필터소재로서의 멜트블로운 부직포

이 영 철
생 산 기 술 연 구 원
화학기술실용화센타/수석연구원

1. 서론

부직포는 표면적이 넓은 섬유상 집합체 구조를 가지고 있으므로 필터재료로서 각광을 받고 있으며, 현재 매년 2억불 상당의 부직포가 여러가지 필터소재로서 사용되고 있다. 여러가지 종류의 부직포가 다양한 성능, pressure drop, dust-holding capacity와 수명을 가지는 필터로 만들어지고 있다. 크린룸과 병원 등의 건물용등 공기정화용 필터로서 많이 사용되고 있으며 필터소재로서의 응용범위가 점점 증가하고 있다. 최근에는 크린룸에 사용되는 HEPA 필터에 준하는 부직포 필터가 개발되었는데 이 새로운 부직포 필터는 정전기를 띤 microfiber로 구성되어 있고 필터성능은 HEPA 필터보다 우수하며 pressure drop은 HEPA filter보다 1/3정도 낮다.

본론에서는 필터 재료로서 응용되는 여러가지 부직포 중에서 멜트블로운(Melt Blown)에 대해서 자세하게 소개하겠다.

2. 본론

멜트블로운 부직포는 1956년 미국의 Wente가 우주에서의 먼지 채집용으로 최초로 개발하였다. 그뒤 미국 고분자수지업체들의 꾸준한 노력으로 1980년대부터 실용화가 되어 멜트블로운이 여러가지 필터로 사용되고 있다. Pellet이나 분말상태의 열가소성 플라스틱 수지를 one-step으로 가공함으로써 연간 약 8만톤 이상의 멜트블로운 부직포를 생산하고 있으며 연 10-12%의 빠른 성장을 보이고 있다.

멜트블로운 부직포는 그림1에 보이듯이 마이크로 데니아의 직경이 일정치 않은 미세한 섬유의 망상구조를 가지고 있어 넓은 표면적으로 인해 필터용 소재로서 매우 적합하다. 필터제조에 사용되는 일반적인 부직포의 섬유직경은 대개 일정하며 15-50μm 정도이나 멜트블로운 부직포의 섬유직경은 필터소재용인 경우 평균값이 0.5-2μm이다. 섬유직경은 생산공정을 중단하지 않고 생산조건을 약간 변경시킴으로써 용이하게 조절할 수 있다. 그림2에 미국의 멜트블로운 사용 용도의 분율을 정리하였다. 필터재료가 차지하는 비율은

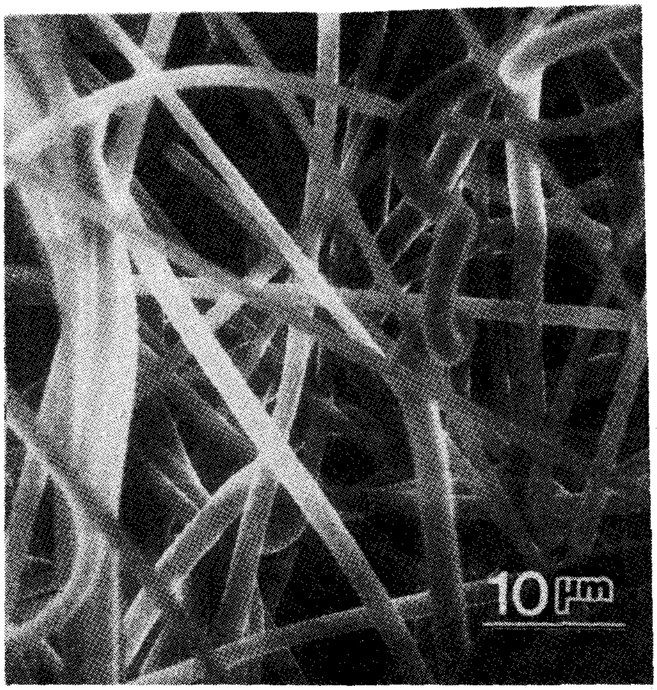


그림 1 전형적인 폴리프로필렌 멜트블로운 부직포의 전자현미경 사진

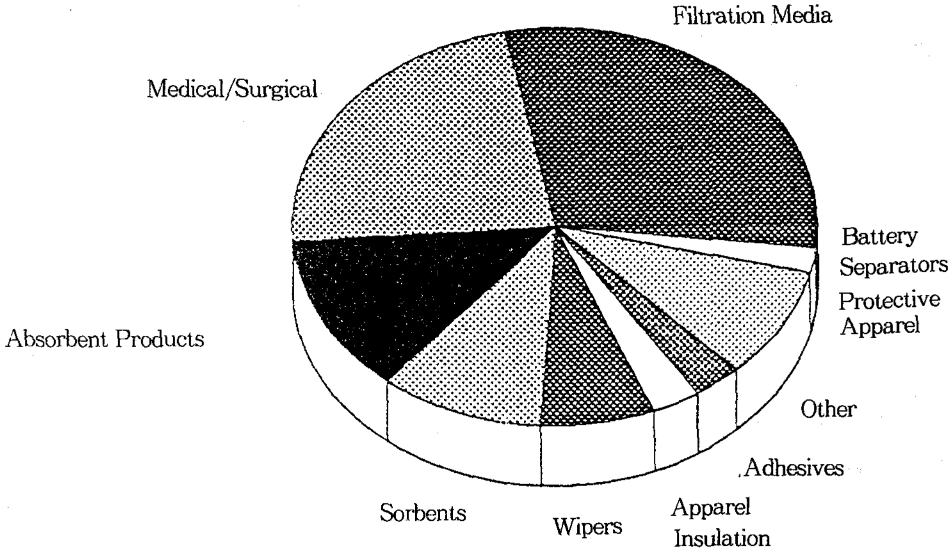


그림 2 미국의 용도별 멜트블로운 부직포의 수요

약 28%정도로 제일 크다. 의료용으로 사용되는 멜트블로운은 공기와 살균개스는 통과시키나 박테리아등의 병원균은 통과시키지 않으므로 역시 필터재료의 특징을 가지고 있다.

멜트블로운 부직포는 전세계 필터소재 시장에서 현재 약 1/8정도를 차지하고 있지만 새로운 용도개발이 빠른 속도로 증가하고 있으므로 장래에 이 점유율은 크게 증가될 것으로 사료된다. 현재 필터용도로 사용되는 멜트블로운 부직포중 65%는 액체필터용으로 35%는 기체 필터용으로 사용되고 있는데 미세섬유로 구성되어 있으므로 고성능필터로 사용되고 있다. 제일 잘 알려진 기체필터용 제품 중에는 수술용 마스크가 있는데 박테리아 필터효율이 98% 이상으로 우수하다. 멜트블로운 부직포는 압력부하(△P)가 낮으므로 마스크를 착용하였을때 불편함이 거의 없다. 다른 용도로는 여러가지 공기정화용 필터, 진공소제기 필터, 수분제거용 coalescence 필터, cartridge 필터, clean room 필터 등이 있다. 액체필터용 제품으로는 음료수와 음식용 필터, 수처리용 필터, bag필터, 페인트등의 라텍스필터 등이 있다.

세가지 중요한 필터 mechanism인 direct interception, inertial impaction과 diffusional deposition에서 멜트블로운 부직포는 넓은 표면적과 다양한 직경을 가진 섬유의 불규칙한 분산때문에 원천적으로 우수한 필터가 될 수 있다. 또한 멜트블로운 부직포에 정전기를 부여하면 필터성능을 더욱 향상시킬 수 있다. 정전기가 부여된 섬유들은 입자를 끌어당기는데 위의 세가지 mechanism이 모두 더 강력하게 작용한다. 미세입자가 정전기를 띠는 섬유사이를 통과할때 전기를 띠우게 되고 Coulomb 힘에 의해 특히 diffusional deposition이 더욱 증가하게 된다.

다음에 멜트블로운이 필터소재로 응용될 때 검토되는 몇가지 물성의 측정방법과 실제 측정자료들을 정리하였다.

(1) 두께와 Basis weight

Melt Blown 방법으로 만든 부직포의 두께는 ASTM Test Method D1777-64와 일치하는 Testing Machines, Inc.의 Model 85-0071인 Ames Thickness Gauge를 사용하여 측정하였다. Basis weight는 ASTM Test Method D3776-79에 의해 얻어졌다. Basis weight가 1.0oz/yd^2(33.9g/㎡)인 대표적인 멜트블로운의 두께는 12(0.3㎜)에서 17mils(0.43mm)정도이다.

(2) 공기투과성(Air permeability)

부직포의 공기투과성은 Gurley(Model 4301)와 Frazier air permeometer(Model 5138)를 이용하여 측정하였다. ASTM Test Method D737-75(13)에 따라서 0.5inch H_2O 압력차이에서 통과하는 공기의 양을 측정하였다.

그림 3은 여러가지 생산조건에서 제조된 전형적인 멜트블로운 부직포(1.5oz/yd^2)의 Air permeability가 10-40cc/sec/㎠인 것을 보여주고 있다.

(3) 섬유직경(Fiber diameter)

멜트블로운 부직포의 섬유직경은 그림 1에 보듯이 금박을 입힌 후 전자현미경(SEM)을 사용하여 측정하였다. 전자현미경 사진은 각 sample의 서로 다른 다섯 위치에서 촬영되었다. 사진위에 두 대각선을 가로질러 그리고 선과 만나는 점에서 모든 섬유의 직경을 확

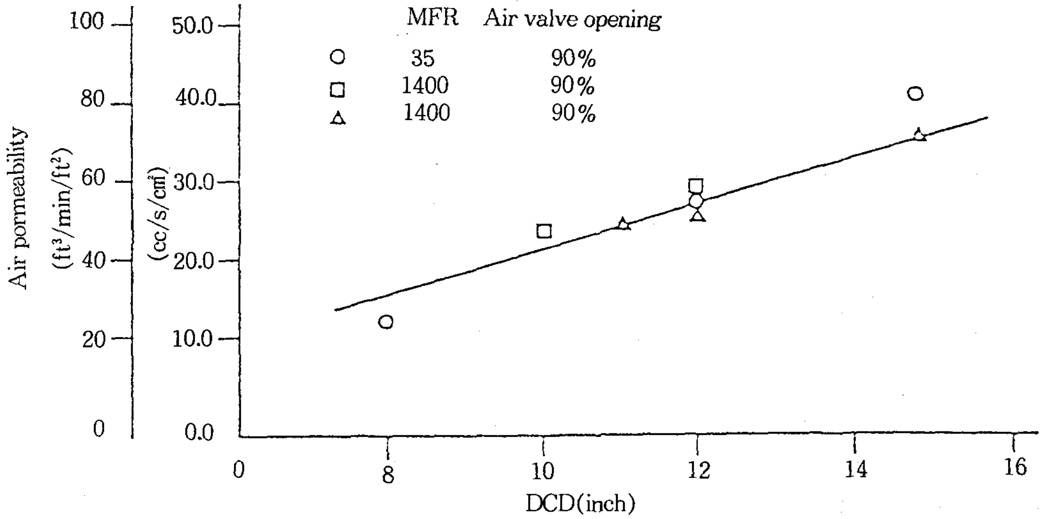


그림 3 멜트블로운 제조 공정변수인 die-to-collector distance(DCD)에 따른 폴리프로필렌 멜트블로운 부직포의 공기투과성(air permeability)의 변화

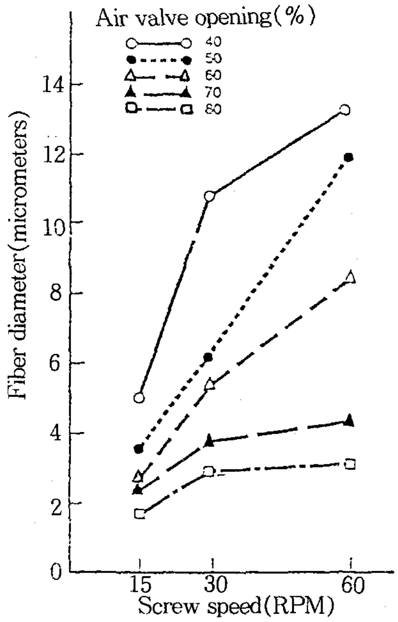


그림 4 멜트블로운 제조 공정변수인 screw speed에 따른 멜트블로운 부직포 섬유 평균직경의 변화

대경으로 측정하였다. 일반적으로 100개 이상의 섬유의 직경이 측정되어 평균값을 구했다.

그림 4는 여러가지 생산 조건에 따라 멜트블로운 부직포의 섬유직경이 2-14μm로 변화될 수 있다는 것을 보여주고 있다. 작은 particle을 포집하기 위한 필터소재용 멜트블로운 부직포의 섬유직경은 생산조건을 변경시킴으로써 용이하게 감소시킬 수 있다.

(4) 세공의 크기(Pore diameter)

ASTM Test Method F316-86에 따라서 최대와 평균 세공 크기를 Porofil (wetting liquid)을 사용하는 Coulter porometer Ⅱ에 의해 측정하였다. 이 porometer로 얻어진 MAX. Pore 크기 측정결과는 Bubble test의 결과와 유사하였다.

그림 5는 여러가지 생산조건에서 제조된 멜트블로운 부직포(1.5oz/yd^2)의 평균 세공의

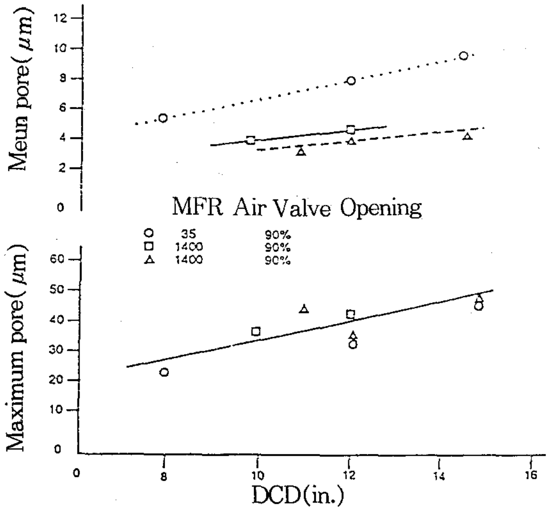


그림 5 멜트블로운 제조 공정변수인 die-to-collector distance(DCD)에 따른 평균 세공(Mean pore)직경과 최대 세공(Max. pore)직경의 변화

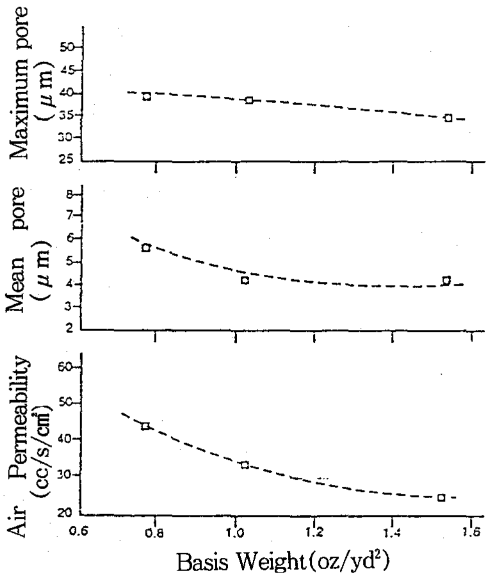


그림 6 Basis weight에 따른 멜트블로운 부직포의 최대 세공(Max.pore), 평균 세공(Mean pore)직경과 공기투과성(air permeability)의 변화

직경과 최대 세공의 직경이 각각 2-10 μm, 20-50 μm 정도라는 것을 보여준다.

그림 6은 멜트블로운 Basis weight의 증가에 따른 최대 및 평균 세공의 직경과 공기투과성의 감소를 보여준다.

(5) 필터성능(Filtration Efficiency)

멜트블로운 부직포의 필터 성능은 라텍스 또는 박테리아 Aerosol를 사용하여 그림 7에 보인 장치를 이용하여 측정하였다. 직경이 0.84 μm인 라텍스를 증류수에 희석시켜 만들어진 현탁액을 Nebulizer를 사용하여 Aerosol로 만든다. 라텍스가 포함된 Aerosol은 mixing chamber를 통과하게되는데 여기서 너무큰 물방울은 chamber의 바닥으로 떨어지게 된다. 미세한 aerosol만이 mixing chamber의 약간 밑으로 기울어진 "T"자형 관을 통과하게 된다.

"T"자형 관을 통과한 aerosol은 봉해진 원추형의 sample holder에 들어가게 된다. 필터를 통과한 aerosol은 건조관을 통과하게 되는데 건조관 속에서 물은 건조된다. 라텍스의 필터투과율은 백색광을 사용하는 입자 counter에서 필터 통과후 측정된 값과 필터없이 측정된 값의 비율로 계산된다. Nebulizer에 들어가는 압축공기의 양은 4.3L/min로 유지된다. 라텍스 현탁액을 일정한 양으로 유지시키기 위해 새로운 현탁액이 peristaltic 펌프에 의해 주사기를 통해 공급된다. 펌프는 현탁액을 5cc에서 유지되도록 새로운 현탁액을 공급한다. 필터 holder에서는 53.3cm² 넓이의 멜트블로운 필터 샘플이 aerosol에 접촉되도록 고안되었다.

이때의 투과속도는 1.34cm/sec이다. 또한

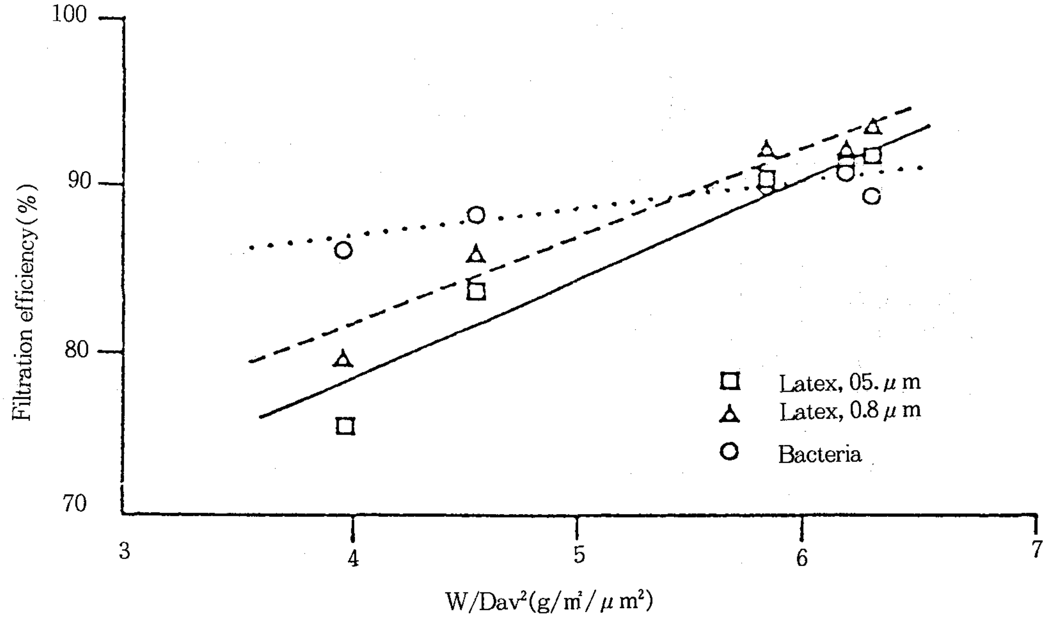


그림 8 Basis weight/(평균섬유직경)^{2}에 따른 0.5μm와 0.8μm 라텍스와 박테리아에 대한 필터성능치의 변화

입자 counter에 들어가는 희석용 공기 속도는 52L/min으로 고정되었다. 이 속도는 증류수로만 aerosol을 만들었을때 물이 건조관에서 완전히 건조될 수 있는 속도이다.

그림 8은 전형적인 1.5oz/yd^{2}의 멜트블로운 부직포의 필터성능을 보여준다. 직경이 0.5와 0.8μm인 라텍스 입자와 실제 박테리아가 실험에 사용되었다. 필터성능을 Basis weight/(평균 섬유직경)^{2}와 plot하여 선형에 가까운 상관관계를 얻었다. 멜트블로운 제조조건에 따라 여러가지 Target particle에 대한 필터성능이 75%-93% 정도로 바뀔수 있음을 알수 있다.

그림 9는 0.8μm 라텍스 입자에 대한 필터성능과 평균 세공직경과의 선형관계를 보여주고 있다. 평균 세공직경이 감소할수록 필터

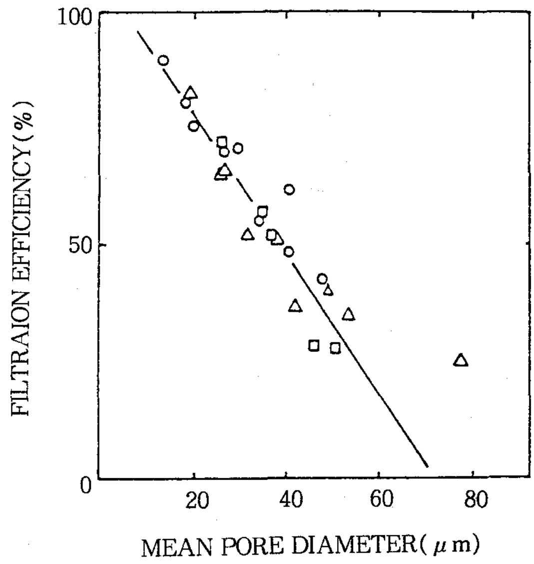
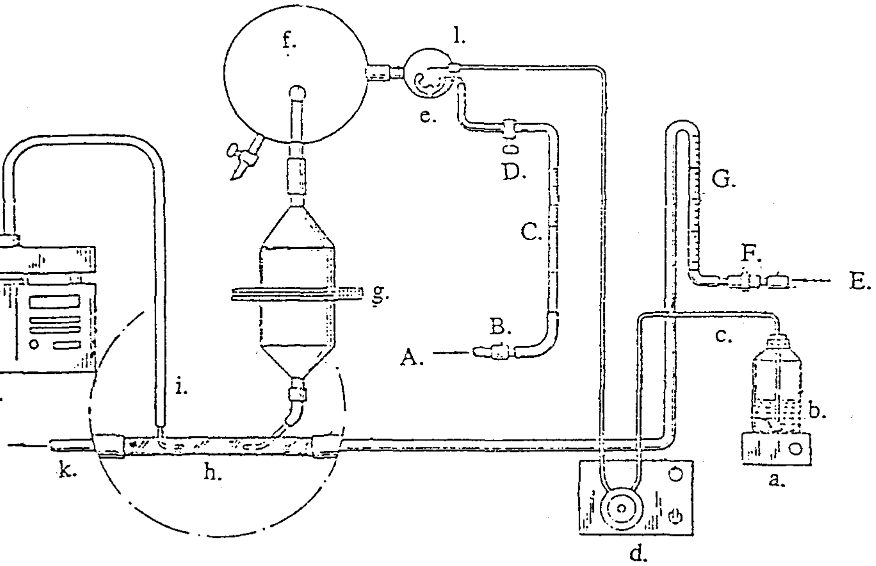


그림 9 0.8μm 라텍스에 대한 필터성능치와 평균 세공직경의 상관관계



LEGEND

a. Magnetic Stirrer
b. Test Suspension
c. Tubing Pump
d. Peristaltic Pump
e. Nebuliser
f. Mixing Chamber
g. Sample Holder
i. Tubing to Particle Counter
j. Optical Particle Counter
k. Exhaust Line
l. Syring Needle

A. Inlet Air to Nebuliser
B. Milipore Filter
C. Flow Meter for nebuliser
D. Stopcock
E. Dilution Air to Drying Tube
F. Milipore Filter
G. Flow Meter

그림 7 라텍스를 이용한 필터성능 측정장치의 개략도

성능은 증가하였다.

(6) 기계적 강도

Machine Direction(MD)와 Cross Direction (CD)을 각각 길이방향으로 하여 25.4㎜×178㎜ 직사각형으로 자르고 무게를 단다. 약 10개의 sample을 인장강도 측정에 사용하였다. 인장강도(Tenacity)와 연신율(Elongation-to-break)은 ASTM D117-80, D1682-64와 INDA IST 110.0-70(R82)을 따라서 Instron Universal Testing machine을 사용하여 측정하였다. Gage 길이는 127㎜로 했으며 head의 speed는 127㎜/min이고 strain rate는 1.0/min에서 측정하였다.

그림 10은 1oz/yd^2 멜트블로운 부직포의 인

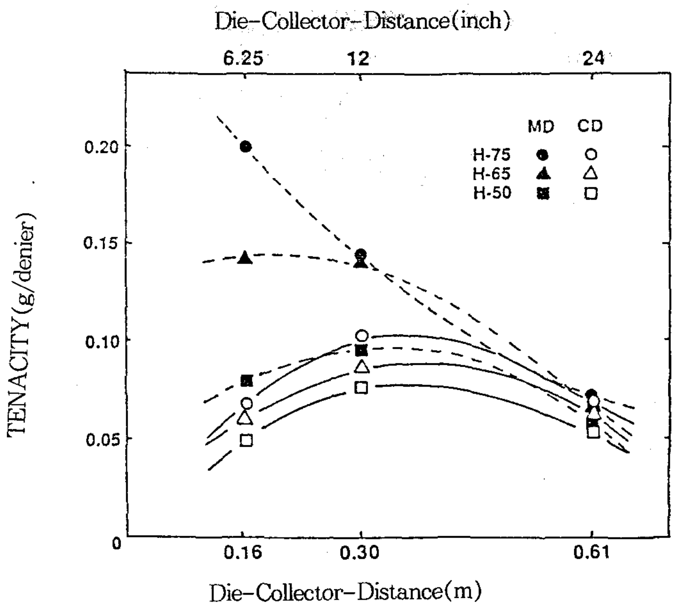


그림 10 멜트블로운 제조 공정변수인 die-to-collector distance(DCD)에 따른 멜트블로운의 Tenacity의 변화

장강도를 보이고 있다. 기계방향(Machine Direction,MD)의 인장강도가 기계반대방향(Cross Direction)의 인장강도보다 높으며 0.05gf/denier에서 0.20gf/denier 정도의 값을 보여준다.

3. 결론

미국등의 선직국에서는 필터소재로 많이 사용되나 국내에서는 필터소재로서 아직 용도개발이 되지 않은 멜트블로운 부직포에 대해서 간단히 소개하였다. 멜트블로운 부직포는 미세한 섬유의 망상구조를 가지고 있으므로 표면적이 넓고 압력부하가 적어 미세한 입자를 포집하기 위한 공기정화용 필터재료로소 적당하다.

-참고문헌-

1. Van A. Wente, Ind. Eng. Chem., 48, 1342 (1956)
2. L. C. Wadsworth, Y, Lee, and S. D. Barbuza, J. Nonwovens Res., 2(1), 43(1990) ; Proc. INDA Tech, Symp., 17, 585 (1989)
3. Annual Book of ASTM Standards ; ASTM. Philadelphia.
4. L. C. Wadsworth, M. Dever, and Y. Lee, Processing of the INDA Technical Symposium. 18, 1 (1990)
5. Y. Lee, and L. C. Wadsworth, Polym. Eng. Sci. 30,1413 (1990)
6. Y.Lee, and L. C. Wadsworth, Polymer, 33, 1200 (1992)