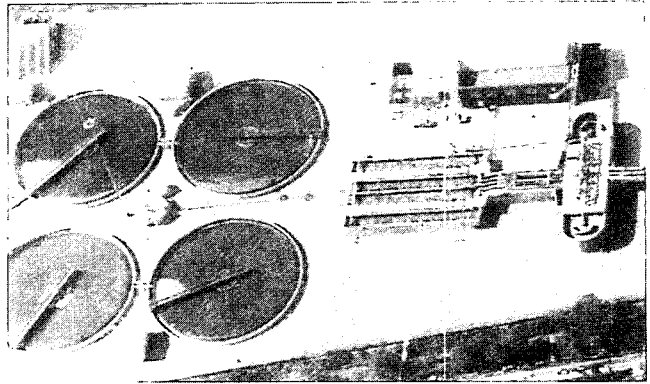


경제적인 고도폐수처리



이 상 은 / 한국건설기술연구원
연구위원



● 초심층 폭기법을 적용한 도시하수처리장

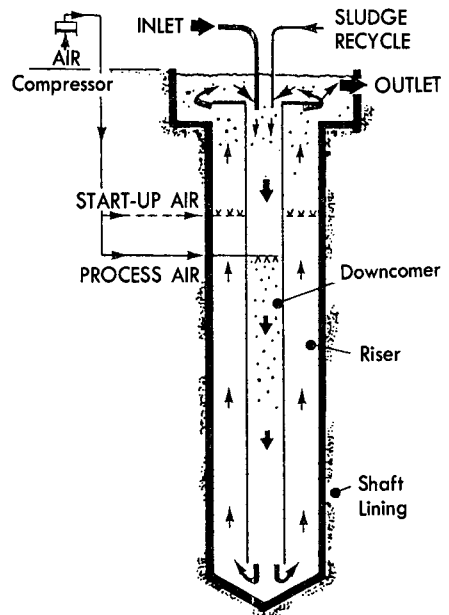
IX. 초심층폭기법(Deep Shaft Aeration System)

초심층폭기법(Deep Shaft Industries System)은 영국의 ICI(Imperial Chemical Industries)에서 개발한 호기성 처리공법으로서 도시하수처리에 효율적인 것으로 알려져 있으나 고농도 유기폐수도 짧은 시간에 효과적으로 처리할 수 있는 방법이다.

그동안 가장 널리 사용되어온 활성슬러지법이 호기성미생물에 필수적인 산소를 공급하는데 한계가 있어 고농도 유기폐수의 처리가 어려웠으나 초심층폭기법은 처리수의 자체반송을 크게하고 폭기조를 지하 깊숙이 위치하게 함으로서 더 높은 산소 전달효율을 얻도록하여 고농도 유기폐수처리도 가능하게 하고 있다.

〈그림-1〉은 초심층폭기법의 구조와 공정을 나타낸 것인데 중요한 부분은 심층폭기조와 Head Tank가 된다. 유입폐수량과 유기물농도에 따라 크기가 변하지만 현재 시공운전되는 초심층폭기법의 경우는 직경이 0.5~10m이고 수직깊이가 50~150m정도가 되고 있다.

〈그림 1〉 초심층폭기법의 구조도



폭기조는 하강부(downcomer)와 상승부(riser)라 부르는 2부분으로 되어 있으며 초기에 공기는 외통에 위치한 상승부에 투입된후 물을 순환시키고 운전이 본격화되면 하강부에 투입된다.

폐수와 폭기조의 내용물(미생물)은 Airlift 효과에 의해 순환되는데 순환류의 유속은 1~1.5m/sec 이고 공기의 상승속도는 0.3m/sec이어서 공기가 하강부방향으로 내려가면서 물속에 용해된다.

폭기조에 유입되는 폐수는 폭기조로부터 방류되기 전에 수산화 순환하게 되며 활성미생물과 급속하게 혼합된다. 일반적으로 100m 깊이의 초심층폭기조에 공기가 주입되는 지점의 깊이는 약 50m이고 기포가 이동하는 거리가 약 150m가 되는데 따라서 기포와 미생물이 접촉하는 시간은 약 2분정도가 되어 표준활성슬러지법에서의 접촉시간 7~8초에 비해 훨씬 긴 시간동안 접촉되어 산소전달 효율이 높게 된다.

또한 100m 깊이의 경우 수압이 증가하여 폭기조 바닥에서의 산소용해도는 수표면에서의 용해도에 비해 10배 이상 증가하게 되어 공기중의 산소의 대부분이 미생물에 흡수되고 이용되어 유기폐수의 사용을 돕는다.

순환류의 유속이 매우 크기 때문에 폐수의 흐름이 앞서 언급된 바와 같이 난류상태가 되어 또한 산소전달율을 증가 시키게 되는데 많은 양의 산소가 빠른 속도로 물속에 용해되어 미생물의 성장을 촉진시켜 보다 많은 농도의 미생물을 폭기조안에 유지시킬 수 있어 폭기조의 체적을 줄일수가 있다.

특히 처리수의 자체 반송순환유량이 120~200배가 되기 때문에 기존 활성슬러지법에 비해 희석효과가 높아 충격부하에 강하고 독성물질에도 안정되게 적용할 수가 있다.

초심층폭기법에서의 산소흡수율은 약 80%까지 되어 표준활성슬러지법의 6~8%와 비교할 때 매우 높은 흡수율을 알 수 있으며 앞서 언급된 바와 같이 산소전달율도 높아 약 3~4kgO₂/KWH가 되어 표준활성슬러지법이 약 1kgO₂/KWH내외인 것과 크게 비교되며 따라서 전력비에 있어서 절감

효과가 높다.

초심층폭기조로부터의 유출수는 Vacuum Degasser나 Coarse babble aerator에 의해 침전조로 유입시키전에 가스를 방출시키게 되는데 이는 높은 압력에 의해 많은 가스가 포화상태 이상으로 녹아 있어 지표면의 기압조건에서는 가스가 떠올라 침전 분리를 방해하기 때문이다.

그러나 고액분리를 위해 기왕에 포함되어 있는 가스에 약간의 공기를 불어넣어줌으로서 부상시켜 분리하는 방법을 사용하기도 한다. 표준활성슬러지법에서 침전에 의한 고액분리를 방해하는 사상형 미생물의 성장은 초심층폭기법에서는 높은 부하율로 운전하고 관류형태의 흐름이기 때문에 억제되어 고액분리에 문제점이 없다.

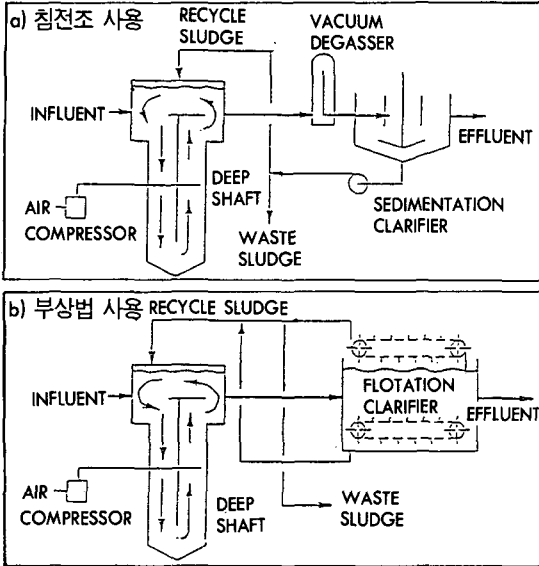
가스를 제거하는 Degasser는 주로 미생물 Floc에 부착된 gas의 방울을 제거하게 되는데 내부를 진공상태로 유지시켜 감압하고 gas bubble을 팽창시킨다. Degasser는 수직방향으로 상승부와 하강부의 2부분으로 나뉘어 지며 혼합액은 낮은 압력에 의해 상승부쪽으로 상승하고 상부에서 원형을 따른 weir를 통해 월류되어 하강부로 흐르는데 gas bubble은 weir에 의해 제거된다.

고액분리를 위해 침전조를 설치할 것인가 부상조를 설치할 것인가는 폭기조내의 MLSS 농도에 의해 결정되는데 일반적으로 폭기조의 MLSS농도가 5,000~7,000mg/L 이상이 되는 경우에는 중력 침전조에 의해서 고액분리가 잘 이루어질 것이라고 기대하기는 어렵다.

〈그림-2〉는 고액분리를 침전조에 의해 수행하는 경우와 부상조에 의존하는 경우의 공정도를 나타낸 것으로 부상조를 사용하는 경우 Degasser를 생략하는 공정이 많이 사용된다.

초심층폭기법은 높은 용존산소농도와 높은 미생물농도를 유지할 수 있기 때문에 운전조건들도 활성슬러지법과 크게 다른데 〈표-1〉은 전형적인 운전조건은 표준활성슬러지법과 비교한 것이다. 이 표로부터 초심층 폭기법은 표준활성슬러지법에 비해 높은 부하율에서 운전하면서도 더 높은 처리효

(그림-2) 초심층폭기법의 공정도



을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

(표-1) 표준활성슬러지법과 초심층폭기법의 운전조건비교

	활성슬러지	초심층 폭기
BOD용적부하(kgBOD/m ³ ·일)	0.32-0.96	3-4
F/M(kgBOD/kgMLSS·일)	0.15-0.4	0.7-2
폭기조체류시간(시간)	8	1-2
MLSS농도(mg/L)	1,500-3,000	5,000-15,000
DO농도(mg/L)	1-2	10-20
슬러지반송율(%)	30-100	50-100

초심층폭기법은 높은 미생물농도를 유지할 수 있어 앞서 설명한 바와 같이 충격부하나 부하변동에 강하기 때문에 소용량의 균등조가 필요할 뿐이며 1차 침전조를 생략할 수도 있는 장점이 있다.

초심층폭기법은 단세포 단백질 발효과정으로부터 개발된 생물학적 처리방법으로 도시하수처리에 초기에 사용되었으나 최근 식품공장폐수, 맥주공장폐수, 농약폐수, 화학약품공장폐수등 산업폐수의

처리에도 폭 넓게 사용되고 있다.

(표-2)는 초심층폭기법을 사용하여 도시하수를 비롯한 여러종류의 폐수를 처리하는 실제 처리시설의 운전조건과 처리결과를 종합한 것이다. 이 표에 포함된 처리시설 운전자료는 주로 일본에 있는 처리시설의 자료로서 우리나라와 비슷한 여건이라는 점을 고려하면 많은 참고가 될 것이다.

(표-2) 유입폐수별 초심층 폭기법의 운전결과

폐수	깊이 (m)	직경 (m)	BOD부하 (kg/일)	유량 (m ³ /일)	BOD (mg/L)	
					유입	유출
농약폐수	80	2.0	3,000	1,500	2,000	120
주정폐수	150	1.4	5,230	2,100	2,500	250
수산업가공폐수	50	2.8	10,440	600	17,400	120
유가공폐수	100	1.7	1,285	1,440	890	8
제지폐수	100	2.8	3,200	20,000	160	20
제지폐수	100	3.4	7,290	15,000	490	20
도시하수	100	0.7	80	500	160	20
도시하수	60	5.8	22,000	30,000	600	60

(표-2)의 결과를 보면 유입폐수의 종류나 성상이 다양한 범위에서 처리효율을 90퍼센트 이상으로 유지할 수 있다는 것을 알게 된다. 특히 농약폐수의 경우도 고농도 유입폐수를 효율적으로 처리할 수 있는 결과를 주목할 필요가 있다.

초심층폭기법은 주로 표준활성슬러지법이 갖는 문제점등 낮은 산소전달율을 높이고 넓은 부지가 소요되는 점등을 개선하기 위해 개발되었다고 볼 수 있으며 따라서 가장 큰 장점은 소요부지면적을 절감시키며 표준활성슬러지법에 비해 3배 가까이 되는 산소전달효율에 의해 동력비를 절감시키는 점이라고 볼 수 있다.

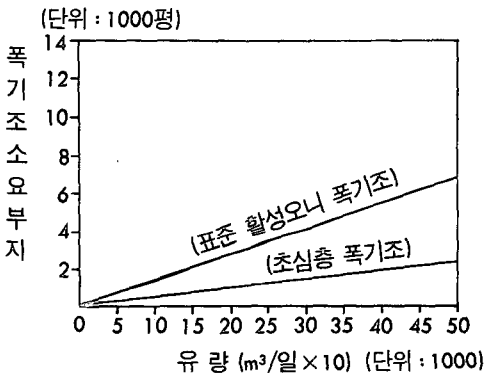
초심층폭기법의 폭기조에 소요되는 부지는 표준활성슬러지법의 폭기조 소요부지의 10~30% 정도 이어서 단위면적당 BOD 제거량이 표준활성슬러지법이 약 10kg/m²·일 인데 비해 초심층폭기법은 약 200kg/m²·일 정도까지 가능하다.

전력비의 절감은 산소전달효율이 높아지는 만큼 예상할 수 있으며 이밖에도 냄새, 소음, 분무, 비산

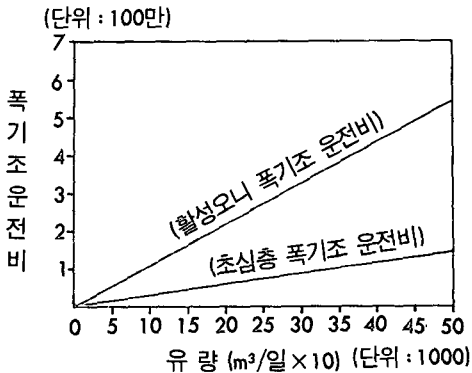
등의 문제가 최소화 되고 충격부하에 탁월한 대응력을 갖고 있어 안정적인 처리를 기대할 수 있다.

〈그림-3〉과 〈그림-4〉는 유량에 따른 폭기조 소요부지와 폭기조 운전비용을 도시한 것들이고 보다 상세한 경제성분석은 〈표-3〉에 종합하였다.

〈그림 3〉 유량에 따른 폭기조 소요부지 비교



〈그림 4〉 유량에 따른 폭기조 운전비 비교



〈표-3〉으로부터 초심층폭기법이 표준활성슬러지법과 비교할 때 공사비 자체는 많이 소요되지만 소요부지가 훨씬 적어 부지비를 고려한 공사비를 비교하면 초심층폭기법이 적은 비용이 소요되는 것을 알 수 있다.

〈표-3〉 표준활성슬러지 순산소법과 초심층폭기법 경제성의 상대적비교

(표준활성슬러지=100, 유량 30,000m³/일)

	초심층폭기법	순산소법	표준활성슬러지법
공사비 I	179	170	100
공사비 II (지가고려시)	96.7	102	100
소요부지	41	56.2	100
동력비	41.5	94	100
공사기간(월)	10.5	10	9

소요부지의 차이는 설계 유량이 커질수록 더 큰 것으로 나타나는데(그림-3) 따라서 부지절약에 의한 경제성은 처리시설이 커질수록 높게 된다.

지하에 시공되는 초심층폭기법은 우리나라와 같이 부지가 부족하고 지가가 높은 지역에서 높은 경제성을 나타낸다고 볼 수 있어 그 활용가능성은 매우 높다고 하겠다.

우리나라와 비슷하게 좁은 부지에서 수 많은 폐수 배출시설을 갖는 일본의 경우 40여군데 이상의 경우에 초심층폭기법을 사용하고 있어 부지절감의 효과를 얻고 있으며 세계적으로도 영국, 독일등지에서 적용사례가 증가하고 있다.

그러나 지하 깊숙히 폭기조가 설치되므로 시공이 쉬운 편은 아니며 지질에 따라 많은 영향을 받게 되므로 시공전에 지질에 대한 철저한 조사가 필요하며 굴착기술의 확보가 전제가 된다.

우리나라에서도 부지절감을 위해 깊이가 12m정도 되는 심층폭기법을 사용하는 사례가 시작되었는데 좁은 공간을 최대한 활용한다는 차원에서 지하의 공간을 활용하면서 높은 처리효율을 얻을 수 있는 초심층 폭기법의 사용을 도모하수뿐 아니라 고농도폐수의 처리에 까지 심도있게 검토해야 할 것이다.

처리시설의 이해도 중요하나 이 방법의 사용을 시도할 경우 앞서 언급한 바와 같이 지하굴착기술 등의 기술개발도 서둘러야 한다고 본다.