

# 브롬화 에폭시 수지와 나일론 6의 상용성 및 블렌드 수지의 물성에 관한 연구

김환철

전북대학교 섬유소재시스템공학과

## Study on the Compatibility of Brominated Epoxy Resin with Nylon 6 and the Characterization of the Blends

Hwan Chul Kim

Department of Textile Material Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, South Korea

(Received: January 19, 2010/Revised: February 19, 2010/Accepted: March 29, 2010)

**Abstract**— Nylon 6 was blended with a brominated epoxy resin, tetrabromobisphenol A diglycidyl ether (DGEGBA), to enhance flame retardant property. Thermal properties of the blends were analyzed by DSC. Melting point and crystallization temperature decreased as the amount of epoxy resin increased. Melt index and relative viscosity decreased as the amount of the epoxy resin increased. When the blended amount of the epoxy resin was below 5%, the melt index decreased while the relative viscosity slightly increased. The blend resin was successfully spun into fiber without swelling or drawing the resonance phenomena. However, both the tenacity and elongation of the fiber decreased by increasing the amount of the DGEGBA.

**Keywords:** nylon 6, brominated epoxy resin, blending, compatibility, flame retardant

### 1. 서 론

방향족 폴리아미드는 분자 구조상 난연성을 가지고 있지만 지방족 나일론은 난연성이 없기 때문에 여기에 난연성을 부여하기 위해서 많은 화합물들이 검토되었다. Weil<sup>1,2)</sup> 등은 지금까지 지방족 나일론에 사용되고 있는 난연제의 종류를 정리하여 보고하였는데, 여기에는 실제 상업적으로 사용되고 있는 브롬계, 인계, 멜라민계 등의 난연제를 총 망라하였다.

인계 난연제는 독성이 없어서 차세대 난연제로 각광을 받고 있지만 용융물이 흘러서 발생하는 드립(drip)이 발생하는 단점이 있다. 따라서 내 드립성이 요구되는 가발용 원사 등과 같은 용도에는 사용될 수가 없기 때문에 브롬계 난연제를 사용하여야만 된다. 브롬계 난연제는 크게 브로모-에폭시(bromo-epoxy)계와 브로모-스티렌(bromo-styrene)계가 있는데 이는 에폭시의 반응성과 스티렌의 이중결합의 반응성 때문에 여러 가지 고분자와 잘 혼합되기 때문이다. 본 연구에서는 브로모-에폭시계 난연제를 나일론과

블렌드한 후 블렌드 고분자의 열적, 기계적 특성 변화를 확인하였고 난연성을 측정하였다.

말단에 에폭시(epoxy)기를 가지고 있는 화합물은 에폭시의 개환에 의한 반응성이 좋기 때문에 다른 고분자 화합물과 상용성이 아주 좋다<sup>3)</sup>. 에폭시 수지는 강도와 탄성율이 좋고 화학적 안정성과 치수 안정성이 양호하기 때문에 산업용 플라스틱의 재료로 사용된다. 그러나 충격에 대한 저항성이 나쁘고 크랙(crack)이 쉽게 가기 때문에 이러한 약한(brittle) 성질을 개선할 필요가 있다<sup>4)</sup>. 에폭시 수지의 물성을 개선하기 위해서 여러 가지 열 가소성 폴리머들을 블렌딩하였는데 에폭시/나일론 블렌딩도 그 중 하나이다<sup>3,4)</sup>. 나일론/에폭시 블렌드는 열처리에 의해 에폭시와 1급 아민의 수소가 반응하여 가교 구조를 형성하므로 견고한 구조가 되어 에폭시 수지의 물성이 개선되는 것으로 보고되고 있다<sup>5)</sup>.

에폭시 수지에 존재하는 3환 구조는 개환하여 말단에 활성수소를 갖는 관능기와 반응하기 쉽다.

<sup>†</sup>Corresponding author. Tel.: +82-63-270-2356; Fax.: +82-63-270-2348; e-mail: hckim@jbnu.ac.kr

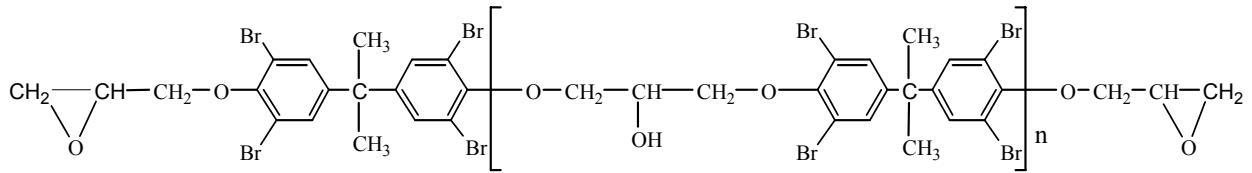


Fig. 1. Chemical structure of tetrabromobisphenol A diglycidyl ether (DGEBA).

따라서 이러한 관능기를 가지고 있는 고분자와 상용성이 좋아 고분자의 상용화제로 사용되기도 한다.

Huang<sup>6)</sup> 등은 폴리에스테르(PET)와 나일론 6의 상용성을 증대시키기 위해서 저분자량 에폭시 화합물인 E-44를 사용하였고 상용성 여부를 전자현미경 분석과 DMA (dynamic mechanical analysis) 등으로 확인하였으며 그 상용화 메커니즘을 제시하였다. PBT와 나일론 6의 상용성도 E-44의 첨가에 의해 현저하게 증가되었는데<sup>7)</sup>, 에폭시기는 PET 말단의 카르복시기와 반응하는 동시에 나일론 6의 아민기와 반응하여 두 폴리머의 상용성을 증대시키는 것으로 보고되고 있다. 또한 에폭시 화합물은 Nylon 6-PPE (polyphenylene ether)의 상용화제로 실험한 보고가 있고<sup>8)</sup>, PET-PS(polystyrene), PET-LCP (liquid crystal polyester)의 상용화제로 실험한 보고도 있다<sup>9,10)</sup>.

본 연구자들은 전보<sup>11)</sup>에서 브로모-에폭시계 난연제를 사용하여 난연성 PET 블렌드물을 제조하고 이의 물성과 난연성에 관하여 보고한 바 있다. 본 논문에서는 나일론에 브로모-에폭시계 화합물을 블렌드하여 난연성 나일론사를 제조하였는데, 여기서 에폭시기는 나일론과 상용성을 부여하고 브롬은 나일론에 난연성을 부여할 것으로 기대된다. 블렌드 고분자를 실로 만들기 위해서는 나일론과 난연제가 아주 좋은 혼용성(compatibility)을 가져야하기 때문에 반응성이 좋은 에폭시기를 가진 난연제를 선정하였다.

본 연구에서는 브로모-에폭시 화합물로 diglycidyl ether of tetrabromobisphenol A (DGEBA)를 사용하였으며, 양호한 제사성을 위해 분자량 20,000인 고분자량 화합물을 사용하였다. 난연성 부여를 위해서는 브로모-에폭시 화합물을 30%까지 블렌드하였기 때문에 나일론의 특성이 변화될 것으로 생각되어 블렌드 고분자의 특성도 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료

나일론 6은 (주)코오롱에서 공급 받았으며(RV: 3.8) 의류용으로 이용되는 펠렛을 사용하였다. 에폭시 고분자는 (주)우진고분자로부터 입수하였으며 tetrabromobisphenol-A의 diglycidyl ether (diglycidyl ether of tetrabromobisphenol A, DGEBA)이다. DGEBA의 화학구조는 Fig. 1에 나타내었고 업체에서 제공된 DGEBA의 분자량은 약 20,000 이었다. 실험에 앞서 나일론 6과 DGEBA는 열풍건조기에서 110℃에서 8시간 동안 건조하였다.

### 2.2 블렌딩(blending) 방법

나일론 6과 DGEBA의 블렌딩은 35mmΦ 동방향 이축 컴파운더에서 행하였으며, 나일론 6의 중량에 대해 DGEBA의 중량을 1%에서 30%까지 변화시키면서 블렌딩시켰다. 용융혼합시 배럴의 온도조건을 200℃-240℃-250℃-245℃로 설정하였고, 다이부의 온도는 245℃로 설정하였다. 컴파운딩된 압출물은 물속에 침지하여 냉각시킨 후 펠렛 절단기(pelletizer)로 절단하여 펠렛을 제조하였다.

### 2.3 섬유의 제조

용융혼합된 펠렛은 30mmΦ 방사기에서 방사하여 실을 제조하였다. 방사 온도는 히터 1은 240℃, 히터 2는 245℃, 플렌지 온도는 245℃, 그리고 다이 온도는 250℃로 설정한 후 방사하였다. 노즐은 20홀 원형 노즐을 사용하였으며, 노즐의 직경은 0.5mm, L/D는 3이었다. 방사된 실은 150m/min로 권취하여 미연신사를 제조하였는데, 미연신사의 한 가닥의 굵기는 150 denier(가발용)이었다. 제조된 미연신사는 80℃에서 3배의 배율로 연신하여 50 denier의 실을 제조하였다.

### 2.4 측정 및 분석

**시차주사열량분석 (DSC):** 유리전이온도, 결정화 온도, 용점, 결정화열(heat of crystallization,  $\Delta H_c$ ), 용해열(heat of fusion,  $\Delta H_f$ ) 등은 TA Instrument 사의 DSC 2010 모델을 사용하여 질소 기류 하에서 측정하였다. 약 10mg의 시료를 샘플 팬에 넣고 30°C에서 300°C까지 10°C/min로 승온시킨 후 흡열 피크로부터 용융점을 구하였다. 시료는 300°C에서 3분 동안 등온 상태로 유지시킨 후 300°C에서 30°C까지 10°C/min으로 냉각시키는 동안에 얻어진 발열피크로부터 결정화온도( $T_c$ )를 구하였다. 결정화열과 용해열은 결정화 피크와 용융 피크의 면적으로부터 구하였고, 결정화도( $X_c$ )는 다음의 식으로 계산되었다.

$$X_c = \frac{\Delta H_f}{f\Delta H^0}$$

여기서  $\Delta H_f$ 는 블렌드물의 용해열이고  $\Delta H^0$ 는 100% 나일론 6의 용해열(230J/g)이며 f는 블렌드된 나일론의 무게 분율이다.

**섬유의 강신도 측정:** 섬유의 강도와 신도는 Ametek Lloyd Instrument사의 UTM을 사용하여 KSK 0323에 따라 파지 거리는 200mm, 인장 속도는 20mm/min으로 실험하였다.

**Melt index(MI):** 위드랩사의 Model WL-1400의 용융흐름지수 측정기(MFI)를 사용하여 ASTM 1238의 실험방법으로 제조된 블렌드 시료의 용융점도를 측정하였다. 다이 온도는 240°C, 추의 무게는 2.16kg이었다.

**상대점도(RV, relative viscosity)의 측정:** 나일론 칩의 상대점도는 ASTM-1P-200법을 사용하여 측정하였는데, 용매는 황산을 사용하였고 모세관 점도계는 Kenon-Fensk 타입을 사용하였다. 35±0.01°C의 항온조에서 모세관 점도계를 통과하는 순수 용매의 시간( $t_0$ )과 고분자 용액의 시간( $t$ )을 측정한 후 다음의 식을 사용하여 상대점도(RV)를 구하였다.

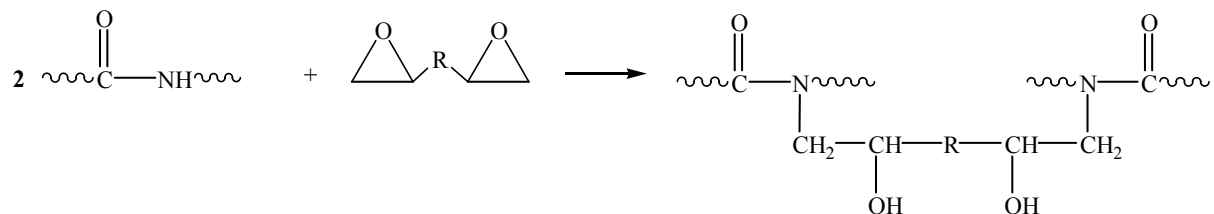


Fig. 2. Reactions of epoxy with the amide groups of nylon 6<sup>5)</sup>.

$$RV = \frac{t}{t_0}$$

**FT-IR의 측정:** 섬유의 FT-IR의 측정은 Thermo Nicolet사의 Abata 370 모델을 사용하여 ATR법으로 측정하였으며, 스캔 간격은 8cm<sup>-1</sup>로 32회 스캔치의 평균값을 구하였다.

**LOI의 측정:** LOI는 산소지수식 연소성시험기(일본 Suga 시험기주식회사, Model ON-1)를 사용하여 ASTM D2863법에 의해 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 블렌드의 열적 특성

DSC를 사용하여 나일론 6/DGEBBA 블렌드의 열특성을 관찰하였다. 컴파운딩 공정에서 행하여지는 블렌딩 과정에서 나일론 6의 아미드기(-CONH)는 DGEBBA의 에폭시기와 반응하여 가교 결합을 형성하는데 그 예상 반응식을 Fig. 2에 나타내었다<sup>5)</sup>.

Fig. 3은 DGEBBA의 함량에 따른 용점 변화를 나타낸 그래프인데 에폭시 수지의 함량이 증가할수록 용점이 감소함을 볼 수 있다. 나일론은 아미드기의 수소 결합에 의해서 강력한 결합이 형성되어 결정 영역을 이루고 있는데,

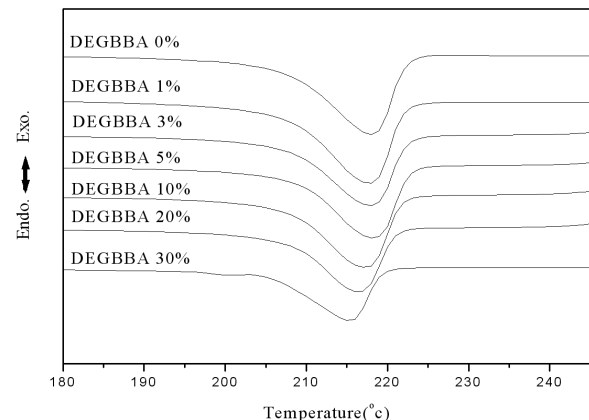


Fig. 3. Melting thermograms of Nylon 6/DGEBBA blends.

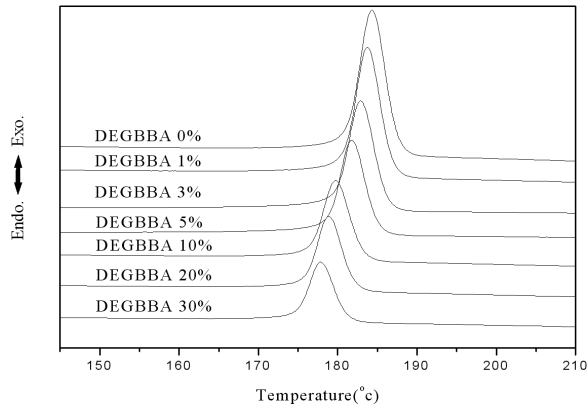


Fig. 4. Crystallization exothermic thermograms of Nylon 6/DGEBBA blends.

Fig. 2와 같이 나일론의 수소는 에폭시기와 반응되어 손실되므로 결과적으로 수소 결합의 수가 적어져 나일론의 용점이 저하되는 것으로 추측된다. 앞서 발표된 논문<sup>11)</sup>에서 PET와 DGEBBA 블렌드물의 열적 성질을 측정하여 보고한 바 있는데, PET의 경우에는 용점은 변화되지 않는 반면 유리전이온도는 감소되었다. 따라서 PET의 경우에는 DGEBBA가 비결정 영역에 존재한다고 생각된다. 반면 나일론의 경우에는 DGEBBA가 결정영역에 존재하는 아미드결합을 절단하기 때문에 용점이 저하되는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 에폭시 수지의 함량에 따른 결정화 온도의 변화를 나타낸 DSC 그래프이고, Fig. 5는 에폭시 수지의 함량 변화에 따른 결정화 온도( $T_c$ )와  $\Delta T_c(T_m - T_c)$ 의 관계를 나타낸 것이다. 에폭시 수지의 함량이 증가할수록 결정화 온도가 감소함을 볼 수 있는데, 이는 에폭시 수지가 나일론 6과 반응하여 상용성이 좋아져 결정화를 방해하므로 결정화 온도가 저하되는 것으로 생각된다. 일반적으로  $\Delta T_c$ 가 작으면 결정화

되기 쉽고  $\Delta T_c$ 가 크면 결정화되기 어려움을 나타내는데, 본 실험에서도 에폭시 함량이 증가할수록  $\Delta T_c$ 가 커지므로 결정화가 어려워진다는 것을 확인하였다.

Table 1은 나일론 6/DGEBBA 블렌드물의 DSC 데이터를 정리한 결과이다. DGEBBA의 함량에 따른 용해열은 Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 에폭시 수지의 증가함에 따라 감소하고 있다. 이는 에폭시 수지가 나일론과 반응하여 나일론에 존재하는 수소 결합이 감소하고 그 결과 결정화가 줄어들어 용해열이 감소하는 결과이다. 또한 에폭시 수지가 30%에 달하는 경우에도 용해열이 관찰됨은 모든 수지 분자가 가교에 참여하지 않고 단순 혼합 상태로 존재하기 때문이다.

### 3.2 블렌드 수지의 물성 변화

나일론 6와 DGEBBA의 블렌딩 수지는 DGEBBA가 반응에 의해 가교되어 있거나 또는 물리적으로 혼합되어 있기 때문에 나일론 6의 열적 성질이나 기계적 성질 등에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 나일론 6과 에폭시 수지의 가교 반응은 말단에 존재하는 아민기나 쇠 중간에 존재하는

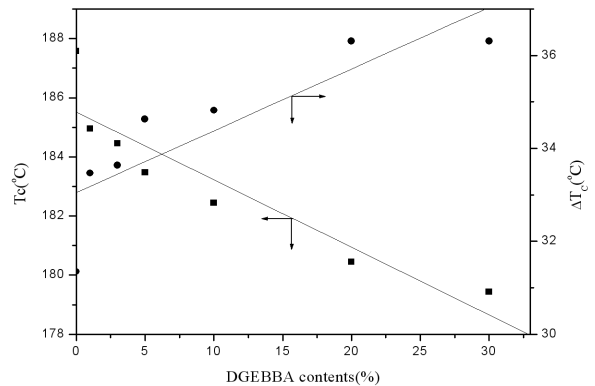


Fig. 5. Crystallization temperature and supercooling of Nylon 6/DGEBBA blends.

Table 1. Thermal properties obtained from DSC analysis

Thermal Properties	wt % of DGEBBA						
	0	1	3	5	10	20	30
Glass Transition Temp. ( $T_g$ , °C)	47.3	44.9	43.5	43.3	43.5	46.3	45.3
Melting Temp. ( $T_m$ , °C)	218.9	218.4	218.1	218.1	217.2	216.7	215.7
Crystallization Temp. ( $T_c$ , °C)	187.5	184.9	184.4	183.4	182.4	180.4	179.4
$\Delta T_c$ (°C) ( $T_m - T_c$ )	31.3	33.4	33.6	34.6	34.8	36.3	36.3
Heat of Fusion ( $\Delta H_m$ , J/g)	48.3	48.1	47.5	43.3	42.4	37.4	31.0
$X_c$ (%)	21.0	21.2	21.3	19.8	20.5	20.3	19.3

아미드기에서 일어나는 것으로 생각되나 말단기의 수는 상대적으로 적기 때문에 반응은 주로 쇠 중간에 존재하는 아미드기에서 일어나는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 말단에서 반응이 일어나면 쇠연장 반응 그리고 쇠 중간에서 반응이 일어나면 가교반응에 의해 분자량이 증가하게 된다.

Fig. 6은 DGEGBA의 함량에 따른 MI의 변화를 나타낸 것인데 에폭시 수지의 함량이 증가할수록 MI는 감소됨을 알 수 있다. 에폭시 수지의 용융 점도는 나일론 6의 용융 점도보다 높기 때문에 에폭시 수지의 함량이 증가할수록 MI는 감소된다. 특이한 사실은 에폭시 수지의 함량이 5%로 증가할 때까지는 MI가 급격히 감소된다는 사실이다. 이와 같은 급격한 감소는 나일론 6와 에폭시기의 가교 반응으로 인해 나일론 6의 분자량이 증가하여 용융 점도가 증가되었기 때문이라고 생각된다. 에폭시 함량을 5% 증가시키면 나일론 6과 에폭시 수지가 더 이상 가교 반응하지 않고 에폭시 수지의 단순 혼합 효과에 의해 MI가 완만하게 감소하였다.

에폭시 수지의 블렌딩에 의한 분자량 증가를 확인하기 위해서 블렌딩 수지의 상대점도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 에폭시 수지를 소량 첨가하면 상대점도는 증가하고 있는데 이는 나일론 6과 에폭시 수지의 가교반응으로 인하여 나일론 6의 분자량이 증가한 때문으로 추정된다. 그러나 DGEGBA를 3% 이상 첨가하면 상대점도는 감소하고 있다. 이는 DGEGBA가 단순히 혼합되어 나일론 6의 농도를 희석시키는 역할만을 하기 때문으로 보인다.

Fig. 8은 나일론과 에폭시 수지의 반응을 확인하기 위해서 DGEGBA 함량 변화에 따른 FT-IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이 스펙트럼을 보면 DGEGBA를 첨가한 경우  $870\text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나는 피크는 에폭시의 특성 피크<sup>10)</sup>로서 DGEGBA 함량이 증가할수록 피크의 세기가 점점 커지는 것을 알 수 있다.  $870\text{ cm}^{-1}$ 의 피크(H)가 증가하는 것을 정량적으로 알아보기 위해서 기준 피크로서  $1630\text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나는 C=O 이중결합(H<sub>0</sub>)을 기준으로 피크의 상대치(H/H<sub>0</sub>)를 구하였고 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다.  $870\text{ cm}^{-1}$ 에서의 에폭시 특성 피크가 증가되는 것을 살펴보면 DGEGBA를 5% 이하로 첨가하였을 경우는 10% 이상을 첨가했을 경우에 비해 증가 폭이 상대적으로 적음을 볼 수 있다. 이는

에폭시 수지를 적게 첨가하면 Fig. 2와 같이 나일론과 반응하여 에폭시기가 줄어들어 결과적으로 FT-IR 상에서의 피크의 세기가 감소하는

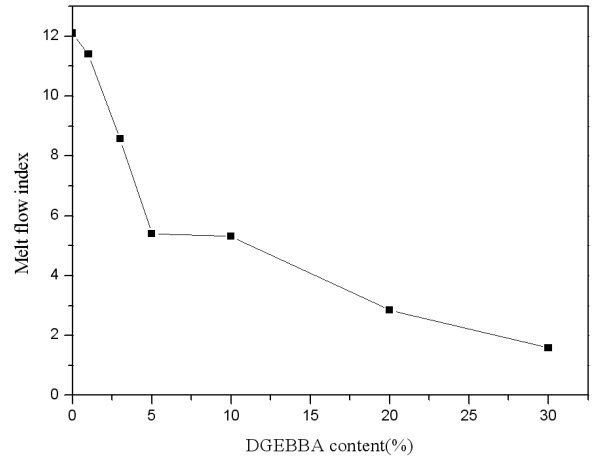


Fig. 6. Effect of DGEGBA content on the melt index of Nylon 6/DGEGBA blends.

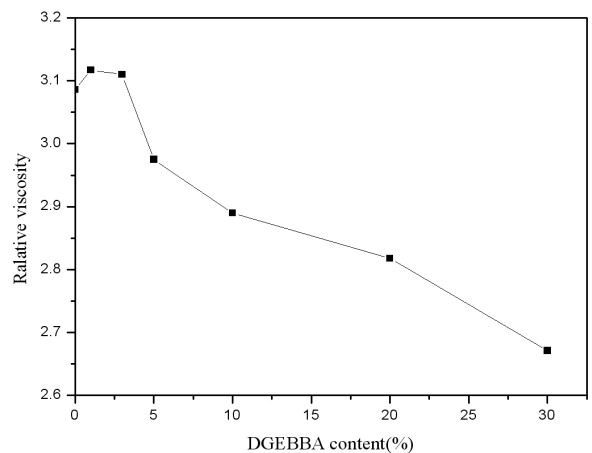


Fig. 7. Effect of DGEGBA content on the relative viscosity of Nylon 6/DGEGBA blends.

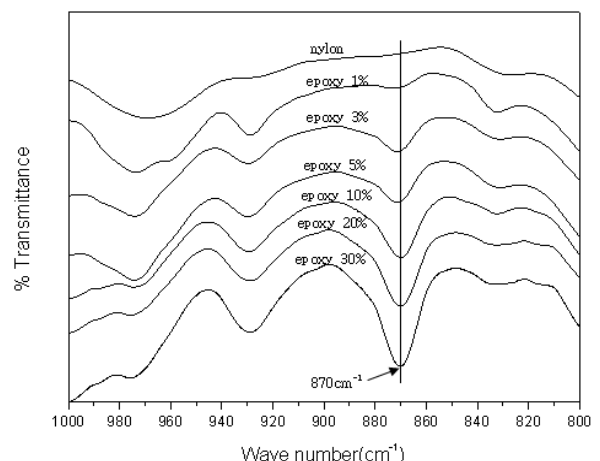


Fig. 8. FT-IR spectra of nylon 6 and nylon 6/DGEGBA blends.

것으로 판단된다. 에폭시 수지를 나일론과 반응에 참여하는 양 이상으로 과량 첨가했을 경우 더 이상 에폭시기가 소모되지 않으므로 첨가한 양에 비례하여 피크의 세기가 커진다. 이상과 같은 실험 결과를 볼 때 에폭시 수지가 나일론 6에 3-5% 정도로 소량 블렌딩할 경우에는 에폭시 수지가 전부 가교 반응에 참여하지만 그 이상으로 블렌딩할 경우에는 반응하지 못한 에폭시 수지는 단순한 물리적 혼합 상태로 존재하는 것으로 생각된다. 나일론과 에폭시 수지의 상용성이 좋은 이유는 일부 에폭시는 나일론과 반응되기 때문에 상용성이 있으며, 반응에 참여하지 않고 남아 있는 에폭시는 가교 반응된 에폭시와 상용성이 있기 때문에 결과적으로 양호한 상용성을 가지게 되는 것이다.

본 논문에서는 나일론의 난연성을 증가시키기 위하여 브로모-에폭시 난연제를 사용하였으며 난연성의 정도를 LOI를 측정하여 판단하였다. Table 2는 DGEBA 함량에 따른 LOI 측정 결과인데, 난연제의 함량이 증가함에 따라 난연성은 서서히 증가하여 DGEBA 함량 30%에서 LOI 측정값은 26이었다. 이보다 나은 난연성을 얻기 위하여 DGEBA이 함량을 30% 이상 첨가하는 경우 사철이 발생하여 제사가 불가능하였다.

저자들은 폴리에스테르(PET) 사의 난연성을 증가시키기 위해 DGEBA를 사용하여 난연성을 측정한 바 있다. PET의 경우 DGEBA의 함량이 20% 이상에서 LOI가 28 이상의 난연성을 얻었으나 나일론의 경우는 이보다는 난연성이 떨어지는 결과를 나타내고 있다. 그 이유로서 나일론의 밀도가 PET보다 가벼워 동일 부피에서는 DGEBA의 첨가량이 PET의 경우보다 적게 되는 것을 생각할 수 있다.

본 연구자의 향후 연구 방향은 DGEBA를 사용하여 난연성이 있는 나일론 6/PET 블렌드사를 개발하는 것이다. 전보<sup>10)</sup>에서 PET 말단의 카르복시기 또는 하이드록시기가 DGEBA의 에폭시기와 반응하여 상용성을 갖는 PET/DGABBA 블렌드물을 형성한다는 것을 밝혔으며 충분한 난연성이 부여됨을 보고하였다. 따라서 나일론 단독이 아닌 나일론 6/PET 블렌드사에 DGEBA를 첨가하면 개선된 난연성을 얻을 것으로 기대된다.

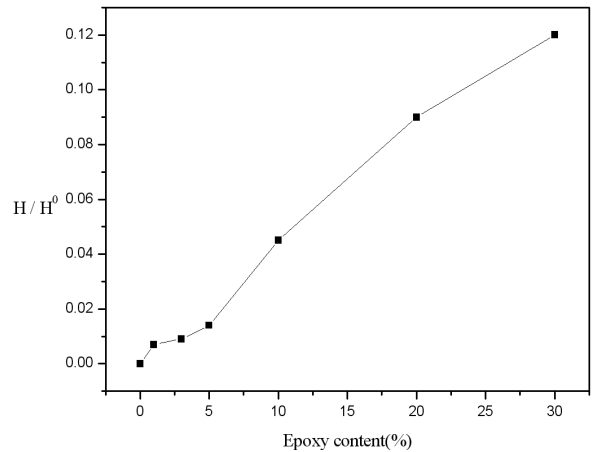


Fig. 9. Relative peak intensity at 870cm<sup>-1</sup>/1530cm<sup>-1</sup>.

Table 2. Bromine content and LOI of Nylon 6/DGEBA blends

Nylon 6(%)	DGEBA(%)	Br content(%)	LOI
100	0	0	22
99	1	0.52	22
97	3	1.56	23
95	5	2.60	24
90	10	5.20	25
80	20	10.40	26
70	30	15.60	26

### 3.3 섬유 제조 및 물성

본 연구에서 분자량 20,000의 비교적 고분자량의 에폭시 수지(DGEBA)를 사용한 이유는 고분자량의 에폭시 수지이어야만 방사 가능한 점도를 부여해 줄 것이라고 생각했기 때문이다. 앞서 나일론 6과 DGEBA 사이에 상용성이 있다는 것은 DSC 측정 결과에서 확인한 바 있다. 이 두 가지 수지 사이에는 상용성이 있기 때문에 에폭시 수지의 함량이 증가할수록 용점과 함께 결정화온도가 감소함을 볼 수 있었다. 블렌드 수지의 상용성을 확인하는 또 하나의 방법은 섬유 형성 능력을 보는 것이다. 즉, 블렌드 수지를 방사하여 섬유로 만들 경우 상용성이 좋은 수지는 섬유 형성에 아무 문제가 없지만 상용성이 좋지 않은 수지는 여러 가지 문제가 발생되어 섬유를 제조할 수 없게 된다.

상용성이 좋지 않은 수지를 컴파운딩하거나 방사할 경우 나타나는 대표적인 현상은 팽윤 (swelling)과 불규칙 연신(draw resonance) 현상이다.

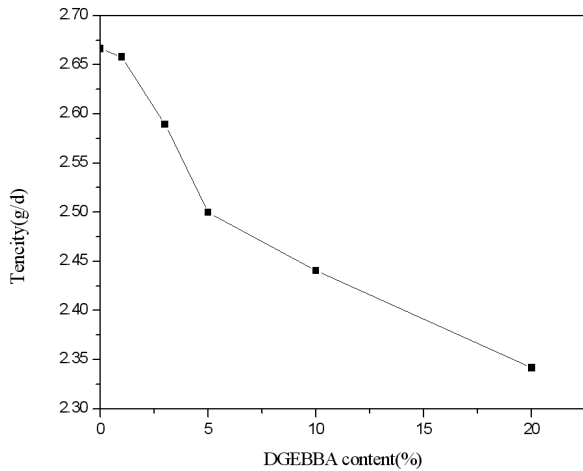


Fig. 10. Tenacity of Nylon 6/DGEGBA blend fibers with different DGEGBA contents.

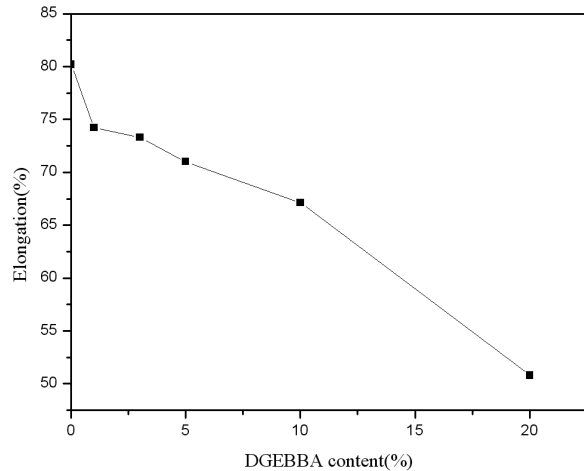


Fig. 11. Elongation at break of Nylon 6/DGEGBA blend fibers with different DGEGBA contents.

팽윤은 두개의 폴리머가 상용성이 없을 때 두 폴리머 사이의 반발력 때문에 단면 방향으로 부풀어 오르는 현상이다. 컴파운딩 공정에서 팽윤 현상이 심할 경우에는 압출물이 다이의 직경보다 현저하게 커지며 심하면 가운데가 빈 중공형 압출물이 얻어지기도 한다. 방사 공정에서 상용성이 아주 나쁠 경우는 팽윤 현상이 심하지만 어느 정도 상용성이 있을 경우는 불규칙 연신 현상이 나타난다. 불규칙 연신은 방사 시에 섬유 길이 방향으로 불균일하게 신장되어 굵고 가는 부분이 나타나는 것이며, 노즐 밑 부분에서 방사되는 실을 관찰해 보면 섬유 다발이 비가 오는 것처럼 내려오는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서 나일론 6과 DGEGBA 블렌드 수지의 컴파운딩 공정 또는 방사 공정에서 팽윤 현상이나 불규칙 연신 현상이 전혀 관찰되지 않았고 표면이 매끄러운 실을 얻을 수 있었다. 이러한 사실로부터 나일론 6과 에폭시 수지는 가교 반응에 의한 상용성과 에폭시-에폭시 수지의 상용성에 의해 아주 좋은 상용성을 보이는 것으로 판단된다.

에폭시 수지는 블렌딩에 의해 얻어진 사의 물성이 변화한다. Fig. 10과 Fig. 11에 DGEGBA 함량 변화에 따른 섬유의 강도와 신도를 측정 한 결과를 나타내었다. DGEGBA의 함량이 증가할수록 강도나 신도와 같은 기계적 성질이 저하됨을 확인하였다. 본 연구에서 고분자량의 수지를 사용하였음에도 불구하고 에폭시 수지는 나일론 6 섬유의 이물질로 작용하여 강도와 신도가 감소하는 등 섬유의 물성이 저하하였다.

에폭시 수지가 3-5% 첨가되었을 경우 가교 반응에 의해 상대점도와 MI가 증가하는 등의 분자량이 증가되는 경향이 나타나기는 했지만 분자량 증가에 의한 강도 증가는 미미하였다.

#### 4. 결 론

나일론 6에 브롬을 함유한 에폭시 수지인 DGEGBA를 컴파운더를 사용하여 블렌딩한 후 수지의 물성을 측정하였고, 또한 이를 실로 제조하여 섬유의 물성과 난연성을 측정하였다. 에폭시 수지의 함량이 증가함에 따라 블렌딩 수지의 용융점이 감소하였는데 이는 에폭시기가 아미드기의 수소와 반응하여 수소결합의 수가 감소하였기 때문이다. 또한 나일론 6와 에폭시 수지의 상용성이 좋기 때문에 에폭시 수지의 함량이 증가할수록 결정화가 억제되어 결정화온도가 감소되었다. 에폭시 수지가 3-5% 범위에서는 가교반응에 의해 상대점도와 MI가 급격히 줄어들었으나 그 이상에서는 단순 혼합에 의해 상대점도와 MI가 서서히 감소하였다. DGEGBA는 PET에 첨가하면 난연성을 보였으나 나일론에는 30%를 첨가해도 충분한 난연성을 얻지 못하였다.

#### 참고문헌

1. S. Kim, J. Kim, S. H. Lim, W. H. Jo, and C. R. Choe, Effects of Mixing Temperature on the Morphology and Toughness of Epoxy/Polyamide Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **72**, 1055-1063(1999).

2. J. K. Kim, S. T. Kim, C. R. Choe, S. G. Rho, and M. C. Lee, Toughening of Epoxy by Inclusion of Thermoplastic Particles, *Polymer (Korea)*, **19**, 65-74(1995).
3. Z. Zhong and Q. Guo, Miscibility and Cure Kinetics of Nylon/Epoxy Resin Reactive Blends, *Polymer*, **39**, 3451-3458(1998).
4. Y. Huang, Y. Liu, and C. Zhao, Morphology and Properties of PET/PA-6/E-44 Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 1505-1515(1998).
5. J. An, J. GE, and Y. Liu, Special Effect of Epoxy Resin E-44 on Compatibility and Mechanical Properties of Poly(butylene terephthalate)/Polyamide-6 Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **60**, 1803-1810(1996).
6. C. Chiang and F. Chang, Polymer Blends of Polyamide-6 and Poly(phenylene ether) Compatibilized by a Multifunctional Epoxy Coupler, *J. Appl. Polym. Sci., Part B: Polym. Physics*, **36**, 1805-1819(1998).
7. M. Y. Ju and F. C. Chang, Polymer Blends of PET-PS Compatibilized by SMA and Epoxy Dual Compatibilizers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **73**, 2029-2040(1999).
8. S. V. Levchik and E. D. Weil, Combustion and Fire Retardancy of Aliphatic Nylons, *Polym. Int.*, **49**, 1033-1073(2000).
9. E. D. Weil and S. Levchik, Current Practice and Recent Commercial Developments in Flame Retardancy of Polyamides, *J. Fire Sci.*, **22**, 251-264(2004).
10. H. C. Chin and F. C. Chang, Reactive Compatibilization of PET/LCP Blends by a Multifunctional Epoxy Couplers, *Polymer*, **38**, 2947-2953(1997).
11. H. C. Kim, D. H. Kim, J. K. Park, J. C. Lim, and Y. W. Park, Miscibility of Flame Retardant Epoxy Resin with Poly(ethylene-terephthalate) and the Characterization of the Blends, *Fibers and Polymers*, **10**, 594-600 (2009).