

선형 저밀도 폴리에틸렌/에틸렌 비닐아세테이트 블렌드의 전기전도 특성

이태훈, 이충호*, 조경순**, 이용우***, 이수원****, 신종열*****, 홍진웅
 광운대학교 전기공학과, 충주대학교 전기공학과*, 서울대학 전기과**,
 대덕대학 전기과***, 한국철도대학 전기제어과****, 삼육의명대학 자동차장비과*****

**Electrical Conduction Properties of Linear Low Density Polyethylene/
 Ethylene Vinyl Acetate Blend Film**

Tae-Hoon Lee, Chung-Ho Lee*, Kyung-Soon Cho**, Yong-Woo Lee***,
 Soo-Won Lee****, Jong-Yeol Shin*****, Jin-Woong Hong

Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
 *Dept. of Electrical Eng., Chungju Nat' l Univ.
 **Dept. of Electrical Eng., Seoil College
 ***Dept. of Electrical Eng., Taedok College
 ****Dept. of Electrical Control, Korea Nat' l Railroad College
 *****Dept. of Automobile Maintenance, Sahmyook Uimyung College

Abstract - In this paper, the physical and electrical properties of electrical insulating materials due to linear low density polyethylene (LLDPE)/ethylene vinyl acetate(EVA) blends are studied. The peak of LLDPE/EVA made by blend ratio of 70:30 at $2\theta=21.4^\circ$ in the results of XRD is higher than the others. In the experiment for electrical conduction properties in order to investigate the electrical properties of specimen, it is confirmed that electrical conduction is increased with the increase of molecular motions with the increase of temperature.

1. 서 론

도시의 광역화 및 인구집중이 가속화되면서 환경문제와 안보, 그리고 전력의 안정적인 공급과 신뢰성의 확보라는 측면에서 전력용 케이블의 지중화는 빠르게 이루어지고 있다⁽¹⁾. 특히 전력케이블의 성능은 고체 절연재료의 절연성능에 직접적으로 좌우되는 것으로 장기 신뢰성 측면에서 많은 연구가 되어지고 있다.

폴리에틸렌(polyethylene)은 절연체로 여러 분야에서 사용되지만, 트리발생과 공간전하 축적이라는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제들은 적절한 고분자와의 블렌드를 통하여 해결될 수 있게 되었다. 예를 들면 에틸렌 비닐아세테이트(ethylene vinyl acetate, 이하 EVA) 공중합체와 블렌드는 폴리에틸렌에서 트리의 진전을 막는 효과를 나타내는 것으로 보고되어졌다⁽²⁾.

선형 저밀도 폴리에틸렌(linear low density polyethylene, 이하 LLDPE)은 열적특성이나 내환경성 등이 우수한 물질이며 cable sheath 등의 재료로써 일부 사용되고 있다⁽³⁾.

일반적으로 EVA는 폴리에틸렌에 비해 저온에서의 유연성(flexibility), 내균열성(stress-crack resistance), 인성(toughness), 충격강도(impact strength) 등이 뛰어난 특성을 가지고 있다. EVA는 VA의 함량이 0.5에서 90(wt%)까지의 여러 종류가 있으며, VA함량이 증가할수록 결정화도가 낮아지고, 유연해지므로 연신률이 좋아지며, 내후성은 저밀도 폴리에틸렌(low density polyethylene, 이하 LDPE)보다 매우 우수하여 전선

절연재료나 코팅재료, 핫 멜트접착제 등 많은 분야에 활용되고 있다⁽⁴⁾.

따라서 본 연구에서는 LLDPE/EVA 블렌드를 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 및 80 : 20의 혼합비율에 따른 물성과 전기적 특성을 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 시료의 제작

본 실험에 사용된 고분자 혼합물은 H사의 제품인 LLDPE와 S사 제품의 EVA를 전자저울을 사용하여 각각 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 및 80 : 20의 혼합비로 칭량한 것을 서로 충분히 섞이게 하기 위해 교반기로 고르게 혼합한 후 핫 프레스(hot press)를 사용하여 온도 120(°C), 압력 250(kgf/cm²)로 5분간 가압 프레스하여 200(μm)의 시트상으로 제작하였고 물성은 표1과 같다.

표 1. 시료의 물성

Sort of sample Test item[unit]	LLDPE	EVA
Melt index [g/10min]	1.2	1.02
Density [g/cm ³]	0.921	0.94
Tensile strength [kg/cm ²]	96/173	-
Elongation rate [%]	648	-
VA content [%]	-	12.5
Product Co.	H Co.	S Co.

2.2 전기전도 실험

전극은 상부전극으로 주전극 37(mmΦ)과 가드링 전극(내경 55(mmΦ), 외경 70(mmΦ))과 하부전극 87(mmΦ)으로 구성되어 있으며 그림 1과 같다.

누설전류를 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

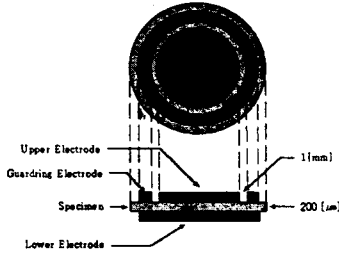


그림 1. 전극 구성

누설전류 측정은 미소전류계인 Highmeg - ohm meter(ANDO Co. Model VMG-1000)를 이용하였으며, 온도조절 장치를 내장한 오븐(ANDO TO-9B)을 이용하였다. 측정 방법은 Step 인가법에 따라서 전압을 인가한 후, 10분이 경과한 다음 시료의 누설전류를 측정하였다.

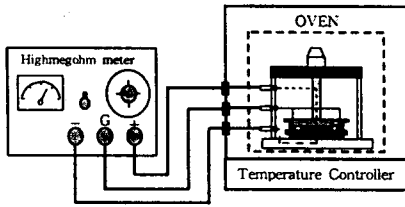


그림 2. 전기전도 측정을 위한 실험 장치의 개략도

3. 결과 및 고찰

3.1 물성분석

LLDPE와 EVA의 결정과 비정질의 변화를 조사하기 위하여 각각의 원시료와 블렌드한 LLDPE : EVA의 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 및 80 : 20인 두께 200(μm)인 시료들에 대해 X선 회절 (X-ray diffraction) 이하 XRD)분석을 하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

시료에 대해 XRD로부터 확인할 수 있는 특징은 $2\theta = 21.4^\circ$ 에서 결정(110)과 $2\theta = 23.6^\circ$ 에서 결정(200)의 결정기여와 $2\theta = 19.5^\circ$ 에서 비정질의 기여에 의한 피크가 중첩되어 나타나는 것으로 볼 수 있다.

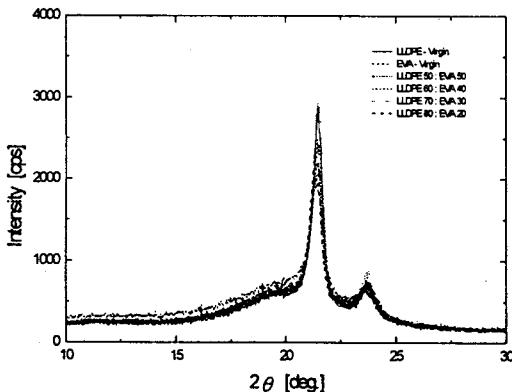


그림 3. 시료의 X선 회절

3.2 전기전도특성

원시료와 블렌드한 시료의 전계 변화에 따른 전류밀도의 변화를 조사하였다.

그림 4는 온도 25(°C)에서 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 도시한 그림이다.

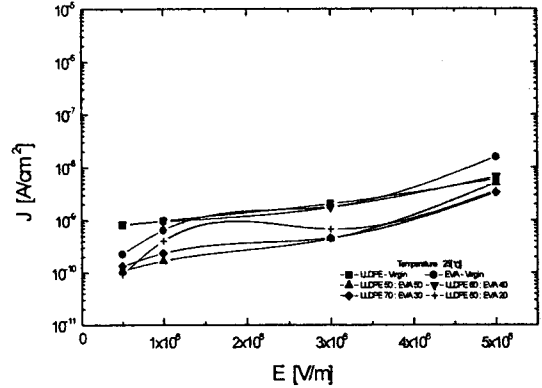


그림 4. 온도 25(°C)에서 전류밀도의 전계 의존성

EVA-원시료의 경우는 전계변화에 따라 전류밀도가 급격히 변화되는 것을 확인할 수 있으며, LLDPE-원시료와 블렌드한 시료들은 전계변화에 대해 전류밀도가 선형적으로 서서히 증가하고, LLDPE 60 : EVA 40 블렌드한 시료의 경우는 LLDPE-원시료와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

저온·저전계에서는 시료 내의 캐리어의 여기나 전극으로부터의 외부 캐리어 주입 효과가 나타나기 어렵기 때문에 전계의 변화가 전류밀도 변화에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 생각되며, 저온에서 전계가 높아지면 전극으로부터의 외부 캐리어 공급에 따른 전류밀도 상승이 초래되는 것으로 EVA-원시료의 전류밀도가 급상승하는 것이 이해된다.

그리고 블렌드한 시료들은 구조적인 결합 등과 같은 다수의 트랩 형성이 영향을 미쳐 전류밀도가 다소 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

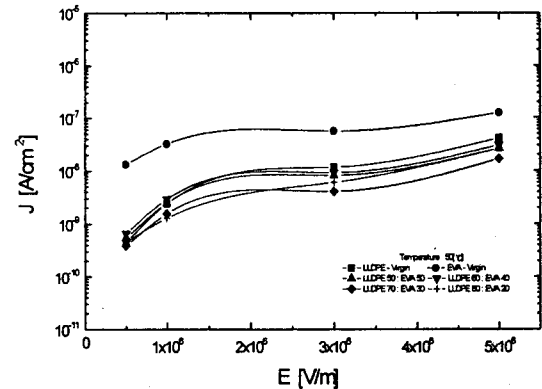


그림 5. 온도 50(°C)에서 전류밀도의 전계 의존성

그림 5는 온도를 50(°C)로 상승시켰을 때 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 도시한 그림이다.

온도가 50(°C)로 상승하면 시료들은 온도 25(°C)에서와 달리 전계상승에 따른 전류밀도 변화가 선형적으로

증가됨을 볼 수 있으며, 블렌드한 시료들은 대략 5배 정도 전류밀도가 상승된 것을 볼 수 있다.

온도가 상승함에 따라 외부에서 공급되는 열에너지가 전류밀도의 변화에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있으며 온도가 상승되면서 저전계 영역에서도 전극으로부터의 도전성 캐리어의 주입이 일어나 전류밀도 증가에 기여하는 것으로 생각된다.

원시료와 블렌드한 시료들의 전류밀도 변화를 보면 약 $2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6$ [V/m]의 전계영역에서 전류밀도가 포화되어 전계변화에 대해 안정적인 경향을 나타내는데, 이것은 결합들이 캐리어들을 포획함으로써 전류밀도의 증가가 나타나지 않는 것으로 생각된다. EVA-원시료는 LLDPE-원시료와 블렌드한 시료보다 대략 10배 정도 전류밀도가 상승된 것을 볼 수 있다.

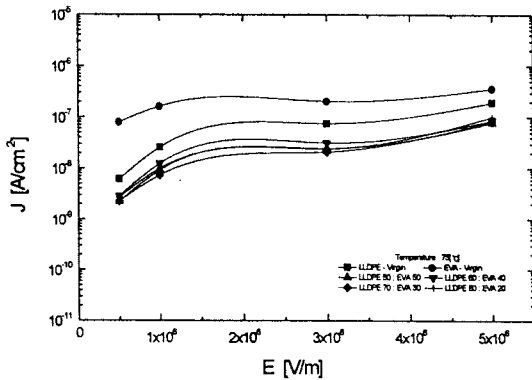


그림 6. 온도 75(°C)에서 전류밀도의 전계 의존성

그림 6은 온도 75(°C)에서 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 도시한 그림이다.

온도가 75(°C)로 상승되면 온도 50(°C)와 비교하여 전류밀도가 다소 증가한 것을 확인할 수 있으며, 원시료와 블렌드한 시료들 모두 전계 변화에 대해 전류밀도가 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

외부에서 공급되는 열에너지가 시료의 결정 융점에 근접함에 따라 결정이 용융되기 시작하면서 결합들에 포획되어 있던 캐리어들이 자유롭게 되어 전류밀도 증가에 기여하는 것으로 생각되며, EVA-원시료는 다른 시료들보다 전계변화에 대해 전류밀도의 변화가 거의 없는 것으로 보아 안정적인 경향을 나타내고 있다.

LLDPE-원시료는 블렌드한 시료보다 외부 여기에너지 증가로 캐리어가 트랩의 영향보다 강하게 작용하여 전류밀도가 다소 높게 나타나는 것으로 생각된다.

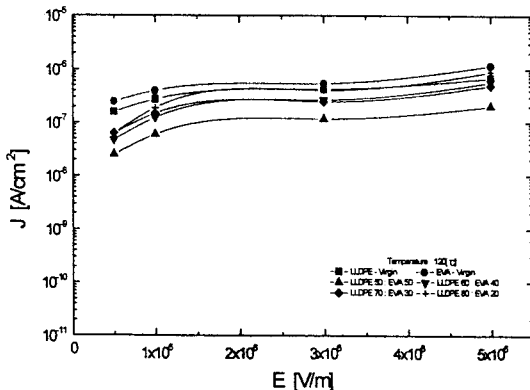


그림 7. 온도 120(°C)에서 전류밀도의 전계 의존성

그림 7은 온도 120(°C)에서 각 시료들에 대한 전류밀도의 전계 의존성을 나타낸 그림이다.

온도 120(°C)에서는 시료의 결정 융점 이상의 온도에서 시료의 결정이 용융되었다고 판단되며, 시료의 결정이 용융되었기 때문에 원시료와 블렌드한 시료의 전류밀도는 크게 차이를 나타내지 않으며 전계변화에 따른 전류밀도 증가 경향 역시 선형적으로 증가하는 것으로 동일하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

블렌드한 시료의 구조적인 안정을 초래한 것으로 판단되는 LLDPE 50 : EVA 50 블렌드한 시료의 전류밀도가 가장 낮게 나타나며 온도 변화나 전계 변화에 대해서 다른 시료에 비해 안정적인 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

또한 블렌드한 시료들은 결정 융점보다 낮은 온도에서는 원시료에 비해 대략 2~10배 정도의 큰 전류밀도를 나타내었으나 결정의 용융으로 인해 용융된 결정 부분이 도전성에 기여하기 때문에 원시료나 블렌드한 시료의 전류밀도가 거의 비슷하게 나타나는 것으로 생각된다.

4. 결 론

전력 케이블 등의 피복 절연재료로 사용되는 선형 저밀도 폴리에틸렌 시료에 대하여 블렌드에 따른 물성 및 전기적 특성의 변화를 연구하기 위하여 두께 200(μm)인 선형 저밀도 폴리에틸렌·에틸렌 비닐아세트 원시료와 블렌드한 각각의 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30 및 80 : 20인 시료들에 대해 물성 분석 및 전기적 특성 실험을 하였으며, 그 연구 결과는 다음과 같다.

시료의 물성분석으로 XRD에서 블렌드한 LLDPE 70 : EVA 30과 LLDPE-원시료가 $2\theta = 21.4^\circ$ 에서의 피크 크기를 확인할 수 있으며, 비정질의 기여에 의해 나타나는 $2\theta = 19.5^\circ$ 에서의 피크는 혼합비의 변화에 관계없이 거의 일정한 것을 볼 수 있다.

시료의 전기적 특성을 연구하기 위해 전기전도 특성을 조사하기 위한 시료의 전류밀도의 전계 의존성에서는 결정 융점보다 낮은 온도에서는 블렌드한 시료의 전류밀도가 낮게 나타나며, 결정 융점 이상의 실험온도에서는 용융된 결정이 도전성에 기여하여 원시료나 블렌드한 시료 모두 전계 상승에 따라 서서히 전류밀도가 증가하는 것을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. S. Suh, C. R. Lee, "지중 배전 전력케이블용 절연재료의 개발동향" Proceedings of KIEE, Vol. 46, No. 4, pp 34-39, 1997
- [2] K. S. Suh, J. Y. Kim, C. R. Lee, "Space Charge in Polyethylene/Ethylene Vinylacetate Laminates and Blends", Trans. KIEE, Vol. 45, No. 6, pp. 836-843, 1996
- [3] D. Y. Yi, D. H. Park, M. K. Han, "Electrical Characteristics of Linear Low Density Polyethylene Degraded by the Voltage-Thermal Stress", Trans. KIEE, Vol. 44, No. 10, pp. 1301-1306, 1995.
- [4] Y.G. Cheun, J. K. Kim, D. S. Ham, J. S. Kim, "Thermal and Mechanical Behavior of EVA Depending on Vinyl Acetate Content", Polymer(Korea) Vol. 15, No. 4, 402-410, 1991.
- [5] R. Nath and M. M. Perlman, "Steady-state bulk trap-modulated hopping conduction in doped linear low-density polyethylene", J. Appl. Phys., Vol. 65, No. 12, 1989.
- [6] I. Ray and D. Khashtgir, "Correlation between Morphology with Dynamic Mechanical, Thermal, Physicomechanical Properties and Electrical Conductivity for EVA-LDPE Blend", Polymer, Vol. 34, pp 2030-2037, 1993.