

하수종말처리시설 고도처리현황 및 개선방안

Advanced Wastewater Treatment Status of Sewage Treatment Plants and Improvement Methods

문선정, 최필규, 최익훈, 박재영*

Sun Jung Moon, Pill Gyu Choi, Ick Hoon Choi, Jae Young Park

요지

본 연구는 다양한 공법으로 설치·운영되고 있는 고도처리시설에 대한 처리효율 및 운영현황을 조사하여 고도처리공법 선정시 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고, 각 공법별 현장적용 및 운영상 문제점을 파악하여 하수처리시설 운영의 효율성을 도모하기 위한 목적으로 실시하였다. 6개월 이상 운영 중인 하수종말처리시설 145개소를 대상으로 일반적 현황을 분석하고 실제 현장조사는 고도처리시설 37개소의 현장조사표를 중심으로 실시하였다. 고도처리 공법은 A₂O계열, SBR계열이 대부분을 차지하였으며 대규모처리장은 A₂O계열, 소규모처리장은 SBR계열이 주로 적용되었으며 대규모 하수처리시설일수록 유입수질의 농도 및 처리효율이 높고 톤당 시설설치비용과 유지관리비용이 적었다. 현장조사 결과, 첫째, 하수처리시설의 유입문제로 시설용량대비 하수유입량이 초과되거나 50%미만인 시설이 10개소로 조사되었다. 이에 따라 하수관거의 조속한 정비 및 인구감소에 따른 대책수립, 효율적인 운영을 위한 하수처리시설 증설 및 계열 축소운전이 필요하였다. 둘째, 각 처리공법별로 몇몇 문제점이 있어 공법사의 문제점 보완, 운영기술전수 및 원활한 A/S가 필요한 것으로 나타났다. 셋째, 운영관리자가 수시로 현상을 파악하고 주의하여 운전해야 하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 고도처리, 저유량, 저농도, SBR계열, A₂O계열, MEDIA계열, 특수미생물계열

1. 서 론

하수처리는 하수(오수, 빗물, 강우유출수 등) 중에 고형물 또는 용해되는 있는 오염물질을 제거하는 것이며, 하수가 처리되지 않은 상태로 하천이나 호수 또는 바다 등의 공공수역으로 방류되면, 부폐에 의한 산소의 감소, 수서생물의 폐사, 부식성 찌꺼기의 퇴적 및 조류(algae)의 이상증식 등을 초래하여 수질을 악화시킨다. 이와 같이 공공수역의 수질 악화 방지를 위하여 1976년 청계천하수종말처리시설(15만톤/일)을 건설하여 하수를 처리하기 시작하였으며, 초기의 하수처리는 하수 중의 고형물을 침사, 침전, 부상 등의 물리적 처리를 통해 제거하는 1차 처리(primary treatment)와 활성슬러지법 및 살수여상 등의 생물학적처리와 화학적 처리 등을 통해 유기물, 유독물질, 고형물 등을 제거하는 2차 처리 등이 이용되었다.

최근에는 공공수역의 부영양화를 방지하기 위하여 그 원인물질인 질소와 인을 처리하기 위한 3차 처리(고도처리)를 하수종말처리시설에 도입하고 있다. 또한, 2008년 1월 1일부터 마을하수도를 포함한 공공하수처리시설의 방류수 수질기준(BOD 및 SS 10 mg/L, T-N 20 mg/L, T-P 2 mg/L)이 강화되므로 기존에 하수종말처리시설에 설치된 표준활성슬러지공법을 고도처리공법(A₂O, MLE 등)으로 개량하여 운영하고 있는 실정이다. 2005 하수도통계(환경부, 2006)에 따르면, 2005년 말 기준 전국 294개 하수종말처리시설 중 152개소가 고도처리공법을 도입하였으며, 이중 2차 처리에서 고도처리시설로 개량한 곳은 44개소, 신규로 고도처리공법을 도입한 시설은 108개소로 관측되었다.

현재, 하수종말처리시설의 공법은 LCC(Life Cycle Cost)기법에 의하여 공법선정의 타당성을 검토하고 그

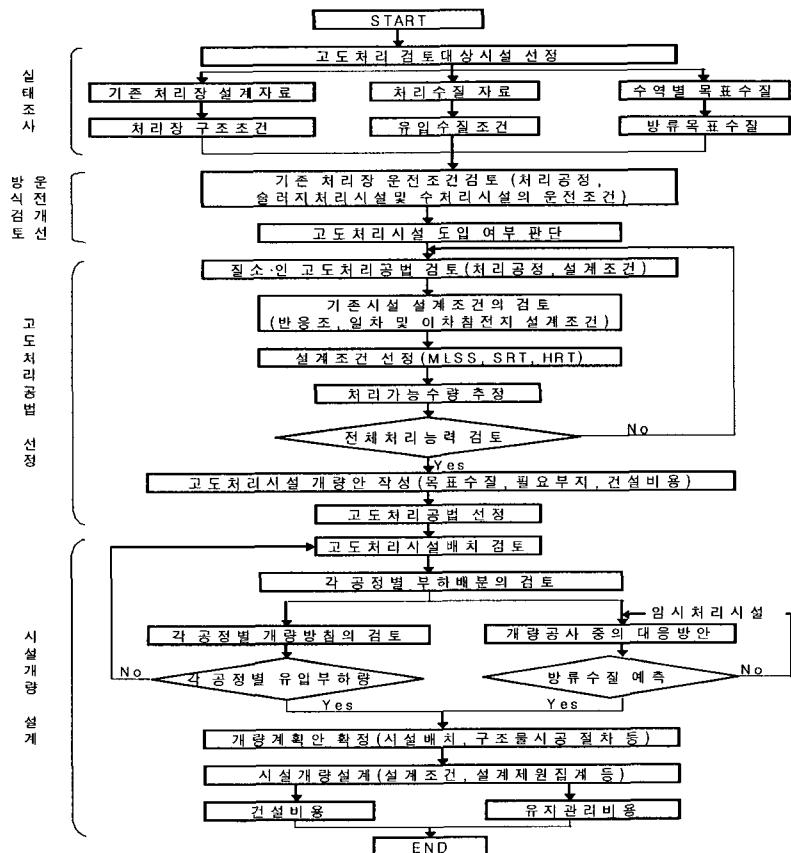
* 정회원 · 환경관리공단 상하수도지원처 jypark@emc.or.kr

결과에 의거하여 공법을 선정하되, 우선적으로는 처리효율·공사비·유지관리비 등을 비교적 범용화된 공법과 종합적으로 비교·평가하여 공법이 선정되도록 하고 있다(하수도시설 설치사업 업무처리 일반지침(환경부 생활하수과-81(2007.1.04)호)). 또한, 고도처리공법 선정시 평가의 공정성이 확보되며 합리적인 공법이 선정될 수 있도록 50%이상 외부전문가로 심사위원회를 구성·운영하고, 구체적인 평가기준에 의거하여 선정하여야 한다. 그러나 실제 하수종말처리시설에서 운영하고 있는 현황을 객관적으로 평가한 자료가 거의 없고, 일부 환경신기술을 획득한 처리공법의 경우 대규모 하수종말처리시설에 적용실적이 없거나 외국공법의 경우, 우리나라에 적용실적이 거의 없는 경우, 정상적인 운영관리가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 고도처리시설에 대한 처리효율 및 운영현황을 공법별(SBR, A₂O, 담체 및 미생물계열)로 비교·평가하여 지자체에서 고도처리공법 선정시 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하고, 각 공법별 현장적용 및 운영상 문제점을 파악하여 하수처리시설 운영의 효율성을 도모하기 위한 목적으로 실시하였다.

2. 고도처리시설 설치사업 추진절차와 설치 및 운영현황

2.1 고도처리시설 설치사업 추진 절차

기존 하수종말처리시설에 대한 고도처리시설의 설치여부는 하수도정비기본계획(기술진단 내용 및 운영실태 정밀분석)의 기존 하수종말처리시설 개량계획을 토대로 검토하며, 하수도정비기본계획 외에 별도의 기술진단을 실시하였을 경우 그 결과에 따라 고도처리설치사업을 시행하여야 한다. 또한, 기존 하수종말처리시설의 고도처리시설 설치사업은 운전개선방식에 의한 추진방안을 우선적으로 검토하되, 방류수 수질기준 준수가 곤란할 경우 시설개량방식으로 추진하여야 한다. 고도처리시설 설치사업의 추진절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 고도처리시설 설치사업 추진 절차

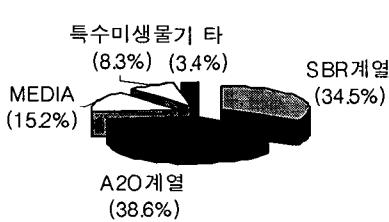
2.2 고도처리 공법별 설치현황

현재 하수종말처리시설에 설치된 공법은 50여개 이상이며, 다양하게 분포되어 있는 고도처리공법을 적용 원리 및 처리방법을 고려하여 <표 1>과 같이 SBR, A₂O, 담체(MEDIA), 특수미생물, 기타계열 등 5가지로 구분하였다. 또한, 고도처리공법으로 설치된 152개소 중 6개월 이상 운영 중인 하수종말처리시설 145개소를 대상으로 공법 및 규모별 설치현황을 <그림 2>와 <그림 3>에 나타내었다.

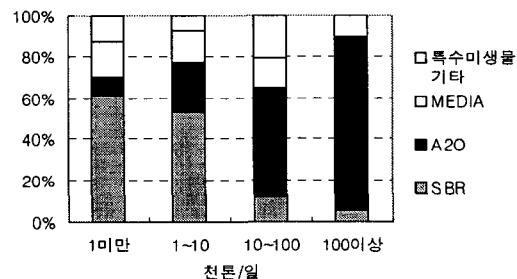
고도처리공법으로 운영중인 145개소 중 SBR계열은 50개소(34.5%) A₂O계열 56개소(38.6%), MEDIA계열 22개소(15.2%), 특수미생물계열 12개소(8.3%) 그리고 기타계열이 5개소(3.4%)로 분포하여 SBR과 A₂O계열이 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다. 이는 표준활성슬러지법으로 운영중인 처리시설을 고도처리공법으로 개량시 A₂O계열로 변경하도록 권고하고 있으며, 신설되는 소규모하수종말처리시설(계획인구 약 10,000명 이하)은 대부분 SBR계열을 채택하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 100천톤/일 이상 대규모 처리장은 A₂O계열이 18개소 중 15개소를 차지하였으며, 1천톤/일 미만의 소규모 처리장에는 SBR계열이 23개소 중 14개소를 차지하였다.

<표 1> 고도처리공법 분류

분류(계열)	공법
SBR	Omniflo, ICEAS, KIDEA, MSBR, FLUIDYNE, BCS, CSBR 등
A ₂ O	협기-호기, A ₂ O, ACS, ASA, DNR, MLE, NAP, PL-II, VIP, HDF 4-Stage BNR, 5-Stage BNR 등
MEDIA	CNR, DeNiPho, RBC, Bio-SAC, BCF, SWPP 등
특수미생물	B ₃ , HBR-II 등
기타	PID 등



<그림 2> 처리공법별 현황



<그림 3> 시설규모별 처리공법 현황

2.3 유입하수량 및 유입·방류수질

고도처리공법을 도입한 하수종말처리시설의 시설용량 대비 실제유입하수량 비율이 20%미만인 시설은 5개소(3.4%), 20~50%미만 31개소(21.4%), 50~100%미만 87개소(60%), 100%이상 22개소(15%)로 나타나 용량 초과 및 50%미만의 저유량하수가 유입되는 시설은 36개소로 비정상적인 유입으로 인한 처리시설 운영에 어려움이 예상된다. 시설용량별 처리효율을 <표 2>에서 살펴보면, 시설용량별 실제유입수질은 대용량일수록 높았으며, BOD를 제외하고는 규모가 큰 처리시설 일수록 처리효율도 높은 것으로 나타났다.

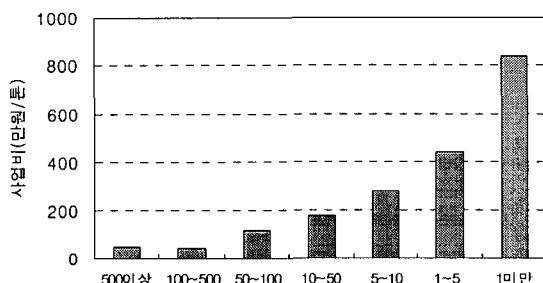
2.4 시설설치비용 및 유지관리비 현황

고도처리공법을 도입한 처리시설의 1톤당 소요되는 시설설치비용은 평균 78만원이었으며, 50만톤 이상 규모의 시설은 46만원이고, 1천톤 미만 규모의 시설은 838만원으로 규모가 큰 처리시설일수록 시설설치비용이 적은 것으로 나타났다. 대규모 처리시설이 많은 A₂O계열이 처리공법별 설치비용이 낮았으며 소규모 처리시설이 많은 SBR계열의 설치비용이 높았다(그림 4 참조).

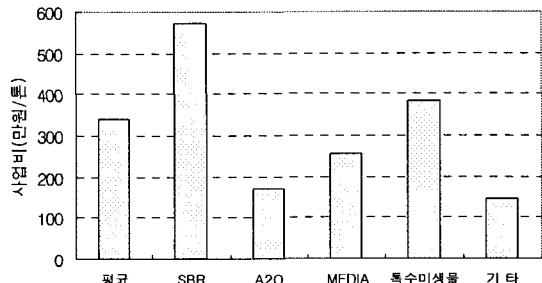
유입하수 1톤을 처리하는데 소요되는 운영비용은 평균 82원이었으며, 10만톤 이상 규모의 시설은 62.7원이고, 1천톤 미만 규모의 시설은 649.5원으로 대규모와 소규모 처리시설의 운영비가 10배 이상 차이가 났다. 이는 시설설치비용과 비슷한 유형을 보였으며, 계열별 운영비용도 A₂O계열이 낮으며 SBR계열이 높았다(그림 5 참조).

<표 2> 시설용량별 처리효율 현황

구 분		BOD	COD	SS	T-N	T-P
10천톤미만	실제유입수질(mg/L)	71.7	40.5	70.2	19.715	2.559
	방류수질(mg/L)	3.1	6.9	3.7	9.268	1.006
	처리효율(%)	95.7	83.0	94.7	53.0	60.7
10천톤이상 ~ 100천톤미만	실제유입수질(mg/L)	113.5	67.1	115.1	28.909	3.023
	방류수질(mg/L)	6.5	9.6	5.3	11.698	1.043
	처리효율(%)	94.3	85.7	95.4	59.5	65.5
100천톤이상	실제유입수질(mg/L)	140.9	86.2	140.9	33.667	3.809
	방류수질(mg/L)	7.0	12.1	5.1	13.436	1.108
	처리효율(%)	95.0	86.0	96.4	60.1	70.9



<그림 4> 유입용량별 시설설치비용



<그림 5> 처리공법별 시설설치비용

3. 고도처리시설 공법별 운영결과

3.1 SBR계열

SBR계열은 기본적으로 유입-반응-침전-배출-휴지의 5단계로 한 개의 반응조에서 진행되며 별도의 2차 침전지 및 슬러지 반송설비가 필요 없어 부지소요가 적으며, 충격부하에 비교적 강하고 시설이 간단하여 운전이 용이하다는 장점이 있다. SBR계열은 연속유입 유무, 디켄터의 방식, 혼합방식에 따라 다양한 공법이 개발되어 있다. 표준활성슬러지법에서 SBR계열로 고도개량시 기존처리시설의 사장화가 발생되므로 지양하고 있어 SBR계열은 주로 소규모 신설 하수처리시설에 적용되고 있다.

현장조사 결과, 생물반응조 상부에 스컴이 발생할 경우 스컴을 제거할 수 있는 기기가 없어 디켄터를 통해 스컴이 방류될 우려가 있으므로 주의하여 운전을 실시하여야 하며, 디켄터의 센서부분이 부식되거나 파손될 우려가 있어 보호장치가 강화되어야 할 것으로 나타났다. 또한, 외국공법의 경우 기술전수 및 A/S에 애로 사항이 있으므로 즉각적인 대처를 할 수 있는 대비책을 마련하여야 할 것으로 나타났다.

3.2 A₂O계열

A₂O계열은 보통 협기조, 무산소조, 호기성조로 구성되며 협기조에서는 인 방출, 무산소조에서는 탈질, 호

기성조에서는 질산화가 일어난다. 오랫동안 이용되어 온 계열로 기술이 정립되어 운전관리가 용이하다. 반응조 개수와 배열, 내부반송의 방법에 따라 다양한 공법이 개발되어 있다. 표준활성슬러지법에서 고도개량시 반응조 격벽공사만 진행되므로 A₂O계열이 많이 적용되어 기존 대규모 표준활성슬러지법 시설이 A₂O계열로 개량한 경우가 많다.

현장조사 결과, 운영미숙으로 슬러지를 과다하게 반송하여 SRT가 길어져 2차침전지의 풀력이 해체되는 현상이 발생하거나 수온변화에 따른 밀도차에 의한 전도현상으로 슬러지가 표면으로 부상하는 등 주로 2차 침전지에 몇 가지 문제가 관찰되었으며, C/N비가 낮을 경우 무산소조에 적절한 외부탄소원 공급이 원활히 이루어지지 않는 처리시설이 존재하였다. 또한, 유입부하의 변동에 따라서 MLSS농도, SRT, 반송슬러지량, 체류시간 등에 대한 최적의 운전조건을 정립하여야 하고, 슬러지 부상시 응집조치로 응집제를 투여하는 방안을 고려해야 하는 것으로 나타났다.

3.3 MEDIA계열

MEDIA계열은 A₂O계열과 유사하나 호기성조에 담체를 투입하여 미생물을 부착시켜 생물막 내부에서 탈질이 일어나고 외부에서 질산화가 일어난다. 담체에 미생물이 부착되어 있으므로 다량의 미생물을 확보할 수 있으며 잉여슬러지의 양을 줄일 수 있고 부하변동에 비교적 강한 편이다. 담체의 종류, 포기방법에 따라 다양한 공법이 개발되어 있다.

현장조사 결과, 시편(試片)을 설치하지 않은 경우 담체에 미생물의 부착여부를 확인이 어려웠으며 공법들의 핵심은 담체의 미생물 활착여부이므로 혼미경 등을 이용하여 부착미생물을 주기적으로 확인기록이 필요하였다. 또한 생물막이 과도하게 형성될 때 내부로 산소공급이 원활하게 이루어지지 않아 폐색이 일어나거나 탈리가 되어 2차침전지에 영향을 미칠 수 있으므로 주기적으로 역세를 실시하고 운전에 주의하여야 한다. 담체의 유동에 따라 깨지거나 마모되는 현상이 발생하므로 교체주기에 따라 교체가 필요한 것으로 나타났다. 발효조에서 산발효하여 탈질을 위한 탄소원으로 이용하는 공법은 수온이 낮은 시기에는 발효가 되지 않아 가동이 중단되는 문제가 있어 외부탄소원 투입을 위한 대책이 필요한 것으로 나타났다.

3.4 특수미생물계열

특수미생물계열은 질소, 인 제거에 탁월한 역할을 하는 특정미생물을 배양·증식시켜 반응조에 투입함으로써 우점종으로 증식시키는 것이다. 악취를 제거할 수 있고 2차침전지 침강성이 향상되며, 슬러지가 안정화되어 탈수 효율이 증가되는 장점이 있다. 투입하는 미생물의 종류에 따라 다양한 공법이 개발되어 있다.

현장조사 결과, 미생물배양조에서의 미생물 활성 증진 여부에 대해 주기적으로 확인하여야 하며 배양된 미생물의 투입지점, 투입량을 계획하여 운영해야 하고, 수질자료를 수집하여 운영 Know-How 측면이 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 환경관리공단(2007). 하수처리시설의 처리효율 향상을 위한 원인별 공공하수처리시설 운전관리 요령
2. 환경관리공단(2005). 하수도정비기본계획·하수종말처리시설 기술검토 사례집
3. 환경관리공단(2004 ~ 2006). 하수종말처리시설 고도처리실태점검 결과
4. 환경관리공단(2005). 환경신기술 설계편람
5. 환경부(2006). 2005하수도통계
6. 환경부 생활하수과(2007). 하수도시설 설치사업 업무처리 일반지침
7. 한국상하수도협회(2005). 하수도시설기준