

## 배전케이블 외피용 컴파운드의 이온투과 특성

김동명, 박광석, 서광석  
고려대학교 재료공학과

### Ion Permeation in Compounds for the Power Cable Sheath

Dongmyung Kim, Kwangseok Park, Kwang S. Suh,  
Department of Materials Science, Korea University

**Abstract** - Permeation of  $Ca^{2+}$  ions in PVC and flame-retardant polyolefin (FR) compounds for the sheath of medium voltage underground cables was studied. At 70°C, ion permeation increases fast at times of up to a few tens of hour and then at a relatively slow rate. The first fast increase was attributed to the diffusion of ions in the samples while the second slow increase of ion permeation was attributed to the permeation of  $Ca^{2+}$  ions through the samples. It was also found that the diffusivity of  $Ca^{2+}$  ions in FR compounds is much higher than that in PVC compounds.

#### 1. 서 론

최근 국내에서는 지중배전케이블의 쉬스 (Sheath) 층을 난연화시킨 케이블을 사용하고 있다. 이 쉬스층은 기존의 PVC 쉬스를 대체하는 새로운 재료로서, 폴리올레핀계 고분자에 무기질 난연충전제를 혼합하여 제조한다.

일반적으로 폴리올레핀계 고분자에 무기질 충전제가 다량 혼합되면 고분자의 미세조직 및 물성은 큰 변화를 보인다. 전력케이블과 관련된 특성변화의 대표적인 예는 외부로부터의 이온의 투과율의 변화를 들 수 있다. 즉, 폴리올레핀계 고분자는 비록 극성이 있는 고분자라 할지라도 미세조직이 치밀하여 수분 또는 이온의 투과가 크지 않다. 반면에 이 고분자에 무기질 충전제를 혼합하면 미세조직의 치밀성이 떨어지게 되므로 외부로부터 이온의 침투가 용이해질 가능성이 매우 높다. 특히 무기질 충전제의 표면에는 각종 이온성 불순물이 있는데, 이들 이온성 불순물들이 자유롭게 절연층으로 확산될 가능성이 매우 높다. 외부 또는 각 층의 재료로부터 절연층 내로 유입된 각종 이온은 케이블 절연층에 발생하는 수트리의 성장을 돕는 역할을 한다는 것은 이미 발표된 바 있다[1].

따라서, 본 연구에서는 지중배전케이블의 쉬스용 컴파운드인 PVC 컴파운드와 새로 적용되는 폴리올레핀계 난연쉬스인 난연컴파운드의 이온투과성을 검토하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 시편 준비

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°C에서 24 시간 동안 진공 처리한 후, 약 5g 을 취하여 hot press (Model : Carver Press)를 이용하여 180°C에서 압축 성형하여 200 μm 두께의 film 형태 시편을 얻었다. 이 film을 직경 45 mm의 원형으로 잘라내어 시편으로 사용하였다.

##### 2.2 실험방법

실험 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 두 개의 U자 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 ml 씩 채워 70°C 항온조에 설치한 후 실험을 진행하였다. 전도도는 전도도미터 (Model : TOA CM-60V)를 이용하여 24시간 간격으로 탈이온증류수 측 cell에서 측정하였다. 측정된 전도도값은 농도와 비례관계를 이용하여 농도값으로 환산한 후, Fick's law를 이용하여 아래의 식으로 이온의 확산계수를 구하였다.

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

식에서  $J_d$ 는 단위 면적당 유속 (Flow rate per unit area,  $mol/cm^2 \cdot sec$ ),  $D$ 는 확산계수 (Diffusion coefficient,  $cm^2/sec$ ),  $dC/dx$ 는 농도구배 (Concentration gradient,  $mol/cm$ )를 나타낸다.

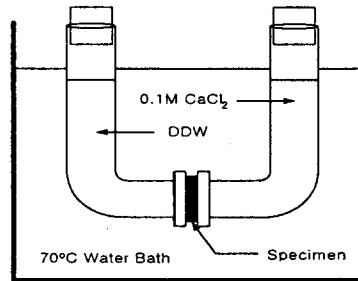


그림 1. 이온투과 실험장치의 개략도

##### 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.

###### 2.3.2. 시간에 따른 전도도의 변화

측정된 전도도 data를 그림 3에 도시하였다. 측정시간 오차는 ±15분을 유지하였으며, 실험과정 중 외부로부터의 이물질의 영향은 철저히 배제하였다. 초기에 큰 기울기 값은 고분자 film 내에 있던 이온성 불순물들이

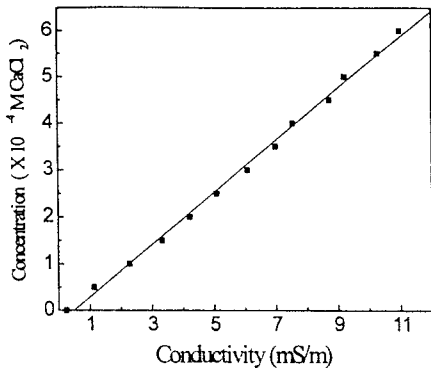


그림 2. 전도도와 농도의 관계곡선

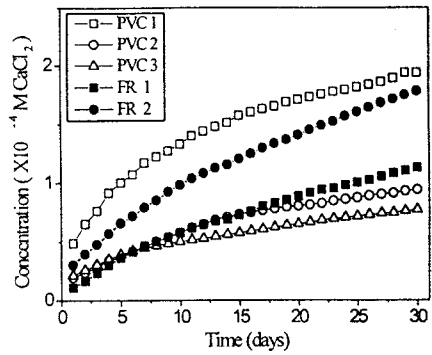


그림 4. 시간에 따른 농도의 변화곡선

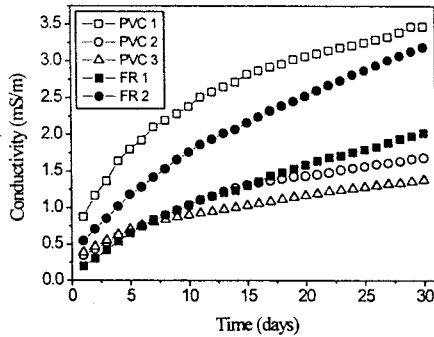


그림 3. 시간에 따른 전도도의 변화곡선

표 1. 각 시료의 확산계수

시료	확산계수 ( $cm^2/s$ )
PVC 1	$8.42 \times 10^{-11}$
PVC 2	$4.84 \times 10^{-11}$
PVC 3	$4.82 \times 10^{-11}$
FR 1	$9.63 \times 10^{-11}$
FR 2	$13.75 \times 10^{-11}$

### 3. 결 론

PVC 컴파운드와 난연 컴파운드의 이온 투과성 비교 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 이온은 전력케이블 외피를 통해 내부로 침투해 들어갈 수 있다.
- (2) 이온의 투과 속도는 난연 컴파운드의 경우가 PVC 컴파운드에 비해 더 큰 것으로 나타났다.

이러한 결과로부터, 전력케이블의 쉬스용 난연 컴파운드로 만들어진 쉬스층의 이온투과는 PVC 컴파운드로 만들어진 쉬스의 이온투과율 보다 높을 것으로 예측된다.

#### (참 고 문 헌)

- (1) M. J. Given et al., IEEE. Trans. Insul., Vol.22, No.2, pp.151-156, 1987
- (2) T. Bao and J. Tanaka, Proc. 3rd ICPADM, Tokyo, Japan, pp.236-239, 1991
- (3) 한재홍, Ph. D. Thesis, pp.21-23, 1995

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.

#### 2.3.3. 시간에 따른 이온농도의 변화

시간에 따른 이온 농도의 변화를 그림 4에 나타내었다. 각 컴파운드의 기울기는 PVC 컴파운드의 경우와 난연 컴파운드의 경우로 구분하여 설명할 수 있다. 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. 확산계수

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(2) 등에 의하면 고분자에서 이온의 확산은 제한된 수의 트랩장소 (Trapping site)에서 일어나며 이러한 트랩장소가 차지하는 정도와 용액내의 이온과 만날 확률이 고분자 내에서의 이온농도를 결정한다고 발표하였다. 이온의 확산을 한 트랩장소에서 다른 트랩장소로의 이동이라고 하면 고분자 film을 통한 이온의 확산이 Fick's law를 따른다고 가정할 수 있으므로(3), Fick's law를 이용하여 확산계수를 구해 표 1에 정리하였다.

확산계수 값의 비교로부터, PVC 컴파운드의 경우에 난연 컴파운드보다 상대적으로 더 작은 확산계수를 가지는 것을 알 수 있으며 결국 전력케이블 외피를 통한 이온의 침투가 가능함을 알 수 있었다.