



EUV 기반 집진장비를 이용한 고농도 오염원에서의 미세먼지 제어 성능 평가

Efficiency Evaluation of Fine Dust Control at highly contaminated situation using Precipitator based on EUV

이승호¹, 김준수¹, 고한빈¹, 류상훈¹, 송오성¹, 김광배¹, 이주봉²

¹서울시립대학교, ²(주)어썬레이

Seung-Ho Lee¹, Jun-Su Kim¹, Han-Bin Koh¹, Sang-Hoon Ryu¹, Kwang-Bae Kim¹, Oh-Sung Song¹, Ju-Bong Lee²

¹Dept. of Materials Science and Engineering, University of Seoul, ²aweXome Ray Inc.



서울시립대학교
UNIVERSITY OF SEOUL

aweXome Ray

Introduction

[서울시 미세먼지 문제의 심각성]

- 서울시의 미세먼지(PM10, PM2.5)는 연평균 농도가 **WHO 권고치의 2배** 이상으로 알려짐
- 서울의 중심에 위치한 종로구는 2017년 PM 10, PM2.5 농도가 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 자치구 중 최고치 기록
→ 서울형 산업 중 주얼리 특화 지역으로, 780곳 이상의 주얼리 제조 업체 밀집

· 주얼리 제조 공정

[주얼리 디자인 시안개발 - 렌더링 및 원본작업 - 초작업 - 석고틀 마스크- 왁스제거 - 용해주입 - 후처리 - 완성]

- **석고틀 마스크 작업** : 석고에 S(Sulfur)이 존재하기에 대기 오염 물질인 **황화합물 발생 예상**
- **왁스 제거**: 탈납 공정이라고도 불리는데, 왁스가 60°C 에서 분해되면서 **휘발성 유기화합물 발생 예상**
- 장시간 고온에서 공정이 진행 : **작업온도에 따른 미세먼지의 거동변화 예상**
→ 높은 수치의 다양한 미세먼지 발생 - 탈납 공정에서 발생하는 미세먼지 성분의 정량, 정성적 분석 필요.

Introduction

[기존 방식의 문제점 및 해결 조건]

- 이를 개선하기 위한 서울시의 노력에도 불구하고 대기오염은 크게 개선되지 않고 있음
- 기존의 필터식, 정전 분무식 공기청정기는 2차 오염 물질 발생과, 가스상 오염 물질의 제어에 한계 존재.
- 필터와 같이 차압이 걸리는 방식은 고농도 미세먼지 상황에서 역류 현상 발생

→ 오염 물질 제어 성능이 뛰어나며 차압이 걸리지 않는 공기 정화 장치의 성능이 요구됨

- 본 연구에서는 어썸레이가 개발한 EUV 기반 집진 장비를 이용함
- 5.0kV이하에서 발생하는 **EUV로 미세먼지들을 이온화 시키고 이를 대전된 집진판에 붙게함**
- 코로나 방전을 사용하지 않기에 오존이 발생하지 않음
- **바람이 잘 통하며, 고농도 입자상 물질에 대한 정화 효율이 높은 것으로 보고**

→ 주얼리 제조공정 중 탈납공정에서 발생하는 미세먼지 분해 가능한 것으로 예상됨

Introduction

[본 연구의 진행 방향 및 목표]

- 따라서, 본 논문은 어썸레이의 고출력 EUV 기반 집진 장비를 이용, 주얼리 제조 공정 중 탈납 공정에서 발생하는 미세먼지의 제어 성능을 평가·기록함
 - PM 10, PM 2.5의 입자상 물질과 HCHO의 가스상 물질 농도를 실시간으로 trace하여 탈납 공정의 진행 온도에 따른 미세먼지의 발생/저감 정도를 비교 분석함
 - 미세먼지 발생 농도가 최고인 지점에서 저감 처리 전후의 시료를 포집하여 황화합물에 대한 발생/저감 정도를 정량적으로 비교 분석함
- 이를 통해 주얼리 산업에서 발생하는 오염 물질을 정량 정성 분석하며, EUV 기반 집진 장비의 가스상 저감 특성을 확인하여 차세대 공기정화장치로의 가능성을 제안함

Experimental Procedure

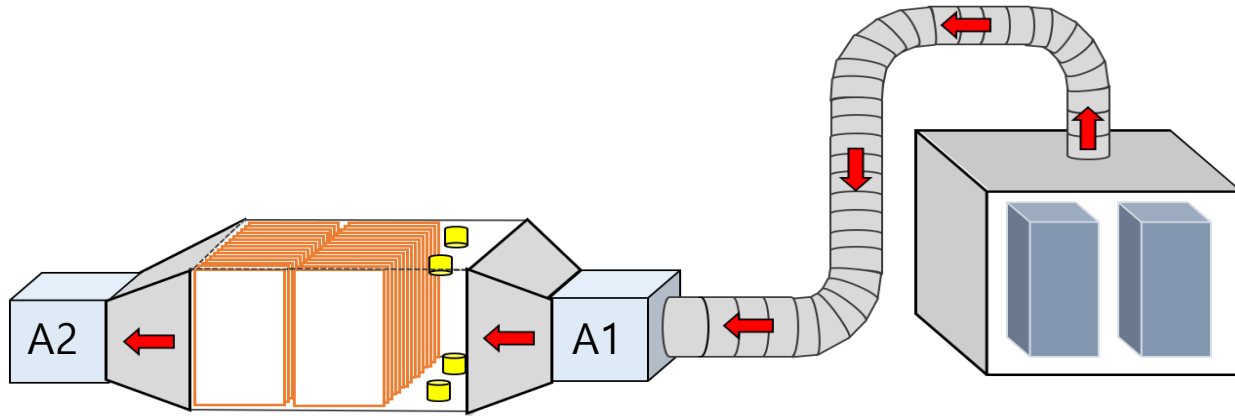


Fig.1 (a) 실험 모식도 (b) 어썬레이의 EUV 기반 집진장비 모델

- ① 주조실의 furnace에서 왁스와 석고틀이 고온에 반응하여 오염물질이 발생
- ② 오염물질이 환풍구를 타고 옥상으로 올라와 연결된 A1을 통해 집진기로 유입
- ③ 노란색으로 표시된 광원에서 발생한 EUV에 의해 오염물질이 이온화되고 집진판에 집진
- ④ 정화된 공기가 A2로 배출

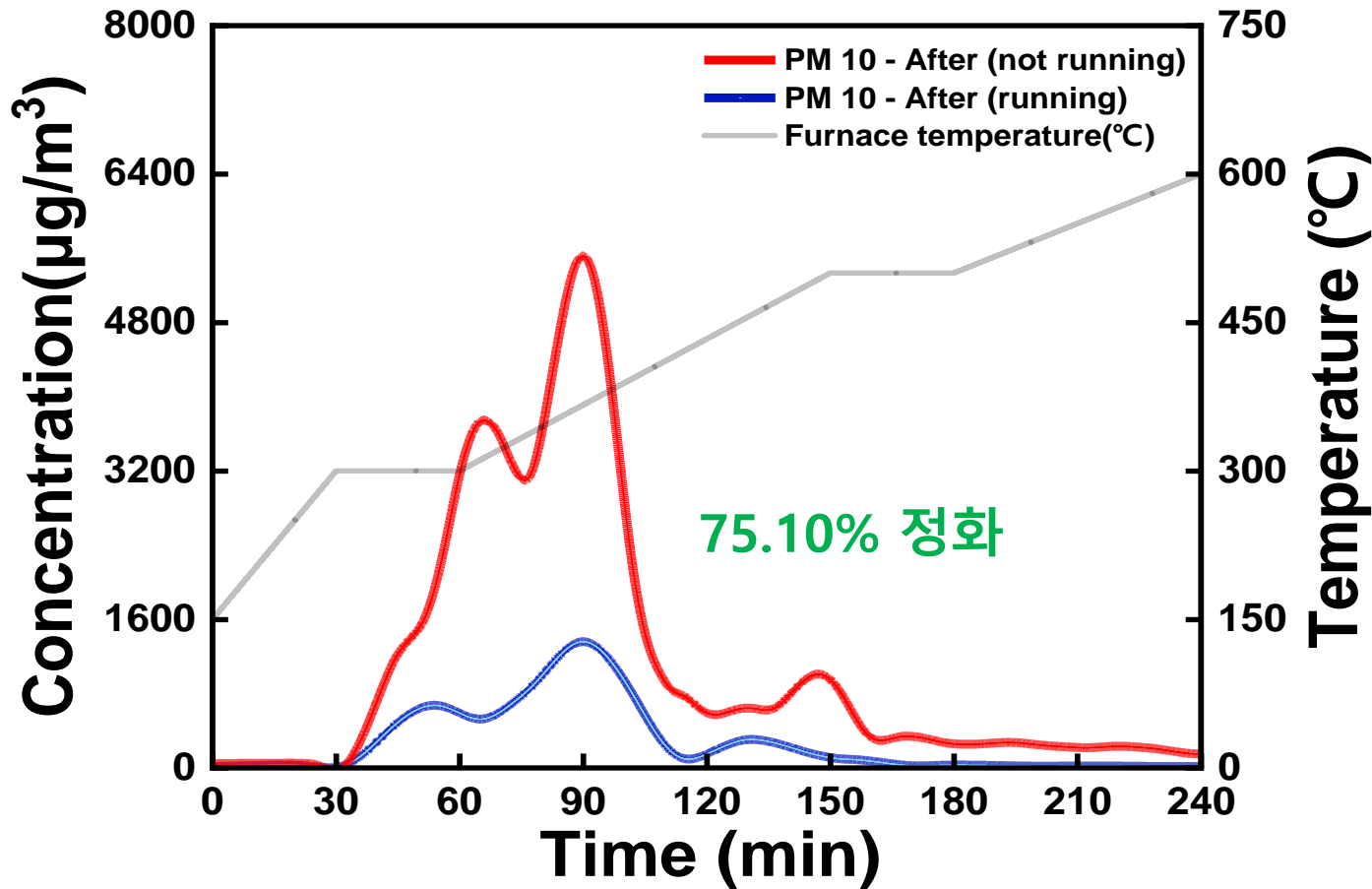
※A1 : 집진기의 흡입구, A2 : 배출구
- 실시간 측정기가 A1, A2에 위치한다

Experimental Procedure

- A1(집진기 흡입구) : 1. 정화 전 미세먼지의 농도 측정
 - 미세먼지 발생 농도가 최고인 지점 판단 기준 (황화합물 포집 시기 파악)
- A2(집진기 배출구) : 2. 정화된 미세먼지의 농도 측정 (running)
 - 3. 배출된 미세먼지의 농도 측정 (not running)
 - EUV 기반 집진장비의 정화 효율 계산에 사용
- A1, A2의 유속이 다르기에, A2에서 장비 가동에 따른 농도 변화로 정화효율 계산

$$\rightarrow \text{정화 효율(\%)} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (\text{Concentration}_{\text{not running}} - \text{Concentration}_{\text{running}}) dt}{\int_{t_1}^{t_2} \text{Concentration}_{\text{not running}} dt} \times 100\%$$

Results & Analysis : PM 10



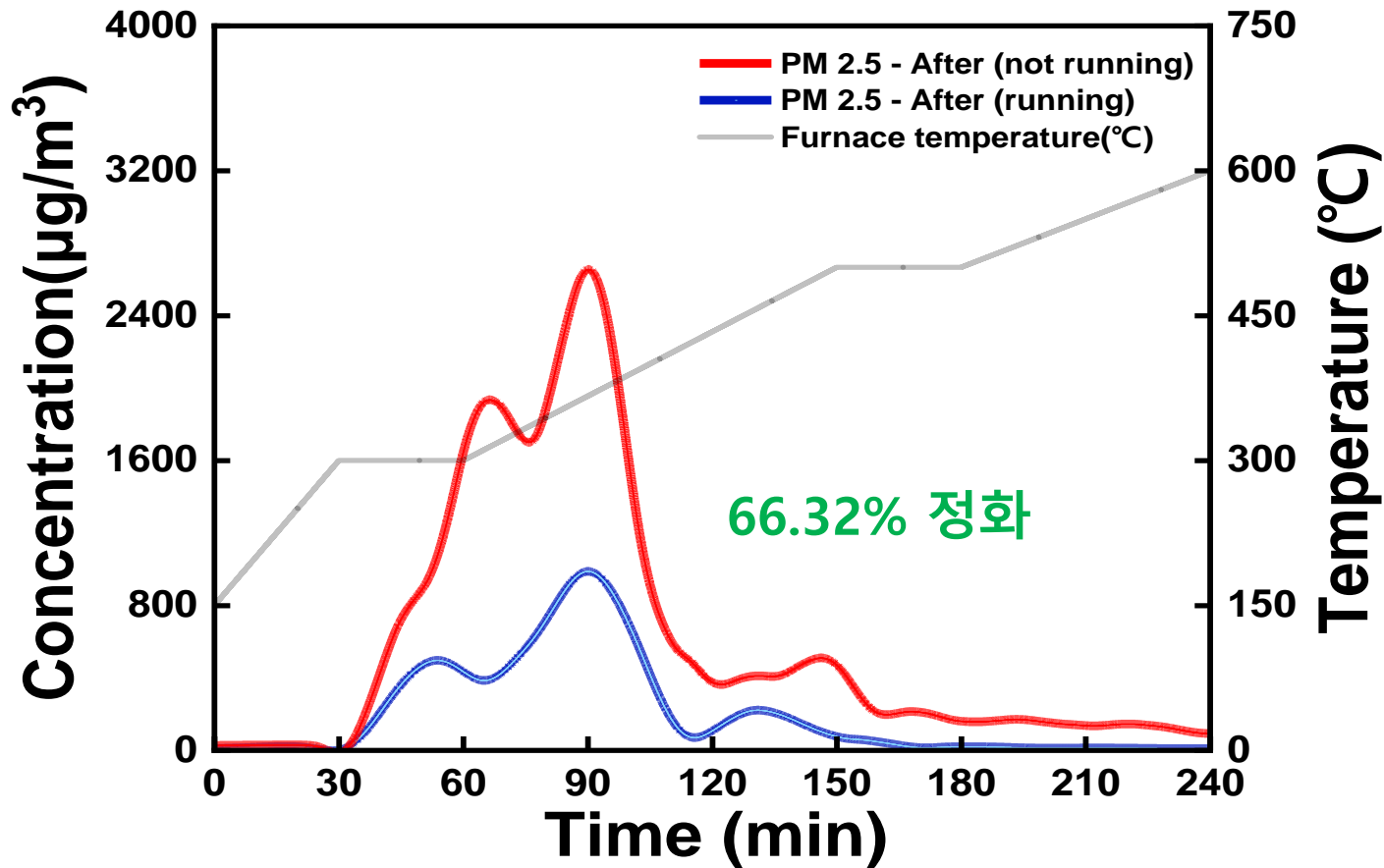
- Furnace 온도 300°C 부근에서 PM 10 급증
- 온도가 유지되면서 PM 10 점차 감소
- 시간이 지나 온도가 다시 상승하면 농도 또한 다시 급증

→ 400°C 부근에서 5518 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 peak value를 보임

→ 정화 효율은 75.10%

Fig. 3. 온도에 따른 장비 가동 전, 후의 PM 10 농도 그래프

Results & Analysis : PM 2.5



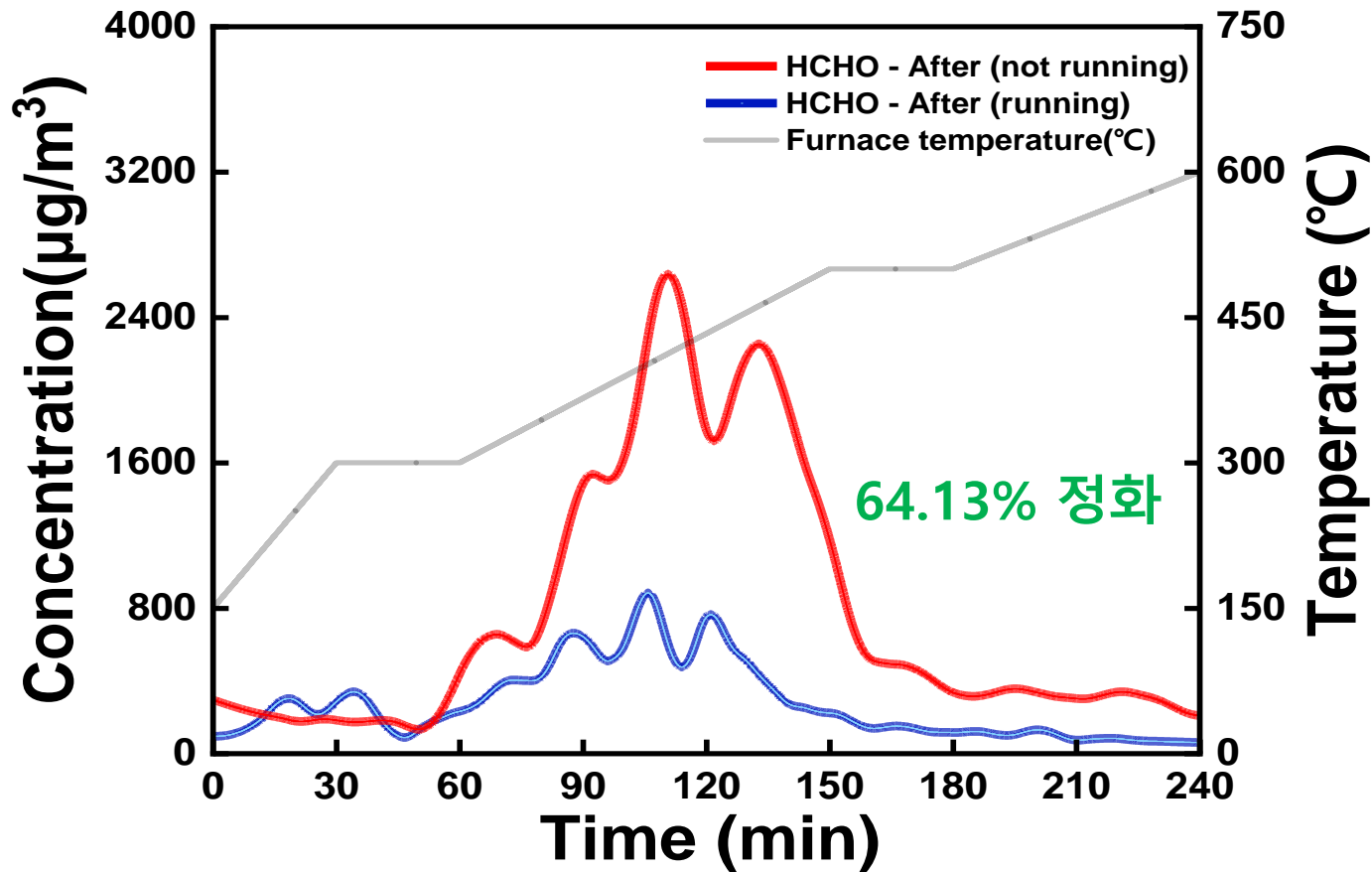
- Furnace 온도 300 $^{\circ}\text{C}$ 부근에서 PM 2.5 급증
- 온도가 유지되면서 PM 2.5 점차 감소
- 시간이 지나 온도가 다시 상승하면 농도 또한 다시 급증

→ 400 $^{\circ}\text{C}$ 부근에서 2655 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 peak value를 보임

→ 정화 효율은 66.32%

Fig. 4. 온도에 따른 장비 가동 전, 후의 PM 2.5 농도 그래프

Results & Analysis : HCHO



- Furnace 온도가 300°C 에서 온도 상승 부근에서 HCHO 농도가 증가
- Fig3,4와 다른 경향성을 보임
- 430°C 부근에서 $2638(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 의 peak value를 기록하며, HCHO의 정화 효율은 64.13%

→ EUV 기반 집진 장비로 휘발성 유기화합물의 일종인 HCHO에 대해 64.13%의 정화 효율을 확인

→ 가스상 물질 중 휘발성 유기화합물의 효과적인 제어 가능성을 보임

Fig. 5. 온도에 따른 장비 가동 전, 후의 HCHO 농도 그래프

Results & Analysis : 황화합물

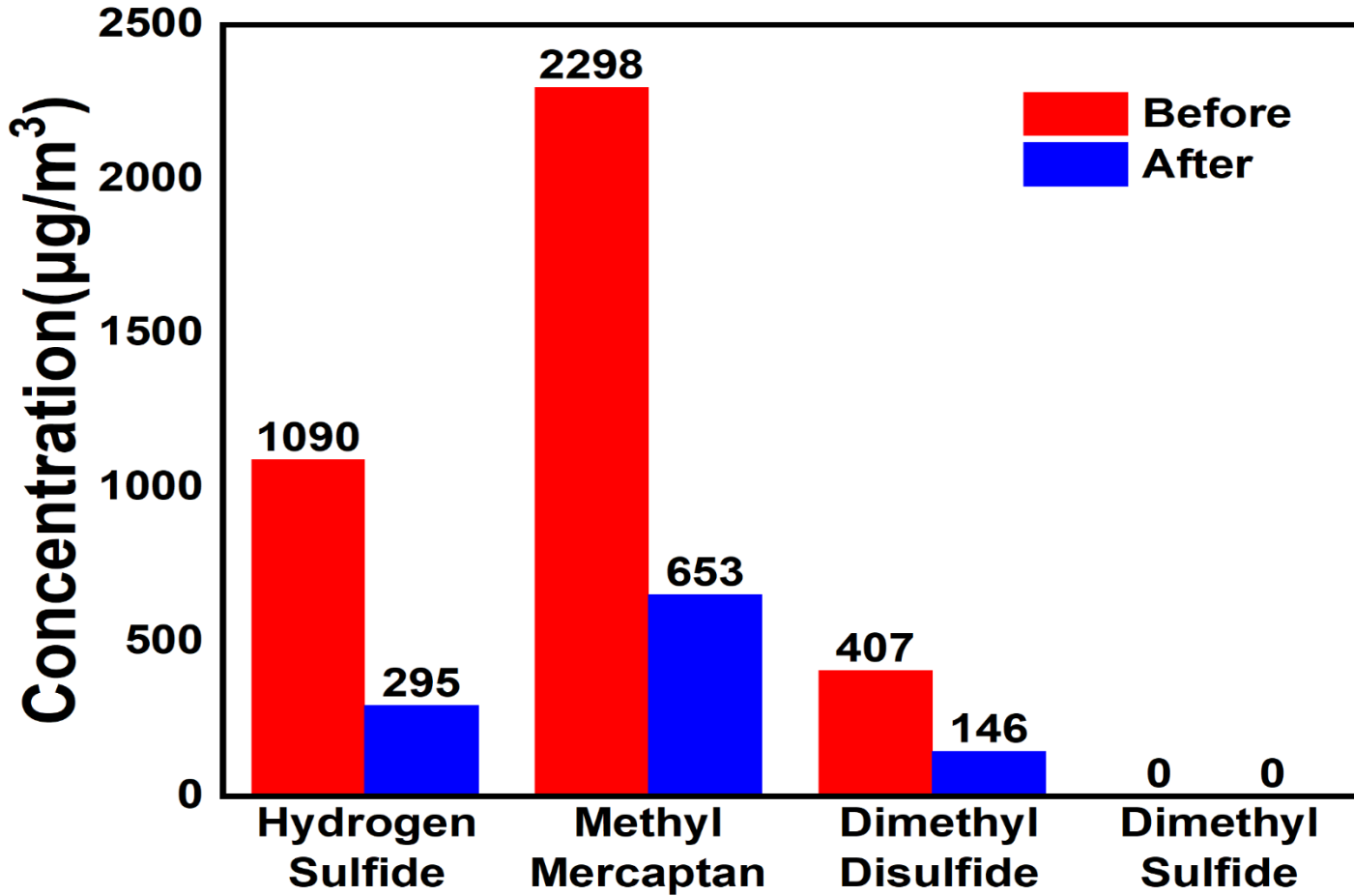


Fig.6 네 가지 황화합물의 정화 전, 정화 후 농도 그래프

1. 황화수소- H_2S
: 약 73%의 정화 효율 확인
2. 메틸메르캡탄- CH_3SH
: 약 72%의 정화 효율 확인
3. 다이메틸다이설파이드- $(CH_3)_2S_2$
: 약 64%의 정화 효율 확인
4. 다이메틸설파이드- $(CH_3)_2S$
: 발생하지 않음

→ 석고 성분인 황에 의하여 대기오염 물질로 분류된 다양한 황화합물 발생

→ EUV 기반 집진 장비의 가스상 입자에 대한 정화 가능성 확인

Conclusion

✓ 시계열에 따른 정화 효율	✓ 황화합물 정화 효율
<ul style="list-style-type: none"> PM 10 약 75.10% ↓ 	<ul style="list-style-type: none"> 황화수소(H₂S) 약 73% ↓
<ul style="list-style-type: none"> PM 2.5 약 66.32% ↓ 	<ul style="list-style-type: none"> 메틸메르캡탄(CH₃SH) 약 72% ↓
<ul style="list-style-type: none"> HCHO 약 64.13% ↓ 	<ul style="list-style-type: none"> 다이메틸다이설파이드((CH₃)₂S₂) 약 64% ↓

· 본 연구를 통해 EUV 기반 집진 장비의 입자상 오염물뿐만 아니라, HCHO와 황화합물 3종의 발생/저감을 분석하여 가스상 오염물질의 정화 효율 또한 확인 → **가스상 오염물질 정화 가능한 공기정화장치로의 제안**

· 물질별로 이온화 에너지 정도가 다르기 때문에 광원 에너지의 조절, 광원의 개수 등을 조절하면, 실제로 더 청정한 공기정화장치 제작이 가능할 것으로 예상 → **추가 연구의 필요성 확인**

· SO_x, NO_x 등 더욱 다양한 종류의 가스상 오염 물질에 대한 정화 효율을 확인할 수 있는 추가 연구가 진행된다면 넓은 산업 분야에 적용될 것으로 기대됨