

## 단섬유로 강화된 Nylon 6,6/Ionomer 복합재료의 물리적 특성

논문  
12-12-11

### Physical Properties of Short Glass Fiber-reinforced Nylon 6,6/Ionomer Composite Materials

박광석\*, 서광석\*, 이철호\*\*

(Kwang S. Park\*, Kwang S. Suh\*, Chul H. Lee\*\*)

#### Abstract

Mechanical and electrical properties of short glass fiber-reinforced nylon 6,6 and ionomer (Surlyn 9020) composites were studied. Glass fiber content was fixed at 40 wt%. As ionomer content increased from 0 to 30 phr, tensile strength and flexural strength were decreased, whereas impact strength had maximum value at 20 phr. Permittivity,  $\tan\delta$ , and volume resistance had no marked difference with the variation of ionomer content. In space charge measurement experiments using PEA (pulsed electroacoustic) method, for moisture-free specimens, homocharges accumulated near electrodes and increased with the increase of ionomer content up to 20 phr. It was found that moisture uptake rate of nylon 6,6 was declined due to hydrophobicity of ionomer. For moisture-contained specimens, homocharges increased with moisture content at first, and then decreased while moisture content saturated, which suggested that moisture-ionomer interaction was a major mechanism of homocharge formation.

**Key Words(중요용어)** : Nylon 6,6, Ionomer, Composites, Mechanical properties, Electrical properties

#### 1. 서 론

유리섬유로 강화된 나일론은 주로 나일론 6과 나일론 6,6을 기본수지로 하며 엔지니어링 플라스틱 중에서도 가장 많은 분야에 이용되고 있다. 나일론은 합성섬유로의 응용뿐만 아니라 자동차, 전기 등의 분야에서 부품을 만드는 재료로서의 활용도도 매우 커서 그 중요성을 인정받고 있다. 상업적인 나일론 수지는 비용절감과 기계적인 특성의 향상을 위해 미네랄(mineral)이나 유리섬유를 filler로 사용하여 강화시키거나, 난연 특성이나 충격 강도 등의 향상을 목적으로 개질(modification)하여 사용하기도 한다. 유리섬유는 플라스틱의 강화를 목적으로 광범위하게

사용되며 실란(silane)이나 titanate, chrome complex 등의 결합제(coupling agent)로 섬유 표면에 활성점(active site)을 만들어 기본수지와 반응유도하여 계면 결합력을 향상시켜 사용한다. 나일론에 사용되는 유리섬유의 경우는 대개 실란 계통의 결합제가 사용되며, 일반적으로는 유리섬유의 함량이 클수록 더 좋은 특성이 얻어진다[1, 2]. 나일론은 기계적 강도, 탄성을, 내마모성, solvent 저항성, 등 많은 물리적 특성이 좋은 재료지만, 수지 자체의 notch 민감 특성과 유리섬유에 의한 강화시 취성(brittleness)의 증가, amide group의 수소결합 특성으로 인한 수분 민감성 등의 단점을 지닌다. 수분은 일종의 plasticizer로서 작용하여 인장 강도를 감소시키고 연신율을 증가시켜 결국 인성(toughness)를 크게 만든다[3].

이러한 단점들의 완화 목적으로 개질제(modifier)를 사용하게 되며 일반적으로 elastomer나 rubber를 이용한다. 대표적인 개질제로는 SBS(styrene butadiene styrene), SEBS(styrene ethylene butadiene styrene), EPR(ethylene propylene

\* : 고려대학교 재료공학과  
(서울특별시 성북구 안암동 5-1, Fax : 02-929-4408  
E-mail : suhkwang@kucenx.korea.ac.kr)

\*\* : 화인폴리머 (주)  
1999년 9월 27일 접수, 1999년 11월 22일 심사완료

rubber), 아이오노머(ionomer) 등이 있으며, 나일론과 이들 재료 사이에 상용성(compatibility)이 거의 없으므로 기계적 물성의 저하가 우려될 수 있다. 따라서 아이오노머를 제외한 나머지는 나일론의 말단과 반응할 수 있도록 AH기(anhydride group)를 첨가시켜 반응 상용화(reactive compatibilization) 하는 방법을 이용한다[4, 5]. 아이오노머의 경우는 자체에 존재하는 이온성 성분들과 나일론이 이온결합을 이뤄 어느 정도의 물성을 확보하는 것이 가능하다. 이들 재료는 flexibility가 큰 재료들이므로 notch 민감성을 크게 약화시켜 충격강도를 증진시키게 되며 또한 수분에 대해 소수성을 가지므로 나일론의 친수성을 상당부분 개선시킨다.

본 연구에서는 전기재료로 많이 이용되는 나일론 6.6을 기본수지로 하고, 개질제로는 나트륨계 아이오노머보다 상대적으로 나일론과 더 좋은 상용성을 보이는 아연계 아이오노머를 사용하여[6], 아이오노머 함량이 기계적 및 전기적 성질에 미치는 영향을 관찰하였으며, 특히 공간전하 특성에 미치는 수분의 영향에 대하여 연구하였다.

## II. 실험 내용 및 방법

### 1. 시료 준비

나일론 6.6 (Nyltech co.)을 기본 수지로 하고 개질제로 듀퐁(Dupont co.)사의 아연계 아이오노머 (Surlyn 9020)를 사용하였다. 두 수지를 dry mixing한 후, 이축압출기(twin screw extruder, model : JSW Tex30SS)를 이용하여 압출하였다. 공정 온도는 280℃, screw 속도는 300 rpm으로 조정하였다. 첨가제는 그 영향을 최대한 배제하기 위해 열안정제(Irganox1098, Ciba-Geigy)와 활제(EBS, Lion Chemicals)만을 사용하였다. 유리섬유는 나일론과의 반응성을 고려하여 aminosilane으로 표면이 처리되어 생산되는 국내의 LG Owens Corning 사의 직경 10 μm, 길이가 대략 3.2 mm인 것(L492)을 side feeder를 이용하여 loading하였다. 아이오노머는 기본 수지에 대해 10, 20, 30 phr(parts per hundred resin)의 양으로 조절하였다. 압출된 pellet 형태의 시료는 수분에 의한 열화를 방지하기 위해 80℃로 유지된 convection oven에서 충분히 건조시킨 후 ASTM 규격에 맞게 제작된 molder를 이용하여 사출성형(Injection molding, Engel)의 방법으로 시료를 제작하여 실험하였다.

### 2. 실험 방법

실험은 나일론 6.6 수지에 대해 유리섬유를 40 wt%로 고정하고, 아이오노머를 10, 20, 30 phr로 변화시켜 가며 그에 따른 기계적 특성과 전기적 특성을 측정하고 공간전하분포를 관찰하였다. 표 1에 실험용 시편의 성분 및 조성에 대해 나타냈다.

표 1. 실험용 시편의 성분 및 조성  
Table 1. Component and composition of specimen

Base resin	Glass fiber	Ionomer	Additives
Nylon 6.6	40 wt%	0 phr	Thermal-stabilizer (0.2 phr)
		10 phr	
		20 phr	
		30 phr	Lubricant (0.3 phr)

기계적 특성은 인장강도, 충격강도(notched Izod-type), 굴곡강도, 탄성을 등을 ASTM 방법을 통해 측정하였고, 전기적 특성 중 유전율, tanδ는 Tettex사의 Precision tanδ and C Bridge를 사용하여 0.5 kV의 전압을 인가하여 측정하였고, 체적 저항은 휴렛 팩커드사의 High Resistance Meter를 사용하여 측정되었으며 특히 공간전하 분포 측정에 중점을 두어 실험하였다. 각각의 특성 측정은 5회를 실시하여 평균값을 취하였고 사용된 ASTM 방법을 표 2에 정리하였다.

표 2. ASTM 방법[7~11]  
Table 2. ASTM methods[7~11]

Properties	ASTM
Tensile strength	D-638
Elongation at break	D-638
Flexural strength	D-790
Impact strength	D-256
Permittivity	D-150
tanδ	D-150
Volume resistance	D-257

본 실험에서는 전기유향 펄스 방법(PEA

pulsed electroacoustic method)을 이용하여 공간전하 분포를 측정하였다. PEA 방법의 개략도를 그림 1에 나타냈다.

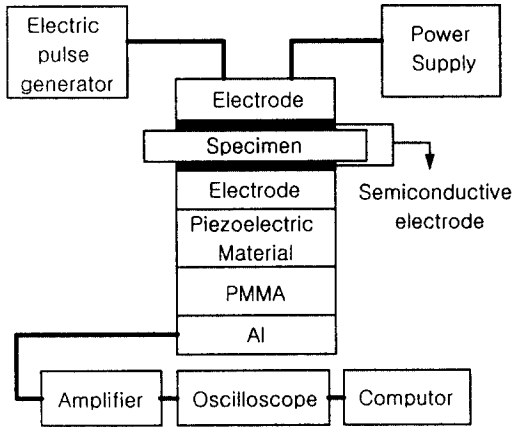


그림 1. 공간전하 분포 측정장치(PEA)의 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of PEA system

PEA 방법에서 측정용 시편은 두께가 균일한 필름 형태로 만들어 알루미늄 재질의 원형 전극 사이에 위치되고, pulsed electric field가 공간전하를 포함하는 시료에 가해지면 전하로부터 시료 내를 전파해 나가는 음파(acoustic wave)가 발생된다. 전극 밑 부분의 압전 소자(piezoelectric sensor)는 이 음파를 오실로스코프를 통해 측정할 수 있는 전기적인 신호로 바꿔준다. 신호의 진폭은 전하량과 관련되며 delay는 전극으로부터의 거리를 나타낸다. 이런 식으로 시료 내의 공간전하 분포를 측정할 수 있다[12].

공간전하 분포 측정 실험은 수분의 존재 유무에 따라 크게 2가지 경우로 나누어 진행하였는데, 첫 번째 경우는 80℃ 진공 oven에서 24시간 처리하여 수분에 의한 영향을 배제한 후 실험하였고, 두 번째 경우는 시간에 따른 수분 흡수율을 측정하고 그에 따른 공간전하 분포의 차이를 관찰하는 것으로 하였다.

직류전압은 시편에 가해지는 전기장으로 계산하여 5 kV/mm로부터 30분 간격으로 5 kV/mm 씩 step 방식으로 증가시켜 최종 전기장이 공통적으로 25 kV/mm가 되도록 하였는데 이 중에서 전기장이 25 kV/mm일 때 전압제거 후 남은 잔류전하량을 비교하여 특성 차이를 관찰하였다. 측정을 위한 전기펄스(electric pulse)는 2 kV(square type), 10 nsec 폭의 펄스를 사용하였고, 시편과 금속전극이 직접 맞닿을 경우에 생

는 신호의 impedance mismatch를 해결하기 위해 반도체 특성을 띠는 PE/EVA 재질의 반도체 전극(semiconductive electrode)을 사용하였다. 시편은 사출성형의 방법을 이용하여 대략 1100 μm 두께를 갖는 원판(circular plate)으로 만들어 이용하였다.

수분 흡수 실험용 시료는 24 시간 진공처리한 후 질량을 기록하고, 각각 6, 12, 18, 24 시간 동안 증류수 속에 두어 수분을 흡수시킨 후 다시 질량을 재어 수증처리 전후의 질량 차이를 통해 수분 흡수율을 계산하여 질량 퍼센트로 기록하고 각각의 공간전하 분포를 측정하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 기계적 특성

그림 2에 아이오노머의 함량에 따른 기계적 특성의 변화를 나타냈다. 아이오노머 함량이 증가함에 따라 인장 강도, 굴곡 강도는 감소하였으며 이것은 아이오노머가 가지는 flexibility에 기인한다. 이와는 달리 충격 강도는 아이오노머가 블렌드됨에 따라 감소하다가 20 phr에서 최대값을 나타냈다.

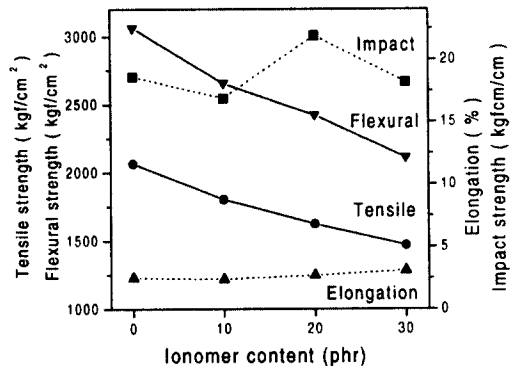


그림 2. 아이오노머 함량에 따른 기계적 특성  
Fig. 2. Variation of mechanical properties with ionomer content

일반적으로 충격강도는 측정 조건뿐만 아니라 고분자의 분자량, 상전이, morphology 등에 의해 영향을 받으며, 기저 고분자에 섬유나 rubber particle과 같이 stress를 집중시킬 수 있는 많은 microphase를 가지는 재료들이 포함될 경우 향상되는 것으로 알려져 있다

[13]. 본 실험에서 사용된 재료는 유리섬유의 함량은 고정되었으나 아이오노머의 함량은 증가시켜 나갔으므로 그에 비례한 충격강도의 향상을 예상하였다. 하지만 실험결과는 예상과 다르게 나타났으며, 이것은 아이오노머가 완전한 분산상을 가진다는 가정 하에서 다음과 같이 설명될 수 있을 것이다. 즉 0 ~ 20 phr까지의 대략적인 증가는 아이오노머에 의해 제공되는 결정질 또는 비정질 영역이[14], 나일론과 유리섬유 사이에 적절한 분산을 이루면서 가해진 stress를 효율적으로 분산시키기 때문인 것으로 생각되며, 아이오노머 함량이 30 phr로 가면서 충격강도가 감소하는 것은 아이오노머의 함량이 많아지면서, 결국 결합력이 강한 나일론과 유리섬유간 계면은 상대적으로 줄어들고, 이온결합을 이루므로 상대적으로 결합력이 약한 아이오노머와 유리섬유간 계면이 많아지면서 이 부분을 통해 파괴(fracture)가 유발되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에 사용된 재료에 대해 아이오노머가 최적의 분산을 이루며 충격강도 특성에 최대 기여하는 함량은 20 phr인 것으로 드러났다.

2. 전기적 특성

표 3에 아이오노머의 함량을 변화시킨 경우와 아이오노머 자체의 유전율과 tanδ, 체적저항의 측정값을 나타냈다. 유전율이나 tanδ는 아이오노머 함량에 따라 큰 변화가 없었으며, 체적저항의 경우는 아이오노머가 블렌드됨에 따라 대략 1/3 수준으로 감소하는 것으로 나타났다.

표 3. 아이오노머 함량에 따른 전기적 특성  
Table 3. Variation of electrical properties with ionomer content

Ionomer (phr)	Permittivity	tanδ	Volume resistance (Ω)
0	3.227	0.0054	1.50 × 10 <sup>14</sup>
10	3.340	0.0050	0.55 × 10 <sup>14</sup>
20	3.148	0.0048	0.40 × 10 <sup>14</sup>
30	3.224	0.0048	0.56 × 10 <sup>14</sup>
Ionomer only	2.357	0.0014	20.00 × 10 <sup>14</sup>

아이오노머에 존재하는 금속이온쌍(metal ion pair)은 인근에 존재하는 MA(methacrylic acid)

group과 양자(proton)를 상호 교환하며 고분자 network의 외곽을 따라 이동되는데, 이러한 움직임을 통해 이온성 확산이 일어나며[15], 이러한 이온의 이동에 의해 전기적으로 저항 감소 효과가 얻어지는 것으로 생각된다.

3. 공간전하 분포  
3.1 진공처리 시편

그림 3은 진공 처리된 시편에 25 kV/mm의 전기장을 30분간 인가한 후, 인가 전압을 제거했을 때 아이오노머 함량별로 측정된 잔류 공간전하의 분포도를 나타낸다.

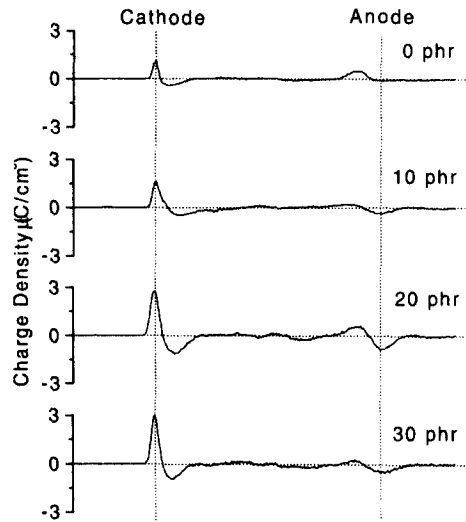


그림 3. 전압 제거 후 아이오노머 함량에 따른 잔류 공간전하분포 (80℃, 24시간 진공처리)  
Fig. 3. Residual charge distribution with ionomer content after short circuit (80℃, 24 hours in vacuum oven)

일반적으로 듀폰사에서 생산하는 Surlyn계 아이오노머는 Ethylene (E)과 대략 5 mol% MA의 공중합체이며, 금속이온을 통해 MA가 부분적으로 중화(neutralization)된 구조를 갖고 있다. 구조적으로는 비정질과 결정질, 그리고 이온성 클러스터(ionic cluster)의 세 영역으로 이루어진 것으로 알려져 있다[3, 14].

금속이온은 이온성 클러스터를 형성시키는데, 이들 이온성 클러스터와 내부 불순물 등에 의해 전기장 내

에서 아이오노머는 이종전하(heterocharge)를 형성할 것으로 생각된다. 또한 아이오노머와 나일론은 용융혼합(melt blending) 되므로 아이오노머의 카보닐기나 이온성 클러스터들이 시료 전체에 고루 분산될 것으로 생각할 수 있으므로, 시료 전 영역에서 이종전하의 형성이 이루어질 것으로 예상할 수 있다.

그림 3에서, 모든 시료의 경우에 공통적으로 음전극 부근에는 전극으로부터 주입된 전자에 의해 동종전하(homocharge)가 형성되고, 아이오노머의 함량이 20 phr까지 증가함에 따라 음전극 쪽의 동종전하의 양도 비례적으로 증가하는 것으로 보인다. 이처럼 예상과 반대의 결과가 나온 이유로, 아이오노머의 경우 카보닐기나 이온성 클러스터 등이 많이 존재한다고 해도 이들이 모두 모체인 EMA 사슬에 강하게 결합되어 있기 때문에 이들의 이동이 제한 받는 것에 비해 전극으로부터의 전하주입량은 전압이 높아질수록 커지므로 결과적으로 동종전하를 형성하게 된다고 논의된 바 있다[16]. 하지만 본 실험에서는 아이오노머의 함량이 증가함에 따라 동종전하의 양이 같이 증가하였으므로 이 의견의 적용은 어렵다고 생각되며 다음과 같이 결과를 해석하였다.

동종전하 형성과 증가의 원인은 아이오노머에 존재하는 'multiplet'에 의한 것으로 생각된다. 이온성 클러스터는 이온성 물질과 비이온성 물질을 동시에 포함하는 large aggregate인 반면, multiplet의 경우는 이온성 물질만을 포함하는 small aggregate라고 할 수 있다[15]. 이온성 클러스터는 위에서 설명된 것처럼 EMA 사슬에 강하게 결합되어 있어 이동에 제한을 받지만, multiplet의 경우는 비정질 영역에 균일한 분산상을 이루고 있는 것으로 알려져 있고, 따라서 이들이 전하의 트랩자리(trap site) 역할을 하는 것으로 생각된다. 아이오노머 함량이 많아짐에 따라 이들 multiplet의 함량도 늘어나므로, 결국 동종전하의 양도 증가하게 되는 것으로 생각된다. 전자는 트랩자리에 구속되고 이동에 어려움을 겪게 되어 전하주입깊이가 낮아 시료 내부에는 전하 형성이 없는 것으로 생각된다. 또한 본 실험에서 측정된 시료의 경우 유리섬유를 포함하므로 아이오노머에 의해 생기는 아이오노머와 유리섬유 계면, 아이오노머와 나일론 6,6과의 계면에 트랩되는 전하의 기여도 있을 것으로 생각된다. 이상의 결과로부터 이 재료는 아이오노머 함유량에 관계없이 공통적으로 전극으로부터 주입되는 전자에 의해 동종전하를 형성하며, 전하는 시료 표면에 트랩 되고, 이동에 제한을 많이 받게 되기 때문에 시료 내부로의 전하 이동현상은 없다고 생각된다.

### 3.2 수분함량 변화 시편

그림 4에 시간에 따른 수분 함량의 변화를 나타냈다. 초기 6시간까지는 아이오노머가 포함되지 않은 시료의 수분 흡수율이 매우 크며, 아이오노머를 포함하는 시료는 아이오노머 함량에 따른 별다른 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 하지만 처리시간이 경과함에 따라 아이오노머의 함량이 많은 쪽의 수분 흡수율이 더 크게 둔화되는 것을 볼 수 있다. 따라서 아이오노머에 의해 수분 흡수율이 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5-a, b, c, d는 이들 시료에 대한 공간전하분포 측정결과를 나타낸다. 시료가 수분을 흡수함에 따라 밀도가 커지므로 상대적으로 음파의 속도가 증가하게 된다. 따라서 그림 3에 나타난 진공처리 시료의 경우와 상당히 다른 결과를 나타내었다.

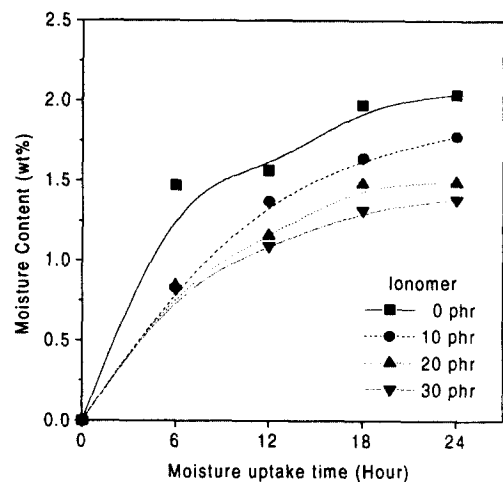


그림 4. 시간에 따른 수분 함량의 변화  
Fig. 4. Moisture content vs. moisture uptake time with ionomer content

시료의 상대적인 두께가 감소한 모양의 분포가 관찰되었으며, 모든 시료에 동종전하가 형성되었고, 아이오노머의 함량 및 수증처리 시간에 따른 차이가 관찰되었다. 그림 3의 진공처리한 경우와 비교할 경우 수분에 의한 동종전하 형성이 확실한 것으로 생각된다. 그림 5만으로 공간전하 분포 특성을 확인하기 어려우므로 음전극에 형성된 동종전하의 양을 적분하여 진공처리 시료의 경우와 함께 그림 6에 나타냈다.

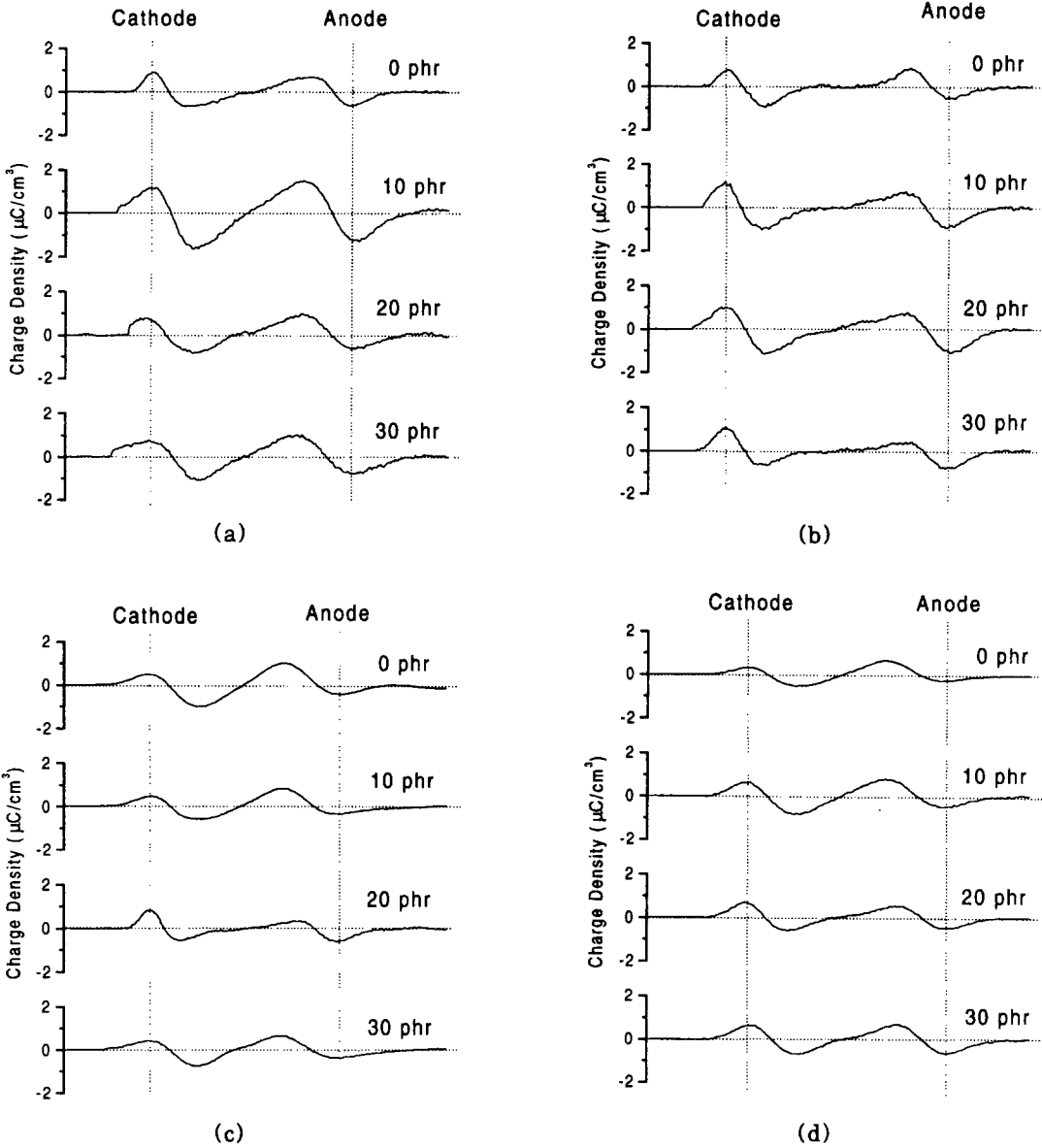


그림 5. 아이오노머 함량별 잔류 공간전하 분포 변화

수중 보관 시간 : (a) 6, (b) 12, (c) 18, (d) 24시간

Fig. 5. Variation of residual charge distributions with ionomer content, moisture uptake time : (a) 6, (b) 12, (c) 18, (d) 24 hours

그림 6을 보면 모든 시료에서 공통적으로 초기에는 동중전하의 양이 증가하다가 수분 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이것은 그림 4에

서 본 바와 같이, 수분 흡수율이 초기 6시간까지는 모든 시료에 대해 급격히 증가하고 이후에 점차 둔화되는 것과 비교해 볼 때 동중전하 형성에 대한 수분의

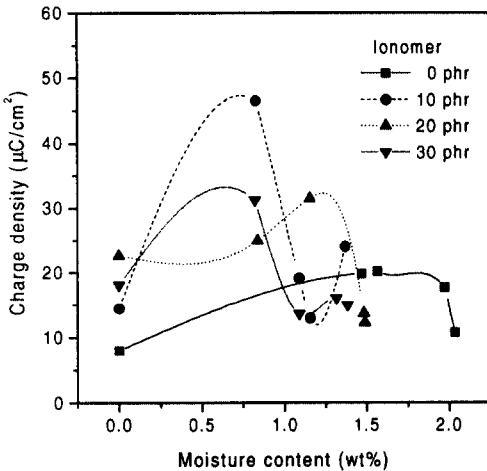


그림 6. 아이오노머 함량별 수분 함량에 따른 음극 쪽 동중전하밀도 변화량 곡선

Fig. 6. Homocharge density profiles near cathode with ionomer content

기여를 나타낸다. 또한 아이오노머가 포함된 시료와 포함되지 않은 시료를 비교해 볼 때 아이오노머가 포함된 시료 쪽이 수분 함유량에 관계없이 동중전하 형성량이 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이러한 결과들로부터 결국 동중전하 형성은 수분과 아이오노머의 복합적인 효과라는 것과, 아이오노머가 포함되지 않은 시료에서 상대적으로 큰 수분 흡수율을 가짐에도 불구하고 동중전하 형성량이 작다는 것은, 동중전하 형성에 대해 나일론 수지 자체의 수분 흡수에 의한 영향은 아이오노머와 수분의 복합작용에 의한 영향에 비해 상대적으로 그 기여가 작다는 사실을 알 수 있다.

아이오노머에는 금속이온에 결합된 음이온처럼 음전하를 띠는 카복실기(carboxyl group)가 있는데, 금속이온으로 중화된 카복실기는 부분적으로 분리되어 있으므로 하나의 카복실기는 많은 양이온에 의해 둘러싸여 있다. 이 경우에 중요한 것은 가전자의 수가 아니라 배위수이기 때문에 물리적인 crosslinking이 1가의 양이온들 다수와 가능한 것이다[17]. 이런 식으로 이온성 클러스터(또는 aggregate)가 생성되는데, 아이오노머와 수분의 관계에 대해 연구한 A. Welty 등에 의하면, 이러한 aggregate의 모서리 부분에 있는 Zn 또는 고립된 Zn 이온에 배워된 chelating carboxylate anion이 흡수된 수분에 의해 치환되며, 이러한 치환을 통해 Zn 주위에 있는 산소와의 평균적인 거리가 증가한다고 하였다[18]. 따라서 이들 사이에 정전기력의 감소가 유발되고, 만

약 전기장이 가해지면 전극으로부터 주입된 전하가 이 부위에 트랩이 될 것으로 예상할 수 있다. 이런 방식으로 아이오노머가 포함된 시료에서 상대적으로 많은 동중전하가 형성되는 것으로 생각되며, 아이오노머 함량이 10, 30 phr인 경우는 상대적으로 낮은 수분함량에서, 20 phr인 경우는 높은 수분함량에서 더 많은 동중전하의 축적을 나타내는데 이러한 결과는 충격강도의 측정결과와 비교하면 매우 유사함을 알 수 있다. 따라서 이러한 경향은 morphology의 영향으로 생각된다.

#### IV. 결 론

단섬유로 강화된 나일론 6,6에 아이오노머가 블렌드되면 인장강도, 굴곡강도 등의 특성은 저하되고 충격강도는 대략 20 phr의 함량에서 최대값을 갖는 것이 확인되었다. 이것은 아이오노머의 flexibility에 기인한다. 전기적 특성 중 유전율과 tanδ, 체적저항 등은 아이오노머 함량에 별다른 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며 아이오노머가 나일론 6,6에 고른 분산성을 갖기 때문에 30 phr까지의 함량에서는 큰 영향을 주지 않는 것으로 생각된다. 수분 흡수율 측정에서는 나일론 6,6의 흡수율이 아이오노머의 소수성으로 인해 아이오노머 함량이 증가함에 따라 비례적으로 감소되는 것이 확인되었다. 공간전하 분포 측정에서는 아이오노머에 의해 동중전하가 형성되는 것으로 나타났으며 이는 충격강도의 최대값이 나타났던 아이오노머 20 phr까지는 비례적으로 동중전하량이 증가하는 것으로 관찰되었다. 수분흡수율 변화에 따른 음극쪽 동중전하량 변화 비교에서 수분과 아이오노머의 복합적인 작용이 동중전하 형성의 주된 형성 기구임을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주) 평일산업의 연구비 지원 및 (주) 효성 T&C의 협조로 이루어졌으므로 감사드립니다.

#### 참고 문헌

[1] I. S. Miles and S. Rostami, Multicomponent Polymer Systems, Longman Singapore Publishers Pte Ltd., pp. 269-315, 1994.  
 [2] J. S. Jang and S. I. Moon, "Surface Modification and Interfacial Phenomena in Polymer Composites", Polymer Science and

- Technology, Vol. 6, No. 5, 1995.
- [3] J. R. Fried, *Polymer Science and Technology*, Prentice Hall Inc., pp. 338-341, 1995.
- [4] H. K. Jeon and J. K. Kim, "Polymer Modification and Reactive Compatibilization", *Polymer Science and Technology*, Vol. 9, No. 3, 1998.
- [5] L. H. Sperling, *Polymeric Multicomponent Materials : An Introduction*, John Wiley & Sons, pp. 255-257, 1997.
- [6] Y. S. Ding, C. Qin and S. Westphal, "A Study of Polyamide / Ionomer Blends", *ANTEC '96*, pp. 2577-2580, 1996.
- [7] ASTM D-150 : "Standard Test Methods for A-C Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulating Materials".
- [8] ASTM D-256 : "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials".
- [9] ASTM D-257 : "Standard Test Methods for D-C Resistance or Conductance of Insulating Materials".
- [10] ASTM D-638 : "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics".
- [11] ASTM D-790 : "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials".
- [12] Y. Li, M. Yasuda and T. Takada, "Pulsed Electroacoustic Method for Measurement of Charge Accumulation in Solid Dielectrics", *IEEE Transactions on Dielectrics DEI-1*, pp. 188-195, 1994.
- [13] C. K. Riew and A. J. Kinloch, *Toughened Plastics I*, American Chemical Society, pp. 75-77, 1996.
- [14] J. H. Manson and L. H. Sperling, *Polymer Blends and Composites*, Plenum Press, New York, pp. 166-168, 1976.
- [15] J. G. Van Alsten, "Ionic and Chain Interdiffusion and Interfacial Strength Development in Ionomers of Poly(ethylene-co-methacrylic acid)", *Macromolecules*, Vol. 29, pp. 2163-2168, 1996.
- [16] S. J. Hwang, K. S. Suh and C. R. Lee, "Charge Behavior in Polyethylene-Ionomer Blends", *IEEE Transactions on Dielectrics EI*, Vol. 4, pp. 58-63, 1997.
- [17] H. G. Elias, *Macromolecules 2*, Plenum Press, New York, p. 892, 1984.
- [18] A. Welty, S. Ooi and B. P. Grady, "Effect of Water on Internal Aggregate Structure in Zinc-Neutralized Ionomers", *Macromolecules*, Vol. 32, pp. 2989-2995, 1999.