

경제적인 고도폐수처리

II. TF/SC Process

TF/SC Process는 최근에 개발되어 최근에 미국에서 사용되는 예가 급격히 증가하고 있으나 이 방법의 모체가 되는 살수여상법(Trickling filter, TF)은 활성슬러지법보다 먼저 개발되어 1세기 이상 사용되어온 생물학적 처리방법이다.

아직 우리나라의 도시하수처리장에 살수여상법을 적용한 예는 없으나 지난 60년대에 미국에서 가장 널리 사용되었던 살수여상법은 하수처리장의 처리수기준이 BOD 30mg/L로 강화된 이후 이를 계속적으로 만족시킬수가 없어 점차 인기를 잃게 되었고 많은 수의 살수여상 시설이 방치상태에 있는 것이다.

많은 하수처리장에서는 기왕에 설치되어 있는 살수여상 시설의 활용방안을 강구하게 되었으며 TF/SC(Trickling Filter/Solid Contact) Process의 개발도 기존의 살수여상을 활용하여 높은 처리효율을 얻으려 한 노력의 과정에서 개발되었다.

미국 오레곤주의 Corvallis시 도시하수처리장은 기존의 살수여상법을 개선하여 여름철동안의 강화된 처리기준인 BOD₅/SS=10/10을 만족시켜야 했으며 이



이 상 은 / 한국건설기술연구원 연구위원

를 위해 살수여상과 활성슬러지를 같이 사용하는 복합 생물학적처리방법을 택했으며 2차 최종침전지는 침전조 중앙부에 응집기능을 갖춘 Clariflocculator를 도입하였다.

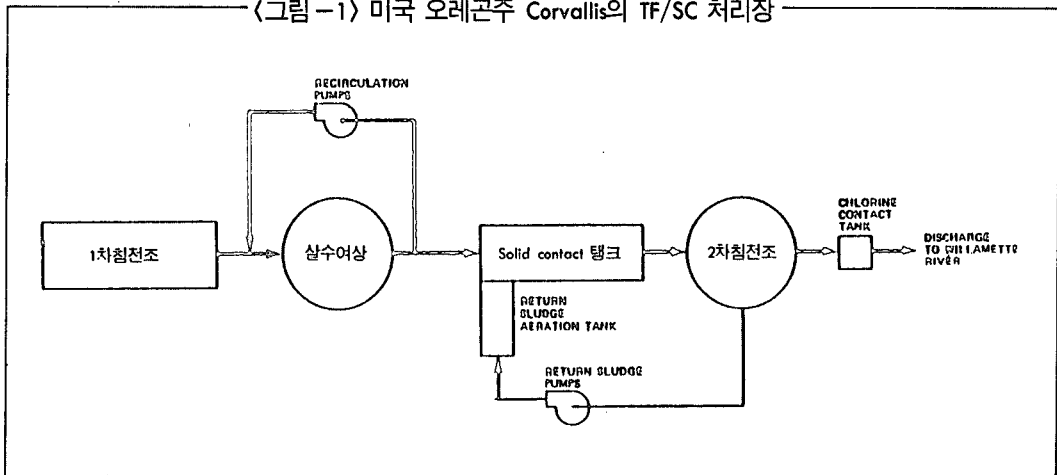
살수여상과 활성슬러지를 함께 사용하는 TF/AS 방법은 모래여과를 사용하는 3차처리를 거치지 않고도 여름철 강화된 처리기준을 만족시킬 수 있었으나 '78년 '79년에 활성슬러지의 개수작업을 시도하는 동안 반송슬러지를 10분 정도 폭기를 시킨후 살수여상의 유출수와 혼합시켜 Clariflocculator에 유입시킨 결과 놀랍게도 BOD/SS기준 10/10을 계속적으로 만족시킬 수 있었다.

이와같은 과정을 통하여 개발된 프로세스를

TF/SC Process라고 하였으며 이 방법의 개발에는 미국의 Brown and Caldwell회사의 공헌이 매우 컸다. TF/SC Process는 미국의 EPA에서 시행하는 Innovative & Alternative(I/A) technology program의 평가를 거쳐 Innovative technology의 하나로 인정을 받아 운전관리의 문제점이 없고 높은 처리효율을 얻을 수 있다는 것이 입증된 방법이다.

TF/SC process가 처음 사용된 미국 오레곤주 Corvallis시의 하수처리장 공정도는 그림-1과 같으며 이 그림에 나타난 바와 같이 TF/SC Process는 1) 살수여상, 2) 호기성 Solid contact, 3) 응집 그리고 4) 최종침전으로 구성된 생물학적, 물리적 처리방법인 것을 알 수 있다.

〈그림-1〉 미국 오레곤주 Corvallis의 TF/SC 처리장



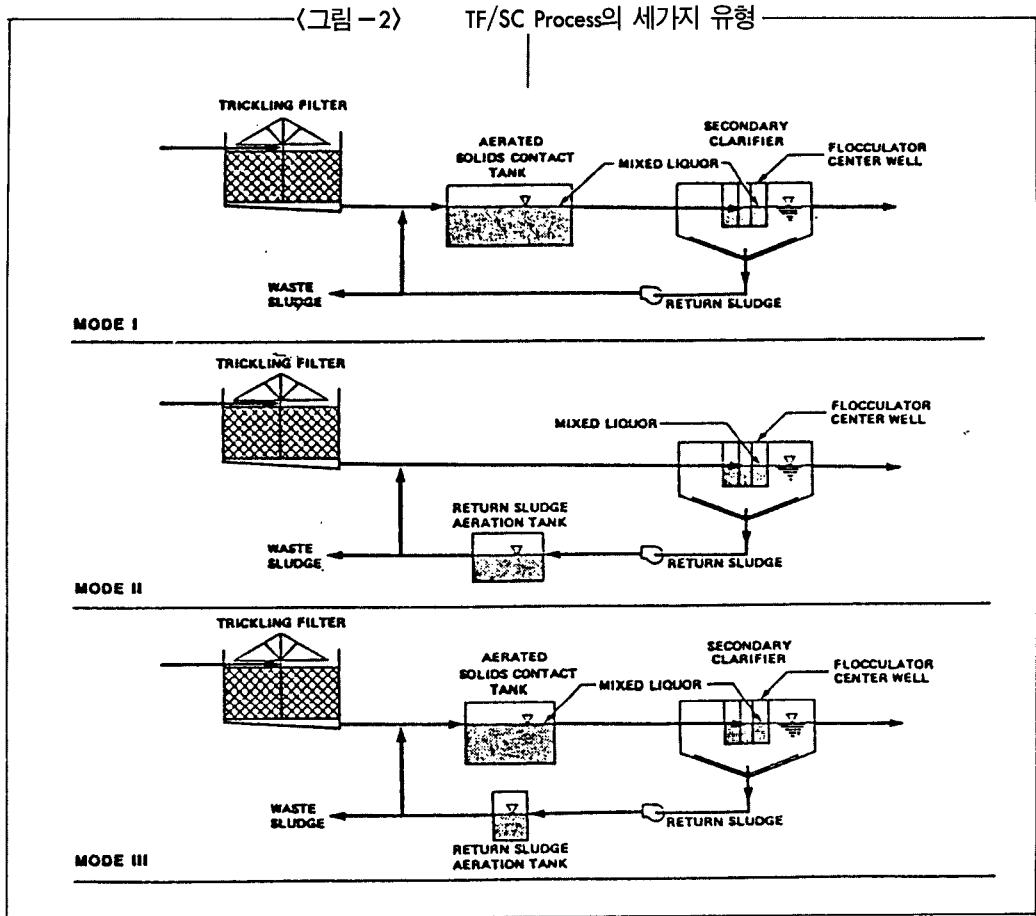
또한 운전과정에서 중요한 두가지는 우선 Solid 즉 고형물질들은 반드시 호기성이고 응집된 상태로 유지되어야 하고 2차 침전조로부터의 반송슬러지는 살수여상 유출수와 혼합되어야만 한다는 것이다.

TF/SC Process의 첫번째 단계인 살수여상의 주된 역할은 용해된 BOD의 제거이며 Solid contact 기간은 살수여상 유출수의 작은 고형물질들과 반송슬러지를 혼합시켜 분산된 고형물질들을 Floc으로 변화시키는 Bioflocculation의 기능과 필요한 경우에는 추가로 용해성 BOD의 제거를 하는 기능을 갖고 있다.

따라서 Solid Contact의 시간은 고형상태와 용해상태의 BOD제거효율 정도에 따라 정해진다.

그림-2는 TF/SC Process의 3가지 모델을 보여주고 있는데 고형상태와 용해상태의 BOD 제거정도에 따라 여러가지 배열을 할 수 있는 것을 알게 된다.

만약 살수여상 유출수중에서 계속 남아 있는 많은 양의 용해성 BOD제거가 고형운전의 제거보다 더 중요한 경우에는 Mode I과 같이 호기성 Solid Contact 탱크를 사용해야 하며 만약 고형물질만이 문제가 되는 경우에는 Mode II와 같이 반송슬러지만을 폭기시킨후 살수여상 유출수와 혼합시키면 된다.



그러나 용해성 BOD와 고형물질이 모두 문제가 되어 제거할 필요가 있는 경우에는 두가지 폭기 및 접촉장치가 다 필요하게 된다.

TF/SC Process의 마지막 단계는 응집단계가 되는데 Solid Contact 탱크에서 형성되기 시작한 Floc은 서서히 교반되는 2차침전조의 중앙부에 강하고 침전성이 좋은 floc으로 자라 2차침전조에서 침전 분리된다.

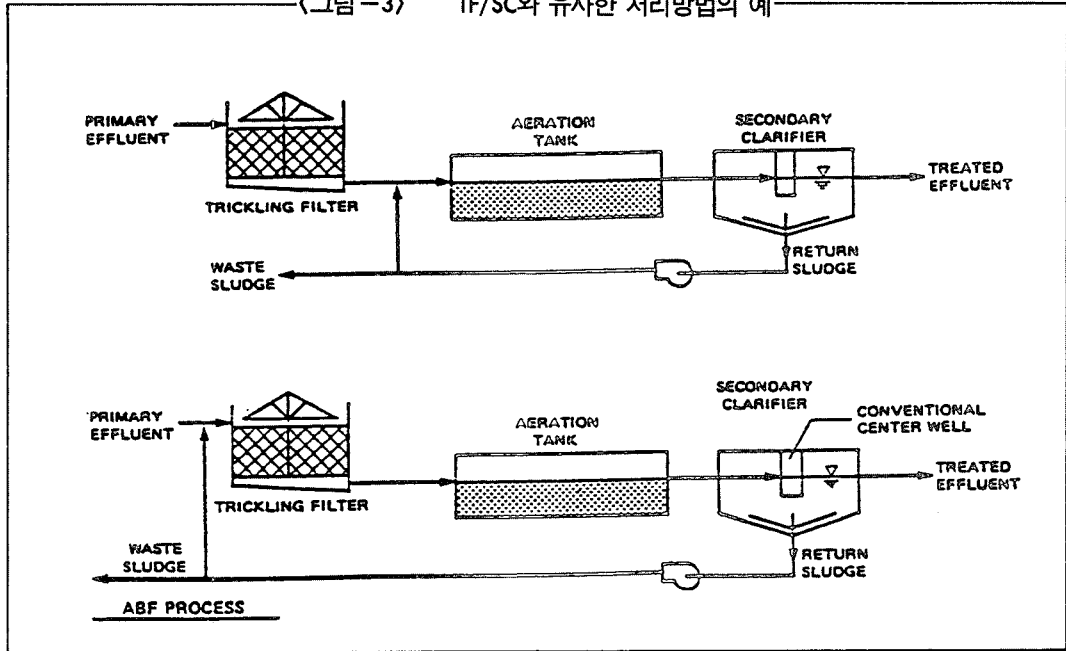
기존의 살수여상을 사용하여 처리효율을 높일 수 있는 방법은 그림-3에 나타난바와 같이 TF/SC Process 외에도 몇가지를 더 고려할 수 있다. 첫번째 방법인 TF/AS Process에서는 살수여상이 조울여상 (Roaching filter)으로 운전되어 대부분의 BOD제거와 질산화가 활성슬러지 과정에서 진행되며 Activated

biofilter(ABF) Process는 반송슬러지를 살수여상으로 유입시켜 용해성 유기문제제를 돕게 된다.

TF/SC Process가 일반적인 살수여상이나 TF/AS 그리고 ABF Process와 구별되는 점을 요약하면 다음과 같다. 즉 1) Solid Contact 탱크와 2차침전조에서의 응집과정의 주된 기능은 응집시키는 것과 고형물상태의 BOD를 제거하는 것이고 2) 대부분의 용해성 BOD의 제거는 살수여상에서 이루어 진다. 3) Solid Contact 탱크는 질산화가 진행되도록 설계하지는 않으며 4) Solid Contact 탱크의 HRT는 반송수를 포함하여 1시간 이내이고 SRT는 2일보다 짧다.

미국 EPA에서 현재 TF/SC Process를 사용하고 있는 5개도시의 하수처리장의 운전결과를 조사분석하여 이 방법에 대한 평가를 하였는데 각 처리장의

〈그림-3〉 TF/SC와 유사한 처리방법의 예



운전결과는 표-1과 같고 조사분석된 결과를 요약하면 다음과 같다.

〈표-1〉 TF/SC를 사용하는 하수처리장의 운전결과

(단위: mg/L)

처리량	A	B	C	D	E
유입수					
BOD ₅	108	157	313	146	277
SS	154	138	352	118	224
1차처리수					
BOD ₅	70	81	—	—	173
SS	66	34	—	—	121
TF처리수					
BOD ₅	30	66	—	—	—
SS	59	71	—	—	—
최종유출수					
BOD ₅	5	8	22	21	7
SS	9	8	13	13	8

○ 용존 BOD의 제거: 살수여상에서 용존성 BOD가 제거되는 것은 Velz식에 의해 예측이 가능하고 플라스틱 여재보다는 돌맹이를 여재로 사용하는 경우가 처리율계수가 높았다. 또한 돌맹이를 여재로 사용하는 공정이 살수여상유출수에 더 강한 floc이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었으나 이에 대해서는 더욱 많은 조사가 있어야 한다.

○ MLSS농도: Solid contact 탱크내의 MLSS농도는 처리장에 따라 900mg/L으로부터 7,000mg/L까지 다양하였는데 MLSS 농도를 1,500mg/L에서 7,000mg/L로 증가시켜도 처리효율에 큰 영향이 없었다.

○ Solid Contact 탱크에서의 용존성 BOD제거는 원래 목적은 아니나 조사 결과 40분의 체류시간에서 75%까지의 제거가 가능하였다.

○ 응집제의 첨가: 염화제이철은 인의 제거를 위해 Solid Contact 탱크에 첨가했을 때 TF/SC Process의 운전엔 전혀 영향은 없었다.

○ TF/SC Process에서의 살수여상의 주된 기능이 용존성 유기물의 제거이며 이는 유입 BOD, 여재의 표면적, 깊이, 온도 및 부하에 의해 결정되는데

BOD제거율을 예측하기 위해서는 Velz식은 약간 변형시킨 다음의 식이 사용된다.

$$S_2 = \frac{S_1}{\left\{ (R+1) \exp \left[\frac{K_{20} A_i D \theta^{(T-20)}}{[Q_i(R+1)]^n} \right] \right\} - R} \quad (1)$$

- 단 S_2 : TF 처리수의 용존 BOD₅ (mg/L)
- S_1 : 1차 처리수의 용존 BOD₅ (mg/L)
- R: 순환율
- K_{20} : 20℃에서의 1차 반응계수
- A_s : 여재의 specific surface, m²/m³
- D: 여재 깊이, m
- θ : 온도보정계수
- T: 폐수의 온도, ℃
- Q: TF 유입 flux, m³/m²-sec
- n: 유량과 관련된 지수

식(1)을 자료분석이 보다 편하게 변형시키면 다음 식(2)와 같이 된다.

$$\ln \frac{S_1}{S_2} = \frac{K_{20} \theta^{(T-20)} A_i D}{Q^n} \quad (2)$$

단 S_2 =순환수와 1차 처리수가 혼합된 후의 용존 BOD/mg/L

Q: 총 Hydraulic flux, m³/m²-sec

표-1에 정리된 5개 하수처리장에서 TF/SC Process를 사용한 BOD와 SS제거율을 보면 매우 높은 처리효율을 얻을 수 있는 것을 알 수 있는데 처리장 C와 처리장 D가 상대적으로 처리수 수질이 나쁜 것으로 나타났다.

처리장 C의 경우는 유입수의 BOD가 일반 도시하수처리장에 비해 높아 살수여상의 유기물부하가 다른 TF/SC처리장에 비해 4~14배정도 높았기 때문이며 처리장 D의 경우는 추운 지방에 위치하여 날씨가 살수여상을 운전하기에 적합하지 못했던 것으로 해석하고 있다.

따라서 TF/SC Process를 국내에 적용하기 위해서는 살수여상의 유기물부하를 적절히 책정하고 처

리목적과 유입수의 특성에 따라 TF/SC Process의 solil contact 탱크의 위치를 잘 결정하는 것이 중요하며 일반적으로 사용되는 살수여상의 유기물부하의 범위는 0.09~0.5kg BOD₅/m³일이다.

TF/SC나 살수여상에 대한 국내 적용예가 없어 지난 '80년대초에 미국에서 경제성분석을 한 결과에 의해 경제성을 비교해보면 표-2와 같다. 이 비교는 처리용량 40,000m³/day의 시설이고 BOD/SS기준 10/10을 만족시키기 위해 활성슬러지법에서는 처리수의 여과가 필요한 것으로 간주했고 회전원판법의 경우는 4단 회전원판법과 역시 처리수 여과가 필요하다고 보았다.

〈표-2〉 TF/SC Process의 경제성 비교

항 목	TF/SC	활성슬러지법	회전원판법
건설비 (1000불)	25,720	29,965	29,765
동력소요 (KWh/년)	1,760,000	3,460,000	3,130,000
총 비용 (20년, 1000분)	30,106	36,827	35,736

표-2의 가격은 '82년도의 미국가격으로서 상대적인 비교가 중요하며 수명을 20년으로 보았을때 TF/SC Process가 경제성이 있는것을 나타내는데 동력소요가 다른 방법에 비해 50% 정도에 불과해 동력단가가 높은 경우는 더욱 경제성이 높아진 것으로 보인다.

우리나라의 수자원 사정은 낙관적이 아니어서 기왕에 확보된 수자원의 수질을 보전하는 것이 중요하다. 따라서 하수처리장의 처리수 수질기준은 '96년부터는 강화시킬 계획이고 한정된 수자원을 보호하기 위해서는 강화된 수질기준 이상으로 처리효율을 높이지 않으면 안된다.

이를 위하여 여러가지 고도처리방법들을 고려할 수 있으나 TF/SC Process와 같은 경제적이면서도 유지관리가 쉬운 처리방법의 활용을 고려해봐야 할 것이다. (다음호에 계속)