

다층구조의 고효율 수처리용 필터 제조

손종석* · 정현섭* · 유영상** · 홍주희*,†

*순천제일대학교 산업기술화공과
57997 전라남도 순천시 제일대학길 17
**(주) 수연테크

15426 경기도 안산시 단원구 산단로 341

(2019년 7월 15일 접수, 2019년 10월 15일 수정본 접수, 2019년 10월 18일 채택)

Manufacture of Multi-Layered High Efficiency Water Treatment Filter

Jong Suk Sonn*, Hyun-Sub Joung*, Young-Sang Yoo** and Joo-Hee Hong*,†

*Department of Industrial Technology & Chemical Engineering, Suncheon Jeil College
17, Jeildaehak-gil, Suncheon-si, Jeollanam-do, 57997, Korea

**Suyeon Technology, 341, Sandan-ro, Danwon-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 15426, Korea

(Received 15 July 2019; Received in revised form 15 October 2019; accepted 18 October 2019)

요 약

본 연구는 외국제품과 동등 또는 이상의 품질을 가진 고효율성 수처리 필터의 제조와 그 공정을 개발하는데 목적이 있다. 개발된 필터의 여과효율은 93~99%로 기존의 국내산 82~97.5%, 일본산 92.5~98% 보다 우수하거나 유사하였다. 오염 입자의 양에 따른 압력손실(내구성)은 기존의 국내산보다는 현저하게 작았으며 일본산과 비교해도 약 0.1 kg/cm²의 낮은 압력 손실을 나타내었다. 또한 본 연구에서 개발된 카트리지 필터는 일본산 제품에 비하여 약 50%의 가격으로 생산이 가능하므로 기존의 국내산 제품뿐 아니라 일본산 제품에 대한 수입대체 효과도 기대할 수 있다.

Abstract – The purpose of this work is to manufacture of high efficiency water-treatment filter that is equal to imported products or even higher in terms of quality and even develop the manufacturing process. The filtration efficiency of the developed filter was 93~99%, which was better or similar to that of domestic filter (82~97.5%) and Japanese filter (92.5~98%). The pressure loss(durability) along with the amount of contaminant particles was significantly smaller than that of domestic products, and showed 0.1 kg/cm² less than that of Japanese products. In addition, at the cost side of production, the developed cartridge filter can be produced with 50% of the current price compared to that of Japanese products. Therefore, it is possible to replace the imported Japanese products as well as domestic products.

Key words: Cartridge filter, Non-woven fabrics, Water-treatment filter

1. 서 론

인간 생활이나 산업 활동에 의하여 발생하는 폐수, 하수, 분뇨 등과 같은 인위적 요소들에 의하여 자연 수자원이 화학적, 물리적 및 생물학적으로 변하는 현상을 ‘수질 오염(water pollution)’이라 한다 [1,2]. 수세기 전부터 많은 선진국들은 산업화에 따른 물의 사용량이 많아지면서 이에 따른 수질오염의 심각성에 대하여 관심을 가져왔다. 우리나라는 1960, 70년대의 산업화와 더불어 산업 현장에서

많은 양의 물 사용에 따른 다량의 폐수 발생과 이에 따른 자연 생태계의 파괴로 인하여 수질 오염 대한 관심을 갖게 되었다[2]. 산업화로 인하여 인구가 도시로 집중시키는 결과를 초래하였고, 또한 생활수준의 향상은 물의 수요를 증가시켜 수질 오염을 가중시켜 왔다 [3]. 현재 많은 국가들은 수질오염의 심각성을 인식하고 자국의 수질오염 방지와 복구를 위해 많은 법적·제도적 장치를 마련하고 있으며, 국제적으로도 환경보전을 위한 여러 협력체제가 이루어지고 있다. 또한, 산업 전 분야에 걸쳐 환경관련 기술의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 일반적 환경관련 기술이라 할 수 있는 물리적 및 화학적 분리기술은 가장 근본적이고 일반화된 기술로써 이와 같은 기술의 중심에는 필터(filter) 산업이 자리를 잡고 있다[4,5]. 이중 수처리용 카트리지 필터는 수처리 장치에 사용되는 산업용 부품 소재로 물을 사용하는 다양한 산업체에서 전처리용 필터로서 대량

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: joohee@suncheon.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사용되고 있다. 그러나 현재 국내의 필터 관련 제조업체는 수적으로는 많으나 경제적으로 열악하여 새로운 필터 개발을 위한 기술투자가 원활하게 이루어지지 않고 있다. 더욱이, 대부분의 필터 제조업체가 자동차 부품과 관련된 자동차용 종이 오일(oil) 필터나 자동차용 종이 에어(air) 필터 소재 등을 생산하고 있어 상대적으로 수처리용 필터의 제조와 기술 개발은 더욱 미흡한 상태이다[5-8].

현재 국내에서 생산되고 있는 수처리용 카트리지 필터는 PP (Polypropylene) 섬유(fiber), 아크릴(Acrylic) 섬유, 면(Cotton) 섬유 등을 와인딩(winding)하는 제조 기술, 고분자 melt-blown 제조기술 및 고분자 부직포를 열접착 또는 감아서 제조하는 기술에 의하여 제조되고 있다[9-16]. 그러나 일본 등에서는 가장 정밀한 필터를 만드는 기술로 알려져 있는 고분자 부직포를 열융착 또는 감아서 제조하여 물리적 여과 효율을 향상시킨 수처리용 카트리지 필터 제조 기술이 이미 개발되었다. 최근에 국내에서도 이와 같은 기술이 개발되었으나 단일 고분자(polymer) 부직포를 사용하므로 필터의 외관은 수입되는 제품과 비슷하나 필터의 수명과 여과 효율 등에서 매우 미흡한 실정이다[4-5,8]. 그러므로 대부분의 국내 기업들은 높은 가격에 일본의 치소(Chisso)사 등으로부터 필터를 수입하여 식음료, 전자제품의 세정, 산업체의 공업용수 정제 및 정화시스템 등 다양한 분야에서 수처리용으로 사용하고 있다[2-3,12,16].

이에 본 연구에서는 고분자 섬유를 이용한 고효율성 필터 제조를 위한 가장 중요한 요소인 고분자 부직포의 기공(pore) 크기를 조절하여 다양한 산업분야의 용도에 맞는 수처리용 필터의 생산·제조 기술 개발 뿐 아니라 고가의 수입품을 대체할 수 있는 제품을 개발하고자 한다.

2. 실험

2-1. 필터의 제조

고분자 섬유를 이용한 고효율성 필터 제조를 위한 가장 중요한 요소는 부직포의 생산속도와 필터의 생산속도를 조절하여 부직포 기공 크기를 조절하는 것이다. 이와 같은 필터를 개발하기 위해서는 1차적으로 부직포의 기공 크기가 용도에 맞게 자동으로 조절되어야 하며 2차적으로는 필터의 두께에 따라 부직포의 생산속도 및 기공 크기가 조절되어야 한다. 또한, 이와 같은 공정은 고분자 부직포가 연속 공급되는 연속공정으로 이루어져야 한다. 공정에 대한 개략도는 Fig. 1과 같다.

일본 등에서 수입되고 있는 제품(카트리지 필터)은 고가의 ES (Ethylene-Propylene Side By Side) 섬유로 제조되어 생산단가가 높을 뿐 아니라 제조 공정도 복잡하다. 또한, PP 섬유를 사용한 제품은 부직포와의 결합력이 떨어지고 열을 가하게 되면 뭉치는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 LDPE (Low Density Polyethylene, HYUNDAI SEETE LDPE XJ800)를 공압출 방법을 이용한 개선된 필터 제조 공정을 개발하였다(Fig. 2). 필터 제조에 사용된 LDPE의 물성과 가공조건은 Table 1과 2에 나타내었다.

2-2. 성능 평가

제조된 필터의 다층 구조는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM, HITACHI S-3000N)을 이용하여 확인하였으며 수처리용 카트리지 필터의 성능 평가(통수량-압력손실, 여과효율, 내구성)를 위하여 제작된 여과 시험기의 개략도는 Fig. 3과 같다.

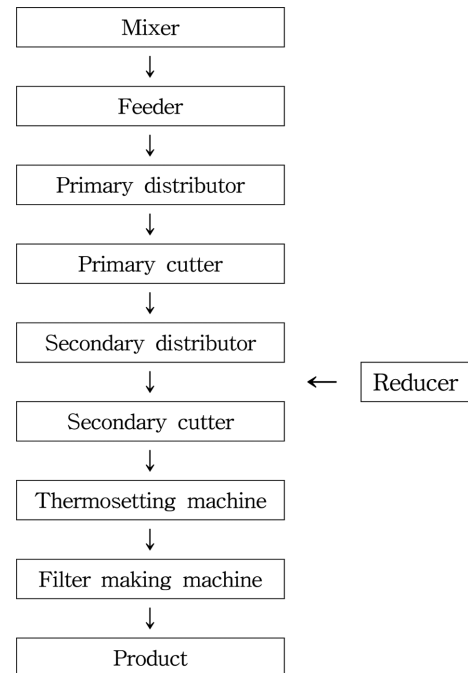


Fig. 1. Schematic diagram for non-woven production.

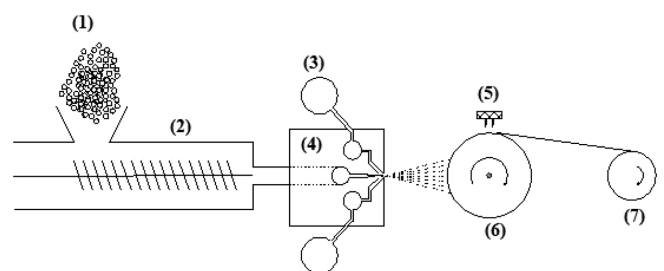


Fig. 2. First Spray-spinning extrusion system.

- | | |
|--------------|-------------------|
| (1) Resin | (5) Electrostatic |
| (2) Extruder | (6) Collector |
| (3) Air | (7) Winder |
| (4) Die | |

Table 1. The Properties of LDPE resin

Resin Properties	Unit	ASTM	Typical values
Melt index	g/10 min	D1238	40.0
Density	g/cm ³	D1505	0.914
Vicat softening point	°C	D1525	76
Tensile strength at yield	N/cm ²	D638	830
Tensile strength at break	N/cm ²	D638	850
Elongation at break	%	D638	500
1% secant modulus	N/cm ²	D638	9500
Low temperature brittleness	°C	D746	-40

Table 2. Process condition for LDPE extrusion

Cylinder zones temperature (°C)					
Cylinder	1	2	3	4	Head Die
Screw			Single		r.p.m
LDPE	230	260	290	300	350
					35~40

2-2-1. 통수량-압력손실

5 μm 기공 크기를 갖는 각 샘플의 수처리용 카트리지 필터(I.D

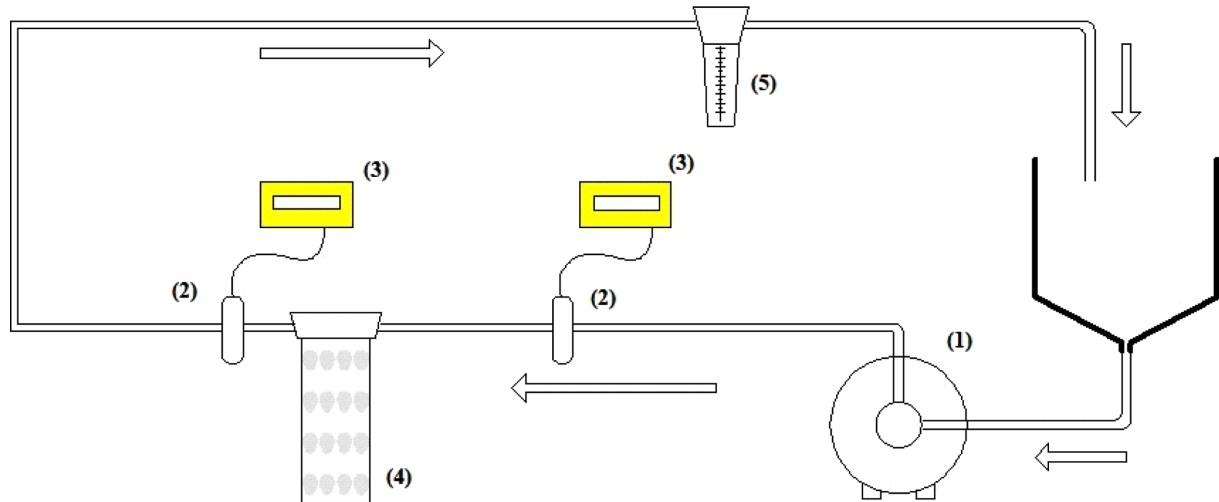


Fig. 3. The schematic diagram of water filtering tester. (1) D.C. Motor, (2) Pressure gauge, (3) Indicator, (4) Filter media, (5) Flow meter.

30 mm, O.D 65±1 mm, L 250 mm)를 필터 케이스에 장착한 후, 유체의 유속(flow rate)을 2 l/min에서 12 l/min까지 분당 2 l 씩 유속을 증가시키며 압력손실을 측정했다.

2-2-2. 여과효율

2-2-2-1. 카트리지 필터

20 l의 물에 고품 입자인 카버런덤(carborundum) #600 (10~30 μm)을 5분당 5 g씩 첨가하여 총 40 g이 첨가될 때까지 이 용액을 10 l/min의 유속을 유지하며 카트리지 필터를 통과시켜 여과 전·후 용액의 단위 부피당 고품 입자 크기 분포를 화상처리 분석 시스템 (Image Analyzer System, Omnimet 1, UK)을 사용하여 여과효율을 조사하였다.

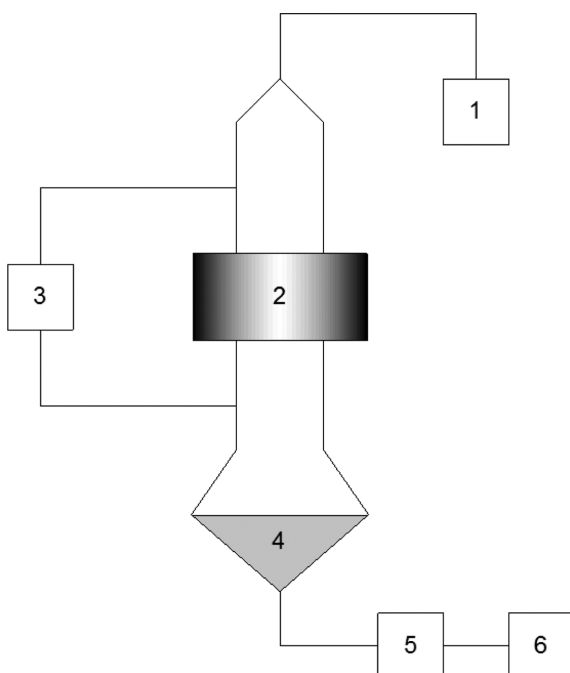


Fig. 4. The schematic diagram of air-filter tester.

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. Dust generator | 4. Absolute filter |
| 2. Filter media | 5. Thermister |
| 3. Digital manometer | 6. Fan |

Table 3. The particle size distribution of dust

Particle size distribution, %					Mean particle size, μm
1~5 μm	6~8 μm	11~20 μm	21~30 μm	31 μm or more	
59.6	19.3	16.5	2.2	2.4	8.84 μm

Table 4. Mixing ration of dust for air-filter test

Used dust	Weight ratio (%)
Loam	72.0
Carbon black	23.0
Cotton lint	5.0

2-2-2-2. 부직포

필터 소재의 여과 시험을 위하여 필터 성능시험기에 대한 KS 규격(KS B 6141)중에서 형식 3의 규정에 준하여 여과 시험기를 제작하였다(Fig. 4). 시험용 분진은 KS 규격(KS A 0090)에 규정된 시험용 분진(제15종)을 사용하였으며, 분진의 평균 입자 크기는 8.84 μm 이었다. 시험용 분진의 첨가량은 분당 1 g씩 총 5 g을 첨가한 후 투입 전·후의 분진 총 질량을 측정하여 여과 효율을 구하였다. 사용된 분진의 입도 분포와 구성 비율은 Table 3과 4에 각각 나타내었다.

여기서, 룬(loam)의 평균 입자 크기 6.6~8.6 μm, 진밀도 2.9~3.1 g/cm³이고 카본블랙(carbon black)의 DBP (Di-Buthyl Phthalate) 흡수량 25~34%, 요오드 흡착량 22~30%이며 무명린트(cotton lint)의 지름 1.5 μm 이하, 길이 1 mm 이하이다.

카트리지 필터와 필터 소재의 여과효율은 다음에 의하여 구하였다.

$$\eta(\%) = \frac{I - I'}{I} \times 100$$

여기서, η는 여과 효율, I는 여과 전 용액의 단위 부피당 고품입자 개수(또는 투입 전 분진의 총 질량), I'는 여과 후 용액의 단위 부피당 고품입자 개수(또는 필터 소재를 통과한 분진의 질량)를 나타낸다.

2-2-3. 내구성 시험

수처리용 카트리지 필터의 여과효율 시험을 수행하면서 동시에 내구성 시험을 병행하였다. 즉 5분 단위로 5 g씩 총 40 g의 카버런

덤(#600)을 첨가하면서 카버런덤의 첨가량에 따른 수처리용 카트리지 필터의 압력손실 변화를 5분마다 측정하였다. 이와 같이 카버런덤 첨가량의 증가에 따른 압력손실의 증감에 따라 카트리지 필터의 내구성을 판단하였다.

2-3. 열안정성

용융방사를 위한 필터 소재의 열적 특성(특히 용융온도)분석은 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC, TA Instruments, DSC 250)를 이용하였다. 분석을 위한 각 시료(국내산 A, 일본산 B, 개발품 C)의 양은 5 mg을 사용하였으며 온도는 0 °C에서 200 °C까지 10 °C/min의 속도로 상승시키면 분석을 수행하였다.

3. 실험 결과

3-1. 성능 평가

3-1-1. 구조

SEM를 이용하여 제조된 카트리지 필터의 단면 구조를 확인하여 얇은 막의 여러 층으로 형성되었음을 확인하였다. 또한 제조된 필터는 내부로 갈수록 더욱 조밀한 구조를 갖는다(Fig. 5). 이러한 구조는 공압흡 방사법에 의한 고분자 섬유외의 와인딩이 수회 반복되는 과정에서 다층구조를 갖게 되었고, 또한 내부의 구조도 조밀하게 형성된 것으로 판단된다.

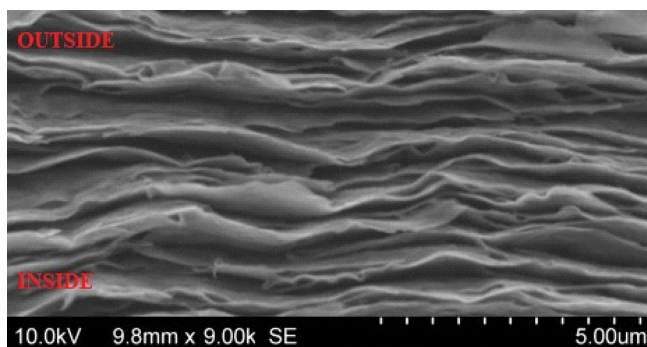


Fig. 5. Cross-section of cartridge filter.

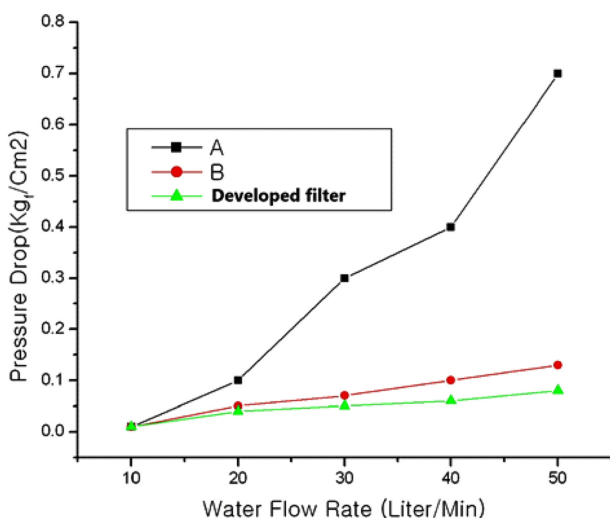


Fig. 6. The variation of pressure drop with water flow rate of 5 μ m cartridge filter.

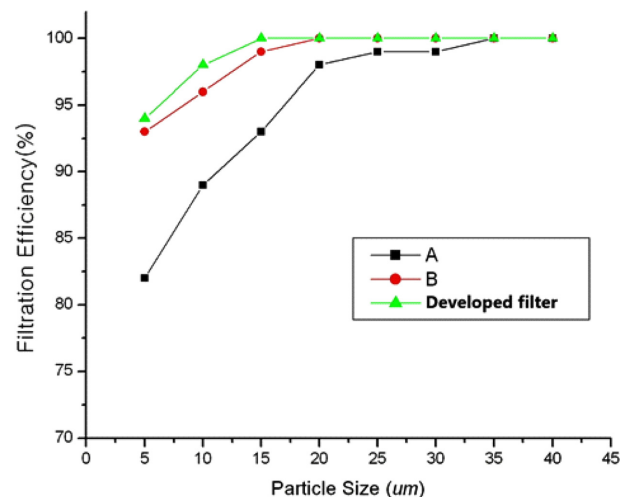


Fig. 7. The filtration efficiency of 5 μ m cartridge filter on the particle distribution.

3-1-2. 통수량-압력손실

일반적으로 카트리지 필터의 한계 압력손실 값은 1.0~1.5 kg/cm² 정도이며 이 값에 도달하면 새로운 필터로 교환해야 한다. Fig. 6에 개발된 5 μ m 이상의 오염입자 제거용 카트리지 필터와 기존의 카트리지 필터(A, B)에 대한 통수량-압력손실의 결과를 나타내었다. 통수량(water flow rate)이 10 l/min에서 50 l/min까지 증가할 경우 국내산 샘플 A는 압력손실이 0.7 kg/cm²로 급격한 변화를 나타내었으며 또한 일본산 샘플 B 0.12 kg/cm²의 압력손실을 나타내었으나 개발된 샘플 C 0.08 kg/cm²로 상대적으로 낮은 압력손실이 발생하였다. 그러므로 본 연구에서 개발된 수처리용 카트리지 필터의 여과수명이 기존의 카트리지 필터인 국내산 샘플 A나 일본산 샘플 B보다 우수한 것으로 사료된다.

3-1-3. 여과효율

3-1-3-1. 카트리지 필터

Fig. 7은 본 연구에서 개발한 5 μ m 이상 오염 입자 제거용 카트리지 필터의 여과효율을 측정한 결과를 나타낸다. 필터의 요구 성능은 낮은 압력손실과 우수한 여과효율이며, 이러한 조건에 적합한 필터의 경우 우수한 여과효율과 낮은 압력손실 등으로 인하여 필터의 수명 또한 연장이 가능할 것으로 판단된다. 여과효율 시험은 유체중의 고형물을 제거하는 필터의 여과 능력을 측정하기 위하여 수행하였으며, 시험에 사용한 필터는 5 μ m용 카트리지 필터를 사용하였다. 5~20 μ m의 오염 입자에 대한 여과효율은 개발품이 93~99%, 국내산 샘플 A 82~97.5%, 일본산 샘플 B 92.5~98%로 나타났다. 이러한 결과들로부터 20 μ m 이하의 작은 오염입자들에 대한 여과효율이 국내산 샘플 A와 일본산 샘플 B보다 개발된 카트리지 필터의 효율이 우수하다고 판단된다.

3-1-3-2. 부직포

개발된 부직포(A)와 일본산 제품(B)의 여과 효율을 Fig. 8에 나타내었다. 분당 1 g씩 분진 첨가량 증가에도 두 제품의 여과 효율은 큰 차이를 나타내지 않고 84~85%의 여과 효율을 나타내었다. 이러한 결과는 생산단가가 낮은 개발된 제품이 고가의 생산단가에 의하여 제조되고 수입되는 일본산 제품보다 경제적 측면에서 경쟁력이 있다고 판단된다.

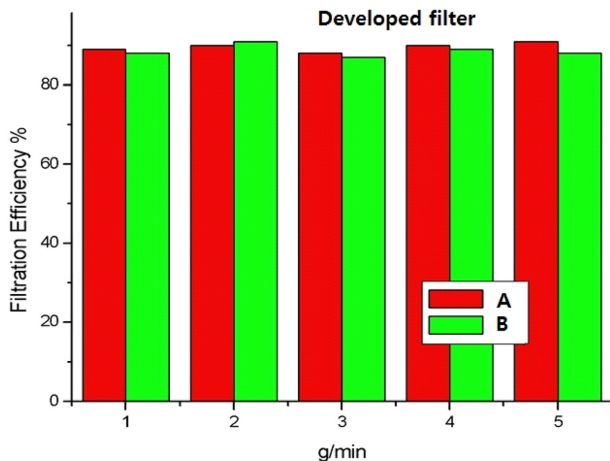


Fig. 8. The filtration efficiency of air-filter on dust; A. Develope filter, B. Japanese filter.

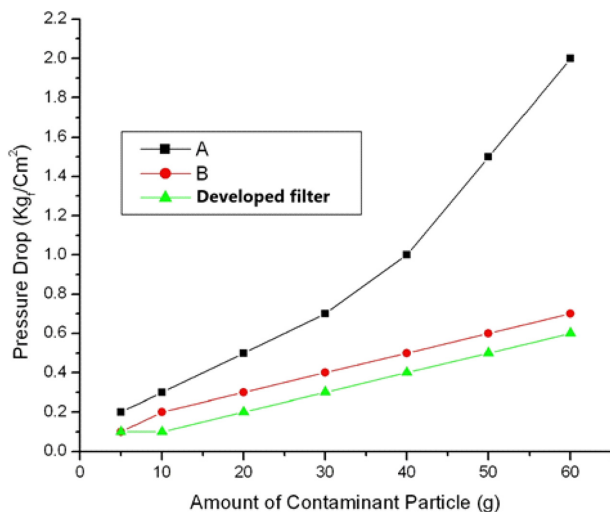


Fig. 9. The variation of pressure drop with amount of contaminant particle on 5 °C cartridge filters.

3-1-4. 내구성

Fig. 9에 카트리지 필터의 오염입자 첨가량 증가에 따른 압력 손실의 변화를 나타내었다. 일정 통수량에 대한 카트리지 필터의 압력손실은 오염 입자인 카버런덤의 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타낸다. 특히 국내산 샘플 A에서는 오염 입자의 첨가량이 5 g인 경우에는 0.2 kg/cm²이었으나 60 g이 되었을 때는 2.0 kg/cm²로 급격히 증가하였다. 이는 카트리지 필터의 오염 입자의 포획량이 크지 않음을 의미한다. 또한, 일본산 샘플 B는 국내산 샘플 A는 오염 입자의 첨가량이 5 g인 경우에는 0.1 kg/cm²이었고 60 g이 되었을 때는 0.7 kg/cm²로 국내산 샘플 A보다는 낮은 압력 손실이 발생하였다. 그러나, 본 연구에서의 개발된 카트리지필터의 압력 손실은 각 오염 입자 첨가량에 대하여 0.1 kg/cm², 0.6 kg/cm²으로

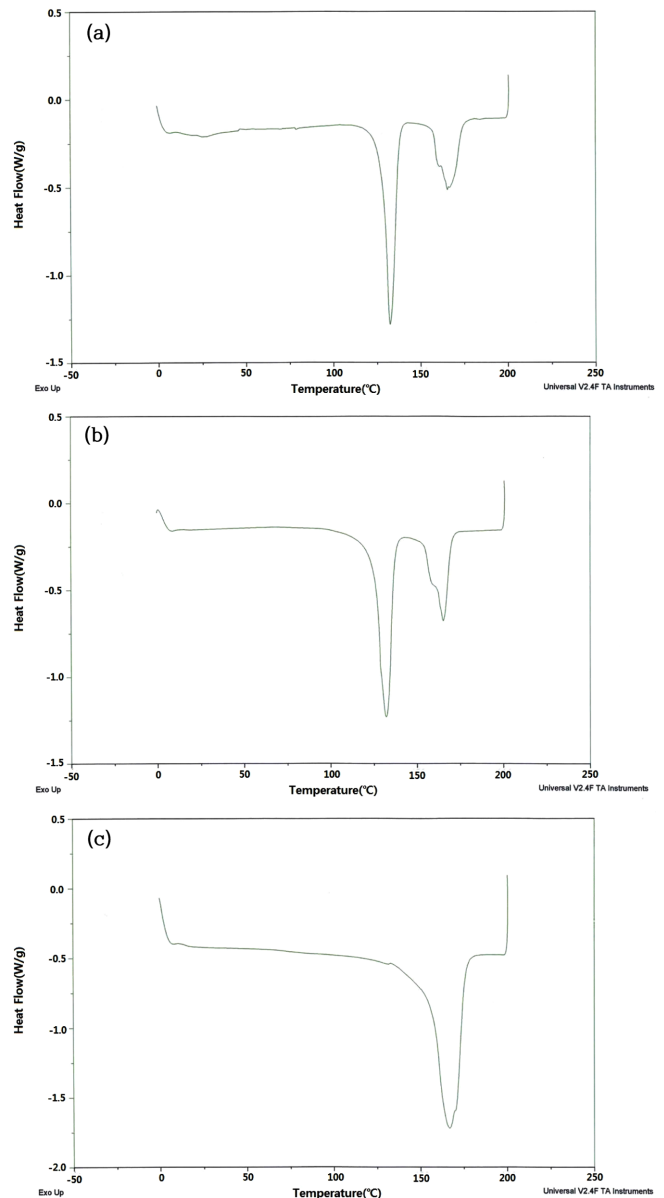


Fig. 10. DSC analysis of several samples; (a) Domestic filter, (b) Japanese filter, (c) Developed filter.

국내산 샘플 A와는 현격한 압력 손실의 변화 차이를 나타내었으며 또한 일본산 샘플 B와 비교하여도 0.1 kg/cm²의 낮은 압력 손실을 나타내었다. 이러한 압력 손실이 낮다는 것은 개발된 제품이 내구성이 우수하다는 것을 나타낸다.

3-2. 열안정성

용융방사를 위한 필터 소재의 열적 특성 분석을 위한 각 샘플들의 DCS 분석 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 필터 소재의 용융온도는 개발된 샘플 C가 170 °C로 다른 샘플의 용융온도(A, B; 132 °C)들 보다 높게 나타났다. 이는 개발된 필터의 소재가 열에 대한 안정성

Table 5. Price comparison before and after development

Products	Before			After		
	Unit cost (won)	Market share (%)	Filter efficiency (%)	Unit cost (won)	Market share (%)	Filter efficiency (%)
Domestic	1,000	40%	< 90%	2,400	90%	99% <
Japanese	4,500	60%	< 98%	4,500	10%	< 98%

이 우수하여 고온에서 용융 방사가 가능하고 필터 소재인 고분자 섬유사이의 접촉력뿐 아니라 부직포와의 접촉력도 증대시켜 필터의 내구성을 향상시키는 것으로 판단된다.

4. 결 론

현재 국내에서 제조되는 필터의 대부분은 원료를 부직포 제작회사에서 공급받아 이것을 2차 가공하는 형태로 제조되고 있어 필터의 기공에 맞는 부직포를 선별하여 제조하지 못하기 때문에 필터 성능에 차이가 있다. 그러나 개발된 필터의 여과효율이 93~99%로 기존 국내산 82~97.5%, 일본산 92.5~98%로 우수하거나 비슷한 효율을 나타내었다. 또한, 오염 입자의 양에 따른 압력손실(내구성)도 기존의 국내산보다는 현저하게 작았으며 일본산과 비교해도 약 0.1 kg/cm²의 낮은 압력 손실을 나타내었다. 그러므로 본 연구에서 개발된 카트리지 필터는 낮은 초기 압력 손실과 우수한 여과효율 및 내구성을 가졌을 뿐 아니라 경제적인 측면에서 일본산 제품과 비하여 약 50%의 가격으로 생산이 가능하므로 기존의 국내산 제품과 일본산 제품의 수입대체 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

감 사

이 논문은 2018년도 순천제일대학교 교내연구비 지원을 받아 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Bae, M. S., "Improvement of Total-Maximum-Daily-Load Policy in Korea - Equity of Water Quality Standards and Management of Development Plans," Research Report, Chungbuk Development Institute, Korea(2009).
- Cha, B. J. and Chi, S. D., "Recent Trends and Prospect in Micro-filtration Membrane," *KIC News*, **14**(6), 29-37(2011).
- Cha, B. C., Ji, S. D. and Kim, J. H., "Membrane Market for Water Treatment," *KIC News*, **14**(6), 2-8(2011).
- Shim, H. S., Lee, Y. M., Nam, S. Y. and Choe, Y. O., "Depth Cartridge Filter for Industrial Liquid Filtration," *Membr. J.*, **19**(3), 173-182(2009).
- Lim, D. Y. and Choe, Y. O., "Fiber Material for Air Filter," *Fiber Technol. Ind.*, **8**(4), 365-377(2004).
- Kim, J. T. and Cho, I. H., "Trends in the Technology and Market of Membrane Bioreactors (MBR) for Wastewater Treatment and Reuse and Development Directions," *Membr. J.*, **23**(1), 24-44(2013).
- Song, I. H., Ha, J. H., Bae, B. S., Park, Y. J., Ko, J. W., Baek, Y. K., Kim, Y. K., Lee, J. G. and Hahn, Y. D., "Research Trend of Ceramic Filter for Water Treatment," *J. Korean Powder Metall. Inst.*, **21**(1), 62-71(2014).
- http://smroadmap.smtech.go.kr/0201/view/m_code/A330/id/1822/idx/1300.
- Song, S. P., Lee, J. K. and Ryu, S. K., "Adsorption/Desorption Behavior of Residual Chlorine from Aqueous Solution by Activated Carbon Fiber Cartridge Filter," *Korean Chem. Eng. Res.*, **38**(2), 199-203(2000).
- Chung, S. C., Ahn, B. G. and Im, S. S., "Effect of Melt-blown Processing Conditions on the Filtration Characteristics of Polypropylene (PP) Cartridge Filter," *Appl. Chem. Eng.*, **13**(6), 613-618(2002).
- Han, J. H., Lee, D. J., Lim, H. M., Lee, S. H. and Oh, S. G., "Effect of Processing Factors on the Properties of Melt-blown PP/Ba-fer-rite Composite Fabrics," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **17**(3), 267-273(2006).
- Shim, H. J., Kang, J. Y., Jang, S. H. and Oh, T. H., "Effect of Electrostatic Treatments on the Filtration Efficiency of Melt-blown Non-wovens," *Tex. Sci. Eng.*, **45**(2), 57-63(2008).
- Lee, C. H., Lee, J. H., Kwon, E. H., Lee, K. J., Son, E. J. and Kim, S. H., "Performance of a Plat-Type Enthalpy Exchanger Made of Melt Blown Nonwovens (II) -Characteristics of Polypropylene and Nylon Melt Blown Nonwovens," *Tex. Sci. Eng.*, **47**(6), 371-377(2010).
- Latifatu M., Ko, J. M., Lee, Y. G., Kim, K. M., Jo, J. D., Jang, Y. S., Yoo, J. J. and Kim, J. H., "Electrochemical Properties of Activated Carbon Supercapacitor Containing Poly(acrylonitrile) Nonwoven Separator Coated by a Hydrogel Polymer Electrolyte," *Korean Chem. Eng. Res.*, **51**(5), 550-555(2013).
- Chu, K. H., Park, M. R., Kim, H. Y., Jin, F. L. and Park, S. J., "Preparation and Characterization of Polypropylene Non-woven Fabrics Prepared by Melt-blown Spinning for Filtration Membranes," *BKCS*, **35**(6), 1901-1903(2014).
- Kim, C. H., Choi, S. J., Lee, H. S. and Kim, H. S., "Study of the Olefin Adhesion Layer Produced by Melt-blowing LDPE," *Tex. Sci. Eng.*, **53**(2), 68-74(2016).