



산업수질 관리정책에 따른 수요기술 전망



손 대 희 |
성균관대학교 무배출형환경설비지원센터
책임연구원
dhson@skku.edu

서론

전 세계적으로 246,000종(American Chemical Society, 2007)의 화학물질이 사용되고 있고, 국내에서 사용되는 화학물질은 40,731종에 이르며, 매년 400여종의 새로운 화학물질이 국내로 들어오고 있다. 이러한 화학물질 중 발암물질, 내분비계 장애물질(EDS; Endocrine Disrupting Substances)은 인간과 생태계에 매우 유해하여 일부 수생태계에서는 유해화학물질에 의한 생태계 교란이 발생되고 있으며, 이들 물질이 상수원에 잔류할 가능성이 항상 존재하고 있다.

수질유해물질 중 휘발성 유기물질, 유기용제, 다환방향족 탄화수소(PAHs; Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) 등의 합성유기화합물과 중금속 등에 의한 수질오염은 인간의 건강은 물론 수생태계에도 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 선진국과 마찬가지로 우리나라의 수계관리의 패러다임도 이러한 수질유해물질 관리를 중심으로 변화하고 있다.

이에 환경부에서는 2006년 물환경관리기본계획을 수립하여 “물고기가 뛰놀고 아이들이 떠들 수 있는 물환경 조성”을 최종 목표로 설정하였다. 이는 기존의 먹는물 중심의 단순한 오염물질 관리에서 생태

적인 건강성 확보와 유해물질 관리의 개념을 도입함으로써 물관리 선진화를 본격적으로 추진하였다는데 큰 의미가 있다.

특히 4대강을 먹는물 공급원으로 사용하고 있는 우리나라는 하천의 오염물질관리가 매우 중요한 사안이며, 수질유해물질의 대부분이 산업활동에 의하여 하천에 유입되므로 수질유해물질 관리를 위해서는 산업폐수의 관리가 우선되어야 할 것이다. 따라서 우리나라의 산업폐수 관리현황과 향후 추진 방향을 살펴보고 이에 따라 수요가 예상되는 폐수처리기술을 제시하고자 한다.

본론

□ 수질유해물질 관리 현황

국내에서 산업폐수 관리를 위한 법령은 1978년에 제정된 매체가 통합된 환경보전법에서 수질분야가 별도로 분리되어 1990년에 “수질환경보전법”으로 제정되어 현재 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법령”으로 시행되고 있다.

환경보전법에서 처음으로 수질유해물질을 다루기 시작하였으며, 초기에는 수은, 납 등 10개 항목을 특정수질유해물질로 지정하여 관리하였다. 이후 낙동강 페놀 사건 등의 수질관련 사고가 발생하고 환경 매체별 관리의 필요성이 대두됨에 따라 환경보전법을 각 분야별로 분리하였다. 이에 산업폐수는 수질환경보전법으로 분리 제정되었고 구리(동) 및 그 화합물 등 12개 항목이 지정되었으며, 1999년에는 셀레늄 및 그 화

합물, 벤젠, 사염화탄소, 디클로로메탄, 1,1-디클로로에틸렌의 5개 항목이 먹는물의 수질에 미치는 영향이 큰 오염물질로서 추가 지정되었다. 이후 특정수질유해물질 항목 지정에 대한 연구가 시작되어 2006년 환경부령에 의하여 1,2-디클로로에탄과 클로로포름이 추가로 지정되었고 2009년 환경부에서는 현행 특정수질유해물질로 지정되어 있으나 배출허용기준이 없는 1,4-다이옥산, 비스(2-에틸헥실)프탈레이트, 염화비닐, 아크릴로니트릴, 브로모포름이 배출허용기준 항목을 신규 설정하고 인체유해성이 높은 것으로 확인된 아크릴아미드를 특정수질유해물질로 지정하고 배출허용기준을 신설한다고 공고하였으며, 향후에도 지속적으로 특정수질유해물질의 확대 적용을 계획하고 있다.

환경부에서는 향후 2015년까지 특정수질유해물질을 점진적으로 확대하여 35여종으로 늘려 나갈 계획으로 미국의 Priority pollutants가 126개 항목인 것을 감안하면 이후에도 지속적인 지정확대가 예상된다. 또한 2011년부터 생태독성 관리제도가 국내에 시행되어 폐수종말처리장, 공공하수처리시설, 석유화학시설등 35개 업종시설을 대상으로 생태독성 배출허용기준이 적용되고 있다. 이러한 총량지표의 도입으로 인하여 독성에 미치는 개별 수질유해물질의 영향 및 거동에 대한 활발한 연구와 관심이 이루어지고

있는 상황이다.

□ 국외 수질유해물질 관리현황

1. 미국의 산업폐수 수질유해물질 관리

USEPA는 1972년 Clean water Act에 의하여 만들어진 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System, 국가 오염물질 삭감시스템)에 따라서 56개 주요산업 카테고리(450개 세부 카테고리)에 대해서 배출오염물질의 종류(일반오염물질, 독성오염물질, 비일반오염물질), 배출오염물질 독성(Toxic Weighting Factor)과 배출량, 배출장소(수계 배출, 처리장배출)에 따라 비용의 합리성을 고려하여 이해당사자와 외부 전문가 의견을 취합하여 오염물질에 따른 처리기술별 처리효율에 근거하여 BPT (Best Practical Technology) 기술기반, BAT(Best Available Technology)기술기반의 배출오염물질 허용농도 가이드라인을 제시하고 있다. 따라서 폐수배출 표준기술(Effluent Standards)를 만들어 수질 가이드라인을 준수하기 위한 처리기술 Option을 각 산업업종별로 "Development Document for Effluent Limitations Guidelines New Source Performance Standards and Pretreatment Standards"를 통해

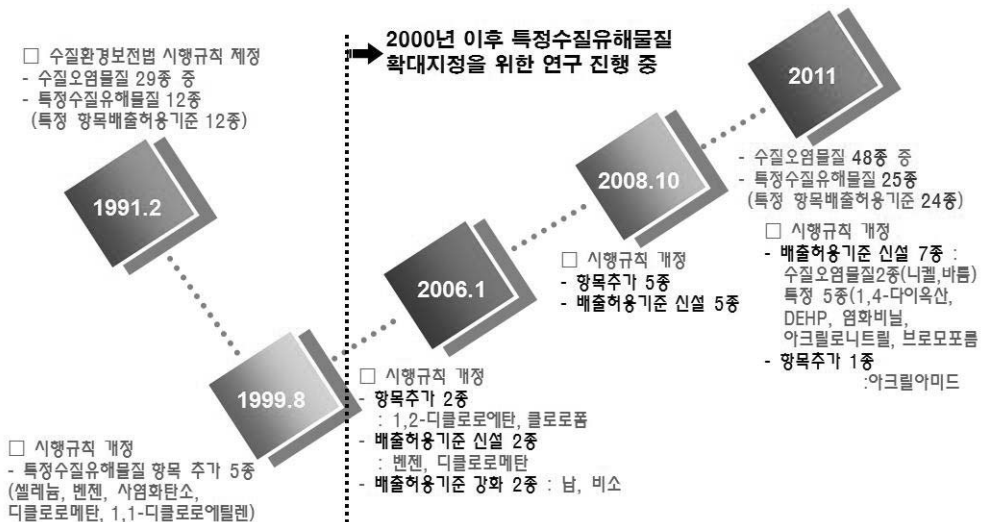


그림 1. 년도별 국내 특정수질유해물질 지정 현황

표 1. USEPA의 미량 수질유해물질 처리기술 예시

오염물질	처리기술	소규모시설 적용기술
Carbon tetrachloride	Packed tower aeration(PTA), GAC	GAC, PTA, diffused aeration, multi-stage bubble aeration, tray aeration, shallow tray aeration
Tetrachloroethylene (PCE)		
Trichloroethylene (TCE)		
1,2-Dichloroethane		
Vinyl chloride	PTA	GAC, PTA, diffused aeration, multi-stage bubble aeration, tray aeration, shallow tray aeration
Dichloromethane		

서 제시하고 있다. 즉 업종별, 투입원료별, 생산제품별로 발생폐수 특성이 다르기 때문에 배출되는 개별 수질유해물질의 배출특성도 각각 차이가 크다. 따라서 동일한 오염물질이라도 혼합된 폐수 특성에 따라서 처리방법을 달리해야 하고 비용의 합리성을 고려해야 하기 때문에 산업폐수에서의 개별 유해물질 처리를 산업업종별로 기술 Option을 별도로 제시하고 있다.

2. EU의 산업폐수 수질유해물질 관리

1997년도에 설립된 유럽 IPPC(Integrated Pollution Prevention and Control) 사무국은 산업활동에 의해 배출되는 오염물을 저감을 위한 관련정보를 유럽 각 국가들이 공유하기 위하여 설립 되었다. 업종별 BAT을 공유하고 발전시키기 위하여 10년간 33종의 BAT Reference Documents(BREFs)를 정리하였다. 이 BREFs는 2010년 8월 새로운 산업 오염배출 법안으로 법제화되어, 기존의 통합 오염물 제거 및 제어 법안과 관련된 산업체 오염물 배출법안을 대체하게 되었다. BREFs는 기술과 경제성을 기반으로 결정된 최적이용가능기술(BAT)와 신규 기술들을 다루고 있으며 BAT 결정과정과 최종 처리결과에 대한 정보를 제공해 주고 있다.

BAT의 결과는 유럽연합의 각국에서 BAT에 근거한 배출기준과 기타 인허가 조건들로 활용된 각 배출시설에서 적합한 BAT와 그들이 달성해야할 처리수준 정도를 명확하게 만들어 준다. 유럽 IPPC에서 제시한 BAT는 산업활동에서 배출되는 모든 오염원을 대상으

로 한다. 즉 수질오염물질, 대기오염물질, 폐기물의 오염원을 대상으로 통합관리 형태의 기술로 제시되고 있으므로 즉, 액상에서 기체상태 혹은 고체상태로 물질 형태만 변화시켰다고 해서 처리 대상에서 제외되는 것이 아니라 전체적인 오염물질 배출에 대한 최적 관리 기술을 포함하고 있다.

□ 국내 수질유해물질 최적처리기술 연구현황

특정수질 유해물질 신규지정 및 생태독성 관리제도 도입하고 이에 따른 배출허용기준 설정하는 등 국내에서도 수질유해물질에 대한 규제가 확대, 강화되고 있으나 실질적으로 이에 대한 체계적인 대응은 미흡한 실정이다. 특히, 기존 기술로 처리가 어려운 물질에 대한 적정 처리기술에 대한 연구가 부족한 상황으로 최근 문제가 되었던 퍼클로레이트, 1,4-다이옥산은 대표적인 사례라 할 수 있다. 일부 연구가 수행되었지만 뚜렷한 적용 기술의 대안이 제시되지 않고 있어 대상 배출시설 업체들이 곤란을 겪고 있는 실정이다. 이와 더불어 기존 폐수처리공정의 변경 보완을 통하여 신규 수질유해물질들의 처리에 대응할 수 있는 기술적인 대안이 거의 마련되지 않고 있다. 특히 기존 처리시설만으로는 잘 처리되지 않는 항목들은 추가적인 시설이나 공정 보완이 필수적인데 이와 관련된 기술이 축적되어 있거나 기술자문을 해 줄 수 있는 기관이 거의 없는 상황이다.

또한 공공폐수처리시설의 경우에서도 개별 배출시설들의 전처리에서 어느정도까지 제거해야 현재 처리공정수준에서 만족할 만한 처리결과를 얻을 수 있는지에 대한 개별처리 수준에 대한 연구도 시급한 실정이다.

현재까지는 대부분 미국, 유럽 등 선진국에서 연구했던 연구결과를 참고로 적용하고 있으나 수질유해물질들의 폐수내 조성이 원료별, 공정별, 생산품별로 매우 큰 차이를 나타내고 있으며, 적용하고 있는 공정기술, 최종처리기술도 상이하므로 외국의 수질유해물질의 처리사례를 국내에 바로 적용시키기에는 어렵다고 판단된다.



따라서 기존 폐수처리과정 연구가 수처리 효율 지표인 벌크물질(BOD, COD, T-N, T-P 등)의 저감에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다면 이제는 개별 수질유해물질들의 고도처리 또는 초고도처리가 핵심 초점이 되어야 하며 이를 위한 기술개발이 필요하다.

□ 수질유해물질 규제에 따른 국내 대응 및 시장규모

우리나라는 특정수질유해물질로 지정되고 배출허용기준이 설정된 물질중 처리가 어려운 물질을 배출할 수 있는 가능성이 있는 업종 및 업체들이 다수 있다. 현재 아크릴로니트릴, 퍼클로레이트, 1,4-다이옥산, 비스(2-에틸헥실)프탈레이트 등은 2010년 10월에 배출허용기준이 설정되었고 2012년부터 규제가 시행될 예정이다. 그러나 이들 물질에 대한 처리기술이 명확히 확립되지 않고 있으며, 배출시설에 대한 방지시설의 대응의 인식도 부족한 상황이다. 미국이나 EU와 같이 공정처리기술, 생물학적 처리와의 연계 기술들에 대한 정보와 기술들 역시 매우 부족한 상황이다. 산업폐수에서 수질유해물질은 개별 단위물질 처리 시스템뿐만 아니라 전반적인 처리공정에 대한 처리효율을 향상시켜서 단위공정별 처리능을 최대로 확보할 때 처리가 가능하다. 따라서 USEPA나 IPPC에서는 이러한 개념으로 업종별 최적처리기술(BAT)을 제안하고 있다. 특히 생물학적 처리시스템을 기본으로 전처리와 후처리기술들이 제시되고 있다. 국내의 경우 현재 대상 수질유해물질 처리기술은 단위공정(오존, AOP, 활성탄)을 추가하여 처리를 목적으로 하고 있으나 공정내 처리기술과 생물학적처리의 운전조건을 대상 수질유해물질 처리에 초점을 두고 개선, 운영하고 있지 않고 있으므로 배출허용기준 강화에 따른 대응 기술을 확보하고 있지 못하고 있는 실정이다. 이들 수질유해물질 확대에 따른 국내시장 규모는 2,000억원을 상회할 것으로 예상되며, 관련 정책이 다각화로 진행되고 있어 시장규모는 점차 확대될 것으로 판단된다.

□ 수질유해물질 항목 확대에 따른 수요기술 전망


최근 배출허용기준 항목으로 지정되고 있는 물질들은 미량으로도 독성을 나타낼 수 있는 VOCs 또는 Semi VOCs 류의 물질들이다. 이들 물질들의 일부는 기존의 생물학적 처리 기술로 처리가 가능하며, 일부 물질들은 생물학적 분해가 어려워 고도산화기술이 필요하기도 하다. 또한 중금속류의 물질들은 화학응집 또는 흡착기술이 적용가능하다.

중금속에 대한 처리 기술에 대한 연구는 이미 많이 이루어져 일부 물질을 제외하면 일반적으로 적용가능한 기술이 충분하다고 판단되지만 기타 유기독성물질은 각 물질에 따라 특성이 상이하여 물질별 처리를 위한 적용 기술도 각각 달라지며, 기술별 효율도 상이하다. 이에 비하여 국내에서는 이들 각각 물질에 대한 연구가 활발히 진행되지 못하고 있는 실정으로 기술의 필요성이 대두되고 있고 규제 대응이 필요함으로 이 분야에 대한 연구가 점차 확대 진행될 것으로 예상된다.

대응 기술을 살펴보면, 생물학적으로 처리가 가능한 물질들은 각 물질에 대하여 처리가 가능한 미생물종을 최대한 확보할 수 있는 기술이 유효할 것으로 판단된다. 예를 들어 1,4-다이옥산의 경우 기존에 생물학적 처리가 어렵다고 알려져 펜톤법을 적용하는 기술이 개발되었으나 최근 생물학적으로도 처리가 가능하다는 연구결과가 발표되고 있다. 결과적으로 해당 물질을 분해할 수 있는 미생물종을 생물반응조에 집적화하여 처리하는 것이 바람직할 것으로 보이며, 물질독성에 강한 생물고정화 생물막법, 미생물 농도를 높일 수 있는 MBR(Membrane Bio Reactor) 공법 기술 등이 용이할 것으로 예상된다. 반면에 생물학적 처리가 용이하지 않은 물질들에 대해서는 고도산화방법(AOP) 등의 물리화학적 고도처리 기술이 필요하게 되는데 0가철을 이용한 환원처리법, UV와 오존을 결합한 페로존법, 광펜톤법, 흡착 등이 적용가능한 기술로 예상되며, 각 물질별 적용성에 대한 기술적 보완이 이루어지면 실증화를 통하여 상용화가 가능할 것으로 생각된다.

결 언

환경적으로 수질환경 보전을 위하여 유해물질에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서 유해물질의 배출이 공정내에서 최소화 할 수 있는 방법이 최우선으로 필요하며, 배출시설에서 배출되는 유해물질의 적정처리 기술에 대한 연구가 시급하다. 유용한 물자원 확보를 위해서는 유해물질 관리에 보다 초점을 맞추어 정책이 추진되어야 한다. 현재 국가에서도 이를 인식하여 지속적으로 수질유해물질 관리를 강화하고 있고 법적으로 배출허용기준 항목 확대와 기준 강화가 지

속적으로 이루어지고 있으나 이에 대응할 수 있는 기술개발에 대한 지원은 다소 미흡한 실정이다. 해당 유해물질에 대한 보다 심도있는 위해성 관련 연구지원과 더불어 배출시설업체가 활용할 수 있는 적정처리 대응기술도 마련되어야 할 시기로 판단된다. 현재 우리나라는 경제적으로 선진국에 진입하고 있는 상황으로 환경 선진국으로도 지속적인 동반 성장을 달성할 수 있도록 산학연관의 통합적 관점에서 체계적이고 심도있는 환경관리 및 대응 기술개발 시스템을 구축해 나가야 할 것이며, 미래의 물 관리를 위해서는 수질유해물질 관리가 우선되어야 할 것이다. 

참고문헌

1. 물환경관리기본계획, 2009, 환경부
2. 폐수배출허용기준 적용대상물질 확대지정을 위한 연구, 2001, 환경부
3. 수질유해물질 적정관리를 위한 배출허용기준 설정연구(10차년도), 2011, 국립환경과학원
4. European IPPC Bureau, 2008, Guidance Document on improving the collection and submission of data for deriving useful BAT conclusion during the review of the BREFs
5. USEPA, 2009. 10, Water treatment technology feasibility support document for chemical contaminants for the second six-year review of national primary drinking water regulations
6. USEPA, 1987, Development Document for Effluent Limitations Guidelines New Source Performance Standards and Pretreatment Standards for the Organic Chemicals and the Plastics and Synthetic Fibers Point Source Category
7. Respiratory Enzymes used for Perchlorate reduction by Microorganisms, 2003, Pennsylvania state uni.
8. Perchlorate contamination of drinking water : regulatory issues and legislative actions, 2008, CRS report for Congress
9. Perchlorate treatment technologies, First edition, 2001, Ground-water remediation Technologies Analysis Center(GWRTAC)
10. Perchlorate treatment technologies literature review operable unit 1 expanded treatability study, 2006, National aeronautics and space administration jet propulsion laboratory pasadena, california,
11. Degradation of 1,4-dioxane in water using TiO₂ based photocatalytic and H₂O₂/UV processes, H.M. Coleman et al(2007), Journal of Hazardous Materials
12. Enhanced sonochemical decomposition of 1,4-dioxane by ferrous iron, Michael A. Beckett et al (2003), Elsevier Science
13. Photocatalytic degradation of 1,4-dioxane in aqueous solution, Roger R. Hill et al(1997), Elsevier Science B.V.
14. 오존과 고급산화공정(O₃/H₂O₂)에서 1,4-다이옥산의 처리특성, 임재립(2004), 한국물환경학회
15. 고급산화법을 이용한 1,4 다이옥산 처리, 이준걸(2004), 대한환경공학회