

멜트블로운 부직포의 흡유도와 흡유거동에 관한 연구

신현세[†] · 유주환 · 김로

단국대학교 섬유시스템공학과

A Study on Oil Absorption Rate and Oil Absorbency of Melt-blown Nonwoven

Hyun Sae Shin[†], Joo Hwan Yoo and Lu Jin

Department of Fiber System engineering, Dankook University, Yong In city, Gyeonggi-do, Korea

(Received: July 8, 2010/Revised: August 13, 2010/Accepted: August 23, 2010)

Abstract— Oil-absorbable nonwovens were produced by meltblown processing of polypropylene chips. In this study, experimental array and variance analysis of the design of experiment were used to increase the field repeatability and universality. Oil absorbency was decreased, as oil absorbable nonwovens of packing density and gearpump speed were increased. Oil absorption rate was increased, as packing density was increased. Also the oil absorption rate increased with increasing gear-pump speed.

Keywords: oil absorbency, oil absorption rate, packing density, melt-blown, nonwoven

1. 서 론

원유는 현대인류사회에 있어서 대표적인 에너지의 원천이며 공업원료의 필수품으로서 경제의 발전과 더불어 사용량이 점점 늘어나는 실정이다. 반면 산유국은 한정되어 있어 원유의 운송과정이 불가피하며 이 때 초래되는 기름유출오염은 토양, 해양 환경과 도시주민들의 생활환경에 위협을 주고 있다^{1,2)}. 기름유출사건은 세계적으로 빈번히 발생하고 있으며, 최근 우리나라 서해안 태안에서도 1만2천톤의 기름 유출사고로 바다생태계에 엄청난 파괴와 천문학적 재정적, 정신적 피해를 준 바 있다. 이에 따라 기름유출사고 시 신속하고 효과적인 처리 방법이 필요하다. 현재 기름유출사고 시 오염처리 방법은 생물법, 화학법 및 물리법의 3종으로 크게 분류되며 필요시 복합적으로 사용도 실시되고 있는 실정이다.

첫째는 생물법이라고 하는데 살아있는 생물을 사용하여 기름을 분해하는 자연정화(自然淨化)법이다. 기름을 분해할 수 있는 미생물을 활성화 시켜 오염지역의 유류를 분해한다. 화학적 유처리 방법에 비해 자연환경에 미치는 영향이 적고 최종적으로 물과 이산화탄소로 분해

시켜 유출유의 독성이 감소되는 장점이 있으나 기름의 신속한 제거가 어려운 단점이 있다¹⁴⁾.

둘째는 유처리제를 사용하여 기름의 표면장력을 저하시켜 기름덩어리를 형성케 한 후 쉽게 회수 처리하도록 하는 방법이다³⁾. 그러나 해수에 넓게 확산된 미세 oil 입자를 새로운 생물균들이 흡수하여 결국은 사람들에게 까지 흡수되는 심각한 문제점들이 발생되고 있는 방법으로 유처리제 자체가 해양에 2차오염을 가져올 수 있다.

셋째는 유흡착재인 유흡착포를 이용한 기름 회수방법이다. 유흡착포는 물을 배척하고 기름을 흡수 및 흡착하는 성질을 가지며 부양성이 있는 물질로 만들어져야 하며 짧은 시간 내에 기름을 흡수할 수 있어야 하고 회수와 취급이 용이하여야 하며 충분한 강도를 지니고 있어야 한다.

이상의 방법 중 친환경, 시간 등을 고려한다면 소극적인 방법이지만 유흡착포의 사용이 가장 효과적인 방법으로 평가되어 효율적인 유흡착포의 물성을 명확히 구명(究明)하는 것은 대단히 중요하다고 하겠다.

한편, 기존에 유흡착재에 관한 연구를 보면 B. Wu and M.H. Zhou⁴⁾가 Waste Tyre Rubber를

[†]Corresponding author. Tel.: +82-31-8005-3560; Fax.: +82-31-8005-3561; e-mail: studyhaja@gmail.com

©2010 The Korean Society of Dyers and Finishers 1229-0033/2010-09/257-263

이용한 유흡착재를 제안한 바 있으며, Lin Hailan and Liao Jianhe⁵⁾가 SMA-BA-St Copolymer에 NR을 중합한 연구를 보고된 바 있다. 또한 T.SHIMIZU and S. KOSHIRO⁶⁾는 흡유성능이 우수한 PU foam을 고안하였다. 국내에서도 유흡착포의 물리적 특성에 관한 많은 연구가 진행되었으나¹¹⁻¹³⁾ 기존의 연구는 P.P 부직포의 물리적 특성을 기체와의 관계에서 연구한 것이 대부분이며 직접적인 기름과의 관계인 유흡착포의 흡유도 및 흡유거동에 관한 연구는 극히 미진한 상태이며 구명되어야 할 영역으로 남아있었다.

따라서 본 연구에서는 유흡착포의 흡유도와 흡유거동에 미치는 영향을 구명하기 위해 gear-pump speed, 충전밀도와 oil 종류를 채택하였으며 흡유도는 gearpump speed, 충전밀도의 oil과의 관계를 분산분석법으로 재현성, 보편성을 고려하였고, 흡유거동은 상기와 같은 유흡착포인자인 물성과 oil간의 흡유조건 거동을 현실적인 실험방법을 고안하여 구명하고자 노력하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 실험에 사용한 폴리프로필렌 칩은 (주)폴리미래사의 멜트블로우용으로 사용되는 100% PP 칩을 사용하였으며 상온밀도는 0.9 g/cm³(25°C)이고 방사과정에서의 용융밀도는 0.75 g/cm³(250°C)였으며, 흡유 실험에서 실제 유출상황을 고려하여 중유(방카 b유), 경유, 엔진oil 등을 사용하였다.

2.2 시험포의 제조

시험포의 제조는 멜트블로우 시제품 제조기(MTS 2, Hills, USA)를 사용하여 (주)웰크론의 협조로 Table 1과 같이 제조하였다. 단위면적당 중량은 200g/m²수준으로 정하였다.

Table 1. Processing variables and conditions of meltblowing

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

2.3 토출량 계산

방사노즐은 Hills사 모델명 35HPIS/C 사용하였고 노즐 직경은 0.2mm이고 노즐 밀도는 35개/inch 총길이는 12inch이다. 방사온도는 250°C로 하였고 공급장치는 기어펌프 두개로 구성 되고 매개의 기어 펌프는 두개의 통로로 연료를 공급한다. 기어펌프의 산출용량은 3.2cm³/rpm이므로 4rpm일때의 한 개 노즐의 토출량을 계산하면 아래와 같다.

$$T = \text{Gearpump Speed} \times \text{Gearpump Number} \times \text{Gearpump capacity} \times 2 \text{ ways} \times \text{Melt Density} / \text{Nozzle Number} = 0.091\text{g/min}\cdot\text{hole}$$

이 논문에서는 기어펌프속도로 토출량을 표시하였다.

2.4 흡유도 측정

흡유도 측정은 한국산업규격 유흡착재표준규격(K1600:2005)에 의하여 실험하였다. 크기가 10cm×10cm인 시료를 20°C의 각각의 oil 유면에 띄워 5분간 정지한 후 이것을 철망위에 5분간 방치하여 다시 시료의 무게를 측정하였다⁷⁾.

$$\text{흡유도}\% = \frac{\text{흡유 후의 무게} - \text{흡유 전의 무게}}{\text{흡유 전의 무게}} \times 100$$

2.5 흡유거동의 측정

흡유거동은 Precisa사의 XB220A모델 전자저울(정밀도 0.001)과 초시계를 사용하여 Fig. 1과 같이 수직 Hanger형으로 측정하였다. 시료는 5cm×15cm 크기로 하였으며, 이 시험법은 시료를 전자저울에 고정하여 시료가 흡유하는 기름의 양을 읽어내는 방법으로 시간에 따른 흡유거동을 쉽게 측정하였다.



Fig. 1. Oil absorption rate testing system.

2.6 충전밀도 측정 및 변화

시료를 10cm × 0cm 크기로 겹보기 무게를 측정한 다음 두께를 측정하였다. 충전밀도는 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} & \text{충진밀도 (g/cm}^3\text{)} \\ & = \frac{\text{단위면적당무게}}{\text{표준상태에서의두께}} \times \frac{1}{\text{섬유의비중}} \end{aligned} \quad (1)$$

시료의 충전밀도를 변화시키기 위해 Fig. 2와 같이 장치를 자체 제작하였다. 이 장치는 아크릴 판넬을 이용하였으며, 시료의 적층을 보다 효과적으로 하기위해 투명하게 제작되었다. 또한 screw spike를 이용하여 적층하는 부직포의 두께에 따른 높이 조절과 실험의 재현성에 노력하면서 Fig. 2 screw mesh 장치를 이용하여 두께 1cm를 유지하면서 시료는 1매, 2매, 3매 총 3종으로 중첩, 충전밀도에 변화를 주며 흡유도와 흡유거동을 측정하였다. 그림 (a)는 충전밀도 변화에 따른 흡유도 측정을 위한 측정 장치이며, (b)는 흡유거동을 측정하기 위해 제작한 장치이다.

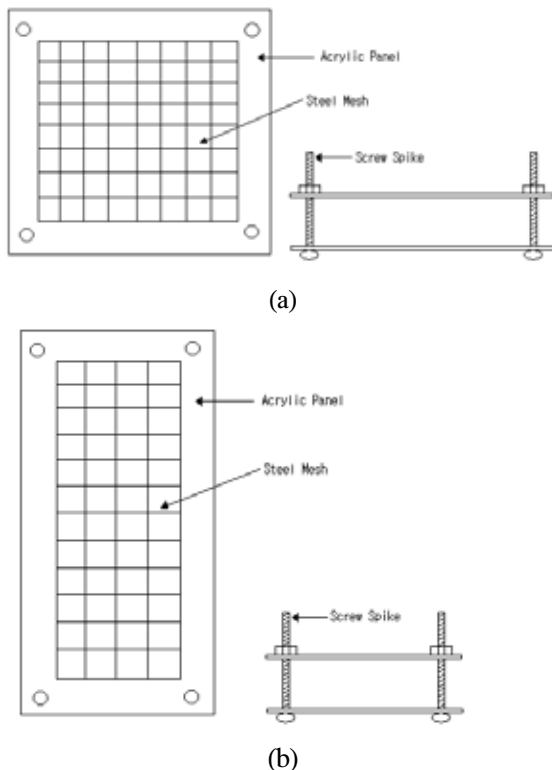


Fig. 2. Instruments for changing packing density of the sample; (a) Use for testing oil absorbency (b) Use for testing oil absorption rate.

3. 결과 및 고찰

3.1 충전밀도 변화에 따른 흡유도

흡유도를 재현성 있게 규명하기 위해 P.P 멜트블로운 부직포의 충전밀도와 오일종류를 인자로 하고 총 3수준으로 하여 실험계획법⁸⁾을 활용하였으며 기본 시료의 제작조건은 기어펌프 속도 4rpm, 에어압력 6psi, DCD 40cm로 시료를 제작 하였으며 시료 하나의 충전밀도는 0.052 g/cm³가 되도록 하였다.

Table 2에서는 충전밀도와 oil종류를 분산분석하여 표로 나타내었다. 표에서와 같이 충전밀도는 흡유도에 1%의 위험률로 유의하였으나 oil은 5% 위험률에서도 유의성이 나타나지 않아 oil의 종류 급간변동이 급내변동보다 차이가 크지 않은 상태, 즉 오일 종류변화에 따른 효과는 없는 것으로 판단되어 진다⁹⁾.

Fig. 3은 충전밀도와 흡유도에 대한 각 수준의 모평균을 그래프화 한 것으로 유흡착포의 기본 물성 특성에 충전밀도 변화가 크게 영향하여 흡유도는 충전밀도가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났으며 이는 충전밀도가 증가함에 따라 흡착포의 단위 부피당 oil을 함유할 수 있는 공극의 감소로 섬유와 섬유사이에 자유상태로 존재하는 oil의 양이 적어지기 때문에 나타나는 현상으로 생각되어지며 유흡착포의 충전밀도는 흡유도의 결정 인자(factor)로 사료되어진다.

3.2 기어펌프 속도 변화에 따른 흡유도

방사공정인자 중 기어펌프 속도는 유흡착포의 섬유직경, 통기성, 기공크기에 영향을 미치는 중요한 인자이다¹³⁾. 따라서 기어펌프 속도의 변화가 흡유도에 미치는 영향을 규명하기 위해 충전밀도에서와 같이 이원배치의 실험계획법을 활용하였으며, 기어펌프 속도 3수준(4, 8, 12rpm)과 oil종류 3수준(diesel, engine, bunker b)으로 변화를 준 유흡착포의 흡유도를 측정하였다.

Table 3은 기어펌프 속도와 oil종류를 분산분석하여 표로 나타내었으며, 기어펌프 속도와 흡유도, oil종류와 흡유도는 공히 1%의 위험률로 유의하였으며, 기어펌프 속도와 oil 종류에 대해 각 수준의 모평균을 그래프화 한 것을 각각 Figs. 4, 5에 나타내었다.

Table 2. Analysis of variance for packing density

	S	ϕ	V	F _o	F _o '	F(0.01)	F(0.05)
A	181.03	2.00	90.52	310.34	※※	18.00	6.94
B	1.69	2.00	0.84	2.90		18.00	6.94
e	1.17	4.00	0.29				
Total	183.89	8.00					

S: sum of square, ϕ : degree of freedom, V: mean squares, ※※: Level of significance 1%, ※: Level of significance 5%, A: packing density, B: classify of oil

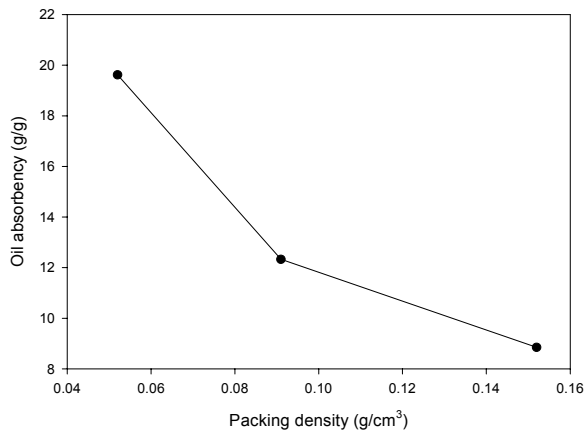


Fig. 3. The effect of packing density on oil absorbency.

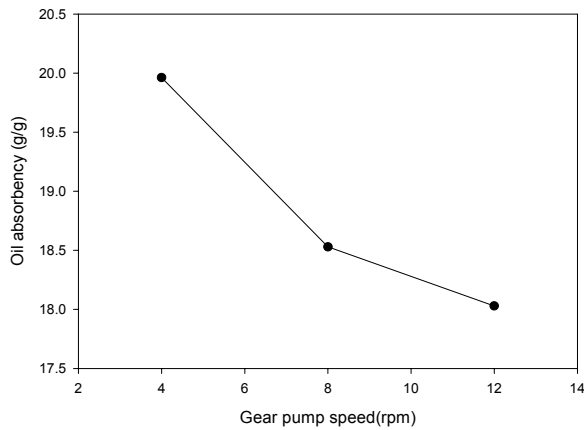


Fig. 4. The effect of gearpump speed on oil absorbency.

Table 3. Analysis of variance for gearpump speed

	S	ϕ	V	F _o	F _o '	F(0.01)	F(0.05)
A	57.66	2.00	28.83	86.49	**	18.00	6.94
B	12.61	2.00	6.30	18.91	**	18.00	6.94
e	1.33	4.00	0.33				
Total	71.60	8.00					

S: sum of square, ϕ : degree of freedom, V: mean squares, ※※: Level of significance 1%, ※: Level of significance 5%, A: gearpump speed, B: classify of oil

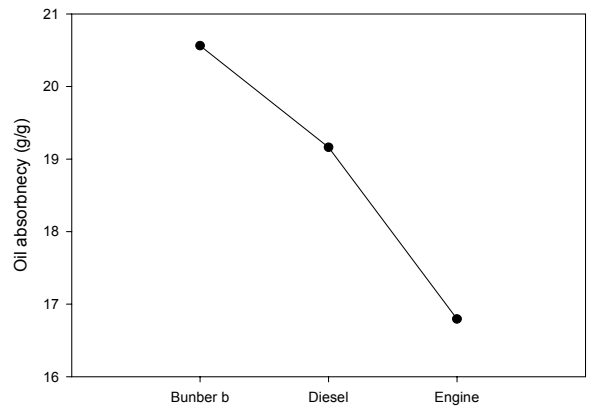


Fig. 5. The effect of classify of oil on oil absorbency.

Fig. 4에서 흡유도는 기어펌프 속도가 증가할 수록 감소하는 경향을 뚜렷이 보이고 있다. 이것은 기어펌프 속도가 감소하면 섬유직경의 극 세화가 일어나며 비표면적의 증가 및 흡착포가 oil을 흡수하는 모세관현상의 확대로 흡유도는 증가하나 기어펌프 속도가 증가되면 흡유도는 감소하고 있음을 보이고 있으며 이것은 전보¹³⁾에 나타난 결과와 동일한 경향을 잘 보이고 있다. Fig. 5는 oil 종류에 따른 흡유도를 그래프화 하였으며, bunker b가 가장 높은 흡유도를 나타내었으며 다음으로 Diesel, Engine oil순으로 나타났다. 이것은 Boiler 용 bunker b의 점도가 가장 높아 유흡착포의 흡유 후 이탈이 쉽지 않은 결과이며 engin oil의 경우는 특성 용도에 맞게

윤활제의 침부로 점도와 직접적인 관계없이 diesel 보다 낮게 나타난 것으로 사료되어진다.

3.3 충전밀도의 변화에 따른 흡유거동

충진밀도 변화와 흡유거동에 미치는 영향을 알아보기 위해 앞 절 실험 2.6에 의하여 시료의 충전밀도를 3수준(0.052 g/cm³, 0.104 g/cm³, 0.152 g/cm³)과 oil 3수준(bunker b, engine oil, diesel oil)으로 변화시켜 흡유거동을 측정하였으며, 시료의 제조는 기어펌프 속도 4rpm, 에어압력 6psi, DCD 40cm의 충전밀도 0.052 g/cm³로 하였으며 이것을 2배, 3배 중첩하였다. Figs. 6, 7, 8은 충전밀도 변화에 따른 3수준 oil의 흡유거동을 나타내었으며 그림에서 oil의 종류에 관계없이 흡유거동은 충전밀도가 증가할수록 공히 크게 나타나고 있고, 충전밀도 0.052 g/cm³는 30분경이면 증가량이 거의 없으나 충전밀도가 큰 것일수록 60분이 경과되어도 흡유거동이 증가하는 경향을 나타낸다. 또한, 흡유거동 30분을 기준으로 oil종류에 따른 충전밀도 별 흡유량을 보면 충전밀도 0.052 g/cm³ 시 bunker b 2g, diesel 10g, engine 5.2g이며 충전밀도 0.152 g/cm³ 시 bunker 7.8g, diesel 40g, engine oil 22g으로 충전밀도 0.052 g/cm³ 와 0.152 g/cm³ 사이의 흡유량은 oil종류에 관계없이 약 4배를 나타내고 있으며, 충전밀도 0.104 g/cm³ 경우에도 각각 중간크기로 비례적으로 나타나고 있다. 이는 유흡착포의 물성특성인 극세화에 따른 비표면적 증가 여부와 공극의 대소에 따른 모세관현상과 oil종류 즉, bunker b, diesel oil과 engine oil의 점도의 특성에 기인한 것으로 사료된다¹⁰⁾.

3.4 기어펌프 속도의 변화에 따른 흡유거동

기어펌프 속도 변화가 흡유거동에 미치는 영향을 알아보기 위해 기어펌프 속도를 3수준(4rpm, 8rpm, 12rpm)과 oil 3수준(bunker b, engine oil, diesel oil)으로 변화시켜 흡유거동을 측정하였으며 충전밀도는 0.052 g/cm³ 로 하였다. Figs. 9, 10, 11은 기어펌프 속도 변화에 따른 3수준 oil의 흡유거동을 나타내었으며 그림에서 oil의 종류에 관계없이 흡유거동은 기어펌프 속도가 증가할수록 공히 크게 나타나고 있고, 기어펌프 속도와 관계없이 15분이 지나면 거의 흡유거동의 증가폭이 감소하다가 30분이 경과되면 전반적으로 거의 흡유거동의 변화가 없다. 또한 흡

유거동 15분을 기준으로 oil종류에 따른 기어펌프 속도 별 흡유량을 보면 기어펌프 속도 4rpm에서 bunker b 2.5g, engine 4.5g, diesel 5.8g이며, 기어펌프 속도 12rpm 시 bunker b 3.0g, engine 5.0g, diesel 6.5g으로 기어펌프 속도변화에 따른 흡유량은 oil종류에 관계없이 증가하는 경향은

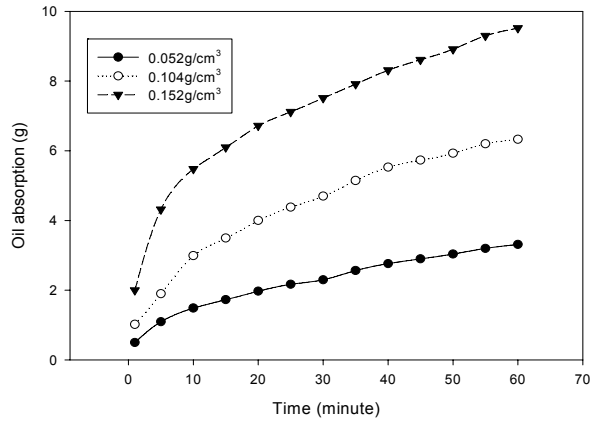


Fig. 6. The effect of packing density on bunker b oil absorption rate.

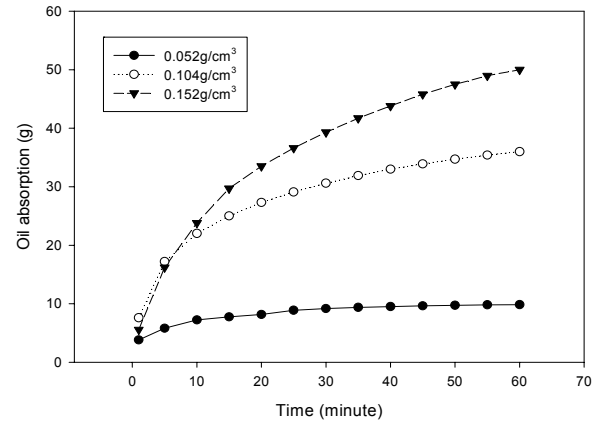


Fig. 7. The effect of packing density on diesel oil absorption rate.

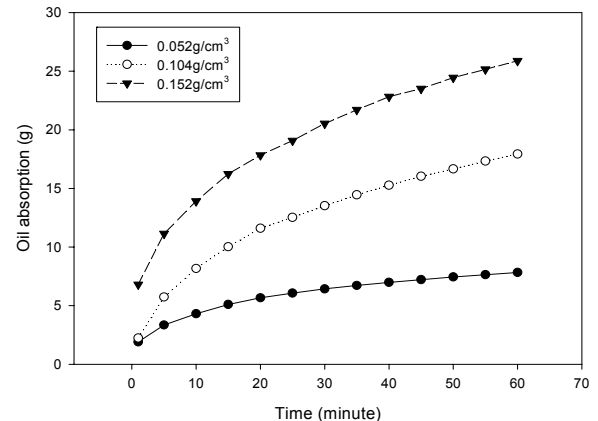


Fig. 8. The effect of packing density on engine oil absorption rate.

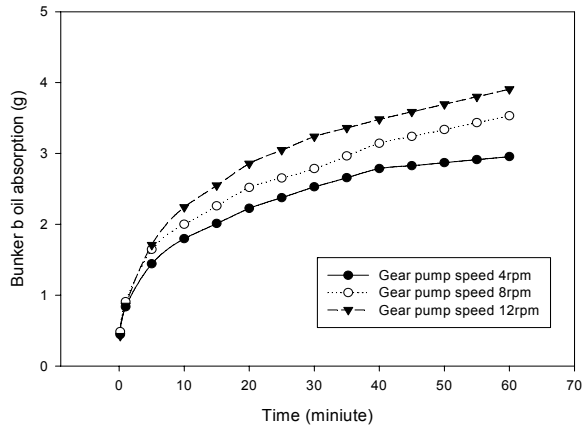


Fig. 9. The effect of gearpump speed on bunker b oil absorption rate.

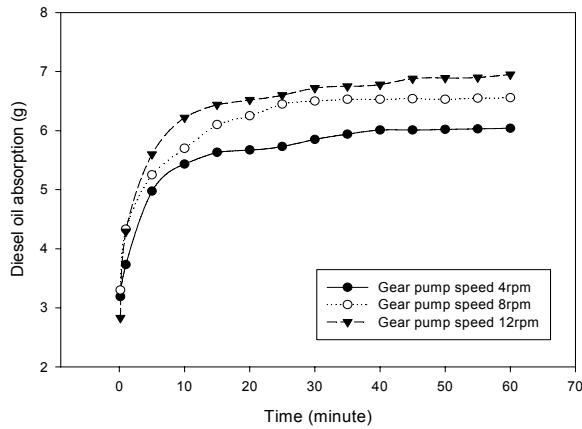


Fig. 10. The effect of gearpump speed on diesel oil absorption rate.

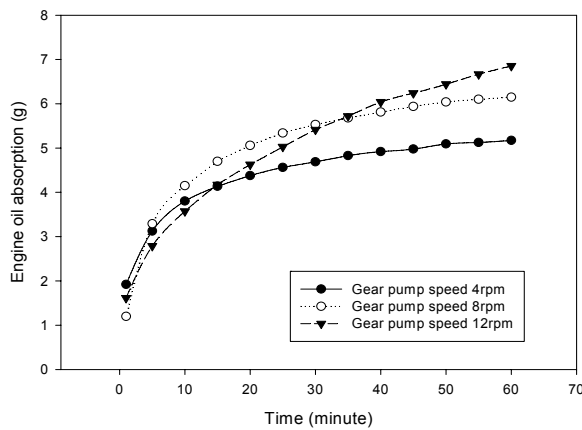


Fig. 11. The effect of gearpump speed on engine oil absorption rate.

있으나 큰 차이가 없다. 이것도 앞 절 3.3에서 언급했던 바와 같이 기어펌프 속도 변화에 따른 부직포의 극세화에 따른 비표면적 증가와 공극의 대소 및 oil종류의 점도의 특성에 기인한 것으로 사료된다. 또한 앞 절의 충전밀도

변화에 따른 흡유량의 변화보다 기어펌프 속도 변화에서 증감폭이 작았으며, 충전밀도의 변화는 직접적으로 흡유거동에 영향을 미치지 않지만 기어펌프의 변화는 흡유거동과 직접적인 관계는 없는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유흡착포의 흡유도와 흡유거동에 미치는 영향을 구명하기 위해 gearpump speed, 충전밀도와 오일 종류를 채택하였으며 흡유도는 gearpump speed, 충전밀도의 oil과의 관계를 분산분석법으로 재현성, 보편성을 고려하였고, 흡유거동은 상기와 같은 유흡착포 인자인 물성과 오일 간의 흡유조건 거동을 현실적인 실험 방법을 고안하여 구명하고자 노력하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 흡유도는 유흡착포의 충전밀도가 증가할수록, 기어펌프 속도가 증가할수록 오일의 종류에 관계없이 감소하였다.
2. 충전밀도 변화에 따른 흡유거동은 충전밀도가 증가할수록 오일의 종류에 관계없이 증가하였고 포화상태일때 디젤 오일이 제일 많은 흡유량을 보였다.
3. 기어펌프 속도에 따른 흡유거동은 기어펌프 속도가 증가할수록 oil의 종류에 관계없이 증가하는 경향이나 큰 차이가 없다.
4. 충전밀도는 흡유도에 1%의 위험률로 유의하였으나 오일은 5% 위험률에서도 유의성이 나타나지 않았으며, 기어펌프 속도와 흡유도, 오일종류와 흡유도는 공히 1%의 위험률로 유의하였다.

감사의 글

이 연구는 단국대학교 대학원 연구보조장학금의 지원으로 이루어진 것임.

참고문헌

1. J. Whitfield, "How to Clean a Beach", Nature 422, pp.464-466, 2003.
2. Hiroshi Moriwaki, Shiori Kitajima, Masahiro Kurashima, Ayaka Hagiwara, Kazuma Haraguchi, Koji Shirai, Rensuke Kanekatsu, and Kenji Kiguchi, Utilization of Silkworm Cocoon Waste

- as a Sorbent for the Removal of Oil from Water, *Journal of Hazardous Materials*, **165**, 266-270(2009).
3. Teik-Thye Lim and Xiaofeng Huang, "Evaluation of Kapok as a Natural Hollow Hydrophobic-oleophilic Fibrous Sorbent for Oil Spill Cleanup", *Chemosphere* **66**, pp.955-963, 2007.
 4. B. Wu and M.H. Zhou, "Recycling of Waste Tyre Rubber into Oil Absorbent", *Wast Management*, pp.1-5, 2008.
 5. Lin Hailan and Liao Jianhe, Preparation and Properties of NR Oil Absorption Composite, *Rubber Industry(China)*, **7**, 403-407(2007).
 6. T. Shimizu and 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).
 7. Korean Industrial Standard, K1600:2005, 2005.
 8. J. H. Song, "Quality Control", Young Sul Publisher, Seoul, pp.317-354, 1998.
 9. Ishikawa, Kaoru, Fujimori, and Toshimi Kume, "Method of Experimental Design", Japan, pp. 153-155, 1972.
 10. B. Majumdar and R. L. Shambaugh, Air Drag in Filaments in the Melt Blowing Process, *J. Rheol.*, **34**, 591(1990).
 11. Y. M. Kim and H. G. Jeong, Effect of Meltblown Processing Conditions on the Physical Properties of Polypropylene Fiber Web Fabrics, *J. Korean Fiber Society*, **33**(2), 107-115(1996).
 12. H. Shim and S. C. Kim, Effect of Processing Factors on the Physical Properties of Meltblown Polypropylene Fiber Web Fabrics (II), *J. Korean Fiber Society*, **33**(6), 492-498(1996).
 13. H. Shin, J. Yoo, and L. Jin, Effect of Manufacturing Condition on the Properties of Oil-avsrorbable Melt Blown Nonwoven, *Textile Coloration and Finishing(J. Korean Soc. Dyers & Finishers)*, **21**(6), 22-28(2009).
 14. Miller, R.V. and J.S. Poindexter, "Strategies and Mechanisms for Field Research in Environmental Bioremediation", *The American Academy of Microbiology*, pp.1-20, 1996.