

수처리

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

화학공업 폐수 처리기술(전처리·3차 처리) 소개

▶ 개요

화학공업 폐수는 음용수 등의 수자원뿐 아니라 수(水)생태계에도 영향을 미치며, 이는 수생생물의 생장을 억제하게 된다. 따라서 화학공업 폐수를 어떻게 효율적으로 처리하느냐가 중요한 화두이다. 이에 본 기술동향은 화학공업 폐수를 처리하기 위한 전처리와 3차 처리는 어떠한 방식이 있는 살펴보고자 한다.

▶ 화학공업 폐수 처리기술 - 전처리(pretreatment, 预处理)

전처리는 화학공업 폐수 처리의 첫 번째 단계로서, 여과작용을 이용한 ‘마이크로 전기분해(Micro-electrolysis, 微电解)’¹⁾와 ‘다상촉매산화처리기술(多相催化氧化处理技术)’ 등으로 분류할 수 있다.

1) 마이크로 전기분해(Micro-electrolysis, 微电解)

(기술원리) 주로 고염·고농도 유기물질 폐수 처리에 적용되고 있다. 특히 전기가 들어오지 않는 상태에도 마이크로 전기분해 설비에 충전된 충전재(填料)를 이용하여 1차 전지(primary cell, 原电池)²⁾와 같은 효과로 폐수를 처리하는 것이다.

1차 전지는 일반적으로 폐수가 설비 안으로 들어올 때, 수많은 전위(electric potential, 电位)³⁾를 형성하게 되며, 이때 전압은 1.2V인 상태이다. 또한 전해질(Electrolyte, 电解质)⁴⁾을 방전시켜, 전류를 형성한다. 이에 폐수는 전해산화(electrolytic oxidation, 电解氧化)⁵⁾ 및 환원 처리를 통해 유기 오염 물질을 분해한다.

동 기술을 적용하였을 때 염료나 화학공업 폐수는 BOD/COD 값이 대폭 증가하였고, 가축·제지 폐수에 대해서는 탈색효과뿐 아니라 암모니아성 질소, 불순물 제거에 효과적으로 나타났다.

(기술특징) 반응속도가 빨라 폐수를 분해하는데 시간이 짧고, 시스템 조작 방법이 간편하다. 또한 낮은 원가와 내구성이 강하며, 2차 오염을 유발하지 않는다.

(기술응용) 신형 촉매제를 이용한 충전재는 다원(多元)형 금속에서 여러 종류의 촉매제를 용합(熔合)⁶⁾하여 고온의 정련을 통해 일체화된 합금 형태를 형성하여 1차 전지의 효과를 지속적이고 효율적으로 유지하도록 보장하였다.

1) 마이크로 전기분해(Micro-electrolysis, 微电解) : 저압 직류 상태의 전기분해로 물속의 칼슘과 마그네슘 이온을 제거해 물의 경도를 떨어뜨리고 전기분해에 멸균·소독이 가능한 활성산소 자유기와 활성염소를 발생시킨다. 전극 표면의 흡착작용으로 세균을 죽일 수 있으며, 특히, 고염, 고COD, 난분해성 유기폐수 전처리에 적합하다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.3.2.검색)

2) 1차 전지(primary cell, 原电池) : 방전한 뒤 충전으로 본래의 상태로 되돌릴 수 없는 전지이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

3) 전위(electric potential, 电位) : 전기장 내 단위전하가 갖는 위치에너지를 뜻한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

4) 전해질(Electrolyte, 电解质) : 물 등의 용매에 녹아서 이온으로 해리되어 전류를 흐르게 하는 물질이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

5) 전해산화(electrolytic oxidation, 电解氧化) : 전해 시 양극에서 발생하는 산화반응이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

6) 용합(熔合) : 두 물질이 녹아서 한데 합쳐짐. 또는 녹여서 한데 합치는 것을 뜻한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

(신형 촉매제 구조) 마이크로 공경(micropore, 微孔)⁷⁾ 형태로 여러 구멍을 뚫어 폐수가 통과하는 표면적을 증가시키기 때문에 촉매 반응 효율이 높다. 또한 신형 촉매제는 반응과정에서 필요한 재료를 즉각 보충하기 때문에 시스템의 정상 작동을 보장한다.

(신형 촉매제 주입방식) 형태는 과립구형(颗粒球形)과 여러 공경으로 된 기둥형(多孔柱形) 등 다양하다. 이때 충전재에는 폐수처리를 위한 환원, 전착(electrodeposition, 电沉积)⁸⁾, 응집, 흡착, 공침(coprecipitation, 共沉淀)⁹⁾ 등 다기능이 포함되어 있어 반응속도가 빠르고 활성 성질이 강하기 때문에 설비를 장기간 안정적으로 사용이 가능하다.

2) 다상촉매산화처리기술(多相催化氧化处理技术)

주로 강산화제(强氧化剂)를 사용하여 공기 중의 오염물질을 산화시킨 후 유기물질을 제거하는 신형 공법으로 이는 농약·제약 폐수 처리에 뚜렷한 효과를 보인다.

▶ 화학공업 폐수 처리기술 - 3차 처리(tertiary treatment, 深度处理)¹⁰⁾

3차 처리는 일반적으로 전처리와 2차 처리(생화학적 처리 등)로 처리되지 않은 유기 오염물질을 추가적으로 제거하며 이때 유출수는 배출표준에 부합하여 배출된다. 특히 3차 처리는 ‘시스템 결합처리 공정’과 ‘생화학 처리공정’으로 크게 2가지로 분류된다.

1) 시스템 결합처리 공정(系统组合处理工艺)

(공정과정) ‘전처리+한외여과기(Ultra Filtration, UF)+역삼투(Reverse Osmosis, RO)/나노필터(Nano Filtration, NF)’와 ‘MBR+한외여과기/역삼투/나노필터’ 처리공정으로 분류된다.

(공정특징) 초여과 시스템을 이용하며, 고분자 재료로 제조된다. 따라서 하중 성능이 좋고 내구성이 강하다. 또한 시스템 조작이 간단하고 오수 분리 능력이 뛰어나 오염도가 낮으며, 유출수의 수질이 비교적 좋다. 이로 인해 다음 단계인 역삼투/나노필터 시스템의 정상적인 운영을 보장한다.

(역삼투/나노필터) 오염방지 설비인 역삼투막을 사용하기 때문에 수명이 길고, 염분, 유기물, 난분해성 유기물을 효과적으로 제거할 수 있다. 모든 공정에서 폐수를 처리하기 때문에 안정적인 유출수의 수질을 보장한다. 역삼투/나노필터의 특징은 간편한 조작, 저렴한 운영비용, 고효율 처리가 가능하다.

(MBR 공정) 막분리 기술과 바이오기술이 유기적으로 결합된 새로운 폐수처리 기술이다. 우선 폐수가 조절조에 유입되면 물리적인 과정을 거쳐 불순물을 걸러내고 남은 폐수는 반응조로 들어간다. 이때 오염물질의 특성에 따라 혐기성과 호기성에서 질소·인 제거한 후, 최종적으로 분해되지 않은 활성 슬러지와 대분자 불순물은 반응조에서 침전된다.

7) 마이크로 공경(micropore, 微孔) : 국제순수·응용화학협회(IUPAC)의 정의에 따라 지름 2nm이하인 구멍이며, 일반적으로 촉매제의 공경을 뜻한다. / 출처 : 바이두백과 번역(2021.3.2.검색)
8) 전착(electrodeposition, 电沉积) : 전기분해에 의해 전극 상에 물질을 형성하는 과정을 말한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)
9) 공침(coprecipitation, 共沉淀) : 용해도에 이르지 않은 다른 물질·이온이 함께 침전하는 현상이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)
10) 3차 처리(tertiary treatment, 深度处理) : 3차처리라3차 하며, 하수 처리에서 2차 처리(생물 처리)로 제거하지 못한 미세한 부유 물질, 난분해성 물질, 질소, 인 등의 영양 염류, 착색 물질 등을 제거하기 위한 처리법이다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

침전된 후 남아있는 상단부의 액체를 생화학 반응시켜 물을 분리하기 때문에 2차 침전조를 사용할 필요가 없다. 아울러 MBR은 폐수 처리효율이 높아 유출수의 수질이 안정적으로 배출하도록 보장한다. MBR은 시스템 조작과 절차가 간단하고 처리시간이 비교적 짧기 때문에 화학적 구조가 복잡한 유기 오염물질이나 고농도 공업폐수 처리에 적합하다.

또한 슬러지가 적게 발생하기 때문에 운영비용이 낮고, 내압(internal pressure, 耐压)¹¹⁾ 능력과 COD 및 색도 제거가 뛰어난 특징이 있다. 따라서 MBR은 고농도 화학폐수, 농약폐수, 화학단지 및 오수처리장 등 다양한 산업에서 오염물질을 처리하고 있다.

2) 생화학 처리 공정

주요 폐수 처리방식 중 하나로 폐수에 있는 유기 오염물질을 분해하여 높은 처리효율과 낮은 운영비용이 특징이며, 생화학 처리 공정은 일반적으로 SBR공정, A2/O공정, MUCT공정 3가지로 분류된다.

① SBR(Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Process, 序列間歇式活性污泥法) 공정

(공정소개) 간헐식 활성슬러지법으로 폐수가 들어오면 먼저 격자창으로 보내져 분자의 크기가 큰 불순물을 일차적으로 걸러낸다. 걸러진 폐수는 집수조로 보내져 수질이 균일하게 되도록 한 후 SBR반응조로 유입된다. 이는 간헐폭기방식으로 폐수 처리를 하는 것으로 물탱크 안에서 잠수식 폭기, 교반기를 설치하여 별도의 폭기, 교반이 가능한 것이 특징이다.

전체 반응조에서 각각의 SBR 반응기로 물을 보충한다. 처리시스템의 마지막 반응기에 물이 차게 되면, 첫 번째 반응기는 이미 1개의 작동 사이클을 완료하게 되며 여러 개의 SBR 반응기가 병렬로 작동하여 순차적으로 반복하면서 처리효과를 거둘 수 있다.

(공정특징) 주요 특징은 공정과정이 간편하고 비용절감을 통해 저비용 운영이 가능하다. 또한 생화학 반응의 추력(thrust, 推力)¹²⁾ 효율을 크게 향상시킨 것이다. 또한 시스템이 유연하기 때문에 혐기성, 호기성에서 질소, 인 제거에 용이하다. 따라서 SBR 반응조는 초기침전, 생물분해, 2차 침전 등 기능을 가지고 있어 슬러지 환류시스템이 필요 없다.

② A2/O(Anaerobic-Anoxic-Oxic process) 공정

(공정소개) A2/O 탈질소 공정은 전체적으로 폐수 처리 후 배출되는 시스템이다. 폐수가 유입된 후 첫 번째 단계인 혐기성조에서 질소·인을 제거하며, 두 번째 무산소조는 탈질화와 암모니아 기체를 생성한다. 세 번째 단계인 폭기조를 거쳐 질소산화물과 유기물질을 제거한다. 마지막으로 침전조에 들어가 처리된 폐수를 배출하고 침전물을 침전조로 다시 돌아가 남아있는 일부 인이나 슬러지를 제거하여 배출하게 된다.

(공정특징) A2/O공정은 과정이 간편하고 폐수의 체류시간이 가장 짧다. 질소와 인을 동시에 제거할 수 있으며, 비용이 낮다. 또한 슬러지는 풍부한 영양분을 함유하고 있는 것이 가장 큰 특징이다.

11) 내압(internal pressure, 耐压) : 밀폐된 공간의 기체나 액체의 압력을 뜻한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

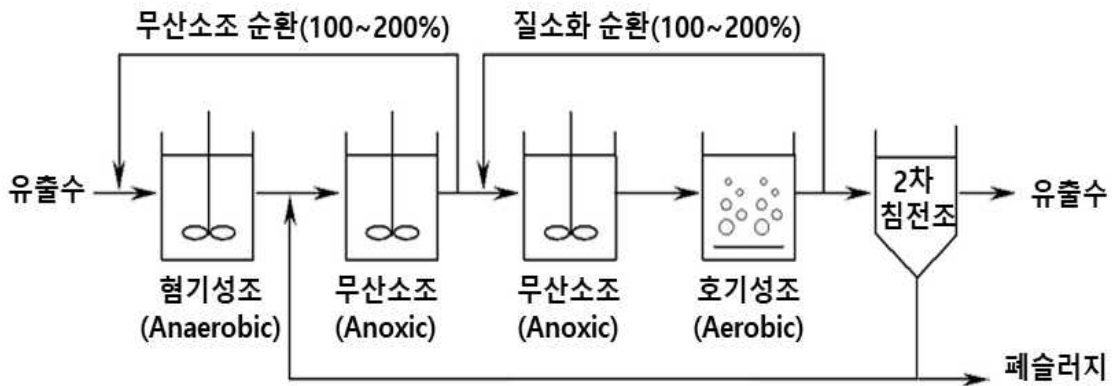
12) 추력(thrust, 推力) : 회전축과 회전체의 축 방향에 작용하는 외력(外力)을 뜻한다. / 출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.2.검색)

③ MUCT(Modified University of Cape Town process) 공정

(공정소개) MUCT 공정은 UCT(University of Cape Town process)¹³⁾공정을 변형시킨 것으로, 무산소조를 새로 추가하였다. 이에 MUCT 공정은 슬러지와 혼합액 환류를 별도로 제어할 수 있으며, 또한 무산소가 2개로 나뉘어져 있다. 따라서 침전조의 슬러지는 혐기성조가 아닌 무산소조로 들어가게 되며, 이는 전통적인 A2/O 공정과는 차이를 보이게 된다.

(공정특징) MUCT 공정은 침전조의 슬러지가 혐기성조가 아닌 무산소조로 환류되기 때문에 질소와 인 제거에 영향을 미치는 혐기성조의 혐기상태를 파괴하는 것을 방지할 수 있다. 또한 이를 통해 무산소조에서 혐기성조로 들어가는 혼합액도 증가시킬 수 있다. 이 혼합액에는 용해 가능한 BOD가 다량 함유되어 있어 혐기성 유기물의 생화학반응에 좋은 환경을 제공하게 된다.

그림 1. MCUT 공정도



자료 : 중국오수처리공정망, 코네틱 등 온라인 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 작성

▶ 시사점

수질이 복잡하고 양이 많은 공업폐수를 처리하기 위해 반드시 전처리와 3차 처리 단계를 거쳐 배출해야 한다. 또한 다양한 처리방식을 실제 상황에 맞춰 적용하여 비용절감과 표준배출의 목표를 달성할 수 있어야 한다.

따라서 공업폐수를 처리하기 위해 지속적으로 공정을 개량하여 적은 에너지 소모, 간편한 시스템 조작 및 공정과정, 자동화 시스템, 좁은 부지면적, 저비용 등 특징을 보유한 기술을 통해 오염물질 배출표준에 부합할 수 있도록 기술도입이 필요할 것으로 전망된다.

출처 : 중국오수처리공정망(2021.3.1.발표), <https://www.dowater.com/jishu/2021-03-01/1598062.html>, 2021.3.2.접속

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

13) UCT(University of Cape Town process)공정 : UCT 공정은 케이프대학에서 개발한 공법으로 변형 A2/O공정으로 탈질과 인 제거를 동시에 진행하는 공정이다. / 출처 : 중국오수처리공정망(2007.12.17.기재) 번역, <https://www.dowater.com/jishu/2008-12-17/3000.html>(2021.3.2.검색)



중국환경산업 주간기술동향

발행

2021년 3월 2일 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