

## 돈분뇨슬러리 폭기시 담체 설치효과

정광화 · 조승희 ·곽정훈 · 김재환 · 정의수 · 정만순 · 강희설

농촌진흥청 국립축산과학원

# The Effect of Media Application in Aeration Tank for Aerobic Treatment of Swine Slurry

Jeong, K. H., Choi, S. H., Kwag, J. H., Kim, J. H., Jeong, E. S., Jeong, M. S. and Kang, H. S.

National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, 441-706, Korea

### Summary

This study was performed to evaluate the removal effects of nutritive salts and organic pollutants in experimental aeration reactor for treatment of piggery slurry. In this study, three types of reactors were manufactured and operated. The fibrous media was equipped in one of three reactors. Another reactor was equipped with the siliceous media and the other reactor used as a control was equipped with typical aeration system only. Treatment efficacy of three types of reactors were evaluated according to the pollutants removal rate of the piggery slurry. The results obtained in this study are as follows : 1) In the reactor containing fibrous media, the removal efficiency of BOD, T-N and T-P was 11%, 13.9% and 21.2%, respectively. 2) In the reactor containing siliceous media, the removal efficiency of BOD, T-N and T-P was 6.9%, 25.3% and 47.8%, respectively. 3) In the reactor not containing media, the removal efficiency of BOD, T-N and T-P was 6.1%, 8.1.% and 23.6%, respectively. 4) Sludge accumulation in the reactor equipped with filamentous media was lower than that of other experimental reactors.

**(Key words :** Media, Livestock manure, Piggery slurry)

### 서 론

통계청 자료에 따르면 축산은 지난세기 후반부터 그 산업규모가 급격히 커지기 시작하여 '09년 현재에는 전체 농업 생산액 중의 3분의 1 이상을 차지하는 주요 농산업이 되었다. 이와 함께 축산농가 규모도 지속적으로 확대되어지고 있다. 축산농가의 규모 확대에 따른 가축사육 전업화는 생산비 절감 및 사

육기술 발전 등과 같은 긍정적 효과를 달성케 하였으나, 한정된 지역 내에서의 가축분뇨 발생량 증가라는 부차적인 문제를 수반하게 되었다. 이러한 상황이 일반 국민들의 쾌적한 생활환경에 대한 요구와 맞물려지면서 분뇨처리 기준 및 가축분뇨 관련 환경규제 강화 형태로 표출되는 현 상황을 고려해 볼 때, 축산시설에서 활용할 수 있는 가축분뇨 적정 처리기술을 다각적 측면에서 검토, 개

Corresponding author : Kwanghwa Jeong, National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon 441-706, Korea; Tel : +82-31-290-1732, E-mail : gwhaju@korea.kr

2010년 10월 18일 투고, 2010년 11월 11일 심사완료, 2010년 11월 14일 게재확정

발하여야 할 필요성이 매우 높아지고 있다. 축산시설 중에서도 슬러리 형태의 분뇨배출이 많은 양돈분뇨 처리가 가장 시급한 해결 과제이다. 더군다나 2012년부터는 가축분뇨 해양배출까지 금지될 예정으로 있어 이를 대비한 육상처리 능력 확대방안 개발이 절실히 요청되어지고 있다. 현재 가축분뇨는 퇴비나 액비 등의 형태로 자원화 되고 있는 것이 일반적 상황이지만, 양돈농가의 경우 계절적 수요 불균형 및 지역적 특성에 구애받지 않으면서도 인근주민의 민원으로부터도 자유로운 분뇨 처리방법을 적용하고자 한다. 그에 대한 하나의 대안으로서 양돈분뇨·오수에 대한 수처리 기술에 대한 관심이 양돈농가를 위주로 하여 점차 높아져 가고 있다. 슬러리의 정화처리 또는 액비화 처리와 같은 액상 분뇨 처리시에는 폭기조 내에 존재하는 호기성 수처리 미생물의 활력을 최대한 높여주는 것이 효과적이다. 이를 위해서 폭기장치를 설치하여 공기를 불어 넣어주는 방법을 사용하고 있다. 그러나 폭기조 내의 산소전달상의 어려움과 고형물 농도 등의 요인에 의해 활성슬러지 농도를 높이는데 한계가 있다 (Tyagi와 Kannan 등, 1990). 따라서 폭기조 내의 활성슬러지의 농도와 활력을 높일 수 있는 대안으로서 담체를 설치하여 주면 더 높은 처리효율을 얻을 수 있다. 폭기조 내에 담체를 설치할 경우 담체표면에 미생물 부착량이 늘어 유기물 제거효율을 높임과 동시에 잉여슬러지 발생량을 줄이고 (최와 임 등, 1987; Hegmann, 1984) 폭기조 내에 미생물 체류시간이 길어지며 미생물의 유출이 적어 미생물의 농도를 높게 유지할 수 있다 (Shieh와 Keenan 등, 1986). 담체를 적용하면 한 반응조 내에서 유기물과 질소의 제거를 동시에 이룰 수 있는 효과도 얻을 수 있다 (이와 박 등, 2008). 그러나 현재 우리나라의 축산분뇨 처리시설의 거의 대부분이 단순 활성슬러지법을 적용하고 있다. 이로 인해 질소, 인의

제거율을 개선하는데 어려움이 있다. 또한 투입부하의 변동이 있을 시에는 슬러지 침강성 등에 영향을 주며, 폭기조 내에 미생물 확보를 위해 슬러지 반송 등 별도의 추가작업을 필요로 하게 된다. 따라서 본 연구는 가축분뇨 수처리에 담체를 적용한 효과를 분석하여 최적 적용조건을 설정함으로써 액상 분뇨 처리 반응조 내의 조건을 적극적으로 제어하는 기술을 개발하고, 이 기술이 산업 현장에 적용되어질 수 있는 기반을 조성하는데 일조하기 위한 목적으로 수행되었다.

## 재료 및 방법

실험에 사용된 분뇨는 슬러리 돈사에 설치된 1차 저류조에서 수거하였다. 침전과정을 거친 후 슬러리의 상징액을 취하여 선행 폭기과정을 거친 시험용 1차 처리수를 본 시험용 폭기조에 유입시켜 담체적용에 의한 처리효과를 조사하였다. 본 시험에 적용된 시험용 시설의 구성은 Fig. 1에 도시된 바와 같다.

아래 그림의 침전조 (Clarifier)에서 유출한 상징액을 대조구를 포함한 담체 시험구에 유입하였다. 시험용 반응조는 아크릴 재질로 된 110리터 용량의 원형용기를 이용하였으며 시험은 회분식 운전방식을 적용하였다. 시험조 바닥에 산기기를 설치하여 공기를 공급하였으며 공기공급 배관에 공기유량 조절코크를 설치하여 각 반응조 내부의 용존산소 농도가 1.5 mg/L 수준이 유지되도록 조절하였다. 담체는 스테인리스 철체로 제작된 망에 부착하여 현수방식으로 반응조 내부에 부유된 형태로 설치하였다. 김 등 (1997)은 담체를 바닥에 고정시키는 것보다는 부유시키는 것이 더 좋은 효과를 보인다고 하였다. 반응조에 설치된 담체의 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다.

담체 구성물로는 면제품과 세라믹 계통의

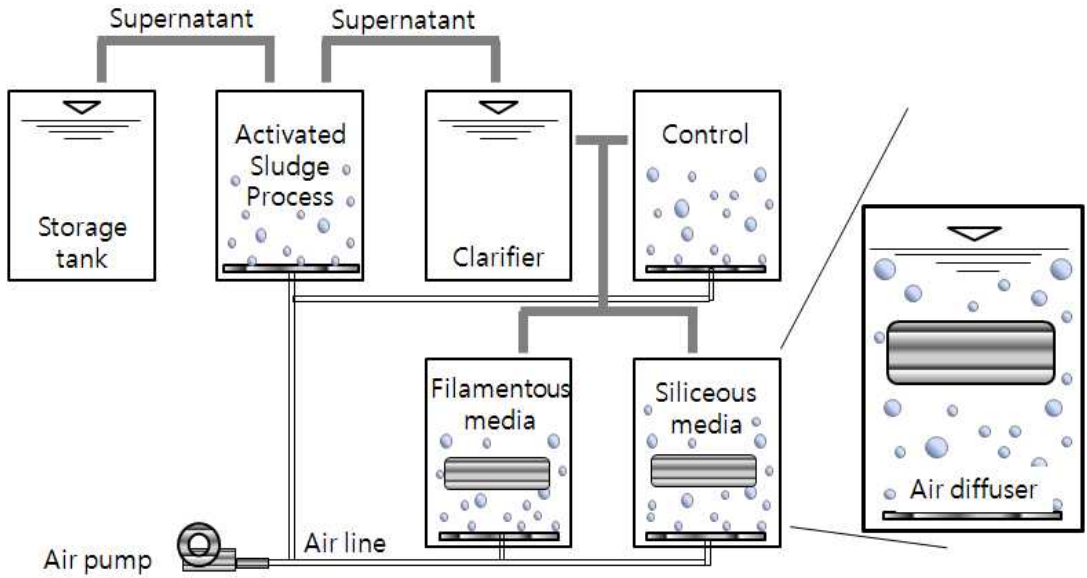


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Characteristics of media used for this experiment

Item	Fibrous media	Siliceous media
Raw material	Cotton yarn	Ceramic
Shape	Filiform string	Round type
Length (mm)	300	25
Thickness (mm)	5	15

재료를 사용하였다. 형태는 섬유담체의 경우 실 모양이고 세라믹 계열 담체의 경우는 둥근 모양으로 되어있다. 담체의 두께와 길이는 섬유담체의 경우 각각 300 mm, 5 mm 이었고 세라믹 계열 담체의 경우는 각각 25 mm, 15 mm이다. 시험용 담체는 폭기가 진행되는 식중액 중에 48 시간 동안 사전에 침지시킨 다음 시험용 반응조에 즉시 이송하여 설치함으로써 담체의 단순흡수에 의한 시험대상수의 성분변화를 방지하도록 하였다.

분석용 시료는 음압흡입식 시료채취기를 이용하여 채취하였으며, 채취주기는 개시 시점으로부터 최초 6시간 간격으로 2회 그 이후로는 12시간 간격으로 1리터씩 채취한 후 분석을 실시하였다. 채취한 샘플은 냉장박스

에 담아 실험실로 운반한 뒤 수질오염표준시험법 및 표준분석법에 준하여 즉시 분석을 실시하였다 (AOAC, 2007. APHA, 2005.). 샘플분석을 위하여 Orion 920A + (pH), YSI 5000 (DO), CARY 300 (흡광광도분석) 등의 기기를 이용하였다. 본 시험의 수행효율을 측정하기 위하여 BOD, COD, 고형물, 질소, 인 등의 항목을 조사하였다. 조사결과에 대한 통계처리는 SAS 시스템, ANOVA procedure를 적용하여 수행하였다.

### 결과 및 고찰

본 시험에서는 돈분뇨 슬러리 처리수를 대상으로 하여 담체 적용이 생물학적 처리효율

에 미치는 영향을 비교하기 위하여 담체를 적용한 시험구와 일반 관행 폭기구를 대상으로 하여 각 각의 처리효과를 분석하였다. 본 시험에 사용된 돈분뇨 유입원수의 특성은 Table 2에 나타난 바와 같다.

본 시험에 사용된 유입원수의 pH는 8.0이었고 BOD와 COD, SS, N 그리고 P의 농도는 각각 11,500과 12,426, 23,800, 2,126 그리고 120 mg/L 수준이었다. 이 유입수를 이용하여 1차 생물학적 처리과정을 거친 후 본 담체 적용시험에 유입시킨 처리대상수의 특성은 Table 3에 나타난 바와 같다.

생물학적 선행처리 과정을 거친 시험용 유입원수를 침전처리한 후 균등하게 혼합한 처리대상수를 담체시험용 반응조에 넣고 시험을 수행하였다. 처리 대상수의 pH는 7.1이었고 BOD와 COD, SS, N 그리고 P의 농도는 각각 1,635와 4,891, 24,000, 1,663, 100, 5,500 mg/L 그리고 140 mg/L 수준이었다. 이 처리대상수의 미생물의 숫자 및 활력을 증가시키기 위하여 사용한 식중액의 pH는 8.8이었고 BOD와 COD, SS, N 그리고 P의 농도는 각각 595와 1,205, 3,900, 937 그리고 81 mg/L 수준이었다. 각 시험구별 처리효율에 미치는 외부 조건을 배제하기 위하여 시험반응조는 회분식 조건으로 운영하였다. 시험기간은 72시간으로 하였다. 이는 별도의 예비시험 수행 결과 시험 개시 72시간 이후에는 BOD와 같

은 오염성 물질의 제거효율이 저조해지고, 그 이후 처리시간의 경과에 따른 변화율이 미미했기 때문이다. 이 결과는 시험시간이 경과함에 따라 회분식 반응조 내의 기질이 소모됨에 따른 수처리 미생물의 활력 저하에 기인한 것으로 판단된다. 이는 이 등(1995)과 박과 안 등(2001)이 보고한 체류시간의 경과에 따른 오염성물질 제거효율 저하에 관한 실험결과와 유사한 결과이다. 본 시험에서 담체를 적용하여 시험을 수행한 결과에 따른 오염성분의 변화정도는 Table 4에 나타난 바와 같다.

Table 4에서 보여지듯이 처리 대상수를 시험구별로 적용하여 처리효과를 분석한 결과, BOD와 COD의 제거효율은 일반 관행폭기에 비해 담체 처리구에서 더 좋은 결과를 보였다. 담체 중에서도 섬유상 담체에서 그 제거율이 높았다. SS의 경우는 관행 폭기처리구에서의 3.1% 보다 섬유상 담체구와 실리카 계열의 담체 적용구에서 각각 0.1%와 2.9% 수준을 나타냄으로써 그 변화정도가 상대적으로 적었는데 이 결과는 아래 Fig. 2에 나타난 바와 같이 담체 적용에 따른 미생물 축적량의 증가와 관련이 있는 것으로 보여진다. 반면에 질소의 제거율은 담체 적용에 의해 뚜렷하게 개선되었는데 이는 Masuda 등(1991)이 보고한 담체 적용에 따른 질산화와 탈질산화의 동시달성 효과와 연관지어볼 수

Table 2. Characteristics of piggery slurry

(Unit : mg/L)

Classification	pH	BOD	COD	SS	N	P
Concentration	8.0	11,500	12,426	23,800	2,126	120

Table 3. Characteristics of influent used for this experiment

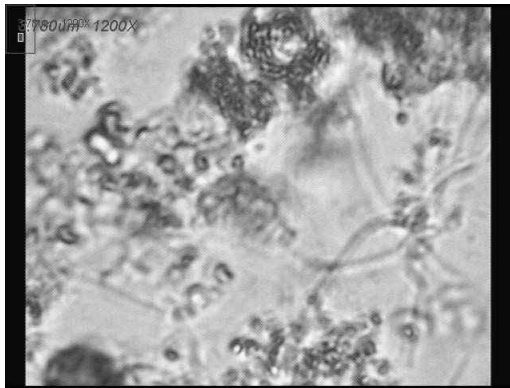
(Unit : mg/L)

Classification	pH	BOD	COD	SS	N	P
Influent	7.1	1,635	4,891	24,000	1,663	100
Inoculant	8.8	595	1,205	3,900	937	81

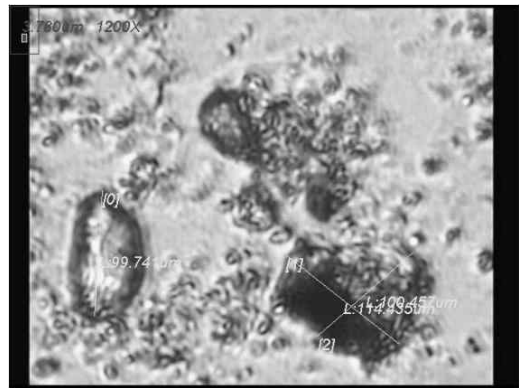
Table 4. Removal effect of pollutants by application of media

(Unit : %)

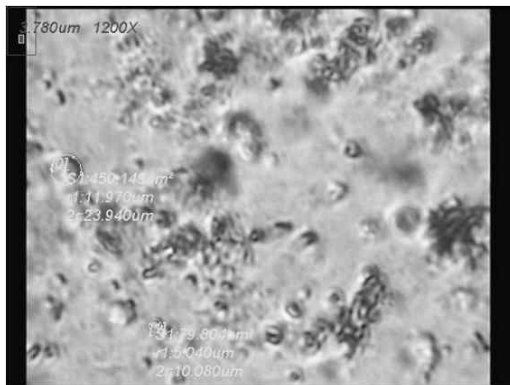
Classification	BOD	COD	SS	N	P
Control	6.1	1.2	3.1	8.1	23.6
Fibrous media	11.0	11.4	0.1	13.9	21.2
Siliceous media	6.9	3.0	2.9	25.3	47.8



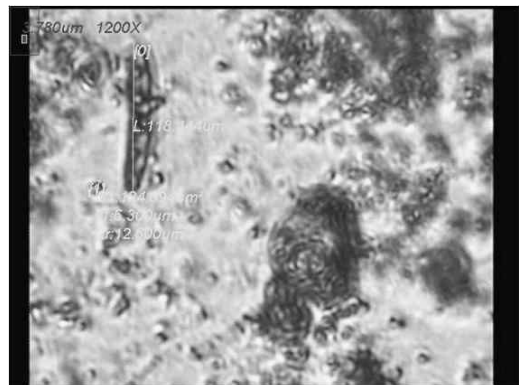
Inoculator



Control



Fibrous media



Siliceous media

Fig. 2. Photomicrograph of microbes existing in each reactor.

있는 것으로 판단된다. 이는 또한 이 등 (2002)이 보고한 담체 적용에 따른 질소 제거율이 45~50%이었다는 결과와 유사한 것으로 볼 수 있다. 인의 경우에는 세라믹 계열 담체에서 상대적으로 높은 제거효율을 보였으나 섬유상 담체에서는 일반관행 폭기구와 차이를 보이지 않았다. 담체 적용에 따른

반응조내의 미생물 존재 양상은 Fig 2에 도시된 바와 같다.

Fig. 2는 각 반응조에서 채취한 시료 중에 존재하는 미생물의 양상을 보여주는 1,200배 현미경 사진이다. 식종액 중의 미생물은 밀도는 높으나 일부 사상균 등의 존재가 확인되는 상태이다. 이 식종액을 사용하여 담체

종류별로 처리한 처리수 시료 중의 미생물을 검정한 결과 일반 관행폭기 방법을 적용한 대조구 시료수에서는 미생물의 수가 적고 그 존재양상은 타 반응조에 비해 비교적 분산상태를 이루고 있는 경향이 있다. 대조구 사진 중의 검거나 투명한 형태를 띠고 있는 큰 물체는 기포인 것으로 보여진다. 반면에 담체 처리구에서의 미생물 존재양상을 조사한 결과 미생물들의 활동성이 더 좋은 경향을 보였으며 로티퍼를 비롯한 일부 대형 포식성 미생물이 관찰되었다. 또한 미생물의 존재형태도 대조구에 비해 덜 분산되어있는 상태를 보였다. 이는 슬러지의 침강성과 관련하여 볼 때 더 바람직한 결과로 볼 수 있다. 실제로 슬러지 침전정도는 본 시험에서도 담체 적용에 의해 확연하게 개선되어지는 결과를 보였다. 이 결과는 후단 침전조의 처리효율에 긍정적 영향을 미치는 용인으로 작용할 수 있다. 본 시험을 통해 얻어진 슬러지 용적지수(Sludge Volumn Index : SVI)의 변화 정도는 Table 5에 나타난 바와 같다. SVI는 슬러지 침전성과 관련되는 요소이다.

슬러지 침강성과 농축성을 나타내는 SVI 값은 대조구에서 나타난 25%에 비해 담체 적용구가 높았으며 섬유상 담체적용구에서 45%의 가장 높은 감소정도를 보였다.

Fig 3에 도시된 바와 같이 처리구별로 슬러지 침전정도가 달라지는데 이는 Shieh 등(1986)이 보고한 담체를 적용할 경우 반응조 내에 미생물 축적량이 늘어나고 체류시간이 증가하는 장점이 있으며 미생물유출이 적다는 보고결과와 연관되어진다. 일반적으로 담체 적용시에는 충격부하에 견디는 능력이 개



Fig. 3. Difference of sludge accumulation in pig slurry by application type of media.

선되고 슬러지 팽화 현상발생이 감소되며 슬러지 발생량이 줄어드는 이점이 있는 것으로 알려져 있다. 본 시험에서 담체종류 및 담체 사용방법에 따른 최종 침전수 중의 슬러지 발생량을 조사한 결과는 Table 6에 나타난 바와 같다.

돈분뇨 슬러리 폭기조에 담체를 적용한 경우가 일반 관행폭기구에 비해 폭기조 중의 슬러지 발생량이 줄어드는 결과를 보였다. 관행폭기구에서의 슬러지 발생량을 100으로 기준하여 볼 때 섬유담체 처리구에서 약 85% 정도의 슬러지 발생량을 보임으로써 각 처리구 중에서 슬러지 발생량이 가장 적은 것으로 나타났다. 이 결과는 축산농가가 운영하고 있는 퇴비화시설 운영에도 긍정적인 효과를 지닐 것으로 판단된다. 각 처리구에서 발생한 슬러지를 대상으로 하여 휘발성 고형성분 함량을 분석한 결과는 Table 7에 나타난 바와 같다.

Table 5. Variation of SVI by application of media

(Unit : mg/L)

Classification	Control	Fibrous media	Siliceous media
Influent	120	110	120
Inoculant	90	60	70

Table 6. Difference of sludge accumulation in each reactor

(Unit : %)

Classification	Control	Fibrous media	Siliceous media
Match rate	100	85	92

Table 7. Difference of VS content of sludge collected in each reactor

(Unit : %)

Classification	Control	Fibrous media	Siliceous media
Match rate	60.5	55.8	56.2

Table 8. Difference of OM content of sludge collected in each reactor

(Unit : %)

Classification	N	C	S	H
Control	6.53 <sup>a</sup>	34.83 <sup>b</sup>	0.77 <sup>c</sup>	4.32 <sup>b</sup>
Fibrous media	5.59 <sup>b</sup>	30.49 <sup>c</sup>	1.10 <sup>a</sup>	4.10 <sup>c</sup>
Siliceous media	6.87 <sup>a</sup>	39.99 <sup>a</sup>	0.87 <sup>b</sup>	5.22 <sup>a</sup>

담체 적용에 따른 슬러지의 특성을 조사하기 위하여 각 반응조에서 채취한 슬러지의 성분 분석을 하였다. 표 7에 나타난 바와 같이 담체를 적용한 경우 슬러지중의 휘발성 고형분 함량이 일반 관행 폭기구에서 발생한 슬러지보다 더 낮아지는 결과를 보였다. 이는 담체 처리구에서 유기성 물질의 산화효과가 더 좋게 나타나는 결과와 정의 상관관계를 가지는 것이다. 담체 종류별로 발생한 슬러지의 유기성분 구성비를 분석한 결과는 Table 8에 나타난 바와 같다.

반응조에서 채취된 슬러지 중에 함유된 유기성분 중 탄소농도는 섬유 담체구에서 가장 낮게 나타났으며 대조구와 세라믹 담체 순으로 나타났다. 질소성분 농도 역시 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

## 적 요

본 시험은 돈분뇨 슬러리의 액상처리효과를 증시하기 위하여 담체를 활용한 폭기조

운영조건 변화에 따른 처리효과를 측정하기 위한 목적으로 수행하였으며, 시험 결과는 다음과 같다.

1. BOD와 COD의 제거효율은 일반 관행폭기에 비해 담체 처리구에서 더 좋은 결과를 보였다. 담체 중에서도 섬유상 담체에서 그 제거율이 높았다. SS의 경우는 관행 폭기처리구보다 담체 적용구에서 그 변화정도가 적었다. 반면에 질소의 제거율은 담체 적용에 의해 뚜렷하게 개선되었다.

2. 슬러지 침강성과 농축성을 나타내는 SVI 값은 대조구에서 나타난 25%에 비해 담체 적용구가 높았으며 섬유상 담체적용구에서 45%의 가장 높은 감소정도를 보였다.

3. 관행 폭기구에서의 슬러지 발생량을 100으로 기준하여 볼 때 섬유담체에서 약 85% 정도의 슬러지 발생량을 보임으로써 각 처리구중에서 슬러지 발생량이 가장 적은 것으로 나타났다.

4. 담체를 적용한 경우 슬러지중의 휘발성 고형분 함량이 일반 관행 폭기구에서 발생한

슬러지보다 더 낮아지는 결과를 보였다.

### 인 용 문 헌

1. 김용환, 조재현, 김무훈, 이용우. 1997. 생물막 담체를 이용한 질산화 반응특성연구. 대한환경공학회지 19-3, 415-424.
2. 박영식, 안강환. 2001. 세라믹 담체의 제조와 성능고찰. 대한환경공학회지 23-3, 507-516.
3. 이수구, 임병란, 조창호, 채만병. 1995. 섬유상 담체를 이용한 생물학적 폐수처리에 관한 연구(II). 대한환경공학회지 17-10, 941-951.
4. 이 순, 박상원. 2008. 담체가 첨가된 AO2 공법을 이용한 수산물 가공폐수의 처리. 대한환경공학회지 30-6, 666-672.
5. 이태경, 박재구, 한기봉, 2002. 세라믹 담체를 이용한 고정생물막 공정에서의 동시 질산화 및 탈질화. 대한환경공학회지 24-6, 1105-1115.
6. 최의소, 임봉수. 1987. 호기성과 혐기성 생물막 공법의 비교연구. 수질보전 3-2, 1-6.
7. AOAC. 2007. Official Methods of Analysis. "AOAC INTERNATIONAL".
8. APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition.
9. Hegmann. W. 1984. A combination of the activated sludge process with fixed film biomass to increase the capacity of wastewater treatment plants. Watt. Sci. Tech., 16, 119-130.
10. Masuda, S., Watanabe, Y. and Idhigure, M. 1991. Biofilm properties and simultaneous nitrification and denitrification in aerobic rotating biological contactors. Water Sci. Technol., 23, 1355-1363.
11. Shieh, W. K. and Keenan. 1986. Fluidized Bed Biofilm Reactor for Wastewater Treatment. Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology., 33, 131.
12. Tyagi, R. D. and Kannan, V. 1990. Application of biomass carriers in activated sludge process. Wastewater treatment by immobilized cells, CRC Press., 103-142.