

섬유상 여과필터의 고온 내구성 향상을 위한 테프론 코팅 연구

김은주 · 박영구[†]

우송정보대학 샬마스터과

[†]강원대학교 환경공학과

(2011년 5월 23일 접수 ; 2011년 6월 11일 채택)

Teflon coating of fabric filters for enhancement of high temperature durability

Eun-Joo Kim · Young-Koo Park[†]

Department of Shopmaster, Woosong college

¹⁾*Department of Environmental Engineering, Kangwon National University at Samcheok*

(Received May 23, 2011 ; Accepted June 11, 2011)

Abstract : Fabric fibrous filter has been used in various industrial applications owing to the low cost and wide generality. However, the basic properties of fabric materials often limit the practical utilization including hot gas cleaning. This study attempts to find new coatings of porous fibrous filter media in order to overcome its insufficient thermal resistance and durability. Teflon was one of the plausible chemicals to supplement the vulnerability against frequent external thermal impacts. A foaming agent composed of Teflon and some organic additives was tentatively coated on the glass fiber mat. The present test Teflon foam coated filter was found to be useful for hot gas cleaning, up to 250°C-300°C. Close examination using XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy) and Contact angle proved the binding interactions between carbon and fluorine, which implies coating stability. The PTFE/Glass foam coated filter consisted of more than 95% (C-F)_n bond, and showed super-hydrophobic with good-oleophobic characteristics. The contact angle of liquid droplets on the filter surface enabled to find the filter wet-ability against liquid water or oil.

Keywords : fibrous filter, teflon, foam coating, hot gas cleaning, contact angle

1. 서론

섬유상 부직포로 제작하는 다공성의 여과필터는 다양한 산업공정의 배출가스를 정화시키

는데 사용되고 있다. 그러나 섬유의 기본적인 물성적 특성으로 인하여 고온의 가스흐름 공정에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 산업체에서 발생하는 고온의 배가스를 효과적으로 처리하기 위한 폭넓은 연구가 진행되고 있으며, 특히 중·고온의 환경에서 사용이 가능한 다양한 종류

[†]주저자 (E-mail : ygpark@kangwon.ac.kr)

의 기능성필터의 개발이 필요한 실정이다.^[1] 기존의 중고온용으로 사용되는 고효율의 필터가 존재하고 있는 것이 사실이나, 최근 배가스로부터 가스상과 함께 필터의 내부로 유입되는 수증기를 비롯한 액상 물질로 인해 필터의 내부 및 여과시스템이 젖는 현상이 발생하면서 여재의 손상이 발생하게 되고 교체주기가 극도로 짧아지는 현상이 큰 문제로 나타나고 있다. 이를 해결하기 위해서는 통기성이 높으면서 Gas-Liquid Contactor의 기능성을 가지고 있는 필터의 사용이 요구된다. 다양한 운전조건에서 필터 표면의 비젖음성(non-wetted) 조건을 만족시키기 위해서는 필터 표면의 젖음압이 높아야 하기 때문에 필터 표면에 소수성의 기능성이 부여된 필터를 사용하는 것이 적합하다.^[2, 3]

불소(F₂)는 전자간 반발력이 강하고 해리에너지(154.6 kJ/mol, 0 K)가 작아 높은 반응성을 가지며 낮은 온도에서도 탄화수소 화합물과 반응성이 좋은 특성이 있다. 이와 같은 불소의 높은 반응성을 이용하여 필터 표면처리를 하면 표면은 결합력이 강한 -CF₂-CF₂- 결합으로 변화되는 동시에 화학적 특성 향상 및 열적 안정성을 나타내게된다.^[2, 4]

일반적으로 소각장 및 발전소 등의 중고온의 조건에서 널리 사용되는 NOMEX나 P84 등과 같은 상용 섬유상 필터는 200°C 이상의 조건에서 열변형으로 인해 사용이 제한적이다. 또한, 수분이 많이 발생하는 배가스의 처리시 여과백 내부에 액적이 축적됨으로 인한 탈진의 어려움 및 이로 인한 필터 수명단축의 문제가 발생하고 있다. 또한, 세라믹 필터와 같이 200°C 이상의 고온에서 적용이 가능한 소재는 매우 고가일 뿐만 아니라 높은 초기차압으로 인해 시스템 내의 에너지 사용량이 매우 높아진다는 문제점이 있다.

이에 본 논문에서는 250°C-300°C 영역의 중고온의 배출가스를 처리하기 위한 필터에 표면 소수성 및 고온 안정성을 부여하기 위해 테프론 수지를 거품의 형태로 표면처리하는 방식을 시도하였으며, 이로부터 미세 다공성 테프론 거품코팅 필터의 제조 및 다양한 표면분석을 수행하였다.

2. 시험 재료 및 방법

2.1 소재

본 연구에서는 미국 듀폰사(社)에서 테프론(Teflon)이라는 이름으로 처음 생산한 액상의 PTFE 수용액을 사용하여 중고온용 거품코팅 필터의 제조하고자 하였다. 이는 불소와 탄소의 강력한 화학적 결합으로 인해 매우 안정된 화합물을 형성함으로써 거의 완벽한 화학적 비활성 및 내열성(290°C), 비점착성, 우수한 절연 안정성, 낮은 마찰계수 등의 특성들을 가지고 있다. 테프론은 C-F 결합으로 이루어져 있으며, 이는 Si-O의 결합에너지인 423 kJ/mol 보다 높은 451-485 kJ/mol 의 결합에너지를 가지고 있다.

실험실규모 기초실험을 통해 Teflon 수지와 각종 첨가제를 적절히 배합하여 거품용액을 제조하였다. 표 1에 Teflon 거품을 이용하여 Glass fiber 위에 표면층을 형성하기 위해 사용한 거품코팅 첨가제를 요약하였다. 여기서 거품안정제(Foam stabilizer)는 형성된 거품을 일정 시간 보존하기 위해 첨가하였고, 발포제(Foaming agent)는 거품을 효과적으로 생성시키는 역할을 하며, 증점제(Thickner)는 거품이 섬유상 지지체 내부로 스며들지 않고 섬유상 표면에 부착된 상태를 유지시키는 역할을 한다.

Table 1. Chemical additives for Teflon coating

Chemical additives	Details
Teflon	Polytetrafluoroethylene (Dupont)
Foam stabilizer	ammonium soap, Evo Top FST (DyStar)
Foaming agent	Fatty acid amide derivative
Thickner	TT935-acrylic emulsion

2.2 시험 방법

2.2.1 거품코팅

본 연구에서는 고온용 거품 코팅액의 제조를 위한 독자적인 재료와 방식을 사용하였으며, Fig. 1에 본 연구에서 적용한 Teflon foam coated filter를 제조하는 개략적인 공정을 묘사하였다. 거품코팅을 적용한 고온용 필터를 제작하기 위해서 먼저, Teflon 수지, 거품안정제, 발포제 및 증점제를 혼합하여 실온에서 교반하여 코팅액을 제조하였다. 제조된 코팅액은 공기와 함께 거품발생기에 투입되고, 250 rpm의 속도로 회전하는 교반기에 의해 거품이 형성된 코팅액을 제조하였다. 제조된 거품 코팅액을 공급 펌프에 의하여 유리섬유 원단으로 공급하여 표면코팅을 하였다. 코팅된 유리섬유 원단은 120℃의 온도로 1차 건조하고, 220℃의 온도에서 열처리를 실시하였다. 이렇게 제조된 필터는 표면층의 균일성 및 안정성을 부여하기 위하여 25psi 로 압착하여 코팅층의 두께를 0.1 mm 내지 0.2 mm 로 구성하였다. 압착된 필터는 다시 360℃ 내지 400℃의 온도에서 1~2분 동안 고온 경화시켰다.

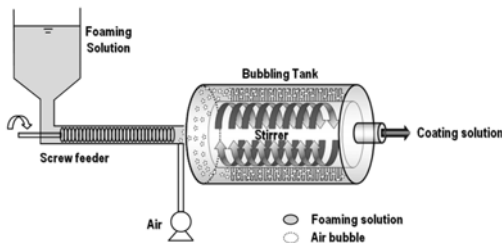


Fig. 1. Preparation process of the Teflon coating solution.

2.2.2 여과시험

연구에 사용한 필터시험 장치는 주문 제작한 충격기류식 탈진장치의 여과집진기(bag-house)로서 4개의 여과포로 구성되어 있으며, 다량의 분진 발생공정의 대기방지사설의 한 부분으로 설치되는 백필터 타입 가운데 범용되고 있는 방식이다 (Fig. 2). 시험장치는 분진발생부(dust feeder), 탈진장치(compressor ~ pulse-jet), 여과집진부(bag house), 흡입식 송풍기(blower)로 구성하였다. bag house는 투명 아크릴 소재로 제작하여 여과실험 중 내부관찰이 가능하도록

하였다.

충격기류식 탈진장치는 배가스의 주흐름과 역방향으로 분사될 수 있도록 여과포 1열마다 독립적으로 배열하였으며, 고압 공기 공급을 위한 blow tube의 아랫면에는 원통형 여과포의 중심이 되는 위치에 제트 노즐을 설치하였다. 일정한 간격의 충격기류에 의해 여과포 표면에 쌓이는 분진층이 탈진되는 특성을 관찰하였다.

본 연구에서는 백필터를 이용한 필터 탈진 실험을 위해 실험용 분진으로 석탄화력발전소에서 배출되는 석탄회를 사용하였으며, 분진의 평균입경은 8.02 μm 이었다.

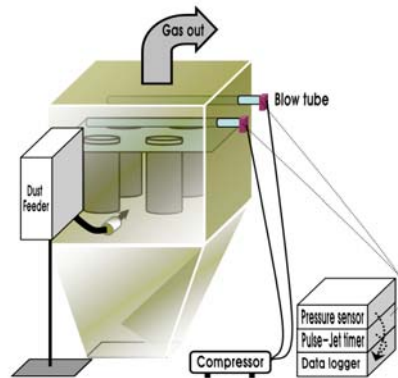


Fig. 2. Experimental set-up for dust filtration.

2.2.3 화학분석

본 논문에서는 X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS, K-ALPHA, Thermo Scientific)를 이용하여 각 필터의 표면 특성을 비교 분석하였으며, 분석조건은 아래의 표1에 나타내었다. XPS는 전자를 이용한 표면분석 방법으로 표면의 원소 구성비(elemental composition)와 각 원소의 화학결합상태(chemical state)까지 알아낼 수 있다. 모든 원소들의 전자는 K각, L각등 각(Shell)구조를 이루고 있으며, 그 내각 전자들은 각기 독특한 에너지준위(Binding Energy)를 가지고 있다. 내각 전자의 결합에너지는 원소에 X-ray를 조사하여 광전효과(Photoelectric effect)에 의하여 튀어나오는 내각 전자의 운동에너지를 측정함으로써 알아낼 수 있다. 이때, 원소 확인을 위해 전 에너지 영역에 대해서 측정하는 것을 survey scan 이라 하고, survey scan 결과를 바탕으로

Table 1. Analyzing condition of XPS.

Parameter	
No. Scans	7
Source Type	Al K Alpha
Spot Size	300 μm
Lens Mode	Standard
CAE (constant analyzer energy)	Pass Energy = 50.0 eV
Energy Step Size	Narrow scan = 0.1 eV

특정원소에 대해서 선택적으로 측정하는 것을 narrow scan이라 한다.

3.3 접촉각 측정

본 연구에서는 Fig. 3에 제시한 접촉각 측정 장치 (DSA100; KRÜSS®, Germany)를 이용하여 Teflon foam coated filter에 대한 접촉각을 측정하였다. 준비된 필터 샘플을 X-Y stage 위에 올려놓은 후 2 μl 의 수용액 및 기름용액 (D-diiodomethane (CH₂I₂, 99%, Sigma-Aldrich GmbH, Germany))을 대상필터 위에 떨어뜨리고, 필터표면과의 각도를 측정하여 접촉각을 측정하였다. 이를 통해 필터 표면의 소수성 (Hydrophobic), 소유성 (Oleophobic)을 확인하고자 하였다. 이때, 접촉각의 측정 및 지속적인 표면 관찰은 접촉각 측정 장치에 장착된 고성능 카메라를 이용하여 수행하였다.

존재하며, 여기서, $\theta=180^\circ$ 일 때, 필터의 표면 에너지가 액상의 표면에너지보다 매우 낮은 상태로 물방울은 완전히 구형으로 되어 높은 소수성, 즉, 발수능력이 부여된 표면 특성을 나타내고, $\theta=0^\circ$ 일 때, 필터의 표면에너지가 액상의 표면에너지보다 훨씬 높아서 필터 표면의 접촉각이 존재하지 않는 매우 낮은 발수능력을 나타낸다고 할 수 있다.

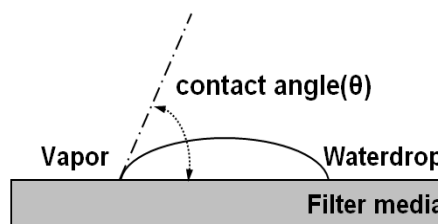


Fig. 4. Definition of contact angle.

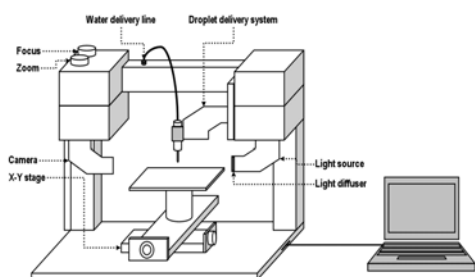


Fig. 3. Experimental set-up of contact angle.

Fig. 4는 접촉각 측정에 대한 정의를 나타낸다. 접촉각의 크기는 고체표면의 표면에너지와 액상의 표면에너지의 관계에 의해 이해할 수 있다. 일반적으로 접촉각은 0° - 180° 범위에서

3. 결과 및 고찰

3.1 테프론 코팅 여과포

첨가제의 내열성을 관찰하기 위해 열중량 분석(TGA)을 실시하였다. Fig. 5에서 보듯이 사용된 Teflon 수지는 500°C 까지의 온도에서 열적안정성을 보였다. 200°C 에서 소량의 중량 감소가 있었으나, 이는 수분과 약간의 유기 불순물로 추정된다. 코팅 처리된 Teflon foam coated filter는 550°C 까지의 온도에서 안정적인 코팅상태가 유지되는 것으로 확인된다. 이는 거품코팅의 특성상 다공성의 표면층을 형성할 때 사용되는 Teflon 코팅액의 양이 상대적으로 소량이므로 총경량 감소율이 낮기 때문이다. 이를

통해 필터 코팅 후 경화 과정에서 Teflon에서 소량의 무게감량이 발생함을 알 수 있고, 거품 코팅 후 필터표면층을 경화시키는 공정의 온도가 360-400°C 임을 고려했을 때, 실제 생산현장에서 발생하는 고온 배가스의 온도 영역인 250-300°C 에서는 필터소재의 열변형이 발생하지 않을 것으로 사료된다.

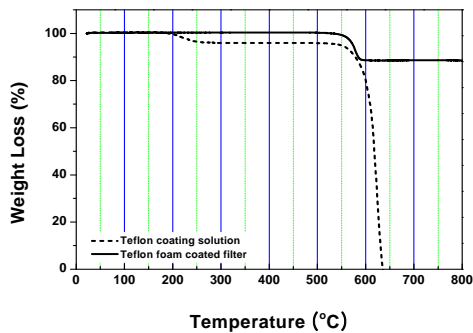


Fig. 5. TGA curves of Teflon foam coating sol and coated filter.

Teflon foam coated filter의 표면층을 형성하고 있는 거품의 특성을 관찰하기 위해 코팅 필름의 기공분포를 기공분포측정기(CFP-1200-AEL, Porous Materials Inc.)를 이용하여 측정하였다.(Fig. 6) 표면에 형성된 기공은 40 μ m 이하로 분포되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 기공의 평균크기는 17 μ m 이었다.

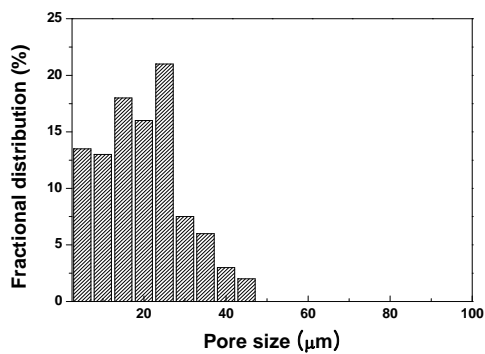


Fig. 6. Pore size distribution of Teflon foam coated filter.

Fig. 7은 Teflon foam coated filter의 표면을

FE-SEM을 이용하여 관찰한 모습이다. 필터의 코팅두께는 PTFE 층이 0.1mm 이고, Glass Fiber 층이 0.8mm 이었으며, 관찰을 통해 필터의 표면형태가 3차원의 다공성 구조를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이는 거품코팅을 통하여 형성된 필터의 표면층이 직포형태의 유리섬유에 표면여과특성을 부여한 것으로 판단된다. 결과적으로 본 연구에서 시험 제조한 거품코팅 여과 필터는 15~25 μ m의 좁은 기공분포를 가지고 있고, 15 μ m 이하의 미세 기공들은 주된 기공들이 배열된 사이의 빈 공간을 채우고 있음을 확인할 수 있다. 좁은 분포를 형성하는 주요 기공들로 인해 궁극적으로 필터의 총괄 여과효율이 결정되고, 상대적으로 작은 15 μ m 이하의 기공들로 인해 Teflon foam coated filter의 통기도가 전체적으로 높아지는 효과를 가져 온다고 할 수 있다.

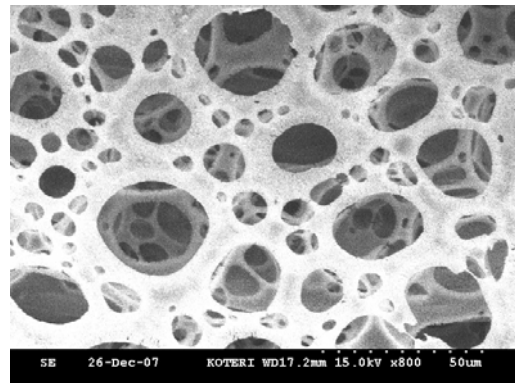


Fig. 7. Optical images of the prepared filter surface.

3.2 표면결합에너지

중·고온 배가스를 처리하기 위한 필터는 소재의 특성과 소재의 구조, 기공의 형태, 크기 분포 등에 의해 필터의 적용범위가 결정되지만 표면의 기능기에 의해 발현되는 표면특성에 의해서도 영향을 받는다. 거품코팅으로 표면불소화 처리된 Teflon foam coated filter에 대하여 XPS를 이용하여 스캔한 후 Carbon peak fitting 기법을 통하여 표면 화학적 조성을 고찰하였으며, 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. 성분간의 결합에너지 강도를 통하여 CF₂, CF₃ 결합이 Teflon foam coated filter의 주된 표면결합 형태임을 확인할 수 있다. 일반적으로 C_{1s}

peak 는 element 상태에서 284.6 eV 의 결합에너지 를 가지며 결합형태에 따라 높은 결합에너지로 이동하는 것을 고찰하였다. 또한, 표면의 소수성의 강도는 $-CH_2 < -CH_3 < -CF_2 < -CF_2H < -CF_3$ 의 결합형태 순서로 높아진다고 할 수 있다^[5, 6]. 이를 통해, Teflon foam coated filter는 매우 높은 소수성의 표면특성을 가지고 있다고 판단할 수 있다.

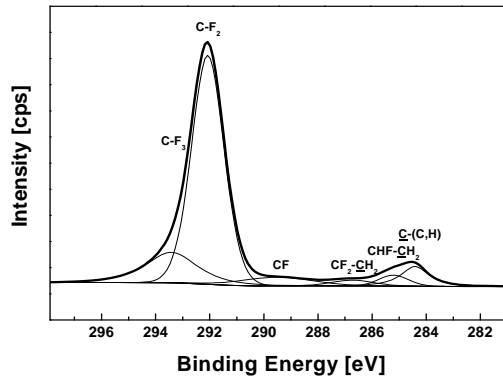


Fig. 8. Carbon peak fittings between C-F of XPS narrow scan spectra for Teflon foam coated filter.

3.3 표면접촉각

Fig. 9는 Teflon foam coated filter의 표면소

수성(hydrophobic) 및 표면소유성(oleophobic)을 관찰한 결과를 나타낸다. 특히, 거품코팅 전의 Teflon B 코팅된 유리섬유 지지체에 대해서는 수용액이 지지체 표면에 접촉하는 순간 지지체 내부로 흡수되어 접촉각이 0° 였으나 Teflon foam coated filter는 수용액에 대한 접촉각이 133.5° 로 나타나 거품코팅을 통해 필터 표면에 매우 높은 소수성이 부여되었음을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 기름용액에 대한 접촉각 역시 101° 로 측정되어 기름용액에 대해서도 매우 높은 표면소유성이 있음을 확인할 수 있다. 위의 XPS 결과와 접촉각 결과로부터 Teflon foam coated filter는 매우 습하거나 유적이 포함된 배가스를 처리하는 혹독한 환경에서의 적용성 역시 뛰어날 것이라 판단할 수 있다.

3.4 미세입자여과시험

여과집진시스템에서 적용되는 필터에 대한 탈진효율은 시스템 전체의 효율을 결정할 수 있는 중요한 인자이다. 이는 필터의 공기투과도, 압력강하 뿐만 아니라 시스템의 연속가동 가능여부와도 밀접한 상관관계를 가지고 있기 때문에 필터의 집진성능을 판단하기 위한 필수적인 항목이다. 공기 투과도는 여과시스템 내에서 얼마나 효과적으로 유체를 통과시킬 수 있는가를 판단할 수 있는 인자 중의 한가지이고, 또한 Darcy의 법칙에 따라 필터층을 가로질러

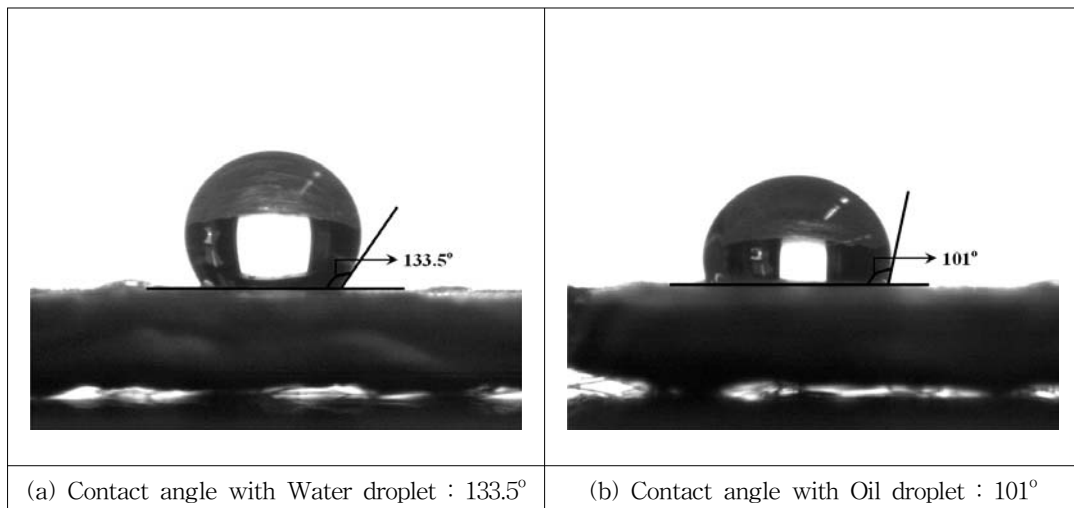


Fig. 9. Contact angle of Teflon foam coated filter media with resistance to surface wetting.

발생하는 저항과 관련이 있다. 다시 말해서, 탈진 효율이 높지만 필터의 공기 투과도가 낮으면 시스템의 저항이 크게 작용하기 때문에 적합하지 않고, 탈진효율이 높으면서 공기 투과도가 클수록 필터로써 적합하다고 판단할 수 있다.

본 연구의 Teflon 거품코팅 필터와 산업체에서 빈번하게 사용되고 있는 고온용 필터의 탈진 성능을 비교하여 표 2에 요약하였다. 표 2에 정리한 것처럼, 직포 형태의 Glass fiber 표면에 테프론을 라미네이팅 처리한 Gore-tex membrane과 KPI membrane, 그리고 부직포형태로 제작한 두 종류의 Teflon membrane을 본 연구에서 개발한 Teflon 거품코팅 필터와 비교 검토하였다.

직포형태의 라미네이팅 멤브레인은 공기 투과도가 1.5-2 cm³/cm²/sec 정도로 매우 낮은 수준이었으며, 이에 반해 부직포형태의 멤브레인은 공기 투과도가 10-15 cm³/cm²/sec 정도로 높은 수준을 보였다. 이와 비교하여 본 연구를 통해 개발된 Teflon 거품코팅 필터는 공기 투과도가 8.0 cm³/cm²/sec 정도의 수준이었다. 이는 2 bar의 높은 압력에서 거품코팅을 했을 때 나타나는 필터의 표면특성 때문이라 판단되며, 유리섬유 원단 자체의 통기도가 12-13 cm³/cm²/sec임을 감안할 때 다소 낮아진 것을 알 수 있다. 그러나 직포형태의 상용 멤브레인은

필터와 비교해 보면, 공기 투과도가 3배 이상 되는 것을 알 수 있다.

표 2에 제시한 초기차압, 탈진주기 그리고 탈진 후 잔여차압은 여과집진시스템 내에서 필터의 운전수명을 예측함에 있어서 매우 중요한 변수이다. 본 연구를 통해 개발된 필터는 초기차압, 3.6 mmH₂O, 탈진주기, 6.5회/8hr, 탈진후 잔여압력, 21 mmH₂O 임을 알 수 있으며, 이는 일반적으로 사용되고 있는 상용 고온용 필터에 비해 매우 우수한 수준임을 알 수 있다.

아래의 Fig. 10은 탈진 후 잔여차압을 시스템 내부에 해당 필터를 설치한 후 발생하는 초기차압과 비교하여 압력기준의 탈진효율을 계산하여 나타낸 그래프이다. 아래의 식(1)은 탈진 효율을 산정한 식이다. 여기서 i 는 i 번째의 탈진 시기를 의미하며 ΔP_{L_0} , ΔP_{H_i} , ΔP_{L_i} 는 각각 시스템의 초기차압, i 번째 탈진 직전의 최고 차압, i 번째 탈진 직후의 최저 차압을 의미한다.

$$\mathcal{E}_d = \frac{\Delta P_{H_i} - \Delta P_{L_i}}{\Delta P_{H_i} - \Delta P_{L_0}} \times 100 \quad (1)$$

그래프를 통해 연속실험이 8시간을 경과한 시점에서 부직포 여과백이 90% 로 가장 좋은 탈진 효율을 유지하고 있음을 알 수 있다. 멤브레인 형태의 여과백은 80% 수준의 탈진효율을

Table 2. Characteristics of test filters

Filter	Surface type	Filter thickness (mm)	Permeability (cm ³ /cm ² /sec)	Initial ΔP (mmH ₂ O)	Residual ΔP (mmH ₂ O)	Cleaning Frequency (8hr)	Filtration Efficiency (%)
Teflon foam coated filter (this work)	PTFE Foam coat	0.9	8	3.6	21	6.5	99.9
Gore-tex membrane (USA)	PTFE laminate	1.0	1.5	17	37	10	99.9
KPI membrane (South Korea)	PTFE laminate	1.0	2	12	35	10	99.9
Teflon membrane (Germany)	nonwoven type	2.0	15	1.5	20	13	99.9
Teflon membrane (China)	nonwoven type	2.0	10	3	17	9	99.9

나타냈으며, Teflon foam coated filter는 85% 수준임을 확인할 수 있다. 이를 통해 시간의 경과에도 불구하고 각각의 필터가 일정한 수준의 탈진효율을 유지하고 있음을 알 수 있다. 여기서 고려할 것은 표 2에서 제시하였듯이 8시간의 연속실험 동안 Teflon foam coated filter의 탈진 회수가 6.5회로 기존의 고성능 멤브레인 필터 및 부직포 형태의 테프론 필터에 비하여 월등히 뛰어나다는 것이다. 뿐만 아니라 비슷한 수준의 질량 집진효율을 가지고 있음을 알 수 있었는데, 이는 일반적으로 멤브레인 형태의 필터는 차압에 의한 탈진효율이 낮게 형성되는 것에 반하여 Teflon foam coated filter는 상용 섬유상 형태의 필터 수준으로 탈진효율이 형성됨을 통해 본 연구에 의해 개발된 필터는 분진을 여과함에 있어서 성능이 탁월함을 나타낸다고 할 수 있다.

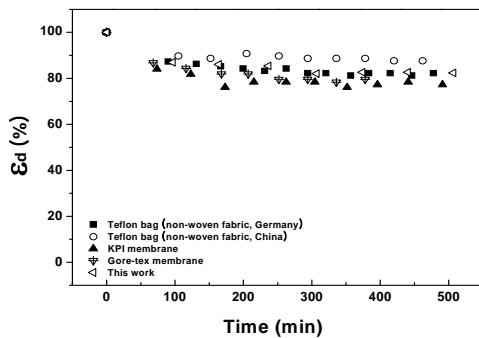


Fig. 10. Cleaning efficiency between foam coated Teflon filter and common Bag-filter.

4. 결론

본 연구는 발포기에서 고분자 액의 거품을 형성시켜 유리섬유 다공체의 표면에 코팅함으로써 분진 포집용 필터를 제조하는 기술에 관한 것이다. Teflon foam coated filter는 550°C에 도달하기 전까지는 고온 환경에서 안정적인 상태를 유지할 수 있는 내열 특성이 있음을 열중량분석을 통해 확인할 수 있었다. 시험제한 필터는 300°C 이상의 고온에서도 비교적 낮은 압력손실을 유지하면서 공기흐름에 의한 압력과 열충격에 대한 외형상의 변형이 없었다. 또

한 5 μm ~ 45 μm 의 기공분포를 나타내면서 8 $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$ 의 비교적 높은 공기투과도를 가지는 소수성이 매우 높은 다공질의 표면 특성을 나타내는 것을 확인했다. 분진 여과효율은 상용 멤브레인과 유사한 수준의 고효율을 나타냈으며, 탈진 후 잔여차압을 통해 살펴본 탈진효율은 부직포 필터 수준으로 나타났다. 결론적으로, Teflon foam coated filter는 동일한 탈진시간 동안 고성능의 멤브레인 보다 우수한 탈진주기와 상대적으로 양호한 탈진효율을 보임으로써 고온 유체 흐름으로부터 미세분진을 분리 여과하는 새로운 필터의 특성을 확인하였다.

참고문헌

1. Lee, H.K., Jo H.D. and Kim I.W. (2001) Performance Test of Byproduct DBA Additives in Wet Flue Gas Desulfurization, *Hwahak Konghak*, Vol.39, No.6, pp.763
2. Park B.R., Rhim J.W., Lee S.Y., Hwang T.S. and Lee H.K. (2007) Membrane Surface Modification through Direct Fluorination for Gas-Liquid Contactor, *Membrane Journal*, Vol.17, No.4, pp.345-351
3. Zhang Q. and Cussler E.L. (1985) Microporous Hollow Fibers for Gas Absorption: I. Mass Transfer in the Liquid, *J. Memb. Sci.*, Vol.23, pp.321
4. Toit F.J. and Sanderson R.D. (1995) The Effect of Surface Fluorination on the Wettability of High Density Polyethylene, *J. Fluor. Chem.*, Vol.74, pp.73
5. Vandecasteele, N. and F. Reniers, 2010, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, pp.178-179, pp.394-408.
6. Hare, E.F., Shafrin E.G. and Zisman W.A., 1954, *J. Phys. Chem.*, 58, pp.236.