

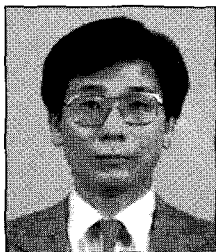
카본계 접촉여재와 흡착제를 이용한 난분해성 폐수처리<2>



정위득 / (주)한국퓨어테크 대표이사, 수질관리 기술사

목 차

1. 서론
2. 카본계 접촉여재와 흡착제의 특성
 - 2.1 입상활성화석탄과 물리적 특성
 - 2.2 입상활성화석탄과 화학적 조성
 - 2.3 기초실험에 의한 특성
3. 반응기구
 - 3.1 흡착의 반응기구
 - 3.2 생물막법의 원리와 특성
4. 공정 시스템별 처리결과 및 고찰
 - 4.1 카본계 접촉여재만 적용한 D하수처리장의 pilot 실험
 - 4.2 카본계 접촉여재와 흡착제를 이용한 D분뇨처리장의 성능 개선 및 축산폐수 처리 pilot 실험
 - 4.3 카본계 접촉여재와 흡착제를 이용한 D시 침출수 처리 pilot 실험결과
5. 결론



정위득

- 48년 출생
- 한양대 화공과, 한양대 환경대학원 졸
- 환경오염방지 기술지원단 기술위원(한강환경관리청),
용자심사위원(환경관리공단), 환경시설 기술진단 외부전문
기술인력(환경관리공단), (주)한국퓨어테크 대표이사
- 자격, 화공기사 1급, 환경관리기술사(수질관리),
C.W.S-1

4.1.4 종합

기존 활성슬러지 및 카본계 접촉여재의 활성슬러지 연속실험 경과에 의해 도출된 결론들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 유기물 제거능력을 비교해 본 결과, 카본계 접촉여재의 활성슬러지법이 기존 활성슬러지법보다 BOD 제거율 5%, SS제거율 4%씩 향상되었으며, 처리수질면에서 BOD는 3.1~4.7mg/l의 범위로 유출수 농도를 낮출 수 있었다. 특히 처리수의 CODMn는 11.4~16.3mg/l, 제거율 70.9~83.6%로 나타나 기존 활성슬러지법보다 13.8~20%의 제거율이 향상되었는데, 이는 향후 난분해성 물질제거에 기대되는 점이다.

(2) 수리학적 체류시간(HRT)을 카본계 접촉여재의 활성슬러지법에서 비교해 본 결과, 기존 활성슬러지법 7hr보다 2hr 단축시킨 5hr으로 운전하여도 처리율이 양호한 것으로 나타났다. 따라서 활성슬러지법의 폭기조 용량을 축소하거나 처리수량을 증대시킬 수 있어 생물반응조의 효과적인 운영이 가능함을 알 수 있었다.

(3) 영양소 제거 효율을 비교한 결과, 기존 활성슬러지법은 T-N이 평균 15.5% T-P는 평균 25%였고 카본계 접촉여재의 활성슬러지법은 T-N이 평균 42.5%, T-P는 평균 37.8%로서 각 평균 27%, 평균 12.3%의 제거율

카본계 접착여재와 흡착재를 이용한 활성슬러지에서는, 고농도의 난분해성 폐수인 분뇨, 축산폐수, 침출수 등에서 공히 색도는 95~99.9%, BOD는 99.9% 이상까지, 난분해성 COD는 99.4%까지, 질소도 99.1%까지 제거할 수 있었고, 특히 처리장내 악취도 완벽히 제거되었다.

향상을 가져왔다.

(4) 반송관으로부터의 슬러지 폐기량은 기존활성슬러지는 SRT 10일을 유지하기 위해 0.0329~0.0409m³/D, 카본계 접착여재의 활성슬러지는 슬러지량의 감소로 인해 0.0214~0.0277m³/d로 폐기되어 SRT14일로 증가되었으며, 슬러지 생성량이 있어서 35%의 슬러지 발생량을 줄일 수 있는 것으로 나타나 실제 하수종말처리장의 슬러지 처리시설 및 운영비용을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

(5) 국내 저농도 하수가 유입되는 활성슬러지법에 카본계 접착여재를 생물반응조 용량의 20% 투입했을 경우 처리수 수질이 BOD 4.5~4.9mg/l, COD 7.9~9.1mg/l, SS4~5mg/l로서 외국의 고도처리시스템의 유출수 농도를 대부분 만족시키나 T-N 12.1~14.9mg/l로서 외국의 고도처리시스템의 유출수 농도를 대부분 만족시키나 T-N 12.1~14.9mg/l, T-P 0.63~0.71mg/l로서 외국의 고도처리시스템의 배출수 기준 T-N 5~10mg/l, T-P 0.5~1mg/l를 만족시키기 위해서는 운전방법의 개선

검토가 요구된다.

4.2. 카본계접착여재와 흡착제를 이용한 P분뇨처리장의 성능 개선 및 축산폐수 처리 Pilot실험

4.2.1 실험장치

그림4.2참조

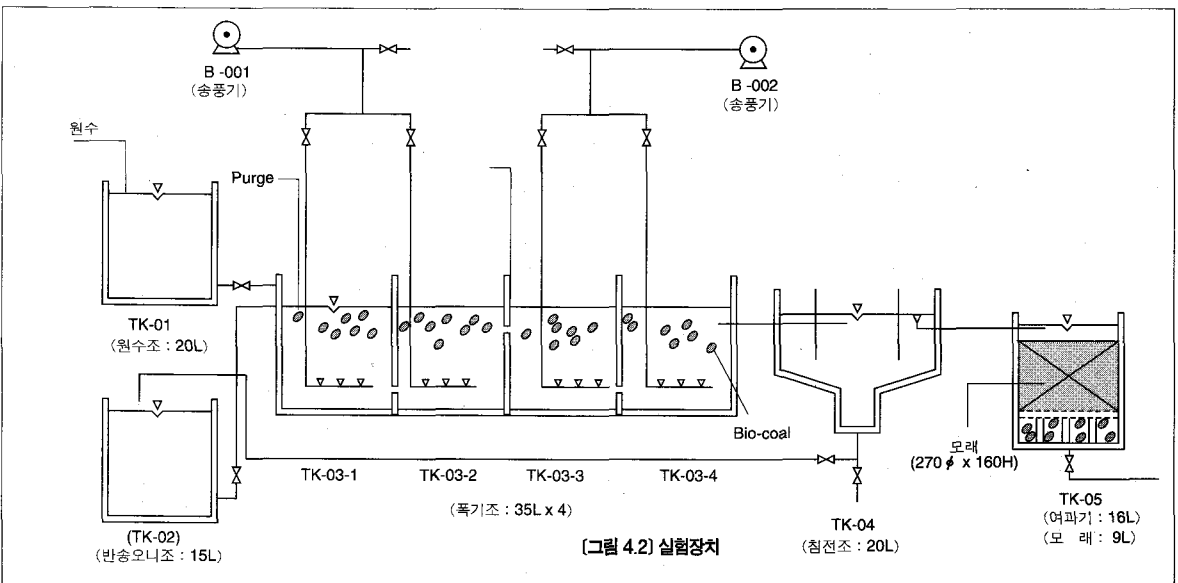
4.2.2 운전방법

1) 운전방법

카본계 접착여재와 흡착제가 투입된 상태에서 일반 생물학적처리와 동일한 단순 폭기를 행하는 방법으로 간단히 운전할 수 있다. 운전중 특별한 pH변화가 있을 경우에는 6.5~7.5정도로 조정해 주고, DO는 2mg/l이상으로 유지하되, 과폭기시는 송풍기중단을 하고 간헐폭기로 운영하여도 무난하다.

2) 시험분석

연속시험 중에 BOD, COD, SS, T-N, T-P, 색도는 공인기관인 한국화학시험 연구원에 주기적으로 분석의뢰



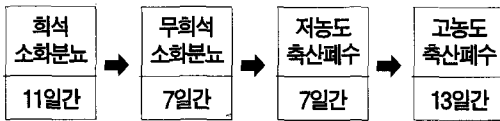
[그림 4.2] 실험장치

하였고, 자체로 BOD, COD, SS의 연속분석은 실험실에서 행하고, pH, DO, SV₃₀, 수온, 미생물상태 등은 현장에서 조사하고, COD, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N은 KYORITSU CHEMICAL의 PACK TESTER(품목별로 미리 조제된 약품으로 일정농도 범위의 표준색에 맞추어 측정하는 시험법)로 각 단의 진행과정을 확인하고, 색도는 촬영으로 육안 비교되도록 하면서 폭기조의 운전 조작 및 관찰로 행하였고 일정별로 유입부하를 변동시키며 실험을 진행하였다.

3) 진행방법

(1) 실험 방법 기준

가) 가장 저농도 상태에서 점차 고농도 순으로 38일간 연속운전



나) 각 단계간에 중복되는 기점의 시험분석 결과자료를 활용하는 기준은 자체 분석치와 운전상태를 검토하여 각 단계의 공동자료로 활용함.

다) 저농도, 고농도 축산폐수는 전처리 과정없이 원액을 투입하여 SS부하가 높은 상태에서 실험하였음

※ 통상 축산폐수의 전처리에서 SS를 85% 정도 제거하면 BOD, COD 등은 약 20~40% 제거됨.

(2) 일정별 실험내용

〈표 4.4〉 일정별 실험내용

일정	기간(일)	내용
1997. 7. 5~ 1997. 7. 15	11	1. 회석수가 포함된 소화분뇨 투입운전 ※ 유량: 40ℓ/일(실량: 512m ³ /일) ※ 체류시간: 3.5일 2. 7/18자 처리수 수질까지 포함시킴.
1997. 7. 15~ 1997. 7. 22	7	1. 무회석의 소화분뇨 투입운전 ※ 유량: 40ℓ/일(실량: 512m ³ /일) ※ 체류시간: 3.5일 ※ 초기 2일간은 생분뇨 2ℓ씩 추가투입 2. 7/28자 처리수 수질까지 포함시킴
1997. 7. 22~ 1997. 7. 29	7	1. 저농도 축산폐수 투입운전 ※ 유량: 20ℓ/일(실량: 256m ³ /일) ※ 체류시간: 7일 2. 7/28자 처리수 수질을 자원으로 적용시킴. 3. 8/4자 처리수 수질까지 포함시킴.
1997. 7. 29~ 1997. 8. 11	13	1. 고농도 축산폐수 투입운전 ※ 유량: 12ℓ/일(실량: 153m ³ /일) ※ 체류시간: 12일 2. 8/11자 처리수 수질까지 적용시킴

4.2.3 결과 및 고찰

1) 회석된 소화분뇨의 Pilot 처리 결과

〈표 4.5〉 회석된 소화분뇨의 Pilot 처리 결과 (단위 mg/ℓ)

구분 항목	BOD	COD	SS	T-N	T-P	색도	비고
원수	663	496	430	225	44.1	2,680	
처리수	17.7	20.0	13.3	45.0	16.5	53.3	약취없음
처리효율(%)	97.3	96.0	96.9	80.0	62.6	98.0	

폭기조에서 질소제거에 대하여 SOREN BROND와 CHRISTINA SUND 및 많은 기술자료에서 (COD 또는 BOD)T-N에 대하여, 5이상을 전제하고 온도, pH, 미생물상태 등이 모두 만족스러울 때 약 80%이상 제거 가능함과 아울러 전반적인 수질관리도 원만해 진다고 하였는데, 이 실험에서는 현재 방류되고 있는 수질보다 월등히 처리효율이 좋았고, 특히 색도는 620에서 53.3으로 거의 하천수 또는 지하수에 근접되었고, T-N대비 BOD 및 COD가 각 2.95 및 2.20으로 생물학적 탈질효과를 기대 할 수 없는 범위인데도 평균 80%까지 제거되었고, 미생물은 활성도를 유지하였고, 운전중 악취발생이 없었으며 그 결과는 카본계 접촉여재와 흡착제가 갖고 있는 산화능력을 겸비한 담체와 흡착능의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

2) 무회석 소화분뇨의 Pilot 처리 결과

〈표 4.6〉 무회석 소화분뇨의 Pilot 처리 결과 (단위 mg/ℓ)

구분 항목	BOD	COD	SS	T-N	T-P	색도	비고
원수	1,520	1,940	4,100	434	60.4	1,980	
처리수	5.5	19.0	6.5	23.7	21.1	28.0	약취없음
처리효율(%)	99.6	99.0	99.8	94.5	65.1	98.6	

회석의 경우보다 운전이 안정되고, 수질도 나아졌는데, 이는 미생물 관찰과 SV₃₀의 상태로 보아 미생물의 활성도가 더 좋았기 때문이다.

미생물의 활성화가 이루어진 것은 회석시의 0.189kg-BOD/m³·일과 T-N 대비 BOD와 COD의 비가 각 3.50 및 4.47로 생물학적 탈질 가능범위쪽으로 개선된 점과 카본계 접촉여재와 흡착제의 특성 작용이 주목된다.

역시, 처리수의 색도는 28이며, T-N은 23.7mg/l로 수질이 더욱 개선되었고 약취도 없었다.

3) 저농도 축산폐수의 Pilot 처리 결과

(표 4.7) 저농도 축산폐수의 Pilot처리 결과 (단위 mg/l)

구분 항목	BOD	COD	SS	T-N	T-P	색도	비고
원수	4,190	1,690	2,830	636	146	2,380	
처리수	12.8	22.1	3.4	19.67	15.9	45.5	약취없음
처리효율(%)	99.7	98.7	99.9	96.9	89.1	98.1	

운전결과는 분뇨처리에 비하여 BOD, COD, 색도는 각 12.8mg/l, 22.1mg/l, 45.5mg/l로 처리수질은 나빴으나, 효율은 동등하였고 축산폐수처리 결과로는 무척 양호한 수질이며, T-N은 19.67mg/l로 처리효율이 더욱 개선되었다.

이는 0.599kg-BOD/m³·일의 고부하 상태로 인한 BOD, COD의 처리효율 저하와 T-N대비 BOD와 COD의 비가 각 6.59 및 2.66으로 충분한 생물학적 탈질 가능범위의 영향으로 탈질효과가 증진된 점과, 카본계 접착여재와 흡착제의 특성 작용에 의한 최대처리 고부하인 1.2~1.5kg-BOD/m³·일을 고려하면 아직도 고농도를 처리할 수 있는 여지가 있으며, 역시 약취도 없었다.

4) 고농도 축산폐수의 Pilot 처리 결과

(표 4.8) 고농도 축산폐수의 Pilot처리 결과 (단위 mg/l)

구분 항목	BOD	COD	SS	T-N	T-P	색도	비고
원수	14,533	6,690	15,302	8,409	883	2,823	
처리수	81.0	57.4	32.0	74.1	33.9	207	약취없음
처리효율(%)	99.4	99.4	99.8	99.1	96.2	92.2	

고농도 축산폐수로 전처리가 되지 않은 상태이므로 원척상 2단폭기를 행하며 1차 폭기(호기성 소화)에서 SS를 상당량 제거한 후 2차폭기의 방법으로 실험으로 하여야 하는데, 실험장치와 여러 여건의 미비로 체류 시간을 12일에 맞추어 12l/일(153m³/일 기준)씩 투입하여 수질 효과를 측정하였다.

운전 결과는 분뇨처리와 저농도 축산폐수에 비하여 BOD, COD, T-N, 색도는 각 81.0mg/l, 57.4mg/l, 32.0mg/l, 207mg/l로 처리 수질이 나빴으나, 처리효율이 더욱 개선되었다.

이는 1.365kg-BOD/m³·일과 2.515kg-SS/m³·일의 엄청난 고부하 상태로 인한 BOD, COD의 처리효율 저하와 T-N대비 BOD와 COD의 비가 각 1.34 및 0.50

으로 생물학적 탈질 가능범위에 못미치는, 이번 실험중 가장 나쁜 상태로서 일반 활성슬러지법에서는 미생물의 생장이 불가능한 수준임에도 불구하고 탈질효과가 증진된 결과이다.

역시, 약취도 없었으며, 특히 초기의 SS 고부하로 침강성이 나빠 일시적으로 8/8자 원수의 SS를 일부 제거하여 폭기조 안정화를 도모한 후 다시 고농도를 연속 주입하였고, 향후 2단 폭기조로 정상적인 실험을 한다면 앞의 결과와 동등 이상이 충분히 나올 것으로 판단된다.

4.2.4 종합

카본계 접착여재와 흡착제를 이용하여 분뇨처리수의 수질개선과 기존 처리장에서 처리용량을 증대시키는 것을 동시에 효율적으로 달성할 수 있는 연구를 수행하였다.

특히 저농도와 고농도의 축산폐수에 대해서도 확산 증진시킬 목적으로, 약취, 색도, 난분해성 COD, BOD, 질소의 제거 효과에 대해 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 처리장의 민원 발생 여지가 있는 처리수의 색도 제거는 분뇨 처리 및 축산 폐수 처리에서 하천수에 준하는 수준으로 제거율이 95~99.9%였으며, 처리장내의 약취 제거도 아울러 완벽하였다.

2) 현재의 90k l/일의 분뇨처리장의 소화조와 폭기조 시설만으로 회석된 소화분뇨는 512m³/일 이상(생분 기준 30k l/일), 무회석 소화분뇨는 512m³/일 이상(생분 기준 160k l/일), BOD 15,000mg/l 고농도 축산폐수는 115m³/일까지 처리 가능하였다. 처리수의 BOD, COD, SS, T-N을 법적 규제치 이내로 만족시킬 수 있었다.

3) 현 시설에서 최종침전지 후단에 동절기 등을 대비한 탈질 설비를 추가시키면 완벽한 고용량 처리 시설로 전환 가능하다. 특히, 이번 실험에서 탈인을 위한 처리를 행하지 않았으며 탈인을 위해 폭기조에 응집제 투입만으로도 제거 가능하다.

4) 고농도 축산폐수를 무리하게 원액상태로 직투입하여 다소간 결과가 미흡하였지만, 표준 공정인 소화조를 거친 후에 적용한다면 충분히 상기의 결과이상으로 처리

수질을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

4.3 카본계 접촉여재와 흡착제를 이용한 D시 침출수 처리 Pilot 실험결과

4.3.1 실험장치

P군의 Pilot장치를 이용하였다.

4.3.2 운전방법

97.8.29~9.6까지 일간 1일 200m³/일의 용량에 맞추어 1/11,000로 Scale-down하여 연속운전 하였다.

4.3.3 결과 및 고찰

〈표 4.9〉 D시 침출수 Pilot처리 결과

(단위 mg/l)

구분 항목	BOD	COD	SS	T-N	T-P	색도
원수(mg/l)	11,000	5,841	460	1,055	75.1	2,812
처리수(mg/l)	19.5	64.0	14.3	31.8	0.3	60
처리효율(%)	99.8	98.9	96.9	97.0	99.6	97.9

4.3.4 종합

1) 측정 6개 항목이 모두 96.9%이상의 제거 효율을 가진 점은 실험기간이 여름철이라는 온도특성이 크게 반영되었고 특히 고온의 부패상태에서도 폭기조이후 악취를 느끼지 못하였다.

2) 유입 부하가 1.375kg-BOD/m³·일, 0.730kg-COD/m³·일(10.4-BOD, 5.54-COD)/N로서 고 BOD 부하임에도 불구하고 C/N비가 아주 높아 전반적인 처리 효율이 상승되었다고 판단된다.

3) 난분해성 COD의 제거 효율이 98.9%인 점은 생물학적 처리과정의 독성물질 및 색도를 포함한 난분해성 물질이 카본계 흡착제의 특성에 의거 흡착제에 의한 효율상승으로 판단된다.

4) SS농도가 낮아 폭기조내의 고MLVSS 유지로 인하여 타 처리효율을 훨씬 능가하므로, 침출수 처리의 경우에는 전처리 없이 바로 폭기를 행할 수 있는 공정상의 큰 장점이 나타났다.

5. 결론

카본계 접촉여재와 흡착제를 이용하여 난분해성의 축산폐수, 분뇨, 침출수의 처리와 하수처리에 대한 종류별 처리방법을 달리하여 실험한 결과를 도출하였다.

특히 기존 가동 중이면서도 어쩔 수 없이 방류 수질을 초과하고 민원의 대상인 악취와 색도까지 포함하여 방류하고 있는 고농도 난분해성 폐수처리장의 성능개선으로 조기 환경보전과 총량적인 오염물 배출을 방지할 목적으로 악취, 색도, 난분해성 COD, BOD, 질소의 제거 효과에 대해 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 카본계 접촉여재만 적용한 하수처리에서는 기존활성슬러지보다 COD, T-N은 약 20%이상의 처리효율이 증대되었지만, 흡착제를 투입한다면 향후 발생될 수 있는 공단폐수 또는 고농도 난분해성 폐수를 병합처리하는 하수처리장의 수질 안정 및 처리수질 개선에 효과적일 것으로 판단되었다.

2) 카본계 접촉여재와 흡착제를 이용한 활성슬러지에서, 고농도의 난분해성 폐수인 분뇨, 축산폐수, 침출수 등에서 공히 색도는 95~99.9%, BOD는 99.9% 이상까지, 난분해성 COD는 99.4%까지, 질소도 99.1%까지 제거할 수 있었고, 특히 처리장내 악취도 완벽히 제거되었다.

3) 동절기를 대비하여 온도보정도 가능한 탈질설비를 부가시키던지, 기존처리장의 온도 보정 및 탄소원 공급으로도 탈질을 포함한 일관 Process정립이 가능하였다.

4) 탈인의 목적으로 폭기조에 FeCl₃, Ca(OH)₂, Alum등의 약품을 직투입하여 효율을 증대시킬 수 있다. 또한 방류직전에 여과기 또는 Mesh Screen의 채용으로 안정적인 수질관리가 이루어진다.

5) 이 Pilot실험들을 기초로하여 70m³/일 규모의 침출수처리장을 Real Plant로 Scale-up하여(2단 폭기로 전환)약 1년간 운전한 결과도 양호하게 도출되었으며, 현재도 4곳의 Plant건설이 추진되고 있어, 앞으로 고농도 난분해성 폐수의 처리를 색도, 악취제거까지 포함하는 생물학적 처리에서 고도처리까지 행하는 한 단계를 향상시킬 수 있다고 기대할 수 있다. 