2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

철도 터널구간 애자류 오염도 분석에 관한 연구

전용주*, 이태훈* 최경일*, 이시빈*, 한상길*
한국철도공사*

A research on the tunnel insulator pollution characteristic in Korea Railroad

Yong-Joo Jeon*, Tea-Hoon Lee*, Kyoung-il Choi*, Shi-Bin Lee*, Sang-gil Han*
Korea Railroad

Abstract - This paper introduces insulator pollutant accumulate pattern in the tunnel of korea railroad.
To accomplish this goal, effective sample collecting method was proposed for the first step. Dust at the surface was collected directly. Distilled water and brush was used while collecting. Through this method dust is easily and accurately collected.
The second step is pollutant analysis. Several analyze item is selected such as quantity, conductivity, contact angle, Optical Microscope(OM), IR, Equivalent Salt Deposit Density(ESDD), and ICP-AES.
The third step, best represent tunnel was selected considering location, length and natural surroundings. Also to consider the difference at inside the tunnel, several bracket insulators were selected along to the location. To make the result precise, above procedure was repeated several times at the same target.
Finally relation among type of train, numbers of movement, surroundings, length will be considered in combination with the pollution.
With this result pollute map for KORAIL could be accomplished and inspect period will be optimized case by case

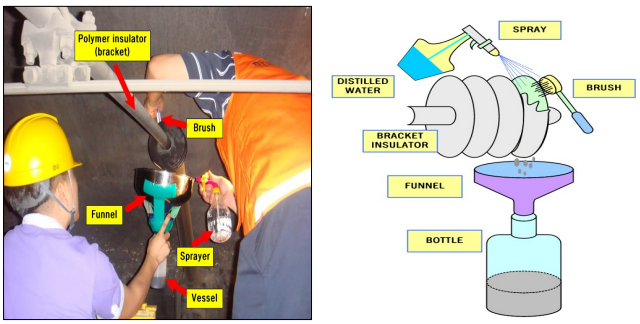
1. 서 론

최근 전기철도는 녹색성장과 친환경에 힘입어 지속적으로 확대 발전하고 있다. 국내의 경우 2008년 현재 54%의 전철화율을 보이고 있으며 지속적인 증가가 예상된다. 반면 국토의 70%가 산악지형으로 이루어진 특성으로 운영유지보수가 난해한 터널의 운영은 불가피한 실정이다. 한국철도공사의 경우 전철화구간을 기준으로 약 600여개의 터널을 운영하고 있으며 1930년대부터 2000년대 까지 설치년도 매우 다양하다.
터널의 경우, 노출구간과 달리 운행열차 또는 주변환경으로부터 쉽게 오염되며 반면 자체적인 정화는 곤란한 특성을 가지고 있다. 따라서 상대적으로 사고의 위험이 높으며 안전운행의 저해요소가 된다.
본 논문에서는 브라킷의 오염정도를 분석하기 위하여 대상터널과 시험방법을 선정하였으며, 취득된 데이터의 분석방법과 결과를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 분진 포집관련 규정과 현장 적용방법

KS C IEC 60507(2005)에서는 "교류시스템에 사용되는 고압애자의 인공오염 시험"에 관한 사항이 정의되어 있다. 고전압 설비의 오염정도는 염분의 농도(보통 kg/m3 단위)를 활용하거나 또는 부착된 염분의 양(mg/cm2)을 정의하는 염분부착밀도(SDD)를 활용한다.

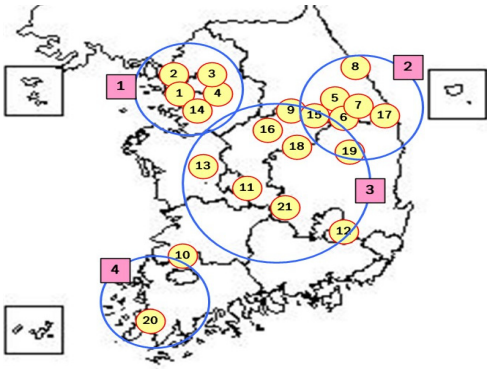


〈그림 1〉 오염물 포집 현황

현장에서 분진을 채취하기 위한 방법으로는 공기분진 포집기를 활용하는 방법, 애자 표면 세정 포집 방법, 애자 수거방법 등이 있다.[1] 본 연구에서는 현장여건, 작업환경, 정확성 등을 고려하여 현장애자 세정법(필세법)을 선택하였다. 취득 데이터의 일관성을 위하여 전담 연구자를 선임하고 정량화 된 프로세스를 수행하였다.
필세법은 붓으로 일정 영역을 정하여 현장에 있는 애자의 표면에 부착된 분진을 세정하는 방법으로, 준비물로는 붓(brush), spray, 용기(bottle), 세정액(distilled water)이 필요하다. 그림 1에 현장 데이터 취득 모습을 나타내었다.

2.2 분진 포집관련 규정과 현장 적용방법

한국철도공사는 전국적인 철도 네트워크망을 운영하고 있고, 600여개 이상의 터널이 다양한 환경과 특성으로 운영므로 지역의 특성이 반영된 터널을 선정 하는 것은 매우 중요한 사항이다. 대상선정을 위하여 터널별 운행차종, 지리적위치, 터널의 이력사항, 기후환경 등을 고려하여, 총 21개의 터널을 선별하였다. 또한 각 터널별 내부 위치에 따른 오염상태를 비교분석하기 위해 2~3개소의 타겟을 선정하였다. 아래 그림에 전국단위의 선정터널과, 타겟 위치 선정 개요를 나타내었다.
시험대상으로 분류된 브라킷은 연구기간동안 세척을 가능한 중단하고 현장상태의 보존하였으며 기간별 오염정도의 변화 그래프를 작성하기 위해 포집기간이 상이한 3개 이상의 샘플 수거를 계획하였다.



〈그림 2〉 터널애자 오염 측정을 위한 대상 선정

환경적 영향에 지배될 것이라고 판단되는 구역을 총 4개로 분류해보았다. ①번 구역은 서울/경기지역 으로 심한 도심공해의 영향과 염해 일부의 영향이 있을 것으로 추정되고, ②번 구역은 동해안 지역으로 염해의 영향, 산업시설에 의한 영향 등이 동시에 있을 것으로 추정되고, ③번 구역은 내륙지역으로 운행되는 열차의 영향이 가장클 것으로 추정되며. ④번 구역은 남해안 지역으로 염해의 영향이 주로 나타날것으로 추정된다.

2.3 분석기법의 정의와 특성

2.3.1 포집량 및 도전율 측정

현장에서 취득한 분진은 일정한 단위면적으로 환산되어, 포집량은 전자저울을 활용하여 10^{-4}g까지 질량측정을 수행하였다.

〈그림 3〉 분진량의 측정 과정

그림 3에 질량 측정 과정을 나타내었다. 또한 세정액을 일정비율로 비이커에 정량화하고 도전율을 측정하였다. 세정액과 전자저울, 도전율 측정기 장비를 보여준다. 도전율과 포집량을 비율적으로 평가되면, 각 터널에서의 오염도 분석의 기본자료로 활용될 것이다.

2.3.2 접촉각 측정

오염물질의 친수성의 판단을 위해 접촉각을 측정하였다. 일정량의 물방울을 적하한 후 표면에 맺히는 각도를 측정하였다. 발수성에 따라 접촉각의 변화를 확인하였다. 이러한 특성을 평가하여 터널 오염지역의 절연표면 특성을 해석하는데 이용된다.

2.3.3 오염물 성분분석

포집된 분진은 전기적인 절연에 직접적인 영향이 있는 항목을 중심으로 성분분석을 수행하였다. 이는 유도결합 플라즈마 원자발광분광법(ICP-AES ; Inductively Couped Plasma - Automic Emission Spectroscopy)에 의해 수행되었다.

본 연구에서는 선행 연구된 자료를 근거로 하여 총 10가지의 원소에 대해 그 성분분포 해석을 수행하였다. 국내 분진에 의한 오염지역에서 많이 분포되어 있는 성분은 아연(Zn), 나트륨(Na), 칼슘(Ca), 인(P), 마그네슘(Mg), 철(Fe), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 망간(Mn), 납(Pb) 등이었다.[2] 공해지역일수록 황의 분포가 많으며 이외에 오염평가에 이용되는 분진은 나트륨, 칼륨, 칼슘, 철, 알루미늄, 마그네슘 등이다.

2.4 분진포집 결과분석

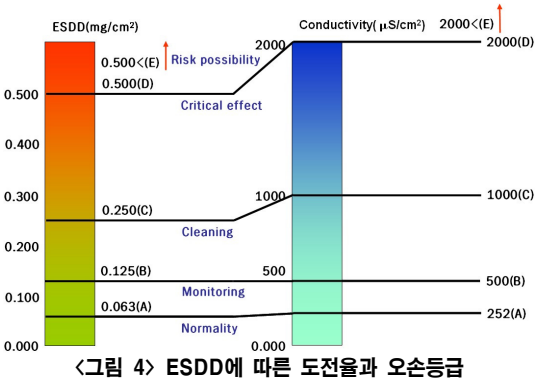
2.4.1 애자류의 포집량 및 도전율

측정결과 터널구간으로 전차가 들어오는 입구에서는 약 0.0495g에서 31.652g까지 다양한 포집량을 보였으며, 터널의 출구 측에서도 0.3626g~42.70g의 포집량을 가졌다. 또한 중앙부분 역시 두 곳과 비교해서 포집량은 낮게 나타났지만, 각 채취장소마다 편차가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 애자류 오염물 채취시, 절연 grease에 의해 포집량이 증가한 것으로 판단된다. 특히 절연 grease가 도포된 터널구간인 06, 07, 08, 09, 11, 15, 17, 18, 19에서 포집량이 크게 증가하였다.

분진발생지역의 발생평가의 경우는 총 5단계로 구분할수 있다.[3] E등급(Hazardous Effect)은 안전은 위험 단계로 급히 점검 또는 세정할 필요한경우이고. D등급(Major Effect)의 경우에는 절연재(전기설비) 표면이 원 색상과 다르게 보이는 단계이며, C 등급(Modern Effect)은 일반적인 상태이고, B등급(Very Slight Effect)은 전기설비가 매우 양호함한 상태이며, A등급(No Effect) 주변 환경과 관리가 매우 효율적으로 운용되고 있음을 의미한다. 표 1에 등급별 기준을 나타내었다.

표 1. 분진부착에 대한 애자상태 평가 등급

Class	Severity State	Criterion
E	Hazardous Effect	절연재 표면인식이 확인 안 될 정도의 강하분진
D	Major Effect	절연재 표면이 원색상과 다르게 보이는 정도
C	Modern Effect	전기설비 표면 확인되나 분진 많음
B	Very Slight Effect	전기설비 표면 미미한 분진 발견
A	No Effect	설비표면에 1년 동안 분진 거의 없음



〈그림 4〉 ESDD에 따른 도전율과 오손등급

등가염분부착밀도(ESDD)와 도전율과의 관계를 판단하기 위해 국내 산업규격과 한국전력공사에서 자체 개발한 내용을 활용하여 오손등급을 마련하였다. 도전율과 비교시 252㎲/㎝이하이면 정상, 500㎲/㎝이하이면, B 등급으로 모니터링(점검), 1,000㎲/㎝이면, C 등급으로 애자의 세정계획 수립 및 1개월이내의 세정, 2,000㎲/㎝이하이면 D 등급으로 즉시 세정, 2,000㎲/㎝이상이면 E 등급의 위험가능성이 높으므로 즉시세정 및 정밀점검으로 나눈다. 그림 4에 ESDD와 도전율과의 관계를 나타내었다. 판단기준에 의해 포집된 오염물의 분석결과를 표 2에 나타내었다.

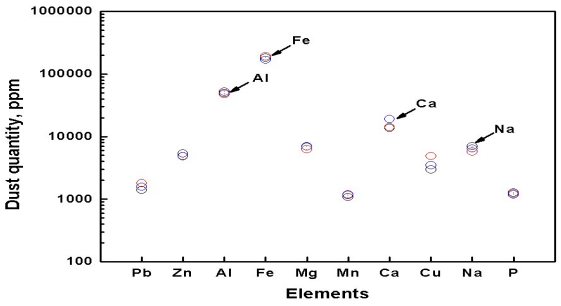
표 2. 포집분진의 평가결과

No	ESDD Class					No	ESDD Class				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
1			○	●		12	○				
2	○	○				13	○	○			
3		○	○			14		○			
4	○					15		○	○		
5	○	○				16		○			
6		○	○	●		17			○	●	
7		○	○			18		○	○	●	
8			○			19			○		
9			○	●●		20			○		
10		○	○			21	○				
11			○								

일부터널의 경우 운행의 안전을 위하여 즉각적인 세정계획의 수립이 요구되는 것으로 결과가 나타났다. 다만 데이터의 보편화를 위해서는 추가적인 데이터 취득에 이은 분석이 요구된다.

2.4.2 오염물 성분분석

터널의 애자오염에 대한 특징을 규정하기 위해서는 현장에서 포집한 성분과 파악하고 그 분포특성을 해석하는 것이 바람직하다. 그림 5에 각 터널 내부에서 포집된 성분을 나타내었다.



〈그림 5〉 전체 터널에서의 성분분포 특성

터널내부는 입구와 출구를 제외하고는 밀폐된 공간으로 구성되어 있으며, 운행되는 열차는 오염물을 부류시키고 강하하여 부착되는 과정을 거친다. 일반적으로 부착된 먼지는 그 성분특성에 따라 도전특성을 달리한다. 전차선로가 운행되는 조사현장의 터널내부에 존재하는 성분 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 것은 철 성분이었다. 다음으로는 알루미늄, 칼슘, 나트륨 등의 순으로 나타났다. 금속의 전위차에 의한 부식 친밀 순서를 정리하여 보면, 금, 흑연, 은, 스레인레스강, 구리, 주석, 철, 알루미늄, 아연, 마그네슘의 순이다. 이는 대부분 해수 중의 유전계열 이다. 철, 알루미늄, 아연 등은 전력설비의 소재로 이용되는 성분들이며, 외부 환경 요인에 의한 영향으로 검출된 성분은 나트륨, 칼슘 등인 것으로 되어 있다. 따라서, 전체 평균적인 견지에서 보면, 계통의 영향(내부적인 영향)과 외부 환경의 영향이 복합적으로 반영된 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 논문을 통하여 국내 철도터널구간의 오염 정도를 분석하여 전기시설물 점검의 기준자료를 제시해보았다. 오염물 취득은 필세법을 이용하였으며, 지역을 대표하는 타겟을 선정하여 포집을 수행하였다. 포집수행 이후 포집량, 친수성, 도전율, 성분분석을 수행하였으며, ESDD와 도전율과의 비교를 통하여 세정주기를 산정해 보았다. 252㎲/㎝, 500㎲/㎝, 1,000㎲/㎝, 2,000㎲/㎝의 기준값을 통해 분석이 수행되었고 도전율은 절연 grease가 도포된 지역을 중심으로 높게 나타나는 특성이 있었다. 성분분석의 경우 철, 알루미늄, 칼슘, 나트륨 등의 성분을 중심으로 나타났으며 절연성능과의 관계를 분석하는 기본데이터로 활용될 것이다. 현재 종합적인 데이터 분석이 수행중이며, '09년 7월 완료 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] David C. Jolly, "Contamination flashover theory and insulaotr design", Journal of Franklin Institute, 294(6), pp.483~490, 1972

[2] Jung-Sub Nam et al, "A Study on the Safety for Industrial Electric Railways and Its Subequipments Located in Tunnels and around Industrial Dust making Areas, DaeJeon, Koran railroad, July.1996.

[3] In-Huyk Choi, Yoon-Hwan Jung, Jang-Hyun Choi, Dong-Il Lee, "Artificial contaminated testmethod and leakage current characteristics of EHV insulators", KIIEE Spring Conf., pp.386~391, 2004