

경상남도 동부지역 가마터 지표조사 보고서

양산 법기리 가마터 수습 자기편의
과학적 조사

慶尙南道 東部地域 陶窯址
地表調査 報告書

梁山 法基里 陶窯址 收拾 磁器片의
科學的 調査



양산 범기리 가마터 수습 자기편의 과학적 조사

노지현 국립중앙박물관 보존과학부 학예연구사

박진호 국립중앙박물관 보존과학부 연구원

1. 머리말

국립중앙박물관에서는 1963년 광주광역시 무등산록 충효동 가마터 발굴을 시작으로 전국의 가마터 조사를 지속적으로 실시해 오고 있다. 2018년에는 국립중앙박물관 미술부에서 경상남도 동부지역의 가마터를 대상으로 그동안의 연구 성과를 정리한 지표조사 보고서 발간 사업을 시작하였는데, 그 일환으로 양산시에 소재한 범기리 가마터 수습 자기편에 대한 과학적 조사가 진행될 수 있었다.

범기리 가마터에서는 조선시대 일본의 주문으로 제작된 주문다완¹(注文茶碗)인 이라보[伊羅保]다완, 고키[吳器]다완, 그릇 내부를 백토로 장식한 다완(内刷毛目) 등이 다수 수습되었다¹. 본 연구에서는 주문다완에 대한 과학적 조사를 실시하여 성분상의 특징을 확인하고 주문다완에 대한 기초 자료를 확보하고자 하였다. 또한 범기리 가마터에서 함께 수습된 조선시대 백자편과 흑유자편에 대한 조사도 병행하여 주문다완과의 차이점을 살펴보고자 하였다.

2. 분석 대상 및 방법



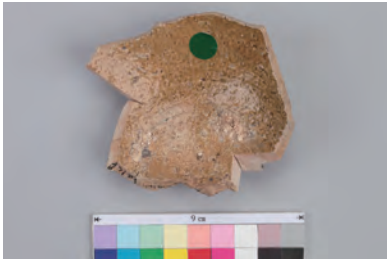

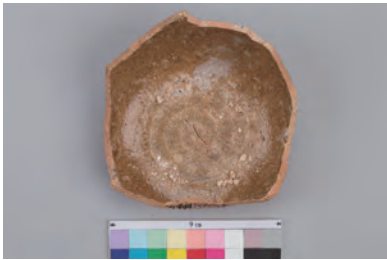
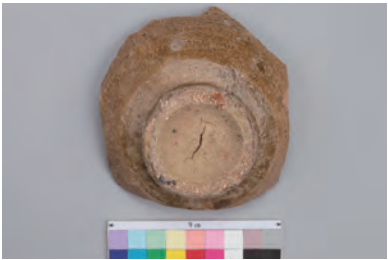
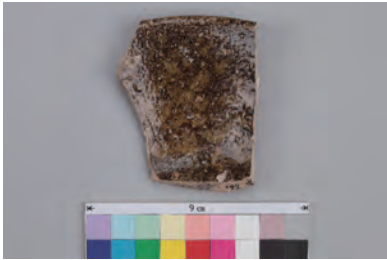
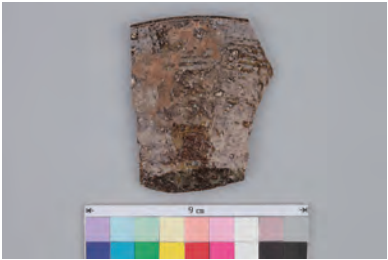


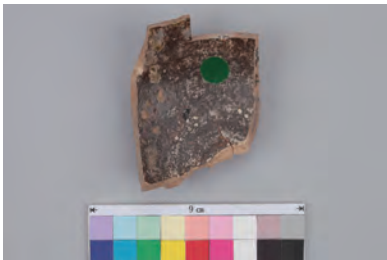
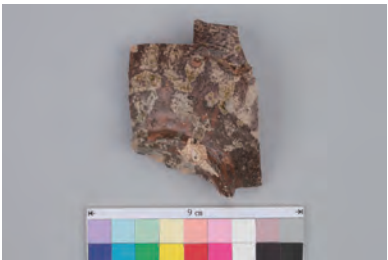
2.1. 분석 대상

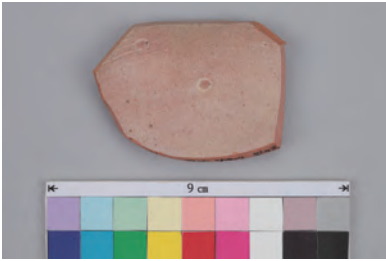

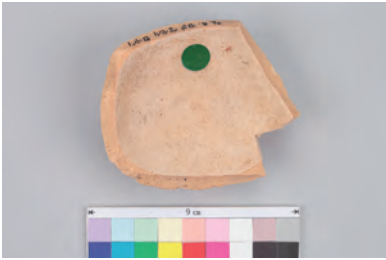
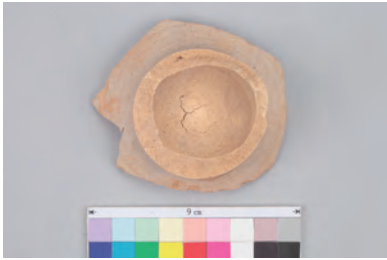

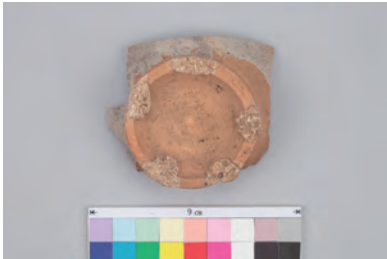
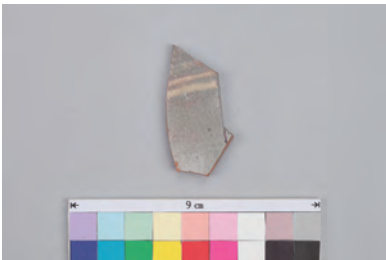



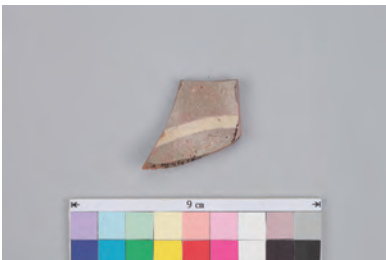
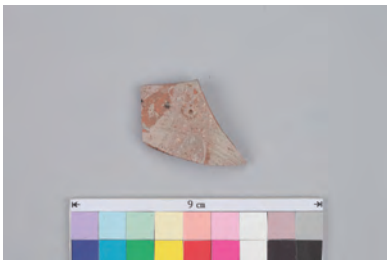
분석 대상은 양산 범기리 가마터에서 수습한 조선시대 자기편 총 22점으로, 주문다완이 13점, 조선백자편이 6점, 흑유자편이 3점이다(표1). 그 중 주문다완 13점은 다시 3종류로 나뉘는데, 이라보다완이 6점, 고키다완이 3점, 그릇 내부를 백토로 장식한 다완(内刷毛目)이 4점이다.


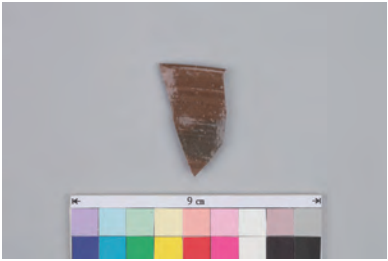
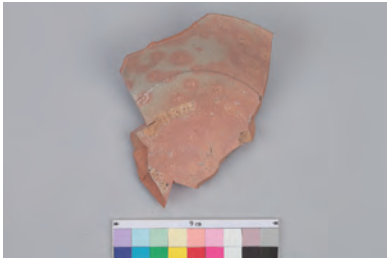

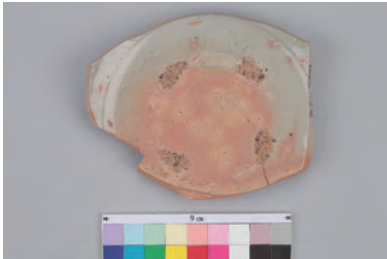
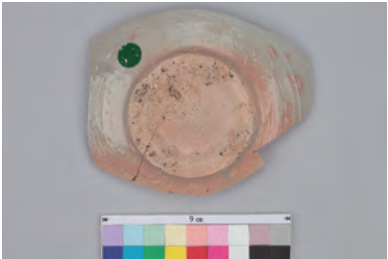
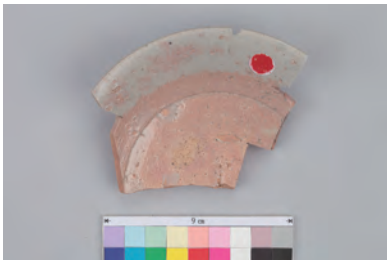
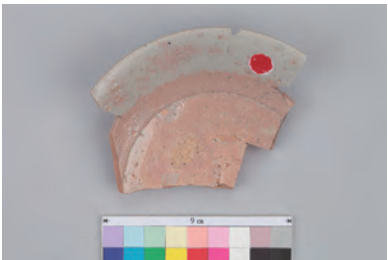
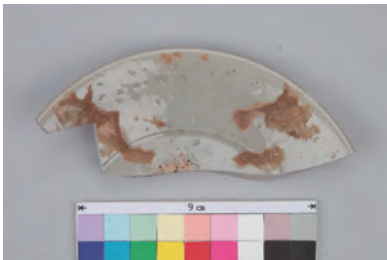

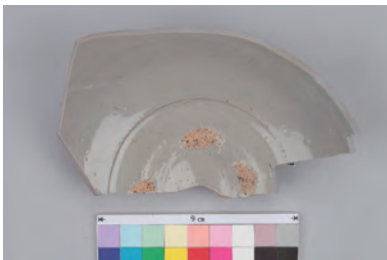
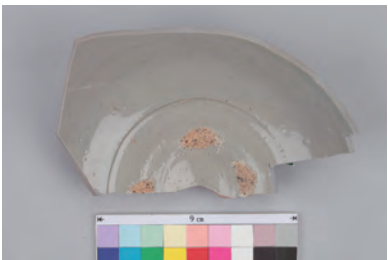
분석은 분석 대상인 자기편 일부에서 시료를 채취하여 분석용 시료를 제작한 뒤 실시하였다.

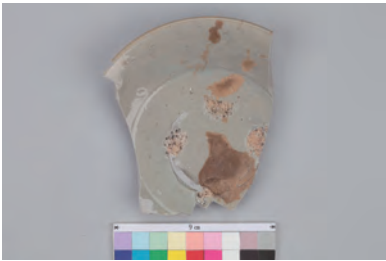
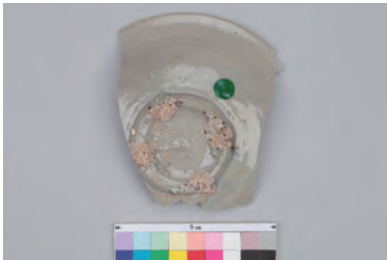


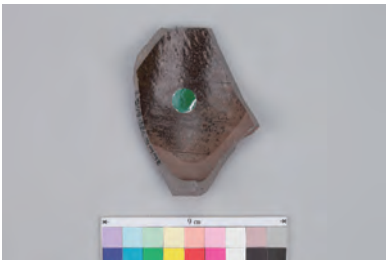



1. 조사된 주문다완과 조선백자 등에 관한 내용은 본 보고서의 고찰「경상남도 동부지역 가마터 조사 자기편의 양상과 의의」 참조

표1. 분석 대상

연번	종류	사진	
1	伊羅保茶碗片		
2			
3			
4			
5			
6			

연번	종류	사진	
7	吳器茶碗片		
8			
9			
10	内刷毛目茶碗片		
11			
12			

연번	종류	사진	
13	内刷毛目茶碗片		
14	朝鮮白磁片		
15			
16			
17			
18			

연번	종류	사진	
19	朝鮮白磁片		
20	黑釉磁片		
21			
22			
계	22점		

2.2. 분석 방법

2.2.1. 태토 분석

분석을 위해 채취한 시료는 연마기를 사용하여 자기편의 유약층을 제거한 뒤, 100℃에서 충분히 말려 습기를 제거하였다. 유약층을 제거한 태토는 자동분쇄기에 넣어 200mesh 이하의 가루로 만든 뒤, 셀룰로오스 분말 위에 올려 압착하여 고정시켰다. 이렇게 제작한 원형의 분석용 시료는 주사전자현미경(SEM) 부착 엑스선 형광분석기(XRF)를 이용하여 표2의 조건에서 분석하였다. 자기편의 태토에 함유되어 있는 각 성분 원소를 정량 분석하기 위하여 미국 USGS에서 제조한 AGV-2와 RGM-1 표준 시료를 사용하여(표3) 각 원소별 검량곡선(Calibration Curve)을 작성한 다음, 100%로 표준화(normalization)하였다.

표2. 법기리 가마터 수습 자기편의 태토 분석 조건

분석 기기	분석 기기명	분석 조건			
주사전자현미경 (SEM) 부착 엑스선 형광분석기 (XRF)	FE-SEM: Crossbeam550, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Germany XRF: XTrace, Bruker Nano GmbH, Germany	전압	모드	시간	Beam Size
		20kV	SE	500초	40 μ m

표3. 태토의 정량 분석에 사용한 표준 시료의 성분 조성

연번	제조사	명칭	검출 원소(wt%)									
			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
1	USGS	AGV-2	4.19	1.79	16.91	59.30	0.48	2.88	5.20	1.05	—	6.69
2		RGM-1	4.07	0.28	13.70	73.40	—	4.30	1.15	0.27	0.04	1.77

2.2.2. 유약층 분석

유약층 분석을 위해 채취한 시료는 예폭시 수지에 정착시킨 후, 단면을 연마한 뒤 주사전자현미경(SEM) 부착 엑스선 형광분석기(XRF)를 이용하여 표2의 조건에서 분석하였다. 유약층에 함유되어 있는 각 성분 원소를 정량 분석하기 위하여 미국 NIST사에서 제조한 1411, 1831, 620과 벨기에 JRC에서 제조한 126A, R6, 미국 Charles M. Taylor Minerals Group에서 제조한 Sphenel, Albite, Chromite를 사용하여(표4) 각 원소별 검량곡선(Calibration Curve)을 작성한 다음, 100%로 표준화(normalization)하였다.

표4. 유약층의 정량 분석에 사용한 표준 시료의 성분 조성

연번	제조사	명칭	검출 원소(wt%)													
			SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	BaO	ZnO	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	PbO	Cr ₂ O ₃	MnO
1	NIST	1411	58.04	10.14	5.68	5.00	3.85	2.97	2.18	0.33	0.05	—	0.02	—	—	—
2		1831	73.08	13.32	1.21	—	—	0.33	8.20	3.51	0.09	0.03	0.02	—	—	—
3		620	72.08	14.39	1.80	—	—	0.41	7.11	3.69	0.04	—	0.02	—	—	—
4	JRC	126A	57.80	3.57	0.13	1.05	1.01	9.99	1.03	0.51	0.01	—	—	23.98	—	—
5		R6	73.05	14.65	1.70	—	—	<0.1	9.97	<0.1	0.03	—	0.02	—	—	—
6	C.M. Taylor Minerals Group	Sphenel	30.83	—	1.36	—	—	—	28.82	—	0.73	0.65	37.80	—	—	0.05
7		Albite	68.14	11.46	19.77	—	—	0.23	0.38	—	0.01	—	—	—	—	—
8		Chromite	0.03	—	23.91	—	0.01	—	—	17.26	—	12.72	—	—	45.65	0.13

2.2.3. 통계학적 분석

태토와 유약층의 성분 분석 결과는 제계르식 계산과 다변량 통계분석(Multivariate analysis)으로 도편별 유사점 및 차이점을 확인하였다. 제계르식은 산소와의 결합 형태에 따라 R₂O+RO(Na₂O, K₂O, MgO, CaO, MnO), R₂O₃(Al₂O₃, Fe₂O₃), RO₂(SiO₂, TiO₂, P₂O₅)의 세 가지 산화물의 몰(mole)비를 비교하는 방법으로, 원료의 일반적인 특성을 파악하는 데 유용한 방법이다. 태토의 경우, R₂O₃ 몰의 합을 1로 하였을 때 R₂O₃에 대한 RO₂와 R₂O+RO의 몰비를 계산하여 표시한다. 유약은 R₂O+RO 몰의 합을 1로 하고 이에 대한 RO₂와 R₂O₃의 몰비로 표시한다.

다변량 통계분석법은 변수들 간 상호관계성 등을 토대로 분석 대상의 상대적 특

정을 해석하는 데 유용한 방법이다. 다변량 통계분석법의 하나인 주성분분석(PCA: Principle Component Analysis)은 많은 변수값들의 상호관련성을 고려하여 각 변수들을 선형결합한 소수의 주성분으로 집약하는 방법으로, 가장 많은 변수들이 묶이는 것을 주성분 1, 그 다음으로 큰 것을 주성분 2의 순으로 나타낸다.

3. 분석 결과

3.1. 胎土 成分

총 22점의 자기편의 태토에 대하여 주사전자현미경(SEM) 부착 엑스선 형광분석기(XRF)로 성분 분석을 실시하였다. 분석값은 시료당 4~5군데를 측정한 평균값으로 표시하였다.

1) 注文茶碗片

● 伊羅保茶碗片

이라보다완편의 태토 성분 조성값은 표5에 나타내었다. 이라보다완편 6점 중 5점(시료번호 4 제외)은 유사한 태토 성분 조성을 보였다. 5점의 이라보다완편 태토의 성분별 평균 함유량은 SiO₂ 64.93wt%, Al₂O₃ 28.05wt%, K₂O 1.98wt%, CaO 0.24wt%, Na₂O 1.27wt%, MgO 0.36wt%, TiO₂ 0.85wt%, MnO 0.04wt%, Fe₂O₃ 2.28wt%, P₂O₅ 0.01wt%이다. 1점(시료번호 4)은 다른 이라보다완편과 비교했을 때, SiO₂의 함유량이 약 69wt%이상으로 높고, Al₂O₃의 함유량이 약 22wt%로 낮은 특징을 보였다.

표5. 伊羅保茶碗片의 태토 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Segger formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	RO+R2O
1	伊羅保	1.37	0.27	29.18	64.21	0.01	1.79	0.17	0.86	0.07	2.08	3.61	0.17
2		1.18	0.43	26.51	66.63	0.01	2.14	0.20	0.87	0.03	1.99	4.11	0.21
3		1.24	0.36	28.39	64.43	0.01	2.04	0.25	0.77	0.03	2.48	3.68	0.19
4		1.03	0.27	22.67	69.62	0.01	3.07	0.47	0.70	0.04	2.12	4.96	0.28
5		1.24	0.47	28.41	64.26	0.01	1.96	0.30	0.91	0.03	2.42	3.68	0.20
6		1.32	0.26	27.78	65.12	0.01	1.96	0.26	0.84	0.03	2.42	3.81	0.19
평균(시료번호 4 제외)		1.27	0.36	28.05	64.93	0.01	1.98	0.24	0.85	0.04	2.28	3.78	0.19

● 吳器茶碗片

고키다완편의 태토 성분 조성값은 표6에 나타내었다. 고키다완편 태토의 성분별 평균 함유량은 SiO₂ 70.62wt%, Al₂O₃ 22.22wt%, K₂O 3.03wt%, CaO 0.19wt%, Na₂O 0.58wt%, MgO 0.31wt%, TiO₂ 0.66wt%, MnO 0.04wt%, Fe₂O₃ 2.35wt%, P₂O₅ 0.01wt%으로 고키다완편의 태토 성분은 이라보다완편 1점(시료번호 4)과 높은 유사성을 보였다.

표6. 吳器茶碗片의 태토 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Sege formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	RO+R2O
7	吳器	0.87	0.22	22.04	70.78	0.01	3.27	0.18	0.61	0.03	2.00	5.18	0.25
8		0.41	0.27	24.28	69.07	0.01	2.86	0.18	0.69	0.02	2.20	4.60	0.19
9		0.45	0.45	20.33	72.01	0.01	2.95	0.21	0.68	0.06	2.85	5.56	0.25
평균		0.58	0.31	22.22	70.62	0.01	3.03	0.19	0.66	0.04	2.35	5.11	0.23

● 内刷毛目茶碗片

그릇 내부에 백토분장된 다완편의 태토 성분 조성값은 표7에 나타내었다. 성분별 평균 함유량은 SiO₂ 69.73wt%, Al₂O₃ 22.21wt%, K₂O 3.15wt%, CaO 0.19wt%, Na₂O 0.65wt%, MgO 0.41wt%, TiO₂ 0.69wt%, MnO 0.04wt%, Fe₂O₃ 2.93wt%, P₂O₅ 0.01wt%이며 도편별 유사한 성분 조성을 보였다.

표7. 内刷毛目茶碗片의 태토 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Sege formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	RO+R2O
10	内刷毛目	0.47	0.42	21.73	70.39	0.01	3.06	0.17	0.67	0.04	3.04	5.08	0.23
11		0.88	0.34	22.56	69.68	0.01	3.31	0.22	0.71	0.04	2.25	4.97	0.26
12		0.68	0.46	20.59	70.52	0.01	3.27	0.19	0.68	0.04	3.56	5.27	0.27
13		0.55	0.43	23.94	68.32	0.01	2.95	0.18	0.71	0.04	2.87	4.53	0.22
평균		0.65	0.41	22.21	69.73	0.01	3.15	0.19	0.69	0.04	2.93	4.96	0.25

2) 朝鮮白磁片

조선백자편의 태토 성분 조성값은 표8에 나타내었다. 태토의 성분별 평균 함유량은 SiO₂ 69.42wt%, Al₂O₃ 23.06wt%, K₂O 3.28wt%, CaO 0.30wt%, Na₂O 0.95wt%, MgO 0.27wt%, TiO₂ 0.64wt%, MnO 0.04wt%, Fe₂O₃ 2.03wt%, P₂O₅ 0.01wt%이며 도편별 유사한 성분 조성을 보였다.

표8. 朝鮮白磁片의 태토 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Sege formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	RO+R2O
14	朝鮮白磁	0.91	0.18	22.11	69.92	0.01	3.93	0.20	0.60	0.04	2.10	5.09	0.28
15		0.76	0.20	22.73	69.52	0.01	4.24	0.25	0.49	0.05	1.76	4.97	0.29
16		0.98	0.34	22.01	70.34	0.01	3.57	0.21	0.59	0.04	1.91	5.17	0.29
17		1.29	0.32	24.74	68.34	0.01	2.10	0.31	0.74	0.03	2.13	4.48	0.22
18		0.90	0.38	24.41	68.10	0.01	2.81	0.37	0.74	0.03	2.24	4.51	0.24
19		0.85	0.22	22.36	70.32	0.01	3.03	0.45	0.69	0.04	2.03	5.08	0.26
평균		0.95	0.27	23.06	69.42	0.01	3.28	0.30	0.64	0.04	2.03	4.88	0.26

3) 黑釉磁片

흑유자편의 태토 성분 조성값은 표9에 나타내었다. 흑유자편 3점 중 2점(시료번호 20, 22)은 유사한 성분 조성을 보였다. 2점의 태토의 성분별 평균 함유량은 SiO₂ 68.66wt%, Al₂O₃ 22.83wt%, K₂O 3.21wt%, CaO 0.31wt%, Na₂O 0.71wt%, MgO 0.40wt%, TiO₂ 0.79wt%, MnO 0.05wt%, Fe₂O₃ 3.07wt%, P₂O₅ 0.01wt%이다. 1점(시료번호 21)은 다른 흑유자편과 비교했을 때, SiO₂의 함유량이 약 64wt%으로 낮고, Fe₂O₃의 함유량이 약 5wt%로 높은 특징을 보였다.

표9. 黑釉磁片의 태토 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Segger formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	RO+R2O
20	黑釉磁	0.72	0.42	23.35	68.21	0.01	3.12	0.25	0.81	0.04	3.07	4.61	0.24
21		0.66	0.60	24.33	64.70	0.01	3.38	0.25	0.98	0.09	5.02	4.03	0.25
22		0.69	0.37	22.30	69.11	0.01	3.29	0.36	0.76	0.05	3.07	4.87	0.26
평균(시료번호 21 제외)		0.71	0.40	22.83	68.66	0.01	3.21	0.31	0.79	0.05	3.07	4.74	0.25

3.2. 釉藥層 成分

총 22점의 도편 중 유약층이 확인되지 않은 1점(시료번호 8)을 제외한 21점의 자기편의 유약층에 대하여 주사전자현미경(SEM) 부착 엑스선 형광분석기(XRF)로 성분 분석을 실시하였다. 분석값은 시료당 4~7군데를 측정한 평균값으로 표시하였다.

1) 注文茶碗片

● 伊羅保茶碗片

이라보다완편 6점의 성분 조성값은 표10에 나타내었다. 유약층의 평균 함유량은 SiO₂ 49.69wt%, Al₂O₃ 14.55wt%, K₂O 3.49wt%, CaO 13.66wt%, Na₂O 0.99wt%, MgO 2.54wt%, TiO₂ 1.48wt%, MnO 1.43wt%, Fe₂O₃ 11.82wt%, P₂O₅ 0.36wt%이며 태토에 비해 자기편마다 함유량 차이가 큰 편이다. 특히 1점(시료번호 3)은 용제인 CaO, MgO가 다른 자기편에 비해 높은 값을 나타내는 특징을 보였다.

표10. 伊羅保茶碗片의 유약층 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Segger formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	R02	R2O3
1	伊羅保	1.13	2.08	15.87	49.27	0.28	3.27	14.87	1.53	1.29	10.41	2.17	0.57
2		0.99	2.76	13.57	50.52	0.49	3.70	13.49	1.33	1.59	11.55	2.23	0.53
3		0.67	4.08	11.54	48.36	0.59	3.55	17.55	1.27	1.69	10.71	1.70	0.37
4		1.00	1.91	14.31	51.45	0.20	3.86	13.21	1.54	1.28	11.26	2.45	0.59
5		1.00	2.61	14.50	50.75	0.33	3.34	12.34	1.54	1.40	12.20	2.43	0.61
6		1.14	1.80	17.50	47.81	0.25	3.23	10.48	1.68	1.30	14.81	2.71	0.87
평균		0.99	2.54	14.55	49.69	0.36	3.49	13.66	1.48	1.43	11.82	2.28	0.59

● 吳器茶碗片

고키다완편은 총 3점이지만 1점(시료번호 8)에서는 유약층이 확인되지 않았다. 고키다완편 2점의 유약층의 평균 함유량(표11)은 SiO₂ 57.63wt%, Al₂O₃ 14.84wt%, K₂O 6.74wt%, CaO 11.69wt%, Na₂O 0.79wt%, MgO 1.34wt%, TiO₂ 0.50wt%, MnO 1.35wt%, Fe₂O₃ 4.94wt%, P₂O₅ 0.22wt%이다. 자기편별 함유량은 일정하지 않다. 특히, 시료번호 9는 용제인 CaO가 다른 1점의 고키다완편에 비해 높은 값을 나타내는 특징을 보였다.

표11. 吳器茶碗片의 유약층 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Sege formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	R2O3
7	吳器	1.11	0.84	16.31	58.82	0.09	7.56	9.29	0.53	0.97	4.49	3.31	0.63
9		0.46	1.83	13.37	56.44	0.34	5.91	14.08	0.46	1.73	5.39	2.42	0.42
평균		0.79	1.34	14.84	57.63	0.22	6.74	11.69	0.50	1.35	4.94	2.87	0.53

● 内刷毛目茶碗片

그릇 내부에 백토가 분장된 다완편 4점의 성분 조성값은 표12에 나타냈다. 유약층의 평균 함유량은 SiO₂ 60.55wt%, Al₂O₃ 14.32wt%, K₂O 6.19wt%, CaO 10.71wt%, Na₂O 0.77wt%, MgO 1.62wt%, TiO₂ 0.38wt%, MnO 1.31wt%, Fe₂O₃ 3.93wt%, P₂O₅ 0.23wt%이다. 4점 중 1점(시료번호 12)은 다른 3점에 비해 용제인 CaO가 낮은 특징을 보였다.

백토 분장층의 평균 함유량은 SiO₂ 60.37wt%, Al₂O₃ 22.75wt%, K₂O 6.85wt%, CaO 3.21wt%, Na₂O 1.07wt%, MgO 0.74wt%, TiO₂ 0.78wt%, MnO 0.26wt%, Fe₂O₃ 3.93wt%, P₂O₅ 0.04wt%이다. 백토 분장층은 유약층에 비해 Al₂O₃가 높고 CaO가 낮은 특징을 보였다.

표12. 内刷毛目茶碗片의 유약층 및 백토 분장층 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Sege formula	
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₃
10	유약	0.92	1.34	14.59	59.64	0.15	6.26	11.82	0.33	1.12	3.83	2.93	0.49
	분장	1.22	0.48	20.47	63.17	0.01	6.86	2.26	0.82	0.21	4.49	7.19	1.55
11	유약	0.91	1.59	14.40	60.96	0.23	5.77	11.27	0.34	1.39	3.13	3.04	0.48
	분장	1.13	0.62	20.73	62.21	0.03	6.99	3.12	0.97	0.20	3.98	6.30	1.37
12	유약	0.42	1.22	14.41	63.58	0.18	5.00	8.82	0.41	1.14	4.82	4.04	0.65
	분장	0.61	0.54	21.47	62.65	0.03	5.53	2.74	1.14	0.25	5.04	7.87	1.80
13	유약	0.84	2.34	13.88	58.00	0.34	7.73	10.92	0.42	1.60	3.92	2.62	0.43
	분장	1.31	1.32	28.31	53.46	0.09	8.02	4.73	0.18	0.37	2.20	3.90	1.27
평균(유약)		0.77	1.62	14.32	60.55	0.23	6.19	10.71	0.38	1.31	3.93	3.16	0.51
평균(분장)		1.07	0.74	22.75	60.37	0.04	6.85	3.21	0.78	0.26	3.93	6.32	1.50

2) 朝鮮白磁片

조선백자편 6점의 유약층 성분 분석 결과는 표13에 나타내었다. 유약층의 평균 함유량은 SiO₂ 62.30wt%, Al₂O₃ 13.48wt%, K₂O 5.43wt%, CaO 10.90wt%, Na₂O 0.77wt%, MgO 1.63wt%, TiO₂ 0.35wt%, MnO 1.15wt%, Fe₂O₃ 3.85wt%, P₂O₅ 0.14wt%이다.

표13. 朝鮮白磁片의 유약층 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Segger formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	R2O3
14	朝鮮白磁	0.82	1.26	14.71	60.20	0.17	6.23	11.11	0.30	0.71	4.51	3.16	0.54
15		0.67	1.58	13.36	58.39	0.19	7.05	13.30	0.33	1.05	4.08	2.59	0.42
16		0.91	0.64	12.85	65.41	0.14	6.77	6.93	0.46	1.49	4.39	4.43	0.62
17		0.65	3.76	12.29	60.18	0.14	3.25	14.12	0.35	2.26	2.99	2.39	0.33
18		0.87	1.10	14.38	64.33	0.10	4.92	9.41	0.39	0.60	3.91	3.99	0.61
19		0.72	1.44	13.30	65.30	0.11	4.34	10.55	0.24	0.80	3.23	3.72	0.51
평균		0.77	1.63	13.48	62.30	0.14	5.43	10.90	0.35	1.15	3.85	3.38	0.51

3) 黑釉磁片

흑유자편 3점의 유약층 성분 분석 결과는 표14에 나타내었다. 유약층의 평균 함유량은 SiO₂ 51.04wt%, Al₂O₃ 12.83wt%, K₂O 5.44wt%, CaO 9.58wt%, Na₂O 0.52wt%, MgO 1.94wt%, TiO₂ 1.58wt%, MnO 1.29wt%, Fe₂O₃ 15.60wt%, P₂O₅ 0.21wt%이다. 착색제인 Fe₂O₃의 함유량은 13wt% 이상으로 다른 자기편들에 비해 매우 높다. 또한 3점 중 1점(시료번호 20)은 용제인 CaO가 다른 2점의 자기편에 비해 낮은 특징을 보였다.

표14. 黑釉磁片의 유약층 성분 분석 결과

시료번호	종류	검출 원소(wt%)										Segger formula	
		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	RO2	R2O3
20	黒釉磁	0.61	1.41	13.24	56.72	0.16	6.00	5.76	1.64	0.91	13.57	4.31	0.96
21		0.45	2.44	13.06	47.30	0.20	4.90	11.23	1.47	1.49	17.47	2.37	0.70
22		0.49	1.96	12.19	49.11	0.26	5.41	11.75	1.63	1.46	15.75	2.44	0.63
평균		0.52	1.94	12.83	51.04	0.21	5.44	9.58	1.58	1.29	15.60	3.04	0.76

4. 기종별 태토 및 유약층 성분의 유사점 및 차이점

법기리 가마터 수습 자기편의 태토의 성분 조성값을 토대로 사용된 원료의 특성을 확인하기 위하여 제게르식으로 계산한 R₂O+RO, R₂O₃, RO₂ 값을 비교하였다. 또한 다변량 분석법(Multivariate analysis) 중 주성분분석법(PCA: Principle Component Analysis)을 사용하여 기종별 상호관계 및 유사성을 살펴보았다.

4.1. 胎土

태토의 성분 분석 결과를 R_2O_3 를 기준으로 RO_2 와 R_2O+RO 의 몰비를 나타낸 제계르식으로 도식화하여 그림1에 나타내었다. 그 결과 크게 3개의 그룹으로 구분되었다. I 그룹은 RO_2 값이 3.61~4.11, R_2O+RO 값이 0.17~0.21이며, 이라보다완편 6점 중 5점이 이 그룹에 속하였다. 이라보다완편 5점의 평균 SiO_2 함유량은 64.93wt%로 다른 기종보다 약간 낮고 Al_2O_3 은 28.05wt%로 높은 편이다. 용융제를 합한 함유량은 평균 3.89wt%이다.

II 그룹은 RO_2 4.51~5.56, R_2O+RO 0.19~0.29의 값을 보이며, 대부분의 도편이 여기에 속하였다. 기종별 SiO_2 의 평균 함유량은 68.66~70.72wt%, Al_2O_3 은 22.21~23.06wt%, 용융제는 4.15~4.84wt%로 유사하며 높은 SiO_2 와 낮은 Al_2O_3 의 특징을 지닌다.

III 그룹은 RO_2 값이 4.03, R_2O+RO 값이 0.25이며, 흑유자편 1점(시료번호 21)이 이 그룹에 속하였다. SiO_2 의 함유량은 64.70wt%, Al_2O_3 은 24.33wt%, 용융제는 4.98wt%으로 비교적 낮은 SiO_2 와 Al_2O_3 의 특징을 가진다.

SiO_2 와 Al_2O_3 의 함유량을 더한 값은 모든 기종에서 91~92wt%로 거의 유사하였다. 다만, 이라보다완편의 경우 Al_2O_3 의 함유량이 높고 용융제의 함유량이 낮아 다른 자기편보다 자화 온도가 높았을 것으로 추정해 볼 수 있다. III 그룹에 속하는 흑유자 1점은 SiO_2 와 Al_2O_3 의 함유량이 90wt% 이하이고 용융제의 함유량이 높은 편인 것으로 보아 비교적 낮은 온도에서도 자화가 이루어질 수 있었던 것으로 보인다. 다만, 이는 화학 성분만으로 추정한 것으로 자화 온도에 대한 고찰은 미세구조 관찰 등 보다 상세한 연구가 필요하다.

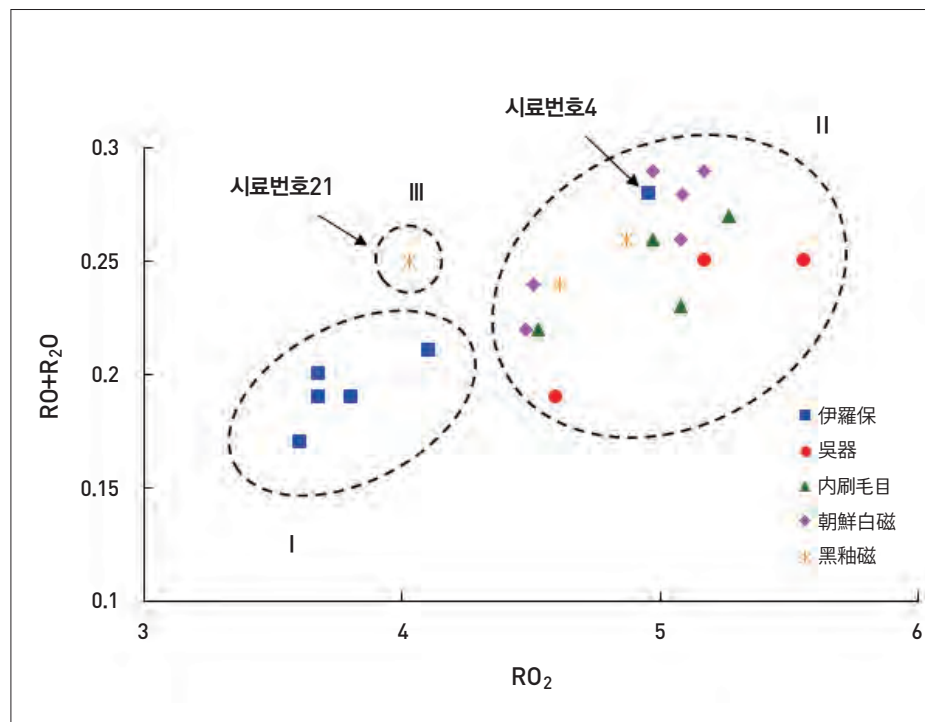
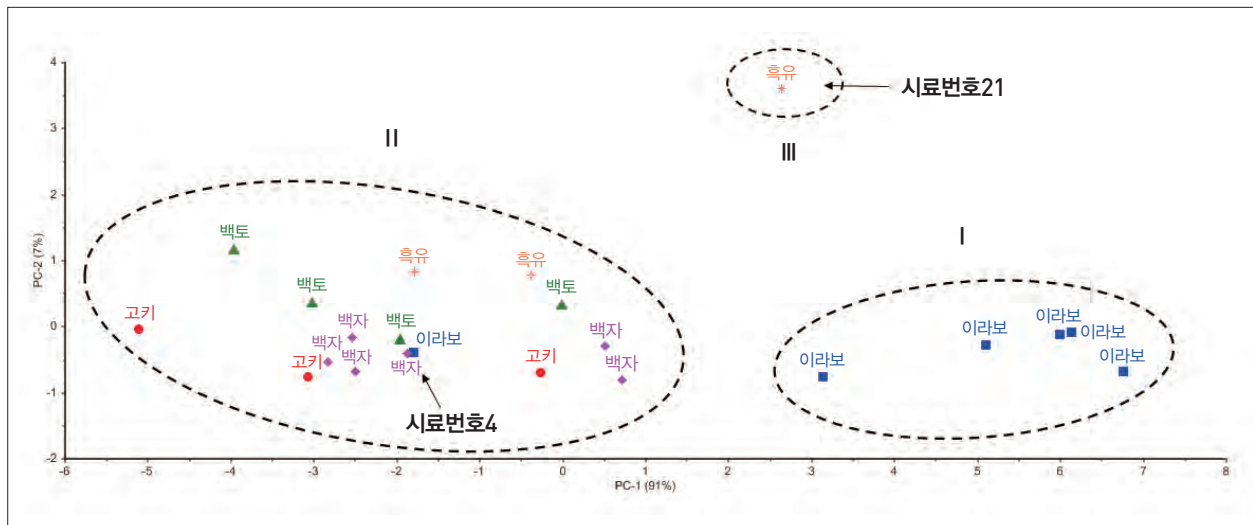


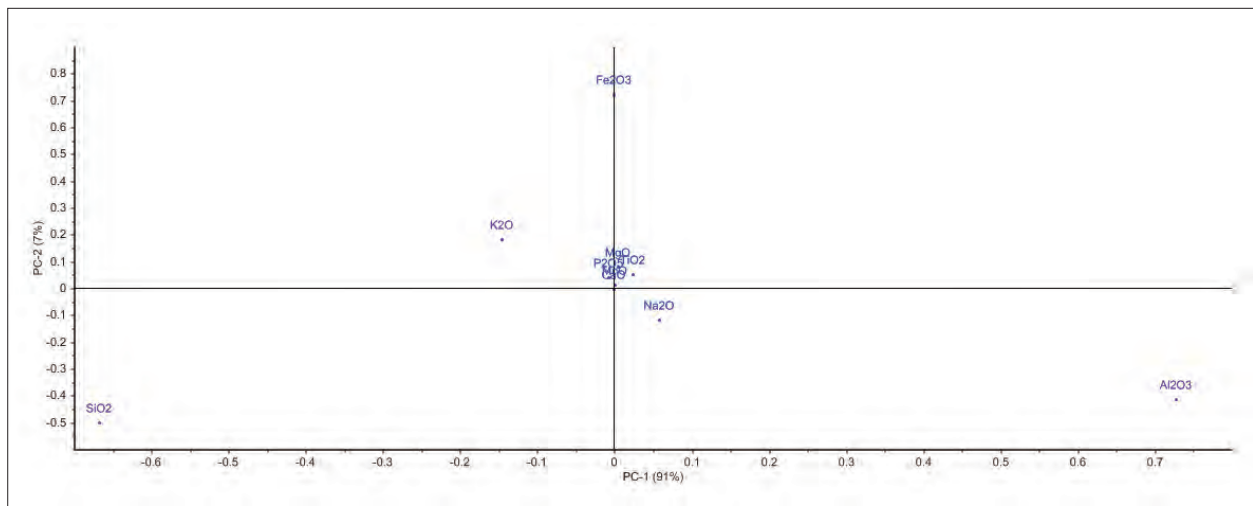
그림1. 제계르식에 의한 법기리 가마터 수습 자기편 태토의 특성 분류

기종별 태토의 상관성을 확인하기 위하여 태토의 10개 구성 성분을 변수로 주성분 분석을 실시한 결과, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 가 분류에 크게 기여하였으며 총 3개의 그룹으로 구분되었다(그림2). I그룹에는 이라보다완편 5점이 포함되었다. II그룹에는 대부분의 자기편이 속하였다. III그룹에는 흑유자편 1점(시료번호 21)이 포함되었다.

즉, 주문다완 중 이라보다완편은 태토의 성분상 차이가 명확하게 구분되었으며, 그 외 고키다완편 등은 태토 성분상의 차이를 찾아볼 수 없었다. 이는 당시 범기리 가마터에서 자기를 제작하던 장인들이 사용하던 태토의 재료 성분이나 수비 과정 등의 차이로 인한 결과로 보인다.



a. 주성분분석(PCA) 결과 그래프



b. 요인 적재값 도표

그림2. 다변량분석법에 의한 범기리 가마터 수습 자기편 태토의 주성분분석(PCA) 결과

4.2. 釉藥

유약의 성분 분석 결과를 R_2O+RO 를 기준으로 RO_2 와 R_2O_3 의 몰비로 도식화하여 그림3에 나타내었다. 유약은 크게 3개의 그룹으로 구분되었다. I그룹에는 이라보다완편과 흑유자편 2점이 포함되는데, RO_2 2.28~2.41, R_2O_3 0.59~0.67의 값을 보인다. 평균 SiO_2 함유량은 48.21~49.69wt%, Al_2O_3 은 12.63~14.55wt%이며 용융제를 합한 함유량은 평균 20.82~22.11wt%이다.

II그룹에는 고키다완편, 내면에 백토로 장식한(内刷毛目)다완편, 조선백자가 포함되며, RO_2 2.39~4.43, R_2O_3 0.33~0.65의 값을 나타낸다. SiO_2 의 평균 함유량은 57.63~62.30wt%, Al_2O_3 은 13.48~14.84wt%이며, 용융제를 합한 함유량은 평균 19.88~21.91wt%이다.

III그룹에는 흑유자 1점이 포함되며, RO_2 는 4.31, R_2O_3 는 0.96이다. SiO_2 의 평균 함유량은 56.72wt%, Al_2O_3 은 13.24wt%이며, 용융제를 합한 평균 함유량은 14.69wt%이다.

I그룹은 SiO_2 의 함유량이 다소 낮은 편이며, 용융제 성분은 높은 특징을 보인다. 이는 유약이 상대적으로 낮은 온도에서도 자화될 수 있음을 의미한다. 반면, III그룹은 SiO_2 의 함유량은 II그룹과 유사하지만 용융제 성분이 가장 낮은 특징을 보였는데, 유약이 녹기 위해서는 II그룹보다는 높은 번조 온도가 필요했을 것으로 보인다.

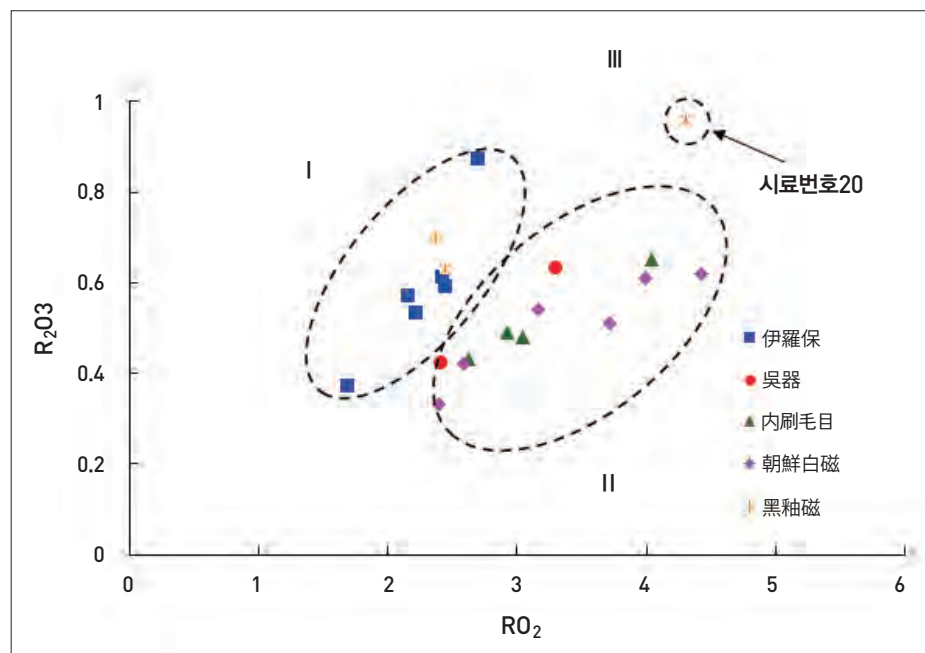


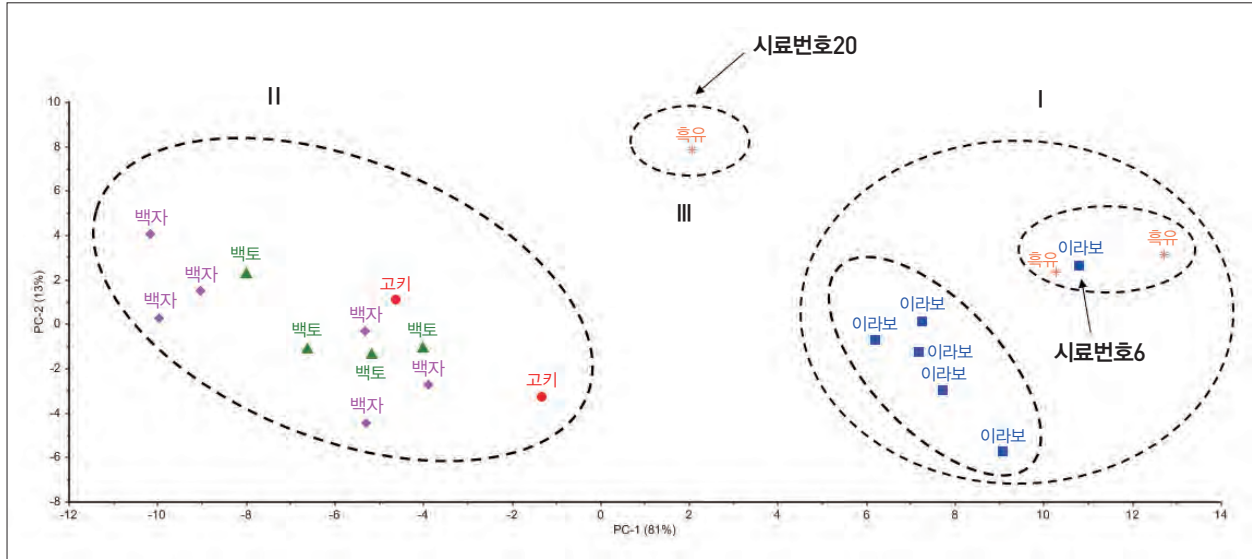
그림3. 제계르식에 의한 법기리 가마터 수습 자기편 유약의 특성 분류

유약의 10개 구성 성분을 변수로 주성분분석을 실시하여 유약의 상대적 특징 및 상관성을 확인해 본 결과, SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO 가 분류에 크게 기여하였으며 총 3개의 그룹으로 구분되었다(그림4). I그룹에는 이라보다완편과 흑유자편 2점이 포함되었는데, 전반적으로 SiO_2 가 낮고 용융제인 CaO , 유약의 발색제 역할을 하는 Fe_2O_3 가 높다. I그룹 내에서도 이라보다완 1점(시료번호 6)과 흑유자 2점은 Fe_2O_3 가 더 높은 편이다.

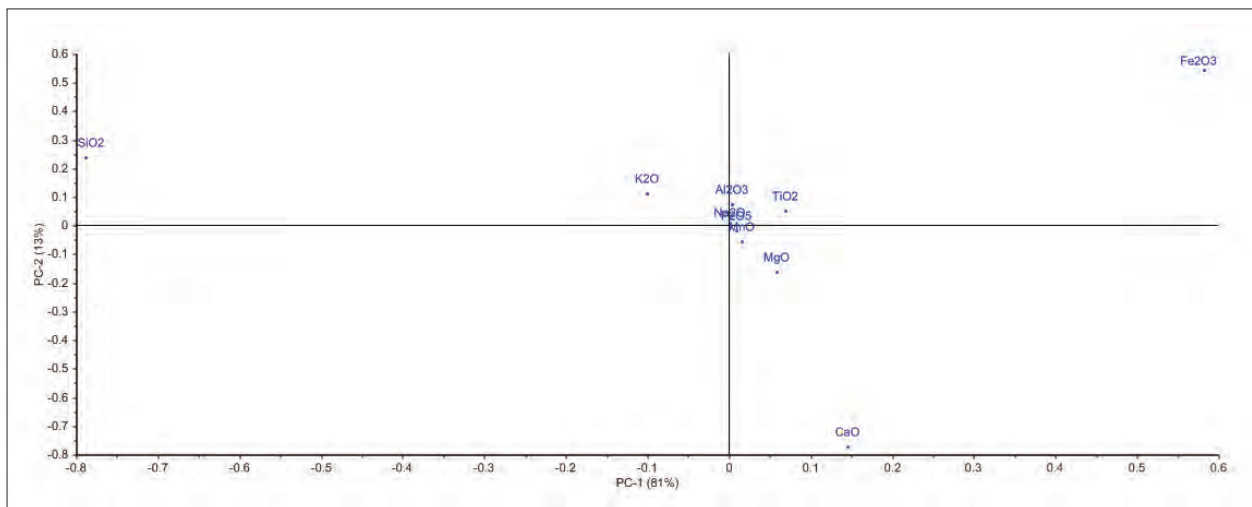
II그룹에는 고키다완편, 내면에 백토로 장식한(内刷毛目)다완편, 조선백자편이 해당하는데, SiO_2 의 함유량이 높고 Fe_2O_3 가 낮은 특징을 보였다. III그룹에는 흑유자편 1점

(시료번호 20)이 포함되었는데, SiO_2 가 다소 높고 CaO 가 가장 낮다.

주성분분석으로 유약의 상관성을 살펴본 결과, 제계르식에 의한 분류와 일치하였고, 유약의 발색에 영향을 미치는 Fe_2O_3 의 함유량에 따라 보다 세부적인 구분도 가능하였다. 즉, 이라보다완편과 흑유자편에 사용한 유약은 고키다완편, 조선백자편 등과 다른 성분을 사용한 것으로 생각된다. 특히, I 그룹에 속하는 이라보다완편과 흑유자편은 비교적 낮은 온도에서도 유약의 자화가 잘 될 수 있었을 것으로 판단된다.



a. 주성분분석(PCA) 결과 그래프



b. 요인 적재값 도표

그림4. 다변량분석법에 의한 범기리 가마터 수습 자기편 유약의 주성분분석(PCA) 결과

5. 맺음말

양산 범기리 가마터에서 조사된 자기편에 대하여 과학적 조사를 실시하고, 제작에 사용된 태토와 유약의 화학적 특성 및 상관 관계를 살펴본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

먼저, 태토는 주문다완 중 이라보다완편이 별도의 그룹을 형성하여 성분상의 차이가 명확하게 나타났다. 특히 Al_2O_3 의 함유량이 높고 용융제의 함유량이 낮아 다른 기종의 자기편보다 자화 온도가 높았을 것으로 추정된다. 그 외 고키다완편 등은 태토 성분상 특이점을 나타내지 않았다.

유약은 주문다완 중 이라보다완편과 내수용 자기 가운데 흑유자편이 동일 그룹을 형성하여 성분상 유사성이 있음을 알 수 있었다. 특히, 이라보다완편은 SiO_2 의 함유량이 낮고 용융제가 높아 비교적 낮은 온도에서도 유약이 녹을 수 있었을 것으로 생각된다. 그 외 고키다완편 등은 유약 성분상 차이점을 확인할 수 없었다.

이번 연구에서는 범기리 가마터에서 조사된 자기편 중 일부에 대하여 태토와 유약의 성분 조성을 확인하였는데, 특히 국내에서는 한 번도 연구된 적이 없는 조선시대 주문다완의 성분 조성을 확인하였다는 데에 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 추후 범기리 가마터 주문다완의 태토와 유약의 미세구조 관찰 및 미량원소 분석 등을 조사하고, 또 다른 주문다완이 확인된 부산 기장군 병산리 가마터, 부산 왜관요 등에 대해서도 과학적 조사를 실시하여 제작 기법 및 원료의 산지 등을 종합적으로 검토해 볼 필요가 있다. 이러한 종합적인 연구가 진행된다면 조선시대 주문다완의 제작과 유통 등을 밝히는 데에 중요한 자료를 제공하게 될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 보고서 및 단행본

경기도박물관, 『경기도 광주 관요 종합분석보고서』, 2008.

이복규, 『도자 원료』, 미진사, 1991.

Nigel Wood, 『Chinese Glazes—Their Origins, Chemistry and Re-creation』, A&C Black, London · University of Pennsylvania Press, 1999.

2. 논문

고민정·김지태·고경신·김규호, 「경남 두동리가마터 출토 경질과 연질백자에 대한 물성 및 원료 분석」, 『보존과학회지』 18, 한국문화재보존과학회, 2006.

김규호·고민정·송유나·이영은·고경신, 「진해시 웅천도요지 출토 도자기의 과학기술적 분석 연구」, 『진해 웅천도요지 II』, 경남발전연구원 역사문화센터, 2004.

유봉민·전유리·김규호, 「청양 마치리 유적 출토 백자의 특성 분석」, 『청양 마치리·대북리 가마터』, 금강문화유산연구원, 2011.

유혜선, 「학봉리 분청사기에 사용된 안료 및 백토 성분 분석」, 『계룡산 도자기』, 국립중앙박물관, 2007.

이영은, 「조선분청의 성분 및 미세구조연구」, 중앙대학교 대학원 화학과 박사학위논문, 1998.

이영은·고경신, 「광주 충효동 분청과 백자의 과학기술적 연구(Ⅰ), 성분분석을 중심으로」, 『대한화학회지』 42, 대한화학회, 1998.

이영은·김규호·고경신, 「한국 자기 발생기의 청자와 백자에 대한 과학기술적 연구: 용인 서리, 시흥 방산동, 여주 중앙리 요지를 중심으로」, 『한국과학사학회지』 27, 한국과학사학회, 2005.

이태진·고민정·임수경·윤은영·황현성, 「유천리 고려백자의 조성 및 미세구조를 통한 과학적 연구」, 『보존과학회지』 30, 한국문화재보존과학회, 2014.

片山まび, 「임진왜란 이후 일본 주문 茶碗에 대한 고찰: 吳器茶碗을 중심으로」, 『미술사연구』 24, 미술사연구회, 2010.

황현성, 「공주 학봉리 도자의 성분 분석을 통한 제작 기법 고찰」, 『계룡산 도자기』, 국립중앙박물관, 2007.

경상남도 동부지역 가마터 지표조사 보고서

慶尙南道 東部地域 陶窯址 地表調査 報告書

발행일	2018. 12. 21.
발행처	국립중앙박물관 서울시 용산구 서빙고로 137 www.museum.go.kr

©2018 국립중앙박물관
이 책의 저작권은 국립중앙박물관이 소유하고 있습니다.
이 책의 내용은 국립중앙박물관의 허가를 받아 사용할 수 있습니다.

ISBN 978-89-8164-187-0
비매품



국립중앙박물관
National Museum of Korea