

이중절연 자기융착테이프 제조기술

Manufacturing technology of two-layer self bonding insulating tape

조용석, 이철호, 심대섭*
(Y.S. Cho, C. H. Lee, D. S. Shim)

Abstract

Two-layer self bonding insulating tape consists of butyl rubber(IIR ; Isobutylene-isoprene rubber) adhesive layer and polyethylene protective film. Butyl rubber have inherent characteristics such as resistance to corrosion and water, low temperature flexibility, excellent electrical insulating properties also resistance to environmental effect such as ozone and ultraviolet. Polyethylene film was used for the purpose of good insulating properties and resistance to ozone and ultraviolet. The tape was manufactured using extrusion and calender method.

Key Words : Two-layer self bonding insulating tape, Butyl rubber, Polyethylene

1. 서 론

송·배전 전력 계통에 있어서 고분자 절연재료의 사용이 빈번해짐에 따라 전기적, 기계적, 내환경적 특성 등 요구사항이 다양해지고 고 기능을 요구하는 추세에 있다.

이에 전력기구나 케이블 접속시 사용되는 전기테이프 또한 다양성과 고 기능을 요구하는 방향으로 관심이 모아지고 있다. 특히, 배전 선로의 케이블에 있어서 절연, 방수, 방식 등의 목적으로 사용되고 있는 자기융착성 절연테이프는 접착력이 있어서 스스로 유착되는 테이프로 무극성 고분자인 부틸 고무를 모체로 접착성 및 방수기능을 유지하면서 전기절연 특성뿐만 아니라 고분자의 포화 구조에 기인한 내환경적 요소로 인하여 태양 광선의 자외선 및 자연환경에 대한 내후성과 내열성 등이 우수한 제품으로 인정받아 왔다 [1]. 그러나 자기융착 테이프는 접착 특성으로 인해 발생할 수 있는 외부 환경으로부터의 오염을 차단하기 위해 PVC 비닐 테이프에 의한 마감처리를 한다. 이러한 이중 시공의 불편함을 해소

하고 기존의 PVC 비닐 테이프의 단점인 내후성을 개선한 제품의 사용이 필요하였다.

본 연구에서는 전기 절연성, 내전압 특성 및 내후성이 우수한 폴리에틸렌 필름의 개발 및 이를 일체형으로 작업성을 개선하고 내환경적 특성이 요구되는 이중절연 자기융착테이프의 제조방법에 대해 고찰하였다. 또한 절연, 방수, 방식 및 내열특성이 우수한 부틸 컴파운드의 개발을 위해 필러 및 카본블랙 함량의 조절과 오존방지제 및 산화방지제를 적절하게 배합하였고, 접착특성 부여를 위해 상용성이 있는 가소제를 선택하고 함량을 조절하였다. 이에 대한 특성 평가항목 및 기준은 한전 구매시방서에 준하여 진행하였다.

2. 본 론

2.1 부틸 고무 접착층의 개발

접착제인 부틸 컴파운드의 설계에 있어서 우선적으로 고려되어야 될 사항은 필름 계면과 적절한 접착력으로 사용 분위기 하에서 일체형 구조를 유지시킴으로서 시공 후 벗겨지거나 접착 성분이 흘러내리지 않는 내열성을 가져야 한다. 또한 컴파운드 설계에 있어서 중요한 사항은 점탄성의 조절로서 점도

평일산업(주) 기술연구소
Tel : 031) 420-6683
Fax : 031) 424-8400
* 한국전기연구원

조절 및 필름과의 원활한 접착을 위한 컴파운드의 탄성 조절 대한 배합표는 표 1과 같다.

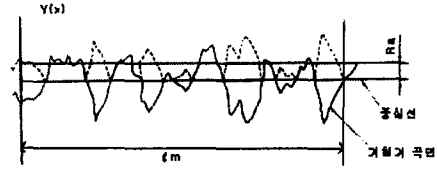
표 1 부틸 고무 컴파운드 조성비

종류	부틸 고무	필러	스테아린산	접착수지	가소제	산화방지제
합량 (phr)	100	145	5	15	50	1

부틸 고무는 EXXON사의 부틸 고무를 사용하였고, 필러는 우산화학의 CaCO₃를 사용하였으며, 접착수지는 연화점이 100℃인 접착수지를 사용하여 내열 특성을 향상시켰다. 가소제는 부틸 고무의 무니점도를 낮추고 접착수지의 습윤성 특성을 향상시켜 접착력을 증가시키는 역할을 한다. 또한 부틸 고무 분자의 불포화 구조에 기인하는 열 열화에 의해 발생할 수 있는 산화를 방지하기 위해 산화방지제를 사용하였다. 믹싱은 10 ℓ의 시험용 니더에서 부틸 고무 소련작업 후 접착수지를 우선적으로 첨가하여 분산시킨 후 필러 및 기타 첨가제를 넣어 충분히 혼련시켰다. 니더에서 혼련된 컴파운드는 물에서 압출기 투입이 용이하도록 절단하였다.

2.2 폴리에틸렌 필름의 설계

폴리에틸렌 필름은 외부 오염으로부터 차단 및 부틸 고무 컴파운드의 실링 보조 역할로서 적절한 인장강도 및 신장율을 유지하고 우수한 내후성을 요구한다. 이에 산화방지제, 열 안정제 등의 일반적인 첨가제 외에 자외선 안정제와 카본블랙을 첨가하여 내후성을 강화하였다. 테이프로서의 전기적 절연특성은 대부분이 폴리에틸렌 필름의 전기절연 특성에 의해서 결정된다. 전계 집중에 의한 절연 파괴의 내전압 특성값을 올리려면 고전압 절연재료는 비유전율 및 유전손실 값이 낮아야 하고, 높은 체적저항율을 유지하여야 한다. 유전 특성에 대한 파악은 Tettex사의 Schering bridge를 사용하여 측정하였고, 체적저항은 Hewlett packard사의 체적저항계를 사용하여 측정하였다. 또한 테이프로서의 표면 특성을 만족하기 위하여 0.1±0.05 mm두께의 필름 양면을 40 kV 전압으로 코로나 방전 처리하여 약 Ra = 0.2 μm의 표면 거칠기를 형성한 후 부틸 컴파운드가 붙지 말아야 할 면을 이형제 처리하였다. 표면 거칠기 측정에 사용된 기기는 Mitutoyo사의 Surf-test 301로서 다음의 그림 1에서 같이 구할 수 있다.



$$Ra = \frac{1}{l m} \int_0^{l m} |Y(x)| dx$$

그림 1 표면 거칠기의 계산

2.3 테이프의 제조

이중절연자기용착테이프 제조공정은 캘린더에 의한 방법과 압출 방식에 의한 방법으로 구분 지을 수 있다. 여기에 적용된 방식은 그림 2에서와 같이 후자의 압출 방법으로 접착성이 높은 테이프의 균일한 표면 상태와 밀도 및 0.5 mm의 얇은 두께 생산으로 인해 발생하는 컴파운드의 압출 부하를 최소화하기 위하여 압출기 다이를 설계하고 다이의 내부를 유선형으로 만들었으며 그 끝단에 두께조절을 위한 금형을 설치하였다. 또한 두께 공차의 최소화를 위하여 압출기 후반부에 수직형의 캘린더를 설치하여 컴파운드와 필름을 접착하였으며 최종적으로 두께를 0.5 ± 0.05 mm로 일정하게 유지하여 제품을 생산하였다.

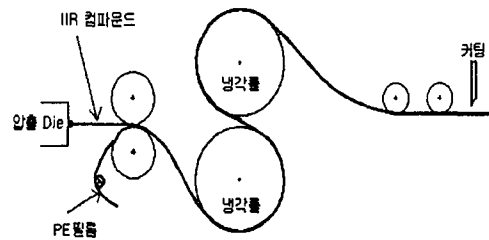


그림 2 테이프 제조방법

3. 결과 및 고찰

본 실험의 특성값에 대한 기준 및 결과는 한국전력 구매시방서(규격번호 112-586~587)에 의하였다.

3.1 전기적 특성

이중절연자기용착테이프의 부틸 컴파운드 및 폴리에틸렌 필름 모두에 있어서 카본블랙의 영향은 내후성 향상 목적으로 매우 중요하다. 그러나 절연재료

와 상반되는 도전성 증가에도 상당한 영향을 미친다 [2, 3]. 따라서 카본블랙 함량의 증가는 절연재료에 있어서 유전특성을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 부틸 컴파운드 에 있어서 최적의 카본블랙을 선택하기 위한 함량에 따른 시험 결과를 다음의 나타내었다. 그림 3에서와 같이 함량에 따른 비유전율은 카본블랙 함량이 7 phr이 됨에 따라 급격한 증가를 보이며 유전정점은 카본블랙 함량이 증가함에 따라 점차로 증가하고 7 phr에서 잠시 주춤하나 증가세는 계속되고 있다.

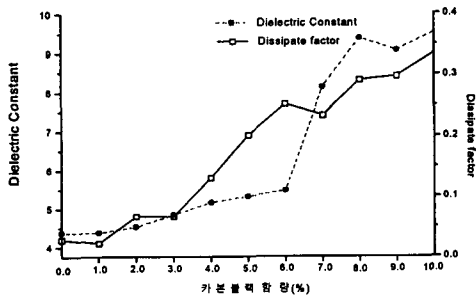


그림 3 카본블랙 함량별 비유전율 및 유전정점

또한 그림 4에서 보듯이 체적저항율의 변화는 카본블랙 함량 5 phr을 기점으로 급격히 감소하며 8 phr 이후 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 비유전율, 유전정점 및 체적저항율을 고려하여 볼 때 5 phr이 최적의 배합이라 보여진다. 이러한 카본블랙 함량 증가에 따라 나타나는 비유전율 및 유전정점등의 증가와 체적저항율의 감소 효과는 카본블랙 표면의 산화그룹인 quinone (>=O), phenol(>OH), carboxylic acid(>-COOH), lactone(>-COO-)등에 의한 극성 및 정전용량 축적의 증가 효과에 따라 절연 특성을 저하시키는 원인을 제공한다고 보여진다 [4].

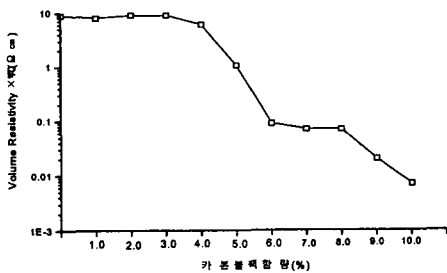


그림 4 카본블랙 함량에 따른 체적저항율

폴리에틸렌 필름은 카본블랙이 일부 첨가되지만 산화안정제와 자외선 안정제 등의 첨가에 의해 내후성 특성을 조절하고 카본블랙의 첨가에도 불구하고 전기적 특성값은 매우 우수하며 그 값은 표 2와 같다.

표 2 폴리에틸렌 필름의 전기적 특성값

구 분	비유전율	유전정점	체적저항율 (Ω cm)
폴리에틸렌	1.30	0.0012	5×10^{10}

4.2 내후성

이중절연자기용착테이프는 실제 사용되는 곳이 태양광 및 기타 오염물과 강우, 눈, 이슬 등의 습기 노출되어 있으며 이는 전기적 스트레스가 겹쳐 발연되는 가혹한 환경에 처하는 경우가 많이 있다. 이런 가혹한 환경에 의한 절연손실은 전력손실을 커지게 하며 절연성능을 저하시키는 결과를 초래한다. 내후성 시험은 이 과정을 모의한 실험으로 태양광이 가지고 있는 맑은 에너지 중 자외선을 조사하여 열화 촉진 상태를 알아보기 위한 실험으로 본 실험에서는 315 nm 자외선 파장을 1000시간 동안 조사하였고 실험 기간 중에 옥외에서의 환경적인 공격을 모의하기 위하여 60℃, 상대습도 100%를 주기적으로 반복시켜 테이프 표면에서의 열화를 촉진하는 시험을 진행하였다. 폴리에틸렌 필름은 자외선 안정제 첨가에 대한 효과를 확인하기 위하여 첨가되지 않은 일반 폴리에틸렌 필름과 동일한 조건에서 시험을 진행하였으며 이에 대한 결과를 그림 5에 나타내었다.



(일반 폴리에틸렌 필름)
⇒ 표면크랙



(자외선안정제 첨가)
⇒ 표면양호

그림 5 폴리에틸렌 필름의 내후성 시험 결과

폴리에틸렌 필름 고유의 자외선 저항성에도 불구하고 시험 종료 후 필름이 크게 손상된 것으로 시험이 매우 가혹함을 알 수 있었으며 또한 자외선 안정제가 첨가된 필름이 양호한 것으로 판단 할 때 자외선 안정제가 매우 유용한 역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

4.3 특성 및 성능 데이터

다음은 한전 구매시방서의 기준값 및 그에 따른 특성 및 성능데이터 값을 나타내었다.

[Table 3] 특성 및 성능 평가

시험항목	기준	결과
외관 및 구조	치수 및 제조형태	양호
인장시험	인장강도	17.6 kgf/cm ² 이상
	신장율	400% 이상
절연파괴강도	16 kV/mm 이상	
Tan δ	24h at 23℃	0.05이하
	24h at 70℃	0.05이하
비유전율	24h at 23℃	4.5이상
	24h at 70℃	4.5이상
체적저항율	24h at 70℃	10 ¹⁴ Ω · cm이상
Fusion(자기융착성)	늘어짐이 0.2mm이하	0.1
내열성	90±2℃에서 2시간 가열 후 흡, 균열, 변형등 이상이 없을 것	이상 없음
내한성	-20±2℃에서 2시간 냉각 후 흡, 균열, 변형등 이상이 없을 것	이상 없음
내오존성	균열이 없을 것	이상 없음
내후성	1000시간 가속 열화 후 흡, 균열, 변형 등 이상이 없을 것	이상 없음
내트래킹성	분문 회수 101회, 누설전류 0.5A이하	이상 없음

4. 결 론

이번 연구로 부틸 컴파운드와 폴리에틸렌 필름을 일체형으로 하는 이중절연 자기융착 테이프를 제작 할 수 있었다.

이에 전기적 절연 특성에 대한 카본블랙의 영향을 알 수 있었으며 필러 및 가소제의 최적 배합이 밝혀졌다. 또한 무용제 형태의 고무 컴파운드와 필름을 일체화시키기 위한 부틸컴파운드의 접착력, 폴리에틸렌 필름의 표면 처리 등 재료에서 요구되는 기본적인 특성이외에 압출 온도 및 속도 등에 의해 변화되는 압출 조건에 대한 사항을 이해할 수 있었다는

데에 그 의의를 들 수 있다.

이중절연자기융착테이프에 대한 제조 기술은 이미 외국의 선진기술에 의해서 제조 및 수입되어 사용되고 있는 실정이다. 그러나 본 연구를 통하여 국산화에 의한 기술 축척 및 제품 다변화를 기대 할 수 있을뿐더러 수입 대체로 전기 및 통신 시설의 발전에 크게 기여하리라 기대된다.

참고 문헌

[1] A. W. & K. S. Lee. "Developments in rubber technology-2" Applied science publishers LTD., Vol. 2, pp. 115-156, 1985

[2] C. H. Lee and S. W. Kim, "Effect of carbon blacks on electrical properties of EPDM compounds", J. App. Polymer Sci., Vol. 78, pp. 2540-2546, 2000

[3] E. K. Sichel, "Carbon black - polymer composites", Dekker, pp. 1-19, 1982

[4] 이철호, 김상욱 "가교에틸렌의 촉진내후성", J. Korea Sci. & Eng. Chemistry, Vol. 5, pp. 722-730, 1994