

# 터널내 환기구 양방향 전기집진기 소비전력 저감과 운영비 절감을 위한 전기집진기 능동운전시스템 연구

## A Study on the Active Operation System for the Reduction of Power Consumption and Operation Cost of the Two-Way Electric Dust Collector in the Tunnel

문영주\*<sup>†</sup>, 임성현\*, 황인기\*, 유경천\*, 김종훈\*\*

Youngjoo Moon\*<sup>†</sup>, Sunghyun Im\*, Ingi Hwang\*, Kyoungchon Yu\*, Jonghoon Kim\*\*

**초 록** 광주교통공사는 광주도시철도 1호선 터널 환기구에 공기중의 미세먼지를 제거하는 양방향 전기집진기를 설치하여 운영중에 있다. 터널 내에서 운행하는 열차 시간 및 미세먼지 수치와 상관없이 스케줄 방식으로 하루 18시간 가동하였으나, 열차가 환기구를 통과할 때만 집진기가 가동할 경우 전기집진기 가동시간과 소비전력을 줄여 운영비를 절감할 수 있으므로 풍속센서와 미세먼지 센서를 이용한 전기집진기 능동운전 시스템을 개발하게 되었다. 광주도시철도 1호선 쌍촌역 본선 환기구를 대상으로 시스템 설계, 현장 설치 및 공인기관 성능시험을 한 결과, 가동시간은 기존 방식 대비 평균 70% 감소하고 전력 소비량은 평균 41% 감소하였다. 또한, 인체에 유해한 오존 발생량도 평균 60% 감소하였고, 가동시간 감소로 인한 내구연한도 2배 이상 증가할 것으로 예상된다.

**주요어** : 전기집진기, 환기구, 능동운전, 풍속센서, 미세먼지센서, 오존, 소비전력

### 1. 서 론

광주교통공사는 2020년부터 광주도시철도 1호선 터널 환기구에 미세먼지를 제거하는 양방향 전기집진기를 설치하여 실내 공기질 개선에 노력하고 있다.

그동안 광주교통공사는 1호선 터널 내에서 운행하는 열차 운행 시간이나 미세먼지 수치와 상관없이 스케줄 방식으로 하루 18시간씩 전기집진기를 가동하였으나, 열차가 환기구를 통과할 때만 전기집진기를 가동할 경우 전기집진기 가동 시간과 소비전력을 줄여 운영비를 절감할 수 있다는 점에 착안하여 풍속센서와 미세먼지센서를 이용한 전기집진기 능동운전 시스템을 개발하게 되었다.

<sup>†</sup> 교신저자 : 광주교통공사 신사업개발팀  
(21kuns@grtc.co.kr)

\* 광주교통공사 신사업개발팀

\*\* (주)리트코 기술지원팀

### 2. 본 론

#### 2.1 시범 설치 환기구 선정

광주교통공사와 (주)리트코는 2회에 걸쳐 1호선 환기구를 대상으로 센서 설치를 위한 여유 공간과 작업성 및 유속 측정 등 실사를 거쳐 쌍촌역 본선 중앙급기 환기구를 연구개발을 위한 시범 설치 환기구로 선정하였다.

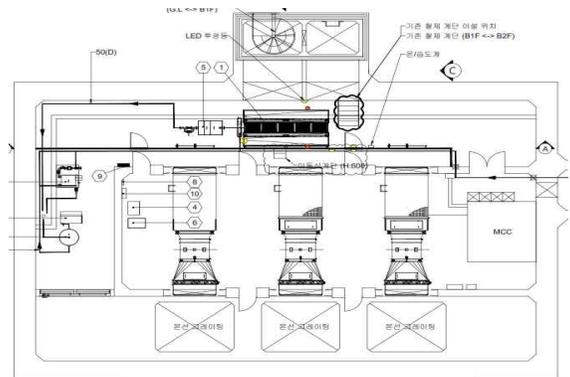


Fig. 1 Ssangchon Station ventilation layout

## 2.2 시스템 설계

### 2.2.1 능동운전 개념

능동운전은 풍속계와 미세먼지센서의 측정값을 이용하여 전기집진기를 제어하는 것으로 제어 패널의 PLC에서 풍속값을 실시간으로 감시하고, 대전부용 고전압 전원공급장치 (파워팩)를 제어한다. 풍도에서 측정된 풍속이 설정된 기준값보다 크거나 같을 때 전기집진기는 운전 모드로 작동하며, 측정값이 설정된 기준값보다 작을 때 전기집진기는 대기상태가 되도록 설계하였다. 또한 미세먼지의 농도가  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상일 때 운전모드에서 양방향 전기집진기에 인가되는 전압을 조절하여 실내공기질 권고기준 이하로 유지하는 것으로 설계하였다.

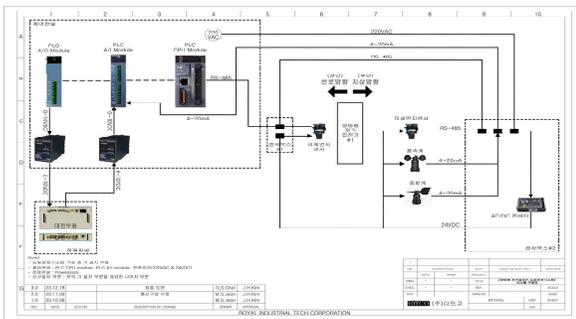


Fig. 2 System layout

### 2.2.2 전기집진기 제어 방식

양방향 전기집진기는 관제실에서 원격으로 통제가 가능하며, 수동제어, 송풍기제어, 스케줄 제어 등 3가지 방식으로 동작하는데 정해진 시간에만 동작하는 스케줄 제어 방식에 능동운전 개념을 적용하였다.

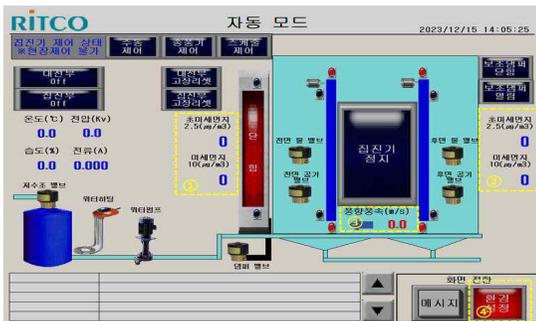


Fig. 3 Control panel display

## 2.3 시스템 설치 및 시운전

### 2.3.1 풍향풍속계 설치

환기구내 풍도에서 일정 유속 이상의 풍속과

풍향이 감지될 경우에 전기집진기를 가동하기 위하여 전기집진기 후면에 풍속 0~50m/s 범위 및 풍향 16방향의 측정이 가능한 풍향풍속계를 설치하였다.

### 2.3.2 미세먼지센서 설치

터널 내에서 열차 운행시 환기구 내부의 미세먼지 농도를 측정하여 일정 수준 이상의 미세먼지가 감지될 경우에 전기집진기의 인가 전압을 조절하기 위하여 전기집진기 전면 및 후면에 초미세먼지(PM2.5)와 미세먼지(PM10) 측정이 가능한 센서를 설치하였다.



Fig. 4 Anemometer(left), Fine dust sensor(right)

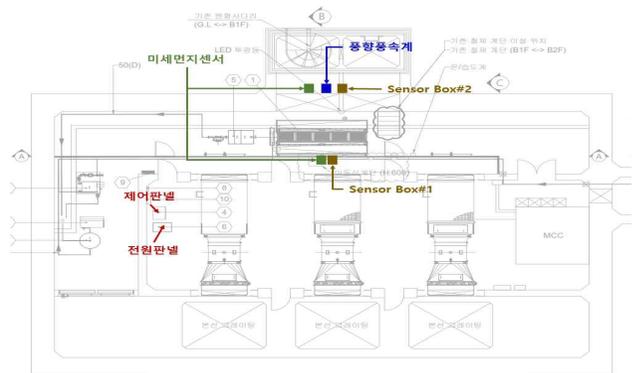


Fig. 5 Active operation system installation status

### 2.3.3 풍속 데이터 결과 분석

총 3차례의 측정을 통해 쌍촌역 중앙급기 환기구에서 발생하는 바람의 방향과 속도는 일정한 패턴을 보이는데, 열차운행 시각과 비교한 결과 터널 내에서 열차 운행시 발생하는 열차풍에 의한 피스톤 효과로 인해 바람의 방향과 속도가 바뀌며 풍도를 통과하는 것을 확인하였다. 풍향이 (+)일 경우 터널→지상 방향이며, 풍향이 (-)일 경우 지상→터널 방향을 의미한다.



Fig. 6 Wind speed graph in vents

### 2.3.4 풍속계 응답률

열차 운행시간 18시간 동안 풍속값을 측정하여 선정된 1.1m/s를 기준으로 열차 진입 및 통과시 환기구 내에서 발생하는 열차풍에 의한 양방향 전기집진기의 능동운전 동작 여부를 확인한 결과, 측정 시간대에 상관없이 응답률은 100%를 보였다.

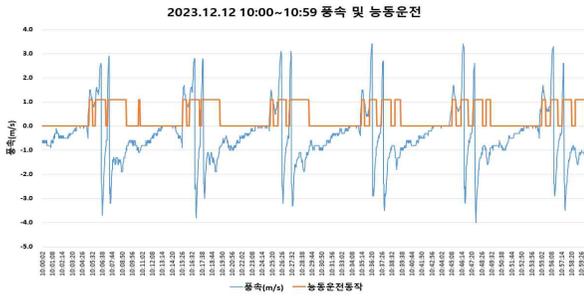


Fig. 7 Wind speed and active mode operation

## 2.5 공인시험 (오존농도 및 소비전력 측정)

### 2.5.1 오존 발생량 측정

공인인증기관에 의뢰하여 전기집진기의 전단, 후단 및 선로 그레이팅에 오존 측정기를 설치후 국립환경과학원 고시 제 2023-1호 (실내 공기질 공정시험 기준)에 따라 1시간의 평균 오존 농도를 측정하였다. 능동운전 시 기존 운전방식 대비 오존 발생량이 전단 60%, 후단 80%, 선로 그레이팅 31.4% 감소되었고 전체적으로 평균 60% 이상 감소하여 당초 설계 목표치를 상회하였다.

Table 1 O<sub>3</sub> generation

운전방식	오존 발생량(ppb)			비고
	전단	후단	그레이팅	
기존방식	35.2	28.4	20.4	1 시간 측정
능동운전	11.1	5.8	14	
감소율	68.5%	80%	31.4%	목표치 20%

### 2.5.2 소비전력 측정

공인인증기관에 의뢰하여 전력분석계를 설치후 양방향 전기집진기의 전력소모량을 1시간 동안 측정한 결과, 기존 방식 대비 평균 41.2%가 감소하여 당초 설계 목표치를 만족하였다. 금회 시범 설치 현장보다 더 많은 15셀 이상의 전기 집진기가 설치된 현장은 더 높은 소비전력량 감소가 예상되며 장기간 능동운전으로 가동시 높은 전기사용료 절감이 가능할 것이다.

Table 2 Power consumption(Wh)

운전방식	소비전력량(Wh)	비고
기존방식	808.1	1 시간 측정
능동운전	474.8	
감소율	41.2%	목표치(40%)

### 2.5.3 가동시간 감소 및 내구연한 증가

능동운전 방식에 따른 전기집진기 가동 시간은 기존 스케줄 작동방식 대비 약 70%가 감소하여 전기 집진기의 내구성 향상과 함께 내구연한도 약 2배 이상 증가할 것으로 예상된다.

Table 3 Operation time(per day)

운전방식	1 일 가동시간
기존방식	18h (1,080min)
능동운전	5.4h(324min) ※ 열차통과횟수(6 회/h)×1 회 통과시 동작시간(3min)×일 가동시간(18h)

## 3. 결론

광주교통공사와 (주)리트코가 공동으로 연구 개발한 양방향 전기집진기 능동운전시스템은 풍속을 감지하여 필요 시에만 전기집진기를 가동하고, 미세먼지 센서로 측정된 미세먼지의 농도에 따라 파워팩에 인가전압을 조절하는 원리를 이용하여 전력 소비량 41.2% 감소 및 가동시간 70% 감소하였을 뿐만 아니라, 인체에 유해한 오존 발생량도 평균 60% 이상 감소하는 결과를 얻었다. 또한, 가동시간 감소로 인한 내구연한도 2배 이상 크게 증가할 것으로 예상되어 시설물 운영비 절감에도 큰 도움이 될 전망이다.