

## 고분자 재료의 오손 특성 측정

김한주, 김규식, 박종은, 류부형\*, 박대희\*\*, 손원근\*\*\*, 박수길  
 충북대학교 공업화학과, 동국대학교 산업안전공학과\*,  
 원광대학교 전기공학과\*\*, 충남대학교 고분자공학과\*\*\*

## Mesurement on Pollution Property of Polymer Composite Materials

Han-Joo Kim, Kyu-Sik Kim, Jong-Eun Park, Seong-Ryul Cho, Bu-Hyung Ryu\*,  
 Dae-Hee Park\*\* Won-Keun Son\*\*\*, Soo-Gil Park  
 Dept. of Industrial Chemical Engineering, Chungbuk National University  
 Dept. of Safety Engineering, Dongguk University\*  
 Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University\*\*  
 Dept. of Polymer Science & Engineering, Chungnam National University\*\*\*

### ABSTRACT

도 및 부분방전특성을 평가하였다.

절연재료의 성능 개선과 전력계통의 신뢰성을 확보하기 위해 고분자 재료가 많이 사용되고 있다. 고분자 절연재료는 절연저항 및 절연파괴 강도가 우수하며, 유전손실이 낮고 기계적 강도가 우수하며 대량생산 및 제조가 용이하고, 경량이며 유지비용이 절감되는 등의 장점이 있으나 연구의 역사가 짧고 운전 실적이 적어 불분명한 점이 많으며, 내열성 및 내트래킹성이 비교적 약하며 표면에 오손이 축적되어 열화가 발생, 진행되거나 수분침투에 의한 파괴사고가 발생하는 단점이 있다. 따라서, 고분자 절연재료의 기본적인 화학적 구조 및 인공적인 오손 환경을 만들어, 오손 환경의 농도 및 시간대별로 오손환경하에서 우수한 특성을 보이는 샘플을 이용하여 LDPE전체에 대한 실험을 진행했다. 또한 측정법으로는 화학적인 구조 및 함량을 측정하기 위하여 FT-IR, DSC, TGA를 이용했고, 전기적인 측정으로서는 각각의 조건별로 전도

### 1. 서론

전력 기기의 대용량화, 고전압화 추세로 인해 기존 절연재료보다 우수한 절연재료의 개발이 절실히 요구된다. 고분자 재료는 절연저항 및 절연파괴 강도가 우수하며, 유전 손실이 낮고 기계적 강도가 우수하여 대량생산 및 제조가 용이하고, 경량이며 유지비용이 절감되는 등의 장점이 있다. 그러나 연구의 역사가 짧고 운전실적이 적어 불분명한 점이 많으며, 내열성 및 내트래킹성이 비교적 약하다. 따라서 표면에 오손이 축적되어 열화가 발생, 진행되거나 수분침투에 의한 파괴 사고가 발생하는 단점이 있다. polyethylene (PE)는 낮은 전도도와 낮은  $\tan \delta$  값을 가진 전력선의 절연재료로 널리 사용되는 뛰어난 전기적 성질을 가지고 있다[1,2].

현재 일본에서는 PE의 500kV에서 실제적인 사용을 연구하고 있다. 보다 좋은 PE절연 시스템의 개발과 더욱 높은 전기적 충격에서

견딜수 있는 새로운 절연 재료를 고안하기 위해서, 재료 고유의 전기적 성질을 향상시키는 것이 필요하다[3].

이 연구에서는 두 종류의 LDPE를 blending하여 물성이 가장 좋은 혼합비를 선정하여 인공오손시의 시편의 물리적, 전기적인 성질 및 표면 방전 특성을 평가하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 시편 제작

두가지의 밀도가 다른 LDPE-A과 LDPE-B를 가지고 실험을 하였다. LDPE-A를 기준으로 하여, LDPE-B를 0, 25, 50, 75, 100wt%의 비율로 혼합하여 5종류의 시편을 제작하였다. Pellet type의 LDPE-A를 용매 n-Octane에 녹이며 90℃에서 20분간 LDPE-B와 혼합을 시켰다. 혼합물을 사각형의 틀에 넣어 진공오븐 90℃에서 24시간 건조시켜 용매를 증발시켰다. 건조된 혼합 LDPE를 150℃에서 3분간 가열한 후 가압 성형하였다. 초기의 시편으로서 LDPE-A, LDPE-B와 blending 한 시편들의 밀도를 Table 1에 나타내었고, Fig. 1에 도식화하였다.

### 2-2. 파괴전압 측정실험

절연유내압시험기를 사용하여 평등 전계를 형성하는 구대 구 전극사이에 블록상으로 30×30×0.3[mm]정도의 시편으로 만들어 인가 교류전압을 1[kV/sec]의 속도로 상승시키면서 실험을 행하여 절연파괴를 시키고 절연파괴 전계강도를 계산하였다. 실험식은 다음의 식 (1)과 같으며 실험장치를 Fig. 2에 나타내었다.

$$\text{파괴강도} = \frac{\text{파괴전압}(kV)}{\text{시편두께}(mm)} \dots \dots (1)$$

### 2-3. 비유전율 측정

시편을 1×1cm<sup>2</sup>인 정사각형모양으로 만들

Table 1. Density of Specimens

Specimen	Blend ratio [LDPE-B wt%]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Melting Point(°C)
1	0	0.8871	110.35
2	25	0.8851	110.29
3	50	0.8789	110.93
4	75	0.8743	111.29
5	100	0.8653	111.79

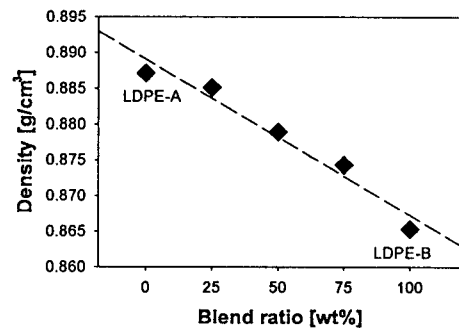


Fig. 1. The Change of Density due to the increase of blend ratio

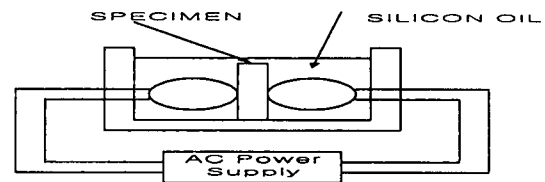


Fig. 2. Schematic diagram for AC breakdown test set

어 Hewlett packard사의 4194A Impedance analyzer 측정장치를 사용하여 각각의 시편에 대해 C와 tan δ 값을 측정하였다. 이때의 전극의 압력은 2[N/cm<sup>2</sup>]을 가하고, 인가 전압은 1[kV]로 인가하였다. 실험식은 다음의 식 (2)와 같다.

$$\epsilon_r = \frac{C \times d}{\epsilon_o \times A} \dots \dots (2)$$

$$\epsilon_o = \text{Constant } 8.85 \times 10^{-12} \text{ (pF)}$$

A = Area (cm<sup>2</sup>)

d = Thickness (mm)

C = Electrostatic capacity (pF)

#### 2-4. 오손특성 측정

실험에서 사용된 시편은 Fig. 3와 같은 형상으로 시편을 제작하였다.

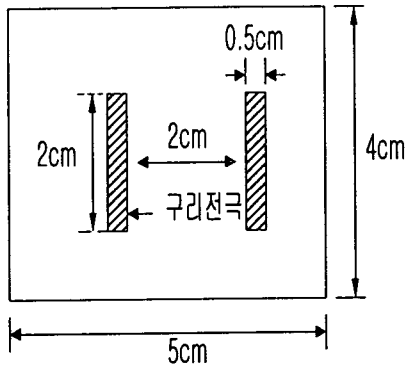


Fig. 3. Model of Specimen for Measurement on Pollution

시편은 증류수에 넣어서 초음파 세척기로 20분간 세척한 후, 항온조에서 건조시켜 사용하였으며, 전압은 100V/sec의 속도로 1kV씩 증가시키면서 실험을 하였다. 건조시 2wt% NaCl 오손시의 연면방전과 방전 전하량에 따른 발생빈도수 분포를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 파괴전압특성

혼합비에 따른 AC절연파괴강도를 측정하였다. 3번 반복실험을 통해 평균값을 내었으며 식(1)을 사용하였다. 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

LDPE-A의 파괴강도는 LDPE-B의 파괴강도보다 낮았다. 이것은 파괴강도가 녹는 점과 관계있다는 것을 나타낸다. LDPE-A의 녹는 점이 110.35°C인데 비해서, LDPE-B의 녹는 점은 111.79°C이다. 열 파괴강도의 관점에서 LDPE-B가 높은 녹는 점을 가지기 때문에 높은 파괴강도를 갖는다는 것이 고려된다.

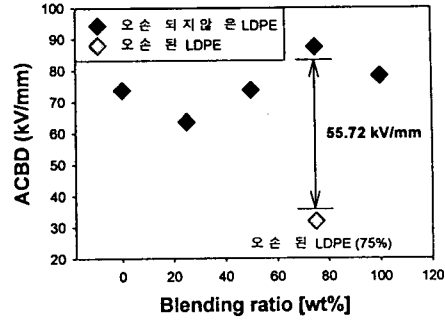


Fig. 4. AC breakdown strength as a function of blend ratio at 90°C

혼합된 시편들 사이에서는 75wt%로 혼합된 시편이 다른 혼합비의 시편들보다 파괴강도가 가장 높았다. 75wt%의 시편을 2wt% NaCl에서 오손시킨 것은 31.6884 kV/mm를 나타내었으며, 오손시키지 않은 것과 55.72 kV/mm의 차이를 나타내었다.

#### 3-2. 비유전율 측정

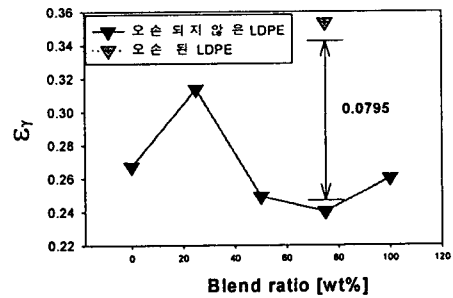


Fig. 5. Characteristics of  $\epsilon''$  according to blend ratio

Fig. 5는 혼합비에 따라 비유전율  $\epsilon''$  값의 변화를 나타낸 그림이다. 식(2)를 사용하여 구하였다. 비유전율은 콘덴서를 유전체로 채웠을 때의 정전용량과 유전체를 진공으로 치환하였을 때의 정전용량의 비로 정의할 수 있다. 혼합물간의 비유전율은 LDPE-B를 25 wt% 함유한 시편 2가 가장 큰 0.3137을 나타

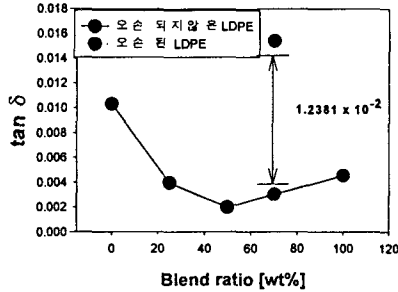


Fig. 6 Characteristics of  $\tan \delta$  according to blend ratio

내었으며, 75wt% 함유한 시편 4가 0.2738로 가장 낮았다.

Fig. 6의  $\tan \delta$ 는 손실 전류 성분의 충전 전류 성분에 대한 비율로서 유전정접이라 하며,  $\delta$ 를 유전손각이라 한다. 이들은 유전체의 성질에 의하여 정해지는 상수이기도 하다. 절연재료로서,  $\epsilon_r$ ,  $\tan \delta$ 의 증가는 실용적으로 바람직 하지 못하다. 한편, 가장 좋은 특성을 보이는 75wt%의 오손된 시편은  $\epsilon_r$ ,  $\tan \delta$  값이 오손전보다 현저히 높았다.

### 3-3. 누설 전류 측정

blending된 LDPE중 LDPE-B를 75%함유한 시편 4를 가지고 누설전류 측정을 하였다. Fig. 7은 시편 4의 건조시와 오손시의 누설전류측정을 나타낸 것으로서, 12 kV이하에선 둘다 선형적인 증가를 보이다가 12 kV이상에선 오손된 시편이 급증후 섬락이 발생하였으며 섬락시의 전압은 오손된 시편이 그렇지 않은 시편보다 작았다. 이는 오손에 의한 특성변화가 현저하며, 전압을 증가시킴에 따라서 표면방전이 pre-breakdown streamer방전으로 진전하는 것을 의미한다.

### 4. 결 론

밀도가 다른 LDPE혼합물의 전기적 특성을 알아보기위해 절연 파괴측정과 비유전을 측정실험을 수행하였다. 혼합된 시편들 사이

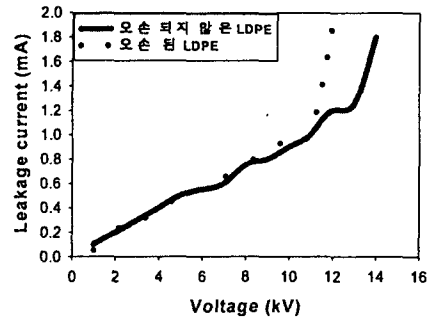


Fig. 7 Leakage Current per applied Voltage

에, LDPE-B를 75%함유한 시편의 절연 파괴강도가 가장 높았다. 밀도가 다른 LDPE의 혼합은 고 전압에서 전류의 억압에 대한 효과적인 방법이였다. 이 결과로부터 LDPE의 녹는점이 절연 파괴강도와 관계가 있다는 것을 알수 있었다. 또한 오손에 의한 특성은 pre-breakdown streamer로의 발전이 촉진되어 방전전하량의 급증의 형태로 나타났으며, 섬락으로의 이행도 빨리 나타났다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관(과제관리번호: 98-중기-05)으로 수행되었음

### 참고문헌

- [1] C. Banmongkol, T. Mori, T. Mizutani, M. Ishioka and I. Ishino, "Effects of Oxidation on Electrical Conduction and Breakdown of LDPE Films with Different Densities", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, PP. 872~877 (1998)
- [2] T. Mori, M. Hikita, T. Mizutani, et al., "Electrical Breakdown of Ethylene-Acrylic Acid Copolymer and Blend Polymer Films", Conf. Record of the 1944 IEEE ISEIM. PP. 217~220 (1994)
- [3] T. Mori, T. Matsuoka and T. Mozutani, "The Breakdown Mechanism of poly-p-xylylene Film", IEEE Trans, Electr.

Insul., Vol. 1, PP. 71~76 (1994)