

## 22.9kV-Y 배전설비에 부착된 대도시 대기오염성분에 대한 조사연구

김동명, 윤태상, 박상만, 이수목\*  
한전 전력연구원, \*한전 중앙교육원

### An Investigation on the Air Pollution for Distribution Facilities in Metropolitan Area

Dongmyung Kim, Taesang Yoon, Sangman Park, Suemuk Yi\*  
Korea Electric Power Research Institute, \*Central Education Institute (KEPCO)

**Abstract** - The effect of air pollution on the distribution facilities was investigated. In order to evaluate the pollution level in the metropolitan area, contaminated specimens were analyzed with various technique such as ICP-AES, EA, and so on. The contaminants on the surface of the distribution line or insulators were combined with approximately 10 percent of organic and 90 percent of inorganic materials. We found out that the electric facilities were affected by the contaminants on the surface of the facilities.

착되면 전압차가 발생하여 전선 피복표면에 누설전류가 흐르게 되고 그 결과 주울(joule)열이 발생한다. 이 열에 의해 부분적으로 건조하게 되면 전기적 저항이 높아지며, 전계의 불균형에 의한 미소 발광방전(Scintillation)이 생기며, 절연체의 일부가 분해되면서 탄화물질을 생성한다. 이때 생성된 탄화물은 저항이 낮으므로 그곳에 전계가 집중되어 결국에는 절연파괴에 도달하게 된다.

## 1. 서 론

도시 환경에서 대기중에 존재하는 오염물질인 유황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 분진에 포함되어 있는 각종 염해 성분과 금속성 성분은 대기중에 노출되어 있는 시설물에 큰 영향을 미친다. 이러한 성분들은 설비에 부착되어 대기중의 수분과 작용하거나 성분자체가 설비의 열화를 촉진하거나 사람은 물론 동식물의 생활에 직·간접적으로 나쁜 영향을 미친다. 특히, 대기에 노출되어 있는 전력설비의 고장 중 대기오염과 관련되는 자연 열화, 부식, 염진해 등에 의한 것이 약 12~14%에 이르고 있다. 본 논문에서는 대기오염이 특고압 배전설비(22.9kV-Y계통)에 미치는 영향을 평가하기 위하여 현장에서 운전되는 배전기자체의 분진을 각종 분석장비를 이용하여 대기오염 성분에 대하여 조사한 내용을 기술한다.

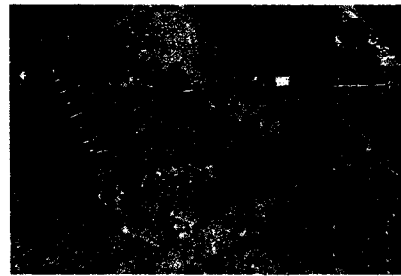


그림 1. 절연전선의 트래킹

## 2. 본 론

### 2.1 대기오염에 의한 배전설비 피해 유형

#### 2.1.1 전선노출부 부식

대부분의 가공배전선은 피복알루미늄전선으로 구성되어 있어 금속전선과 대기와의 접촉이 차단되기 때문에 대기오염물질이 포함된 우수(雨水) 등이 절연전선 내부로 침입하지 않으면 거의 피해가 발생하지 않는다.

그러나, 시공상 발생한 접속점의 노출된 부위는 부식을 유발시키는 수분이 침입하기 쉬운 장기간에 걸쳐 체류(滯留)수분이 대기중의 부식성 가스를 흡수하여 부식에 필요한 전해액을 만들어 부식을 일으키고, 금속체 일부가 외부에 노출되어 있어 표면의 부식생성물이 탈락되어 계속적으로 부식이 진행된다고 할 수 있다.

#### 2.1.2 트래킹(tracking)현상에 의한 절연파괴 손상

절연전선의 표면에 분진, 염분 또는 도전성 물질이 부

#### 2.1.3 애자 부식

염소이온에 의해 금속표면의 피막이 파괴되어 대기부식을 촉진하거나, 금속 틈사이에 스며들어 간극부식을 일으켜 고정부가 이탈되기도 한다. 애자에 분진이 부착되면 분진이 대기중의 수분을 흡착하여 분진중의 가용성 성분이 용해되어 전기적인 저항이 저하되어 절연이 파괴된다.

#### 2.1.4 금구류

접속부는 전기적, 화학적, 기계적으로 취약성을 내포하고 있어, 부식에 의한 피해가 발생하기 쉽다. 즉, 틈사이가 있어 부식성 물질이 침투하여 잔류할 수 있고, 접촉저항에 의한 발열로 금속이 산화되기 쉬우며, 선로의 진동, 인장력 등에 의한 표면의 산화물 피막이 손상되기 쉽다.

아연도강으로 되어 있는 완금은 표면의 아연이 소실되어 금속인 철이 대기에 노출되면 부식에 의해 적갈색으로 변색된다.

### 2.2 전력설비 열화에 영향을 미치는 원소

#### 2.2.1 질소(N)

질소(N)의 경우 전선이나 애자 표면에 흡착되어 있는 상태라면 대기중에서 생성된 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이 염의 형태로 흡착되어 있는 것인데, 수분과 만나 질산(HNO<sub>3</sub>)으로 될 경우 전선의 경우 재질이 고분자이므로 고분자의 구성성분의 변화를 초래하거나 이온상태로 해리되어 표면 전도도를 증가시켜 누설전류를 증가시킬수 있는 것이며, 애자의 경우는 애자 표면의 유약성분을 녹

여 표면을 매끄러운 상태로 유지하지 못하기 때문에 여러 가지 문제점과 누설전류의 발생을 초래할 수 있다.

### 2.2.2 황(S)

대기중에서는 유황산화물(SOx)이 화산암모늄((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 등 염의 형태로 전선이나 애자 표면에 흡착되어 있는 것인데, 부식성이 매우 강하며 황산으로 존재했을 경우 전선 및 애자 표면의 성분을 변화시키거나 표면 전도도를 증가시키며 특히 황은 애자의 성분인 비가용성 탄산염을 용해도가 큰 탄산염으로 전환시켜 빗물에 의해 씻겨 내려감으로서 열화를 촉진시킨다.

### 2.2.3 탄소(C)

먼지 형태의 분진 중 입자상 물질의 성분으로 이슬이나 가랑비 또는 안개 등의 습윤조건이 갖추어지면 수분 입자가 응축할수 있는 응축핵으로 작용하거나 수분의 다른 오염물질을 흡착하여 부식을 초래하거나 표면 전도도의 증가로 인한 누설전류의 발생을 초래할 수 있다.

### 2.2.4 수소(H) 또는 산소(O)

독립적으로 존재하여 어떤 영향을 미치는 것 보다는 질소, 황, 탄소등의 존재 유무를 확실하게 증명해 주는 결과로서 수소의 존재는 결국 암모니아(NH<sub>4</sub>) 성분이 있음을 의미하는 것이며 산소의 경우는 채취하여 분석한 시료가 고체이므로 기체상의 유황산화물이나 질소산화물에서 기인한 것이라기 보다는 금속 산화물에서 기인한 것이라고 예측할수 있다.

### 2.2.5 오염물질

질소산화물이나 유황산화물, 암모니아, 메탄 가스 등이 대기중에 존재하였다가 흡착되기 전 미칠수 있는 영향을 살펴보면 대부분 수분과 결합하여 수용성 상태에서 용해되어 전도도의 증가에 의한 누설전류 발생으로 열화를 촉진하거나 섬락사고까지 이르게 하는 것이며 암모니아 가스의 경우는 유황산화물이나 황산과 반응하여 고체 상태가 아닌 에어로졸 형태의 황산암모늄이 되어 전선이나 애자 표면에 부착하여 전기적 절연을 파괴하는 등의 영향을 미친다.

### 2.2.6 금속성분

고분자로 구성되어 있는 절연전선의 피복이 금속과 직접 접촉할 경우 열화가 발생되는데 특히 금속성분중 자동 산화반응을 일으키는 Ni, Fe, Cu, Co, Mn 등은 2가 이온에서 3가 이온으로 산화상태가 자동적으로 변화하기 때문에 전자의 이동이 생겨 고분자 사슬을 취약하게 하고 결국 분자량의 감소와 특성의 변화를 수반한다. 이들 금속성분이 전선의 표면에 존재한다는 것은 고분자 표면의 열화를 촉진하여 크랙 발생과 함께 전체의 집중 가능성을 의미한다는 것이므로 매우 위험한 것이다. 또한 애자에 미치는 영향으로는 표면이 다른 유기적 성분에 의하여 가용화 되었을 경우 원래 성분과 치환되어 본래의 성분이 변화하여 열화될 수 있다. 또한 이들 금속 성분이 접촉제나 금구류 표면에 존재할 경우에는 금속간의 전극전위차에 의해 서로를 부식 시키는 성질을 가진다.

## 2.3 시료 채취 및 분석

### 2.3.1 시료 채취

분석을 실시한 시료는 서울 마포구, 용산구에 운전되고 있는 배전설비중 ACSR-OC전선의 피복과 애자 표면에 부착되어 있는 분진으로 사고나 설비보수에 의하여 절거된 약 2,800개의 전선이나 애자 표면에서 붓을 이용하여 분진을 채취하였다. 시료가 부착되어 있는 설비의 설치년도는 1980~1985년이고 운전년수는 7년 이

상이다. 표 1은 분석시료의 주변환경을 나타내고 있다.

표 1. 시료 채취 지역 및 환경

시료	설치지역	주변환경
#1	마포구 합정동	상가
#2	용산구 보광동	주택
#3	용산구 보광동	상가
#4	용산구 문배동	공장
#5	용산구 보광동	상가
#6	용산구 보광동	상가
#7	마포구 상암동	주택
#8	마포구 상암동	공장

### 2.3.2 분석방법

시료에 대한 분석방법으로는 N, S, C, H 등의 유기 성분 분석을위한 원소분석법(Elemental Analysis), 800℃ 이상에서 분해되지 않는 무기성분의 총 함량을 구하기 위한 열 질량 분석법(Thermal Gravimetric Analysis), 금속 성분의 종류와 함량을 구하기 위한 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법(Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy)등을 이용하였다. 배전기자체 표면에 부착되어 있는 분진의 함량이 많고 가압 상태(energize line)에서 수거가 불가능하므로 절거된 기체재의 표면에서 시료를 수거하여 시료 수거와 실제 사고 설비와의 연관성 고찰에는 무리가 있다고 본다. 이러한 사유로 본 분석은 부착성분의 함량이 설비열화에 미칠수 있는 영향을 조사하는데 목적을 두었다.

### 2.3.3 원소분석(EA)

EA는 유기물중 원소를 분석, 측정하는 방법으로 시료를 일정 온도로 강하게 열처리하여 분자상태를 파괴하여 원자상태의 기체상태로 화학적으로 변환시켜 연소의 과정이나 가스크로마토 그래피를 거쳐 정량적으로 함량이 결정된다. 시료를 분석한 결과 총 유기성분의 함량은 대략 9%~14%이며 각 시료마다 들어있는 성분에 차이가 있다. 먼저 #1, 2, 3 시료에는 다른 시료와 달리 황(S)이 발견되지 않아 이 지역에는 대기중에 유황산화물이 거의 존재하지 않거나 또는 유황산화물이 염의 성분으로 흡착될 수 있도록 도와줄 수 있는 양이온성분이 존재하지 않을 가능성이 있다. #4 시료는 공장지역으로 황이 비교적 많음을 알 수 있고 #7 시료의 경우는 주택가 지역인데도 꽤 많은 양의 황이 존재함을 볼 수 있다. 질소 성분은 대부분이 비슷한 수치를 보이며 0.8% 이상이 관찰된 #2와 #5 시료는 각각 주택과 상가 지역이 혼재되어 있는 선로에서 채취한 시료인데, 이 지역은 질소성분을 발생시키는 오염원이 많이 존재한다고 할 수 있다.

표 2. 유기성분의 함량 (단위: %)

(%)	N	C	S	H	Total
#1	0.53	7.00	-	1.40	8.93
#2	0.82	7.56	-	1.28	9.66
#3	0.69	8.24	-	1.23	10.16
#4	0.45	7.31	4.11	1.78	13.65
#5	0.89	9.48	1.69	1.84	13.90
#6	0.36	6.61	1.08	1.20	9.25
#7	0.46	7.91	1.74	1.27	11.38
#8	0.48	8.22	1.24	1.37	11.31

### 2.3.4 열 질량 분석(TGA)

TGA는 온도의 함수로서 질량의 변화를 연속적으로 측정하는 방법으로 분석 시료 중 원소분석을 통한 유기물 외에 800℃ 이상에서도 분해되지 않는 금속이나 산화물이 어느정도 존재하는지 알아보기 위한 방법이다. 표 3은 각 시료의 전체 함량중 800℃ 이상에서 분해되지 않는 무기성분의 함량이 대략 69%~86% 포함되어 있는 것을 관찰할 수 있다.

표 3. 무기성분의 함량(단위: %)

시료	함량 (%)
#1	69.0
#2	80.1
#3	81.3
#4	80.0
#5	77.5
#6	85.5
#7	82.5
#8	81.5

그림 2는 무기성분의 함량이 가장 많은 시료 #6에 대한 TGA thermogram을 나타내고 있다.

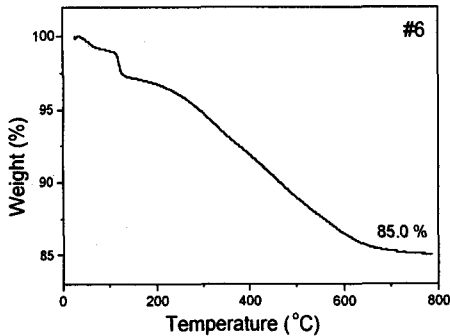


그림 2. 시료 #6의 TGA thermogram

### 2.3.5 유도 결합 플라즈마 원자방출 분광법

표 4는 유도 결합 플라즈마 원자방출 분광법에 의한 시료의 분석결과로 대략 19,000 ppm(1.9%)~33,000 ppm(3.3%)의 금속 및 염해성분이 함유되어 있는 것을 나타내고 있다. 이 중 많은 양을 차지하는 성분으로는 염의 성분인 나트륨(Na), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 철(Fe), 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg)으로 나트륨, 칼륨, 칼슘은 우수에 의한 수분에서 유입된 것으로 예상되나 알루미늄과 아연(Zn) 등의 성분들은 정확한 유입경로를 예측하기 힘들다. 특히 대기중에 존재하면 해(害)가 되는 납(Pb)이 많게는 100 ppm 이상 존재하며 카드뮴(Cd)이 0.8 ppm 관찰된 시료도 있다. 이들 성분은 전선이나 애자 자체에서 밖으로 유출될 수 있는 것이 아니므로 주변 환경과 정확한 유입경로의 파악이 요구된다.

표 4. 금속 및 염해성분 함량(단위: 10ppm)

성분	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
Cr	1.5	1.3	1.33	13	0.94	1.05	1.32	1.27
Zn	73	99	78	176	105	61	82	105
Cd	-	-	-	0.08	-	-	-	-
Pb	4.4	6.7	5.49	10	6.08	3.5	5.71	5.07
Co	0.2	0.2	0.20	0.33	0.17	0.18	0.19	0.19
Ni	0.73	0.67	0.67	7.15	0.63	0.53	0.81	0.76
Fe	412	434	471	763	578	423	423	391
B	0.28	-	-	0.38	0.25	0.12	0.1	0.09
Mn	4.17	3.9	4.13	5.5	4.09	4.95	4.51	3.97
Mg	84	86	88	56	78	102	91.9	86
Ga	0.22	0.17	0.21	0.24	0.20	0.18	0.23	0.17
Cu	2.87	3.0	3.65	7.06	3.05	3.91	3.38	3.88
Ca	348	330	675	525	318	268	306	282
Al	658	645	1,436	483	623	684	721	725
Sr	1.11	1.47	1.59	1.34	1.46	1.49	1.38	1.58
Ba	4.23	4.82	5.49	6.46	6.49	7.62	6.56	7.08
Na	84	104	103	113	121	131	129	123
Li	0.44	-	0.86	0.53	0.65	0.77	0.79	0.95
K	251	333	391	205	230	258	250	237
계	1,930	2,053	3,265	2,373	2,077	1,951	2,027	1,974

## 3. 결 론

본 논문은 전력설비에 부착 또는 흡착되어 있는 대기 중에서 유입된 오염물질이 배전설비 중 전선과 애자에 미치는 영향에 대한 분석 자료로써 이들 성분이 미칠 수 있는 가능성에 대하여 고찰하고 실제로 어떤 종류의 성분이 어느 정도 포함되어 있는가를 조사하였다.

조사결과, 전선이나 애자 표면에 부착된 먼지 형태의 분진 중에는 대략 10% 내외의 C, H, N, S 등의 유기 성분이 포함되어 있으며 전체 성분중 800℃ 이상에서도 분해되지 않는 무기 고형성분이 80% 내외로 존재하며 아주 많은 함량의 염분과 금속성분이 존재하고 있는 것으로 관찰되었다.

이러한 대기오염물질은 전력설비에 다양하고 심각한 피해 발생이 우려되므로 이에 대한 적절한 대책과 환경 감시가 필요하다고 생각된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사 서부지점, "배전설비열화 해석", p110-p124, 1999
- [2] 한국전력공사 전력연구원, "대기오염이 전력설비에 미치는 영향 연구", 1993
- [3] Gragio R. Barrett, "The Principles of Engineering Materials", p179-p189, 1973