

경남 두동리가마터 출토 경질과 연질백자에 대한 물성 및 원료 분석

고민정 | 김지태* | 고영신** | 김규호¹

공주대학교 문화재보존과학과

* 경남발전연구원 역사문화센터

** 중앙대학교 과학학과

The Analysis of Physical Characteristics and Raw Materials on Hard and Soft Whiteware at Excavated Kiln in Dudong-ri Gyeongsangnam-do, Korea.

Koh Min-jeong | Kim Ji-tae * | Koh Kyong-shin** | Kim Gyu-ho¹

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

* Center of History and Culture Kyongnam Development Institute, Masan 631-210, Korea

** Department of Chemistry, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

¹Corresponding Author : kimgh@kongju.ac.kr

초록 경상남도 진해시 두동리가마터 출토 백자를 중심으로 물리 화학적 분석, 미세구조관찰을 실시하여 경질과 연질백자의 특성을 과학적으로 고찰해보았다. 물리적 특성은 연질백자가 높은 흡수율과 기공률을 갖는 것을 확인하였다. 화학적 조성은 태도와 유약의 지역적 특성은 나타났으나 경질과 연질의 구분은 확인되지 않았다. 미세구조는 물리적 특성으로 확인되는 경질과 연질의 차이를 가지적으로 확인할 수 있다. 경질백자는 기공의 형태가 둥글고 유리질화된 장석과 같은 광물이 관찰되나 연질백자는 기공도 부정형으로 분포정도가 매우 크며, 유리질화된 입자를 확인할 수 없다.

이와같은 분석 결과에서 두동리의 경질과 연질백자는 화학적 조성 및 번조조건에 따라 나타나는 차이보다는 물리적 특성이 크게 좌우하는 것으로 확인된다. 그러나 물리적 특성에 따른 사용 원료는 제작된 지역에 따라 가마별로 차이를 보일 수 있으므로 다양한 비교 연구가 필요하다.

중심어 : 두동리가마터, 경질 및 연질백자, 색도, 비중, 화학조성, 미세구조

ABSTRACT This study tries to find out the properties of soft and hard white wares of white wares from Dudong-ri in a scientific way, especially by means of physical chemical analysis, microstructural observation.

As a result, In the physical analysis, soft white wares are found to have higher absorption and porosity. In the composition analysis, the chemical property, of body and glaze, shows that the composition of them varies with excavation areas. However, no clear difference is identified between the soft and hard white wares which are from the same kiln. The microstructural observation visibly shows the difference of hard and soft white wares which is verified in the physical property. Minerals with round pores and vitrified feldspar are observed in the body of hard white wares, but no vitrified particles but widely distributed pores with long and sharp irregular shapes are found in the body of soft white wares.

In conclusion, the hard and soft white wares from Dudong-ri kiln are mainly influenced by physical property and microstructural rather than chemical composition and firing atmospheres. However, more and various comparative studies are needed since the resources with various physical properties vary among kilns of each production area.

Key word : dudong-ri kiln, hard and soft whiteware, chromaticity, bulk specific, chemical composition, microstructure

I. 서론

고려시대부터 꾸준히 제작되어 온 백자는 15세기 후반 이후 경기도 광주(廣州)일대에 백자를 생산하는 관요(官窯)가 국가에 의해 운영되면서 그 생산이 본격화되었다. 이러한 분원의 백자 위주의 자기 제작기술은 지방으로 전해져 분청사기 가마터에서도 백자를 제작하게 되었다. 그러나 진해 두동리 가마터는 분원성립이전에 이미 분청과 함께 백자를 생산했던 지방 가마로² 여기서 생산된 백자는 경질과 연질로 구분되는 특징을 갖고 있다. 현재 도자사에서 말하는 연질백자는 고려백자의 영향을 받은 것으로 元末明初백자의 영향을 받은 경질백자와는 색상이나 유리질화된 면에서 차이를 보이는 것으로 언급되고 있다. 실제 연질백자의 색상은 회색이나 흰색이 아닌 황백색 또는 유백색이고 유리질화가 이루어지지 않아 태토가 석고질이다.

따라서 본 연구는 다른 특징을 갖는 경질과 연질백자를 대상으로 가시적, 물리적, 화학적분석 및 실험을 통하여 물리적 특성과 원료상의 유사성 및 차별성을 파악하고 이를 도자기의 미세구조와 연관지어 상호 연관성을 확인하고자 하였다. 이와 함께 분석 결과를 종합적으로 검토하여 경질과 연질백자에 대한 체계적이고 객관적인 자료를 제시함과 동시에 다른 지역에 비해 연구 성과가 적은 경상도 지역의 도자기에 대한 과학적 분석 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구대상

1. 경남 진해시 두동리 가마터

경남 진해시 웅동면 두동리 가마터는 2001년 4월부터

Table 1. Characteristics of hard and soft whiteware sherds

SampleNumber	Type	Body ^(a)				Glaze ^(b)			Remark
		Color	Texture	W-Particle	B-Particle	Color	Transparence	Crack	
hard whiteware type I									
uch-24	대접	WH	F	X	X	WH-BL	TL	X	
uch-25	-	GY	MF	○	○	GN-GY	TL	○	덜번조
uch-26	-	GY	MC	○	○	GN-GY	TL	○	덜번조
uch-27	-	WH-GY	F	○	○	BL-WH	TL	○	
uch-28	-	WH-GY	F	○	○	BL-WH	TL	○	최상품
uch-29	-	GY	F	○	○	GY-BL	TL	○	최상품
hard whiteware type II									
uch-35	접시	GY	MC	○	○	BE-GY	TR	○	
uch-36	대접	WH-BE	MC	X	○	BE-GY	TR	○	연질백자 로분류
uch-37	대접	GY	MC	○	○	GY	TL	○	
soft whiteware									
uch-30	대접	BE-GY	MF	○	○	GY-BE	TR	○	
uch-31	대접	WH-BE	MC	○	○	WH-BE	TL	○	소성부족
uch-32	대접	WH-BE	MC	○	○	WH-BE	TR	○	
uch-33	대접	WH-BE	MC	X	○	BE	TR	○	불완전소성
uch-34	대접	WH-BE	MC	X	○	BE	TR	○	불완전소성
uch-39	대접	YE-BE	MC	X	X	WH-BE	TR	○	
uch-40	접시	BE	MC	○	○	BE	OP	○	
uch-41	대접	WH-BE	MC	○	○	BE-GY	OP	○	
uch-42	대접	WH-BE	MC	X	○	BE-GY	OP	○	

a) Color: GY-Gray, YE- Yellow, WH-White, BE-Beige, BN-Brown
 Texture: F-Fine, MF-Medium Fine, MC-Medium Coarse
 Particle: W- White, B-Black, ○-Much, △-Little, X-No detection

b) Color: L-Light, GN-Green, BL-Blue, GY-Gray, BE-Beige, BN-Brown
 Transparence: TR-Transparent, TL-Translucent, OP-Opaque
 Cracked state: ○-Detection. X-No Detection

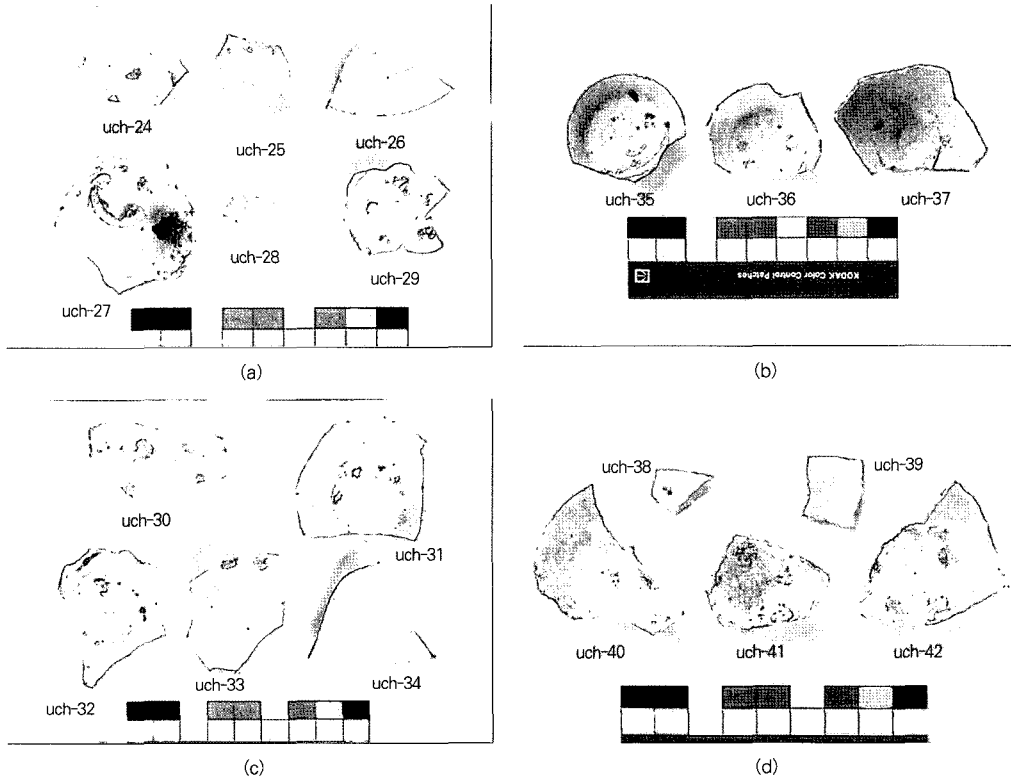


Figure 1. Pictures of sherds analyzed in this study: (a), (b): Hard whiteware type II²⁾, (c), (d): Soft whiteware³⁾.

터 3개월간 시굴 조사한 후 2002년 7월부터 11월까지 경남문화재연구원 역사문화센터에 의해 발굴되었으며, 운영시기는 1450년대 이후부터 1500년을 전후한시기로 보고 있다²⁾. 총 6기의 가마와 퇴적층을 확인하였고 퇴적층은 심하게 교란되었으며 지형상 경사가 급한 것이 이 지역 가마의 특징이다. 축조 재료의 독특한 특징은 가마의 연소부에 활석을 여러 겹 쌓아 그 사이를 점토로 매우고 벽면에도 점토를 바른 것이다³⁾.

출토유물은 대부분이 분청사기이며 그 외에 조질 회청사기, 백자, 흑유 등이 함께 출토되었다. 출토된 백자는 분청사기에 비하여 양이 상당히 적으며 태토의 질에 따라서 경질과 연질백자로 나뉘고, 출토양은 경질보다 연질백자가 더 많은 수를 차지한다.

2. 선정 도편의 가시적 특징

시편의 선정기준은 출토된 백자 가운데 대표성을 나타내는 편으로 태토와 유약의 색상, 치밀도, 입자의 크기 등을 확인하여 크게 경질과 연질백자로 분류하였다. 또한 경질백자 중에서도 태토의 입자상태에 따라 태토색이 균일하고, 입자가 미세하여 치밀해 보이는 도편을 I형, 태토색이 불균일하고, 입자가 크고 다양하여 수비를 덜한 것처럼 보이는 도편을 II형으로 분류하였다.¹⁾

이렇게 분류된 시편은 경질백자 8편(I형: 6편, II형: 2편), 연질백자 10편으로 총 18점이다(Figure 1). 경질백자는 전체 유물 중에 극소량이며 I형의 태토색상은 밝은 회백색으로 대부분 치밀하고 흰입자와 검은입자가

1) I형과 II형의 분류가 일반적으로 양질과 조질의 분류로 볼 수 있다. 각 보고서에서는 I형을 양질로 II형을 조질로 표기하였으나 현재 도자사에서 연질 백자 자체를 조질로 보고 있고 양질과 조질의 판단이 다소 주관적일 수 있으므로 본 논문에서는 I, II형으로 표기하기로 한다.

2) uch-36은 도편 선정 후 연질백자로 재분류하였다.

3) uch-38은 분석시편에서 제외하였다.

소광 관찰된다. 유색은 반투명의 맑은 푸른색을 띤다.

Ⅱ형은 Ⅰ형보다 태토의 색이 어두우며 상대적으로 태토의 입자 크기가 크므로 수비과정에서 차이가 있을 것으로 추정된다. 유색은 황색빛을 띠고 빙렬이 있다. 경질백자 중 uch-24는 태토의 색이 가장 희며 흰입자 검은입자가 전혀 보이지 않고 매우 치밀하다. 유색 또한 맑아 다른 경질백자와 구분된다. 연질백자의 태토와 유약의 색은 대부분 황백색으로 경질백자와 차이를 보인다. 도편에 따라 희거나 검은 입자가 포함되어있는 편과 그렇지 않은 편이 있고, 입자는 미세하지만 경질처럼 유리질화(vitrification)가 잘 되지 않아 치밀해 보이지 않는다.

III. 연구방법

1. 물리적 특성 측정

1-1. 색도 및 반사도 측정

색도 분석은 분광측색계(Minolta, CM-2600d)를 이용하여 표준 광원 D65, 시야각 10°의 조건으로 분석면적은 3 mm로 하여 측정하였다.

L^* (명도) = 0~100으로 표시

a^* (채도) = -60 ~ +60으로 표시 (+)방향 적색(red), (-)방향 녹색

b^* (채도) = (+)방향 황색(yellow), (-)방향 청색(blue)

1-2. 비중 및 흡수율, 기공률 측정

태토의 비중, 흡수율 및 기공률은 비중측정기(GX-13)와 디지털저울(GX-200)을 이용하여 측정한 후 다음의 식에 대입하여 계산하였다.

$$\text{겉보기비중} = W1/(W1-W2) \quad (1)$$

$$\text{부피비중} = W1/(W3-W2) \quad (2)$$

$$\text{흡수율}(\%) = (W3-W1)/W1 \times 100 \quad (3)$$

$$\text{겉보기기공률}(\%) = (W3-W1)/(W3-W2) \times 100 \quad (4)$$

(W1 : 공기 중에서 건조 시료의 무게, W2 : 물속에서의 포수시료 무게,

W3 : 공기 중에서 서의 포수시료 무게)

2. 화학분석

2-1. 태토의 주성분분석

태토의 조성은 X-선 형광분석기(XRF, X-ray Fluorescence Sequential Spectrometer, Model: Philips Inc. PW2404, WD-XRF)를 이용하여 Rh target으로 30 keV/100 mA(단, Mn 및 Fe : 60 keV/50 mA) 측정 조건에서 분석하였다.

시편의 전처리에는 도편에서 유약을 제거하고 태토만을 마노 사발을 이용하여 200 mesh 이하로 분말화 하고, 원판 유리시료(glass bead)로 만들어 분석하였다.

2-2. 유약의 주성분분석

유약 조성은 전자현미분석장치(EPMA, Electron Probe Microanalyzer, SEM: JEOL SUPERPROBE JXA-8600SX, EDS: OXFORD 6025EDS)를 이용하였으며 유약의 주성분 분석에서는 다음의 전처리 과정을 앞서 수행하였다. 유약 시료는 이온수에 세척 · 건조시킨 다음, 에폭시수지(Epoxy resin)로 정착시켜 시편을 제작하였다.

3. 미세구조

3-1. 광학현미경 관찰

미세구조는 광학현미경(Optical Microscope, Model: ECLIPSE E600WPOL, Nikon)을 이용하여 확인하였다. 시편을 에칭한 후 도편 표면을 반사광(reflected light)으로 관찰하였다.

3-2. 전자현미경 관찰 및 분석

광학현미경에서 확인한 시편의 기공이나 기포, 구성 입자와 결정 등을 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscope, Model: JEOL JSM-6460LV)의 반사전자상(BEI: Backscattered Electron Image)으로 재조사하고 내부의 결정들은 에너지분산형분석기(EDS: Energy Dispersive X-ray Spectrometer Model: OXFORD INCAx-sight)를 이용하여 성분 분석 하였다.

IV. 연구 결과

1. 물리적특성

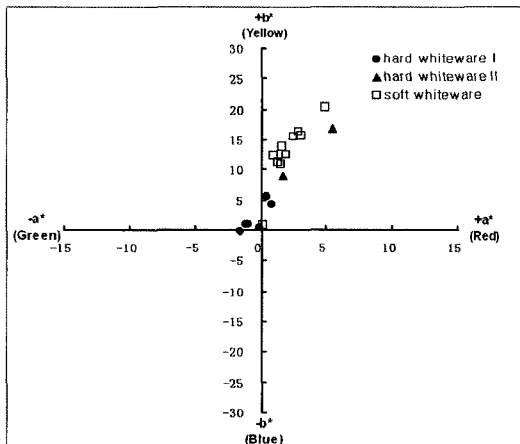
1-1. 색도

도자기의 색은 태토와 유약 착색제의 함량, 번조 분위

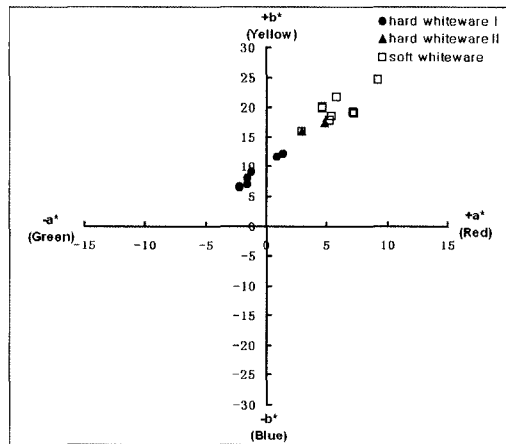
기, 번조 온도 및 냉각 속도 등에 영향을 받는다. 이러한 요인으로 인하여 다양하게 나타나는 도자기의 색상을 객관적인 수치로 나타내기 위하여 분광측색계를 이용하여 분석시료의 태토와 유약의 색도를 3회 측정하여 평균값으로 정리하였다(Table 2).

Table 2. Chromaticity testing of hard and soft whiteware sherds

Sample Number	Body			Glaze			ΔE		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL*	Δa*	Δb*
hard whiteware type I									
uch-24	86.98	-1.62	-0.22	78.69	-2.21	6.44	-8.29	-0.59	6.66
uch-25	76.09	0.43	5.61	69.66	1.38	12.05	-6.43	0.95	6.44
uch-26	76.66	0.83	4.24	69.49	0.92	11.62	-7.17	0.08	7.38
uch-27	83.36	-0.97	1.04	77.13	-1.54	7.98	-6.24	-0.57	6.94
uch-28	83.11	-1.16	1.04	72.19	-1.21	9.03	-10.92	-0.05	7.99
uch-29	78.07	-0.15	0.57	71.84	-1.54	6.93	-6.23	-1.40	6.36
hard whiteware type II									
uch-35	68.83	5.44	16.74	64.65	4.78	17.48	-4.18	-0.66	0.75
uch-37	68.21	1.69	8.91	76.63	2.91	16.05	8.42	1.22	7.15
soft whiteware									
uch-30	76.29	1.50	10.80	67.29	5.40	18.48	-9.00	3.91	7.68
uch-31	88.36	1.28	11.20	77.97	5.80	21.69	-10.39	4.52	10.49
uch-32	81.17	2.86	16.33	73.29	7.14	19.23	-7.88	4.27	2.90
uch-33	87.51	0.97	12.41	73.06	4.62	19.92	-14.45	3.65	7.51
uch-34	87.11	1.59	13.81	79.01	4.63	20.11	-8.10	3.04	6.30
uch-36	84.53	1.88	12.50	76.63	2.91	16.05	-7.89	1.03	3.56
uch-39	81.19	4.88	20.23	-	-	-	-	-	-
uch-40	81.14	3.10	15.67	71.19	9.23	24.67	-9.95	6.13	9.00
uch-41	84.93	2.50	15.44	67.82	7.22	19.03	-17.11	4.72	3.59
uch-42	78.56	2.70	15.70	71.25	5.75	19.28	-7.31	3.05	3.58



(a)



(b)

Figure 2. Graph by chromaticity testing of hard and soft whiteware sherds: (a); body, (b); glaze.

명도(L*)는 도자기의 백색도와 관계가 있다. 두동리 태토에서 경질백자 I 형은 76.09~86.98, 연질백자는 76.29~88.36으로 값의 범위는 비슷하지만 평균적으로 연질백자의 명도가 더 높아 백색도가 좋다. 경질백자 II 형은 68.21~68.83로 다른 두 그룹에 비해 명도값이 낮아 백색도가 좋지 않음이 확인된다. 경질백자 II 형의 태토는 큰 입자가 관찰되는 시편으로 태토의 밝기는 입도와도 연관이 있을 것으로 생각된다.

유약의 명도는 단지 유약면만을 측정하기는 불가능하여 도편의 표면을 측정한 것으로 태토의 밝기를 반영하게 되고 반영 정도는 유약의 두께나 투명도에 따라 달라질 수 있다. 경질백자 I 형은 69.49~78.69, 연질백자는 67.29~79.01로 비슷한 명도 범위를 갖으며 경질백자 II 형은 두 시편의 차이가 크다. 경질백자 II 형의 uch-37의 경우 ΔL^* 이 유일하게 (+)값을 나타내고 있다. 이것은 명도가 밝아졌기 때문으로 이 시편의 경우, 유약이 불투명하여 상대적으로 어두운 태토보다 밝은 유약을 반영한 것으로 보인다.

태토와 유약에서 경질백자 I 형의 채도는 a^* , b^* 값이 각각 $-0.15 \sim -1.62$, $-0.22 \sim 5.61$, 연질백자는 $0.97 \sim 4.88$, $10.80 \sim 16.33$ 으로 채도가 뚜렷하게 구분됨을 알 수 있다(Figure 2). 이 두 그룹의 채도 차이는 a^* 보다 b^* 에서 더 크며 황색이 주된 요인인 것으로 볼 수 있다. 경질백자 II 형은 두 편 of 색상 차이가 크고 연질백자 범위에 분포하고 있다.

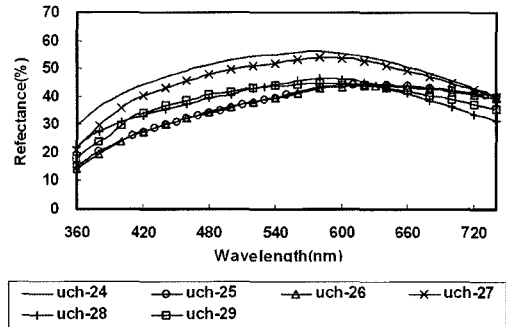
1-2. 반사도

반사도 측정에서 각 시편마다 반사도측(Y축)의 시작점이 다르게 나타난다. 이는 시편의 명도와 관련 있는 것으로 판단되며 실제 동일 그룹안에서 명도가 높을수록 높은 반사도 값을 갖고 있다. 그러나 이러한 경향은 연질과 경질을 비교할 경우는 뚜렷히 나타나지 않아 명도뿐 아니라 표면상태와도 관련이 있다고 생각된다.

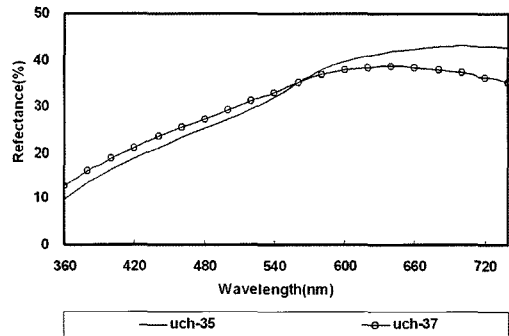
파장에 따른 반사도는 번조분위기와 관련이 있다는 연구⁴와 재현실험을 통해 확인한 결과를 토대로 시편의 번조분위기 추정이 가능하다. 환원번조는 파장이 커짐에 따라 반사율이 낮아지는 하강곡선을, 산화번조는 반사율이 높아지는 상승곡선을 그린다.

이 결과에서 경질백자는 uch-37을 제외하고 환원번조이다. 반면에 I 형의 시편은 환원, II 형중 uch-35은

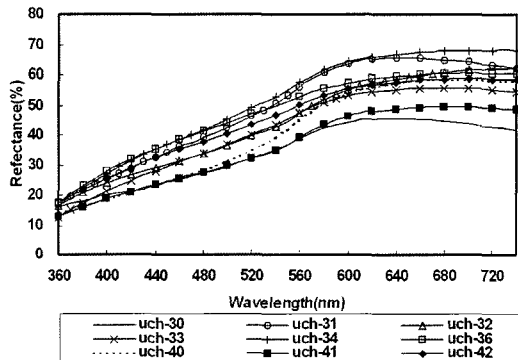
환원번조, uch-37은 산화번조 된 양상을 보이고 있다. 연질백자는 uch-30, uch-31, 42를 제외한 나머지 시편들에서 산화번조된 것을 확인하였다(Figure 3). 단, 이는 재산화현상이 비교적 덜 일어나는 유약에 대한 측정 결과를 기준으로 한 것이다.



(a)



(b)



(c)

Figure 3. The percentage reflectance: (a): glaze of hard white ware type I, (b): glaze of hard white ware type II, (c): glaze of soft white ware.

Table 3. Specific, absorption and porosity of hard and soft whiteware sherds

Sample number	Apparent Specific	Bulk Specific	Absorption(%)	Porosity(%)
hard whiteware type I				
uch-24	2.34	2.32	0.4	0.9
	0.02	0.02	0.4	1.0
uch-25	2.28	2.11	3.7	7.8
	0.01	0.01	0.2	0.4
uch-26	2.38	2.17	4.0	8.6
	0.01	0.01	0.3	0.6
uch-27	2.25	2.23	0.3	0.7
	0.01	0.01	0.1	0.1
uch-28	2.26	2.25	0.3	0.6
	0.01	0.01	0.1	0.1
uch-29	2.29	2.26	0.7	1.6
	0.01	0.01	0.2	0.3
hard whiteware type II				
uch-35	2.33	2.08	5.1	10.6
	0.01	0.02	0.6	1.1
uch-37	2.34	2.09	4.2	10.9
	0.01	0.01	2.4	0.5
soft whiteware				
uch-30	2.35	2.07	5.9	12.1
	0.03	0.04	1.3	2.5
uch-31	2.46	1.87	12.7	23.8
	0.02	0.01	0.3	0.5
uch-32	2.36	1.91	10.0	19.0
	0.03	0.04	1.5	2.5
uch-33	2.39	1.84	12.4	22.9
	0.01	0.01	0.4	0.6
uch-34	2.42	1.82	13.6	24.8
	0.02	0.01	0.2	0.5
uch-36	2.46	1.92	11.4	21.9
	0.01	0.02	0.6	0.9
uch-39	2.35	1.93	9.4	18.1
	0.03	0.00	0.5	1.0
uch-40	2.39	1.72	16.5	28.4
	0.03	0.02	1.2	1.7
uch-41	1.97	1.54	10.1	18.4
	0.02	0.01	0.6	1.0
uch-42	1.87	1.48	9.3	17.0
	0.03	0.04	1.7	2.7

1-3. 비중 및 흡수율, 기공률

도자기의 대표적 물성인 비중 및 흡수율, 기공률 측정을 통하여 태토의 유리질화 정도, 또는 치밀도에 따른 비교가 가능하다. 선정시편의 비중 및 흡수율, 기공률을 측정하여 평균값으로 정리하고 이를 도식화 하였다(Table 3, Figure 4).

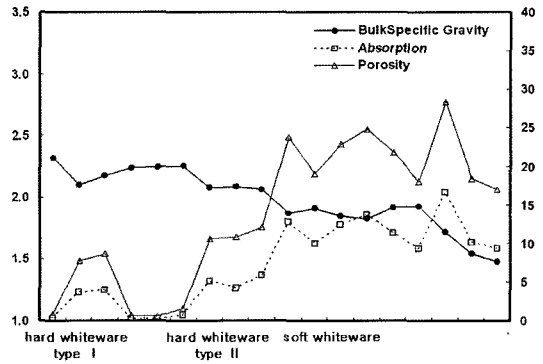


Figure 4. Graph of specific, absorption and porosity.

경질백자 I형의 시편들을 측정된 결과 두 그룹으로 분류된다. 한 그룹(uch-24, 27, 28, 29)은 부피비중 2.23~2.32, 흡수율 0.3~0.7%, 기공률 0.6~1.6%, 다른 한 그룹(uch-25, 26)은 부피 비중 2.11~2.17, 흡수율 3.7~4.0%, 기공률 7.8~8.6%로 전자에 비해 부피 비중은 낮고 흡수율 및 기공율은 높다. 후자는 덜 번조된 편으로 유리질화 정도에 따라 비중 및 흡수율, 기공률 값의 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 경질백자 II형은 경질 I형의 덜 번조된 편보다 높은 4.2~5.1%, 10.6~10.9%의 흡수율과 기공률을 갖는다. 부피비중 1.48~2.07, 흡수율과 기공률이 각각 5.9~16.6%, 12.1~28.4%로 경질백자보다 비중은 낮고 흡수율과 기공률은 높다. 이와 같은 연질백자의 측정값은 두동리 출토 다른 자기보다 높은 흡수율과 기공률을 나타내며 초벌편과 유사한 수치이다.

2. 화학 성분분석

2-1. 태토

태토의 주성분을 분석하여 앞서 분류한 경질 및 연질 백자의 원료특성을 파악하고 차별성과 유사성을 확인하였다. Table 4에 분석 결과와 이를 이용하여 각 성분의 상대적인 몰 퍼센트를 계산하고 그 중 SiO₂ 값과 MgO, CaO, Na₂O, K₂O, MnO의 함을 표기하였다.

경질백자 I형의 SiO₂와 Al₂O₃함량은 uch-24를 제외하고 평균적으로 74.5±2.4%, 17.3±2.8%로 높은 실

Table 4. Body compositions of hard and soft whiteware sherds

Sample Number	Oxide concentration(wt.%)											Relative molecular		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	L.O.I.	Total	SiO ₂	flux
hard whiteware type I														
uch-24	60.9	28.4	0.98	0.26	0.48	5.1	3.6	0.05	0.04	0.07	0.40	100.3	3.56	0.48
uch-25	75.0	15.2	1.4	0.62	0.17	1.7	2.7	0.27	0.02	0.03	0.76	97.8	7.91	0.48
uch-26	70.4	22.2	1.2	0.64	0.37	2.4	1.8	0.61	0.02	0.02	0.60	100.3	5.19	0.35
uch-27	76.6	15.5	0.84	0.63	0.28	2.9	1.7	0.14	0.03	0.02	0.47	99.1	8.11	0.55
uch-28	75.6	17.2	1.0	0.48	0.39	3.3	0.89	0.16	0.01	0.02	0.57	99.6	7.19	0.47
uch-29	75.2	16.7	0.96	0.44	0.52	1.2	1.8	0.49	0.02	0.02	0.49	97.9	7.35	0.34
average	74.5	17.3	1.1	0.56	0.35	2.3	1.8	0.33	0.02	0.02	0.58	98.9	6.55	0.44
std deviation	2.4	2.8	0.2	0.09	0.13	0.9	0.6	0.21	0.01	0.01	0.12	7.5	1.80	0.09
max	76.6	22.2	1.4	0.64	0.52	3.3	2.7	0.61	0.03	0.03	0.76			
min	70.4	15.2	0.84	0.44	0.17	1.2	0.89	0.14	0.01	0.02	0.47			
hard whiteware type II														
uch-35	69.9	21.1	1.4	0.30	0.27	1.3	3.2	0.71	0.04	0.01	0.96	99.2	5.38	0.31
uch-37	67.4	22.9	1.7	0.35	0.20	1.3	3.6	0.75	0.06	0.03	1.1	99.4	4.76	0.31
average	68.6	22.0	1.5	0.32	0.23	1.3	3.4	0.73	0.05	0.02	1.0	99.3	5.07	0.31
std deviation	1.8	1.2	0.2	0.04	0.05	0.1	0.3	0.02	0.02	0.01	0.09	3.8	0.44	0.00
max	69.9	22.9	1.7	0.35	0.27	1.3	3.6	0.75	0.06	0.03	1.1			
min	67.4	21.1	1.4	0.30	0.20	1.3	3.2	0.71	0.04	0.01	0.96			
soft whiteware														
uch-30	75.4	15.2	1.4	0.50	0.15	1.9	2.3	0.30	0.02	0.02	0.98	98.1	7.95	0.44
uch-31	72.7	20.5	0.75	0.38	0.26	0.68	1.4	0.42	0.01	0.02	0.98	98.1	5.86	0.19
uch-32	67.8	23.3	1.3	0.25	0.11	1.1	3.2	0.46	0.03	0.01	1.4	99.0	4.78	0.26
uch-33	71.6	19.6	1.1	0.39	0.12	1.1	3.1	0.37	0.03	0.01	1.4	98.7	5.98	0.31
uch-34	71.8	19.7	1.0	0.35	0.12	1.2	3.1	0.37	0.03	0.01	1.4	99.0	5.99	0.31
uch-36	69.5	22.5	0.99	0.76	0.22	1.3	2.3	0.66	0.02	0.03	1.4	99.6	5.10	0.30
uch-39	71.5	18.9	1.5	0.33	0.19	1.4	3.2	0.35	0.05	0.02	1.4	98.8	6.13	0.35
uch-40	68.6	22.0	1.3	0.27	0.14	1.2	3.4	0.44	0.05	0.01	1.5	99.0	5.08	0.29
uch-41	68.6	20.9	1.4	0.33	0.26	0.95	3.1	0.74	0.07	0.03	1.2	97.6	5.34	0.29
uch-42	68.8	21.5	1.0	0.21	0.14	0.70	3.5	0.64	0.03	0.01	1.3	97.9	5.26	0.26
average	70.6	20.4	1.2	0.38	0.17	1.1	2.8	0.47	0.03	0.02	1.3	98.6	5.75	0.30
std deviation	2.4	2.3	0.2	0.16	0.06	0.4	0.7	0.15	0.02	0.01	0.2	6.5	0.90	0.07
max	75.4	23.3	1.5	0.76	0.26	1.9	3.5	0.74	0.07	0.03	1.5			
min	67.8	15.2	0.7	0.21	0.11	0.68	1.4	0.30	0.01	0.01	0.98			

리카성분과 낮은 알루미늄 특성을 갖고 있다. 용제성분인 MgO, CaO, Na₂O, K₂O는 각각 0.56±0.09 %, 0.35±0.13 %, 2.3±0.9 %, 1.8±0.6 %로 전체적으로 5.0 %의 함량을 갖는다. 착색제의 역할을 하는 Fe₂O₃는 1.1±0.2 %, TiO₂는 0.33±0.21 %를 나타낸다. uch-24는 60.9 %의 낮은 실리카와 28.4 %로 높은 알루미늄으로 두 성분에서 가장 큰 차이가 난다. 용제성분 중 Na₂O는 5.1 %로 다른 경질 I형의 시편보다 2~4 % 높고 K₂O도 1~3 % 높은 3.6 %의 조성을 갖고 있어서 용제성분은 합이 9.5 %이며 다른 시편보다 높다. 또한 TiO₂, MnO, P₂O₅에서도 조성상의 차이가 있다. 이

러한 결과에서 uch-24 시편은 두동리 경질백자와 원료가 달랐던 것으로 판단된다. 이 시편은 조성의 차이 뿐 아니라 가시적으로도 백색도가 좋고, 유리질화가 잘 되어 구별된다.

경질백자 II형은 I형보다 약 6 %정도 낮은 68.6±1.8 %의 SiO₂와 5 %정도 높은 22.0±1.3 %의 Al₂O₃ 함량을 갖고 있고, MgO, CaO, Na₂O, K₂O는 0.32±0.04 %, 0.23±0.05 %, 1.3±0.1 %, 3.4±0.3 %로 I형보다 MgO와 CaO, Na₂O는 낮고 K₂O는 높으며 특히 K₂O는 2배 정도 높은 조성을 나타낸다. 하지만 용제성분의 전체적인 함은 5.3 %으로 약 0.3 % 높을 뿐 I

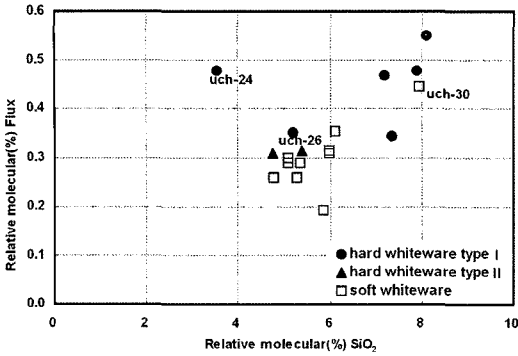


Figure 5. Relative molecular % of fluxes versus silica in hard and soft whiteware body.

형과 유사한 조성이다.

연질백자는 SiO₂ 72.6±1.6 %, Al₂O₃ 18.8±2.1 %의 조성을 갖는 uch-30, 31, 33, 34, 39과 SiO₂ 68.7±0.6 %, Al₂O₃ 22.0±0.9 %의 조성을 갖는 uch-32, 36, 40, 41, 42이 있다. 후자는 경질 II 형과 비슷하다.

그룹별 성분분석 결과를 이용하여 실리카 및 용제 성분의 상대적인 몰퍼센트를 계산하고 이를 비교하여 확인하였다(Figure 5). 경질백자 I 형은 7.19~8.11과 0.34~0.55에, 연질백자는 5.08~7.95과 0.19~0.44 영역으로 구분된다. 조성의 차이를 보였던 uch-24는 그래프 확인 결과 실리카 3.56, 용제의 합이 0.48로 경질도 연질도 아닌 다른 영역에 위치한다. 경질백자 uch-26은 연질백자의 태도와 유사성을 보이고 있고 연질백자 uch-30은 경질백자 I 형의 범위에 있다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때 경질 I 형과 연질은 실리카 성분에서 차이가 나타나며 그 차이는 5 % 정도로 경질백자 I 형이 높고 이에 따라 용제성분들의 합도 경질백자 I 형이 약간 높다. 경질백자 II 형은 연질백자와 원료의 유사성을 보이고 있다. 그러나 위에서 나타난 조성 차이가 경질과 연질의 차이인지 단지 지역적 특성인지에 대한 연구가 필요하며 그러기위해서는 다른 지역의 경질과 연질에 대한 추가적 분석이 요구된다.

2-2. 유약

유약의 주성분은 태토와 동일하지만 번조하였을 때 완전히 녹아 태토 표면에 유리질 층을 형성해야 하므로

용제성분의 함량이 높다. 유약분석 결과와 SiO₂, Al₂O₃의 상대적인 몰퍼센트로 표기하였다(Table 5).

경질백자 I 형은 두 가지로 분류되는데 한 그룹은 하나는 평균적인 조성으로 SiO₂와 Al₂O₃가 각각 63.2±1.3 %, 13.0±0.8 %로 전체 조성의 76.2 %를 차지하며 용제성분은 MgO 2.2±0.2 %, CaO 14.9±1.7 %, Na₂O 2.2±0.9 %, K₂O 2.0±1.1 %로 그 합은 약 21.3 %이다. 이외에 Fe₂O₃는 1.0±0.2 %, TiO₂는 0.17±0.04 %, P₂O₅는 1.0±0.1 %로 나타난다. 다른 그룹은 전자보다 실리카와 알루미늄이 높고 용제 성분은 낮다.

경질백자 II 형 중에 uch-35는 경질백자 I 형의 uch-24, 29와 같이 실리카와 알루미늄이 높고 용제 성분은 낮은 특징을 보인다. 그러나 uch-37은 경질백자 I 형과 유사하다.

연질백자는 Fe₂O₃가 조금 낮을 뿐 SiO₂ 63.6±2.1 %, Al₂O₃ 13.0±0.8 %의 조성값을 갖고 MgO 2.1±0.4 %, CaO, Na₂O, K₂O는 각각 14.8±2.1 %, 2.0±0.4 %, 2.2±0.7 %로 평균적인 경질백자 I 형과 유사하다.

이와같은 두동리 유약의 특성은 Figure 6에서 분명하게 확인된다. 유약의 평균조성은 SiO₂ 2.29~3.42, Al₂O₃ 0.27~0.67이며, 비례 관계가 나타난다.

3. 미세구조

경질백자의 미세적 특징은 태토의 유리질화 된 정도에 따라 두 가지 양상으로 나타난다(Table 6). 하나는 비교적 유리질화가 덜 된 양상으로 기공(pore)은 부정형이고 미세한 기공들이 많다. 잔존하는 석영은 20~50 μm 크기로 균일하게 분포한다. 다른 하나는 유리화가 잘 된 모습으로 기공의 모양이 비교적 둥글고 균일하며 미세한 기공이 적다. 또한 남아있는 석영의 크기도 상대적으로 작은 10 μm이고 유리화된 장석이 관찰된다. 유약은 대부분 기포(bubble)의 수도 적고 깨끗하나 일부 석영이 녹지 않고 남아있다. uch-26의 태토와 유약의 경계면에는 회장석(anorthite) 결정이 자라있고 반짝이는 흰 입자가 다른 면에서보다 많이 관찰된다. 반짝이는 흰 입자는 TiO₂ 또는 Ti-Fe가 결합된 산화물이다(Table 7).

경질백자 II 형은 기공의 형태나 분포정도에서 연질백

Table 5 . Glaze compositions of hard and soft whiteware sherds

Sample Number	Oxide concentration (wt%)											Relative molecular	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total	SiO ₂	Al ₂ O ₃
hard whiteware type I													
uch-24	66.6	16.9	1.3	0.79	8.8	1.8	3.8	0.16	0.07	0.23	100.4	4.51	0.67
	2.2	0.8	0.2	0.12	1.6	0.2	0.3	0.1	0.09	0.05	0.7		
uch-25	64.0	13.3	1.2	2.0	14.5	1.1	3.6	0.16	0.40	1.0	101.1	2.93	0.36
	2.1	1.0	0.4	0.2	3.7	0.1	0.6	0.1	0.07	0.3	1.2		
uch-26	63.8	13.4	1.2	2.5	15.0	1.7	1.7	0.23	0.45	1.1	101.0	2.85	0.35
	1.7	0.8	0.2	0.3	1.8	0.2	0.2	0.1	0.06	0.2	0.8		
uch-27	61.3	11.9	0.70	2.4	17.2	2.9	1.3	0.15	0.54	1.1	99.4	2.39	0.27
	1.0	0.7	0.2	0.2	0.4	0.3	0.1	0.1	0.10	0.1	0.6		
uch-28	63.9	13.5	1.0	2.1	13.1	3.0	1.3	0.16	0.20	1.0	99.2	3.07	0.38
	1.8	1.0	0.2	0.2	2.4	0.5	0.3	0.1	0.05	0.2	1.1		
uch-29	65.4	15.0	1.5	1.5	11.3	1.5	2.2	0.26	0.23	0.56	99.3	3.82	0.52
	3.7	2.4	1.4	0.4	5.3	0.7	0.9	0.2	0.10	0.25	2.0		
average	63.2	13.0	1.0	2.2	14.9	2.2	2.0	0.17	0.40	1.0	100.1	3.26	0.43
std deviation	1.3	0.8	0.2	0.2	1.7	0.9	1.1	0.04	0.14	0.1	6.6	0.52	0.09
max	64.0	13.5	1.2	2.5	17.2	3.0	3.6	0.23	0.54	1.1			
min	61.3	11.9	0.7	2.0	13.1	1.1	1.3	0.15	0.20	1.0			
hard whiteware type II													
uch-35	65.9	15.5	2.2	1.4	8.8	0.68	5.1	0.37	0.24	0.54	100.7	4.27	0.59
	1.3	0.9	0.5	0.2	2.1	0.1	0.7	0.24	0.06	0.23	1.4		
uch-37	63.4	13.0	1.5	2.0	14.8	1.0	3.6	0.22	0.32	0.77	100.7	2.87	0.35
	1.2	1.5	0.2	0.6	2.2	0.2	0.4	0.19	0.10	0.15	1.0		
average	64.7	14.3	1.8	1.7	11.8	0.85	4.3	0.29	0.28	0.66	100.7	3.57	0.47
std deviation	1.7	1.8	0.4	0.4	4.2	0.25	1.1	0.11	0.06	0.16	10.3	0.99	0.17
max	65.9	15.5	2.2	2.0	14.8	1.0	5.1	0.37	0.32	0.77			
min	63.4	13.0	1.5	1.4	8.8	0.68	3.6	0.22	0.24	0.54			
soft whiteware													
uch-30	65.5	13.9	0.49	1.4	12.3	2.8	1.9	0.11	0.29	0.69	99.4	3.42	0.43
	2.1	1.8	0.16	0.3	1.8	0.6	0.4	0.09	0.08	0.23	1.4		
uch-31	65.6	12.9	0.78	1.7	14.1	1.9	1.4	0.14	0.25	0.76	99.5	3.22	0.37
	1.4	0.8	0.25	0.4	1.3	0.2	0.1	0.07	0.06	0.23	0.7		
uch-32	66.7	16.1	0.46	0.84	8.2	2.8	3.1	0.08	0.19	0.43	98.9	4.52	0.64
	1.3	1.0	0.21	0.10	0.9	0.6	0.5	0.05	0.10	0.11	1.4		
uch-33	65.0	11.9	0.51	2.0	15.0	2.4	1.8	0.19	0.28	1.2	100.2	2.89	0.31
	1.8	0.4	0.07	0.2	1.5	0.3	0.3	0.07	0.07	0.4	1.1		
uch-34	62.3	12.4	0.65	2.4	16.5	2.0	2.3	0.13	0.34	1.5	100.6	2.52	0.29
	1.4	0.5	0.14	0.4	1.3	0.3	0.4	0.06	0.07	0.4	1.2		
uch-36	63.3	14.0	1.0	2.0	15.4	2.0	1.8	0.20	0.33	0.87	100.9	2.81	0.37
	1.0	0.3	0.2	0.3	1.0	0.4	0.4	0.08	0.07	0.20	1.1		
uch-39	68.7	14.1	0.87	1.3	7.3	1.5	5.3	0.10	0.36	0.65	100.1	4.70	0.57
	4.2	1.4	0.45	0.6	3.8	0.2	0.7	0.08	0.12	0.44	1.6		
uch-40	59.6	12.3	0.78	2.6	17.3	2.0	2.7	0.16	0.48	1.2	99.2	2.29	0.28
	1.2	0.9	0.15	0.3	1.0	0.4	0.5	0.10	0.13	0.3	1.5		
uch-41	62.4	12.7	0.81	2.2	16.7	1.7	2.4	0.14	0.31	1.1	100.6	2.55	0.31
	1.3	0.9	0.32	0.4	1.1	0.1	0.2	0.07	0.12	0.2	0.8		
uch-42	64.9	13.6	0.87	2.2	11.4	1.3	3.6	0.89	0.44	1.1	100.3	3.42	0.42
	0.5	2.0	0.12	0.6	3.2	0.2	0.8	0.89	0.16	0.4	2.4		
average	63.6	13.0	0.73	2.1	14.8	2.0	2.2	0.24	0.34	1.0	100.0	3.23	0.40
std deviation	2.1	0.8	0.17	0.4	2.1	0.4	0.7	0.26	0.08	0.3	7.3	0.82	0.12
max	65.6	14.0	1.0	2.6	17.3	2.8	3.6	0.89	0.48	1.5			
min	59.6	11.9	0.49	1.4	11.4	1.3	1.4	0.11	0.25	0.69			

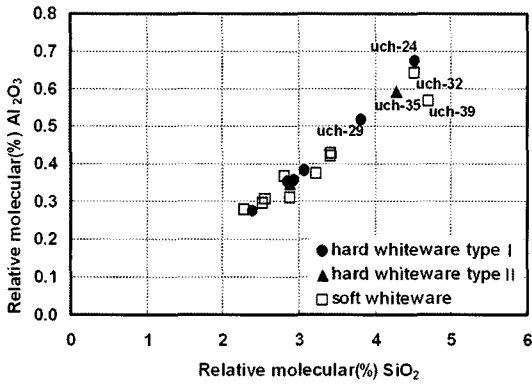


Figure 6. Relative molecular % of aluminium oxide versus silica in hard and soft whiteware glaze.

자와 유사한 양상으로 태토 내에 구성입자의 크기가 크고 일정치 않다.

연질백자의 태토는 기공의 형태가 불규칙하고 분포 정도가 커서 치밀하지 않은 특징을 보인다(Figure 7(b)). 이는 연질의 높은 흡수율과 기공률이라는 물리적

특성으로 나타난다. 대부분 20~30 μm 정도의 석영이 관찰되나 일부 80~300 μm 크기의 석영도 관찰된다. 미세 구조 관찰결과 연질에서는 유리화된 장석입자들이 거의 관찰되지 않는 것은 주목할만한 사실이다. 유약면 관찰 결과, 녹지 않고 남아있는 석영입자가 경질백자보다 많이 보이고 태토와 유약의 경계면에 조금씩 자란 결정을 확인할 수 있다. 또한 경질보다 크고 작은 기포들도 많이 관찰된다.

광학현미경으로 확인한 미세적 특징을 토대로 광물 및 결정과 기공의 형태, 태토와 유약의 경계면에서 나타나는 특징을 전자 현미경 반사 전자상으로 조사 하였다 (Table 7, Figure 8).

(a)는 태토에서 보이는 검은 입자를 확대한 사진으로 유리질화된 부분 안쪽으로 결정이 자라있고 성분은(분석 위치: 4, 5) 실리카 성분이 33.3 %, 알루미늄 성분은 61.8 %로 유리질화된 영역보다 낮은 실리카 성분과 높은 알루미늄 성분의 특징을 갖는다. (b)는 유약에 있는 것으로 내부와 외부가 CaO에서 차이가 있다. (c)는 유약 안에 빼곡히 차 있는 검은색 결정으로 Fe₂O₃의 성분이 11 % 이상으로 높으며 알루미늄 성분도 유약보다 높다.

Table 6. Microstructural characteristics of body and glaze for each group, as observed by optical microscope

Sample type	body glaze	Microstructural characteristics
hard whiteware type I	body	유리질화가 덜된 양상의 uch-25, 26은 기공(Pore)의 형태가 길쭉하거나 뾰족하여 일정하지 않으며 20~50 μm 크기의 석영입자들이 존재한다. uch-26은 반짝이는 흰 입자가 많이 관찰된다. 유리질화가 잘 된 편인 uch-27, 28, 29는 기공이 작고 둥글다. 50 μm 정도 되는 석영이 존재하지만 대부분은 10 μm 정도로 작고 균일하다. 유리질화된 장석이 보이며, 또 다른 유리질화된 부분의 내부에 침상형의 결정이 있고 겹게 보인다.
	glaze	전체적으로 잘 녹아 깨끗하며 기포(bubble)가 조금 있다. uch-25에 20 μm 크기의 석영이 남아있고, uch-26의 태토와의 경계면에 화장석이 있다.
hard whiteware type II	body	전체적으로 자화기 이루어지지 않은 양상이며 태토내부에 유리질화된 입자들이 관찰된다.
	glaze	유약 내부에 녹지 않은 석영이 약간 존재한다. uch-35보다 uch-37에서 더 많은 기포를 확인할 수 있다.
soft whiteware	body	유리질화가 안 된 양상이다. 기공의 분포정도가 매우 크며 아주 미세한 크기부터 200 μm 까지 다양하고 형태는 길쭉하며 균일하지 않다. 석영은 대부분 20~30 μm로 고르게 존재한다. uch-39의 석영은 80~180 μm로 다른 시편보다 크다.
	glaze	크고 작은 기포가 많고, 녹지 않은 석영이 많이 남아있으며 크기는 10~60 μm로 다양하다. 단, uch-39의 석영은 30~80 μm로 크고 각이 쳐있다. uch-33에서는 화장석이 약간 보이며, uch-40에는 나뭇가지모양의 결정들이 가득하다.

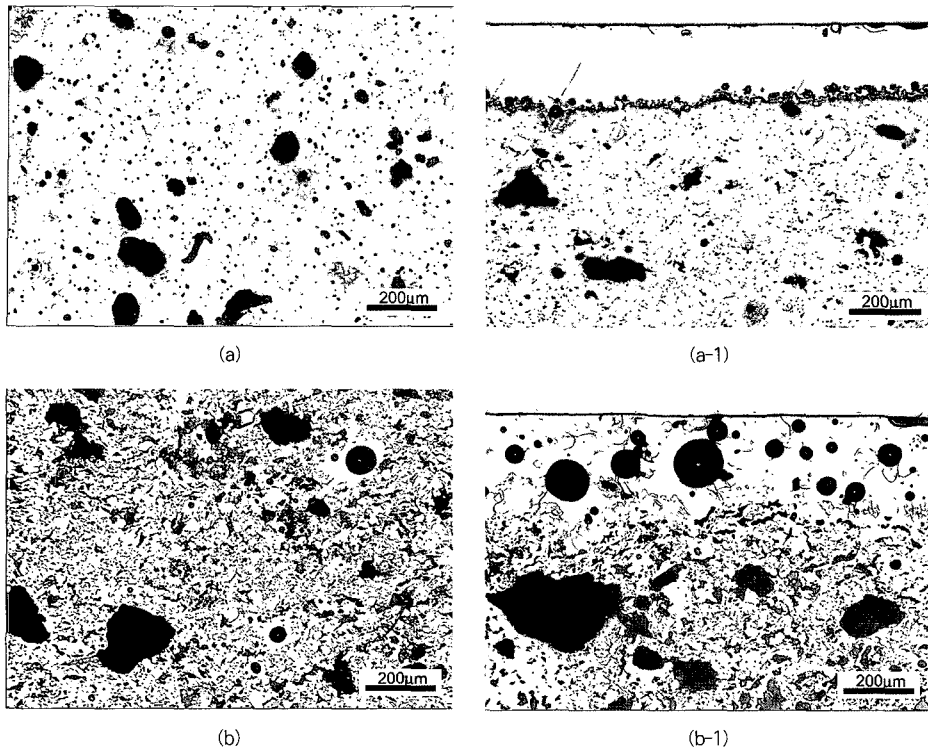


Figure 7. Pictures of body and glaze by optical microscope: (a), (a-1): hard whiteware type I, (b), (b-1): soft whiteware.

Table 7. Composition of microstructural areas of whiteware sherds

Sampler Numbe	Analysis Point	Oxide concentration (wt%)										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total
uch-29	(a-2)- 1, 2, 3	64.1	20.1	3.9	6.1	1.8	0.61	2.3	1.0	-	-	99.7
		5.6	1.8	1.3	2.3	0.3	0.10	0.49	0.4	-	-	101.7
	(a-2)- 4, 5	33.3	61.8	2.6	2.8	0.32	0.35	0.32	0.43	-	-	101.7
	(a-3)- 1, 2	1.4	2.7	0.3	0.6	0.15	0.10	0.17	0.04	-	-	99.2
1.0		1.1	-	-	-	-	-	97.1	-	-	99.2	
uch-30	(b-1)-1	0.2	0.3	-	-	-	-	-	0.8	-	-	99.2
		52.3	42.2	-	-	0.90	2.9	2.3	-	-	-	100.5
uch-30	(b-1)-2	58.7	31.4	-	-	8.2	2.2	0.29	-	-	-	100.8
		50.5	32.9	12.0	1.1	1.3	0.56	1.3	1.1	-	-	100.4
uch-40	(c-1)- 1, 2	0.9	0.4	0.9	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	-	-	100.4

VI. 결론

두동리 가마터는 15세기 후반~16세기까지 운영되었던 곳으로 총 6기의 가마를 확인하였고 분청사기, 백자, 흑유 등 다양한 도자기가 출토되었다. 특히 이중 백자는

일반적인 경질백자와 더불어 연질백자가 함께 출토되어 상호 특성 비교를 가능하게 하여 현재까지 미흡했던 연질백자에 대한 학술적 자료를 제공해주었다.

경질과 연질백자에 대한 과학기술적 고찰을 위해 분석 시료를 선정하여 물리적 실험과 화학적 분석을 하여

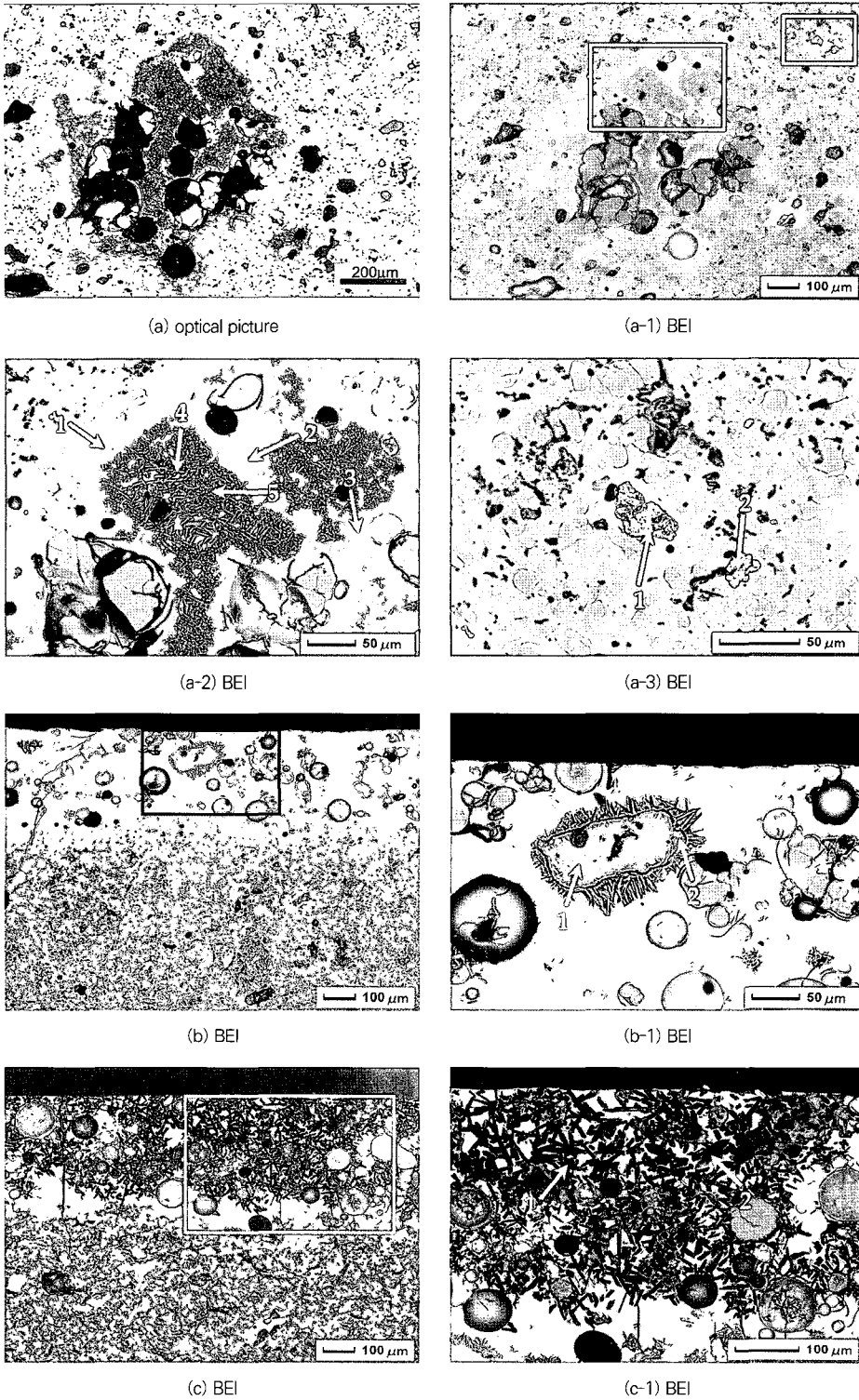


Figure 8. Backscattered electron image of body and glaze microstructure.

(a) image by optical microscope of uch-29, (a-1) BEI uch-29, (a-2) BEI uch-29, (a-3) BEI uch-29, (b) BEI uch-30, (b-1) BEI uch-30, (c) BEI uch-40, (c-1) BEI uch-40.

종합적으로 검토하였다.

물리적 특성인 색상은 명도 값의 경우 연질의 태도가 경질의 태도보다 높아 백색도가 더 좋음을 알 수 있다. 채도는 연질이 경질보다 a^* 와 b^* 값이 (+)방향 쪽으로 분포한다.

비중 및 흡수율, 기공률 측정결과 경질백자의 흡수율은 0.3~5.0 %, 기공률은 0.6~10.9 %, 연질백자는 흡수율 5.9~16.6 %, 기공률 12.1~28.4 %로 높은 흡수율과 기공률을 갖는다.

태도의 조성은 경질 I 형의 SiO_2 와 Al_2O_3 함량이 평균적으로 74.5(± 2.4) %, 17.3(± 2.8) %로 실리카성분은 높고 알루미늄은 낮은 특징을 갖고 있으며 경질백자 II 형은 I 형보다 약 6 %정도 낮은 SiO_2 와 5 %정도 높은 Al_2O_3 함량을 갖고 있다. I 형보다 MgO와 CaO, Na₂O는 낮고 K₂O는 2배정도 높으나 전체적인 용제의 함은 I 형과 유사하다.

연질백자는 경질보다 실리카는 낮고 알루미늄은 높으나 그 조성 차이는 크지않다.

유약의 조성은 경질과 연질백자의 구분은 확인되지 않고 기물의 종류에 상관없이 시유한 것으로 보인다.

경질과 연질의 미세구조는 경질은 연질에 비해 유리질화가 잘 된 양상으로 기공의 형태가 둥글고 치밀한 구조를 나타낸다. 연질은 점토질 부분의 입자결합이 완전해 보이지 않고 광물들이 녹아서 유리질화된 양상이 경질백자와 달리 확인되지 않는데 이는 연질백자가 유리질화되지 못하는 것과 관계가 있을 것으로 추정된다. 물리 화학적 분석 결과와 미시적특징 관찰을 종합해 볼 때 경질백자와 연질백자의 가장 큰 차이는 화학적 성분의 차이가 아닌 물리적 특성과 구조의 차이로 판단된다. 그러나 경질과 연질의 각기 다른 특성의 규명과 구분할 수 있는 기준을 제시하기 위해서는 더 많은 과학적 자료의 축적과 보다 다양한 방법으로 접근하는 것이 필요할 것이다.

참고문헌

1. 姜敬淑, 韓國陶磁史, 一志社, (1999)
2. 鎮海 熊川陶窯址 II, 경남발전연구원 역사문화센터, (2004)
3. 김영원, 조선시대 도자기, 서울대학교 출판부, (2003)
4. 高鳴廣夫, 陶磁器釉の科學, 內田老鶴圃, (1994)
5. 강경숙, 한국 도자기 가마터 연구, (주)시공사·시공아트, (2005)
6. 고경신, "한국 전통 도자기 문호의 과학기술적 연구", 한국과학사학회지, 14, 1, (1992)
7. 다니엘 로드 지음, 이부연, 김두식 외 5인 공역, 도예가를 위한 점토와 유약, 한양 대학교 출판부, (2002)
8. 문종수, 최태현 편역, 도자기 공학, 두양사, (2003)
9. 이복규, 도자원료, 미진사, (1991)
10. 이영은, 조선분청의 성분 및 미세구조연구, 중앙대학교 박사학위논문, (1998)
11. 이영은, 고경신, "한국 전통 도자기의 번조 공정에 관한 미세구조 연구-광주 충효동 분청사기를 중심으로", 대한 화학회지 Vol.46, No.2, pp. 125-138, (2002)
12. 엠마누엘 코페 외 지음, 김남수 편역, 도예유약, 미진사, (1991)
13. 장기훈, "分院과 地方白磁의 關係 試考- 發掘遺蹟을 中心으로 "
14. 한국세라믹학회 교육위원회, 세라믹 실험, 반도출판사, (1999)
15. 素木洋一, 釉藥과 그 顔料, 대광서림, (1995)