

# 철도차량 HVAC시스템의 광플라즈마 성능평가

## Efficiency of Photoplasma of HVAC System for Train

한환수\*

전승기\*

박태영\*

김봉상\*

박덕신\*\*

권순탁\*\*

Han, Hwan-Su Jeon, Seung-Gie Park, Tae-Young Kim, Bong-Sang Park, Duck-Shin Kwon, Soon-Bark

### ABSTRACT

An amenity requirement of the passenger using public traffic is rising continuously, and also The Ministry of Environment established "Indoor air quality management guidelines in public facilities(Dec. 2006)".

To satisfy such requirement, the photoplasma device to decrease VOCs(Volatile Organic Compounds) and suspended bacillus is applied to the underframe mounted HVAC(Heating, Ventilating and Air-Conditioning) system for train.

Air purifying method of photoplasma device is optical and chemical reaction that UV-light(wavelength less than 280nm) react with catalyst material(TiO<sub>2</sub>).

To analyze the efficiency of photoplasma in this study, we measured the requirement time for toluene to decrease down to 0.3ppm after contaminating the passenger cabin for train to toluene 1ppm.

### 1. 서 론

오늘날 우리는 과학기술의 눈부신 발달로 인하여 많은 편리함을 누리며 살아가고 있지만 이러한 기술 개발로 인하여 발생하는 자연 환경적인 오염은 우리의 건강한 삶을 위협하는 주요한 원인으로 대두되고 있다. 이러한 환경오염 중에 대기 오염은 호흡기 질환 등의 각종 질병을 발생시키는 주요 원인으로 작용하여 그 중요성은 날로 증가하고 있는 추세이다. 또한 이와 더불어 대중교통수단 이용 승객의 쾌적성 요구도 지속적으로 상승하여 최근 환경부에서는 국내 다중이용시설에 대한 실내공기질 관리법을 제정하였다. 그리하여 본 연구에서는 중·장거리 열차노선에서 주로 적용되는 하부탑재형 HVAC 시스템 내부에 광플라즈마형 공기정화기를 채택하여 객실 내 입자상 먼지와 휘발성 유기화합물 및 부유세균 등을 효과적으로 정화할 수 있도록 적용해 보았다.

광플라즈마 장치는 280nm이하 대역폭의 자외선과 광촉매인 TiO<sub>2</sub>에 의한 물 분자의 이온화를 이용한 광화학적 정화 방식이다. 광촉매로 사용되는 TiO<sub>2</sub>은 금속 표면에 코팅하여 사용되며 그 표면에서 일어나는 광화학적 정화 반응은 일반적인 코로나 방전 플라즈마 방식과는 차별화 된 기술로 현재 병원 등에서 설치 운용하는 것으로 알려져 있다.

이러한 시스템을 객차에 적용할 경우 기존의 냉난방장치가 단순히 객실의 적정온도를 제어하는 기능 외에 객실의 악취와 부유세균을 제거하여 객실의 공기질을 향상시킬 수 있는 향후 대중교통수단용 공조기로서써의 활용이 가능할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 광플라즈마를 객차용 HVAC에 설치할 수 있도록 설계/제작하여 사용하였을 경우 객실 내부의 톨루엔 가스 정화 능력에 대한 성능 평가를 실시하였다.

\* (주)에이디에스레일, 비회원 E-mail : hshan@fiber-x.com

TEL : (031)453-6431 FAX : (031)453-6435

\*\* 한국철도기술연구원 환경화재연구팀, 회원

## 2. 광플라즈마 기술의 소개

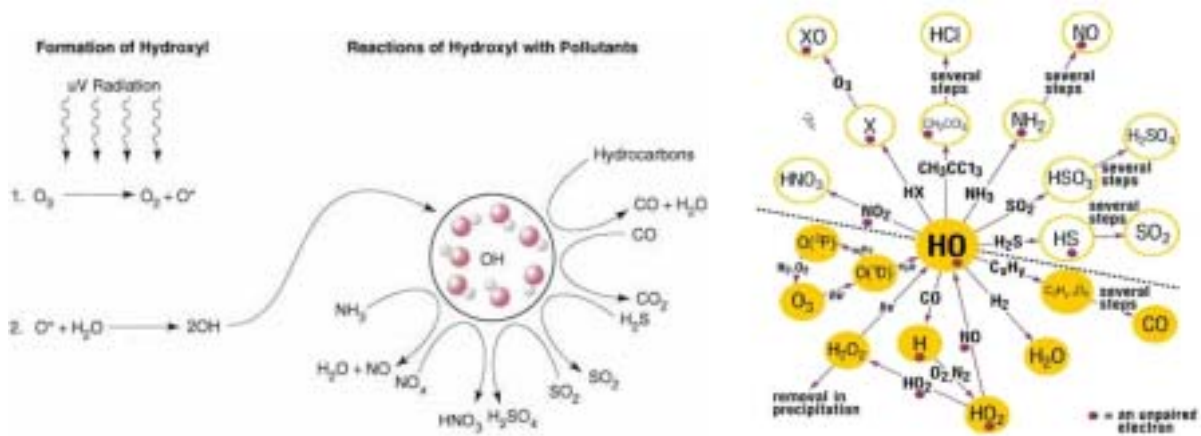
### (1) 광플라즈마의 정화 원리

플라즈마 상태란 어떤 분자가 원자와 전자로 각각 전리되어 서로 결합되지 못한 채 전기적으로는 중성을 띠며 이온화된 상태로 존재하여 고체나 액체, 기체상태가 아닌 제 4의 물질 상태를 형성하게 되는 것을 말한다.

최근 공기 정화 수단으로 사용되어 문제가 되었던 음이온 청정기는 코로나 방전을 통해 플라즈마를 생성하는데 이러한 과정에서는 물분자를 깨뜨리지 못하고 분자 결합력이 약한 질소분자와 산소분자를 깨뜨리게 되어 결국 인체에 유해한 산화질소와 오존을 각각 생성하게 된다. 그러나 본 연구에서 사용된 바이오존 사의 광플라즈마는 저온에서 생성되는 플라즈마로써 산소와 물 분자만을 선택적으로 분해하여 이온과 래디컬을 사용하는 정화기술이다.

광플라즈마의 정화 방법은 280nm이하 대역폭의 자외선과 금속 표면에 코팅된  $TiO_2$ 가 광촉매가 되어 물분자를 산소원자(O)와 수산기(OH<sup>-</sup>)로 분해하여 여기서 얻어지는 수산기로 정화를 하게 된다.

[Fig. 1]에서는 이러한 수산기가 생성되는 원리와 수산기로 정화되는 화학 반응을 나타내었다.



[Fig. 1] Air purifying method of photoplasma

### (2) 광플라즈마의 효과

플라즈마 광전자 이온은 오염물질을 산화 분해하여 세균, 바이러스, 곰팡이 등의 생물학적 오염물질과 화학적 오염물질을 제거하고 악취제거 효과도 탁월하며 이온의 확산속도 및 반응속도가 빠르기 때문에 광대역 공간의 정화가 가능하다.

## 3. 연구 내용 및 방법

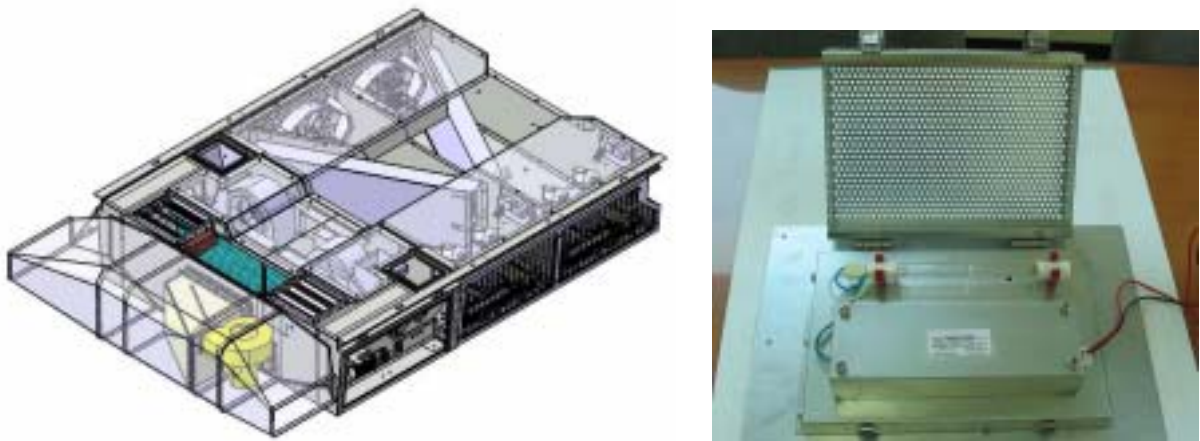
### (1) 광플라즈마 장치가 설치된 HVAC의 주요 구성

객차용 하부탑재형 HVAC 시스템의 주요구성은 다음의 [Fig. 2]과 같이 주요 장치는 냉매 압축기, 응축용 열교환코일, 응축기 팬, 증발용 열교환 코일, 송풍팬, 전열코일로 일반적인 구성을 하였으며, 공기질 개선을 위한 부수장치로 외기도입부에 위치한 먼지분리장치, 외기와 순환공기가 혼합되는 영역의 증발기 코일 전단에 광플라즈마 장치 2개를 설치하였고, 화재시 객실내 순환공기를 차단하여 외기도입량을 증가하여 객실 내 연기를 제거하도록 되어 있는 제연댐퍼, 이러한 에어컨 시스템을 통합운영하기 위한 제어용 패널로 구성되었다. 그 외에 지구 온난화 및 오존파괴 등 각종 대기 환경적 요인으로 적용냉매는 R-134a를 채택하였으며 새로운 냉매의 적용으로 인한 효율 저감을 줄이기 위해 열교환 코일을 설계 개선하여 적정 냉방능력을 유지하도록 하였다. 또한 동절기에도 지속적인 신선공기의 공급이 가능하도록 별도의 보조히터가 설치되어 있다.

## (2) 톨루엔이 인체에 미치는 영향

톨루엔은 액상상태로 인간에게 직접적인 해가 없으나, 일단 휘발되면 인체에 유해하고 자극성 감지 농도는 0.4ppm이고 자극성을 느끼게 된다는 것은 이미 증기화된 상태일 것이다.

독성은 휘발되었을 때 생명체의 호흡 등에서 독성이 나타나고 생체에 대한 유독성은 저농도에서 눈 및 상부호흡기관을 자극시키며, 피부나 눈에 접촉시에 바로 씻어내지 않으면 염증을 일으킨다. 그리고 장시간 노출에 대한 위험성은 아직 증명된 바가 없으나, 단기간의 영향으로는 폐기능 저하로 인한 폐활량을 감소와 가슴을 답답하게 하거나 기침을 유발시키는 것으로 알려져 있다.



[Fig. 2] Schematic of HVAC System and Photoplasma Device

## (2) 광플라즈마의 시험 방법

미국 바이오존사의 광플라즈마(Photoplasma) 제품(ID-1500S)을 하부탑재형 HVAC 시스템에 적합하도록 재구성하였다. 주요 구성은 발광램프와 전원변환기, 케이스로 이루어진다.

시험은 객차와 HVAC를 구성하여, HVAC 내부로 시료를 투입하여 광플라즈마 장치의 동작유무에 따라 객실 내 오염원이 제거되는 시간을 확인하는 방법으로 실시하였다. 시험차량은 현재 운행되고 있는 무궁화객차 모델을 사용하여 출입문을 닫고 신선공기의 유입이 없도록 차단한 후, 톨루엔을 객실 내부가 1.0ppm이 되도록 투입후, 0.3ppm 이하까지 도달하는데 소요되는 시간을 HVAC 송풍팬만을 가동한 경우와 광플라즈마를 가동하면서 송풍팬을 가동한 경우로 구분하여 각각 2회 실시하였으며, 이때 측정 장비는 Kinsco Technology사의 TVOC & HCHO Indoor Air Monitor(Model: VH Sniffer 2)를 사용하였으며 측정 장비는 [Fig. 3]와 같이 객실 중앙에 설치하였다.



[Fig. 3] Photos of setup for measurement of toluene

## 5. 결과 및 고찰

객실 내부를 톨루엔으로 오염시킨 후 시간 경과에 따른 농도 변화를 광플라즈마의 작동 유무에 대해 각각 2회에 걸쳐 측정한 [Table. 1]의 결과에서 알 수 있듯이 초기 농도 1ppm에서 0.3ppm으로 감소할 때까지 소요 시간이 광플라즈마를 작동하지 않을 때보다 작동 시킬때 약 두배정도 빠르게 톨루엔의 농도가 저감하고 있다는 것을 볼 수 있다.

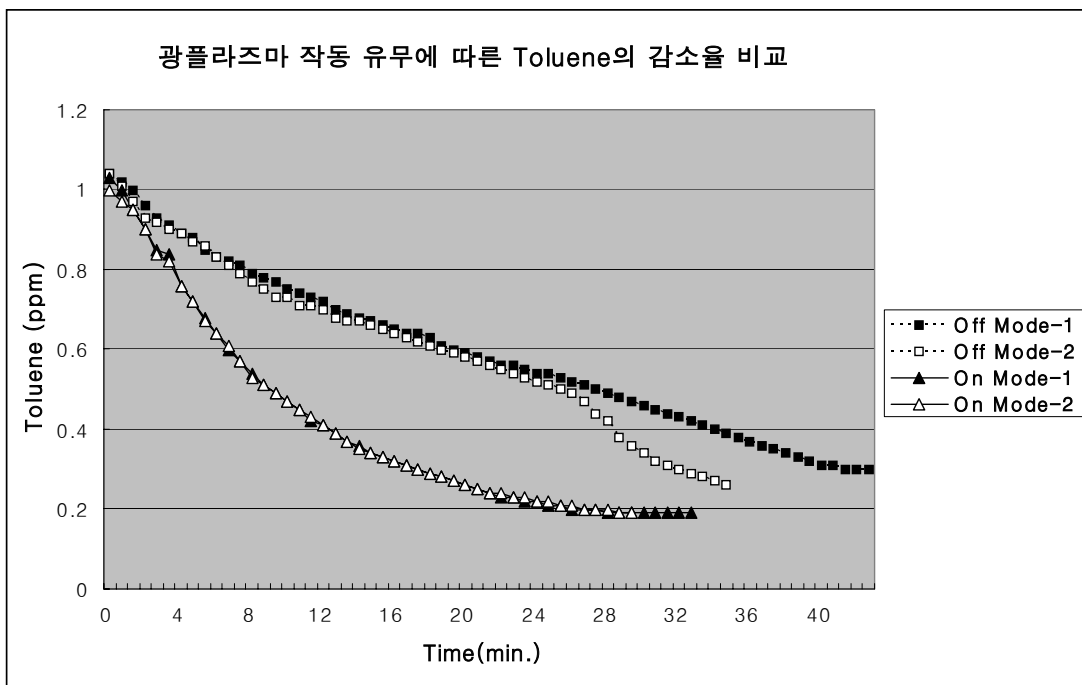
구 분	1차시험	2차시험	비 고
광플라즈마 Off Mode	42분	32분	
광플라즈마 On Mode	18분	18분	

[Table. 1] Required time for toluene to decrease down to 0.3ppm

[Fig. 4]는 각각의 실험 데이터를 1분 간격으로 수집하여 그래프에 나타내었다. 광플라즈마가 On 모드일 경우 농도변화가 초기에는 급격히 감소하다가 감소율이 차츰 줄어드는 일반적인 경향을 보이고 있으며 0.2ppm 부근에서 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다.

본 시험은 열차 객실에 대한 실제적인 효과를 확인하기 위하여 운용상 동일한 조건으로 실험을 하여 측정한 결과 톨루엔이 초기 오염된 농도에서 자연감소가 빠르다는 점을 확인할 수 있었다. 그 이유는 차량의 서비스룸에서 객실로 악취가 유입되는 일이 없도록 하기 위해 객실 내에서 HVAC로 순환되는 흡입공기 보다 공급공기를 많게 하여 설계되어 있기 때문인 것으로 추정된다.

이 실험으로 광플라즈마의 톨루엔 제거 효과를 확인할 수 있었지만 향후 다른 종류의 시료에 대해서도 많은 검토가 이루어져 안정성과 신뢰성을 확보하게 된다면 광플라즈마의 보급과 함께 승객의 쾌적한 환경을 조성하는데 많은 기여를 하게 될 것으로 기대된다.



[Fig. 3] Graph of decrease rate for toluene

### 참고문헌

1. Biozone Scientific (2006), New Air Purifying Technology
2. STREITVIESER, 유기화학원론(2000), 자유아카데미