

# 국내 수처리기술 동향 및 문제점

한국과학기술연구원 수질환경연구센터 정 윤 철

## I. 서론

수처리기술은 처리방법에 따라 물리적, 화학적, 생물학적 처리로 구분된다. 오염물질별로 보면, 자연분리물은 물리적 처리에서 제거되고, 수용성 오염물질 및 콜로이드성 입자는 화학적 및 생물학적 처리에서, 그리고 질소, 인, 미량의 유기물과 무기물은 생물학적 처리 또는 분리막 등의 고도처리에서 제거된다. 수처리방식은 화학적 처리방식에서 약품사용을 줄일 수 있는 생물학적 처리방식으로 전환되어 왔으나, 난분해성 폐수의 경우 물리화학적인 전처리 과정이 필요하고, 최근에 들어 오존, 과산화수소 등을 이용한 화학적산화방법도 이용되고 있다.

수처리의 정도를 구분할 때, 1차처리, 2차처리, 3차처리 또는 고도처리로 구별하여 사용한다. 1차처리는 부유물질을 스크린, 여과, 침강 등 주로 물리적 작용으로 처리하는 공법이며, 2차처리는 생물학적 처리방법으로 폐수중의 유기물 성분을 제거하는 공법을 일컫으며, 3차처리는 2차처리에서 제거되지 않은 잔류 유기물, 미량의 탁도 유발물질, 영양성분(질소, 인), 용해염류, 중금속 등을 처리하는 공법으로 고도처리단계로 분류된다. 수질오염이 심화됨에 따른 수질환경기준의 강화로 처리대상 물질이 BOD 유기물, 부영양화의 원인이 되는 질소, 인, 중금속, 미량 오염물질로 확대되면서 고도 수처리기술 도입이 이루어지고 있다.

우리나라 수처리기술은 환경규제의 강화에 따라 빠른 속도로 발전하고 있다. 정수분야에 있어서는 오존 및 활성탄 공정에 의한 오염물질의 고도처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 전국의 정수장에서는 고도정수시설 도입이 추진되고 있다. 폐하수 분야에

있어서는 지금까지의 수질개선 목표가 BOD 유기물 저감이었으나 이제는 BOD와 더불어 영양염류 처리로 전환됨에 따라 질소, 인의 제거를 위한 고도처리시설의 보강이 필요하게 되었다. 그러나 이러한 고도처리기술들은 아직 국내 기술기반이 취약하기 때문에 국내 실정에 맞는 공법정착이 시급한 실정이다. 향후 국내외적으로 환경규제가 강화 추세에 있고, 총량규제 도입 등 국내 환경규제의 제도적 개선이 이루어지면 국내기술개발과 고도처리기술의 도입이 더욱 활발해질 전망이다. 본고에서는 우리나라의 수처리 기술을 정수기술, 하수처리기술, 오수처리기술, 분뇨, 축산폐수처리기술, 산업폐수처리기술로 구분하여 전반적인 현황 및 문제점을 기술하였다.

## II. 국내 수처리 기술의 현황

### 1. 정수기술

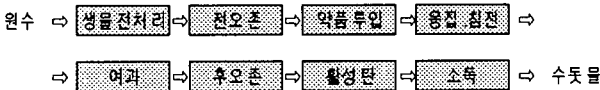
전국 상수도 시설용량은 1998년말 현재 2,569만 톤/일로, 상수도 보급율은 85.2%에 이르고, 1일 1인당 급수량은 395L이다. 상수도 수원은 72%가 하천표류수에, 그리고 19%가 저수지수에 의존하고 있어, 결국 90% 이상을 지표수에 의존하고 있기 때문에 하천오염에 따라 상수도 수원의 수질이 악화될 수밖에 없어 수질관리 측면에서 구조적인 취약성을 안고 있다.

1998년말 현재 매설되어 있는 수도관의 총연장은 113,809km로서 이 가운데 도수관은 1.1%, 송수관이 4.3%, 배수관은 40.8%이고 급수관은 53.8%이다. 이들 관중에서 21년 이상 된 낡은 관의 비율이 8.3%,

15년-20년이 13.2%, 10년-15년이 25.8%로서 이로 인한 수돗물의 누수 및 오염현상이 문제가 되고있다.

수돗물의 수질은, 대부분의 정수장의 기준에 적합한 것으로 조사되고 있으나, 일부검사항목이 수질기준을 초과하였는데, 초과된 항목으로는 주로 미생물과 심미적 영향물질로서 그 원인은 정수처리와 소독미흡에 기인한 것으로 나타났다. 그리고 낮은 수도관에 의한 수돗물의 누수현상 및 오염현상으로 미생물, 암모니아성 질소, 중금속 등이 수질기준을 초과하는 경우도 있다.

산업 발전에 따라 유해한 각종 새로운 오염물질이 배출되고 폐수 발생량이 증가하여 상수원의 오염을 가중시키게 됨으로써 고도정수처리방식의 도입은 필연적인 시대적 요구로 다가오고 있다. 정부는 1989년도의 수돗물 사건과 1994년 발생한 낙동강과 영산강의 오염사고를 계기로 유역특성상 생활하수와 산업폐수 등으로 원수 수질이 나쁜 수계를 우선 대상으로 고도정수처리방식 도입을 추진하고 있다. 대상지역은 한강수계 2개소, 낙동강수계 13개소, 금강수계 2개소 등 모두 17개소이다. 1998년에 4개소, 1999에 5개 정수장을 완공하여 1999년 말 현재 11개 시설이 완공되어 가동 중이다. 고도정수기술은 오존처리, 활성탄흡착, 고도산화처리, 생물학적 전처리, 공기부상법 등, 원수의 수질특성을 고려하여 다음의 예와 같이 적절하게 조합하여 설치되고 있다.



국내의 정수처리 문제점을 살펴보자면 먼저 수처리제 분야에서 원수에 따른 적절한 수처리제의 선택없이 균일한 수처리제의 사용에만 의지하고 있는 경우가 많으며, 여러 종류의 수처리제를 사용할 경우에도 각각의 수처리제 상호간의 영향을 고려하여 체계적

으로 주입되지 않은 경우가 많다. 그리고 침전공정에서는 정수장의 가장 큰 부지를 차지하는 장방형 중력식 침전지만을 사용하고 있는데 선진외국에서 실용화되고 있는 경사판침전, 고속 응집침전, 용존공기부상침전(DAF) 등을 원수의 수질특성에 맞게 적용할 필요가 있다. 또한 여과시에 기존의 모래에 의한 단일 여과에 의존하고 있었으나 최근에는 이중여과에 대한 사용이 점차 증가하고 있다. 여과공정이 미비한 경우에 유출되는 floc들은 미생물의 피난처가 되므로 소독과정에서 미생물의 사멸이 어렵게 된다. 외국에서 문제가 되고 있는 Giardia, Cryptosporidium과 같은 소독내성미생물에 대한 체계적 조사가 필요하다. 그리고 소독시에는 우리나라의 경우 염소가 주 소독제이며, 염소의 소독 부산물중 가장 대표적인 THMs 발생량이 크게 문제가 되지않는 한 대체소독제에 대한 검토보다는 염소에 대한 기술개발 및 연구가 필요하다고 판단된다. 물론 어느 소독제나 가지고 있는 소독부산물의 잔여물의 제거에도 관심을 두어야 할 것이다.

정부는 수돗물 수질기준을 2005년까지 선진국 수준으로 강화하기 위하여 미량유해물질 조사에 의해 국내 수계에서 검출되는 유해물질 등을 기준 항목에 포함시켜, 현 수질기준항목 47개에서, 2001년 55개, 2005년 85개로 확대할 계획으로 있다.

## 2. 하수처리 기술

1998년말 기준으로 우리나라에 건설, 운영되고 있는 하수종말처리장은 114개소이며 전체의 시설용량은 1,662만톤에 달하고 있다. 전국 인구 4,717만명에 대한 하수처리 인구는 3,110만명으로서 하수도보급율은 65.9%이며, 정부는 2005년까지 하수도 보급률을 80%까지 향상시킬 계획으로 있다.

국내 하수처리시스템은 스크린, 침사지, 최종침전지, 생물학적 처리, 최종침전지, 살균 등으로 구성되어 있는데, 생물학적 처리로는 84개소가 활성슬러지

공법을 채택하고 있으며, 그 이외에는 장기폭기법이 14개소, 회전원판법이 5개소, 산화구법을 채택한 곳이 5개소, 1차처리 2개소, 접촉산화 1개소, 토양접촉 1개소, 고도처리인 혐기호기가 1개소 등이다.

1998년말 현재 하수관거는 62,330km가 설치되어 있으며, 하수관거의 대부분(65%)은 합류식이다. 우수배제를 주목적으로 하여 설치되어온 하수관거는 하수처리장 건설과 병행하여 개량 또는 신설되어야 하나 막대한 시설비 소요와 거미줄처럼 얽힌 지하매설물을 파헤쳐야 하는 시공상의 난점 및 지방자치단체의 재정부담능력부족 등으로 인하여 체계적인 정비가 이루어지지 못하고 있다. 하수관망 체계의 미비로 관거 내로 흐르는 하수가 지하로 침투되거나 지하수가 하수관내로 역류함으로써 전기에는 설계치 보다 적은 하수량이 하수관거 내를 흐르고 우기에는 많은 양이 흐르게 된다. 또 지하수의 유입으로 하수처리장 유입하수의 유기물 농도가 낮아져 하수처리효율이 떨어지고 있다. 외국을 기준으로 하여 설계된 유입하수의 BOD가 200mg/L인데 비하여 국내 하수처리장의 경우, 유입수가 그나마 100mg/L이상으로 유입되는 하수처리장은 29개소, 전체처리장의 25%에 불과하여 전반적으로 정상적인 운전이 크게 어려운 상황이다. 경우에 따라 하수관내에 지하수가 다량 유입되어 처리장에 유입되는 하수의 오염물질 농도가 방류기준에 이르는 경우도 있다.

국내 하수처리장의 설계지침서는 선진국인 미국과 일본의 설계지침서를 이용하고 있는 실정으로, 낮은 유입농도 등의 특수 상황은 전혀 고려되지 않고 있는 형편이다. 그러므로 일차적으로 유기물의 제거만이라도 효율적으로 달성하기 위해서는 국내의 상황에 적합한 처리방법의 선정 또는 개량과, 운영지침등의 마련이 시급하다고 하겠다. 또한 하수처리장 방류지역의 수계 부영양화를 방지하기 위하여 질소 및 인의 규제로 하수의 고도처리가 필연적으로 요구되고 있어 이에 대비한 추가 시설투자가 고려되어야 할 것이다.

현재 선진국에서 상용화 되어있는 질소·인 제거 공법으로는 baffle을 이용한 single sludge process, 4단 Bardenpho process, Phostrip process, A2/O process VIP process, SBR 등이 있다.

국내 환경시설업체에서도 이들 영양성분 처리를 위한 기술개발을 추진하고 있으며, 환경기술 평가를 위한 환경관리공단의 구리모형시설단지에 2000년 7월 현재 26개 업체가 참여하고 있다. 적용되고 있는 공법은 크게 A2/O, SBR, media계열로 구분된다.

### 3. 오수처리 기술

인구증가 및 국민생활 수준의 향상으로 오수발생량이 지속적으로 증가하고 있으며, 97년말 현재 생활오수 발생량은 하루 약 16,273천톤에 이르고 있다. 오수발생량은 급수량과 밀접한 관계가 있으며, 주요 발생원은 일반가정, 숙박업, 식품접객업, 목욕탕업, 공장 등으로 수세식 변소, 목욕탕, 세척장, 주방 등에서 주로 발생되고 있다. 이와같이 발생한 오수는 하수종말처리장 이외에 오수정화시설 및 정화조에 의해 처리되고 있다.

오수정화시설의 경우는 현재 침전 및 호기성 또는 혐기성 생물학적 처리방법에 의해 오수를 정화하는 시설로서 전처리설비, 생물학적 처리설비, 침전조, 소독조 및 부대설비로 구성되어 있다. 처리방법으로는 장기폭기법, 표준활성오니법, 접촉산화법, 살수여상법, 회전원판 접촉법, 현수미생물 접촉법, 분리접촉폭기법, 혐기여상 접촉법, 한외여과법 등이 제시되고 있다. 전국에 설치된 오수정화시설은 현재 47,477개소에 달하고 있는데 처리방법별 설치현황은 장기폭기법이 가장 많으며, 다음으로 접촉산화법, 현재 신설금지로 되어있는 임호프탱크, 살수여상법이 있으며, 그외에 표준활성오니법, 접촉안정법, 회전원판법등이 채택되어지고 있다.

한편 수세식 변소에서 나오는 오수를 처리하는 정화조의 처리방법별 설치현황은 살수형 부패탱크, 부

---

패탱크, 임호프탱크, 접촉폭기, 살수여상법 순으로 전국에 현재 222만기가 보급되어 있다.

현재 우리나라에 보급되어 있는 오수처리시설의 많은 부분을 차지하고 있는 임호프탱크는 혐기성 처리로서 처리효율이 낮으며, 그 이외 처리방법들도 유기물의 제거는 어느 정도 가능하나 질소 및 인의 제거는 불가능하여 폐쇄성 수계의 부영양화 등 수질오염을 야기시키고 있다. 현재 설치되어 있는 정화조의 효율이 법적기준에 크게 미달되어 정부는 임호프탱크와 살수형 부패탱크방법의 정화조는 1995년부터 이미 신규 설치를 금하고 있다. 최근에는 유기물의 고도처리와 아울러 영양염류의 효과적인 제거가 가능한 오수처리방법이 보급되고 있다. 접촉안정법, 현수미생물법 등은 초기 설치비가 다른 처리방법 보다는 높으나, 비교적 처리 효율이 안정되어 최근 선호되고 있는 처리방법이다. 또한 최근 오수처리시설등에도 활용되기 시작하고 있는 분리막(membrane)을 이용하는 처리방식은 고도처리 방식의 하나로서 초기 투자 비용은 높으나 안정된 처리수질을 얻을 수 있다는 장점으로 점차 보급이 확대될 전망이다.

오수를 적정하게 처리하기 위해서는 좋은 처리방법 및 시설과 동시에 운전관리에 필요한 비용에 대한 경제성 평가가 따라야 하겠으며, 아울러 문제가 발생하였을 경우에 즉각 대처할 수 있는 유지보수체계를 갖추어야 한다. 기존 오수처리시설은 운전실태 점검결과에서 보면 설계의 오류, 유지관리 미흡으로 인해 처리효율이 저하되어 방류수 수질기준을 초과하는 경우가 빈번하다. 그 동안의 실태조사에 의하면, 유동상담체의 미생물 부착 불량, 포기조에서 산기관의 배열이 유체의 흐름과 불일치, 유량조정조의 용량산정이 제대로 이루어지지 않아 유량조정기능 상실, 유지관리 인력의 전문성 결여 등이 문제점으로 지적되고 있다.

#### 4. 분뇨 및 축산폐수처리 기술

1973년도에 이르러 서울과 부산에서 습식산화법이 도입되어 우리나라 최초로 분뇨처리시설이 설치되었다. 현재까지 설치된 분뇨처리공법을 보면, 혐기성 소화+호기성 소화, 호기성 소화+생물학적 호기성처리, 호기성소화+화학적 처리, 기타 발효식 공법, 가압폭기식 공법, 감압증발법(95년 1월 폐지), 액상부식공법이 있다. 분뇨관리 체계는 수기식과 수세식으로 2원화 되어 있어 분뇨관리의 효율화에 어려움이 많다. 한편 수세화의 증가에 따라 수거분뇨량이 감소하는 한편 정화조 오니의 수기량이 점차 늘어나고 있다. 또한 기존분뇨처리장의 경우 시설이 노후화되어 처리능력이 점차 떨어지고 있으며 1996년 이후부터의 방류수 수질기준이 강화(영양염류 포함)되어 기존 분뇨처리시설에 대한 적절한 대안이 요구되고 있다.

축산폐수의 주된 오염원은 주로 소, 돼지로서 99년 말 현재 약 49만의 축산농가에서 소, 돼지 1,035만 마리를 사육하여 1일 약 121천톤의 축산폐수를 배출하고 있다. 국내 대부분의 축산시설은 극히 소규모 단위로 운영되고 있어, 축산폐수 발생량의 33%가 신고대상미만 축산농가에서 발생하여 처리시설을 제대로 갖추지 못한 채 방류되어 지천의 오염과 호소 부영양화의 중요한 원인이 되고 있다. 축산폐수처리를 위한 처리공법은 관계법에 의해 혐기성 소화방법, 호기성 산화법, 화학적 방법, 퇴비화 방법 등으로 규정되어 있다. 99년 현재 17개소, 3,850 m<sup>3</sup>/d의 축산폐수 공동시설이 가동 중에 있고, 27개소, 3,840 m<sup>3</sup>/d가 추진 중에 있다.

종래의 분뇨 및 축산폐수 처리공법은 활성슬러지법, 액비화법, 정화조법, 화학적 처리법 등 대체적으로 단순공법이 많이 채택되어 왔으나 축산업의 기업화 및 집단화로 환경 오염이 심각해짐에 따라 법적 방류기준도 강화되면서 단순처리공법만으로는 환경보전법을 만족시킬 수 없게 됨에 따라 여러 가지 신기술이 개발되었고, 공법구성도 단순공법에서 복합공법으로

발전하고 있다. 또한 오염물질도 축분을 포함한 고품질과 축뇨를 포함한 액상오염물질로 분리해서 고품질오염물질은 비료화로 농지에 환원시키고, 액상오염물질은 고도처리 후에 방류하는 것으로 일반화되고 있다. 처리공정은 오폐수처리에 이용되고 있는 물리화학적 처리기술과 생물학적 처리기술로서 이들 기술들을 조합하여 전처리단계 및 1, 2단계 처리공정을 구성하고 있다. 전처리단계에 적용된 기술은 물리화학적 처리기술이 대부분이고 생물학적 처리기술은 1단계 처리공정에 적용되었으며 2단계 처리공정은 다시 다양한 물리화학적 처리기술의 단위공정들을 접목하여 축산폐수를 처리하고 있다. 현재 국내에 소개되고 있는 축산폐수 처리공법은 이러한 각 단계별 단위 처리공정들을 조합하여 나름대로의 독특한 처리공법으로 명명되고 있는데 대부분 2단계의 생물학적 처리공정에 따라 그 공법의 차별성을 부각시키고 있다. 2단계에 적용되고 있는 생물학적 처리공정은 전처리 단계를 거친 고농도의 축산폐수를 1차 소화처리한 후 활성슬러지공정에서 2차로 처리하여 다음의 2단계 마무리 처리로 이어진다. 인근에 하수처리장이 있을 경우 소화처리 후 바로 또는 1단계 처리 후 하수처리장으로 연계시켜 처리하는 경우도 있다. 현재 운영 또는 시험가동중인 12개의 축산폐수공공처리시설 중 3개 처리시설이 연계처리를 하고 있다. 국내 축산폐수의 과제로는 축산폐수 배출양상의 다양함 (BOD 2,000 - 25,000mg/L)을 해결할 수 있고, 1996년도부터 시행되는 영양염류처리가 가능한 처리공법의 도입 및 표준화가 필요하며, 아울러 폐수의 수집 및 수거 방법도 규격화하여 처리시설로의 투입 시에 유입수질의 균일화 유지도 필요하겠다.

### 5. 산업폐수처리 기술

전국의 폐수배출시설을 가진 폐수배출업소는 98년 현재 37,621개소이며 이들의 하루 용수사용량은 51,581천m<sup>3</sup>이며, 냉각수 및 원료, 증발량 등을 제외

하고 4,068천m<sup>3</sup>의 폐수가 발생되고 있으나, 회수, 순환 등으로 재사용되어 실제 폐수방류량은 2,614천m<sup>3</sup>이다. 폐수처리 방법으로 보면, 물리적처리가 5%, 화학적처리 50.8%, 생물학적처리 4.5%, 종합처리 6.6%, 고도처리 0.1%, 위탁처리 30.8%, 기타 면제승인이 2.2%이다. 1998년말 현재 92개공단에 폐수 종말처리시설이 31개소로 대부분 활성오니법을 채택하고 있다. 기타 하수종말처리, 공동방지사설, 개별방지사설 등으로 처리되고 있다. 공단폐수 종말처리장의 경우, 염색폐수, 석유화학폐수, 피혁폐수, 제지펄프폐수, 고농도 유기폐수, 중금속폐수 등, 산업폐수의 성상이 다양하고 특히 원수에 독성물질이나 난분해성 물질이 다량으로 유입되는 등으로 인하여 생물학적인 처리에 많은 어려움을 겪고 있다. 이외에도 원수나 처리과정 중에서도 악취의 발생이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 국내 기술수준을 보면, 물리적처리, 응집, 중화등 화학적처리기술은 정착단계에 있으나, 고급산화법등 전처리 기술 개발과 생물학적 고도처리기술 분야는 아직 초보단계에 있다.

산업과 과학기술의 발달로 세계적으로 화학물질의 종류와 사용량이 증가하고 있다. 최근 들어 다양한 유해화학물질이 산업폐수를 통해 하천에 유입되어 수생태계와 인체에 미치는 악영향이 속속 밝혀짐에 따라 선진국에서는 이러한 유해화학물질을 관리하기 위한 수질환경기준 및 배출허용기준을 지속적으로 개정, 보완하고 있다. 국내의 경우도 현황분석을 토대로 문제가 되고 있는 유해화학물질의 산업폐수 배출규제항목 확대와 과학적 배출기준 설정에 의한 수질관리가 시급하다고 하겠다.

### III. 맺는 말

당면한 국내 수질환경 분야의 과제는 양질의 수자원 확보와 공급이다. 환경부는 금년에 '차세대 핵심환경기술 개발 (Eco-Technopia 21)'을 착수하여 2010년까지 총 1조원의 기술개발비를 투자하여 선

---

진국의 60~70% 수준까지 기술수준을 제고할 계획으로 있다. 수처리 분야의 기술 수요측면에서 볼 때, 안심할 수 있는 수돗물 공급을 위해서는 영양염류 제거 등의 상수원의 부영양화 방지기술과 고도 정수기술이 필요하다. 오존/활성탄 정수시스템의 자동화, 현재 래식의 간이정수시설을 대체하는 자동 운전시스템의 소규모 정수처리 기술 등이 주요 개발 대상이다. 하수처리분야에서는 현 대규모 하수처리장 위주에서 탈피하여 중소규모의 시설의 필요성이 대두되고 있는 시점에 맞추어 마을단위의 소규모 고도하수처리 시설 보급이 확대될 전망이다. 산업폐수처리 분야에

서는 악성 난분해성 산업폐수처리, 순환형 고도처리에 의한 무방류 시스템, 재이용시스템 등의 수요가 늘어날 전망이다.

끝으로 국내 수질환경 개선과 무역과 환경을 연계하는 국제적 추세에 효과적으로 대응하기 위해서는 국내 환경기술의 외국 의존 탈피를 위한 선진기술의 습득과 자체기술 개발이 필요한 것은 재론의 여지가 없다. 그러나 단순히 외국 첨단기술을 무분별하게 도입할 것이 아니라, 먼저 국내 기존 처리시설을 최대한 활용하는 최적 운전관리기법의 확립과 전문화가 선행되어야 할 것으로 본다.

---

## 참고문헌

1. 국립환경연구원, "2000 배출시설관리반 교재", 2000
2. 국립환경연구원, "환경기술연구개발사업 연구기획보고서", 2000
3. 정윤철, "수질분야 - 수처리기술 현황", 월간 자동제어 계측, 7월 (2000)
4. 환경부, "우리나라 수질보전정책", 세미나자료, 1999
5. 환경부, "환경백서", 2000
6. 환경부, "환경통계연감", 1999