이상은 / 한국건설기술연구원 연구위원

80년대부터 본격적으로 추진되어 온 하수처리장의 건설로 하수처리율이 32%에 달하게 되었고 현재 가동중인 하수처리장만도 20개소에 이르게 되었다.

우리나라의 도시 하수처리장은 거의 모두 표준활성슬러지법을 사용하고 있으며 이는 BOD_5처리기준 30㎎/ℓ 이하를 유지하기에 적합한 처리방법이다. 그러나 '96년 이후 하수처리장의 처리수기준이 BOD_5와 SS가 각각 20㎎/ℓ 이하로 강화될 예정이고 질소와 인등의 영양물질의 처리도 요구된 것이어서 이를 만족시킬 수 있는 처리방법의 도입이 시급한 상황이다.

일반적으로 적절한 처리방법의 설정은 시설비, 유지관리비, 부지소요, 폐수의 특성 및 변화 그리고 슬러지 처리방법등을 고려하여 이루어 지며 특히 에너지소비량, 화학약품소모량등은 운전관리비를 결정하는 중요한 인자가 된다.

강화된 처리수기준을 만족시키기 위해서는 보통보다 많은 시설비와 운전관리비가 요구되고 보다 숙련된 기술인력을 필요로 하는 처리방법을 선택하게 되며 질소와 인등을 제거하기 위한 추가 동력소요와 화학약품에 따른 운전관리비의 증가가 예상된다.

이와같은 문제점을 인식하여 본란에서는 에너지와 화학약품비를 절약함으로서 운전관리비를 절감시키면서도 높은 처리효율을 얻을 수 있는 방법들을 소개하고자 하며 이 방법들은 하수처리장뿐만 아니라 생물학적 처리방법을 사용하는 산업폐수의 처리에도 고려할만한 방법들이다.

I CARROUSEL PROCESS

Carrousel은 산화구법을 개량한 처리방법으로서 처리수의 BOD_5을 10mg/ℓ 이하로 유지하는 것이 가능하고 완전한 질산화가 가능하며 부분적인 탈질반응도 진행되어 40~70%의 총질소 제거효율을 얻을 수 있는 처리방법이다.

이 처리방법은 '60년대에 화란에서 개발되어 널리 보급되어 있는 방법이며 처리용량도 1천톤/일의 규모에서부터 백만톤/일의 규모까지 넓은 범위에 적용되고 있으나 아직 우리나라에는 적용된 사례가 없다.

그림-1은 Carroasel Process의 기본개요를 나타낸 것으로 기존의 산화구법의 여러가지 장점을 유지하면서 심층폭기의 사용에 의한 경비절감과 에너지활용증대효과를 얻는 것을 목표로 하고 있다.

그림-1 Carrousel 시스템의 개요도

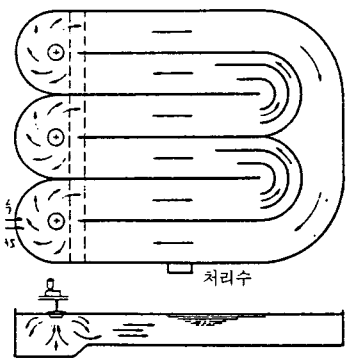


그림-1의 개요도에 나타난 바와 같이 유입수와 반송슬러지는 첫번째 폭기조에서 혼합되며 저속도 표면폭기장치의 펌프작용에 의해 Channel의 유속은 약 30cm/초로 유지되며 Channel 중앙의 칸막이를 표면폭기장치의 중심부와 일직선상에 오도록 설계하여 폭기조에 들어오고 나가는 유체의 흐름을 유도하도록 한다.

마지막 폭기조를 통과한 후 혼합액은 가장자리의 루프를 따라 흐르면서 첫번째 폭기조 직전에서 유출된다.

폭기장치의 적절한 설계는 유속을 결정하게 되는데 중요한 인자는 폭기장치 임펠라의 형태와 직경, 회전속도, 중간 칸막이의 위치, Channel의 깊이와 폭, 폭기조의 크기 등이며 이 모든 인자들이 Carrousel의 수리학적 특성을 정하고 적절한 유속을 보장하게 된다.

이 처리방법은 폭기조에서의 완전혼합형태와 Channel에서의 plug flow 흐름을 유지하면서 각각의 특성을 살리고 있고 부분적인 폭기에 의해 동력비를 절감시키는 중요한 특징을 갖고 있다.

폭기조의 환전혼합에서 Channel 유속 30cm/초로 흐르는 유속은 유입수의 약 30~50배 정도의 흐름이 되며 이에 따라 유입수가 Channel에서 반송슬러지와 혼합되면서 엄청난 희석비를 얻을 수가 있다.

바깥 Channel의 plug flow 흐름은 plug flow로 운전되면서 얻을 수 있는 여러가지 장점을 얻게 하는데 우선 폭기조를 떠난 혼합액이 Channel에서 서서히 응집될수 있는 시간을 주게 되어 결국 2차 침전조에서의 침전효율을 높인다.

또한 바깥 Channel의 일부는 산소공급이 중단되기 때문에 DO농도가 0에 가깝게 되어 혐기성상태가 되는데 이 상태에서 탈질반응이 진행되며 탈질반응의 정도는 미생물의 내생호흡율과 호기성 Channel의 길이에 의해 결정되기 때문에 요구되는 총질소제거정도에 따라 설계가 변경될 수 있다.

또한 탈질반응에서 질산을 산소대신 사용하면서 일부 유기물이 제거되므로 처리시설전체의 산소소요량을 감소시키게 되는데 그동안의 운전결과로는 약 10%에서 25%까지의 동력비 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

표준활성슬러지법에서는 공기공급의 목적이 산소공급과 폭기조내의 혼합에 있으나 Carrousel에서는 폭기시키는 부분이 제한되어 있어 혼합을 위한 동력공급은 표준활성슬러지법에 비해 훨씬 적다.

현재 가동되고 있는 Carrousel 시스템은 BOD의 제거와 질산화을 동시에 만족 시킬수 있도록 장기폭기방식으로 운전되고 있는데 장기폭기방식은 매우 안정된 슬러지를 생산하기 때문에 슬러지의 최종처분방안으로 농업용으로 토양처리하는 방법이 많이 사용되는 장점을 생각할 수 있다.

표-1은 화란의 Lichtenvoorde 처리장의 운전결과를 종합한 자료인데 이 처리장의 Carrousel 시스템은 질소제거을 목적으로 설계되지는 않았으나 BOD_5가 10mg/ℓ 이하로 유지되었을 뿐만아니라 질소의 제거효율도 높았던 것을 보여주고 있으며 같은 기간동안의 총질소 제거효율은 약 57%정도 였었다.

표-1 LICHTENVOORDE 처리장의 운전실적

	유입수	처리수	제거율(%)
BOD_5(mg/ℓ)	663	4.6	99.3
COD(mg/ℓ)	1316	54.9	95.8
TKN(mg/ℓ	108.3	3.1	97.1
NH_3-N	-	0.8	-
NO_2-N	-	0.06	-
NO_3-N	-	43.5	-
질산화율			93.6
TN제거율			56.9

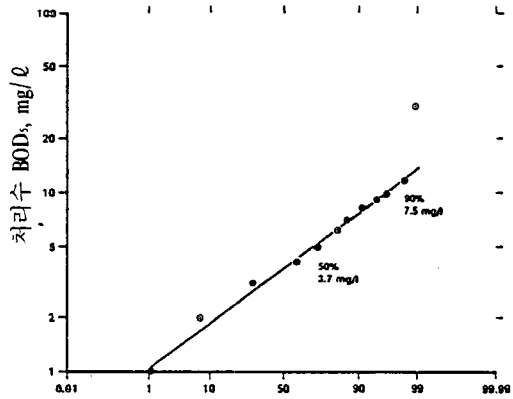
화란에 있는 4개소의 Carrousel을 사용하는 처리장의 처리수 BOD_5 자료를 그림-2에 나타냈는데 처리수의 평균 BOD_5는 3.7mg/ℓ였고 90%의 측정자료는 7.5mg/ℓ 이하을 유지하는 것을 보여주고 있다.

그림-2는 총 80개의 자료를 분석한 것으로 자료의 신뢰도가 높아 이 처리방법으로 높은 처리효율을 얻을수 있다는 것을 알 수 있으며 또한 같은 기간동안 분석한 암모니아성 질소의 농도는 평균 1mg/ℓ로 나타나 질소의 제거에도 효과적임을 보여준다.

Carrousel이 보통 장기폭기법으로 운전되고 있으나 사실은 보다 넓은 범위의 부하에도 운전될 수 있다.

Carrousel을 사용하기 위해서는 우선 필요한 처리

그림-2 Carrousel 프로세스의 운전결과



정도을 정하고 이에 따라 F/M비나 SRT를 결정하는 절차을 거쳐야 한다.

만약 BOD제거만을 목적으로 하는 경우은 SRT를 5일 정도로 유지하면 되는데 BOD제거만을 목적으로 할 경우는 폭기장치의 조절에 의한 에너지 절감에 의한 이득외에는 큰 효과가 없기 때문에 주로 질산화을 겸하는 방법으로 설계하게 된다.

이 경우 SRT는 10~20일을 사용하게되며 일반적으로 장기폭기방식으로 설계할 경우는 낮은 처리수 BOD_5와 완전한 질산화 및 안정된 슬러지생산을 위해 SRT를 30일 정도로 하고 HRT는 20~24시간으로 설계하는 것이 보통이다.

일단 SRT가 결정되면 다음 식-1에 의해 호기성 상태의 부피을 결정하게 되며 MLSS 농도는 약 3,500mg/ℓ로 설계하나 유럽의 많은 Carrousel 시스템은 MLSS농도를 4,000에서 7,000mg/ℓ 까지도 운전하고 있다.

$$V=\frac{(SRT)(Yn)(\triangle BOD)}{MLSS} \qquad (1)$$

단 V=호기성부분 부피 (m^3)

△BOD=BOD제거량 (kg/일)

Yn=슬러지발생율 (kg^{SS}/kg BOD_5)

MLSS=Mixed liquor 농도 (kg/m^3)

질산화 후 탈질반응을 진행시키기 위해서는 식-1에서 계산된 부피가 증가되어야 하는데 이때 필

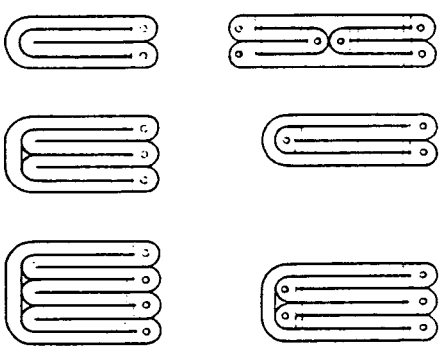
요한 혐기성부분의 부피는 식－2에 의해 결정하게 된다.

$$VD=\frac{N}{DNR(MLSS)} \qquad (2)$$

단 VD=탈질을 위한 부피 (m^3)
N=환원될 질산성질소양 (kg/일)
DNR=탈질반응율 (kg N/kg MLSS－일)

Carrousel 시스템의 부피를 정한후에 BOD제거와 질산화에 필요한 산소공급량과 탈질에 사용되는 질산성질소에 의한 산소의 절감등을 고려하여 산소소요량을 정하여 필요한 폭기장치의 수를 결정해야 하며 필요한 폭기장치의 수에따라 그림－3과 같이 여러가지 형태의 설계를 할 수가 있다.

그림－3 Carrousel 탱크의 형태

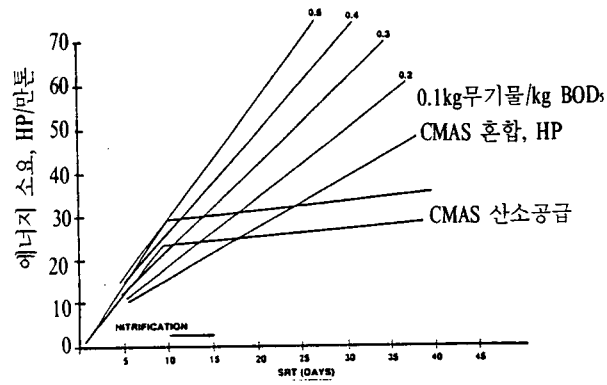


일반적으로 Channel의 깊이는 폭기장치임펠와직경의 1.2배정도가 되며 폭은 깊이의 2배 정도가 적당하다.

그림－4는 긴 SRT로 설계할 경우 Carrousel 시스템에 의한 에너지 절감효과를 나타내는데 약 80% 정도까지의 에너지 절감효과가 있는 것을 알 수 있다. 이 그림은 에너지 절감효과를 유입수에 포함된 무기물질들이 변화함에 따라 분석을 했는데 유입수에 포함된 무기물질들의 양이 많고 SRT가 길어 질수록 Carrousel에 의한 에너지 절감이 크다는 것을 알 수가 있다.

모든 것을 혼합할 때 Carrousel 시스템은 표준활성슬러지법에 비해 30～50%의 동력절감효과가 있는 것으로 알려지고 있으며 또한 SRT가 증가하여

표－4 고도처리에 적용한 경우 에너지절감



처리효율이 높아져도 Carrousel의 경우는 동력의 소요가 증가하지 않는다.

지금까지 '60년대에 개발되었으나 아직 우리나라에는 사용되지 않는 Carrousel시스템의 여러가지 장점을 검토하였는데 높은 처리효율이나 저렴한 유지관리비등은 우리나라에서의 적용가능성을 높게 해준다. 특히 2차 침전조의 침전성에 관한 문제가 비교적 없는등 운전관리가 비교적 용이하기 때문에 소규모 처리시설에 적용시키면 기술적으로나 경제적으로 효과가 클 것이며 이 방법을 잘 이해하여 현장조건에 맞게 응용하면 앞으로 강화될 처리수 기준을 경제적으로 만족시킬 수 있는 방법중의 하나가 될 것이다.