

특고압 세라믹 절연물의 인공오손 시뮬레이션 적용기술



· 김찬영 ·
우석대
반도체 · 전기 · 자동차공학부 전임강사

1. 서론

세라믹 절연재료가 전력용 절연물로 사용되어 온 것은 전기의 발명과 함께 시작되었다고 해도 과언이 아닐 정도로 오랜 세월동안 사용되어 왔다. 이것은 세라믹 재료의 특성이 경년에 따라 거의 변하지 않기 때문이다. 예를들면 고려시대 또는 조선시대에 만들어진 도자기들이 수 백년이 지난 후에 바다속 또는 땅속에서 발견될 때, 그 형태가 거의 원형을 유지하고 있는 것과 마찬가지로. 그러나 세라믹 재료의 특성이 거의 변화되지는 않음에도 불구하고, 절연물의 표면에 부착된 오손물에 의한 고장은 종종 보고되어 왔다. 특히 해안지역에 설치된 애자, 부싱 등의 절연물에 염분이 부착되어 절연파괴되는 빈도는 청정지역에 설치된 절연물과 비교해 높은 것으로 나타나고 있다.

절연물의 표면에 염분이 부착되는 정도는 장기간에 걸쳐 누적되기도 하고, 폭풍이나 태풍 등에 의하여 급속도로 진전되기도 하며, 우천에 의한 자연세정으로 부착된 염분량이 감소되기도 한다. 또한 절연물에 부착되는 오손정도는 절연물의 종류와 지역에 따라 큰 차이를 보이고 있는 것도 현실이다.

절연물의 오손도를 평가하는 가장 좋은 방법은 지역별 오손 데

이터를 지속적으로 확보하는 것이다. 그렇지만 오손도 평가는 단순 반복적인 작업이기 때문에 많은 노동력과 시간을 필요로 한다.

이와같은 오손도 평가의 어려움을 극복하기 위해, 절연물에 대한 인공오손을 통해 전기적 특성을 시험하고, 현장결과와 상관관계를 규명하는 인공오손 시뮬레이션 연구가 많이 진행되어 왔다.

따라서 본고에서는 절연물을 인위적으로 정해진 절차에 따라 오손시키는 방법을 소개하고, 오손등급과 전기적 측정 결과를 비교하여 고찰하였다.

2. 본론

2.1. 절연물의 종류

인공오손을 시키기 위해서 가장 중요한 것은 절연물의 종류를 선택하는 것이다. 이것은 절연물의 종류에 따라, 절연물의 표면에 부착되는 오손도가 달라질 수 있기 때문이다. 예를들면 최근에 특고압 절연물로 사용되고 있는 고분자재료로 만든 절연물들은 표면 발수성이 크기 때문에 세라믹 절연물과 동일한 오손도를 가진 오손물로 인공오손을 시키더라도 표면에 부착된 오손도가

다르다. 또한 세라믹 절연물사이에서도 표면의 상태에 따라 오손도가 다를 수 있다. 따라서 절연물을 인공오손시키기 위해서는 동일한 형태 및 재질이 유사한 종류를 선정하는 것이 필요하다.

2.2 절연물의 인공오손 시험법

절연물에 대한 인공오손 시험방법은 표 1에서와 같이 매우 다양하다. 오손에 관한 시험 평가 방법이 다양하기 때문에 오손방법을 선택함에 있어서 지역, 환경, 용도 등에 적합한 시험방법을 선택하는 것이 필요하다.

세계적으로 가장 많이 사용하는 방법은 국제전기기술위원회(IEC)에서 제안한 등가염분부착밀도(Equivalent Salt Deposit Density, ESDD) 측정법이다. 이 방법은 증류수에 Kaolin, Tonoko 등의 비용해성 물질과 식염을 넣은 오손물을 만들고, 이 오손물에 절연물을 함침하여 염분과 비용해성 물질이 절연물에 부착되도록 한 다음 건조시켜 단위면적당 부착된 등가염분량을 산출한다. 또한 절연물 표면이 표 2에 제공된 오손등급에 따라 오손되었는지를 평가하고 만일 ESDD가 설계한 값과 다를 경우에는 식염량을 가감한다. 오손등급에 따라 인공오손 시킨 후에 상용주파 건조 섬락전압시험, 상용주파 내전압시험과 같은 전기적 특성시험을 실시한다. 그림 1에는 절연물을 인공오손 시키는 방법 및 특성화 시키는 방법을 차트로 나타냈다.

2.2.1 저항률 측정

절연물을 인공오손시킨 다음 가장 먼저 해야할 일은 표면에 부착된 오손물을 수거하여 저항률 또는 전도도를 측정하는 일이다.

절연물 표면에 부착된 오손물을 붓이나 면을 사용하여 일정량의 증류수(일반적으로 200ml)로 세정한 다음 저항률을 측정한다.

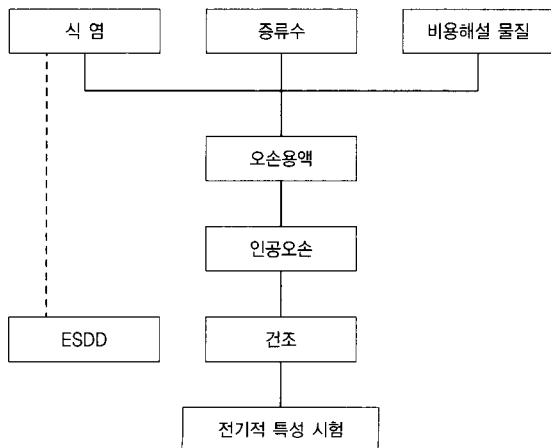


그림 1. 절연물의 인공오손 시험법.

표 1. 인공오손 시험방법.

명칭	소속	시험방법	오손물	평가방법
		업무 분무	NaCl	식염량(g/l)
IEC Pub. 507, 1975	국제전기 기술위원회	오손된 표면의 전도도 측정	NaCl or CaCl ₂ Kieselguhr 100g/l SiO ₂ 10g/l	표면의 전도도(μS)
IEC Pub. 507, 1985 (Draft-Revision)	국제전기 기술위원회	오손물의 ESDD 측정	NaCl Kaolin or Tonoko 40g/l	ESDD (mg/cm ²)
전해액 분무법	프랑스	전해액 분무	용해성염 (Na ₂ CO ₃)	일정용해도에서 3분간 전하는 최고 전압
진애 염무법	프랑스	사용전압을 인가상태에서 오손물 부착	Kaolin, 식염	섬락발생까지 오손회수
풍동 염무법	영국	사용전압을 인가하고 15% 식염수를 분무	식염수	섬락발생까지의 시간
반복 진애법	벨기에	전압을 인가한 상태에서 섬락이 발생할 때까지 전해를 부착	시멘트, 석회, 불용성염	섬락발생까지의 오손회수
메틸 셀룰로즈법	독일, 체코슬로바키아	Spray 등으로 오손	메틸셀룰로즈 30g Chalk 가루 25g 물 1l	4회중 3회를 건디는 사용 전압하의 표면전도도의 최대값
염무법	영국	사용전압 인가상태에서 식염수를 분무	식염수	4회중 3회의 내전압을 갖는 식염수의 농도
진애법	러시아	오손시킨 다음 전압인가 후 청수분무	점토, 모래먼지, 식염수, 시멘트	표면고유전도도-내전압곡선으로 평가
염수 주수법	일본	정전압을 인가하고 주수	식염	5회 동안 섬락이 발생하지 않은 최고 전압
정전압인가 습윤법	일본	오손액을 부착하고 분무	황토흙, 식염	오손정도-내전압곡선으로 평가

표 2. 등가염분부착밀도에 따른 오손등급.

등급	등가염분 부착밀도(mg/cm ²)
A	0 ~ 0.063
B	0.063 초과 ~ 0.125까지
C	0.125 초과 ~ 0.25까지
D	0.25 초과 ~ 0.5까지
E	0.5 초과

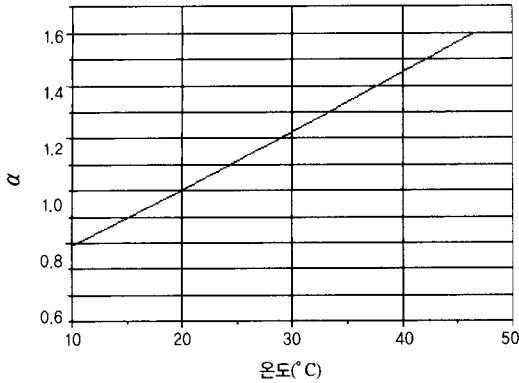


그림 2. 저항률과 온도 보정계수.

이와같이 측정된 값은 그림 2의 온도보정계수 그래프를 사용하여 온도가 20(°C)일 때의 저항률로 환산한다. 그림에 나타난 것과 같이 온도가 상승함에 따라 더 큰 온도보정계수(α)를 곱해주어야 된다.

2.2.2 전도도 측정

저항률 대신에 전도도를 직접 측정하는 방법으로써, 임의의 온도에서 전도도를 측정하고, IEC 60507의 공식(1)을 사용하여 온도가 20(°C)일 때의 전도도로 환산한다. 표 3에는 b값이 주어졌는데, 이 사이의 값들은 보간법에 의한 수치를 대입하여 사용한다.

$$\sigma_{20} = \sigma_t [1 - b(t - 20)] \quad (1)$$

여기서

t: 오손물의 온도

σ_t : t(°C)에서의 전도도

σ_{20} : 20(°C)에서의 전도도

b: 표 3의 값

표 3. 온도에 따른 b의 값.

온도 t(°C)	b
0	0.03675
10	0.02817
20	0.02277
30	0.01905

2.2.3 용액의 염분농도 환산

측정된 저항률 또는 전도도를 이용하여 용액에 포함된 염분농도를 환산한다. 그림 3은 전도도(ms/cm)에 따른 용액 100(ml)당의 염분농도를 나타낸 실험적 그래프이다. 앞에서 언급하였던 것

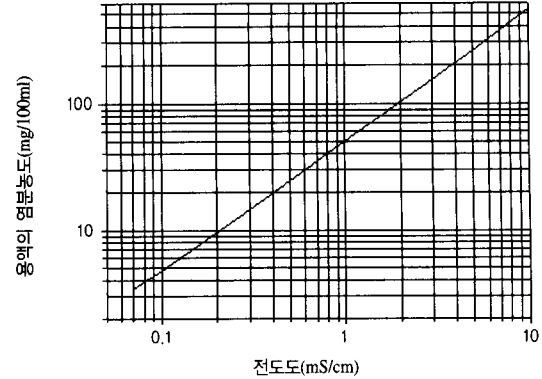


그림 3. 전도도에 따른 염분농도.

과 마찬가지로 일반적으로 200(ml) 증류수를 사용하기 때문에 동일한 전도도가 측정되었을 경우에는 200(ml)당의 염분량은 100(ml)당의 염분량의 2배가 된다. 또한 측정된 전도도가 $\mu\text{S/cm}$ 로 측정되기 때문에 전도도와 용액의 염분농도에 관련된 상수 $k(=0.095)$ 를 적용해 용액의 염분 농도를 환산한다.

2.2.4 등가염분부착밀도(ESDD) 계산

용액의 염분량을 절연물의 세정면적으로 나누어 등가염분부착밀도를 계산한다. 공식(2)는 등가염분부착밀도를 계산하는 공식이다. 사용되는 세정용 용액량이 증가되면 전도도가 떨어진다. 따라서 전도도에 상수 k를 곱하고 면적으로 나누면 ESDD가 구해진다. 이와 같이 구해진 ESDD는 표 2에 따라 오손등급을 결정한다.

$$\text{ESDD} = \frac{k \times \sigma \times V}{200 \times A} \quad (2)$$

여기서

k: 전도도와 용액의 염분농도에 관련된 상수(0.095)

σ : 전도도($\mu\text{S/cm}$)

V: 세정용 용액의 양(ml)

A: 절연물의 세정된 면적(cm^2)

2.4 대표적인 절연물의 표면적

표 4는 송전과 배전계통에 사용되고 있는 대표적인 절연물의 표면적을 나타냈다. 이 자료를 활용하여 단위면적당의 부착밀도를 계산할 수 있다.

2.5 절연물의 인공오손 시험예

표 5에는 IEC방법에 의하여 물 1(l), 카울린 40(g/l)에 식염량을 표와 같이 넣고 만든 오손물로 절연물을 오손시킨 다음, 필세

법으로 증류수 200 [ml]로 절연물의 표면을 세정하여 오손물의 전도도를 측정하고 이것으로 계산한 등가염분 부착밀도를 나타냈다. 그림 4는 오손액을 만들기 위하여 사용한 식염량에 따른 ESDD를 나타낸 그래프이다. 식염량과 ESDD가 비례관계에 있음을 알 수 있다. 따라서 ESDD를 활용하여 등가염분부착밀도를 계산할 수 있는 것이다.

2.5 전기적 특성시험

표 6은 각각의 오손등급으로 오손시킨 191mm 현수애자에 대한 주수섬락전압시험 결과이다. 오손등급이 증가하면서 주수섬

표 4. 대표적인 절연물의 표면적.

절연물 종류	표면적(cm ²)	
	상면	하면
191 mm 현수애자	345	545
254 mm 현수애자	550	800
특고압 편애자	1000	970
LP 애자*	2300(전체)	980(날개 3개)

* : LP 애자는 상면과 하면의 구별없이 전체와 날개 3개의 면적임.

표 5. 인공오손시험 및 ESDD.

오손등급	오손물 (물 10, 카올린 40g/l 당의 식염량(g))	절연물표면 오손물의 전도도 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	ESDD 상부
A등급	25.0	98	0.027
B등급	37.5	425	0.117
C등급	50.0	611	0.168
	62.5	630	0.173
D등급	75.0	942	0.259
	87.5	1201	0.331
	100.0	1433	0.395

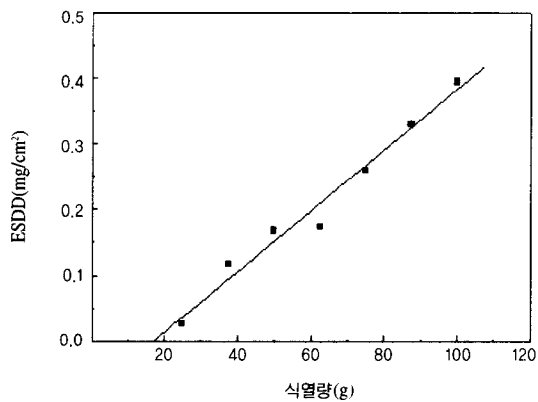


그림 4. 식염량에 따른 ESDD의 변화.

표 6. 오손등급에 따른 주수섬락전압 시험 결과.

오손등급	ESDD(상부)	주수섬락전압(kV)*		비고
		A사	B사	
A등급	0.027	42.2	42.0	합격
B등급	0.117	39.0	38.6	"
C등급	0.168	35.8	35.2	"
	0.173	30.8	30.0	불합격
D등급	0.259	30.8	30.0	"
	0.331	31.0	27.4	"
	0.395	30.4	20.6	"

* : 각 결과는 5개의 시료를 측정하여 평균한 값.

락전압이 감소되고 있음을 알 수 있다. A와 B등급으로 오손된 절연물은 오손이 되었더라도 ES의 기준값(31.75 (kV))이상으로 나타났으나, 오손등급이 C급부터는 기준이하로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 시험결과는 해안지역에 설치될 절연물 설계에 활용할 수 있다.

3. 결론

절연물에 대한 인공오손시험방법에 대하여 고찰하였다. 인공 오손시험방법은 국가에 따라 그 시험방법과 평가방법이 매우 다양하게 개발되어 왔다. 이것은 절연물의 형태 및 사용조건에 적합한 시험방법을 채택하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 절연물의 사용환경, 용도에 적합한 시험방법을 활용해서 현장결과와 일치시키는 노력이 필요하다. 이와 같이 평가된 오손등급은 오손 정도가 상대적으로 심한 해안지역의 세정주기 및 절연설계에 활용하면 오손에 의한 특고압 절연물의 고장발생을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

이 논문은 우석대학교 학술연구비에 의하여 연구되었다.

참고 문헌

- (1) 이위문의, "전력설비의 염진해대책에 관한 연구(Ⅲ)", 한국전력공사 기술연구원, 종합편KRC-84S-J09, pp. 58-499, 1988.
- (2) 심용보의, "염진해 오손정도 및 기준정립에 관한 연구", 한국전력공사 전력연구원, 최종보고서 '02전력연-단 146, pp. 71-87, 2002.
- (3) T. Sorqvist and A.E. Vlastors, "Hydrophobicity and leakage current statistics of polymeric insulators long-term exposed, to coastal contamination", Conference Record of the 1996 IEEE

International Symposium on Electrical Insulation, Montreal, Quebec, Canada, June 16-19, pp. 335-338, 1996.

- [4] K. Naito et al., "Test Method and Results for Recent Outdoor Insulation in Japan", IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 6 No. 5, pp. 732-742, October, 1999.
- [5] Sogo Matsui et al., "State of the Art of Insulator Technology for Transmission Lines in Japan", CIGRE SC22, Sendai Meeting, pp. 19-27, 1997.
- [6] K. Takasu, "Measurement of Insulator Contamination and Artificial Contamination Test Techniques on Insulator String", CRIEPI, Yokosuka Res. Lab, June 1999.
- [7] Liang Xidong et al., "Application and Evaluation of Composite Insulators in China", Korea-China Int'l Joint Symposium", KERI pp. 83-96, 2001.

서 사 약 령

성명 : 김 찬 영

❖ 학 령

- 1989년 인하대 전기공학과 공학사
- 1994년 Colorado School of Mines 재료공학과 공학석사
- 1997년 Colorado School of Mines 재료공학과 공학박사

❖ 경 령

- 1997년 12월 - 2001년 2월
한국전력공사 전력연구원 선임연구원
- 2001년 3월 - 현재
우석대 반도체전자자동차공학부 전임강사

❖ 주관심 분야

- 전기설비(애자류, 피뢰기, 변압기 등)의 재료분야
- 압전세라믹의 저온소결 공정

