

# 조선소 블록 도장공장 배출 가스저감을 위한 MSC(Multi Staged Corona) 장치 및 흡착장치 적용 사례연구.

진희성, 송승호, 조현빈, 류홍제  
중앙대학교

## A case study of application of MSC(Multi Staged Corona) system and adsorption solution to treat exhaust air from block painting facility of a ship building factory.

Hee-sung Jin, Seung-Ho Song, Hyun-bin Jo, Hong-Je Ryoo  
Chung-Ang University

### ABSTRACT

본 연구에서는 조선소 대형 블록 도장시설에서 배출되는 VOCs 가스처리를 위하여, 조선소 도장공정 및 배출가스 특성에 대한 분석 결과를 바탕으로, 이에 적합한 배출가스 저감장치를 구성하여 제안하였다. 본 연구에 제안된 저감장치는 펄스전원장치를 이용한 MSC(Multi Stage Corona)시스템 및 활성탄 흡착 시스템으로, 가스 처리능력이 우수하고, 종전 기술 RTO(Regenerative Thermal Oxidizer)에 비해 더 안전하고, 운전비용 면에서도 우수한 것으로 나타났다.

### 1. 서론 및 연구의 목적

휘발성유기화합물 VOCs(Volatile Organic Compounds)는 사람 및 동식물의 위험요소가 될 수 있어 대기 배출에 대한 관리가 필요하다. 대한민국 환경부 화학물질 안전원에서 발표하는 화학물질 배출량 조사 결과(2014년)에 따르면, VOCs를 포함한 화학물질의 연간 대기 배출량은 약 5만3천 톤이다. 이 중 약 60%는 굴뚝이 아닌 다른 시설 및 공정 중 대기 중으로 비산되어 배출되는 문제를 관리하고자 환경부는 2013년 5월 「대기환경보전법」 제38조의2 (비산배출의 저감) 개정하고, 이전까지 사각지대에 있던 VOCs 배출원에 대한 관리에 들어갔다. 이에 따라 대량의 VOCs를 배출하는 조선업계는 「비산배출 저감을 위한 시설관리기준 세부이행지침(2017.06)」<sup>[1]</sup>에 의해 2018년 10%를 시작으로 2022년까지 100% 기존 도장시설에 VOCs 저감장치를 설치하여 관리기준에 맞도록 운영하여야 한다. 하지만 제각기 다른 특징들을 가진 조선소에 맞는 상용화된 VOCs 처리기술은 거의 없는 것으로 알려져 있다. 일부 조선소에서 적용하였던 축열식 소각로, 즉 RTO(Regenerative Thermal Oxidizer) 기술은 안전상의 문제와 높은 운영비 그리고 연소 시 발생하는 2차 오염의 단점이 있다. 그림1은 A 조선소에서 도장공정시 배출되는 VOCs 농도를 측정된 그래프이다. 이 그래프를 통해 알 수 있듯이 조선소에서 이루어지는 도장 공정은 연속 공정이 아닌 간헐적 공정이다. 도장 작업이 간헐적으로 이루어진다는 사실은 RTO 기술적용에 있어서 운영비의 인상으로 이루어진다. 왜냐하면 RTO 기술은 VOCs 가스 처리를 위해 약 800℃의 높은 온도를 이용하여 가스를 산화 (VOCs → CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) 시키는 방법인데, 처리과정 중 예열을 위한

과다한 연료가 사용 되기 때문이다. 이러한 종전기술을 대신하여 보다 경제적이며 효율적인 새로운 처리기술이 요구됨에 따라, 최근 연구되고 있는 펄스전원을 이용한 플라즈마 처리 방법을 제안하고 종전 기술과의 특징을 비교하고자 한다.

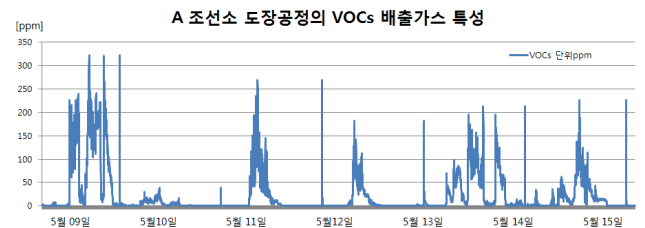


그림1. A 조선소 도장공정의 VOCs 배출가스 특성

### 2. 연구방법 및 평가

#### 1.1 연구방법

연구방법은 1) 펄스 전원 장치를 이용한 Corona 발생장치 제작 후 2) 현장 설치 및 운전하여 3) VOCs저감 평가를 하고 기존 장치와의 특징을 비교 하고자 한다.

#### 1.1.1 장치의 제작

우선 적용하는 플라즈마 발생장치의 반응기는 그림 2와 같이 구조로 다단(Multi Staged)으로 된 침(niddle)-홀(hole) 구조로, 고압 전극과 접지 전극 사이에 고전압을 인가하면 전극 사이에 Corona 방전이 일어나며, 이때 발생하는 전자방출 에너지에 의해 VOCs가 분해 되는 원리를 가지고 있다. 또한 이 다단형 반응기는 적용 분야에 따라 그 단수를 조정하여 효율을 조절할 수 있고 전원이 인가 되는 즉시 플라즈마가 발생하는 특징을 가지고 있다.

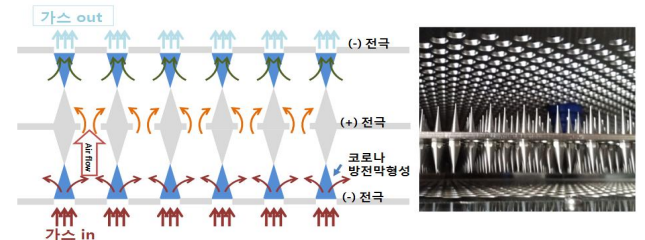


그림 2. 반응기 구조

이 반응기를 동작시키기 위한 전원장치는, 그림 3-a와 같은 모양으로 제작 되었는데, IGBT 스위치가 직렬로 연결되어 최대 40kv까지 펄스전압이 발생 될 수 있도록 제작 되었다. 본 펄스전원장치는 고 반복이 가능하고, 순간적으로 고전압에 이르는 빠른 펄스 라이징 타임 때문에,

전기적 에너지 밀도가 높아서 각종 유해한 가스상 물질을 분해 하는데 유리하고, 후속 반응을 억제하며, 안정적인 플라즈마 방전에 유리한 특징이 있다.<sup>[2]</sup>



그림 3-a. 전원장치 3-b. 반응기 3-c. 방전모습  
표 1은 전원장치의 사양을 나타내었다.

입력전압	380[V] 3상 50/60[hz]
펄스출력전압	40[kV]
펄스출력전류	150[A]
펄스상승시간	500[ns]
펄스폭	1[us]
펄스반복율	300[hz]~3[khz]

표 1. 펄스전원장치의 제작 사양

그리고 플라즈마 반응 후 부산물로 생성된 오존(O3)가스를 흡착 및 제거하기 후처리 장치가 제작되었고, 후처리 장치는 펠렛 타입의 활성탄을 가로,세로,폭 각각 450mm\*450mm\*50mm로 타공 된 필터 구조물에 충전하여 사용되었다.

### 1.1.2 현장설치 및 운전

현장에 설치된 시험장치 조건에 대해 기술한다. 시험에 사용된 배출구 원형 덕트의 직경은 300mm이다. FAN 가동 후 유속계로 유속을 점검한 결과 9포인트 평균 유속이 약 6m/s였고 반응기 2개 풍량의 합은 약 25.4CM/Min였다. 반응기에 인가된 전원장치의 출력 조건은 그림 4와 같이 펄스전압 약24kv, 펄스전류 약198A, 펄스상승시간 약445ns였다.



그림 4. 전원장치 출력 조건

### 1.1.3 VOCs 저감장치 성능 평가

VOCs 농도 측정은 그림5와 같이 도장공장 굴뚝으로부터 나오는 가스를 흡입하는 흡입 부 및 저감장치의 최종 배출부에서 각각 측정 되었으며, 가스 측정 장치는 RAE사에서 판매되고 있는 ToxiRAE(광 이온화 검출기 PID Photo Ionization Detector) 모델을 이용 하였다. 시험은 7일간 연속 가동 하면서 측정기를 통해 연속 측정한 Data를 기록 하였다.

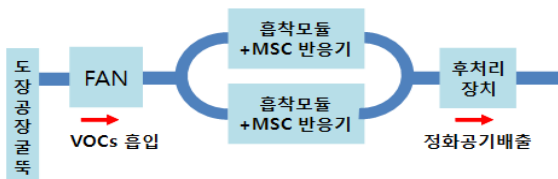


그림 5. 현장 설치된 장치의 구성

7일 동안의 평가결과, 그림 6과 표2에 나타낸 것 같이 도장 작업이 활발하게 이루어지는 시간대의 흡입 부 피크

농도는 181[ppm]~322[ppm]로 나타났으며 이때의 배출 부 피크 농도는 13.7[ppm]~65[ppm]으로, 저감효율은 약 80[%]~92[%] 사이를 나타내어 환경부에서 정한 배출 기준 100[ppm]이하를 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 또한 실험기간의 A 조선소의 블록 도장 작업시간은 1회 작업 시 대략 4시간 내외로 나타났으며, VOCs 농도가 피크까지 올라가더라도 농도가 오랫동안 유지 되지는 않고 잠시 올라갔다가 다시 내려오는 특징을 보인다. 특히 펄스 전원을 인가하는 즉시 반응기에서 코로나가 발생하는 것을 육안으로 확인 할 수 있었는데, 이는 표3.에 나타낸 것 같이 예열에 많은 에너지가 투입되는 기존의 장치 RTO와 비교되는 점이다.

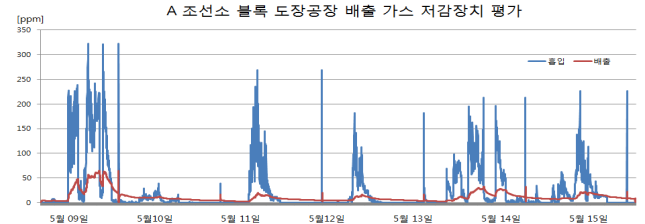


그림 6. A조선소 블록 도장공장 배출 가스저감장치 평가그래프

흡입[ppm]	320	322	269	181	212	196	212.6	226.1
배출[ppm]	62	65	20	13.7	28.5	27.2	33	21.2
효율[%]	81	80	93	92	87	86	84	91

표 2. A조선소 블록 도장공장 배출 가스저감장치 평가표

구분	플라즈마 처리방법	축열식 소각로 (RTO)
안전	고전압 사용시 안전사항 고려.	가스버너, 연료배관, 고온 사용시 안전사항 고려.
운전 및 유지비용	전기료 / 저렴. (RTO 대비 10/1 이하)	가스비 / 고비용. (예열 비용 고려)
내구성	전원장치의 수명이 기준.	로터 등 움직이는 부품의 피로, 고온(800℃) 사용으로 부담.

표3. 기존장치와 플라즈마 처리방법의 특징 비교

## 3. 결론

조선소 블록 도장 공정 시 배출되는 VOCs 가스를 저감하기 위해, 최근 들어 활발히 연구 되고 있는 코로나 반응장치를 구성하여, 현장 적용 하였다. 특히 고반복 펄스 전원을 이용하여 기존의 코로나 장치와 차별을 두었으며, 시험결과 가스처리 성능은 환경부 규제 기준에 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 간헐적인 작업이 이루어지는 현장 상황을 고려하여 기존 장치와의 비교를 하였는데, 특히 예열에 많은 에너지 투입이 되는 RTO 장치에 비해 운전비용 면에서 우수한 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- [1] 비산배출 저감을 위한 시설관리기준 세부이행지침, 대한민국 환경부, 정부간행물 등록번호 11-1480000-001493-01, 2017.6
- [2] 송영훈, 김용진, 한국정밀공학회지, 상압 플라즈마를 이용한 반도체 공정에서의 배출가스 처리기술, Vol. 19, No. 8, pp. 34-37, 2002, August.