

Ceramics Body Development Using Waste Whiteware

Jea-Il Lee, Yong-Seok Lee*, and Byung-Ha Lee†

Department of Ceramic Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea

*Material Research Institute for Sustainable Development, AIST Chubu, Japan

(Received August 11, 2006; Accepted October 7, 2006)

백자 파도자기를 활용한 도자기 소지 개발

이제일 · 이용석* · 이병하†

명지대학교 세라믹공학과

*일본 산업기술총합연구소 중부센터 Sustainable연구부문 세라믹응용부재연구그룹

(2006년 8월 11일 접수; 2006년 10월 7일 승인)

ABSTRACT

Ceramics manufacturers in the nation produced more than 5000 tons of ceramics wastes a year increasing industrial waste quantity: However, almost no researches were made to reduce environmental pollution and to recycle waste ware. In this study, white ware scraps that were produced at Icheon, Gyeonggi-do were recycled to make use of them as raw materials of ceramics body and to develop new ceramics body that had economic advantages and good quality. The findings showed that the addition of waste ware had limit of 20 wt% considering molding. The addition of waste ware of 20 wt% to white ware lowered baking temperature of the white ware that was added by waste ware of 20 wt% by 30°C than existing white ware, and property values were good, for instance, porosity of 3% in average and water absorptivity of 2% in average, and the bending strength recorded more than 800 kgf/cm² to be higher than that of existing white ware being sold in market. The waste ware could be used to produce new ware body and to recycle resources and to solve environmental problems caused by burial and to improve property of ceramics and to save transportation costs as well as baking costs.

Key words : Industrial waste quantity, Recycle waste ware

1. 서 론

우리나라에서는 예로부터 찬란하고 우수한 독창적인 도자기 문화를 이루어왔고, 이는 세계적으로 그 아름다움을 인정받고 있어 우리의 전통문화를 알리는 하나의 문화 컨텐츠 기술(Culture Technology) 산업으로서 중요한 위치를 차지하고 있다. 현재에도 우리 도자기의 아름다움을 알리기 위한 도자기 생산 업체들의 지속적인 노력은 계속되어지고 있다. 과거 선조들의 장인정신을 계승함과 동시에 인류의 미적 욕구를 해결하기 위한 시대의 흐름에 맞는 디자인의 창조 및 다양한 도자기 소지와 유약의 개발, 또한 특히 질적으로 우수한 도자기 제품을 제조하여 수율(yield)을 높이기 위한 공정상의 개발에 대한 연구는 비단 우리나라 뿐만 아니라 세계에서 지속적으로 이루어지고 있다.¹⁻¹⁶⁾

하지만 이러한 노력에도 불구하고 각 도자기 업체에서

는 생산에 있어 많은 양의 요업 폐기물이 발생되어 배출되고 있다. 이 요업 폐기물들은 산업 폐기물로서 분류되어져 현재까지 매립에 의해서 처리되어지고 있으나, 자연 처리되는데 매우 오랜 시간이 걸리는 등 환경에 미치는 부정적인 영향이 매우 크기 때문에 하나의 환경에 대한 사회문제로서 부각되어지고 있는 실정이다.

이러한 요업 폐기물에 의한 환경문제에 대해 일본 및 유럽의 경우, 이미 오래전부터 문제 해결을 위한 요업 업체와 관련기관의 기술적인 협조와 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 중 요업 폐기물을 재활용에 이용하는 연구가 가장 많이 행해지고 있다.¹⁷⁻²⁰⁾

매장 자원의 부족문제와 환경에 대한 문제를 동시에 해결할 수 있는 자원 재활용에 대한 문제는 일본이나 유럽 뿐만 아니라 우리나라에서도 적극적인 연구²¹⁾가 이루어져야 할 분야이지만 아직 미미한 실정이다.

우리나라의 도자기 제조업체에서는 전국적으로 연간 5000톤 이상의 많은 도자기 폐기물이 발생하고 있다. 특히 도자기 제조업체의 약 70%가 모여 있는 경기도의 이천, 광주, 여주지역에는 1000여개의 요장이 있어 연간 3000톤 이상의 파도자기가 배출되고 있고, 그 양도 점점 산업폐

†Corresponding author : Byung-Ha Lee

E-mail : lbh@mju.ac.kr

Tel : +82-31-330-6461 Fax : +82-31-330-6457

기물로써 증가 추세를 보이고 있으나 환경오염을 줄이기 위한 파도자기 재활용 등의 활용과 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 이러한 현황에 기인하여 우선 인천지역에서 발생되는 백자파편을 도자기 소지용 원료로서 재활용함에 의해 경제적이고 품질이 우수한 새로운 도자기 소지를 개발해 보고자 한다. 파도자기가 새로운 도자기 소지에 첨가됨으로써 소성수축이 작고, mullite 결정 생성이 많아져 강도가 높아질 것이며²²⁻²³⁾ 유약이 함유되어 있어 소지에서 flux 역할을 하므로 소성온도가 낮아지는 이점이 있을 것으로 판단되어지므로 경쟁력 있는 도자기 소지를 제조할 수 있으며, 환경오염문제 또한 쉽게 해결할 수 있을 것으로 사료되어진다.

2. 실험 방법

2.1. 출발 원료

본 연구에 있어서 기본소지로는 기존의 시판되고 있는 물레성형과 자동물레성형에 적합한 소지의 광물 조합을 기초로 하여 물레용 소지는 울산 점토, 산보 도석, 충청 점토, 여주 싸리산 점토, 가야 카올린을 사용하고, 자동물레 성형용 소지는 중국 점토, 중국 카올린, 화천 규석, 부여 장식, 태백 도석을 사용하여 각각 조합을 행하였다. 기존의 시판되고 있는 물레성형용과 자동물레성형용 소지의 조합을 Fig. 1에, 사용 원료에 대한 성분 분석 결과를 Table 1에 각각 나타내었다.

또한 파도자기 원료(W.P.P.: Waste Pottery and Porcelain)는 인천 지역에서 생산되고 있는 백자 제조업체에서 백자 파도자기를 수거하여 사용하였다. 이 때 수거된 백자

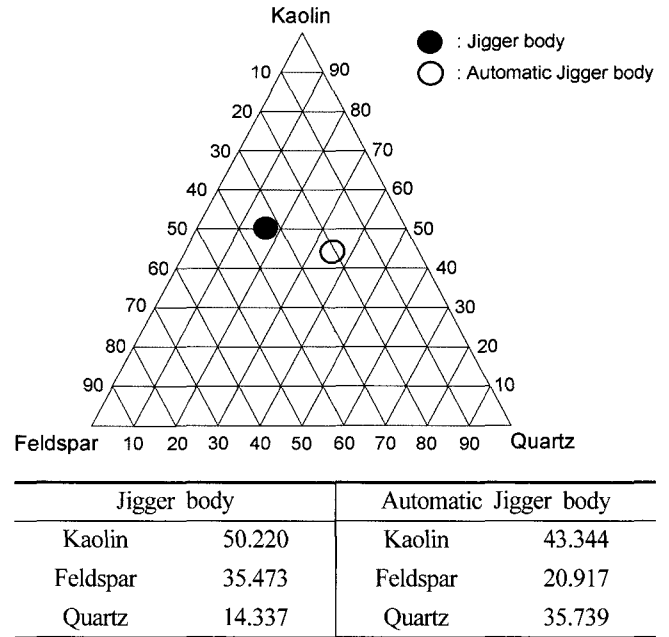


Fig. 1. Mineral compositions of standard pottery body (wt%).

파도자기의 성분 분석을 행하였고 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 우선 수거된 백자 파도자기는 fret mill과 ball mill로서 12 h 동안 분쇄를 행한 후 325 mesh sieve에 전 통시켜 미분체로 제조하여 기본 소지에 각각 첨가하는 실험에 사용하였다. 이때의 파도자기 분말의 입도분포를 Microphoto analyzer(MPS-Z, Seishin, Japan)로 확인하였다. 파도자기 분쇄분을 입도 분석한 결과는 Fig. 2와 같이 입도분포는 좁았으며 평균입도는 10 μm으로 도자기 소지용 원료로 적합하였다. 또한 분쇄한 파도자기에 대해 XRD

Table 1. Chemical Compositions of Raw Materials for Standard Pottery Bodies

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ig. Loss
Gaya kaolin	51.56	33.56	0.90	0.84	0.32	1.94	0.47	0.01	0.11	0.03	10.26
China kaolin	49.60	37.32	0.33	0.05	0.21	2.06	0.03	-	-	-	10.4
Ssarisan clay	74.41	15.11	1.11	0.34	0.56	4.22	0.74	0.02	0.11	-	3.38
Ulsan clay	65.97	18.16	2.33	0.38	0.59	3.71	1.23	-	0.49	-	7.14
Chungcheong clay	54.06	30.56	1.14	0.25	0.23	1.25	0.08	-	0.54	0.02	11.87
China clay	48.82	33.85	1.48	0.04	0.18	1.02	0.05	-	0.61	-	13.95
Hwacheon quartz	98.61	0.10	0.02	0.12	0.01	0.02	0.02	-	0.01	-	1.09
Buyeo feldspar	73.16	14.64	0.12	0.27	0.03	3.85	5.94	-	-	-	1.99
Sambo pottery stone	75.92	16.14	0.21	0.35	0.47	5.41	0.87	-	0.05	-	0.58
Teabeck pottery stone	71.33	22.60	1.06	0.16	0.42	3.69	0.03	-	0.05	-	0.66

Table 2. Chemical Compositions of W.P.P.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ig. Loss
W.P.P.	67.31	20.69	1.19	2.32	0.48	2.86	1.27	0.01	0.16	0.01	-

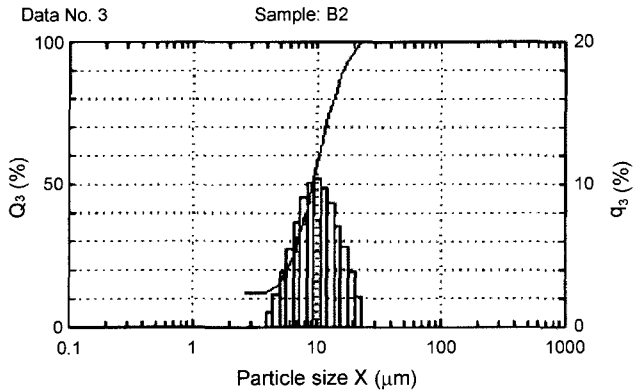


Fig. 2. Particle size distribution analysis of Waste Pottery and Porcelain (W.P.P.) after ball-milling.

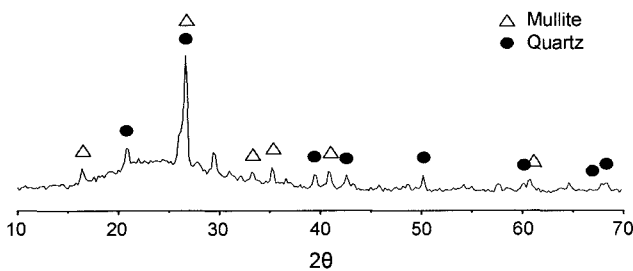


Fig. 3. XRD pattern of waste pottery and porcelain.

(M18 XHF-SRA, Mac Science, Japan)를 사용하여 분석을 행하였다. 그 결과 Fig. 3에서의 같이 주결정상은 quartz 이었으며 그 외 mullite 결정이 존재하는 것이 관찰되어 졌다. 실제 mullite를 미분화하면 하나의 mullite seed로서 결정생성 및 성장에 영향을 미치기 때문에 강도나 소성 온도 면에서 좋은 결과를 얻을 수 있다는 연구 결과도 있어 재활용이 가능한 하나의 출발원료로서 사용가능하리라 판단된다.

2.2. 실험공정 및 분석

2.2.1. 소지 조합

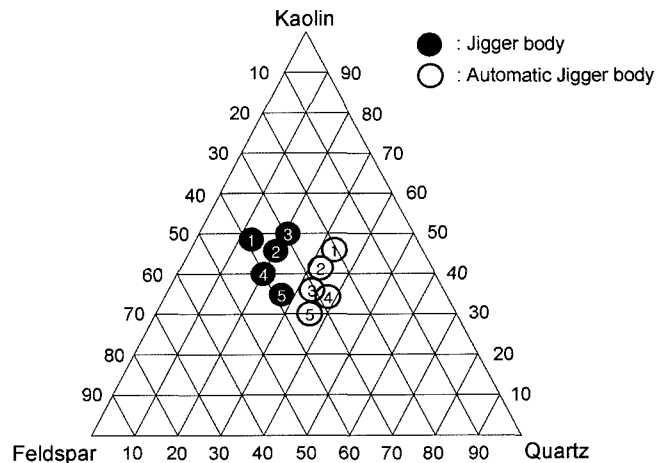
파 도자기를 활용한 소지를 개발하기 위하여 기존 시 판 중인 Fig. 1의 물레용 소지와 자동성형용소지에 대한 광물 조합을 기초로 하여 본 실험의 출발원료를 사용하여 Table 3과 같이 조합을 행하였다. 이 조합을 기본 소 지로 정하고 파도자기 분쇄분을 Fig. 4와 같이 일정량씩 첨가함으로써 본 실험의 조성을 결정하였다. 이 조합한 소지에 대해서는 가소성 증진을 위하여 수분을 16~18% 정도 첨가시킨 후 7일간 숙성을 행하였다.

2.2.2. 시편성형

위 Fig. 4에 보인 조성에 의해 조합된 소지에 대한 물 리, 화학적 특성을 분석하기 위하여 석고 mold를 사용하여 굽힘 강도 측정용으로 0.5×3.5×4.5 mm의 bar type, 흡 수율, 수축률 측정용으로 30×30×0.5 mm의 disc type 및

Table 3. Compositions of Standard Pottery Body

Jigger body		Automatic Jigger body	
Materials	wt%	Materials	wt%
Gaya kaolin	29.59	Hwacheon quartz	25.00
Ssarisan clay	27.65	Buyeo feldspar	15.00
Sambo pottery stone	17.05	China clay	15.00
Ulsan clay	9.22	China kaolin	25.00
Chungcheong clay	16.13	Teabeck pottery stone	20.00



Number	Jigger body	W.P.P.	Number	Automatic Jigger body	W.P.P.
JB-1 (①)	90	10	AJB-1 (①)	90	10
JB-2 (②)	80	20	AJB-2 (②)	80	20
JB-3 (③)	70	30	AJB-3 (③)	70	30
JB-4 (④)	60	40	AJB-4 (④)	60	40
JB-5 (⑤)	50	50	AJB-5 (⑤)	50	50

Fig. 4. The compositional diagram of kaolin-feldspar-quartz body.

하중연화 측정용으로 30×130×10 mm의 bar type의 시험편을 각각 성형하여 본 실험에 임하였다.

2.2.3. 건조 및 소성

건조 시 성형한 시험편의 휨이나 갈라짐을 방지하기 위하여 성형된 시험편을 4 h 간격으로 180°씩 회전시켰으며, 부분 건조를 막기 위해 비닐을 씌운 채로 6일 동안 자연건조 시킨 후 dry oven에서 완전 건조를 행하였다. 소성은 siliconite muffle furnace를 사용하여 상온~600°C까지는 2°C/min, 600°C에서 소성온도인 1220~1270°C까지 5°C/min로 승온시킨 후 10 min holding을 행하고 자연 냉각시켰다.

2.3. 특성분석

2.3.1. 가소성 실험

혼합한 소지에 대한 가소성 측정방법으로는 현재 규격

된 객관적 측정 방법이 있지 않기 때문에 일반 도자기제조업체에서 시행하고 있는 방법에 의거하여 행하였다. 측정방법으로서는 소지로서 일정한 굵기의 긴 bar를 만들어 점토를 손가락에 감아서 코일에 균열이 생기는 정도를 보고 가소성을 판단하는 방법인 Coiling법과 숙성된 소지를 일정한 크기의 구로 만들어 충분히 건조시킨 후 물을 담은 비커에 넣어, 기포생성시점(Created of bubble), 갈라지는 시점(Branch of bodies), 완전히 와해(Collapse)되는 시점을 확인하여 각 소지의 가소성을 측정하는 수중와해 실험을 행하고 그 결과를 일본의 와목점토를 기준으로 비교하였다.

2.3.2. DT-TG 분석

각 조성의 소지에 대한 소성온도에 따른 분해, 전이, 새로운 결정상의 생성 등의 열간변화를 분석하기 위해 DT-TGA(DTG-60H, Shimadzu, Japan) 분석을 1200°C까지 행하였다.

2.3.3. SEM 측정

각 조합비에 따라 소성된 시편의 미세조직을 관찰하고자 각 소성온도로 소결된 시험편의 파단면을 HF 40%의 용액에 20초간 담가 etching을 행한 다음 SEM(S-3500N, Hitachi, Japan)으로 결정상 및 조직을 관찰하였다.

2.3.4. 물성 측정

소성된 시험편의 흡수율, 기공율, 겉비중 측정은 KS L3114에 의해, 수축율은 KS L4004 측정법을 기준으로 측정하였다. 하중연하 측정은 아래의 Fig. 5와 같은 방법으로 소성하여 시험편의 휨 정도를 측정하여 계산하였으며, 강도 측정은 Universal tester(MKS Type-PP-650-D, Scientific Instrument, Japan)로서 3점압축시험법에 의거해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 가소성 측정

혼합한 소지에 대한 가소성 측정에서 Coiling법과 수중와해 실험 결과를 종합한 후, 대표적인 가소성원료로 알려져 있는 일본의 와목점토가 10이라는 값을 가진다고 가정할 때의 값을 비교해 보았다. Table 4에 그 결과를 나타내었다. 조합된 기본소지의 경우 와목점토보다 가소성은 조금 나쁜 8~9 정도의 값을 나타내었다. 일반적인 소

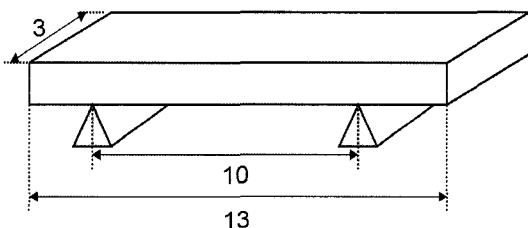


Fig. 5. Load testing method.

Table 4. Result of Plasticity (Std : Gairome Clay 10)

W.P.P. composition	Jigger body	Automatic Jigger body
0	9	8
10	8	7
20	7	6
30	6	5
40	5	4
50	4	3

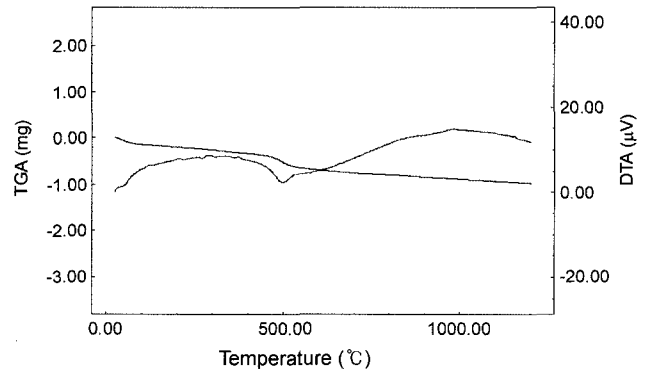


Fig. 6. DT-TG curve of standard pottery body.

지 조성의 가소성 특성으로서 파도자기 원료가 20 wt% 첨가된 조성까지는 성형에 무리가 없었으나 첨가량이 증가함에 따라 성형성은 매우 나빠져 성형면에서 보아 파도자기의 첨가량의 한계는 20 wt%까지였다.

3.2. DT-TG 분석

파도자기가 첨가된 각 조성의 소지에 대해 열간 특성 및 결정상의 변화를 확인하기 위해 행한 DT-TG 분석 결과, 파도자기의 첨가량에 관계없이 Fig. 6의 기본 소지의 분석 결과와 같은 pattern을 나타내었다. 500°C 부근에서 보이는 흡열 peak는 점토 또는 고령토의 결정수 탈수에 의한 peak이며 1000°C 부근에서의 작은 발열 peak는 mullite 생성에 기인한 peak라고 판단된다.

3.3. 물성 측정 분석

3.3.1. 수축율

Fig. 4와 같이 기본소지에 파도자기 분쇄분을 첨가하여 조합한 물레용 소지와 자동 성형용 소지에서의 건조 수축율을 측정하고 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 모든 조성에서 chamotte의 역할을 하는 파도자기 분쇄분의 첨가량이 증가함에 따라 건조 수축율은 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 소성 수축율의 경우 혼합된 물레용 소지는 1220~1250°C의 온도구간에서, 자동성형용 소지의 경우에는 1240~1270°C의 온도구간에서 10°C 간격으로 각

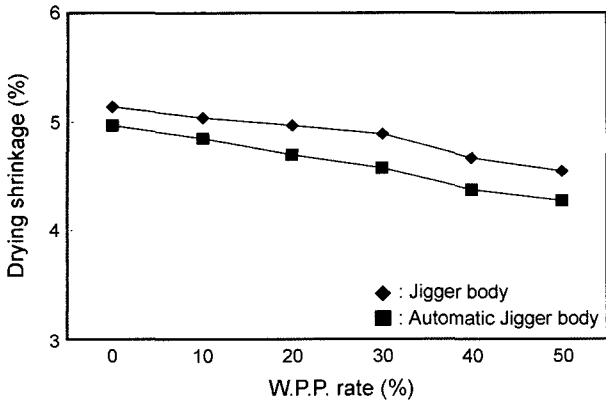


Fig. 7. Drying shrinkage as a function W.P.P. rate.

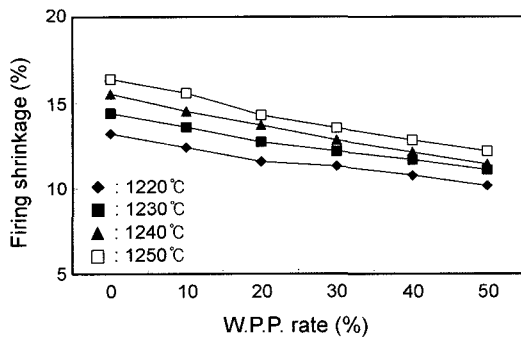
각 소성을 행한 후 측정된 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 기본 소지의 소성 수축율은 몰레용 소지의 경우 1240°C에서 15.5%, 자동 성형용 소지의 경우 1260°C에서 14.4%로 매우 크게 나타났으나, 파도자기를 각각 20% 첨가시 13.7%와 12.7%로 각각 감소하는 것을 확인하였다. 이는 파도자기 분쇄분이 chamotte로 작용하여 소지내의 수축율을 크게 감소시키는 것으로 보이며 이에 첨가량이 증가

함에 따라 소성수축율은 점점 더 감소되어졌다.

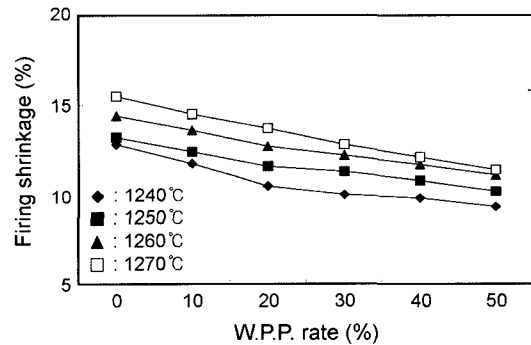
3.3.2. 흡수율 및 기공율

각 조합별 소성된 시험편의 기공율과 흡수율을 측정하고, 그 결과를 Figs. 9와 10에 각각 나타내었다. 기본 소지에 파도자기 분쇄분이 첨가됨에 따라 수축율과 기공율은 Figs. 9와 10의 결과에서와 같이 함량에 따라서는 소성온도에 관계없이 급격히 감소하다가 30% 이상 첨가되면서 거의 일정한 값을 나타내었다. 이는 파도자기 내에 flux로서 작용할 수 있는 유약의 성분이 많아져 소지의 소성에 큰 영향을 미치지않지만 동시에 chamotte로서 작용하는 분쇄분이 많아져 흡수율의 감소폭이나 소성수축율의 감소폭이 적어지는 것을 알 수 있다. 이 결과만으로 보아 기본의 소지에 비해 파도자기가 첨가됨으로써 소성 온도를 30°C 이상 낮출 수 있다고 판단되어졌다.

이러한 기공율 및 흡수율의 감소에 대해 그 이유를 확인해 보고자 기본 소지와 파도자기 20% 첨가한 소지에 대해 몰레용 소지는 1240°C로, 자동몰레용 소지는 1260°C로 각각 소성한 시험편의 미세구조를 SEM으로 관찰하였고 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 그 결과 소성 온도에 관계없이 기본 소지에는 다수의 기공이 존재하였으나 파도자기가 20% 첨가된 소지의 경우 기공이 많이 감소되

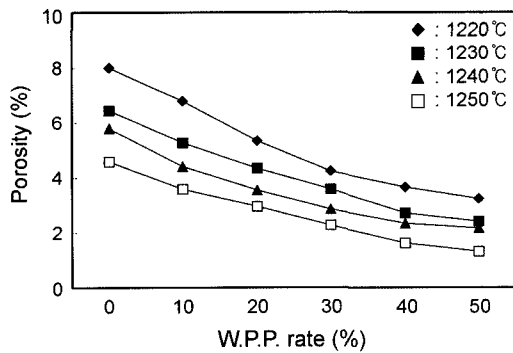


(a) Jigger body

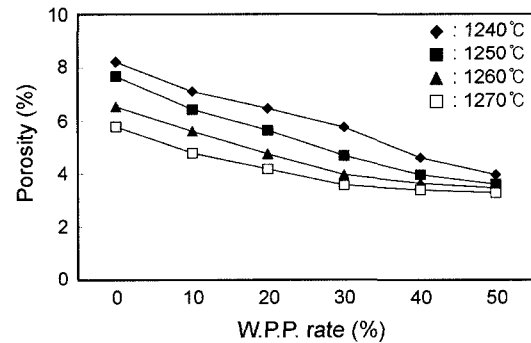


(b) Automatic jigger body

Fig. 8. Firing shrinkage as a function W.P.P. rate at various temperature.



(a) Jigger body



(b) Automatic jigger body

Fig. 9. Porosity as a function W.P.P. rate at various temperature.

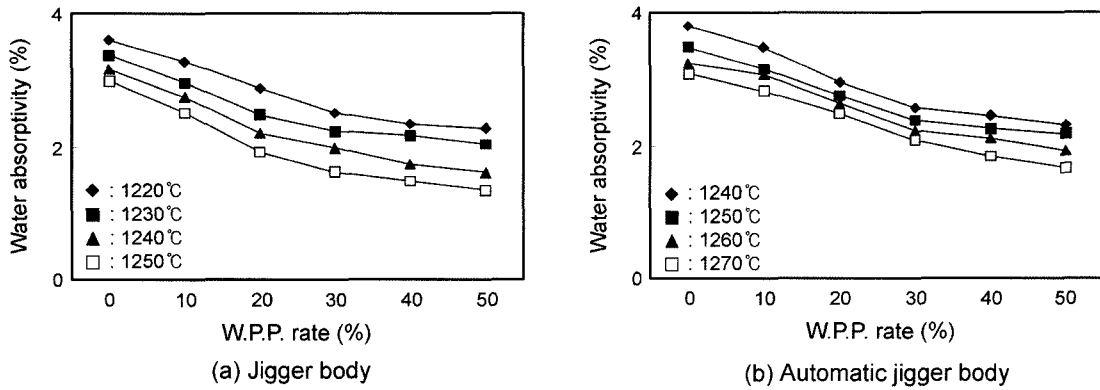


Fig. 10. Water absorptivity as a function W.P.P. rate at various temperature.

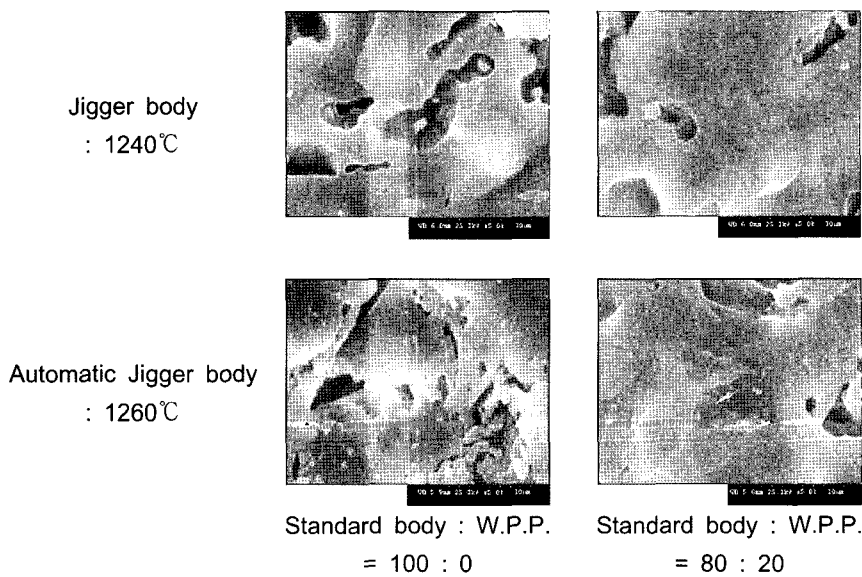


Fig. 11. SEM photographs of sintered body at 1240°C and 1260°C.

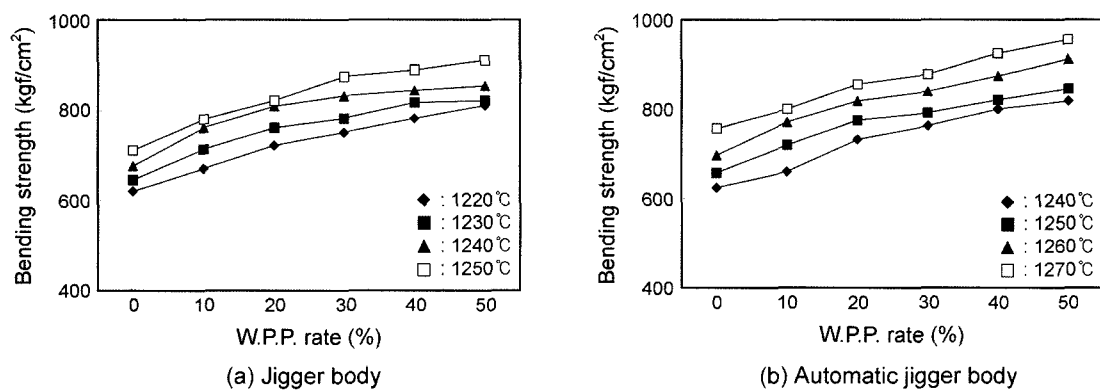


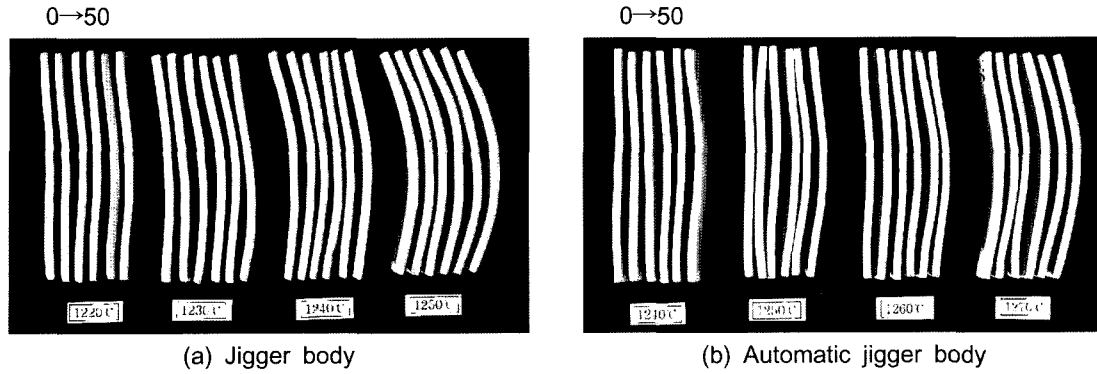
Fig. 12. Bending strength as a function of W.P.P. rate at various temperature.

어 있음을 알 수 있었다.

3.3.3. 굽힘강도 및 하중연화

조합된 각 소지에 대해 굽힘강도를 측정하기 위하여 각

각 물레용 소지의 경우 1220~1250°C로, 자동 성형용 소지의 경우 1240~1270°C로 소성한 다음 3점 굽힘강도 측정을 행한 후, 그 결과를 Fig. 12에 각각 나타내었다. Fig. 12에



(a) Jigger body

(b) Automatic jigger body

W.P.P. composition	Jigger body				Automatic Jigger body			
	1220°C	1230°C	1240°C	1250°C	1240°C	1250°C	1260°C	1270°C
0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	0.4
10	0.2	0.3	0.5	0.7	0.1	0.2	0.3	0.4
20	0.4	0.6	0.7	0.9	0.3	0.5	0.6	0.7
30	0.8	0.9	1.1	1.3	0.6	0.8	0.9	1.2
40	1.2	1.3	1.5	1.8	0.9	1.2	1.3	1.6
50	1.6	1.8	2.0	2.4	1.5	1.7	1.9	2.3

Fig. 13. Load testing as a function of W.P.P. rate at various temperature.

서 보이는 바와 같이 물레용 소지 및 자동물레용 소지 모두에서 소성온도가 증가함에 따라 강도값도 증가하는 경향을 보이고 있다. 1240°C에서 소성한 물레용 소지의 굽힘강도 값은 678 kgf/cm²인데 파도자기 분쇄분이 첨가됨에 따라 굽힘강도 값이 증가하여 20% 첨가시에는 810 kgf/cm²으로 증가하였음을 알 수 있다. 또한 1260°C의 자동 성형용 소지의 경우도 파도자기를 첨가하지 않은 기본 소지의 경우 698 kgf/cm²인데 반하여 20%의 파도자기를 첨가한 소지의 경우는 820 kgf/cm²로 증가하였다. 이는 파도자기 분쇄분 내에는 이미 생성된 mullite 결정이 상당량 존재하며 또한 공존하고 있는 유약 성분이 소성 중에 flux로서 작용하여 비교적 낮은 온도에서도 mullite의 생성과 결합을 촉진시켰기 때문에 흡수율도 적어지면서 굽힘강도 값도 증가함을 알 수 있다.

하중연화 분석에서도 Fig. 13에 나타낸 바와 같이 물레용 소지의 경우 파도자기의 첨가량이 20%까지는 변형이 적으나 30% 이상을 첨가하면 변형이 커지는 것을 볼 수 있다. 또한 자동성형용 소지에서도 파도자기 성분을 30% 이상 첨가하게 되면 변형이 커지는 것으로 나타났다. 이것으로 볼 때 파도자기를 30%이상 첨가할 경우 도자기의 큰 기물을 성형하기에는 어려울 것으로 생각된다.

3.3.4. SEM 분석

소성온도에 따른 각 조성별 소지의 미세구조 및 mullite 결정을 확인해 보고자 HF 40%의 용액에 20초간 담가 etching을 행한 후 SEM 분석을 행하였다. Fig. 14에 보인

물레용 소지의 분석 결과, 기본소지에 파도자기가 10%씩 첨가됨에 따라 mullite의 생성량이 증가하며 동시에 mullite 결정의 굵기도 증가하는 것이 확인되었다. 이는 앞서 밝혔듯이 파도자기의 첨가에 의해 mullite 생성 seed로서의 역할²⁵⁾ 및 flux로서의 역할이 점차 증진되었기 때문이라고 판단된다. 따라서 이러한 mullite 생성량의 증가와 성장에 의해 굽힘강도 값도 크게 증가되었음을 알 수 있다. Fig. 15의 자동물레용 소지에서도 소성온도의 증가에 따라 물레성형용 소지와 같은 경향을 나타내었다.

4. 결 론

파도자기 분쇄분을 첨가한 새로운 도자기 소지의 개발에 대해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 파도자기를 기본소지에 첨가한 본 연구에 있어서 전 조성에 걸쳐서 기존 백자소지의 소성온도보다 낮출 수 있었으며, 소지 물성 또한 향상되어짐을 확인할 수 있었다. 이는 파도자기 분쇄분 중에 포함되어 있는 mullite가 seed로 작용함으로써 기본소지의 mullite의 생성과 성장에 영향을 미쳤기 때문이라 판단되어지며, 또한 파도자기에 붙어 있던 유약 성분이 flux 역할을 했기 때문이다.

2. 기존의 백자소지는 보통 1280~1300°C에서 소결을 행하고 있지만, 파도자기가 20% 첨가된 물레성형용 소지의 경우 1240°C, 자동물레성형용 소지는 1260°C의 낮은 온도에서 소결되었다. 이 경우 기공율은 평균 3%, 흡수율

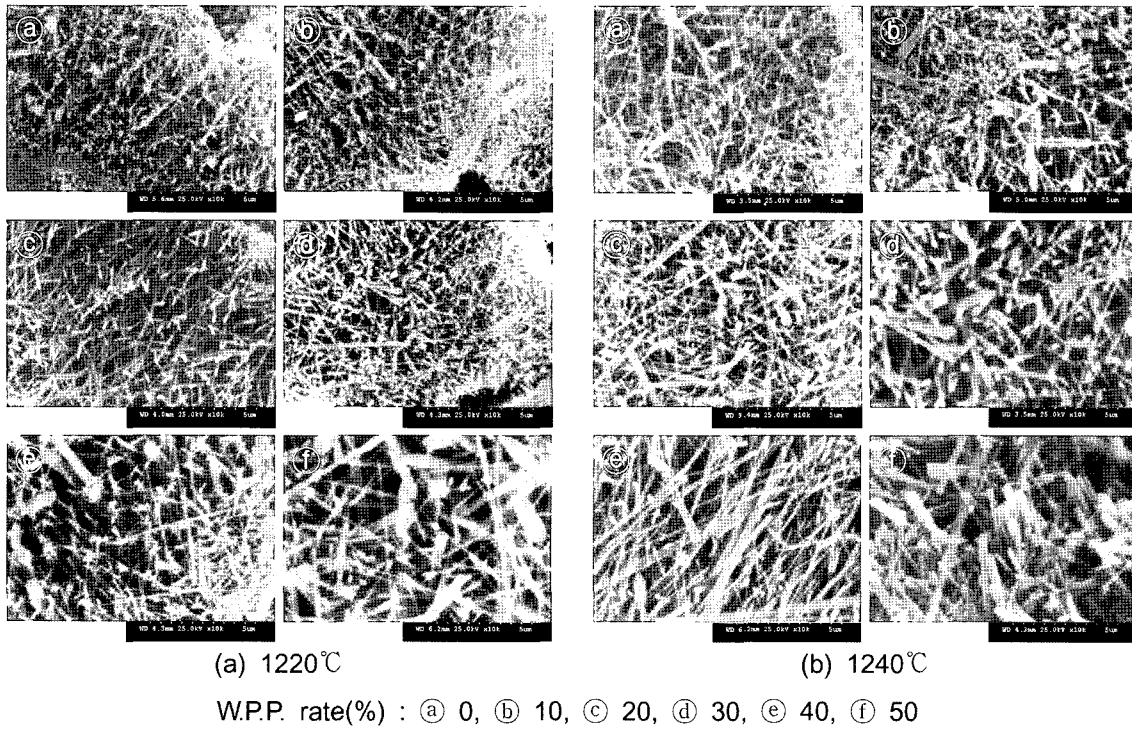


Fig. 14. SEM photographs of jigger body sintered according to W.P.P. rate.

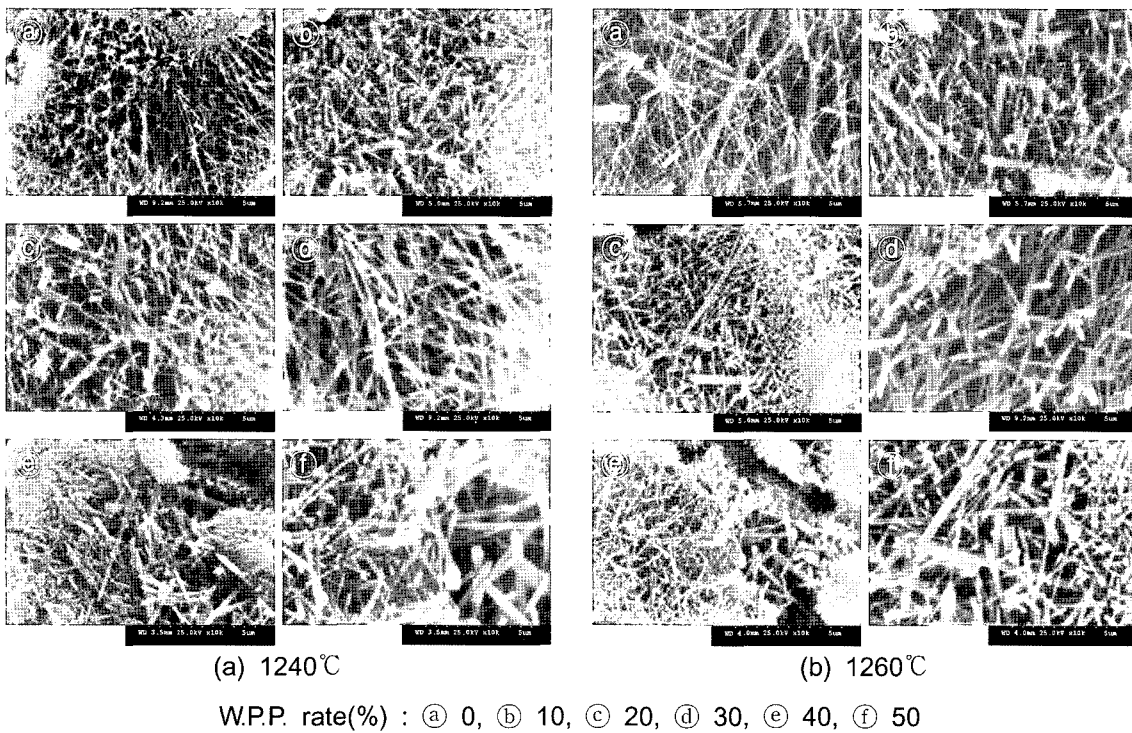


Fig. 15. SEM photographs of automatic jigger body sintered according to W.P.P. rate.

은 평균 2%로 양호한 값을 나타내었으며, 굽힘강도 값도 800 kgf/cm²로 기존 시판중인 백자소지 보다 높았다.

3. 이와 같이 파도자기를 사용하여 새로운 도자기 소지를 제조함에 의해 자원의 재활용과 매립에 의한 환경문

제의 해결뿐만 아니라 도자기 물성의 향상과 운반비, 소성비 등의 경제적 효과도 얻을 수 있다고 판단되었다.

REFERENCES

1. W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, "Introduction to Ceramics," John Wiley & Sons, 1976.
2. A. J. Leonard, "Structural Analysis of the Transition Phase in the Kaolinite-Mullite Thermal Sequence," *J. Am. Ceram. Soc.*, **60** [1-2] 37-43 (1977).
3. J. H. Lee, E. S. Na, and S. C. Choi, "A Study on the Effect of Residual Stress between Body and Glaze of Pottery on the Mechanical Strength," *Kor. J. Mat. Res.*, **9** [2] 181-86 (1999).
4. Y. G. Jung, "Effect of Firing Temperature on Mechanical Property and Contact Damage in Pottery(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **35** [12] 1343-50 (1998).
5. W. M. Carty and U. Senapati, "Porcelain-Raw Materials, Processing, Phase Evolution and Mechanical Behavior," *J. Am. Ceram. Soc.*, **81** [1] 3-20 (1998).
6. F. H. Norton, "Ceramic for the Artist Potter," Wesley Publishing Co. Inc., 1956.
7. F. H. Norton, "Fine Ceramics (Technology and Applications)," McGraw-Hill, 1970.
8. D. Rhodes, "Clay and Glazes for the Potter," Chilton Book Company, 1973.
9. R. C. Bradt, "A High-Tech Approach to a Traditional Ceramic-The Toughness of Porcelain," pp. 15-22 in proceeding of International Symposium on Fine Ceramics Arita 86, 1986.
10. L. Mattyasovszky-Zsolnay, "Mechanical Strength of Porcelain," *J. Am. Ceram. Soc.*, **40** 299-306 (1957).
11. N. Yamamoto, "Mechanical Strength of Porcelain," *NGK Review*, **25** 17-22 (1962).
12. S. I. Warshaw and R. Silica, "Comparison of Strength of Triaxial Porcelains Containing Alumina and Silica," *J. Am. Ceram. Soc.*, **50** [7] 337-42 (1967).
13. A. W. Norris, D. Taylor, and I. Thorpe, "Range Curve: An Experimental Method for the Study of Vitreous Pottery Bodies," *Trans. J. Br. Ceram. Soc.*, **78** 102-08 (1992).
14. Y. Kobayashi, O. Ohira, Y. Ohashi, and E. Kato, "Effect of firing Temperature on Bending Strength of Porcelain for Tableware," *J. Am. Ceram. Soc.*, **75** [7] 1801-06 (1992).
15. H. J. Lim, S. C. Choi, E. S. Lee, and J. S. Lee, "Effect of Processing Parameters on the Densification-Behaviors by Low Shrinkage in Clay Materials(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **33** [7] 725-34 (1996).
16. E. S. Lee, "Studies on the Mechanical Properties of Porcelain Bodies(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **11** [3] 69-79 (1974).
17. Andreola-F, Barbieri-L, Corradi-A, Lancellotti-I, and Manfredini-T, "The Possibility to Recycle Solid Residues of the Municipal Waste Incineration into a Ceramic Tile Body," *J. Mat. Sci.*, **36** [20] 4869-73 (2001).
18. I. Agote, A. Odriozola, N. Gutierrez, A. Santamaria, J. Quintanilla, P. Coupelle, and J. Soares, "Rheological Study of Waste Porcelain Feedstocks for Injection-Molding," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **21** [16] 2843-53 (2001).
19. J. O. Hong, S. G. Kang, K. G. Lee, Y. T. Kim, Y. J. Kim, J. H. Kim, and M. S. Park, "Characteristics of Sintered Bodies Made from the System of Paper Sludge Ash-Fly Ash-Clay(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **38** [10] 908-13 (2001).
20. M. Pelino, C. Cantalini, F. Veglio, and P. P. Plescia, "Crystallization of Glasses Obtained by Recycling Goethite Industrial-Wastes to Produce Glass-Ceramic Materials," *J. Mat. Sci.*, **29** [8] 2087-94 (1994).
21. S. W. Lee, H. J. Kim, and E. H. Kim, "Control of Permanent Shrinking of Recycled Castable Refractories from Waste Refractories of Al₂O₃-SiO₂(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **29** [1] 15-22 (1992).
22. H. Schneider, K. Okada, and J. A. Pask, "Mullite and Mullite Ceramics," John Wiley & Sons, 1994.
23. I. S. Kim, S. W. Kang, J. S. Park, M. W. Lee, B. H. Lee, and K. H. Lee, "Influence of Mullite-Seed on the Mullite Synthesis from Various Compositions," *J. Kor. Ass. Crystal Growth*, **10** [1] 48-54 (2000).