

비용해성 산업용 분진이 배전용 자기제 현수애자의 전기적 특성에 미치는 영향

論 文

50C-4-5

The Effect of the Non Soluble Industrial Dust on the Electrical Properties of Distribution Porcelain Suspension Insulators

金燦泳* · 宋 一 根** · 金 周 勇** · 韓 在 鴻** · 金 東 明** · 李 丙 成***

(Chan Young Kim · Il Keun Song · Ju Yong Kim · Jae Hong Han ·

Dong Myung Kim · Byung Sung Lee)

Abstract - In this paper, the distribution suspension porcelain insulators which had been used for long periods in the contaminated area were evaluated. The contaminated area is close to the sea and in the high density of industries. The heavily contaminated domestic and imported insulators were investigated by using electrical characteristics, such as power-frequency dry flashover voltage, power-frequency wet flashover voltage, and leakage current. Also, these electrical results were compared with the contaminants on the surface. From these analysis, we found that the contamination from the industrial dust only slightly decreased flashover voltage and increased leakage current. Therefore, the electrical properties of insulators used for 30 years in the area of coast and industrial complex were not much changed.

Key Words : Suspension insulator, Contamination, Flashover voltage, Leakage current, ESDD, Microstructure

1. 서 론

우리나라의 배전전압을 22.9 [kV]로 사용하기 시작한 것은 1965년 경북 약목변전소 관내 22 [kV] 비접지 송전선로 9 [km]를 다중접지된 중성선을 추가 시설한 후 22.9 [kV-Y]로 승압하여 배전선로로 사용한 것이 최초이며, 1970년 배전전압을 22.9 [kV-Y]로 공급하도록 결정되었다. 이와 같이 배전전압을 22.9 [kV-Y]로 결정함으로써 배전용 애자를 전량 수입하여 사용하였다. 1980년대 초에 고려애자와 신한애자가 191 [mm] 배전용 자기제 현수애자를 국산화하고 양산화를 이룩하여 국내 배전선로에 지속적으로 사용함으로써, 1999년 말 현재 약 1880만개가 사용되고 있다. 전국에 설치되어 있는 1880만개 현수애자 중에서 고장발생 건수는 매년 약 490건 정도 발생하고 있고, 설치수량 대비 고장률은 매우 적은 편이다. 또한 최근에 제작된 현수애자는 초기의 제품에 비해 품질이 균일하고 성능이 향상된 점을 감안하면[1], 고장발생 비율이 점차 감소되리라 판단된다. 자기제 현수애자의 고장 중에서 자연열화에 의한 고장은 매년 높은 비율로 발생되고 있다[2-3]. 자연열화는 애자의 금구류 및 시멘트의 특성이 경년에 따라 감소되는 경우[4]와 염분 또는 분진에 의해 애자표면에 오손되고 금구가 부식되는 경우로 구분할 수 있다. 한편,

자연열화에 의한 고장을 모의하기 위하여 인위적으로 애자를 오손시켜 특성을 평가하는 연구는 많이 진행되어 왔다[5-6]. 그렇지만 자연 오손된 애자에 대한 연구는 극히 제한적으로 연구되어 왔다. 따라서 본 논문은 염분 및 산업용 분진이 많이 발생하는 오손지역에서 장기간(16~30년) 사용된 배전용 자기제 현수애자의 특성평가 및 분석 결과에 관하여 논의하였다. 염분 및 분진이 심한 지역에서 장기간 사용되어 왔던 국산 및 외산 애자에 대한 상용주과 건조 섬락전압, 상용주과 주수 섬락전압, 누설전류 등의 전기적 특성을 평가하여, 애자 표면에 부착된 오손물의 성분, 미세구조 등과 관련하여 분석함으로써, 오손물이 자기제 현수애자의 전기적 성능에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

2. 시료 및 분석방법

2.1 시료

시험에 사용된 애자는 191 [mm] 배전용 자기제 현수애자로서, 발취된 곳은 한국전력공사 송전설계기준(설계기준-1031)에서 오손등급이 C급으로 분류되어 있고, IEC 815(1986)에 따른 오손등급이 대도시 교외의 공업지역이면서 해안지역인 pollution level이 III-Heavy인 경남포항이다. 오손 환경에서 장기간 사용되었던 시료의 재원은 표 1과 같다. 오손된 애자는 국산의 A, B사, 외산의 C, D사 제품이며, 이들 시료에 대해 제조회사 및 제조 년도별 성능을 분석하였다. 또한 오손품과의 성능을 비교하기 위해 현재 국내에서 가장 많이 설치되어 있는 국산 B사의 비오손품을 선택하여 특성을 분석하였다.

* 正 會 員 : 又石大 半 導 體 電 氣 自 動 車 工 學 部 專 任 講 師

** 正 會 員 : 電 力 研 究 員 電 力 系 統 研 究 室 先 任 研 究 員

*** 正 會 員 : 電 力 研 究 員 電 力 系 統 研 究 室 先 任 補 研 究 員

接 受 日 子 : 2000年 8月 25日

最 終 完 了 : 2001年 4月 3日

표 1. 시료 재원
Table 1. Source of specimens

시료 재원 제작회사	오손상태	제작년도	사용년수	시료수
국산	B사	비오손품	1997	3
	A사	오손품	1984	16
	B사		1983	17
외산	C사	1976	24	3
	D사	1970	30	2
	합계			23

2.2 실험방법

2.2.1 오손도 측정

2.2.1.1 등가염분 부착밀도 측정

애자가 사용된 위치가 해안지역이기 때문에 염분에 노출된 정도를 측정하였다. 애자의 표면에 부착된 염분량은 등가염분 부착밀도(Equivalent Salt Deposit Density, ESDD)를 측정하여 정량화 하였다. 등가염분 부착밀도는 현수애자를 상부와 하부로 나누어 면(cotton)으로 200 [ml]의 증류수로 세척하였고, 세척된 물의 전도도를 측정하여 염분량으로 환산한 다음 각각 상부, 하부의 면적으로 나누어 오손등급을 측정하였다.

2.2.1.2 비용해성물질 성분분석

애자가 공업단지에서 사용되면서 각종 분진에 노출되었고 장기간 사용함에 따라 애자표면에 고착되었다. 따라서 분진의 성분을 분석하기 위해 애자의 캡과 핀을 제외한 자기표면에 부착된 오손물을 증류수로 세척하고 종이필터(Advantec TOYO, 5C)로 걸러 비용해성 물질의 성분을 유도결합 플라즈마 발광분광기(Induced Coupled Plasma, ICP)로 분석하였다. 시료를 110 [°C]에서 건조하고 묽은 질산으로 용해하여 검정곡선법에 의하여 각 성분원소의 함량을 정량화 하였다.

2.2.2 전기적 특성평가

2.2.2.1 상용주파 건조 섬락전압시험

염분 및 분진으로 오손된 애자의 건조상태 섬락전압을 측정함으로써, 애자표면에 부착된 오손물이 섬락전압에 미치는 영향을 분석하였다. 시험에 사용된 주파수는 실제 선로의 주파수와 같은 60 [Hz]의 전압을 인가하여 애자표면에 섬락이 발생할 때의 전압 실효치를 측정하였다.

2.2.2.2 상용주파 주수 섬락전압시험

애자의 오손정도와 주수섬락전압 사이의 상관성을 연구하기 상용주파 주수 섬락전압시험을 실시하였다. 주수는 수압이 일정한 상태에서 분사시켜 물방울이 가늘고 균일하게 하였고, 시험품을 충분히 넓게 포함하였으며, 주수량은 폭우에 해당되는 약 4 [mm/min]을 선택하였다. 주수각도는 시험품과 45도로 함으로써, 애자의 하부면도 주수에 의하여 젖도록 하였다. 전압은 예상되는 섬락전압의 약 75 [%]까지는 급격히 상승시키고, 그 후는 매초 약 2 [%]의 상승률로 상승시켜 섬락되는 전압을 측정하였다.

2.2.2.3 누설전류 측정

습도 및 주수량을 조절할 수 있는 챔버에 애자를 설치하고

누설전류를 측정하였다. 그림 1은 누설전류 측정장치의 개략도이다. 현수애자에 13.2 [kV]의 전압을 인가하고 대기온도 23 [°C], 습도 75 [%] 상태에서 누설전류를 측정할 다음 전도도가 17 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]인 청정수를 시료의 수직성분에 대해 45도 각도로 4 [mm/min]의 량으로 분사하면서 애자의 표면에 흐르는 누설전류를 매초 당 3회씩 실효값으로 저장하였다.

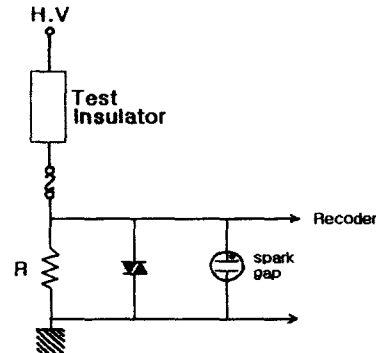


그림 1. 누설전류 측정장치의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram for the leakage current measurement system

2.2.3 미세구조 및 성분 분석

애자표면에 분진이 부착된 상태를 JEOL사의 전자현미경(JSM5410)으로 관찰하였다. 애자표면에 고착된 오손물의 형태를 제작회사 및 제작년도별로 분석하여 애자 표면의 오손상태를 평가하였다. 또한 애자표면에 부착된 오손물의 성분을 에너지 분산분광기(EDS)로 분석하여 사용년수에 따른 성분변화를 관찰하였다.

3. 분석 및 고찰

3.1 발수성

그림 2는 오손지역에서 17년 사용된 오손품과 비오손품의 현수애자를 비교한 사진이다. 사진에 나타난 바와 같이 현장에서 오손된 애자는 금구가 부식되었고, 애자표면이 오손물로 도포되어 있었다. 오손된 정도는 발수성을 이용하여 간접적으로 확인하였다. 발수성은 스웨덴 STRI(Swedish Transmission Research Institute)에서 고분자애자에 활용하고 있는 방법을 활용하였다. STRI 방법은 스프레이로 애자의 표면에 25±10 cm의 거리에서 초당 1~2회씩 20 ~ 30초 동안 분무하여 애자의 표면에 형성되는 접촉각을 기준으로 판단한다. HC-1등급은 완전한 발수성을 그리고 HC-7등급은 완전한 친수성을 의미하는 것으로서, 표 2에서와 같이 7등급으로 구분하고 있다. 발취된 오손품 애자는 제조회사와 관련 없이 모두 애자표면 전체에 수막이 형성되어 HC-7 등급으로 나타났고, 비오손품인 애자는 HC-4 등급으로 구분되었다. 이것은 애자의 표면에 부착된 분진에 수분이 흡착되어 HC 등급이 증가된 것임을 알 수 있다.

3.2 등가염분 부착밀도 측정

등가염분 부착밀도는 애자의 표면에 부착된 염분 및 전도성 오손물을 염분의 부착량으로 환산하여 오손정도를 평가하는

것으로써, 표 3과 같이 등가염분부착밀도에 따라 오손등급을 5단계로 나누고 있다.

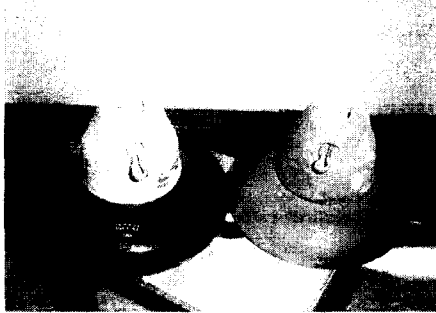


그림 2. 비오손품(왼쪽) 및 오손품(오른쪽)의 현수애자
Fig. 2. Non-contaminated(left) and contaminated(right) suspension insulators

표 2. 발수성 분류의 기준
Table 2. Hydrophobicity classification

HC	기 준
1	완전히 고립된 물방울 형성 대부분 물방울의 접촉각이 $\theta_r = 80^\circ$ 또는 이상
2	완전히 고립된 물방울 형성 대부분 물방울의 접촉각이 $50^\circ < \theta_r < 80^\circ$
3	완전히 고립된 물방울 형성 대부분 물방울의 접촉각이 $20^\circ < \theta_r < 50^\circ$ 물방울이 일반적으로 원형이 아님
4	고립된 물방울과 연결된 물방울(젖음성, $\theta_r = 0^\circ$)이 동시에 형성 완전히 젖음성을 띠는 면적이 2cm^2 보다 작음 고립된 물방울과 연결된 물방울 면적이 시험면적의 90% 이하
5	젖음성을 띠는 면적 또는 수막이 2cm^2 보다 크고, 이것이 시험면적의 90% 이하
6	젖음성을 띠는 면적 또는 수막이 90% 이상이나, 젖지 않은 면적이 관찰됨
7	시험면적 전체에 수막이 형성됨

표 3. 등가염분부착밀도에 따른 오손등급
Table 3. Contamination grade as a function of ESDD

등 급	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

현장에서 오손된 애자의 오손정도를 정량적으로 평가하기 위해 시료수가 가장 많은 B사 제품을 5개 선택하여 전도도를 측정하고 평균값으로 등가염분부착밀도 계산하여 표 4에 나타났다. 오손등급은 상부와 하부 모두 A 등급으로 측정되었다. 그러나, 한국전력공사 송전설계기준에 따른 오손등급이 C

급으로 분류되어 있다. 결국 등가염분부착밀도로 측정된 오손등급과 설계기준에 의한 오손등급의 차이는 우천에 의한 자연세정(우세효과) 때문인 것으로 판단된다. 한편 애자 표면에 부착된 분진을 제거하는 데 1시간 이상 소요될 정도로 분진이 애자표면에 고착되어 있었다. 따라서 자연우천이나 애자를 세척하기 위한 물분사로는 고착된 분진이 제거될 수 없음을 의미한다. 그렇지만 애자표면에 부착되어 있던 염분이나 수용성 물질은 우천시 용해되어 씻겨졌기 때문에 등가염분부착밀도가 낮게 측정된 것으로 판단된다. 결국 본 연구에 사용된 애자는 전도성 오손물이 매우 적은 상태로서, 단지 비전도성 분진이 애자표면에 고착된 애자로 생각할 수 있다.

표 4. B사 애자의 등가염분부착밀도
Table 4. Equivalent salt deposit density of Insulator B

구 분	면적 (cm^2)	전도도 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	염분량 (mg)	ESDD (mg/cm^2)	오손등급
상부 표면	345	89	8.5	0.025	A
하부 표면	545	134	12.7	0.023	A

3.3 비용해성물질의 성분

표 5에는 현장 오손된 B사 애자의 표면에 부착된 오손물의 성분분석 결과를 나타냈다. 오손물의 표면을 증류수로 세정하고 필터로 거른 비용해성 물질의 성분을 유도결합 발광분광기를 사용하여 분석하였다. 오손물의 성분은 Fe의 중량비가 가장 많이 포함되어 있는 것으로 나타났다. Fe 다음으로 많이 부착된 것은 Si로써 무기물인 실리카(SiO_2) 성분이다. 실리카는 무(유)연탄이 연소되어 발생할 수 있는 성분으로써 주위의 공단에서 날아와 부착된 것으로 판단되며, 이것은 애자의 전기적 특성에 직접적인 영향은 없지만 이러한 무기물이 다량 부착되어 있을 경우에는 염분 등의 전도성물질의 부착을 돕는다. 이와 같이 애자표면에 전도성물질 및 비전도성 물질이 혼합 부착되면 염무, 우천 등에 의하여 누설전류가 증가하고 건조대가 생성되어 국부방전이 발생하고, 심하면 섬락 고장으로 진전되는 것으로 알려져 왔다.

표 5. 비용해성물질의 성분분석
Table 5. Component analysis of non-soluble materials

성 분	중량비(wt. %)	추정 산화물
Si	39.5	SiO_2
Al	5.4	Al_2O_3
Na	0.3	Na_2O
Ca	3.2	CaO
Cr	0.3	Cr_2O_3
Cu	trace	Cu
Mg	1.1	MgO
Mn	0.5	MnO
Fe	43.3	Fe_2O_3
Ni	trace	NiO
Zn	3.4	ZnO
V	0.1	V_2O_5
Mo	trace	Mo_3O_4
Ti	0.4	TiO_2
Pb	1.9	PbO_2

3.4 상용주파 건조 섬락전압 시험

상용주파 건조 섬락전압 시험은 애자에 상용주파수의 전압을 인가하여 섬락이 발생하는 전압의 실효치를 측정하는 것으로서, 건조상태에서 섬락이 발생하는 전압을 측정하여 애자의 건조 절연내력을 확인하였다. 표 6은 비오손품 및 오손품의 상용주파 건조 섬락전압의 측정값이고, 그림 3은 건조 섬락전압의 평균값을 제조회사별로 나타낸 그래프이다. 오손된 애자의 건조 섬락전압은 비오손품애자보다 약 3~8 [%] 정도 저하된 것으로 나타났다. 따라서 애자가 현장에서 장기간(16~30년) 오손 되었더라도 전도성이 매우 낮은 분진만으로 오손된 애자의 건조 섬락전압은 크게 감소되지 않는다는 것을 알 수 있다.

3.5 상용주파 주수 섬락전압 시험

상용주파 주수 섬락전압 시험은 우천시 애자 표면에서 일

어나는 섬락전압을 측정할 목적으로 실시되었다. 앞에서 설명하였던 것과 같이 분진이 애자의 표면에 세정하기 어려운 정도로 고착되어 있었으므로, 주수 섬락전압 시험 후에도 분진이 애자 표면에 부착되어 있었다.

표 7은 비오손품 및 오손품의 상용주파 주수 섬락전압의 측정값이고, 그림 4는 건조 섬락전압의 평균값을 제조회사별로 나타낸 그래프이다. 오손된 애자의 주수 섬락전압은 비오손품애자에 비해 약 10~20 [%] 저하된 것으로 나타났다. 따라서 주수 섬락전압은 건조 섬락전압보다 더 큰 비율로 감소되고 있음을 보여준다. 결국 애자가 오손되어 감에 따라 애자의 전기적 특성이 감소되는데, 건조상태보다는 주수상태에서 더 큰 비율로 감소되었다. 이와 같이 주수 섬락전압이 더 크게 감소된 이유는, 애자의 표면에 부착되어 있던 오손물에 수분이 흡수되어 건조도가 감소되어 섬락전압을 낮춘 것으로 판단된다.

표 6. 상용주파 건조 섬락전압 측정값
Table 6. Power-frequency dry flashover voltage

제작회사	시료번호	상용주파 건조 섬락전압(kV)	평균(kV)
B사(비오손품)	1	74.2	73.0
	2	73.5	
	3	71.3	
A사	1	71.0	70.9
	2	70.9	
	3	77.7	
B사	1	64.9	67.8
	2	67.9	
	3	71.1	
	4	66.6	
	5	69.5	
	6	66.6	
C사	1	68.8	66.9
	2	67.2	
	3	64.7	
D사	1	70.5	69.3
	2	68.1	

표 7. 상용주파 주수 섬락전압 측정값
Table 7. Power-frequency wet flashover voltage

제작회사	시료번호	상용주파 주수 섬락전압(kV)	평균(kV)
B사(비오손품)	1	42.5	41.0
	2	38.6	
	3	41.9	
A사	1	37.0	36.5
	2	35.4	
	3	37.0	
B사	1	32.4	32.7
	2	32.7	
	3	32.5	
	4	32.7	
	5	32.6	
	6	33.3	
C사	1	36.4	35.3
	2	35.3	
	3	34.3	
D사	1	31.8	33.1
	2	34.3	

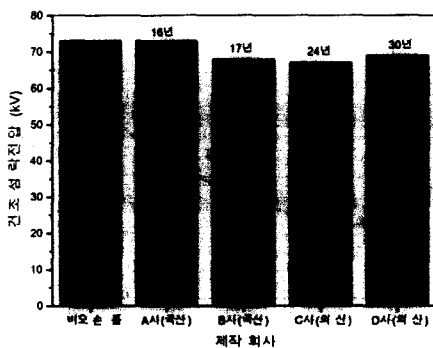


그림 3. 제작회사에 따른 상용주파 건조 섬락전압
Fig. 3. Power-frequency dry flashover voltage as a function of fabricated companies

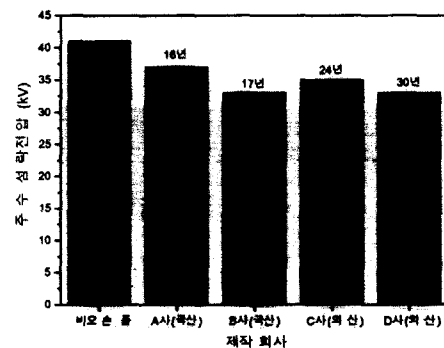


그림 4. 제작회사에 따른 상용주파 주수 섬락전압
Fig. 4. Power-frequency wet flashover voltage as a function of fabricated companies

3.6 누설전류 측정

애자의 일반적인 사용 조건인 건조한 기후상태 및 우천을 모의한 주수상태에서 비오손품과 오손품의 누설전류 차이를 분석하였다. 애자에 13.2 [kV]의 전압을 인가하고 측정된 비오손품과 오손품의 건조상태 누설전류는 그림 5와 같다. 비오손품의 누설전류는 약 160 [μ A], 오손품의 누설전류는 최대 185 [μ A]로 오손품은 비오손품보다 최대 15 [%] 증가한 것으로 나타났다. 그림 6은 건조누설전류를 애자의 사용년수에 따라 표시한 것이다. 사용년수가 증가함에 따라 건조누설전류가 증가하였는데 그것은 오손이 더욱 증가되었기 때문으로 판단된다.

그림 7은 애자에 주수를 하였을 경우에 흐르는 누설전류를 사용년수의 함수로 나타낸 것으로, 주수를 하였을 경우의 누설전류는 비오손품보다 오손품이 최대 35 [%] 증가하였다.

그림 8은 주수상태에서 흐르는 누설전류에서 건조상태의 누설전류를 빼고 남은 누설전류 증가분을 사용년수의 함수로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 사용년수가 늘어나면서 누설전류 증가분도 증가하였는데 이것은 사용년수가 증가함에 따라 애자표면에 부착된 오손물이 증가해서 누설전류가 증가된 것으로 생각할 수 있다. 식 (1)은 건조상태에서 주수상태로 되었을 경우에 누설전류의 증가분을 사용년수의 함수로서 표시한 것이다. 사용년수가 늘어나면서 누설전류 증가분이 사용년수의 2차 함수로 증가하였다.

$$I_l = k_1 Y^2 \quad (1)$$

여기서, I_l : 주수시 누설전류 증가분 [μ A]
 Y : 사용년수 [Year]
 k_1 : 상수

이다.

3.7 미세구조 및 성분 분석

애자표면의 오손정도를 확인하기 위하여 표면에 부착된 오손물의 미세구조를 전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 그림

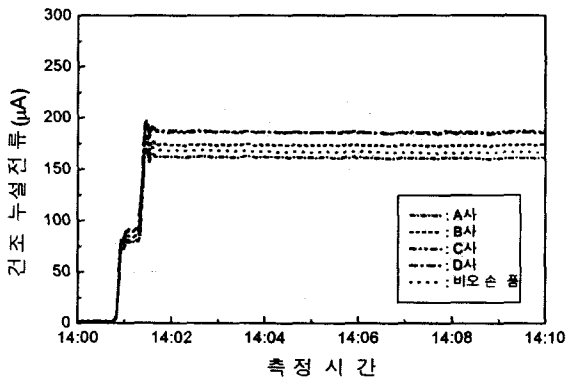


그림 5. 애자의 건조 누설전류
 Fig. 5 Dry leakage current of insulators

9에는 비오손품과 오손품 애자표면의 미세구조를 나타냈다. 비오손품의 미세구조는 그림 9(a)와 같이 매우 깨끗한 것을 알 수 있다. 오손품의 미세구조는 사용 년 수가 증가함에 따라 오손물의 부착정도가 점점 많은 것으로 나타났다. 또한 오손품의 표면에는 그림 9(c)와 같이 약 20 μ m의 미세조각들도 관찰되었다.

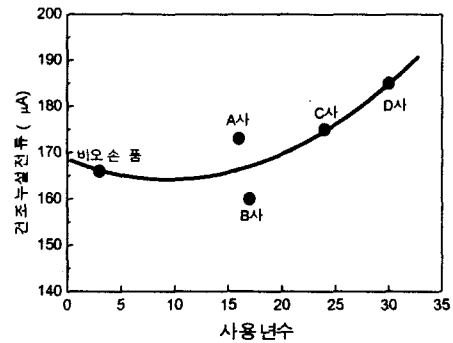


그림 6. 사용년수에 따른 건조 누설전류
 Fig. 6. Dry leakage current as a function of used year

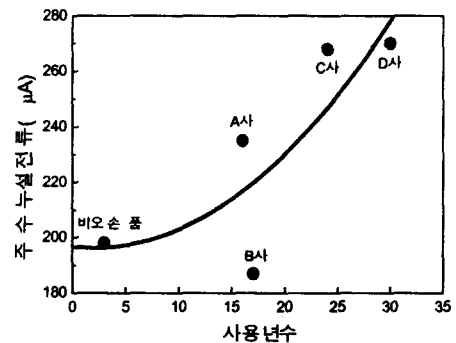


그림 7. 사용년수에 따른 주수 누설전류
 Fig. 7. Wet leakage current as a function of used year

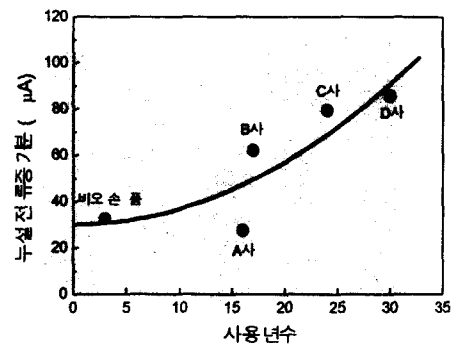


그림 8. 사용년수에 따른 주수 누설전류 증가
 Fig. 8. Increased wet leakage current as a function of used year

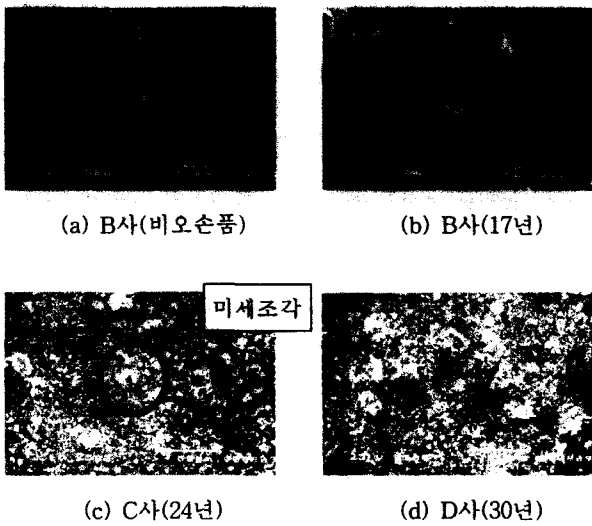
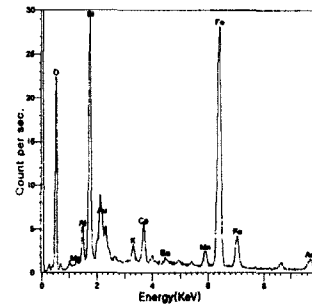


그림 9. 비오손품 및 오손품 표면의 미세구조
 Fig. 9. Microstructures of non-contaminated and contaminated surface

그림 10에는 애자표면의 성분을 분석한 스펙트럼을 나타냈다. 성분분석은 전자현미경에 부착된 에너지 분산분광기로 분석하였다. 성분분석의 균일성을 높이기 위하여 동일한 배율(x 3,000)로 분석하였다. 그림 10(a)를 보면 비오손품에 Fe가 검출되었는데 이것은 유약의 제조공정에서 첨가된 첨가물(Fe, Cr, Mn)에 의한 것이다[1]. 또한 Si의 피크에 비하여 Fe의 피크가 매우 작다는 것을 알 수 있다. 그림 10(c)와 같이 오손품 표면에는 Fe의 성분이 대량 검출되었다. 또한 그림 9(c)의 미세구조에서 관찰된 미세조각은 그림 10(c)와 같이 주성분이 Fe인 것으로 나타났다.



(c) C사(미세조각)

그림 10. 비오손품(a)과 오손품[(b)(c)]의 EDS 분석
 Fig. 10. EDS analysis of non-contaminated and contaminated insulators

애자표면에 균일하게 부착된 오손물 중에서 Si와 Fe의 성분이 가장 많이 포함되어 있는 것으로 ICP분석(표 5)에서 나타났으므로, 오손품과 비오손품의 오손물을 EDS로 분석한 성분 중에서 Fe와 Si의 상대적 강도비율(ratio of relative intensity)을 측정하여 표 8에 나타냈다. 이 상대적 강도를 사용년수의 함수로 나타낸 그래프는 그림 11과 같다. 사용년수에 따라 Fe/Si의 상대적 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 앞에서 애자의 사용년수가 증가하면서 누설전류가 사용년수의 2차 함수로 증가하는 것을 설명하였다. 이러한 누설전류의 2차 함수적 증가는 오손물인 Fe/Si의 비율에서도 나타났는데 식 2에서와 같이 사용년수의 2차 함수로 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 애자의 표면에 부착된 Fe가 애자의 섬락전압 및 누설전류에 영향을 미친 것으로 판단된다.

$$I_{Fe/Si} = k_2 Y^2 \quad (2)$$

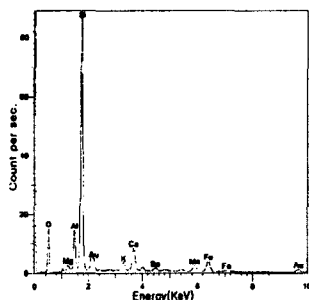
여기서, $I_{Fe/Si}$: Fe와 Si의 상대적 강도 [%]
 Y : 사용년수 [Year]
 k_2 : 상수

이다.

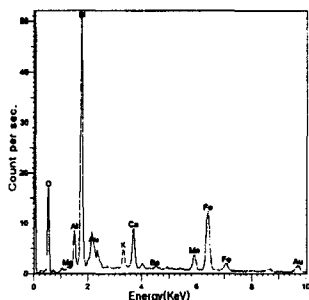
표 8. Fe와 Si의 상대적 강도비율

Table 8. Ratio of the relative intensities between Fe and Si

제작회사	사용년수	상대적 강도 비율(%) $I_{Fe/Si}$
B사(비오손품)	3	3.4
A사	16	5.4
B사	17	11.1
C사	24	23.1
D사	30	23.1



(a) B사(비오손품 평면)



(b) C사(평면)

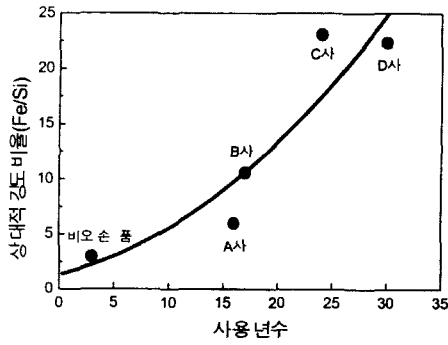


그림 11. 사용년수에 따른 Fe/Si의 상대적 강도비율
 Fig. 11. Relative intensities between Fe and Si as a function of used year

3.8 분진이 전기적 특성에 미치는 영향

애자표면에 전도성 Fe을 포함한 분진이 부착되었을 경우의 모델은 그림 12와 같다. 애자표면에 부착된 Fe은 결과적으로 애자의 누설거리를 줄이는 역할을 한다. 따라서 건조상태의 경우, 누설거리의 감소에 의해 섬락전압이 감소되고 누설전류가 증가되는 것으로 생각할 수 있다. 주수상태가 건조상태보다도 전기적 특성을 크게 변화되는 이유는 전도성 Fe에 의한 누설거리 감소와 함께, 수분이 분진에 흡수되므로써 절연저항이 저하되어 누설전류가 증가되고, 비전도대가 분담하는 전압이 더욱 커져 전도대와 비전도대 사이에서 부분방전이 발생되어 섬락전압을 감소시키는 것으로 판단된다.

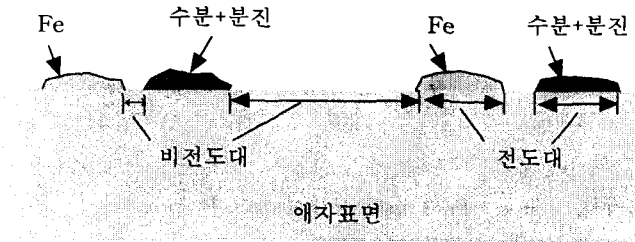


그림 12. 애자표면에 부착된 오손물에 의한 부분방전 모델
 Fig. 12. Model of the partial discharge on the surface of insulator

4. 결론

현장에서 약 16년에서 30년 동안 분진에 오손된 배전용 자기계 현수애자의 전기적 특성에 관하여 조사하였다. 본 연구에 사용된 애자는 해안지역이면서 공단지역에서 장기간 사용되었지만, 자연우천과 인공세정으로 인하여 염분이 용해되어 씻겨져, 분진만이 애자표면에 부착되어 있던 상태였다. 이와 같이 분진만으로 오손된 애자의 특성은 다음과 같다.

[1] 애자가 오손되면서 전기적 특성이 변화되었는데 건조상태 보다는 주수상태에서 더 큰 영향을 받았다. 16~30년 동안 사용된 애자의 최대 전기적 특성변화는 다음과 같다.

- 건조섬락전압 최대 8 [%] 감소, 건조누설전류 최대 15 [%] 증가
- 주수섬락전압 최대 20 [%] 감소, 주수누설전류 최대 35 [%] 증가

[2] 애자표면에 부착된 분진의 Fe/Si의 상대적 비율과 누설전류는 사용년수의 제곱에 비례하여 증가하였다. 따라서 애자의 표면에 부착된 Fe은 전기적 특성에 영향을 준 것으로 판단된다.

[3] 애자표면에 부착된 Fe은 애자의 누설거리를 줄이는 역할을 하여 건조섬락전압을 감소시키고 누설전류를 증가하는 것으로 판단된다.

[4] 주수상태에서는 Fe에 의한 누설거리 감소와 함께, 수분이 분진에 흡수되므로써 절연저항이 저하되어 누설전류가 증가되고, 비전도대가 분담하는 전압이 더욱 커져 섬락전압을 감소시키는 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] 송일근, 김찬영, 김주용, 한재홍, 이병성, "배전기자재의 수명예측 기준제정(최종보고서)", 전력연구원, pp. 7-75, 2000.

[2] 김찬영, 김주용, 송일근, 이병성, "배전용 현수애자의 특성분석", 한국 전기전자재료학회 논문지, Vol. 13. No. 3. pp. 259-264, March 2000.

[3] 송일근, 김찬영, "송전용 현수애자의 성능평가에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 49C, No. 7, pp. 406-411, July 2000.

[4] E. A. Cherney, "Cement Growth Failure of Porcelain Suspension Insulators", Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 8. pp. 2765-2774, August 1983.

[5] R. Matsuoka, K. Kondo, K. Naito, M. Ishii, "Influence of Nonsoluble contaminants on the flashover voltages of artificially contaminated insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, Issue 1, pp. 420-425, January 1996.

[6] K. Naito, "A Comparative Study on Various Artificial Pollution Test Methods", NGK Review, No 30, pp. 29-37, 1966

[7] 장정태외, "전력설비의 염진해 대책에 관한 연구(III)", 한국전력공사 전력연구원, pp. 58-120, 1988.

저 자 소 개



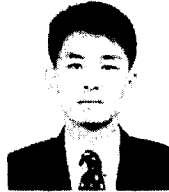
김 찬 영 (金 燦 泳)

1962년 9월 6일 생. 1989년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 미국 Colorado School of Mines 재료공학 졸업(석사). 1997년 동 대학원 재료공학 졸업(공학박). 1997년~2001년 한전 전력연구원 선임연구원. 2001.3~현재 우석대 반도체전기자동차

공학부 전임강사.

Tel : 063-290-1695

E-mail : kimcy@woosuk.ac.kr



한 재 홍 (韓 在 鴻)

1967년 10월 5일 생. 1990년 단국대 공대 재료공학과. 1992년 동 대학원 재료공학과 (석사). 1996년 고대 대학원 재료공학과 졸업(공학박). 현재 한전 전력연구원 전력계통 연구실 선임연구원, Project Leader.

Tel : 042-865-5921

E-mail : jhhan@kepri.re.kr



송 일 근 (宋 一 根)

1961년 3월 3일 생. 1984년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기 공학과 졸업(공학박). 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원, Project Leader

Tel : 042-865-5920

E-mail : iksong@kepri.re.kr



김 동 명 (金 東 明)

1960년 2월 26일 생. 1986년 홍대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 고대 산업대학원 재료공학과 졸업(석사). 1996년 한국전력공사 서부지점 배전운영과장. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원.

Tel : 042-865-5922

E-mail : kimdmng@kepcoco.kr



김 주 용 (金 周 勇)

1969년 9월 27일 생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 현재 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5923

E-mail : jykim@kepri.re.kr



이 병 성 (李 丙 成)

1968년 8월 17일 생. 1993년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1995-현재 : 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임보연구원.

Tel : 042-865-5924

E-mail : leeb@kepri.re.kr