

Filler metal을 이용한 Stainless steel 필터의 제조 및 통기도

배승열 · 안인섭 · 성택경 · 최주홍*
경상대학교 재료공학부 및 공학연구원
*응용화학공학부

Fabrication and Permeability of Stainless Steel Filter by using Filler Metal

S-Y Bae, I-S Ahn, T-K Sung and J-H Choi*

Division of Materials Science & Engineering, and ERI

*Division of Chemical & Engineering, and ERI

Gyeongsang National University, Gazwadong 900, Jinju, 660-701, Korea

(Received 15 April 2004 ; Accepted form 1 July 2004)

Abstract The application concept of using a fail safety filter on the filtering system is to prevent the particle leakage when the main filter element is broken at high temperature. In this study, the metal filters were fabricated by pressureless sintering method. The mixture of stainless steel powders and filler metal binder solved in the water solutions of 5% PVA was compacted to form the cylindrical filter without pressure. The compacted filter were sintered in the vacuum sintering furnace at 1200°C for 1 hour. The metal filter(produced with powder of 640-840 μm size) having more than above 50% porosity, 500 μm pore size, and permeability of $7.3 \times 10^{-11} \text{m}^2$ plugged within 2.5 minute to prevent the leakage of maximum slip particle size of less than 3 μm .

Key words : Metal filter, STS316L, Permeability, IGCC, Filler metal

1. 서 론

산업의 발달에 따라 산업폐수의 여과장치, 소각로의 집진장치, 승용차 및 각종 내연기관의 배기가스 정화장치 등에 필터 사용량은 급격히 증가하고 있다. 자동차 배기가스 정화용으로는 알루미늄 필터를 사용하여 유해가스 및 분진을 제거하고 있으며, 세라믹 필터의 활용으로 가장 주목받고 있는 화력발전설비인 IGCC (Integrated gasification combined cycle) 집진기의 경우에는 석탄가스화(coal gasification) 및 탈황 과정에서 발생하는 분진을 고온고압에서 제거하여 가스터빈을 보호하고 있다¹⁻⁶⁾.

일반적인 발전설비 및 기타 설비의 집진기는 분진이 필터 표면에 집적될 경우 내부 압력이 증가함으로 필터의 표면에 적층된 분진을 제거하기 위하여 주기적인 펄스 가스로 역 세정 공정을 시행하게 되는

데, 이때 고온의 메인필터에 차가운 가스가 유입될 경우 열 충격에 의한 파괴가 발생한다. 이럴 경우, 파괴된 부분으로 조대한 분진이나 세라믹 필터의 파편이 고압의 가스에 의해 급격히 빠져나가 가스터빈으로 유입되면 터빈에 손상을 줄 수 있으므로⁷⁾, 이러한 문제를 사전에 방지하여 시스템의 신빙성을 100% 확보하고자 하는 기술이 fail safety filter 기술이다⁸⁻¹⁰⁾. 일반적인 화력발전의 집진기에서의 fail safety filter는 Fig. 1의 형태로 설치된다. 고온 가스 분위기 및 석탄가스화에서는 반응성이 강한 가스들이 존재하기 때문에 내구성이 우수한 필터 재질의 선정과 fail safety filter를 활용한 효율적인 필터 집진기의 설계가 중요한 과제이다¹¹⁻¹³⁾.

Fail safety filter의 소재로는 내열성과 내습성, 내식성 등이 우수한 스테인리스 스틸이 적합한 것으로 알려져 있으며, 500°C의 IGCC 가스 분위기에서 시

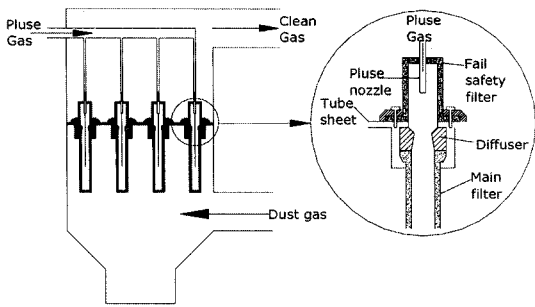


Fig. 1. Schematic diagram of filtering systems in the dust-collector for high temperature application.

험한 결과, 고온에서도 우수한 부식 특성을 나타낸 것으로 보고되었다^{14,15)}. 이와 함께, back wash에 의해 재사용이 가능할 뿐 아니라 폐기시에는 재용해에 의해 재활용이 가능하므로 세라믹 필터에서 생기는 폐기물 공해를 없앨 수 있다는 장점을 가지고 있다.

금속 필터의 제조방법으로는 정수압성형(cold isostatic press, CIP) 등의 가압 장치를 이용하여 성형, 제조하는 방법으로 세라믹 필터에 비하여 기공의 크기가 작고 통기성이 매우 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 큰 기공과 높은 통기성을 가지게 하기 위해서는 입도가 큰 분말을 이용하여 무가압에 의한 소결로 필터를 제조하고 있다. 그러나 스테인리스 스틸의 무가압 소결법의 경우에는 분말 표면의 산화층으로 인하여 입자와 입자사이의 계면 및 표면에서의 확산에 의한 반응 속도가 낮으므로 소결온도가 높아지기 때문에 전처리 공정을 필요로 하며, 일정한 형상을 가지는 필터를 제작하기가 어렵다.

본 연구에서는 바인더를 이용한 소결공정 중 원하는 형태가 유지될 수 있는 예비성형체를 제조하고, 용융삼입금속분말(filler or insert metal powder)을 소결활성화제로 첨가하여 무가압 소결에 의해서 높은 통기도(permeability)를 가지는 필터를 제조하고자 하였다. 또한 제조된 필터의 내부 기공의 크기에 따른 통기도 특성과 분진 제거 특성에 관하여 조사하였다.

2. 실험방법

필터 제조에 사용된 원료분말은 Fig. 2 (a)에 나타낸 수분사(water atomization)에 의해 제조된 스테인리스스틸 분말이고, 420-840 μm의 입도분포를 나타내었다.

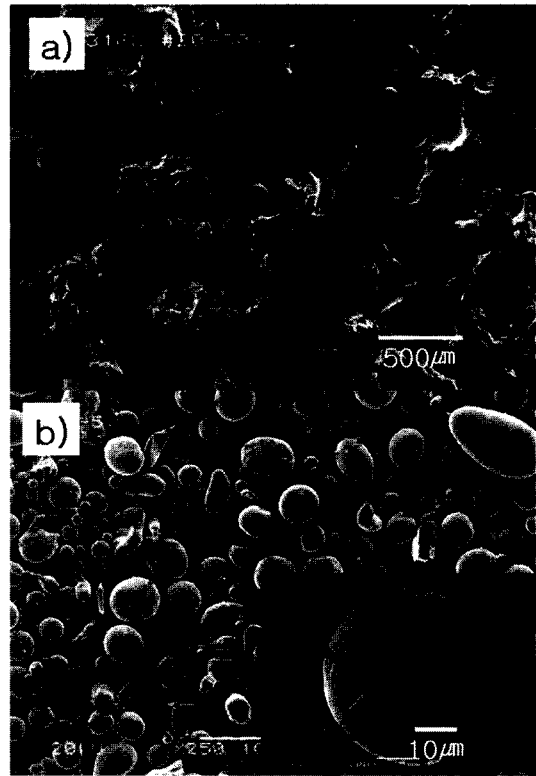


Fig. 2. SEM images of (a) STS316L powders(420-840 μm) and (b) filler metal used in this study.

Fig. 2.(b)는 Ni와 NiB상으로 이루어진 -325mesh의 입도를 갖는 소결활성제 분말(BNI-5, Vitta Co. 사용 온도:1050-1150°C) 사진으로서 가스분사(gas atomization)법으로 제조되었다.

상온 및 고온 승온시에 필터의 형태를 유지시키기 위해서 Poly-vinyl Alcohol(PVA)을 바인더로 사용하였다. 바인더 용액은 증류수에 약 5%의 PVA를 완전히 용해시켜, filler metal을 50wt.% 첨가한 후 재 혼합하여 제조하였다.

성형체는 스테인리스 스틸 분말을 몰드에 충전시킨 후 바인더용액에 함침시켜 제조하였다. 몰드내부 성형체의 수분을 제거하기 위하여 건조로에서 80°C로 72시간이상 건조하였다. 완전히 건조된 성형체는 성형 몰드를 제거하고, 고온진공로를 이용하여 10°C/min의 승온 속도로 350°C에서 30분간 유지하여 탈가스 처리를 행한 후, 1200°C에서 1시간동안 진공 소결하였으며, 이때의 진공도는 1.6×10^{-1} Pa이었다.

소결 filter는 단면의 미세조직 및 내부의 기공의 크기를 광학현미경과 실물현미경, 그리고 SEM을 이용하여 조사하였으며, Hagen-Poiseuille 식¹⁶⁾과 무작위 선 분석법을 이용하여 기공 크기(pore size)와 통기도(permeability)를 조사하였다. Fig. 3에 도시한 구조의 집진 및 drop tester장치를 이용하여 챔버 내부에 장착된 금속필터를 통과하기 전과 후의 압력의 차에 의한 압력손실(ΔP)과 이때의 공기 흐름에 의한 표면유속(V_f)을 측정하였으며, 평균 입도가 $14 \mu\text{m}$ 이고 최대 직경이 $20 \mu\text{m}$ 인 분진을 이용하여 시간에 따른 최대누출분진크기(max. slip particle size)에 따른 분진 제거 특성을 조사하였다¹⁷⁻¹⁹⁾.

3. 결과 및 고찰

Filler metal을 이용하였을 때 활성소결에 의한 계면 반응층의 관찰을 위하여 Fig. 4 (a)에서 보여주는 바와 같이 $250\text{-}500 \mu\text{m}$ 의 완전 구형의 STS316L 분말을 이용하여 제조한 소결체의 내부입자 형태를 Fig.4(b)에 나타내었다. 계면에서 목이 형성되어 소결된 것을 알 수 있으며, 분말의 표면은 활성소결 이후에 여분의 filler metal이 소결체 표면에 코팅 되어진 것을 볼 수 있다. Fig. 4(c)는 분말간의 계면에서의 Ni 원소량을 EDS로 선분석한 결과로서 Ni의 함량이 접촉계면에서 약 46%로 측정되었고, 입자 내부는 약 11%로 나타나 filler metal에 의한 활성 소결이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한, 입자의 형태가 초기의 형태를 유지하면서 전반적으로 액상인 활성소결체에

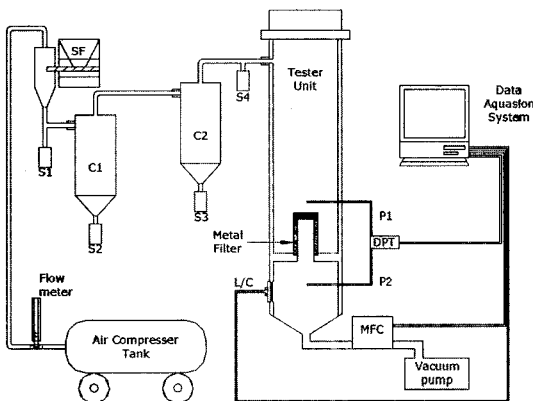


Fig. 3. Schematic diagram of test unit for the filtration performance.

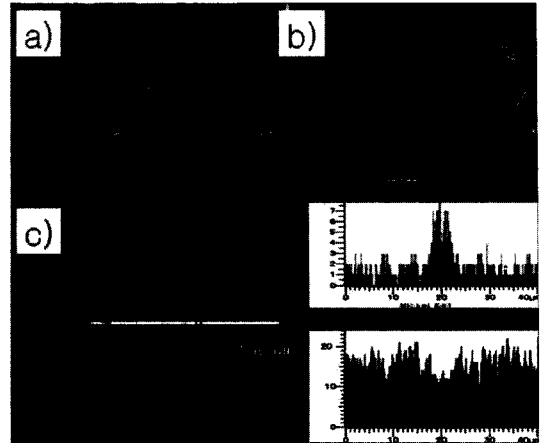


Fig. 4. SEM images of (a)spherical starting powder, (b)cross-section of sintered compact and (c)it's EDS analysis result.

의한 고상입자간의 표면확산에 의한 소결이 진행되었음을 확인하였다.

Fig. 5(a)와 (b)는 Fig. 4의 구형분말보다 평균입도가 큰 $640\text{-}840 \mu\text{m}$ 분말에 의해 제조되어진 디스크 형태(a)와 캔들 형태(b)의 필터의 외부형상과 단면을 실물현미경과 SEM을 이용하여 관찰한 결과이다. 구형입자를 소결하였을 경우와 마찬가지로 소결 후 초기 입자의 형상에 의해 내부 기공 구조가 형성되었음을 나타내고 있어, 무가압 소결시 기공의 형태는 초기 분말의 형상에 크게 의존하며, 전반적으로 균일

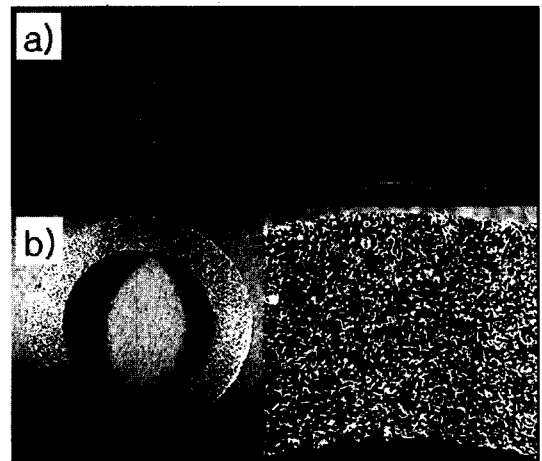


Fig. 5. Photographs of (a) disc and (b) candle type filter($640\text{-}840 \mu\text{m}$) showing the shape and cross-section.

한 기공도를 유지하고 있음을 알 수 있다. 금속필터 내부의 기공도는 약 50%이었으며, 인장시험 결과 최대 인장강도값은 0.4MPa이고, 변형율은 약 7%이었다.

제조된 금속필터의 압력손실(ΔP) 특성을 조사하여 Fig. 6에 나타내었다. 480 μm 이상의 분말로 제조된 필터는 분진제거용으로 사용되는 SiC로 제조한 Pall사의 SiC 세라믹 필터²⁰⁾에 비하여 아주 낮은 ΔP 값을 나타내고 있으며, 640-840 μm 의 분말로 제조된 필터의 압력손실은 매우 낮게 나타났다. 여과 속도 (V_f)가 40 cm/sec 일 경우에도 압력손실이 10mmH₂O 이하로 유지되었고, 세라믹 메인필터에서 여과속도가 1.5 cm/sec일 경우에 갖는 압력손실보다 낮음을 보였다.

필터의 두께에 따른 분진제거 효과를 관찰하기 위하여 640-840 μm 분말로 제조한 필터의 통기도와 기공의 크기를 여과 속도(V_f)와 ΔP 값을 이용하여 계산한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 내부기공이 미세할 경우에는 필터의 두께가 증가할수록 필터내부에서 발생하는 입자와 표면유속사이에서의 관성충돌 현상으로 ΔP 가 증가하여 통기도가 감소된다. 즉, CIP등으로 가압에 의해 제조된 필터의 경우에는 필터의 두께가 두꺼울수록 ΔP 값이 증가하므로 통기도와 기공의 크기는 두께에 반비례하여 감소하지만 무가압 소결을 행하였을 경우에는 필터의 두께가 두꺼울 경우에도 필터 내부 입자 엉킴 현상에 의해 통기도와 기공의 크기가 증가한다. 즉, 두께가 5 mm일 경우에는 기공의 크기가 약 410 μm 이었으나, 15 mm일 경우에는 약 500 μm 의 조대한 기공의 크기로 증가하였으며, 통기도도 5 mm일 경우에는 $4.6 \times 10^{-11} \text{m}^2$

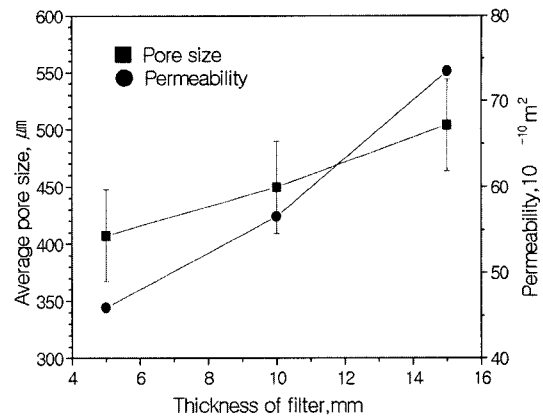


Fig. 7. Change in average pore size and permeability with various thickness of metal filter produced with 640-840 μm size powder.

이었고, 15 mm일 경우에는 $7.3 \times 10^{-11} \text{m}^2$ 으로 높게 나타났다.

주 필터가 파손되었을 때 금속 필터에 걸리는 압력손실 특성을 보기 위하여 필터에 걸리는 표면여과 속도를 15 cm/s로 유지한 후, 분진가스를 일정하게 투입시켰을 경우의 투입된 분진이 필터의 표면 및 내부에 분진층을 형성하는 시간에 따른 ΔP 의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 일반적으로, 분진을 흘려주었을 경우의 ΔP 값은 필터 기공에 의해 생성되는 필터고유의 ΔP_f 와 필터내부 입자의 포집에 의한 분진층 형성에 의해 생성되는 ΔP_c 의 합인 $\Delta P_T = \Delta P_f + \Delta P_c$ 로 나

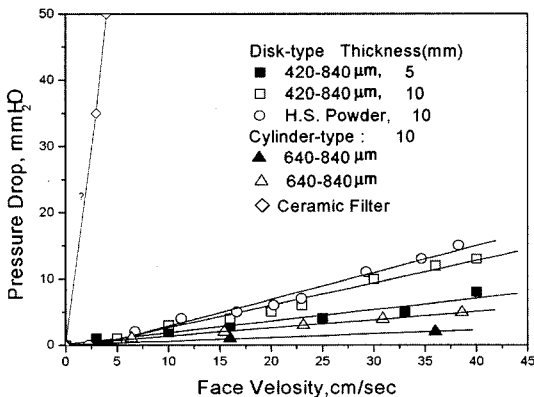


Fig. 6. Change in pressure drop through the filters as a function of face velocity.

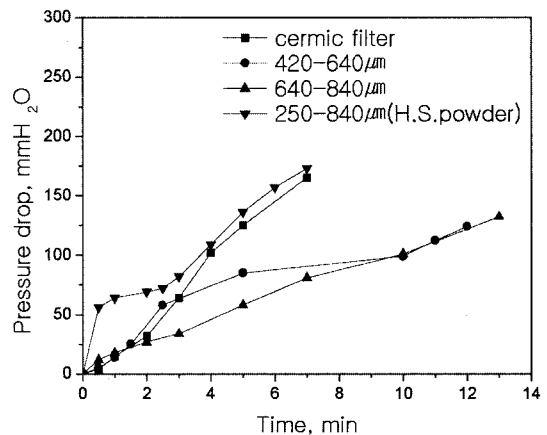


Fig. 8. Change of pressure drop with time lapsed for the dust gas pass through the metal filter.

타낼 수 있다. 그러므로 초기 ΔP_1 의 급격한 증가는 일반적으로 필터의 내부 및 표면에 형성되는 분진에 의한 ΔP_2 에 의한 것으로 필터내부의 기공이 분진에 의한 기공의 눈 막힘으로 나타나며, 일정한 크기의 분진층에 의한 기공을 형성하였을 경우에는 다시 ΔP 가 완만히 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 필터내부의 기공 크기가 커질 경우에는 ΔP 의 급격한 증가는 관찰되지 않고 시간에 따라 일정한 기울기를 유지하는 것을 볼 수 있으며, 상대적으로 낮은 기공의 크기를 가지는 구형입자의 경우에는 내부에 균일한 크기의 기공을 형성함으로 분진층의 형성이 빠르게 진행되는 반면에, 불균일한 형태의 분말은 엉킴 현상에 의해 생성된 조대한 기공으로 인하여 내부 기공의 크기가 불균일하여 ΔP 값이 서서히 증가하는 현상을 보인다. 그러나 큰 입자로 제조된 필터들의 분진층 형성에 따른 눈막힘 현상은 기공이 적은 필터와 구형입자필터에 비하여 느렸지만 압력손실이 10분 이내에 100 mmH₂O 이상으로 유지되었다.

Fig. 9는 fail safety 필터로서의 분진차단 효과를 보기 위하여 여과속도 15 cm/sec에서 분진을 투입하기 시작한 시간부터 시간경과에 따른 누출분진의 입도 분포를 나타낸 것으로서 초기분말의 경우에는 세라믹 필터에 비하여 높은 값을 보이는 반면에 5분이 경과되었을 경우에는 동일한 특성을 나타내며, 필터 제조사의 분말 평균크기가 감소함에 따라 초기 누출

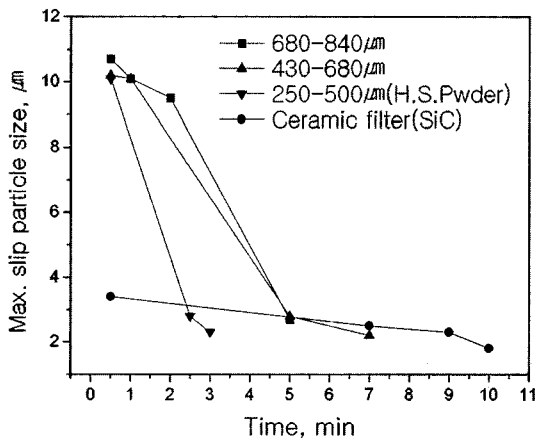


Fig. 9. Change of maximum slip particle size during the run time in dust collect tester.

분진 크기는 감소함을 알 수 있다. 또한, 필터내부 평균기공의 크기가 작을수록 최대 누출 분진의 차단 효과가 우수하며, 누출분진의 최대크기가 급격히 감소함을 알 수 있다.

작은 기공을 형성하는 구형 분말의 경우에는 초기 누출 분진의 크기는 비슷한 반면에 3분 이내에 최대 분진의 크기는 약 3 μm이었으며, 조대한 기공을 형성하는 640-480 μm 분말을 사용한 필터의 경우에는 초기의 누출분진의 크기가 약 11 μm이었고, 분진포집이 시작된 후, 5min 이내에 최대직경 3 μm 이하였으며 통과된 분말의 평균직경은 1 μm 이하였다.

4. 결 론

집진기용 세라믹 필터 대체용 필터 및 fail safety filter로 활용할 수 있는 무기압에 의한 금속필터를 제조하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 활성소결제를 이용할 경우에 분말간의 계면은 Ni의 함량이 접촉계면에서 약 46%로 측정되었고, 입자 내부는 약 11%로 나타나 filler metal에 의한 활성 소결이 이루어졌음을 알 수 있으며, 입자의 형태가 초기의 형태를 그대로 유지하므로 전반적으로 액상인 활성소결제의 표면확산에 의한 소결이 진행되었음을 확인하였다.

(2) 640-840 μm의 분말을 이용하여 소결한 경우 높은 기공도와 강도를 동시에 갖는 필터를 제조할 수 있었으며, 평균기공의 크기와 통기도는 필터 두께 증가에 따라 증가하였다. 필터의 두께가 5 mm일 경우에 기공의 크기는 410 μm이었고 통기도는 $4.6 \times 10^{-11} \text{m}^2$ 이었으며, 15mm일 경우 기공의 크기는 약 500 μm와 통기도는 $7.3 \times 10^{-11} \text{m}^2$ 이었다.

(3) 금속필터의 분진 집진능은 필터 입자의 크기가 증가하여도 유사한 형태를 나타내었으며, 약 2.5분이 경과한 후의 분진의 최대 입자의 크기는 약 3 μm이었다. 420 μm 이상의 분말을 이용하여 금속소결필터의 경우에 여과속도가 40 cm/sec일 경우에도 10 mmH₂O를 유지하여, 기존의 ceramic 필터에 비하여 높은 통기도 특성과 분진제거능을 나타내었다.

후 기

본 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2000-005-E00005)에 의하여 연구되었으며 이에 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

1. M. A. Alvin, T. E. Lippert, J. E. Lane: *Ceram. Bull.*, **70** (1991) 1491.
2. K. Higashi and N. Oda: "Development of High Pressure Filtration Technology", *Int. Gas Turbine and Aeroengine Con.*, ASME, New York, (1992) 370.
3. D. Koch, K. Schulz, J. P. K. Seville and R. Clift: "Regeneration of Rigid Ceramic Filter", in "Gas Cleaning at High Temperatures", R. Clift and J.P.K. Seville(eds). Blackie, Glasgow (1993) 244.
4. K. Morris, C. J. Cursley and R. W. K. Allen: *Powder Technology*, **86** (1991) 21.
5. Y. M. Jo, R. B. Hutchison and J. A. Raper: *Powder Technology*, **91** (1997) 55.
6. Donald L. Bonk: *Proceedings of the Coal-Fired Power System 93-advance in IGCC and PFBC Review meeting*, West Virginia (1993).
7. M. A. Alvin: *Fuel Processing Technology*, **56**(1998) 143.
8. 최주홍: "IGCC용 필터 집진기의 신뢰성 확보를 위한 fail safety 기술", 대체에너지기술 세미나, 산업자원부·에너지관리공단, 한양대학교, (2000) 4.
9. 최주홍, 박영철, 안정준, 안인섭, 배승렬: 한국에너지공학회 추계학술발표, 한국에너지공학회, 고려대학교, (2000) 79.
10. J. Sawyer, R. J. Vass, N. R. Brown and J. J. Brown: *Trans. ASME*, **113** (1991) 602.
11. K. Morris and R. W. K. Allen: *Filtration and Separation*, (1996) 339.
12. Stanisiav V. Vassilev, Kunihiro. Kitano and Christina G. Vassileva: *Fuel*, **76** (1997) 3.
13. Stanisiav V. Vassilev, Kunihiro. Kitano, Shohei Takeda and Takashi Tsurue: *Fuel Processing Technology*, **45** (1997) 27.
14. 박영철, 최주홍: 한국에너지공학회지, **10** (2001) 132.
15. 박영철, 최주홍: 대한환경공학회지, **23** (2001) 1083.
16. Peter R. Johnson, *Filtering and Separation*, **26** (1998) 265.
17. International Standard ISO 4200-1977(E).
18. J. P. K. Seville et. al: *Filtering and Separation*, **26** (1989) 265.
19. D. Koch, W. Cheung, J. P. K. Seville and R. Clift: *Filtration and Separation* (1992) 337.
20. Pall Corporation, *Filtering apparatus*: US Patent 5474585, DEC.12.(1995).