

Tube 접촉산화법에 의한 고도정화기술과 물의 재이용

李圭星

(환경처 기술감리위원)

1. 서론

미생물을 이용한 하수, 폐수의 처리방법에는 크게 두개 방식이 있는데 하나는 미생물을 부유한 flocc이나 sludge 상태로 발달시켜 물과 혼합시키면서 미생물에 정화시킨다는 방식으로 그 대표적인 것이 활성오니법이다. 또 다른 하나는 미생물을 돌이나 plastic 위에 막상(film)으로 발달시킨 미생물막을 이용하여 이것에 폐수를 접촉시켜 정화하려고 하는 것으로서 살수여상법이 그 대표적인 것이다.

이들 두 공법은 세계적으로 폭넓게 실용되어 우수한 실적을 올리고 있음은 주지할 일이나 어느 것이나 이차처리기술로 처리수질의 BOD는 약 20mg/l 까지이며 그 이상의 처리는 경제적으로도 기술적으로도 곤란하다고 생각되어진 다.

그런데 최근 환경오염방지의 관점이나 점차 처리수의 재이용 목적으로 한단계 진보된 정수 기술개발에 박차를 가하게 되었다.

거기서 현재 이 목적에 맞는 많은 물리적·화학적 처리법이 연구되고 있는 바이다. 동시에 생물학적 처리법도 상기 개념을 넘어 조경수사용으로도 발전시킬 필요가 있다. 그것은 생물처리법에는 물리·화학적 처리로는 얻을 수 없는 많은 이점, 예를들면 에너지 절약, 무공해 등의 특징이 있기 때문이다.

조수(造水)기술이란 입장에서 볼때 장래 유망시 될 것으로 생각되는 생물 처리법은 생물막을 이용한 소위 생물접촉산화법 그 중에서도 순환접촉방법을 취한 방법이다. 왜냐하면 이 방법에 의하면 BOD는 용이하게 5이하로 줄일 수가

있고 NH₃를 HNO₃로 변화시키는 질화작용이 효율적으로 행해지기 때문이다. 구체적으로 말하면 Tube 접촉산화법과 순환여상형 처리법, 그리고 이것들과 원리적으로 같은 회전원판처리법 등이 있다.

여기서 이것들의 대표로서 Tube 접촉법에 의한 고도처리기술과 물의 재이용에 대하여 논하고자 한다.

2. 원리와 실험

2-1. 본 처리법 개발의 목적과 의의

정수장의 수원인 한강은 최근 급속히 오염이 심하여 심할때는 BOD 20mg/l 이상, NH₃-N 10mg/l 이상에 달했다. 이것에 대하여 정수장에서는 여러가지 연구를 거듭한 특수처리를 행하여 어떻든지 위생적으로는 걱정없는 음용수를 급수하고 있으나 이 처리방법에도 몇가지 결점이 있다. 그 하나는 이 방법이 대단히 많은 약품을 사용해 약효과로 물을 정화하려고 하기 때문에 처리수를 어떻게하여도 첨가약품이 잔류하며 자연적인 맛을 지닐 수 없게 된다. 그래서 용해성분이 증가하면 부식성도 증가한다. 먼저 처리약품비가 높다는 결점이 있다. 이때 가령 수원이 오탁될지라도 맛있는 물을 만드는 방법이 없는가, 용해성분이 증가하지 않는 처리법은 없는가, 그리고 더 처리비용을 싸게 할 수 있는 묘안은 없는가 등을 목표로 하여 소화 39년부터 연구했다.

그러나 잘 생각해보니 이와같은 기술은 수원이 오탁된 경우 수도자체뿐만 아니라 하천의 오탁까지 지키는 혹은 이미 오탁된 하천을 과거의

하천으로 되돌려 주기위한 기술적 측면도 있다고 할 수 있다.

왜냐하면 하수처리기술과 상수도 처리기술과의 사이에 기술적으로 공백부분이 있는데 이 기술이 완성되지않는 한 하수나 오탁수원의 이용이 되지않기 때문이다.

이 부분의 처리가 하수 측에서 보면 제3처리이며, 수도측의 입장에서 보면 전처리이며, 이 기술은 각국의 필요에 따라서 연구를 서두르고 있는 것으로 현재로는 결정적인 것이 없다. 적어도 국내에 적합한 기술은 없으나 이 간격을 메우는 기술을 개발하는 것은 국내에 있어서 아주 중요하며, 더욱 서둘러야 하는 것이다.

완속 5단 여과, 황류 여과, 살수여상 등 이목적에 적합하다고 생각되는 여러가지 방법에 대하여 실험을 하였으나 어느 것이나 원리적으로는 성공했어도 실용적으로 보면 불충분하고 만족할 만한 것은 없다.

하천 특히 계곡수는 항상 산소가 풍부하며 계속 흘러간다. 따라서 자체 정화력을 갖고 있으면서도 막힘이 없어 청소하지않아도 영구적인 이러한 여과지는 없는가 라고 생각해보면 하천 정화능력에도 애로사항이 있다. 그것은 많은 시간이 걸려서 먼 거리를 흐르지않으면 충분한 정화력은 발휘되지 않는다.

예를들면 하천에는 2일 걸려서 약 20km 정도 흐르지않으면 우선 충분한 효과는 기대할 수 없으며 이것으로는 도저히 장치로서의 실용성은 없다. 그래서 하천을 축소해 tank 속에 집어 넣는 방법을 강구하면서도 우선 하천수는 흘러내리면 왜 정화되는가라는 것을 알지않으면 안된다.

하천수가 하류되는 동안 정화되는 것은 주로 하상의 석면 표면에 미생물막(일명 물때)이 있어 하천수는 이것에 접촉하여 소위 생물산화를 받기 때문이다. 그래서 하천정화에 아주 장거리를 요하는 이유는 생물막이 단지 1매 밖에 없기 때문이다. 따라서 만약 10매의 생물막을 하천중에 삽입하면 10분의 1의 거리(2km)에서 같은 효과가 있을 것이고 특히 100매의 생물막을 넣

을 수가 있다면 하천길이는 100분의 1로 된다는 것이다. 곧 200m 흐르면 20km를 흐를 만큼의 효과를 얻는 이유이다.

그것이라도 200m는 장치로서는 너무 길기 때문에 이것을 2m로 잘라 이 사이를 흐르는 물을 다시 반송시켜서 100회 계속해 순환시키면 200m 흐른 결과가 될 것이다.

이처럼 단거리이면 장치화도 가능할 뿐 아니라 생물막 사이를 흐른 사이에 산소가 소실될 걱정도 없었다. 왜냐하면 순환할 경우 매회 공기에 접촉되기 때문에 산소가 공급되고 도중에 적정 aeration을 행할 수가 있기 때문이다.

여기서 한 문제가 되는 것은 장치내에는 계곡류와 같은 속도로 물을 흐르게 할 수는 없으나 낡은 막이나 침전물이 남아서 막의 간격이 막히지 않도록 하는 것이다.

이문제에 대해서는 수평방향의 생물막을 수직으로 세워 유하방향을 횡에서 종으로 변경하는 것에 의해 해결했다. 곧 이렇게 하면 낡은 생물막은 약한 수류에도 탈리되어 낙하하고 항상 신선한 막이 재생하여 마치 계곡수흐름처럼 현저한 정화작용을 발휘하기 때문이다.

그런데 생물막의 형상은 삼각도 사각도 좋으나 상기원리에서 생각해보면 생물의 착생면 막표면이 조금이라도 많고 더욱 막이 박리되지 않는 예각부분이 적을수록 좋다는 이유가 된다. 이러한 관점에서 검토하면 삼각형보다는 사각, 사각보다는 육각형이 유효하고 또한 합리적이다. 결국 허니컴(벌꿀 머리 모양)이 이상형이라고 할 수 있다.

3. Tube 접촉산화장치의 구조와 원리

완속여과법 원리를, 예를들면 산소가 없어지지 않고 언제나 막히지 않은 여과지, 목표표 하여 여러가지 공부를 거듭한 중에 계곡류의 정화원리에 힌트를 얻어 이것에 종전 경험적 지식이 발화제가 되어 생각해낸 여과방식이 tube 접촉산화법이다.

이것을 장치화하기 까지에는 아직 몇가지의

문제는 있으나 시작된 plant는 그림 1과 같다. 즉, 장치의 주체는 동심원상에 장치한 3개 원통으로 된 tank로 중심의 원통내에는 각각 공기와 원수를 도입한 pipe가 삽입되어 원통과 제2통의 사이에는 honey comb이 꽉 채워져 있다. 그리고 외통의 상부에는 다시 동심원상 chip이 있어 처리수는 여기서부터 tank 외로 유출하도록 되었다. 더욱더 본실험에 사용한 tank의 각 부분 규격은 그림에 나타낸대로이다.

본 장치를 사용한 오수를 처리하는데는 tank 중에 원수를 일정속도로 흘려넣으면서 compressor에 의해 공기를 불어넣을 수 있다. 그러면 물은 산소를 공급시킴과 동시에 aeration에 의한 내통위로 상승하게 되었다. 이 물은 주위에 넘

친 honey comb tube를 통해 저부에 나와 다시 airlift 류에 타고 상승해 여러번 포기와 tube 내류를 반복한 것이 된다.

처리수 일부는 외통에 따라 상승하여 유출 pipe를 통해 유출하기 때문인데 그때까지 수십번 반복해 tube내를 통과하는 계산이 된다. 이처럼 조작을 계속하면 마침내 tube벽면에 생물막이 발생해 정화효과를 발휘하게 된다.

더욱이 생물막의 발생을 빨리하기 위해서는 seeding하는 것이 좋다. 이것에는 하상돌을 채취해 표면에 붙어있는 물때를 솔로 씻어내고 이것을 포기조에 투입하면 된다. 조금더 폐수를 처리할 경우에는 활성오니나 하수구의 저부 오니 등을 투입하면 동일 효과가 있다.

여기서 문제가 된 것은 honey comb 여재와 그 기술방법이다. 왜냐하면 장치의 가격과 수명은 처음에는 honey comb에 의하고 지지방법에 의해 tube 눈막힘을 일으켜 전체 tube가 유효하게 작동되지 않기 때문이다.

여재의 재질은 더욱더 값이 싼 목재, 금속, 플라스틱도 좋다. 또한 여재지지방법은 조목 bar screen을 사용하는 것이 이상적이나 angle과 honey comb 사이에 아주 거친 honey comb을 5~10cm 삽입하는 것도 한 방법이다.

한편 본장치에는 순환을 위한 동력원으로 airlift를 사용했으나 아주 대형이되면 pump나 표면포기장치를 사용하는 쪽이 경제적이다.

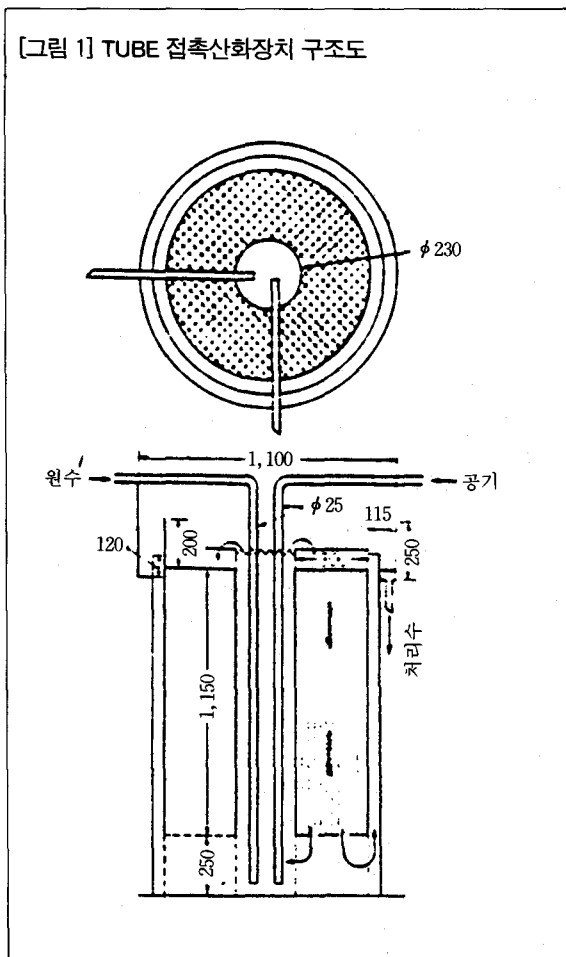
4. 실험결과

하천의 하상돌표면생물군(물때)을 식종하여 운전을 했던 바 약 1개월에서 현저한 효과가 나타났다.

그후 계속 운전을 하여 적어도 1년 연속실적을 얻어 성능이나 경제성 검토를 하도록 했다. 그런데 도중 옥천 정수장의 취수정지사건에(9월 27일) 의하면 실험용 원수로 금지당했기 때문에 할 수 없이 일시 중지했다.

점차 처리실험의 필요성이 인정되어 실험용 원수의 취수가 재개되었다. (12월) 다시 실험을

[그림 1] TUBE 접촉산화장치 구조도



개시하여 더욱 중요한 겨울철 실험결과를 어렵게 얻을 수가 있었다. 그 결과를 선별해보면 표 1~3과 같다.

우선 표1에 대하여 봄철 처리성적을 보면 NH₃-N는 1시간 순환접촉시키면 94%가 제거되고 1.5시간에는 실제로 98%이상 제거됨을 나타냈다. 그래서 ABS는 실험범위 내에서는 체류시간에 관계없이 약 60% 제거율을 나타냈다.

이처럼 NH₃-N와 ABS에 대해 나타낸 제거 성능은 꼭 완속여과지의 정화 능력과 같아서 기대할 정도였으나 이일은 숨김없이 양쪽의 정화 기구가 같다는 점을 알 수가 있다.

그러나 과망간산칼륨(KMnO₄)소비량의 제거율은 약 20% 정도로 낮았다. 이것은 tube 벽면에 발생한 미생물군(colony)의 일부가 탈리되어 부유해 이것이 처리수 측정값을 높게 하는 원인 중 하나라고 추정된다.

또한 탁도의 제거율이 접촉체류시간과 같이 높게 되어 1.5시간으로 66%를 나타냈으나 이것은 현탁물질이 생물막에 흡착이나 부착했기 때문이다. 물론 무기부유물의 절대량은 감소되는 일은 없으나 생물막에 부착한 floc상이 되면 탁도 효과가 감소하기 때문에 외관상 제거된 것과 같다.

다음 표2에서 여름철의 성적을 보면 수온의 상승과 같이 일단 제거효과가 높아진 것으로 본다. 즉, NH₃-N일 경우 0.75시간으로 92% 제거되며, 1시간으로 97%, 2시간 접촉시키면 실제로 100% 제거된다. 이 일은 본처리법의 우수한 특징이나 종전에 더 어려웠던 일은 NH₃-N의 제거가 가능하게 된 것을 나타낸 것으로 그의 의의가 있다고 볼 수 있다.

한편 BOD제거율도 대단히 높아서 1시간에 75%, 2시간에 91%를 나타냈다. 단 ABS의 제거율은 2시간에 78%보다 약간 높아질 정도였다.

특히 KMnO₄ 소비량의 제거율도 약간 높아 약 20~30%였으며, 탁도의 제거율도 약 40~80%가 되었으나 NH₃-N 제거율처럼 높은 증가를 나타내지 않은 것은 그 제거원리에서 생각해

[표 1] 봄철의 처리실험성적(소화 46년 5~6월 @ 수온 17~25°C)

항목 시간	탁도	KMnO ₄ 소비량	NH ₃ -N	ABS
0.75	-	-	-	-
1.0	4	22	94	61
1.2	18	0	96.5	60
1.5	66	13	98.5	59
2.0	-	-	-	-

[표 2] 여름철의 처리실험성적(소화 46년 7~8월 수온 26~30°C)

항목 시간	탁도	KMnO ₄ 소비량	NH ₃ -N	ABS	BOD
0.75	60	29	92.5	61	-
1.0	38	21	97	62	75
1.2	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	-
2.0	81	38	100	79	91

[표 3] 겨울철의 처리실험성적(소화 46년 1~3월 수온 7~10°C)

항목 시간	탁도	KMnO ₄ 소비량	NH ₃ -N	ABS	BOD	망간	일 반 세균수	적변 균수
2.0	64	40	52	60	64	83	73	72
2.5	61	33	64	60	71	77	84	63
3.0	68	44	73	68	79	87	88	85
4.0	76	45	81	78	68	92	87	85

보면 당연하다고 하겠다.

최후로 겨울철의 실험성적에 있어서 실체는 제일문제가 있고 또는 걱정이 된 결과이다. 여름철에 있어서 성적은 기대이상의 좋은 결과였으며, 오히려 너무 좋은 정도로 생물처리의 결점인 수온이 내려 정화기능도 현저하게 떨어지는 일이 예상되기 때문이다.

결과는 표3처럼 분명하게 정화력의 저하가 눈에 띈다. 만일 수온이 5~7°C로 내려가면 NH₃-N 제거율은 2시간에 50%정도, 3시간에 70%정도이고 80%이상의 높은 효과를 얻으려면 4시간의 체류접촉을 요한 결과가 된다.

BOD제거도 실험시간 내에는 최고 80% 정도 밖에는 기대할 수 없으나 ABS는 60~70%이고 탁도도 60% 이상으로 여름철과 큰 차이 없이 $KMnO_4$ 소비량도 안정해 30~40%를 나타내고 지금까지 여름철에 비해 손색이 없다.

한편 Mn은 2시간에도 80% 이상 제거되어 일 반세균, 대장균군처럼 2hr에 70% 이상, 3시간에 80% 이상 제거됨을 나타냈다.

더욱이 본 실험은 도중 장시간 중단한 다음의 운전성적인 것과 장치 구조상 결함도 있다는 것을 고려해 놓으면 겨울철의 정화능력은 여름철의 1/3~1/4 정도로 생각된 것이 타당한 평가는 아니다.

이상의 성적을 기초로 하여 각 성분의 분해감 소속도를 도시하면 그림 2~3과 같다. 즉, 그림 2는 NH_3-N 에 대하여 체류접촉시간과 평균 잔류율과의 관계를 나타낸 것인데 최초농도를 a (100%), t시간 후 감소량은 x%로 한 직선식은 다음과 같다.

$$\log(a-x) = \log a - 0.4343kt$$

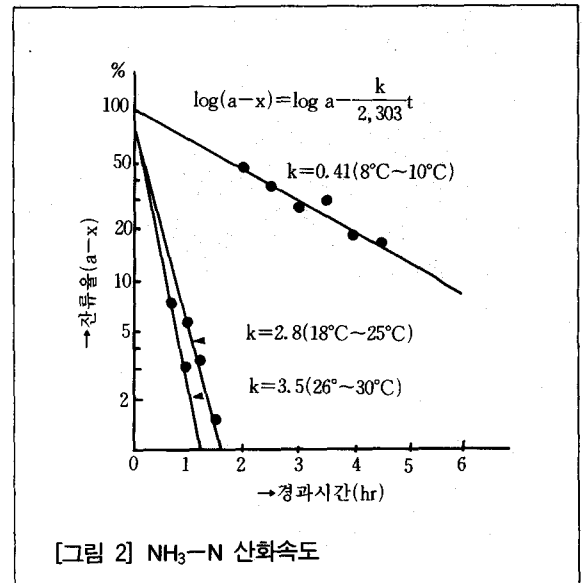
이것을 다시 쓰면

$$(a-x) = ae^{-kt}$$

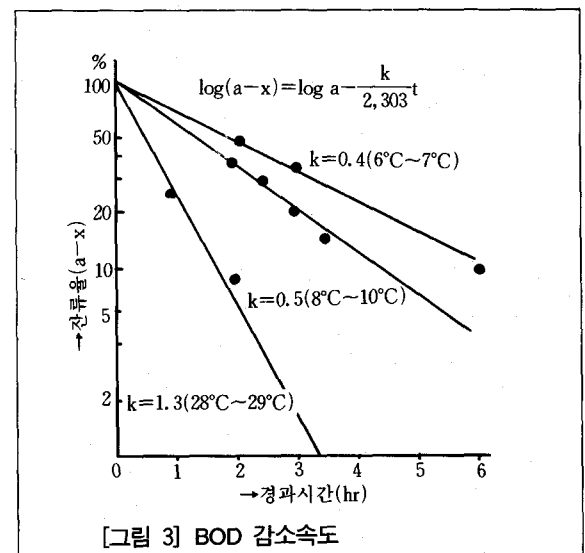
가 된다. 곧 처리수 중 NH_3-N 농도는 시간과 같이 지수관수적으로 감소함을 나타냈다. 또한 그림의 직선을 비교하면 수온에 의해 감소속도가 크게 변화함을 알 수가 있다. 예를들면 여름철 1시간 접촉후 잔류율은 불과 3% (제거율 98%)이나 겨울철에 90% 제거하려면 4hr반응시키지 않으면 안되는 것을 알 수가 있다. 그림 3은 BOD에 대하여 NH_3 와 똑같은 관계를 나타낸 것인데 이 경우도 똑같은 관계임을 쉽게 알 수가 있다.

그런데 K는 BOD 감소식에 있어서 자정계수 또는 탈산소계수라고 불리는 것인데 이 값이 클수록 정화능력이 큰 것을 나타냈다. 하천의 자정계수(K)는 여름철에 0.5/day, 겨울철은 0.2/day 정도로 추정하고 있다. 그림으로 tube 접촉산화장치의 정화계수는 여름철에 약 30/day, 겨울철에도 약 10/day가 되니까 하천의 50~60 배라는 아주 높은 정화력을 갖는 셈이 된다. 다

시말하면 본 장치중에서 1시간 순환시키면 하천을 이틀 흐르는 이상의 정화작용을 발휘한 셈이 된다. 그래서 이처럼 높은 정화력을 발휘한 이유는 무엇일까? 다른 오수처리법과 원리적으로 어디가 다른가, 이런 점에 대해서 다음에 논 하고자 한다. (다음호에 계속)



[그림 2] NH_3-N 산화속도



[그림 3] BOD 감소속도