

지중배전케이블 외피용 컴파운드의 이온투과 특성 비교

김동명, 권태호
한국전력공사 전력연구원

Effect of Ionic Impurities in Materials
for CN/CV Underground Distribution Power Cable Jackets

Dong Myung Kim, Tae Ho Kwon
KEPCO, KEPRI

Abstract - The permeation of Ca^{2+} ions through the materials such as polyvinyl chloride (PVC) and non-halogenated flame retardant cross linked polyolefin (FR-XLPO) used for CN-CV underground distribution power cable jackets was investigated. The permeation of Ca^{2+} ions was found to increase with the increase of time. The FR-XLPO showed higher permeation of Ca^{2+} ions, by a factor of about two, than the PVC. This was explained by the destruction of structural integrity caused by mixing a large amount of mineral flame retardant such as $Mg(OH)_2$ used to impart non-flame ability to the jacket material.

1. 서 론

국내 22.9kV-y 지중 배전선로에 사용되는 전력케이블의 구조는 수밀형 압축도체 위에 가교폴리에틸렌을 절연하여, 연동선을 감아 불인 중성선위에 합성수지 혼화물로 시스한다. 시스의 재질은 수밀형 케이블(CNCV-W)인 경우 흑색비닐로, 난연성 케이블(FR CNCO-W)은 압출 피복한 흑색 할로젠 프리 폴리올레핀(Halogen free Polyolefin)을 사용한다.

일반적으로 폴리올레핀계 고분자에 무기질 충전제가 다량 혼합되면 고분자의 미세조직 및 물성은 큰 변화를 보인다. 전력케이블과 관련된 특성변화의 대표적인 예는 외부로부터 이온의 투과율 변화를 들 수 있는데, 폴리올레핀계는 비록 극성이 있는 고분자라 할지라도 미세조직이 치밀하여 수분 또는 이온의 투과가 크지 않지만 무기질 충전제를 혼합하면 미세조직의 치밀성이 떨어져 외부로부터 이온의 침투가 용이해질 가능성이 매우 높다. 특히 무기질 충전제의 표면에는 각종 이온성 불순물이 있는데, 이들 이온성 불순물들이 자유롭게 절연층으로 확산될 가능성이 있다. 케이블 외부로부터 유입되는 각종 이온은 절연층에서 발생하는 수트리의 성장을 돕는 역할을 한다는 것은 이미 발표된 바 있다.

본 연구에서는 불순물의 침투현상을 구조적 측면으로, 외피재료로 이용되고 있는 PVC 외피와 난연 외피(jacket)의 이온투과 특성을 비교 실험하였다.

2. 본 론

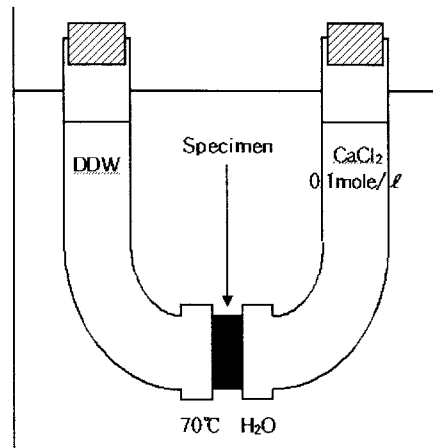
2.1 시편준비

본 연구에서 사용한 시료는 국내 전력케이블 외피용 컴파운드를 생산하는 회사들에서 PVC 컴파운드 3종과 난연 컴파운드 2종을 입수하여 사용하였다. 이온투과 실험용 시편은 pellet 형태의 시료를 80℃에서 24 시간 동안 진공처리한 후, 약 5g 을 취하여 hot press (Model : Carver Press)를 이용하여 180℃에서 압축 성형하여 200 μ 두께의 film 형태 시편을 얻었다. 이 film 을 직경 45 μ의 원형으로 잘라내어 시편으로 사용하였다.

여기서 수용 이온으로는 국내 고장케이블 조사시 제일 많이 함유되어 있는 것으로 조사된 Ca^{2+} ion을 사용하였고, 수온의 온도는 이온의 이행성(permeability)을 보다 정확하게 측정할 수 있도록 수트리 성장온도의 의존성이 적은 80℃ 이하인 70℃로 설정하였다.

2.2 실험방법

실험 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 두 개의 'U'자 형태 유리관 2개의 중앙에 시편을 놓고 양쪽에서 원판과 볼트를 이용하여 단단히 고정하였다. 접합부위는 실리콘으로 방수 처리하였다. 이렇게 Test cell을 만든 후, 한 쪽 cell에는 0.1 M $CaCl_2$ solution, 다른 쪽 cell에는 탈이온증류수(Deionized distilled water ; DDW)를 각각 300 μ씩 채워 70℃ 항온조에 설치한 후 실험을 진행하였다.



<그림 1> Schematic diagram to measure the ion permeation

전도도는 전도도미터 (Model : TOA CM-60V)를 이용하여 24시간 간격으로 탈이온 증류수 측 cell에서 측정하였다. 측정된 전도도 값은 농도와와 비례관계를 이용하여 농도 값으로 환산한 후, Fick's law를 이용하여 이온의 확산계수를 구하였다.

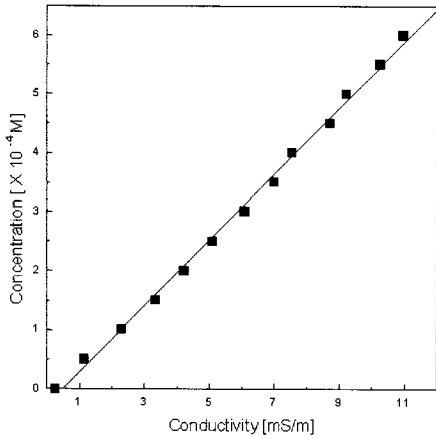
$$D = - \frac{J_d}{dC/dx}$$

식에서 J_d 는 단위 면적당 유속(Flow rate per unit area, μ/μ·sec), D는 확산계수(Diffusion coefficient, μ²/sec), dC/dx 는 농도 구배(Concentration gradient, μ/μ)를 나타낸다.

2.3 실험결과 및 고찰

2.3.1 전도도와 농도의 관계

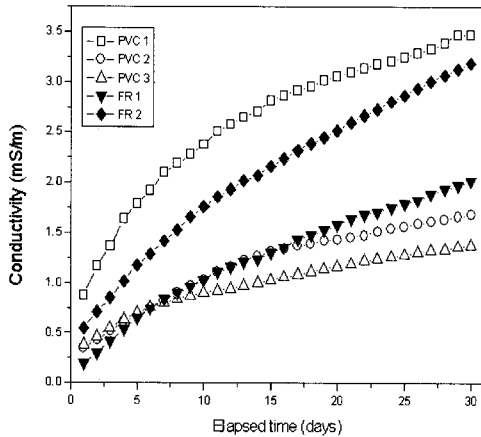
Ca^{2+} 이온에 대해 농도에 따른 전도도변화를 측정하여 그 관계를 구하였고, 그림 2에 도시하였다. 그림에서와 같이 전도도와 농도가 1차 비례관계를 가지므로 전도도를 농도로 환산할 수 있다.



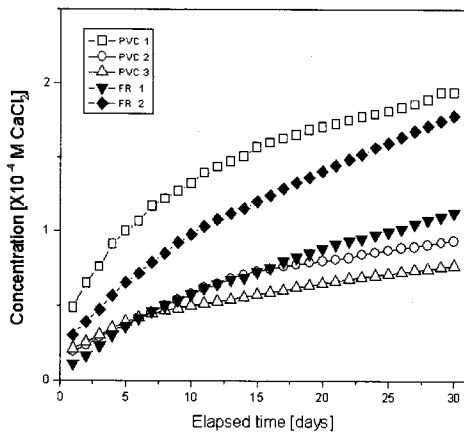
〈그림 2〉 Calibration curve

2.3.2 시간에 따른 전도도 변화

측정된 전도도 data를 그림 3에 도시하였다. 측정시간 오차는 ± 15 분을 유지하였으며, 실험과정 중 외부로부터의 이물질의 영향은 철저히 배제하였다. 초기에 큰 기울기 값을 고분자 film 내에 있던 이온성 불순물들이 확산되어 나오기 때문인 것으로 생각된다. 약 10일 이후에 전도도 data는 일정한 기울기로 증가하는데 이것은 고분자 film 내에 존재하던 불순물의 영향은 배제되고 film을 통과한 Ca^{2+} 이온만의 영향이라고 보여진다.



〈그림 3〉 시간변화에 따른 전도도 변화곡선 (FR: 난연 compound)



〈그림 4〉 시간에 따른 농도의 변화곡선

2.3.3 시간에 따른 이온농도 변화

시간에 따른 이온 농도의 변화를 그림 4에 나타내었다. 각 컴파운드의 기울기는 PVC 컴파운드와 난연 컴파운드로 구분하여 설명할 수 있으며 PVC 컴파운드의 경우는 약 10일 이후에 data가 일정한 기울기로 증가하지만, 난연 컴파운드의 경우는 PVC 컴파운드와 비교해 볼 때 기울기의 변화가 거의 없이 계속적인 증가가 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

2.3.4 시간에 따른 이온농도 변화

실험조건에 따라 초기농도 값이 다를 수 있고, film 내에 이미 존재하는 이온성 불순물의 영향을 배제하기 위해 약 10일 이전의 data는 제외하고 나머지 부분에서 기울기 값을 통해 확산계수를 구하였다. Tanaka 등에 의하면 고분자에서 이온의 확산은 제한된 수의 트랩장소(Trapping site)에서 일어나며 이 트랩장소와 용액내의 이온과 만날 확률은 고분자 내에서의 이온 농도를 결정한다고 발표하였다. Fick's law를 이용하여 고분자 film을 통한 이온의 확산계수를 구해 표 1에 정리하였다.

PVC 컴파운드의 경우 난연 컴파운드보다 상대적으로 더 작은 확산계수를 가지는 것을 알 수 있으며 결국 전력케이블 외피를 통한 이온의 침투가 가능함을 알 수 있었다.

〈표 1〉 확산계수 data (for Ca^{2+} ion)

시 료	Diffusion Coefficient (m^2/sec)
PVC 1	1.196×10^{-10}
PVC 2	0.526×10^{-10}
PVC 3	0.543×10^{-10}
FR 1	1.688×10^{-10}
FR 2	2.465×10^{-10}

3. 결 론

전력케이블에서 수트리 열화에 중요한 영향을 미치는 이온성 불순물의 침투현상을 PVC 컴파운드와 난연 컴파운드의 이온 투과성 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 이온은 전력케이블의 외피를 통해 외부로부터 케이블 내부 절연층으로 침투해 들어갈 수 있다.
- 나. 이온의 확산속도는 난연 컴파운드의 경우가 PVC 컴파운드에 비해 더 큰 것으로 조사되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한전, "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화진단 시스템 구축", pp. 33, 1997.
- [2] A. Garton, J. H. Groeger and J. L. Henry, "Ionic Impurities in Crosslinked Polyethylene Cable Insulation", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 25, pp. 427-434, 1990.
- [3] Tan Bao and John Tanaka, "The Diffusion of Ions in Polyethylene", *International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials*, Vol. 1, pp. 236-239, 1991.