

수처리

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

오존산화+개량 AO 공정을 이용한 공업단지 폐수처리 개조사례

▶ 개요

중국은 최근 몇 년 동안 대규모의 자금을 투입하여 공업단지 내 폐수처리장을 건설하였고 이를 통해 수환경 시스템을 보호하는데 많은 성과를 거두고 있다.

하지만 공업단지에서 발생하는 공업 폐수는 발생량이 많고 수질의 특성이 복잡하기 때문에 전통적인 폐수처리 방식으로 처리할 경우, 규정된 폐수처리 요구사항을 만족하기 쉽지 않아 실제 폐수의 수질에 따라 공업 폐수처리장을 개조하여 처리효과를 향상시켜야 한다.

기존 공업단지 폐수처리장에 설치된 A/O 공정은 폐수처리에 제한이 있다. 따라서 개량 A/O 공정을 통해 폭기조의 바닥 면적은 늘리고, 오존촉매산화 주기에 맞춰 난분해물질(难降解物质)¹⁾을 빠르게 변화시킬 수 있다. 이로 인해 생화학적성을 높임과 동시에 생물에 있는 독성을 낮출 수 있는 특징이 있다.

따라서 본 기술동향은 ‘오존산화(臭氧氧化)+개량 A/O’ 공정을 결합하여 공업단지의 폐수처리장을 개조한 사례로, 개조 후 유출수의 수질에 어떠한 변화가 있는지 알아보려고 한다.

▶ 프로젝트 현황

본 프로젝트는 장수시(樟樹市) 연화(演化) 공업단지에 위치한 폐수처리장이며, 공정규모는 3,000m³/일이며 (향후 6,000m³/일 규모까지 확대 추진 중), 프로젝트 총액은 17,664.57만 위안(약 306.4억 원)으로 책정되었다.

주요 공정내용은 ‘오존산화+개량 A/O’ 공정으로 개조이다. 우선 오존산화 공정을 통해 폐수 중에 있는 난분해물질의 성질을 변화시켜 폐수의 생분해성(污水可生化性, Biodegradability of sewage)²⁾ 향상과 생물의 독성을 감소시키는 것이며, 그 후 개량 A/O 생화학조를 통해 유기물을 분해하여 질소 제거의 요구사항을 달성하는 것이다.

▶ 수질 및 수량 배출요구

폐수처리장은 화학공업단지 내에 위치하고 있어, 개조 공정을 진행하기 전(前) 먼저 폐수의 수량, 수질, 배출 요구사항을 우선적으로 확인한 후 개조를 진행해야 한다. 폐수의 수질을 검측한 결과, 폐수처리장의 유입수 pH값 6~7이며, 산성 성분이 약간 많은 것으로 나타났고 기타 오염물질은 다음과 같다. [p.2, 표 1 참고]

1) 난분해물질(难降解物质) : 보통 자연조건에서 생물의 작용에 의해 점차 분해되는 유기화합물을 뜻한다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.2.8.검색)
2) 폐수의 생분해성(污水可生化性, Biodegradability of sewage) : 폐수의 생물분해성을 뜻한다. 보편적으로 BOD5/COD 지표를 사용하지만 BOD5/TOC(총유기탄소량, 환경 위해 인자의 위해성을 평가하는 절차와 방법에서 용존성 유기 탄소량과 입자성 유기 탄소의 합) 지표를 적용할 때도 있다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.2.8.검색)

표 1. 폐수처리장 유입수 수질

구분	배출농도	구분	배출농도
pH값	6~7	NH3-N(mg/l)	≤35
CODcr(3)mg/l)	≤500	인산염4)(mg/l)	≤8
SS(mg/l)	≤400	Cr(mg/l)	≤2,000

자료출처 : 북극성수처리망 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 작성

폐수처리장은 <오수종합배출표준(污水综合排放标准)> 2급과 <도농 오수처리장 오염물질 배출표준(城镇污水处理厂污染物排放标准)> 1급 B표준에 부합하기 위해 펜톤처리(芬顿反应, fenton treatment)⁵⁾ 산화 3차 처리 설비세트 추가하였고 이에 따른 오염물질의 배출농도는 다음과 같다.

표 2. 규정된 유출수의 주요 오염물질 배출표준

구분	배출농도	구분	배출농도
CODcr(mg/l)	≤60	NH3-N(mg/l)	≤15
SS(mg/l)	≤20	인산염(mg/l)	≤1

자료출처 : 북극성수처리망 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 작성

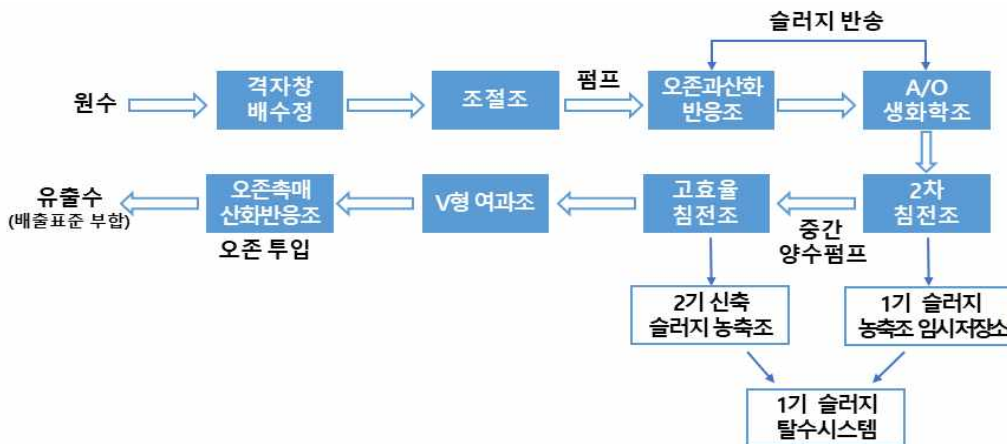
이처럼 폐수처리장의 개조 공정은 유출수 수질에 대한 배출표준이 분명하게 명시되어 있어 폐수가 배출되는 실제 상황 맞게 유기적으로 설계해야만 배출표준을 만족할 수 있다.

이를 위해 다양한 공법을 적용하여 전체적인 공정을 최적화하고 하였다. 특히 오존산화 원리를 이용하여 난분해물질을 처리하고, 개량 A/O 생화학조를 적용하여 유기물, 탈질, 부유물-여과(浮濾) 일체화 공정을 통해 부유물을 제거할 수 있다. 이로 인해 후속 공정인 오존산화에 반응하기 좋은 환경을 만들어 유출수의 수질을 향상시키도록 한다.

▶ 공정과정

동 폐수처리장의 공정과정은 다음과 같다.

그림 1. 폐수처리 공정과정



자료 : 북극성수처리망 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 작성

3) CODcr : 중크롬산칼륨(K2Cr2O7)을 산화제로 사용하여 측정한 화학적 산소 소비량, 즉 중크롬산염 수치이다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.2.22.검색)
 4) 인산염(磷酸盐, phosphate) : 인산의 염으로서 무기화합물이다. 여기에서 농업과 공업에서 사용되는 인을 얻을 수 있다. 인산의 종류에 따라 오쏘인산염, 메타인산염, 이인산염, 삼인산염 등 여러 가지가 있으나, 보통은 오쏘인산염(정인산염)을 가리킨다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.8.검색)
 5) 펜톤처리(芬顿反应, fenton treatment) : 폐수나 폐수에 과산화수소와 2가의 철염의 펜톤시약의 혼합용액을 사용하여 발생하는 OH기의 산화력으로 유기물을 처리하는 방법이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.22.검색)

우선 폐수처리장에서 수집된 원수는 간격이 좁은 격자창(细格栅)으로 보내져 비교적 큰 입자상 물질, 장섬유(长纤维, long fiber)⁶⁾ 부유물 등을 제거하면서 후속 처리단계로 보내진다. 격자창은 약 60~80°C로 약간 기울어진 평행 구조이며, 고액분리(固液分离)가 가능한 보조 설비이다. 또한 균일한 폐수를 공급하기 위해 배수정(配水井, distributing well)⁷⁾을 설치하였다.

조절조는 주로 폐수의 유량을 조절하며, 유량 변화를 통해 폐수처리장에 미치는 악영향을 줄일 수 있다. 일반적으로 조절조는 간격이 좁은 격자창 다음에 설치된다. 이는 고액분리된 폐수가 조절조로 들어가 일정하게 혼합되면서 후속 처리단계에서 필요한 수량(水量)을 공급하기 위함이다.

오존 과산화(预氧化, peroxidation)⁸⁾ 반응조는 기단(基团, group)⁹⁾ 분해를 통해 난분해물질의 구조를 파괴하면서 폐수가 더욱 강한 생화학적(生化性) 성질을 갖도록 한다. 또한 산화반응으로 분자가 긴 형태의 물질로 전환되며, 분해 후 소분자(小分子) 물질로 생성되면서 생물에 있는 독성물질을 감소시킨다.

오존산화처리법의 특징에 따라 오존 과산화 반응조를 생화학 전처리 단계에 사용하며, 이는 오존 반응조에 폐수가 들어가 전체적으로 생화학적성을 높일 수 있다. 아울러 이 과정에서 슬러지가 생성되기 때문에 중간 침전조를 설치해야 한다.

이번 공정은 개량 A/O 생화학조를 이용하여 폐수가 생화학조로 유입된 후 유기물을 이산화탄소와 물로 변환하는 동시에 환류된 혼합액은 탈질화(反硝化) 반응을 일으켜 폐수에 있는 질소 산화물을 환원시킨다.

이때 개량 A/O 공정은 기존에 사용한 생화학조를 이용한다. 일반적으로 고체 상태인 미생물은 시스템에서 보통 50~100일 정도 머무르지만, 시스템 내 체류기간을 늘리면 성장기간이 늘어나 미생물의 수가 증가하여 슬러지 발생률을 더욱 감소시킬 수 있다.

보통 개량 A/O조는 혐기성조와 호기성조를 결합하여 건설되며, 중간지점에 칸막이를 설치하면 폭기조 또한 개조가 가능하다. 폭기조의 용적을 증가시키면 유기물질부하(有机负荷, organic loading rate)¹⁰⁾를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 특히 개량 A/O조는 기존 A/O조 대비 폭기의 강도를 향상시킬 수 있으며, 이로 인해 제거율은 85% 이상으로 높게 나타나기 때문에 개량 A/O조는 생화학처리 단계에 설치해야 한다.

폐수가 생화학처리를 마치면 2차 침전조로 들어가 진흙과 폐수를 분리 처리하고 이 과정에서 일정량의 SS 및 COD를 제거하게 된다.

6) 장섬유(长纤维, long fiber) : 견(絹)과 같이 가늘고 길게 연속된 매우 긴 섬유로서 천연섬유인 생사가 대표적인 장섬유이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.22.검색)

7) 배수정(配水井, distributing well) : 시정(市政) 급수에서 원수를 분리하는 것이다. 일반적으로 침사조와 생물처리시스템 사이에 설치된다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.2.22.검색)

8) 과산화(预氧化, peroxidation) : 표준적인 산소 화합물보다 많은 산소를 가지고 있음을 나타내는 말. 산소의 작용으로 과산화물이 생성되는 것으로, 특히 불포화 지방산의 자동 산화에서 생긴다. 비타민 E(E)는 지방질의 과산화를 막는다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.22.검색)

9) 기단(基团, group) : 유기물은 하나의 원자나 원자 덩어리를 잃은 후 남는 부분이다. / 출처 : 바이두 백과 발췌(2021.2.22.검색)

10) 유기물질부하(有机负荷, organic loading rate) : 폐수 등의 정화처리용기계·장치로 걸러지는 유기물질의 부하정도. 활성오니법, 살수 여상법 등의 호기적 처리에서는 BOD부하를 의미한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.22.검색)

2차 침전조는 주로 연속회분식반응기(SeguencingBatchReactor, SBR) 과정에서 효과가 나타난다. 폭기과 교반이 끝난 후 활성슬러지는 중력에 의해 점차 아래쪽으로 가라앉고 슬러지를 침전시키고 남은 액체는 침전조의 상단부에 위치하게 된다. 이때 슬러지의 침전은 기본적으로 정지 상태이다. 또한 외부의 충격이나 조건이 없이 빠른 속도로 가라앉게 되며 침전효율이 비교적 높은 것이 특징이다.

A/O조에서 폐수는 먼저 혐기성조와 호기성조로 차례로 들어가고 2차 침전조를 거치기 때문에 슬러지가 일부 생성된다. 폐수가 2차 침전조에서 슬러지와 맑은 액체를 분리할 수 있고, 유출수가 조절조로 들어가 일정시간 머무르거나 후속 단계인 3차 처리를 진행하게 된다. 폐수처리 공정이 정상적으로 작동하여 유출수의 수질이 안정적으로 배출되도록 보장해야 한다.

오존촉매산화 반응조(臭氧催化氧化反应池)는 주로 ‘오존+산화촉매제’ 기술을 이용하여 오존과 유기물질을 충분히 반응시켜 고상(固相, solid phase)¹¹⁾ 촉매제의 효율을 향상시킨다. 또한 오존 촉매제는 하이드록실 라디칼(羟基自由基, Hydroxyl radical)¹²⁾을 자극하여 강한 산성인 환경에서 유기물질을 쉽게 이산화탄소와 수자원으로 분해·산화되어 COD의 배출표준에 부합하게 된다.

▶ 처리효과

동 사례는 폐수처리장의 복잡한 수질의 특징으로 인해 ‘조절조(调节池)+오존 과산화(臭氧预氧化)+개량 A/O+2차 침전조+고효율 침전조+V형 여과조+오존촉매산화법(臭氧催化氧化)’을 적용하였다.

개조 후 유출수의 수질 검사 결과 암모니아성 질소 5mg/ℓ 미만, 총인(TP) 0.5mg/ℓ 미만, 슬러지 함수율 60% 이하로 나타났으며, 약취 배출농도는 <도농폐수처리장 오염물질 배출표준> 1급 A등급에 부합하였다. 아울러 탈질과 인을 제거할 때에도 유기물질을 효과적으로 분해하여 폐수처리 효과가 크게 향상되었다.

▶ 시사점

‘오존산화+A/O’공정을 결합하여 난분해물질을 효과적으로 처리할 수 있는 장점이 있다. 또한 폐수처리의 요구에 따라 많은 구조물(격자창, 조절조, A/O조, 2차 침전조, 오존 촉매 산화반응조 등)을 설치하였고, 전처리 단계(오존과산화법), 생화학처리 단계(개량 A/O조), 3차 처리(산화촉매법) 각 단계 별로 다른 공법을 적용하여 폐수처리 효과를 향상시켰다. 특히 오존을 이용하기 때문에 소독과 멸균 효과가 우수하기 때문에 다른 약품을 추가로 첨가할 필요가 없는 특징이 있다.

따라서 향후 폐수처리장 개조에서 오존을 이용한 공정은 안정적인 유출수의 수질을 보장하면서 중국 정부에서 규정한 배출표준에도 도달할 수 있기 때문에 응용범위가 확대될 것으로 전망된다.

출처 : 북극성수처리망(2021.1.22.발표), <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20210122/1131707.shtml>, 2021.2.23.접속

※ 기술용어 번역·해석이 일부 상이할 수 있으니 반드시 중문본을 확인하시기 바랍니다.

11) 고상(固相, solid phase) : 토양의 고체 부분을 말하는데, 이는 미생물과 동식물의 유체 등의 유기물과 무기물로 구성되어 있다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.22.검색)

12) 하이드록실 라디칼(羟基自由基, Hydroxyl radical) : 활성효소의 일종. 1가구리, 2가철 등 전이금속이온 존재하에서 과산화수소가 분해하여 하이드록실이온과 하이드록실라디칼이 생긴다. 지질, 핵산 등의 유기물질로부터 10⁸M⁻¹. sec⁻¹를 상회하는 속도상수로 수소원자를 뽑아내어 산화적 분해의 시발인자(trigger)로 작용한다. 수명은 나노초로 짧고, 표적분자 근처에 하이드록실라디칼이 생기지 않는 한은 라디칼반응은 진행하지 않는다. 만니톨, 에탄올, 히스티딘 등이 포착제(捕捉劑)로 작용한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.2.22.검색)



중국환경산업 주간기술동향

발행

2021년 2월 23일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승 연구원(cms0522@keiti.re.kr)

공동저자

▷ 윤영근 연구원(ygyin0919@keiti.re.kr)

▷ 김종균 연구원(jaykim@keiti.re.kr)

▷ 임승택 연구원(stlim@keiti.re.kr)

▷ 성소묘 연구원(miao2013@keiti.re.kr)

국민과 함께
미래를 여는
글로벌 환경전문기관

중국환경산업 주간기술동향은 매주 화요일 발행됩니다.

문의 : +86-10-8591-0997~8