

## 대기오염방지

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

### 위험폐기물 소각산업에 적용되는 탈질기술 소개

#### ▶ 개요

중국에서 위험폐기물은 <국가위험폐기물 리스트(国家危险废物名录)>에 등록되거나, 국가가 정한 위험폐기물 식별기준과 방법에 따라 부식성, 독성, 인화성 물질, 감염성 등 1개 이상 위험물질이 포함된 고체폐기물을 뜻한다.

현재 중국은 위험폐기물을 보편적으로 소각하여 처리하고 있는데, 그중 처리종류가 광범위하고 적응성이 뛰어난 회전요로(回转窑)를 이용하여 위험폐기물을 소각하고 하고 있다. 최근 중국 정부의 환경보호 요구가 갈수록 엄격해 지고 있으며, 이에 각 지방정부는 위험폐기물 소각에 대해 중앙정부에서 제정한 <위험폐기물 소각 오염통제 표준(危险废物焚烧污染控制标准)>보다 더욱 엄격한 배출표준을 요구하면서 위험폐기물 소각을 관리·통제하고 있다.

위험폐기물을 소각할 때 발생하는 연기는 주로 질소산화물을 많이 함유하고 있으며, 처리공정은 대부분 ‘SNCR+급냉탑+건식탈황+활성탄+백필터 집진기+습식탈황+연기가열기’를 적용하고 있다. 하지만 단일 SNCR를 적용할 경우, 처리효율은 약 50%, 처리 후 질소산화물 배출농도 약 200~300mg/m<sup>3</sup>이므로, 지방정부의 배출표준 요구에 만족시키기 어렵다. 따라서 본 기술동향은 처리규모 3만 톤/년의 위험폐기물 소각 프로젝트에 ‘SNCR+저온 SCR’과 ‘SNCR+오존 탈질(臭氧脱硝)’ 두 가지 공법으로 개조한 사례를 통해 기술의 우수성 등을 살펴보고자 한다.

#### ▶ 프로젝트 현황

산둥성(山东省)의 모 기업에서 실시한 위험폐기물 소각 프로젝트는 처리규모 3만 톤/년, 적용공법 ‘회전로+2차 연소실(二燃室)+여열보일러(SNCR)+급냉탑+건식탈황탑+활성탄+백필터집진기+습식탈황탑+연기가열기’를 적용하였다. 하지만 이 공법 적용 후 배출되는 질소산화물 농도는 250~300mg/m<sup>3</sup>으로, 지방정부 배출표준(≤100mg/m<sup>3</sup>)에 부합하지 못하고 있는 상황이다.

<표1. 위험폐기물 소각 주요 매개변수>

구분	매개변수	구분	매개변수
처리량(톤/년)	30,000	백필터 집진기 배출구 온도(°C)	180
연기량(m <sup>3</sup> /h)	46,331	전처리 냉각탑 배출구 온도(°C)	100
회전로 배출구 온도(°C)	≥850	탈황탑 배출구 온도(°C)	70
2차 연소실 배출구 온도(°C)	≥1,100	질소산화물 배출농도	처리전(mg/m <sup>3</sup> )
보일러 배출구 온도(°C)	550		보일러 배출구(mg/m <sup>3</sup> )
급냉탑 배출구 온도(°C)	<200		배출표준(mg/m <sup>3</sup> , 산둥성)
			<100

<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

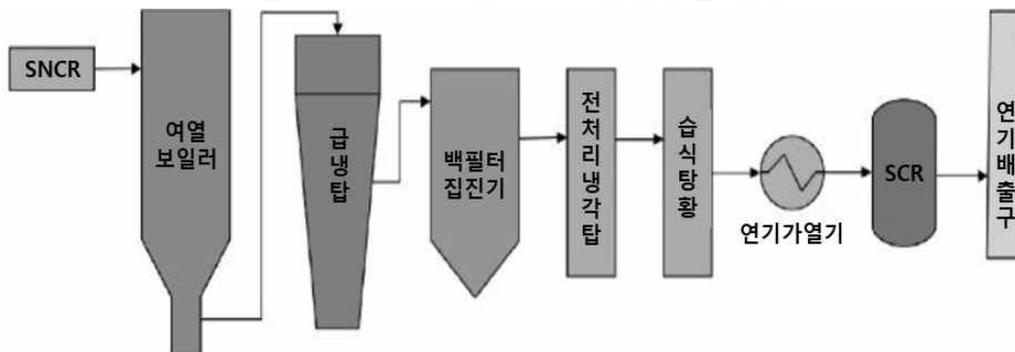
▶ 프로젝트 개조 방안

현재, 탈질처리를 위한 공법은 SNCR, SCR, 오존탈질, 연기재순환(烟气再循环), 저질소연소(低氮燃烧) 등 다양하다. 하지만 위험폐기물 소각에서 발생하는 연기는 성분이 복잡하고 산성가스가 비교적 많아, 단일 탈질공법만으로 배출표준에 부합하기 힘들기 때문에, 여러 공법을 결합한 방식을 적용해야 한다. 따라서 ‘SNCR+저온 SCR’과 ‘SNCR+오존 탈질’ 결합 기술을 적용한 사례를 통해 이를 분석하고자 한다.

1) ‘SNCR+저온 SCR’ 공법 결합 기술

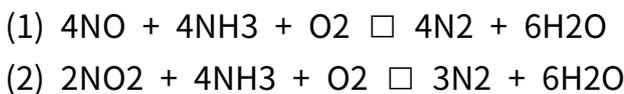
선택적촉매환원법(SCR, Selective Catalytic Reduction)은 세계에서 가장 효과적인 탈질처리 기술 중 하나이다. 실제 석탄화력발전예 적용한 사례를 보면, 단일 SCR의 탈질효율은 80~90%, 반면에 ‘SNCR+SCR’을 결합한 경우, 탈질효율은 90~95% 이상으로 나타나고, 온도에 따라 고온(300~400°C)과 저온(180~250°C)으로 나뉜다. 특히 다이옥신 배출을 방지하기 위해 위험폐기물 소각은 급냉탑을 설치하여, 연기온도를 1초 내로 500°C에서 200°C로 급냉각 시켜야 한다. 따라서 위험폐기물 소각에서 SCR을 결합하기 위해서는 저온 SCR만 사용 가능하다.

<그림1. ‘SNCR+저온 SCR’ 탈질공법 공정도>



<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

SCR의 주요 원리는 환원제를 이용해 연기 속의 질소산화물과 반응시켜 질소(N2)와 물(H2O)을 선택적으로 생성하며, 주요 화학반응은 다음과 같다.

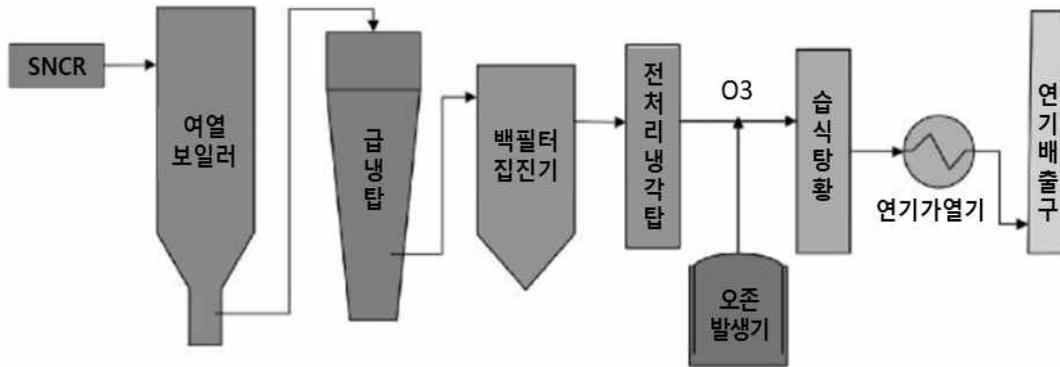


특히, SCR은 이산화황을 삼산화황(SO3)로 바꾸는 촉매작용 하며, 삼산화황은 SCR 탈질과정에서 반응에 참여하지 않은 암모니아와 반응해 황산수소 암모늄을 생산한다. 이렇게 생산된 황산수소 암모늄은 점성이 매우 강한 물질이기 때문에 촉매제 층이나 열교환기의 설비수명을 감소시키며, 이는 운영원가를 증가시킨다. 따라서 보통 습식 탈황법 후에 SCR 탈질설비가 설치된다. SCR 설비는 연기온도를 70°C에서 180°C 이상으로 가열하기 위해 연기가열기와 암모니아 분사장치를 설치해야 한다. 그렇기 때문에 SCR을 개조하기 위해서는 SCR 탈질설비, 암모니아 저장탱크·파이프라인(氨水储罐及输送管线), 연소기, 연료운송관 등을 신규로 추가하는 과정이 필요하다.

2) ‘SNCR+오존 탈질’ 공법 결합 기술

오존 탈질공법의 주요 원리는 오존의 강한 산화성을 이용하여 위험폐기물 소각과정에서 발생하는 질소산화물을 오산화이질소(N2O5)로 전환시킨 후, 연기 처리 공정 중 습식 탈황탑을 이용하여 산화 처리된 연기를 다시 흡수하고 탈산(脱酸) 과정을 거쳐 질소산화물을 제거한다. 따라서 오존 탈질공법을 적용 후에는 습식 탈황탑을 필수적으로 설치해야 하며, 그 공정도는 다음과 같다.

<그림2. ‘SNCR+오존 탈질’ 공법 공정도>



<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

오존 탈질공법에서 발생하는 주요 화학반응은 다음과 같다.

- (1)  $NO + O_3 \square NO_2 + O_2$
- (2)  $NO_2 + O_3 \square NO_3 + O_2$
- (3)  $NO_2 + NO_3 \square N_2O_5$

오존 탈질공법 처리 후, 생성된 질산(HNO3)은 습식 탈황탑에서 수산화나트륨(NaOH) 용액을 흡수하여 질소산화물을 최종적으로 제거하며, 그 화학반응은 다음과 같다.

- (4)  $N_2O_5 + H_2O \square 2HNO_3$
- (5)  $HNO_3 + NaOH \square NaNO_3 + H_2O$

질소산화물은 일산화탄소(CO), 황산화물(SOx) 등 기타 오염물질에 비해 오존이 빨리 산화되어 높은 선택성을 가진다. 연기에 있는 질소산화물은 수용액에 용해되어 이온 화합물로 변화기 때문에 산화반응이 더욱 완전해진다. 이에 2차 오염 없이 질소산화물을 제거할 수 있다. 또한 기존의 연구결과는 100~150°C 온도 조건에서 질소산화물 처리효율은 90% 이상, ‘SNCR+오존 탈질’ 결합 공법의 탈질효율은 95% 이상으로 나타났다.

‘SNCR+오존 탈질’ 공법을 개조하기 위해서는 액체 산소시스템(液氧系统), 오존 발생시스템(臭氧发生系统), 냉각수순환시스템(冷却循环水系统), 질소가스 충전시스템(氮气补加系统), 오존 운송·분포 시스템(臭氧输送分布系统), 세척·흡수시스템(洗涤吸收系统), 분석 계량기(分析仪表), 전기시스템(电气系统) 등 오존 탈질설비를 새로 설치해야 한다. 특히, 오존 발생기가 작동되면 많은 열을 발생시키지만 그 연기온도는 반드시 30°C 미만으로 해야 하기 때문에 냉각수순환시스템 설치가 반드시 필요하다.

## ▶ 두 기술의 경제성 분석

앞서 ‘SNCR+저온 SCR’, ‘SNCR+오존 탈질’ 두 가지 기술을 소개하였으며, 이에 각각의 개조 내용, 탈질효율, 투자비용 등은 다음과 같다.

<표2. 각 기술별 경제성 효과>

구분	‘SNCR+저온 SCR’	‘SNCR+오존 탈질’
개조내용	SCR 탈질공법 설치, 암모니아수 저장·운송파이프 라인, 연소기, 연료 운송시스템 등	액체 산소시스템, 오존 발생시스템, 냉각수순환시스템, 질소가스 충전시스템, 오존 운송·분포시스템, 세척·흡수시스템, 분석 계량기, 전기시스템 등
탈질효율(%)	90~95	95 이상
개조후 배출농도(mg/m <sup>3</sup> )	30~60	30
2차 탈질 반응온도(°C)	180~250	100~150
운영비용(만 위안/톤)	114	108
총투자비용(만 위안)	500	380

<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

위 표에서 알 수 있듯이, 두 결합공법 모두 탈질효율은 90% 이상으로 나타났으며, 배출농도 역시 산둥성 지방정부 배출표준(<100mg/m<sup>3</sup>>)에도 부합하는 것을 확인할 수 있다. 또한 총 투자비용은 각각 ‘SNCR+저온 SCR’ 500만 위안(약 8.5억 원), ‘SNCR+오존’ 탈질공법 380만 위안(약 6.4억 원)으로 나타났다.

## ▶ 시사점

‘SNCR+저온 SCR’, ‘SNCR+오존 탈질’ 두 가지 결합된 기술을 위험폐기물 소각처리에 적용하였을 때, 모두 산둥성 지방정부의 배출표준 요구에 부합하는 것을 확인할 수 있지만, 연기의 배출표준 농도 제어는 오존 탈질공법이 더욱 효과적이다. 특히 각 공법의 개조 난이도, 기술 성숙도로 세분화하면 다음과 같다.

**(개조 난이도)** SCR로 개조하면, 연기 처리 시스템 등 개조범위가 커진다. 반면에, 오존 탈질 공법은 기존의 연기처리 시스템은 개조가 거의 없이 진행되기 때문에 위험폐기물 소각 운영에 큰 영향을 미치지 않는다. 특히 개조비용과 운영비용을 비교해보면, ‘오존 탈질’은 ‘저온 SCR’을 결합 기술 대비 더욱 큰 이점을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다.

**(기술 성숙도)** 현재 저온 SCR은 이미 발전소, 시멘트 가마에 적용되고 있다. 또한 연기가열기 후에 SCR 설비 설치하면 탈질촉매에 대한 막힘 현상과 독성물질 발생량을 크게 저하시킬 수 있다. 반면에 오존 탈질공법은 최근에 점차 연기 탈질 처리 분야에 적용되고 있는 상황이다.

이를 종합적으로 고려해보면, 향후 중국의 위험폐기물 소각 처리는 ‘SNCR+오존 탈질’이 ‘SNCR+저온 SCR’을 대체하여 연기 탈질 처리에 적용되는 응용범위가 확대될 것으로 전망된다.

<환율적용 : 2020.10.26., 네이버 환율기준 1위안=한화 약 169.08원>

북극성대기망, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20201013/1109365.shtml>, 2020.10.27.접속



## 중국환경산업 주간기술동향

발행

2020년 10월 27일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승(cms0522@keiti.re.kr)

자료제작

▷ 김종균(jaykim@keiti.re.kr)

국민과 함께  
미래를 여는  
글로벌 환경전문기관

중국환경산업 주간기술동향은 매주 화요일 발행됩니다.

문의 : +86-10-8591-0997~8