

## Characterization and Microstructure of an Extruded Flat-Tubular-Type Alumina Filter

Byung-Seo Bae, Jang-Hoon Ha, and In-Hyuck Song<sup>†</sup>

Engineering Ceramics Department, Korea Institute of Materials Science, Gyeongnam 642-831, Republic of Korea

(Received August 18, 2014; Revised September 5, 2014; Accepted September 6, 2014)

### 압출공정에 의한 수 처리용 평관형알루미나 필터의 미세구조와 특성평가

배병서 · 하장훈 · 송인혁<sup>†</sup>

한국기계연구원 부설 재료연구소

(2014년 8월 18일 접수 ; 2014년 9월 5일 수정 ; 2014년 9월 6일 채택)

#### ABSTRACT

In this study, flat-tubular-type alumina filters were manufactured using alumina powder of two sizes (2.4  $\mu\text{m}$  ALM-44 and 0.4  $\mu\text{m}$  AP 400) by an extrusion process. The manufactured alumina filter was sintered at 1200 - 1600°C for 1 h. As particle size increased, the largest pore size, average pore size and porosity increased; but density and linear shrinkage decreased. The alumina filter fabricated using ALM-44 powder sintered at 1500°C was confirmed as the best water treatment filter after investigation of the bending strength, water permeability and impurity-removal efficiency of the experimental filters. This flat-tubular-type alumina filter is expected to be useful not only for direct water treatment, but also for use as a support filter during coating processes, to control pore size.

**Key words :** Alumina, Extrusion, Bending strength, Water permeability, Impurity collecting

#### 1. 서 론

최근 급격한 산업화로 인하여 많은 오염수가 발생되고 있으며, 세계적인 이상기후에 따른 사막화로 인하여 많은 국가에서 물에 대한 중요성이 강조되고 있다. 특히, 세계 인구의 폭발적 증가는 마시는 물의 수요를 촉진시키고 있으며, 많은 돈과 노력을 들여 수자원 확보와 보유 기술 개발에 열을 올리고 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

수 처리 방법은 크게 화학 처리제 중심과 미세 기공을 이용한 멤브레인 방식 2가지 방법으로 나눌 수 있으며, 현재 수 처리의 페러다임이 화학 처리제 중심에서 미세 기공을 이용한 멤브레인 방식으로 변화되고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 이유는 수 처리 공정에 있어서 화학적인 처리공정에 비하여 멤브레인을 이용하면 공정이 단순해지며 높은 분리 효율을 얻을 수 있기 때문이다. 또한 액상 분리 공정 뿐만 아니라 가스 분리 공정에 있어서도 광범위하게 사용이 가능하기 때문에 멤브레인에 관한 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다.<sup>3-6)</sup>

1748년 Nollet의 삼투현상과 관련한 물질 이동 실험으로 사용되기 시작한, 멤브레인은 고분자를 이용한 유기막과 세라믹/금속/유리 등을 이용해 다양한 방법으로 제조된 무기막으로 분류된다. 또한 상대적으로 우수한 막의 특성을 발현하기 위하여 유-무기 복합막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 유기막은 무기막에 비해 대면적 기공제어에 용이하며, 재현성이 우수하며, 제품의 단가가 저렴하다. 이러한 특성을 이용하여 제조공정상 안정성을 가져올 수 있으며, 경제적으로 상당한 강점을 가진다.<sup>7)</sup> 그러나 내열, 내약품성이 약하며 기계적 강도가 낮다는 단점을 가지고 있다. 이에 비해 무기막은 재현성이 낮으며 균열의 제어가 매우 어려운 단점을 나타낸다. 또한, 입자의 크기 및 분포와 미세구조 제어, 표면 개질이 어려우며, 고가의 원료물질로 경제성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 그러나 상대적으로 높은 열적 안정성과 화학적 안정성 때문에 극한 환경에서의 많은 수요로 인해 현재 무기막에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다.<sup>8-11)</sup>

본 연구에서는 입자크기가 다른 두 가지 알루미나 분말을 이용하여 압출 공정을 통한 평관형 세라믹 필터를 제조하였다. 압출공정은 대량 생산에 용이한 공정 중 하나로 알려져 있으며, 튜브, 허니컴 형상의 제품을 만드는 데 많은 이점을 가진 제조방법으로 알려져 있다.<sup>12)</sup> 특히

<sup>†</sup>Corresponding author : In-Hyuck Song

E-mail : sih1654@kims.re.kr

Tel : +82-55-280-3534 Fax : +82-55-280-3392

평관형 압출 필터는 기계적인 세정 등이 매우 용이하여 최근 들어 관심이 되고 있는 필터의 형태이다. 이와 같이 평관형으로 제조된 알루미나 세라믹 필터의 미세구조와 특성을 분석하여 최적의 수처리용 알루미나 필터 및 코팅을 위한 지지층(support) 필터로서 제조조건에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험 방법

수 처리용 알루미나 필터를 제조하기 위하여 서로 크기가 다른 ALM-44(Sumitomo Chemical, Japan, average particle size 2.4  $\mu\text{m}$ )와 AP 400(POS-HIAL, Korea, average particle size 0.4  $\mu\text{m}$ ) 분말을 이용하였다. 바인더로 메틸셀룰로오스계( $[(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_x(\text{OCH}_3)_y)_n]$ )를 사용하였으며, 물은 2차 증류수를 사용하였다. 압출 공정을 위하여 알루미나 분말(100 wt%), 바인더(17 wt%), 물(20 wt%)을 교반기를 이용하여 혼합하였다. 이렇게 잘 혼합된 두 종류의 알루미나 시료를 상온에서 48시간 숙성하였다. 이렇게 준비된 시료를 이축 스크류 압출기(KTE-50S, Korea)를 이용하여 압출체를 제조하였다. 첫번째 스크류(지름(D)=30 mm, 길이(L)=45 cm)는 파우더의 혼합을 도와주기 위하여 작은바(bar)가 설치된 바렐(barrel)과 결합되어 있으며, 두번째 스크류(지름(D)=30 mm, 길이(L)=50 cm)는 바렐(barrel)과 다이(die)로 결합되어 있다. 압출기는 진공 상태로 유지 되었으며, 압출 과정에서 스크류와 바렐 사이에서 발생하는 열을 제거하기 위하여 칠러(CHILLER, SAMJUNG ENC)를 설치하여 냉각수를 공급하였다. 이축 스크류 압출기를 이용하여 넓이 53 mm, 높이 4 mm, 길이 200 mm 평관형 필터를 압출 하였으며, 24시간 이상 상온에서 건조하였다. 이렇게 건조된 성형체는 전기로를 이용하여 대기 분위기에서 400°C에서 1시간 동안 유지하여 바인더를 제거한 후 최고온도 1200~1600°C에서 1시간 동안 소결하였다.

아рки메데스법을 사용하여 각 시편의 밀도를 구했으며, 길이 방향의 크기를 측정하여 선수축률을 계산하였다. 알루미나 필터의 미세구조를 관찰하기 위하여 Scanning Electron Microscope(JSM-6610LV, Jeol, Japan)을 사용하였으며, 평균 기공 크기를 측정하기 위하여 Mercury porosimeter(AutoPore IV 9510, Micromeritics, USA)를 사용하였다. 최대 기공크기와 수 투과율을 측정하기 위하여 Capillary Flow Porometer(Porous Materials Inc, USA)를 사용하였다. 수 투과율을 측정하기 위하여 압력을 2 psi 단위로 상승하였으며, 압력당 10초간 투과량을 측정하였다. 필터의 3점 곡강도를 측정(16 mm  $\times$  50 mm  $\times$  3.8 mm) 하기 위하여 UTM(Instron, USA)을 이용하였으며, 필터의 등압 수투과율과 포집능력을 측정하기 위하여 수처리용 입자계수 시스템 장비(MTU, Sambo, Korea)와 HCB-LD-

25/25(PAMAS, Germany) 센서를 사용하였다. 등압 수투과율과 포집능력을 측정하기 위하여 증류수와 오염수를 이용하여 실험을 실시 하였다. 오염수는 불순물인 A3 분말(medium test dust (ISO 12103-1))을 증류수와 혼합하여 사용하였으며, 이때 불순물 A3 파우더를 증류수에 100 ppm 첨가하여 실험용액을 준비하였다. 등압 수투과율은 1 bar의 압력을 가하여 측정하였으며, 필터의 투과 전과 후의 불순물 개수를 센서를 통하여 확인 한 후 포집효율을 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 알루미나 분말을 사용하여 압출 성형법으로 제조한 평관형 알루미나 필터의 사진이다. 평관형 필터의 모습은 폭 54 mm, 높이 4 mm의 형태의 평관의 형태이며, 필터에는 내부에 2  $\times$  2 (mm) 크기의 사각 홀(hole)이 16개 존재하는 압출체를 성공적으로 제조하였다. 본 연구에서는 이와 같이 제조된 압출체를 소결하여 최적의 수처리용 알루미나 필터에 적합한 조건을 찾기 위하여 실험을 하였다.

Fig. 2는 알루미나 분말의 크기가 다른 2가지 종류인 ALM-44(평균입도 2.4  $\mu\text{m}$ )와 AP 400(평균입도 0.4  $\mu\text{m}$ ) 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 밀도를 소결 온도에 따라 그래프로 나타내었다. 두 가지 분말 모두 소결 온도가 증가함에 따라 밀도가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 상대적으로 크기가 큰 ALM-44 분말을 이용하여 제조한 평관형 필터는 소결 온도가 1400°C에서 1600°C로 증가함에 따라 밀도가 2.20 g/cm<sup>3</sup>에서 2.57 g/cm<sup>3</sup>로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 상대적으로 크기가 작은 AP 400 분말을 이용하여 제조한 평관형 필터의 경우 소결 온도가 1200°C에서 1400°C로 증가함에 따라 밀도가 2.36 g/cm<sup>3</sup>에서 3.20 g/cm<sup>3</sup>로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 위의 결과를 통하여 소결 온도가 증가함에 따라 소결 밀도가 증가하는 당연한 결과뿐만 아니라, 소결 밀도 변화가 알루미나 입

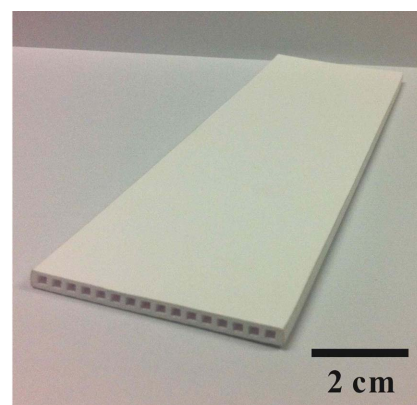
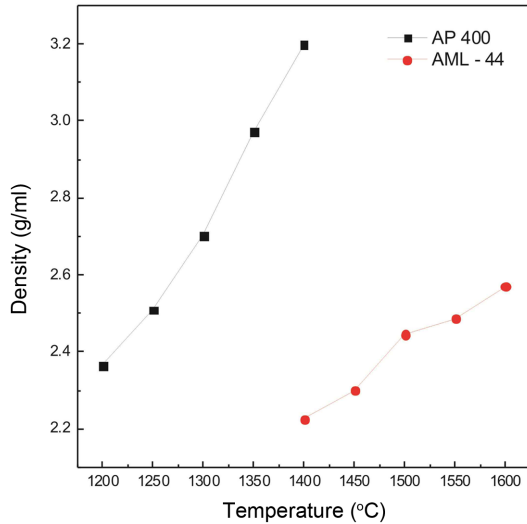
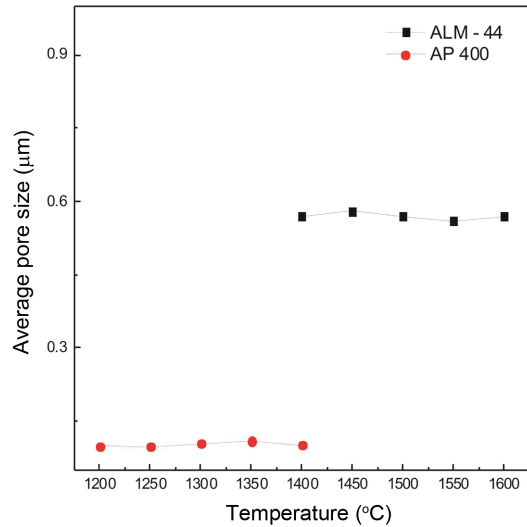


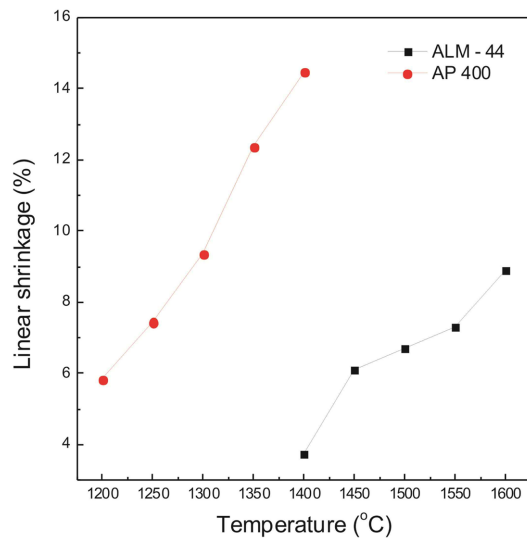
Fig. 1. Photograph of flat-tubular typed alumina filter by extrusion process.



**Fig. 2.** Density variation of flat-tubular typed alumina filter by extrusion process as a function of raw material and sintering temperature.



**Fig. 4.** Average pore size of flat-tubular typed alumina filter by extrusion process as a function of raw material and sintering temperature.



**Fig. 3.** Linear shrinkage of flat-tubular typed alumina filter by extrusion process as a function of raw material and sintering temperature.

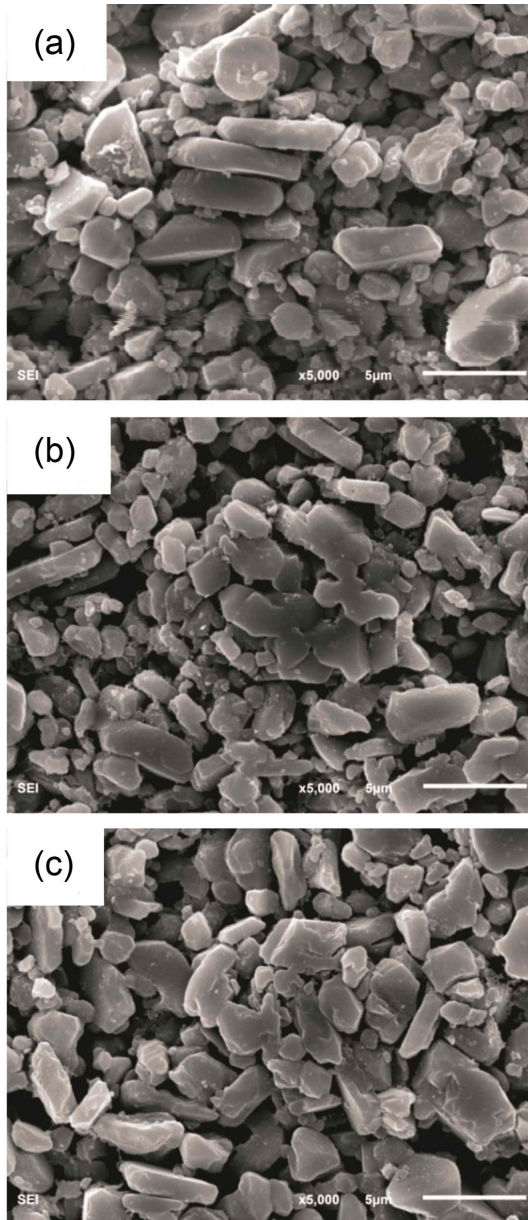
자 크기에도 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 즉 분말의 입자 크기의 감소를 통하여 입자표면적이 증가하여, 소결시 동일한 소결 온도에서도 소결 구동력인 입자의 표면에너지 감소를 촉진하여 소결성을 증가시킨 것으로 판단된다.

Fig. 3는 평관형 필터의 선 수축률을 소결 온도에 따라 나타낸 그래프이다. 소결 밀도와 마찬가지로 소결 온도가 증가함에 따라 선 수축률이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 상대적으로 크기가 큰 ALM-44 분말을 이용하여 제조한 필터는 소결 온도가 증가함에 따라 3.7%에서 8.9%

로 선 수축률이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 상대적으로 크기가 작은 AP 400 분말을 이용하여 제조한 필터는 소결 온도가 증가함에 따라 5.8%에서 14.5%로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 높은 온도에서 열처리한 ALM-44 분말을 이용하여 제조한 필터보다 상대적으로 낮은 온도에서 열처리한 AP 400 분말을 이용하여 제조한 필터의 선 수축률이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 실험에서 사용된 AP 400 분말을 사용하여 압출한 편광형 필터의 경우 낮은 소결 온도를 가짐에도 불구하고, 작은 알루미나 입자 크기로 인한 소결시 반응 면적 증가로 상대적으로 높은 선 수축률을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4은 평관형 필터의 평균기공크기를 소결 온도에 따라 나타낸 그래프이다. 평균 기공 크기는 수은함침법을 이용한 porosimeter를 사용하였다. ALM-44 분말을 이용하여 제조한 필터는 소결 온도와 무관하게 0.6 µm의 평균기공크기를 가지며, AP 400 분말을 이용하여 제조한 필터는 0.1 µm의 평균기공크기를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 평균 기공 크기는 주로 알루미나 분말의 크기에 영향을 받으며, 소결 온도에 따른 영향은 크게 받지 않음을 확인할 수 있었다. 즉 소결 온도가 증가함에 따라 수축율이 증가하여 기공의 크기 감소를 예상할 수 있으나, 이는 상대적으로 작은 기공들이 제거되거나 개기공이 폐기공으로 되는 변화로 발생하기 때문으로 수은 함침법 상으로 기공의 크기는 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

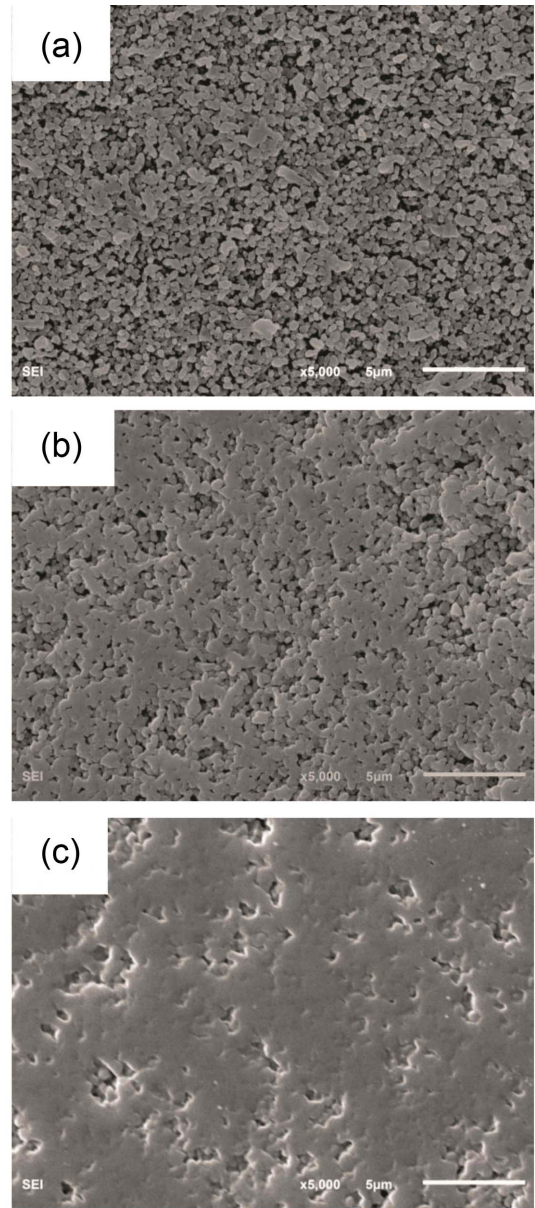
Fig. 5는 알루미나 ALM-44 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 미세 구조를 소결 온도변화에 따라 나타낸 것이다. Fig. 5(a)의 미세 구조에서 확인 가능하듯이



**Fig. 5.** SEM images of flat-tubular typed alumina(ALM - 44) filter by extrusion process as a function of sintering temperature: (a) 1400°C, (b) 1500°C, and (c) 1600°C.

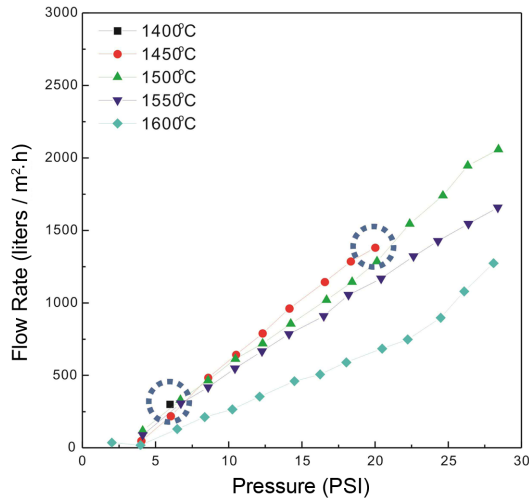
1400°C에서 소결된 평관형 필터의 경우 입자들간 소결 반응이 아직 이루어 지지 않은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 1500°C와 1600°C에서 소결된 평관형 필터의 미세구조인 Fig. 5(b)와 (c)의 경우 알루미나 입자들간 네킹(necking) 현상에 의한 소결 거동이 일어나고 있는 것을 확인할 수 있다. 그 결과 1400°C에서 소결한 필터보다 높은 기계적 특성을 가질 것을 예상할 수 있다.

Fig. 6은 알루미나 AP 400 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 미세구조를 소결 온도 변화에 따라 나타낸 것이다. 1200°C의 비교적 낮은 온도에서 소결한 평관형

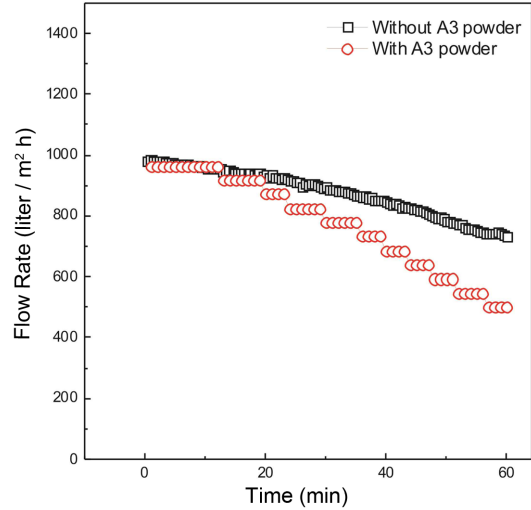


**Fig. 6.** SEM images of flat-tubular typed alumina(AP 400) filter by extrusion process as a function of sintering temperature: (a) 1200°C, (b) 1300°C, and (c) 1400°C.

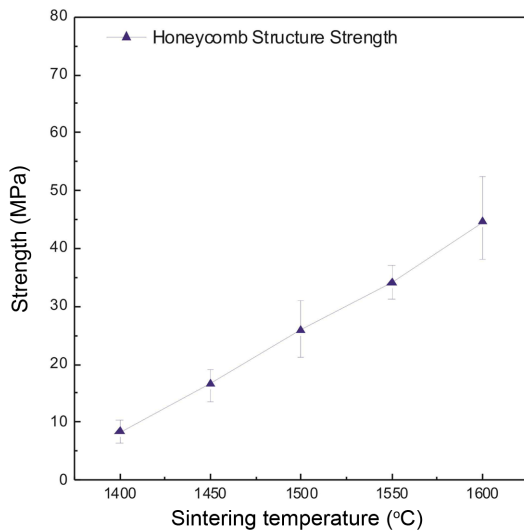
필터의 미세구조인 Fig. 6(a)에서 일부 입자간 소결 반응이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 6의 미세구조 변화를 통하여 소결 온도가 상승할수록 입자간 반응이 활발해지는 것을 확인할 수 있으며, 조대한 ALM - 44 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터에 비하여 낮은 온도에서도 높은 입자간 반응성이 나타나는 것을 확인하였다. 또한 1300°C와 1400°C에서 소결한 평관형알루미나 필터의 미세구조인 Fig. 6(b), (c)에서는 높은 소결성으로 인하여 필터로서 중요한 개기공(open pore) 구조가 사라지면서 폐기공(closed pore) 구조로 전환되고 있음을 관찰



**Fig. 7.** Water permeability of flat-tubular typed alumina(ALM - 44) filter by extrusion process as a function of sintering temperature.



**Fig. 9.** Water permeability of flat-tubular typed alumina (ALM - 44) filter by extrusion process at 1 bar with/without A3 powder as impurity



**Fig. 8.** Strength of flat-tubular typed alumina(ALM - 44) filter by extrusion process as a function of sintering temperature.

할 수 있었다.

결론적으로 AP 400 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 경우 ALM - 44 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터보다 높은 소결 반응성으로 인하여 높은 밀도와 수축률을 가지며, 미세구조상 매우 작은 폐기공이 만들어지는 것을 확인하였다. 또한 이러한 특성 변화들로 인하여, AP 400 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 경우 수투과도 실험을 실시한 결과 소결 온도가 1200°C 낮은 경우에는 기계적 강도가 낮아 실험 시 깨지는 현상으로 실험이 진행되지 못하였고 소결 온도가 높은 1300°C와 1400°C에서는 수투과도가 너무 낮아 측정이 용이하지 못

하였다. 그러므로 Fig. 7, 8, 9에서는 ALM - 44 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터를 가지고 수 처리 필터로서 요구되는 투과율과 기계적 강도, 불순물 포집 효율에 대한 실험을 실시하였다.

Fig. 7는 평관형 필터의 압력 변화에 따른 수 투과율을 소결 온도에 따라 나타낸 그림이다. Fig. 7에서 나타난 바와 같이 ALM-44 분말을 이용하여 제조한 필터의 수 투과율은 1 atm(14.7 psi)에서 1600°C에서 소결한 필터를 제외하고 비교적 높은 700 l/m<sup>2</sup>·h 이상의 높은 수 투과율을 보여주고 있다. 그러나 Fig. 4에서 나타나듯 소결 온도와 무관하게 0.6 μm의 평균기공크기를 가지지만 Fig. 7의 수 투과율은 소결 온도가 증가할수록 수투과율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이런 현상은 높은 소결 온도로 인한 개기공률(39.5% → 29% → 23%)의 감소가 원인인 것으로 보여진다. 또한 1400°C와 1450°C에서 소결한 필터의 경우 8 psi와 20 psi의 수압을 견디지 못하고 파괴 현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5에서 관찰된 바와 같이 조대한 입자크기로 인한 낮은 소결 반응의 영향으로 필터의 소결이 충분하게 이루어지지 않았기 때문이며, 그 결과 필터 자체의 기계적 특성이 수 투과 실험 시 수압을 견디지 못한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 ALM-44 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 3점 곡강도 실험 결과를 나타낸 그림이다. UTM을 이용하여 최대 파괴하중을 측정하였으며, 평관형 필터의 기계적 강도를 측정하기 위하여 미국재료시험학회(ASTM)의 다기공 세라믹 시편의 파괴강도를 측정하는 표준특허 C1674-11을 이용하였다. 식 (1)을 사용하여 일반 시편의 3점 곡강도를 측정할 수 있다. P는 시편 파괴 하중이며 L은 시편의 길이이다. b는 시편의 넓이이며 d는 시편의 두께이다.

$$S_{NB} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

그러나 압출 구조의 시편은 시편 내부에 오픈 채널이 존재하기 때문에 먼저 식 (2)를 사용하여 Wall Fracture Strength를 계산한 후, 식 (3)을 사용하여 압출구조체 강도 (MPa)를 계산하였다.  $I_T$ 는 오픈 채널을 고려한 실제 관성 모멘트이다.  $m$ 은 가로방향 내부 셀 개수이며  $n$ 은 세로방향 내부 셀 개수이다.  $p$ 는 내부 셀과 벽 두께를 합한 길이이며  $t$ 는 내부 벽 두께이다.<sup>13)</sup>

$$S_{WF} = \frac{PLd}{8I_T} \quad (2)$$

$$S_{HS} = S_{WF} \left( 1 - \left[ \frac{mm(p-t)^2}{bd} \right] \right) \quad (3)$$

1400, 1450°C에서 소결된 평관형 필터의 경우 각각 8.3, 16.6 MPa의 낮은 3점 곡강도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 1500°C 이상의 온도에서 소결된 평관형 필터의 경우 25.8 MPa의 높은 3점 곡강도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 7의 결과에서 나타나듯이 1400, 1450°C에서 소결된 평관형 필터는 8 psi와 20 psi의 수압에 의해 파괴가 일어나는 것을 확인할 수 있으며, 이 결과 높은 3점 곡강도를 가지면서도, 상대적으로 높은 기공률을 가지는 1500°C에서 소결한 평관형 필터가 최적의 수처리 필터인 것을 확인할 수 있었다.

이에 1500°C에서 소결한 평관형 필터를 이용하여 수처리 필터에 필요한 일정한 압력에서의 수투과 능력인 등압투과도 실험 및 불순물 입자의 포집 능력에 관한 특성 평가를 실시하였다. Fig. 9는 ALM-44 분말을 사용하여 소결된 압출 평관형 필터를 이용하여 1 atm의 압력을 가하면서 1시간 동안 수투과율을 측정한 그래프이다. 평관형 알루미나 필터의 초기 수투과율은 970 l/m<sup>2</sup>·h이며, 증류수의 경우 1시간이 지난 후 수투과율이 24% 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 불순물 A3 파우더를 사용하여 수투과율 실험을 한 필터의 경우 A3 파우더가 필터의 표면에 케이크층을 형성시켜 필터의 구멍을 막는 파울링(fouling) 현상이 발생하여, 1시간이 지난 후 수투과율이 48% 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 이와 같은 수투과율 저하 현상은 일반적으로 수처리 필터를 운용 시 발생하는 현상으로, 향후 측정 장비를 보완하여 필터의 유속 반대편에서 주기적으로 역세척(back flushing) 하는 공정을 통하여 파울링 현상을 억제시킴으로써 충분히 개선이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 10은 ALM-44 분말을 사용하여 압출한 평관형 필터의 포집 효율을 나타낸 그래프이다. 불순물 파우더로 A3 medium test dust (ISO 12103-1)로 사용하였으며, 불순물을 탐지하는 센서로 PAMAS사의 HCB-LD-25/25를 사용하였

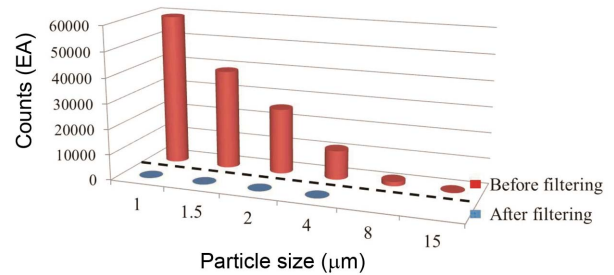


Fig. 10. Filtering ability of flat-tubular typed alumina (ALM-44) filter with A3 powder as impurity.

다. 불순물 파우더인 A3 파우더는 1 μm 이하 1~3 vol%, 2 μm 이하 4~5.5 vol%, 3 μm 이하 7.5~9.5 vol%, 4 μm 이하 10.5~13 vol%, 5 μm 이하 15~19 vol%, 7 μm 이하 28~33 vol%, 10 μm 이하 40~45 vol%, 20 μm 이하 65~69 vol%, 40 μm 이하 84~88 vol% 80 μm 이하 99~100 vol%로 구성되어 있다. Fig. 10에 나타난 바와 같이, 수처리 필터링 실험을 실시하기 직전에 A3 파우더가 100 ppm이 첨가된 오염용액을 분석한 결과, 불순물 파우더가 1 μm 이하 59,200개, 1.5 μm 이하 38,919개, 2 μm 이하 25,688개, 4 μm 이하 11,400개, 8 μm 이하 1,700개, 15 μm 이하 93개가 탐지되었다. 그러나 수처리 필터링 후 분석된 용액에서는 불순물 파우더가 1 μm 이하 94개, 1.5 μm 이하 44개, 2 μm 이하 38개, 4 μm 이하 6개, 8 μm 이하 0개, 15 μm 이하 0개 탐지되었다. 이 결과 4 μm 이하의 불순물의 경우 99.8% 이상의 높은 포집 효율을 보여주고 있으며, 4 μm 이상의 불순물의 경우 100% 포집이 되는 것을 확인할 수 있었다.

즉 상기의 연구결과와 같이 평균입도 2.4 μm인 ALM-44 분말을 이용하여 평관형수처리 필터를 제조하여 특성 평가를 실시함으로써 실제 수처리 필터 특성이 우수함을 확인하였다. 또한 평균입도 0.4 μm인 AP 400 분말을 사용하여 압출한 경우 입자 크기가 미세하여 평관형 필터 자체로는 적합하지 않았으나 향후 작은 기공크기의 수처리 필터를 제조 시 코팅용 슬러리로 활용한다면 낮은 소결 온도에서도 원하는 기공크기를 조절하는데 용이할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 크기가 다른 알루미나 분말인 ALM-44와 AP 400 분말을 사용하여 압출 공정에 의해 평관형 필터를 성공적으로 제조하였다. 또한 제조된 평관형 필터의 특성 평가를 실시한 결과 기공율, 기공크기, 수투과율은 알루미나 분말의 크기와 비례하였으며, 밀도와 수축률은 알루미나 분말의 크기와 반비례 하였다. AP 400을 이용하여 제조한 필터(6.4 l/m<sup>2</sup>·h)에 비하여 상대적으로 높은

수투과 특성을 가지며 충분한 기계적 강도를 가지는 ALM-44 분말을 사용하여 1500°C에서 소결한 평관형 필터가 수처리용 필터로 1차적으로 적합한 것으로 확인하였다. 즉 적정 수처리 필터로서 25.8 MPa의 높은 3점 곡강도를 가지며, 970 l/m<sup>2</sup>·h의 높은 수투과율과 99.8% 이상의 높은 불순물 포집 효율을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 알루미늄 분말을 사용하여 제조된 평관형 필터는 수처리 필터 자체로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 향후 대면적 코팅 공정을 통하여 원하는 크기로 기공을 조절할 수 있는 지지체(support) 필터로 활용될 것으로 기대된다.

### Acknowledgment

본 연구는 한국기계연구원 부설 재료연구소 주요사업의 지원으로 이루어진 결과입니다.

### REFERENCES

1. I. H. Song, J. H. Ha, B. S. Bae, Y. J. Park, J. W. Ko, Y. K. Baek, Y. K. Kim, J. G. Lee, and Y. D. Hahn, "Research Trend of Ceramic Filter for Water Treatment," *J. Kor. Powd. Met. Inst.*, **21** [1] 62-71 (2014).
2. S. W. Han, S. Y. Choi, S. H. Hyun, C. G. Jo, and H. G. Kang, "Preparation and Characterization of TiO<sub>2</sub> Membranes for Microfiltration(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **33** [6] 700-08 (1996).
3. K. Toyomoto and A. Higuchi, Microfiltration and Ultratiltration; pp. 289-332, Membrane Science and Technology, Ed. By Yoshihito Osada *et al.*, Dekker Marcel, New York, 1991.
4. R. R. Bhave, Inorganic Membrane; Synthesis, Characteristics and Application; pp. 95-154, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
5. S. H. Hyun, "Present State and Preparation Technology of Ceramic Membranes," *Membrane J.*, **3** [1] 1 (1993).
6. M. Cheryan, Ultrafiltration Handbook; pp. 7-25, Technomic Publishing Company, Lancaster, PA, 1986.
7. J. N. Armor, Challenges in Membrane Catalysis; pp. 557-63, Chem. Thch., 1992.
8. G. Oza, S. Pandey, A. Gupta, S. Shinde, A. Mewada, P. Jagadale, M. Sharon, and M. Sharon, "Photocatalysis-assisted Water Filtration: Using TiO<sub>2</sub>-coated Vertically Aligned Multi-walled Carbon Nanotube Array for Removal of Escherichia Coli O157:H7," *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.*, **33** [7] 4392-400 (2013).
9. C. Voigt, E. Jäckel, C. G. Anezirisa, and J. Hubaálková, "Investigations of Reticulated Porous Alumina Foam Ceramics Based on Different Coating Techniques with the Aid of  $\mu$ CT and Statistical Characteristics," *Ceram. Int.*, **39** 2415-22 (2013).
10. O. San and A. Imaretli, "Preparation and Filtration Testing of Diatomite Filtering Layer by Acid Leaching," *Ceram. Int.*, **37** 73-8 (2011).
11. Q. Chang, J. Zhou, Y. Wang, J. Wang, and G. Meng, "Hydrophilic Modification of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Microfiltration Membrane with Nano-sized  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coating," *Desalination*, **262** 110-14 (2010).
12. T. Isobe, Y. Kameshima, A. Nakajima, K. Okada, and Y. Hotta, "Extrusion Method Using Nylon 66 Fibers for the Preparation of Porous Alumina Ceramics with Oriented Pores," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **26** 2213-17 (2006).
13. ASTM International, "Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics with Engineered Porosity (Honeycomb Cellular Channels) at Ambient Temperatures," pp. 1-26, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2011.