

Ⅲ. PACT Process

활성슬러지법의 폭기조에 분말활성탄을 투여하는 PACT(Powdered Activated Carbon Treatment) Process는 폐수에 함유된 유해물질들을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 고도처리의 효과를 얻을 수 있는 처리 방법이다.

이 방법이 개발된 것은 '70년대 초로 거슬러 올라갈 수 있으며 미국의 Du Pont사에서 특허를 얻은 바가 있으나 역시 미국의 Zimpro회사에서 공급권을 보유하고 있는 방법이다. 그러나 비슷한 처리방법이 영국에서는 PACAST(Powdered Activated Carbon Activated Sludge Treatment)라는 이름으로 사용되고 있어 기본개념을 이용하면 기존의 활성슬러지법의 변형으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

아직 우리나라에는 적용된 예가 적으나 제한된 부지에 고도처리를 해야 하는 우리나라의 현실을 감안하면 도시 하수처리장이나 산업폐수의 처리에 사용될 수 있는 가능성이 높다고 본다.

PACT process의 기본적인 공정도는 그림-1과 같은데 활성슬러지의 폭기조에 분말활성탄을 계속적



이 상 은 / 한국건설기술연구원 연구위원

환경리포트

이나 간헐적으로 가해주는 것이 주된 공정인바 분말활성탄은 유입수에 미리 혼합되어 가해지기도 하고 폭기조에 적당량을 직접 가해지기도 한다.

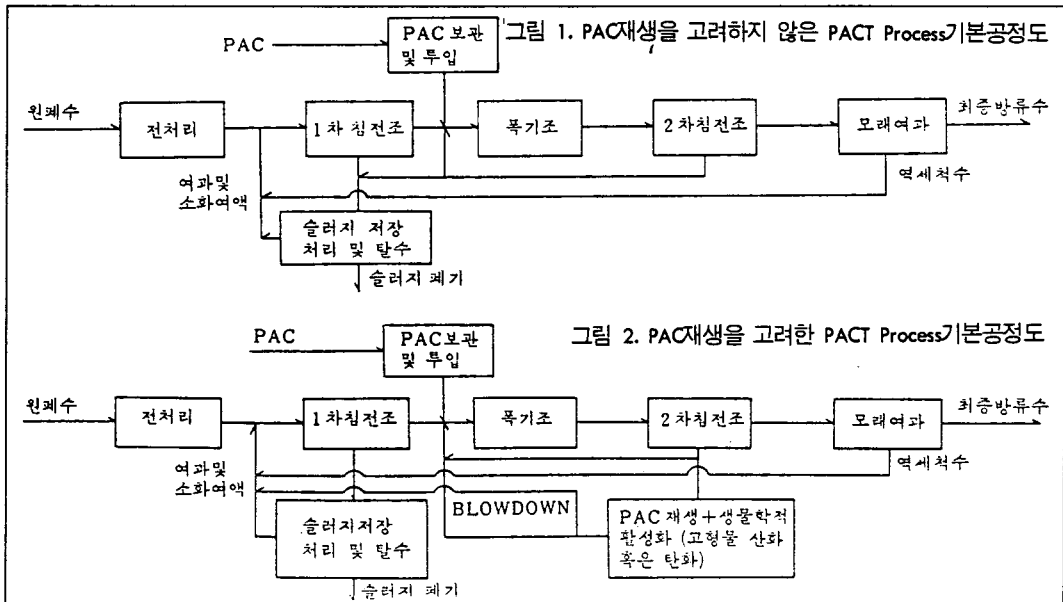
폭기조에 가해진 분말활성탄은 미생물혼합액(MLSS)과 함께 2차침전조에서 분리되어 폭기조로 재순환되는데 일단 평형상태에 도달하면 활성탄의 첨가량과 슬러지 제거량을 일정하게 유지함으로써 분말활성탄의 체류시간이 Sludge Age(θ)와 같아지게 된다.

그림-1의 공정도는 MLSS와 함께 제거된 활성탄을 재생하지 않고 버리는 경우인데 활성탄의 재생을 고려한 경우의 공정도는 그림-2에 나타내었다.

WAO와 연결하여 하나의 process로 되는 경우가 많다.

활성탄의 재생과정에서 미생물들이 산화되어 반송수에 함유되었을때의 유기물농도의 증가를 고려해야만 하며 일반적으로 활성탄의 재생과정에서 5~10% 정도의 활성탄이 소실되기 때문에 이에 상당하는 분량의 새 활성탄을 보충해야만 한다.

폭기조에 분말활성탄을 첨가함으로써 PACT process는 미생물에 의한 유기물의 분해와 활성탄 흡착에 의한 유기물과 기타 오염물질들의 처리가 가능한 Bio/physical treatment 방법의 하나라고 하겠다. 즉, 분말활성탄은 미생물과 혼합되어 일부 유기물



그러나 처리용량이 작거나 특수한 사정이 있어 폐수처리시설의 처리효율을 일시적으로 높여야 하는 경우에는 활성탄의 재생에 소요되는 시설과 운전비용을 고려하면 사용 후 폐기라는 방법이 더 경제적이 될 수도 있다.

그림-2의 재생공정이 포함된 PACT process에 사용될 수 있는 방법은 Multiple hearth furnace, Fluidized-bed furnace와 Wet All-Oxidation (WAO) 등을 들 수 있는데 WAO는 활성탄의 재생과 미생물의 산화가 가능하여 Zimpro의 PACT process는

을 흡착하고 동시에 혼합물의 weighting agent 역할을 하여 미생물에 의한 분해 가능여부와 관계없이 흡착가능한 유기물을 제거하고 고형물질의 침전과 농축을 돕는다.

PACT에서의 활성탄은 또한 전체적인 운전효과를 높이는데 그 이유는 흡착에 의해 유기물부하를 조절하고 독성이 있거나 기타 미생물의 활동을 저해하는 성질이 있는 물질들을 흡착하고 거품제거의 효과가 있기 때문이다. 또한 제거되는 슬러지에 함유된 활성탄에 의해 슬러지의 처리와 탈수효율을

환경리포트

높이기도 하여 전체적인 운전효율을 높인다.

사용되는 분말활성탄의 규격은 표면적이 100 m²/gm 이상이면 되는데 표면적이 3,000m²/gm이상인 분말활성탄이 많이 시판되고 있어 이에 대한 제한은 없다고 볼 수 있으며 소요되는 분말활성탄의 첨가량은 안정성과 유출수의 기준등을 감안하여 조절된다.

활성탄이 미생물과 혼합됨으로서 미생물의 유기물분해를 촉진시킨다는 것이 관찰되어 왔으며 이에 대한 설명을 위해 여러가지 학설이 제시 되어왔으나-본고에서는 생략하기도 한다. 그러나 PACT process의 효과는 분해가 잘 안되는 유기물이 함유된 폐수의 처리에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

즉 Glucose등 미생물에 의해 잘 분해되는 유기물의 제거효율은 PACT process에 의해 크게 향상되지 않으나 활성슬러지법에 의해 잘 제거되지 않는 서서히 분해되는 물질들의 제거효율은 뚜렷하게 높아진다.

이는 일단 유기물이나 기타 오염물질들이 PACT process에서 활성탄에 흡착됨으로서 오염물질들이 처리공정내에 체류하는 시간이 HRT에서 고형물체류시간(Solid Retention Time, SRT)로 연장됨에 따라 미생물과 장기간 접촉하게 되어 미생물에 의한 분해가 진행될 수 있게되기 때문이다. 물론 쉽게 생분해가 되는 유기물도 흡착에 의해 체류시간이 길어짐에 따라 처리가 잘 되는 것은 사실이다.

이상 설명된 사항을 다른 각도에서 생각해보면 PACT process에서는 활성탄에 흡착된 유기물질들이 폭기조내에서 미생물에 의해 분해 제거되는 이른바 활성탄의 생물학적재생이 진행된다는 것을 알 수 있다. 따라서 SRT가 길수록 PACT process에서의 분말활성탄 흡착능력이 증가하게 되며 하루에 생물학적으로 재생되는 활성탄의 흡착용량과 유기물의 농도와의 관계는 식-(1)과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{X}{m \cdot \theta_c} = R_i \cdot C_o^{n_i} \quad (1)$$

단 $X/m \cdot \theta_c$: 하루에 재생되는 용량
(mg COD/mg PAC/day)
 θ_c : SRT(days)

C_o : 유입수의 유기물 농도 (mg/L)

K_{im} : 상수

식(1)에서의 K와 n_i 값은 각각 0.0025와 0.55 정도가 되어 하루에 재생되는 용량은 유입수 유기물농도의 제곱근에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다.

PACT process는 이밖에도 색도나 염료분자들, 중금속과 합성세제를 활성탄에 의한 흡착작용에 의해 제거하며 색도의 경우는 활성슬러지법에 비해 5배 정도의 높은 제거효율을 나타내며 미국 Ohio주의 Medina 처리시설에서는 악취를 유발하는 기체성분을 PACT시설에 주입시킴으로서 폐수처리장의 악취문제를 해결하고 있다.

PACT process에서 소요되는 활성탄의 주입량을 구하기 위해서는 활성탄이 공정내에 얼마나 축적되는가를 산정해야 한다. 이를 위해 그림-3의 공정도에서 활성탄의 mass balance를 분석하면 다음 식-(2)와같이 HRT와 SRT의 비에 직접적인 관계가 있는 것을 알 수 있다.

$$X = \frac{X_o \cdot \theta_c}{\theta} \quad (2)$$

단; X_o : 활성탄 첨가량(mg/L)

θ_c : SRT (days)

θ : HRT (days)

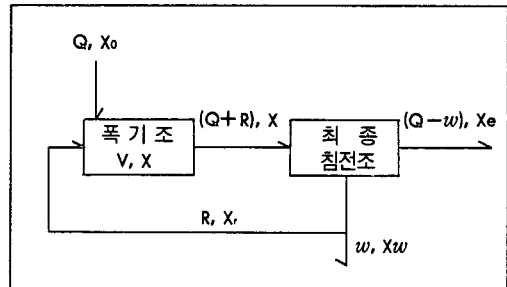


그림 3. PAC의 mass balance를 고려한 기본공정도

표-1은 PACT를 사용하여 여러종류의 폐수를 처리한 운전결과를 종합한 것으로 활성탄의 농도외에 HRT나 SRT등 PACT process의 효율에 영향을 미치는 인자가 많으나, 대체적으로 유입수 기준 분말활성탄

환경리포트

첨가농도가 300mg/L 정도이면 높은 처리효율을 얻을 수 있다는 것이 공통적인 결과이다.

표-1. PACT Process 효과에 대한 조사결과

폐수의 종류	정유공장 폐수	산업폐수	산업폐수	산업폐수	glucose	
HRT (시간)	12	-	13	6	4	
SRT (일)	100	-	52	6~9	-	
PAC dose (mg/L)	200	-	20	50~650	-	
폭기조내의 활성탄 농도(mg/L)	4,000	1,000~1,700	1,900	1,650~20,000	1,000~2,000	
처리수질 (mg/L)						
활성슬러지	BOD	-	544	308	2~7	-
	COD	68	1,760	1,180	140~171	125~210
	TOC	-	-	420	43~45	-
	SS	-	78	230	-	-
PACT	BOD	-	250	72	0~3	-
	COD	44	960	350	28~120	30
	TOC	13	-	100	<10	-
	SS	-	25	120	-	-

그러나 처리되는 물질들이 다양하여 일괄적으로 가장 이상적인 분말활성탄의 첨가량을 구할 수 있는 공식은 제시되어 있지 않다. 그동안 경험적인 방법으로는 용존성 COD(SCOD)를 추가로 제거하기 위해 필요한 분말활성탄 농도와와의 관계를 이용한 apparent loading 개념을 사용할 수 있다.

즉 분말활성탄을 사용하여 처리수의 SCOD 농도를 35mg/L로부터 15mg/L로 개선 시키는데 100mg/L의 분말활성탄이 소요 되었다면 apparent loading은 $(35-15)/100=0.2$ 가 되는 이 apparent loading은 SRT가 5일 이상인 경우는 SRT(θ_c)와 다음과 같은 직선적인 관계가 있어 SRT가 길어질수록 활성탄의 생물학적 재생이 많아져 apparent loading이 증가되며 따라서 소요되는 분말활성탄의 첨가량이 줄어든다.

$$\text{부하} = 0.065 + 0.0225\theta_c \quad (3)$$

이상 살펴본 바와 같이 PACT process는 그 적용범위가 다양하여 활성슬러지법과 단순히 경제성을 비교하기는 무리가 있다. 그러나 앞으로 처리장의 처

리수기준이 까다로와 지고 결국 기존의 활성슬러지법에 고도처리를 해야만 한다는 가정하에 처리수의 BOD 기준을 10mg/L로 했을 때 경제성을 비교하면 표-2와 같다.

표-2. PACT Process와 활성슬러지+활성탄 흡착과의 연간 운영비 비교¹⁾

설계용량, MGD	비용 US \$/1000 gallons				
	1.0	5.0	10.0	25.0	30.0
PACT ²⁾ (5%PAC유실) 33¢/lb PAC	1.43	0.52	0.40	0.30	0.26
유출수 여과 합 계	0.22	0.07	0.05	0.034	0.024
합 계	1.65	0.59	0.45	0.334	0.284
활성슬러지 ³⁾	1.10	0.51	0.41	0.31	0.26
활성탄 흡착 합 계	1.75	0.66	0.52	0.40	0.35
합 계	2.85	1.17	0.93	0.71	0.61

- 1) 시설비와 운전비를 포함
- 2) Wet Air Oxidation 포함, 질산화 진행됨
- 3) 1개조 질산화 시스템

물론 PACT process는 활성슬러지 처리수를 입상 활성탄 흡착탑을 통과시키는 방법에 비해 처리수의 수질이 떨어져 아주 고도의 처리를 요하는 경우는 적합하지 않으나 BOD 10mg/L 정도까지는 충분히 경제성이 있는 것을 알 수 있다.

표-2의 비교에서는 PACT process와 WAO에 의한 활성탄재생을 포함한 방법을 채택하였는데 활성탄의 재생을 위해서는 WAO외에 여러가지 방법이 있어 각각 경제성과 유지관리의 용이성을 분석해야 한다.

PACT process는 BOD, SS등 일반적인 오염물질의 제거효율이 활성슬러지법에 비해 월등히 높으며 색도나 기타 특정물질의 제거는 비교가 되지 않을 정도로 높은 것을 알 수 있다. 그러나 PACT process의 효과는 역시 분해가 잘 되지 않은 성분이 함유된 폐수의 처리에서 잘 나타날 수 있어 도시하수처리보다는 산업폐수의 처리에 더 적합하다고 본다.

한편으로는 '96년도 부터 강화되는 처리장 처리수 기준을 제한된 공간에서 만족 시킬 수 있는 방법의 하나로 받아들일 수 있을 것이며 공단의 폐수 종말처리장이나 난분해성물질이 많은 유기성폐수의 고도처리에 경제성이 있다고 본다.