

미래 유망 녹색 환경 기술 - 수처리 기술을 중심으로 -



김 종 오
강릉원주대학교 토목공학과 교수
jckim@gwru.ac.kr

1. 머리말

물은 지구상의 생명유지를 위하여 여러 가지 형태로 이용되고 있다. 인간의 다양한 활동에 의해 발생된 쾌적한 생활 환경의 조성 및 환경과 조화된 순환형 사회의 구축은 현재의 산업화된 도시가 안고 있는 사회·환경문제를 해결함과 동시에 지속적 발전이 가능한 사회를 실현하기 위한 불가결한 요소라 할 수 있다.^{1), 2)} 이 가운데 물과 관련되어 있는 문제의 발생은 그 원인과 형태가 다양하지만, 주로 수자원의 부족·유효 이용의 문제로부터 파생되는 것이 대부분이며 따라서 물의 이용과 연계된 부분을 새로운 수처리 기술의 개발과제로 인식할 필요가 있다. 조화로운 수환경 공간을 창조하기 위한 노력의 일환으로 현재까지 수처리 기술 개발에 관련된 연구가 활발히 진행중이며 현실적으로도 초고도 처리의 경제적 타당성을 검증할 단계에 이르렀다.

또한 세계 물 시장은 인구증가, 수질오염, 물 부족 심화 등으로 2015년에 15,433억불의 대규모 시장 형성 전망이다. 최근 중국·인도 등 주변 개도국에서 상하수도 인프라 구축을 위한 투자가 빠르게 확대되고 있는 실정이며 21세기에는 물산업이 석유산업을 추월할 것이라는 예측이 보고되어 있다^{3), 4)}. 물처리 산업의 발전은 물 관련 플랜트, 화학, 소재 산업 등 관련 산업에 상당한 파급효과 예상되며 IT·BT·NT 등 연관기술 발달에 따른 High-Tech 산업화 진행으로 새로운 고부가가치 창출이 기대되는 분야이다.

2. 수처리의 처리대상과 기술의 변천⁵⁾

우선 우리나라와 주변국 일본의 경우를 예로 수환경과 수처리 기술의 변천에 대해 시기별로 간단히 정리해 보면 다음과 같다.

1950-60년대

- 수원의 오염이 그다지 심각하지 않은 시기.
- 농축된 슬러지(sludge)와 분뇨의 자연투기, 가정폐기물의 산간투기.
- 인간의 건강 확보를 위한 상수도건설의 시대.
- 안전하게 마실 수 있는 음용수의 제조에 기본적인 입장.

1960-70년대

- 공해의 발생과 더불어 산업발전을 기대한 시대.
- 경제력 향상과 함께 공해발생이 각 지역에서 대두되는 시기.
- 하·폐수 처리를 위한 표준 활성슬러지법 (conventional activated sludge process)의 채용.
- 중금속, 유기성 오염문제, 친수 공간으로서의 하천수 기능 상실과 생태계의 파괴.

1970-80년대

- 수환경 기준(mg/L의 단위수준) 달성용의 기술 개발 (BOD, COD).
- 유기 염소화합물, 부영양화에 의한 조류 이상발생과 물의 악취 문제 발생.
- 방류수 수질기준달성을 위한 산업 폐수 처리 기술의 개발.

1980-90년대

- 음용수 트리할로메탄 발생, 페놀 유입 등 각종 수질 오염 사고, 토양/지하수 오염의 발생.
- 지구환경문제의 발생(오존층의 파괴).
- 자원·에너지 절약형 처리기술의 개발.
- 처리기술의 고기능화와 합유자원의 유효이용 관련 기술개발의 급증.

1990년 이후~현재

- 영양염류의 배출규제(해양지역과 담수지역에서의 적

조, 녹조현상의 발생).

- 발암성물질 및 내분비계 장애물질(환경호르몬)의 규정과 동정($\mu\text{g/L}$ 의 단위수준).
- 토양환경기준의 개정·강화(유기염소화합물에 의한 토양·지하수의 오염).
- 병원균(O-157)과 원생동물(*Cryptosporidium*, *Giardia* 등)에 따른 음용수 오염문제 발생.
- 수영용수 수준의 하·폐수 처리 기술 개발 등 수처리 기술의 선진화.
- 환경관련 관계법의 개정(음식물 쓰레기 처리 등).

3. 수처리의 목표

쾌적한 환경의 시대에서 요구하는 수처리란 단순히 안전하게 마실 수 있는 물의 생산 및 확보와 방류기준에 적합한 수준정도의 처리를 의미하는 것은 아닐 것이다. 처리수질의 고도화를 위한 과정에서 부가적으로 발생하는 부산물과 최종 처리수가 생태계를 포함한 수환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 수처리 기술이어야 한다.

3-1 고도처리에서 기대되는 수질목표

자원의 유효이용 관련 목표로서

- 열량의 회수
- 유기물 자원(유기산·메탄 등)의 회수
- 영양염류(질소·인)의 회수

처리기술의 개별목표로서

- 난분해성 유기물의 저감
 - 영양염류의 저감
 - 병원성 세균 및 바이러스의 사멸
 - 무기염류의 저감
- 등을 들 수 있다.

4. 최근 수처리 기술의 동향

4-1 상수도 관련 처리기술

현재 광범위하게 채용되고 있는 응집+침전+급속여과+염소처리로는 차세대의 음용수 수질기준을 만족시킬 수 없다. 개선방향으로 염소소독에 의한 트리할로메탄 문제는 자연에 존재하는 소독제(과산화수소와 오존, 자외선 등)의 적용을, 병원성 원생동물의 처리에는 오존처리 등을 포함한 산화처리기술과의 연계와 분리막(membrane)에 의한 고액분리기능의 개선을 들 수 있다.

현재 적용되고 있는 고도처리 기술로서,

생물학적 처리로는 부착생물의 이용, 접촉산화법 등에 의한 암모니아성 질소 제거, 화학적처리로는 오존처리와 자외선 처리에 의한 맛, 소독효과의 개선, 물리적 처리로는 활성탄 흡착, 분리막 처리에 의한 용해성 유기물 처리 등을 들 수 있다.

또한 고액분리를 위한 처리기술로서 분리막 기술이 부각되고 있다. 과거 소규모 처리에 국한된 적용의 한계성을 극복하기 위해 중·대규모 처리 시설로의 적용을 위한 기술 개발이 진행되고 있는 실정이다. 한편 국지적 갈수대책 시설로서 역삼투막(RO)에 의한 해수의 담수화 시설이 실용화 되고 있다.

4-2 하수도 관련 고도처리기술

활성슬러지법에 근거한 오수처리체계가 일반화 되는 과정에서 슬러지의 처리공정이 점차 비대화 되고 이에 따른 유지관리가 전체 프로세스 중에서 큰 비중을 차지하게 됨에 따라, 자원 및 에너지 절약이 가능한 처리공정으로의 변모가 강하게 요구되고 있다.

또한 수경 및 친수용도의 용수 재이용 및 자원회수를 위하여 하수, 분뇨, 산업폐수 등의 각종 유기성 폐수에 biotechnology와 막분리 기술이 연계된 저비용/고효율 bioreactor system의 개발이 진행되고 있으며 미생물 고

정화기술 및 기능성 분리막의 소재 개발에 관련된 연구가 활발히 진행될 예정이다.

4-3 고도처리 프로세스 구성과 단위조작의 방향성

4-3-1 프로세스의 구성

구체적 요구 기술로

- ① 고효율/저비용/자원 절약의 구축을 위한 처리법
- ② 거대집중처리법에서 개별분산처리법으로
- ③ 추가적 처분을 필요로 하는 슬러지의 발생량을 최소화 하는 처리 공정 등이다.

4-3-2 단위조작

프로세스를 구성하는 단위조작으로서는

- ① 생물학적 처리법은 부유타입에서 자기고정화방식의 접촉산화법으로
- ② 용이한 고액분리법으로서 분리막 처리법의 도입
- ③ 기능성 물리적 흡착법으로서 BAC, 제올라이트를 들 수 있다.

이러한 것들을 효율적으로 조합시킨 콤팩트한 고도처리법이 요구되어 진다.

5. 차세대를 향한 수처리 기술

지금까지 열거한 수처리 기술 외에 향후 유효하고 쾌적한 환경구현을 위한 차세대 수처리 기술을 나름대로 요약해 보면

① 지구온난화 제거기술

지구온난화의 원인물질이 되는 가스 중에서 오수처리 시설로부터 발생하는 것으로는 CO₂, CH₄ (메탄) 및 N₂O (이산화질소)를 들 수 있다. 이들 미량가스의 발생량은 매년 증가하고 있는 추세이며 CO₂를 1로 할 경우 CH₄는 20~30배, N₂O는 200~300배의 온실효과를 유발하므로 이의 저감 대책은 극히 중요하다고 할 수 있다. 향후에는

- 오염된 습지, 논, 밭으로부터의 메탄, 아산화질소의 방출억제 기술.
- 하수도 시설 및 슬러지 소화가스의 유효이용기술
- 폐기물 매립지에 대한 메탄산화 세균의 활용기술 등에 대한 개발연구 등이 중요하다.

② 미생물 활용 환경 정화 기술

유기염소화합물과 유분의 분해에 의한 지하수 오염 대책으로 bio-remediation에 의한 유용한 미생물을 활용한 환경정화기술이 주목을 받고 있다. Bio-remediation에 의한 오염된 지층, 지하수의 정화에 있어서 유용한 미생물의 활용법으로는

- 오염현장의 환경 중에 존재하는 미생물을 인공적으로 증식시키는 기존 유용미생물의 활성화.
- 자연계로부터 분리된 화학물질 분해 미생물을 대량 배양해서 오염현장에 살포하는 외래 유용 미생물의 환경도입.
- 유전자 조작으로 인공적으로 화학물질 등의 분해 능력을 보강한 분해 유용미생물을 대량 배양하여 오염현장에 살포하는 유전자 조작 유용미생물의 환경도입.

등을 들 수 있다.

③ 지역 미이용 자원의 활용 기술

지역 미이용 자원으로는 폐도자기, 폐플라스틱 등의 산업폐기물, 슬러지, 폐각류 등의 천연 폐기물 등 다양한 것을 생각할 수 있다. 이와 같은 산화물계 세라믹들은 그 표면에 다수의 수산기가 존재하기 때문에 미생물 증식을 기대하는 다공질 담체로서 뛰어난 특성을 가지고 있다.

이와 같이 지역 미이용 자원을 활용한 하천, 호소 등 자연 생태계에 공학적 수법을 이용한 bio-technology의 접목이 기대된다.

④ Nano technology (NT)/Bio technology (BT) /Intelligence technology (IT) 등을 복합한 녹색 융합 기술

미래의 유망 녹색 환경기술로서 주목받기 위해서는 기존의 기술에다 나노소재기술, 나노반응성 물질 및 이를 제

어하기 위한 전자제어기술등의 융합을 통한 미래 지향적 기술의 개발이 요구되고 있다. 즉, 한 가지 단일 기술이 아닌 몇 가지의 다른 성격의 기술의 복합 적용에 의해 기존 기술들이 지니고 있는 문제점들을 해결하고 동시에 처리 효율을 향상시킬 수 있는 녹색 융합 기술의 개발이 필요하며 이는 차세대 환경기술의 선점을 위해서라고 국가적 차원에서의 집중 투자가 절실히 필요한 분야라 할 수 있다.

6. 처리기술 개발에 대한 새로운 시점

수자원의 양적 확보와 동시에 질적 고도화를 달성하는데 있어 다음과 같은 시점을 요구된다.

- ① 유기물 및 영양염류(질소, 인)를 생태계 보전 혹은 환경용수에 적합할 때까지 저감할 수 있을 것.
- ② 순환이용을 고려하여 수계에서의 난분해성유기물의 축적을 방지하는 것이 가능할 것.
- ③ 발암 혹은 환경변이성에 관한 물질군을 효과적으로 처리할 수 있을 것.
- ④ 병원성 바이러스, 세균 혹은 원생동물을 확실하게 제거할 수 있을 것.
- ⑤ 유기염소화합물을 생성하는 염소처리로부터의 탈피. 이것들을 완수하기 위한 기술의 구체적 조건으로
 - 고형물 분리조작을 유기·무기·금속재료를 이용한 분리막 처리로 변환, 조작성을 높일 것.
 - 흡착 기술(활성탄·제올라이트 등) 기능성 접촉담체의 개발이 필요.
 - 염소의 이용을 최소화 하고 화학적 산화처리(오존, 자외선, 과산화수소, 펜톤 등)의 활용.
 - 자원·에너지 절약형 생물학적 처리공법의 개발.
 - 처리 과정에서 발생하는 열의 유효 회수공정의 개발.
 등을 들 수 있다.

7. 맺음말

수처리 기술에 대한 중요한 시점은, 깨끗한 수질의 확보만이 아닌 처리 과정에서 발생하는 부산물의 처리를 포함한 종합적인 기술의 개발이며 동시에 처리수 재이용과 환경용수의 이용 확대를 위한 새로운 처리개념의 도입이 필수적이다.

장래에는 건전한 사고와 신체를 지니며 자연 속에서 생활할 수 있는 보다 긴 안목의 안정적 처리 기술의 확보를 바라는 시대를 필요로 할 것이다. 상수도·하수도가 도시 환경의 기초 수원을 관리하고 긴급용수를 제공하며, 흐르는 하천에 다리를 담그고 즐길 수 있는 건전한 수환경의 창조에 일익을 담당할 수 있는 고도 수처리 기술의 개발을 기대해 본다.

참고문헌

- 1) 구자건 외, 생태계 위기와 한국의 환경문제, 도서출판 따님, 1992.
- 2) (사)녹색연합부설녹색사회연구소, 한국환경보고서, 녹색연합, 2001, 2002·2003, 2004.
- 3) Fortune, 2000.
- 4) 한국건설기술연구원 보고서, 고도물처리, 2007
- 5) 宗宮 珣 수처리 기술의 변천과 금후의 동향, 대우건설기술연구소 강연집, 2009.