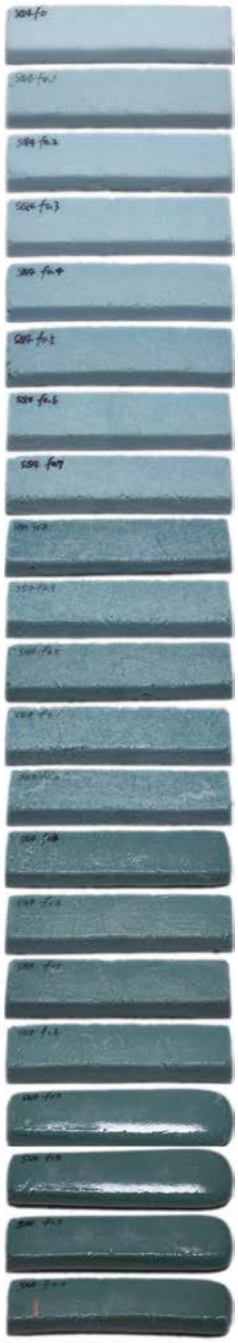
전체적으로 SQ2, SQ4의 경우 산화철의 함량 증가는 청자색을 풍부하게 만들뿐 유리질 점토의 다른 성질에는 영향을 주지 않았다. SQ2f 0.0~2.0 및 SQ4f 0.0~2.0의 색상 변화는 [표 94], SQ2와 SQ4에서 산화철 함량 0.0~2.0% 증가 실험 결과는 [표 95]와 같다.

[표 94] SQ2 및 SQ4에 산화철 함량 0.0-2.0%의 색상 변화



[표 95] SQ2, SQ4에 산화철 참량 0.0~2.0%의 증가 실험 결과

SQ2 f.0.0~2.0



SQ4 f.0.0~2.0

실험 결과, 유리질 점토 SQ2, SQ4는 산화철 함량이 증가함에 따라 청자색이 옅은 색에서 진한 색으로 농담 효과가 선명하게 나타남을 알 수 있었다. 산화철 함량을 계속 증가시키면 어느 정도 융제 역할도 하기 때문에 산화철의 증가에 따라 유리질 질감도 눈에 띄게 향상되었다. SQ2와 SQ4는 SiO_2 성분의 함량이 높고 유리질의 재질이 좋아서 산화철이 2.0%에 달했을 때도 유려하고 깊은 청자색을 띠었다.

4-2. 산화철과 탄산망간($MnCO_3$)

전통적인 청자유 재료에는 대개 망간 성분이 포함되어 발색에 적지 않은 영향을 미쳤다. 이때 망간은 산화철 성분과 결합해 탁하고 무거운 색조의 청자색을 만든다. 탄산망간은 주로 갈색을 위한 발색제로 사용되는데, 함량이 증가할수록 연보라색에서 암갈색으로 점차 짙어진다. 유리질 속에 용해 정도, 함량, 발색제 조합에 따라 다양한 발색효과를 낸다.

탄산망간은 유리질화 정도가 높으면 용해도가 높아서 색상과 명도를 낮추는 역할을 하며, 함량이 증가할수록 유리질의 색상도 함께 어두워진다. 점토나 유약에 5% 이상을 섞으면 물집 같은 현상이 나타나기도 한다.[111] 일정 함량 이상으로 포화되면 유리질 표면에 결정체를 만들기도 한다. 반면 유리질화 정도가 낮은 경우에서는 용해도가 낮아 유리질 발색을 저해하는 동시에 녹지 않은 입자가 유리질에 잔존하여 흔적을 만들기 쉽다.

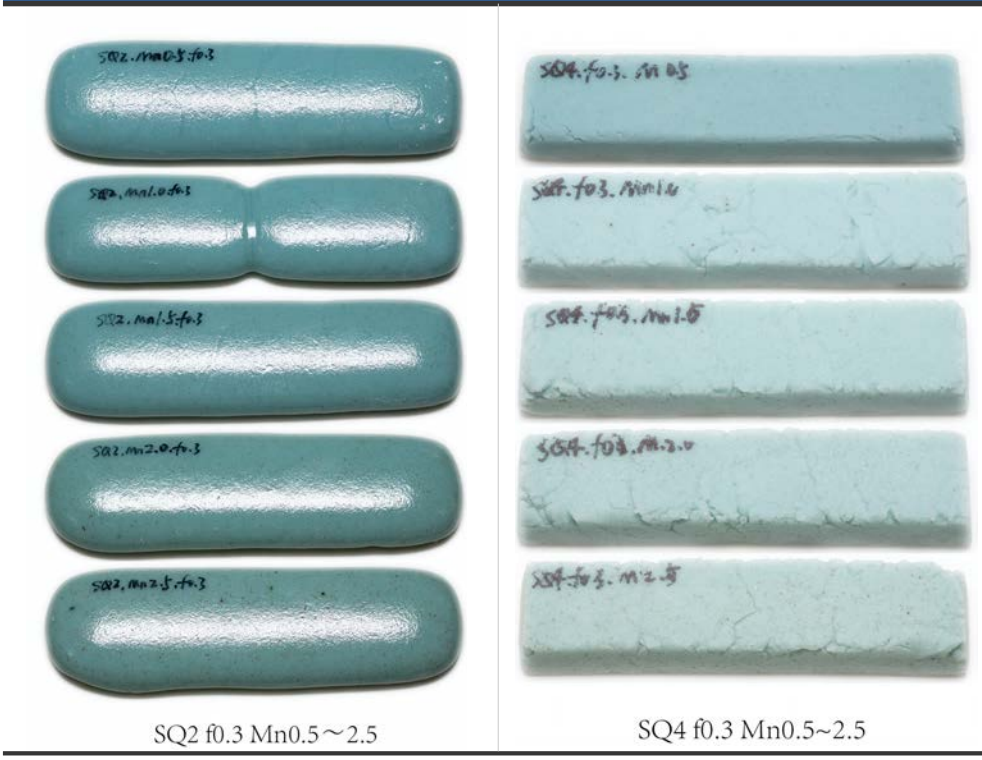
연구자는 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 산화철을 0.3%로 고정하고 탄산망간 함량을 0.5%씩 증가시켜 2.5%까지 늘이는 실험을 진행하였다. SQ2.Mn와 SQ4.Mn의 기본 조성 및 탄산망간 함량은 [표 96], SQ2와 SQ4에 탄산망간 함량 0.5~2.5%의 증가 실험 결과는 [표 97], SQ2.Mn 0.0~2.5% 및 SQ4.Mn 0.0~2.5%의 색상 변화는 [표 98]에 나타냈다.

---

111) 정동훈, 『도예기를 위한 유약연구』, (한국학술정보, 2011), p.35.

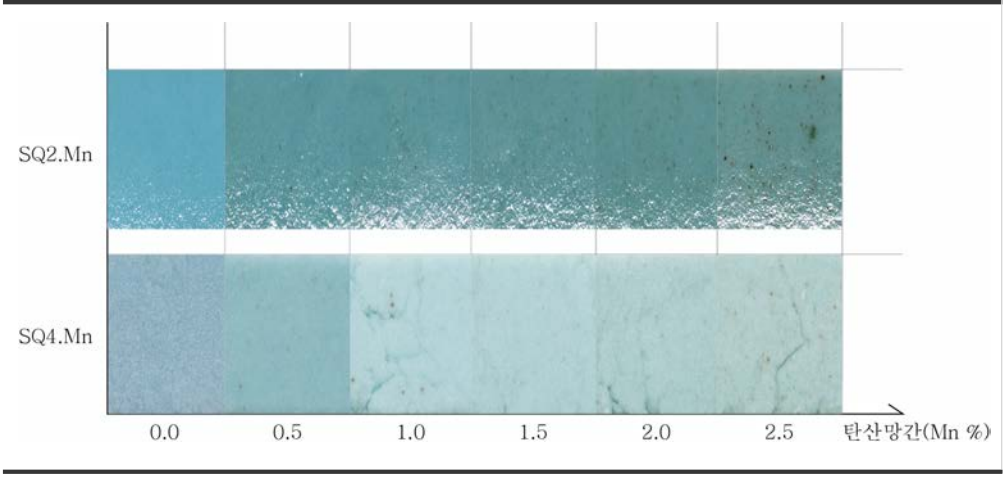
[표 96] SQ2.Mn, SQ4.Mn의 기본 조성 및 탄산망간 함량		
명칭	기본 조성	탄산망간 함량 (%)
SQ2.Mn SQ4.Mn	SQ2 (산화철 0.3%) SQ4 (산화철 0.3%)	0.5
		1.0
		1.5
		2.0
		2.5

[표 97] SQ2, SQ4에 탄산망간 함량 0.5%~2.5%의 증가 실험 결과



SQ2 f0.3 Mn0.5～2.5　　SQ4 f0.3 Mn0.5~2.5

[표 98] SQ2 및 SQ4에 탄산망간 함량 0.0~2.5%의 색상 변화



실험 결과를 보면 탄산망간 증가에 따라 SQ2와 SQ4의 명암 변화가 어느 정도 나타났고, 유리질화 정도에 따라 탄산망간의 용해도와 산화철의 발색에 차이가 났다. 유리질 점토 SQ2는 탄산망간 함량이 증가할수록 밝은 색에서 어두운 색으로 명도가 변화하고, 반대로 SQ4의 경우에는 탄산망간이 증가함에 따라 점점 밝아졌다. SQ2의 유리질화 정도는 변화가 크지 않았으나 SQ4는 탄산망간이 증가할수록 유리질화 정도가 조금씩 떨어졌다. SQ2와 SQ4의 탄산망간 함량이 2%부터는 용해되지 않은 탄산망간 입자가 눈에 띈다.

4-3. 산화철과 산화티탄(TiO_2)

산화티탄은 티탄(Ti) 성분의 공급원이며 대표적인 유탁재이다. 흰빛이 나는 분말 상태인 산화티탄은 산성 성분으로 유약에서 최대 1%까지 융제로 사용 가능하며, 2~5%를 첨가하면 반광택유, 5% 이상 첨가하면 무광택유를 만든다.[112] 유리질 속 용해도는 크지 않으며, 유리질을 탁하게 만들고 발색

112) Yvonne hutchinson Cuff, 『Ceramic technology for potters and sculptors / Yvonne Hutchinson Cuff ; line drawings by Peter Bramhald』, (University of Pennsylvania Press, 1996),

에도 커다란 영향을 미친다. 특히 산화철을 주요 발색제로 하는 투명한 유리질 유약을 환원 분위기로 소성할 때에는 조금만 첨가해도 청자색의 정상적인 발색을 방해할 수 있다. 티탄은 청자유약에서 푸른색이 아닌 올리브색상의 발색을 돕는 성분으로, 월주요 청자에서 녹색계열 색상을 띠게 하는 주요한 원인이다.[113] 산화철과 산화티탄의 조합은 녹색계열 청자유를 위한 좋은 조합이다. 다만, 함량이 높아 과포화상태가 되면 노란색을 띠면서 유리질의 내부에 결정이 생겨 투명도가 낮아진다.

연구자는 청자색 유리질 점토 SQ2, SQ4에 산화티탄을 0.2%씩 증가해 1.0%까지 올리는 실험을 진행하였다. SQ2.Ti, SQ4.Ti의 기본 조성 및 산화티탄의 함량은 [표 99]와 같고, 실험 결과는 [표 100], SQ2.Ti 0.0~1.0 및 SQ4.Ti 0.0~1.0의 색상 변화는 [표 101]과 같다.

[표 99] SQ2.Ti2, SQ4.Ti의 기본 조성 및 산화티탄 함량

명칭	기본 조성	산화티탄 함량(%)
SQ2.Ti SQ4.Ti	SQ2 (산화철 0.3%) SQ4 (산화철 0.3%)	0.2
		0.4
		0.6
		0.8
		1.0

p.367.

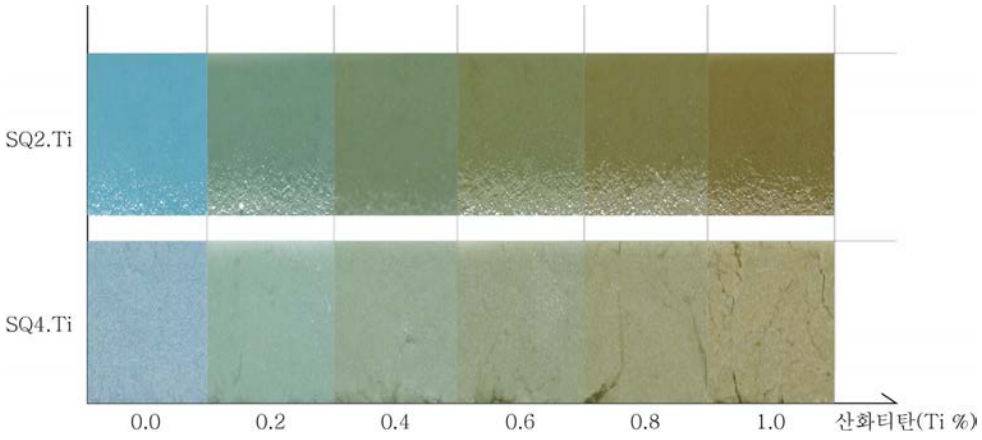
113) 이가진, 「청자유를 두껍게 시유한 도자작품의 사례분석 및 제작에 관한 연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문, (2021), p.17.

[표 100] SQ2, SQ4에 산화티탄 함량 0.2~1.0%의 증가 실험 결과

SQ2 f0.3 Ti0.2～1.0

SQ4 f0.3 Ti0.2～1.0

[표 101] SQ2 및 SQ4에 산화티탄 함량 0.0~1.0%의 색상 변화

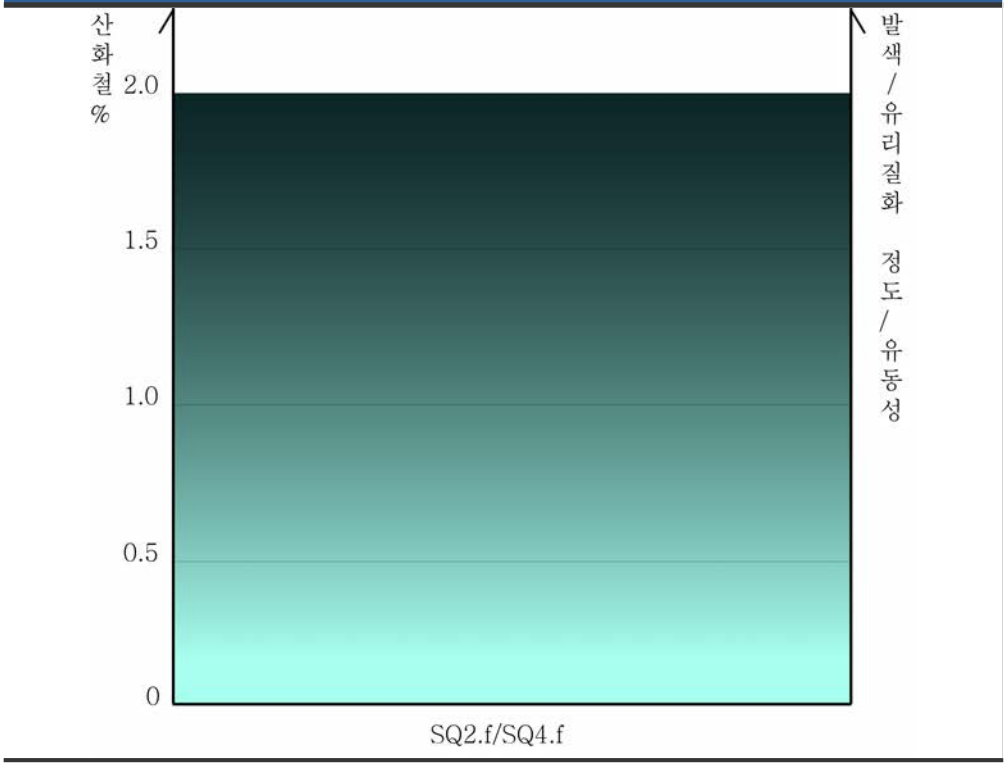


실험 결과를 통해 발색이 청색계열에서 점차 녹색계열로 바뀌는 것을 알 수 있다. 푸른색이 진한 올리브색으로 변화하는 것이다. 유리질화 정도와 유동성에는 큰 변화가 없었다.

4-4. 실험 분석

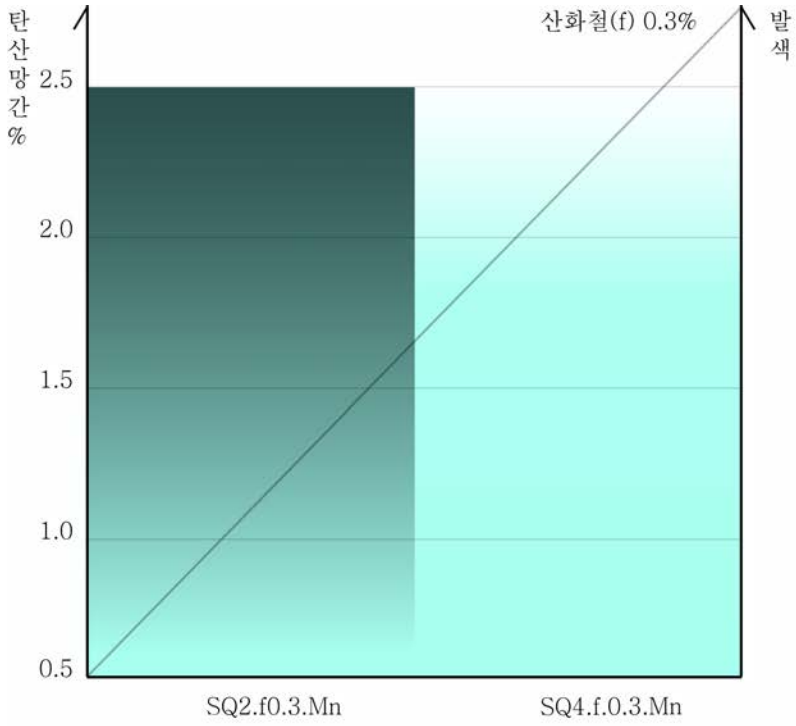
청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 발색제를 첨가하는 실험을 통해 발색제 종류와 배합비에 따른 다양한 결과를 얻게 되었다. 발색제의 첨가는 기본 유리질 점토의 유리질화 정도와 유동성에 영향을 주지 않았다. 단, 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 조성 중 산화철의 함량이 높은 경우 산화철이 융제 역할을 하여 유리질 점토의 유리질화 정도와 유동성은 높아지고 발색은 진한 청자색이 되었다[표 102].

[표 102] SQ2, SQ4에 산화철 증가 후 발색, 유리질화 정도, 유동성의 변화



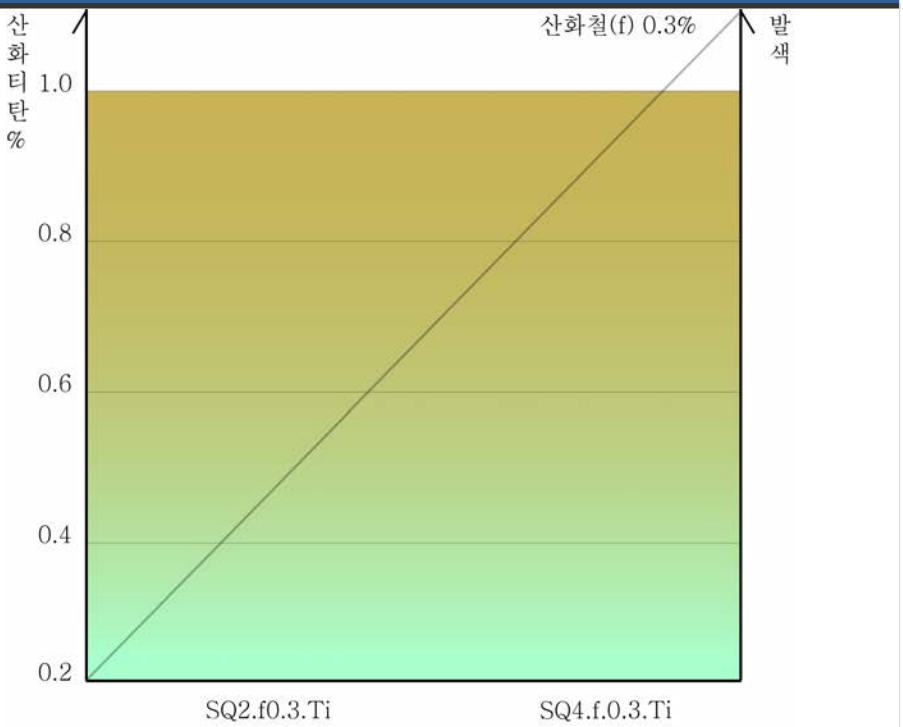
결론적으로 말하자면 미량의 탄산망간은 산화철의 발색과 유리질의 성질에 큰 영향을 주지 않는다. SQ2의 경우 유리질화 정도와 유동성에는 영향이 없었고, 발색은 점점 진해졌다. SQ4의 발색은 점점 연해졌다[표 103].

[표 103] SQ2, SQ4에 탄산망간 증가 후 발색, 유리질화 정도, 유동성의 변화



하지만 산화티탄은 유리질의 성질 변화와 무관하나 산화철의 발색에 큰 영향을 준다. 발색은 산화티탄의 함량이 높을수록 녹색계열에서 황색계열로 변했다[표 104].

[표 104] SQ2, SQ4에 산화티탄 증가 후 발색의 변화



5. 기포 증가 실험

일정한 크기와 두께를 갖는 유리질 점토가 소성 후 유리질화 되면 그 안에 기포가 발생한다. 기포의 크기와 개수는 점토의 성분, 용융온도 그리고 소성 분위기에 따라 결정된다. 그중에서도 유리질의 화학 조성이 기포 생성에 가장 큰 영향을 미친다.

유리질 속에 존재하는 기포는 시각적으로 큰 영향을 미친다. 이는 유리질의 투광도, 표면 질감, 부피 팽창 정도, 발색 등의 차이로 나타난다. 유리질 속에 기포가 없을수록 유리질의 투광도가 좋으며, 표면 질감이 평평하고 팽창 정도가 작다. 반면 유리질 속의 기포가 클수록, 많을수록, 더 넓게 분포할수록 유리질의 투광도가 떨어지며 표면이 거칠고 부피도 커지며

발색도 영향이 받는다.

그러므로 유리질 속 기포는 독특한 질감과 색상효과를 낼 수 있는 또 하나의 방법이 될 수도 있다. 특히 기포의 증가와 크기 확대는 유리질 점토의 기본 성질에 흥미로운 변화를 일으킨다. 따라서 개발한 청자색 유리질 점토에 의도적으로 기포를 유발하는 성분을 첨가해 유리질 속 기포를 증가시키고, 기포의 크기와 함량, 분포를 측정하는 실험과 관찰을 진행하였다.

연구자는 발포 효과가 강한 탄화규소와 인산칼슘의 두 가지 성분을 실험 대상으로 선택하고, 각각 유동성과 무유동성 두 가지 다른 특징을 가진 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 첨가 및 성분 증가 실험을 진행하였다.

5-1. 탄화규소(SiC) 성분 첨가 실험

탄화규소는 높은 경도와 강도, 내부식성, 내마모성, 열 충격 저항성을 가진 재료이다.[114] 탄화규소의 화학식은 SiC로 규석, 코크스, 톱밥 등을 혼합하여 저항로를 통해 고온에서 제련하여 만든다.[115] 'Si 와 C의 높은 결합에너지는 탄화규소를 화학적으로 안정되게 만든다.'[116] 경도가 상당히 높고 고온에 강하기 때문에 공기 중에서 약 1500~1600℃까지 내열이 되므로 연마재와 내화재에 많이 사용된다.[117]

---

114) 김성훈, 김경훈, 도환수, 박주석, 김경자, 심광보, 「열간 가압 소결법으로 제조한 탄화규소의 균열자기치유」, 한국세라믹기술원 기업협력센터, 한양대학교 신소재공학과, (2016), p.62.

115) 윤창주, 화학용어사전편찬회 ,『화학용어사전』, (일진사, 2011), p.715. '탄화규소(碳化硅素, silicon carbide)는 공유결합성이 높고 매우 견고(다이아몬드, 탄화붕소에 다음 가는 경도가 있다)하며 또 한 분해 온도도 극히 높은(2500℃전후) 화합물이다. 결정에는 매우 많은 형이 존재한다. SiO_2와 C의 혼합물의 직접 통전, Si와 C의 혼합물의 자기연소, $SiCl_4$와 탄화수소의 화학증착법 등의 방법으로 합성된다.'

116) 박종휘, 이원재, 「탄화규소의 단결정 성장방법 및 응용분야」, 세라미스트, (2010), p.65.

117) 오지은, 「탄화규소를 활용한 도자작품연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문 (2018), p.7.

일반적으로 SiC 표면의 산화막은 열처리 과정에서 생성된다. 이러한 산화막은 미세한 균열을 회복 및 복원하는 균열자기치유 특성을 나타낸다. SiC의 균열자기치유 반응식은 $SiC + 2O_2 \rightarrow SiO_2 + CO_2$이다. SiC의 경우 800℃부터 산화가 시작되어 SiO_2가 생성된다.[118]

탄산규소는 도자분야에서 화산유의 재료로 사용되어 왔다. 이는 탄화규소가 고온 소성 시 산화하면서 가스가 발생하는 특성을 활용한 것이다.[119] 탄화규소에는 탄소가 다량 함유되어 있어 유약에 조금만 넣어도 용융될 때 다량의 CO_2 또는 CO를 방출한다. 그에 따른 부피 팽창 현상을 쉽게 일어나기 때문에 탄산규소의 탄소성분을 기포제로 활용해보고자 하였다.

탄화규소는 공정 수요에 따라 크기가 다른 입자를 갖고 있다. 입자의 크기에 따라, 또는 유리질에서 용해되는 정도에 따라, 함량 및 분포에 따라 발생하는 기포의 크기 및 팽창의 정도가 달라진다.

연구자는 탄화규소가 유리질에서 잘 녹도록 비교적 미세한 3000mesh 탄화규소 미분을 선택하였다. 3000mesh 탄화규소 미분은 [그림 13]과 같이 짙은 회색을 띤다. 이를 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 각각 0.1%씩 첨가하여 5단계로 증가 시키는 실험을 실시하였다. SQ2.SiC 0.1~0.5와 SQ4.SiC 0.1~0.5의 기본 조성 및 함량은 [표 105]와 같고, 실험 결과의 발색 및 질감 변화는 [표 106], 실험 결과는 [표 107]과 같다.

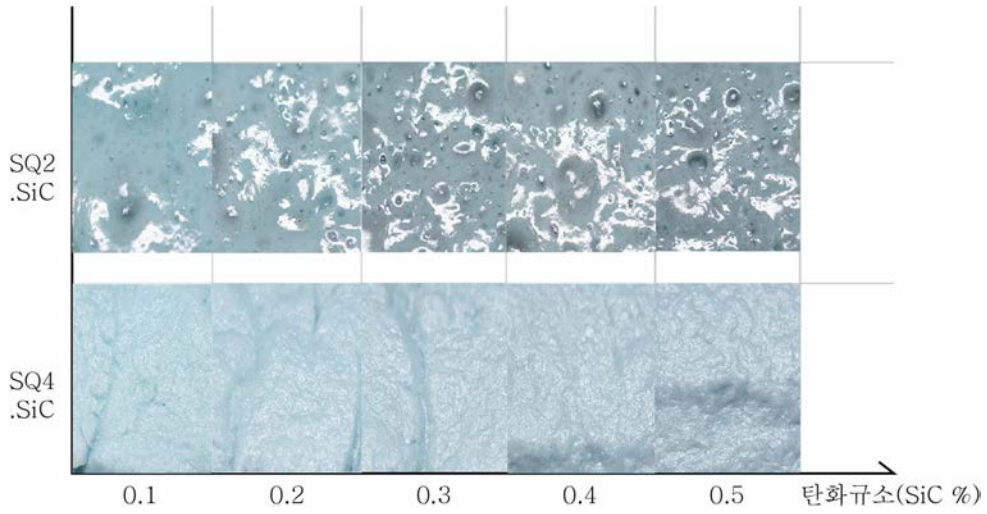
[그림 13] SiC 3000mesh 분말

118) 김성훈, 김경훈, 도환수, 박주석, 김경자, 심광보, 「열간가압소결법으로 제조한 탄화규소의 균열자기치유」, 한국세라믹기술원 기업협력센터, 한양대학교 신소재공학과, (2016), p.64.

119) 오지은, 「탄화규소를 활용한 도자작품연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문 (2018), p.9.

[표 105] SQ2.SiC 0.1~0.5와 SQ4.SiC 0.1~0.5의 기본 조성 및 SiC 함량		
명 칭	기본 조성	SiC(3000mesh) 함량 (%)
SQ2.SiC 0.1~0.5	SQ2 (산화철 0.3%)	0.1
		0.2
		0.3
		0.4
		0.5
SQ4.SiC 0.1~0.5	SQ4 (산화철 0.3%)	0.1
		0.2
		0.3
		0.4
		0.5

[표 106] SQ2와 SQ4에 SiC 첨가 후 발색 및 질감 변화



[표 107] SQ2.SiC 0.1~0.5 및 SQ4.SiC 0.1~0.5의 실험 결과

SQ2.SiC 0.1	SQ4.SiC 0.1
SQ2.SiC 0.2	SQ4.SiC 0.2
SQ2.SiC 0.3	SQ4.SiC 0.3
SQ2.SiC 0.4	SQ4.SiC 0.4
SQ2.SiC 0.5	SQ4.SiC 0.5

실험 결과를 보면 탄화규소 성분이 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 큰 영향을 미치는 것이 분명하다. 탄화규소 성분 탓에 기포가 생성되고, 유리질의 구조가 바뀌며 부풀어 올라 부피가 팽창했다. 팽창으로 부피는 커졌지만 상대적으로 무게는 가벼워졌다. 탄산규소 성분이 많아질수록 기포가 많아지고 커지면서 균일하게 분포해 유리질 속에 밀폐된 공간이 많이 형성되는 다공성 유리질이 되었다.

발색의 측면에서도 탄화규소의 증가는 기포함량, 팽창도, 부유도, 투광도 등의 성질에 큰 영향을 미쳤다. 탄화규소 성분이 많아지면 탄소도 늘어나는데, 용융 과정에서 탄소가 제대로 배출되지 않아 청자색이 잿빛으로 변색하였다. 특히 유리질화 정도가 높은 SQ2는 탄소를 배출하는 능력이 유리질화가 덜 된 SQ4에 비해 약했다.

5-2. 인산칼슘[$Ca_3(PO_4)_2$] 성분 첨가 실험

인산칼슘을 주성분으로 하는 천연 골회를 일반 도자 점토에 30%이상(국제 규격)첨가한 것이 고급본차이나다. 일반적으로 본차이나의 조성은 하소한 동물뼈 30~50%, 고령토 20~50%, 풍화화강암 25~30%로, 경질자기보다 질감이 부드럽고, 굽는 온도가 낮으며, 가볍고 투광도가 좋은 장점이 있다.[120]

인산칼슘에 의해 유약은 유리질에 분상이 일어나 다량의 미세한 기포가 형성되며 빛의 굴절률을 변화시켜 유리질이 유탁해져 우유빛을 띠게 된다. 적당량을 산화철과 조합하여 사용하면 유리질이 불투명하게 우유빛으로 변해 유탁한 청자유가 만들어질 수 있다. 중국의 고대, 많은 송 대 청자유약 화학 성분에도 인이 포함되어 있다.

인산칼슘은 인(P)성분의 공급재로서 미세한 기포를 발생시켜 유약의 유탁 현상을 유발한다. 인산칼슘의 함유량이 적당하면 유리질이 맑으면서 동

120) 김윤성, 김준이, 유중환, 김형태, 「본차이나 소지용 인산칼슘 분말에 제조 및 적용에 관한 연구」, 한국세라믹학회지, (2004), p.922.

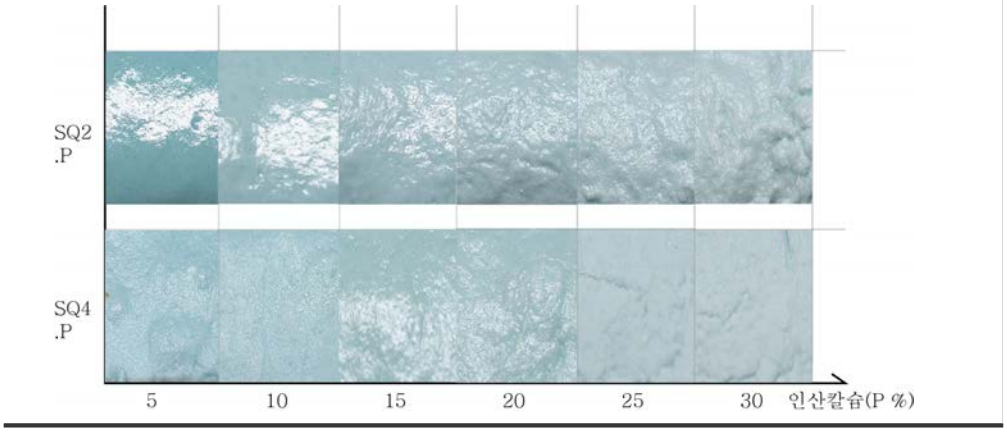
시에 유광이 나는 유탁 현상이 나타난다. 두껍게 시유 된 송 대 청자에서 흔히 발견되는 유약의 유탁 현상은 인산칼슘이 만든 전형적인 사례이다.

연구자는 청자색 유리질 점토 SQ2와 SQ4에 인산칼슘을 각각 5%씩 증가시키는 6단계의 실험을 진행하였다. SQ2.P 5~30과 SQ4.P 5~30의 기본 조성 및 인산칼슘의 함량은 [표 108], 인산칼슘 첨가 후 발색 및 질감 변화는 [표 109], 그 실험 결과는 [표 110]과 같다.

[표 108] SQ2.P 5~30과 SQ4.P 5~30의 기본 조성 및 인산칼슘 함량

명 칭	기본 조성	인산칼슘 함량(%)
SQ2.P	SQ2 (산화철 0.3%)	5
		10
		15
		20
		25
		30
SQ4.P10	SQ4 (산화철 0.3%)	5
		10
		15
		20
		25
		30

[표 109] SQ2와 SQ4에 인산칼슘 첨가 후 발색 및 질감 변화



[표 110] SQ2.P 5~30 및 SQ4.P 5~30의 실험 결과

SQ2.P 5

SQ2.P 10

SQ2.P 15

SQ2.P 20

SQ2.P 25

SQ2.P 30

SQ4.P 5

SQ4.P 10

SQ4.P 15

SQ4.P 20

SQ4.P 25

SQ4.P 30

실험 결과를 보면 인산칼슘 성분의 증가에 따라 유리질 점토 SQ2와 SQ4의 원래 특징이 크게 달라졌다. 특히 유리질화 정도가 높은 SQ2에서는 기포 함량이 일정하게 증가하여 유리질의 구조가 바뀌고, 부피가 팽창하면서 부풀어 오르고 상대적으로 무게는 가벼워졌다.

인산칼슘이 증가할수록 유리질 속에 기포가 많아지고 커지면서 유리질 속에 밀폐된 공간이 많이 형성된 다공성 유리질로 변화하여, 물에 반쯤 떠 있을 수 있는 정도가 되었다. 또한 현상은 탄화규소 첨가 시와 유사했으나, 팽창도나 부유도 모두 탄화규소보다는 약했다.

SQ2보다 유리질화 정도가 낮은 SQ4에서는 전체적인 팽창도와 부유도가 모두 더 적었으며, 함량이 증가할수록 오히려 SQ4에 미치는 영향이 약해졌다. 인산칼슘 성분이 늘어날수록 SQ2와 SQ4의 유리질의 유탁성이 강해져 투광도가 약해졌다. 발색은 SQ2와 SQ4 모두 인산칼슘 성분이 증가할수록 청자색이 점점 밝은 색으로 변화하였다.

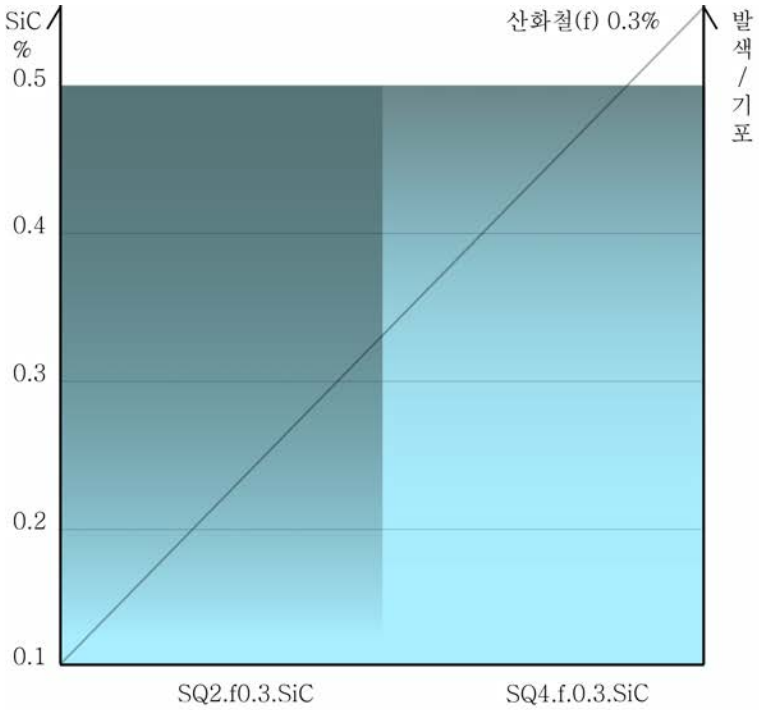
5-3. 실험 분석

탄화규소와 인산칼슘 첨가 실험 결과 기포 양, 기포 크기 및 함량 그리고 분포가 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 그 결과 시편 부피가 증가하고 무게는 상대적으로 가벼워졌으며 다공성 유리질 성질로 변화하였다. 그러나 그 정도와 강도에 있어서는 첨가 성분 및 함량에 따라 결과가 상이하였다. 이는 유리질화 정도에 따라 발포 정도의 차이가 생긴 것으로 보인다.

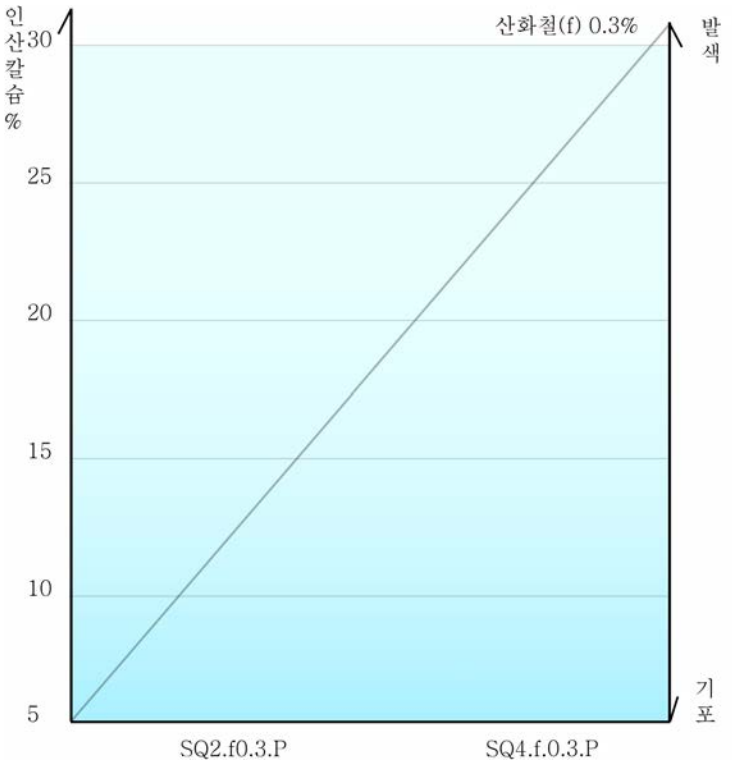
탄산규소를 SQ2와 SQ4에 첨가한 경우 기포의 양 및 발색은 탄산규소의 양과 비례관계였다. 탄산규소 성분이 많을수록 기포는 많아지고 발색은 어두워졌다[표 111]. 인산칼슘의 경우, SQ2와 SQ4에 첨가 후 발색은 인산칼슘의 양과 비례관계이었고 첨가된 양이 많을수록 발색이 연해졌다. 기포는 SQ2에 많을수록 많아지고 SQ4에 많을수록 반대로 적어졌다[표 112]. 탄화규소와 인산칼슘 첨가 실험은 기포증가와 발색에 모두 영향을 끼쳤다. SQ2

와 SQ4에 탄산칼슘을 인산칼슘보다 적은 양을 첨가 했음에도 기포는 더 많이 발생하였다. 또한 탄소 배출 능력이 저하되는 모습을 관찰할 수 있었다.

[표 111] SQ2, SQ4에 SiC 첨가 후 발색, 기포의 변화



[표 112] SQ2, SQ4에 인산칼슘 첨가 후 발색, 기포의 변화



6. 실험 결과 분석 및 개선 방향

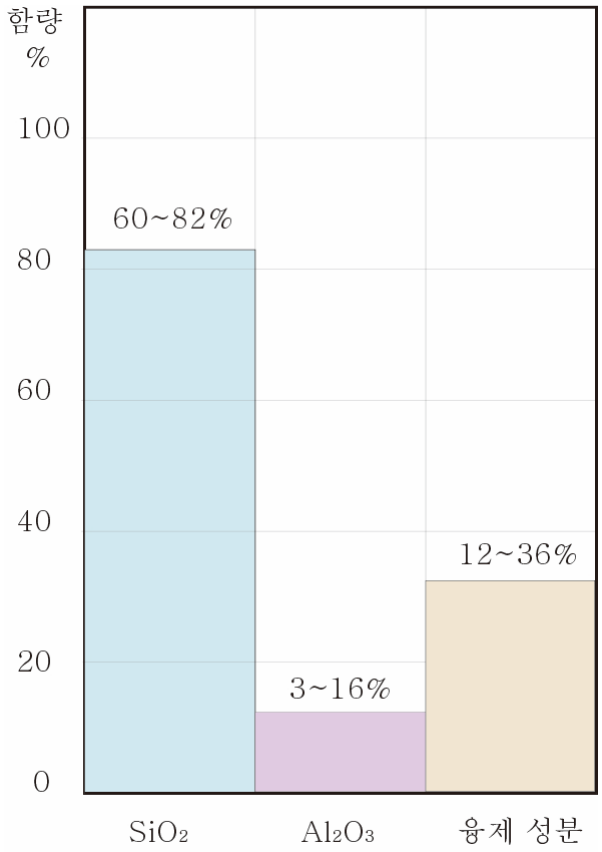
연구자는 유리질 점토의 개발 실험 결과에서 얻은 청자색 유리질 점토의 결과와 구제적인 데이터를 결합하여 가소성, 유리질화 정도 및 투명성, 유동성 및 내화성, 발색 및 질감의 네 가지 측면을 분석하고 본 실험의 한계점과 개선방향을 요약하였다.

6-1. 가소성

본 논문에서 개발한 유리질 점토는 가소성에 유리한 성분이 적다. 따라서 일반적으로 유리질 점토의 기본적인 가소성은 약하게 발현된다. 이번 연구에 개발된 기본적인 청자색 유리질 점토에 SiO_2, Al_2O_3, 융제 성분의 함량은 [표 113]과 같다. 그 중 SiO_2 성분은 약 60~82%, Al_2O_3 성분은 약 3~16%, 융제 성분은 약 12~36% 있다.

성분비에 따르면 청자색 유리질 점토에는 가소성을 지닌 Al_2O_3의 함량이 낮고, Al_2O_3 성분을 주로 제공하는 고령토의 함량도 낮다. 비가소성 성분인 SiO_2의 함량이 더 높고 SiO_2를 주로 제공하는 규석의 함량도 높다. 또한 청자색 유리질 점토의 개발 방법이 규석 성분의 증가이기 때문에 전체적으로 SiO_2의 함량이 높은 상태다. SiO_2 성분의 함량이 높을수록 가소성은 약해진다. 그러므로 부족한 가소성을 보완하기 위한 적합한 제작방식이 반드시 필요함을 잘 알 수 있다.

[표 113] 청자색 유리질 점토에 SiO_2, Al_2O_3, 융제의 함량



6-2. 유리질화 정도 및 투명성

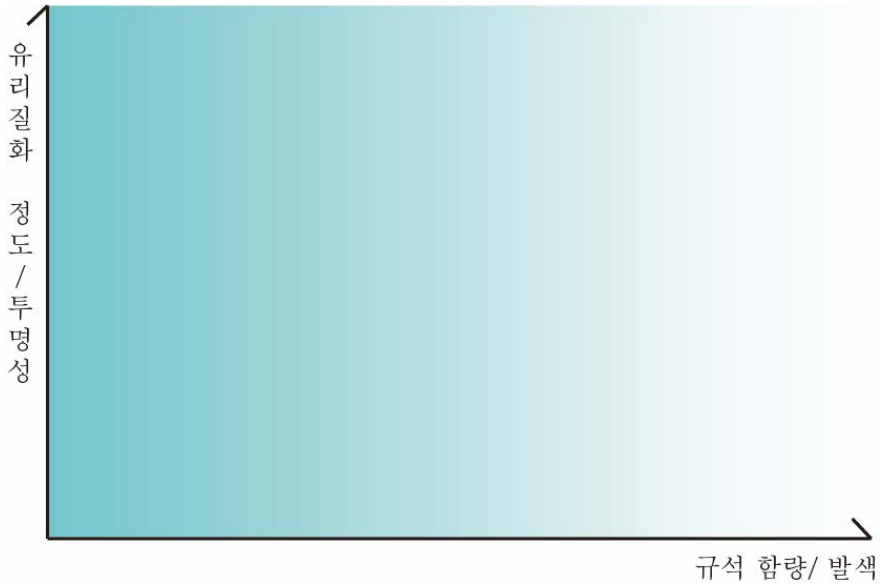
청자색 유리질 점토의 유리질화 정도가 높을수록 광택이 강해지고 투명도 역시 강해진다. 반대로 유리질 성분의 용융이 충분하지 않고 광택이 약할수록 유리질화의 정도가 낮아지고 투명성이 약해진다.

청자색 유리질 점토의 유리질화의 정도와 투명성은 유리질 속의 기포, 결정 및 녹지 않은 규석 입자와 밀접한 관련이 있다. 유리질 속에 기포, 결

정, 녹지 않은 규석 입자가 많을수록 유리질의 투명성이 약해진다. 동일한 유리질 성분에서 규석 함량이 높을수록 유리질에 더 많은 녹지 않은 규석 입자가 포함되어 유리질의 투명도가 낮아진다.

물론 유리질 점토의 유리질화 정도는 융제 성분의 함량과 종류와 관련이 있지만, 청자색 유리질 점토의 유리질화 정도 및 투명성에 가장 영향을 미치는 요소는 규석 함량이다. 규석은 유리질 점토의 주성분이면서도 유동성을 조율하는 주요 방법이기 때문이다. 실험 결과를 통해 유리질 점토의 규석 함량이 많을수록 유리질화 정도 및 투명성은 반비례의 특징을 가진다는 사실을 알 수 있다[표 114]. 특히 규석 함량이 과포화가 되면 유리질 점토의 유리질화는 더 이상 진행하기 어렵기 때문에 투명성도 같이 약해진다. 규석 함량의 과포화는 유리질 점토의 완전한 불투명성을 초래한다.

[표 114] 청자색 유리질 점토에 규석 함량과 유리질화 정도 및 투명성



6-3. 내화도 및 유동성

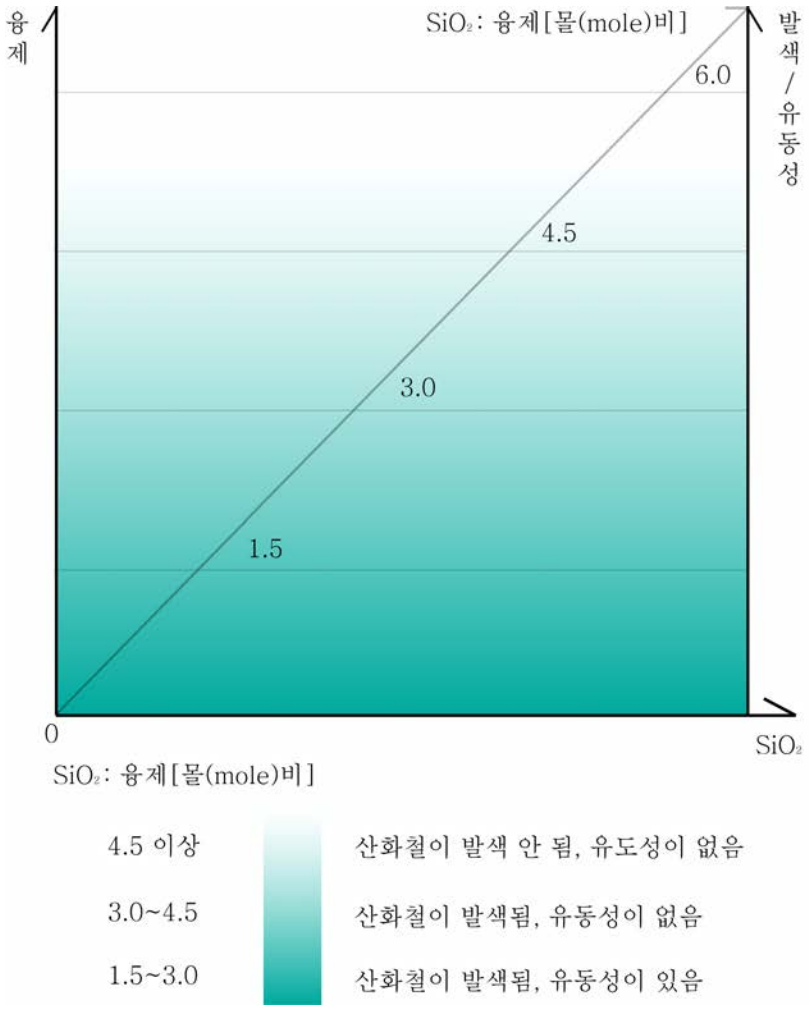
청자색 유리질 점토의 구성 성분 중 SiO_2, Al_2O_3, 융제의 종류와 비율에 따라 내화도 및 유리질의 유동성이 다양하게 나타난다. 청자색 유리질 점토의 화학 성분비에서 용융 정도가 다르며, 고온에서 유리질의 특징이 다르다. 유리질 점토의 SiO_2와 융제의 몰(mole)비를 통해 유리질 점토의 유동성은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 내화도가 높고 용융 시 유동성의 변형이 적으며, 다른 하나는 내화도가 낮으나 유리질화가 잘 진행되어 용융 시 유동성이 높은 것이다.

화학 조성의 관점에서 볼 때 유리질 점토의 Al_2O_3 성분은 낮고 SiO_2의 함량은 더 높다. 그중 SiO_2 성분의 과포화 정도에 따라 내화도가 직접적으로 영향을 받는다.

실험 결과를 통해 유리질 점토에 SiO_2와 융제 몰(mole)성분비로 유리질 점토의 용융도를 예측할 수 있다. 성분비에 따라 유리질 점토가 용융되는 상태와 발색이 다르다. 몰(mole)비가 1.5~3.0이면 비교적 쉽게 용융되어 유리질에 유동성이 있고 산화철의 반응으로 청색으로 발색된다. 몰(mole)비가 3.0~4.5면 불완전하게 용융이 되어 유리질에 유동성이 없다. 그러나 불완전 용융이어도 산화철 발색은 어느 정도 유지된다. 몰(mole)비가 4.5 이상이면 녹지 않아 유리질이 형성되지 않고 산화철 발색도 거의 이루어지지 않는다.

유리질 점토의 다양한 내화도와 유동성은 유약의 경우와 달리 점토로서 다양한 활용 가능성을 제시해주므로 사용범위를 단정하기 어렵다. SiO_2와 융제의 몰(mole)비에 따른 산화철의 발색 및 유리질 유동성은 [표 115]와 같다.

[표 115] SiO_2와 융제의 몰(mole)비에 따른 산화철의 발색 및 유동성



6-4. 발색 및 질감

유리질의 색상이나 표면 질감은 용융 상태, SiO_2 비율에 따라 급격하게 변한다. 청자색 유리질 점토의 Al_2O_3과 SiO_2의 함량은 발색과 질감에 가장 큰 영향을 준다. 일반적으로 Al_2O_3 성분의 함량이 적을수록 푸른 빛 발색이

좋고, Al_2O_3의 함량이 많을수록 색상이 청색계열에서 점차 녹색계열로 변화하다가 더 이상 청자색 발색이 진전되지 않는다. SiO_2 성분의 경우, 양의 증가에 따라 일정 정도까지 발색이 유지되다가 과포화에 이르면 발색이 급격히 떨어진다.

또한, 유리질 점토의 융제 종류와 함량도 색상에 영향을 미친다. 탄산바륨은 푸른색 계열의 색상을 위한 유용한 융제이다. 석회석 또는 탄산스트론튬의 함량이 많을 때는 녹색계열 색상을 띤다. 단일 융제 성분을 사용하는 것보다 여러 융제를 조합하여 사용하면 청자색의 발색이 더욱 안정적이다.

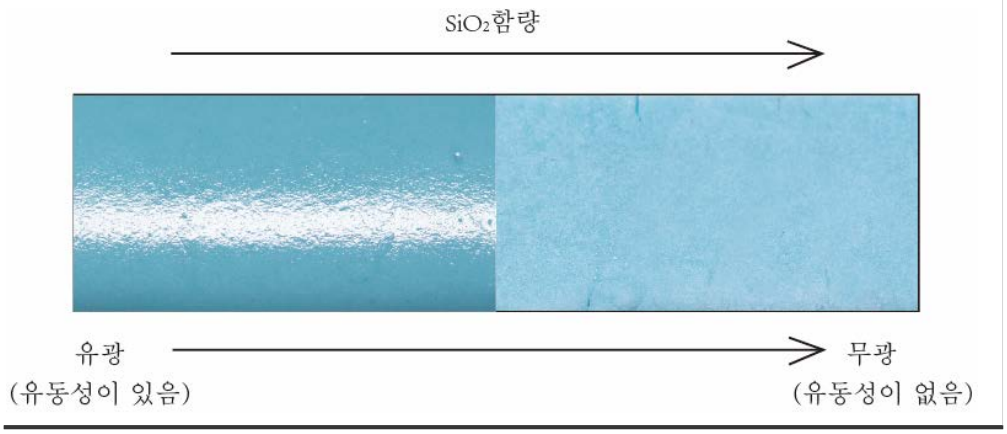
마지막으로 발색에 직접적인 영향을 미치는 것은 발색제로 사용되는 산화물의 종류, 함량 및 비율이다. 청자색 유리질 점토에서 주 발색제는 산화철인데 적절한 함량에서 대부분 청색계열을 내지만 함량이 증가하면 점차 녹색계열로 변화하다가 결국 지나치게 어두워진다. 인산칼슘 첨가 시 유탁하면서 맑은 청색계열의 색상이 나타나게 된다.

위 분석을 통해 청자색 유리질 점토의 발색은 발색제의 조합과 용융 상태에 따라 크게 두 가지 색상계열로 볼 수 있는데, 그 색상은 청색 계열에서 녹색계열이다[표 116].

[표 116] 청자색 유리질 점토의 발색 변화

실험을 통해 얻은 청자색 유리질 점토의 유리질 질감은 유리질화 정도와 용융 상태에 따라 크게 두 가지로 요약되는데, 하나는 표면에 광택이 있는 것이고 다른 하나는 표면에 광택이 없는 것이다. 유리질 점토의 질감 변화는 [표 117]과 같다. 이 두 가지 다른 질감을 형성하는 근본적인 이유는 SiO_2의 함량의 차이 때문이다. SiO_2의 함량이 증가함에 따라 내화도를 높이고 유동성을 감소시키면서 동시에 유리질의 색상을 유지시킨다. SiO_2의 함량이 더욱 증가하면 덜 용융된 SiO_2 입자가 많아지고 어느 시점에 도달하면 용융이 더 이상 진행되지 않는다. 따라서 유리질의 상태가 유동성에서 무유동성으로 점차 변화하고 유리질의 질감도 광택이 나는 질감에서 거칠고 광택이 없는 질감으로 변한다.

[표 117] 청자색 유리질 점토의 질감 및 유동성의 변화



6-5. 유리질 점토의 한계

유리질 점토의 저조한 가소성과 조성과 소성 방식으로 기인되는 유동성, 냉각파열, 기포 등의 특성은 통상적인 유약과 비교하면 실험 개발의 난이도가 훨씬 높다. 유리질 점토의 한계는 [표 118]과 같다.

[표 118] 유리질 점토의 한계	
가소성	가소성을 부여하는 성분이 적어 다양한 형태를 제작하기가 어려움
유동성	완벽하게 통제하기가 어려움
냉각파열	냉각파열이 쉽게 발생할 수 있음
기포	완전히 기포를 빼기가 어려움

먼저 실험을 통해 얻은 청자색 유리질 점토의 조성에는 가소성을 부여하는 성분이 적어 일반 점토의 경우처럼 다양한 형태를 제작하기가 어렵다. 유리질 점토의 유동성은 점토와 같이 전혀 없거나 유약으로 사용할 수 있는 정도의 유동성을 가질 수 있다. 유동성은 화학 조성과 소성 방식의 변화로 그 정도를 조절할 수 있지만, 완벽하게 통제하기가 어렵다. 그러나 다양한 유리질 성분이 포함된 유리질 점토가 높은 유동성을 가지는 경우, 통제의 어려움은 크지만 유리질화 정도가 높고 용융 상태가 좋아 발색이 선명하고 강하다.

유리질화가 높다는 것은 냉각파열 또한 쉽게 발생할 수 있다는 것을 뜻한다. 냉각파열은 유리질 점토가 균일하게 유리질화가 되지 않았을 때도 발생한다. 구체적으로 말하자면 제작한 형태가 두꺼워질수록 내부까지 유리질화가 균일하게 이루어지지 못해 냉각파열이 발생한다.

유리질 점토는 유약처럼 그 안에 많은 기포가 존재하는데, 기포를 완전히 빼기 어렵다. 그러나 기포는 발색에 도움을 주고 많을수록 냉각파열이 안 되게 도와준다. 다만 기포가 많으면 투광성이 떨어져 투명도가 낮아진다.

제 4 장 작품 제작 연구

1. 성형방식과 소성 기법 및 표면 처리 연구

1-1. 성형방식

점토의 가소성은 놀라워서 거의 모든 형태와 크기의 도자 기물을 제작할 수 있게 해 준다. 점토의 가소성 없이는 우리가 잘 알고 있는 풍요로운 도자 예술 역사가 가능하지 않았을 것이다. 하지만 유리질 점토는 가소성을 논하기 어려운 유약을 기본으로 개발됐으며 더군다나 규석 성분의 과포화로 가소성이 더욱 떨어지는 상태가 되었다. 이는 유리질 점토의 개발과 활용에 있어서 극복해야 할 가장 큰 난제였다. 따라서 연구자는 유리질 점토의 부족한 가소성을 극복할 수 있는 형태를 구상하고 그에 따른 성형방식을 연구했다.

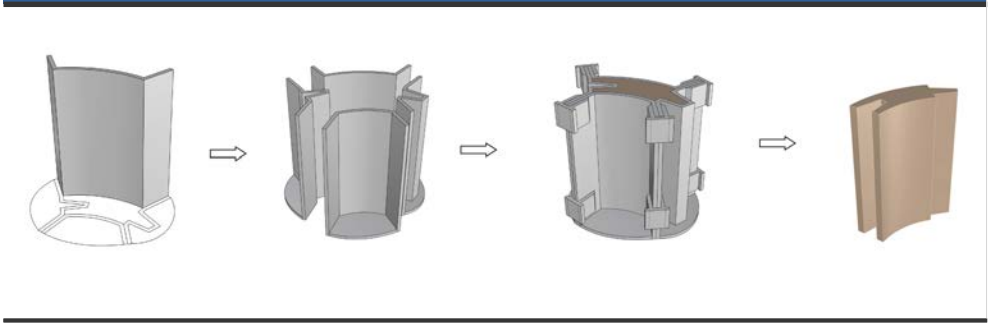
유리질 점토의 물리, 화학적 성질에 따라 성형방식은 두 가지로 접근하였는데 하나는 **유리질 점토를 내화틀에 주입하여 제작하는 방식**이며, **다른 하나는 작은 크기의 개체를 조합하여 제작하는 방식**이다. 두 방식은 유리질 점토의 부족한 가소성을 극복하기 위한 대안으로 고안된 형태 제작방식이다. 두 방식을 통해 형태뿐만 아니라 소성 과정의 냉각파열 및 유동성 통제의 문제들을 동시에 극복할 수 있었다.

1-1-1. 내화틀에 주입하여 제작하는 방식

이 제작방식은 내화틀을 활용하여 유리질 점토의 형태를 성형하고 소성하는 방식이다. 내화틀은 형태를 잡아 주며, 소성 과정에서 변형을 막는 역할을 한다. 틀 주입 제작방식을 통해 부족한 가소성의 문제를 극복할 수 있을 뿐만 아니라 여러 개의 틀을 이용해 자유로운 조합으로 다양한 형태를 제작할 수 있다.

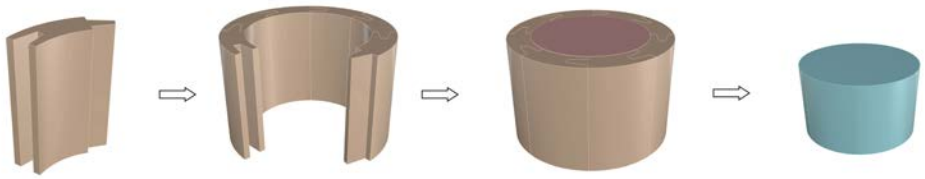
틀 주입 성형은 아래와 같은 과정을 따른다. 먼저 라이노(Rhino) 그래픽 소프트웨어를 활용해 내화틀의 거푸집 모양을 제작한다. 이는 내화틀을 제작하기 위한 조립식 틀을 제작하는 단계라고 볼 수 있다. 내화틀을 감싸는 각 개체의 구체적인 모양과 크기를 그린 뒤, 3D 프린터로 내화틀의 외벽을 제작한다. 3D 프린터로 제작한 외벽 틀에 내화시멘트를 채워 넣고, 내화시멘트가 굳으면 외벽을 분리해 내화틀을 완성한다. 3D 프린터와 내화시멘트로 제작한 내화틀 제작 과정은 [표 119]와 같다.

[표 119] 내화틀 원형 제작 과정



3D 프린터로 만든 내화틀 외벽을 이용하여 같은 형태의 내화틀을 여러 개 복제한다. 이후 복제한 내화틀을 조립하여 전체 내화틀을 완성하고 유리질 점토를 주입하여 함께 소성한다. 내화틀을 이용한 청자색 유리질 점토의 성형 과정은 [표 120]과 같다.

[표 120] 내화틀 조합과 청자색 유리질 점토의 성형



3D 프린터로 제작한 내화틀은 자유롭게 조합할 수 있으며, 재활용이 가능하다. 내화틀을 제작할 때 사용되는 내화재는 유리질 점토의 무게와 소성 온도를 충분히 견딜 수 있는 내화도와 경도가 보장되어야 한다. 내화재의 내화도 및 경도는 지속적인 재활용을 위한 전제조건이기도 하다. 내화시멘트는 내화 성분의 조합에 따라 견딜 수 있는 내화 온도가 다르다. 연구자가 내화틀을 제작할 때 주로 사용한 내화시멘트는 한미(HANMI) 내화 주식회사의 HACT-160 내화시멘트이다. 한미 제조사의 내화시멘트 종류와 특징은 [표 121][121]과 같다.

[표 121] 한미 제조사의 내화시멘트 종류와 특징

항목/품명	HACT-160	HACT-165	HACT-170	HACT-180
최고온도	1600℃	1650℃	1700℃	1700℃
사용온도	1200℃ ≥	1250℃ ≥	1400℃ ≥	1550℃ ≥
비중	2000	2100	2300	2700
압축강도 1350℃ *3hrs	100-200	150-250	200-300	250-400
Al_2O_3	50% ≤	55% ≤	60% ≤	85% ≤
SiO_2	45% ≥	40% ≥	35% ≥	10% ≥

121) https://hanmiref.modoo.at/?link=ci8304so

고온용 알루미나시멘트와 최적의 입도로 구성된 내화골재 및 내화미분을 사용한 제품으로, 적당량의 수분을 첨가하여 고르게 이겨 성형하는 내화물(耐火物)로서 내화시멘트로도

내화시멘트의 성분 중 유기물과 석회 등은 소성 중 다량의 탄소를 방출시키는데, 이는 청자색 유리질 점토에 영향을 미칠 수 있다. 그래서 내화틀과 유리질 점토를 같이 소성하기 전에, 산화 또는 환원 분위기에서 고온으로 내화틀을 먼저 단독 소성하여 사용하였다. 이는 유리질 점토와 함께 소성할 때 발색에 영향을 주지 않도록 불순물과 연기 등을 미리 배출함과 동시에 내화틀에 강도를 부여하기 위함이었다.

내화틀의 개수와 두께는 유리질 점토의 형태와 크기를 고려하여 결정했다. 내화틀의 조합이 딱 들어맞지 않으면 유리질 점토의 팽창과 유동성을 견디지 못하고 작품 형태가 변형된다. 내화틀이 너무 얇을 경우도 소성 과정에서 작품 형태가 변형되거나 소성 후 분리 과정에서 파손될 가능성이 있다.

따라서 소성 중 변형이나 분리 시 파손을 방지하기 위한 안정적인 내화틀의 형태와 조합을 연구하였다. 내화틀의 두께는 작품 크기에 따라 다르지만, 기본적으로 약 4cm를 두께 기준으로 삼았다. 연구자가 제작한 내화틀은 [그림 14]와 같다. 또한, 변형을 막기 위해 내화틀을 보강하는 방법을 고안하였는데, 내화틀을 가마에 적재할 때 각각 조합된 내화틀을 지주로 삼아 서로 겹쳐 쌓는 방식으로 소성하였다. 그러면 하중 덕분에 내화틀이 유리질 점토의 유동성과 팽창력을 더 잘 견딜 수 있다. 가마에 내화틀을 적재하는 방식은 [그림 16]과 같다.

[그림 14] 조합 내화틀

[그림 15] 분리제를 도포한 내화틀

[그림 16] 적재 방식

불린다.

청자색 유리질 점토가 용융 온도에 다다르면 용융된 표면이 틀에 유착될 수 있다. 따라서 소성 전에 분리제를 사용하여 유리질 점토와 내화틀의 유착을 방지하여야 하며, 이때 분리제를 충분히 두껍게 발라 주어야 한다. 내화틀에 사용한 분리제는 알루미나를 주성분으로 제작하여 스프레이를 사용해 도포하였다. 분리제를 도포한 내화틀은 [그림 15]와 같다. 분리제의 조성 및 함량은 [표 122]와 같다.

[표 122] 분리제의 조성 및 함량

재료	함량(%)
고령토/산청 황토/ 하동 황토 등	10~15
알루미나	80~85

내화틀에 유리질 점토를 주입하는 방식은 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 **유리질 점토 재료를 괴상으로 넣는 방식**, 다른 하나는 **과립상으로 주입하는 방식**이다.

괴상으로 투입하는 방식은 유리질 점토를 덩어리 형태로 만들어 내화틀에 넣는 것이다. 일반 점토와 비슷한 점도를 가진 유리질 점토를 내화틀에 덩어리 형태로 만들어 투입하는 것이다. 이 방법은 소성 전 유리질 점토의 형태를 빠르게 만들 수 있다는 장점이 있지만, 수분을 많이 함유하고 있으므로 건조 시간을 고려해야 하는 단점이 있다. 괴상으로 투입하는 방식의 경우, 소성 후의 수축률은 약 20%이다. 유리질 점토 덩어리는 두꺼워질수록 소성 시 문제를 많이 가진다. 유리질 점토의 밀도가 높아서 유리질 점토의 내부까지 가열하기 어렵고 환원 소성도 어렵기 때문이다. 특히 소성 전 유리질 점토의 높이가 약 15cm를 넘어가면 소성에 환원이 잘 진행되지 않는다. 유리질 점토를 괴상으로 투입하는 방식은 [그림 17]과 같다.

[그림 17] 유리질 점토를 괴상으로 주입하는 소성 방식

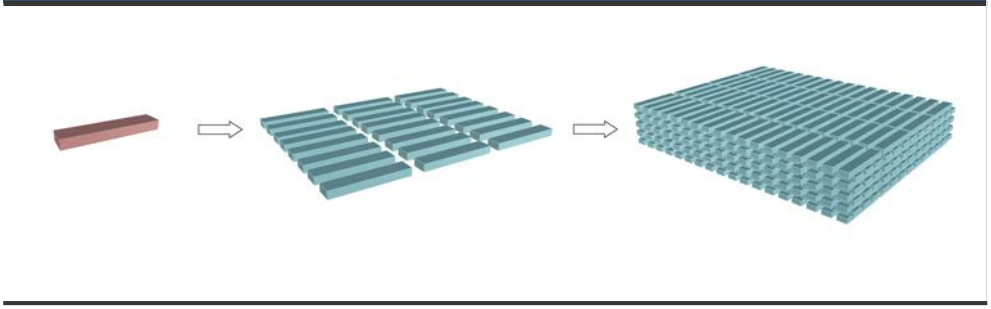
과립상으로 주입하는 방식은 유리질 점토의 재료를 0.06mm~0.5mm 크기의 잔 알갱이로 만들어 내화틀에 넣고 소성하는 제작방식이다. 과립상으로 만든 유리질 점토는 수분을 적게 포함하고 있으므로 소성할 때 안정적이고 환원 시 균일한 발색이 이루어진다. 하지만 소성 전 과립상으로 쌓은 유리질 점토가 높이 약 30cm를 넘어가게 되면 균일한 환원 반응이 어렵다. 또한, 과립 사이에 빈 공간이 있어 밀도가 떨어지기 때문에 괴상주입 방식과 비교하면 소성 후 유리질 점토의 부피가 많이 수축하여 수축률이 약 55%에 달한다. 유리질 점토를 과립상으로 주입하는 소성 방식은 [그림 18]과 같다.

[그림 18] 유리질 점토를 과립상으로 주입하는 소성 방식

1-1-2. 작은 크기의 개체를 조합하여 제작하는 방식

이 제작방식은 유리질 점토를 작은 크기의 개체로 만들어 조합하는 방식이다. 개체 조합 방식의 과정은 [표 123]과 같다.

[표 123] 개체 조합을 활용한 제작방식의 과정



개체 조합 방식에 사용되는 유리질 점토는 고온에서 유동성이 작아 별도의 틀이 없이 소성할 수 있는 유리질 점토여야 한다. 그러나 그러한 유리질 점토는 SiO_2의 함량이 높아 온도 상승 과정에서 균열이 생기기 쉽고, 크기가 크고 두꺼워질수록 균열이 생길 확률이 높다.

개체 조합 제작방식에서 유리질 점토는 가소성과 건조강도가 낮아 2차 소성에 앞서 1차 초벌 소성이 필요하다. 그래야만 자유롭게 조합할 수 있는 경도를 얻을 수 있다. 초벌은 일반적인 초벌 온도보다 높아야 하며, 발색에 영향을 주지 않기 위해 1050℃의 환원 분위기에서 소성하였다. 초벌 소성 시 적재한 유리질 점토의 사진은 [그림 19]와 같다. 초벌 소성 후 볼밀을 이용해 형태를 다듬어서 조립하기도 하였다.

[그림 19] 1차 초벌 소성

[그림 20] 분리제 분사

[그림 21] 2차 소성 후 볼밀로 연마

[그림 22] 3차 소성

여러 제작 방식을 시도한 끝에 크기가 작은 개체를 쌓거나 조립하여 작품을 제작하는 방식이 유리질 점토를 활용한 작품 제작에 유리하다는 사실을 알았다. 이 방식은 하나의 작품을 완성하는데 여러 개체를 결합해야 해서, 개체 제작 시 매번 분리제를 사용해야 하는 번거로움이 있다. 유리질 점토의 용융도로 인해 개체가 서로 유착될 수 있기 때문이다. 2차 소성 시 분사한 분리제 사진은 [그림 20]과 같다. 개체를 소성할 때는 알루미나 또는 규석을 분리제로 사용하였다.

그리고 2차 고온 소성을 거친 후 개체를 선택하여 후가공하고 이를 조

합하여 3차 소성을 하였다. 소성된 작품은 연마 과정을 끝으로 마무리되었다. 작고 많은 수량의 개체를 개체 단위로 효과적으로 연마하기 위해 볼밀을 사용하였다. 개체의 크기가 크면 다른 연마 장비를 사용해 연마를 진행하였다. 2차 소성 후 볼밀로 연마를 마친 모습은 [그림 21]과 같다. 3차 소성 시 개체가 잘 용착되도록 개체 사이에 접착력이 높고 잘 녹는 유약 성분을 발랐다. 3차 소성 준비는 [그림 22]를 통해 알 수 있다. 3차 소성 시에도 소성 분위기와 온도는 동일한데 2차 소성보다 낮은 온도와 다른 소성 분위기도 진행할 수도 있다.

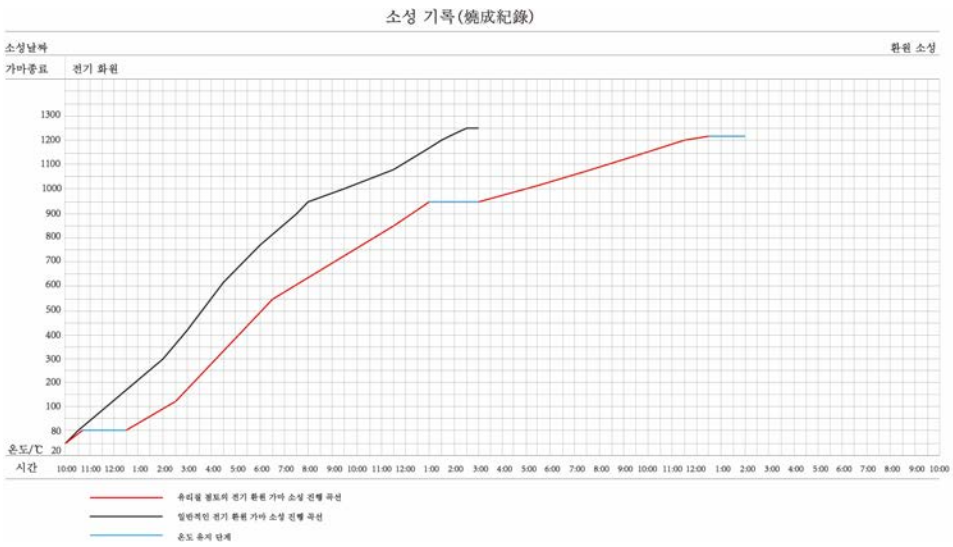
개체의 조합을 통한 작품 제작방식은 무유동성 유리질 점토를 활용한 작품 제작방식으로 가능성이 크다. 발색과 형태가 각기 다른 개체를 자유롭게 조합할 수 있기 때문에 매우 다양한 유리질 점토 조합과 형태를 제작할 수 있는 무궁한 가능성을 가지고 있다.

1-2. 소성 기법

청자색으로 발색된 유리질 점토를 얻기 위해 연구자는 주로 1280℃ 환원 분위기로 소성을 진행하였다. 청자색 유리질 점토의 소성은 해당 유리질 점토의 기본적인 성질 및 부피, 크기, 두께 등을 고려하여 진행했다.

소성은 크게 두 단계로 나눌 수 있다. 첫 단계는 실내온도에서 950℃까지 산화 분위기 소성이고, 두 번째 단계는 950~1280℃의 환원 분위기 소성이다. 연구자는 부피가 크고 두꺼운 청자색 유리질 점토 작품을 제작하였기 때문에 전체적인 소성 시간을 일반 소성 시간의 두 배에 가까운 20시간 정도로 연장하였다. (청자색 유리질 점토의 부피가 너무 크고 두꺼워지면 그만큼 소성 시간이 늘어나지만, 크기가 작고 얇으면 일반적인 소성 시간 정도로도 가능하다) 청자색 유리질 점토와 일반 도자 소성 기록은 [표 124]와 같다.

[표 124] 청자색 유리질 점토와 일반 소성 기록



소성 기록에 나타난 바와 같이 청자색 유리질 점토의 소성 곡선은 일반 소성 기록 곡선에 비해 길고 완만하다. 산화와 환원 분위기 소성 시간 모두 비교적 길었다. 시간당 온도는 평균 90℃ 씩 상승했다. 환원 소성은 보통 시간당 24℃씩 상승한다. 소성 과정에서 80℃, 950℃, 1210℃ 세 단계 [표 124]의 파란선 부분)에는 비교적 부드러운 소성 곡선이 있는데, 소성 과정 중 세 가지 중요한 단계로 차례로 저온유지, 산화고온유지, 환원고온유지 단계이다.

첫 번째 저온유지 단계는 일반적으로 실내온도에서 120℃까지의 예열 단계로, 청자색 유리질 점토의 건습 상황에 따라 적절한 온도를 유지하는데, 이는 남은 수분을 배출하고 유리질 점토를 충분히 건조하기 위함이다.

수분을 많이 함유한 경우 보통 80℃에서 2~4시간 정도 온도를 유지하여 유리질 점토의 수분을 충분히 배출시켜야 한다. 또 저온에서 온도를 유지해야 하는 또 다른 이유는 유리질 점토를 둘러싼 내화틀에 함유된 수분 역시 충분히 배출되어야 하기 때문이다.

두 번째 산화고온유지 단계는 환원 분위기로 전환하기 전 약 900~950℃ 사이에서 이루어진다. 연구자는 950℃에서 2~3시간 유지시켜 주였다. 이 단계를 통해 산화 분위기로 충분한 반응이 일어난다. 다량의 알칼리성분이 열에 의해 분해되어 CO_2를 발생시키는데, 충분한 분해 시간을 가져야 CO_2를 완전히 배출할 수 있다. 유리질 점토는 두껍고 부피가 크므로 알칼리성분을 많이 함유하고 있어서 충분한 산화 반응이 필요하다. 그래야만 환원 분위기로 전환 후 기포 발생을 줄여 섬세한 유리질을 형성할 수 있다. 또한, 산화고온유지 단계는 내화틀의 가스와 불순물을 배출을 하는 과정이기도 한다. 내화틀은 이미 한 차례 고온 소성을 거쳤지만 배출되지 않은 불순물이 남아 있는데, 이 단계를 통해 불순물을 완전히 제거함으로써 내화틀이 청자색 유리질 점토에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 산화온도유지 단계를 통해 가마내 온도차를 줄일 수 있도록 충분한 시간 동안 산화소성 과정을 진행하였다.

세 번째 환원고온유지 단계는 1210℃에서 이루어진다. 청자색 유리질 점토는 일반 소성과 달리 비교적 낮은 온도에서 1~2시간을 끌어두고 이후 최종 고온으로 소성한다. 이러한 소성 기법으로 유리질 점토의 용융 과정을 확보하고 환원 소성 분위기를 연장하여 기포가 가급적 많이 방출될 수 있도록 조치하는 것이다. 유리질 점토는 그 두께와 크기로 인해 천천히 균일하게 환원 분위기로 소성해야 균질한 청자색 유리질을 얻을 수 있다. 빠른 소성은 균일한 유리질의 생성에 불리하다. 특히 기포나 탄소가 완전히 배출되지 않아 결함이나 검은 반점이 생길 수 있다. 또는 유리질 점토의 내부가 제대로 녹지 않거나 환원 반응이 제대로 일어나지 않아서 바깥쪽의 유리질화 정도와의 차이가 생겨 냉각 시 균열이 발생하기 쉽다.

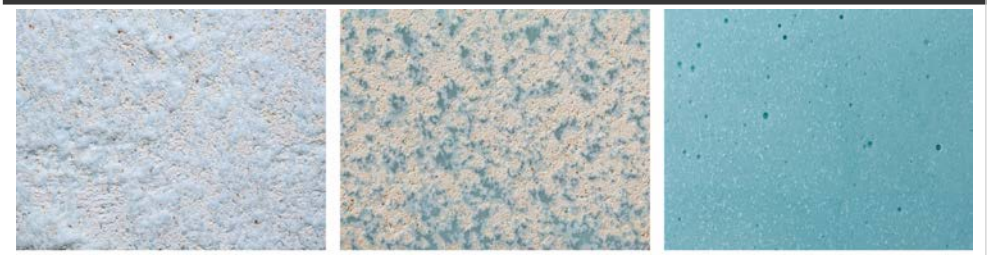
이처럼 유리질 점토의 기본 성질, 함수량, 입자의 크기와 밀도, 부피 크기, 두께 등의 특징에 따라 적합한 소성 방식을 연구할 필요가 있다.

1-3. 표면처리

유리질 점토의 표면은 일반 유약과 달리 거친 편이다. 청자색 유리질 점토는 '**광택이 크고 유동성을 갖는 것**'과 '**광택과 유동성이 없는 것**' 두 종류로 나눌 수 있는데, 두 가지 다른 특성에 따른 별도의 연마 과정을 통해 최종 표면 질감을 완성하였다.

유동성을 가진 청자색 유리질 점토는 소성 후 일반적인 유약과 같은 광택을 갖는다. 이러한 유리질 점토는 유리질 성분이 더 잘 녹아 용융온도에서 유동성이 높으며 높은 밀도를 갖는다. 그러나 유동성이 높아서 내화틀을 활용한 성형 방식을 적용하였기에 소성 후 내화틀을 분리하면 표면에 내화틀에 도포했던 분리제가 한 겹 유착되어 있다. 유리질 성분이 녹아 분리제와 유착되어 독특하고 거친 표면이 만들어지는 것이다. 이 거친 표면 상태를 완전히 없애지 않고 활용하기 위해 연마 기술을 접목했다. 즉, 연마의 정도를 조절해 각기 다른 질감의 표면을 얻을 수 있었고, 이러한 질감 효과는 [표 125]와 같다.

[표 125] 유동성을 가진 청자색 유리질 점토의 연마 정도에 따른 세 가지 표면 질감



거침	중간 정도의 거침	거칠지 않음

유동성을 가진 청자색 유리질 점토의 표면 처리는 크게 세 단계의 거침 정도로 나눈다. 그중 '거침' 단계는 분리제가 유착된 원래의 질감을 최대한 유지하면서 부드러운 다이아몬드 패드로 살살 연마한다. 용융된 유리질 성분이 분리제에 침투하여 남긴 거친 질감을 강조하면 청자색 색조는 분리제

색조와 융해되어 두드러지지 않는다. ‘중간 정도의 거침’ 단계는 거친 표면을 일부분만 남기면서 더 단단한 다이아몬드 연마 패드로 연마한다. 용융 시 파고든 분리제의 색상이 연마로 드러난 유리질의 청자색과 시각적으로 대비된다. ‘거칠지 않음’ 단계는 분리제 성분이 완전히 제거되어 청자색만 남을 때까지 연마한 결과이다.

유동성을 가진 청자색 유리질 점토의 세 가지 다른 표면은 실제 서로 다른 촉감을 가지고 있을 뿐 아니라 시각적으로 다양한 촉감을 환기시킨다. 세 가지 다른 표면을 단독 또는 복합적으로 활용하여 청자색 유리질 점토에 더욱 풍부한 시각적 효과와 촉감을 불어넣었다.

유동성이 없는 청자색 유리질 점토의 표면 처리는 비교적 단순하다. 유동성이 없다는 것은 실제로 유리질화가 덜 진행된 경우이다. 용융 시 유리질 성분이 유동성이 없는 상태에서 마감되어 질감과 형태가 비교적 안정적이다. 유동성이 없는 청자색 유리질 점토의 소성 후 표면 질감은 [표 126]과 같다. 이러한 유리질 점토는 소성 후 원래 상태인 약간 거친 질감 혹은 거칠지 않은 질감을 유지하거나, 부드러운 다이아몬드 패드 또는 샌딩 기술을 활용하여 표면을 연마하는 방법을 사용하였다.

[표 126] 유동성이 없는 청자색 유리질 점토의 표면 질감

약간 거침

거칠지 않음

이 연구에서 유동성이 없는 청자색 유리질 점토는 개체 조합의 성형 방식과 과립을 주입하는 성형방식으로 제작하였다. 제작된 개체가 작고 수량이 많은 경우 볼밀로 연마하고 최종적으로 부드러운 다이아몬드 패드로 표면을 처리하였다. 과립으로 성형할 때에도 필요에 따라 과립의 크기를 조정하는 데 볼밀을 사용했다. 유동성이 없는 청자색 유리질 점토의 표면 처리는 유리질 질감을 유지하면서도 점토의 특성이 더욱 강조되도록 표면 처리하였다.

2. 작품 제작

청자색 유리질 점토의 작품 제작 사례는 유리질 점토 개발 실험의 네 가지 결과를 바탕으로 진행하였다. 우선 기본 유약에 규석 성분을 증가한 실험 결과의 사례, 융제 대치 실험 결과의 사례, 발색제 실험 결과의 사례, 그리고 기공성 변화 실험 결과의 사례이다.

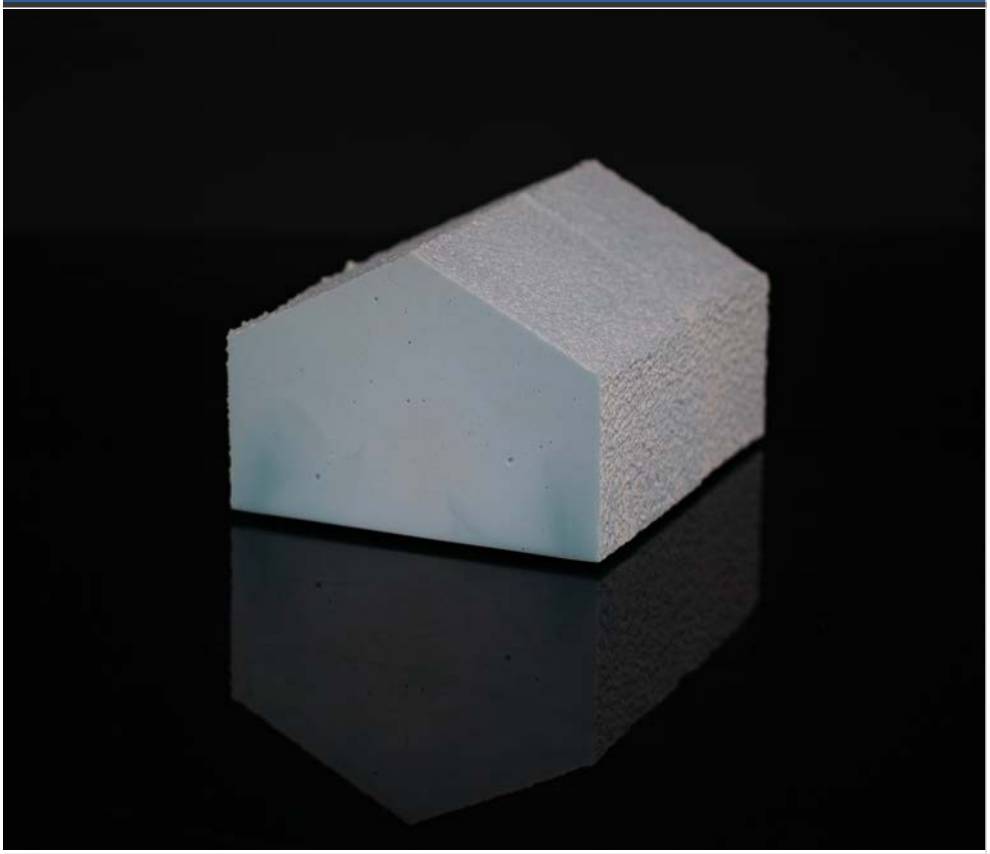
2-1. 규석 성분 증가 실험 결과를 활용한 작품

작품제작에는 주로 제겔식을 활용하여 개발한 유리질 점토 SQ2, SQ4를 사용하였다. 그 이유는 SQ2, SQ4가 발색, 가소성, 유리질화 정도 등 작품제작에 필요한 요소를 모두 충족하는 점토였기 때문이다. 이에 반해 장석을 활용하여 개발한 유리질 점토는 점토에 첨가되는 재료가 적어 가소성이 떨어지며, 석회석 성분이 많아 소성 시 발색이 좋지 않은 경향이 있다. 또한 송나라 청자유를 활용하여 개발한 유리질 점토의 경우, 가소성은 좋으나 발색이 떨어지며 유리질화 정도가 다양하지 않다.

작품 1
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 13*13*16cm
제작연도: 2021

작품 2
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 26*26*3cm
제작연도: 2021

작품 1과 2에 적용된 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발한 유리질 점토이다. 작품에 사용한 청자색 유리질 점토는 유리질화 정도가 높고 용융 시 일정한 유동성을 갖고 있다. 두 작품은 재료를 단순한 형태의 괴상으로 만들어 내화틀에 투입하는 방식으로 제작하였다. 청자색 유리질 점토의 성질을 잘 표현하기 위해 연마 기술을 활용하여 유리질 표면을 매끄럽게 처리하였다. 그럼으로써 청옥과 같은 색상과 질감이 드러났다.

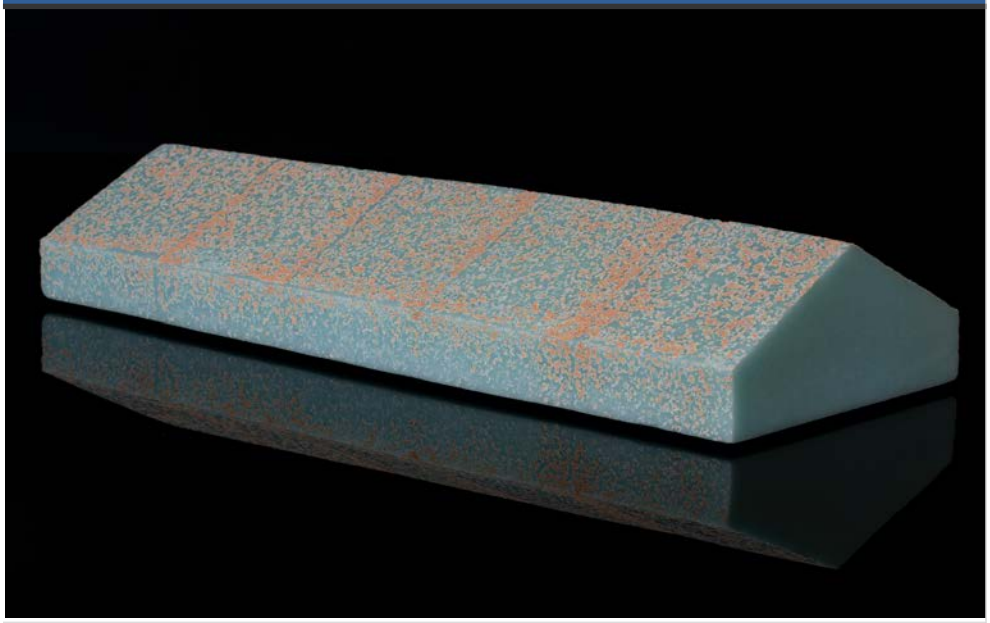
작품 3

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 24.5*20*14.5cm
제작연도: 2022

작품 3에 적용된 청자색 유리질 점토 역시 제겔식을 활용하여 개발한 청자색 유리질 점토이다. 작품 3의 경우 발색이 일정하지 않은데, 아래 가장자리 영역이 진하고 중심부는 연하다. 이는 유리질 점토의 두께가 매우 두껍기 때문이다.

이 작품은 재료를 과립 상태로 만들어 내화틀에 주입하는 방식으로 성형되었으며, 소성 전 높이가 약 35cm였으나 소성 후 높이는 약 15cm였다.

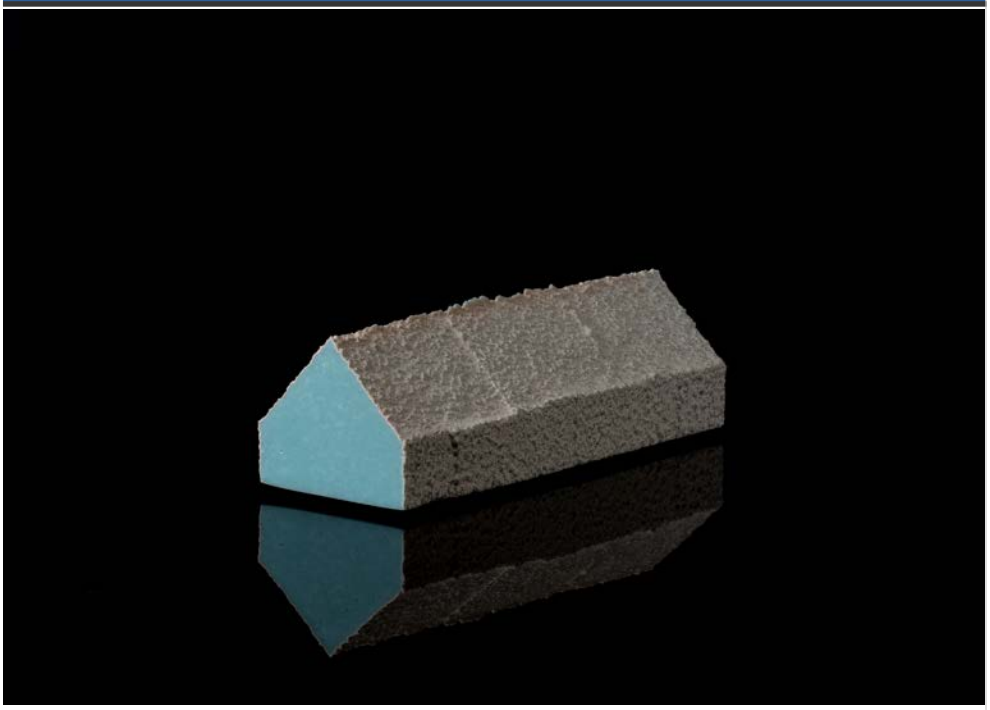
이 연구를 위해 제작한 작품 중 가장 두껍게 제작된 것이다.

이 사례를 통해 유리질 점토의 소성 전 높이는 약 30cm를 넘어가도 유리질화 될 수 있지만, 내부까지 청자색이 균일하게 화원 되기는 어렵다는 사실을 알았다. 작품의 옆면과 밑면만 연마해 매끄러운 표면을 만들었고, 나머지 부분은 거친 효과를 그대로 살렸다.

작품 4

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 50*20*8.5cm
제작연도: 2022

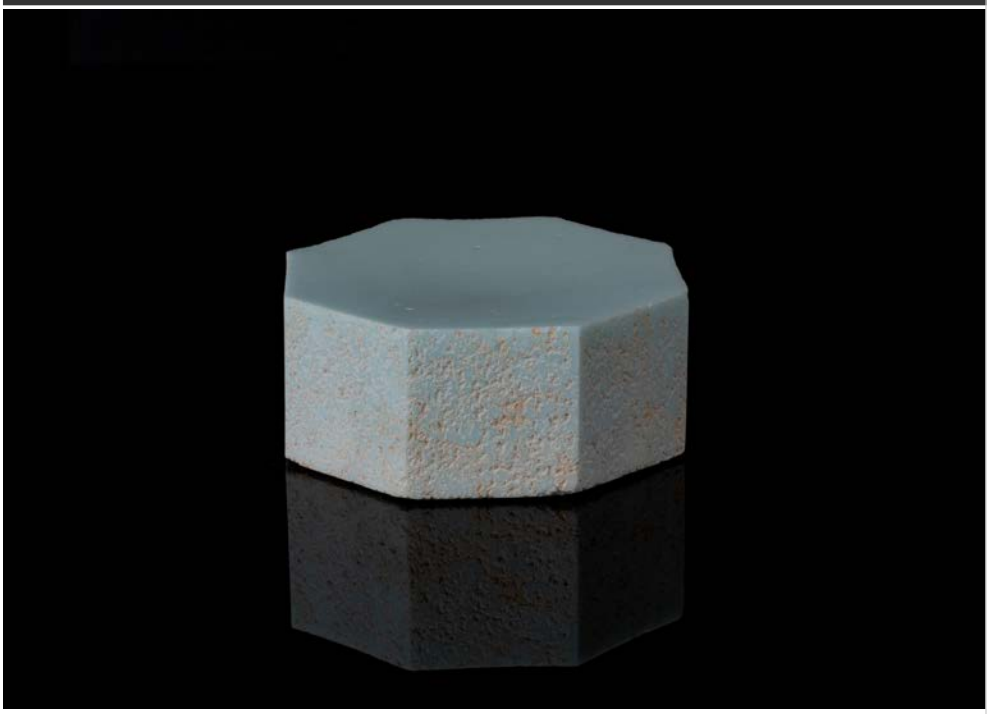
작품 4 또한 제겔식을 활용한 청자색 유리질 점토 개발 실험의 결과이다. 유리질이 잘 용융되어 표면에 분리제가 다량 부착되었다. 작품에 사용된 분리제는 철분이 다량 함유된 산청황토와 알루미나를 혼합하여 제작하였다. 분리제로 사용한 산청황토는 소성 시 따뜻한 색상을 형성하여 청

자색 유리질의 차가운 색상과 대조를 이룬다. 대조되는 색상을 강조하고자 윗면과 옆면을 중간 정도로 연마해 청색이 드러나면서도 분리제의 붉은 색이 일부 남아 있게 했다. 그의 앞면과 밑면은 분리제가 남아 있지 않도록 연마해 온전하게 청색이 드러나며, 질감이 매끄럽다.

작품 5

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 29.5*10*9cm
제작연도: 2022

작품 5도 제겔식을 활용한 청자색 유리질 점토 실험의 결과이다. 그러나 작품 4와 달리 유리질 점토에 부착된 분리제를 그대로 남겨 두었다. 이 작품에 사용된 분리제는 철분 함량이 적은 고령토이므로 백색도가 높은 편이

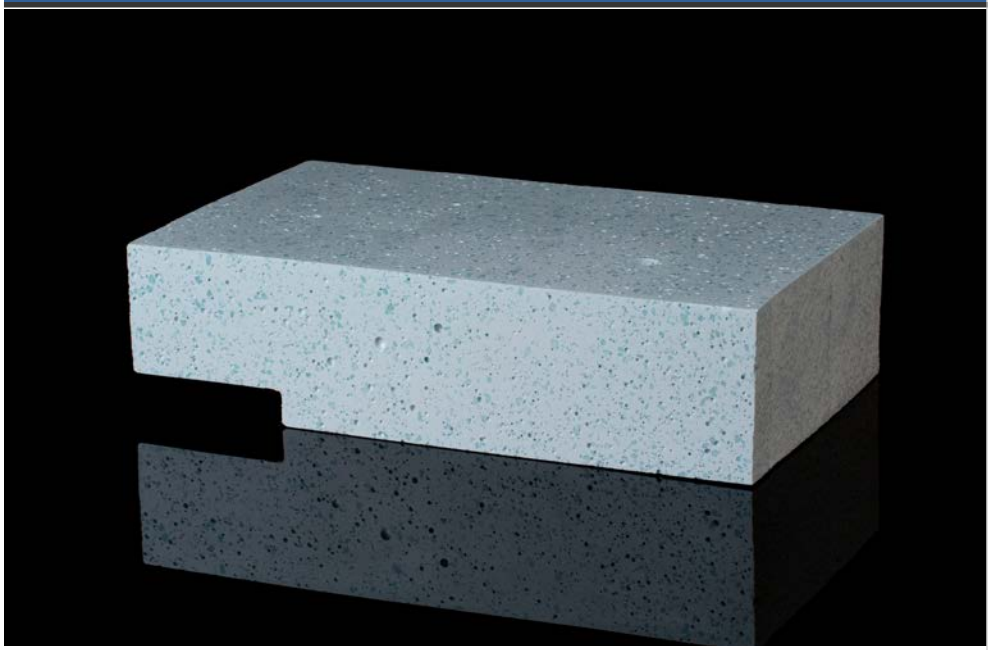
다. 분리제의 거친 질감은 대부분 유지하고 측면과 밑면의 일부 표면만 매끄럽게 처리하였다. 작품의 서로 다른 질감이 강한 대비를 이룬다.

작품 6

재료: 장석을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 FQC2
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 20*20*8cm
제작연도: 2022

작품 6은 장석을 주성분으로 활용한 청자색 유리질 점토 개발 실험의 결과이다. 그 중에서도 유동성을 가진 청자색 유리질 점토를 선택해서 사용하였다. 융제에 석회석 함량이 높아서 유리질 점토의 색상은 회청색을 띤다. 작품의 측면은 중간 정도로 연마해 분리제를 남긴 반면 윗면은 매끄럽게 처리하였다.

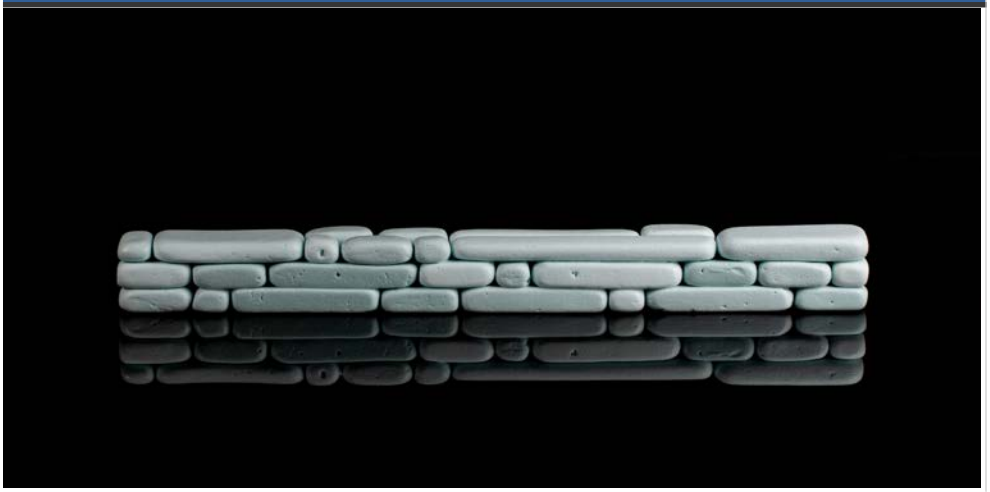
작품 7
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토SQ2 와 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 39.5*19.5*9cm
제작연도: 2022

작품 7은 제겔식을 활용한 청자색 유리질 점토 실험 결과이며, 유동성이 있는 유리질 점토와 유동성이 없는 유리질 점토를 섞어서 만든 작품이다. 먼저 유동성이 없는 청자색 유리질 점토를 작은 크기의 과립 상태로 만들고, 거기에 유동성이 있는 청자색 유리질 점토를 혼합하여 다시 괴상으로 만든 후 내화틀에 넣는 방식으로 제작하였다. 작품의 측면은 중간 정도의 거칠기로, 윗면은 거침없이 매끄럽게 처리하였다.

작품 8

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2와 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 40*22.5*10cm
제작연도: 2022

작품 8도 제겔식을 활용한 청자색 유리질 점토 실험 결과이다. 작품 7과 마찬가지로 유동성이 있는 유리질 점토와 유동성이 없는 유리질 점토를 섞어 만든 작품이다. 하지만 작품 7과 달리 유동성이 없는 청자색 유리질 점토를 좀 더 큰 크기의 과립으로 만든 뒤, 흰색 색상의 유동성이 있는 유리질 점토와 섞어 괴상으로 만든 후 내화틀에 투입하여 소성하였다. 이는 발색의 차이를 통해 유동성이 없는 유리질 점토와 유동성이 있는 유리질 점토 작용의 차이를 시각적으로 보여주기 위함이다. 백색과 청색의 대비로 유리질 점토의 서로 다른 유동성을 부각시켰다. 매끄럽게 연마하여 표면을 드러내서 서로 다른 유리질 특성을 인지하기 쉽게 했다.

작품 9
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4
제작: 개체 조합 제작
크기: 38*35*1.5cm
제작연도: 2021

작품 10

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4
제작: 개체 조합 제작
크기: 30*30*8cm
제작연도: 2021

작품 9와 10 역시 제겔식을 활용한 청자색 유리질 점토 개발 실험의 결과이다. 두 작품 모두 유동성이 없는 청자색 유리질 점토를 사용하였으며 각 개체를 만든 후 조합하는 방식으로 제작하였다. 두 작품에 이용된 개체들은 서로 다른 크기와 두께를 가지고 있다. 작품9에 사용된 개체들의 다양한 발색은 발색제인 산화철의 함량 차이 때문이다. 산화철의 함량, 소성 시 환원 분위기의 강도에 따라 청자색의 색상이 다르다. 작품 10은 작품 9와 산화철 함량이 비슷하나 소성 시 환원 분위기가 약해 전체적으로 연한 청색을 띤다.

작품 11
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 55*5*8cm
제작연도: 2021

작품 12
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 없는 유리질 점토 SQ4
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 23*23*16cm
제작연도: 2021

작품 11과 12 또한 제겔식으로 청자색 유리질 점토를 개발한 결과이다. 두 작품 모두 유동성이 없는 청자색 유리질 점토를 사용하였다. 작품 12는 유동성이 없는 청자색 유리질 점토를 과립상으로 내화틀에 담아 단벌 소성했다. 작품 11은 같은 점토를 작품 12보다 입자가 큰 과립으로 만들어 1280℃에서 먼저 소성한 후 내화틀에 담아 다시 1280℃로 소성해 작품 12보다 수축이 적고 형태 변형이 덜하다. 이를 통해 같은 재료라도 과립의 크기와 소성 방법에 따라 다른 형태와 질감 표현이 가능함을 알 수 있다.

2-2. 융제 대치 실험 결과를 활용한 작품

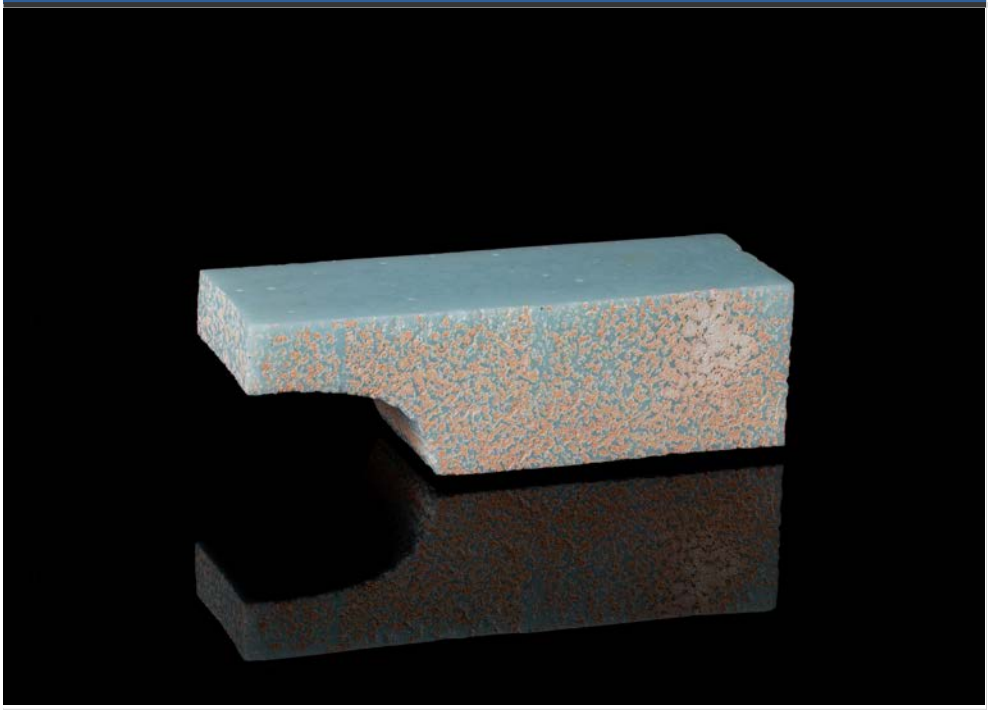
융제 대치 실험에서는 성분에 따라 발색과 유리질 정도에 상이한 결과가 나타났는데, 그 중 발색과 유리질화 정도를 기본으로 하였을 때, 제겔식을 활용하여 개발한 유리질 점토 중 탄산 스트론튬을 첨가한 SQ2.Sr와 바륨을 첨가한 SQ2.Ba 그리고 장석을 활용하여 개발한 유리질 점토 중 바륨을 첨가한 FQC2.Ba가 가장 좋은 결과를 보여주었다. 따라서 작품제작은 위 세 가지 유리질 점토를 위주로 진행하였다.

작품 13
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.Sr
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 50*20*8.5cm
제작연도: 2022

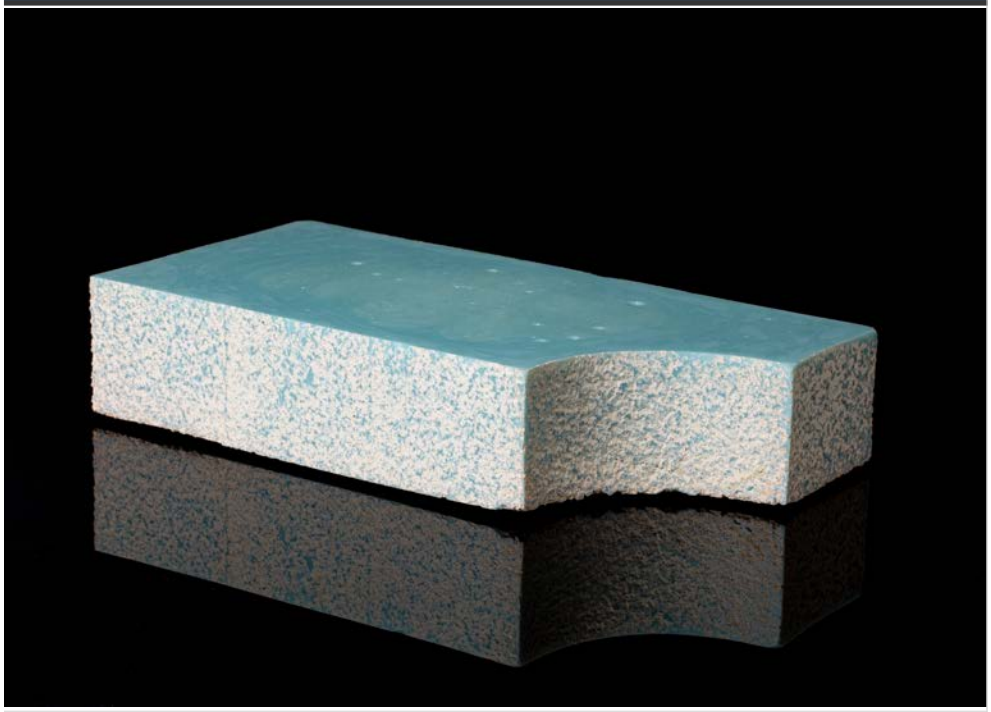
작품 13은 제겔식을 활용하여 개발한 청자색 유리질 점토 SQ2에서 탄산 스트론튬으로 융제를 대치한 실험 결과인 SQ2.Sr을 사용해 제작한 작품이

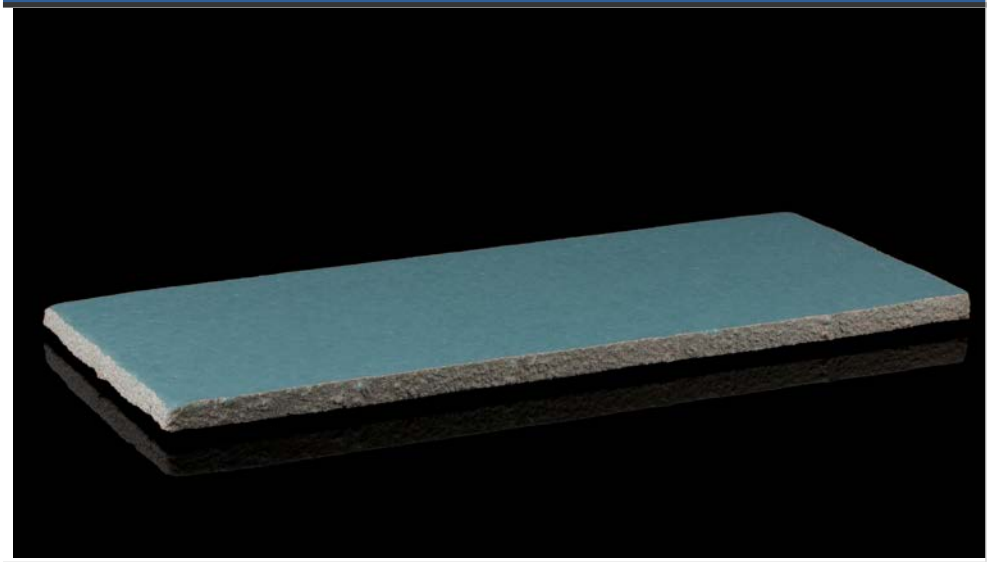
다. 청자색 유리질 점토 SQ2에 탄산스트론튬으로 융제를 대체하면 기본 성질은 변하지 않고 다만 색상이 따뜻한 청자색으로 변한다. 유리질 점토 SQ2.Sr을 과립 상태로 내화틀에 주입하는 방식으로 성형하였다. 정면과 밑면은 분리제를 완전히 연마해 표면이 매끄럽다. 이외 측면과 윗면은 중간 정도로 연마해 분리제가 일부 남아 있어서 다소 거친 질감으로 드러난다.

작품 14
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.Ba
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 49.5*10*8.5cm
제작연도: 2022

작품 15

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.Ba
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 29.5*29.5*8cm
제작연도: 2022

작품 14와 작품 15의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발한 것으로, SQ2에 탄산바륨으로 융제를 대치한 유리질 점토 SQ2.Ba이다. 청자색 유리질 점토 SQ2의 융제가 탄산바륨으로 대치되어 유리질의 용융 정도가 높아지고 발색과 투명도도 높아져 맑은 색상을 띤다. 두 작품은 과립 상태로 내화틀에 주입하는 방식으로 성형하였다. 작품 14는 한쪽 정면과 밑면을 완전히 연마해 표면이 부드럽게 만들었으며 그 외 표면은 중간 정도로 연마해 분리제가 남아 있어 거친 질감이다. 작품 15는 윗면과 밑면을 매끄럽게 연마하고 나머지 부분은 중간 정도로 연마했다.

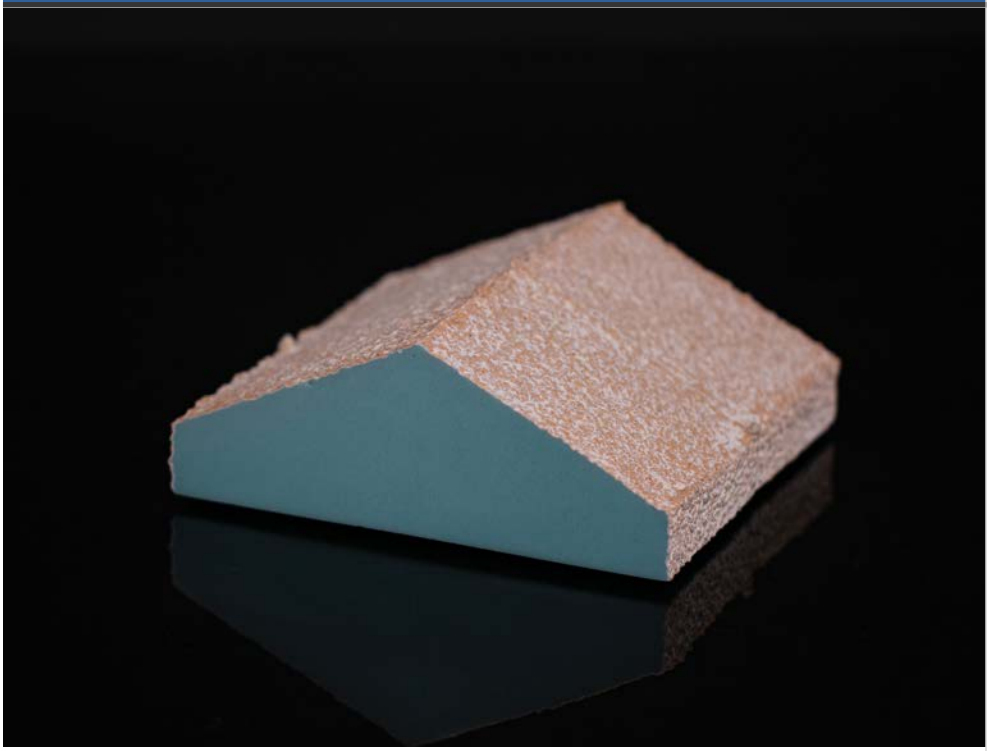
작품 16

재료: 장석을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 FQC2.Ba
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 39.5*19.5*8cm
제작연도: 2022

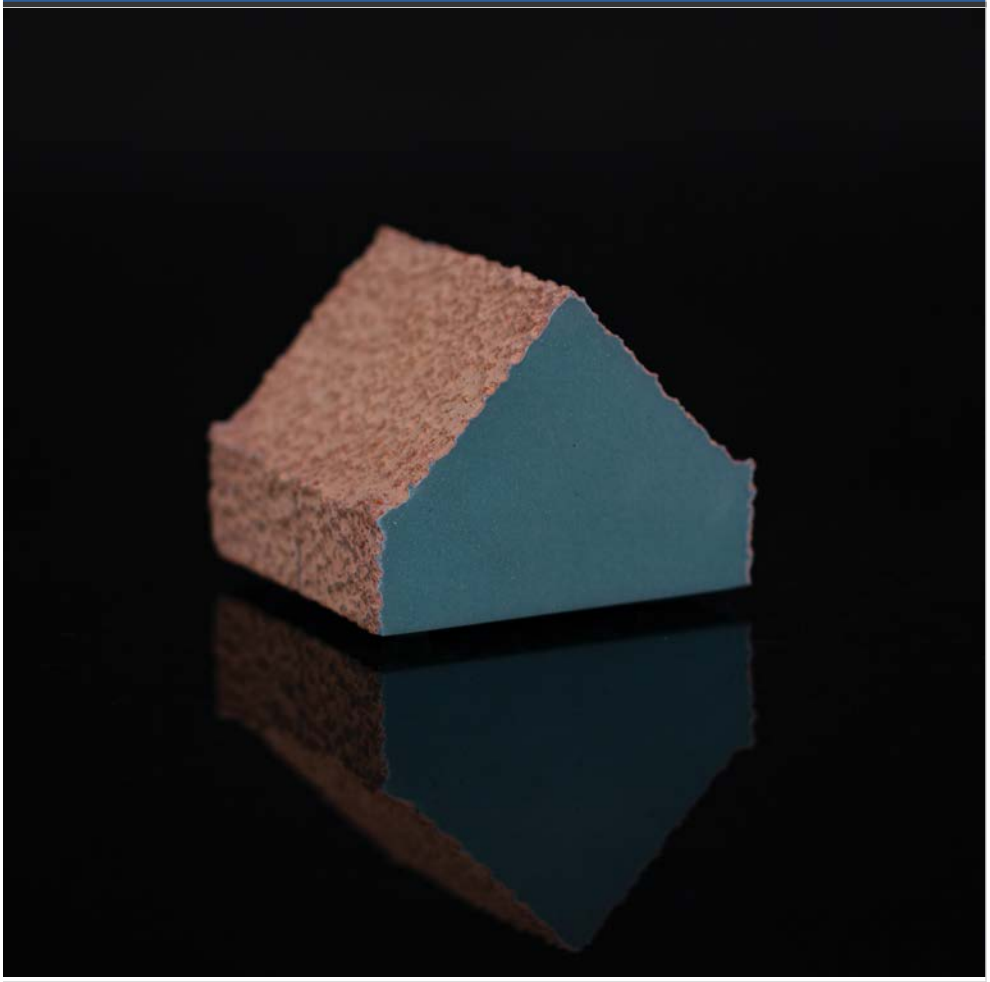
작품 17

재료: 장석을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 FQC2.Ba
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 49.5*19.5*1.5cm
제작연도: 2022

작품 16과 17의 청자색 유리질 점토는 장석을 주성분으로 개발한 FQC2에 탄산바륨으로 융제를 대치한 FQC2.Ba이다. 청자색 유리질 점토 FQC2의 융제를 탄산바륨으로 대치하면 다른 융제 대치 결과와 달리 유리질 성분이 더 잘 녹고 발색도와 투명도가 높다. 그러나 청자색 유리질 점토 FQC2의 두께가 너무 두꺼우면 환원 반응이 균일하지 않아서 작품 16처럼 부분적으로 다른 색상이 드리워질 수 있다. 작품 16은 괴상으로 내화틀에 투입해 소성한 후 윗면만 매끄럽게 처리하였으며 나머지 면은 중간 정도로 연마했다. 작품 17은 두께가 얇아서 환원 반응이 좋아 안정된 청자색 색상을 보인다. 작품 17은 유리질 점토를 과립 상태로 내화틀에 주입해 성형하였다. 윗면은 매끄럽게 처리하고 밑면은 중간 정도로 연마, 그 외의 면은 분리제를 대부분 남겨 두어 거친 질감을 그대로 살렸다.

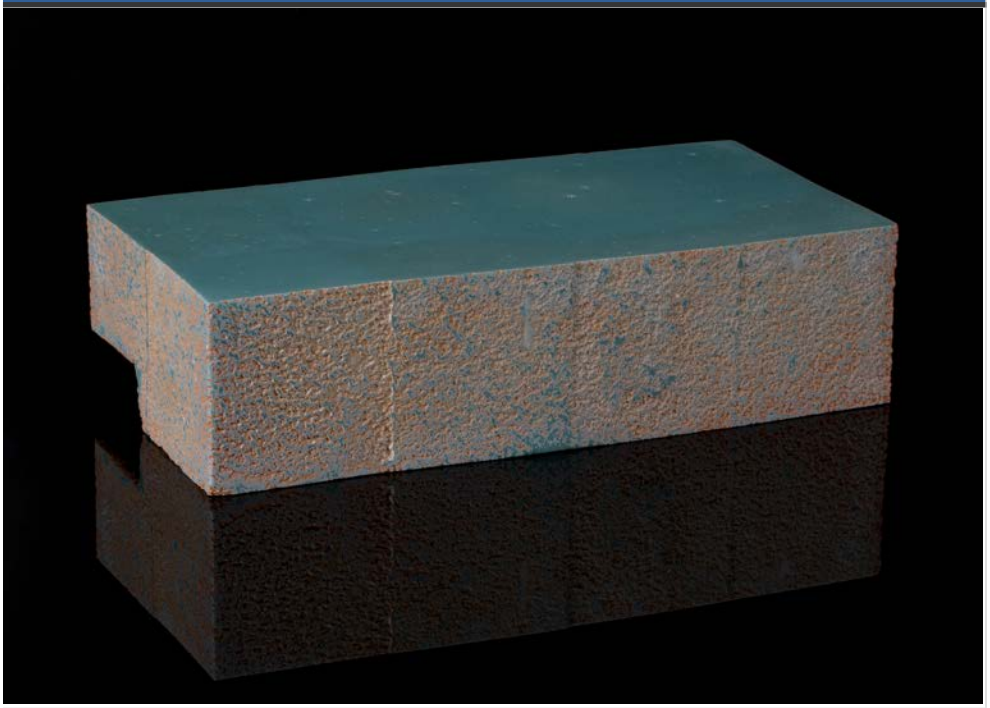
2-3. 발색제 실험 결과를 활용한 작품

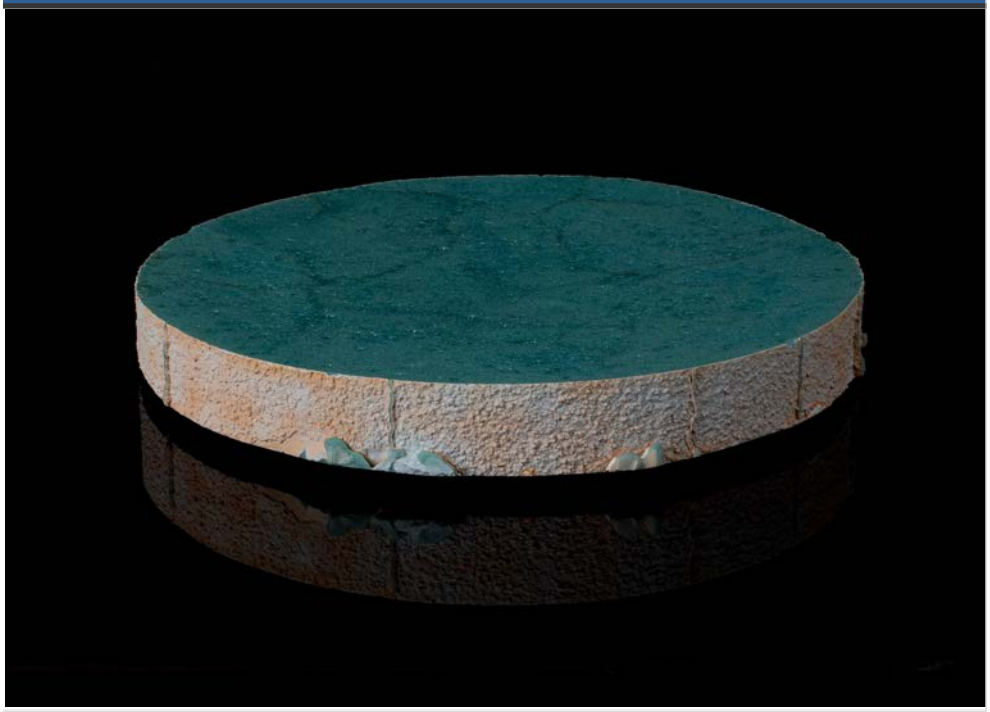
발색제 첨가 실험결과를 활용한 작품 제작 역시 발색, 가소성, 유리질화 정도가 안정적인 SQ2를 주로 사용하였으며 산화철의 함량에 변화를 주거나 산화티탄 혹은 탄산망간을 첨가하여 제작하였다. 보통은 한 가지 유리질 점토에 한 가지 발색제를 단독으로 사용하였으나 각기 다른 발색을 가진 유리질 점토 두세 가지를 섞어 소성하기도 하였다.

작품 18

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.f0.6
제작: 내화 틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 20*19.5*7.5cm
제작연도: 2022

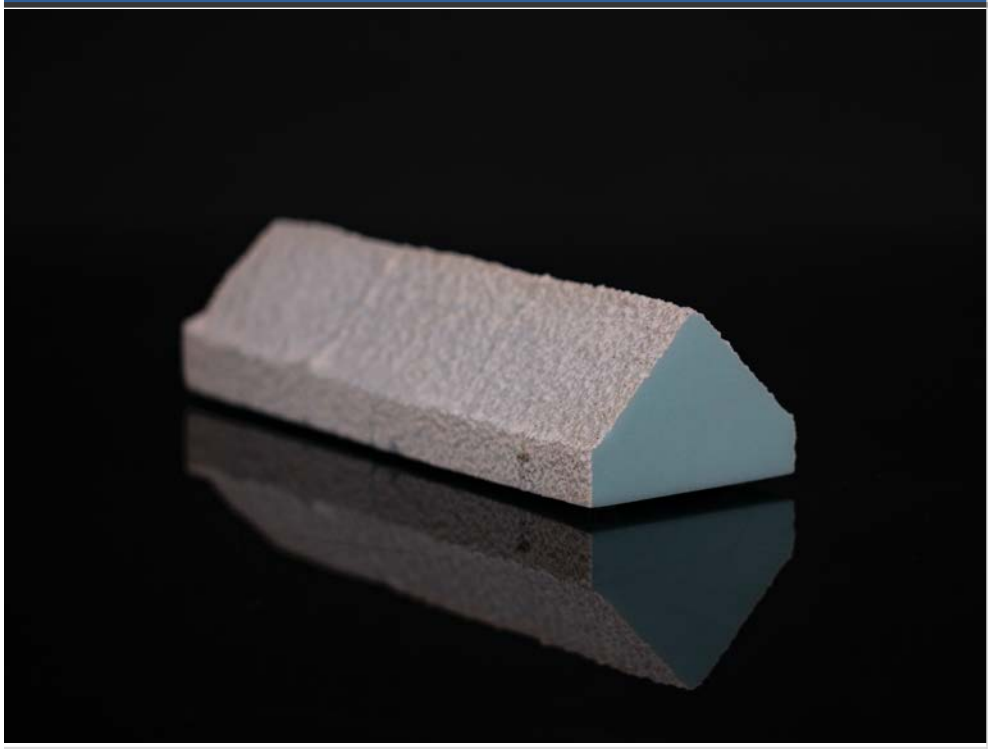
작품 19

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.f0.6
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 9.5*10*7.5cm
제작연도: 2022

작품 20
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.f0.6
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 19.5*19.5*10cm
제작연도: 2022

작품 21

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.f0.6
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 40*20*10cm
제작연도: 2022

작품 22

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.f0.6
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 43*43*5cm
제작연도: 2022

작품 18, 19, 20, 21, 22의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 기반으로 개발한 SQ2에서 발색제 산화철 함량을 0.6%까지 높인 것이다. SQ2의 산화철 함량이 증가함에 따라 청자색은 짙은 녹색이 되었다. 그리고 작품 18, 19, 20, 21, 22는 표면에 부착된 분리제가 증가한 산화철 함량에 영향을 받아 원래의 흰색에서 노란색으로 변하였다. 다섯 작품은 과립상과 괴상 상태를 활용하여 서로 다른 방식으로 제작하였다. 과립상으로 만든 작품 18, 19는 괴상으로 만든 작품 20, 21, 22보다 발색이 균일하다. 또한, 작품 모두 매끄러운 면과 거친 면의 질감 대비를 살렸다.

작품 23

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.Ti0.2.f0
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 29.5*10*7cm
제작연도: 2022

작품 24
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.Ti0.2
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 29.5*10*7cm, 9.5*10*7cm
제작연도: 2022

작품 23과 작품 24의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발한 SQ2에서 발색제로 산화철과 산화티탄을 조합한 유리질 점토이다. 발색제 산화티탄을 0.2%까지 첨가하여 유리질 점토의 색상이 밝고 따뜻한 청색계열로 소성되었다. 이 작품도 과립 상태로 내화틀에 주입하는 방식으로 성형한 후 소성하고, 측면과 밑면만 매끄러운 표면 처리, 나머지는 거친 질감을 그대로 살렸다. 특히 작품 24는 따로 만든 두 개의 작품을 나열한 것인데, 마치 한 작품을 절단한 것처럼 보이도록 유도했다.

작품 25
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.f0, SQ2.f0.2, SQ2.Ti0.2.f0, SQ2.Mn1.0.f0
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기:9.5*10*7.5cm*4
제작연도: 2022

작품 25의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발한 SQ2에 각각 다른 발색제를 활용하여 각기 다른 청자색 색상을 띠는 결과물이다. 작품에 사용된 발색제는 산화철(0%와 0.2%), 산화티탄(0.2%), 탄산망간(1.0%) 세 종류이나 산화철의 함량에 따라 그리고 산화철과 산화티탄의 조합에 따라 청자색의 색상은 연한 청색계열, 진한 청색계열, 연한 녹색계열로 다양하다. 괴상으로 내화틀에 투입하는 방식을 통해 같은 형태를 만들었다. 질감 차이를 주고자 윗면은 분리제를 남겨 거친 질감을 살리고 측면과 밑면만 연마해 매끈한 효과를 주었다.

작품 26
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.Ti0.2,SQ2
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 43*43*6cm
제작연도: 2021

작품 27
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.Ti0.2, SQ2, SQ2.P5
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 18*18*16cm
제작연도: 2021

작품 26과 27의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발된 SQ2이다. 다른 작품에선 단일한 발색제 혹은 발색제 조합을 첨가한 것과 달리, 이 두 작품은 SQ2에 각각 다른 발색제를 섞어서 다른 청자색이 동시에 드러나도록 유도한 작품이다. 작품 28의 첨가제는 산화철과 산화티탄이었고, 작품 29에 사용된 첨가제는 산화철, 산화티탄과 인산칼슘이었다. 이로써 다양한 색상의 청자색 유리질을 표현할 수 있다. 괴상 상태로 내화틀에 투입해 소성하고 표면 전체를 매끄럽게 연마하여 처리하였다.

2-4. 기포 증가 실험 결과를 활용한 작품

기포 증가 실험결과를 통한 작품제작에서는 제겔식을 활용하여 개발한 SQ2에 인산칼슘을 첨가한 유리질 점토를 활용하였다. SiC를 첨가한 유리질 점토는 발색이 좋지 않아 작품제작에 사용하지 않았다.

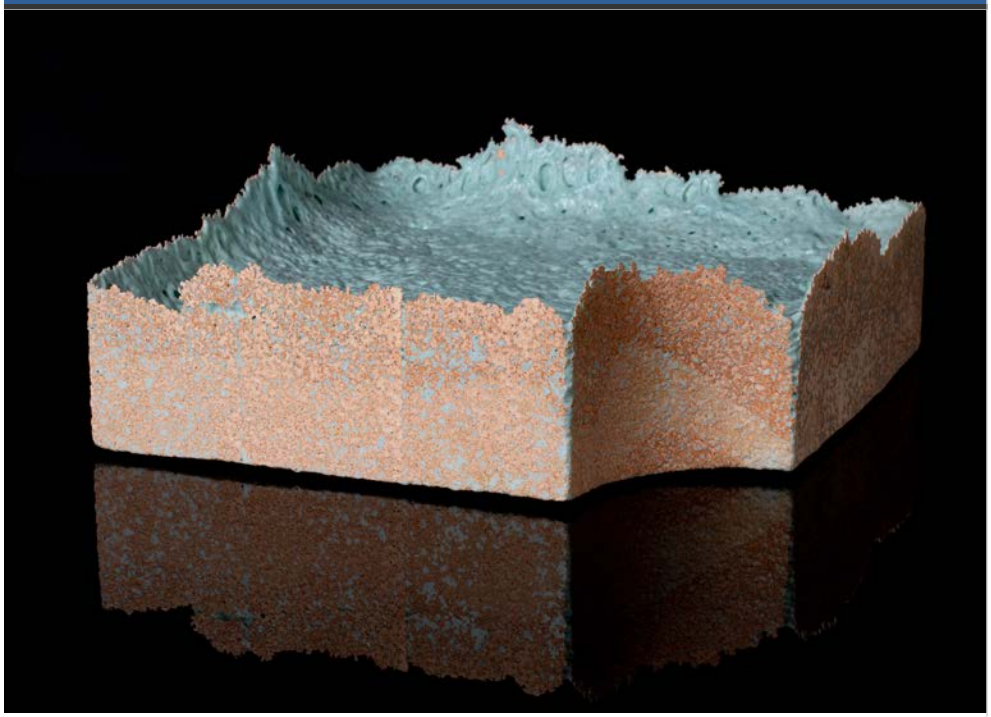
작품 28
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.P25
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 30*30*18cm
제작연도: 2021

작품 29
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.P25
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 46*46*8cm
제작연도: 2021

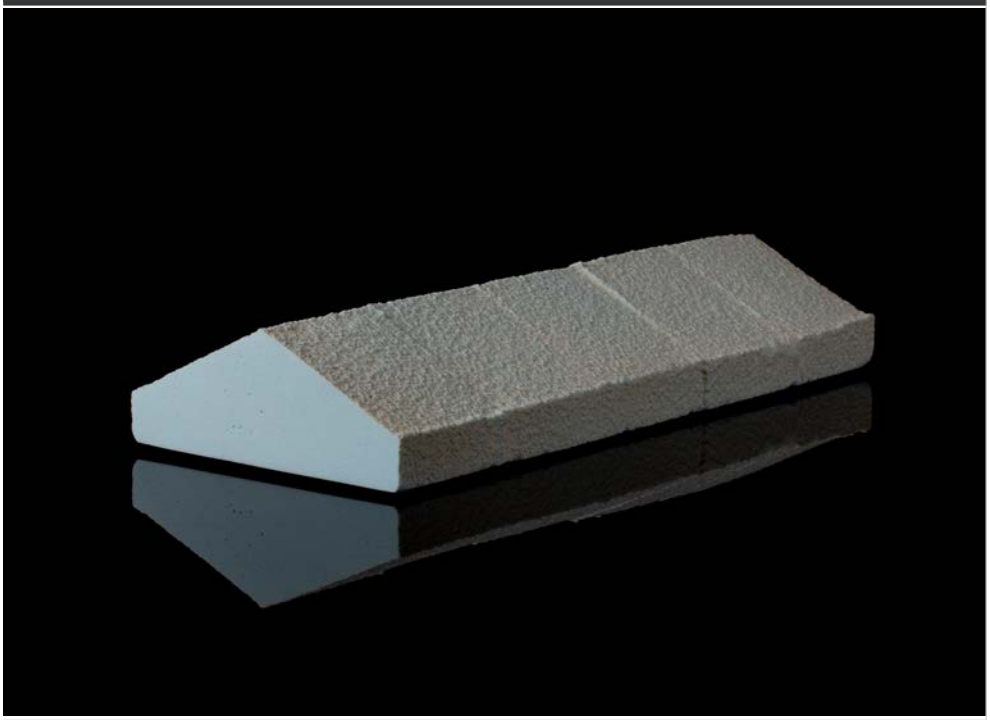
작품 28과 작품 29의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발한 SQ2에 인산칼슘을 첨가한 것이다. 인산칼슘의 함량이 증가함에 따라, 특히 고온일 때 SQ2에서 기포가 생성되며 팽창한다. 인산칼슘의 양이 많을수록 팽창률이 높고 기포가 많이 방출된다. 같은 재료를 사용했으나 작품 28은 높이가 높아 위로 갈수록 기포가 커지고 밀도는 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 작품 28의 철분 함량이 작품 29보다 약간 높아서 발색이 더 진하다. 유리질 내부에 기포가 많을수록 밀도가 약해져 표면 처리도 쉬워진다. 기포의 질감을 잘 보여주기 위해 틀로 성형하여 제작한 후 전체적으로 연마하며 매끄러운 표면을 만들었다.

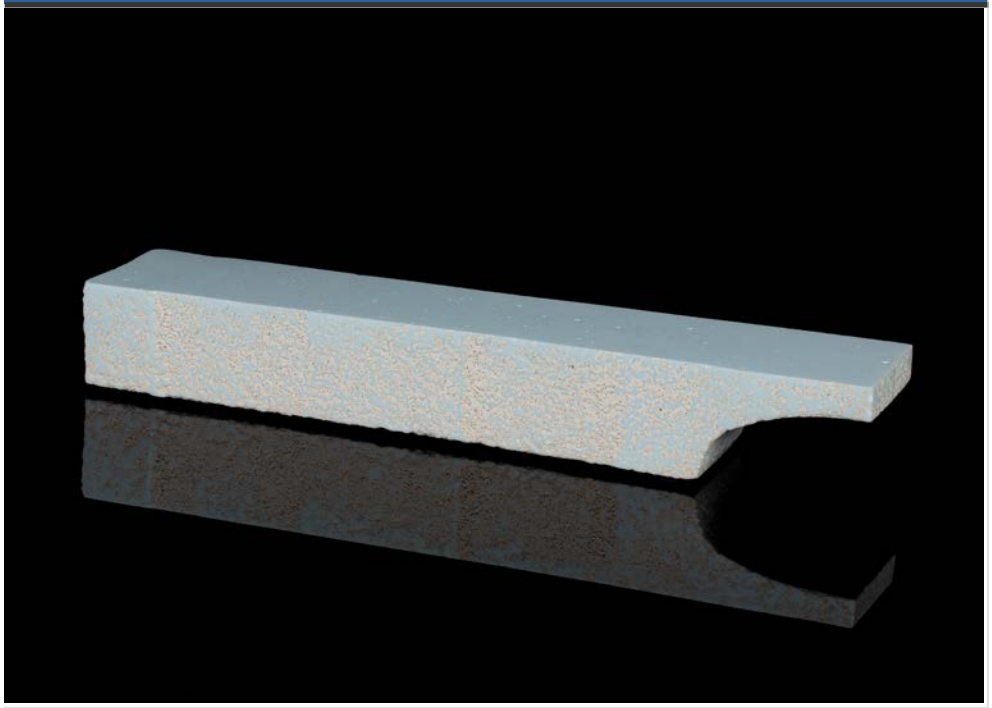
작품 30
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.P20
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 40*20*10cm
제작연도: 2022

작품 30의 청자색 유리질 점토는 작품 28, 29와 마찬가지로 SQ2에 인산칼슘을 첨가한 것이다. 하지만 앞의 두 작품보다 인산칼슘 첨가량이 적어 기포가 작고 치밀하다. 기포가 크고 많을수록 결과물의 무게가 가벼워진다. 또한 기포 안에 빈 공간이 존재하기 때문에 기포가 클수록 물에 잘 뜨는 특징이 있다. 이 작품은 괴상 상태로 내화틀에 투입해 소성한 뒤, 한쪽 면만 연마해 매끄럽게 하고 나머지는 상대적으로 거칠게 표면 처리하였다.

작품 31

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.P20
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 41*41*13cm
제작연도: 2022

작품 31의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용한 SQ2에 인산칼슘을 첨가한 것이다. 그러나 작품 30과는 다른 결과를 보이는데, 작품 30과 달리 작품 31은 2차 소성되었기 때문이다. 즉, 1차 소성 후에는 작품 30과 마찬가지로 기포가 형성되는데, 2차 소성 시 다시 용융되면서 기포가 붕괴되고 안의 수많은 빈공간이 내려앉으며 가스가 대량 배출되어 작품 31과 같은 결과로 나타난 것이다. 이 작품도 괴상 상태로 내화틀에 투입해 소성한 후 옆면을 중간 정도로만 연마하였다. 기포가 무너지면서 부풀었다 꺼진 듯한 형태가 그대로 남아 있는 것이 매력적이다.

작품 32

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.P15
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 49.5*20*8cm
제작연도: 2022

작품 33

재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 청자색 유리질 점토 SQ2.P15
제작: 내화틀에 과립상으로 주입하여 성형 후 연마
크기: 49.5*9.5*7cm
제작연도: 2022

작품 32와 작품 33의 청자색 유리질 점토는 제겔식을 활용하여 개발한 SQ2에 인산칼슘 첨가한 것이다. 인산칼슘의 함량을 줄여 미세한 기포를 형성하고 청자색이 좀 더 밝으면서도 유탁하게 만들었다. 이 두 작품은 과립 상태의 재료로 성형되었으며, 작품 32는 한쪽 면만 매끄럽게, 나머지는 분리제를 상당량 남겨 거친 질감을 살렸다. 작품 33도 한 윗면을 매끄럽게 하여, 나머지 면은 중간 정도로 연마해 살짝 거친 질감을 살렸다.

작품 34
재료: 제겔식을 활용하여 개발한 유동성이 있는 유리질 점토 SQ2.P15
제작: 내화틀에 괴상으로 투입하여 성형 후 연마
크기: 49.5*20*10.5cm
제작연도: 2022

작품 34의 청자색 유리질 점토는 작품 30 및 작품 31에서 사용된 것과 같다. 그러나 이 작품의 유리질 점토에는 지르콘을 10% 첨가했기 때문에 발색제인 산화철의 발색이 약해져 흰색에 가까워졌다. 인산칼슘과 지르콘 성분을 첨가하면 작은 크기의 기포가 형성돼 섬세한 질감이 나타난다. 작은 크기의 균일한 기포와 푸른 빛 흰색을 띠는 이 작품을 연구자는 기포 변화의 사례로 보고 있다. 이 작품도 괴상 상태로 내화틀에 투입해 소성한 뒤 위쪽 면을 매끄럽게 연마하고 나머지 면은 거친 질감을 살렸다.

제 5 장 결론

이 연구를 통해 연구자는 새로운 점토로서 유리질 점토를 개발하고 그 응용 작품을 제작하였다. 유리질 점토는 '낮은 가소성과 넓은 용융범위를 가진 유리질화 된 재료'로서, 특히 유약과 점토의 이중 특성을 가진다는 점에 초점을 맞춰 연구를 진행했다. 유약과 점토의 물리화학적 특성을 적극 활용하고 유리제작 기법을 융합해 도자 제작방식 범위를 확대하면서 새로운 도자 예술의 가능성을 모색하였다.

유리질 점토는 청자유약의 화학적 조성을 재구성한 후 그에 따른 유리질 성분의 용융온도, 유동성, 발색 등과 같은 물리화학적 특성을 반영하여 고안한 재료이다. 특히 규석 성분의 과포화라는 유약의 조성적 결함을 이용하여 소성물이 형태와 발색을 유지하는 방법을 모색하였고, 이를 활용하여 용융온도가 넓은 청자색 유리질 점토를 개발하였다. 기존의 도자 분야 연구에서는 대체로 일반적인 점토의 기능, 제작공정, 형태에 관한 고찰이 대다수였다. 그러나 연구자는 점토와 유약이 부분적으로 연결될 수 있는 지점을 파고들어 새로운 점토 개발의 가능성을 탐색하였다.

2장에서는 유리질 점토를 명확히 정의하기 위해서 점토, 유약, 유리, 유리질의 특성을 분명하게 정리하였다. 이를 통해 유리질 점토를 넓은 범위의 용융온도를 가지는 재료로 정의하였으며, 그 범위는 자기와 유약 사이의 범위에 속한다. 또한, 덕화백자, 이집트 페이스트, 고대유리, 청자유 및 현대 작가 사례연구를 통해 유리질 점토의 역사적 시사점과 차별성을 구체적으로 탐색하였다.

3장에서는 유리질 점토를 개발하기 위해 세 가지 조합의 기본유에 규석 성분을 추가하는 실험을 진행하였다. 이후 유리질 점토의 융제 대치 실험, 발색제 실험, 기포 증가 실험을 통해 다양한 물리화학적 특성을 지닌 유리질 점토를 개발하였다.

실험을 통해 얻은 결과로는 첫 번째, 규석 성분의 함량이 증가할수록 유

리질 점토의 용융온도가 높아지고 유동성은 감소하나 발색도는 유지된다는 것이며, 두 번째로는 규석과 융제의 함량과 비율에 따라 유리질 점토의 유리질 용융 상태는 다양한 질감과 특성을 나타낸다는 점이다.

4장에서는 유동성이 있는 유리질 점토와 유동성이 없는 유리질 점토의 성형 방법을 다양하게 제시하고, 유리질 점토의 소성 기법과 표면 처리에 관해 탐구하였다. 작품은 재료의 발색, 기공, 질감 등 단순하고 추상적인 형태로 표현되어 유리질 점토의 온전한 물성을 느낄 수 있도록 제작하였다. 자연과 닮은 청자색 유리질 점토의 푸른 빛은 상상을 유도하면서도 시각적으로 편안함을 느끼게 하며, 기본적인 도재의 조합으로 발생한 기포와 여러 질감은 물질 그 자체의 생기를 드러낸다. 또한 청자색 유리질 점토를 청자유의 역사적 맥락 안에서 해석함으로서 옥과 청자의 형태, 질감, 발색을 참조하여 전통성을 가지면서도 현대의 미감에 상응하는 작품을 제작하고자 하였다.

위와 같이 청자색 유리질 점토의 제조 방법, 소성 방법, 표면 처리 등에 대한 수많은 실험과 시도에서 얻은 유리질 점토를 목적에 맞게 선택적으로 활용한 연구 작품들을 얻을 수 있었다.

한편 유리질 점토의 개발 및 응용의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 유리질 점토에 대한 직접적인 역사적 사례 현대적 사례가 다소 부족하여 아쉬움을 남겼다. 둘째, 유리질 점토는 SiO_2 성분이 많아 가소성을 확보하기 어려워 작품 제작 단계에서 많은 어려움이 있었다.

연구자는 유리질 점토의 개발 연구를 기반으로 유리질 재료에 대한 실험 및 청자의 현대적 해석에 관한 연구를 지속하고자 한다. 본 논문에서 실험한 유리질 점토는 형태, 질감, 발색 등에 무궁무진한 가능성을 가지고 있다. 더 다양한 재료 실험과 성형법 실험을 통해 유리질 점토의 활용 범위를 넓힐 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

단행본

-윤창주 ,『화학용어사전』,화학용어사진편찬회, 일진사출판사, 2011
-오영우 편저, 『세라믹스의 분석과 계산』, 경남대학교출판부, 1998
-이병화, 『나만의 유약 만들기-기본 유약 편』, 예경출판사, 2004
-이복규,『도자원료』, 미진사, 1991
-정동훈, 『도예기를 위한 유약연구』, 한국학술정보, 2011
-이병화, 『나만의 유약 만들기- 종합편』, 예경출판사, 2014
-글렌 C. 넬슨,『도자예술』, 임무근 신광석역, 미진사, 2001
-손덕명(孫德明), 『덕화도자예술(德化陶瓷藝術)』, 요녕(遼寧):요녕미술출판사, 2017
-马永立，『地理学词典』, 上海, 上海辞书出版社, 1983
-吴月华 杨桀,『材料的机构与性能』, 北京, 中国科学技术大学出版社，2001
-『地质大词典2 矿物，岩石，地球化学分册』, 北京, 地质出版社, 2005
-彭寿，『球形玻璃质材料』, 北京，高等教育出版社, 2015
-李言融 恽正中，『电子材料导论』，清华大学出版社，2001
-李種根，白龍赫，金種玉，李珍性，李秉復共著，『無幾材料工業概論』，半島出版社1994
-李家驹 主编，『陶瓷工艺学』, 北京：中国轻工业出版社 2010
-李鍾根，『無幾材料原料工學』，半島出版社，1985
-戴金辉，柳伟主编；李春雷，崔德生副主编，『无机非金属材料工学』，哈尔滨工业大学出版社，2012
-刘幼铮 著，『中国德化白瓷研究』，北京，科学出版社，2007
-故宫博物馆 编, 『官窑瓷器』, 北京 故宫出版社, 2016
-薛瑞芳, 『釉料學』, 台灣:藝術家出版社, 2013
-郑宁，陶艺的釉, 北京：清华大学出版社，2005, p20

-功刀雅長，加藤悅朗，長板克己 共著，『無幾材料』，김건중, 윤조희 공역, 서울: 東河技術，1998
-Daniel Rhodes, 『Clay and Glazes for the Potter(도예가를 위한 점토와 유약)』, 이부연/배미정/송연옥/김동원/조준희/김두식/김진동 공역, 한양대학교 출판부, 2016
-Yvonne hutchinson Cuff, 『Ceramic technology for potters and sculptors /Yvonne Hutchinson Cuff ; line drawings by Peter Bramhald』, (University of Pennsylvania Press, 1996), p367.
-Nigel Wood, 『Chinese glazes:their origins, chemistry, and re-creation』, University of Pennsylvania Press, 2007
-Alex Zablocki,『Ceramics Monthly:Glaze Chunks』, American Ceramic Society, 2020
-Robert Fournier, 『Illustrated Dictionary of Practical Pottery』, A&C Black・London Krause Publications・Wisconsin, 2000
-Robin Hopper, 『Pottery Making Illustrated』,
Ceramic Publication Company, 2010

논문

-김은경,「고가소성과 고강도 백자 소지를 연구」, 단국대학교 박사학위논문, 2016
-정인석,「모세관 현상을 이용한 다공성 도자소지 개발 연구」, 단국대학교 박사학위논문, 2010
-김생화, 「중국 덕화(德化)도자 연구」,조형디자인연구, 2020
-박종휘, 이원재, 「탄화규소의 단결정 성장방법 및 응용분야」, 세라미스트, 2010
-김성훈, 김경훈, 도환수, 박주석, 김경자, 심광보, 「열간가압소결법으로 제조한 탄화규소의 균열자기치유」, 한국세라믹기술원 기업협력센터, 한양

대학교 신소재공학과, 2016
-김윤성, 김준이, 유중환, 김형태, 「본차이나 소지용 인산칼슘 분말에 제조 및 적용에 관한 연구」, 한국세라믹학회지, 2004
-김용성,「도자소지(陶瓷素地)실험에 의한 조립식토벽(土壁)의 건축 재료적(建築材料的)활용에 관한 연구」, 단국대학교 박사학위논문, 2009
-김주홍,「古代琉璃玉製作技術研究」, 목포대학교 대학원 고고인류학과 고고학전공 석사논문, 2007
-정지원, 「루틸을 중심으로 한 유약 발색 효과 연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문, 2020
-이가진, 「청자유를 두껍게 시유한 도자작품의 사례분석 및 제작에 관한 연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문, 2021
-송미경, 「Matt釉料에 관한 研究,이화여자대학교 산업미술대학원」, 1985
이혜미, 「SiO_2 함유량이 적은 무광택유에 관한 연구」, 서울대학교 대학원, 2015
-오지은, 「탄화규소를 활용한 도자작품연구」, 서울대학교 디자인학부 도예전공 석사학위논문 2018
-황성연(黃聖淵), 「유약(釉藥)의 생성(生成)에 관한 고찰(考察)(Ⅰ)-유리의 형과 구조-」, 이화여자대학교 도예연구소, 1984
-장커휘, 김병율, 「중국 명대(明代) 덕화요(德化窯)의 인물조형 연구」, 한국도자학연구 Vol.17, No.1, 17:1, 121-150, 2020
-安家瑶, 「중국 고대 유리의 고고학적 발현과 연구」, 한국학연구(제5집), 제5회 학술강연회<동서문화교류와 동양의 고대유리>, 1993
-金硕圭，「韩国广州白瓷和中国德化白瓷之间的比较」，清华大学硕士学位论文，2008
-李建,「高硅质的制备玉研究」,景德镇陶瓷大学, 材料科学与工程学院硕士学位论文，2020
-李尚勳，「粘土鑛物의 合成 및 技能化 技術」，大韓鑛業振興公社 技術研究所, 1999
-王冠英 ,「德化陶瓷及其科技史略」, 陶瓷工程, 30(05), 1996

-金国民，「璀璨之中国古琉璃』，上海工艺美术 02期, 2010
-黃聖淵，「釉의 生成 관한 考察（II）: 釉藥의 種類와 調合式」,『陶藝研究』, 第7輯，梨花女子大學校 美術大學 陶藝研究所，1985
-CHEN Ling，「An Examiniation of Marco Polo's "China White"」, Journal of Dialectics of Nature. Vol.40, No.11 (Serial No.243).November 2018
-Peter Raven, 「Art Education-Egyptian Past」, Published By: National Art Education Association, Vol. 21, No.2, Feb. 1968
-Daniel Rhodes, 「Clay and Glazes for the Potter」, KRAUSE, 2000
Wang Chueng-yu，Tang Hua-juan，
-「The Evolution and Development of Chinese LIULI(Colored Glaze) Composition」, Glass & Enamel. 2014
-Wang Changyu, Lu Qi, Wang Paul W, 「The evolution of AI2O3 content in ancient Chinese Glasses[A]」. Int Symp mater Eng[C]EDP Science THailang, 2016
-H.E. Wilson, 「Matt glazes and the lime-alumina-silica system.Bull.Amer」, Ceram. Soc,18(12), 1939
-P.S.Salmom,「Order whithin disorder」, Nature Materials, 1(2), 2002

사이트

-https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5960905&cid=61234&categoryId=61234
-https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5960905&cid=61234&categoryId=61234
-德化白瓷地理标志产品保护的公告,
http://www.cpgi.org.cn/?c=index&a=detail&cataid=3&id=857
-Met Museum. https://www.metmuseum.org/

-中国长沙博物馆, https://www.csm.hn.cn/#/Collection/overview?page=1
-上海琉璃博物馆, http://www.shmog.org/portfolio/ancient-chinese-glass/
-https://www.nonaka-hill.com/artists/118-masaomi-yasunaga/
-https://kkumashunn.wixsite.com/shunkumagai
-https://kkumashunn.wixsite.com/shunkumagai
-https://www.dpm.org.cn/Home.html.
-http://www.museum.go.kr/site/main/relic/treasure/view?relicId=1193.
-https://lighthouse-kanata.com/artists/sueharu-fukami
-https://www.daiichiarts.com/artworks/categories/1/2978-yoshikawa-masamichi-celadon-sculpture-kayoh-2014/
-한국 국가기술표준원,
https://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=239&_dc=1531322154531&mode=view&page=68&cid=19117
-https://hanmiref.modoo.at/?link=ci8304so
-LIULIART.CN http://www.liuliart.cn/Index.html
-https://collections.vam.ac.uk/item/O436990/cup-unknown/.
-https://collections.vam.ac.uk/item/O436739/cup-unknown/

摘要

玻璃质粘土的开发与作品制作研究

姜少清

首尔大学 美术学院 设计系 工艺专业

本论文是从粘土玻璃质化的物理化学性质来进行玻璃质粘土的开发以及利用该粘土进行作品制作为目地的研究。玻璃质粘土是指“可塑性低、熔融范围宽的玻璃质化的材料”。研究者通过玻璃质粘土的开发及其分析,提出了玻璃质粘土的基本定义,阐述了玻璃质粘土的具体特性,并以作品制作为主题进行了研究讨论。

粘土与釉料之间即相似而又有差异的化学结构表现了其材料的应用潜力。特别是粘土与釉料共有的物理化学性质是研究者试图开发与应用玻璃质粘土的直接动机。从化学构成上来看，陶器、炻器、瓷器或釉料可以看作是玻璃质化程度不同，分别在一定的熔融温度范围内构成的产物。玻璃质粘土是其中比瓷质粘土更玻璃质化的状态,且包含釉料范畴在内的粘土。其中釉料的特性中特别是类似于粘土的性质备受研究者的青睐。

研究主要是通过添加釉料组成中石英成分来调节釉料的熔融温度以及发色度的方式进行的。研究者首先是以传统青釉为对象，尝试开发了具有青釉色调的玻璃质粘土。青釉是典型的高温还原釉，因成分的组成和烧成方法不同，发色效果不同，属于活用难度较大的釉料。在青釉的组成中，当石英成分的含量达到过饱和时，釉的流动性急剧下降，而发色却在一定程度上可以维持。研究者也是根据这一现象来进行了深入研究，并且选择了3种具有不同代表性的青釉

的基本组成，通过石英成分的增加，进行了以下的青釉色玻璃质粘土的开发试验。第一，活用釉式的基本组成来添加石英成分的实验，第二，以长石为主要成分的基本组成来添加石英成分的实验，第三，利用宋官窑青釉的基本组成来添加石英成分的实验。通过以上试验，研究者根据材料在熔融过程中流动性的有否开发了具有两种不同特征的玻璃质粘土。

玻璃质粘土开发后，为了丰富玻璃质粘土的发色与质感，进一步进行了熔剂替换实验、发色剂添加实验以及气泡增加实验。通过在不同溶剂组分、发色剂组分以及发泡剂组分的含量和配比下的实验，呈现了多样的青釉色玻璃粘土的发色与质感。

为了更好的能活用玻璃质粘土，还对其制作方法、烧制方法以及烧成后的表面处理等进行了研究。考虑到研究者开发的青釉色玻璃质粘土具有多样性的特性,选择了相适应的形态成型方法,并结合了3D打印技术对耐火模具的开发与制作，以及烧成制度的变化与烧成后研磨处理等技术的应用。

本研究中开发的玻璃粘土以及添加实验的结果都呈现了多样不同的表现潜力。研究者主要是结合以圆柱、多面体、棱柱等简洁的抽象几何形态来创作,更直接地展现了玻璃质粘土特有的物性。另外,从历史脉络来看,也借鉴了作为装饰品使用的玉与青瓷的形态、质感和发色,来制作了具有能承接传统与现代的作品。

以青釉的化学组成为出发点的玻璃质粘土的开发与利用在一定程度上达到了研究者的期待，但也明显突显出了在材料与工艺上的局限性与不足。今后，研究者将继续尝试以玻璃质材料为主要方向，继续对玻璃质粘土进行研究与活用。另外,还会继续探索并克服玻璃质粘土在可塑性、耐火性、收缩率等局限与缺点,以及针对玻璃质粘土高效的制作方法。

关键词：陶瓷、玻璃质粘土、青釉、石英的过饱和

学号:2018-39307

Abstract

A Study on the Development and Artistic Application of Vitreous Clay

JIANG SHAOQING

Craft Major

Faculty of Craft and Design

The Graduate School, Seoul National University

Vitreous clay is a vitreous material with low plasticity and a wide melting range. The purpose of this thesis is to develop vitreous clay, focusing on the physical and chemical properties of vitreous clay, and to study works using it. Through the development and analysis of vitreous clay, the researcher derived the basic definition of vitreous clay, improved the specific characteristics of vitreous clay, and dealt with the production of works accordingly.

The similar and differentiated chemical structures of clay and glaze suggest various material applications. In particular, the physicochemical properties shared by clay and glaze directly motivate researchers to

develop and attempt to apply vitreous clay. From the point of view of chemical structure, earthenware, stoneware, porcelain, or glaze can be seen as a product composed within a certain range according to the degree of vitrification. Vitreous clay is a state in which vitrification has progressed more than porcelain clay among them and includes the category of glaze. Among the possibilities of glaze, the researcher paid particular attention to its clay-like properties.

The research was carried out by adjusting the meltability and color development of the glaze by increasing the silica stone component in the composition of the glaze. The researcher first attempted to develop blue vitreous clay for the traditional celadon glaze. Celadon glaze is a typical reduction glaze. It belongs to the glaze with great difficulty in application because the color development result is different depending on the composition of the ingredients and the firing method. When the content of the silica component in the celadon glaze composition reaches supersaturation, the glaze's fluidity is rapidly reduced. However, color development is maintained to some extent. The researcher focused on this phenomenon and developed research. The researcher selected the composition of three representative celadon glazes and proceeded with the development experiment of blue vitreous clay according to the increase of silica components.

First, an experiment to increase the silica component of the basic composition using the Zegel method, second, an experiment to increase the silica component of the basic composition with feldspar as the main component. Third, an experiment to increase the silica component of the basic composition using Song Guanyo celadon glaze. Through experiments, the researcher developed two types of vitreous clays depending on the fluidity of the material when melted.

After the development of vitreous clay, a flux replacement experiment, a color former addition experiment, and a bubble generation experiment were additionally conducted to express the rich color and texture of the vitreous clay.

Through the above three types of experiments, the researcher obtained blue vitreous clays with various colors and textures according to the contents and ratios of the flux component, a former color component, and a foaming agent component.

Additional studies were also carried out, such as manufacturing methods for utilizing vitreous clay, firing methods, and surface treatment after firing. Considering the characteristics of the various blue vitreous clays developed by the researcher, a suitable form-making technique was selected. A combination of techniques, such as developing and producing a fire-proofing agent using 3D printers, changes in firing schedules, and post-firing polishing, was used.

This study's vitreous clay and deformation test results have various expression possibilities. The researcher tried to fully reveal the physical properties of vitreous clay by producing works in geometric and abstract forms such as cylinders, polyhedrons, and prisms.

In the historical context, the researcher also created a work that connects tradition and modernity by adopting the shape, texture, and color of jade and celadon used as ornaments.

The development and utilization of vitreous clay, starting with the chemical composition of celadon glaze, met the researcher's expectations to some extent. However, the limitations and disadvantages of materials and techniques were also clearly revealed. In the future, researchers will continue to attempt material research and utilization of vitreous clay, focusing on vitreous materials, also intended to seek a vitreous clay that

overcomes the limitations and disadvantages it revealed, such as plasticity, fire resistance, shrinkage, and will also seek an efficient manufacturing method.

Keywords : Ceramic, Vitreous Clay, Blue Glaze, Supersaturation of Quartz
Student Number : 2018-39307