



석탄화력발전 미세먼지 저감 기술



2019년 9월

두산중공업 기술연구원

송 시 홍 상무

본 문서는 두산중공업의 정보자산으로, 승인을 받지 않은 문서의 열람, 수정, 배포, 복사를 금지합니다.

This document is the informational asset of Doosan Heavy Industries & Construction.

Thus, unauthorized access, revision, distribution and copying of this document are strictly prohibited.

CONTENTS



1

미세먼지 발생 메커니즘

2

미세먼지 배출 현황

3

두산중공업의 미세먼지 대응 기술

- 탈질 기술 (DeNOx)
- 탈황 기술 (DeDust)
- 탈진 기술 (DeSOx)

미세먼지 발생 메커니즘

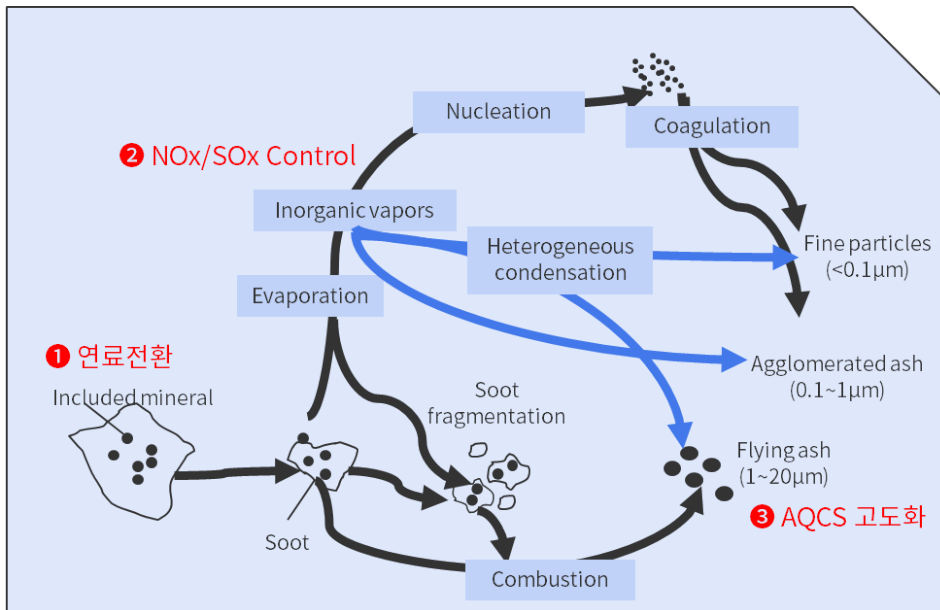
- 먼지: 대기 중 더다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질
- 총먼지(TSP, Total Suspended Particles): $50\ \mu\text{m}$ 이하
- 미세먼지(PM10): 지름이 $10\ \mu\text{m}$ 이하 먼지 → 부유먼지
- 초미세먼지(PM2.5): 지름이 $2.5\ \mu\text{m}$ 이하 먼지 → 미세먼지

미세먼지 크기 비교

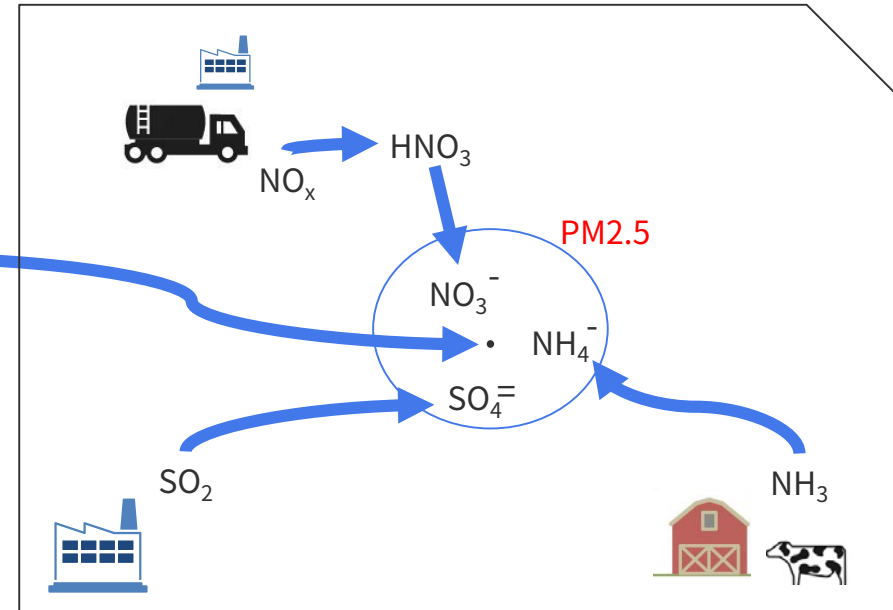
머리카락 단면
미세먼지
PM₁₀ ($10\ \mu\text{m}$)
초미세먼지
PM_{2.5} ($2.5\ \mu\text{m}$)

자료: 국립환경과학원

1차 발생



2차 발생



→ 미세먼지 1차 생성은 고체 연료(석탄)의 연소과정에 의해 생성되며, 환경부 발표 자료에 따르면 2차 미세먼지 생성은 발생한 NOx(7%), SOx(24.5%)가 전구물질(Precursor) 역할을 하여 미세먼지를 생성에 기여함.

미세먼지 배출 현황

석탄발전이 초미세먼지에 미치는 기여도는 11~14%로 추정되며, 직접 배출 외에 2차 생성을 방지하기 위해 NOx, SOx 저감 노력이 필요함

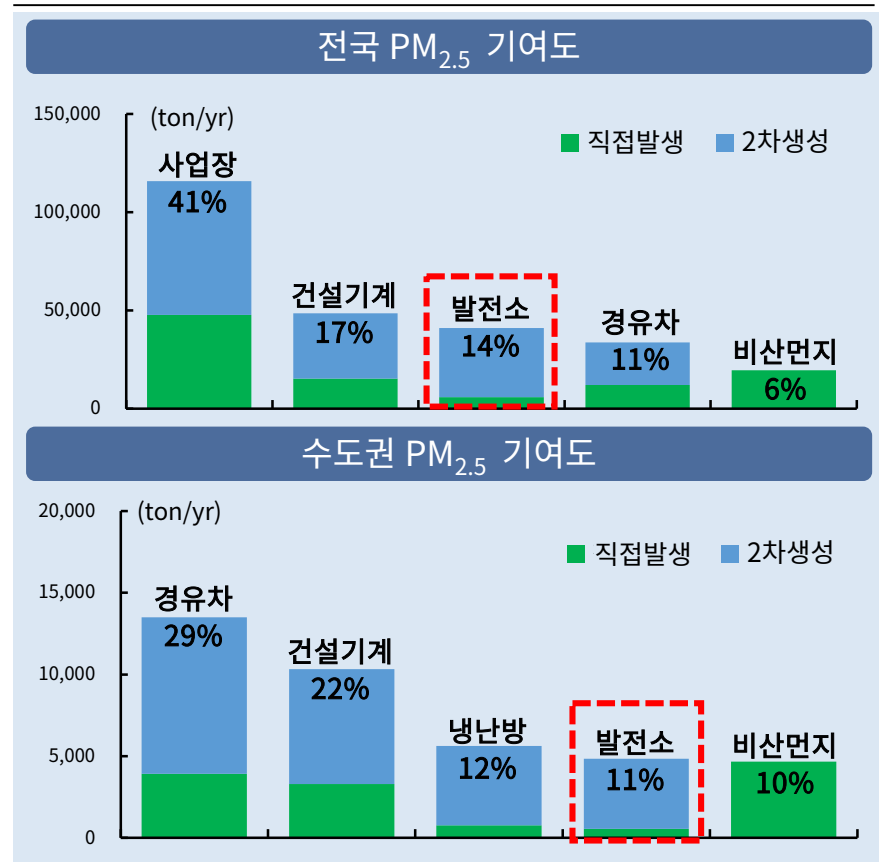
정의

- 미세먼지(PM₁₀) : 직경 10μm 이하 입자
- 초미세먼지(PM_{2.5}) : 직경 2.5μm이하 입자

발생과정

- 직접 발생
 - 자동차, 산업설비, 보일러 연소 등 입자배출
 - 응축성 가스(SO₃ 등)
- 2차 생성
 - PM_{2.5} = NOx/SOx + 수증기, 오존, 암모니아 등
 - 직접발생의 1.2배 생성 추정

초미세먼지 석탄발전 총 배출 기여도¹

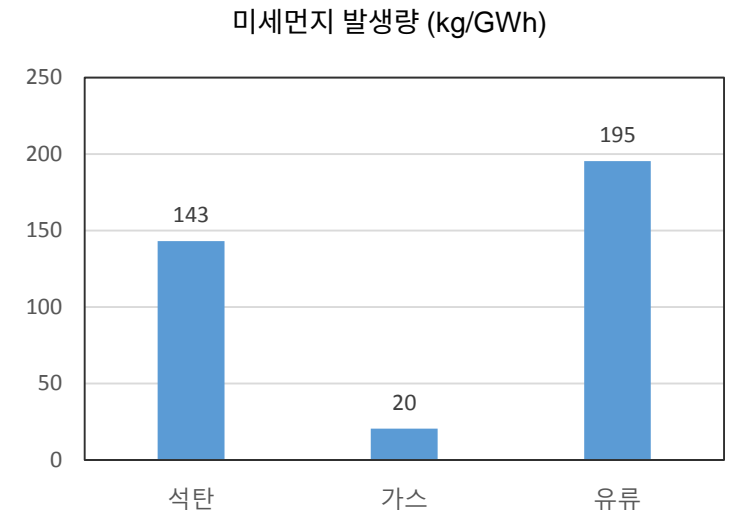
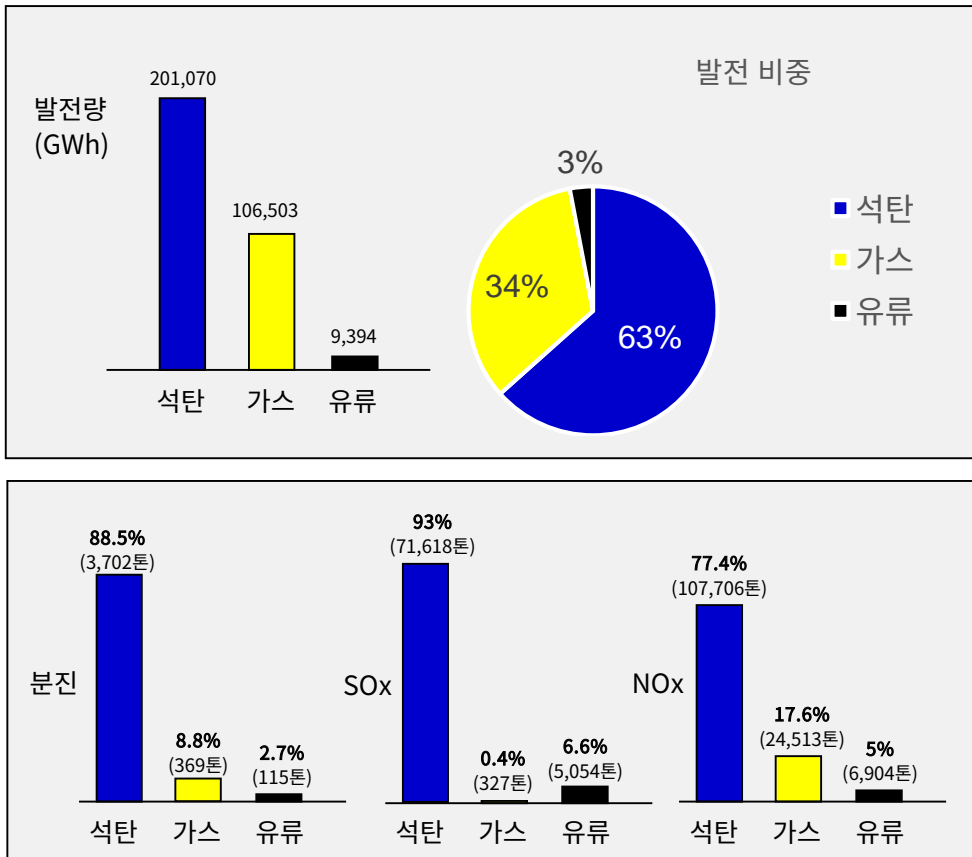


1. '13년 국가 대기오염물질 배출량, 국립환경과학원('15.12)

화력 발전원별 미세먼지 발생현황

국내 발전은 석탄화력이 63%, 가스 발전이 34% 이며 발전원별 미세먼지 발생량은 발전량이 가장 적은 유류가 가장 크고 석탄 화력 역시 가스의 7배 수준임

발전원별 미세먼지 배출량



석탄화력 발전소 미세먼지 배출 저감 기술적 issue

석탄화력발전이 국내 주 발전원이고 미세먼지 배출 저감을 위해서는 미세먼지(PM10)을 제거 할 수 있는 기술과 2차 오염물질을 제거 설비의 고효율화가 필요하다.

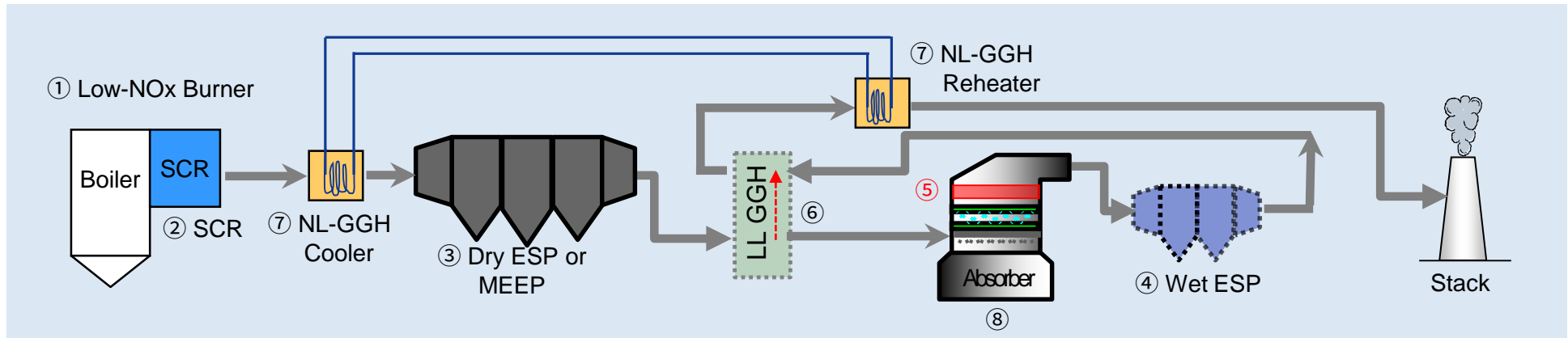
오염 물질	현 설비	기술적 이슈 사항
➤TSP ¹ /PM10 ² / PM2.5 ³	Dry EP ⁴	✓ 10um 보다 큰 먼지의 제거 효율 99.99% ✓ 추타 시 재비산으로 인해 PM10/PM2.5 제거 효율이 낮음
➤ NOx	T-firing 버너 SCR	✓ 표준화력 최신 low NOx T-firing 버너 개조 필요 ✓ 암모니아 slip ✓ 고효율화 (90 -> 95%)
➤ SOx	GGH WLFGD ⁵	✓ 누설율 4~10% => 1% 이하 또는 무누설 필요 ✓ 고효율 (95->99%) FGD 필요

1. Total Suspended Particulate Matter
2. Particulate Matter less than 10 um
3. Particulate Matter less than 2.5 um

4. Electrostatic Precipitator
5. Wet Limestone FGD

두산 중공업의 미세먼지 대응기술

석탄화력발전소 연소 후 가스 배출 단계별 가용 기술 배치도



기술명	가용 Options	출구 농도
탈질 기술 (DeNOx)	① L-Burner • 표준화력용 저 Nox 버너 개발, 대항 연소용 초저Nox 버너	• 100 ppm
	② SCR¹ • SCR 촉매 추가 설치, Slip 방지를 위한 AAIG 개발	• 10 ppm
탈진 기술 (DeDust)	③ ESP/MEEP² • 집진기 성능개선 : 집진 면적 증가 or 이동형 집진판 설치	• 10 ~ 4 mg/Nm ³
	④ Wet ESP • 탈황설비 후단에 미세먼지 습식 집진기 설치	• 3 mg/Nm ³
	⑤ EME³ • 탈황설비 후단에 미세먼지 제거용 EME	• 1 mg/Nm ³
탈황 기술 (DeSOx)	⑥ LL-GGH⁴ • 가스-가스 열교환기 가스 누출율 개선	• 1%이하 누설
	⑦ NL-GGH⁵ • 기밀형 가스-가스 열교환기로 설비 개선	• 무 누설
	⑧ Absorber • 습식탈황설비 성능개선 : Spray 노즐 개선, Tray 설치	• 10 ppm

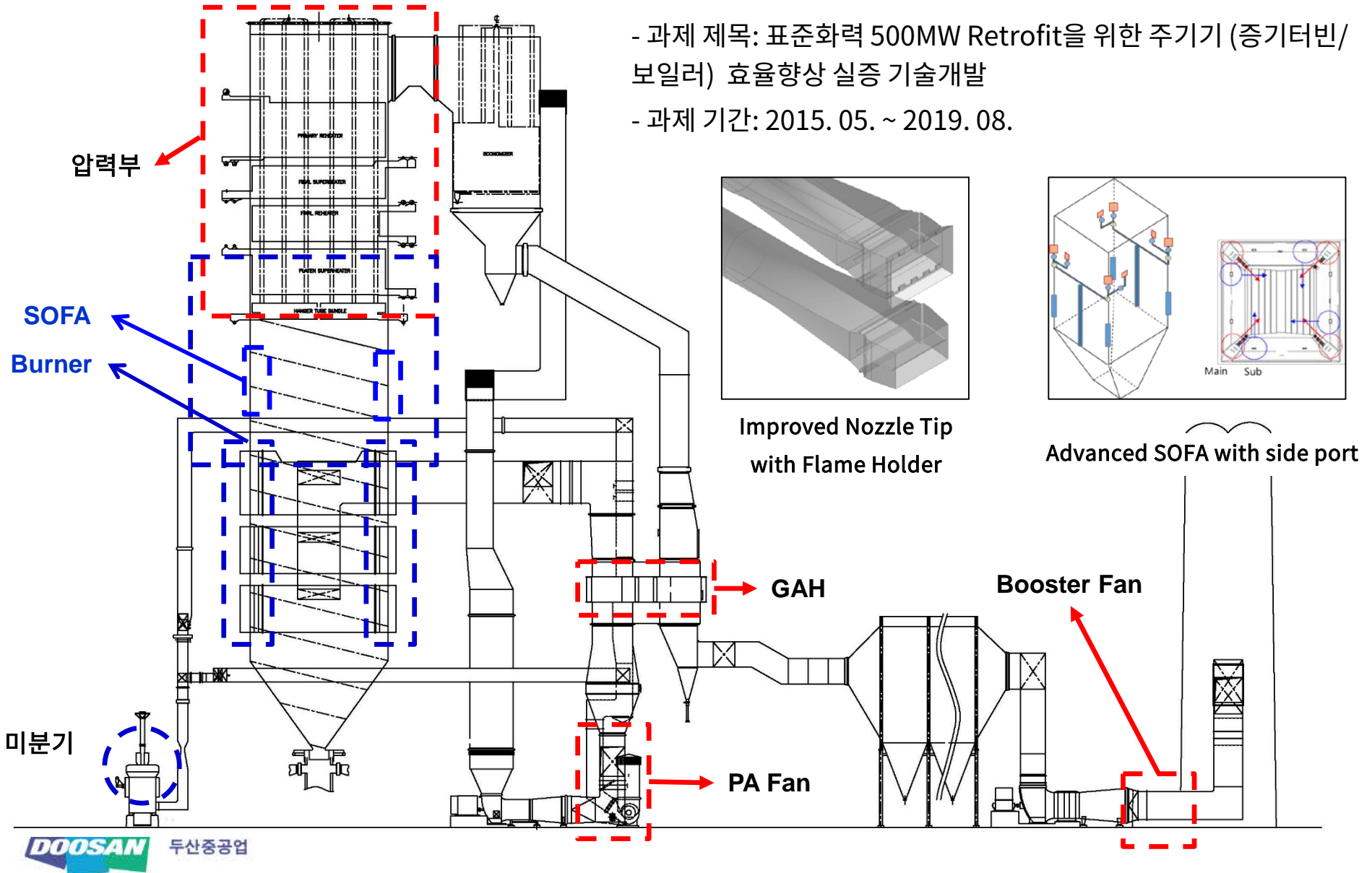
1. Selective Catalytic Reduction
2. Electrostatics precipitator / Moving Electrode type Electrostatic Precipitator
3. Electrostatic Mist Eliminator
4. Low Leakage Gas-Gas Heater
5. Non Leakage Gas-Gas Heater

두산 중공업 탈질 기술 Low-NOx 버너 SCR - AAIG

T-firing Low NOx 연소 시스템 기술: 표준 화력 발전소 (1/2)

탈질 기술
(DeNOx)

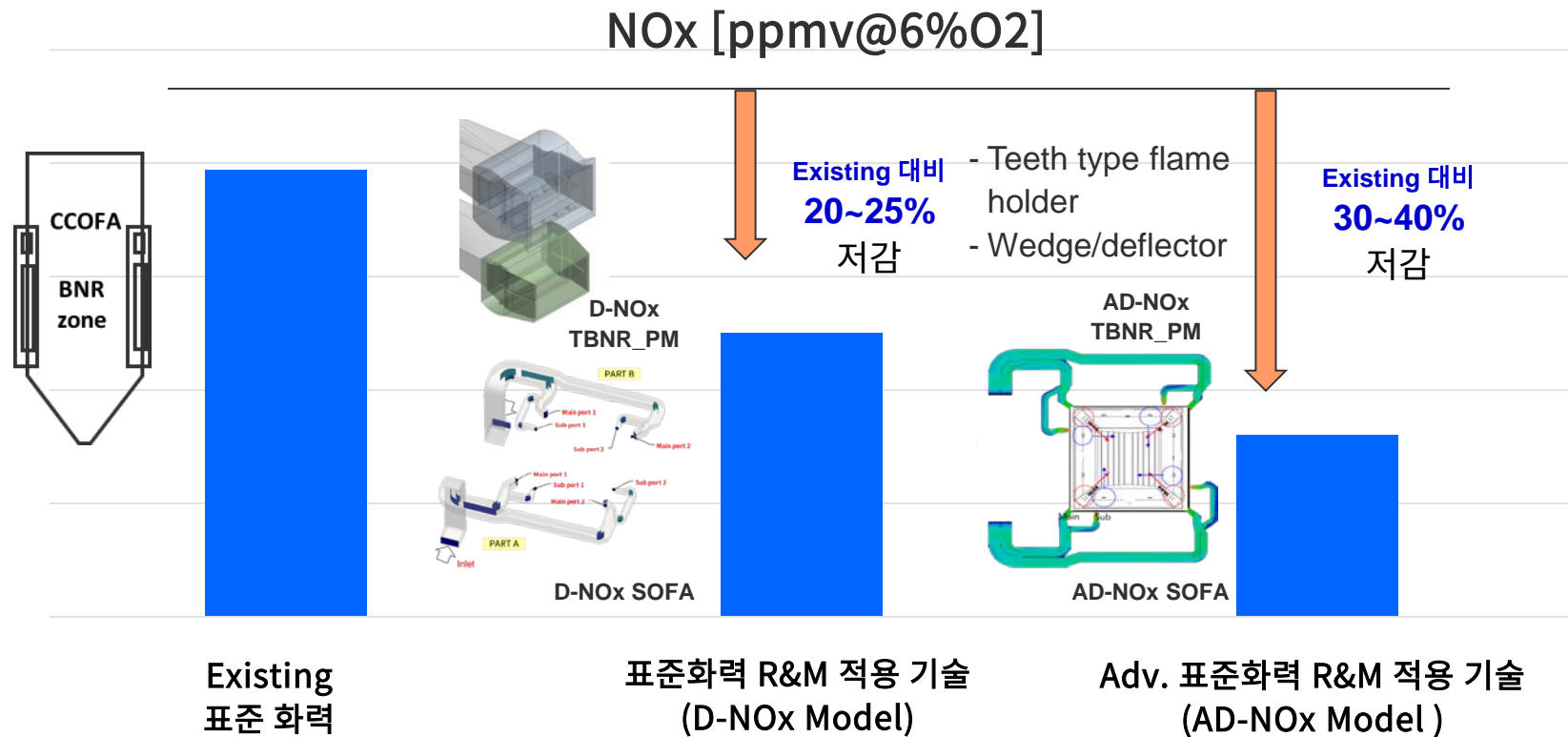
- 과제 제목: 표준화력 500MW Retrofit을 위한 주기기 (증기터빈/보일러) 효율향상 실증 기술개발
- 과제 기간: 2015. 05. ~ 2019. 08.



T-firing Low NOx 연소 시스템 기술: 표준 화력 발전소 (2/2)

탈질 기술
(DeNOx)

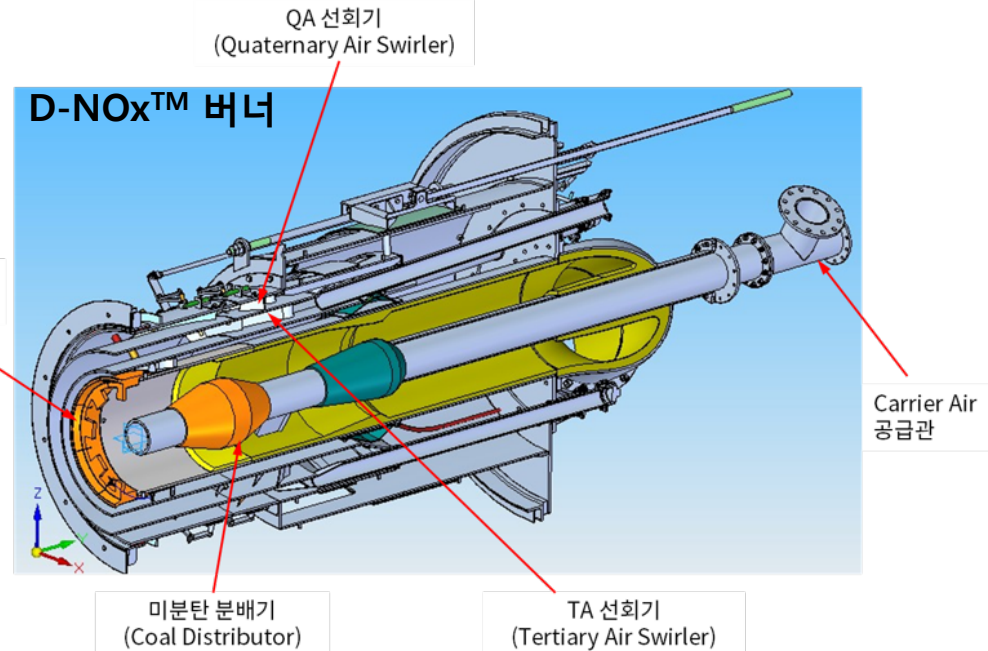
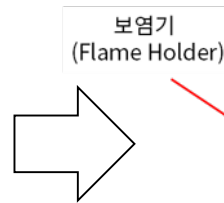
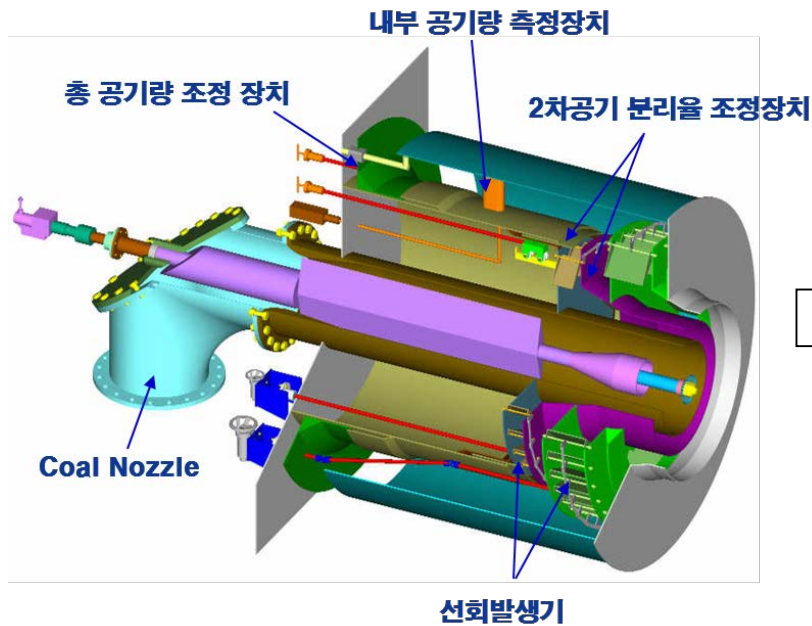
시장의 환경과 정부의 정책에 따른 반영으로 표준 화력 대상으로 저 NOx 연소 시스템을 개발하였고 표준 화력 R&M 사업에 NOx 저감을 위하여 저 NOx 연소 Solution (D-NOx, AD-NOx Models) 제공 가능함.



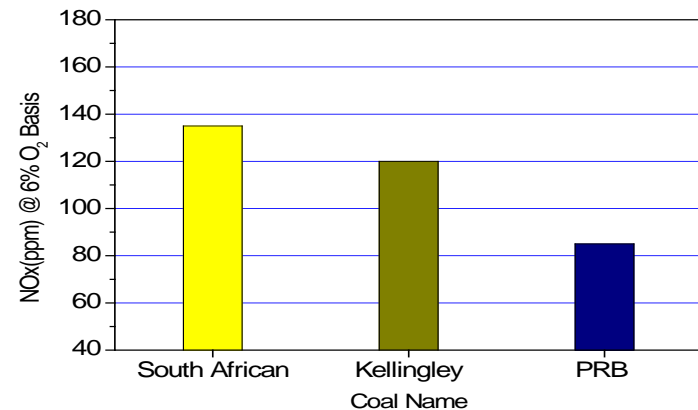
Wall firing - 미분탄 저 NOx 버너 모델

탈질 기술
(DeNOx)

두산 밥콕과 협력하여 국내 최고 사양의 저 Nox 미분탄 버너 독립모델(D-NOx™ 버너)을 개발 완료하고 영흥 5,6 호기, 신보령 1,2호기에 적용함



저 NOx 미분탄 버너 독립모델 (2007)

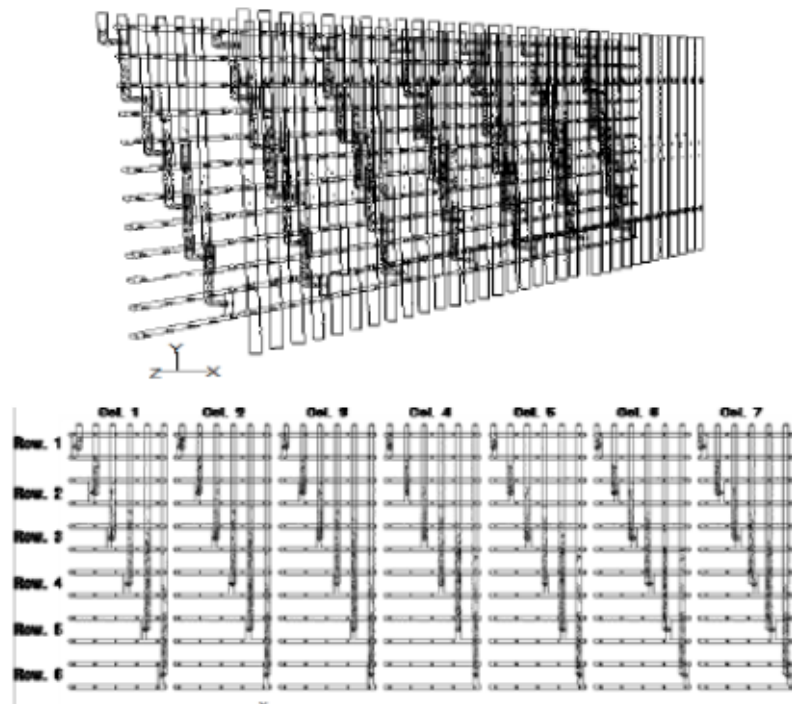


SCR- AAIG 개발

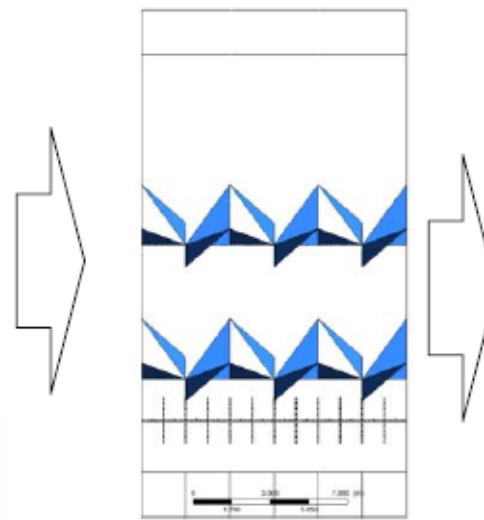
탈질 기술
(DeNOx)

NOx와 Ammonia의 균등 분배 및 혼합을 위한 AAIG (Advanced Ammonia Injection Grid) 기술 개발을 통해 Ammonia slip 최소화 및 95%이상 탈질 성능을 가지는 SCR 을 개발함

Old AIG(Ammonia Injection Grid) system

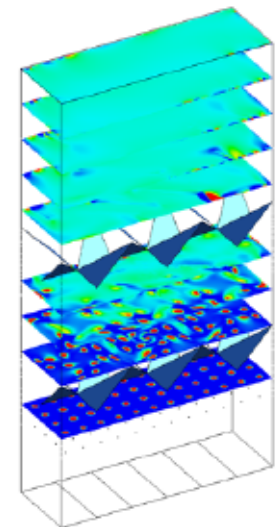
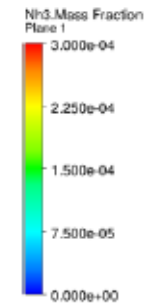


420개 노즐



[Geometry nozzle & mixer]

48개 노즐

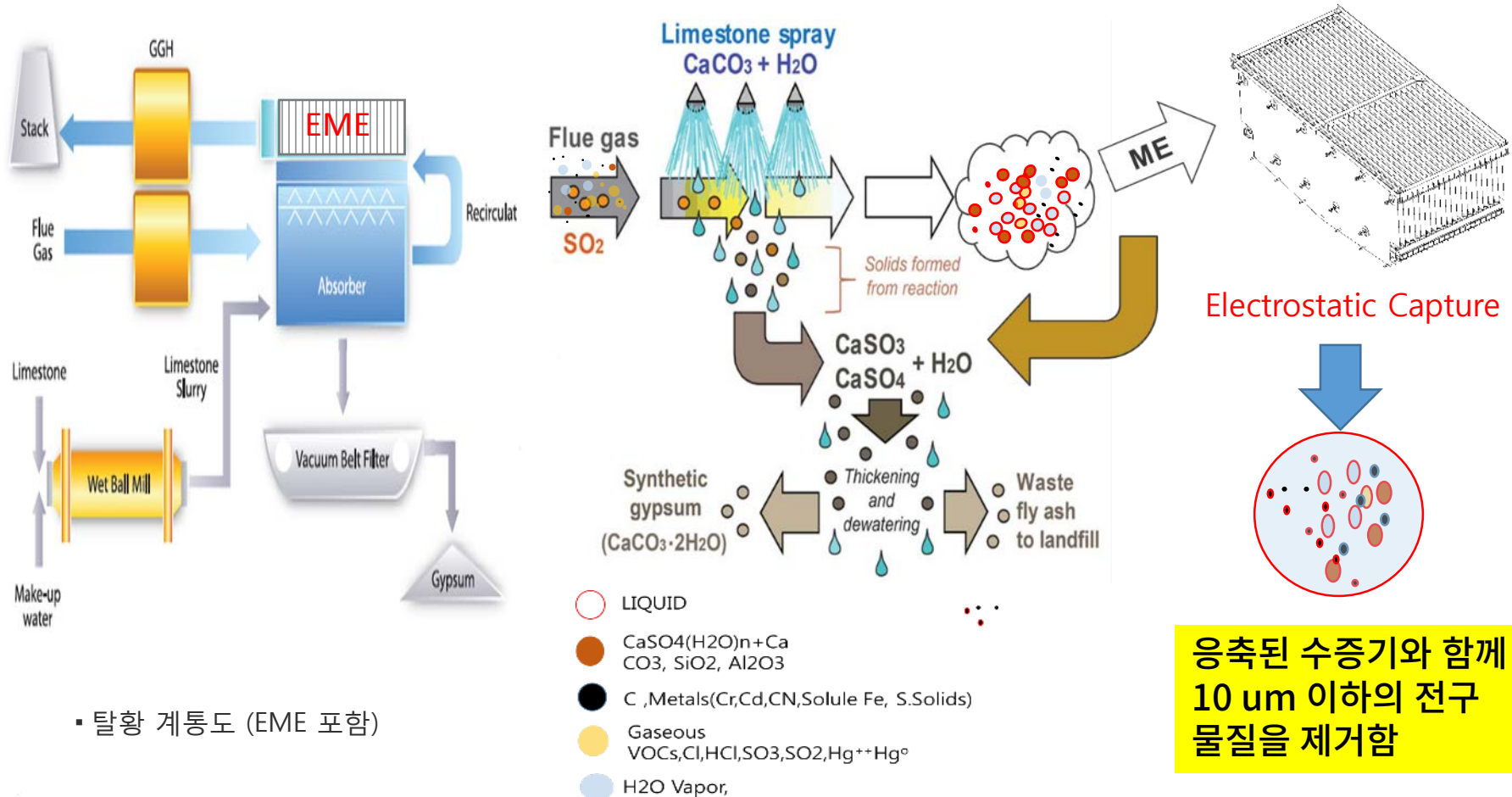


[NH3 distribution]

두산 중공업 탈진(DeDust) 기술 EME-PM10/PM2.5, 전구 물질(SO3)

EME (Electrostatic Mist Eliminator) 소개

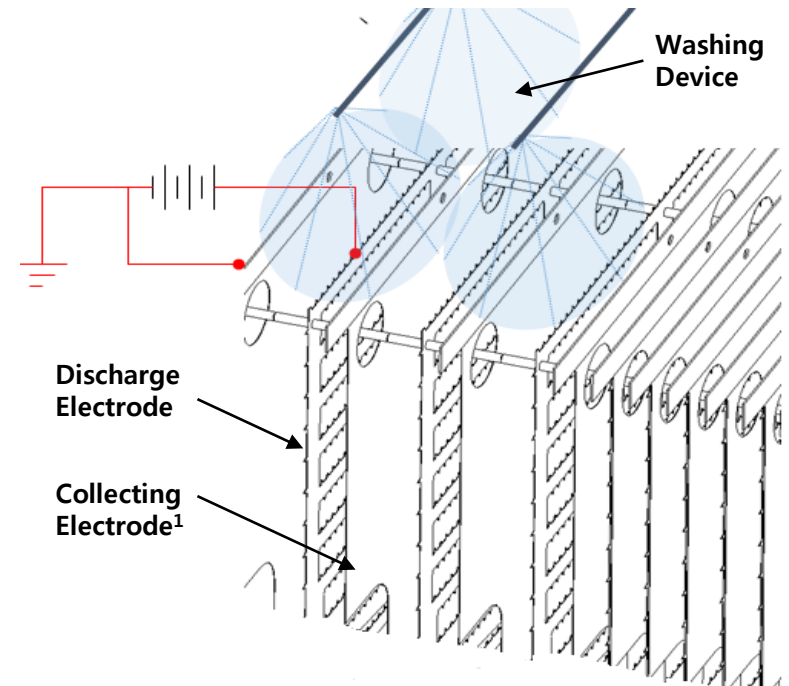
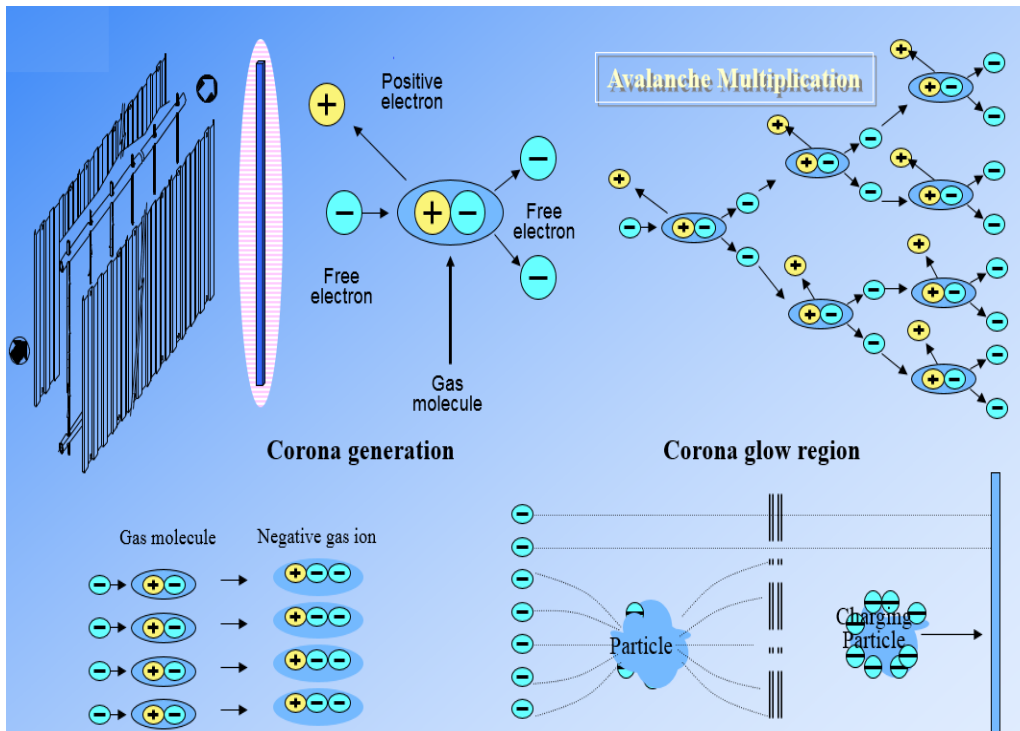
EME는 기존 ME에 Wet ESP 기술을 결합시킨 설비로서 ME가 제거 할 수 없는 20 μm 이하의 미세 먼지 및 응축수를 낮은 차압으로 제거 가능한 높이 10m 이내의 compact한 설비임



▪ 탈황 계통도 (EME 포함)

EME(Electrostatic Mist Eliminator) 운전 원리

Wet ESP와 동일하게 코로나 방전 및 정전기력을 이용하여 응축수 및 미세 먼지를 포집하는 원리이며 Conventional Wet ESP 대비 집진판 길이 및 Pitch가 상대적으로 낮아 고 집진효율 및 경량화 구현

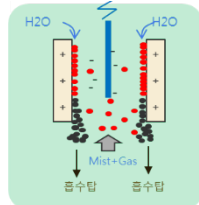
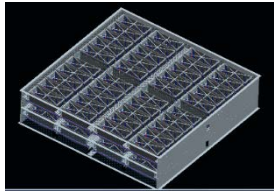


두산 Electrostatic Mist Eliminator

EME(Electrostatic Mist Eliminator)

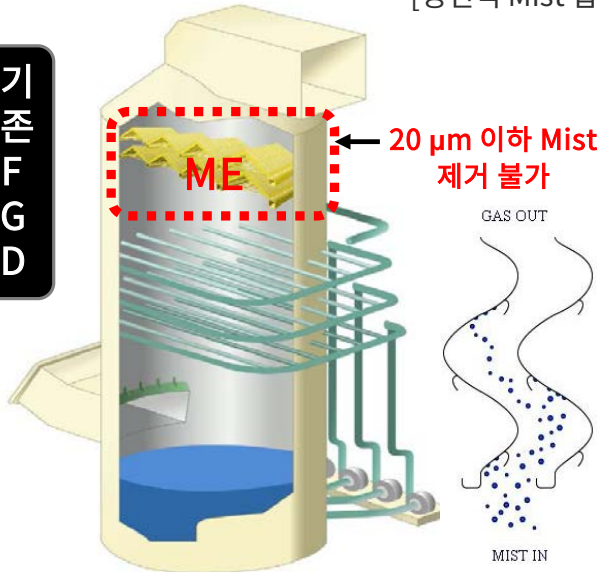
미세먼지(PM10/PM2.5) 및 흡수탑 배출 MIST 저감 기술인 고효율 EME 개발을 국책과제를 통해 성공적으로 개발 완료함

EME



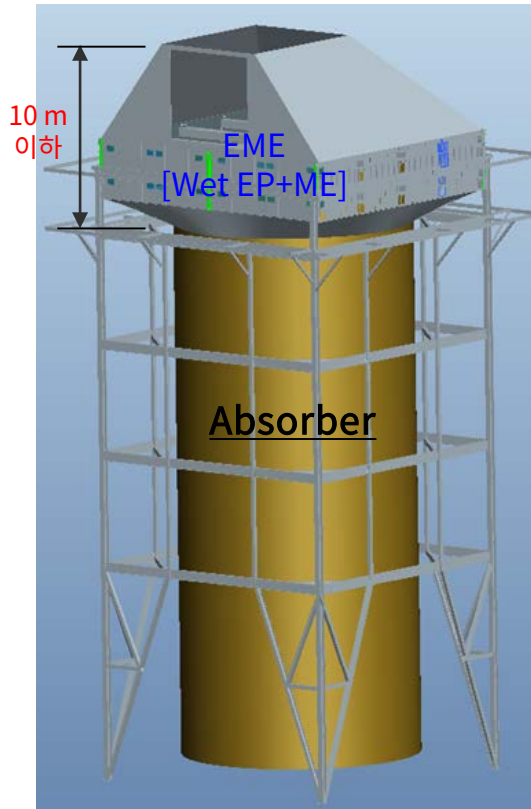
[정전식 Mist 집진]

기존 FGD



[Absorber Mist Eliminator] [관성식 Mist 집진]

Electrostatic Mist Eliminator



[흡수탑 상부 설치 EME]

EME 개발 결과

- 연돌 백연 현상 50% 이상 저감
 - 내부식성, 고하전 방전극 및 고효율 집진판 개발로 백연 (Mist+휘발성 유기 화합물) 저감
 - 부분 Washing으로 Mist 배출 최소화
- 미세먼지 90% 이상 제거
 - PM10/PM 2.5 90% 이상 제거
 - 집진판 간격 최소화하여 미세먼지 집진 성능 향상
 - 기존 Wet ESP 대비 스케일 형성 방지¹
- 설치 기간 단축 및 유지보수 용이
 - 고객 단납기(3개월) 요구 준수 가능
 - 소형 모듈화² 개발로 설비/유지보수 용이
 - 평판형 방전판/집진판 적용으로 세정불량 단점 극복

1. 집진판 길이 : 10M → 1.5M 감소로 세정 효과가 우수하여 하부 Scale 형성 방지

2. 소형 모듈화(Size) : 2.8L x 1.5W x 1.1H



Doosan Heavy Industries & Construction

Wet ESP vs EME 비교

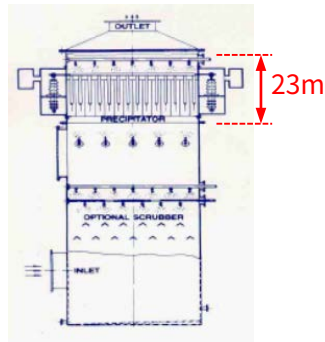
두산 중공업은 국내 최초로 compact, 고효율 EME를 개발하여 국산화에 성공 하였고 해외 선진사 대비 차별화된 기술임을 입증하였음

Wet ESP (GE)

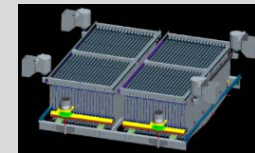
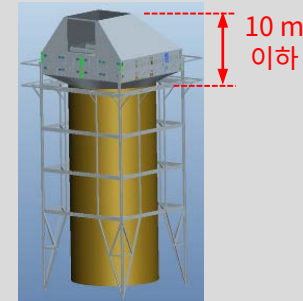
vs.

EME (Doosan)

구조 / 크기



집진판/방전극
: Spike or wire형



집진판/방전극
: 평판형

압력손실

• 40 ~ 45 mmH₂O

• 20 ~ 22 mmH₂O (50% ↓)

소비동력

• 500 ~ 530 KW

• 300 KW (40% ↓)

물량

• 150 ~ 180 ton

• 80 ~ 100 ton (45% ↓)

설치면적

• 571 m²

• 200 m² (65% ↓)

설치기간

• 6개월

• 3개월 (50% ↓)

두산 중공업 탈황(DeSOx) 기술

FGD

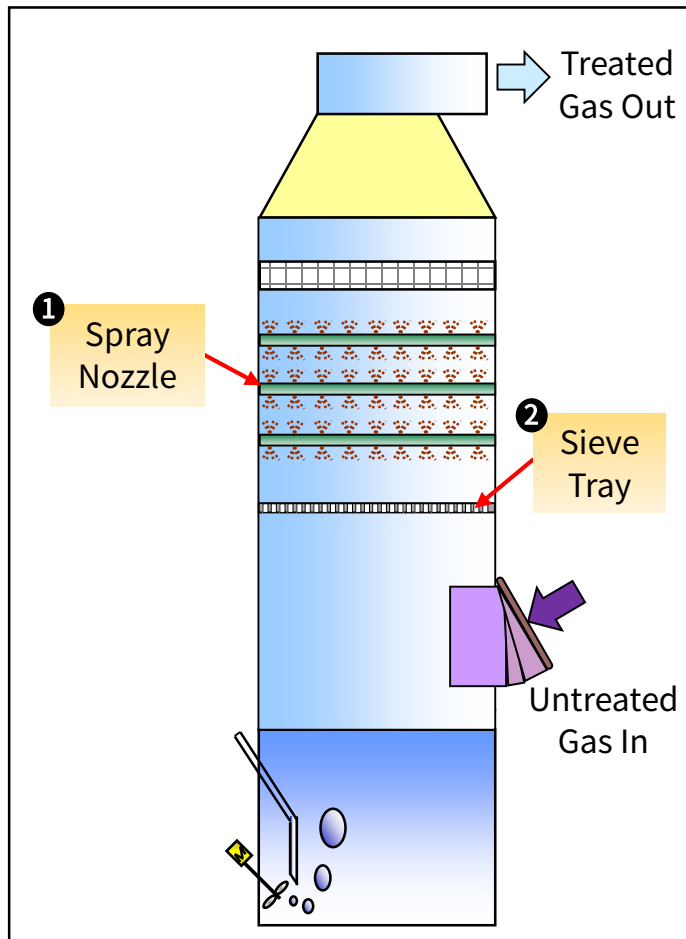
NL GGH

황산화물 (1/2) – FGD 기술

탈황 기술
(DeSOx)

저압 Spray Nozzle 및 Sieve Tray(다공판) 개발을 통한 FGD 소비동력은 저감 시키고 탈황의 효율을 98% 이상 확보 할 수 있는 표준/신표준 화력 탈황 retrofit에 적합한 탈황 기술 개발

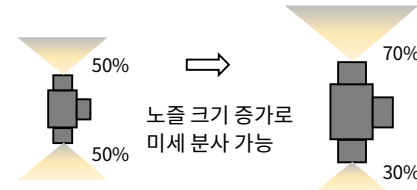
[Absorber Typical Section View]



1 Spray Nozzle

주요 기술 개발 내용

- Pilot PJT를 이용한 저압 Nozzle 개발 및 성능 검증



최종 Output

- 저압 Spray Nozzle 개발
 - 입구압력 : 9.8 → 7.5psi
 - 소비동력 저감 : 216kW/unit

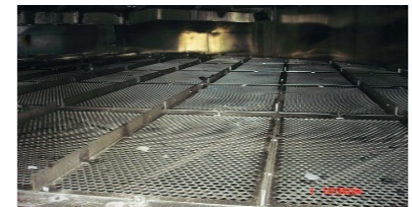


2 Sieve Tray

- 경쟁사 Tray Bench Marking
- Sieve Tray 설치에 따른 효율 개선 및 성능 검증



• Sieve Tray 개발



표준화력 FGD R&M PJT 대응 Solution 확보
- 단기간(3개월) 교체 가능

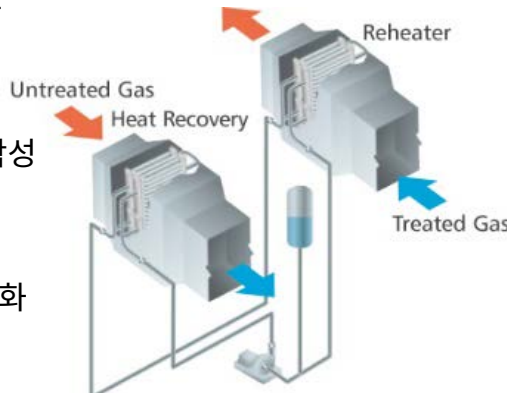
황 산화물 (2/2)- 탈황 기술 (Non-Leakage GGH 기술개발)

탈황 기술
(DeSOx)

국내 화력발전 배출기준¹ 강화에 따른 고효율 탈황설비용 NL GGH 기술 개발하였고 신서천 및 삼척 화력 FGD에 적용 함으로서 국내 최초로 국산화를 완료함

기술 개발 내용

- 핀-튜브 형상 및 튜브 배치기술 개발
 - 튜브배열 및 형상 결정
 - 열교환기 전열성능 최적화
- NL GGH 모델 설계
 - 기본/상세 설계 및 도면 작성
- 설계 표준화
 - 핀-튜브 설계 및 제작 표준화
 - 설계 계산서 표준화
- 설계 Tool Upgrade
 - 전열면적 및 핀-튜브 배치 최적화



구 분

기술 개발 성과

A 기술 차별성

- Cooler Tube 침식 방지 설계 적용
 - Tube 사양 및 배열 최적화 설계
 - CFD 해석 기반의 마모 보강재 위치 선정
- Reheater 내부식용 코팅 적용(설비 안정성 향상)

	코팅재질	시공방식	내구성
DHI	Phenolic	전면도장	4년
MHPS/IHI	Enamel	전면도장 (일부불가) ²	2년

B 사업적 성과

- 설계 최적화를 통한 물량 절감 및 가격경쟁력 확보
 - 영흥 3~5 NL GGH Cooler / Reheater Tube Bundle 교체공사
 - 신서천 FGD NL GGH 제작 납품(국산화 초도품)
 - 삼척화력 FGD NL GGH 공급 예정
- NL GGH 독자 설계 역량 확보
 - Layout 최적화 및 압력손실 저감

1. 환경배출기준(충남조례기준) : SOx : 15ppm, 먼지 : 3~5mg/Sm³

2. U-Bend 부위 및 Fin Edge 전면도장 불가 (도장 실시 후 Enamel Coating 부위 Crack 발생됨)

신기술 적용 시 석탄화력 발전 미세먼지 저감 효과

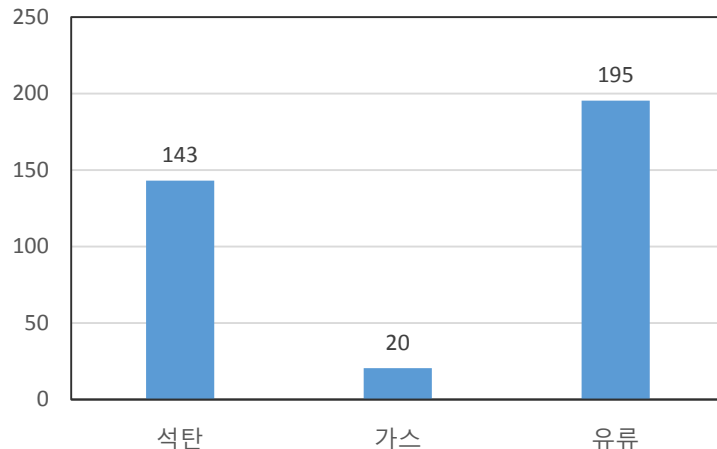
두산 중공업의 신 기술을 적용할 경우 발전양당 미세먼지 발생량은 LNG와 비슷한 수준으로 낮출 수 있음

개발 기술 적용 시

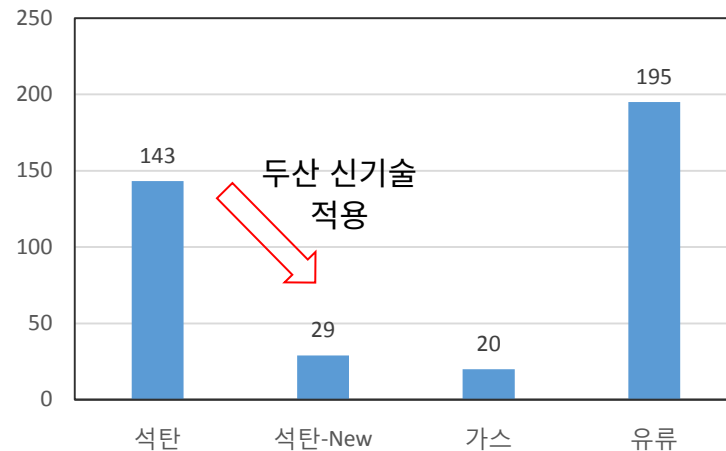
(미세먼지 기여도 SOx: 24.5%, NOx: 7%)

항목	현 수준	최고기술 적용	저감율	미세먼지 저감
Dust (mg/Nm3)	7	0.5	93%	95%
SOx (ppm)	30	5	93%	22.4%
NOx (ppm)	15	5	67%	4.7%

발전량 당 미세먼지 발생량 (kg/GWh)



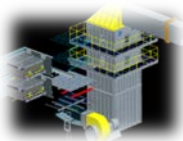
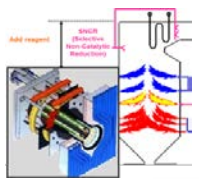
발전량 당 미세먼지 발생량 (kg/GWh)



중공업의 과학적 대처 방안

Clean Energy로 확대

**석탄 화력발전
기술 고도화**


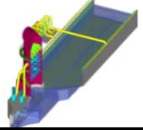
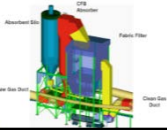



친환경 발전 시스템

Appendix

두산 중공업 환경 설비

두산 중공업 환경 설비 list 및 공급 현황

		Present ~2019		Future(2019~)
Fuel		OEM	Under Developing	Under Planning
SOx	Wet Limestone FGD	removal eff. upto > 99%, Reference 270 units 	Optimized Doosan WLFGD – compact, low ΔP	Doosan Advanced WLFGD – low cost, compact design
	Sea Water FGD	removal eff. > 96%, 6 units 	Optimized Doosan SWFGD – compact aeration basin, low ΔP	Doosan Advanced SWFGD – Innovative process
	Dry CFB FGD	removal eff. > 96%, 75 units 		Optimized dry CFB FGD – compact, low cost
NOx	SCR	removal eff. > 96% < 10 ppm 65 units.		Catalyst for Hg and N ₂ , advanced AIG system
PM	ESP	Dust contents Below 10mg/Nm ³ Dry ESP type Reference 1,323 units		EME (Electrostatic Mist Eliminator) for PM _{2.5} , SO ₃ , and Hg
	Fabric Filter	High and low pressure pulse jet fabric filter 256 units 		Hybrid FF (Dry ESP+ FF) for PM _{2.5} and Hg
CO ₂	Post carbon capture	5 MWe plant		Commercialization from 2020
	Oxyfuel	100 MWe Design concept (2012) and Demonstration plant (2020)		