환경리포트

경제적인 고도폐수처리

이 상 은 / 한국건설기술연구원
연구위원

Ⅶ. Biological Aerated Filter(BAF) process

살수여상(Trickling Filter)법이 폐수처리에 사용되기 시작한 것은 19세기말인데 그후에 개발된 활성슬러지법에 비해 처리효율이 낮고 불안정하여 사용되는 예가 줄어가고 있다.

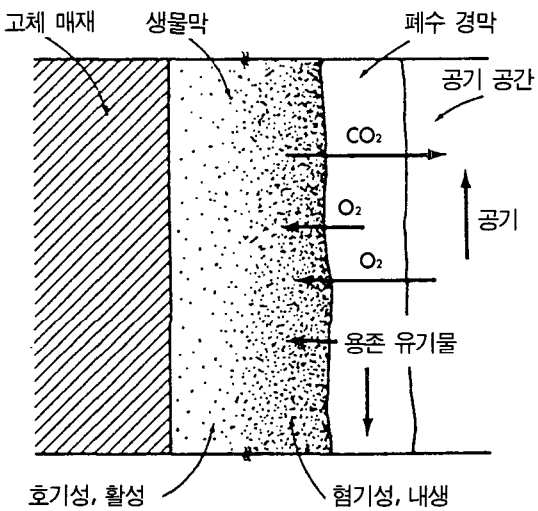
생물학적 폐수처리방법은 미생물의 성장형태에 따라 크게 두가지로 분류할 수 있는데 미생물이 유기물질들을 사용하여 부유상태로 자라면서 응집되어 floc을 형성하는 유형과 미생물들이 생물막을 형성하며 자라면서 오염물질을 분해하는 유형으로 구분된다.

살수여상법이 생물막에 의한 처리방법의 대표적인 예이고 활성슬러지법이 floc에 의한 처리방법의 대표적인 예라고 하면 floc에 의한 처리가 생물막에 의한 처리에 비해 더 효율적이고 안정적이라고 해석할 수 있다.

그러나 생물막에 의한 처리방법에 대한 이해가 높아지면서 생물막법이 갖는 장점을 최대한 이용하

는 방법이 개발되고 있으며 최근의 동향은 생물막법과 부유상태의 미생물에 의한 처리를 복합하는 방법의 사용이 증가하고 있다.

그림-1은 생물막에 의한 유기물질의 분해를 나타낸 것으로 실제로는 이 그림에 나타낸 반응보다 훨씬 복잡한 반응이 진행되나 생물막법의 효율은 어떤 매재(Media)를 사용하여 보다 안정된 생물막을 형성하여 많은 미생물이 자라도록 하느냐와 생물막을 형성한 미생물들이 폐수와 잘 접촉하도록 하느냐에 따라 결정된다고 볼 수 있다.



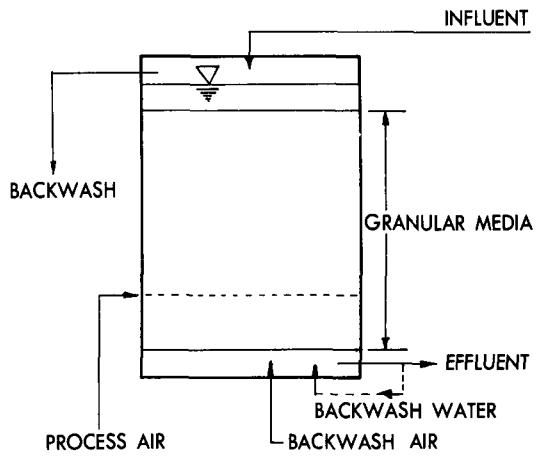
〈그림-1〉 생물막법에 의한 유기물의 분해

이와같은 개념에서 개발된 새로운 처리방법은 주로 일본이나 유럽국가등 부지확보가 어려운 나라에서 각광을 받고 있는데 폭기조내에 여러형태의 플라스틱매재를 투입하는 접촉산화법도 한 예가 된다.

그러나 보다 Compact한 공정으로서 반응조내에 매재를 충진시켜 제한된 공간에서 보다 높은 미생물농도를 유지하도록 하는 방법들이 개발되었는데 Biological Aerated Filter(BAF)나 유동상을 이용한 처리방법등이 있으며 이번에 BAF에 대해 설명하고 비슷한 개념의 방법들을 살펴보고자 한다.

BAF법은 프랑스에서 최초로 개발되었으며 이 방법의 기본개념도는 그림-2와 같다.

근본적으로 BAF는 고율의 고정상 생물학적 여과방법으로서 굵은 고형물질이나 부상물질들이 없



〈그림-2〉 BAF process 개념도

는 폐수를 상부로부터 유입시키며 1.5~1.8m 깊이의 여재층진층을 통과하면서 오염물질의 제거가 이루어 진다.

여과매재로서는 고온처리한 다공질 클레이를 사용하는 것이 보통인데 이 경우 유실율은 년간 약 2% 정도이고 20년 가까이 사용될 수 있는 것으로 보고되어 있다. 여재의 넓은 비표면적(1,300~1,600m^2/m^3)에 의해 많은 미생물들이 자랄 수 있기 때문에 반응조내의 미생물농도를 MLVSS로 측정했을때 15,000~20,000mg/L정도의 높은 수준까지 유지할 수 있다.

산소는 압축공기를 PVC 파이프로 된 distribution장치를 통해 불어 넣음으로서 공급되며 이 장치는 처리수의 유출구보다 0.3에서 0.5m 정도 위에 설치되고 균등하게 공기가 공급되도록 설계되어 있다.

공기는 폐수와는 반대방향인 상향류로 공급되며 공급속도는 여재층이 팽창하지 않을 정도로 유지되는데 공기에 의해 여재간의 간격이 크게 됨으로서 고형물질에 의한 막힘을 적게하고 여재층을 최대로 활용하는 depth filter의 기능을 하게 된다.

따라서 고형물질의 제거와 BOD의 흡착/산화가 여재층 전체에서 이루어 지며 산소공급장치의 아래 부분은 교란되지 않는 상태로 유지되어 고형물질의 분리제거가 가능하도록 하여 2차침전조가 없이 원하는 BOD와 SS제거효율을 얻을 수 있으며 질산화도 가능한 것으로 나타났다.

BAF는 주로 지상에 건설되는데 3.5m~3.7m 정도의 수두를 고려하는 것이 유입수가 순조롭게 통과되는데에 무리가 없다. 그러나 미생물이 자라고 고형물질들이 걸러지게 되면서 여재층의 수두가 점점 높아져 깨끗한 상태의 수두인 0.15m에서 0.61m 정도로 증가하게 되면 역세척수에 의하거나 공기에 의한 역세척을 시행한다.

역세척수로는 주로 처리수를 재사용하는 경우가 많으며 역세척된 물은 별도의 사이펀에 의해 제거되어 1차 침전조로 되돌려 지는데 이 때의 생물학적 고형물질의 침전성은 양호하여 SVI가 40~60 정도 이어서 1차침전조에서의 침전 제거에는 문제가 없다.

역세척에 사용되는 물의 양은 대개 유입유량의 5% 정도이며 BOD제거만이 목적인 경우는 15~24시간 마다 1회 질산화가 요구되는 경우는 매 24시간 마다 1회씩 역세척을 실시하는 것을 권장하고 있으며 여재층에서의 총 HRT는 30분에서 80분까지 변하는데 유입수의 특성에 따라 적절하게 설계할 수 있다.

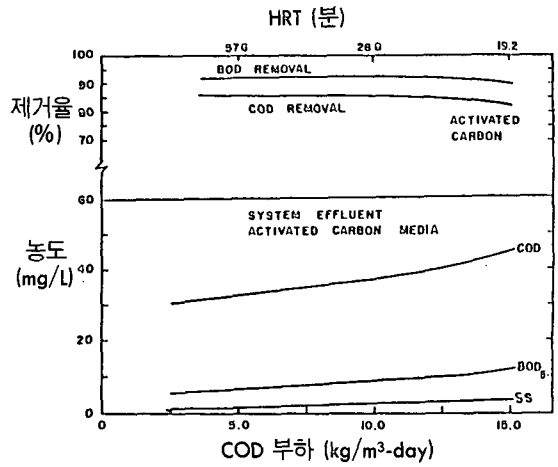
현재 BAF는 Module형태로 제작된 module을 조립하는 조립식으로까지 공급되고 있는데 전형적인 module은 크기가 3.7m×12.8m×3.7m 이고 판면적 46.5m², 부피는 171.3m³ 정도인데 필요에 따라 열개의 module을 연결하여 사용하며 모든 운전조작은 programmable contoller에 의해 자동으로 운전되는 제품들이 가능하다.

지금까지 설명한 BAF는 미국의 한 회사에서 공급하고 있는 BAF의 예를 중심으로 설명한 것인데 유럽지역에서 판매되고 있는 BAF도 형태나 운전방법에 큰 차이가 없다.

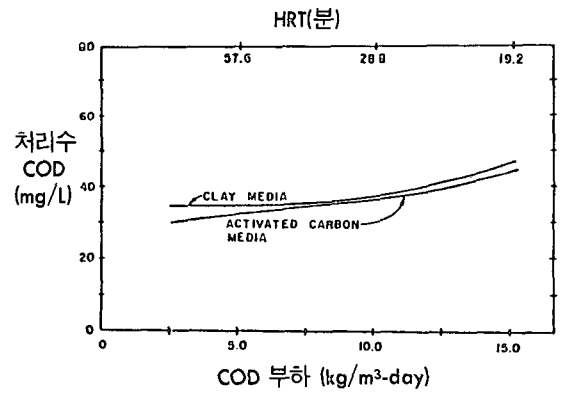
불란서에서는 BAF의 여재로서 활성탄을 사용하는 예가 있는데 활성탄을 여재로 사용한 운전결과는 (그림-3) COD부하의 변화에 따라 BOD는 90%이상 COD는 80% 이상의 제거율을 보이고 처리수의 BOD는 10mg/L로 유지되는 것을 알 수 있었다.

여재를 클레이를 사용하여 똑같은 운전조건을 적용해 본 결과 활성탄을 사용한 경우와 큰 차이가 없었으며 그림-4와 같이 부하율이 넓은 범위에서 비슷한 처리효율을 보이고 있다.

그림-3과 그림-4의 경우 사용된 유입수는 비교적 약한 도시하수로서 COD, BOD_5, SS 및 NH_3-N이 각각 200mg/L, 85mg/L, 75mg/L와 22mg/L 였는데 보다 강한 유입수를 대상으로 실험하기 위해 산업폐수를 혼합하여 COD, BOD_5, SS 및 NH_3-N을 각각 475mg/L, 280mg/L, 75mg/L 및 50mg/L로 증가시켜 BAF를 적용한 경우에도 그림-5와 같이 같은 유기물부하에서 처리수의 BOD_5 농도가 약간 높을뿐이어서 역시 15mg/L이하를 유지할 수 있는 것을 알 수 있다.

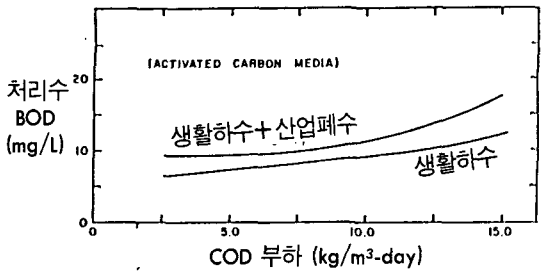


〈그림-3〉 COD부하변동에 따른 BAF 운전결과



〈그림-4〉 여재의 변화에따른 처리수 COD의 변화

BAF process를 실제 처리장에 적용한 예는 많이 있는데 유량이나 농도의 변화가 큰 유입폐수의 경우에도 큰 어려움이 없이 처리수의 수질을 좋게 유지할 수 있었는데 표-1은 한 예로서 유입수 BOD_5가 55mg/L에서 110mg/L까지 변화될때 처리



〈그림-5〉 생활하수에 산업폐수를 혼합했을때의 BAF 처리효율의 변화

수의 BOD_5는 10mg/L 정도로 유지 하는 것을 보여준다.

〈표-1〉 유입수의 특성변화에 따른 BAF process 처리수질변화

유입수질(mg/L)		처리수질 (mg/L)		
		A	B	C
BOD	55	6.8	7	7.5
TSS	55	5	6	7
BOD	90	11	8	13
TSS	40	10	10	8
BOD	110	10	12	11
TSS	36	5	6	4

부하율 A : 2.4m/시간 B : 1.8m/m C : 3.0m/m

BAF process는 질산화에도 높은 효율을 나타내는 것으로 보고되어 있으며 처리장 운전의 자동화가 안정적인 처리효율을 얻는데 도움을 주는 것으로 나타났는데 이는 표-2에 나타난 바와 같이 자동화에 의해 유기물부하의 변화폭이 훨씬 적어졌기 때문인 것으로 해석할 수가 있다.

BAF process의 경제성을 제대로 분석한 자료는 아직 제시할 수가 없으나 이 처리장법의 가장 큰 장점은 좁은 부지에서 설치가 가능한 점이다. 같은 처리효율을 얻기 위해서 요구되는 처리시설을 수용할 부지는 플라스틱여재를 사용하는 살수여상시설의 20% 활성슬러지시설의 10%에 불과하며 이밖에 운전이 간편하고 활성슬러지법에서 가장 큰 문제를 일으키는 2차침전조가 필요 없는 등 여러가지 장점이 있어 검토해볼만한 처리방법이다.

또한 Module 형태로 설치가 가능하기 때문에 여러종류의 폐수에 다양하게 사용이 가능하다는 점

〈표-2〉 자동화 전후의 BAF 운전결과 비교

	처리장 A		처리장 B	
	전	후	전	후
유기물부하	0.22-	0.93-	0.5-	0.92-
(kg BOD/m³-day)	0.41	1.5	2.52	1.5
수리적 부하	0.15-	0.81-	1.86-	0.93-
(m/m)	0.95	1.37	2.44	1.30
처리수 BOD_5	9-28	7-17	10-27	6-14
(mg/L)				
처리수 TSS	7-21	7-18	7-16	7-15
(mg/L)				

도 이 처리방법의 매력이라고 할 수 있겠다.

충진여재로서 활성탄이나 클레이를 사용하고 있는데 최근 sintered glass를 사용하여 이 여재의 넓은 비표면적(약 0.4m²/g)에 미생물들이 자라고 여재를 적절히 배치함으로서 높은 처리효율을 얻을 수 있는 것으로 보고되어 주목을 끌고 있다.

이 sintered glass는 'Siran'이라고 명칭되어 있는데 산업폐수처리에 놀라운 효과를 얻고 있어 일반적인 활성슬러지방법이 1kg COD/m³일의 제거기능이 있다고 할때 이 방법은 160kg COD/m³일 정도까지 처리가 가능하다고 하여 단위부피당 160배 정도의 처리능력을 갖출수 있다고 까지 보고되어 있다.

BAF나 'Siran'을 이용한 처리방법은 미생물에 의한 분해와 여과가 주된 오염물질 제거방법인 만큼 유기성폐수에 적합하며 여과작용을 방해하는 물질이 많이 포함되어 있는 폐수에는 적합하지 않다.

따라서 제지공업, 제약업체, 양조공업등 고농도 유기성폐수를 처리하는데 있어서 부지에 제한이 있을 경우 BAF나 이와 비슷한 개념의 처리방법의 사용이 높은 경제성을 가질 것으로 판단된다.