



# 사업장 미세먼지 배출저감 기술

Technology for reducing fine dust  
emissions at workplaces

Long Bag Filter System

저온 SCR 탈질촉매

건식 탈황 다공성 반응제

초발수·초발유 필터

SO<sub>2</sub> 분리·회수 공정



# Long Bag Filter System

## 1. 기술 개요

### ▶ 연구배경 및 필요성

- 정부의 '미세먼지 관리 종합계획('19.11)' 수립에 따라 강력한 국내 배출량 감축 정책을 시행 : '24년까지 직접 배출 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 19% 이상 감축 추진
- 발전소, 제철소, 시멘트공장 등의 배출 규제 강화에 대응할 수 있는 초미세먼지 집진기술 수요 증가

### ▶ 기술내용

- 15 m 필터백을 적용한 200,000 m<sup>3</sup>/hr 규모 실증설비를 제철소 소결공장에 설치하여 105일 동안 안정적 실증운전 실시
- 복합재생 방식의 탈진공정 적용을 통해 15 m 필터백의 탈진 문제 해결 : 먼지 여과 방향과 반대 방향으로 청정기류를 형성한 후 압축공기를 분사함으로써 탈진 과정에서 확장된 여과통로(부착된 먼지가 제거되고 회복된 여과통로)를 통한 미세먼지의 배출을 최소화

### ▶ 성과의 차별성·우수성

- 세계 최초로 15 m Long Bag Filter System의 실증시험 실시 : 배출농도 0.2 mg/m<sup>3</sup> 이하 달성
- 일반 3 m 백필터 집진기 대비 부지면적(본체) 60%, 건설비용(기계공사) 30% 절감 가능

### ▶ 주요 연구개발 성과

- 200,000 m<sup>3</sup>/hr 규모 15 m Long Bag Filter System 실증설비의 설계, 제작 및 운전(105일)
- 신기술인증 신청('20.5.22.)

### ▶ 특기사항(선행연구)

- 6,000 Nm<sup>3</sup>/hr 규모 Pilot Scale 백필터 복합재생시스템 개발
- 사업명 : 환경산업선진화기술개발사업
- 과제명 : 설치면적 최소화를 위한 보급형 백필터 집진장치 개발
- 주관연구기관 : 한국에너지기술연구원 박헌설 박사팀
- 연구기간 : 2014.5.1.-2017.3.31

### ▶ 연구진

- 주관연구기관 : (주)한빛파워 양창룡 박사팀
- 위탁연구기관 : (주)마이크로원 서명조 연구팀

### ▶ 정부지원내용

- 과제명 : 저비용 고성능 Long Bag Filter 실규모 실증
- 연구기간 : 2017.9.8.-2020.5.31

## 2. 정책 현황

### ▶ 사업장 미세먼지 배출량 현황(2016 CAPSS)

- 에너지산업연소(공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 민간발전시설) : TSP 4,273톤, PM<sub>10</sub> 3,951톤, PM<sub>2.5</sub> 3,253톤
- 제조업연소(연소시설, 공정로, 기타) : TSP 119,533톤, PM<sub>10</sub> 69,599톤, PM<sub>2.5</sub> 35,577톤
- 생산공정(석유제품산업, 제철제강업, 무기화학제품 제조업, 유기화학제품 제조업, 목재·펄프 제조업, 기타 제조업) : TSP 12,056톤, PM<sub>10</sub> 6,731톤, PM<sub>2.5</sub> 5,191톤
- 폐기물처리(폐기물소각) : TSP 406톤, PM<sub>10</sub> 295톤, PM<sub>2.5</sub> 252톤

### ▶ 사업장 미세먼지 규제 현황

- 대기환경보전법 배출허용기준('20.1.1. 기준)

	발전산업 (석탄화력)	시멘트제조 (소성냉각)	석유정제업 (가열시설)	제철업 (소결로)
총먼지(mg/Sm <sup>3</sup> )	5~12	15	15	10~20
황산화물(ppm)	25~60	10~15	120	45~140
질소산화물(ppm)	15~70	80~270	50~130	60~170

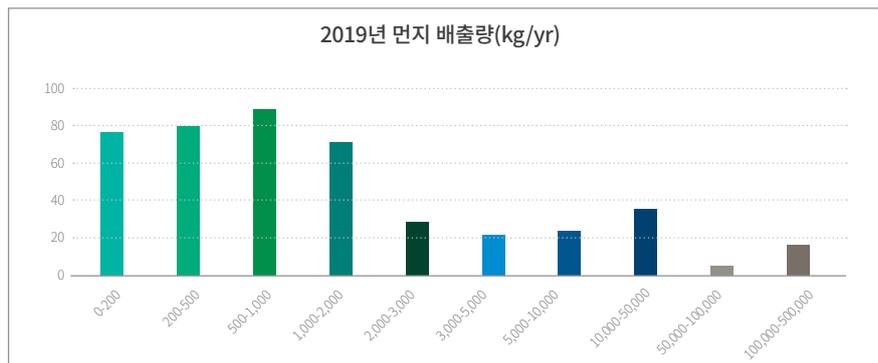
### ▶ 사업장 미세먼지 감축 정책

- '19년 11월 관계부처 합동으로 '미세먼지 관리 종합계획(2020-2024)'을 수립하여 국내 배출량 감축 정책을 추진

	구분	계	산업	발전	수송	생활
PM <sub>2.5</sub> (직접배출)	배출량(백톤/년)	1,002	423	32	241	307
	삭감량(백톤/년)	191	33	20	86	52
	삭감률(%)	19	8	63	36	17

### ▶ 사업장 먼지(TSP) 배출량 현황

- 연간 먼지 배출량에 따른 사업장 수 현황(2019년), TMS 관리



### 3. 기술 현황

#### ▶ 미세먼지 저감 최적가용기법(BAT) 추천 방지시설

- PTFE 등 여과 소재 기술 발전에 따라 제철, 제강, 시멘트 및 산업용 보일러 등 각종 산업체에서 Bag Filter System 기술의 적용 확대 추세
- 500 MW급 대용량 석탄발전소의 경우 팬 동력 문제 등을 고려하여 전기집진기의 고효율화 기술 적용
- 초미세먼지, 2차 생성 먼지 등을 고려하여 기존의 가스처리장치와 복합된 Bag Filter System의 적용 확대 예상

#### ▶ 대표 기술

기술명	특징	적용처
건식 전기집진기	- 대규모 발생 먼지 제거 - 고 집진효율 및 저 압력손실 - 추타 탈진에 의한 먼지의 재비산 발생	대용량 발전설비, 대용량 제철·제강설비, 보일러
습식 전기집진기	- 탈진 성능 향상으로 집진효율 증대 - 폐수 및 부식 발생 - 건식 대비 고가의 설치비, 운전비	대용량 발전설비, 액상 미스트, 백연 먼지 등의 동시 처리 공정
Bag Filter System	- 운전 부하, 환경 변화에 대한 적응성 우수 - 먼지의 전기저항성에 무관한 성능 유지 - 상대적으로 높은 압력손실 - 주기적인 필터백 교체 - 비교적 넓은 점유부지	제철소, 시멘트 제조공장, 중·소규모 발전설비, 일반 산업체
Long Bag Filter System	- 백필터 장점 + 건설비/운영비 절감 - 점유부지 절감 + 배출농도 감소 - 탈진 균일화 및 고내구성 필터 요구	제철소, 시멘트 제조공장, 일반 산업체, 소규모 발전설비
하이브리드 집진기	- 전기집진기 + 백필터: 백 투과유속 증가, 점유부지 증가 - 사이클론 + 백필터: 제진효율 향상, 장기운전 시 성능 저하	중·소규모 발전설비
세정집진기	- 제진효율 향상 - 산성 가스 동시 처리 기능 - 미세먼지 집진효율 저하 - 폐수 및 부식 발생	일반 산업체, 화학공장, 대용량 공기조화설비

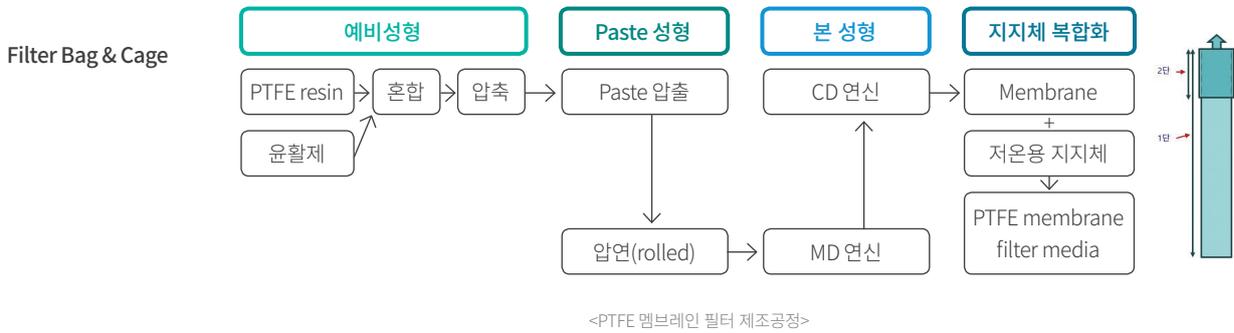
#### ▶ Bag Filter System 기술 비교

항목	원형 백	수평 백	주름 백	긴 백
Filter bag 길이	3 m	1.5 m (최대)	4.3 m (최대)	15 m (최대)
탈진 방식	고압/저압 방식 (2~3 kg/cm <sup>2</sup> , 최대 4 kg/cm <sup>2</sup> )	1:1 펄스 방식	저압 펄스 방식 (2~3 kg/cm <sup>2</sup> )	복합재생 방식
설치면적	-	작은 크기의 bag house로 설치면적 감소	여과면적이 원형 백 대비 2~3배로 설치면적 감소	원형 백 대비 60% 정도 감소 가능
설치비용	-	모듈 방식으로 설치비 절감	가격이 원형 백 대비 3배 이상으로 설치비용 증가	원형 백 대비 30% 절감 가능
적용처	제철소, 시멘트 공장, 일반 산업체	중·소규모 제조공정	발전소, 철·비철금속 플랜트, 시멘트 플랜트, 소각로 등	제철소, 시멘트 공장 등

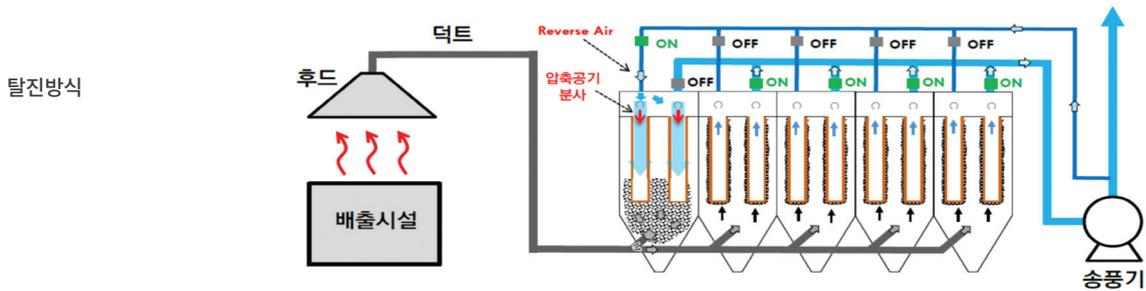
# 4. 기술개발 내용

구분	주요 내용
----	-------

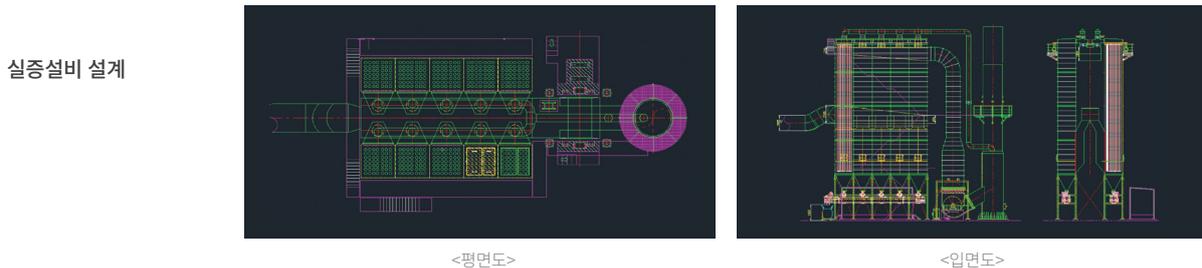
- 15 m Long Bag Filter와 Cage 개발
- 15 m 고통기성 저차압 PTFE 멤브레인 필터 : 5 cc/cm<sup>2</sup>/s 이상
- 고강도 5 m × 3단 커플러 케이지
- 2단 백 제작
- 구조적 불안정 및 불균일 탈진 문제 해결
- 기존 필터 대비 경제성 확보



- 복합재생방식 탈진 기술
- 역기류(reverse air)와 충격기류(pulse jet)를 복합적으로 적용: 필터 재생 시 댐퍼 작동을 통해 역기류를 여러 방향과 반대로 흐르게 한 상태에서 압축공기를 필터 내부로 분사하여 백을 팽창시켜 필터 외부에 포집된 먼지를 제거



- 주요 사양
- 실증 용량 : 200,000 m<sup>3</sup>/hr
- 정격 압력 : 110 mmH<sub>2</sub>O (~90 mmH<sub>2</sub>O)
- 여과 속도 : 0.83 ~ 1.33 m/min (1.03 m/min 기준)
- 최대 정압 : 200 mmH<sub>2</sub>O



## 4. 기술개발 내용

구분	주요 내용
----	-------

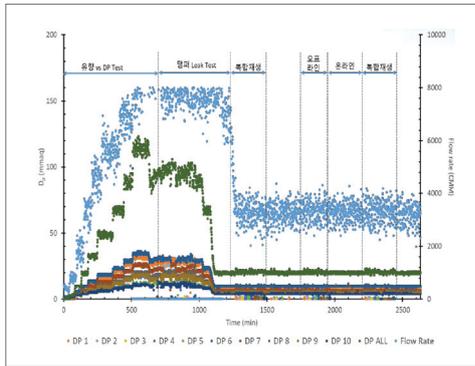
- 실증설비 설치공사: 2019.5~12 (준공 12.16)
- 시운전: 2020.1

실증설비 제작·설치

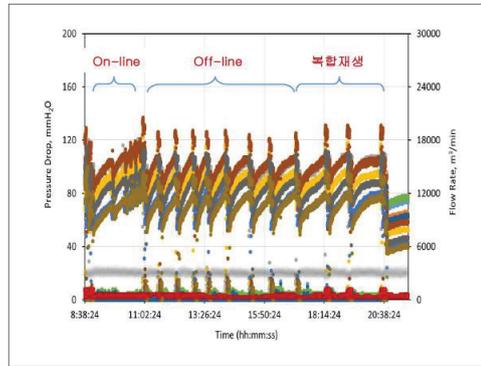


- 시험기간: 2020.2.4. ~ 5.19. (105일간 24시간 연속 상용운전)
- 기존설비 100% 부하(3,000 m<sup>3</sup>/min)로 기본 운전
- 기존설비 110%, 실증설비 100% 부하(3,300 m<sup>3</sup>/min)로 실증 운전
- 100% 부하 운전 시 배출먼지 농도 측정: KTL 공인시험 의뢰
- 여과속도 변경(운전 챔버 수 조정 6/8/10개) 운전

실증설비 장기시험



<초기 운전 안정성 시험>



<탈진방식 변경에 따른 운전 안정성 시험>

한국산업기술시험연구원(KTL) 먼지 측정(2020.4.2.)

	농도 (mg/Sm <sup>3</sup> )		제거효율(%)	배출허용기준 (mg/Sm <sup>3</sup> )
	유입	배출		
공인기관 인증시험				
총먼지	3010.807	0.188	99.99	5(발전소)/15(시멘트공장)/10(제철소)
PM <sub>10</sub>	254.798	0.092	99.96	-
PM <sub>2.5</sub>	44.335	0*	-	-

\* KTL 분석장비로 측정 불가

## 5. 적용처 및 파급효과

### ▶ 개발기술의 차별성

#### 3 m 일반 백필터 집진기 대비

- 집진효율 : 배출농도 1/10 이하
- 설치면적 : 60% 정도 감소 가능
- 설치비용 : 30% 절감 가능

### ▶ 적용 대상 사업장

- 대체 가능한 사업장(설치공간 문제 해결) : 일반 제조업, 철 및 비철금속 주물주조업체
- 신규 적용 가능한 사업장 : 제철산업, 시멘트 공정, 석탄화력발전소, 산업용 보일러, 소각로 배가스 처리시설
- 지역별 먼지 배출 사업장 현황(2019년, TMS 관리)

지역	사업장 수	지역	사업장 수	지역	사업장 수
서울	6	울산	33	전남	47
부산	12	경기도	95	경북	40
대구	9	강원도	20	경남	40
인천	20	충북	30	제주	7
광주	3	충남	50	세종	6
대전	5	전북	32		

### ▶ 파급효과

- 미세먼지 배출 저감량  
기존 제철업 2~4 mg/m<sup>3</sup> 배출 대비 1/10 ~ 1/20 (배출허용기준 10 mg/m<sup>3</sup> 대비 1/50)
- 시장규모

구분	2019년	2020년	2021년
국내(억원)	72,272	75,957	79,831
해외(백만\$)	78,489	82,577	86,883

\* 국내 시장의 89%가 대기오염 통제기기 제조이며, 이 중 80% 정도가 백필터 집진기로 추정

# 저온 SCR 탈질촉매

## 1. 기술 개요

### ▶ 연구배경 및 필요성

- 제철소 소결로에서 발생하는 미세먼지 전구체인 NO<sub>x</sub> 배출을 저감시키기 위한 고효율 SCR 탈질촉매가 필요
- 건식 탈황설비 후단의 SCR 탈질촉매는 현재 약 280°C에서 작동되지만, duct burner를 통한 재가열을 최소화하여 탈질촉매를 구동하기 위해서는 220°C에서 작동되는 저온 탈질촉매 기술이 요구
- 제한된 공간에서 질소산화물의 저감효율을 높이기 위해서 단위 촉매당 처리 능력이 우수한 소재의 적용이 필요하며, 탈질촉매의 저온 구동을 위해서는 저온에서 우수한 내황피독 능력이 요구

### ▶ 기술내용

- 220°C에서 작동하는 고효율, 고내구성 저온 SCR 탈질촉매 개발
- 최적 촉매 합성방법 도출, 촉매 pilot test용 monolith 촉매의 개발 및 평가
- 1,200,000 Am<sup>3</sup>/hr 규모의 소결로 실증 평가

### ▶ 성과의 차별성·우수성

- 제철소 소결로에서 발생하는 질소산화물을 처리하고자 우수한 내피독 특성을 나타내며, 초산점 유도 제어 기술을 통해 220°C에서 우수한 촉매 활성을 보이는 저온 탈질촉매를 개발
- 연구실 규모 반응기 외 pilot test를 수행하여 실제 배기가스 조건에서 발생할 수 있는 다양한 변수에 대한 탈질성능을 점검하여 1,200,000 Am<sup>3</sup>/hr급 대규모 실증설비 평가를 수행

### ▶ 주요 연구개발 성과

- The role of molybdenum on the enhanced performance and SO<sub>2</sub> resistance of V/Mo-Ti catalysts for NH<sub>3</sub>-SCR, Applied Surface Science, 481, 1167-1177, 2019.
- Establishment of surface/bulk-like species functionalization by controlling the sulfation temperature of Sb/V/Ce/Ti for NH<sub>3</sub>-SCR, Applied Surface Science, 481, 1503-1514, 2019.
- Study of the phosphorus deactivation effect and resistance of vanadium-based catalysts, Industrial & Engineering Chemistry Research, 58, 18930-18941, 2019.
- Effect of hydrothermal aging on NO<sub>x</sub> reduction performance for Sb-V-CeO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> catalyst, Research on Chemical Intermediates, 44, 6803-6829, 2018.
- 경기대학교 산학협력단, 암모니아를 이용한 질소산화물 제거용 선택적 환원촉매 및 그 제조방법 및 이를 이용한 질소산화물 제거방법, 출원번호 10-2019-0131924, 2019.10.23.
- 상용화 : 제철소 소결로 1기(>20억원)

### ▶ 특기사항

- 제철소 소결로 청정설비 SCR 탈질촉매 적용 상용화 성공('19년 6월)

### ▶ 연구진

- 주관연구기관 : 한국과학기술연구원 하헌필 박사팀
- 위탁연구기관 : 경기대학교 홍성창 교수팀
- 참여기업 : 대한광업

### ▶ 정부지원내용

- 과제명 : 저온 SCR 탈질촉매 기술개발 및 제철소 소결로 실증
- 연구기간 : 2017.9.8.-2020.5.31

## 2. 정책 현황

### ▶ 사업장 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 배출량 현황(2016 CAPSS)

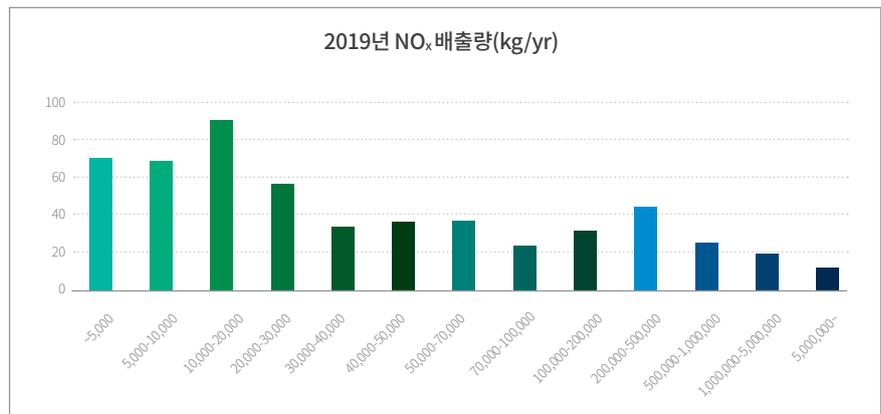
- 에너지산업연소(공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 민간발전시설) : 145,445톤
- 제조업연소(연소시설, 공정로, 기타) : 175,332톤
- 생산공정(석유제품산업, 제철제강업, 무기화학제품 제조업, 유기화학제품 제조업, 기타 제조업) : 55,932톤
- 폐기물처리(폐기물소각) : 13,570톤

### ▶ 사업장 NO<sub>x</sub> 규제 현황

- 2022년까지 미세먼지 국내 배출량 30% 이상 감축을 위한 “미세먼지 관리 종합대책 (2017.9)”을 발표함에 따라 환경규제 강화로 기업부담 가중 (질소산화물 배출 1kg 당 2,130원 부과금의 단계별 시행 계획)
- 현재 국내 소결로 시장은 한국철강협회에서 발간한 2019 대한민국 철강산업 지도에 따르면, 포항제철, 현대제철 등의 주요 철강기업 및 중·소규모의 철강기업 등 약 350여 곳이 존재
- 2020년 4월 3일 개정된 대기오염 배출허용기준에 의하면, 소결로의 NO<sub>x</sub> 허용기준은 60(15) ppm (2015년 1월 1일 이후 설치), 100(15) ppm (2007년 2월 1일 이후 설치)이며, 지역에 따라 총량규제를 적용(확대)하고 있어 소결로용 설비에 대기오염물질 저감용 청정설비는 확대될 전망

### ▶ NO<sub>x</sub> 배출 사업장 현황

- 연간 NO<sub>x</sub> 배출량에 따른 사업장 수 현황(2019년), TMS 관리



### 3. 기술 현황

#### ▶ 질소산화물 저감 최적가용기법(BAT) 추천 방지시설

- NO<sub>x</sub> 저감을 위해 대표적인 방법으로 기술적·경제적으로 유리한 선택적 촉매 환원(selective catalytic reduction, SCR) 방법이 상용화 되어 산업현장에서 사용
- NO<sub>x</sub> 관련 규제 준수를 위해 기존 촉매의 기술적 한계가 있으므로, 저온 고효율 촉매 기술 개발과 내피독성이 강한 촉매 개발이 필요

#### ▶ 대표 기술

기술명	특징	적용처
선택적 촉매 환원법 (selective catalytic reduction, SCR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 운전 온도 : 350°C 정도</li> <li>· 운영비와 장치비가 고가</li> <li>· NO<sub>x</sub> 제거효율 : &gt;90%</li> <li>· 환원제 : 암모니아 (탈질효율 우수), 탄화수소, 수소</li> <li>· 촉매 : VO<sub>x</sub>/TiO<sub>2</sub> (250~400°C, 높은 탈질효율)</li> </ul>	화력발전소 (중유, 석탄, 가스, 가스복합), 정유산업, 유리산업, 철강산업, 시멘트산업 [‘14년 국내시장 규모 약 2,600억원]
선택적 비촉매 환원법 (selective non-catalytic reduction, SNCR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 우레아 및 암모니아를 연소로에 직접 주입하여 질소산화물을 제거</li> <li>· 최적 온도 영역 : 870~980°C</li> <li>· 운영비와 장치비가 저렴</li> <li>· NO<sub>x</sub> 제거효율 : 50% 정도</li> </ul>	시멘트 소성로, 보일러, 소각시설 등의 고온 배기가스 영역
저(low)-NO <sub>x</sub> 버너	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연소 시 화염온도 및 산소농도를 낮추어 연소가스의 체류시간 단축</li> <li>· 일반 버너 대비 질소산화물 발생량을 최대 약 55% 저감 가능</li> </ul>	시멘트 소성로, 일반보일러, 냉온수기 및 건조시설용 버너 등

#### ▶ 저온 SCR 촉매 비교

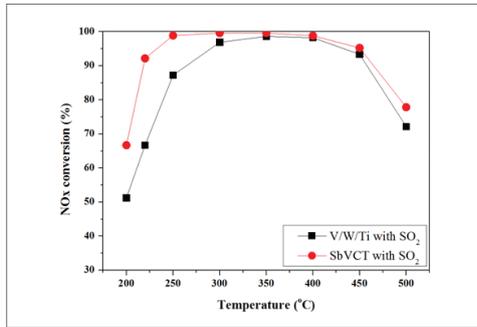
항목	A사 촉매	B사 촉매	C사 촉매	KIST 촉매
적용 온도	220°C	230~350°C	250°C	220°C
재생 온도	해당 없음	350°C	380°C	280°C
촉매 형상	허니컴 형상 압출	파형 형상 코팅/ 플레이트 형상 코팅	허니컴 형상 압출	파형 형상 코팅/ 허니컴 형상 압출

# 4. 기술개발 내용

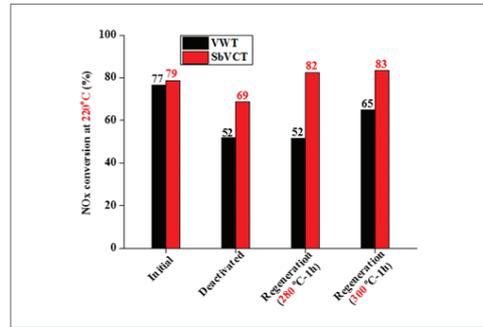
구분	주요 내용
----	-------

- TiO<sub>2</sub> 담체 기반 220°C급 초산점 구형 탈질촉매 설계
  - Sulfation treatment에 의한 표면개질을 통해 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 흡착능력 향상 : ceria의 sulfation 처리를 통해 cerium sulfate species를 생성시켜 표면 초산점(acid sites) 증진
- 촉매활성물질 complex 제조방법 도출
  - Active metal 함량에 따른 촉매의 valence state 특성 및 SCR 반응활성과 상관성 도출 : 활성 성분의 valence state에 영향을 줄 수 있는 promoter 함량에 따른 촉매 표면 metal valence state 특성과 반응활성의 상관관계 연구
- 촉매 선택성과 내피독성 분석
  - 이산화황(SO<sub>2</sub>) 피독에 따른 SCR 반응활성 및 촉매 특성 연구
  - Alkali metal 및 phosphorus의 피독에 따른 성능변화

탈질촉매  
분말 시험



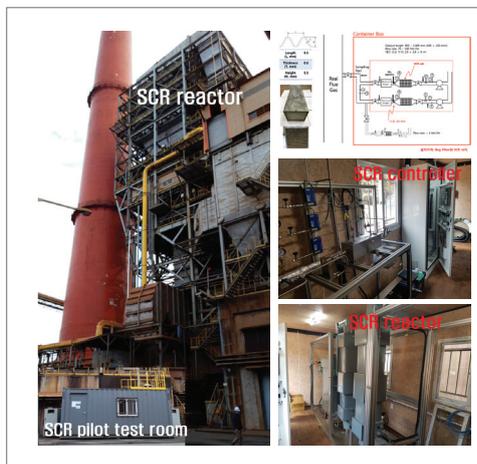
<저온 탈질성능 비교>



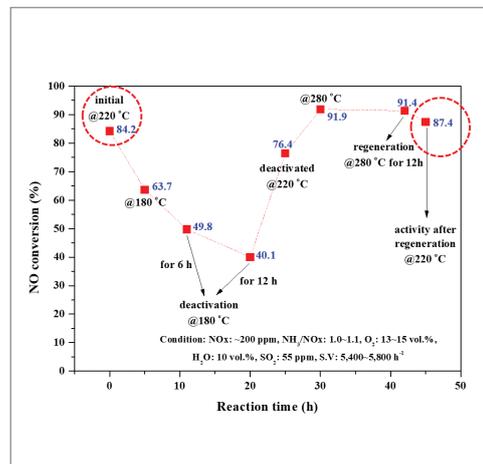
<재생성능 비교>

- 100 Am<sup>3</sup>/hr 규모 pilot 반응기 제작 및 실제 배기가스를 이용한 저온 SCR 성능평가
  - 현장 적용 가능한 저온 SCR 탈질촉매 모듈 개발 및 적용 후 scale up을 위한 운전 manual 도출 : 제철소 소결로 배기가스의 탈황공정 후단에서 일부 gas를 blower로 흡입하여 pilot test 설비의 반응기로 주입시켜 탈질성능, 재생특성 및 내구성 평가 수행
- 현장 배기가스 조건에 따른 저온 SCR 촉매의 탈질성능 및 내구성 평가
  - 내피독성 원인물질에 따른 고내구성 확보 방안 도출 및 재생 연구
  - 현장 배기가스를 고려한 다양한 운전조건에서 저온 탈질성능 평가 : SO<sub>2</sub>, alkali metal 및 phosphorus에 의한 촉매 피독 특성 확인, SO<sub>2</sub> 주입에 의한 활성 저하 및 촉매 특성 변화 확인
  - ; alkali metal 및 phosphorus에 의한 SCR 촉매의 활성 저하의 원인 확인 및 내구성 증진 방안 연구 수행

파일럿 시험



<파일럿 시험 설비>



<탈질촉매 재생특성>

# 4. 기술개발 내용

구분	주요 내용
----	-------

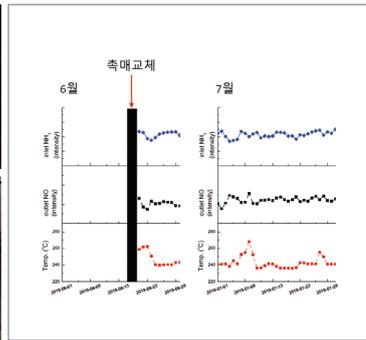
- 1,200,000 Am<sup>3</sup>/hr 규모의 소결로 실증 평가
- 1,200,000 Am<sup>3</sup>/hr 평가를 위한 monolith 탈질촉매 생산 및 선택도 향상을 위한 시스템 개선
- 실제 배기가스 조건의 실증연구를 통한 1,200,000 Am<sup>3</sup>/hr 규모의 저온 탈질성능 확인 및 보완 연구

소결공정  
적용 장기시험



<분말촉매 제조 과정>

<Monolith type 코팅 촉매>



<장기 실증시험 데이터>

- 현장 배기가스를 이용한 저온 SCR 촉매 탈질평가 공인인증 시험
- 제철소 소결로(시제품, pilot 설비) 시험을 통해 220°C에서 95% 탈질성능 구현 확인

공인기관  
인증시험



## 5. 적용처 및 파급효과

### ▶ 개발기술의 차별성

- 제철소 소결로 배기가스의 재가열을 최소화시킬 수 있도록 저온에서 우수한 탈질성능을 나타내고, 저온 SCR 촉매 작동 시 황산암모늄염(ABS) 생성이 적고 생성된 ABS의 재생이 용이
- 비활성화된 촉매를 교체없이 초기성능에 근접하게 site에서 재생이 가능하기 때문에 운영 비용 및 시스템 유지 시 큰 장점

### ▶ 적용 대상 사업장

- 저온 탈질화 기술은 세계적으로 탈질촉매 시장 적용을 보다 확대시킬 수 있는 기술로, 특히 내피독 특성을 향상시키는 내구성 증대기술은 여러 산업/운송 분야의 적용 가능성을 대폭 확장시킬 만큼 많은 수요가 존재
- 대체 가능한 사업장: 제철소, 발전소, 소각로, 보일러 후단, 디젤 자동차, 선박엔진 후단 등
- 신규 적용 가능한 사업장: 건설장비 및 농기계 디젤 엔진, 기관차, 시멘트 소성로 사업장, 화학공정 후단 청정설비 등
- 지역별 질소산화물 배출 사업장 현황(2019년, TMS 관리)

지역	사업장 수	지역	사업장 수	지역	사업장 수
서울	24	울산	39	전남	51
부산	10	경기도	144	경북	35
대구	10	강원도	20	경남	33
인천	34	충북	30	제주	7
광주	3	충남	52	세종	7
대전	6	전북	32		

### ▶ 파급효과

- 다양한 사업장에서 배출가스의 온도가 낮아 오염물질을 정화하지 못하거나 인위적으로 버너를 사용하여 배출가스를 가열한 후 정화하는 등 문제점을 가지고 있어 저온·고내구성 촉매는 다양한 산업 현장에서 배출가스 처리를 위한 핵심 기술을 제공
- 저온·고내구성 촉매 개발은 제철소 소결로와 같은 사업장 이외에도 고연비 엔진 자동차 및 선박의 구동을 가능하게 할 뿐만 아니라, 탈질촉매 시장의 기술 확장성 및 환경촉매 시장의 패러다임 자체를 바꿀 것으로 기대
- 배연가스 탈질기술의 선점은 소재시장의 독과점과 직결되는 구조이고 경제규모가 촉매 자체만으로도 수천억원에 이르며, 연관된 다양한 배기가스 처리시장의 선점 및 주도가 가능
- 탈질설비의 세계시장 규모 및 전망

(단위: 백만 달러)

2018년	2019년	2020년	2021년
16,009	17,018	18,090	19,230

출처: 중소기업 기술 로드맵(2018~2020)

# 건식 탈황 다공성 반응제

## 1. 기술 개요

### ▶ 연구배경 및 필요성

- 미세먼지에 대한 국민적 관심이 증가하면서 미세먼지 전구물질인 SO<sub>2</sub>, HCl 등 산성가스의 저감 기술에 대한 요구가 증가
- 제철공장은 SO<sub>2</sub>를 배출하는 주요 제조공정으로 현재 수입에 의존하는 중조(NaHCO<sub>3</sub>)를 탈황물질로 사용
- 중조의 사용에 의해 수용성 황산나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)이 발생하여 매립 시 문제가 발생하고, 단가가 높아 운영비가 부담으로 작용
- 폐자원을 이용한 저가의 탈황물질을 개발하고 실증을 통해 성능을 평가

### ▶ 기술내용

- 저가 및 고반응성의 SO<sub>2</sub>/산성가스 제거를 위한 다공성 반응제 개발
- 수열반응으로 비표면적과 기공 용적을 증대시킨 다공성 반응제는 Ca/Al/Si/Mg/Fe의 복합 산화물(meso porous materials로 물질 내부에 2~50 nm 기공)로 100 m<sup>2</sup>/g 이상의 비표면적과 0.30 cm<sup>3</sup>/g 이상의 기공 용적을 갖게 만들어 많은 양의 SO<sub>2</sub>/산성가스를 제거할 수 있는 성능을 확보

### ▶ 성과의 차별성·우수성

- 무기물을 함유한 폐기물을 활용하여 SO<sub>2</sub>/산성가스 제거제 제조
- 실험실 평가(100 L/min 규모) → 1차 파일럿 평가(300 Nm<sup>3</sup>/hr 규모) → 2차 파일럿 평가(50,000 Am<sup>3</sup>/

hr 규모) → 실증평가(600,000 Am<sup>3</sup>/hr 규모)로 개발된 탈황제의 성능을 순차적으로 평가하여 성능의 우수성을 확인

- 경제성을 검토하여 대용량 생산체제 구축 시 기존 탈황제의 교체가 가능하다고 판단

### ▶ 주요 연구개발 성과

- Quick vaporization of sprayed sodium hypochlorite (NaClO(aq)) for simultaneous removal of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and mercury (Hg<sup>0</sup>), Journal of the Air & Waste Management Association, 69(7), 857-866, 2019.

### ▶ 특기사항

- 1톤/일 규모의 연구용 다공성 반응제 제조설비 구축

### ▶ 연구진

- 주관연구기관: (재)포항산업과학연구원 변영철 박사팀
- 위탁연구기관: (주)알엔비즈 김병익 박사팀
- 참여기업: (주)한승케미컬

### ▶ 정부지원내용

- 과제명: SO<sub>2</sub> 및 산성가스 제거를 위한 건식 다공성 반응제 제조기술 개발 및 제철소 소결공장 실증
- 연구기간: 2017.9.8.-2020.5.31

## 2. 정책 현황

### ▶ 사업장 황산화물(SO<sub>x</sub>) 배출량 현황(2016 CAPSS)

- 에너지산업연소(공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 민간발전시설) : 91,696톤
- 제조업연소(연소시설, 공정로, 기타) : 86,593톤
- 생산공정(석유제품산업, 제철제강업, 무기화학제품 제조업, 유기화학제품 제조업, 목재·펄프 제조업, 기타 제조업) : 112,734톤
- 폐기물처리(폐기물소각) : 2,161톤

### ▶ 사업장 SO<sub>x</sub> 규제 현황

대기환경보전법 배출허용기준

: 코크스 제조시설은 85 ppm(7)

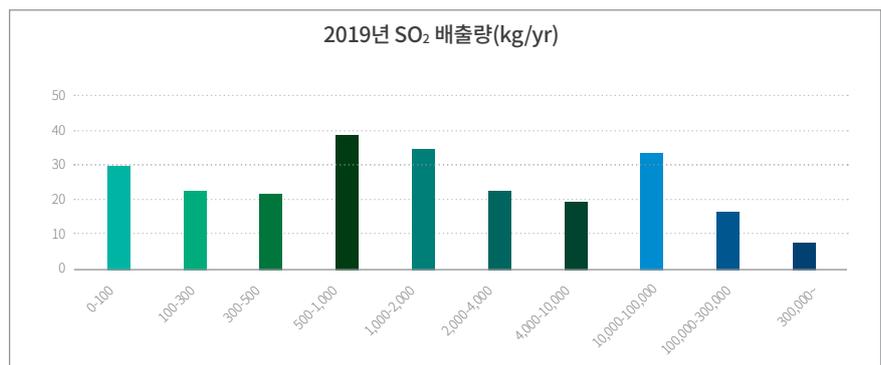
황산화물 배출허용기준(단위 : ppm)

\*산소농도

배출시설	2005년	2010년	2015년	2020년
발전시설	150(4)	70(4)	50(4)	20(15*)
일반보일러	270(4)	540(4)	540(4)	50(4)
소각시설	30(12)	100(12)	50(12)	20(12)
열처리시설	300	300	65	45

### ▶ 사업장 SO<sub>2</sub> 배출량 현황

- 연간 SO<sub>2</sub> 배출량에 따른 사업장 수 현황(2019년), TMS 관리



### 3. 기술 현황

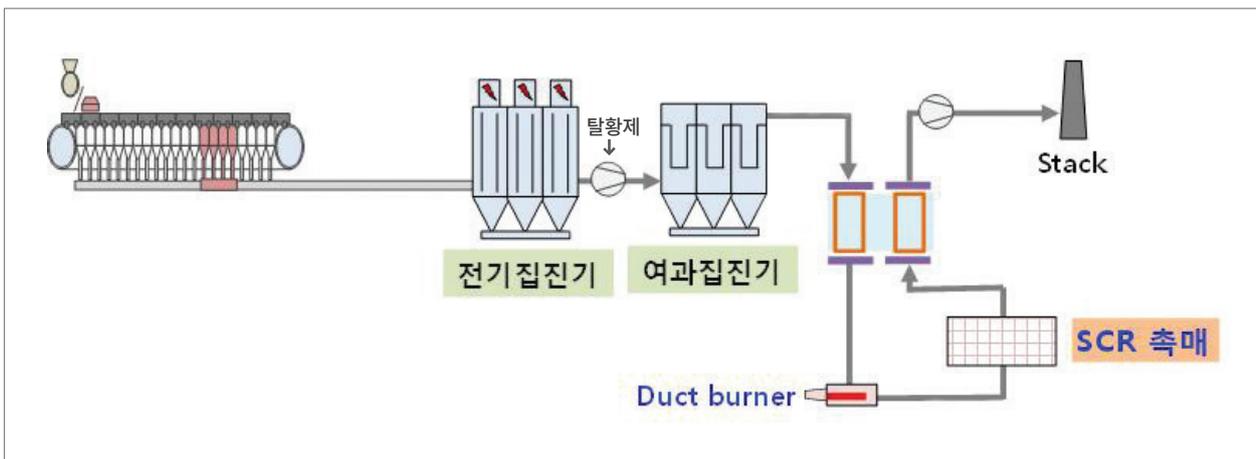
#### ▶ 황산화물 저감 최적가용기법(BAT) 추천 방지시설

- 습식 스크러버(Wet Scrubber) : 배기가스에  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 를 포함한 수용액을 직접 분사하여  $\text{SO}_2$ 를 용액에 흡수시킨 후 열 반응에 의해 입자상 물질로 회수하는 기술
- 반건식 반응제 주입(Semi-Dry Powder Injection) : 배기가스에  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 나  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  등을 슬러리 상태로 분사하여 물을 기화시킨 후 생성된 분말이 배기가스 중  $\text{SO}_2$ 와 반응하여 제거하는 기술이며, 여과포 집진기로 분사된 분말의 회수가 필요
- 건식 반응제 주입(Dry Powder Injection) :  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 같이 분말 형태의 반응제를 배기가스 내에 직접 분사하여 배기가스 중  $\text{SO}_2$ 와 반응시켜 제거하는 기술이며, 여과포 집진기로 분사된 분말의 회수가 필요
- 활성탄 흡착탑(Activated Carbon Adsorption Tower) : 괴상 형태의 활성탄을 적층하여 배기가스를 통과시키며 배기가스에 함유된  $\text{SO}_2$ 를 흡착시키는 기술이며, 스팀을 이용하여 활성탄에 흡착된  $\text{SO}_2$ 를  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 로 회수하여 활성탄을 재생하여 사용 가능

#### ▶ 대표 기술

기술명	특징	적용처
습식 스크러버	-약품이 첨가된 수용액 분사 -석고 등 분말 형태로 $\text{SO}_x$ 회수	발전소
반건식 반응제 주입	-약품을 슬러리 형태로 배기가스에 직접 분사 -여과포 집진기 등 반응제 회수 설비 필요	소각로
건식 반응제 주입	-약품을 분말 형태로 배기가스에 직접 분사 -여과포 집진기 등 반응제 회수 설비 필요	제철소
활성탄 흡착탑	-괴상의 활성탄을 적층하여 $\text{SO}_2$ 를 흡착 -스팀을 이용하여 흡착된 $\text{SO}_2$ 를 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 로 회수 가능	제철소

- 제철소 소결공장의 대기오염 방지시설의 운영 사례 : 전기집진기에서 1차적으로 입자상 물질(미세먼지)을 제거하고, 분말 형태의 중조를 여과집진기 전단에서 주입하여  $\text{SO}_2$ 를 제거하고, SCR 촉매를 사용하여  $\text{NO}_x$ 를 추가적으로 제거



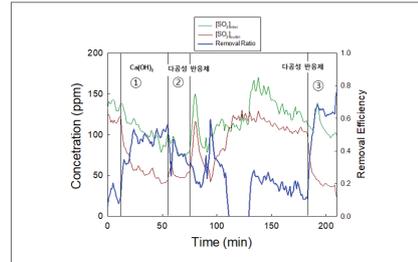


# 4. 기술개발 내용

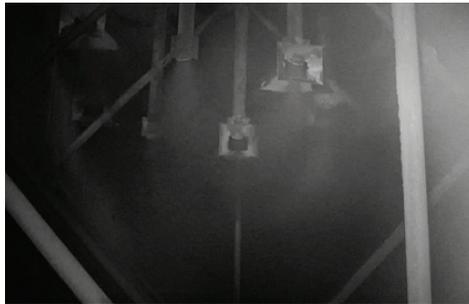
구분	주요 내용
----	-------

2차 파일럿 시험

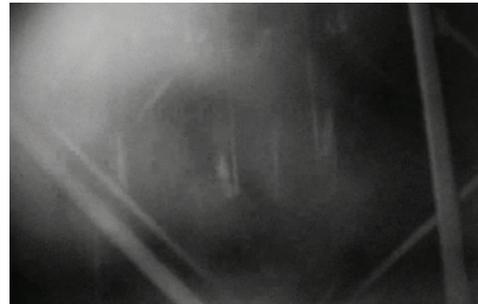
- 60,000 Am<sup>3</sup>/hr 규모의 반건식 반응기에서 시험
- 슬러리 상태의 다공성 반응제 분사로도 80% SO<sub>2</sub> 제거효율의 달성 가능성을 확인



- 배관 내 탈황제 균일 분사장치 설치: 분사 균일도 향상



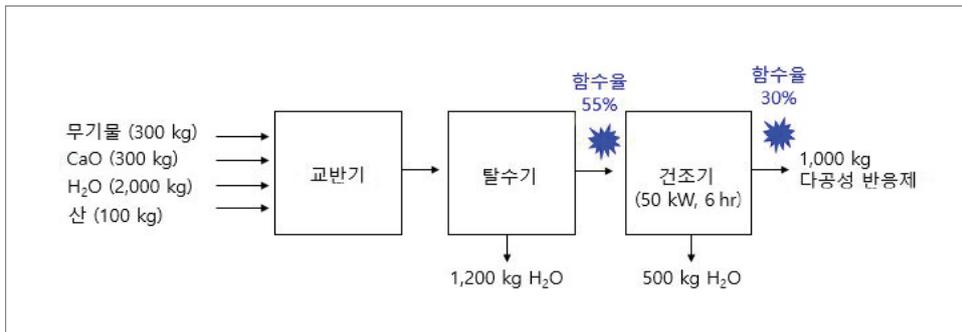
<개선 전>



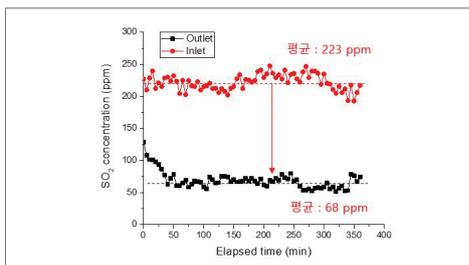
<개선 후>

- 1톤/일 규모의 연구용 다공성 반응제 제조설비 구축: 연료저장 → 수열반응 → 탈수 → 건조 → 파쇄 공정으로 구성

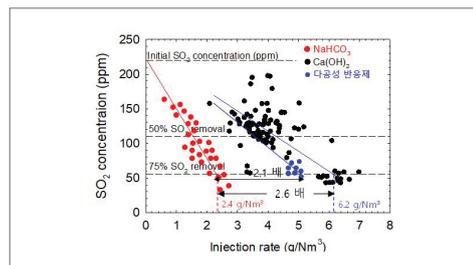
소결공정 적용  
실증평가



- 600,000 Am<sup>3</sup>/hr 규모의 소결공정에서 다공성 반응제를 이용한 실증시험: 5.0 g/Nm<sup>3</sup>의 탈황제를 6시간 이상 연속 주입하여 SO<sub>2</sub> 제거성능을 확인 → 배출농도 규제치 이하로 제어 가능



<실증시험 시 입·출구 농도 비교>



<탈황제 주입량에 따른 SO2 제거효율 비교>

## 5. 적용처 및 파급효과

### ▶ 개발기술의 차별성

- 새로 개발한 다공성 반응제로 90% 이상의 SO<sub>2</sub> 제거효율로 운전이 가능
- 기존 탈황제인 중조(NaHCO<sub>3</sub>) 사용 시 제철소 소결공장에서는 폐기물 처리비용을 포함하여 330억원/년(70,000톤/년 기준)이 소요되지만, 100톤/일 규모의 다공성 반응제 생산설비의 구축 시 315억원/년이 소요되어 운영비 절감이 가능

### ▶ 적용 대상 사업장

- 대체 가능한 사업장 : 건식 또는 반건식 SO<sub>2</sub> 제거설비를 사용하는 소각로
- 신규 적용 가능한 사업장 : SO<sub>2</sub> 제거가 필요한 모든 사업장(여과포 집진기가 설치되어 있다면 설비 투자 없이 노즐 설치만으로 바로 사용 가능)
- 지역별 황산화물 배출 사업장 현황(2019년, TMS 관리)

지역	사업장 수	지역	사업장 수	지역	사업장 수
서울	2	울산	19	전남	32
부산	6	경기도	61	경북	22
대구	9	강원도	8	경남	23
인천	13	충북	16	제주	7
광주	2	충남	25	세종	3
대전	3	전북	18		

### ▶ 파급효과

- 황산화물 배출 저감량 : 다공성 반응제의 사용으로 절감되는 탈황제 구매 및 처리 비용을 탈황제의 추가 투입으로 환산 시 1,300톤/년의 SO<sub>2</sub> 배출 저감이 가능
- 시장규모 : 제철소 탈황제 시장은 약 400억원/년 정도

# 초발수·초발유 필터

## 1. 기술 개요

### ▶ 연구배경 및 필요성

- 2017년 환경부에 등록된 대기오염물질 배출 사업장은 총 58,932개소이고, 이 중 기초지자체에서 관리하는 연간 대기오염물질 발생량이 2~10톤 범위인 4종 사업장이 19,282개소, 2톤 미만 5종 사업장이 34,012개소로 전체 사업장의 90%를 차지하므로, 소규모 사업장의 맞춤형 관리가 중요(환경통계연감, 2018)
- 중소사업장의 연소시설에서 배출되는 점성이 큰 미세먼지를 여과 백으로 집진한 후 탈진이 용이한 구조의 필터소재가 필요

### ▶ 기술내용

점성이 큰 미세먼지의 집진 및 탈진 성능이 우수한 필터소재 합성 및 이를 이용한 필터 백 장착 파일럿 스케일 여과집진시스템 제작 및 성능평가

- 배기가스 용량 : 60 Nm<sup>3</sup>/hr
- 배기가스 시험온도 : 200°C
- 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 집진효율 : 99.9% 이상
- 필터소재 접촉각 : 물 152.9°, CH<sub>2</sub> 120.9°
- 필터소재 공기투과도 : 11.2 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>/s @125 Pa

### ▶ 성과의 차별성·우수성

- 초발수·초발유 기능성 필터소재 개발 및 파일럿 규모 적용 검증 : 200°C 이상 중소사업장 적용 가능성 확인

### ▶ 주요 연구개발 성과

NH<sub>3</sub>-induced removal of NO<sub>x</sub> from a flue gas stream by silent discharge ozone generation in a double reactor system, Korean J. Chemical Engineering, 36(8), 1291-1297, 2019.  
Direct conversion of NO and SO<sub>2</sub> in flue gas into fertilizer using ammonia and ozone, Journal of Hazardous Materials, 397, 122581-122588, 2020.

한국생산기술연구원, 초발수, 초발유 기능이 부여된 여과체 및 이의 제조장치, 출원번호 10-2018-0135990, 2018.11.7.

한국생산기술연구원, 미세먼지 저감을 위한 황산화물 및 질소산화물 전구물질 입자화 시스템 및 그 방법, 출원번호 10-2019-0096500, 2019.8.8.

한국생산기술연구원, 전기 방사 및 정전 분무 최적화 제조 시스템, 출원번호 10-2019-0134714, 2019.10.28.

한국생산기술연구원, 초발수, 초발유 기능이 부여된 여과체 및 이의 제조장치, PCT 국제출원번호 PCT/KR2019/014251, 2019.10.28.

### ▶ 특기사항(실증연구로 연계 추진)

사업명 : 제조분야 미세먼지 감축을 위한 공정맞춤형 실용화 기술개발  
과제명 : 산업용 초내열 여과필터 기술개발  
주관연구기관 : (주)창명산업  
연구기간 : 2019.4.1.-2022.12.31.

### ▶ 연구진

주관연구기관 : 한국생산기술연구원 최석천 박사팀  
위탁연구기관 : 서울시립대학교 박영권 교수팀  
참여기업 : (주)창명산업, (주)이엠코

### ▶ 정부지원내용

과제명 : 중소사업장 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 입자전환 및 고점도 입자상물질 여과집진시스템 개발  
연구기간 : 2017.9.8.-2020.2.7.

## 2. 정책 현황

### 중소사업장 미세먼지 배출량 현황(2016 CAPSS)

- 에너지산업연소(공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 민간발전시설) : TSP 4,273톤, PM<sub>10</sub> 3,951톤, PM<sub>2.5</sub> 3,253톤
- 제조업연소(연소시설, 공정로, 기타) : TSP 119,533톤, PM<sub>10</sub> 69,599톤, PM<sub>2.5</sub> 35,577톤
- 생산공정(석유제품산업, 제철제강업, 무기화학제품 제조업, 유기화학제품 제조업, 목재·펄프 제조업, 기타 제조업) : TSP 12,056톤, PM<sub>10</sub> 6,731톤, PM<sub>2.5</sub> 5,191톤
- 폐기물처리(폐기물소각) : TSP 406톤, PM<sub>10</sub> 295톤, PM<sub>2.5</sub> 252톤

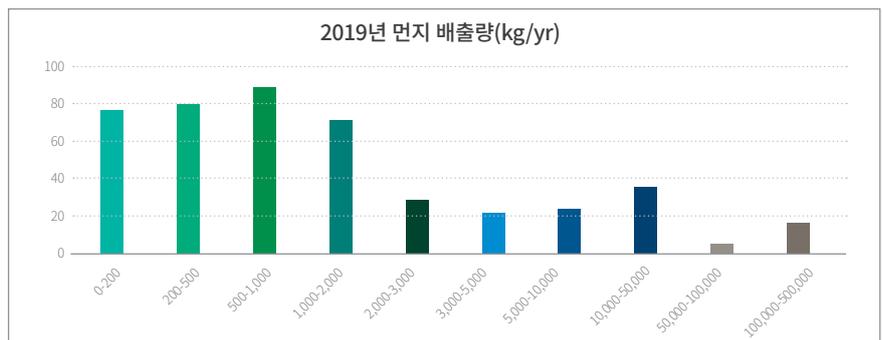
### 중소사업장 미세먼지 규제 현황

대기환경보전법 먼지 배출허용기준(2020.1.1. 이후 적용)

배출시설	먼지 농도 (mg/Sm <sup>3</sup> )	
일반보일러('15.1.1 이후 설치시설)	10~16	
폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설 및 동물화장시설 ('15.1.1 이후 설치시설)	시간당 소각용량 : 2톤 이상	10
	시간당 소각용량 : 200kg ~ 2톤	15
	시간당 소각용량 : 200kg 미만	15
1차 금속 제조시설·금속가공제품·기계·기기·운송장비·가구제조시설의 용융·용해시설 또는 열처리시설 ('15.1.1 이후 설치시설)	전기아크로; 용선로, 용광로, 용선 예비처리시설, 전로, 정련로, 제선로, 용융로, 도가니로 및 전해로; 소결로, 배소로, 환형로; 가열로, 열처리로, 소둔로, 건조로, 열풍로	10
	주물사처리시설, 탈사시설 및 탈청시설	15
코크스 제조시설 및 저장시설	15~20	
아스콘 제조시설 중 가열·건조·선별·혼합시설	25	
석유 정제품 제조시설, 기초유기화합물 제조시설	15~30	
석탄가스화 연료 제조시설	15~25	
유리 및 유리제품 제조시설의 용융·용해시설	30	
도자기·요업제품 제조시설 중 용융·용해시설, 소성시설 및 냉각시설	50	
시멘트·석회·플라스터 및 그 제품 제조시설	15~30	
도장시설 및 부속 건조시설	30	
연마·연삭시설, 고체입자상물질 포장·저장·혼합시설, 탈사시설 및 탈청시설	30	
고형연료제품 제조·사용시설 및 관련 시설	10~25	
화장로시설('10.1.1 이후 설치시설)	15	

### 사업장 먼지(TSP) 배출량 현황

- 연간 먼지 배출량에 따른 사업장 수 현황(2019년), TMS 관리



### 3. 기술 현황

#### ▶ 사용 연료에 따른 대기오염방지설비의 비교

연료	대기오염방지설비	주요 배출 오염물질
LNG	연소보일러 → 굴뚝	NO <sub>x</sub>
등유, 경유	연소보일러 → 굴뚝	NO <sub>x</sub>
병커C유	연소보일러 → SDR → 알티 사이클론 → 굴뚝	NO <sub>x</sub> , 먼지, SO <sub>x</sub>
폐기물	연소보일러 → SDR → 여과집진시스템 → 굴뚝	HCl, 먼지
유연탄	연소보일러 → 열교환기 → 탈질시스템 (300℃) → 전기집진시스템 → 열교환기 → 배연탈황 → 굴뚝	NO <sub>x</sub> , 먼지, SO <sub>x</sub>

#### ▶ 대표 기술

기술명	특징	적용처
전기집진기	- 대규모 발생 먼지 제거 - 고 집진효율 및 저 압력손실 - 추타 탈진에 의한 먼지의 재비산 발생	대용량 발전설비, 대용량 제철· 제강설비, 보일러
여과집진기	- 운전 부하, 환경 변화에 대한 적응성 우수 - 먼지의 전기저항성에 무관한 성능 유지 - 상대적으로 높은 압력손실 - 주기적인 필터백 교체 - 비교적 넓은 점유부지	제철소, 시멘트 제조공장, 중·소 규모 발전설비, 일반 산업체
하이브리드 집진기	- 전기집진기 + 백필터: 백 투과유속 증가, 점유부지 증가 - 사이클론 + 백필터: 제진효율 향상, 장기운전 시 성능 저하	중·소규모 발전설비
세정집진기	- 제진효율 향상 - 산성 가스 동시 처리 가능 - 미세먼지 집진효율 저하 - 폐수 및 부식 발생	일반 산업체, 화학 공장, 대용량 공기 조화설비

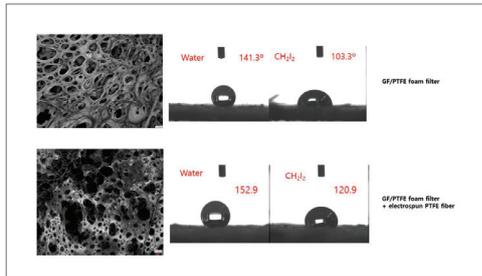


# 4. 기술개발 내용

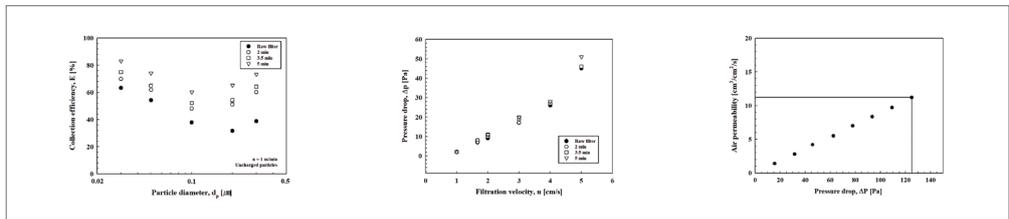
구분	주요 내용
----	-------

- 전기방사에 의한 PTFE/PVA 필터소재 제조 : 폭 60 cm, 길이 150 cm
- 초발수 · 초발유 성능평가
  - 필터소재 제조조건 : PTFE : PVA = 5 : 1, 소결온도 315°C, 소결시간 8분
  - 최대 접촉각 : 152.9° (water), 120.9° (oil, CH<sub>2</sub>l<sub>2</sub>)

파일럿 스케일  
PTFE/PVA 전기방사  
필터소재 제조



- 집진 성능평가
  - 집진효율 : 40% 이상 @ 0.1 μm
  - 압력손실 : 15 Pa @ 3 cm/sec
  - 필터 성능지수 : 0.1 Pa<sup>-1</sup> 이상 @ 0.1 μm
  - 공기투과도 : 11.2 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>/s @ 125 Pa

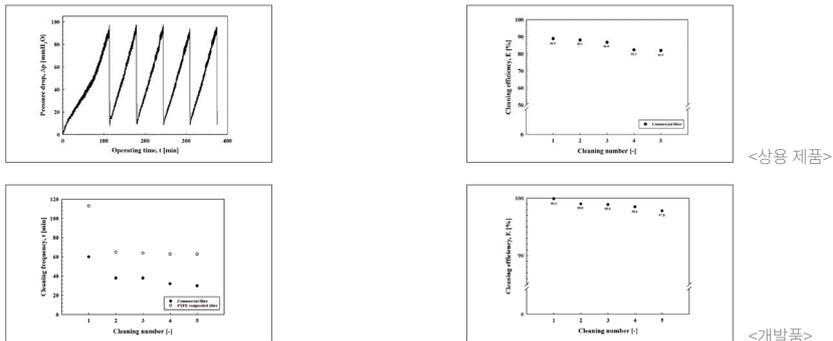


· 파일럿 집진시스템 제작



- 탈진 성능평가
  - 시험조건 : 먼지농도 10 g/m<sup>3</sup>, 여과속도 3 m/min
  - 탈진효율 : 98% 이상(상용 대비 향상)
  - 탈진주기 : 상용 대비 향상

파일럿 설비 시험



## 5. 적용처 및 파급효과

### ▶ 개발기술의 차별성

점착성 미세먼지의 탈진성능(탈진주기, 탈진효율)이 우수한 여과 백(filter bag) 제조기술을 확보

- 접촉각 : 152.9° (water), 120.9° (oil)
- 공기투과도 : 11.2 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>/s @125 Pa

### ▶ 적용 대상 사업장

대체 가능한 사업장 : 미세먼지 다량 배출 중소 사업장(시멘트 공장, 소각장, 제철소)

신규 적용 가능한 사업장 : 숯가마, 염색공정, 고무제조시설, 유리 용해로 시설 등의 중소형 연소시설

- 지역별 먼지 배출 사업장 현황(2019년, TMS 관리)

지역	사업장 수	지역	사업장 수	지역	사업장 수
서울	6	울산	33	전남	47
부산	12	경기도	95	경북	40
대구	9	강원도	20	경남	40
인천	20	충북	30	제주	7
광주	3	충남	50	세종	6
대전	5	전북	32		

### ▶ 파급효과

- 시장규모

구분	2019년	2020년	2021년
국내(억원)	72,272	75,957	79,831
해외(백만\$)	78,489	82,577	86,883

\* 국내 시장의 89%가 대기오염 통제기기 제조이며, 이 중 80% 정도가 백필터 집진기로 추정

# SO<sub>2</sub> 분리·회수 공정

## 1. 기술 개요

### ▶ 연구배경 및 필요성

- 미세먼지로 인한 대기오염 증가로 환경규제가 강화됨에 따라 고효율 저감기술의 필요성이 증가
- 기존 탈황기술인 습식 석회석-석고법의 이산화황(SO<sub>2</sub>) 제거효율의 한계 및 물때와 막힘 현상의 해결이 필요
- SO<sub>2</sub>는 황산제조의 전구물질, 식품보존제, 와인양조 등에 활용할 수 있으므로, SO<sub>2</sub> 회수 공정을 통해 오염물질의 자원화 기술을 확보

### ▶ 기술내용

#### 디아민계 흡수제를 기반으로 가역 SO<sub>2</sub> 흡수제 개발

- 가역 흡수 성능 : > 0.7 mol SO<sub>2</sub>/mol 흡수제 (30°C 흡수, 100°C 탈거 기준)
- 열적 안정성 : > 180°C

#### SO<sub>2</sub> 분리·회수 공정 개발

- 1 m<sup>3</sup>/hr 규모 연속 순환장치 설치, 운전 및 최적화
- 500시간 연속 운전을 통한 흡수제의 성능 검증
- SO<sub>2</sub> 제거효율 : > 98% (SO<sub>2</sub> 농도 : 입구 약 1,000 ppm, 출구 약 12 ppm; 30°C 흡수, >115°C 탈거 기준)

### ▶ 성과의 차별성·우수성

- 액체 흡수제를 활용한 SO<sub>2</sub> 제거효율 향상
- 오염물질 배출 저감 및 오염물질 자원화에 따른 자원 순환 체계 구축 가능성 증진
- 이산화탄소 포집공정과 연계하여 국내 CCS 및 기후 변화 대응 기술 확보

### ▶ 주요 연구개발 성과

Reversible absorption of SO<sub>2</sub> with alkyl-anilines: The effects of alkyl group on aniline and water, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 69, 338-344, 2019.

An experimental based optimization of a novel water lean amine solvent for post combustion CO<sub>2</sub> capture process, Applied Energy, 248, 174-184, 2019.

한국과학기술연구원, 수산화 그룹을 갖는 아민 기반 이산화황 및 아황산 흡수제 및 이의 제조방법, 출원번호 10-2018-0143845, 2018.11.20.

한국과학기술연구원, 흡수탑과 탈거탑이 하나의 탑으로 구성된 가스 포집장치 및 이를 이용한 가스 포집방법, 출원번호 10-2019-0014401, 2019.2.7.

한국과학기술연구원, Hydroxyl group-containing amine-based sulfur dioxide and sulfurous acid absorbent, and method for preparing the same, US Patent Application No. 16/454,566, 2019.6.27.

### ▶ 연구진

- 주관연구기관 : 한국과학기술연구원 이현주 박사팀

### ▶ 정부지원내용

- 과제명 : 미세먼지 저감을 위한 선택적 SO<sub>2</sub> 분리 공정 기술 개발
- 연구기간 : 2017.9.8.-2020.7.31

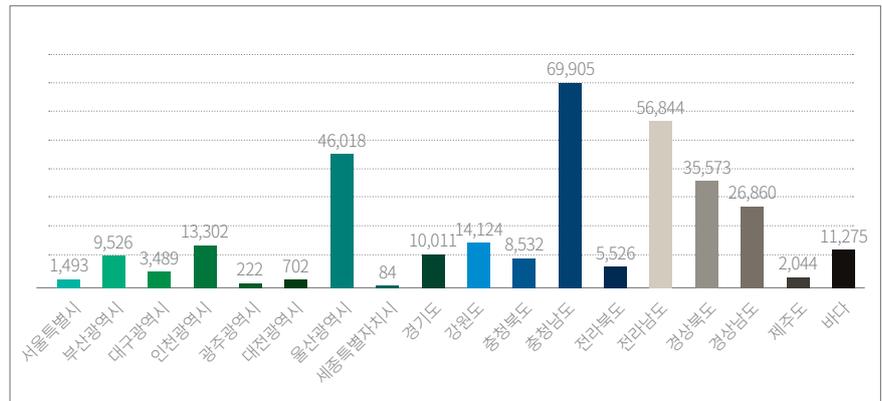
## 2. 정책 현황

### ▶ 사업장 황산화물(SO<sub>x</sub>) 배출량 현황

#### 사업장 배출량 현황(2016 CAPSS)

- 에너지산업연소(공공발전시설, 지역난방시설, 석유정제시설, 민간발전시설) : 91,696톤
- 제조업연소(연소시설, 공정로, 기타) : 86,593톤
- 생산공정(석유제품산업, 제철제강업, 무기화학제품 제조업, 유기화학제품 제조업, 목재·펄프 제조업, 기타 제조업) : 112,734톤
- 폐기물처리(폐기물소각) : 2,161톤

#### 시도별 SO<sub>2</sub> 배출량 분포(2017년)



### ▶ 사업장 SO<sub>x</sub> 규제 현황

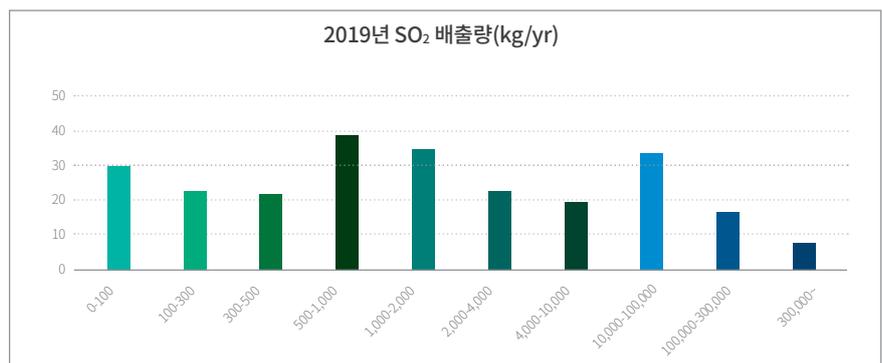
#### 대기환경보전법 황산화물 배출허용기준(단위 : ppm)

배출시설	2005년	2010년	2015년	2020년
발전시설	150(4)	70(4)	50(4)	20(15*)
일반보일러	270(4)	540(4)	540(4)	50(4)
소각시설	30(12)	100(12)	50(12)	20(12)
열처리시설	300	300	65	45

\*산소농도

### ▶ SO<sub>2</sub> 배출 사업장 현황

- 연간 SO<sub>2</sub> 배출량에 따른 사업장 수 현황(2019년), TMS 관리



### 3. 기술 현황

#### ▶ 사업장 황산화물 저감 최적가용기법(BAT) 추천 방지시설

- 습식 스크러버(Wet Scrubber) : 배기가스에  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 를 포함한 수용액을 직접 분사하여  $\text{SO}_2$ 를 용액에 흡수시킨 후 염 반응에 의해 입자상 물질로 회수하는 기술
- 반건식 반응제 주입(Semi-Dry Powder Injection) : 배기가스에  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 나  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  등을 슬러리 상태로 분사하여 물을 기화시킨 후 생성된 분말이 배기가스 중  $\text{SO}_2$ 와 반응하여 제거하는 기술이며, 여과포 집진기로 분사된 분말의 회수가 필요
- 건식 반응제 주입(Dry Powder Injection) :  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 같이 분말 형태의 반응제를 배기가스 내에 직접 분사하여 배기가스 중  $\text{SO}_2$ 와 반응시켜 제거하는 기술이며, 여과포 집진기로 분사된 분말의 회수가 필요
- 활성탄 흡착탑(Activated Carbon Adsorption Tower) : 괴상 형태의 활성탄을 적층하여 배기가스를 통과시키며 배기가스에 함유된  $\text{SO}_2$ 를 흡착시키는 기술이며, 스팀을 이용하여 활성탄에 흡착된  $\text{SO}_2$ 를  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 로 회수하여 활성탄을 재생하여 사용 가능

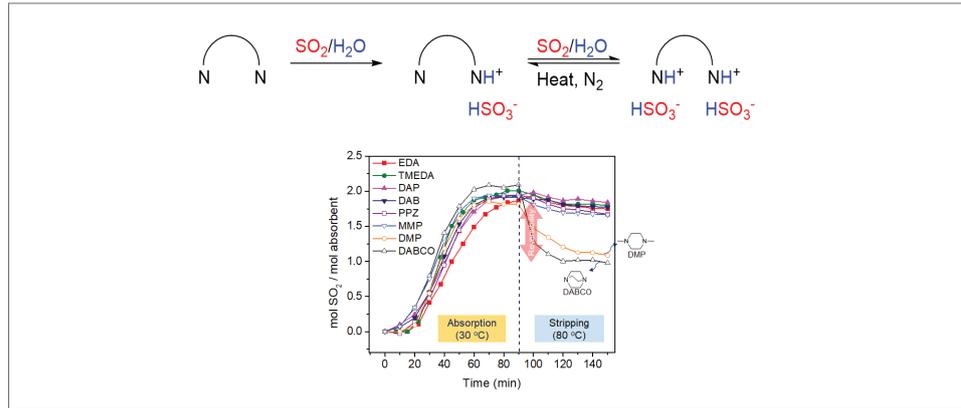
#### ▶ 대표 기술

기술명	특징	적용처
습식석회공정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ca 화합물을 물에 분산시켜 <math>\text{SO}_2</math> 흡수제로 활용하여 석고 전구체가 생성</li> <li>- 탈황효율이 높고(95%), 신뢰도가 높아 가장 많이 적용된 탈황장치</li> <li>- 시설 투자비가 많이 들고, 다량의 부산물로 인하여 부지가 많이 필요하며, 폐수 방출로 2차 오염이 발생</li> </ul>	세계 석탄발전소의 84%가 사용
Spray Dryer process	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ca 화합물을 가루 형태로 분사시켜 <math>\text{SO}_2</math> 함유 가스와 반응시켜 <math>\text{SO}_2</math>를 제거</li> <li>- 건조 상태이므로 폐수가 발생되지 않으나 습식에 비하여 효율이 낮음(70~90%)</li> <li>- 막힘 현상(plugging)의 우려가 있고, 운전 조업비가 많음</li> </ul>	세계 석탄발전소의 1.6%가 사용
Sea Water process	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 바닷물을 이용하여 <math>\text{SO}_2</math>를 제거하여 부산물 및 폐기물이 생성되지 않고, 제거효율이 높음(98%)</li> <li>- 바닷물의 pH를 낮춤으로 인해 COD 및 바다 생태계에 영향을 미칠 우려</li> </ul>	1990년대부터 적용 시작
Walther process	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 암모니아를 이용한 <math>\text{SO}_2</math> 흡수 공정</li> <li>- 생성물인 <math>(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4</math>를 분리한 후 재결정시켜 비료로 사용</li> <li>- 암모늄염의 배출로 인해 에어로졸이 발생될 위험</li> </ul>	독일 발전소 등에 적용
ReACT process	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activated carbon/coke를 이용한 <math>\text{SO}_2</math> 제거 및 회수 공정</li> <li>제거반응: <math>\text{C} + \text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}(\text{H}_2\text{SO}_4)</math></li> <li>회수반응: <math>\text{C}(\text{H}_2\text{SO}_4) + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}</math></li> <li>- NO, Hg 등 배기가스 중 타 성분도 함께 제거</li> </ul>	일본과 독일의 발전소에 다수 적용

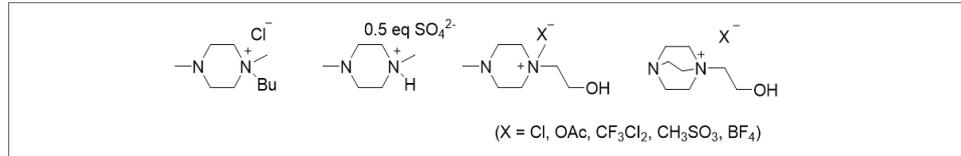
# 4. 기술개발 내용

구분	주요 내용
----	-------

· 다양한 아민계 흡수제의 스크리닝 테스트를 통한 최적 SO<sub>2</sub> 가역 흡수제 선정



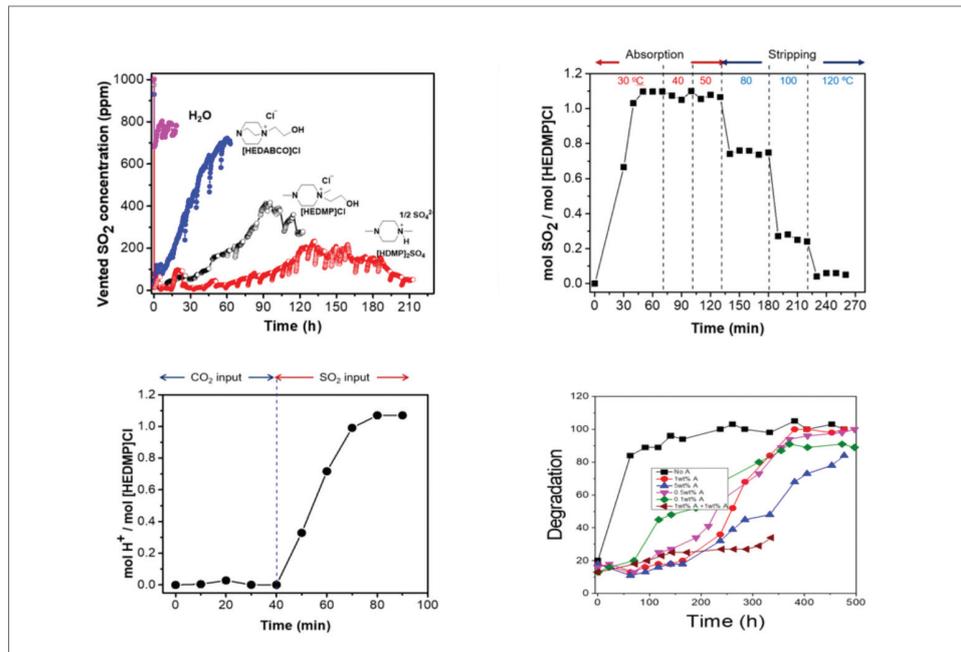
- 대표 흡수제 : DMP 및 DABCO 계열 이온염 흡수제



이산화황(SO<sub>2</sub>)  
가역 흡수제 합성  
및 성능평가

- 가역 흡수 성능 : > 0.7 mol SO<sub>2</sub>/mol 흡수제(30°C 흡수, 100°C 탈거 기준)  
- 흡수제 열적 안정성 : > 180°C

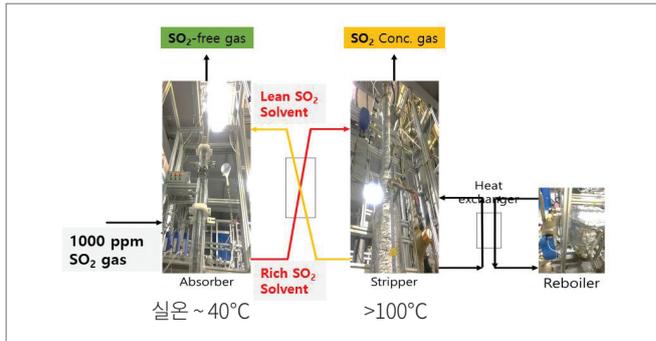
· 다양한 조건(SO<sub>2</sub> 농도, 온도, feed gas 조성)에 따른 SO<sub>2</sub> 흡수실험을 통해 DMP계 이온염이 흡수능과 선택도 면에서 우수한 흡수제임을 확인하고, 흡수제의 열화 방지제를 개발



# 4. 기술개발 내용

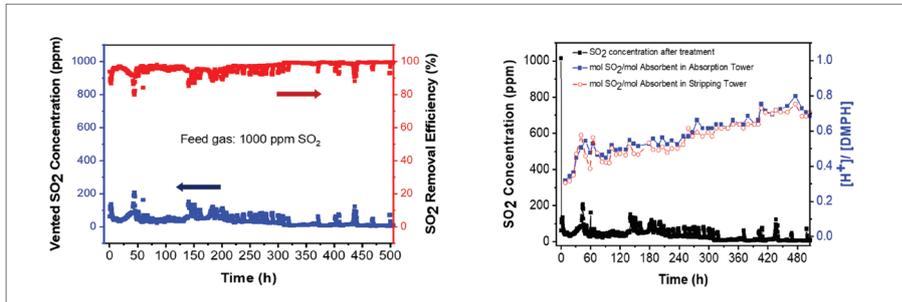
구분	주요 내용
----	-------

· 연속순환장치 설계, 설치 및 운전: 1 m<sup>3</sup>/h 규모, 500시간 연속운전



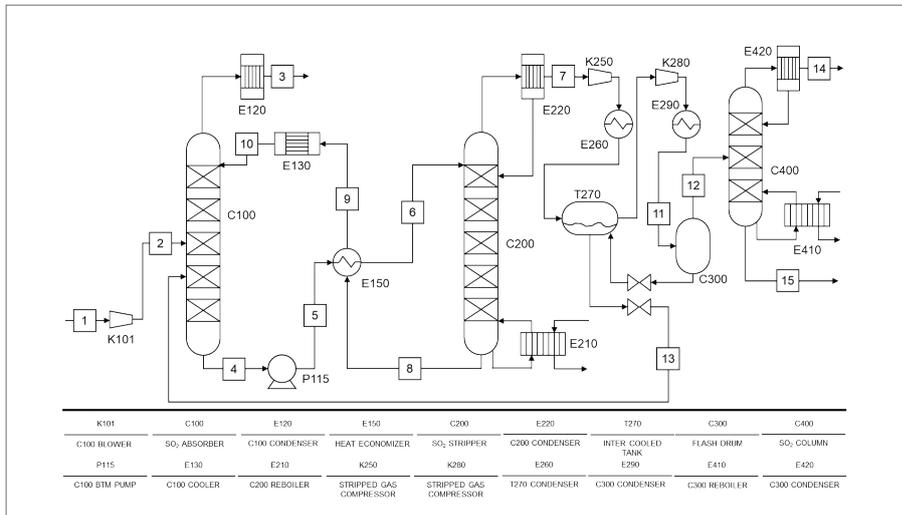
미니 파일럿 장기시험

- 흡수용액: 10 wt% DMP계
- 모사가스: 80.6% N<sub>2</sub>, 4.2% O<sub>2</sub>, 15% CO<sub>2</sub>, 0.2% Ar, 1000 ppm SO<sub>2</sub>
- L/G = 6.25 L/M<sup>3</sup>
- SO<sub>2</sub> 제거효율: > 98% (30°C 흡수, > 115°C 탈거 기준)
- mol SO<sub>2</sub>/mol absorbent : > 0.6 mol/mol



· 배기가스 탈황장치 개념설계: 1,000 Nm<sup>3</sup>/h 규모

SO<sub>2</sub> 분리·회수  
시스템 개념설계



## 5. 적용처 및 파급효과

### ▶ 개발기술의 차별성

- 현재 국내 SO<sub>2</sub> 처리 기술은 CaO 혹은 CaCO<sub>3</sub>를 이용하여 SO<sub>2</sub>를 처리하고, 생성된 CaSO<sub>3</sub>를 추가로 처리하여 석고로 전환하는 기술이 대부분
- 본 기술은 흡수제를 이용하여 SO<sub>2</sub>를 혼합가스로부터 분리한 후 회수할 수 있는 기술로, 액체상의 흡수제를 활용하여 보다 빠르고 효과적으로 SO<sub>2</sub>의 분리가 가능하고, 분리된 SO<sub>2</sub>를 고농축화 가능하므로 이를 황산이나 기타 화학제품의 원료로 사용이 가능

### ▶ 적용 대상 사업장

기존 탈황시설이 없거나 노후된 탈황시설을 교체하기 위한 SO<sub>2</sub> 배출 시설(석탄화력발전소, 황산 제조시설, 제철소, 제련소)

- 지역별 황산화물 배출 사업장 현황(2019년, TMS 관리)

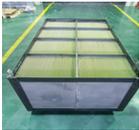
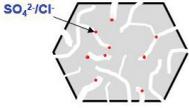
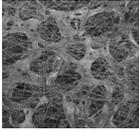
지역	사업장 수	지역	사업장 수	지역	사업장 수
서울	2	울산	19	전남	32
부산	6	경기도	61	경북	22
대구	9	강원도	8	경남	23
인천	13	충북	16	제주	7
광주	2	충남	25	세종	3
대전	3	전북	18		

### ▶ 파급효과

- 오염물질 배출 저감 및 자원화를 통한 자원순환 체계 구축
- 이산화탄소 및 NO<sub>x</sub> 포집공정과 연계하여 국내 기후변화 및 대기환경 대응 기술 확보
- 국내 사업장의 황산 수급 안정에 기여
- 발전소 배출 미세먼지의 원인물질 저감에 따른 대기질 개선

# 사업장 미세먼지 배출저감 기술

Technology for reducing fine dust emissions at workplaces

기술단계	기술명/연구기관	특징	대표 그림/사진
실증기술	Long Bag Filter System  (주)한빛파워	- 먼지(총먼지/미세먼지) 배출농도를 일반 백필터 집진기 대비 1/10 이하로 저감	
	저온 SCR 탈질촉매  한국과학기술연구원	- 220°C의 우수한 저온 탈질성능 및 내구성 (제철소 소결로 배기가스 재가열의 최소화 가능) - 비활성화된 촉매의 교체없이 초기성능에 근접하게 현장에서 재생 가능 : 운영비용 절감 및 시스템 유지	
	건식 탈황 다공성 반응제  (재)포항산업과학연구원	- 높은 표면적의 무기물로 형성된 다공성 반응제 - 반건식과 건식의 다공성 반응제를 배기가스에 주입하여 SO <sub>2</sub> 제거 - 90% 이상의 SO <sub>2</sub> 제거효율 가능	
실용화기술	초발수·초발유 필터  한국생산기술연구원	- GF/PTFE foam filter에 electrospun PTFE fiber를 방사하여 제조 - 접촉각 : 물 152.9°, CH <sub>2</sub> l <sub>2</sub> 120.9° - 공기투과도 : 11.2 cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /s @125 Pa	
원천기술	SO <sub>2</sub> 분리·회수 공정  한국과학기술연구원	- 배기가스 중 SO <sub>2</sub> 를 제거하는 동시에 분리하여 농축 - 아민을 이용한 가역적 SO <sub>2</sub> 흡수-탈거 - 흡수 시스템 및 공정 개발 : 1,000 ppm SO <sub>2</sub> 를 98% 이상 저감	