

대기오염방지

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

SCR 탈질설비의 촉매제 개조 사례 소개

▶ 개요

일반적으로 발전소에서 사용하는 SCR 탈질설비의 촉매제는 사용 과정에서 화학적 성질에 따라 그 수명이 결정된다. 특히 촉매제를 장기간 동안 사용하게 되면 촉매제 표면에 이물질이 쌓여 품질과 탈질효율에 영향을 미치게 된다. 그래서 촉매제의 탈질효율을 보장하기 위해 반응기에 촉매제를 추가하거나 신규 촉매제로 교체하는 방법이 있는데, 이는 비용확대와 더불어 송풍기의 에너지 소모를 증가 시키게 된다. 따라서, 촉매제 재생(catalyst regeberation, 催化剂再生)¹⁾을 통해 기존 촉매제의 탈질효율을 높이고 송풍기의 에너지 소모도 절약할 수 있는 방법을 적용한 경능장산발전소(京能漳山电厂, 이하 ‘장산발전’)의 촉매제 개조 사례로 분석하고자 한다.

‘장산발전’은 #4발전세트에 설치된 SCR 탈질설비의 촉매제 성능을 검사하였고, 이를 통해 현재 설비의 탈질효율이 감소한 것을 확인하였다. 그 원인은 촉매제 내부의 미세구멍(微孔)과 표면에 황산칼슘 등 이물질로 막혀 탈질효율이 떨어지는 원인을 알 수 있었다. 이에 ‘장산발전’은 초기비용을 낮추고, 기존 촉매제의 활성 상실(deactivation, 失活)²⁾로 인해 발생하는 탈질효율 저하 문제를 해결하기 위해 촉매제 재생(催化剂再生) 작업을 실시하였다. 따라서 압력 사류(射流)³⁾를 통한 세척과 회전·초음파 등 화학적 세척으로 막혀 있는 이물질을 제거하고, 고온 건조를 통해 촉매제의 탈질효율 및 성능을 향상 시켰다.

이러한 사실을 바탕으로 본 기술동향은 ‘장산발전’에서 진행한 촉매제 재생 개조를 통해 신규 촉매제 교체에 비해 어떠한 경제적 효과가 있는지도 살펴보고자 한다.

▶ ‘장산발전’의 촉매제 사용 현황

1) (설비현황) ‘장산발전’ #4발전세트의 초기에 설치된 SCR 탈질설비는 탈질효율 90%, 암모니아 슬립(ammonia slip, 逃逸氨质量浓度)⁴⁾ 3ppm⁵⁾ 이하로 제어할 수 있도록 설계되었다. 동 SCR 탈질설비는 촉매반응기, 탈질공급시스템(脱硝供应系统) 등을 포함하고 있으며, 탈질설비의 공정원리는 다음과 같다. 연기 온도 280~420℃ 구간에서 암모니아 기체를 투여하면, 질소 산화물이 촉매 반응(catalysis, 催化剂作用)⁶⁾을 통해 선택적 화학반응으로 질소와 물로 전환되어 연기의 오염물질을 감소시킨다.

- 1) 촉매제 재생(catalyst regeberation, 催化剂再生) : 이미 촉매작용의 효율이 떨어진 촉매제의 효율을 회복시키는 과정이다. 재생과정은 촉매제의 전체 구조를 분해·해체하지 않고 단지 촉매제의 효율을 감소시키는 요소를 적절한 방법으로 제거하여 효율을 향상시키는 방법이다.(바이두 백과 발췌·번역, 2020.9.4.)
- 2) 활성 상실(deactivation, 失活) : 활성화 상태를 잃게 되는 현상. 물질이 물리적, 화학적 불문하고 어떤 변화를 하거나, 어떤 기능을 하는 경우에는 일정 이상의 에너지를 필요로 한다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.8.)
- 3) 사류(射流) : 미세구멍으로 뿜어져 나오는 유체이다.(네이버 국어사전 발췌, 2020.9.4.)
- 4) 암모니아 슬립(ammonia slip, 逃逸氨质量浓度) : SCR 공정에서 가장 중요한 점은 반응온도이며, 이때 반응이 잘 일어나는 온도범위를 벗어나거나 질소산화물과 정량적으로 반응하는 암모니아 양보다 많은 양의 암모니아를 주입하게 되면 반응에 참여하지 않은 암모니아가 배기가스로 배출하는 현상이다.(바이두 백과 등 내용정리, 2020.9.7.)
- 5) ppm(parts per million) : 물질의 농도나 성분비율을 백만분의 1로 나타내는 단위로 1ppm은 0.0001%이다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.8.)
- 6) 촉매 반응(catalysis, 催化剂作用) : 촉매의 작용으로 일어나는 반응. 반응에 관여하지 않는 것처럼 보이는 아주 적은 양의 물질에 의하여 반응 속도가 두드러지게 증가되거나 감소된다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.8.)

2) (촉매제 성능분석) ‘장산발전’은 SCR 탈질설비의 촉매제 성능을 분석하였다. 그 결과 기존 촉매제는 장시간 사용과 더불어 설비가 실외에 방치되어 있어 탈질효율이 65% 미만으로 크게 감소한 것으로 나타났고, 이는 배출표준 규정에도 부합하지 않는 것으로 나타났다. 주요 원인으로서는 설비가 정상 운행하는 과정에서 공기에열기의 차압(差压)에 의해서 발생하였다.

또한 SCR 탈질설비의 암모니아 분사량 역시 99.62m³/h(시간)로 비교적 높게 나타났다. 암모니아 분사량은 기타 공정에 미치는 영향은 없지만, 촉매제 활성(catalytic activity, 催化剂活性)을 감소시켜 공기에열기의 차압이 커지게 된다. 공기에열기의 차압이 상승하게 되면, 설비의 운행과정에서 촉매제 활성이 정상범위를 벗어나게 하며, 이는 탈질설비의 심각한 효율 저하를 초래하게 된다.

촉매제 활성이 점차 감소하면, 설비의 운행과정에서 부하가 증가되기 때문에 이를 해결하기 위해서는 설비 교체 등을 진행해야 하며, 이는 원가상승으로 이어지게 된다. 또한 설비를 교체하게 되면, 송풍기의 에너지 소모량이 커지면서 발전세트의 정상운행에 영향을 미치기 때문에 ‘장산발전’은 촉매제 재생(催化剂再生, p.1, 각주1 참고) 기술을 통해 저하된 기존 촉매제의 탈질효율을 증가시키고자 하였다.

▶ SCR 탈질설비의 촉매제 재생 방법 및 개조효과

1) (촉매제 재생 방법) 촉매제 활성 상실(失活, p.1, 각주2 참고)이 된 원인을 분석하기 위해 기존 촉매제의 샘플링을 통해 탈질효율, 촉매제 활성 정도 등을 확인하였다. 기존 촉매제가 활성 상실이 된 구체적인 원인은 설비가 장시간 운행되면서, 촉매제 표면의 미세구멍에 황산칼슘 등 이물질이 쌓였기 때문이다. 따라서 이를 제거하기 위해서는 전문적인 사류(射流, p.1, 각주3 참고)을 통해 세척하기 때문에 그 사류의 압력을 제어할 수 있어야 한다.

① (촉매제 세척 방법) 전해수(electro-analysed water, 离子水)⁸⁾ 제거를 위한 세척은 주로 설비의 부압(negative pressure, 负压)⁹⁾으로 인해 집진설비에서 발생된 분진을 제거하기 위한 것이다. 이를 위해 우선 화학약품을 첨가하여, 촉매제의 표면에 있는 이물질을 화학적 세척한 후, 추가적인 초음파 세척을 실시해야 한다. 특히, 황산칼슘 등 알칼리성 금속물질은 화학적 특성에 따라 전용 중성 세척제를 이용하여 알칼리성 금속물질에 흡착시켜 오염물질을 제거하는데, 제거효과를 높이기 위해 바로 초음파를 이용한 기술을 이용하는 것이다. 이는 촉매제 표면에 쌓여 있는 주요 물질인 황산칼슘 등 알칼리성 금속을 제거할 수 있기 때문에 세척과정에서 가장 중요한 과정 중 하나이다.

7) 촉매제 활성(catalytic activity, 催化剂活性) : 촉매작용의 강도. 특정한 촉매반응에 대해 일정 온도에서 반응물질의 농도 또는 압력에 관계없이 되도록 정의할 필요가 있으며 보통 단위 종량당의 반응속도 상수로 표시된다. 단위 표면적, 단위 용적 혹은 활성을 표시하는 자리당으로 표현하는 경우도 있다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.7.)

8) 전해수(electro-analysed water, 离子水) : 수돗물이나 지하수 등의 일반적인 물에 전기적인 힘을 가해서 얻어지는 물로, 산성이온수와 알칼리이온수가 있다. 이온수라고도 한다. 물에 양극과 음극의 백금도금을 한 티탄을 넣어 직류의 전기를 통하면, (+)극 쪽에는 물에 녹아 있는 음이온이 모이게 되어 산성이온수가 되고, (-)극 쪽에는 양이온이 모여 알칼리이온수가 생긴다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.7.)

9) 부압(negative pressure, 负压) : 물체의 표면에 물체를 흡인하는 방향으로 가해지는 수직력. 흡인력이라고도 한다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.7.)

촉매제의 표면은 여러 세척방법(화학적 세척, 초음파 세척 등)을 통해 이미 청결해진 상태이지만, 세척과정에서 일부 촉매제 활성(催化劑活性, p.2, 각주7 참고) 물질의 성능 저하를 초래할 수 있기 때문에 촉매제 전용 재생제(regenerant, 再生液)¹⁰⁾을 투여하여 촉매제의 표면에 산화 보조제(氧化助劑)와 기타 촉매제 활성 성분이 균일하게 퍼지도록 해야 한다. 또 세척된 촉매제는 고온에서 건조시켜 그 수명을 연장시키도록 한다.

<표1. 촉매제 재생 개조방법>

구분	요약
촉매제 성능저하 원인	· 장기간 설비 사용으로 인한 촉매제 표면에 황산칼슘 등 알칼리성 금속인 이물질 축적
해결방법	· 화학적·초음파 세척 등을 통해 기존 촉매제 표면에 있는 이물질을 제거함 · 각 방식으로 세척 후 고온에서 건조하여 촉매제의 수명을 연장시킴

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

- ② (촉매제 세척과정) SCR 탈질설비의 촉매제 개조과정에서 진행되는 세척방법(전해수 제거 세척, 화학적 세척 등)은 독립된 세척펌프장에서 진행해야 한다. 우선적으로 전해수 제거 세척을 약 1~2시간 진행하고, 그 후 화학적 방법으로 약 1시간 동안 세척한다. 촉매제 활성을 위한 세척은 2~4시간 정도이며, 마지막으로 건조시간 역시 2~4시간 소요된다. [표2 참고]
- ③ (촉매제 개조 공정기간) 일반적으로 촉매제의 생산량은 하루 평균 20~25m³이다. 따라서 본 설비의 촉매제 크기는 626m³이므로, 개조를 위해 약 30일이 소요되었고, 촉매제 교체기간 약 10일을 포함해 총 공정기간은 약 40일 정도 소요된 것으로 나타났다. [표3 참고]

<표2. 촉매제 세척을 위한 소요시간>

구분	소요시간(h)
전해수 세척	1~2
화학적 세척	1
활성화 단계	2~4
건조 단계	2~4

<표3. 촉매제 개조를 작업을 위한 공정기간>

구분	매개변수
촉매제 생산량(m ³ /일)	20~25
촉매제 규격(m ³)	626
촉매제 개조기간(일)	30
총 공정기간(일)	40

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

- ④ (폐수처리 방법) SCR 탈질설비의 촉매제 재생은 환경보호 요구를 고려해야 하며, 모든 촉매제 재생 과정에서 발생하는 활성액체(活性液) 폐수는 일괄적으로 회수해야 한다. 이때, 회수된 폐수의 성분은 주로 플라이 애시(fly ash, 粉煤灰)¹¹⁾이기 때문에 중금속을 이용한 포집(scavenging, 捕集)¹²⁾과 침전을 통해 처리해야 한다. 이때, 폐수는 산액(酸液)을 통해 pH 값을 조절하면서 포집제를 첨가한다. 초기 침전이 완료되면, 응집제(絮凝劑)를 추가적으로 투여하여 중금속을 침전시켜 플라이 애시(fly ash)의 제거율을 높이도록 한다.

10) 재생제(regenerant, 再生液) : 일반적으로 이온 교환 수지의 재생에 사용하는 약제를 말한다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.7.)
 11) 플라이 애시(fly ash, 粉煤灰) : 화력 발전소 따위에서 미분탄(微粉炭)을 연소시킬 때 발생하는 폐가스 가운데에 포함된 석탄재이다. (네이버 국어사전 발췌, 2020.9.7.)
 12) 포집(scavenging, 捕集) : 방사선 화학반응에서는 이온·라디칼·전자 등 반응성이 높은 활성종이 방사선에 의하여 동시에 계 중에서 많이 생성되는데 이 중에서 어떤 특정한 화학종과 특히 반응성이 높은 물질을 소량 가하여 다른 것에는 큰 영향을 주지 않고 반응에 의하여 이 화학종을 계에서 제거하는 것을 말한다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.7.)

2) (촉매제 개조효과) 신규 촉매제와 재생 촉매제의 탈질에 대한 활성 정도를 비교하였다. 그 결과, 재생 촉매제의 활성 정도는 신규 촉매제와 거의 일치한 것으로 나타났으며, 또한 촉매제 활성 상실(失活, p.1, 각주2 참고)에 비해 정도 활성 정도가 약 20% 증가하였다. 이는 촉매제 표면에 형성된 황산염으로 인해 촉매제에 대한 활성이 높게 나타났다.

▶ 재생 촉매제 개조를 통한 경제성 분석

‘장산발전’은 #4발전세트의 촉매제를 개조하여, 기존 촉매제 표면에 있는 이물질, 유독물질 등을 제거하였다. 만약 동 발전소에서 SCR 탈질설비에서 신규 촉매제로 교체하였을 경우를 고려해 보자. 일반적으로 촉매제 단층(单层) 당 가격이 약 3.2만 위안(한화 약 556만원)/m³, 촉매제 규격이 313m³인 본 설비에 적용하면 총 1,002만 위안(한화 약 17.4억원)의 지출이 예상되었지만, 촉매제 재생(催化剂再生, p.1, 각주1 참고) 개조로 401만(한화 약 7억원)의 비용을 절약할 수 있었다.

또한 촉매제 개조로 송풍기의 에너지 소모는 231kW 절약하였고, 연기 저항에 대한 압력은 230Pa 증가한 것으로 확인되었다. 아울러, 촉매제 재생 개조를 통해 기존 촉매제의 사용수명이 2.4만 시간까지 늘어났고, 이를 통해 송풍기에서 절약된 에너지 소모 비용은 213만 위안(한화 약 3.7억원)으로 나타났다. 따라서 ‘장산발전’은 촉매제 재생 개조를 통해 탈질설비의 효율감소 문제뿐 아니라 비용절감을 통해 경제적으로 큰 효과를 본 것으로 나타났다.

<표4. 촉매제 재생의 경제성 분석>

<표5. 촉매제 재생으로 인한 에너지 절약>

구분	금액(한화 억원)	구분	매개변수
신규 촉매제 교체비용	17.4	송풍기 에너지 절약(kW)	-231
촉매제 재생 교체비용	10.4	송풍기의 연기저항 압력(Pa)	230
촉매제 개조를 통한 총 절감비용	7	송풍기 에너지 소모 절약(한화 억원)	3.7

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

▶ 시사점

‘장산발전’의 4#발전세트에 설치된 탈질설비의 촉매제는 사용기간이 오래되어 탈질효율이 감소하는 문제가 발생하였다. 이는 촉매제 표면에 황산칼슘 등 알칼리성 금속물질이 흡착되어 탈질 효율을 저하시키는 것으로 나타났다. 이에 동 발전소는 기존 촉매제를 신규 촉매제로 교체가 아닌 재생 촉매제로 교체를 진행하였다. 개조방식은 기존 촉매제를 초음파 세척, 화학적 세척 등을 통해 촉매제 표면에 흡착된 이물질을 제거하고, 촉매제 성능 요구에도 부합하도록 하였다. 또한, 촉매제 재생 개조는 신규 촉매제로 교체하는 것에 비해 전체적으로 401만 위안(한화 약 7억원)의 비용을 절약하였고, 그 성능 역시 신규 촉매제와 유사한 것으로 나타났다.

따라서, 향후 SCR 탈질설비의 촉매제 교체를 진행할 경우, 촉매제 재생 개조를 통해 송풍기의 에너지 소모와 교체비용 절감 등 경제적 효과를 확보할 수 있을 것으로 전망된다.

<환율적용 : 2020.9.7. 네이버 환율기준, 1위안=한화 약 173.83원>

북극성대기망, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20200818/1098004.shtml>, 2020.9.8.접속



중국환경산업 주간기술동향

발행

2020년 9월 8일 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