

**염진해 오손물질의 성분과 전기적 특성**

최남호\*, 박강식\*\*, 양병모\*, 강지원\*, 조성배\*, 한상욱\*  
 \*\* 대덕대학, 전력연구원#, 충남대\*

**The Composition and the Electrical Characteristics of Natural and Artificial Contaminants**

Daeduk Collage\*\*, KEPRI#, Chungnam National Univ.\*

**Abstract** - In this paper, we investigate the electrical characteristics of contaminants on highvoltage insulators. We measure the conductivity of polluted water obtained from bottom surface of insulators with wiping method with wiping method, then calculate the equivalent salt deposit density(ESDD) with specific equation. And, through the analysis, ICP/MS, for contaminants, we can know the amount of specific composition which is contained in the washed solution. Based on the analysis result, we investigated the degree of contribution on the electrical characteristics of contaminant solution. Through this investigation, we got some significant result, such as the relationship between the conductivity and solubility.

**1. 서론**

우리나라는 지리적으로 바다와 접한 지역이 많고, 북서풍과 남동풍으로 대별되는 계절풍과 주로 여름철에 비주기적으로 수차례 발생하는 태풍등에 의한 영향으로 염해에 의한 전력설비의 오손이 비교적 심각한 실정이다. 봄철의 경우, 중국으로부터 불어오는 황사로 인한 진해의 영향하에 놓여있고, 겨울철의 경우, 건조기가 비교적 장기간 지속되어 오손물의 누적이 발생하기도 한다. 한편 서구를 중심으로 시발된 공업화 및 이에 따른 오염은 이미 수십년 전부터 다양한 분야에 걸쳐 문제를 야기시켜 왔다. 우리나라에 있어서도 일부지역의 경우, 유사한 몇몇 경험이 보고되고 있으며, 특히 울산, 온산 및 미포산업단지와 여천공업단지는 환경부에서 지정한 "대기보전특별대책지역"으로서 1970년대 이후 각종의 피해 사례가 보고되고 있다.

그러나 전력설비에 있어서의 오손은 환경적 측면에서의 것과는 다소간의 차이를 지닌다. 즉 오손물의 전기적 특성 및 전기적 특성에 영향을 줄 수 있는 특성들이 연구의 대상이되고 있다. 애자표면에 부착되는 오손물질은 그 자체만으로 큰 영향을 주지 않으며, 실제로 건조시의 오손된 애자는 오손되지 않은 애자와 거의 같은 전기적 특성을 나타낸다. 그러나 표면 오손물질의 흡습특성, 결로, 안개, 강우등에 의해 젖음이 발생하는 경우나 결빙, 적설이 발생하는 경우에는 비교적 저준위의 오손에서도 현격한 섬락전압의 감소를 나타낸다. 따라서, 고압송전용 애자의 선정은 오손조건하에서의 그들의 전기적 특성에 의존하게 된다.

일반적인 오손물질은 수용성 염과 비수용성 염으로 구성된다. 수용성 염에 대해서는 등가염분부착밀도(ESDD; Equivalent Salt Deposit Density)를 사용한 오손도 측정 및 실험 방법이 주로 사용되고 있으며, 비수용성 염에 대해서는 NSDD(Non-Soluble Deposits Density)를 사용하고 있다.

본 연구에서는 실제 육외환경에 설치된 염진해 오손도 측정용 설비에 대해, 세정법을 사용하여 오손도를 측정하고 환산과정을 통해 등가염분부착밀도를 구하였다. 또한 오손물을 구성하고 있는 각 성분별에 따른 오손특성에 대해 조사하였다.

**2. 실험**

**2.1 측정설비 측정방법**

육외환경에서의 오손경향 및 오손성분에 대한 조사를 위하여 특정 개소에 그림 1과 같이 측정용 설비를 설치하였다.

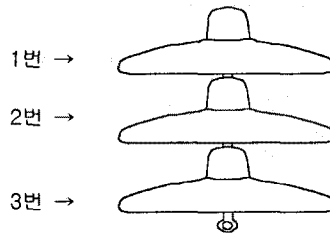


그림 1. 오손도 측정설비 (254 mm 현수애자)

Fig. 1 Measuring equipment for the degree of contamination( 254 mm suspension type insulator)

배치 및 위치에 의한 영향을 배제하기 위하여 2번애자의 하면에 대해서만 오손도가 측정되었으며, 그림 2와 같은 전형적인 순서에 따랐다.

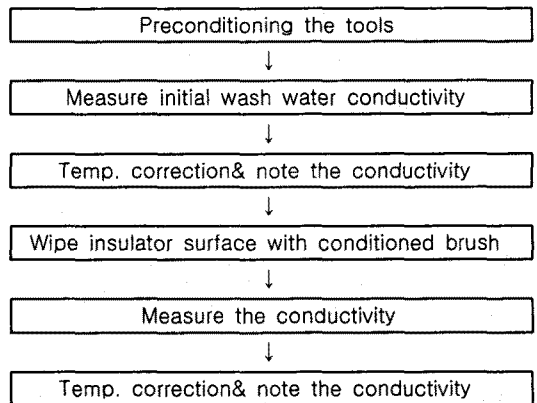


그림 2. 오손도 측정 방법 (필세법)

Fig. 2 Measuring Method for the degree of contamination (brush wiping method)

본 연구에서 사용된 전도도계(HANNA HI8033)는 전도도의 온도를 보정할 수 있는 장치를 지니고 있었으나 분해능이 정밀하지 못하여(눈금당 5℃) IEC 507 "Artificial Pollution Test on High-voltage Insulators to be Used on a.c. Systems"에 따라 20℃로 보정한 값을 통하여 비교하였다. 구체적인 수식은 다음과 같다.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)]$$

where :

$\theta$  is the solution temperature[℃]

$\sigma_{\theta}$  is volume conductivity at a temp. of  $\theta$ ℃ [S/m]

$\sigma_{20}$  is volume conductivity at a temp. of 20℃ [S/m]

b is the factor depending on temperature  $\theta$

위의 방법을 통해 얻어진 전도도는 다음의 수식을 통하여 등가염분부착밀도로 환산되었다.

$$ESDD = 0.09 \times W \times \frac{V}{200} \times \frac{1}{S}$$

where:

W is conductivity

V is volume of wash water

S is the area of wiping surface

## 2.2 분석 방법

아르곤 가스를 6000℃ 이상의 초고온 상태로 만들어 아르곤 플라즈마를 생성시키고, 그 속에 아르곤 가스를 분무시켜 초고온 플라즈마 속에서 에너지를 받아 발광하는 빛을 증배관을 통하여 검출하여 특정원소의 함량을 측정하는 유도결합 플라즈마 질량분석기를 사용하여 수동오손도 측정시 수집된 수용액을 분석하였다.

기본적인 원소의 검출을 위하여 본 방법이 채택되었으며, 화학적 영향이 작고, 동시에 다원소를 분석할 수 있는 점과 ppb 정도의 극미량까지 검출이 가능하며, 이 경우 약 1%정도의 오차범위를 갖는 점등이 고려되었다. 또한 10(cc)의 비교적 소량의 시료로도 측정이 가능한 점, 짧은 측정시간(원소당 3분이내)과 우수한 재현성도 고려되었다.

일반 수용액에 용해되지 않는 비용해성 물질을 처리하기 위해서는 강산(질산 혹은 불산)을 사용하여 전처리를 요한다. 본 연구에서는 분석의 편이성을 위하여 처리이전에 거름종이를 사용하여 이들을 걸어내어 전처리과정을 간소화하였다.

## 2.3 용해도 및 전도도

일반적으로 광물이나 염들의 용해도는 온도, pH, 이온 특성 등에 크게 의존한다. 표 1은 용해도를 기준으로 하여 몇몇 염들을 분류한 것이다.

전도도는 일반적으로 수용액중에 존재하는 이온농도에 비례하게되므로 전도도 측정을 통한 ESDD의 측정방법 상에 있어서 용해도에 대한 고찰은 필수적인 요소라 할 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수동오손도 측정결과

염전해 오손도 측정을 위하여 전국 130여개소에 대하여 측정법을 통해 전도도를 측정하고 이를 환산하여 등가 염분 부착 밀도를 계산하였다. 또한, 지역별로 오염정도가 가장 심한 곳을 1~2개소씩 선정하여 유도결합 플라즈마 질량분석기를 사용하여 성분을 분석하였다. 분석대상으로 선정된 지역 및 특징은 표 2와 같다.

표 1. 용해도에 따른 염의 분류

Table 1. Classification of salts on the basis of solubility

Highly soluble salts	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NaNO <sub>3</sub> MgCl <sub>2</sub> CaCl <sub>2</sub> KCl NaCl
Lowly soluble salts	MgSO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> NaF CaCO <sub>3</sub> CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MgCO <sub>3</sub>

\* HS is more than 3g/liter, LS is less than 2g/liter

표 2. 성분분석 선정설비의 오손도

Table 2. The contamination degree of chosen equipment for composition analysis

	ESDD[mg/cm <sup>2</sup> ]	note
강원 속초	0.063000	해안, 도로변
강원 동해	0.062550	해안, 공사장
충남 장항	0.015840	공사장, 강우후
전북 군산	0.031050	공단, 강우후
전남 여천	0.003668	공단, 강우후

표 2의 자료는 4월중 세정후 1개월 경과시에 측정된 결과이다. 전체적으로 두 가지 요인, 즉 기후 및 해안으로부터의 거리에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 표 3에 해안으로부터의 거리에 따른 등가 염분 부착 밀도를 나타내었다.

표 3. 해안으로 부터의 거리에따른 등가염분부착밀도

Table 3. The estimated salt deposit density with increase of distance from sea

단위 : [ mg/cm<sup>2</sup> ]

	0.1 km이내	3 km	10 km	10km이상
속초	0.063000	-	0.00432	-
동해	0.062550	-	0.005468	0.005108
강릉	-	0.00693	0.00567	-

대체적으로 거리에 비례한 수치를 보였다. 공사장 인근의 설비의 경우, 다량의 흙먼지와 같은 무기물이 표면에 부착되어 있었으나, 세정액의 전도도에는 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 봄철 꽃가루 등과 같은 유기물에 의해서도 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

### 3.2 오손물 성분분석

본 연구에서는 유도결합 플라즈마 질량분석기를 사용하여 Sodium, Magnesium, Potassium, Calcium, Cobalt, Copper의 6가지 성분을 조사하였다. 그 결과를 표 4에 나타내었다.

표4의 내용과 같이 Sodium이 가장 많이 검출되었으며, 전도도를 통해 환산된 등가 염분 부착 밀도와 가장 밀접한 연관성을 나타내었다. 이외에도 Magnesium 및 Calcium, Potassium도 전도도의 변화추이와 유사한 변화 추이를 나타내었다.

하지만, Cobalt 및 Copper 성분은 등가 염분 부착 밀도의 크기와 일정한 경향성을 나타내지 않았으며, 비교적 소량 검출되었다.

표 4. 유도결합 플라즈마 질량분석기를 사용한 오손물의 성분분석 결과

Table 4. The composition analysis result of contaminant with ICP/MS

단위 : ppb

	속 초	동 해	장 항	군 산	여 천
Na	28321.58	19844.49	4446.78	3969.55	689.40
Mg	3884.03	2895.98	993.24	892.70	126.03
K	1562.43	1491.01	875.87	916.53	274.63
Ca	7264.14	19570.23	6558.51	7936.46	614.43
Co	0.3464	0.0898	0.3001	0.9863	0.1813
Cu	7.0382	6.3991	6.3418	16.0527	18.5381

### 3.3 오손성분과 전도도

3.2절의 내용을 실험적으로 뒷받침하기 위하여 대표적인 오손물질들(NaCl, MgCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, KCl, KNO<sub>3</sub>, CuCl<sub>2</sub>)에 대하여 농도에 따른 전도도를 측정하였다. 이들은 대체적으로 용해도가 높은 물질들이며 산성비 및 오손층의 전도도에 크게 기여하는 성분으로 지목되고 있는 물질들이다. 염의 종류 및 함량에 따른 전도도의 변화추이를 그림 3에 나타내었다.

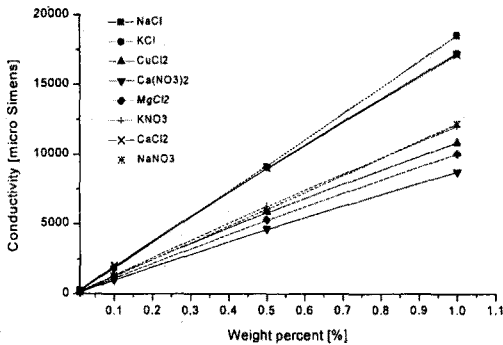


그림 3. 염의 종류 및 함량에 따른 전도도  
Fig. 3 The conductivity with the amount and the kinds of various salts

3.2절에서 ICP/MS를 통해 분석된 세정후 오손용액의 성분분석 결과와 잘 부합되는 특성을 나타내었다. 해안지역에서 Sodium성분이 다량으로 검출된 것과 Sodium과 Chloride가 해수의 주성분임을 감안할 때, 오손액에 대한 성분검사를 통해 검출된 다량의 Na는 NaCl에 기인하는 것으로 추정된다.

## 4. 결 론

우리나라의 지리적, 기후적 특성과 산업의 발달에 따른 대기환경의 오염에 따른 전력설비에의 영향을 알아보

기 위하여, 본 논문에서는 기설치된 염진해 수동 오손설비에 대하여 세정법을 사용하여 전도도를 측정하고, 환산 및 보정과정을 통하여 등가염분부착밀도를 계산해 내었다. 또한 세정후 용액에 대하여 유도결합 플라즈마 질량분석기를 사용하여 함유 성분을 조사하고, 오손물질의 종류 및 농도에 따른 전도도특성을 분석함으로써 오손물질을 추정하였다. 이의 증명을 위해서는 화학 등가식을 이용한 오손물질 추론과정과 이온분석방법을 사용한 함량분석이 요구되어진다.

이와 같은 일련의 연구를 통하여 다음과 같은 몇몇 결론을 얻을 수 있었다.

[1] 유도결합 플라즈마 질량분석기를 통한 성분분석 및 해수의 성분을 고려할 경우, 오손물의 전기전도도에 기여하는 주요 물질은 Sodium으로 추정되며, 수용성이 낮은 염이나 SiO<sub>2</sub>등과 같은 광물에 의한 영향은 그다지 크지 않았다.

[2] 세정법을 통하여 얻어진 전도도를 환산하고, 온도보정을 통해 얻은 등가 염분 부착 밀도는 해안으로부터의 거리 및 기후적인 요인에 의해 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

[3] 염해, 진해 및 공해등이 전력설비에 미치는 영향을 이해하고, 최적의 절연설계 및 협조와 경제적인 유지 및 보수를 수행하기 위해서는 장기적인 오손경향 분석과 기후 및 환경자료와의 연계해석이 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 60507, "Artificial pollution test on high-voltage insulators to be used on a.c. systems", Second edition, April 1991
- [2] W.A. Chisholm(SM), P.G. Buchan, T. Jarv, "Accurate measurement of low insulator contamination levels", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, July 1994
- [3] K. Iwai, Y. Hase, E. Nakamura, H. Katsukawa, "Development of a new apparatus for contamination measurement of overhead transmission line insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, October 1998
- [4] R. Bartnikas, "Engineering Dielectrics Volume II B, Electrical properties of solid insulating materials measurement techniques", Special technical publication 926, American Society for Testing and Materials, 1987
- [5] Noriyoshi Sugawara, Kazuyuki Takayama, Kazuo Hokari, "Leakage resistance of transmission line insulators along the coast", Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, June 1992
- [6] Ravi Gorur, Raji Sundararajan, "Influence of inert materials on the pollution flashover voltage of porcelain insulators", IEEE
- [7] G. Ramos N., M.T. Campillo R. K. Naito, "A study on the characteristics of various conductive contaminants accumulated on high voltage insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, October 1993