

<연구논문>

HDPE/Nylon 블렌드의 모폴로지와 투과 특성

이상영 · 김두호* · 김성철

한국과학기술원 화학공학과, *한국과학기술원 응용과학연구소
(1993년 7월 3일 접수)

Morphology and Barrier Properties of HDPE/Nylon Blend

Sang Young Lee, Doo Ho Kim* and Sung Chul Kim

Department of Chemical Engineering, *Applied Science Research Institute
Korea Advanced Institute of Science and Technology 373-1, Kusong, Yuseong, Taejeon 305-701, Korea
(Received July 3, 1993)

요 약

고밀도 폴리에틸렌(High density polyethylene, HDPE)내에 차단성 수지인 나일론(Nylon)이 분산된 블렌드의 모폴로지와 유기 용제에 대한 차단성에 대해 연구하였다. 나일론이 구형, 실린더 및 판상 구조 형태를 가지며 분산된 블렌드를 가공조건을 변화시켜 제조하였다. 블렌드의 모폴로지가 유기 용제의 차단성에 끼치는 영향을 알아보기 위하여 투과시험을 하였으며 수치 모사를 통하여 투과도를 이론적으로 예측해 보았다. 동일한 나일론 양에서 분산상인 나일론이 구형 또는 실린더 형태를 갖는 경우 투과액에 대해 낮은 차단성을 보이는데 반하여, 판상 구조를 갖게 되는 경우에는 차단성이 크게 상승함을 관찰할 수 있었다. 이는 판상 구조 형태를 취함으로써 블렌드내에서의 투과액의 투과 경로가 길어졌기 때문이다. 나일론 층의 여러 기하학적인 형태 변화에 대해 GRM (Generalized Rayleigh-Maxwell) 관계식 및 이를 수정한 식을 이용하여 투과도를 예측하여 보았다. 나일론 층의 중첩도가 높다고 가정할 경우가 중첩도를 낮게 생각한 경우에 비해 높은 차단성을 보임을 수정된 GRM 관계식을 통하여 알 수 있었다. 또한 나일론 층의 폭이 증가할수록, 그리고 두께가 감소할수록 높은 차단 효과를 보임을 예측할 수 있었다.

Abstract—The morphology and barrier properties of HDPE/Nylon blend were studied. By changing the processing conditions, the blends show various morphologies having spherical, cylindrical and laminar dispersion. The unusual barrier effects obtained with a small amount of the barrier material (Nylon) are formulation of the ingredients. In the case of laminar morphology, Nylon is distributed as large thin sheets parallel to the flow axis. The permeability of the HDPE/Nylon blend having laminar dispersion is much more reduced than that of the finely dispersed isotropic blend. These Nylon platelets act as barriers to the permeant diffusion by providing a long tortuous path. Computer simulation for the permeability of the HDPE/Nylon blend was carried out. Permeability of HDPE/Nylon blend having different morphologies was calculated by GRM (Generalized Rayleigh Maxwell) relationship. As the Nylon platelet width is increased and the thickness is decreased at a constant volume fraction of Nylon, the estimated permeability shows large reduction. The simulated results are compared with the experimental values.

Keywords: Barrier material(Nylon), barrier properties, laminar morphology, permeability, tortuous path, GRM relationship

1. 서 론

폴리에틸렌(polyethylene), 폴리프로필렌(polypropylene)과 같은 폴리올레핀(polyolefin)은 여러가지 액체들의 포장에 널리 사용되는 재료들이다. 폴리올레핀은 가공성, 경제성, 안정성 등에서 수분을 포함하는 액체들과 몇몇 제한된 유기용매 등의 포장에 우수한 특성을 보이고 있다. 그러나, 탄화수소 계열과 같은 유기용매들에 대해서는 차단성이 낮은 포장 재료로서 좋은 성능을 보이지 못하고 있다. 이러한 폴리올레핀의 단점을 해결하기 위해 PVDC(polyvinylidene chloride), PAN(polyacrylonitrile), Nylon 등과 같은 투과성이 낮은 물질과의 블렌딩이 시도되고 있다. 이 경우 경제성을 고려하여 폴리올레핀을 모재(matrix)로 하고, 배리어 성능(barrier properties)이 우수한 나일론 등이 분산상(domain)을 형성하는 모폴로지를 갖게 된다.



Fig. 1. Typical morphology of the HDPE/Nylon binary blend.

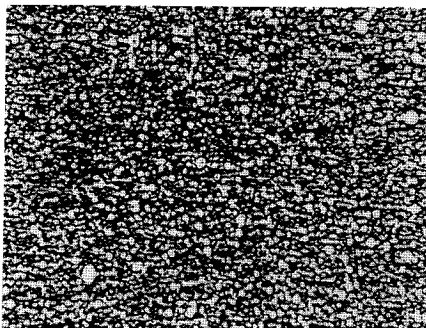


Fig. 2. Typical morphology of the HDPE/Nylon/com-patibilizer ternary blend.

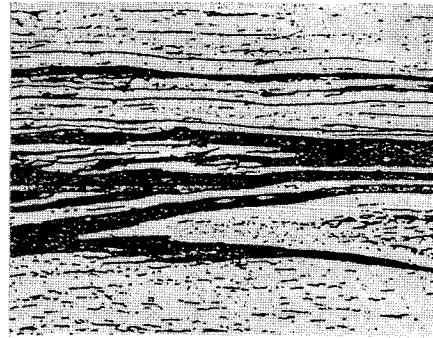


Fig. 3. HDPE/Nylon blends with laminar morphology.

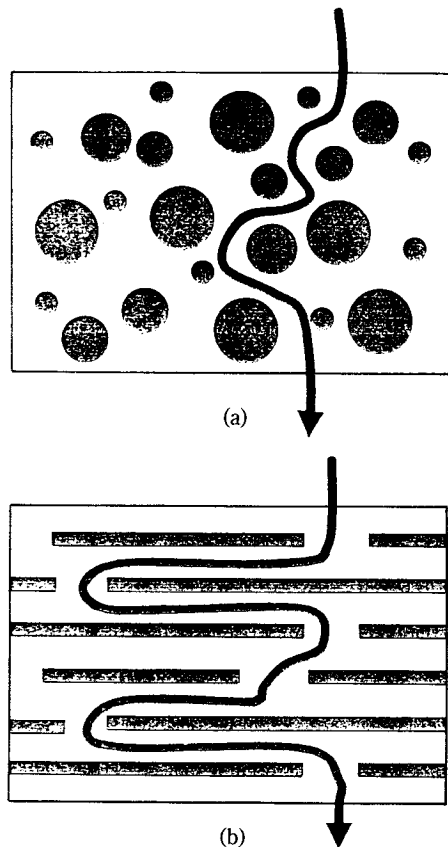


Fig. 4. Comparison of the tortuous path for the various morphology.
 (a) spherical dispersion
 (b) platelet dispersion

HDPE와 Nylon은 비상용성(immiscible)이므로 단순히 블렌드하면 Fig.1에서 볼 수 있는 바와 같이 HDPE내에 형상이 불균일한 Nylon 입자가 분산된

상태가 되어 차단성이 크게 향상되지 않으며 기계적 강도도 극히 낮다. HDPE와 Nylon에 상용화제(compatibilizer)를 넣어 함께 블렌드하면 Fig. 2에서 처럼 Nylon은 작고 균일한 구형 입자가 되어 HDPE내에 분산되며 접착성도 향상된다. 이 블렌드는 기계적 강도는 향상되나 차단성은 Fig. 1의 HDPE/Nylon 2성분계 블렌드와 거의 비슷하다. HDPE에 Nylon을 블렌드하고 상용화제를 첨가하여 가공 조건을 조절하여 성형하면 Fig. 3과 같이 HDPE내에 Nylon이 크고 얇은 층상으로 분산된다. 이 경우 차단성이 위의 두 경우에 비해 크게 향상되는데, 이것은 Fig. 4의 (b)에서 볼수 있는 바와 같이 Nylon이 층상 모폴로지를 형성하여 투과액(permeants)의 투과경로(penetration path)가 매우 길어지기 때문이다[1-4]. 이 블렌드체는 이미 기술한 바와 같이 우수한 배리어 성능으로 인해 현재 농약 및 솔벤트(solvent)류의 용기로 사용되고 있는 유리병이나 금속용기 등에 최적의 대용재로 사용되며 장기간 식품용기 등에 유용하게 적용될 수 있다. 또한 최근에는 자동차용 연료탱크의 플라스틱화에도 응용되고 있다[5, 6].

본 연구의 목적은 모재인 폴리에틸렌 내에 차단성 수지인 나일론이 층상 구조를 이루어 탄화수소계 용제에 대한 차단성이 우수한 폴리에틸렌/나일론/상용화제 블렌드 수지를 개발하고, 나일론 분산상의 모폴로지 변화가 블렌드의 차단성에 미치는 영향을 실험 및 수치 모사(computer simulation)를 통하여 알아보고자 하는데 있다.

2. 실험

2.1. HDPE/Nylon 블렌드의 제조

베이스 수지(base resin)인 HDPE(M.I=0.35)는 (주)한양화학으로부터 그리고 차단성 수지(barrier resin)인 Nylon 6는 (주)동양나일론 에서 각각 구입하여 사용하였다.

서로 비상용성을 보이는 HDPE와 Nylon의 상용성(compatibility)을 증진시키기 위하여 압출기(extruder)내에서 반응 압출방식(reactive extrusion)으로 무수 말레인산(maleic anhydride)을 HDPE에 그라프트시킴으로써 그라프트 공중합체(graft copoly-

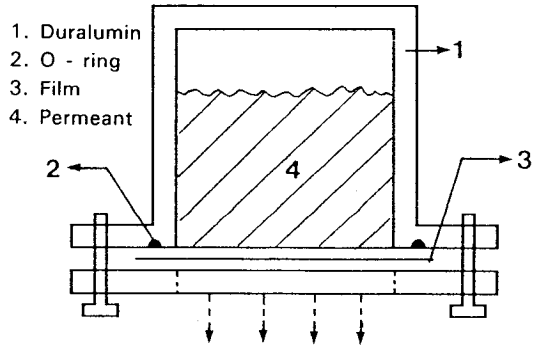


Fig. 5. Cross-sectional view of the permeation cell.

mer)를 제조하였다[7-11]. 이와 같이 제조된 상용화제 및 HDPE와 Nylon을 압출기내에서 210~250 °C의 온도 범위에서 혼련(mixing)하여 블렌드를 제조하였다. 한편 압출기 선단에 rod die, T-die 및 tubular die를 각각 부착하여 가공 조건을 변화시킴으로써 분산상인 Nylon이 다양한 모폴로지를 갖도록 조절하였다.

2.2. HDPE/Nylon 블렌드의 분석

제조된 필름을 액체 질소 속에 약 5분간 급냉한 후 충격을 가하여 절단한 후에 파단면을 금으로 코팅한 후 Phillips 535 M Model 주사전자현미경(scanning electron microscopy)으로 모폴로지를 관찰하였으며 일축 연신 필름의 경우 machine direction(MD) 및 transverse direction(TD), 이축 연신 필름의 경우 MD 및 radial direction(RD) 각각에 대하여 관찰하였다. 투과 cell을 사용하여 시간에 따른 무게 감량을 측정하여 제조된 필름의 차단성을 측정하였으며 투과 액체로는 톨루엔(toluene)을 사용하였다. Fig. 5에 사용한 투과 cell의 단면도를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분산상 모폴로지의 영향

차단성의 평가를 위하여 Barrier Factor를 다음과 같이 정의하고 투과 특성을 살펴보고자 한다.

$$B.F.(Barrier Factor) = \frac{\text{Permeability of HDPE}}{\text{Permeability of Blend}}$$

여기서,

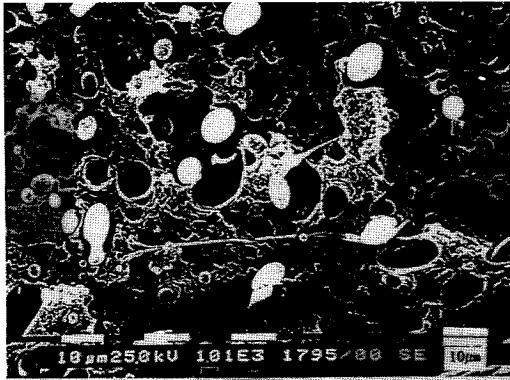
Permeability =

$$\frac{\text{weight loss of permeant} \cdot \text{film thickness}}{\text{film area} \cdot \text{time}}$$

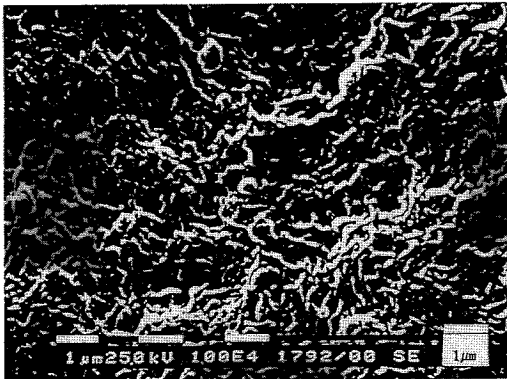
$$\left[\frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{hr}} \right]$$

3.1.1. 균일 분산 모폴로지

Nylon이 구형 형태로 균일하게 분산된 모폴로지를 갖는 블렌드의 경우 Fig. 6에서와 같이 상용화제 첨가에 의한 분산상 크기의 감소효과를 볼수 있다. Fig. 7에서 Nylon의 함량을 3 wt%에서 15 wt%까지



(a)



(b)

Fig. 6. SEM micrographs of the binary and ternary blends prepared under high shear mixing. (a) HDPE/Nylon=85/15 (b) HDPE/Nylon/Compatibilizer(MAH wt%=0.8)=75/15/10 wt%

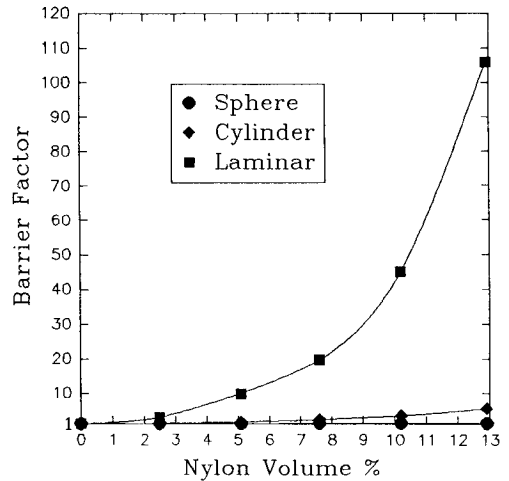


Fig. 7. Comparison of the B.F. (Barrier Factor) for the blend with various morphologies.

변화시킨 경우 B.F.가 매우 작은 쪽으로 증가함을 알 수 있다. 결국 Nylon이 균일하게 분산된 경우에는 넣어준 Nylon양의 증가에도 불구하고 차단성이 별로 향상되지 못하며, 전체적으로 매우 낮은 차단 효과를 보임을 알 수 있다.

3.1.2. 일축 연신 필름

분산상인 Nylon이 일축 연신된 필름의 경우 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 Nylon이 MD 방향으로만 연신됨을 알 수 있다. 2성분계 블렌드는 HDPE와 Nylon과의 비상용성으로 인하여 계면 접착력이 좋지 않으나, 상용화제가 첨가된 3성분계 블렌드는 계면 접착력이 향상되고 분산상의 크기도 작아짐을 알 수 있다. 일축 연신 필름은 Nylon이 MD방향으로 연신됨에 따라 투과 경로가 균일 분산 모폴로지보다 길어져 상대적으로 높은 B.F.를 보임을 알 수 있다 (Fig. 7).

3.1.3. 이축 연신 필름

HDPE와 Nylon 블렌드의 연신 가공은 층상 모폴로지를 얻는데 있어서 매우 중요한 변수 중의 하나이다. 이는 HDPE 모재 내에 Nylon을 MD 방향 및 RD 방향으로 크고 얇은 층을 형성시켜야만 Nylon의 용제에 대한 차단효과를 높힐 수 있기 때문이다. 압출기내에서 Nylon 입자의 거동을 Fig. 9에 도시하였다. 압출기내에서 용융된 Nylon이 tubular

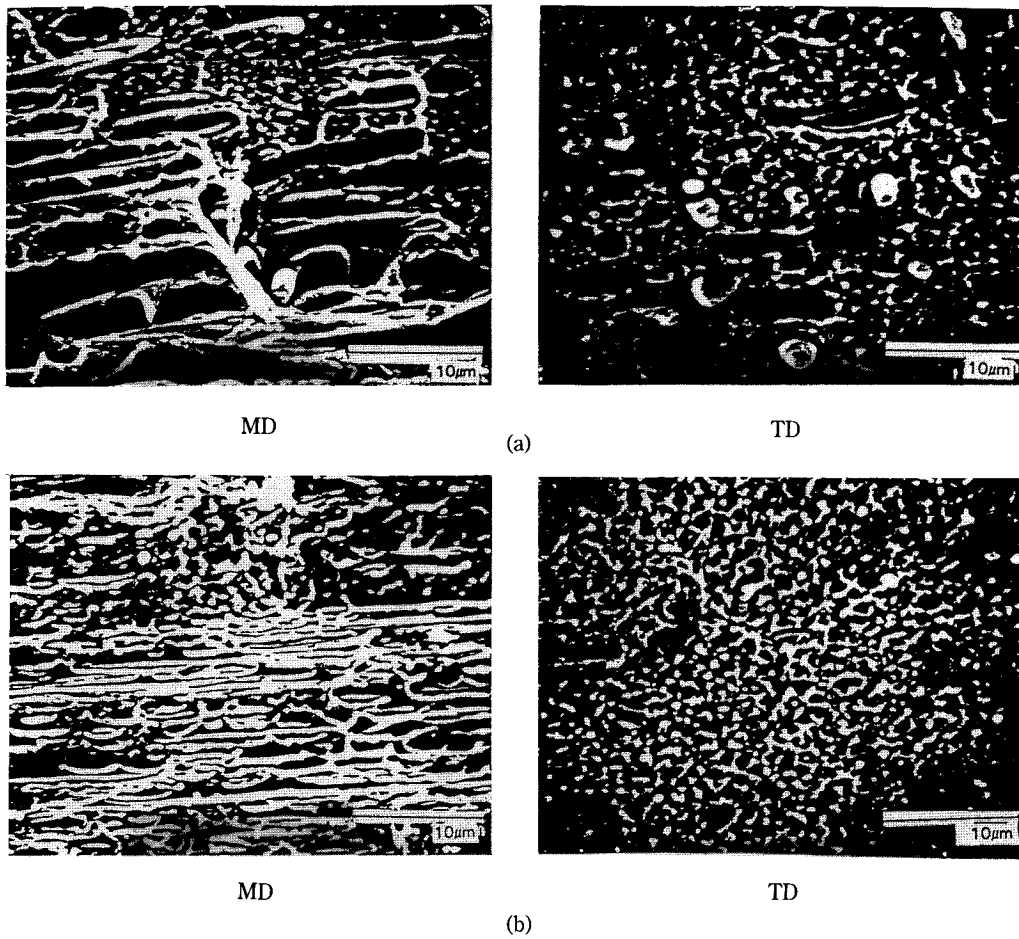


Fig. 8. SEM micrographs of the uniaxially stretched film.
 (a) HDPE/Nylon=94/6
 (b) HDPE/Nylon/Compatibilizer(MAH wt%=0.8)=93/6/1 wt%

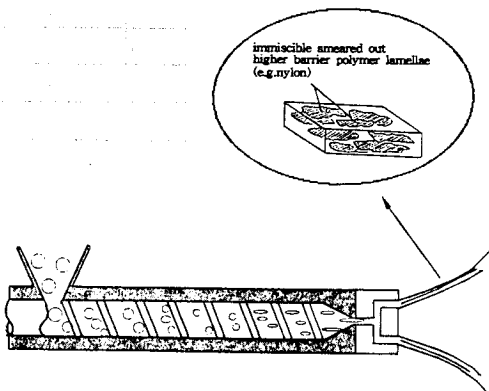


Fig. 9. Morphology change of the HDPE/Nylon/Compatibilizer ternary blend in an extruder.

die를 통과하면서 이축 연신(biaxial stretching) 과정을 거치게 되고 그로 인해 층상 구조 모폴로지를 갖게 되는 것으로 생각된다.

이축 연신 필름의 뽑힘성(Draw Down Ratio)과 팽창비(Blow Up Ratio)는 다음과 같이 정의된다 [12].

$$B.U.R.(Blow Up Ratio) = \frac{\text{Bubble diameter}}{\text{Die diameter}}$$

$$D.D.R.(Draw Down Ratio) = \frac{\text{Die gap}}{\text{Film thickness} \times B.U.R.}$$

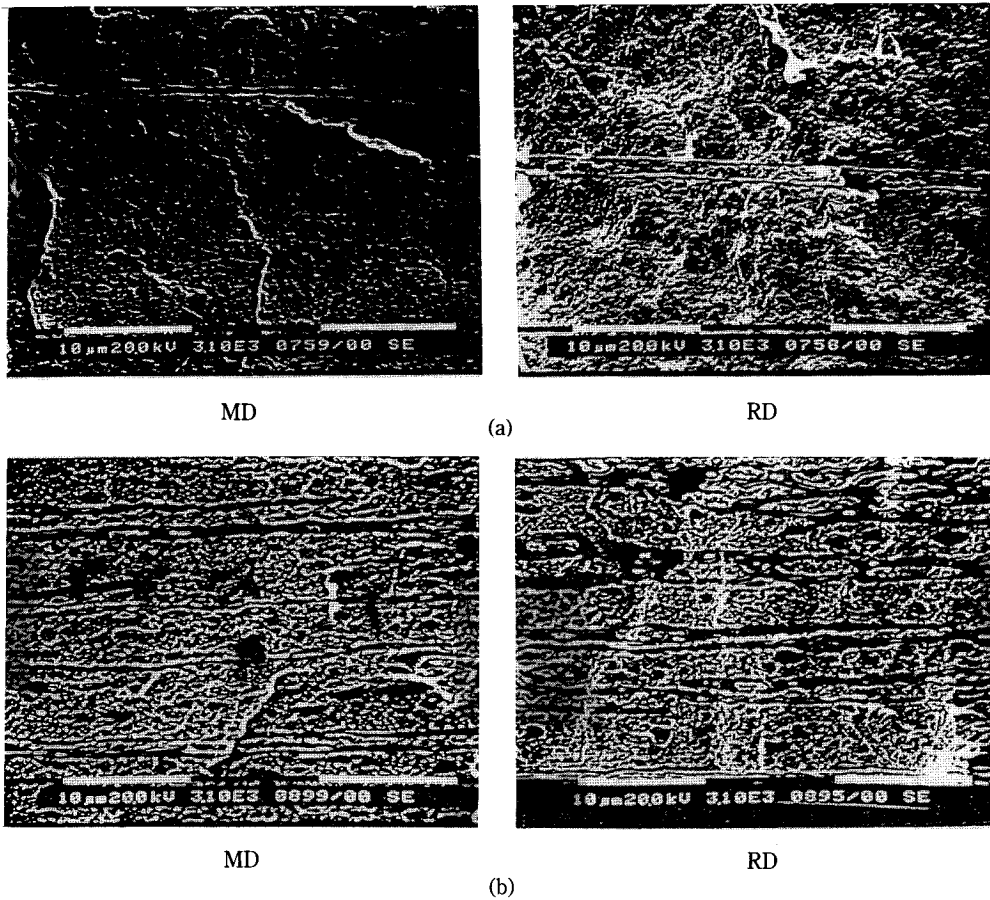


Fig. 10. SEM micrographs of the biaxially oriented film.

(a) HDPE/Nylon/Compatibilizer(MAH wt%=0.8)=95/3/2

(b) HDPE/Nylon/Compatibilizer(MAH wt%=0.8)=75/15/10 wt%

본 실험에서 사용한 다이의 지름과 간격은 각각 25.4 mm와 1 mm이었다. 제조한 이축 연신 필름의 뽐힘성과 팽창비는 필름 두께 및 폭을 조절함으로써 각각 3이 되도록 하였다.

이축 연신 필름의 경우 다른 두 경우에 비해 매우 높은 차단 효과를 보이고 있는데 이것은 층상 구조 형성으로 인해 투과액의 투과경로가 길어졌기 때문인 것으로 여겨진다. Fig. 10에 Nylon 부피가 2.5%와 12.9%를 갖는 경우의 SEM 사진을 비교하여 나타내었다. 이 결과로부터 가공조건을 잘 조절하면 Nylon양에 관계없이 층상구조가 형성되며, Nylon양이 증가함에 따라 그에 비례하여 Nylon 층의 수가 증가함을 알 수 있다. Nylon 부피가 2.5%에서 12.9%로

증가함에 따라 B.F.가 3배에서 106배로 크게 증가하였다(Fig. 7).

3.2. 투과 수치 모사(Permeability Simulation)

3.2.1. 이론

고분자 블렌드의 구조는 각 구성 성분의 비율, 분산상의 모양, 그리고 모재 내에서의 상대적인 배열 정도 등에 의존한다. 열 및 전기 전도도, 기체 투과성, 탄성 계수 등의 transport 특성들은 분산상의 모양과 배열 정도 등 기하학적인 성질에 크게 의존한다 [13-15]. 그러므로, 투과 특성을 수치 모사하기 위해서는 분산상의 다양한 기하학적 변화에 맞게 모델을 설정하여 유추하는 과정이 반드시 필요하다.

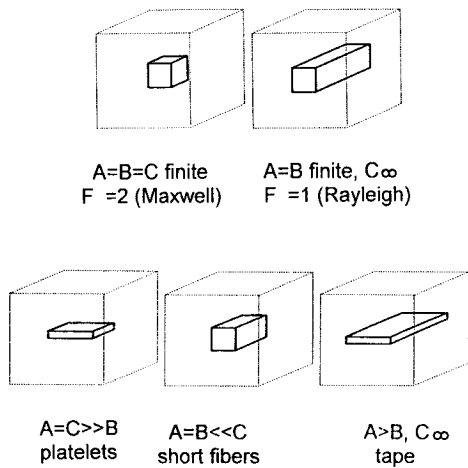


Fig. 11. Examples of shapes of generalized parallelepipedic particles ("unit cell" shown by broken lines).

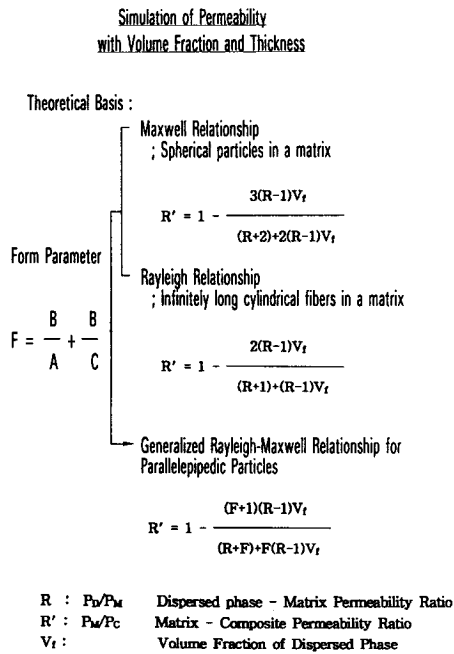


Fig. 12. Structure-property relationships of Generalized Rayleigh-Maxwell(GRM) model [15].

본 연구에서 구형 형태로 균일하게 분산된 경우에 대해서는 Maxwell 관계식을 이용한 공식을 사용하였고 일축연신, 이축연신된 블렌드 및 공압출(coext-

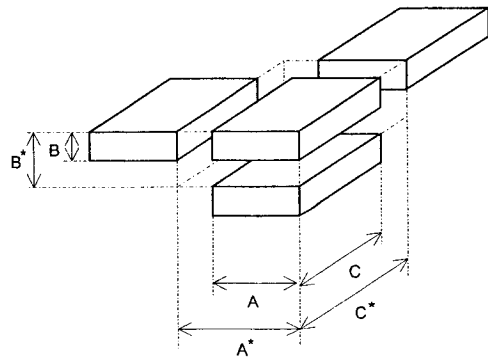


Fig. 13. Generalized parallelepipedic particles in a regular array ("unit cell" shown by broken lines).

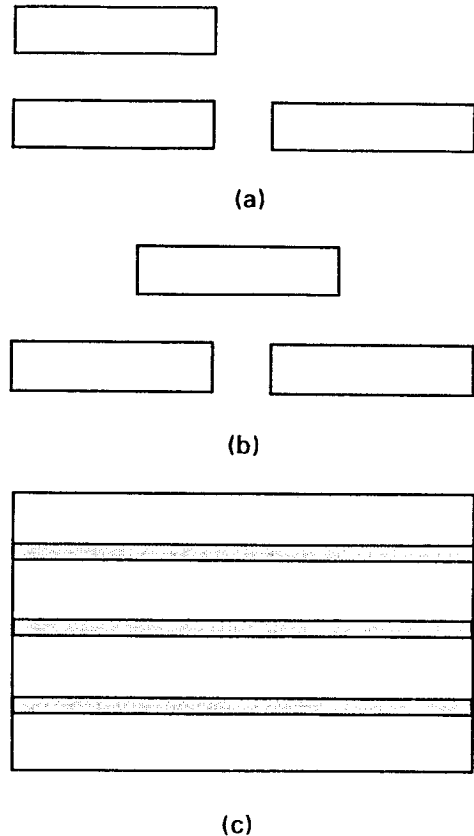


Fig. 14. Schematic representation of Nylon platelet arrays.
 (a) No overlap
 (b) Overlap
 (c) Coextrusion

rusion)에 대해서는 GRM(Generalized Rayleigh-Maxwell) 관계식을 이용하였다[15]. Fig. 11에 각 관계식에 관련된 블렌드의 구조를 도시하였다. 사용된 관계식을 요약하여 Fig. 12에 나타내었다. 분산상과 모재의 투과비(permeability ratio)인 R값은 0.001로 하였다.

$$R = P_{Nylon} / P_{HDPE} = 0.001$$

층상 구조를 갖는 경우의 수치 모사를 위한 Nylon 층(platelet)의 배열 모델을 Fig. 13에 도시하였다. 이 모델에 Nylon 층의 배열은 규칙적이라 생각하고 unit cell을 위의 그림에서와 같이 가정하였다. 여기서 A, B, C는 각각 Nylon 층의 가로, 두께, 세로를 의미하며, A*, B*, C*는 unit cell의 가로, 두께, 세로를 나타낸다. Nylon 층의 가로와 세로는 같다고 가정하였으며 또한 unit cell의 가로와 세로 역시 각기 같다고 가정하였다(A = C, A* = C*). HDPE내에 Nylon 층의 배열 형태는 중첩 정도에 따라 Fig. 14의 (a), (b)와 같이 크게 두 가지 경우로 나누어 생각해 볼 수 있는데, Fig. 15에 보인 바와 같이 A''을 새로운 변수로 가정한 후 중첩도(degree of overlap)를 정의하였다.

$$\begin{aligned} \text{degree of overlap} &= \left(\frac{A''}{A} - 1 \right) \times 100(\%) \\ &= 100\% \quad \text{at } A'' = 2A \\ &= 0\% \quad \text{at } A'' = A \end{aligned}$$

여기서 Nylon 층이 중첩되는 경우 새로운 보정항을 추가하여 GRM 관계식을 수정하였는데 그 과정을 설명하면 다음과 같다. Nylon 층이 Fig. 14의(c)와 같이 unit cell내에 존재하는 경우를 가정해보면 이때 B.F.는 공압출에 의해 형성된 블렌드의 B.F.와 동일한 값을 갖는다고 생각할 수 있다. 그래서 이 경우 Nylon 층의 폭(A = C)이 unit cell의 폭(A* = C*)과 같은 값을 갖는다고 생각하고 이것을 기준으로 새로운 보정항을 추가하여 GRM 관계식을 수정하였다. 즉, 이 경우 형태 인자(form parameter)는 F' = B/A* + B/C*와 같이 되고 이때의 F'을 GRM 관계식에 대입하여 B.F.를 구한 후 이 값이 공압출의 그것과 일치하도록 보정항을 추가하였다.

$$COC' + \left\{ 1 - \frac{(F' + 1)(R - 1)V_f}{(R + F') + F'(R - 1)V_f} \right\}$$

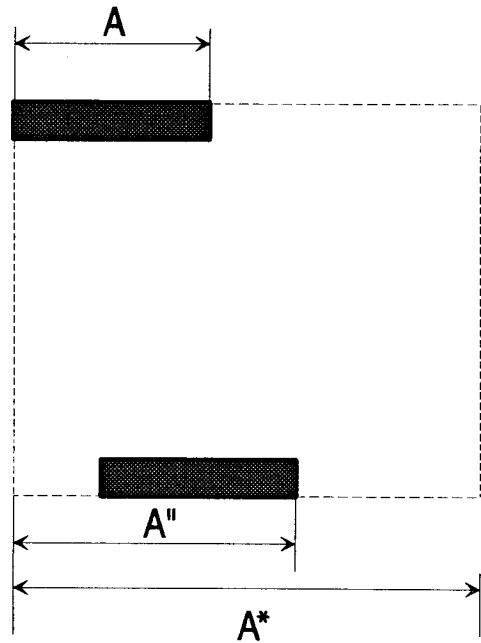


Fig. 15. Schematic representation of Nylon platelet array.

- A : Nylon platelet width
- A* : Unit cell width
- A'' : Variable

$$= 1 - \frac{(R - 1)V_f}{R}$$

COC' : correction for coextrusion

F' : form parameter for coextrusion

$$= B/A* + B/C*$$

Nylon 층이 판상 구조를 가지며 중첩되는 경우 Nylon 층의 모양에 따라 여러가지 형태를 취할 수 있게 되는데, 이때 달라질 수 있는 B.F.값을 계산하기 위해 보정항을 다시 수정하였다.

$$COC = COC' \times (F'/F)^{1/2}$$

COC : correction term for laminar morphology

F : form parameter for laminar morphology

$$= B/A + B/C$$

그래서 최종적으로 얻어진 식을 정리해 보면 다음과 같다.

$$B.F. = R' = 1 - \frac{(F + 1)(R - 1)V_f}{(R + F) + F(R - 1)V_f} + COC$$

3.2.2. 수치 모사 모델

수치 모사를 위해 필요한 unit cell에 대한 기초 data는 SEM 결과로부터 구하였다. Fig. 16에 분산상인 Nylon이 여러가지 모폴로지를 갖는 경우에 대해 Nylon 부피를 0%에서 100%까지 변화시켜가며 B.F.를 계산하여 나타내었다. 분산상이 구형 또는 실린더 형태를 갖는 경우 Nylon양의 증가에도 불구하고 차단성이 별로 상승되지 않고 있으며, 그에 반해 판상구조를 갖는 경우 10% 부근의 소량에서도 높은 차단성을 가지게 되는 것을 수치 모사를 통해 알 수 있다. 판상 구조의 중첩(overlap)을 고려하여 계산한 경우 그러하지 않은 경우에 비하여 높은 차단성을 갖게 됨을 예측하고 있으며 공압출을 이용하여 제조한 경우와 거의 유사한 차단 효과를 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 17에 Nylon이 구형 형태로 균일하게 분산된 경우와 일축연신, 이축연신된 블렌드에 대해 계산된 B.F.를 3~15 wt%의 Nylon(2.5~12.9 vol%) 범위에서 실험값과 비교하여 나타내었다. 구형 형태인 경우 비교적 이론값이 실험치와 비슷한 값을 예측하고 있으나 일축연신된 필름의 경우에는 다소 높은 값을 나타내고 있다. 이축 연신된 필름의 경우에도 Nylon 함량이 비교적 낮은 경우에는 이론값이 다소 높게 예측되고 있다. 그러나, 이 경우 Nylon양이 증가함에 따라 실험값과

근접하는 경향을 보이고 있다. 이러한 실험값과 이론값의 편차는 이론값을 계산할 때 가정한 unit cell이 블렌드내 실제 모폴로지와는 다소 차이를 보이기 때문이다. 즉 이축연신된 필름의 경우 실제로는 각 Nylon 층마다 다른 연신정도를 지니 불규칙한 Nylon 층들의 배열을 가지게 되고 따라서 앞서 가정한 이상적인 배열과는 다소 차이가 있게 된다.

Fig. 18부터 Fig. 20까지 unit cell의 여러가지 변수를 변화시켜가며 B.F.를 계산하여 보았다. Unit

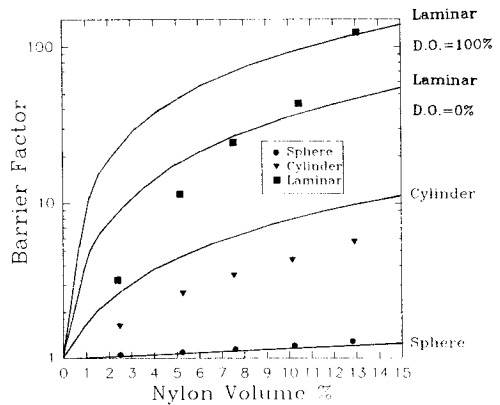


Fig. 17. Comparison of the theoretical and experimental Barrier Factors (D.O.=Degree of overlap).

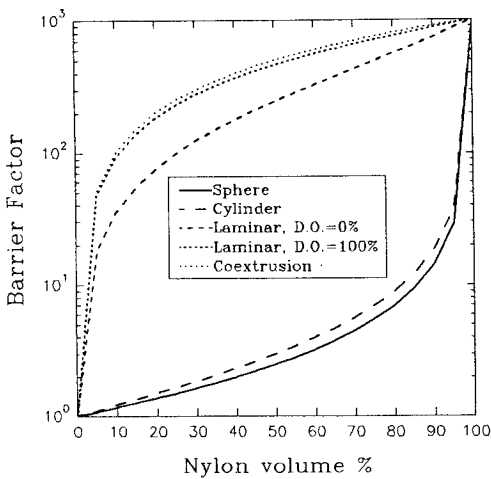


Fig. 16. Estimation of the Barrier Factor for the various Nylon morphologies (D.O.=Degree of overlap).

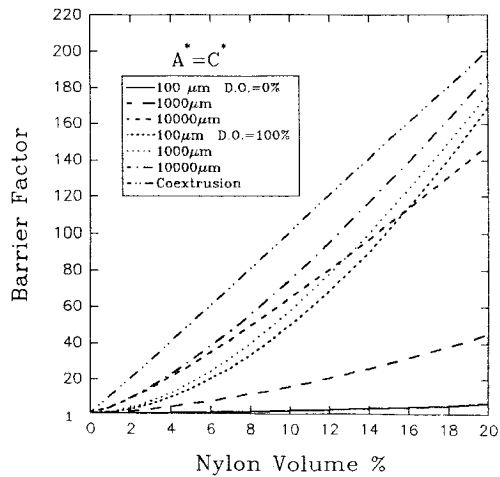


Fig. 18. Effect of unit cell width (A^* , C^*) on the Barrier Factors (constant $B=2 \mu m$, $B^*=8 \mu m$). (D.O.=Degree of overlap)

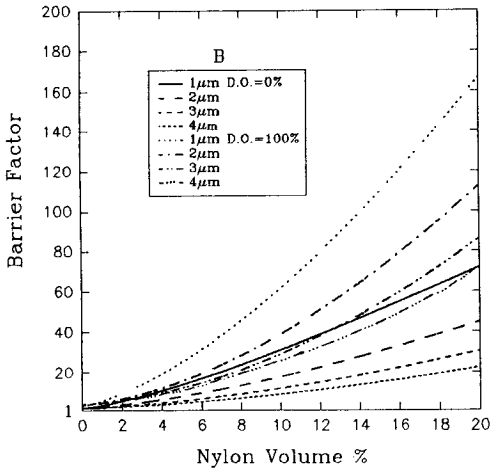


Fig. 19. Effect of Nylon platelet thickness on the Barrier Factors (constant $A^*=C^*=1000 \mu\text{m}$, $B/B^*=1/4$). (D.O.=Degree of overlap)

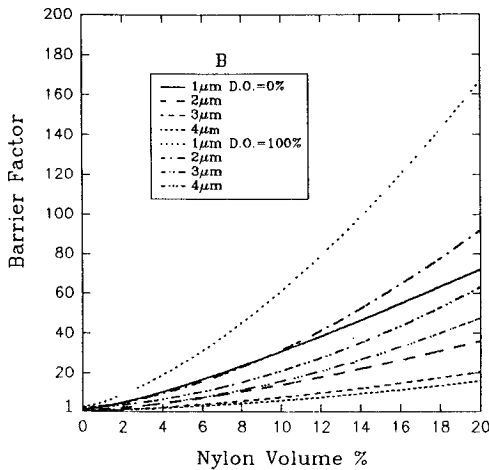


Fig. 20. Effect of Nylon platelet thickness on the Barrier Factors (constant $A^*=C^*=1000 \mu\text{m}$, $B^*=4 \mu\text{m}$). (D.O.=Degree of overlap).

cell 폭이 투과도에 끼치는 영향을 알아보기 위해 $B=2 \mu\text{m}$, $B^*=8 \mu\text{m}$ 으로 고정하고 $A^*(=C^*)$ 를 $100 \mu\text{m}$ 까지 변화시켜가며 B.F.을 계산하여 보았다(Fig. 18). 동일한 Nylon 부피에서 unit cell 폭이 커짐에 따라 Nylon 층의 폭($A(=C)$)도 커지게 되고 따라서 보다 더 넓은 층상 구조를 이루게 되어 높은 B.F.을

가지게 된다. 이 계산 결과를 통해 살펴 볼 때 Nylon의 연신이 충분히 이루어진다면 블렌딩을 이용하여 제조한 차단성 수지가 공압출을 이용하여 만들어진 제품에 거의 근접하는 우수한 차단성을 보일 수 있음을 알 수 있다.

Nylon 층의 두께 효과를 살펴보기 위해 $A^*=C^*=1000 \mu\text{m}$, $B/B^*=1/4$ 로 고정시킨 후 Nylon 층 두께를 $1 \mu\text{m}$ 에서 $4 \mu\text{m}$ 까지 변화시키며 B.F.를 계산하여 보았다(Fig. 19). 이 경우 일정 Nylon 부피에서 $B/B^*=1/4$ 로 고정하였으므로 $A(=C)$ 는 Nylon 층 두께 변화에 무관하다. 그러나 두께가 감소함에 따라 Nylon 층이 보다 더 여러 층으로 갈라지게 되고 이로 인해 투과 경로가 길어지게 되어 높은 B.F.를 보이게 된다.

$A^*=C^*=1000 \mu\text{m}$, $B^*=4 \mu\text{m}$ 으로 고정시킨 후 두께를 $1 \mu\text{m}$ 에서 $4 \mu\text{m}$ 까지 변화시키며 B.F.를 계산한 결과(이 경우 일정 Nylon 부피에서 $A(=C)$ 는 Nylon층 두께 변화에 영향을 받게 된다). 두께가 감소함에 따라 Nylon 층의 폭($A(=C)$)이 넓어지게 되어 B.F.가 증가하게 된다(Fig. 20).

실제로 Nylon 층의 두께가 얇아지고 그에 따라 Nylon 층의 폭 및 갯수가 증가하도록 가공조건 및 상용화제를 잘 선정하여 블렌딩 하게 되면 앞서 이론적으로 예측한 결과와 같이 차단성이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

4. 결 론

HDPE내에 분산상인 Nylon이 판상 구조 모폴로지를 갖는 경우 구형 또는 실린더 형태를 취하는 경우에 비하여 유기 용제에 대한 차단성이 크게 증가하였다. 이는 차단성 수지인 Nylon이 판상 구조를 가짐으로 인하여 투과액에 대한 투과 경로가 길어졌기 때문이다. Nylon의 여러 기하학적인 형태 변화에 대해 GRM 관계식을 이용하여 투과도를 전산모사한 결과 실험결과와 마찬가지로 Nylon이 판상구조를 갖는 경우가 높은 차단성을 보임을 예측할 수 있었다. 또한 GRM 관계식을 수정하여 Nylon 층의 중첩도가 높은 경우에 대해 투과도를 계산하여 낮은 경우보다 높은 차단성을 보임을 유도할 수 있었다. 전산 모사 결과 동일한 Nylon양에서도 Ny-

lon 층이 얇고 넓게 그리고 여러 층으로 잘 분산될수록 높은 차단성을 보임을 예측할 수 있었다. 그러므로 차단성이 우수한 블렌딩 수지를 얻기 위해서는 이러한 전산 모사 결과를 토대로 하여 실제 블렌딩할 때 판상 구조 형성에 영향을 끼치는 공정 조건 및 상용화제 개발 및 선정에 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다.

감 사

본 연구는 (주)한양화학의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

기 호

B.F. : barrier factor
 P_D : permeability of dispersed phase
 P_M : permeability of matrix
 R : dispersed phase-matrix permeability ratio
 R' : matrix-composite permeability ratio
 V_f : volume fraction of dispersed phase
 F : form parameter
 A^* : width of unit cell
 B^* : thickness of unit cell
 C^* : width of unit cell
 A : width of Nylon platelet
 B : thickness of Nylon platelet

C : width of Nylon platelet

참고문헌

1. Isa Hata, 高分子, **40**, 244 (1991).
2. Modern Plastics Int., Jan, 6 (1984).
3. P.H. Subramanian, *Polym. Eng. Sci.*, **25**, 483 (1985).
4. P.H. Subramanian, *Polym. Eng. Sci.*, **27**, 663 (1987).
5. William J. Koros, "Barrier Properties and structure", 1989, p1.
6. William J. Koros, "Barrier Properties and structures", 1989, p252.
7. B.M Culbertson, *Polym. Eng. Sci.*, **9**, 225 (1987).
8. N.G. Gaylord and M. Mehta, *J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed.*, **20**, 481 (1982).
9. N.G. Gaylord and M. Mehta, *J. Polym. Sci., polym. Chem. Ed.*, **26**, 481 (1987).
10. M. Lambla and L.L. Flat, *PPS 8th Annual Meeting*, 3 (1991).
11. K.J. Ganzeveld and L.P.B.M. Janssen, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 467 (1992).
12. "블로운 필름의 가공", 한국플라스틱, Oct., 77 (1988).
13. Wolff R. Vieth, "Diffusion in and through polymer", 1990, p73.
14. L.E. Nielsen, *J. Macromol. Sci.(Chem)*, **5**, 929 (1967).
15. J.M. Charrier, *Polym. Eng. Sci.* **15**, 731 (1975).