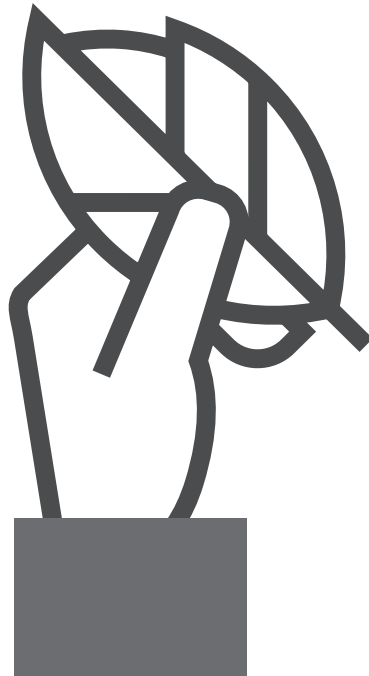


환경정책 및 환경기술 공유를 위한

환경기술인 직무 교육



2022년 5월 18일(수) 15:00~17:30

경기테크노파크 기술고도화동(3동) 1층 다목적실



안산시흥환경기술인협회



안산환경재단



충청남도
안산녹색환경지원센터
Ansan Green Environment Center



for nature & human
시흥녹색환경지원센터
Siheung Green Environment Center

CONTENTS

{ 목 차 }

1강 환경오염배출시설 관리방안

이 민 재 | 전 경기도 특별사법경찰단 수사팀장 07

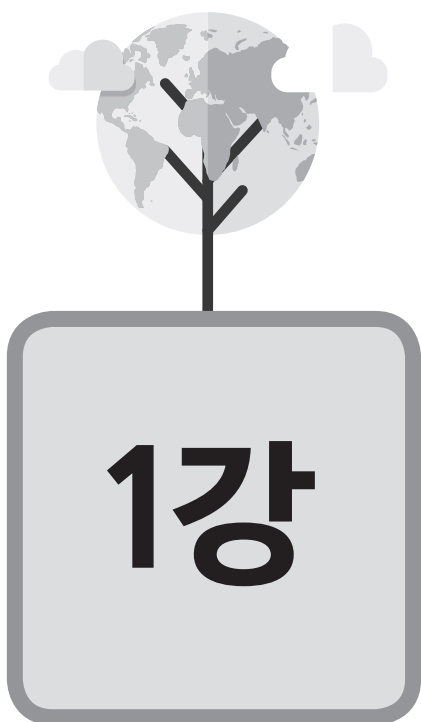
2강 대기오염물질 배출공정의 질산화물&황산화물 제어기술

오 제 범 | 수도권서부지역본부 환경관리처 대기관리3부 부장 19

세부 교육 일정

시간		소요 시간	내 용	강사 및 세부 내역
부터	까지			
~	15:00		접수 및 안내	회원사
15:00	15:50	50	환경오염배출시설 관리방안	전 경기도 특별사법경찰단 이민재 수사팀장
15:50	16:00	10	휴식시간	다함께
16:00	16:50	50	대기오염물질 배출공정의 질산화물&황산화물 제어기술	수도권서부지역본부 환경관리처 대기관리3부 오제범 부장
16:50	17:00	10	휴식시간	다함께
17:00	17:30	30	'22년 대기개선기금 지원사업'-리플렛	시흥녹색환경지원센터 정구회 연구부장

*상기 교육안은 강사의 개인사정에 따라 변경 될 수 있습니다.



환경오염배출시설 관리방안

이 민 재 | 전 경기도 특별사법경찰단 수사팀장

환경오염배출시설 관리방안

이민재(에코그린 행정사)



목 차

- I. 점검유형
- II. 무혐의 사례
- III. 각종 의견서작성
- IV. 향후 관리방안



점검유형



유해화학물질 취급기준위반

- 화학업종이 밀집된 산업단지에도 유독물 취급업체의 관리소홀
- 상가 등 사무실을 임대하여 유해화학물질(알선)판매업 신고를 한후 차고지, 지하실에서 또는 창고를 임대하여, 소분하는 사례
- 유해화학물질 방재장비 부적정 보관

유해화학물질

B사업장은 유독물을 사용하는 사업장으로서 유독물을 보관·저장하는 경우 화학적 반응으로 인한 유독물질의 누출 등 안전사고를 예방하기 위하여 종류가 다른 유독물을 혼합하여 보관하여서는 아니됨에도 **반응성이 매우 뛰어난 황산, 가성소다 등을 혼합보관**



A사업장은 유독물을 원료로 사용하여 유독물영업 등록 대상임에도 무등록상태에서 유독물을 취급·사용
[유해화학물질관리법 제57조, 5년이하의 징역 또는 5천만원 이하의 벌금]



특정유해물질 폐수 무단방류

- 폐수무단방류

폐수처리 비용 6천만원을 아끼기

위해 1급 발암물질(6가크롬화합물)이 함유된 폐수 400여톤을 하수
구로 무단방류

- 무등록폐수처리업

시안화합물등 특정수질유해물질이 포함된 악성폐수 2만여 톤을 불법
처리

대기오염방지시설 비정상가동

주요 단속내용

- 운영비용을 절감하기 위해 고의적으로 내부에 여과포, 활성탄 등
여과재를 넣지 않고 시설가동
- 고의로 세정수 분사 여부를 확인할 수 있는 아크릴 창을 어둡게
하여 단속시 확인하지 못하게 위장
일부업주는 허가대상인지 알면서도 방지시설 운영비용 발생 및
단속대상에 포함될 것을 우려 고의로 허가(신고)를 받지 않음

방지시설 비정상가동

A 업체는 사업장에서 도장시 발생된 대기오염물질에 대하여 1차 흡수에의한시설 세정수 미분사, 2차 여과집진시설의 여과포 미설치, 3차 흡착에의한시설의 활성탄 일부만 설치, 방지시설을 비정상 가동



방지시설 비정상가동

B업체는 자동차매트 생산업체로 대기배출시설에서 나오는 입자상(먼지)의 오염물질을 방지시설(흡착에 의한 시설에 유입하여 정상적으로 처리하여야 하나, 배출시설에서 나오는 대기오염물질에 오염도를 낮추기 위하여 공기를 섞어 배출



위반사례별 처분사항

□ 수질분야

무허가, 변경허가 미이행(7년 이하의 징역 또는 7천만원 이하 벌금)

■ **무단방류, 희석, 비정상가동**

(5년 이하의 징역 또는 3천만원 이하 벌금)

■ **미신고**(5년이하의 징역 또는 천만원 이하 벌금)

■ **공공수역에 특정수질유해물질 유출**

(3년이하의 징역 또는 3천만원 이하 벌금)

(1년이하의 징역 또는 1천만원이하의 벌금 : 업무상과실)

11

□ 대기분야

■ **무허가,변경허가 미이행**(7년이하의 징역 또는1억원이하의 벌금)

■ **방지시설 미설치/미가동(공기희석,비정상가동)**

(7년이하의 징역 또는 1억원이하 벌금)

■ **미신고**(5년이하의 징역 또는 5천만원 이하 벌금)

■ **가지 배출관 설치**(5년이하의 징역 또는 5천만원 이하 벌금)

12

II.

무혐의사례

폐수무단방류 (적발내용)

- 하천 순찰시 염색업체에서 사고로 폐수가 하천으로 무단방류 되는 것을 발견 단속하였으나 고의성을 입증못함
- 무허가 폐기물처리시설 설치 공소시효 적용(공소권없음)

● 검찰에서 무혐의로 처분되어도 행정 처분 가능

?

III.

각종 의견서 작성

실체적 진실 밝힌다, 있는 그대로

- 고의성이 있는지 과실인지 명확히 한다
- 관련 근거자료를 제출한다 약품구입내역, 관련일지, 회의록 등
- 업무 전결권을 명확히 한다

(법 인)

- 구체적으로 적발 당시 현장 설명
- 현장 조치사항
- 향후 조치계획

(행정기관)

- 업체 기본 현황파악
- 환경관리실태 조사
- 현장조치사항 (개선전후 사진, 계산서등)
- 향후조치계획 등

조업정지에 대한 과징금신청

□ 신청사유

○ 대외적인 신용 하락 등 막중한 피해 발생

- 매출손실 금액
- 수출 등 납품관련 납기지연에 따른 손해배상, 신용하락 등
- 대출상환 문제 등

○ 임직원 고용불안 종사자 생활고

- 직원 이탈, 조업정지로 인한 급여 감소 등

□ 제출서류

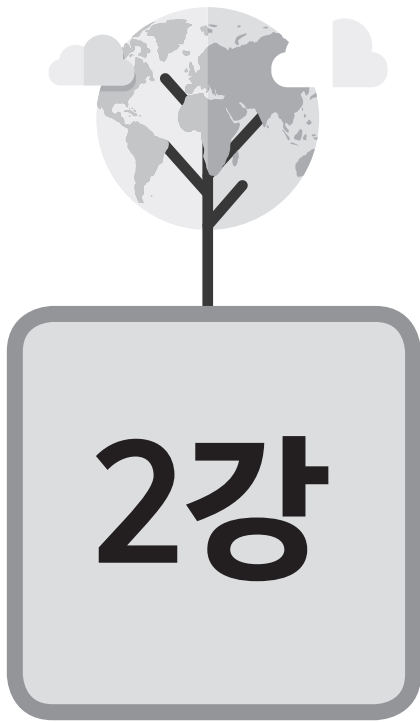
- 의견서
- 수출입, 임가공, 수주 계약 관련서류,
- 대출 현황 및 표준 재무재표
- 직원명부
- 적발 직전 3개년도 연 매출액
- 그 외 회사의 경영상, 대외 신용상 어려움을 나타 낼 수 있는 서류 등
- 과징금산출 : 3개년도 연 매출액 평균 1/3600
- 과징금 = 조업정지일수 * 1일당 과징금

IV. 향후관리방안

- 관련법규를 늘 연찬하고 의문사항은 유관기관 질의회신
- 폐기물 처리의 경우 폐기물 처리업체 현장방문
- 직원에 대한 환경 ,안전 교육 정기적 실시 및 서류비치
- 노후된 배관 지속적 정비

감사합니다

=====
이민재
에코그린행정사
email : ecoandbio@naver.com
☎ : 010-9359~4724
=====



대기오염물질 배출공정의 질산화물&황산화물 제어기술

오 제 범 | 수도권서부지역본부 환경관리처 대기관리3부 부장



대기오염물질 배출공정의 질산화물 & 황산화물 제어기술

- 안산시흥 환경기술인협회 환경기술인 직무교육 -

2022. 05.18.



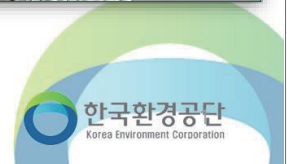
한국환경공단 수도권권 서부 환경본부



C O N T E N T

01	대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술	
02	대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술	

12월 24일 12시 ~ 1월 30일 12시(1시간 최고값)



C O N T E N T

01

대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술





Sensor value
3
2
1
0
0 100 200 300
12월 24일 12시 ~ 1월 30일 12시(1시간 최고값)





한국환경공단
Korea Environment Corporation

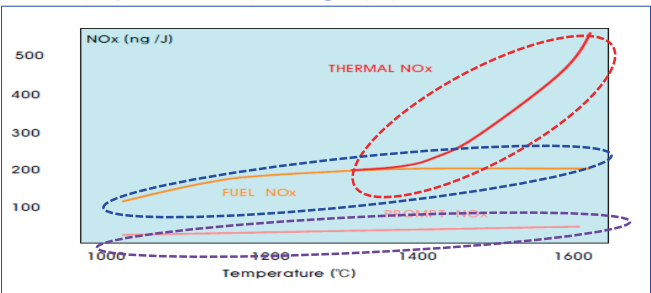
-2-

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -


1. 질소산화물의 정의

- ❖ 질소산화물(Nox)이란 ?
 - NO, NO₂, NO₃, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ 등
 - Nox : 통상 NO(95%이상), NO₂
- ❖ 질소산화물의 분류
 - 1) Thermal NOx : 공기 중의 산소를 연소용공기로 사용하는 모든 공정에서 발생 ($N_2 + O_2 \Rightarrow 2NO$)
 - 1,000℃ 이상조건, 석탄을 연료로 사용하는 시멘트공정은 최대 1,400ppm(1,400℃에서) 수준으로 발생
 - 2) Prompt NOx : 연료 중의 탄화수소(HC)가 N, CN, HCN 전환 ⇒ Nox 발생
 - 낮은 화염온도(연소초기), 저 연비, 빠른 연소조건에서 주로 발생 (발생량이 극히 미미하여 무시해도 무방)
 - 3) Fuel Nox : 연료에 포함된 질소(N)가 산소와 반응(산화)하여 생성 (연료 중 질소는 결합력이 낮아 용이한 탈기)
 - 연소 조건에 따라 다르나 연료에 포함된 질소성분의 10~60%가 NOx로 전환 (발생비율 : Fuel Nox << Thermal Nox)
- ❖ 온도에 따른 질소산화물 발생 기작




NOx (ng / J)
500
400
300
200
100
1000 1200 1400 1600
Temperature (°C)
THERMAL NOx
FUEL NOx

노란색 연기발생 (800ppm~)



- 연소가스 중 Nox는 대부분 NO로 배출 (95% ~)
- $NO + O_2 \Rightarrow NO_2$ 로 전환(빛의 산란 ⇒ 노란색)
- $NO + VOCs \Rightarrow O_3$ (유해 오존)

-3-



한국환경공단
Korea Environment Corporation

II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술 - 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

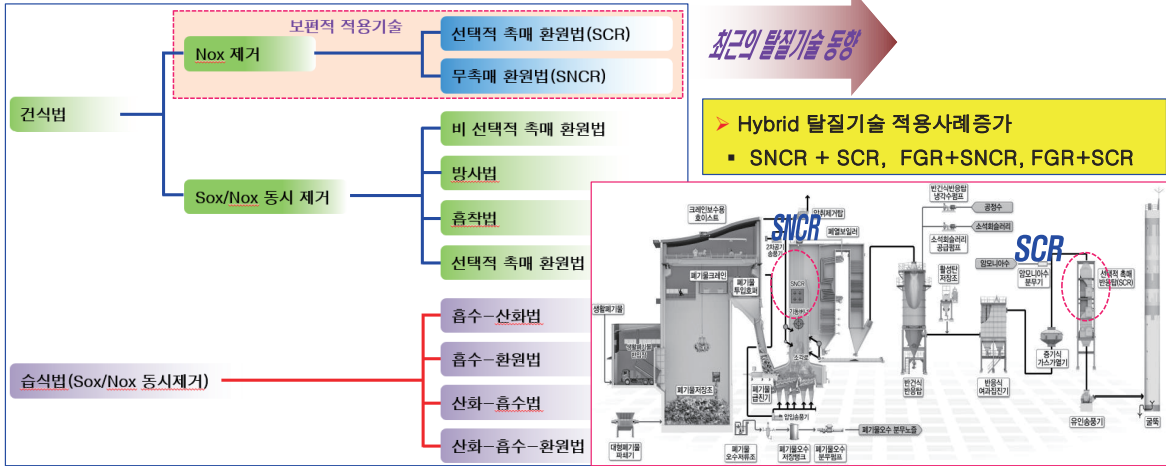
2. 질소산화물 저감기술

❖ 발생원 저감(Clean Technology)

- 연료에 포함된 질소성분 사전제거 → 기술적으로 불가능, 경제적으로 부적합
- 연소과정의 억제기술
 - 연소조건 변경에 의한 방법 → 산소량 제어 [낮은 산소조건, 연소공기 분산제어(LNB)]
 - 연료 변경에 의한 방법 → B/C Oil, 경유 등 → LNG로 대체사용 등

❖ 후 처리 기술(End of pipe Technology)

- 연소가스 중 질소산화물을 방지시설로 처리하는 기술

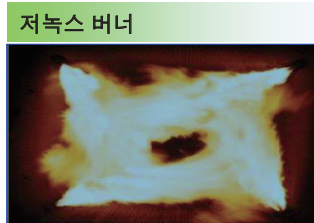
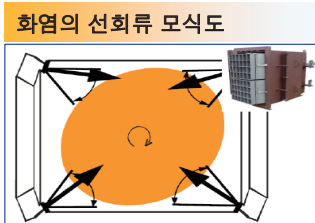
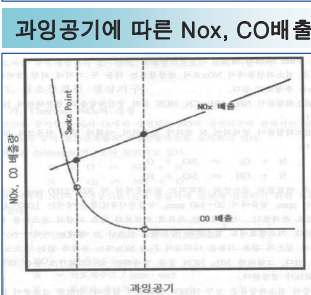
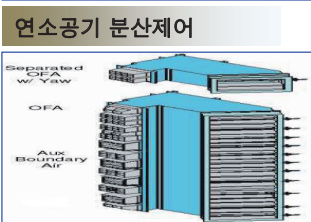
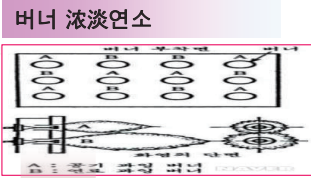


II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술 - 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 발생원 저감(Clean Technology)

- 연소 방법 변경을 통한 Nox 발생 억제
 - 단계적 연소(Staged Combustion)
 - 연료 및 공기의 단계적 공급 → 연료과잉조건(낮은 산소농도) → NOx생성 억제 및 질소 분자(N₂)환원 촉진
 - 연료의 단계적 공급(Fuel Staging Re-burning)
 - 저 과잉 공기 비 연소 및 단계적 연소(LNB)
 - 연소공기 분산제어 및 화염의 선회류 형성
 - 연료 및 공기의 혼합 특성 조절을 통한 Nox저감(Thermal Nox)
 - 운전조건 변경
 - 연소가스 온도제어(특히, 2차 연소구역에서 1,000℃ 이하)
 - 배기가스 재순환(Fuel gas recirculation)
 - 수분 첨가(Wet Addition)
 - 연소가스 온도가 낮아져 고온영역 억제(일부 소각장에서 침출수 연계처리)



II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

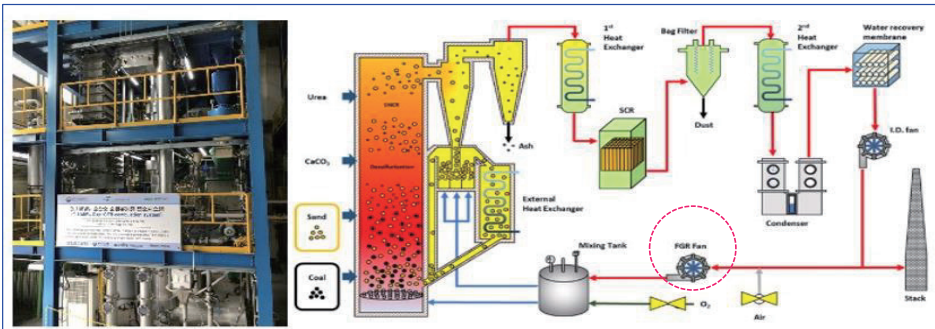
2. 질소산화물 저감기술

❖ 발생원 저감(Clean Technology)

➢ 연소가스 재 순환(FGR : Fuel Gas Re-circulation)

- 연소가스 재 순환(H₂O, 낮은 산소조건...)으로 연소 영역에서 온도가 낮아지는 효과
- 산소농도가 낮은 배기가스를 고온영역에 분사(2차 공기 주입조건에서 효과적)
- Fuel Nox(절대적) 보다 Thermal Nox(상대적)저감효과가 크다
- 최근 Hybrid 탈질 기술로 적용사례 증가(FGR+SNCR, FGR+SCR)

사용연료	가스	석탄	유류
제어방법	배기가스의 일부를(15~20%) 재순환하여 저 과잉연소와 혼용		
NOx 저감율	50% 내외	최대 30%	최대 15%
운전에 미치는 영향	재순환율이 높으면 매연, 불완전연소 화염불안정 초래		



-6-



II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

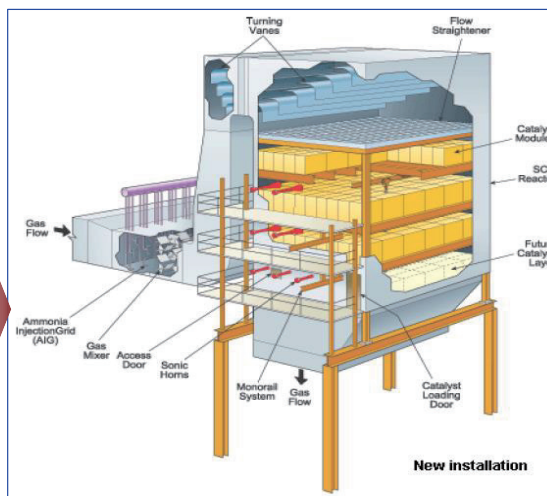
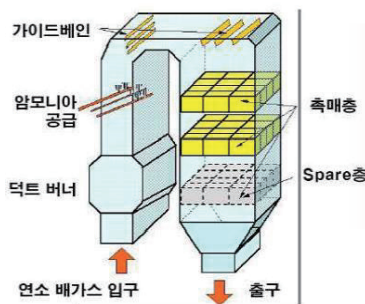
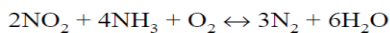
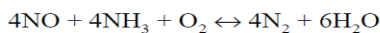
➢ 건식 법

- Nox 제거를 위해 흡수/산화제(용액)를 사용하지 않는 기술

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> - 투자 및 유지비용 저렴 - 공정이 단순하고 폐수 발생 없음 - 대용량 설비에 대한 사례 검증 및 운영 노하우 	<ul style="list-style-type: none"> - 배출 가스 중 분진의 영향이 크다 - NH₃(NH₄)₂, SO₄등 미 반응 물질 유출(암모니아슬립 등) - 약품취급의 위험성

➢ 선택적 촉매 환원법(SCR)

- Nox 와 NH₃반응으로 N₂ 와 H₂O로 환원



-7-



II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

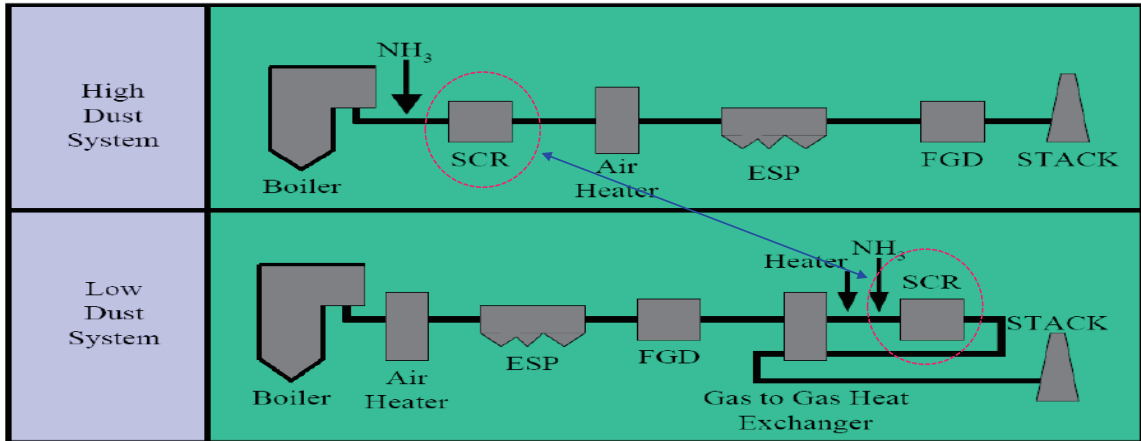
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ 선택적 촉매 환원법(SCR)

- 화력발전소에서 촉매 피독물질(SO₂, Dust등)이 많음에도 Boiler후단에 High Dust SCR System적용 하는 이유
- Boiler후단은 SCR운전온도 제어가 가능한 반면(300~350°C) ⇒ 고온조건으로 ABS최소화
- Low Dust SCR System은 온도가 낮아져(약 150 °C) 배 가스 온도를 올리기 위한 막대한 에너지 필요
- 환경적 측면 VS 경제적 측면 을 고려한 탈질 기술 선택



II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

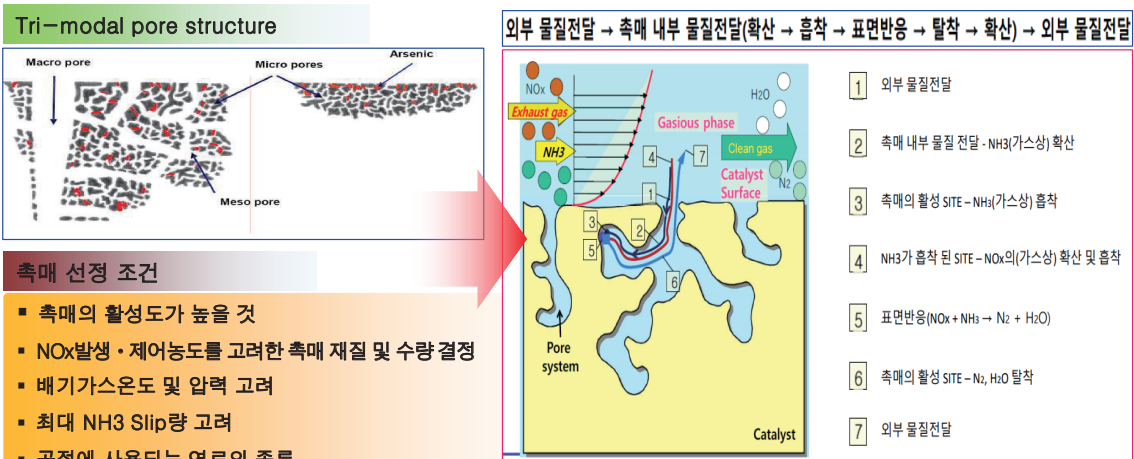
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ 선택적 촉매 환원법(SCR)

- 촉매조건
 - 금속산화물(Fe₂O₃, Pt, CuO등) 및 Zeolite 등 다양한 재질
 - 바나듐계(V₂O₅)가 Nox Conversion의 주요 역할로 판단되나, 촉매 특성은 알려지지 않음(TiO₂-V₂O₅계열)
 - 촉매 비용이 전체 운전비의 약 70%차지
 - 피독 방지를 위해 주로 Tri-modal pore structure촉매 사용



II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제거기술

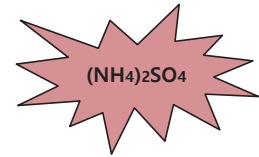
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

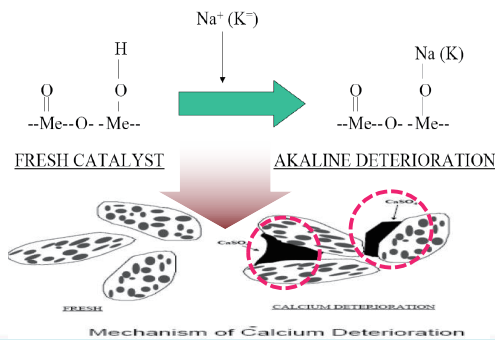
❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ SCR촉매의 피독 현상

- 알칼리 금속(K, Na, Ca) : 습한 상태에서 촉매 활성점과 반응하기 위해 촉매 표면에 침투됨
- 금속(Cr, Fe, Ni, Hg, Se, As, Pb, Cd, Zn etc) 증기 : 촉매 활성점과 반응하기 위해 촉매 표면에 응축될 수 있음. 특히, 에틸렌 연소 시 CrO₃과 석탄 보일러에서 As₂O₃은 잘 알려진 촉매독임
- 배기가스 중의 SO₃는 300°C 미만의 낮은 배기가스 온도에서 암모니아(NH₃) 반응하여 촉매표면에 Ammonia Bi Sulfates(ABS)를 생성시킴
- 다음과 같은 금속화합물은 녹는점이 낮아 촉매 표면을 덮어 촉매의 미세한 기공을 막음
As₂O₃, ZnCl₂, NaNO₃, KNO₃, Na₂SO₄, Na₂CO₃, KCl, AlCl₃, FeCl₃



SCR촉매 독 [Alkaline metal(Na, K, Ca)]



촉매표면 피독사례



-10-

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제거기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ 선택적 촉매 환원법(SCR)의 장 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> - NOx를 H₂O와 N₂로 전환하는 높은 제거효율(80%~) - NOx 발생공정에 대부분 적용된 검증 기술 - NH₃ Slip현상이 낮고 부가적으로 Dioxin제거 - NOx 제거효율 및 공정특성 고려 시 가장 우수한 기술임 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치 및 운영비 높음(설치공간 큼, 온도제어에 따른 운영비 소모) - 촉매 교체 및 온도 유지에 따른 운전비 증가 - 압력손실 높음(70~100mmAq ⇒ 동력비 증가) - 미 반응 암모니아(Slip)에 의한 2차 오염 유발 - 먼지, Sox 등 피독 물질 영향으로 촉매수명 단축

➢ SCR Design Parameter

Description	Unit	Design Parameter	Remark
Flue gas inlet temperature	°C	> 200	촉매활성도
Gas superficial velocity @ Absorber	m/s	< 6.2	
NOx removal efficiency	%	Max 90	촉매활 및 반응온도에 따라 효율결정
NH ₃ /NO Stoichiometric ratio	-	1.0 ~ 1.1	End of pipe NH ₃ : < 2 ~ 5ppm
Space velocity	Hr ⁻¹	2,500 ~ 5,000	연소가스 인입 온도 촉매활 및 NOx 제거효율에 따른
SOx inlet Limit	ppm	< 10	
Pressure drop of catalyst layer	mmAq/layer	< 12.5 ~ 25.4	
Content ratio of V ₂ O ₅ in Catalyst Content ratio of TiO ₂ in Catalyst	%	> 3 ≈ 80	
Structure of catalyst	-	Tri-model pore structure	

-11-

II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

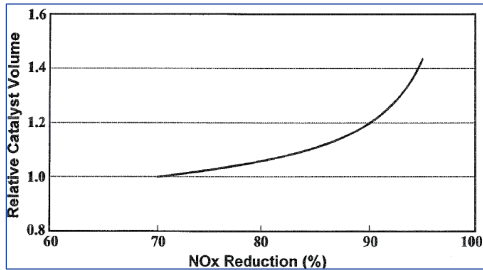
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

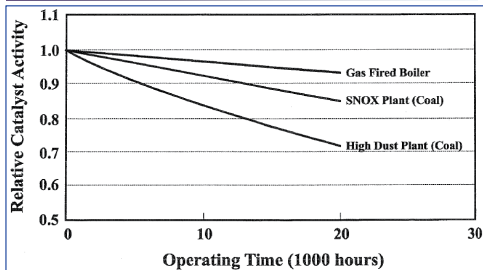
❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ SCR Design Parameter

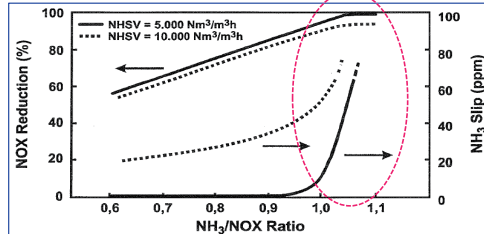
촉매 량에 따른 처리효율



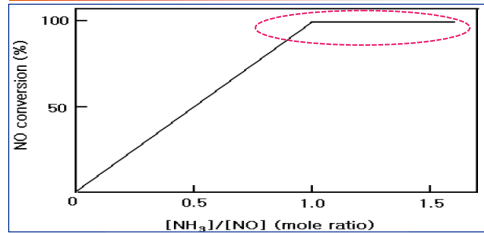
촉매활성도에 따른 운전시간



NH₃/NOx비율에 따른 감소비율



Nox 전환 당량비(NH₃/NO)



- Nox의 전환율은 NH₃/NO의 당량비 증가와 비례반응
- Nox 전환의 최적 당량비는 1~1.3 범위임

II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

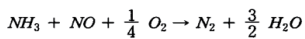
❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ 무촉매 환원법(SNCR : Selective Non-Catalytic Reactor)

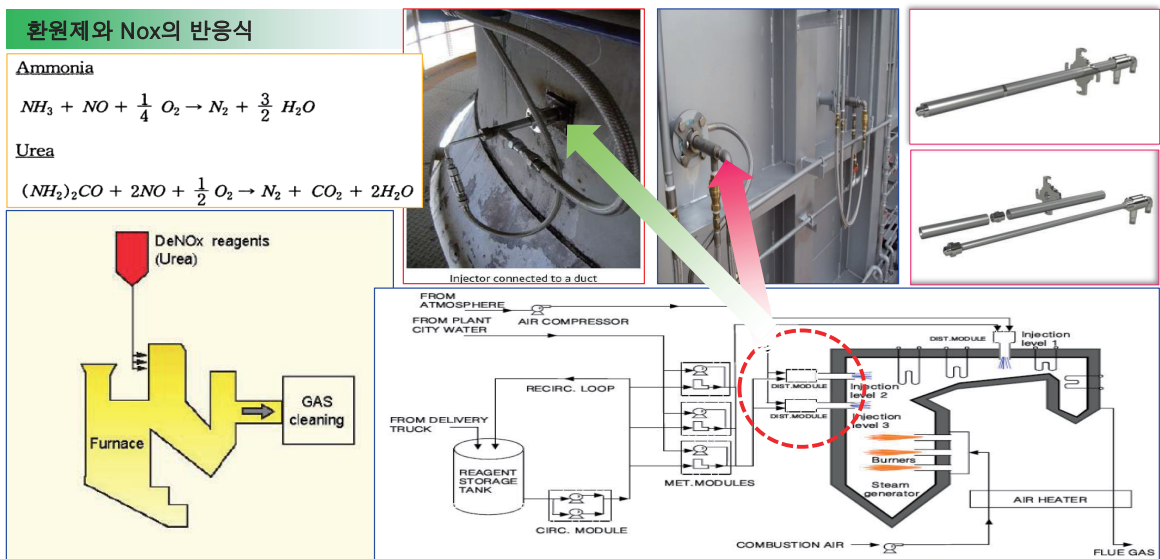
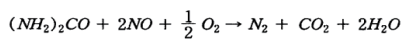
- 환원제 [NH₃, CO(NH₂)₂등]를 고온영역에 (870~1100℃)분사하여 Nox를 N₂ 와 H₂O로 전환
- 환원제로 NH₃를 사용할 경우 연료에 황(S) 함량이 높으면 NH₃가 SO₃와 반응하여 ABS가 생성되어 후단설비 부식 유발

환원제와 Nox의 반응식

Ammonia



Urea



II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제거기술

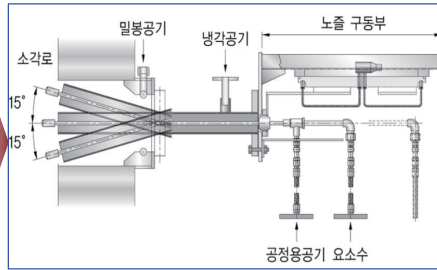
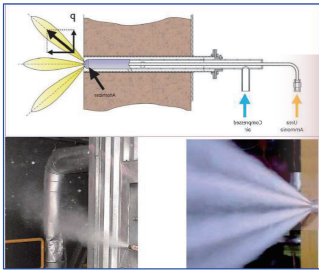
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

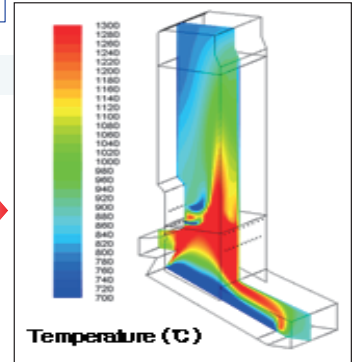
➢ 무 촉매 환원법(SNCR)

분무 속도 및 각도



SNCR의 유동해석(CFD)의 효과

- 연소해석에 따른 폐기물성상 및 소각조건에 대한 온도분포 예측
- 최적의 처리효율 확보를 위한 SNCR의 위치선정
- 온도에측에 따른 SNCR 가동조건 수립 예측
- 분무 액적의 최적 혼합상태 예측
- 분무 액적의 체류시간 예측을 통한 반응시간의 적정여부 예측



II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제거기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

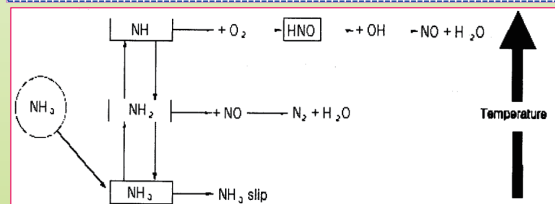
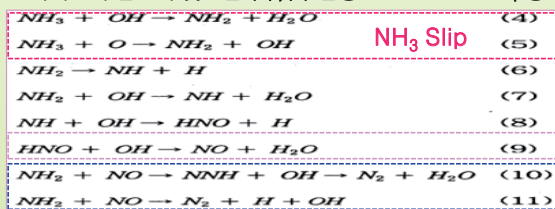
2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ SNCR에서 환원제에 따른 반응 기작

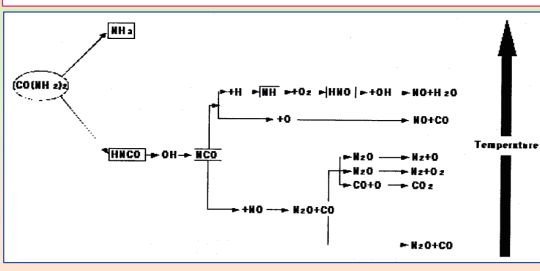
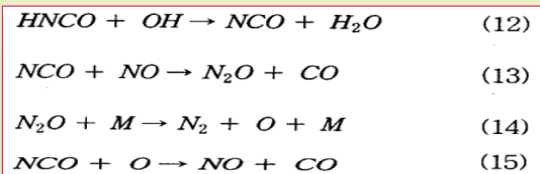
Ammonia

- 기체 또는 수용액 상태로 주입되며 주로 Radical반응 진행
- 주요반응은 (9), (10), (11)식으로 NOx환원
- 최적반응 온도구간(870~980℃)에서는 주로 환원반응으로 (10), (11)이 지배적이고
- 최적보다 온도가 높으면 산화반응으로 (9)반응이 지배적
- 최적보다 온도가 낮으면 (4), (5) 반응 ⇒ Ammonia Slip증가



Urea

- 물로 희석하여 로내 주입되며 주로 Radical반응 진행
- 800~1100℃ ⇒ (13)반응으로 N2O+CO가 생성되며
- ⇒ 950℃ 이상이면 (14)반응으로 N2생성
- ⇒ 1100℃ 이상이면 (15)반응으로 NO+CO생성
- ⇒ 800℃ 이하온도는 반응속도가 늦어져 미 반응 증가(Slip)



II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ 무 촉매 환원법(SNCR): Design Parameter

Description	Unit	Design Parameter	Remark
Flue gas temperature	°C	850 < Temp. < 980	Optimum Temp. : 960
Atomizing media pressure	Bar.g	2 ~ 4	
Spray droplet size	um	< 100	
NH ₃ /NO Stoichiometric ratio	-	1.2 ~ 1.5	End of pipe NH ₃ : < 10 ppm
Retention time	sec	0.3 < Time < 1.0	
Reagent NH ₃ Composition	%	2 ~ 10	연소가스 인입온도 및 NOx 제거효율 고려
Reagent spray velocity	m/s	> 50	
Reagent spray angle	degree	> 100	

➢ SNCR의 장·단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> - 설치, 운전비 저렴(적은 공간, 설치기간 짧음) - 운전 및 보수 용이 - 먼지 및 SO₂의 영향이 상대적으로 낮음 - 압력손실이 낮고 다양한 가스에 적용 용이 	<ul style="list-style-type: none"> - SCR대비 처리 효율이 낮다(50% 내외) - 약품 반응 온도에 민감(850~980°C) - 미 반응 암모니아에 의한 2차 오염 유발

II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ SNCR VS SCR

구분 \ 형식	SNCR	SCR
NOx 저감한계	최대평균치 50 ppm	20~40 ppm
제거효율	30~85 %	90% 정도
운전온도	350~980 °C	200~450 °C
소요면적	설치공간이 제약이 적음(기존 로 외 덕트 설치)	촉매탑 설치공간 필요
암모니아 슬립	10~20 ppm	2~5 ppm
PCDD 제거	거의 없음	가능(촉매에 의한 산화 V ₂ O ₅)
고려사항	온도, 혼합, 암모니아 슬립, 효율	운전온도 및 배기가스 가열비용, 촉매독, 암모니아 슬립, 설치공간, 촉매 교체비
장점	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 투자비 및 운영비가 적다 ✓ 다양한 가스 성상에 적용이 가능하다 ✓ 장치가 간단하여 운전보수가 용이하다 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 높은 탈질효과를 얻을 수 있다 ✓ 암모니아 슬립이 매우 적다
단점	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 연소온도를 850 °C 이상으로 제어 필요 ✓ 물비를 크게 하면 암모니아 슬립에 의한 백연 현상 발생이 있을 수 있다 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 촉매의 수명이 유한하며 가격이 비싸다 ✓ 투자비 및 운전비가 많다 ✓ 먼지, SO_x 등에 의해 방해를 받는다. ✓ 압력손실이 크다

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 저감기술

- 안전 시뮬 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 질소산화물 저감기술

❖ 후처리 기술(End of pipe Technology)

➢ 환원제 특정비교(NH₃ VS UREA)

	무수 암모니아	암모니아수	요소	비고
주입 형태	➢ Steam 등 열원에 의해 기화기에서 기화 후 공기와 희석하여 기체상태로 주입	➢ Steam 등 열원에 의해 증발기에서 증발시킨 후 기체상태로 주입하거나 고압의 이류체 노즐을 사용하여 덕트 내로 직접 고압 분사	➢ 좌중	➢ 요소나 암모니아수의 경우 증발시키기 위한 추가 에너지가 요구됨 ➢ 무수암모니아수 유리
안전 측면	➢ Leak 시 냄새 및 폭발 위험 ➢ 암모니아 감지 설비 등 계측장비 필요	➢ 안전한 방법	➢ 안전한 방법	➢ 암모니아수 및 요소가 유리
계통 운영	➢ 안전만 고려된다면 큰 문제 없음	➢ 안정적인 계통 운전 가능	➢ 노즐막힘 현상 발생 ➢ 고상 Urea 장기 저장 시 고화현상으로 관련 설비 고장원인 ➢ Urea용액 저장 및 이용 시 Scale 방지를 위해 포화온도 이상 유지 필요	➢ 암모니아수 유리

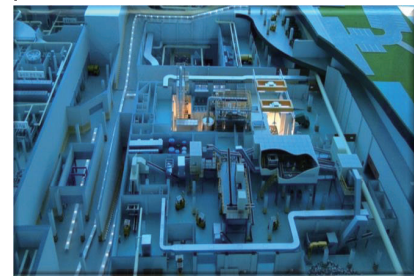
II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 저감기술

- 안전 시뮬 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃) 거동연구 사례

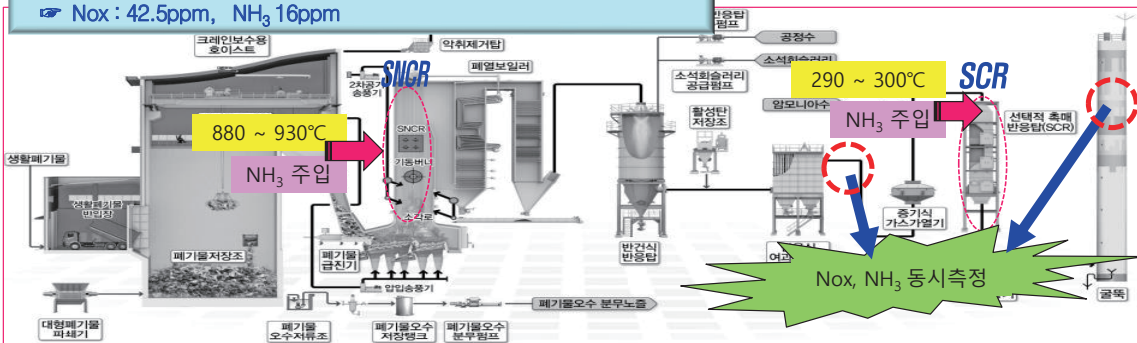
❖ 복합 탈질장치(SNCR-SCR) 적용공정

- 질소산화물 규제 강화로 Hybrid Technic(SNCR-SCR) 적용사례 증가
- 환원제 과량사용에 따른 배출허용기준 초과사례 (NH₃) 증가
- SNCR-SCR공정에서 환원제는 일반적으로 SNCR에만 공급
- 환원제 주입조건에 따른 대기오염물질 배출량 저감 운전조건 수립



❖ 연구시설 개요

- 경기도 OO시 생활폐기물 소각시설 (2.0ton/hr)
- TMS부착시설로 「대기관리 권역법」 및 「통합법」 적용
- Nox : 42.5ppm, NH₃ 16ppm



II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

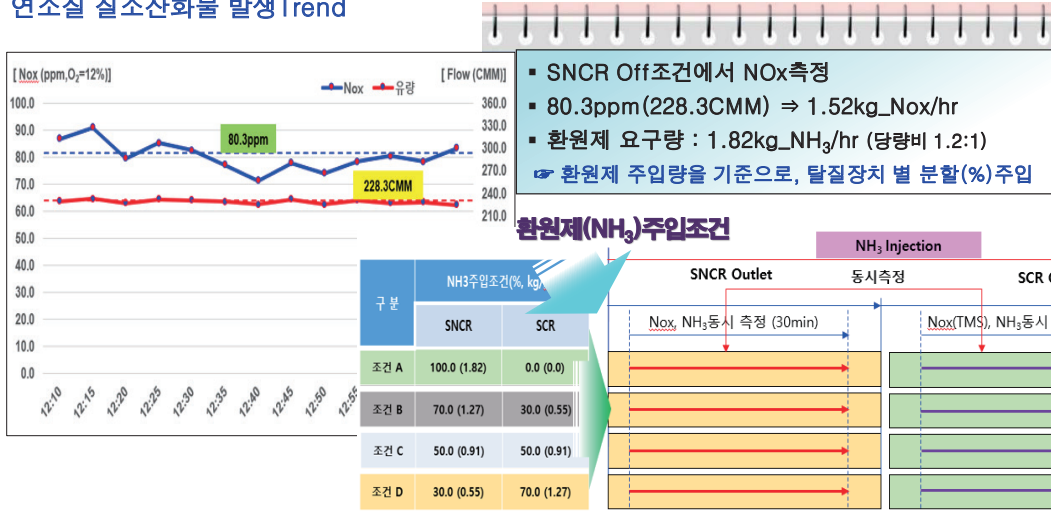
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃) 거동연구 사례

❖ 연구방법

- 연소실의 질소산화물 발생농도 평가 및 환원제 주입량(NH₃/NO ⇒ 1.2:1) 산정
- 배출가스 측정방법 : (NOx) 휴대용 연소가스분석기, (NH₃) 대기오염공정시험방법(흡수액 H₂O₂)
- 환원제 주입조건별 탈질공정에서 NOx, NH₃ 거동평가 실시(동시측정, 조건 별 30min)

❖ 연소실 질소산화물 발생Trend

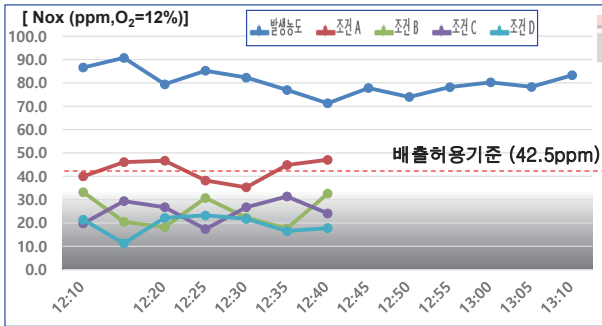


II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

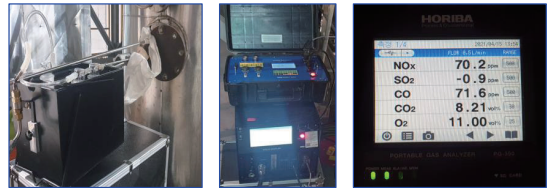
- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃) 거동연구 사례

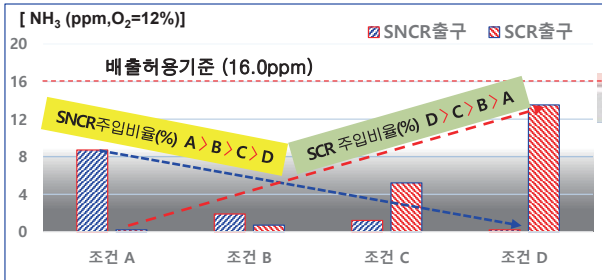
❖ NOx 발생농도 대비 환원제 주입조건별 NOx 배출경향



> 환원제 주입 조건 별 복합 탈질 효율은 약 65.2%p(평균)
 ▪ 환원제 주입조건별 탈질 효율은 조건 D > B > C > A
 ▪ 조건 A의 경우 NOx 배출허용기준 초과



❖ 탈질 장치 별 암모니아 측정결과



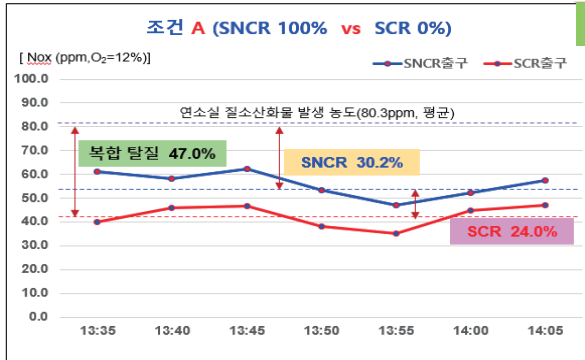
> NH₃는 배출허용기준을 충족하나,
 ▪ 탈질 효율이 가장 양호한 D조건(SNCR 30%p, SCR 70%p)에서 NH₃ Slip량이 가장 많음
 ▪ 환원제 주입조건별 배출구 농도는 뚜렷한 경향을 보임

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃)거동연구 사례

❖ 조건 A (SNCR 100.0% vs SCR 0.0%)



구 분	SNCR출구	SCR 출구 (굴뚝)
NOx 배출농도(ppm)	56.0	42.6
NOx 제거량(kg/hr)	0.457	0.253
NH ₃ 주입량(kg/hr)	1.82	0.00
NH ₃ 이론 반응량(kg/hr)	0.548	0.304
NH ₃ 분석 결과(ppm, kg/hr)	8.7 (0.090)	0.2 (0.002)
공정의 이론 손실 및 배출구 Slip량(NH ₃ _kg/hr)	1.181	0.002
SCR의 NH ₃ (분석결과+주입량) 유입량 (kg/hr)	-	0.090
SCR의 NOx 유입량(kg/hr)	-	1.055
SCR의 NH ₃ 요구량(kg/hr)	-	1.266
공정별 이론 당량비(NH ₃ /NOx)	1.2	0.1 (요구량의 7.1%)

❖ 탈질 효율 해석

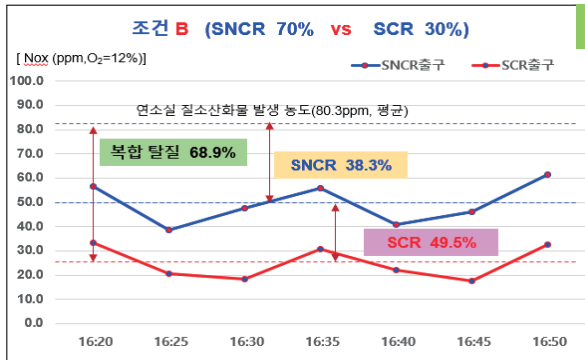
- 복합탈질 효율은 47.0%p, Nox는 최종배출구(SCR출구)에서 배출허용기준(42.5ppm)을 초과함
 - 1) SNCR : 30.2%p(당량비 : 1.2:1)
 - 2) SCR입구 분석농도를 반영한 공정의 환원제 이론 손실량(NH₃_kg/hr) : 1.181(약 93%p)
 - Boiler, Eco-MZR, SDA, BF등을 거치면서 상당량이 소실됨
 - 3) SCR : 24.0%p로 낮은 효율(낮은 당량비 0.1:1)
- SNCR의 미 반응 환원제량(이론)은 1.272kg/hr이나, SCR의 유입 환원제량은 0.090kg/hr (8.7ppm)으로 당량비가 낮아 처리효율이 낮아진 결과로 판단됨

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃)거동연구 사례

❖ 조건 B (SNCR 70.0% vs SCR 30.0%)



구 분	SNCR 출구	SCR 출구 (굴뚝)
NOx 배출농도(ppm)	49.5	25.0
NOx 제거량(kg/hr)	0.579	0.462
NH ₃ 주입량(kg/hr)	1.27	0.55
NH ₃ 이론 반응량(kg/hr)	0.695	0.555
NH ₃ 분석 결과(ppm, kg/hr)	1.9 (0.020)	0.7 (0.007)
공정의 이론 손실 및 배출구 Slip량(NH ₃ _kg/hr)	0.555	0.007
SCR의 NH ₃ (분석결과+주입량) 유입량 (kg/hr)	-	0.566
SCR의 NOx 유입량(kg/hr)	-	0.933
SCR의 NH ₃ 요구량(kg/hr)	-	1.120
공정별 이론 당량비(NH ₃ /NOx)	0.8	0.6 (요구량의 50.5%)

❖ 탈질 효율 해석

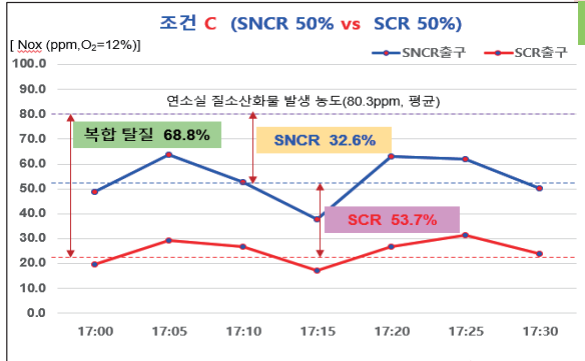
- 복합탈질 효율은 68.9%p, 최종배출구에서 Nox, NH₃는 배출허용기준 충족(Nox 25.0ppm, NH₃ 0.7ppm)
 - 1) SNCR : 38.3%p(당량비 : 0.8:1)
 - 2) SCR입구 분석농도를 반영한 공정의 환원제 이론 손실량(NH₃_kg/hr) : 0.555(약 96.5%p)
 - 3) SCR : 49.5%p(분할 주입에 따른 당량비 ↑ 0.5:1)
- SNCR에 주입된 환원제는 대부분 소실되어 SCR까지 전달을 낮춤(1.9ppm, 0.020 kg/hr)
- SCR은 분할주입으로 당량비는 개선되었으나 당량비가 낮아(0.5:1) 처리효율의 한계를 보임

II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃)거동연구 사례

❖ 조건 C (SNCR 50.0% vs SCR 50.0%)



Nox & NH₃ Mass Balance

구 분	SNCR 출구	SCR 출구 (굴뚝)
NOx 배출농도(ppm)	54.1	25.1
NOx 제거량(kg/hr)	0.494	0.547
NH ₃ 주입량(kg/hr)	0.91	0.91
NH ₃ 이론 반응량(kg/hr)	0.593	0.656
NH ₃ 분석 결과(ppm, kg/hr)	1.2 (0.012)	5.2 (0.054)
공정의 이론 손실 및 배출구 Slip량(NH ₃ _kg/hr)	0.305	0.054
SCR의 NH ₃ (분석결과+주입량) 유입량 (kg/hr)	-	0.922
SCR의 NOx 유입량(kg/hr)	-	1.019
SCR의 NH ₃ 요구량(kg/hr)	-	1.222
공정별 이론 당량비(NH ₃ /NOx)	0.6	0.9 (요구량의 75.5%)

❖ 탈질 효율 해석

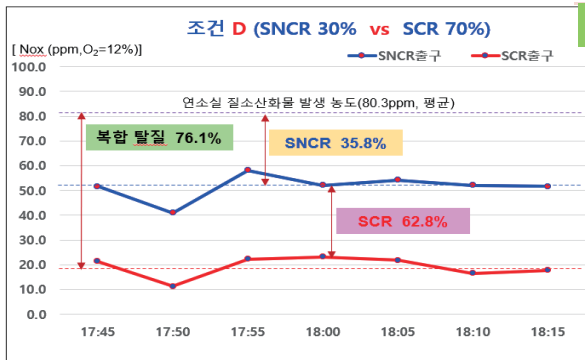
- 복합탈질 효율은 68.8%p, 최종배출구에서 Nox, NH₃는 배출허용기준 충족(Nox 25.1ppm, NH₃ 5.2ppm)
 - 1) SNCR : 32.6%p(당량비 : 0.6:1)
 - 2) SCR입구 분석농도를 반영한 공정의 환원제 이론 손실량(NH₃_kg/hr) : 0.305(약 96.2%p)
 - 3) SCR : 53.7%p(분할 주입에 따른 당량비 ↑ 0.9:1)
- SCR입구에서 환원제 주입(0.91kg/hr)에 따른 당량비 개선(0.9:1)으로 탈질 효율 상승

II. 대기오염물질 배출공정의 질산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃)거동연구 사례

❖ 조건 D (SNCR 30.0% vs SCR 70.0%)



Nox & NH₃ Mass Balance

구 분	SNCR 출구	SCR 출구 (굴뚝)
NOx 배출농도(ppm)	51.5	19.2
NOx 제거량(kg/hr)	0.542	0.610
NH ₃ 주입량(kg/hr)	0.546	1.274
NH ₃ 이론 반응량(kg/hr)	0.650	0.732
NH ₃ 분석 결과(ppm, kg/hr)	0.2 (0.002)	13.5 (1.140)
공정의 이론 손실 및 Slip량 (NH ₃ _kg/hr)	(-)	1.140
SCR의 NH ₃ (분석결과+주입량) 유입량 (kg/hr)	-	1.276
SCR의 NOx 유입량(kg/hr)	-	0.970
SCR의 NH ₃ 요구량(kg/hr)	-	1.164
공정별 이론 당량비(NH ₃ /NOx)	0.4	1.3 (요구량의 108.8%)

❖ 탈질 효율 해석

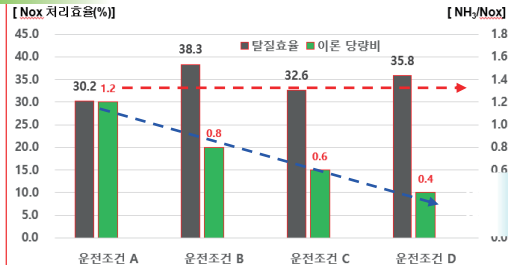
- 복합탈질 효율은 76.1%p로 처리효율은 가장 양호하나, 최종배출구에서 NH₃배출농도가 높음(13.5ppm)
- SNCR : 35.8%p(당량비 : 0.4:1), SCR : 62.8%p로 가장 높음(당량비 1.3:1)
- SNCR은 당량비가 낮음에도 35%p의 안정적인 처리효율
- SCR은 당량비를 상회하는 조건(1.3)에서 탈질효율은 62.8%p로 가장 양호한 탈질 효율을 보이나, 배출구에서 NH₃ Slip량 증가

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술 - 안산 시흥 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃)거동연구 사례

❖ 연구결과의 해석

SNCR



- ▶ 당량비(0.4~1.2)에 관계없이 탈질 효율은 30.2%p~38.3%p로, 양호한 운전조건 확인 (SNCR의 일반적인 탈질효율 40%p 내외)
- SNCR의 적정 당량비는 0.4~0.8 범위로 판단됨
- ▶ SNCR의 환원제 일괄주입은(일반 운전조건) 공정에서 대부분 소실 되는 결과로 SCR의 당량비를 충족하기 위해서는 상당량의 환원제가 요구됨 (운영비 증가)

SCR

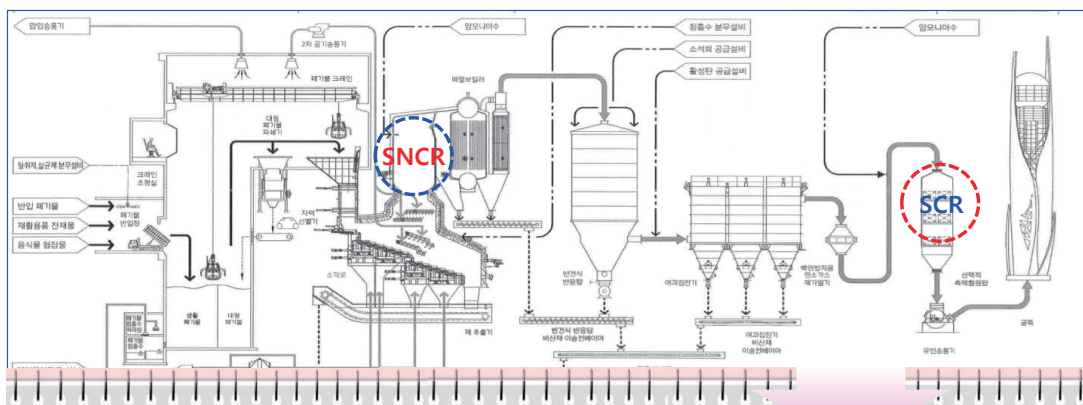


- ▶ 당량비에 비례하여 탈질효율 증가
- 70% 주입조건에서 가장 높은 탈질효율을 보이나, 배출구에서도 NH₃ Slip량 비례 증가
- ▶ 복합 탈질공정은 SNCR의 탈질효율에 따라 SCR의 환원제 공급량은 탄력적으로 제어할 필요가 있음 (NH₃ Slip에 따른 배출허용기준 초과 가능성 증가)

II. 대기오염물질 배출공정의 질소산화물 제어기술 - 안산 시흥 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 환원제(NH₃) 주입조건에 따른 대기오염물질(NOx, NH₃)거동연구 사례

❖ 연구의 결론



- ▶ 복합탈질장치 적용공정의 대기오염물질(NOx, NH₃)제어방법으로
 - SNCR 및 SNC의 환원제 주입범위는 설정 당량비의 30%p~50%p범위에서 탄력 적용이 양호한 탈질효율 및 배출구에서 환원제 Slip이 안정적인 운전조건으로 나타남
 - (SNCR) 적정 당량비 조건에서도 일반적인 SNCR의 탈질 효율과 유사한 결과
 당량비가 높을 경우 미 반응 환원제는 대부분 공정에서 소실(약품량 증가)
 - (SNCR) 탈질효율과 당량비는 비례하나 높은 당량비는 배출구에서 환원제 Slip가능성 상존
- ▶ TMS가 부착된 배출시설의 경우 환원제 주입량 제어는 TMS데이터와 비례제어 운전방식을 권장

CONTENT

02

대기오염물질 배출공정의 황 산화물 제어기술





Sensor value
3
2
1
0
0 100 200 300
12월 24일 12시 ~ 1월 30일 12시(1시간 최고값)
1월 1일



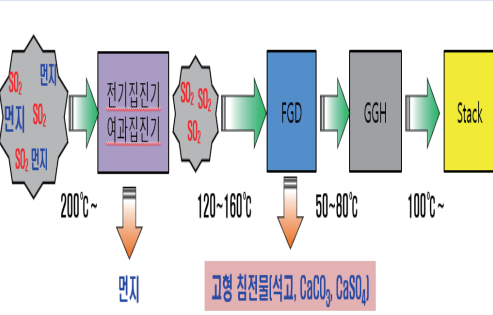


02. 대기오염물질 배출공정의 황 산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

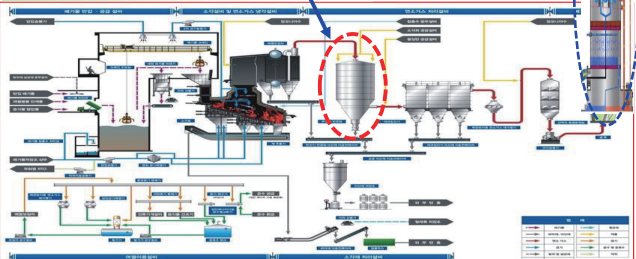
1. 배연탈황 (Fuel Gas Desulphurization) 개요

- ❖ 발생 기작
 - 화석연료(석탄, 석유 등)에 포함된 황(S) 함유량에 따라 배출량 좌우
 - SO₂ 및 미량의 SO₃로 구성
 - 배출 시 산성비, 스모그 등 도심 대기오염의 주요 원인으로 작용
- ❖ 배연 탈황
 - 발전소 및 보일러 등의 배출가스에 포함된 황산화물(Sox)을 배출허용기준 이하로 제어하는 기술
 - ☞ 황산화물은 발전소(석탄에 다량의 황 함유)에서 높은 농도로 발생하는 반면, 폐기물소각시설 등은 폐기물에 황 함량이 낮아 상대적으로 낮은 농도로 발생
 - 기술의 종류 : 흡수(Absorption), 흡착(Adsorption), 산화(Oxidation), 환원(Reduction) 등
- ❖ 반 건식, 습식 탈황시설 적용
 - Hybrid FGD적용이 증가되는 추세(Sox, Nox, HCl...)



Option
 <습식 탈황장치(Packed Tower 등)>
 NaOH, NaHCO₃ 등

<반 건식 탈황장치(Semi Dryer Reactor)>
 주로 Ca(OH)₂ 사용



02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

1. 배연탈황 (Fuel Gas Desulphurization) 개요

❖ 기술의 종류

분류	주요 기술
습식	비 재생법 <ul style="list-style-type: none"> - 석회석 세정 - 석회 세정 - 이중염기(Dual Alkali) - DOWA Aluminum Sulfate) - 해수세정
	재생법 <ul style="list-style-type: none"> - Wellman-Load(W-L) - 산화마그네슘(MgO) - 구연산(Citrate)
건식	비 재생법 <ul style="list-style-type: none"> - 흡착제 직접 주입 - Spray Drying
	재생법 <ul style="list-style-type: none"> - 활성탄흡착 - Aqueous Carbonate - Shell Flue Treatment - SOXNO

❖ 습식 탈황기술의 장·단점

구분	주요내용
장점	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 90%이상의 제거효율 ▪ 보일러의 부하변동에 대한 영향이 적음 ▪ 운영비가 낮음(높은 경제성) ▪ 대용량 보일러에도 적합 ▪ 기술에 대한 신뢰성이 높음
단점	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 배 가스 처리를 위한 냉각 또는 재 가열 ▪ 높은 용수량 및 동력비 ▪ 일부공정에서 다량의 폐수 발생 ▪ 초기투자비용이 높음(약 500억/ 000m³/min)

➢ 습식법

- 물, 알칼리흡수액을 이용하여 기상의 SO₂ 흡수 기작에 따른 반응 생성물(Sludge, 석고 등)
- 처리 효율이 가장 높고(90%~), 발전시설 등의 탈황설비에 상용화된 기술

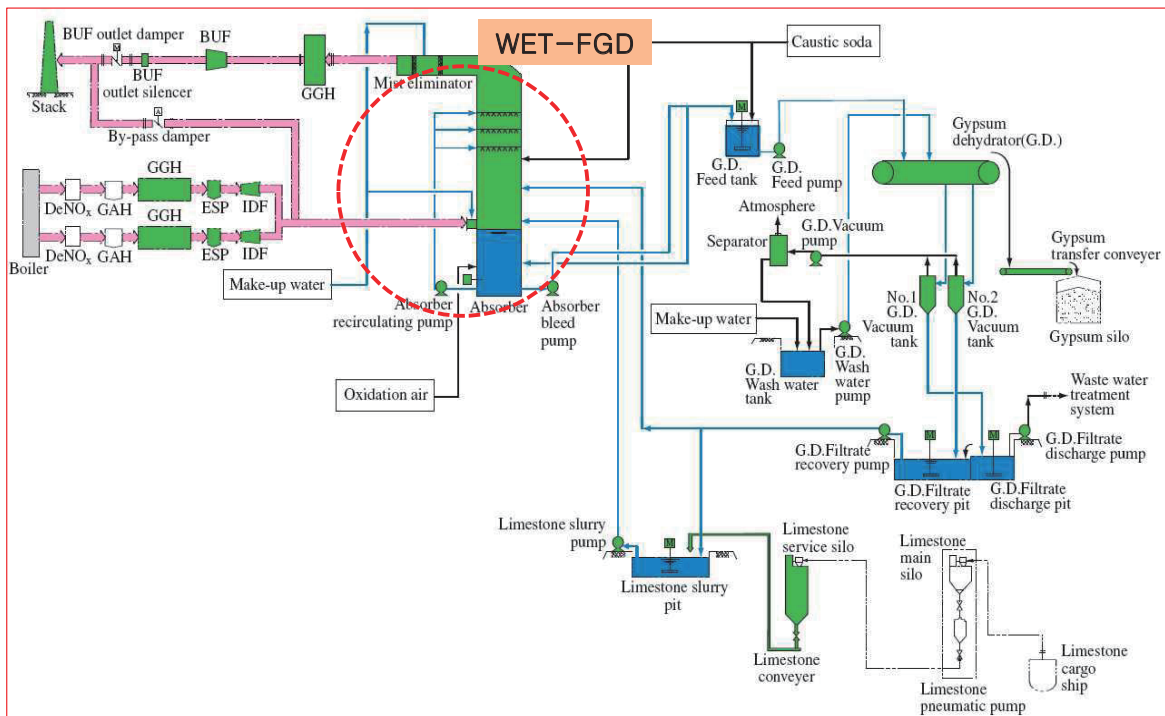
➢ 건식법

- 연구개발 단계로 실증시설에서 채택율이 낮음
- 질소산화물 및 황산화물의 동시 제거 기술로 연구개발 진행중

02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 배연 탈황설비 Process



02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

2. 배연 탈황설비 Process

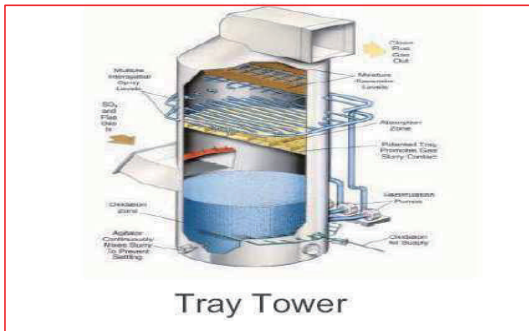
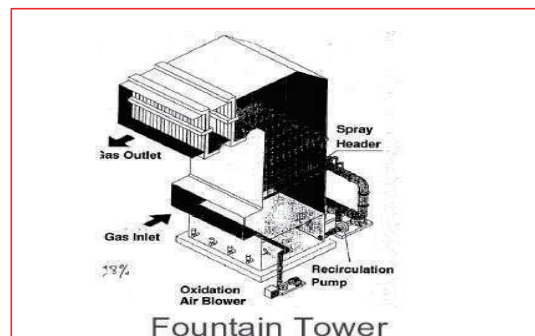
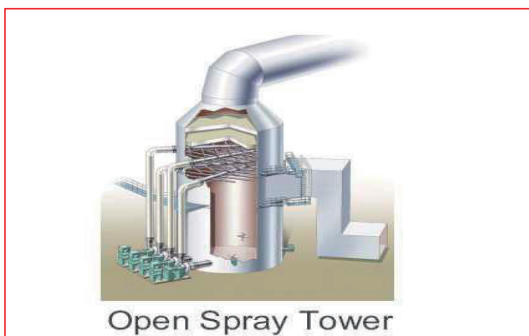
❖ FGD Design Parameter

Description	Unit	Design Parameter	Remark
Flue gas inlet temperature @GGH / Absorber	°C	120~160	
Gas superficial velocity @ Absorber	m/s	3~5.5	
SOx removal efficiency @ Absorber	%	90~99	
Limestone crushed size	Mesh	325(44um)	원석 2-25mm
Spray lime slurry composition	%	Approx. 20	
Spray lime slurry droplet diameter	µm	< 2,500	
Sprayed Liquid / Gas ratio @ Absorber(L/G)	Liter/Am ³	8~14	
Gypsum(CaSO ₄) moisture Content	Wt%	< 10	
Gypsum purity	%	> 95	
Flue gas outlet temperature @ Absorber / GGH	°C	50~80	100~ (백연 방지)

02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

3. 습식 탈황기술의 종류



02. 대기오염물질 배출공정의 용 산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

4. 습식 배연탈황 기술

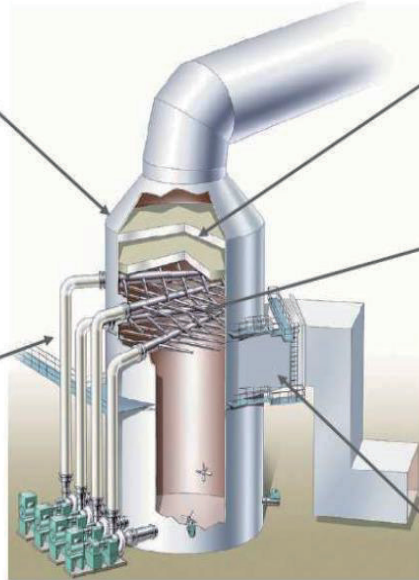
❖ Open spray Tower (Material of Construction)

Shell

- Rubber-lined carbon steel
- Flakeglass-lined carbon steel
- Stainless steel (317LMN)
- Duplex stainless steel (2205, 255)
- Nickel-based alloy
- Roll-clad alloy
- Lined concrete (tile, rubber)

External Spray Piping

- FRP
- Rubber-lined carbon steel
- SS/alloy



Mist Eliminators

- FRP
- Polypropylene
- Polysulfone
- SS/alloy

Headers

- Rubber-lined carbon steel
- FRP
- Stainless steel (317LMN)
- Duplex stainless steel (2205, 255)
- Nickel-based alloy

Inlet

- C-276

02. 대기오염물질 배출공정의 용 산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

4. 습식 배연탈황 기술

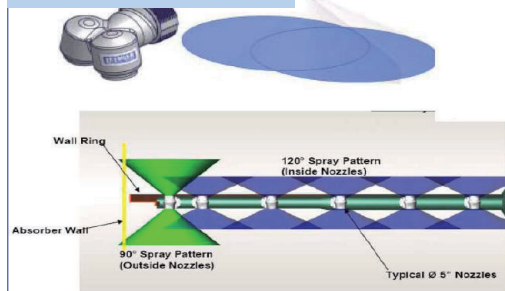
❖ Open spray tower

탑 내부 노즐 배치 현황

- Materials
 - Stainless steel
 - Alloy
 - FRP
 - Rubber-lined carbon steel
- Self-supporting or internal support beams or trusses
 - Absorber diameter
 - Material of construction
- Staggered arrangement



노즐 구조 및 배치도

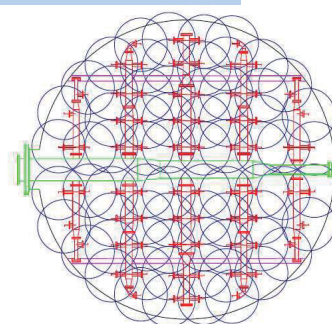


노즐 형식 (Single Dual Type)

- Multiple counter-current spray stages
- Nozzle type
 - Top stage—single orifice hollow cone
 - Lower stages—dual orifice hollow cone
- Sauter mean droplet diameter of ~2,000 micron at 8 psig
- Silicon carbide construction



탑 내부 스프레이 패턴



02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

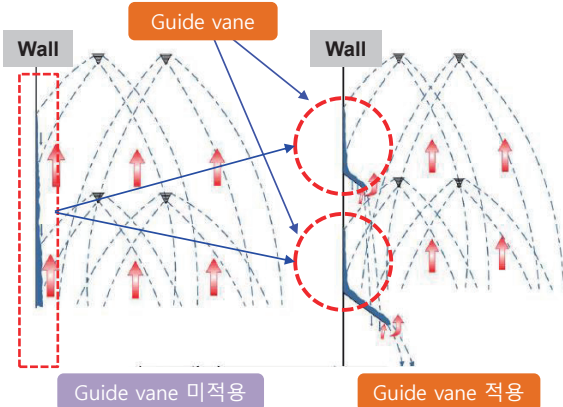
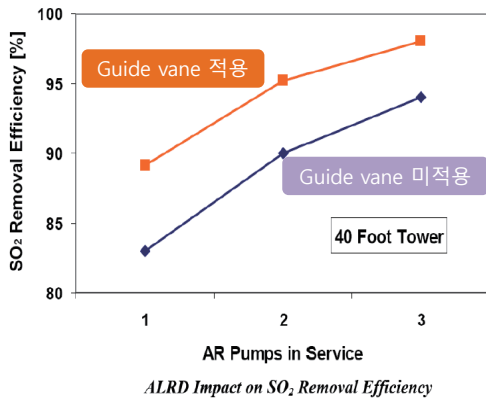
4. 습식 배연탈황 기술

❖ Open spray Tower(ALRD System)

(ALRD System) 노즐에서 분사된 슬러리가 벽면을 타고 흘러내리지 못하도록 방지하는 장치

- ALRD이 없는 경우 : 벽면을 타고 내려오는 Slurry와 가스의 접촉이 낮아 Slurry Hold-up감소
- 벽면을 타고 내려오는 Slurry를 ALDR 끝단 에서 떨어지도록 유도하여 Slurry 유량 증가로 저항 및 가스속도 불균형이 발생되나 Slurry Hold-up증가로 SO₂제거 효율 향상

ALRD 적용 유무에 따른 SO₂처리 효율



02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

4. 습식 배연탈황 기술

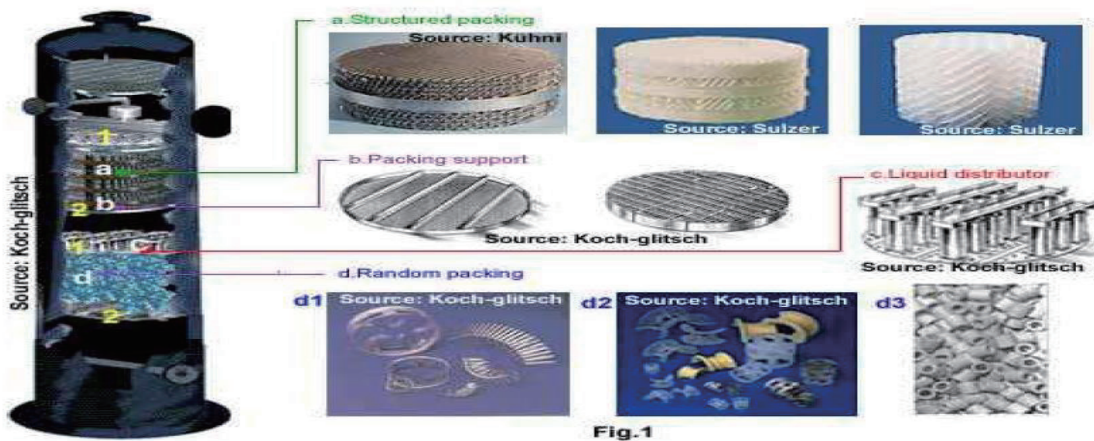


Fig.1

❖ 세정시설의 주요 설계인자

- 공탑속도 : 가스 풍량/ 공탑의 단면적(Flooding현상을 고려한 속도 산정)
- 액 기 비 : 1~10으로 시설의 종류 및 오염물질 특성에 따라 탄력적용
 - 액 분산형 : 용해도가 큰 가스 및 물질이동에 대한 저항이 가스 측에 지배적인 조건에 적합
⇒ 충전탑, 분무탑, 벤츄리/사이클론/제트스크러버 등
 - 가스분산형 : 용해도가 낮은 가스 및 물질이동에 대한 저항이 액(液) 측에 지배적인 조건에 적합
⇒ 다공판 탑, 트레이 타워, 단탑, 기포 탑 등

02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

4. 습식 배연탈황 기술

❖ 가성소다(NaOH) vs 소석회(Ca(OH)₂)

종류	장 점	단 점
가성소다	<ul style="list-style-type: none"> - 소석회 대비 Sludge발생량이 적다 - 물에 잘 녹으며 반응성이 높다 - 소석회 대비 사용량이 적고 Scale발생량이 작다(황산과 사용시) - 사용량에 따라 탈황 효율이 확실하다 	<ul style="list-style-type: none"> - 유독가스 발생으로 주의 요구 - 단가가 높다 - 고농도 탈황 요구 시 물 사용량이 많아 별도의 폐수처리장 확보 필요 - 세정수 사용으로 굴뚝 백연 발생
소석회	<ul style="list-style-type: none"> - 경제성이 높다(저렴한 가격) - 폐수발생이 낮다(반건식) 	<ul style="list-style-type: none"> - 용해도가 낮아(0.82g/L)희석 범위 제한적(20%미만) - 펌프, 노즐 등의 막힘 현상 - 슬러지 발생량이 많다(가성 소다의 약 2배)

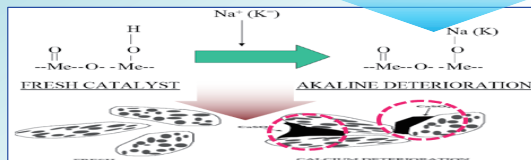
처리공법의 선택 ???

- 배 가스 중 황산화물 농도 고려
- 탈질 장치가 병용된 경우 확실한 탈황이 중요
 - ☞ 탈질 장치의 촉매 피독 예방
- 폐수처리장 운영 여건 고려
- 해당지역 배출허용기준과 경제성 검토

Technical Tip

- 대부분의 탈질 장치는 탈황장치 후단에 위치
 - 에너지 절감 ⇒ 촉매 운전온도가 낮아지는 추세(300°C 이하)
 - 탈질장치(SCR) 입구의 Sox농도는 3ppm이하를 권장

배기가스 중의 SO₃는 300°C 미만의 낮은 배기가스 온도에서 암모니아(NH₃) 반응하여 촉매표면에 Ammonia Bi Sulfates(ABS)를 생성시킴



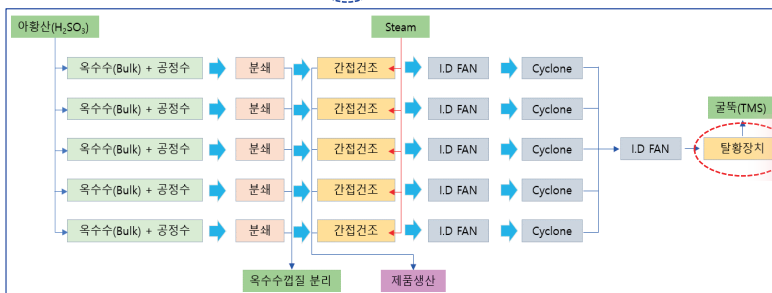
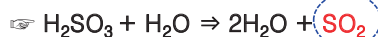
02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

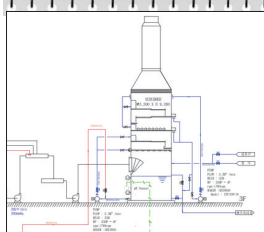
5. 황산화물 제어 기술지원 사례

❖ 옥수수 껍질 피막제거 공정

- 옥수수 원료 : 압력용기(Steam) + 아황산(H₂SO₃)를 혼입하여 피막제거



<설계사양, 사업장의 설계도서 참조>



- 탈황장치 : Tray-tower
(1,200CMM, Φ 3,300 x 9,260H, 유효고 7,260H)
- I.D FAN : 1,200CMM x 200mmAq x 98Hp(이론 동력)
- 급수펌프 2.3m³/min x 25mH x 25Hp x 2set
- 급수펌프 A : Tray-tower하부 세정수 공급(Spray Zone)
- 급수펌프 B : Tray-tower상부 세정수 공급

<탈황장치 운전조건>

- 세정수 pH : 6.0(약산성)
- 공탑속도 : 1.1m/s
- 세정수량 : 약 16.7 ton(자동 Drain 방식, 약 500/hr)
- 액기비 : 약 4.0 : 1 [급수펌프 용량 : 2.3m³/min, 가스량 : 568CMM(at 60°C)]
- 세정수 순환주기 : 약 8.2회/hr
- 약품 : 가성소다(19%), 유량계가 없어 유량 산정 불가

02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

5. 황산화물 제어 기술지원 사례

❖ 황산화물 발생량 vs 할당량

- 황산화물 할당량(7,119kg/yr) 대비 예측 발생량은 18,703kg/yr로 예측(할당초과율 263%)

구분	2018	2019	2020	2021년 황산화물 배출량(예측)		
				배출량	할당량	초과율(%)
배출량(kg) ¹⁾	8,317	7,579	32	18,703 ²⁾	7,119	263%
측정방법	자가측정(5~10ppm)			TMS		

1) SOx 배출량(kg/min) = [SOx농도(ppm) × (64 + 22.4) × 유량(Sm³)/10⁶
 2) 예상배출량 : TMS자료 인용('21.06.24. 유량 및 배출농도, 조업일수 330일 적용)

❖ 황산화물 발생량 vs 할당량



측정시간	황산화물 농도(ppm)					처리효율 ³⁾ (%)	배출가스량 (Sm ³ /min)
	입구 ¹⁾			출구 ²⁾			
	최대	최소	평균	최대	평균		
'21.06.24. (12:40~14:10)	123.0	59.6	92.8	31.9	22.8	69.1	480

※ 1) 연소가스분석기, 2) TMS측정결과, 3) 황산화물 입출구 평균농도에 대하여



02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시공 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

5. 황산화물 제어 기술지원 사례

❖ SO₂유입량을 고려한약품사용량

<NaOH요구량>

- 황산화물 1mole처리는 2mole의 NaOH필요 ($2\text{NaOH} + \text{SO}_2 \Rightarrow 2\text{NaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$)
- 황산화물 유입량 : $[92.7\text{ppm} \times (64/22.4) \times 480\text{CMM} \times 60\text{min/hr}]/10^6 = 7.65\text{kg/hr}$
 ▶ 64 : 80 = 7.65 : NaOH요구량 ⇒ 약 9.56kg/hr
- 희석수(NaOH 19%, 비중 1.2kg/l)투입량
 · $0.19 \times 1.2 \times \text{NaOH희석수량} = 9.56\text{kg/hr}$ 이므로 → NaOH희석수량 = 약 42l/hr

❖ 순환수 pH제어방법

운영조건

- 세정수량 : 14.4 ton (14,400 l)
- 순환 Cycle : 8.2회/hr
- 세정수 pH: 6.0(약산성으로 반응성 낮음)
- 자동Drain : 50 l/hr



[SO₂ 반응] pH 10이상 권장



반응성 향상을 위한 약품 투입량 제어방안

▶ pH 11을 유지하기 위한 NaOH요구량

- pH 6 → pH 10 (pH + pOH = 14, → pH 10 = pOH 4)
- pOH = $-\log[\text{OH}^-] \rightarrow 4 = -\log[\text{OH}^-]$
- $[\text{OH}^-] = 10^{-4}\text{mol/l}$
- 필요[OH⁻]량 = $10^{-4}\text{mol/l} \times 14,400\text{l} = 1.44\text{mol}$
- $[\text{NaOH} = (\text{Na}^+) + (\text{OH}^-)] \Rightarrow 1\text{mol} : 1\text{mol반응}$
- pH10(NaOH량) = $1.44\text{mol} \times (40\text{g/mol}) = 57.6\text{g}(100\%)$
- 희석수량(NaOH) : $[57.6 / (0.19 \times 1.2)] = 252.6\text{ l}$

▶ Drain(50l/hr)조건에서 pH 10 유지를 위한 NaOH 요구량

- $10^{-4}\text{mol/l} \times 50\text{l/hr} \times 40\text{g/mol} = 0.2\text{g_NaOH/hr}$ (100%)
- 희석수량 (NaOH) : $[0.2 / (0.19 \times 1.2)] = 0.9\text{ l/hr}$

02. 대기오염물질 배출공정의 황산화물 제어기술

- 안전 시용 환경기술인 협회 환경기술인 직무교육 -

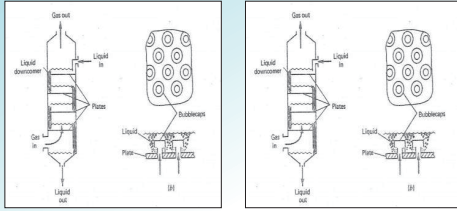
5. 황산화물 제어 기술지원 사례

❖ 탈황장치 개선방안

기존장치

▶ 포종탑(Tray Tower)

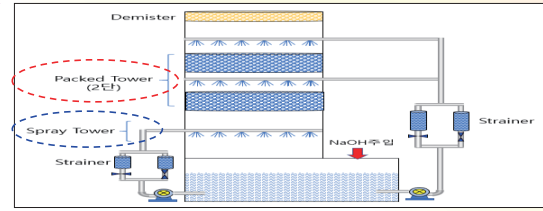
- 체류시간 낮음
- 세정수와 오염물질의 접촉면적 제한적
- 압력손실이 낮아 P/T보다 Hold-up현상이 낮음



SO₂처리효율 향상방안

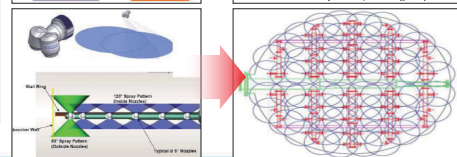
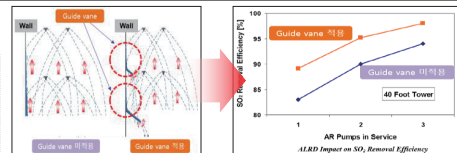
▶ Packed Tower

- 공탑 유효고가 높아(7.3mH) Packed/Spray혼용 가능
- 하부(Spray 구간) : 입자상물질처리
 - ☞ 충전층이 없어 Hold-up현상 없음(높은 액기비)
- 상부(충진구간) : 황산화물 처리
 - ☞ 충전층 : 탑경(3,300) x 720mH x 2단 = 6.4m³
 - ☞ 충전층의 가스체류시간 : 1.3sec



Packed Tower의 세정수 분사조건

- 1단 : Spray tower 방식으로 배가스 중에 포함된 입자상물질 및 황산화물 동시처리
- Spray tower는 액적 범람(Flooding)가능성이 상대적으로 낮아 높은 액기비 운영 가능
- 액기비 : 5:1 이상으로 분진 및 황산화물 동시제거
- 2단 : 충전층 확보를 통한 충분한 접촉면적 및 체류시간 확보(1.3sec)
- $T=V/Q$ 이므로 1.3 = 충전물량(m³)/배기가스량(9.5m³/s) = 12.4m³이므로
- ⇒ 충전층은 ϕ 3,300 x 720H x 2단
- 액기비 : 액적 범람(Flooding)을 고려한 액기비 적용



-42-



자연 가까이, 사람 가까이

