

논문 15-8-6

지중 배전케이블용 자켓 컴파운드의 특성평가

Evaluation of Jacket Compounds for Underground Distribution Power Cables

한재홍*, 송일근*, 김동명*, 이재봉*, 정창수**

(Jae Hong Han*, Il Keun Song*, Dong Myung Kim*, Jae Bong Lee*, and Chang Soo Jung**)

Abstract

In order to replace the jacket material for URD power cables, the 6 kinds of polyethylene compounds were manufactured and evaluated. The characteristics of the compounds were investigated by water vapor transmission (WVT) test, thermal and mechanical test. In WVT test, all the polyethylene compounds showed the superior water resistance to conventional PVC. The molecular structure and density of polyethylene play an important role in WVT. Also, the polyethylene compounds showed the suitable characteristics in thermal and mechanical test. Especially, the linear polyethylene compounds showed the superior characteristics to LDPE ones. Due to the fillers in compounds, the abrasion resistance was decreased and the cut-through resistance was increased. From this study, it can be considered that the polyethylene compounds may be suitable to jacket material for URD power cables.

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

1. 서론

지중 배전케이블은 중요 수용가에 지중으로 전력을 공급하는 기자재로서 산업발전과 환경친화화 점점 강조되면서 적용이 증가하는 추세이다. 이러한 지중 배전케이블은 포설과 고장시의 복구에 많은 인력과 비용을 수반하기 때문에 전력회사의 현안문제로 대두되고 있다[1-3].

현재 국내 지중 배전케이블로 가장 많이 사용되고 있는 것은 수밀형 22.9 kV 동심중성선 전력케

이블 (CNCV-W)이다. 1998년 이전에는 도체가 수밀되지 않은 전력케이블인 CNCV를 주로 사용하였으나, 최근에는 도체를 통한 수분침투의 억제를 강조하는 추세이기 때문에 수밀형으로 전환되었다[4]. 하지만 이러한 변화에도 불구하고 전력케이블의 고장은 감소되지 않고 있는 실정이다.

국내에서 발생하고 있는 고장의 대부분은 외상 고장을 제외하고는 절연층으로의 수분침투에 의한 것으로 알려져 있다[5-6]. 케이블 구조상 도체가 수밀되어 있고, 중성선의 상하부에 부풀음테이프를 적용하고 있기 때문에 수분침투는 일어나기 곤란하다. 하지만, 전력케이블에서의 수분침투가 확산 과정에 의존하기 때문에 자켓을 통한 radial 방향의 수분침투가 불가피하며[7], 현재와 같이 PVC (polyvinyl chloride)를 자켓 재료로 사용하는 경우에는 PVC가 극성기를 가진 재질이기에 때문에 궁극

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

** : 한국전력공사 감사실
2002년 2월14일 접수, 2001년 3월21일 1차심사,
2002년 5월6일 2차심사, 2002년 5월17일 심사완료

표 1. 기저수지의 물리적 특성.

Table 1. Physical properties of base resins.

물리적 성질	시험방법	단위	LDPE		LLDPE		MDPE	HDPE
			1	2	1	2		
용융지수 (190℃, 2.16 kg)	ASTM D1238	g/10min	0.3	0.33	1.1	2.3	0.23	0.21
밀도 (23℃)	ASTM D1505	g/cm ³	0.923	0.92	0.921	0.921	0.935	0.942
상온 인장강도	ASTM D638	MPa	18.9	18.4	20.0	20.7	34.5	34.8
상온 신장율	ASTM D638	%	593	684	836	872	860	865
DSC 용융점		℃	114	112	125	126	128	131
굴곡탄성율	ASTM D790	MPa	254.8	266.2	472.3	450.8	787	882
저온취화온도, F ₅₀ Temp.	ASTM D746	℃	<-70	<-50	<-76	<-70	<-118	<-118
Shore D 경도	ASTM D2240		48	49	49	48	56	60

적으로 수분침투를 억제하기는 곤란하다[8]. 따라서 전력케이블을 원래의 기대수명까지 운전하기 위해서는 자켓 재료에 대한 면밀한 검토가 수반되어야 한다.

본 연구에서는 기존 PVC 자켓 재료를 대체하기 위하여 6종의 폴리에틸렌 (polyethylene) 수지로 만들어진 컴파운드를 제조하여 특성을 평가하였다. 특성평가의 목적은 자켓 재료로서의 적합성을 평가하기 위한 것이며, 이와 같은 연구를 통하여 최적의 자켓 재료가 선정된다면 지중 배전케이블의 수명이 크게 향상될 것으로 기대된다.

2. 실험

2.1 기저수지 선정 및 컴파운드 제조

기존의 PVC 자켓 재료를 대체할 수 있는 컴파운드를 개발하기 위하여 현재 국내에서 시판되고 있는 총 6종의 폴리에틸렌을 기저수지 (base resin)로 선정하였다. 자켓 재료로서 폴리에틸렌을 선정한 이유는 저가이면서도 가공이 용이하고, 물리적 특성이 우수하다고 알려져 있기 때문이다[9]. 본 연구에서는 표 1과 같은 물리적 특성을 가진 LDPE 2종, LLDPE 2종, MDPE 및 HDPE 각각 1종을 사용하였다. 표에서 알 수 있는 것처럼 LDPE와 LLDPE는 거의 유사한 밀도를 가진 제품이다.

표 2. 자켓 컴파운드의 조성.

Table 2. Compositions of jacket compounds.

요소	함량 (pphr)
기저수지	100
산화방지제	0.5
가공조제	0.2
카본블랙	2.6

한편 자켓용 컴파운드의 조성은 표 2와 같으며, 기저수지의 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.

2.2 시험방법

본 연구에서 PVC 자켓 재료를 대체하려는 목적은 절연층으로의 수분침투를 억제하고, 포설 또는 취급시 발생할 수 있는 기계적 손상을 방지하는데 있다. 따라서 이러한 특성을 평가하기 위하여 다음과 같은 시험을 기저수지 및 컴파운드에 대해 모두 수행하였으며, 기존 PVC 자켓 재료와 특성을 비교하였다.

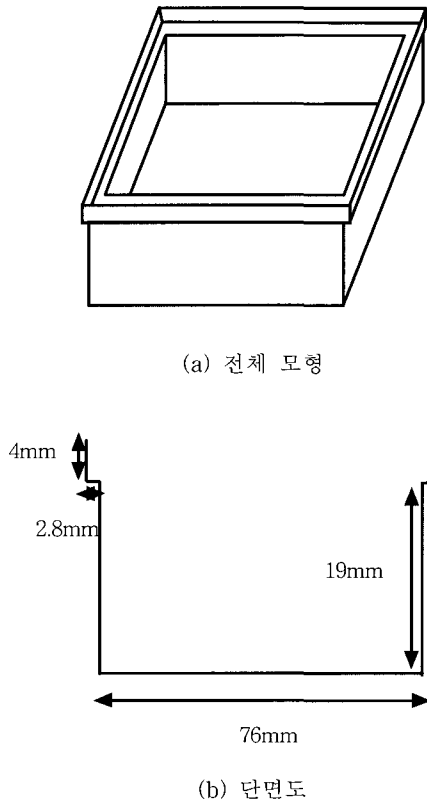


그림 1. 수증기투과 시험용 접시.
Fig. 1. Dish for water vapor transmission test.

Radial 방향으로의 수분침투 특성을 평가하기 위하여 ASTM E 96에 의거하여 수증기투과 (water vapor transmission; WVT) 시험을 실시하였다[10]. 이 시험법에는 2가지의 기본 방법이 있는데, 본 연구에서는 전력케이블 절연층으로의 수분침투가 자켓을 통해서 일어나기 때문에 건식방법 (desiccant method)을 택하여 평가하였다. 건식 방법은 시험시료로 desiccant가 들어있는 시험접시의 입구를 밀봉하여 일정한 온습도 조건에 설치한 후 주기적으로 시험접시의 중량을 측정하여 시료를 통해 desiccant로 이동하는 수증기투과의 속도를 결정하는 것이다.

본 시험에 사용된 시험접시는 부식되지 않는 재료로써 물이나 수증기가 투과되지 않아야 하고, 가벼울수록 좋기 때문에 알루미늄 재질로 된 것을 사용하였다. 자세한 크기 및 모양이 그림 1에 나와

있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 시험접시 입구의 크기는 76 × 76 mm로 제작하여 시험면적을 약 5700 mm²로 하였다. 시험 중 시료의 휨이나 수축을 고려하여 시험접시 입구에 테두리를 2.8 mm 정도 확보하여 시료부착이 용이하도록 하였다. 또한 테두리 근처에 4 mm의 rim을 가공하여 측면으로의 수분침투를 방지하였으며, desiccant가 놓여지는 시험접시 내부의 높이는 19 mm로 제작하였다.

시험에 사용한 desiccant는 크기가 2~3 mm 정도인 무수 염화칼슘 (CaCl₂)이며, 시료를 시험접시에 부착하는데 사용한 실란트는 알루미늄 금속과 폴리에틸렌 재질의 접착에 사용하는 제품이다. 이와 같이 시험접시에 시료를 조립한 다음 무게를 측정하고, 온습도 조절이 가능한 시험챔버에 설치하였다. 시험조건은 규격에 따라 온도 32±0.6℃, 상대습도는 50±2%를 선택하였다. 한편 시험시간에 따른 주기적 중량측정에는 0.1 mg까지 측정이 가능한 전자저울을 사용하였으며, 수증기투과율을 얻기 위하여 8~10개의 데이터를 확보하였다.

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 표현되는데,

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

여기에서 G는 직선에서의 중량변화 (g), t는 시간 (h), 직선 기울기 (g/h), A는 시험접시 입구면적 (m²), WVT는 수증기투과율 (g/h · m²)이다[10].

한편 열적 특성을 평가하는 데에는 가열노화 후의 기계적 잔율과 가열변형성을 시험하였다. 시험법은 ASTM D 638과 KSC C 3004에 의거하였으며[11-12], 한국전력공사 구매규격의 요구특성을 적용하였다[4]. 표 3은 이러한 자켓 재료의 요구특성을 요약한 것이다.

자켓 재료의 기계적 특성평가에서는 내마모성 및 관통저항성 (cut-through resistance)을 시험하

표 3. 가열 후의 자켓 재료 요구특성.

Table 3. Requirements of jacket materials after heating.

요구특성	요구치
오븐 열화 (100±1℃, 120시간)	
인장강도 잔율 (%)	85 이상
신장율 (%)	60 이상
가열변형 (130±3℃, 1 kgf)	
최대 변형 (%)	50 이하

였다. 내마모성 평가에서는 ASTM D 3389에 의거하여 시험하였으며, 특정주기 수에서의 마모를 시험하는 Method B를 적용하였다[13]. 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.

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

한편 관통저항성의 시험에서는 관련 규격이 확보되지 않아서 UCC (Union Carbide Corp.)에서 사용하는 방법에 따라 시험을 실시하였다[8]. 관통저항성은 wedge 형태의 칼날이 1.9 mm 두께의 시료를 관통할 때 걸리는 최대 force로 정의되며, universal tester를 사용하여 압축모드로 5회 실시하였다. 칼날은 25.4 mm×0.76 mm (넓이×두께)의 wedge이며, 45도 각도를 갖도록 제작하였다. 본 시험에서는 universal tester의 crosshead 속도를 분당 10 mm로 설정하였다.

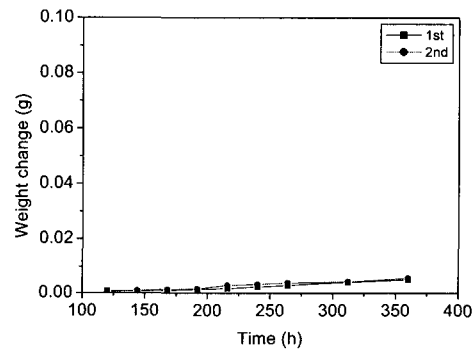
3. 결과 및 고찰

3.1 수증기투과 특성

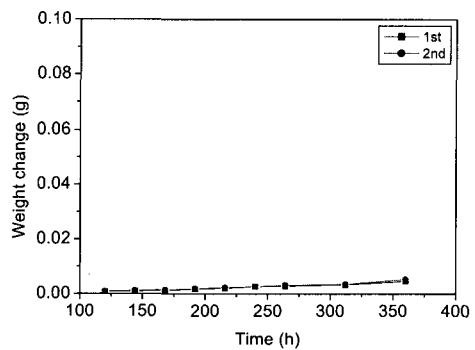
폴리에틸렌 기저수지에 대한 수증기투과 시험을 15일간 실시하였으며, 그림 2는 이 중에서 MDPE와 HDPE 수지의 경우만을 대표적으로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 시험시간의 증가에 따라 수증기 투과가 약간 증가하는 경향이

나타났으며, 다른 수지의 경우에도 동일하였다. 또한 그림의 기울기로부터 수증기투과율을 계산한 결과가 표 4에 나와 있다. 이를 통해서 알 수 있는 것처럼 HDPE > MDPE > LLDPE > LDPE 순으로 수증기투과에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 상기의 결과로부터 수증기투과율은 재료의 밀도와 상관성이 있음을 알 수 있으며, 또한 선형 고분자에서 특성이 우수하므로 사슬의 분지도 (degree of chain branching)도 영향이 있는 것으로 판단된다.

기저수지와 동일한 방법으로 자켓용 컴파운드에 대해 수증기투과 시험을 실시하였으며, 그림 3은 이 중에서 MDPE, HDPE 및 PVC 컴파운드의 경



(a) MDPE



(b) HDPE

그림 2. MDPE와 HDPE 수지의 수증기투과.
Fig. 2. WVT of MDPE and HDPE resins.

표 4. 자켓용 기저수지의 수증기투과율.

Table 4. WVT rate of base resins for jacket material.

(단위: $g/h \cdot m^2$)

시료명	1차	2차
LDPE1	0.0068	0.0062
LDPE2	0.0068	0.0064
LLDPE1	0.0053	0.0054
LLDPE2	0.0067	0.0063
MDPE	0.0033	0.0038
HDPE	0.0028	0.0030

표 5. 자켓용 컴파운드의 수증기투과율.

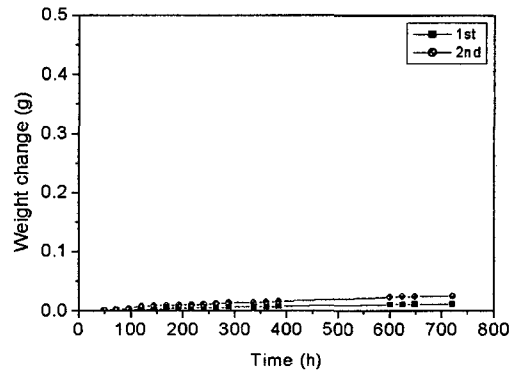
Table 5. WVT rate of compounds for jacket material.

(단위: $g/h \cdot m^2$)

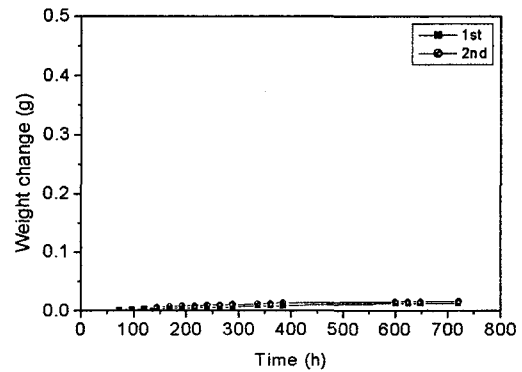
시료명	1차	2차
LDPE1c	0.0076	-
LDPE2c	0.0061	-
LLDPE1c	0.0063	0.0058
LLDPE2c	0.0068	0.0051
MDPEc	0.0030	0.0052
HDPEc	0.0033	0.0034
PVCc	0.0718	0.0742

-: not tested

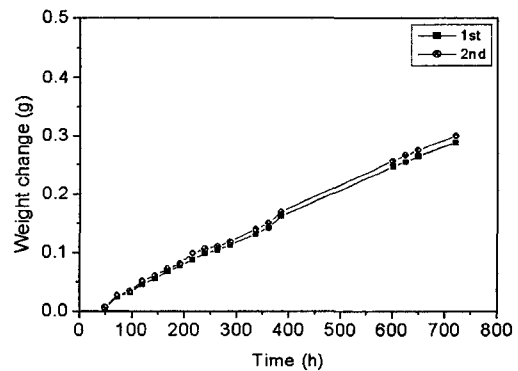
우를 대표적으로 나타낸 것이다. 그림에서 보여지는 것처럼 시험시간의 증가에 따라 수증기 투과율은 약간 증가하는 경향이 나타났으며, 15일 이후에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 그림의 기울기로부터 구해진 수증기 투과율이 표 5에 나와 있다. 표에서는 기저수지와 구별을 위해서 시료명 끝에 "c"를 나타내었다. 표에서 알 수 있는 것처럼 기저수지의 경우와 유사하게 HDPE > MDPE > LLDPE > LDPE 순으로 수증기투과에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 여기에서 흥미로운 사실은 기존 PVC 컴파운드가 폴리에틸렌 컴파운드보다 수십 배 이상의 높은 수증기 투과율을 나타낸 것이다. 이는 PVC 분자구조내에 존재하는 극성기 (polar



(a) MDPE 컴파운드



(b) HDPE 컴파운드



(c) PVC 컴파운드

그림 3. MDPE, HDPE 및 PVC 컴파운드의 수증기투과.

Fig. 3. WVT of MDPE, HDPE and PVC compounds.

표 6. 기저수지의 가열노화 후 기계적 잔율.

Table 6. Mechanical remaining value of base resins after air oven aging.

열적 특성	단위	LDPE		LLDPE		MDPE	HDPE
		1	2	1	2		
상온 인장강도	Mpa	18.9	18.4	20.0	20.7	34.5	34.8
상온 신장율	%	593	684	836	872	860	865
오븐노화, 100±1℃, 120 hrs							
인장강도 잔율	%	52	46	102	100	95.6	96.2
신장율 잔율	%	69	70	90	96	86	89
오븐노화, 100±1℃, 168 hrs (참고시험)							
인장강도 잔율	%	74	43.1	108	104	95.5	95.4
신장율 잔율	%	20	19.4	94	90	96.1	96.5

표 7. 컴파운드의 가열노화 후 기계적 잔율.

Table 7. Mechanical remaining value of compounds after air oven aging.

가열노화 특성	단위	LDPE		LLDPE		MDPEc	HDPEc	PVCc
		1c	2c	1c	2c			
상온 인장강도	Mpa	19.9	19.3	23.1	26.3	40.1	29.5	15.6
상온 신장율	%	577	661	856	912	852	717	292
오븐노화, 100±1℃, 120 hrs								
인장강도 잔율	%	83	88	85	87	97	98	93
신장율 잔율	%	104	92	97	100	97	84	77
오븐노화, 100±1℃, 168 hrs (참고시험)								
인장강도 잔율	%	82	87	82	78	95	100	91
신장율 잔율	%	106	91	96	98	94	87	75

group)에 의해 나타나는 것으로 판단된다[8].

3.2 열적 특성

표 6은 100℃의 오븐에서 기저수지 시료를 각각 120시간, 168시간 가열노화시킨 후 기계적 잔율을 측정된 결과이다. 여기에서 168시간 가열노화는 참고적으로 실시한 시험이다. 표에서 알 수 있는 것처럼 분자구조가 선형인 LLDPE, MDPE 및 HDPE는 매우 우수한 기계적 잔율을 나타내었으며, 시험시간에 대한 의존성은 매우 적었다. 반면 긴 사슬분자를 갖는 LDPE의 경우에는 가열노화 후에 기계적 잔율이 매우 취약한 것으로 나타났으며, 시험시간의 증가하게 되면 특히 신장율이 크게 저하되었다. 이는 낮은 용융점을 갖는 LDPE가 열적 열화에 의해 고분자 사슬이 취약해지면서 점탄성이 저하되어 나타난 것으로 판단된다[14].

반면 컴파운드를 가열노화시킨 후 측정된 기계적 잔율이 표 7에 나와 있는데, 120시간 시험에서 LDPE1c만을 제외하고는 모든 컴파운드가 요구특성을 만족하였다. 또한 168시간의 시험에서도 큰 변화는 관찰되지 않았다. 이와 같이 기저수지의 결과와는 다르게 기계적 잔율이 양호하게 나타난 것은 컴파운드에 들어 있는 산화방지제가 열적 열화에 대한 저항성을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

한편 130℃, 1kgf의 하중으로 실시한 가열변형성 시험결과가 표 8에 나와 있다. 표에서 알 수 있는 것처럼 모든 시료가 요구특성을 만족하는 것으로 나타났으며, 기저수지와 컴파운드 사이의 차이도 거의 보이지 않았다. 이는 가열변형성 시험이 시료의 용융점에 크게 의존함을 보여주는 것이다. LDPE로 된 시료의 경우에는 용융점이 낮아서 시험을 실시하지 못하였다.

표 8. 기저수지와 컴파운드의 가열변형성.

Table 8. Heat deformation of base resins and compounds.

시료		가열변형성 (%)
기저수지	LDPE1	-
	LDPE2	-
	LLDPE1	13.5
	LLDPE2	12.7
	MDPE	10.1
	HDPE	9.0
컴파운드	LDPE1c	-
	LDPE2c	-
	LLDPE1c	13.4
	LLDPE2c	12.9
	MDPEc	10.0
	HDPEc	9.5
	PVCc	8.2

-: not tested

표 9. 기저수지와 컴파운드의 내마모성.

Table 9. Abrasion resistance of base resins and compounds.

시료		내마모성 (mg/500 rev)	
		1회	2회
기저수지	LDPE1	19.3	18.6
	LDPE2	14.1	14.0
	LLDPE1	7.7	10.7
	LLDPE2	12.5	11.5
	MDPE	10.4	10.2
	HDPE	11.3	14.2
컴파운드	LDPE1c	35.5	42.0
	LDPE2c	41.7	44.0
	LLDPE1c	29.5	22.4
	LLDPE2c	27.3	18.8
	MDPEc	27.0	17.9
	HDPEc	26.1	24.8
	PVCc	101.0	115.4

3.3 기계적 특성

표 9는 기저수지와 컴파운드에 대해 내마모성 시험을 실시한 결과이다. 표에서 보여지는 것처럼 선형 고분자인 LLDPE, MDPE 및 HDPE는 우수

표 10. 기저수지와 컴파운드의 관통저항성.

Table 10. Cut-through resistance of base resins and compounds.

시료		힘 (N)
기저수지	LDPE1	41.6
	LDPE2	39.6
	LLDPE1	45.4
	LLDPE2	40.2
	MDPE	61.2
	HDPE	61.1
컴파운드	LDPE1c	46.9
	LDPE2c	49.0
	LLDPE1c	50.1
	LLDPE2c	44.7
	MDPEc	80.6
	HDPEc	95.3
	PVCc	43.6

한 내마모성을 보였으나, LDPE의 경우에는 다소 큰 중량손실이 나타났다. 또한 컴파운드가 기저수지보다 많은 중량손실을 나타내고 있는데, 이는 충전제 첨가에 따라 시료 표면이 거칠어지면서 마찰이 증가하여 발생한 것으로 판단된다. 기존 PVC 컴파운드와의 비교에서는 폴리에틸렌 컴파운드가 2~3배 정도 저항성이 높은 것으로 나타났다.

한편 케이블 포설이나 취급시의 외상방지를 위해 필요한 특성인 관통저항성을 시험한 결과가 표 10에 나와 있다. 내마모성 시험결과와 마찬가지로 선형 고분자가 우수한 특성을 보였으며, 컴파운드가 보다 높은 저항성을 나타내었다. 이와 같은 결과는 충전제, 특히 카본블랙의 첨가에 의해 저항성이 증가하였다고 판단된다[15]. 역시 관통저항성에서도 기존 PVC보다 우수한 특성을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 지중 배전케이블의 자켓 재료인 PVC를 대체하기 위하여 6종의 폴리에틸렌 기저수지로 만들어진 컴파운드를 제조하여 그 특성을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수증기투과 시험에서 모든 폴리에틸렌 컴파운드는 PVC보다 수 십배 이상의 우수한 저항성

- 을 나타내었으며, 분자구조 및 밀도가 수증기 투과 특성에 큰 영향을 주었다.
2. 가열노화 후의 기계적 잔율은 선형 고분자가 우수한 것으로 나타났으며, 컴파운드에서 산화방지제가 노화억제에 중요한 역할을 하였다.
 3. 가열변형성 시험에서 모든 폴리에틸렌 시료는 요구특성을 만족하였으며, 기저수지와 컴파운드 사이의 특성차이가 거의 나타나지 않아서 시료의 용융점이 중요한 요소임을 알았다.
 4. 내마모성 및 관통저항성 시험에서 선형의 폴리에틸렌이 보다 우수한 특성을 나타내었으며, 컴파운드의 경우 충전제 첨가에 의해 내마모성은 감소하고 관통저항성은 증가하는 경향이 나타났다.
 5. 모든 시험에서 폴리에틸렌 컴파운드는 기존 PVC를 대체할 수 있는 특성을 갖는 것으로 나타나 향후 지중 배전케이블용 자켓 재료로 적용이 기대된다.

참고 문헌

- [1] 정창수, 이우선, 한재홍, “지중 배전케이블의 고장원인 특성분석”, 전기전자재료학회논문지, 12권, 5호, p. 423, 1999.
- [2] 한재홍, 송일근, 임장섭, 이동영, “전력케이블용 반도체재료의 설계기술”, 전기전자재료학회지, 13권, 2호, p. 12, 2000.
- [3] 김위영, 신영준, 윤대혁, 박태곤, “22.9 kV CV 전력케이블의 14주기 고온 열화에 대한 교류 파괴특성”, 한국전기전자재료학회 2001학계학술대회논문집, p. 601, 2001.
- [4] “22.9 kV 동심중성선 전력케이블”, 한전표준 구매시방서 ES 126-650~664, 2000.
- [5] 설규환, “2000년 지중고장 분석 및 대책”, 한전 서울지역본부, p. 10, 2001.
- [6] 한재홍, 김주용, 김동명, “지중 배전케이블의 절연성능 향상에 관한 연구”, 한전전력연구원 연구과제 중간보고서, TM.00PC02.M2001.451, p. 7, 2001.
- [7] W. S. M. Geurts, R. Ross, M. G. M. Megens, and E. F. Steenis, “Moisture penetration in XLPE and PILC cables”, Proc. of Jicable'99, p. 353, Versailles, France, 1999.
- [8] G. Graham and S. Szaniszló, “Insulating and semiconductive jackets for medium and high voltage underground power cable applications”, IEEE Trans. Elec. Insul., Magazine, Vol. 11, p. 5, 1995.
- [9] O. Henschke, K. Bartschek, and M. Aarts, “New polyethylene compounds for cable jacketing applications”, Proc. of Jicable'99, p. 636, Versailles, France, 1999.
- [10] ASTM E 96, “Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials”, 1995.
- [11] ASTM D 638, “Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics”, 1996.
- [12] KSC C 3004, “고무 폴리스틱 절연전선 시험 방법”, 1998.
- [13] ASTM D 3389, “Standard Test Methods for Coated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform, Double-Head Abrader)”, 1994.
- [14] L. H. Sperling, “Introduction to Physical Polymer Science”, John Wiley & Sons, Inc., p. 398, 1986.
- [15] M. Chanda and S. Roy, “Plastics Technology Handbook”, Van Nostrand Reinhold Company, p. 109, 1987.