

# 심층포기 활성슬러지법을 이용한 유기성 폐수처리



김환기

〈전북대학교 공과대학 교수〉

## 1. 심층포기 활성슬러지법의 개발

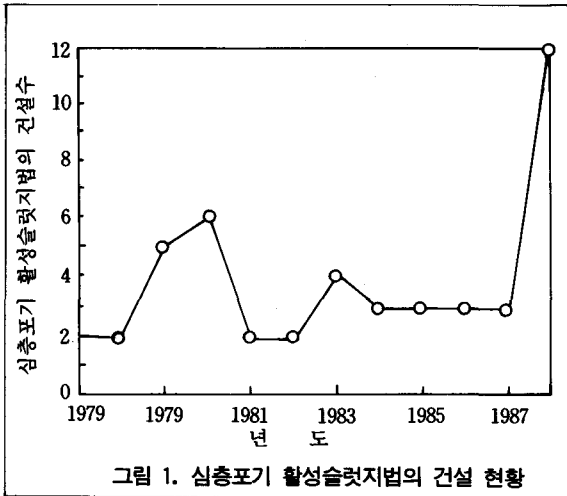
활성슬러지법은 자연의 정화작용을 하·폐수처리에 응용한 것으로 우수한 효과를 나타내는 하·폐수처리방법이다. 이 방법은 1914년 영국 Ardem 등에 의해 고안되고 실용화된 이후 수많은 연구자들이 활성슬러지법의 효율향상과 개량에 관하여 많은 연구를 수행하여 왔으며 현재도 여전히 연구가 진행되고 있으며 세계에서 가장 보편적인 하·폐수처리방법으로 실용화되고 있다.

활성슬러지법에 의하여 하·폐수를 처리할 경우에 소요비용을 보면, 대개 산소공급을 위한 동력비와 처리장의 소요면적이 크므로 처리장건설을 위한 용지구입비이다. 그러므로 활성슬러지법의 확대를 위해서는 하·폐수 중에 산소를 경제적으로 공급할 수 있는 방법과 건설용지의 고가에 의해서 발생하는 용지구입비의 감소를 위해 처리시설의 소형화 및 단순화이다. 이를 위해 높은 산소전달능력을 갖는 순산소 포기법이 개발되었으며 수중의 포화용존산소를 증가시켜 높은 산소전달능력을 나타내는 심층포기(Deep aerater)법이 대두되었다.

그러나 이러한 방법들은 산소의 공급을 증대시킬 수 있지만 경제적인 방법이 되지 못하고 처리시설의 소형화 및 단순화를 실행할 수 없다. 따라서 하·폐수의 경제적 처리를 위하여 새로운 포기장치가 필요하게 되어 화학공정에서 활용된 심층포기장치(Deep Shaft System)가 하·폐수처리공정에 활용되게 되었다.

한편, 1900년대 중반에 최초로 액체순환의 시설이 설정되고 1970년대에 소개된 심층포기장치는 영국의 ICI사 (Imperial Chemical Industries, Ltd)에서 메탄올의 호기성 발효에 의한 단세포 단백질 생산하는 기술을 연구하는 과정에서 착안해 낸 산소전달 장치이다. 단백질 생산공정에서 산소전달장치로 활용된 심층 포기장치는 폐수처리시설에 적용하는 방안이 고려되어 1974년 영국의 Billingham에서 생활하수를 처리하기 위한 활성슬러지법의 변법으로서 심층포기 활성슬러지법(Deep Shaft Activated Sludge Process)의 pilot plant가 최초로 설치되었다. 그리고 실제 하·폐수처리 현장에 적용된 것은 1975년 독일의 Emlichheim에서 전분공장의 전분폐수 처리를 목적으로 건설된 것이 처음이다.

이러한 심층포기 활성슬러지법은 주로 영국, 독일, 캐나다, 일본등지에서 이용하고 있으며 그림 1에서 보는 바와 같이 건설된 시설의 수가 증가되고 있으며 최초로 현장에 적용된지 약 15년이 지난 오늘날 전세계적으로 50여개 곳에서 건설되어 있으며 현재 운영되고 있다.



## 2. 심층포기 활성슬러지법의 특성

심층포기 활성슬러지법은 액체와 기체가 하강하는 하향관과 상승하는 상향관의 환경이 같은 U자형관(U-tube)이나 환경이 큰 상향관에 상향관 환경보다 절반정도 작은 하향관이 삽입된 동심 2중관(concentric tube)형태로 구성되어 있다.

액체와 기체의 흐름방향이 서로 다른 두개의 관을 가진 심층포기 활성슬러지법은 하향관에 주입된 공기량만으로 상향관과 하향관의 기포체류량에 기인하는 밀도차에 의하여 순환이 유도되고, 주입된 하향관 공기가 액체를 순환시키면서 용해되므로 전력소비면에서 매우 경제적인 산소전달장치라고 알려져 있다.

또한, 심층포기 활성슬러지법은 40-150m 정도의 깊은 수심을 가지므로 수중의 정수압에 의하여 산소의 분압을 증가시켜 산소전달속도가 0.1-0.2 kg-O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.hr인 일반 산기식 포기장치보다 큰 1.5 kg-O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.hr의 산소전달속도를 나타낸다. 그리고 심층포기 활성슬러지법은 하향관에 주입

된 공기는 하향관에서 하향하고 상향관에서 상승하는 동안에 관내에 체류하므로 기·액 접촉시간이 3-5분으로서 기·액 접촉시간이 10초 이내인 일반 산기식 포기장치보다 매우 길어 산소용해 효율이 높다. 심층포기 활성슬러지법은 산소 이용율 면에서도 관내에 주입된 공기량이 적고 산소전달 능력이 크므로 5-10%의 범위를 갖는 산기식 포기장치에 비하여 높은 효율을 나타내며 순환액의 포화용존산소농도는 수심에 비례하여 증가되기 때문에 고농도 용존산소농도를 얻을 수 있다.

또한, 표 1에서 보는 바와 같이 심층포기 활성슬러지법은 포기조내 용존산소농도가 높아 슬러지 플록 내부까지 완전 호기성 상태를 형성하므로 포기조내 미생물 농도 및 유기물 부하를 높게 유지시킬 수 있으므로 다량의 폐수처리가 가능하며 고농도 유기성 폐수처리에 적합한 공정이다.

표 1. 각종 처리방식의 비교(제당폐수)

처리방식	BOD-SS부하 (kg-BOD/kg-SS.d)	포기조 용량 (m <sup>3</sup> /kg-BOD)	포기조 면적 (m <sup>2</sup> /kg-BOD)
표준 활성슬러지법	0.2	1.0	0.2
순 산 소 포 기 법	0.4	0.42	0.091
심층포기 활성슬러지법	3.2	0.08	0.006

한편, 심층포기 활성슬러지법은 깊은 수심을 갖음으로 포기조의 소요면적은 표준활성슬러지법의 1/20 정도, 하·폐수 처리장 전체면적은 1/2 정도 감소시킬 수 있으므로 토지 이용율이 높으며, 관거가 지하에 매설되어 있으므로 계절에 따라 수온의 변화가 적어 기후조건의 변화가 심한 지역에서는 매우 적합한 공정이다. 또 심층포기 활성슬러지법의 상부는 밀폐시킬 수 있으므로 포기에 의한 하·폐수의 비산, 냄새 등을 방지할 수 있다.

표 2는 심층포기 활성슬러지법의 특성과 다른 포기장치의 특성을 비교하여 나타내었다.

표 2. 포기장치에 따른 하·폐수처리공정의 특성 비교

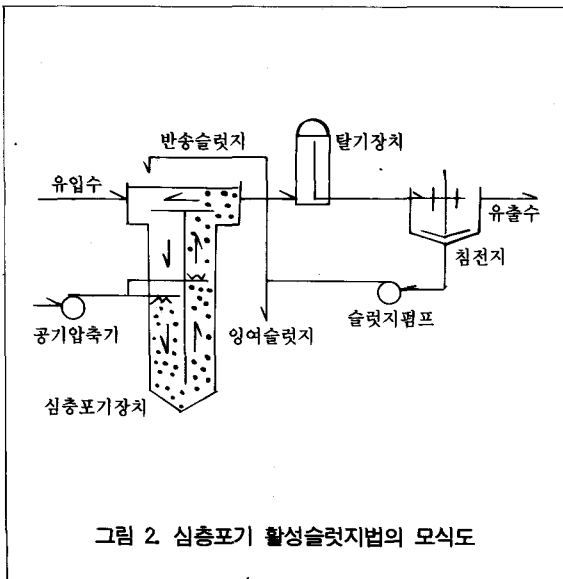
구 분	표면 포기식	산기식	심층포기
건 설 비	많음	적음	중간
운 전 비	적음	많음	적음
포기조 소요면적	많음	중간	매우 적음
냄새·비산	많음	중간	매우 적음
소 음	작음	중간	작음
부 하 변 동	나쁨	중간	우수
필요관리자수	많음	중간	적음

### 3. 심층포기 활성슬러지법의 개요

심층포기 활성슬러지법은 하·폐수 처리공정상 생물학적 하·폐수 처리공정이다. 그림2와 같이 심층포기 활성슬러지법의 포기조는 심층포기장치로서 하향관의 유입 하·폐수와 반송슬러지가 유입되어 연속적으로 약 10-20회 정도 순환된다. 연속순환 과정에서 유기물이 제거된 일부 포기액은 포기액의 용존산소농도가 높아 직접 침전조에서 고액분리가 되지 않으므로 고농도 용존산소농도를 제거시키기 위하여 탈기장치(degaser)나 부상분리조에 유입된다.

탈기장치나 부상분리조에서 용존산소가 제거된 포기액은 침전조에서 고액분리되어 상정액은 처리수로서 유출되고 침전슬러지는 일부 반송슬러지로 나머지는 잉여슬러지로서 처분된다.

심층포기 활성슬러지법에서 포기조의 미생물농도는 5,000-13,000 mg/l 정도 유지할 수 있으며, 포기조내에서 미생물 농도에 대한 유기물 부하(F/M ratio)는 1.0(Kg-BOD/Kg-MLSS.day) 정도로 운전이 가능하며, 하·폐수의 체류시간이 2시간 정도, 탈기장치에서의 체류시간은 약 1시간 정도가 적당하며, 이때 유기성폐수인 경우 약 90% 이상의 제거율을 얻을 수 있다고 알려져 있다.



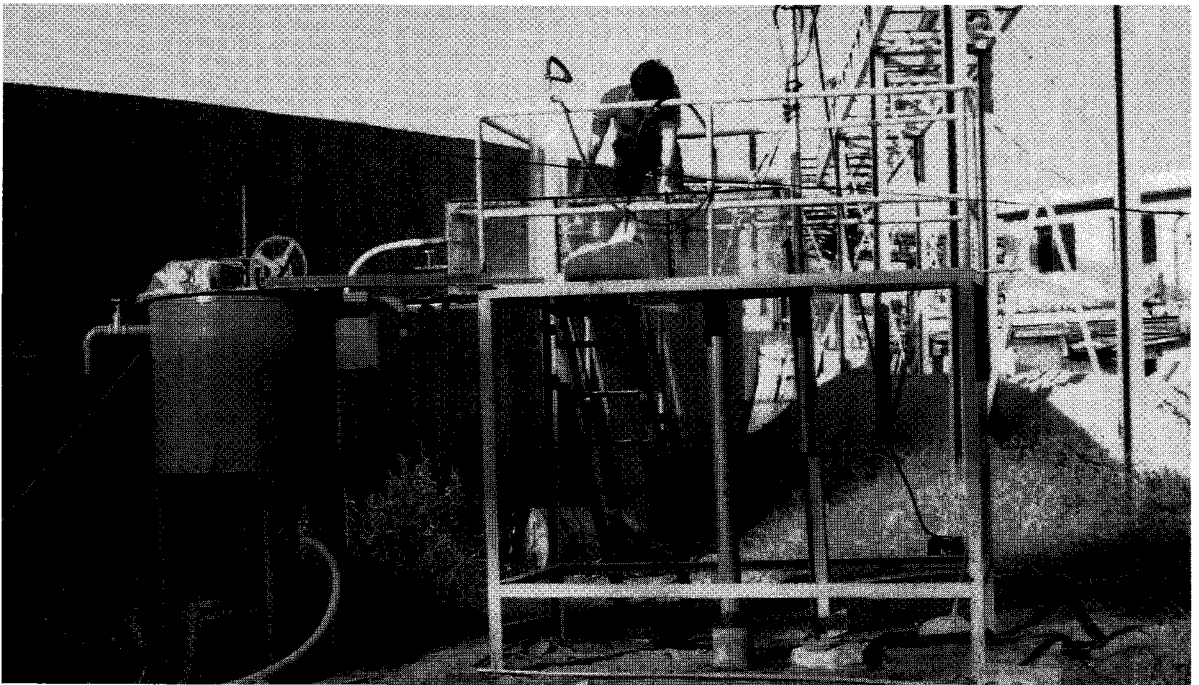
### 4. 심층포기 활성슬러지법의 적용

심층포기 활성슬러지법은 하·폐수의 생물학적 처리공정으로서 유기물이 함유된 모든 하·폐수에 적용될 수 있다.

현장에 적용되어 운전하고 있는 심층포기 활성슬러지법은 생활하수, 제지와 펄프공장, 식료품공장, 산업폐수 등 유기성 하·폐수를 배출하는 시설에서 주로 설치되어 운영되어 있는 것으로 조

표 3. 현장에 적용된 심층포기 활성슬러지법

지역	심층포기		BOD		BOD	
	깊이	직경	부하량	유량	유입수	유출수
	(m)	(m)	(kg/day)	(m <sup>3</sup> /day)	(mg/l)	(mg/l)
생활하수						
도요나카, 일본	100	1.0	700	2,400	300	20
포타지, 캐나다	150	1.4	5,500	13,600	400	30
마쯔시마, 일본	100	0.7	80	500	160	20
버던, 캐나다	150	0.8	540	2,300	235	30
리어, 독일	80	2.6	12,480	15,000	830	60
틸버리, 영국	60	5.8	22,000	30,000	600	60
오사카, 일본	40	1.2	117	300	390	10
제지 및 펄프공장						
오즈, 일본	100	2.8	3,200	20,000	160	10
에이메, 일본	52	3.5	2,450	7,000	350	20
도쿄, 일본	100	3.4	7,290	15,000	490	20
도쿄, 일본	100	3.4	4,500	15,600	290	15
시코쿠, 일본	50	3.6	8,640	45,000	190	20
식료품 공장						
엠리체임, 독일 (전분)	100	1.1	2,110	1,400	2,000	200
요카치, 일본 (제과)	100	2.4	3,000	4,000	750	50
고베, 일본 (식료품)	90	3.0	2,880	1,920	1,500	20
치바, 일본 (낙농업)	100	1.7	1,285	1,440	890	8
산업폐수						
후지, 일본 (살충제)	80	2.0	3,000	1,500	2,000	120
윌튼, 일본 (화학)	100	2.0	8,590	2,560	3,350	300
카지마, 일본 (폐놀)	100	2.0	3,380	1,656	2,040	300
요코하마, 일본 (철강)	130	1.3	400	6,720	60	30
호카이도, 일본 (효소)	50	1.6	300	350	860	20
치바, 일본 (폐기물)	75	2.4	1,061	810	1,310	30
나고야, 일본 (화학)	50	1.5	133	38	3,500	20



▲ C제지공장에 설치된 심층포기 활성슬러지법의 전경.

사되고 있다. 현장에 적용된 심층포기 활성슬러지법중에서 설치장소, 심층포기장치 규격, 유기물의 처리현황을 일부 발췌하여 표 3에 표시하였다.

## 5. 국내 연구실적 및 현황

외국에서는 심층포기 활성슬러지법이 이미 현장에 적용되어 있으며 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있으나 국내에서는 심층포기 활성슬러지법이 현장에 설치된 예가 없다.

그러나 1985년 심층포기 활성슬러지법을 이용하여 대학교 하수처리장을 건설하고자 하는 계획안이 발표된 적이 있었으며, 전북대학교 토목공학과 환경공학 실험실에서 생물학적 유동층법의 간접포기장치로서 32m의 U형관 심층포기장치를 건설하여 심층포기장치의 산소전달특성, 기포의 형태와 거동에 관하여 연구발표를 하였다.

연구결과, 심층포기장치의 하향관에서 기포가 상승하지 않고 하강하려면 최소순환유속은 0.5m/sec 이상이 되어야 하며, 심층포기장치에서 순환액이 4-5회 회전하면 용존산소의 농도가 일정하

게 되는 정상상태에 도달한다고 하였다. 또 32m의 U형관 심층포기장치에서 최대용존산소농도는 20.2 mg/l까지 얻을 수 있으며 최대 용존산소를 나타내는 지점은 심층포기장치의 최저 수심이 아니라 상향관의 최저 수심에서 3m위에 있는 지점이라 하였다. 심층포기장치에서 기포는 하강할수록 합체현상이 증가되며 기포의 형태는 회전단원체라 하였으며 0.06cm의 단일 오리피스에서 발생하는 기포의 크기는 0.7cm 정도라 하였다.

최근, 국내에서는 하·폐수 처리장 건설시 부지면적을 감소시키고 보다 효과적인 하·폐수를 처리하기 위하여 S중공업에서 영국의 ICI사로 부터 심층포기 활성슬러지법의 기술을 도입하여 C제지공장에 시설할 계획을 수립하였다. 이를 위해 C제지공장에 수심 105m의 동심이중관형 심층포기 활성슬러지법의 Pilot plant를 건설하여 전북대학교 토목공학과 환경공학 실험실에서 연구한 결과, 포기조의 소요면적과 운전경비면에서 매우 경제적이며 폐수처리 효율면에서도 표준활성슬러지법과 대등하거나 그 이상의 효과를 얻을 수 있는 것으로 파악되고 있다. ◻