

## 석탄회를 이용한 미생물 고정화 세라믹 담체 제조

신대용<sup>†</sup> · 한상목\* · 최신건\*\*  
강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터  
\*강원대학교 신소재공학과  
\*\*강원대학교 바이오산업공학부  
(2002년 6월 24일 접수; 2002년 9월 6일 승인)

## Synthesis of Ceramic Support for Immobilization of Microorganisms Using Fly Ash

Dae Yong Shin<sup>†</sup>, Sang Mok Han\* and Shin Geon Choi\*\*

Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products,  
Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

\*Department of Advanced Materials Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

\*\*School of Biotechnology and Bioengineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received June 24, 2002; Accepted September 6, 2002)

### 초 록

석탄회와 벤토나이트 및 이스트 분말의 성형체를 800~1,000°C에서 1시간 소성하여 수질정화용 미생물 고정화 세라믹 담체를 제조하여 기공·기계적 특성을 조사하였다. 석탄회와 벤토나이트(FB)시편은 벤토나이트의 첨가량과 소성온도가 증가함에 따라 기공특성은 감소하였으나 압축강도는 증가하였다. 800~1,000°C에서 소성한 FB시편은 압축강도 89.6~128.9 kgf/cm<sup>2</sup>, 부피비중 1.25~1.43, 겉보기비중 1.61~1.78, 기공률 27.2~62.2%, 평균기공경 7.9~25.6 μm, 기공용적 8.9~22.2×10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>/g 및 비표면적 35.2~134.3 m<sup>2</sup>/g을 나타내었다. 이스트 분말을 첨가한 FBY시편은 FB시편에 비하여 기공특성이 향상되었으나 압축강도는 감소하였다. 9F1B시편에 10 wt%의 이스트 분말을 첨가하여 900°C에서 1시간 소성한 9F1B1Y시편은 압축강도 98.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 부피비중 1.20, 겉보기비중 1.67, 기공률 68.1%, 평균기공경 48.9 μm, 기공용적 29.5×10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>/g 및 152.2 m<sup>2</sup>/g의 비표면적을 나타내었으며, 담체의 기공에 *S. saprophyticus*의 부착특성이 양호하여 수질정화용 미생물 고정화 담체로 이용이 가능하였다.

### ABSTRACT

Porous ceramic supports with immobilized microorganisms for the water purifier were synthesized by firing green compacts of mixed powder comprising of fly ash, bentonite and an additive of yeast powder at 800~1,000°C for 1 h and the pore and mechanical properties of specimens were investigated. The compressive strength was increased in FB (Fly Ash + Bentonite) specimens while pore properties was decreased with increasing the bentonite content and sintering temperature. The compressive strength, bulk density, apparent density, porosity, mean pore size, pore volume and specific surface area of FB specimens at 800~1,000°C were 89.6~128.9 kgf/cm<sup>2</sup>, 1.25~1.43, 1.61~1.78, 27.2~62.2%, 7.9~25.6 μm, 8.9~22.2×10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>/g and 35.2~134.3 m<sup>2</sup>/g, respectively. The pore properties of FBY (FB+yeast powder) specimens were superior to that of FB specimens, however compressive strength was decreased with increasing yeast powder content. The overall properties of 9F1B1Y (9F1B+10% of yeast powder) specimens at 900°C for 1 h were 98.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 1.20, 1.67, 68.1%, 48.9 μm, 29.5×10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>/g and 152.2 m<sup>2</sup>/g, respectively. In this study, it was revealed that 9F1B1Y specimen demonstrated better *S. saprophyticus* adherence properties on their surface pores. Consequently, the microorganisms immobilized on porous ceramic supports showed better water purifying performance with many pores and adequate strength.

**Key words :** Immobilization of microorganisms, Porous ceramic support, Fly ash, Bentonite, Yeast powder, Water purifier

### 1. 서 론

질소와 인과 같은 영양염류는 하천의 부영양화, 적조현상 및 대사물질인 Geosmin과 2-MIB(2-methyl-isoborneol) 등

을 발생시켜 상수원을 악화시키므로,<sup>1-3)</sup> 오·폐수 중의 유기물이나 질소와 인의 제거가 필요하다. 질소와 인을 제거 방법인 카본흡착법은 탈착과 재처리를 위한 2차처리공정의 설치비용과 에너지의 소비가 크며, 증발법은 대기오염을 가속화시키고 활성오니처리법은 효율이 낮고 저울철의 팽화현상이나 2차오염이 문제되어,<sup>4)</sup> 최근에는 혐·호기성 여과조에 자갈이나 제올라이트 등을 첨가한 접촉여과처리법이나 생물막법 등이 이용되고 있다.<sup>5-7)</sup> 담체를 이용한 생

<sup>†</sup>Corresponding author : Dae Yong Shin  
E-mail : shinmater@hanmail.net  
Tel : +82-33-250-6261 Fax : +82-33-250-6260

물학적 처리법은 다양한 미생물의 군집에 의한 pH 변화, 난분해성 물질의 유입에 따른 대처능력과 슬러지 침전성 향상 등의 장점에 의하여 오·폐수 처리뿐 만 아니라 악취제거 공정에도 활용되고 있다.<sup>3,8,9)</sup> 초기에는 미생물의 고정화 담체로 주로 천연석이 이용되었으나, 오염물질 제거율의 향상을 위하여 세라믹 담체의 이용이 확대되고 있다.<sup>10)</sup>

폐기물인 석탄회의 발생량은 해마다 증가하여 많은 환경문제를 발생시키고 있다.<sup>11)</sup> 선진국에서 석탄회는 60% 이상 재활용되고 있으나, 국내의 재활용률은 15% 정도로서 일부 공업적인 이용을 제외하고는 재활용이 미진한 실정이다.<sup>12)</sup> 석탄회의 성분은  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로서 물리·화학적 특성이 점토와 유사하여 석탄회를 이용한 수질정화용 담체를 제조하면 석탄회의 매립에 따른 환경문제 및 처리비용의 절감효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 석탄회, 벤토나이트 및 기공조절제인 이스트 분말의 혼합원료를 800~1,000°C에서 소성하여 다공질 담체를 제조하여 혼합조성과 소성온도에 따른 기공·역학적 특성을 측정하였으며, 수질정화용 미생물 고정화 담체로서의 이용 가능성을 검토하기 위하여 *S. saprophyticus*를 담체에 고정화시켜 기공특성에 따른 미생물의 부착특성에 대하여 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시편제조

석탄회와 벤토나이트의 화학성분을 Table 1에 표시하였다. 진보<sup>13)</sup>와 같이 비중선별법으로 분리한 영동화력발전소의 cenosphere 형상의 석탄회에 가소성을 부여하기 위하여 10~50 wt%의 벤토나이트(공업용, 덕유통상)와 기공조절제로서 이스트 분말(공업용, 한일화학)을 3, 5 및 10 wt% 첨가한 후, 일축유압프레스를 이용하여 약 50 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 펠렛형 시편을 성형하여 5°C/min의 승온속도로 800~1,000°C에서 1시간 소성하여 다공체를 제조하였다. 제조한 다공체를 오수와 토양에서 잘 번식하고 질소와 인의 제거능력이 큰 *Staphylococcus*속의 *S. saprophyticus*<sup>2)</sup>가  $5 \times 10^8$ 개 존재하는 용액에 2일간 침적하여 *S. saprophyticus*의 고정화를 행하였다.

### 2.2. 특성분석

시료의 화학성분, 입도분석과 열분석은 XRF(Philips, PW 140, Holland), 입도분석기(Shimazu, SA-CP3, Japan) 및

TG-DTA(Rigaku, PTC-10, Japan)를 이용하였으며, 시편의 결정상 분석은 XRD(Philips, Co. PW1720, Holland)를 이용하여 측정하였다. 시편의 부피·겉보기비중, 흡수율 측정은 KS L 3114를 이용하였으며, 시편의 기공크기, 기공용적 및 비표면적은 기공률측정기(Micromeritics, Autopore 9220, U.S.A.) 및 비표면적측정기(Micromeritics, ASAP 2010C, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다. 시편의 압축강도는 KS L 1610에 의하여 만능시험기(United Co., SFM, U.S.A.)를 이용하여 측정하였으며, 시편의 미세구조는 SEM(Jeol-JSM 5410, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 출발원료 특성

석탄회의 재활용을 위하여는 석탄회의 색상, 화학성분, 형상, 입자크기 및 결정상 등에 따른 선별처리가 필요하다.<sup>11)</sup> ASTM에서는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  함량이 70 wt% 이상이면 F급, 3종류의 산화물이 50~70 wt%이고 CaO가 10 wt% 이상이면 C급으로 분류한다.<sup>12)</sup> 본 연구에서 이용한 석탄회는 평균입경이 15.3  $\mu\text{m}$ 이었으며,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 81.8 wt%,  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{MgO}$ 와 같은 알칼리 성분이 미량 함유된 F급 석탄회로서 C급 석탄회에 비해 소결성이 부족하고 강열감량이 11.17 wt%로 석탄회를 이용한 세라믹스를 제조하기 위하여는 벤토나이트와 같은 점토류의 첨가가 필요하였다.

벤토나이트는 세라믹 제조시 성형성 및 건조·소성강도 증진제, 주물사나 연탄용 결합제 및 토양개량제 등에 이용되며, 주광물인 montmorillonite [ $\text{M}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Li})_4(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ]의 금속이온(M)에 따라 Na과 Ca-벤토나이트로 구분된다.<sup>14)</sup> 본 연구에서 이용한 벤토나이트는 평균입경이 12.9  $\mu\text{m}$ 이었으며,  $\text{SiO}_2$ 가 64.02 wt%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 16.2 wt%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 2.7 wt%,  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{MgO}$ 가 2.5 및 2.6 wt%인 Na-벤토나이트이었다.

석탄회와 벤토나이트의 XRD 분석을 Fig. 1에 나타내었다. 석탄회의 주결정상은 mullite( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ )와 quartz( $\text{SiO}_2$ )이었으며, 벤토나이트는 montmorillonite이외에 quartz 및 albite( $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$ )로 이루어져 있다.

석탄회와 벤토나이트의 혼합비가 9:1인 9F1B시료와 9F1B에 10 wt%의 이스트 분말을 첨가한 9F1B1Y시료의 열분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 9F1B시료는 80~200°C에서 흡착수의 이탈에 의한 흡열피크, 400~500°C에서

Table 1. Chemical Composition of Fly Ash and Bentonite

Sample	Comp.	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{TiO}_2$	MnO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	Ig.loss
Fly ash		47.06	30.95	3.89	0.58	0.69	1.72	0.04	3.63	0.03	0.23	11.17
Bentonite		64.02	16.23	2.67	2.20	2.62	—	—	0.48	2.51	—	8.79

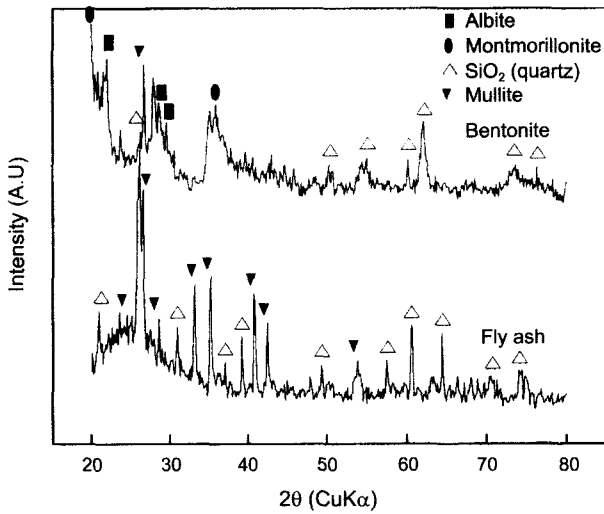


Fig. 1. XRD analysis of fly ash and bentonite.

montmorillonite의 구조수 탈수에 의한 흡열피크<sup>14)</sup> 및 500~800°C에서 미연탄소의 연소에 의한 발열피크와 약 15 wt%의 중량감소가 관찰되었으며, 800°C 이상에서 열적평형에도달하였다(Fig. 2(a)). 9F1B1Y시료는 400~550°C에서 이스트의 분말의 연소에 의한 발열피크와 600~800°C에서 석탄회에 함유된 미연탄소의 연소에 의한 발열피크가 관찰되었으며, 약 16.5 wt%의 중량감소를 나타내었다(Fig. 2(b)). 따라서, 석탄회와 벤토나이트를 이용하여 세라믹스를 제조하기 위하여는 800°C 이상의 소성이 필요하였다.

3.2. 석탄회-벤토나이트계 시편(FB)의 특성

FB시편의 혼합조성과 소성온도에 따른 XRD 분석을 Fig. 3에 나타내었다. 혼합조성과 소성온도에 관계없이 시편에는 montmorillonite, albite 및 quartz상 이외에 미량의 mullite상의 피크가 관찰되었다. 석탄회의 첨가량이 증가함에 따라 시료 중의 알칼리성분과 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 반응하여 albite상의 피크강도는 증가하였으나, quartz와 mullite상은 감소하였다(Fig. 3(a)). 700과 800°C로 소성한 9F1B시편은 montmorillonite와 quartz상의 피크가 관찰되었으나, 900°C에서는 montmorillonite의 층상구조 파괴에 의하여 montmorillonite상의 피크강도가 감소하였으며, 용액의 생성에 의하여 quartz상의 피크강도는 감소하였다(Fig. 3(b)). 따라서, 벤토나이트의 첨가량과 소성온도가 증가함에 따라 montmorillonite상의 감소와 용액의 생성에 의하여 소결성이 증진되어 시편의 기공특성은 감소하고 압축강도가 증가함을 예상할 수 있다. 이스트 분말을 첨가한 시편의 XRD 분석은 FB시편과 동등하였다.

미생물 고정화 담체의 이용 가능성을 조사하기 위하여 혼합조성과 소성온도에 따른 FB시편의 기공특성과 압축강도를 Table 2에 표시하였다. 석탄회의 첨가량이 증가함에 따라 형성된 개기공에 의하여 부피비중은 감소하고 겉보기비중, 기공률, 기공크기, 기공용적 및 비표면적은 증가하였으나, 석탄회의 첨가량이 감소함에 따라 CaO와 Na<sub>2</sub>O의 알칼리성분과 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 반응하여 생성된 용액에 의하여 시편내에 폐기공이 형성되어 겉보기비중은 감소하였다.<sup>7,15)</sup> 소성온도가 증가함에 따라 기공특성은 전반적으로 감소하였다. 담체의 기공은 미생물의 서식처로서 기공률이 높을수록 많은 양의 미생물의 서식이 가능하다. 오·폐수 처리에 이용되는 미생물의 크기는 약 0.1~수십 μm이므로 기공의 크기가 미생물의 10배 이상이 되어야 클러킹(clogging)현상을 방지할 수 있으므로 미생물의 고정화를 위하여는 담체내에는 수~수십 μm의 기공이 분포되어야 한다.<sup>5,6)</sup> 또한, 유체의 전단응력으로부터 부착된 미생물을 보호하기 위하여 높은 비표면적이 요구된다.<sup>5)</sup> 900°C에서 1시간 소성한 9F1B시편은 부피비중 1.28, 겉보기비중 1.71, 기공률 58.5%, 흡수율 57.3%, 기공크기 24.5 μm, 기공용적 20.3×10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>/g, 비표면적 123.8

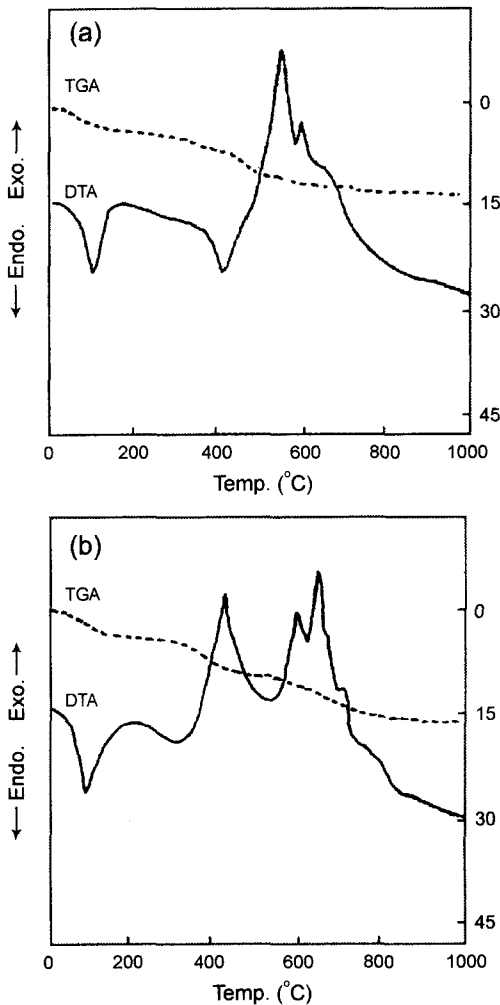


Fig. 2. TG-DTA analysis of 9F1B(a) and 9F1B1Y(b).

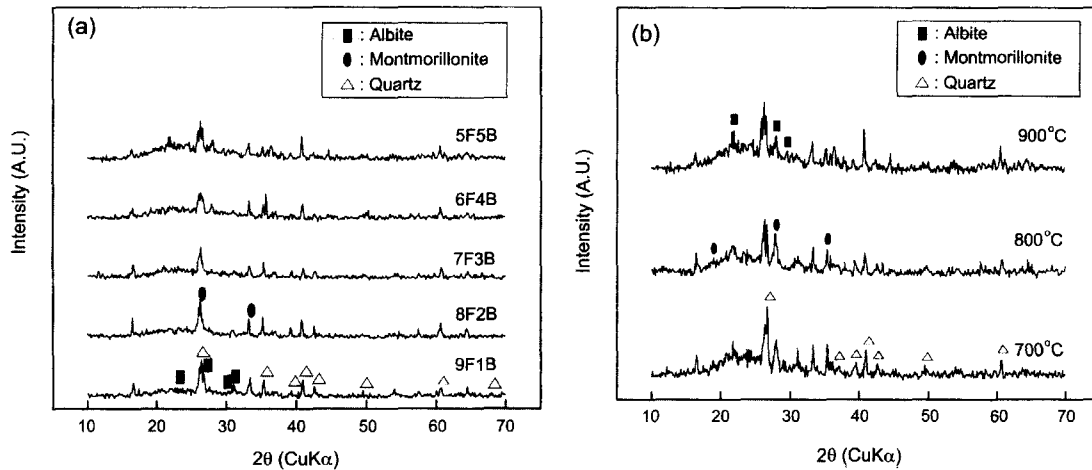


Fig. 3. XRD analysis of FB specimens sintered at 900°C for 1 h(a) and 9F1B specimen with sintering temperature(b).

Table 2. Physical · Mechanical Properties of FB Specimens with Composition and Sintering Temperature

Specimen	B. D.	A. D.	P. (%)	W. A. (%)	M. P. S. (μm)	P. V. (×10 <sup>-5</sup> cm <sup>3</sup> /g)	S. S. A. (m <sup>2</sup> /g)	C. S. (kgf/cm <sup>2</sup> )	S. T (°C)
9F1B	1.25	1.78	62.2	64.4	25.6	22.2	134.3	89.6	800
	1.28	1.71	58.5	57.3	24.5	20.3	123.8	102.1	900
	1.31	1.67	45.3	47.3	12.4	17.4	118.2	111.3	1,000
8F2B	1.28	1.70	51.7	61.0	22.1	18.9	121.2	93.6	800
	1.30	1.67	46.6	51.2	17.3	16.8	117.8	115.7	900
	1.34	1.66	40.3	43.3	10.5	14.2	98.9	113.5	1,000
7F3B	1.28	1.67	39.4	57.2	18.2	16.8	105.2	95.6	800
	1.34	1.65	38.5	39.2	13.3	14.3	98.3	124.4	900
	1.37	1.61	32.2	37.9	10.1	12.2	69.3	127.8	1,000
6F4B	1.31	1.68	36.1	48.1	12.8	16.6	87.3	99.6	800
	1.36	1.65	35.6	31.3	13.6	13.8	68.9	118.9	900
	1.43	1.64	34.3	32.1	9.2	11.2	65.2	123.3	1,000
5F5B	1.33	1.72	38.2	38.3	13.4	13.1	73.2	102.2	800
	1.37	1.64	29.8	28.7	11.8	10.2	45.6	115.3	900
	1.43	1.62	27.2	26.4	7.9	8.9	35.2	128.9	1,000

B.D.; Bulk Density, A.D.; Apparent Density P.; Porosity, W.A.; Water Absorption, M.P.S.; Mean Pore Size, P.V.; Pore Volume, S.S.A.; Specific Surface Area, C.S.; Compressive Strength, S.T.; Sintering Temperature

m<sup>2</sup>/g 및 압축강도 102.1 kgf/cm<sup>2</sup>의 값을 나타내었다. 현재, 시판되고 있는 담체의 겉보기비중, 기공률 및 압축강도는 1.6~1.8, 60~80% 및 100 kgf/cm<sup>2</sup> 정도로서,<sup>16)</sup> 본 연구에서 제조한 FB시편은 미생물 고정화 담체로서 사용이 가능하였으나, 담체의 기공특성을 향상시키기 위하여 9F1B시편에 기공조절제인 이스트 분말을 3, 5 및 10 wt% 첨가하여 실험을 행하였다.

9F1B 시편의 소성온도에 따른 미세조직을 Fig. 4에 나타내었다. 석탄회의 첨가량이 감소하고 소성온도가 증가함에 따라 시료 중의 알칼리성분과 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 반응하여 생성된 용액에 의하여 시편의 기공이 메워져 기공의 크기와 분포가 감소하였다.<sup>15)</sup>

### 3.3. 석탄회-벤토나이트-이스트계 시편(FBY)의 특성

FB시편의 기공특성 향상을 위하여 이스트 분말을 3, 5 및 10 wt% 첨가하여 900°C에서 1시간 소성한 9F1BY시편의 기공특성과 압축강도를 Table 3에 표시하였다. Fig. 2의 열분석 결과와 같이 이스트 분말은 400~500°C에서 연소되어 기공형성 사이트로 잔존하므로 이스트 분말의 첨가량이 증가함에 따라 부피비중과 압축강도는 감소하였으나, 겉보기비중, 기공률, 흡수율, 기공크기, 기공용적 및 비표면적은 증가하였다. 일반적으로 세라믹 담체의 기공이 구형이고 BCC 충전구조를 취하면 약 65%의 기공률에서 기공간의 연결이 시작되며 기공률이 75% 이상이면 3차원적 망목형의 기공이 형성된다.<sup>5)</sup> 10 wt%의 이스



Fig. 4. SEM photographs of 9F1B specimen heated at 900°C(a) and 1,000°C(b) for 1 h.

Table 3. Physical · Mechanical Properties of 9F1BY Specimens

Specimen	B. D.	A. D.	P. (%)	W. A. (%)	M. P. S. (m)	P. V. ( $\times 10^{-5} \text{cm}^3/\text{g}$ )	S. S. A. ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	C. S. ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )
9F1B0.3Y	1.23	1.63	63.8	60.2	35.6	23.3	143.1	100.3
9F1B0.5Y	1.22	1.64	66.2	63.4	39.8	27.1	148.9	101.5
9F1B1Y	1.20	1.67	68.1	66.2	48.9	29.5	152.2	98.7

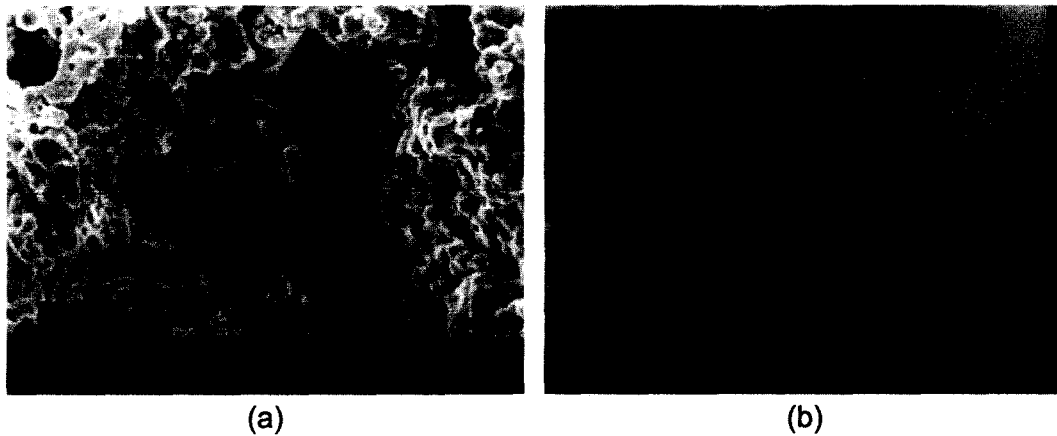


Fig. 5. SEM photographs of 9F1B1Y(a) and magnified 9F1B1Y(b) specimen heated at 900°C for 1 h.

트 분말을 첨가한 9F1B1Y시편은 부피비중 1.20, 겉보기 비중 1.67, 기공률 68.1%, 흡수율 66.2%, 기공크기 48.9  $\mu\text{m}$ , 기공용적  $29.5 \times 10^{-5} \text{cm}^3/\text{g}$ , 비표면적  $152.2 \text{m}^2/\text{g}$  및 압축강도  $98.7 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 값을 나타내어 이스트 분말을 첨가하지 않은 FB시편에 비하여 기공특성이 향상되었다.

900°C로 소성한 9F1B 시편의 SEM사진을 Fig. 5에 나타내었다. 시편내에 10~50  $\mu\text{m}$  정도의 기공이 분포되어 미생물 서식지로서 적합하였다. 또한, 기공끼리 서로 연결된 3차원적 망목형 기공구조를 형성하여 물질의 이동 뿐 만 아니라 미생물 서식처로서 적합하였다.<sup>5)</sup>

### 3.4. 미생물의 부착특성

9F1B와 9F1B1Y시편의 미생물 부착특성을 조사하기 위하여 *S. saprophyticus*를 고정화시킨 시편의 표면 SEM 사진을 Fig. 6에 나타내었다. 이스트 분말을 첨가하지 않은 9F1B시편(Fig. 6(a))에 비해 9F1B1Y시편(Fig. 6(b))의 *S. saprophyticus*의 부착특성이 양호함을 관찰할 수 있다. 따라서, FB시편에 기공조절제인 이스트 분말의 첨가에 의하여 시편의 기공특성이 향상되었으며, 3차원적 망목형 기공구조에 의하여 *S. saprophyticus*의 부착이 양호하여 수질정화용 미생물 고정화 담체로서 이용이 가능하였다.

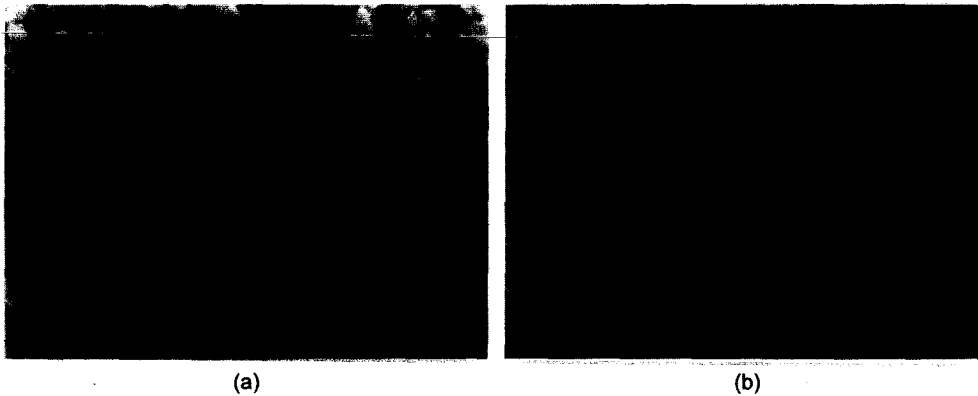


Fig. 6. SEM photographs of immobilization of *S. saprophyticus* on 9F1B(a) and 9F1B1Y(b) specimen.

#### 4. 결 론

1. 석탄회의 첨가량이 감소하고 소성온도가 증가함에 따라 시편의 부피비중과 압축강도는 감소하였으나, 기공 특성은 증가하였다. 900°C에서 1시간 소성한 9F1B시편은 부피비중 1.28, 겉보기비중 1.71, 기공률 58.5%, 흡수율 57.3%, 기공크기 24.5  $\mu\text{m}$ , 기공용적  $20.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$ , 비표면적 123.8  $\text{m}^2/\text{g}$  및 압축강도가 102.1  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로서 다공질 담체로 사용이 가능하였다.

2. 이스트 분말을 첨가한 FB1Y시편은 FB시편에 비하여 부피비중과 압축강도는 감소하였으나, 기공특성은 증가하였다. 900°C에서 1시간 소성한 9F1B1Y시편은 부피비중 1.20, 겉보기비중 1.67, 기공률 68.1%, 흡수율 66.2%, 기공크기 48.9  $\mu\text{m}$ , 기공용적  $29.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$ , 비표면적 152.2  $\text{m}^2/\text{g}$  및 압축강도가 98.7  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이었으며, 시편에 형성된 3차원적 망목형 기공구조에 의하여 *S. saprophyticus*의 부착이 잘 이루어져 수질정화용 미생물 고정화 담체로 이용이 가능하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 2002년도 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

#### REFERENCES

1. J. M. Lim, H. S. Shin, J. J. Jeong, N. H. Lee, M. H. Min and S. H. Lee, Industrial Wastewater Treatment Engineering; Vol. 1, pp. 69-81, Shinkwang Press, Seoul, 1996.
2. H. G. Song and G. H. Oh, Environmental Microbiology; Vol. 1, pp. 45-59, Dongwha Technoly Press, Seoul, 2000.
3. G. Bitton, Wastewater Microbiology; Vol. 1, pp. 89-198, John Wiley & Sons, INC., New York, 1994.
4. J. M. Lim, H. S. Shin, J. J. Jeong, N. H. Lee, M. H. Min and S. H. Lee, Industrial Wastewater Treatment Engineering; Vol. 1, pp. 87-205, Shinkwang Press, Seoul, 1996
5. J. K. Park, T. K. Lee and Y. Jeong, "Ceramics Carrier for Wastewater Treatment," *Ceramist Kor.*, **3** [6] 11-9 (2000).
6. H. Jeong and D. S. Jeong, "Preparation and Application of Ceramic Filter for Water Purification," *Ceramist Kor.*, **3** [6] 5-10 (2000).
7. Y. H. Hwang, H. S. Lee, W. C. Lee, Y. D. Jeong and W. K. Lee, "Formation Mechanism of Low Density Ceramic Supports with Fly Ash," *J. Kor. Inst. Resour. Recycl.*, **9** [2] 33-9 (2000).
8. J. P. Canler and J. M. Perret, "Biological Aerated Filters : Assessment of the Process Based on Sewage Treatment Plants," *Wat. Sci. Tech.*, **29** [10] 12-22 (1994).
9. G. Valentis and J. Lesavre, "Wastewater Treatment by Attached-growth Microorganism on Geotextile Support," *Wat. Sci. Tech.*, **22** [1/2] 43-51 (1990).
10. M. Kawase, "Application of Bioreactor by Ceramics Porous Materials(*in Jpn.*)," pp. 901-10 in Application of Biological Treatment Fermentation Industry, Characterization, Production and Application of Porous Materials, Edited by H. Dakeuchi, Fuji Techosystem, Toyko, 1999.
11. J. T. Song, S. D. Yun, D. W. Rhou and K. S. Han, "Manufacture and Properties of Coal Fly Ash-Clay Body," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **33** [7] 771-78 (1996).
12. M. S. Lee, C. K. Na and M. Y. Kim, "Resuability of Coal Fly Ash as an Additive for Clay Brick," *J. Kor. Solid Waste Eng. Soc.*, **15** [4] 342-51 (1998).
13. D. Y. Shin and S. M. Han, "Synthesis of Nano  $\text{TiO}_2$  Coated on Fly Ash Composites by the Precipitation Dropping Method," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** [6] 550-57 (2002).
14. J. K. Lee, Engineering of Inorganic Raw Materials; pp. 68-75, Bando Press, Seoul, 1985.
15. K. N. Kim, J. H. Kwon and D. Y. Shin, "The Manufacturing of Fly Ash-Clay System Ceramics Bricks," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **18** [5] 459-67 (2001).
16. K. Koizumi, M. Hatano and N. Tsuyuki. "Synthesis and Properties of Porous Ceramics Using Fly-Ash(*in Jpn.*)," *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **106** [9] 899-903 (1998).