

지중 케이블용 외피 컴파운드 개발

Development of Jacket Compounds for URD Power Cables

한재홍, 김주용, 김동명, 송일근

(Jae Hong Han, Ju Yong Kim, Dong Myung Kim, Il Keun Song)

Abstract

In this study, polyolefin compounds were developed and evaluated for replacing a jacket material of URD power cables. The characteristics of compounds were investigated by water vapor transmission (WVT) test and mechanical test. In WVT test, all polyolefin compounds showed the superior water resistance to conventional PVC. The molecular structure and density of polyolefin play an important role in WVT. Also, polyolefin compounds showed the suitable characteristics in mechanical test. Especially, polyolefin compounds having linear molecules showed the superior characteristics to LDPE ones. From this study, it can be considered that polyolefin compounds may be suitable to jacket material for URD power cables.

Key Words : URD power cable, Jacket compound, Water vapor transmission, Mechanical property

1. 서 론

현재 국내 지중 배전케이블로 가장 많이 사용되고 있는 것은 수밀형 22.9 kV 동심중성선 전력케이블 (CNCV-W)이다. 1998년 이전에는 도체가 수밀되지 않은 전력케이블인 CNCV를 주로 사용하였으나, 최근에는 도체를 통한 수분침투의 억제를 강조하는 추세이기 때문에 수밀형으로 전환되었다[1]. 하지만 이러한 변화에도 불구하고 전력케이블의 고장은 감소되지 않고 있는 실정이다.

국내에서 발생하고 있는 고장의 대부분은 외상고장을 제외하고는 절연층으로의 수분침투에 의한 것으로 알려져 있다[2-3]. 케이블 구조상 도체가 수밀되어 있고, 중성선의 상하부에 부풀음테이프를 적용하고 있기 때문에 수분침투는 일어나기 곤란하다. 하지만, 전력케이블에서의 수분침투가 확산과정에 의존하기 때문에 외피를 통한 radial 방향의 수분침투가 불가피하며[4], 현재와 같이 PVC

(polyvinyl chloride)를 외피 재료로 사용하는 경우에는 PVC가 극성기를 가진 재질이기에 때문에 궁극적으로 수분침투를 억제하기는 곤란하다[5]. 따라서 전력케이블을 원래의 기대수명까지 운전하기 위해서는 자켓 재료에 대한 면밀한 검토가 수반되어야 한다.

본 연구에서는 기존 PVC 외피 재료를 대체하기 위하여 6종의 폴리올레핀 (polyolefin) 수지로 만들어진 컴파운드를 개발하였으며, 그 특성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 컴파운드 제조

기존의 PVC 외피 재료를 대체할 수 있는 컴파운드를 개발하기 위하여 현재 국내에서 시판되고 있는 총 6종의 폴리올레핀을 기저수지 (base resin)로 선정하였다. 외피 재료로써 폴리올레핀을 선정하는 이유는 저가이면서도 가공이 용이하고, 물리적 특성이 우수하다고 알려져 있기 때문이다[6]. 본 연구에서는 LDPE 2종, LLDPE 2종, MDPE 및 HDPE 각각 1종을 사용하였다.

외피용 컴파운드의 조성은 표 1과 같으며, 기저

한국전력공사 전력연구원
(대전시 유성구 문지동 103-16)
Fax : 042-865-5804
E-mail : jhhan@kepri.re.kr

수지의 종류만을 변화시켰다. 제조방법은 기저수지를 용융시킬 수 있는 적당한 온도 (약 125~135℃)의 two-roll mill에서 수지를 충분히 용융시킨 후 여기에 카본블랙 및 기타 첨가제를 순서에 따라 투입하여 제조하였다. 제조시에는 roll 간격을 조절하는 등의 방법으로 충전제가 잘 분산될 수 있도록 하였다.

표 1. 외피 컴파운드의 조성

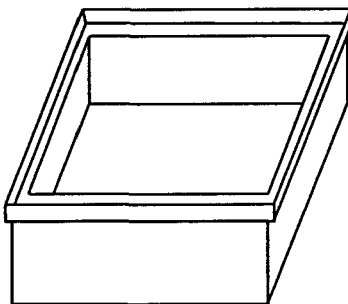
Table 1. Compositions of jacket compounds

요 소	합 량 (pphr)
기저수지	100
산화방지제	0.5
가공조제	0.2
카본블랙	2.6

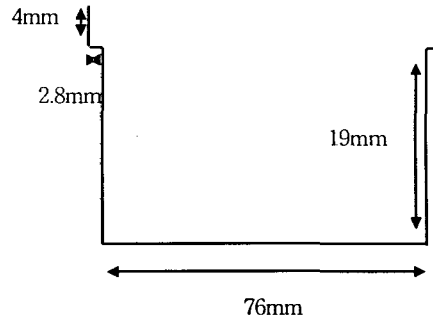
2.2 시험방법

Radial 방향으로의 수분침투 특성을 평가하기 위하여 ASTM E 96에 의거하여 수증기투과 (water vapor transmission; WVT) 시험을 실시하였다[7]. 본 시험에 사용된 시험접시는 알루미늄 재질로 된 것을 사용하였다. 자세한 크기 및 모양이 그림 1에 나와 있다.

시험에 사용한 desiccant는 크기가 2~3 mm 정도인 무수 염화칼슘 (CaCl₂)이며, 시료를 시험접시에 부착하는데 실란트를 사용하였다. 이와 같이 시험접시에 시료를 조립한 다음 무게를 측정하고, 온습도 조절이 가능한 시험챔버에 설치하였다. 시험 조건은 온도 32±0.6℃, 상대습도는 50±2%를 선택하였다. 한편 시험시간에 따른 주기적 중량측정에 전자저울을 사용하였으며, 수증기투과율을 얻기 위하여 8~10개의 데이터를 확보하였다.



(a) 전체 모형



(b) 단면도

그림 1. 수증기투과 시험용 접시

Fig. 1. Dish for water vapor transmission test

시험시료는 hot press를 사용하여 180℃ 온도에서 10분간 압축성형하여 0.8 mm의 두께로 제작하였다. 각각의 재질별로 3개의 시료를 시험접시에 설치하여 동시에 시험하였으며, 접착불량에 의해 오차가 크게 나타난 시료는 분석에서 제외하였다.

수증기 투과율의 계산에서는 시험시간에 따른 중량변화를 plot한 다음 직선을 그어서 기울기를 구하였다. 수증기투과율은 아래와 같은 식으로 표현 되는데,

$$WVT = G/tA = (G/t)/A \quad \dots (1)$$

여기에서 G는 직선에서의 중량변화 (g), t는 시간 (h), 직선 기울기 (g/h), A는 시험접시 입구면적 (m²), WVT는 수증기투과율 (g/h · m²)이다[7].

외피 재료의 기계적 특성평가에서는 내마모성 및 관통저항성 (cut-through resistance)을 시험하였다. 내마모성 평가에서는 ASTM D 3389에 의거하여 시험하였으며, 특정주기 수에서의 마모를 시험하는 Method B를 적용하였다[8]. 본 시험에서는 각 시료당 2번의 시험을 실시하였으며, 3 mm 두께의 시료를 약 110 mm 직경의 원형으로 절단하여 사용하였다. 내마모성은 마모기를 500회 동작시킨 후 중량손실을 측정하여 아래와 같은 식을 사용하여 구해진다.

$$\text{중량감소/회전수} = \frac{\text{시험전무게} - \text{시험후무게}}{\text{회전수}} \quad \dots (2)$$

한편 관통저항성의 시험에서는 관련 규격이 확보

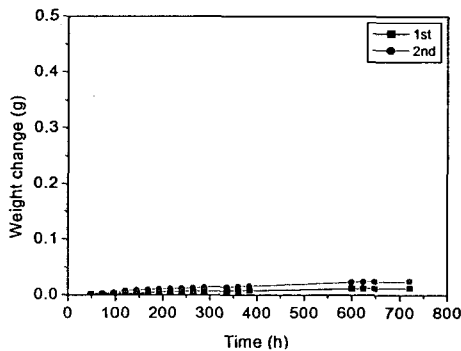
되지 않아서 UCC (Union Carbide Corp.)에서 사용하는 방법에 따라 시험을 실시하였다[5]. 관통저항성은 wedge 형태의 칼날이 1.9 mm 두께의 시료를 관통할 때 걸리는 최대 force로 정의되며, universal tester (crosshead 속도: 10)를 사용하여 압축모드로 5회 실시하였다. 칼날은 25.4 mm×0.76 mm (넓이×두께)의 wedge이며, 45도 각도를 갖도록 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

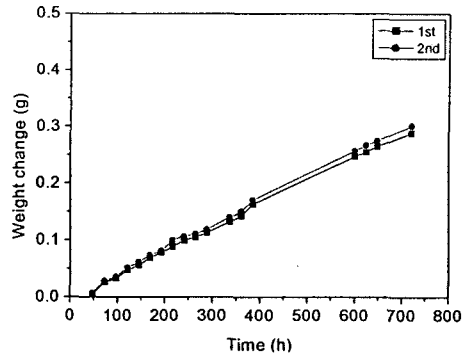
3.1 수증기투과 특성

외피용 컴파운드에 대해 수증기투과 시험을 실시한 결과가 그림 2에 나와 있으며, MDPE 및 PVC 컴파운드의 경우를 대표적으로 나타낸 것이다. 그림에서 보여지는 것처럼 시험시간의 증가에 따라 수증기 투과는 약간 증가하는 경향이 나타났으며, 15일 이후에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 그림의 기울기로부터 구해진 수증기 투과율이 표 2에 나와 있다. HDPE>MDPE>LLDPE>LDPE 순으로 수증기투과에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 수증기투과율은 재료의 밀도와 상관성이 있음을 알 수 있으며, 또한 선형 고분자에서 특성이 우수하므로 사슬의 분지도 (degree of chain branching)도 영향이 있는 것으로 판단된다.

여기에서 흥미로운 사실은 기존 PVC 컴파운드가 폴리에틸렌 컴파운드보다 수 십배 이상의 높은 수증기 투과율을 나타낸 것이다. 이는 PVC 분자구조 내에 존재하는 극성기 (polar group)에 의해 나타나는 것으로 판단된다[5].



(a) MDPE 컴파운드



(b) PVC 컴파운드

그림 2. MDPE 및 PVC 컴파운드의 수증기투과
Fig. 2. WVT of MDPE and PVC compounds

표 2. 외피용 컴파운드의 수증기투과율

Table 2. WVT rate of compounds

(단위: g/h · m²)

시료명	1차	2차
LDPE1	0.0076	-
LDPE2	0.0061	-
LLDPE1	0.0063	0.0058
LLDPE2	0.0068	0.0051
MDPE	0.0030	0.0052
HDPE	0.0033	0.0034
PVC	0.0718	0.0742

-: not tested

3.2 기계적 특성

표 3은 컴파운드에 대해 내마모성 시험을 실시한 결과이다. 표에서 보여지는 것처럼 선형 고분자인 LLDPE, MDPE 및 HDPE는 우수한 내마모성을 보였으나, LDPE의 경우에는 다소 큰 중량손실이 나타났다. 기존 PVC 컴파운드와의 비교에서는 폴리에틸렌 컴파운드가 2~3배정도 저항성이 높은 것으로 나타났다.

한편 케이블 포설이나 취급시의 외상방지를 위해 필요한 특성인 관통저항성을 시험한 결과가 표 4에 나와 있다. 내마모성 시험결과와 마찬가지로 선형

고분자가 우수한 특성을 보였다. 이와 같은 결과로부터 기계적 특성에서 사슬의 분지도가 매우 중요함을 알 수 있다. 역시 관통저항성에서도 기존 PVC보다 우수한 특성을 나타내었다.

표 3. 컴파운드의 내마모성

Table 3. Abrasion resistance of compounds

시료	내마모성 (mg/500 rev)	
	1회	2회
LDPE1	35.5	42.0
LDPE2	41.7	44.0
LLDPE1	29.5	22.4
LLDPE2	27.3	18.8
MDPE	27.0	17.9
HDPE	26.1	24.8
PVC	101.0	115.4

표 4. 컴파운드의 관통저항성

Table 4. Cut-through resistance of compounds

시료	힘 (N)
LDPE1	46.9
LDPE2	49.0
LLDPE1	50.1
LLDPE2	44.7
MDPE	80.6
HDPE	95.3
PVC	43.6

4. 결 론

본 연구에서는 현재 지중 배전케이블의 외피 재료인 PVC를 대체하기 위하여 6종의 폴리올레핀 기 저수지로 만들어진 컴파운드를 제조하여 그 특성을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수증기투과 시험에서 모든 폴리올레핀 컴파운드는 PVC보다 수 십배 이상의 우수한 저항성을 나타내었으며, 분자구조 및 밀도가 수증기투과 특성에 큰 영향을 주었다.

2) 내마모성 및 관통저항성 시험에서 선형의 폴리올레핀이 보다 우수한 특성을 나타내었으며, 따라서 분자구조가 기계적 특성에 크게 기여함을 알 수 있었다.

3) 모든 시험에서 폴리올레핀 컴파운드는 기존

PVC를 대체할 수 있는 특성을 갖는 것으로 나타나 향후 지중 배전케이블용 외피 재료로 적용이 기대된다.

[참고문헌]

- [1] "22.9 kV 동심중성선 전력케이블", 한전표준 구매시방서 ES 126-650~664, 2000.
- [2] 설규환 외, "2000년 지중고장 분석 및 대책", 한전 서울지역본부, pp. 10, 2001.
- [3] "지중 배전케이블의 절연성능 향상에 관한 연구", 한전전력연구원 연구과제 중간보고서, TM.00PC02.M2001.451, pp. 7, 2001.
- [4] W. S. M. Geurts et al., "Moisture penetration in XLPE and PILC Cables", Proc. of Jicable'99, pp. 353, 1999.
- [5] G. Graham and S. Szanislo, "Insulating and Semiconductive Jackets for Medium and High Voltage Underground Power Cable Applications", *IEEE Trans. Electr. Insul. Magazine*, Vol. 11, pp. 5, 1995.
- [6] O. Henschke et al., "New polyethylene compounds for cable jacketing applications", Proc. of Jicable'99, pp. 636, 1999.
- [7] ASTM E 96, "Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials", 1995.
- [8] ASTM D 3389, "Standard Test Methods for Coated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform, Double-Head Abrader)", 1994.