

## 멜트블로운 부직포 제조공정이 유흡착포의 특성에 미치는 영향

신현세<sup>†</sup> · 김 로 · 유주환

단국대학교 파이버시스템공학전공

### Effect of Manufacturing Conditions on the Properties of Oil-absorbable Melt Blown Nonwoven

Hyun-Sae Shin<sup>†</sup>, Lu Jin and JooHwan Yoo

Department of Fiber System Engineering, Dankook University, Yongin city, Gyeonggi-do, Korea

(Received: August 13, 2009/Revised: August 20, 2009/Accepted: November 23, 2009)

**Abstract**— Oil-absorbable nonwovens were produced by melt-blown processing of polypropylene chips. The melt-blown processing conditions, such as air pressure, and gear pump speed, DCD. In this study, these three factors were chosen to produce samples. Experimental array and variance analysis of the design of experiment were used to increase the field repeatability and universality. The effect of the factors on oil absorption properties of melt-blown nonwoven fabric such as oil absorbency were evaluated. As a result, the fiber diameter decreased as gearpump speed decreased or air pressure increased. The oil absorbency increased as air pressure increased or gearpump speed decreased and with the DCD increasing the oil absorbency significantly increased.

**Keywords:** melt-blown, nonwoven, oil absorbency, pore size, air permeability, fiber diameter

## 1. 서 론

현대사회에서 원유는 대표적인 에너지의 원천이며 공업원료의 필수품으로서 경제발전과 더불어 그 사용량이 점점 늘어나는 실정이다. 반면, 산유국은 한정되어 있어 산유국으로부터 원유를 세계 각국으로 운송해야 하는 과정이 불가피하며 운송 과정 중 항상 기름유출의 가능성이 있고, 기름유출 사고는 심각한 생태계파괴를 초래한다. 최근 기름유출 사고는 규모도 커지고 횟수도 증가하는 추세로서 사고발생 시 오염된 기름의 처리가 필요하며 서해안 태안의 기름유출 사고도 바다 생태계와 해안 주민들에게도 심각한 피해를 주어 적절하고도 신속한 해결책이 요구되고 있는 실정이다.

기름유출 사고 시 사용되는 오염처리 방법은 생물법, 화학법 및 물리법의 3종으로 분류되고 필요시 복합적으로 사용할 수 있으며, 이 중 친환경적인 방법을 고려한다면 소극적인 방법이지만 유흡착포의 사용이 세계적으로 증가하고 있다.

따라서 기름유출 사고 시 유흡착포의 사용은 증가될 것이며 이에 따라 유흡착포의 체계적인 연구가 요구된다.

유흡착재에 관한 연구로는 Wu 와 Zhou<sup>1)</sup>가 폐기물 고무를 개질하여 높은 흡유도를 나타내는 유흡착재를 제작하였고 Hailan과 Jianhe<sup>2)</sup>는 SMA-BA-St 공중합체에 NR를 그래프트 중합하여 유흡착성에 대해 검토 하였다. 이 밖에도 Shimizu와 Koshiro<sup>3)</sup>가 고흡유성의 폴리우레탄 발포체에 대해서도 연구하였으며 국내에서도 폴리프로필렌 멜트블로운 부직포를 유흡착포로 사용한 연구가 진행된 바 있다<sup>10)</sup>.

이상의 연구를 분석하면 원료의 개질, 중합 등이 대부분이고 부직포를 사용한 흡착포의 물성에 관한 연구도 다수 발표되어 있으나 실험결과의 보편성, 재현성을 부여하기 위해 실험계획법을 활용하여 인자 간 교호작용(inter action)을 확인한 것은 찾기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 친유성이며 비중이 가장

<sup>†</sup>Corresponding author. Tel.: +82-31-8005-3560; Fax.: +82-31-8005-3561; e-mail.: studyhaja@gmail.com

가볍고 수분을 흡수하지 않는 폴리프로필렌을 원료로 멜트블로운 방식의 부직포를 시험포로 생산하여 물성과 유흡착포에 관한 연구를 시도하였다. 즉 멜트블로운 유흡착포의 물성에 크게 영향을 미치는 에어압력, 기어펌프 속도, DCD(die-to-collector distance)의 3인자와 3수준을 채택, 실험계획법의 실험배치와 분산분석법으로 재현성과 보편성을 고려하면서 방사공정인자가 유흡착포의 물성 및 흡유도에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

본 실험에 사용한 폴리프로필렌 칩은 (주)폴리미래사의 멜트블로운용으로 사용되는 100% PP 칩을 사용하였으며 상온밀도는  $0.9 \text{ g/cm}^3(25^\circ\text{C})$ 이고 방사과정에서의 용융밀도는  $0.75 \text{ g/cm}^3(250^\circ\text{C})$ 였으며 실험에서 사용한 오일은 보일러용으로 사용되고 있는 중유(bunker b)이며  $50^\circ\text{C}$ 에서의 동점도(cSt)는  $23 \text{ mm}^2/\text{s}$ 이다.

### 2.2 시험포의 제조

시험포의 제조는 멜트블로운 시제품 제조기(MTS 2, Hills, USA)로서 노즐직경 0.2mm, 노즐 밀도 35개/inch, 길이는 12inch이며 방사온도는  $250^\circ\text{C}$ 로 하였으며 (주)웰크론의 협조로 다른 변동요인을 고정하고 방사공정 삼인자를 삼수준으로 채택, 삼원배치법에 의거하여 Table 1과 같이 제조하였다. 단위면적당 중량은  $200 \text{ g/m}^2$  수준으로 정하였다.

Table 1. Processing variables and conditions of meltblowing

Processing variable	Processing conditions
Gearpump speed(rpm)	4, 8, 12
Air pressure(psi)	2, 4, 6
DCD(cm)	20, 40, 50

### 2.3 섬유직경 측정

흡착포의 중요한 특징인 섬유직경은 Jeol사의 JSM-6701F 주사전자현미경을 사용하여 1500배의 SEM사진을 얻었으며 매 사진으로부터 15개의 섬유직경을 측정한 후 평균한 값으로 직경을 계산하였다.

### 2.4 통기성 측정

시료의 통기성은 스위스 Textest사의 Model FX3300-38을 사용하여 측정하였다. 시료 양면에 일정한 압력이 주어졌을 때 단위 시간당 단위 면적을 통과하는 공기의 양을 측정하여 통기성을 구하였으며 측정면적은  $38 \text{ cm}^2$ , 양쪽의 압력차는 125 Pa로 하여 5번 측정된 평균값으로 계산하였다.

### 2.5 기공크기의 측정

기공크기는 PMI사의 Automated Capillary Flow Porometer로 측정하였다. 측정은 건조 상태의 시료와 액체로 충분히 적신 시료와의 표면 장력에 의한 압력차와 공기 흐름곡선으로부터 평균 기공의 크기를 측정하였다.

### 2.6 흡유도 측정

흡유도 측정은 한국산업규격 유흡착재료준규격(K1600:2005)에 의하여 실험하였다. 크기가  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 인 시료를  $20^\circ\text{C}$ 의 중유의 유면에 띄워 5분간 정지한 후 이것을 철망위에 5분간 방치하여 다시 시료의 무게를 측정하였다<sup>5)</sup>.

$$\text{흡유도\%} = \frac{\text{흡유 후의 무게} - \text{흡유 전의 무게}}{\text{흡유 전의 무게}}$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 방사공정인자와 유흡착포 구조와의 관계

#### 3.1.1 방사공정인자가 섬유직경에 미치는 영향

유흡착포의 기본 특성인 섬유직경에 대한 영향을 규명하기 위해 삼원배치의 실험계획법을 활용하였으며, Table 2는 섬유직경에 대한 분산분석표를 나타내었다. Table 2를 보면 기어펌프 속도와 에어압력이 위험률 1%로서 유의하며 DCD는 위험률 5%에서 유의하였다. 기어펌프 속도와 에어압력의 교호작용은 1%의 위험률로 유의하였으나 에어압력과 DCD, 기어펌프 속도와 DCD는 교호작용의 유의성이 나타나지 않았다<sup>6)</sup>.

따라서 교호작용이 유의의 경우인 기어펌프 속도와 에어압력은 각 수준의 모평균(population mean)을 그래프화 하는 것은 무의미하므로 조합조건의 평균치로 그래프화 한 것이 Fig. 1이며 DCD는 교호작용이 없으므로 각 수준의 모평균을 그래프화한 것이 Fig. 2이다<sup>7)</sup>.

Table 2. Analysis of variance for fiber diameter

	S	∅	V	F <sub>0</sub>	F (0.01)	F (0.05)
A	2390	2	1194.9	82.16 <sup>***</sup>	8.65	4.46
B	4266	2	2133.1	146.67 <sup>***</sup>	8.65	4.46
C	218	2	109.2	7.51 <sup>**</sup>	8.65	4.46
AXB	520	4	130.0	8.94 <sup>***</sup>	7.01	3.84
BXC	46	4	11.5	0.79	7.01	3.84
AXC	203	4	50.9	3.50	7.01	3.84
E	116	8	14.5			
Total	7760	26				

S: sum of square, ∅: degree of freedom, V: mean squares, F<sub>0</sub>:  $\frac{V_A}{V_E}$ , <sup>\*\*\*</sup>: Level of significance 1%  
<sup>\*\*</sup>: Level of significance 5%, A: Gearpump speed, B: Air pressure, C: DCD(die-to-collector distance)

Fig. 1에서 기어펌프 속도가 감소할수록 에어압력이 증가할수록 섬유직경의 미세화가 크게 일어나며 기어펌프 속도 4rpm에서는 에어압력이 증가함에 따라 섬유직경의 변화는 적으나 기어펌프 속도가 증가할수록 섬유의 미세화는 에어압력의 영향이 크다. 이것은 에어압력이 증가할수록 고온공기의 air-drag-force에 의한 연신이 크므로 섬유직경이 가늘어지고 또한 기어펌프 속도가 증가할수록 토출양이 많으므로 섬유직경이 굵어지기 때문이다.

Fig. 2는 DCD에 대한 섬유직경의 모평균을 그래프화한 결과로서 DCD가 증가할수록 섬유직경은 감소하는 경향이지만 이것은 Table 2에서 나타난 바와 같이 DCD의 급내변동에 대한 급간변동의 비 F<sub>0</sub>가 기어펌프 속도나 에어압력에 비하여 상대적으로 작고 시료제조 시 별키하게 포집, 형성되고 있으므로 섬유직경에는 큰 차이가 없다. 실제로 고속으로 분사되는 고온공기의 air-drag-force에 의한 연신은 방사 구름으로부터 5cm 정도 내의 가까운 지역에서만 일어나며 DCD 20cm 이상에는 거의 영향을 주지 못한다는 연구를 고려한다면 큰 의미가 없는 것으로 생각된다<sup>8)</sup>.

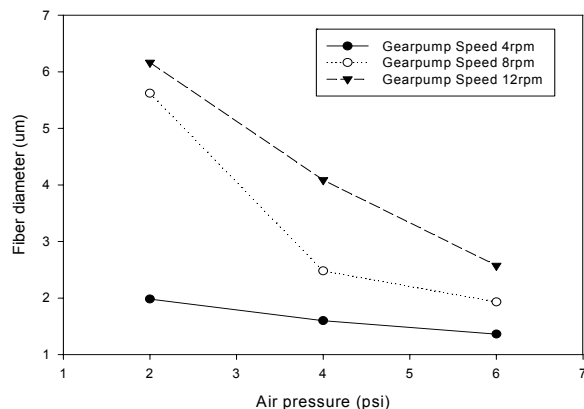


Fig. 1. The interaction of gearpump speed and air pressure on fiber diameter.

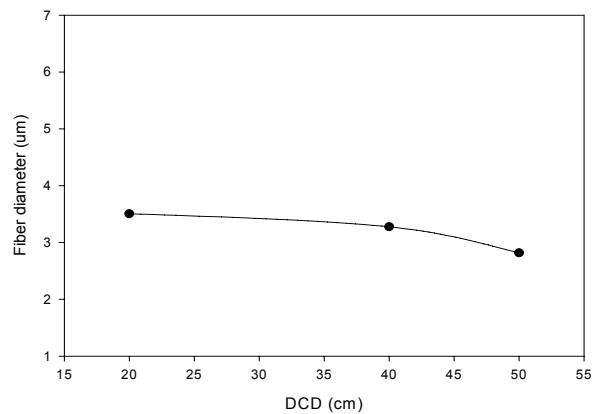


Fig. 2. The effect of DCD on fiber diameter.

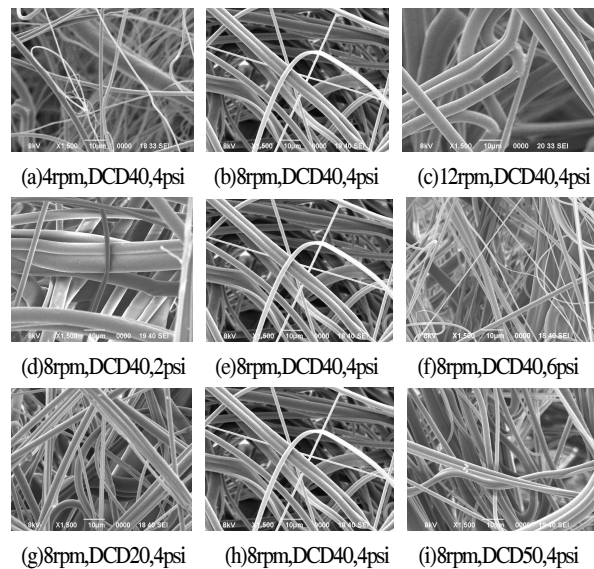


Fig. 3. SEM photograph of web structure.

Fig. 3은 각 공정조건 변화에 따른 섬유직경의 변화를 나타내었다. a, b, c는 기어펌프 속도 변화에 따른 섬유직경을 나타내었으며 기어펌프 속도가 증가함에 따라 섬유직경은 증가하였다.

d, e, f에서는 에어압력이 증가함에 따라 섬유직경은 감소하고 있음을 보여주고 있으나 g, h, I의 DCD에 따른 섬유직경의 변화는 큰 차이를 찾을 수 없다.

### 3.1.2 방사공정인자가 통기성에 미치는 영향

유흡착포의 특성인 통기성에 대한 영향을 재현성 있게 규명하기 위해 실험계획법을 활용하였으며, Table 3은 통기성에 대한 분산분석표를 나타내었다. 기어펌프 속도, 에어압력, DCD는 모두 위험률 1%에서 유의하였으며 기어펌프 속도와 에어압력은 교호작용은 1%의 위험률로 유의하였다. 기어펌프 속도와 에어압력의 교호작용이 유의하므로 각 수준의 조합조건의 평균치를 그래프화 하여 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서 통기성은 기어펌프 속도 4rpm에서 에어압력의 영향을 적게 받았고 기어펌프 속도가 증가할수록 에어압력의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며 에어압력이 증가할수록 통기성은 총체적으로 감소하였다.

Fig. 5에서는 DCD에 관하여 모평균을 나타내었으며 DCD가 증가할수록 통기성은 증가하는 경향을 나타내고 있으나 급간의 차는 크지 않다. 이것은 앞 절의 DCD가 섬유직경에 미치는 영향에서의 고찰과 같은 결과로 큰 의미는 없는 것으로 생각된다. 또한 같은 DCD에서 에어압력의 증가 혹은 기어펌프 속도가 감소할수록 섬유직경이 작아져 더욱 치밀한 구조를 가지게 됨으로 공기 투과에 저항을 많이 주기 때문이고 DCD가 증가할수록 부직포는 벌키해 짐으로 통기성이 증가했다고 생각된다<sup>4)</sup>.

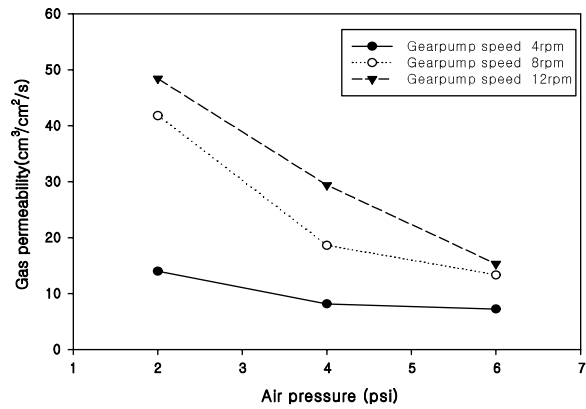


Fig. 4. The effect of gearpump speed and air pressure on gas permeability.

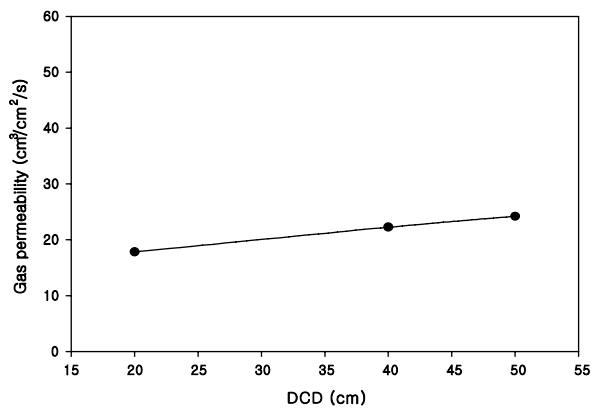


Fig. 5. The effect of DCD on gas permeability.

### 3.1.3 방사공정인자가 기공크기에 미치는 영향

유흡착포의 방사공정인자가 기공크기에 미치는 영향을 분석하기 위해 앞의 실험과 같이 실험 계획법을 활용하여 실험하였다. Table 4의 분산분석표를 보면 A, B, C는 공히 위험률 1%에서 유의하며 A×B, A×C는 위험률 1%에서, B×C는 5%에서 유의하며 교호작용이 있음을 나타내고 있다.

Table 3. Analysis of variance for gas permeability

	S	∅	V	F <sub>0</sub>	F (0.01)	F (0.05)
A	1974	2	986.8	332.26**	8.65	4.46
B	2637	2	1318.5	443.98**	8.65	4.46
C	190	2	94.9	31.94**	8.65	4.46
A×B	543	4	135.9	45.75**	7.01	3.84
B×C	35	4	8.6	2.91	7.01	3.84
A×C	39	4	9.7	3.25	7.01	3.84
E	24	8	3.0			
Total	5441	26				

S: sum of square, ∅: degree of freedom, V: mean squares, F<sub>0</sub>:  $\frac{V_A}{V_E}$ , \*\*: Level of significance 1%

※: Level of significance 5%, A: Gearpump speed, B: Air pressure, C: DCD(die-to-collector distance)

Table 4. Analysis of variance for pore size

	S	∅	V	F <sub>o</sub>	F (0.01)	F (0.05)
A	589	2	294.4	182.41 <sup>**</sup>	8.65	4.46
B	357	2	178.4	110.53 <sup>**</sup>	8.65	4.46
C	69	2	34.3	21.22 <sup>**</sup>	8.65	4.46
A X B	54	4	13.5	8.34 <sup>**</sup>	7.01	3.84
B X C	41	4	10.3	6.37 <sup>*</sup>	7.01	3.84
A X C	89	4	22.3	13.82 <sup>**</sup>	7.01	3.84
E	13	8	1.6			
Total	1211	26				

S: sum of square, ∅: degree of freedom, V: mean squares, F<sub>o</sub>:  $\frac{V_A}{V_E}$ , \*\*: Level of significance 1%  
 \*: Level of significance 5%, A: Gearpump speed, B: Air pressure, C: DCD(die-to-collector distance)

Fig. 6에서 기공크기는 기어펌프 속도가 감소할수록, 에어압력이 증가할수록 감소하였다. 이와 같은 결과는 앞 절의 섬유직경, 통기성과 같은 결과들로서 이는 섬유직경의 미세화에 따른 표면적의 증대로 인한 결과로 생각되어지며 Fig. 1,4,6에서 유사한 결과로 잘 나타나고 있다.

Fig. 7, Fig. 8은 에어압력과 DCD, 기어펌프 속도와 DCD의 교호작용에 의한 조합조건에 따른 평균치를 각각 도시한 것으로 Fig. 7에서는 에어압력이 작을수록 DCD가 클수록 기공크기가 전반적으로 커지나 에어압력 4psi에서는 DCD 40cm와 50cm의 급간변동에서 미미하게 나타나고 있다. 또한 Fig. 8에서는 기어펌프 속도가 작을수록 DCD가 작을수록 기공크기는 작게 나타나고 있으나 Fig. 7에서와 같이 DCD 40cm부터는 기어펌프 속도에 대해서는 크게 영향하지 않는 것으로 생각되어진다. Fig. 7, 8과 같이 DCD의 미미한 영향은 부직포로의 웹 포집 시 자체 열에 의한 융착이 완전히 되지 않고 벌키한 형태로 이루어지고 있기 때문으로 생각된다.

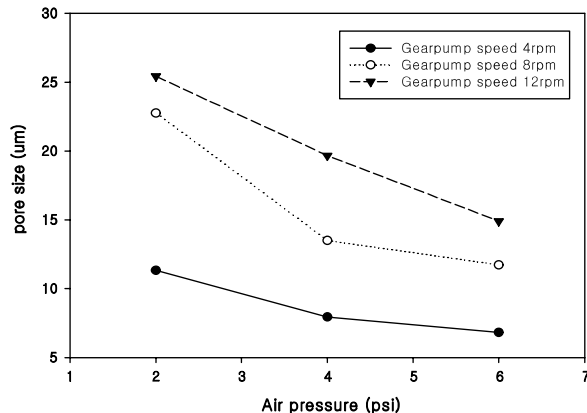


Fig. 6. The effect of gearpump speed and air pressure on pore size.

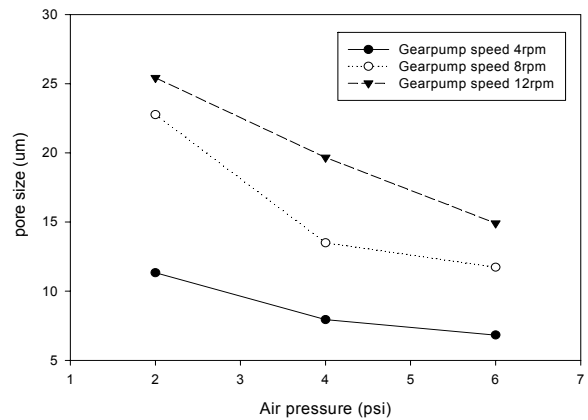


Fig. 7. The effect of DCD and air pressure on pore size.

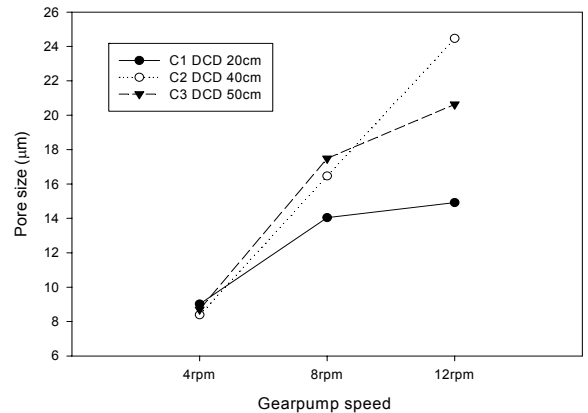


Fig. 8. The effect of DCD and gearpump speed on pore size.

### 3.2 통기성과 섬유직경과의 상관

Fig. 9는 통기성과 섬유직경 사이의 상관관계를 산점도(scatter diagram)로 나타낸 것으로 통기성이 증가할수록 섬유직경도 순 상관관계를 나타내었고 증가하는 통기성과 섬유직경의 상관관계수(coefficient of correlation)를 구해본 결과 r의 값이

0.8845로 나타났다. 이것은 섬유의 직경이 작아질수록 단위면적당 섬유의 길이가 길어지고 표면적이 커져 더욱 치밀한 구조가 되므로 공기의 투과에 저항을 더 크게 해 주기 때문으로 생각 된다<sup>9)</sup>.

### 3.3 통기성과 기공크기와의 상관

Fig. 10은 통기성과 기공크기 사이의 상관관계를 산점도를 통하여 나타내었다. 산점도를 통하여 통기성이 증가할수록 기공크기는 증가하였고 역시 순 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다.

통기성과 기공크기의 상관계수를 구해본 결과 r의 값이 0.9295의 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이것은 기공크기가 증가할수록 공기의 투과 저항이 감소하기 때문이라고 생각된다.

위와 같은 결과는 물성변화를 관찰, 측정하여 품질 및 생산관리 시 활용 가능한 좋은 지표가 될 수 있을 것으로 생각된다.

### 3.4 방사공정인자와 흡유도

Table 5에서 공정인자인 기어펌프 속도, 에어압력, DCD가 위험률 1%에서 흡유도에 유의하였으며 그 중 DCD가 가장 많이 흡유도에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11에서는 기어펌프 속도와 DCD의 교호작용에서 DCD가 증가할수록 흡유도는 증가하였다. 이것은 본 실험에 사용한 중유(bunker b)인 경우 DCD증가로 유희착포가 벌키해 짐으로 단위부피당 오일을 저장할 수 있는 공간이 많아지기 때문이라고 생각된다.

Fig. 12에서는 에어압력이 증가할수록 흡유도는 증가하였다. 이것은 에어압력의 증가로 인해 섬유직경이 감소하면서 비표면적이 증가하여 흡유도가 증가하는 경향이나 앞 절에서와 같이 큰 의미는 없는 것으로 생각되어진다.

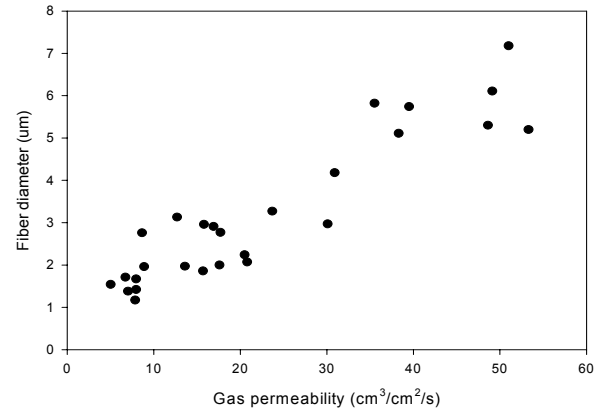


Fig. 9. The relationship between gas permeability and fiber diameter.

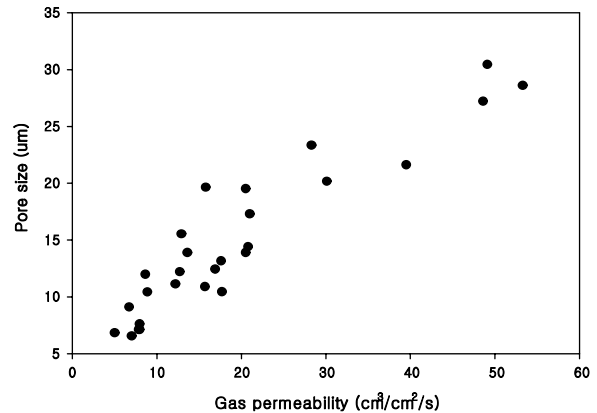


Fig. 10. The relationship between gas permeability and pore size.

Table 5. Analysis of variance for oil absorbency

	S	∅	V	F <sub>0</sub>	F (0.01)	F (0.05)
A	105	2	52.5	40.47 <sup>**</sup>	8.65	4.46
B	49	2	24.5	18.90 <sup>**</sup>	8.65	4.46
C	440	2	220.0	169.57 <sup>**</sup>	8.65	4.46
AXB	15	4	3.8	2.97	7.01	3.84
BXC	8	4	2.0	1.51	7.01	3.84
AXC	31	4	7.8	5.98 <sup>*</sup>	7.01	3.84
E	10	8	1.3			
Total	659	26				

S: sum of square, ∅: degree of freedom, V: mean squares, F<sub>0</sub>:  $\frac{V_A}{V_E}$ , <sup>\*\*</sup>: Level of significance 1%

<sup>\*</sup>: Level of significance 5%, A: Gearpump speed, B: Air pressure, C: DCD(die-to-collector distance)

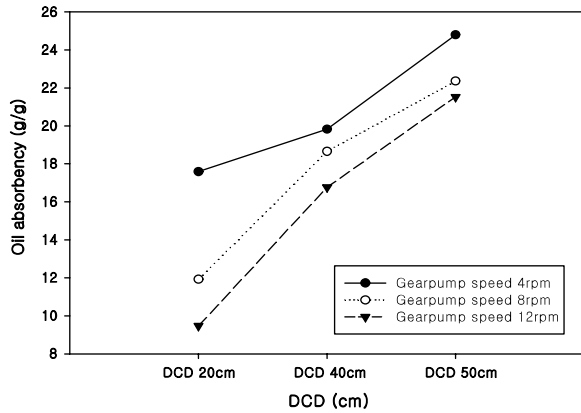


Fig. 11. The effect of gearpump speed and DCD on oil absorbency.

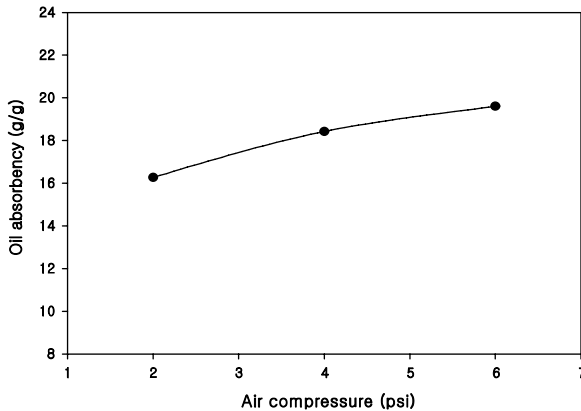


Fig. 12. The effect of air pressure on oil absorbency.

#### 4. 결 론

본 연구는 폴리프로필렌 섬유용 멜트블로우 유흡착포를 제조하여 물성변화 및 오일 흡유도 등을 실험한 것으로 결과의 재현성과 보편성을 고려하여 3원실험배치법 (기어펌프 속도, 에어압력, DCD)과 분산분석법을 활용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 방사공정인자중 기어펌프 속도, 에어압력이 섬유직경에 미치는 영향은 위험률 1%에서 유의하고 기어펌프 속도와 에어압력 사이에서는 교호작용이 있으며 기어펌프 속도가 감소할수록 에어압력이 증가할수록 섬유직경은 감소하는 경향을 나타내었다.
2. 섬유직경과 통기성과의 상관관계수 r의 값은 0.8845이며 또한 기공크기와 통기성과의 상관관계수 r의 값도 0.9295로 모두 높은 상관으로 나타났다.

3. 흡유도 실험에서는 기어펌프 속도, 에어압력, DCD 모두 위험률 1% 유의하였고 기어펌프 속도와 DCD간 교호작용은 위험률 5%에서 유의하였으며 DCD가 증가할수록 흡유도는 큰 폭으로 증가하였다.

#### 감사의 글

이 연구는 2008년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음

#### 참고문헌

1. B. Wu, M.H. Zhou. "Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent", *Waste Management*, pp.1-5, 2008.
2. Lin Hailan and Liao Jianhe, Preparation and Properties of NR Oil Absorption Composite, *Rubber Industry(China)*, **7**, 403-407(2007).
3. T. Shimizu, S. Koshiro, Effect of Cell Structure on Oil Absorption of Highly Oil Absorptive Polyurethane Foam for On-Site Use, *Journal of Applied Polymer Science*, **65**, 179-186(1997).
4. C. H. Joo, T. Y. Park, Structure and Technology Trend of Meltblown Nonwoven, *Journal of the Korean Fiber Society*, **28**(12), 8-16(1991).
5. Korean Industrial Standard, K1600:2005, 2005.
6. J. H. Song, "Quality Control", Young-Seoul Publisher, Seoul, pp.317-354, 1998.
7. Ishikawa, Kaoru, Fujimori, and Toshimi Kume, "Method of Experimental Design", Japan, pp.153-155, 1972.
8. B. Majumdar and R. L. Shambaugh, Air Drag on Filaments in the Melt Blowing Process, *Journal of Rheology*, **34**, 591(1990).
9. Young Min kim, Ho Gyu Jeong, Effect of Meltblown Processing Conditions on the Physical Properties of Polypropylene Fiber Web Fabrics, *Journal of the Korean Fiber Society*, **33**(2), 107-115(1996).
10. Hyunjoo Shim and Sung Chul Kim, Effect of Processing Factors on the Physical Properties of Meltblown Polypropylene Fiber Web Fabrics (II), *Journal of the Korean Fiber Society*, **33**(6), 492-498(1996).