

고도정수처리기술

고도 정수 처리는 국내·외를 막론하고 관련 기술의 발달이 이루어지고 있으며 관련법 또한 진전을 이루고 있다. 따라서 정부의 G7 PROJECT와 관련해서 이를 소개한다.

1. 서 론

우리나라 상수원은 인구증가와 산업의 고도화에 따라 갈수록 오염이 심화되고 있다. 이로 인해 크고 작은 수질 이상현상이 1988년부터 약 182건정도가 발생되었고, 시민들은 수도물의 수질에 대해 강한 불신감을 나타내고 있으며 이에 대한 대책이 시급한 상황이다. 수질 오염 문제를 해결하는 방법은 여러 가지가 존재하나 상수의 오염문제는 단지 상수만을 잘 처리한다고 해서 해결될 문제가 아니라 근본적인 오염원의 저감이 이루어져야 한다. 상수의 오염원은 생활하수가 오염량의 주요 부분을 차지하고 있으므로 생활하수 발생량을 줄이고 차집관거시설을 확보하며, 하수종말처리장에서의 처리를 완벽하게 하는 것이 중요하다. 그러나 현재 국내 사정은 차집관거 시설등이 미약한 상황이며 종말처리장에서의 처리 역시 2차처리가 도입된 지 얼마 되지 않아 이주 미약한 상황이다. 그러므로 현재 택할 수 있는 방

법은 생활하수의 경우 생활하수의 발생량을 줄여 원천적으로 오염원을 제거할 수 있는 처리수 재이용 시스템(중수도 시스템)이 대도시 고층건물등을 중심으로 도입되어야 하며, 상수의 경우는 국민들에게 양질의 물을 공급하기 위해 고도정수처리 시스템을 도입하여야 한다.

1994년 초 발생한 낙동강 하류부 정수장의 악취사건은 국내 정수장의 고도정수처리 시설 도입이 선택이 아니라 필수적이라는 인식을 심어주었으며, 정부의 "4대강 수질관리 개선 대책"의 일환으로 원수 수질이 나쁜 18개 정수장에 먼저 고도정수처리시설의 도입을 추진하게 되는 계기가 되었다.

현재 계획중인 고도정수처리의 경우 용량이 350만톤/일이며 총사업비가 3500억원 규모이다. 국내 관련 산업체의 기술수준이 미미한 실정이므로 현재 추진중인 처리 역시 주로 선진국의 기술을 그대로 국내에 적용하거나 주요 기술의 경우는 외국회사의 기술에 의존하고 있는



안규홍 /
한국과학기술연구원

실정이다. 그러므로 고도정수처리 기술의 개발은 절박하며 이를 선진국 수준까지 끌어올리는 것이 주요 과제라 할 수 있다.

또한 처리수 재이용 시스템 역시 일본의 경우는 1970년대 후반부터 개발되어 실용화되어 왔으나 우리나라에서는 최근에야 중수도시설의 설치가 법적으로 권장되고 있으며 실용화된 곳도 많지 않은 상황으로 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

2 국내·외 고도정수처리 기술동향

1) 국내·외 고도정수처리 도입 배경

고도정수처리는 국내·외를 막론하고 법의 제정과 관련기술의 발전으로 인하여 도입이 이루어지게 된다. 국내의 음용수 수질기준은 1984년 보건사회부령 제 744호 “음용수 수질기준등에 대한 규칙”으로 제정된 후, 4차에 걸친 개정을 통하여 1993년 6월 16일 부터 총 37개 항목을 규제하도록 다음 Table 1.과 같이 규정이 강화되어 왔다. 1990년 개정시부터는 유해 영향 유기 및 무기물질에 대한 수질규제를 추가하였으며 수질검사 회수 및 검사방법 등도 명시하여 수질기준을 강화하였다. 그러나 이 기준은 미국 EPA의 SFDA(Safe Drinking Water Acts Amendments of 1986)에 제시되어 있는 규제에는 미치지 못하고 있는 실정으로 앞으로도 계속 수질기준이 선진국 수준으로 강화되어갈 것을 나타내는 것이며 이에 대한 관련기술의 연구가 지속적으

로 이루어져야 함을 알 수 있다.

미국의 경우는 다음 Fig. 1과 같이 현재 133개 항목에 대하여 규제를 하고 있으며 우리나라의 37개 규제항목과 비교하면 상당한 수준임을 알 수 있다. 또한 앞으로 2000년대에는 약 183개 항목까지 규제를 확대할 것으로 계획되어 있다. 특히 1991년 제안된 Federal Drinking Water Regulations에서는 휘발성 유기화합물질(Volatile organic chemicals, VOCs)뿐만 아니라 합성유기화합물질(Synthetic or-

ganic chemicals, SOCs)과 무기화합물질(Inorganic chemicals, IOCs), 살균제 및 살균 부산물질(Disinfectants and disinfectants by-product, DBPs)의 기준을 설정하여 규제를 강화해 나갈 추세이며, 유럽과 일본등지에서도 수질기준을 엄격히 설정하여 규제를 강화해 가고 있다. 이에 따라 대부분의 나라에서 기존처리의 처리수준을 높이는 고도처리에 대해 많은 관심이 기울어지고 있다.

2) 국내·외 고도정수처리 기술

Table 1. Change of drinking water criteria

개정일	주요 변경 내용
1986. 7. 10	<ul style="list-style-type: none"> -수질검사방법 개정 : 납, 카드뮴, 아연, 망간, 수은의 측정방법을 비색법에서 원자흡광도법으로 개정 : 암모니아성 질소, 시안, 유기인의 시험방법을 정성 시험에서 정량시험으로 개정 : 철, 불소, 페놀의 시험방법을 비색법에서 분광광도법으로 개정 -아질산성 질소 항목 삭제 : 암모니아성 질소 검사로 대체
1990. 1. 11 (1990. 6. 1 부터 시행)	<ul style="list-style-type: none"> -유해영향 유기물질 : 총트리할로메탄 추가
1991. 7. 4	<ul style="list-style-type: none"> -유해영향 무기물질 : 셀레늄 추가 -유해영향 유기물질 : 다이아지논, 파라치온, 말라티온, 페니티로티온 추가로 유기인 항목 세분화 -수질검사회수 강화 : 매일검사항목 -색도, 탁도, 맛, 냄새, pH, 잔류염소 : 매주검사항목 -암모니아성 질소, 질산성 질소, 과망간산칼륨소비량, 일반세균, 대장균군 증발잔류물 : 매월검사항목 -그외 항목 -검사방법 보완 : 황산이온, 잔류염소
1992. 12. 15 (1993. 6. 16 부터 시행)	<ul style="list-style-type: none"> -유해영향 유기물질 : 테트라 클로로 에틸렌, 트리 클로로 에틸렌, 1,1,1-트리클로로에탄, 카바릴 추가

현황

갈수록 강화되어 가는 음용수 수질기준이나 잦은 민원으로 인해 국내에서 고도정수처리를 도입하였거나 가동예정인 처리장은 부산 화명, 덕산 정수장과 인천 부평 정수장, 대구 다사, 낙동강 정수장 등 대도시에 위치한 5개 정수장이다. 이들은 상수원수의 오염으로 정수에서 ABS, 맛, 냄새 등이 문제가 되어 고도정수처리를 도입한 것으로 처리현황은 다음 Table 2와 같다. 간헐적인 수질오염의 경우는 현재 모든 정수장에서 PAC(Powdered activated carbon)를 이용하고 있으며 중소규모의 정수장의 경우에는 이산화염소를 염소대신 이용하는 대체 살균처리가 이용되고 있다. 그러나 현재 이용되는 고도정수처리는 활성탄처리와 오존처리 뿐이며 기타 선진국의 고도정수처리 방법은 다양성면에서나 기술 측면에서 상당히 낙후되어 있다. 고도

정수처리를 도입하기 위해 설계중인 많은 정수장 역시 현재 도입되어 있는 오존과 입상활성탄을 결합한 생물활성탄만을 고려하는 등 각각의 경우에 적합한 처리방법을 선택하기 보다는 이미 처리중인 방법을 그냥 답습하고 있는 상황이다.

미국의 경우는 음용수에 존재하는 많은 오염물질에 대해 MCLGs(Maximum contaminant level goals)를 정해놓고 있으며 이에 근접한 MCL(Maximum contaminant level)을 만족할 수 있는 BAT(best available technology)를 제시하고 있다. SDWA에는 GAC처리를 기준처리방법으로 하고 BAT를 SOCs의 처리효율이 적어도 GAC처리 정도되는 방법으로 정의하고 있다. VOCs나 SOCs 등은 각각의 경우에 효과적으로 제거할 수 있다고 언급되어 있는 BAT는 GAC, PCA(Packed column aeration), PAC, diffused aeration, advanced oxidation processes, reverse osmosis 등이다. 또한 무기

현재 이용되는 고도정수처리는 활성탄 처리와 오존처리 뿐이며 기타 선진국의 고도정수처리 방법은 다양성면에서나 기술적 측면에서 상당히 낙후되어 있다. 고도정수처리를 도입하기 위해 설계중인 많은 정수장 역시 현재 도입되어 있는 오존과 입상활성탄을 결합한 생물활성탄만을 고려하는 등 각각의 경우에 적합한 처리방법을 선택하기 보다는 이미 처리중인 방법을 그냥 답습하고 있는 상황이다.

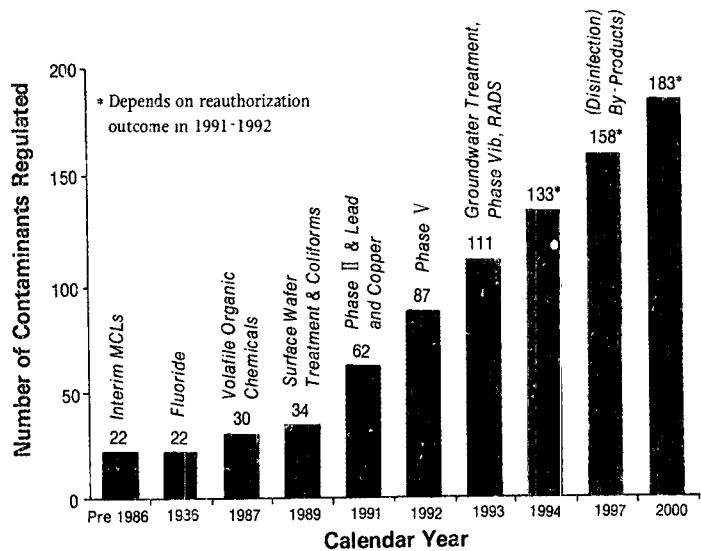


Fig. 1 Regulation history and future schedule

Table 2. Domestic advanced water treatment facilities

정수장 처리공정	정수장	도입배경	도입년도
오존처리	화명정수장(부산)	ABS등 상수원 수질오염	1988년
	덕산정수장(부산)	ABS등 상수원 수질오염	계획중
입상활성탄 처리(GAC)	부평정수장(인천)	맛, 냄새 유발물질등 상수원	1986년 설계중
	다사정수장(대구)	수질오염	
생물활성탄 처리(BAC)	낙동강정수장(대구)	구미 두산전자 폐놀에 의한 낙동강 수질오염	1994년 가동예정
	화명정수장(부산)	ABS등 상수원 수질오염	
CLO에 의한 대체살균처리	부평정수장(인천)등 중·소규모 정수장	상수원수의 수질오염	1991년

물질에 효과적인 BAT로서 AA (Activated alumina), CC(Corrosion control), C/F(Coagulation/Filtration), DF(Direct filtration), DMF(Diatomite filtration), EDR(Electrodialysis reversal), GAC, LS(lime softening), RO(reverse osmosis)등과 같이 다양한 방법이 제시되어 있다. 이러한 BAT는 각각 오염물질에 대해 적어도, 한가지씩은 제시되어 있다. 연방정부에서 제시한 VOCs와 SOC에 대한 규제내용과 무기물질에 대한 규제내용은 다음 Table 3과 4에 나타낸다.

우리나라의 경우, 음용수 수질기준이 각각 오염물질에 대해 규제하는 것이 아니라 전반적인 오염물의 상태를 알 수 있는 항목으로 규제하고 있으나 앞으로는 각각의 항목에 대해 규제를 하는 방향으로 나아가야 할 것이다. 또한 각각의 오염물질에 대하여 가장 최적인 고도정수처리 방법으로 제시할 수 있는 정도까지 발전하여야 한다.

3) 국내·외 처리수 재이용 시스템 기술현황

국내의 처리수 재이용 시스템은 아직 초보적인 단계로서 롯데월드 및 용인자연농원 놀이 단지 등에서 생물학적처리를 하여 재이용 하는

이외에는 골프클럽과 같은 곳에서 잔디 용수를 다시 사여과 처리하여 이용하는 방법 정도이며 그 빈도도 크지 않다. 그러나 일본 등은 신주쿠시의 약 10개 고층건물군에서 전체적으로 중수처리를 하여 변기세정용수로 사용하고 있고 기타 조경용수나 자동차 세정용수 등 여러가지 방법으로 중수도가 이용되고 있다. 또한 중수처리 방법 역시 우리나라는 하수처리와 비슷한 수준으로 생물학적 처리를 하는 정도이며, 고도처리로서 급속여과등을 행하고는 있으나 그 운전은 주먹구구식으로 행하여 지고 있다. 이것은 일본 등에서는 약 270천톤/일의 중수가 1989년도 현재 이용되고 있는

Table 3. Federal regulations for volatile and synthetic organic contaminants.

First group VOCs	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	BAT
Trichloroethylene	0	0.005	GAC, PCA
Carbon tetrachloride	0	0.005	GAC, PCA
Vinyl chloride	0	0.002	PCA
1,2 Dichloroethane	0	0.005	GAC, PCA
Benzene	0	0.005	GAC, PAC
para-Dichlorobenzene	0.075	0.075	GAC, PAC
1,1-Dichloroethylene	0.007	0.007	GAC, PAC
1,1,1-Trichloroethane	0.20	0.20	GAC, PAC

Table 4. Federal regulations for inorganic contaminants (Promulgated January, 1991)

	MCLG(mg/l)	MCL(mg/l)	BAT
Asbestos	7 MFL ²	7 MFL ²	C/F, DF, DMF, CC
Barium	2	2	I/E, LS, RO, ED
Cadmium ¹	0.005	0.005	C/F, LS, RO, IE
Chromium	0.1	0.1	C/F, LS, RO, IE
Mercury	0.002	0.002	GAC, LS, C/F, RO
Nitrate	10	10	IE, RO, EDR
Nitrite	1	1	IE, RO
Total Nitrate/Nitrite	10	10	—
Selenium	0.05	0.05	EDR, C/F, AA, LS, RO

¹ Promulgated June, 1991

² Million fiber per liter with fiber length > 10 microns.

상황과 비교되며 중수도 시스템도 막분리를 이용한 시스템과 같이 중수원수 현황이나 부지조건과 같은 여타의 상황에 알맞는 방법 등이 여러모로 개발되어 실용화되고 있다.

미국에서는 하수를 재처리하여 이용하기 위해서는 각 용도에 따라 각 주마다 처리하여야 하는 수준이 각각 다르다. 일반적으로 생물학적 처리를 하며 그외 oxidation이나 여과법, 응집·침전과 같은 고도처리를 행하는 경우 또한 상당하다.(Table5)

3 고도정수처리 기술 추진현황

현재 고도정수처리기술은 G7 project의 대분류인 수질오염방지기술 개발중에 하나의 과제이다.

고도정수처리 기술의 경우 1차년도에는 먼저 국내의 상수 수질오염 현황을 분석하고 선진국등의 음용수 수질 기준등을 참고하여 상수원수에서 고도처리 대상 물질을 선정하였다. 또한 국내외의 고도정수처리 기술을 문헌이나 자료를 통하여 조사하고 국내 도입현황및 문제점을 분석하였으며 이를 바탕으로 처리대상별 적정 단위공정을 도출하였다. 도출된 적정 단위 공정은 생물학적 활성탄을 이용한 처리기술, 지하수의 음용화 기술, 고도산화및 살균기술, 물리화학적 처리기

술및 생물학적 전처리기술 등이며 이를 위한 기초 실험을 하였다. 기초실험 결과는 개발이 가능한 국내 실정에 적합한 고도정수처리 시스템을 선정하는데 이용되었다.

국내에 적합한 고도정수처리 시스템은 활성탄을 중심으로 하는 공정과 AOP(Advanced oxidation process)를 중심으로 하는 공정이며 그 내용은 다음 Table 6와 같다.

1차년도에는 다양한 단위공정들을 연구하여 고도정수처리 시스템에 대한 폭넓은 기술의 검토가 자료조사와 lab scale test로 이루어졌고 2차년도에는 실제가동중이거나 도입계획에 있는 정수장의 원수를 사용하여 그 정수장의 제거대상물질을 파악하고 적용할 수 있는 공정에 대해 semi-pilot plant를 운전하여 지역적, 계절적 특성이 고려된 운전요인을 찾아내어 최적 시스템을 개발하는 것을 목표로 하였다.

오존처리와 활성탄처리및 고도산화법에 대해서는 각 수계별로 적용대상을 선정하고 적절한 처리시스템을 도출하여 직접 pilot plant를 운전하면서 최적효율을 나타내는 조건을 찾아내었다. 한강을 대상으로 하였을 때에는 DOC, VOCs, SOCs, 합성세제등이, 낙동강을 대상으로 하였을 때는 NH3-N, 유기염소계, 농약물질, 페놀 등이, 금강을 대상으로 하였을 때는 맛·냄새 유

미국에서는 하수를 재처리하여 이용하기 위해서는 각 용도에 따라 각 주마다 처리하여야 하는 수준이 각각 다르다. 일반적으로 생물학적 처리를 하며 그외 oxidation이나 여과법, 응집·침전과 같은 고도처리를 행하는 경우 등이다.

Table 5. Contents of G-7 project, "Development of advanced water treatment technologies"

중과제명	세부과제명	목 적
고도정수 처리 기술개발	고도정수처리기술개발	고도정수처리시스템 개발및 지하수 음용화 기술 개발
	처리수 재이용 시스템 기반기술 개발	원천적 오염 저감을 위한 처리수 재이용 시스템 개발

발물질, 농약류, THMFP(Trihalomethane formation potential)등이, 남한강을 대상으로 하였을 때는 망간, 맛·냄새 유발물질, 유기염소계 농약물질 등이 적용대상이 되어 각각의 경우에 적합한 운전요인이 도출되었다. 그리고 이를 바탕으로 한 국실정에 적합하게 오염도를 세가지로 분류하고 이에 따라 적용가능한 시스템을 도출하였다.

또한 시스템 개발 뿐만 아니라 도입가능한 단위공정에 대한 연구도 진행하여 광촉매 산화반응을 이용한 고도정수처리 기술과 공기부상법(DAF: Dissolved air floatation)을 이용한 고도정수처리 기술, 생물학적 전처리 기술 등을 연구하였다.

처리수 재이용 시스템 기반기술 개발의 경우 1차년도에는 자료및 문헌조사를 통하여 오·폐수에 대한 처리수 재이용 시스템 기반 기술의 국내외 현황을 파악하고, 재이용 가능한 오폐수 성상을 분석하고 가능한 공정을 도출하였다.

또한 처리수 재이용의 경우 대도시 건물에 이용되므로 처리시설의 경제성과 함께 처리시설의 소요면적에 따라 실질적인 경제성이 달라지므로 이에 대한 분석을 행하여 경제적이면서 효율이 높은 시스템을 도출하였고 기초적인 실험을 통하여 타당성을 조사하였다. 단위 공정 개발에 있어서는 활성탄을 이용한 중수도 기술과 막을 이용한 중수도 기술에 중점을 두고 국내의 대상용수의 수질을 분석하고 적용하는 데 필요한 기초적인 자료를 도출하였다.

2차년도에는 1차년도의 결과를 바탕으로 적용가능한 건물 오수와 목욕탕 배수 등을 대상으로 한 실

Table 6. Advanced water treatment system of three types

유형		고도정수처리시스템
활성탄을 중심으로 하는 공정	I	원수 + CWTS + AOP + GAC, BAC
	II	원수 + CWTS + BF + O ₃ + GAC
	III	원수 + CWTS + O ₃ + GAC, BAC
	IV	원수 + CWTS + IX + GAC, BAC
AOP를 중심으로 하는 공정	V	원수 + CWTS + AOP + Membrane
	VI	원수 + CWTS + TiO ₂ /AOP + GAC, BAC
	VII	원수 + (CWTS) + DAF + TiO ₂ /AOP + BAC

험을 행하였다.

처리수 재이용 시스템에서 잡배수와 화장실용수가 함께 차집되는 빌딩오수가 원수일 때는 보통의 하수처리와 마찬가지로 유기물량이 상당하므로 생물학적 처리를 적용하여야 한다. 그러므로 본 오수에 적합한 생물학적 처리를 도출하기 위한 실험을 활성슬러지법, 회전원판법, 연속회분식반응조법 세가지 경우에 대하여 행하고 가장 적절한 운전방법과 각각 운전방식의 최적 조건을 구하였다. 생물학적 처리를 거친 오수는 상당량의 유기물이 감소되지만 우리나라 중수도 수질기준에도 못미치는 것이므로 고도처리를 행하여야 하며 이에 해당하는 고도처리로서 막분리 공정과 활성탄 흡착공정을 적용하였다. 생물학적 처리와 막분리공정을 조합한 경우에 대한 최적의 운전조건을 확립하여 기존의 처리가 존재하는 빌딩의 경우에 후처리로서 막분리를 추가하였을 경우 실제 운전이 가능하도록 결과를 도출하였다.

또한 일본등지에서 중수도에 많이 이용되는 막분리공정에 대해 국내 적용가능성및 운전기술의 확보를 위하여 중수도용 막 소재와 막 모듈을 개발하고 있으며, 활성슬러지조에 막을 직접 투입하여 여과할 경우 활성슬러지 운전조건과 막분

리 공정의 효율사이의 관계를 확립하고 막의 플럭스 감소를 저지시키기 위한 운전조건을 도출하는 실험을 하였다.

목욕탕 배수와 청주 하수처리장 유출수에 대하여 원수성상을 파악하고 활성탄과 그 외 여과재의 종류및 크기, 배합에 따른 여과효율 및 운전조건을 확립하여 잡배수를 원수로 하는 중수도 시스템을 확립하였다.

4. 앞으로의 추진방향

1992년도 부터 착수한 고도정수처리 기술개발은 기반기술 확보를 위하여 3차년도의 연구가 진행되고 있으며 1995년도에 1단계 사업이 종료되면 평가를 거친 후에 2단계 사업에 착수될 예정이다. 1단계 사업이 기반기술 확보에 중점을 두는데 비해 2단계 사업은 3단계의 실용화에 진입하기 위한 준비작업으로 핵심기술 개발및 실용화 기반구축을 목표로 하고 있다. 그러므로 1단계의 마지막인 3차년도는 2차년도의 semi- 및 pilot plant 실험결과를 토대로 하여 실제원수를 이용하여 실험을 행하고 실제 운전시 도출될 문제점들을 확인하고 이의 개선점을 도출하기로 한다.