

내열용기의 원료성분비와 입도에 의한 열충격 저항성의 영향

유승준[†] · 이세일 · 박한진 · 안일수 · 김광길* · 윤호성** · 김성돈** · 변윤섭*** · 김종옥****

서남대학교 환경화학공학부, *디자인학부

590-711 전북 남원시 광치동 720

**한국지질자원연구원

305-350 대전시 유성구 가정동 30

***호원대학교 식품환경화학공부

573-718 군산시 임피면 월하리 727

****인월요업

590-842 남원시 인월면 중군리 산 21-13

(2002년 2월 26일 접수, 2003년 1월 23일 채택)

Effects of Thermal Shock Resistivity by Raw Material Component Ratios and Particle Sizes of Heat-Resistant Container

Seung-Joon Yoo[†], Se-Il Lee, Han-Jin Park, Il-Soo Ahn, Kwang-Gil Kim*, Ho-Sung Yoon**,
Sung-Don Kim**, Yoon-Seop Byoun*** and Jong-Ok Kim****

Faculty of Environmental and Chemical Engineering, *Faculty of Design, Seonam University, 720, Gwangchi-dong, Namwon 590-711, Korea

**Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30, Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

***Division of Food, Environmental and Chemical Engineering, Howon University, 727, Wolhari, Impi-myeon, Gunsan 573-718, Korea

****Inwol traditional Ceramics Corporation, San 21-31, Junggunli, Inwol-myeon, Namwon 590-842, Korea

(Received 26 February 2002; accepted 23 January 2003)

요 약

본 연구는 내열용기의 원료 성분조성비와 입도 조건이 열충격 저항성에 미치는 영향을 고찰하였다. 내열용기 제조를 위한 원료성분으로 천연의 저급점토(이하 점토로 표기), 천연의 저급규사(이하 사질로 표기) 그리고 활석 성분을 선택하였다. 내열용기 제조를 위하여 3성분계 삼각좌표를 도식하였으며 실험결과, 우수한 열충격 저항성을 갖는 점토, 사질 및 활석 성분의 배합비는 0.42, 0.33 및 0.25의 무게비로 나타났다. 또한 입도 조건에 따른 열충격 저항성에 미치는 영향을 고찰한 결과, 70 mesh 미만의 입도 조건이 100 mesh 미만의 입도 조건에 비해 우수한 열충격 저항성을 나타내었다. 그러나 70 mesh 미만의 입도로 내열용기를 제조하는 경우, 염분이 소지내로 침투되어 배출되므로써 용기로서의 기능성을 상실하게 된다. 그러므로 용기로서의 기능성과 우수한 열충격 저항성을 동시에 고려한다면 100 mesh 미만의 입도 조건에서 점토, 사질 및 활석 성분의 조성비는 0.42, 0.33 및 0.25의 조건이 본 실험조건에서 최적 조건임을 제시하였다.

Abstract – This study was investigated effects of the thermal shock resistivity according to the variation of raw material composition ratios and particle sizes in the heat-resistant container. The raw material components were selected by the natural low-grade clay(NLC), the natural low-grade silica sand(NLS) and Talc. Triangular diagram on these three components was constructed for selection of the optimum chemical composition ratios in the heat-resistant containers. As a result of the study, the optimum blending ratio was the condition of NLS(0.42) : NLC(0.33) : Talc(0.25). And as a result of the thermal shock resistivity according to the condition of particle sizes of raw materials, the thermal shock resistivity was increased at the range of particle size under the 70 mesh than the 100 mesh. But the case of manufacturing heat-resistant container in the condition of particle sizes under 70 mesh, salt crystals in the container are permeated into the inner wall and exhausted out the outer wall. Therefore, the container can not maintain the function as a container. Considering the function as a container and the excellent thermal shock resistivity, the optimum condition for the development of the heat-resistant container was the range of particle sizes under 100 mesh and the blending ratio of NLS(0.42) : NLC(0.33) : Talc(0.25) in this experimental condition.

Key words: Heat-Resistant Container, Thermal Shock Resistivity, Particle Size, Composition Ratio

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: sjyoo@tiger.seonam.ac.kr

1. 서 론

내열용기는 재료의 조직이 치밀하지 않고 상당한 크기와 비율의 기공을 포함하는 용기로서 고열에 노출시에도 비틀림이나 파손이 발생되지 않는 용기이다. 특히 고온에서 내열특성의 유지가 필수적인 까닭에 내열용기의 제조기술 또한 일반 도자기 제조에 비해 대단히 어렵다. 현재 내열용기의 제조에 관한 기술은 원료의 배합과 입도에 따른 영향의 규명 등에 의해 다양하게 시도되어 지고 있으나 대부분 일관된 품질의 내열특성을 보이지는 못하고 있는 실정이다. 이러한 원인에는 사용되는 원료가 고순도의 시약급 원료를 사용하지 않고 저품위의 천연원료 성분을 대상으로 하고 있기 때문이다. 천연원료는 지각부분의 암석 또는 변질과정에서 생성된 유용한 광물을 채굴하여 이용하므로 합성원료에 비하여 값이 싸지만 산지에 따라 불순물의 종류와 양, 입자의 크기와 분포 등이 다르다. 또한 광물의 생성과 변질과정이 원료의 성질에 커다란 영향을 주게 되어 동일한 산지라도 채굴 위치나 깊이 지점에 따라 품위의 차이가 발생하게 되어 제품의 품질보장이나 일정한 생산방법을 확립하기가 대단히 어렵다[1]. 그러나 내열용기 제조시 원료가 대량으로 소요될 뿐만 아니라 내열용기 자체의 부가가치가 낮은 상황에서 고순도의 원료의 이용은 현실적으로 불가능하므로 본 연구에서는 이러한 천연의 원료를 그대로 사용하여 내열용기를 제조하고 내열용기의 열충격에 대한 저항성을 향상시키기 위한 공정변수의 영향을 고찰하여 우수한 내열특성을 갖는 내열용기의 제조 조건을 모색하여 산업체에서 적용 가능한 데이터를 제시하고자 한다.

2. 실 험

2-1. 재료

본 실험에서는 저품위의 경남 산청산 천연점토와 사질 그리고 활석을 사용하였다. 보통 천연점토와 사질은 서로 혼재되어 있으며 이들 중 점토와 사질 성분을 분리하기 위하여 비중선별법을 이용하였다. 여기서 점토와 사질은 비중선별에 의해 위층에는 주로 점토 성분 그리고 아래층에는 주로 사질 성분으로 분류되었다. 비중선별에 의해 분류된 점토는 대부분 수 μm 수준 이하의 미분말인 반면 사질은 비중이 크고 거칠며 입경이 큰 상태를 나타내었다. 여기서 사질 성분을 볼 밀장치(ball jar mill machine)에 의해 분쇄하였고 표준망체(standard sieve)를 이용하여 분류하여 실험에 사용하였다. 활석의 경우는 연성물질인 까닭에 볼 밀장치에 의해 손쉽게 수 μm 수준 이하의 미분말로 분쇄되었으며 이를 반응원료로 사용하였다.

2-2. 실험방법

점토는 비중선별에 의해 활석은 분쇄에 의해 모두 손쉽게 수 μm 이하의 입도를 가지므로 입도에 따른 열충격 저항성의 영향은 주로 사질 성분에만 해당된다. 그러므로 사질 성분을 50 mesh(297 μm) 미만, 70 mesh(210 μm) 미만 그리고 100 mesh(150 μm) 미만으로 세가지로 구분하여 입도별 영향을 고찰하였으며 각 입도 조건에 대한 사질 성분을 Table 1의 배합비조건에 따라 점토와 활석을 배합하여 내열토를 조제하였다.

조제된 내열토는 반죽한 후 소지내 공기를 제거하기 위하여 3회 이상 반복적으로 진공 토련기(de-airing pugmill)에 의해 탈기시켰다. 탈기된 내열토는 삼각시편 제작을 위하여 삼각형 모양의 석고틀을 제작하여 원료 소지를 석고 틀에 넣은 후 80 kgf로 압축하여 삼각시편을 얻었다. 가압 성형된 삼각시편에 대하여 25 °C에서 24 시간 건조시킨 후, 적정 소성온도로 소성시켜 내열 삼각시편을 제조하였다.

Table 1. Blending ratios of NLC-NLS-Talc system for heat-resistant earth preparation

No.	Raw materials, wt%						
	NLC	NLS	Talc	No.	NLC	NLS	Talc
1	4	40	4	29	32	12	4
2	8	36	4	30	28	12	8
3	4	36	8	31	24	12	12
4	12	32	4	32	20	12	16
5	8	32	8	33	16	12	20
6	4	32	12	34	12	12	24
7	16	28	4	35	8	12	28
8	12	28	8	36	4	12	32
9	8	28	12	37	36	8	4
10	4	28	16	38	32	8	8
11	20	24	4	39	28	8	12
12	16	24	8	40	24	8	16
13	12	24	12	41	20	8	20
14	8	24	16	42	16	8	24
15	4	24	20	43	12	8	28
16	24	20	4	44	8	8	32
17	20	20	8	45	4	8	36
18	16	20	12	46	40	4	4
19	12	20	16	47	36	4	8
20	8	20	20	48	32	4	12
21	4	20	24	49	28	4	16
22	28	16	4	50	24	4	20
23	24	16	8	51	20	4	24
24	20	16	12	52	16	4	28
25	16	16	16	53	12	4	32
26	12	16	20	54	8	4	36
27	8	16	24	55	4	4	40
28	4	16	28	-	-	-	-

3. 분 석

원료는 표준망체에 의하여 입도별로 분류하였다. 원료 성분의 화학 조성은 X-선 형광 분석기(X-ray Fluorescence Spectrometer, Philips PW2404, Philips Analytical B.V.)를 통하여 분석하였으며 소성온도에 따른 소지의 결정상의 변화를 분석하기 위하여 X-선 회절 분석기(X-ray diffraction Analyzer, Rigaku, CuK α Filter)에 의해 다음 조건(Scanning speed 2°/min, 30 kV, 20 mA, 10° \leq 2 θ \leq 70° scanning range)에서 분석하였다. 또한 소성후 시편의 표면과 파단면을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-840A)를 이용하여 관찰하였다. 본 실험에서 제조된 내열 삼각시편에 대한 열충격 저항성은 한국산업규격 KS L 1003에 의거하여 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 내열용기에서 발생하는 균열을 방지하기 위하여 원료 물질들의 무게조성비와 입도 분포의 영향을 고찰하고 공정변수의 조절을 통하여 열충격 저항성이 향상된 내열용기를 제조하고자 하였다. 원료로서 산업공정에서 실제로 이용되는 저품위의 천연 원료를 그대로 이용하여 본 연구결과가 산업공정에 직접 적용 가능하도록 하였다. 천연 원료는 산지에 따라 광물의 생성이나 변질과정이 달라 불순물의 종류와 양이 다르며 같은 산지라 하더라도 채취되는 위치나 깊이에 따라 원료 성분이나 광물 특성이 서로 상이하게 나타나므로 이처럼 순도가 낮고 다성분계 복합 물질인 원료에서 재현성 있는 내열용기를 생산해 내

Table 2. Thermal Shock Resistant Standard by KS L 1003

Type	Content	Temperature difference(°C)	Thermal shock intensity(°C)
For direct-heating (high temperature resistant)	Resistible material against steep heating and cooling with direct flame contact for heating and cooking	280-290	280≤
For direct-heating	Resistible material against direct flame contact for heating and cooking	150-160	150≤
For oven(≤ 300 °C)	Resistible material against heating of oven less than 300 °C without direct flame contact for heating and cooking	150-160	150≤
For oven(≤ 200 °C)	Resistible material against heating of oven less than 200 °C without direct flame contact for heating and cooking	120-128	120≤

기란 매우 어려운 것이 현실이다. 따라서 본 실험에서는 우선적으로 비 중선별에 의해 순도가 개선된 점토, 사질 및 활석의 원료물질을 얻었고, 얻어진 원료물질에 대하여 조제, 성형, 건조 및 소성공정을 거쳐 내열 삼각시편을 제조하였다. 제조된 내열 삼각시편은 한국산업규격 KS L 1003에 의해 열충격 저항성을 분석하였다. 열충격 저항성은 열팽창계수와 탄성계수, 곡강도, 겉보기 기공률, 열전도도에 영향을 받는다. 보통 열팽창계수와 탄성계수가 작을수록 그리고 곡강도와 겉보기 기공률 및 열전도도가 클수록 열충격 저항성은 커지는 것으로 알려져 있으나 [2] 한국산업규격에서는 이러한 각각의 항을 분석하여 열충격 저항성을 분석하기보다 Table 2에서 보는 바와 같이 열팽창계수, 탄성계수, 곡강도, 겉보기 기공률 및 열전도도가 포함된 종합적인 기준으로 내열특성을 분석하고 있다.

4-1. 성분 조성 및 입도의 영향

내열용기 제조에 필수적인 주 원료 성분으로는 점토와 사질 성분이고, 추가적으로 보통 활석이나 장석 성분이 소지의 치밀화와 기능성 제공을 위하여 첨가된다. 보통 점토와 사질의 주 원료에 장석을 소량 첨가하면 소지의 치밀화 온도를 낮출 수는 있으나 과량으로 첨가되는 경우, 미세한 균열이 발생과 소지의 강도가 저하되는 문제점을 발생시킨다[3, 4].

반면에 활석은 수화된 마그네슘 실리케이트로 장석과 동일한 효과를 발생하지만 1,000 °C 이상의 온도로 가열되는 경우 높은 열팽창계수를 가진다고 알려져 있다[2]. 따라서 본 연구에서는 점토와 사질을 주원료로 활석 성분을 첨가하여 소지의 치밀화에 필요한 소성온도를 낮추면서 내열특성을 개선하고자 하였다.

본 실험에서 이용한 3성분계의 원료 성분은 각각 나름대로의 기능을 가지고 있으며 배합 제조후 내열용기의 열충격 저항성을 강화시키는 소지로 생성되어진다. 예를 들어 점토 성분은 수 μm 수준의 미세 입자상으로 모세관력의 상승과 표면장력의 증가를 가져와 균열 발생의 원인으로 작용하나 다양한 모양으로 성형하기 위해 가소성을 부여하는 주 원료이다. 반면에 사질 성분은 큰 입자상으로 인해 큰 기공이 형성되어 이들에 의해 음식물의 흡·배출이 나타나 용기로서의 기능성을 저해하는 문제점을 가지고 있으나 소지의 뼈대와 같은 역할을 하는 주 성분이다. 그러나 사질 성분이 과량으로 첨가되면 치밀화에 필요한 소성온도의 증가를 가져와 소성비용의 증가를 초래하기도 한다. 또한 활석 성분은 소성시 상대적으로 낮은 온도 범위에서 유리화되어 소지내 점토와 사질 성분 입자들을 서로 연결시켜 주어 소성처리 비용을 감소시키나 [5] 과량 첨가시 열충격에 약하고 미세한 균열이나 깨어짐의 발생 원인이 되기도 한다. 결국 이 3성분의 최적화로 내열용기에 적합한 조제도를 조절하는 것이 바람직하며 이를 위해 Table 1과 같이 배합 성분비를 변화시켜 그에 따른 열충격 저항성을 고찰하였다.

Table 3은 분급된 원료 성분 X-선 형광 분석에 의한 성분 분석결과이다. 이 결과에서 보면 사질 성분의 경우 SiO_2 함량이 50% 미만의 저품위 원료임을 알 수 있고, 활석의 경우에도 MgO 함량이 30% 미만의 저급의 원료임을 알 수 있다.

Table 3. XRF result of raw materials

Comp.	Starting materials		
	NLC	NLS	Talc
SiO_2	46.45	49.03	47.65
Fe_2O_3	2.10	2.21	7.41
Al_2O_3	34.89	31.47	6.40
TiO_2	0.17	0.10	0.17
MnO	0.02	0.02	0.09
CaO	2.53	7.16	1.67
MgO	0.71	1.03	27.16
K_2O	0.41	0.60	1.28
Na_2O	0.75	2.15	0.13
P_2O_5	0.02	0.03	0.14
L.O.I.	11.32	6.18	7.96
Total	88.05	93.8	92.1

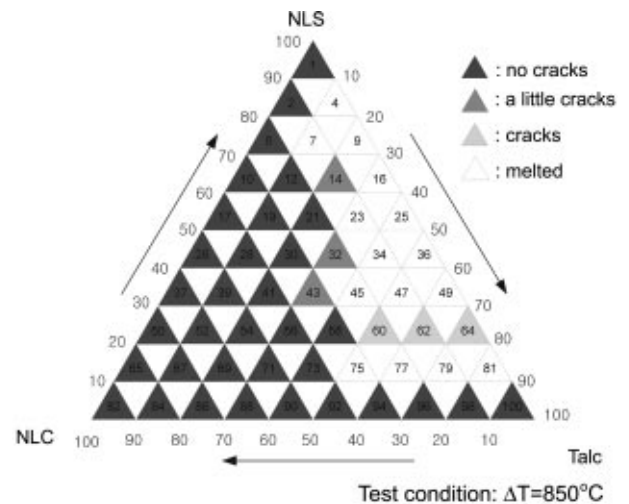


Fig. 1. Diagram of thermal shock resistivity on NLS with the range of particle sizes under 50mesh.

Fig. 1-3은 입도와 성분 배합비를 변화시켜 제조한 내열 삼각시편에 대하여 한국산업규격, KS L 1003에 의해 분석한 열충격 저항성의 결과이다. Fig. 1-3의 분석결과에서 보면 검은 색으로 표시된 부분은 전혀 균열이나 비틀림 등이 발생되지 않은 성분비 영역이고, 짙은 회색으로 표시된 부분은 미세한 균열이나 깨어짐, 그리고 약간의 비틀림이 발생된 성분비 영역이다. 또한 연한 회색으로 표시된 부분은 다량의 균열이나 깨어짐이 발생한 영역이고, 흰색으로 나타난 부분은 소지가 바닥판에 용해되거나 회수가 불가능한 수준의 성분 조성비 영역이다. Fig. 1-3에서 보는 바와 같이 Fig. 1은 입도 조건이 50 mesh(297 μm)미만이고 Fig. 2는 70 mesh(210 μm) 미만 그리고 Fig. 3은 100 mesh(150 μm) 미만으로

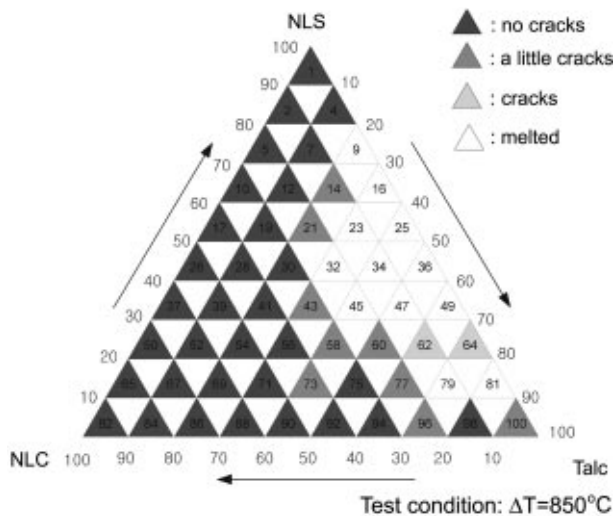


Fig. 2. Diagram of thermal shock resistivity on NLS with the range of particle sizes under 70mesh.

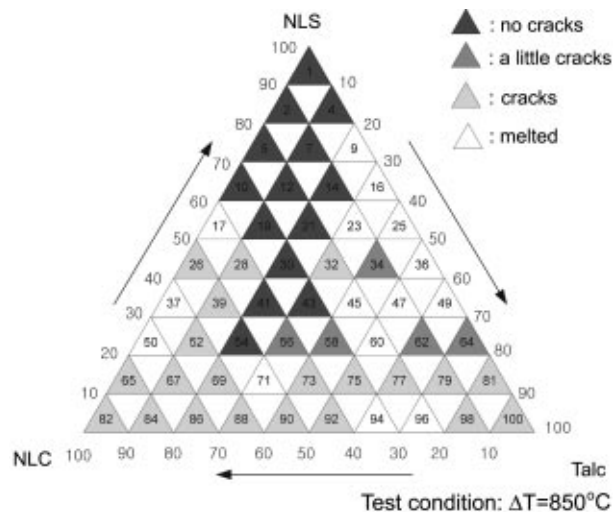


Fig. 3. Diagram of thermal shock resistivity on NLS with the range of particle sizes under 100mesh.

로 제조한 삼각시편에 대한 열충격 저항성의 분석결과이다. 이 결과에서 보면 입도가 큰 범위일수록 균열 발생이 감소함을 알 수 있다. 이는 입도범위가 큰 내열소지의 경우, 큰 기공이 열충격을 흡수할 만한 충전층으로 작용하여 열팽창을 흡수하였기 때문이다.

입도 범위는 작을수록 용기로서의 기능성을 만족시킬 수 있고, 기능성이 만족된 조건하에서 성분비에 따른 열충격 저항성이 가장 높은 최적 범위를 찾는 것이 본 연구의 목표이므로 Fig. 1-3의 결과 중 입도 범위가 가장 작은 Fig. 3을 선택하는 것이 바람직하다. 그러나 Fig. 3의 범위 내에서도 최적 성분비 범위를 찾기 위해서는 Fig. 1과 2의 조건과도 부합되는 성분비 범위를 고려하여야만 할 것이다. Fig. 1-3의 분석결과에 의하여 내열용기 생산시에 적합한 성분 조성비를 제시하면 점토, 사질 및 활석의 조성비가 0.33 : 0.50 : 0.17, 0.33 : 0.42 : 0.25, 0.42 : 0.33 : 0.25인 배합비 조건이 적합한 것으로 나타났다.

점토 성분은 미세하여 모세관력의 상승과 표면장력의 증가를 가져와 균열 발생의 직접적인 원인으로 작용하나 다양한 모양으로 성형하기 위해서는 반드시 필요한 주원료이고, 사질 성분은 소지의 고강도 및 열충격 강도를 향상시키나 과량으로 존재시 치밀화에 필요한 소성온도의 증가를 가져와 약 1,300 °C 이상 높은 소성온도에서만 소지의 최대 강도

를 발휘하게 되어 에너지 비용을 증가시킨다. 또한 활석 성분은 소성시 상대적으로 낮은 온도 범위에서 소지를 유리질화시켜 소성처리 비용을 감소시킨다. 이처럼 각 성분의 역할과 서로 다른 성질을 고려한다면 3가지 조성비 가운데 내열소지에 적합한 점토, 사질 및 활석의 배합비는 0.42, 0.33 및 0.25임을 알 수 있다.

4-2. 소성온도의 영향

Fig. 4는 앞에서 내열용기에 적합한 조건으로 확인된 100 mesh 미만의 입도조건하에서 0.42, 0.33 및 0.25의 점토, 사질 및 활석 성분 조성비로 배합되어 제조된 삼각시편에 대하여 여러 소성온도 변화에 따른 X선 회절 분석 결과이다. 이 XRD 분석결과에서 보면 1,200 °C 소성처리후 물라이트 결정상이 나타나고 있으며 1,400 °C에서는 모두 물라이트 결정상으로 변화되었음을 알 수 있다.

Fig. 5(a)-(c)는 여러 소성온도에 따른 입자의 결정구조 변화를 주사전 자현미경으로 관찰한 사진이다. 이 결과에서 보면 소성온도 증가에 따라 침상형의 물라이트(mullite) 결정구조로 전이되어 가고 있음을 볼 수 있다. 일반적으로 물라이트 성분은 재료의 강도를 증가시키는 것으로 알려져 있으나[6] 1,300 °C 이상의 소성조건에서는 물라이트의 침상구조에 의해 오히려 거대 기공이 발생되고 있음을 알 수 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 소성온도는 1,200 °C가 소지내 물라이트 결정상을 유도하면서 거대기공의 발생을 막을 수 있는 조건이므로 1,200 °C를 중심으로 명확한 소성온도를 규명하고자 하였다. Fig. 6(a), (b)는 1,200 °C 중심으로 1,150 °C와 1,230 °C의 두 가지 소성온도를 선택하여 소성처리한 후 얻은 내열소지의 파단면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. 이 결과에서 보면 점토, 사질 및 활석을 최적 성분 배합비로 배합하여 1,150 °C로 소성 처리시켜 얻은 내열소지의 경우, Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 기공이 3차원 통로로 연결된 불규칙한 거대 기공이 다량 존재하고 있음을 알 수 있는 반면에 1,230 °C 소성 처리된 내열용기의 경우, Fig. 6(b)과 같이 소지가 소결되어 거대 기공이 사라지고 있음을 볼 수 있다.

다음 Fig. 7(a), (b)는 최적조건으로 선택된 조제된 원료를 사용하여 내열용기를 제조한 후 1,150 °C와 1,230 °C 조건에서 소성시킨 내열용기에 대하여 염분의 흡·배출 현상을 관찰하기 위하여 내부에 소금물을 담은 후 30일 후의 모습을 관찰한 사진이다. 1,150 °C로 소성처리한

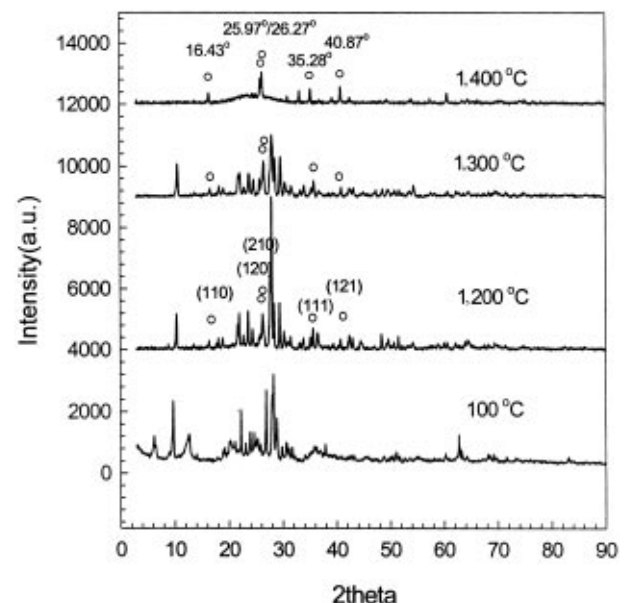


Fig. 4. XRD pattern of heat-resistant earth according to various calcination conditions.

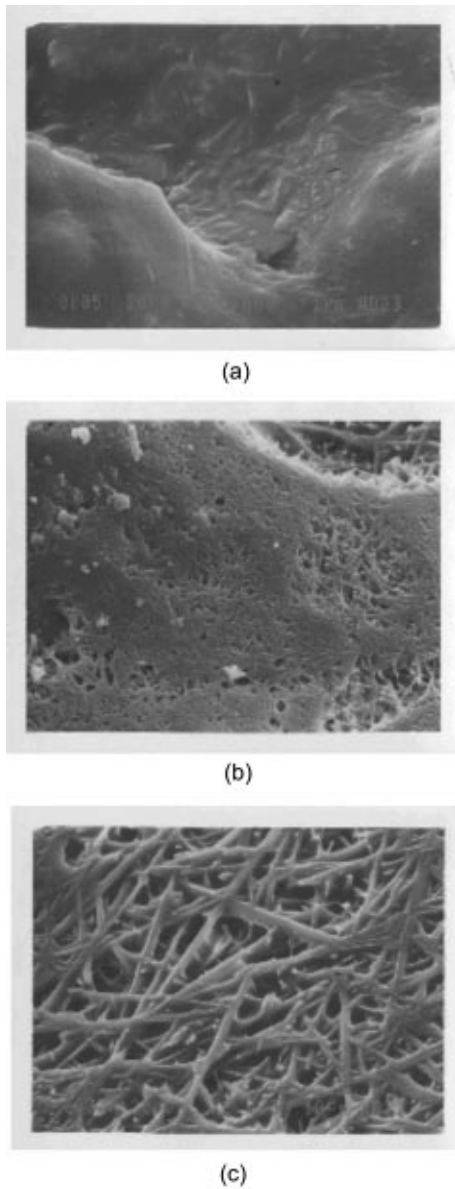


Fig. 5. SEM Photographs of heat-resistant containers according to calcination temperature; (a) 1,200 °C (b) 1,300 °C, (c) 1,400 °C.

내열용기의 경우 Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 소지내 기공이 크고 열려 있어 이 기공 층을 통한 염분의 배출되어지고 있음을 볼 수 있으며 1,230 °C로 소성처리한 내열용기의 경우 Fig. 7(b)에서 보는 바와 같이 전혀 염분이 배출되지 않고 있음을 볼 수 있다. 이는 Fig. 6(b)에서 보는 바와 같이 소지가 소결되어 열린 거대기공이 사라짐으로서 나타난 결과로 판단된다. 그러므로 저장성을 갖는 내열용기에 적합한 소성온도 범위는 1,230 °C 조건이 적절한 소성온도 범위임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 내열용기 제조를 목표로 점토, 사질 및 활석 성분을 선정하여 원료 배합비 조건과 입도 조건에 따른 열충격 저항성을 고찰하였으며 입도 조건별로 원료 성분의 배합비를 변화시켜 제조한 시편에 대하여 열충격 저항성 분석 결과를 3성분계 삼각좌표로 나타내었다. 입도의 영향을 고찰한 결과, 사질 성분의 입도 조건이 큰 경우 열충격 저항성이 증가하였으나 열충격 저항성만을 고려하여 사질 성분의 입도 조

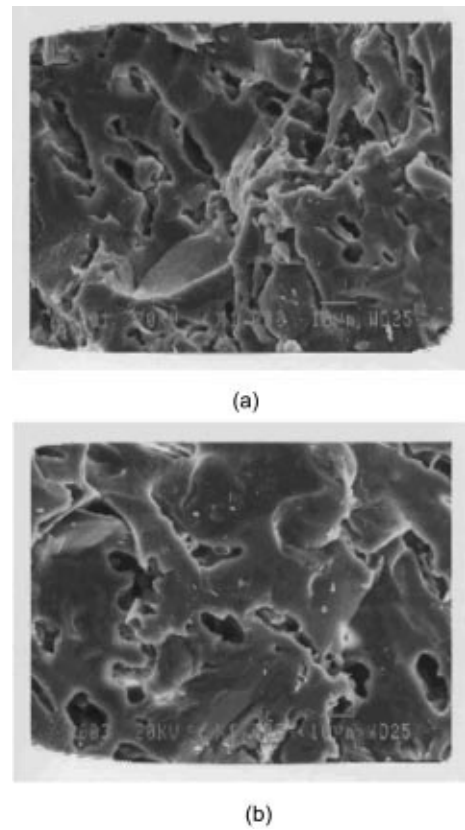


Fig. 6. SEM Photographs of heat-resistant containers according to calcination temperature; (a) 1,150 °C, (b) 1,230 °C.

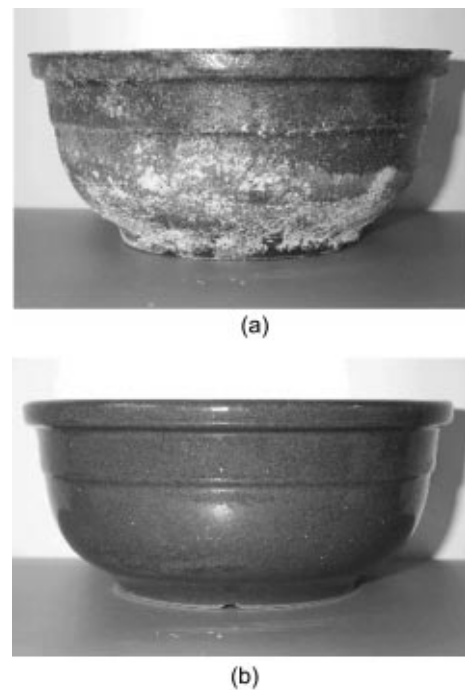


Fig. 7. Photograph of heat-resistant container with salt solution according to calcination temperature; (a) 1,150 °C, (b) 1,230 °C.

건을 크게 유지하는 경우 음식물내 염분의 흡·배출 현상이 나타나 내열용기로서의 기능성을 다하지 못하므로 이를 방지하기 위하여 100 mesh 수준 이하의 입도 유지는 필수적이다. 본 연구결과 100 mesh 이

하의 입자 범위를 유지한 상태에서 내열특성이 우수한 최적의 성분 조성비 조건을 모색한 결과, 최적의 성분조성비는 점토, 사질 및 활석의 배합비가 0.42, 0.33 및 0.25의 조건에서 내열특성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 내열용기 제조에 적합한 소성온도 조건은 1,230 °C에서 소지를 치밀화시키고 물라이트화가 이루어져 내열특성 강화에 적합한 조건임을 알 수 있었다.

감 사

본 연구는 중소기업청의 2001년도 중소기업청 기술혁신사업의 연구비 지원을 받아 수행하였으며 이에 감사드립니다. 아울러 도움을 주신 서울대학교 기초과학교육연구공동기기원 강미정 씨께 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee J. G., Song J. T., Kim B. H., Han S. M., Kim H., Park J. H. and Kim C. Y., *Ceramic Engineering*, Bando Publishing Co., Korea(1991).
2. Lee H. R. and Lee H. J., *Introduction of Fine Ceramic Manufacturing Process*, Bando Publishing Co., Korea(1995).
3. Sugiyama, N., Ryusuke Harada, R. and Ishida, H., "Densification Process and Mechanical Strength of Feldspathic Porcelain Body," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **104**(4), 312-316(1996).
4. Kobayashi, Y. and Kato, E., "Low-Temperature Sintering of Porcelain in CaO-Al₂O₃-SiO₂ System," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **108**(3), 271-276(2000).
5. Carty, W. M. and Senapaty, U., "Porcelain-Raw Materials, Processing, Phase Evolution, and Mechanical Behavior," *J. Am. Ceram. Soc.*, **81**(1), 3-20(1998).
6. Shin, H. H., Kim, C.-S. and Chang, S.-N., "Mullitization from a Multicomponent Oxide System in the Temperature Range 1200-1500 °C," *J. Am. Ceram. Soc.*, **83**(5), 1237-1240(2000).