

## 지능형 AI기반의 미세먼지 저감 제어 시스템

임상택\*, 백순창\*, 송용준<sup>o</sup>, 백영태\*\*, 최차봉\*\*\*, 송승인\*\*\*\*

\*(주)스마트컨버전스 기술연구소

<sup>o</sup>건국대학교 컴퓨터공학과

\*\*김포대학교 멀티미디어과

\*\*\*한국항공대학교 소프트웨어공학과

\*\*\*\*경기도경제과학진흥원 융합기술팀

e-mail: {cto,smartcc, metalzol.smartcc}@gmail.com\*, bmdesigner@konkuk.ac.kr<sup>o</sup>,

hannaee@kimpo.ac.kr\*\*, gen1223@kau.ac.kr\*\*\*, sis@gbsa.or.kr\*\*\*\*

## Intelligent AI-based Fine Dust Reduction Control System for Thermal Power Generation

Sang-teak Lim\*, Soon-chang Baek\*, Yong-jun Song<sup>o</sup>, Yeong-tae Baek\*\*, Cha-bong Choi\*\*\*, Seung-in Song\*\*\*\*

\*Technical Research Center, Smart Convergence Inc

<sup>o</sup>Dept. of Computer Engineering, Konkuk University

\*\*Dept. of Multimedia, Kimpo University

\*\*\*Dept. of Software Engineering, Korea Aerospace University

\*\*\*\*Dept. of Convergence Tech., Gyunggido Business & Science Accelerator

### ● 요약 ●

본 논문에서는 화력을 이용하는 대형 파워 플랜트 설비의 미세먼지 발생량을 저감시키고 능동적으로 제어 할 수 있는 효율적인 시스템을 제안한다. 이 시스템은 기존의 고정형으로 설계된 집진기 방식의 고정부하량 한계점과 극복하고 초미세먼지 PM2.5, 미세먼지 PM10의 발생량에 따라 IoT센서 감지에 의해 지능형 알고리즘으로 효율적으로 저감 제어 처리량을 극대화하고, 미세먼지 발생량을 최소화한다. 또한 이 시스템의 차별성은 기존의 집진기에서 잡혀지지 않는 초미세먼지를 새로운 형태의 물질인 FAA(Fine-dust Adsorption Agent)를 통해 연료 연소 시 발생하는 초미세먼지 미세입자 자체를 크게 만들어 기존 설비 집진기 필터에 포집되게 하는 혁신적인 방식이다. 이번 연구를 통해 350도~1000도 열원에서 작용할 수 있는 화학물질 FAA 용액 (Agent)을 개발 하였으며 지능형 AI 분사장치를 통해 연료에 첨가되어 연소 시 미세먼지를 20배~50배까지 불륨을 확대시키 기존 집진필터에 포집될 수 있게 동작된다. 이때, 기존 설계된 집진기의 한계(부하)용량에 상관없이 미세먼지 발생량을 상황인식 반응형 알고리즘(AI제어) 통해 분사량을 능동적으로 조절하여 미세먼지 발생량을 저감하는 진보적 혁신성을 지닌다.

**키워드:** 미세먼지집진(Fine-dust collection for thermal power generation system), FAA(Fine-dust Adsorption Agent), 지능형 저감 제어(AI-Based Fine Dust Reduction Control)

### I. Introduction

우리나라는 미세먼지에 의한 건강 위협이 국제적으로 심각한 수준이다. 1년 중 대기질 기준(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과하는 날을 기준으로 평가할 때, 우리나라는 23.83일로 OECD 국가(평균:12.35일) 중 대기질이 가장 나쁜 상황이다(OECD, 2015 자료).

대기오염에 대한 노출된 인구비율 기준으로 대기질 기준(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과 하는 농도에 노출된 인구비율이 47%로 OECD 국가(평균: 3%) 중 가장 높다(OECD, 2015 자료).

우리나라는 대기오염을 획기적으로 줄이지 못할 경우 조기사망률이

향후 40년 이후에는 현 수준보다 3.1배 급증할 것이라는 경고(OECD)를 받은 바 있어 대기오염 물질 배출에 대한 대책 마련이 요구된다.

집중되는 미세먼지 문제를 현안 중심에서 벗어나, 신기술로 미세먼지 위기를 넘어 신산업, 신시장 창출을 위한 기술개발, 기술 산업화, 중장기 투자전략이 필요하다. 이에, 신기술 통한 근본적인 미세먼지 문제 해결을 위하여 본 연구는 정부(과학기술부 NIPA, 경기도경제과학진흥원 융합기술팀)의 재원을 지원 받아 진행 되었다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

#### 1.1 국내외 동향

국내의 미세먼지 관련 신기술 동향을 살펴보면 다음과 같다. (중기부 2017-2020 동향 보고서 참조)

##### [대기오염 저감장치]

화재·건급용 가스배출기와 집연기 분야에서는 특허권과 관련된 기술 독과점 현상이 나타난다.

- 화재·건급용 가스배출기의 HHI는 한국 4000, 미국 2653, 일본 1900, 유럽 2500이므로 세계시장의 기술이 특정 업체에 의해 과점된 상태로 추정된다.

- 집연기의 HHI는 유럽에서 2000 정도이므로, 유럽 업체가 기술주도권을 가졌을 것이라 추정된다.

##### [대기오염 측정장치]

주요 업체의 지배력이 높아 특허권 확보가 시장 지배력과 연결되기 어려운 편이다.

- 기술에 대한 집중도는 낮지만, 시장은 주요 4개 업체가 차지하며 지배력을 행사하는 상황이다.

- 시장을 지배하는 업체에 의하여 특허권이 집중되지 않는 현상은 해당 업체들이 특허권이 아닌 다른 방법(예. 영업기밀)으로 기술보호를 실시하고 있음을 시사한다.

국내 기업의 기술활동이 의미있게 나타나는 분야인 산업 관련 집진기술, 주거 관련 집진기술, 차량용 배기장치, 대기오염 샘플러, 입자계수기 시장에서는 기술 집중도가 높지 않은 편이다. 이 분야는 기술 국내 기업이 주도권을 가졌을 것으로 추정된다. 현재, “중국 미세먼지 대응 기술력”은 선도국을 추격하기 어렵다는 정부 보고서의 동향 분석에 시사점이 크다.

## III. The Proposed Scheme

본 연구는 대기환경 오염을 방지하기 위해 가장 배출량(미세먼지 배출원)이 많은 산업분야를 조사하고 미세먼지 배출을 최소화하는 현재의 기술을 비교하였다.

먼저, 배출설비별, 사용 연료별 미세먼지(초미세먼지) 발생 비율 차이를 조사했다.

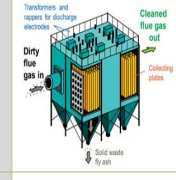
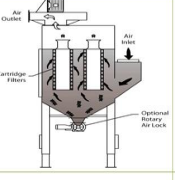

Table 1. 배출원, 연료별 PM10, PM2.5

		PM10/TSP	PM2.5/TSP
에너지산업 연소	유연탄	80%	78%
에너지산업 연소	무연탄	52%	30%
제조업연소	유연탄	58%	20%
폐기물소각	생활폐기물	72%	56%
폐기물소각	산업폐기물	73%	65%

2014년 대기오염물질 배출량 통계[국립환경과학원:국가 대기오염물질 배출량 서비스, <http://airemiss.nier.go.kr/>]

현재의 대형 화력발전소, 전국 지방 소각 시설, 대형 제철소 등과 같은 주요 미세먼지 배출 산업 현장에 보급되어 운영되는 미세먼지 저감 기술(집진기) 장단점 비교하였다.

Table 2. 미세먼지 저감 기술, 집진기별 장단점 비교

종류	전기집진기	여과 집진기(백필터)	사이클론
형태			
장점	미립자(입경 0.01um까지)에 대한 집진효율이 높음(99.9%) 효율 경제적인 운영비	미립자에 대한 집진효율 높다 고농도의 분진도 처리	5~20um이상의 입자율 90~98%까지 제거 가능 간단한 구조로 제작되며, 보수가 용이하고 여과 집진기에 비해 저감
단점	큰 부피, 넓은 설치공간에 필요 저항이 너무 크거나, 작은 입자는 제거 어려움	부피가 커서, 넓은 설치공간에 필요하다 여과포는 높은 온도, 부식성 화학물질에 손상	부피가 커서, 넓은 설치공간에 필요 미립자에 대한 집진기 효율 낮음

대형 과외 플랜트는 대형 집진기(전기집진기, 여과집진기)를 이용한 먼지 저감장치가 운영된다. 중요한 사항은 집진기 설계 시 초미세먼지 또는 미세먼지를 제거는 고려 대상이 아닌 것으로 조사 되었다. 입도분석을 통해 가장 많이 발생하는 일반 먼지 크기의 입자를 기준으로 저감시키는 설계를 한다.

전체 먼지 총량에서 미세먼지 구간 20%는 기술적으로 포기하고 나머지 80% 구간의 일반 먼지만 제거하는 상황이다. 따라서, 초미세먼지 구간인 20% 영역은 저감장치 필터에 걸리지 않고 대기중에 배출되므로 대기환경관리에 신기술 필요성이 요구된다.

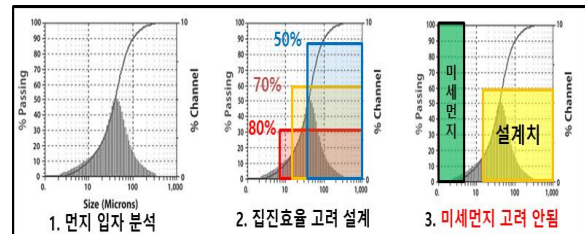


Fig. 1. 집진기설계, 입도분석과 미세먼지 고려 안됨

본 연구팀은 이러한 대기환경오염 방지기술(집진방식)의 한계점을 파악하고 혁신적으로 개선하기 위한 방안 고안하였다.

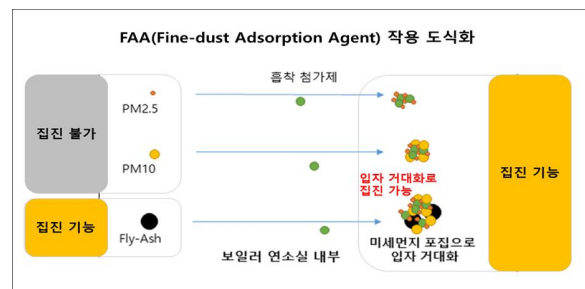


Fig. 2. 미세먼지 저감 신기술 매커니즘

초미세먼지 신물질 흡착방식, 미세먼지 입자 크기 만들어 집진기 필터 포집하는 시스템이다. 보일러 연료에 분사, 화학반응으로 미세먼지 흡착처리 한다. 기존 설비 변경없이 분사 제어 장치 Add-on 한다. 기존 전기집진기, 백필터(여과)집진기 방식에 효과적이다.

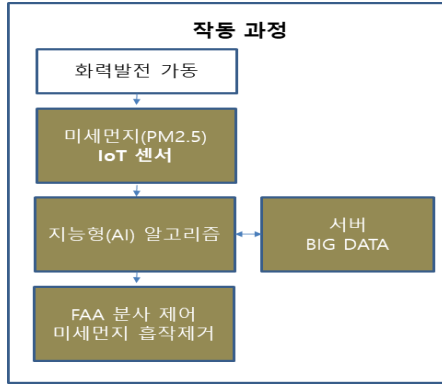


Fig. 3. 미세먼지 저감 신기술 작동 흐름도

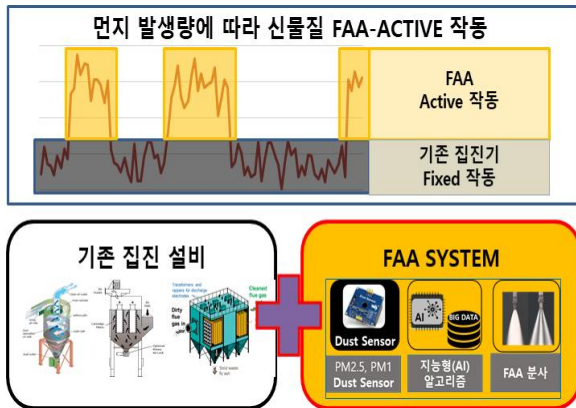


Fig. 4. 고정부하제어 방식 Vs 신기술 FAA-능동 제어 방식

기존 설계된 한계(부하)용량에 상관없이 능동적으로 미세먼지 발생량을 상황인식 반응형 FAA 분사량 조절한다.

[시험 설계, 시험 감수, 시험 결과]

한국한공대학교 소프트웨어공학과 최차봉 교수 시험 합의를, 시험 결과서 설계 후 진행하였다. 건국대학교 컴퓨터공학과 송용준 교수의 시험 감수[Fig. 3, Fig.4]를 통해 객관적인 시험결과를 확보하였다. 시험목표는 AI 자동제어 시스템 적용 전후 미세먼지(PM10, PM2.5) 제거(포집)율을 비교이다. 목표치 제거율 20% 이상인지 확인, 미세먼지 측정 장치에서 측정한 PM10, PM2.5의 수치를 측정하여 AI 자동제어를 통한 미세먼지 저감용 FAA (Agent) 분사율을 조절, AI 자동제어 결과를 이전과 이후를 비교 확인하였다.

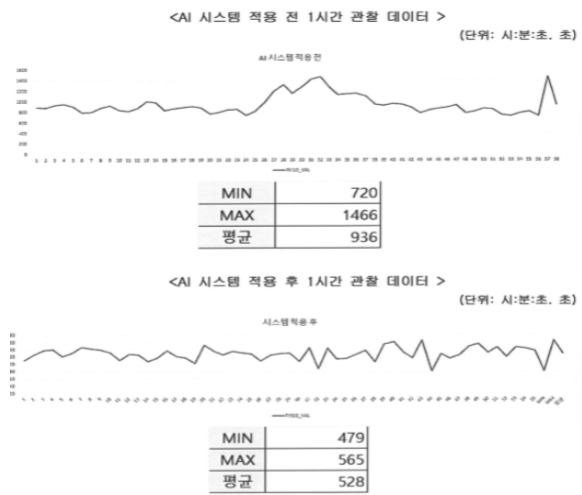


Fig. 5. 미세먼지 저감 신기술 매커니즘

시험과정에 원격모니터링, 센서부 계측 방식, 데이터 수집 방안은 김포대학교 백영태 교수의 컨설팅[Fig. 5]을 받아 결과분석이 용이한 멀티미디어 영상 시험데이터 수집이 가능했다.

#### IV. Conclusions

본 논문에서는 (주)스마트컨버전스는 기존 집진기 Add-on하여 구동되는 FAA(Fine-dust Adsorption Agent) 개발 하였고 미세먼지 발생량을 측정하여 능동적으로 제어하는 신기술, AI기반의 상황인식 반응형 알고리즘을 검증하고 결과를 제시하였다. 향후, 과기부 산하 KTL(한국산업기술시험원), KEITI(한국환경산업기술원)과 같은 공인인증기관을 통해 20MW 화력발전소 적용한 연구결과를 공개할 예정이다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 정부(과학기술부 NIPA, 경기도경제과학진흥원)의 재원을 지원받아 수행하였다.

-2018년 12월 19일 환경부 산하 KEITI(한국환경산업기술원)로부터 우수한 기술력 인정받아 최우수상을 수상함. 환경부장관 대상 기술 시연 및 전시회 발표함.

-2018 SW융합클러스터 R&D(연구개발) 성과를 인정받아 우수 과제로 선정됨.

#### REFERENCES

[1] KISTEP(Korea Institute of S&T Evaluation and Planning),

- "100 Main Science & Technology Indicators of Korea,"  
Survey report Volume 2018-1 pp. 5-43 , 2018
- [2] National Institute of Environmental Research. 2013  
National Air Pollutant Emissions; National Institute of  
Environmental Research: Incheon, Korea, 2015.
- [3] Jon Roberts, University of Wollongong, "Development  
and Application of Dust Suppression Technology" 2018  
Coal Operators Conference, pp. 319-328.
- [3] Muleski, G.E.; Cowherd Jr., C.; Kinsey, J.S. Particulate  
emissions from construction activities. *J. Air Waste  
Manag. Assoc.* 2005, 55, 772-783. [CrossRef] [PubMed]
- [4] Park M, Luo S, Kwon J, Stock TH, Delclos G, Kim H,  
Yun-Chul H. Effects of air pollution on asthma  
hospitalization rates in different age groups in  
metropolitan cities of Korea. *Air Qual Atmos Health.*  
2013;6 [PMC free article] [PubMed]
- [5] Wypych, P. W., Hastie, D. B., Wangchai, S., and Grima,  
A. P. (2015). Research and Application of New Dust  
Control Technologies for the Iron Ore Industry. *Iron Ore  
Conference.* Perth, WA
- [6] Australian Government - Department of the Environment.  
(2014). National Pollutant Inventory. (Australian  
Government) Retrieved 09 23, 2015, from  
<http://www.npi.gov.au>
- [7] Beck TW, Goodman GVR [2008]. Evaluation of dust  
exposures associated with mist drilling technology for  
roof bolters. *Min Eng* 60(12):35-39.
- [8] Air Quality Management (2002). UK Air Quality  
Objectives, November 2002. GEE Publishing