

물 재이용 및 하수 자원회수 핵심기술 소개



글 이석현 \ 한국과학기술연구원 물자원순환연구단장 \ 전화 02-958-5829 \ E-mail seocklee@kist.re.kr



수처리 기술 향상과 더불어 미래 물 부족 현상에 대한 우려로 물 재이용에 대한 관심이 더욱더 증가하고 있다. 전 세계의 관심사인 기후변화와 물 사용량 증가로 사람들은 '물 안보'라는 용어를 사용하기 시작했다.

또한 UN 수자원개발보고서(2003)에 따르면 1950년에서 1990년 사이 물 사용량이 3배 증가하였고, 향후 35년 이내 현재 사용량의 2배까지 증가할 것이며, 앞으로 25년 이내 일인당 담수 공급량이 3분의 1로 감소할 것으로 예측하고 있다. 우리나라도 이와 같은 상황에서 자유롭지 못하여, 인간 생활에 일차적으로 필요한 물 부족에 대한 걱정이 물 재이용 기술에 대한 관심으로 이어지고 있다.

물 재이용이란 버려지는 물을 흘려버리지 않고 생활, 공업, 농업, 조경 및 하천유지 용수 등으로 용도에 맞게 재사용하는 것을 말한다. 우리나라 '물의 재이용 및 촉진에 관한 법률'에는 버려지는 물을 빗물, 중수도, 하·폐수 처리수라 명시하고 있지만 그냥 버려지는 모든 물을 포함할 수 있다. 이와 같이 버려지는 물을 용도에 맞게 재사용할 수 있도록 처리하는 기술을 물 재이용 기술이라고 한다.

기본적으로 물 재이용 기술이란 일반적인 수처리 기술과 크게 다르지 않다. 하수를 재이용하기 위해서는 우선 기존 하수처리기술을 이용해야 하고 빗물의 경우는 기존 정수처리 기술보다 더 간단한 기술로 재이용할 수 있다. 하지만 물 재이용 정의에 나타나듯이 여러 용도에 맞도록 적절히 처리해야 하고 물 재이용 처리 원수가 다양하기 때문에 일반적인 하수나 정수 처리 기술과는 다른 새로운 기술을 개발하여 사용해야 한다.

1. 물 재이용 실용 핵심기술

다양한 물 재이용 처리 원수와 여러 사용용도로 인해 최근에는 분리막을 이용한 수처리 기술이 많은 관심을 받고 있다. 분리막을 이용한 수처리 기술은 주로 고분자나 세라믹 막(Membrane)을 이용해 물속에 있는 오염물을 제거하는 기술로 최근 수처리 분야에서 가장 빠르게 발전하고 있다. 막분리 수처리 기술은 다양한 원수에 적용하기 쉽고 사용목적에 따라 다양한 분리막을 사용할 수 있기 때문에 특히 물 재이용 수처리 기술에 적합하다. 일반적으로 수처리에 주로 사용되고 있는 분리막 기술은 제거가 가능한 오염물 크기에 따라 정밀여과(Microfiltration), 한외여과(Ultrafiltration), 나노여과(Nanofiltration) 및 역삼투막(Reverse Osmosis) 등으로 나뉜다.

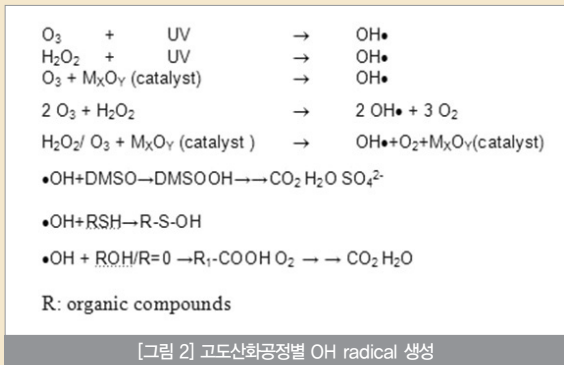
	MF	UF	NF	RO	ED
Turbidity	+	+	+	+	
Crypto/Giardia	+	+	+	+	
Pretreatment NF/RO	+	+			
Viruses		+	+	+	
Colour/TOC		*	+	+	
Pesticides/Taste/Odour		*	+	+	
Hardness			+	+	
Sulphate			+	+	+
TDS			+/-	+	+
Nitrate				+	+
Fluoride				+	+
Arsenic				+	+

+ 제거가능, - 제거불가, * 제품사양에 따름

[그림 1] 수처리용 분리막의 종류와 제거가능 오염물

이외에도 인위적인 압력을 주어서 오염물을 거르는 방식이 아닌 자연적인 삼투압을 이용하는 정삼투법(Forward Osmosis)과 막 사이에 온도차이를 이용하는 막 증류법(Membrane Distillation) 등이 최근 주목받고 있다.

막분리 수처리 기술 이외에 물 재이용 기술로는 병원성 세균 및 환경호르몬, 의약 약품과 같은 미량 오염물질 제거 기술도 포함된다. 병원성 세균 및 미량 오염물질 제거는 일반 정수처리에서도 많이 연구되고 적용되고 있는 부분으로, 하수처리수를 재이용하는 경우에 더 중요하다고 할 수 있다. 특히 하수처리수가 사람과 접촉할 수 있는 용도로 사용될 경우 사람이 사용한 여러 가지 물질로 인해 유발되는 미량 오염물질의 최종 도착지가 하수처리장이고 다양한 하수는 병원성 세균을 포함하고 있기 때문에 살균 및 미량 오염물질 제거 기술이 물 재이용 기술에 매우 중요한 부분이 된다. 주요 기술로는 오존, 염소, 자외선 등을 사용하는 고도산화 기술(Advanced Oxidation Process, AOP)이 있다. 대부분 OH radical을 생성시켜 강력한 산화효과를 이용하는 방법이다.

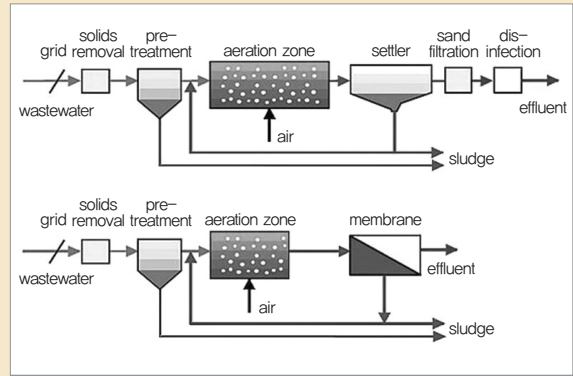


[그림 2] 고도산화공정별 OH radical 생성

일반적인 하수처리기법인 활성슬러지법과 분리막 수처리 기술을 결합한 막분리 생물반응기 기술(Membrane Bio-Reactor, MBR) 연구가 많이 적용되고 있다. 기존의 생물학적 하수처리 기법으로는 부유물질을 완벽하게 제거하지 못하는 것과 비교할 때, MBR 기술을 이용하면 부유물질이 완벽하게 제거되며, 기존 하수처리기 법보다 오염물 처리 성능이 뛰어나다. 또한 최종침전조가 필요없기 때문에 처리장에 필요한 부지면적도 작다. 하지만 분리막 생물 반응조는 기존 생물학적 하수처리기법에 비해 에너지 소비량이 3~4배 정도 많은데, 이는 생물반응조 내에 있는 미생물로 인해 발생하는 막오염 현상을 막기 위하여 폭기를 수행할 필요가 있기 때문이다.

따라서 현재 분리막 생물반응조 연구 분야에서는 막오염을 저감 시키거나 효율적으로 운전하기 위한 운전최적화 기법 연구가 이

루어지고 있다. 또한, 막오염 현상 규명, 막오염 저감을 위한 새로운 막 개발 및 막 표면처리, 모델링 및 운전 최적화 기법을 이용한 운전 효율 향상 등의 연구가 진행되고 있다.



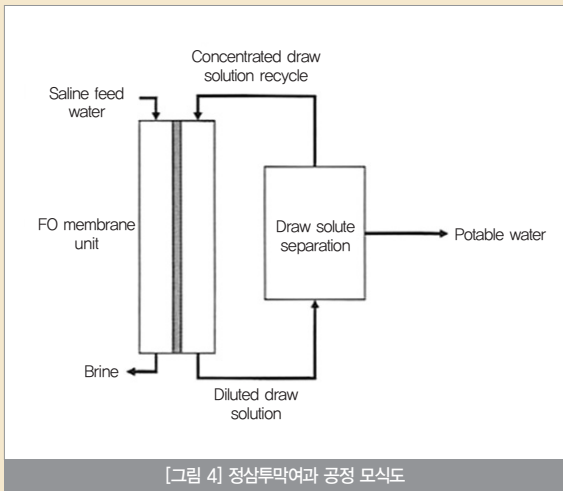
[그림 3] 활성슬러지공정(상)과 MBR공정(하)

2. 차세대 물 재이용 핵심기술

정삼투(Forward Osmosis, FO) 막여과 기술은 삼투압을 원동력으로 사용하는 막여과 공정으로, 삼투압을 최대로 유발할 수 있는 전용막 개발이 무엇보다 중요하다. 정삼투 분리막은 삼투방향으로의 높은 물투과성을 가져야 하고 역방향으로 유도용액의 용질이 확산되지 않게 설계하는 것이 중요하다. 이를 위해 정삼투 전용 분리막은 두께가 얇고, 친수성을 띠어야 하며, 막의 구조는 물의 이동거리를 최소화할 수 있어야 한다. 이러한 특성과 함께 막오염 제거가 가능하여야 하므로 정삼투 막여과 기술은 고도의 전문성을 요하는 기술영역에 해당된다.

유도용액은 정삼투 공정에서 삼투압을 유발시키는 용액으로 효율적인 유도용액 기술은 정삼투 공정에서의 핵심기술이다. 일반적으로 정삼투 공정에서는 유도용액의 특성에 따라 유발되는 삼투압이 조절될 수 있다. 삼투압을 최대화하기 위해서는 유도용질이 물에 잘 녹아야 하고 입자 크기는 작아야 하며 유해한 성분을 포함해서는 안된다. 유도용액 회수 이후 최종 처리수가 생산되기 때문에 유도용액을 100% 회수하는 기술은 정삼투 공정에서 매우 중요한 기술이다. 마지막으로 유기, 무기, 미생물에 의한 막오염 현상이 기존 공정과 다르기 때문에 정삼투 막여과를 적용한 시스템 디자인 기술개발도 필요하다. 또한 다양한 원수에 적용 가능하며 기존 공정과의 결합이 용이하기 때문에 다양한 공정에 적용이 가능하다.

일반적인 막분리 기술이 막 양쪽의 압력 차이를 이용하여 물과 오염물질을 분리하는 것이라면, 막 증류법(Membrane Distillation,



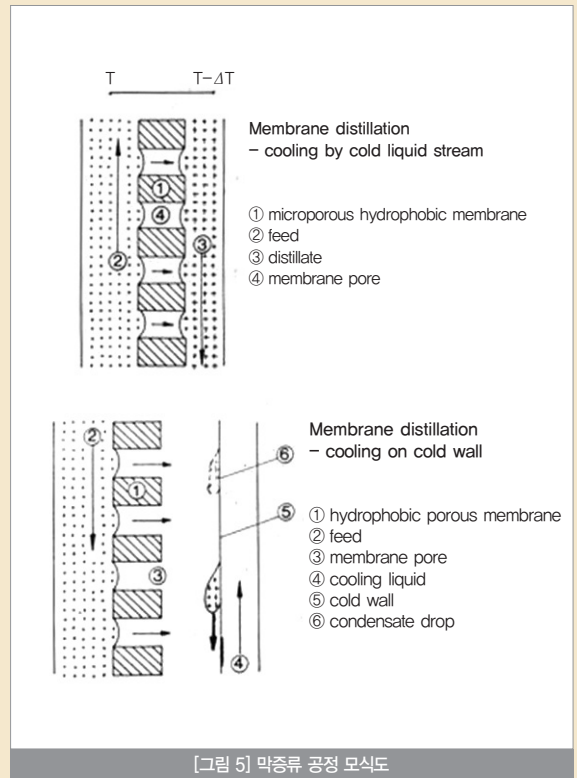
[그림 4] 정삼투막여과 공정 모식도

MD)은 막 양쪽의 온도차에 의한 기체 분압 차이에 의해 기화된 물이 막을 통과하는 원리를 이용한다. 즉, 따뜻한 물에서는 차가운 물에 비해 상대적으로 많은 물이 기화되며, 기화된 물이 막의 공극을 통과한 후 차가운 물과 만나 응축되어 물이 이동하게 되는 것이다. 막 종류법에 사용 가능한 막은 물이 직접 통과할 수 없도록 소수성이어야 하며, 기화된 수증기가 쉽게 통과될 수 있도록 가능한 큰 공경과 공극률을 가져야 한다. 또한, 막의 두께를 최대한 얇게 하면서도 일정한 강도를 유지하는 기술이 요구된다. 따라서 이러한 특징을 갖는 막을 개발하기 위하여 나노 기술이 적용되는 사례도 있다.

막 종류법은 기화된 기체의 이동을 이용하는 것으로, 물보다 기화가 잘 되지 않는 오염물질이 존재하는 경우 이론적으로 100%의 제거가 가능하다. 하지만 기화된 물이 막의 공극 내에서 응축되거나 막에 압력이 가해지는 경우 물이 막의 공극을 막는 현상이 발생되는데, 이 때 연결된 물이 통로로 작용하여 오염물질이 확산되거나 기화된 물의 이동이 약화되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 막 종류법에서는 압력을 가하지 않은 상태에서 운영하는 것이 중요하다. 또한, 물보다 쉽게 기화되는 물질이 오염물질로 포함되어 있는 경우 물보다 빨리 기화되어 막을 통과할 수 있다. 이러한 현상을 오히려 장점으로 이용하는 경우도 있는데, 물속에 포함된 휘발성 오염물질의 처리를 위하여 막 종류법을 적용하는 사례도 있다.

막 종류법의 성능 향상을 위해서는 막의 개발이 가장 중요하며, 상용화를 위해서는 저렴한 열원을 확보하는 것이 필수적이다.

현재 몇 건의 상용화된 사례가 제안되고 있으며, 산업 폐열이나 화력 또는 원자력 발전소의 폐열을 활용하여 저렴한 열원을 확보하고자 하는 노력이 진행되고 있다.



[그림 5] 막증류 공정 모식도

고도산화처리 방법은 물속에 있는 유기 또는 무기 오염물을 화학적 산화로 분해해서 제거하는 방법으로, 대표적으로 염소, 오존, 자외선을 이용하는 방법과 철염을 촉매로 과산화수소를 사용하는 펜톤 산화 기법이 있다. 최근에는 광촉매(TiO₂)를 이용한 고도산화처리 기법이 새롭게 개발되어 적용되고 있다. 이와 같은 고도산화처리 기법은 주로 물속에 산화력이 강한 OH radical을 형성시켜서 오염물질을 분해시키는 방법으로 생물학적으로 분해가 어려운 난분해성 물질이나 병원성 세균을 살균하는데 많이 사용된다. 고도산화처리 기술 연구는 1970년대 후반부터 화학반응 메커니즘 연구에 기초를 두고 활발히 진행되었으며, 1990년대 초반부터는 고도산화처리 기술이 정립되고 상수 및 지하수 처리에 사용되었다. 하지만 일반 상수처리와는 달리 물 재이용 수처리는 원수 성상이 달라 하수처리수 재이용을 위해서는 미량의 오염물질을 효율적으로 제거하기 위한 연구가 필요하다.

따라서 물 재이용 수처리 분야에서 미량의 오염물질 제거를 위한 고도산화처리 기술에 대한 연구는 최근 활발히 이루어지고 있다. 특히 전 세계적으로 아주 적은 농도의 오염물질까지 분석할 수 있는 기술이 발달하고 건강에 대한 관심이 높아지면서 환경호르몬, 의약품 및 개인위생 용품에 들어 있는 미량의 화학물질을 제거하는 연구가 활발하다. 미량오염물질을 제거하는 기술은 다양하지만

그 중에서도 고도산화처리에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히 물 재이용수를 사용하기 위해서는 보통 소독을 해야 하기 때문에 고도산화처리로 소독과 미량오염물질 제거를 동시에 진행하는 연구들이 시도되고 있다. 또한 미량오염물질의 종류가 너무 많고, 그 특성이 다양하기 때문에 이의 해결을 위한 많은 연구가 수행 중에 있다. 국내에서도 오존 및 UV 기반의 고도산화처리 기술 기초 연구가 학계를 중심으로 활발히 진행되어 왔다. 하지만 고도산화처리 기술의 국내 적용은 도입 초기단계라 할 수 있으며, 관련 업체들도 중소 벤처기업이 대부분이고 아직 적용실적도 많지 않은 실정이다. 앞으로 하폐수 처리 기준도 강화되고 물 재이용 수처리에 관심이 높아지면 국내에서도 고도산화처리 기술 연구가 활발히 진행될 것으로 예상된다.

3. 저비용 고효율 기술 개발

현재 물 재이용 기술은 높은 운영비와 에너지 사용량으로 저비용 고효율 기술이 필요한 실정이다. 분리막 수처리 기술은 일반적으로 높은 압력과 막오염 저감을 위해 폭기 및 화학약품을 사용하는 기술이고, 고도산화처리 기술도 많은 화학약품과 전기를 사용하는 물리화학적 처리 방법으로 고비용 고효율 기술이다. 현재 물 재이용이 보편화되지 않은 이유가 우리나라의 낮은 물값 때문이기도 하지만 아직까지 높은 물 재이용 처리 단가 때문이다. 앞으로 물 재이용 기술이 현장에 적용되고 시장이 커지기 위해서는 저비용 저에너지 고효율 기술 개발이 필요하다.

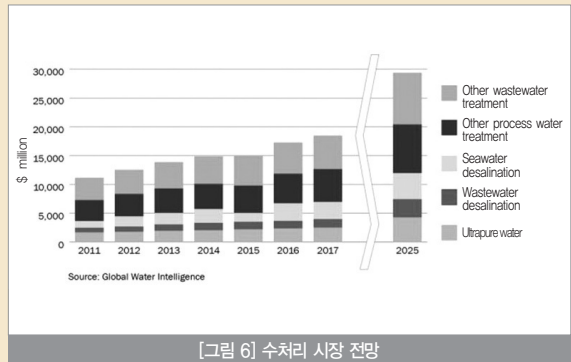
물 재이용 기술에는 재이용수의 용도에 따라 다음과 같은 다양한 공정이 포함될 수 있다. 국내의 경우, 일반적인 재이용수는 모래여과를 통하여 생산되며, 하천유지용수의 경우 생물학적 고도처리 기술이 적용된다. 공업용수의 경우 분리막인 정밀여과(Microfiltration, MF)와 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 공법이 주를 이루고 있다. 그리고 분리막 생물 반응기(Membrane Bio-Reactor, MBR) 공법의 적용사례도 증가하고 있다.

미국의 경우 분리막 기술이 물 재이용 기술로 주로 적용되고 있으며, 활성탄 기술도 경제성 확보 및 휘발성 유기화합물질의 제거를 위하여 여전히 사용되고 있다. 유럽의 경우 대부분 질소와 인은 제거하지 않는 2차 처리기술을 재이용 기술로 이용하여 농업용수와 공업용 냉각수 등에 제한적으로 사용하고 있다.

4. 세계 물 재이용 시장과 신기술 개발 동향

전 세계적으로 물 재이용 시장은 크게 성장하고 있다. 물 재이용

산업 시장은 2007년을 기준으로 10억 달러이던 시장규모가 2025년에는 21배 증가한 210억 달러가 될 것으로 예상된다. 2007년 신규 물 재이용 플랜트 투자규모는 해수·담수시설 투자에 비해 45.4%에 불과하지만 2012년을 기점으로 급격히 증가하여 2016년에는 담수시설 신규 투자 규모와 거의 차이가 없을 것으로 예측된다. 이는 동일 기간 담수 투자의 연평균 성장률이 7.3%인 반면에 물 재이용 분야는 연평균 16.7%로 성장할 것으로 예측되기 때문이다. 따라서 물 재이용 산업 분야에 대한 관심이 증가하고 있다.



특히 도시를 중심으로 재이용수에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 전 세계적으로 도시에 18억 명이 거주하고 있고 인구밀집형 도시의 경우 재이용수를 사용하는데 이점이 많다. 따라서 도시의 물 재이용 투자는 연간 17% 씩 증가할 것으로 전망되고 있다.

2009년부터 2016년 사이에 물 재이용 산업 투자비는 미국과 중국이 각각 약 100억 달러와 약 60억 달러로 물 재이용 분야에 투자할 계획이며, 다음으로 사우디아라비아와 호주 등이 물 재이용 분야에 많은 투자를 할 것으로 보인다. 중국을 비롯한 아시아 지역에서는 물 재이용 시장 성장률이 14~29%의 높은 성장이 예측되고 있다. 전체 물 산업에서도 중국은 세계 물 산업 시장의 주요국가로 부상할 것으로 예상되는데 2005년의 약 5배로, 480억 달러 규모로 성장할 것으로 전망된다. 그리고 2030년 아시아와 오세아니아 지역이 전 세계 물 산업 시장의 40%를 차지할 것이라는 전망도 있다.

이와 같이 동아시아, 중동, 아프리카의 물 산업 시장은 연간 10% 이상 성장할 것으로 예측되고 있다.

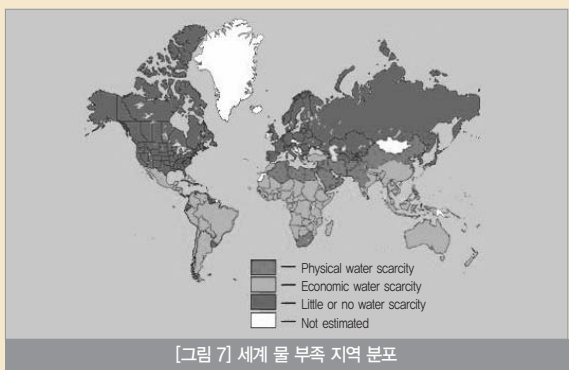
지난 10여 년 동안 하수처리를 위한 핵심기술로서 국내에서도 분리막 생물 반응기 관련 현장 연구가 활발히 진행되었으며, 기술 보급에 큰 역할을 하였다. KIST는 기술실용화는 물론 분리막 생

물 반응기내 막오염 유발물질의 거동을 예측할 수 있는 모델을 개발하고 이를 바탕으로 막오염 제어를 지능형으로 할 수 있는 인공 지능형 Smart 제어 시스템을 개발한 경험을 가지고 있다.

최근에는 '정삼투 막여과 기술을 이용한 재이용 하수처리' 연구가 주목되고 있다. 이는 해수담수화에 적용은 물론 하수처리에도 적용되어 각종 미량 유해물질에 대한 제거가 가능하기 때문이다. 새로운 공정으로써 통합형으로 하수와 해수를 동시에 처리하여 에너지 소모를 줄이는 공법이 개발될 수 있어 관심이 고조되고 있다. 정삼투법의 실용화를 위해서는 고효율의 유도용액과 그 경제적인 분리가 중요하데, 분리가 쉬운 철나노입자를 이용한 유도용액이 개발되고 있으며 막 종류법을 이용한 유도용액 회수 장치 연구도 활발히 진행되고 있다.

분리막 막오염 연구에 있어서도 분리막을 이용한 하수처리수 재이용시 발생하는 막오염 특성 및 메커니즘에 대해서 연구하고 이로 인해 막오염을 최소화하는 원천기술 개발을 하고 있다. 또한, 미생물에 의한 생물 막오염과 무기물에 의한 무기 막오염 현상을 다양한 분리막에서 연구하고 있다. 미량오염물질을 제거하는 기술로 나노입자인 플러렌, 탄소나노튜브 및 그래핀 등을 광촉매로 이용해 분해하는 광산화 기술에 대해 연구도 성과가 기대되고 있다.

지구상에 인류가 생활 및 산업에 사용할 수 있는 담수는 전체 물 중에 0.007% 에 불과한데, 이 물들도 일부 지역에 집중되어 물 부족 현상을 심화시키고 있다. UN 조사에 의하면 20년 후에는 세계 인구의 3분의 2는 물 부족 현상에 따른 스트레스(Water Stress)속에서 살게 될 것으로 전망되고 있다. 우리나라도 수자원 부족에 있어 예외가 아니며, 더불어 에너지원 부족에 따른 어려움도 있다.

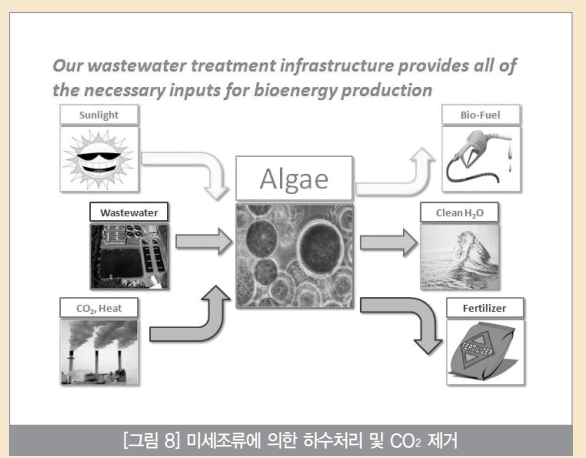


우리나라에서 하수도 사업은 시설확충과 함께 처리효율을 높이기 위한 신기술 도입에 집중하였으나, 에너지 효율성에 대한 고려가

미흡하였다. 따라서 정부는 하수처리시설을 에너지 소비 시설에서 재생산 시설로 전환하려 노력하고 있다. 이러한 배경으로 하수처리 시스템의 에너지 자립도를 향상하기 위한 연구개발이 최근 진행되고 있는데, 특히 미래지향형 하수처리기술은 하수중의 유용자원을 회수하고, 처리과정에서 발생하는 부산물을 이용하여 에너지 사용의 효율화를 추구하는 기술이다. 이 분야는 환경공학 (Environmental Technology, ET)과 나노기술(Nano Technology, NT), 생명공학(Bio Technology, BT), 정보기술 (Information Technology, IT)등 다양한 기술들을 융합하여, 기술 개발의 파급효과가 크다.

5. 하수 자원회수 핵심기술

하수처리장에서의 생물학적 하수처리를 통해 대량의 바이오 매스가 발생된다. 일반적인 활성슬러지 공법을 통한 하수처리과정에서는 하수가 처리될수록 미생물이 성장하고 그 양이 증가하는데, 성장한 미생물은 주기적으로 제거되어야 한다. 이러한 미생물 폐기물을 하수 슬러지라 하며, 이는 에너지를 회수할 수 있는 바이오 매스의 한 종류이다. 최근에는 미세조류를 이용하여 유용물질을 생산하고 이산화탄소 저감 및 바이오에너지 생산을 목적으로 하는 연구들이 수행되고 있다. 특히 하수처리 과정에서 질소와 인을 제거하며 동시에 에너지원으로 활용하기 위한 기술에 미세조류를 활용하고 있다. 우리나라의 하수관련 미세조류 생산기술은 기초기술 연구에서 응용단계로 전환되고 있는 중이나 기존의 연구들이 이산화탄소 저감 및 유용 물질의 생산에 초점이 맞춰진 기초 단계에 머물고 있다. 그러나 미국은 바이오에너지의 원료가 가능한 3,000종의 균주를 발굴하고 대량 배양방법을 연구하고 있으며, 독일, 이탈리아 및 일본 등이 조류배양연구를 선도하고 있다.



미세조류는 광합성을 통해 이산화탄소를 빛에너지와 함께 유기물로 합성하고, 에너지로 사용된 후에는 다시 이산화탄소로 환원되어 공기중 이산화탄소 농도를 증가시키지 않는 친환경에너지이다. 따라서 빛을 효율적이고 균등하게 공급하는 기술과 낮은 온도에서도 성장할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 특히 미세조류를 이용해 식물성 오일, 동물성 유지, 폐식용유에서 추출한 바이오디젤(Green Gold)은 지방산 메틸에테르 순도가 95% 이상이다. 미세조류의 단위 면적당 바이오디젤 생산(Oil 함량이 30%인 경우)은 약 58,700L/ha로 대두의 446L/ha에 비해 130 배에 달한다.

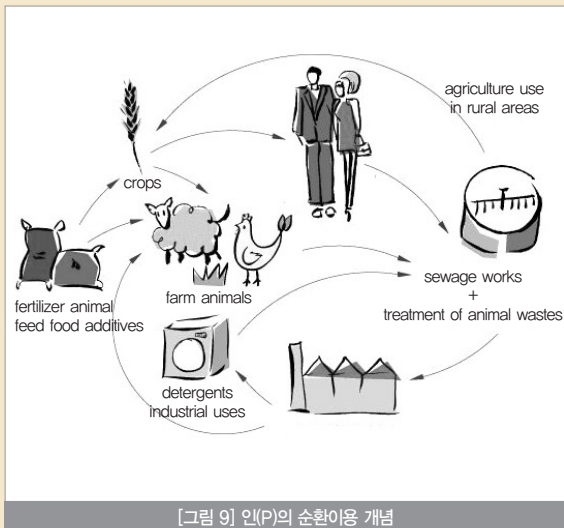
하수처리시설에서 미세조류는 질소와 인 성분을 소모하며 자라기 때문에 하수처리 공정에 활용, 하수처리와 에너지 생산을 동시에 할 수 있는 장점이 있다. 특히 인은 비료, 금속표면처리 등의 세정제를 비롯해 용도가 다양하고 중요성이 높는데 비해 세계적으로 공급량이 부족하다. 따라서 인을 하수처리 과정에서 단순 제거하

기 보다는 회수하여 자원화하여 사용할 수 있는 기술의 필요성이 부각되고 있다.

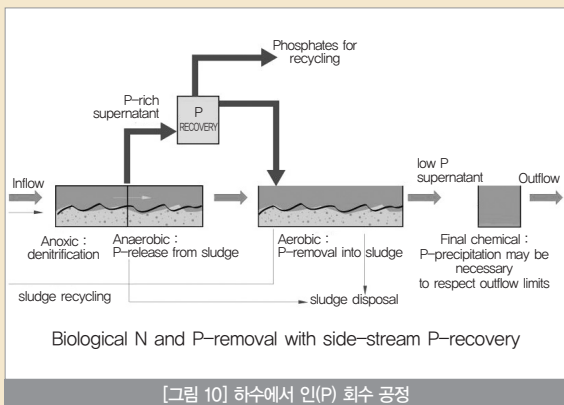
선진국은 인 부족문제 해결을 위해 하수에서 인을 회수하고 재활용하는 방법을 연구하고 있으며, 특히 일본은 마그네슘과 암모늄을 함유한 인산염을 이용해 일명 마그암모포스(Magnesium Ammonium Phosphate, MAP)라 불리는 형태로 인을 회수하여, 마그암모포스를 비료로 활용하는 방법을 연구하고 있다. 우리나라의 인 회수를 위한 연구는 시작단계에 있다. 우리나라에서 인 회수를 위한 가장 유력한 기술은 흡착법으로 스트루바이트라는 광물 생성을 통해 인을 회수하는 기술로 경제적이며 실용 가능한 기술이다. 그러나 흡착법은 하수에서 낮은 인의 농도에 따른 공정 효율성의 극복과 하수 내에서 인을 선택적으로 흡착할 수 있는 방안의 연구가 필요하며 현재 진행중이다. 이러한 연구는 고효율, 고선택성 인 이온 교환 소재와 같은 환경 소재 연구를 통해 해결될 수 있다. 환경소재의 흡착 기작을 통한 기술은 나노소재 기술의 발전과 함께 원천기술 개발이 활발하게 진행되고 있다.

2012년 이후 하수슬러지의 해양투기 및 토지 살포가 금지됨에 따라 하수슬러지 처리 기술의 필요성이 부각되고 있다. 이에 정부는 폐자원 및 바이오매스 에너지화 대책(2008)을 통해 2020년까지의 장기계획을 수립하였다. 하수슬러지 바이오 가스화 기술은 효과적으로 유기물을 분해하여 바이오매스를 바이오가스로 전환하고, 메탄생성 관련 미생물들의 활성이 유지되도록 운영하는 기술이다. 안정적인 바이오가스 생산기술을 위해서는 혐기성 산발효 및 메탄 생성세균의 실시간 탐지, 정량 및 공정응용을 할 수 있는 기술개발이 필요하다. 처리대상 유기물 성상 및 투입량의 변화에 따라 미생물의 활성이 크게 달라지고, 이에 따라 공정운영 전략도 바뀌어야 하는데 미생물의 군집 및 개체 수 정보를 제공하는 시스템 개발이 필요하다.

또한, 유입 물질의 추가적인 에너지 전환과 특화된 미생물 제제 제조 및 응용기술 확보가 요구된다. 우리나라는 1990년대 중반부터 혐기성 소화를 통한 슬러지 바이오매스 자원화에 대한 연구를 시작하였고, 2004년 이후 실제 하수처리과정에 적용하였으나, 선진국에 비해 큰 기술격차를 보이고 있다. 유럽의 혐기성 소화 기술은 1980년대부터 개발이 시작되어, 현재에는 고온 건식 단상 혐기성 소화공법(Kompogas-스위스), 건식 단상 혐기성 소화공법(Dranco-벨기에), 습식·건식 유기성 폐기물 소화공법(Linde-KCA-독일) 등 다수의 상용 공정이 운영되고 있다. 혐기성 소화기술은 단위 부피당 매단 수율이 높고 부산물 발생을 최소화할 수 있어 국내의 수요가 크나, 국내 기술 수준이 크게 미흡하여 해외 기술 수입이 지속되고 있다.



[그림 9] 인(P)의 순환이용 개념



[그림 10] 하수에서 인(P) 회수 공정

6. 신재생에너지 사용 확대와 시장성장 전망

석탄연료의 고갈과 원유 가격의 지속적인 상승으로 에너지 시장의 불안정성이 심화되면서 대체에너지인 바이오가스의 시장이 확대되고 있다. 이에 유럽연합, 일본, 미국 등 선진국들을 중심으로 2020년과 2050년까지의 온실가스 감축 목표를 설정하고, 저탄소 에너지 공급 시스템 구축을 위한 신재생에너지 비중의 점진적 확대를 추진하고 있다. 미국은 2009년 6월 온실가스 배출을 규제하는 '미국 청정에너지와 보호에 관한 법률'을 하원에서 통과시켰다. 유럽연합은 2008년 기준으로 총 에너지 공급량 1,728M TOE의 6.5%를 신재생에너지에 의존하고 있으며, 이중 폐기물은 10.6%, 바이오에너지가 57.3%를 차지하고 있다. 또한, 바이오에너지 생산 확대로 신재생에너지 보급률을 2010년까지 12%, 2020년까지 20% 달성을 목표로 하고 있다. 특히 신재생에너지 중 유기성 폐기물의 바이오에너지화는 실용화의 용이성, 원료(폐기물)의 풍부성, 환경문제의 해결이라는 많은 장점으로 인해 세계 각국에서 연구가 진행되고 있다.

국제 에너지 기구(International Energy Agency, IEA)에 의하면 세계 바이오연료 수요는 2006년에서 2030년 사이 연평균 6.8%의 성장이 예상된다. 2015년에는 2006년 대비 수요 규모가 3배로 확대될 것이며, 2030년경에는 3세대 조류 바이오 연료의 기술적 잠재성과 경제적 성공 가능성을 예측하고 있다. 특히 조류 바이오연료는 기업들의 상용화 움직임에 따라 빠른 속도로 성장하며 바이오연료 시장에서 영향력을 지속적으로 확대해 갈 것으로 보인다. 수송용 연료에서 바이오연료가 차지하는 비중은, 2007년에 약 2%에 불과했지만, 2030년에는 9.3%를 차지할 것으로 예측하고 있다.

바이오연료 시장 성장의 가장 큰 동력은 각국의 정부 정책 때문이다. 미국은 2022년까지 수송용 연료에 바이오 에탄올을 20%까지 혼합할 계획을 갖고 있으며, 유럽과 중국도 2020년까지 수송용 연료의 10%를 바이오연료로 사용하겠다는 정책을 발표하였다. 이산화탄소 감축을 위한 각국의 노력이 본격화됨에 따라 바이오연료의 중요성은 증가할 것이다. 우리나라는 '신재생에너지 R&D 전략 2030 보고서'에서 바이오디젤 보급량이 2007년 10만 kL에서 2012년 60만 kL로 증가할 것으로 예상하였다. 2007년 국내에 등록된 바이오디젤 생산업체는 15개사이고, 바이오디젤 총 생산량은 531,520톤(Metric Ton, MT)이었다. 2010년 국내 바이오연료 시장은 바이오디젤만이 경유혼합 비율 2%로 사용되었다. 우리나라에서 사용되는 바이오디젤 원료는 대부분 수입에 의존하고 있어 지속 가능성에 문제점이 있다. 원료 확보의 어려움은 1

세대뿐만 아니라 폐목재나 바이오 폐기물을 이용하는 2세대 바이오연료도 동일하게 직면한 문제이다. 이런 상황에서 3세대 조류 바이오연료의 등장은 장기적으로 위와 같은 문제들을 해결해 줄 것으로 기대된다. 세계적으로 인광석 관련 산업은 성장추세이다. 모로코는 세계 인광석 매장량의 75%를 보유하고 있고, 연간 채광 규모는 약 2,300만 톤으로 국영기업인 OCP사가 개발을 전담하여 인광석 가공 산업을 확대하기 위한 해외투자유치를 추진하고 있다.

모로코는 2020년까지 인광석 채굴 및 가공 설비를 현재 대비 2배 증설한다는 계획을 수립하였다. 2009년도에 정체되었던 세계 인광석 및 가공품 수요는 2010년에 회복되었고 향후 증가가 예상되고 있다. 우리나라는 하수처리장에서 회수된 인의 수요처가 국내 비료업계이며 국내에 약 10개 내외의 제조 기업이 시장을 형성하고 있다. 농업용과 수출용이 전체 비료의 74%를 차지하고 있으며, 연도별 출하 실적의 차이는 있으나 평균적으로 400만 톤 수준으로 파악되고 있다. 비료산업은 내수 판매에 집중되어 있고, 원재료의 수입의존도가 높아 환율과 유가변동에 큰 영향을 받는다. 이에 하수처리장의 인 회수 시스템은 수입의존도를 완화하여 경제성을 높일 수 있을 것으로 전망된다.

그 밖에 막 시스템과 결합한 바이오가스 생산형 혐기성 생물막 기술, 미세조류를 이용한 축산폐수 혐기소화액 처리 기술, 나노소재를 이용한 인 흡착 및 회수 기술 등이 있다. 바이오가스 생산은 혐기성 미생물의 활성을 극대화할 수 있는 보완 기술개발을 진행 중이며, 미세조류 배양 연구는 질소와 인의 농도가 높은 축산폐수를 대상으로 진행중에 있다. 인 제거 기술도 나노소재를 이용한 고효율·고선택성 인 교환 소재 개발을 진행중이다. 기존에 인 흡착제로 지르코늄 페라이트 원소를 기본으로 한 합성소재들을 사용했으나, 소재의 파손과 철 이온의 유출 문제 해결을 위해, 알루미늄계, 하이르탈 사이트계 원소 등 보다 범위를 넓혀 이차 오염이 발생하지 않는 무기원소 전체에 대하여 원천연구를 수행하고 있다. 전국 하수처리장과 축산폐수로부터 회수 가능한 인의 추정량은 200톤/일 정도이고 이로 인한 수입대체 효과를 기대하고 있다. S