

# 담체설치가 고질소함유 양돈폐수의 호기발효에 미치는 영향

손경호 · 이상락 · 안정제 · 권윤정\* · 정태영

건국대학교 축산대학 영양자원학과

## Effects of Artificial Filaments Equipped in the Aeration Tank of Aerobic Fermentation System on the Removal Efficiency of Nitrogen of Swine Wastewater Containing High Nitrogen

Son K. H., S. R. Lee, J. J. Ahn, Y. J. Kwon\* and T. Y. Jung

Dept. of Nutritional Resources, College of Animal Husbandry,

Kon-Kuk University

### Summary

This study was conducted to investigate the effects of artificial filaments equipped in the aeration tank of aerobic fermentation system on the removal efficiency of swine wastes which were fermented anaerobically and thus containing high nitrogen. Two aerobic fermentation system each consists of 4 tanks ; storage tank, 1st and 2nd aeration tank and settling tank were run before and one or three weeks after equipment of artificial filament in the aeration tanks.

Total solids concentration tended to increase by aerobic fermentation in all running periods. However, decreased( $p<0.05$ ) total nitrogen concentration was shown three weeks after the equipment of artificial filament. Ammonia nitrogen concentration also largely decreased( $p<0.05$ ) in both running periods of one and three weeks after equipment of artificial filaments. These results suggest that the artificial filaments may improve the removal efficiency of nitrogen in swine wastewater containing high nitrogen during aerobic fermentation.

(Key words : Swine wastewater, Artificial filaments, Aerobic fermentation, Nitrogen removal)

### 서 론

유기물 함량이 많은 폐수는 미생물을 이용한 생물학적 처리법이 그 처리효율에서나 경제성에서 가장 뛰어난 것으로 알려져서

널리 이용되고 있다. 생물학적 처리법 중에서도 호기미생물을 이용한 활성오니법은 정화효율이 가장 뛰어나다. 일반적인 활성오니법은 유기물질과 산소를 이용하여 호기미생물을 연속 배양하여 미생물체를 증식시키고,

\* 건국대학교 공과대학 섬유공학과(Dept. of Textile Engineering, College of Engineering, Kon-Kuk University)

이 증식된 미생물체에 폐수중의 부유물이나 용존물질을 흡착시킨 다음, 이를 분리, 제거함으로써 정화하는 방식이다.

가축분뇨의 정화처리에 있어서도 활성오니법은 매우 유용하다. 그러나 최근 발생량이 증가하고 있는 슬러리 형태의 양돈분뇨의 경우는 유기물 함량이 너무 많아 직접 활성오니법으로 처리할 수가 없다. 따라서 이 경우는 우선 혐기발효를 통하여 유기물 함량을 낮춘 다음 호기발효로 재처리하는 경우가 유효하다(Kameoka 등, 1988). 그러나 이 혐기발효과정은 약 70%의 유기물을 제거할 수 있으나 질소성분을 전혀 제거할 수 없는 단점이 있다.

질소의 몇가지 중요한 산화환원반응은 거의 미생물에 의해서만 가능하기 때문에 질소순환에 있어 미생물의 역할은 지대하다(Brock와 Mediga, 1991). 그러므로 가축 폐기물 또는 가축 폐기물의 혐기발효 잔류액 등의 유기성 폐액에 다량 함유된 질소는 미생물의 질화반응과 탈질화 반응을 이용하여 제거하는 것이 좋다(Kakiichi 등, 1987). 폐수중의 질소는 유기태, 암모니아태, 질산태 및 아질산태로 존재한다. 유기태질소는 미생물에 의해 암모니아태 질소로 분해되고 이 암모니아태 질소는 독립성 영양세균인 *Nitrosomonas* 와 *Nitrobacter*에 의해 질산태 및 아질산태로 산화된다. 다시 이들은 수소공여체가 존재하는 혐기조건하에서 *Micrococcus denitrificans* 등의 탈질균들에 의해 질소가스로 환원되어 폐수에서 제거된다. 따라서 이들 질화-탈질화반응의 효율은 발효조내의 관련 미생물의 양과 직접적인 관련이 있다.

일반적으로 호기발효시스템은 자연적인 overflow에 의해 단계별 처리를 실시하고 있

는데, 이 경우 유출액 중에 상당량의 미생물이 들어 있어서 발효조내의 미생물의 밀도가 낮아질 수 있다. 이를 보완하기 위한 방법의 하나로 미생물을 고정하는 다양한 형태의 담체가 이용되고 있다. 그러나 담체의 효율에 대한 연구는 매우 부족하다.

따라서 본 연구에서는 호기발효조에 합성 섬유로 제작된 담체의 설치가 질소 함량이 높은 양돈폐수의 혐기발효 잔류여액 중의 질소성분의 제거효율에 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 기 질

호기발효의 기질로는 건국대학교 축산대학에서 운용중인 고효율 혐기발효시스템(High Performance Automated Fermentation System; HiPAFS; Lee 등, 1995)에서 돈사발생 분뇨혼합물을 2.72kg volatile solids/m<sup>3</sup>/day의 부하율과 15일의 hydraulic retention time(HRT)으로 혐기발효시킨 잔류물을 24시간 침전시킨 후의 상등액을 -20℃에서 냉동보관하였다가 필요시에 상온에서 녹여 사용하였다. 공시기질의 화학적 조성분은 표 1에 나타내었다.

### 2. 호기발효장치

실험에는 2세트의 호기발효장치를 사용하였는데, 장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 저장조, 주입펌프, 폭기조 1, 폭기조 2 그리고 폭기장치 및 침전조로 구성하였다. 저장

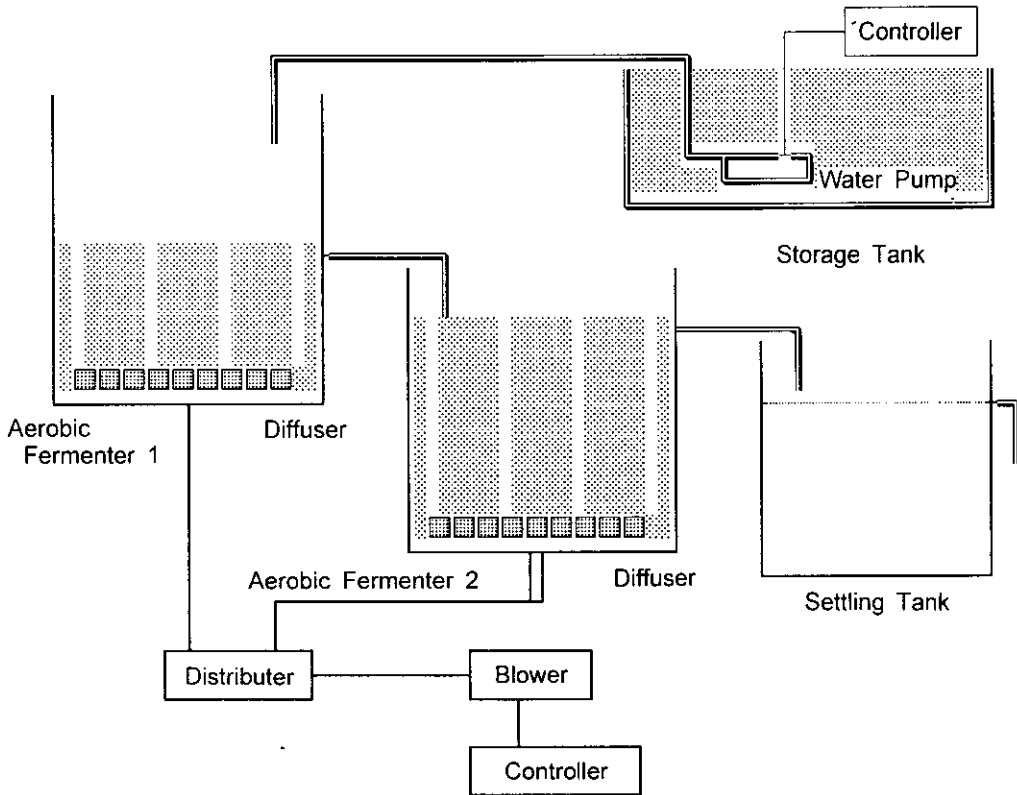


Fig. 1. Schematic diagram of a aerobic fermentation system used in this study.

조, 폭기조 1, 폭기조 2 그리고 침전조는 각각 50L 용량의 원통형(지름 40cm, 높이 60cm) 아크릴로 제작하여 사용하였다. 폭기조 1의 발효용량은 20L (HRT 1 day)로 하였고, 폭기조 2, 저장조 및 침전조는 40L (HRT 2 days)가 되도록 하여 계단식으로 설치하였으며, 폭기조들과 침전조 간을 plastic pipe( $\phi$  10mm)로 연결, 단차에 의해 자연스럽게 overflow가 이루어지도록 하였다. 폭기조로의 기질의 부하를 위하여 저장조내에 수중펌프를 설치하였고, 폭기를 위하여 blower (Thomas industry, Power air division, USA)와 직경 20cm의 고무산기관(Samhyun, UP-10W, Korea)을 각 폭기조의 바닥에 1개씩 설치하

였다.

### 3. 담체의 설치

실험에 사용한 담체는 polyvilidene chloride, nylon, polypropylene 및 polyethylene 등의 재질로 된 섬유다발로서, 표면적을 넓히기 위하여 이들을 2 mm 정도의 굵기로 나선형으로 꼬고 거기에 동일재질의 보다 가는(1 mm 이하) 섬유다발을 U자형의 수많은 loop를 만들어 연결시킨 것이었다(이안교역, Bio- Module). 담체의 설치는 각 폭기조내에 설치한 stainless steel 재질의 고정틀에 길이가 약 20cm인 담체를 각 16본씩 수직으로

붙들어 매어 설치하였다.

#### 4. 발효장치의 운영

폭기조로의 기질의 부하는 하루 20L의 기질을 저장조내에 설치한 수중펌프를 2시간 간격으로 timer를 이용하여 작동시켜 매회 약 1.66L가 부하되도록 하였다.

발효조내의 폭기는 30분 폭기, 30분 휴지를 반복하는 단속식 폭기를 실시하였으며, 폭기개시후 5분 이내에 용존산소량이 약 4~5 mg/L에 도달할 수 있도록 폭기량을 조절하였다.

발효장치는 총 4주간 운영하였는데, 먼저 담체를 설치하지 않은 상태에서 일주일간의 적응기 운용을 실시한 후에, 일주일간 대조기(control period) 성적을 도출하였고, 이어서 담체를 설치하고 3주간 연속 운용하며 담체 설치 1주일과 3주일 후에 발효성적을 도출하였다.

운용기간중의 평균 실내 기온은 26℃이었으며 발효조내의 폐수온도는 약 22℃이었다.

#### 5. 조사항목 및 방법

1일 1회 폭기조내의 pH, 용존산소(dissolved oxygen; DO) 농도와 온도를 각각 pH meter와 DO meter를 이용하여 측정하였고, 성적도출 기간중 매일 각 조에서 내용물을 적량 채취하여 총고형물, 총질소 및 암모니아태 질소의 농도를 AOAC의 방법에 준하여 측정하였다. 측정된 유기성분의 함량으로부터 성분의 제거효율을 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{제거효율, \%} = (\text{부하조 농도} - \text{침전조 농도}) / (\text{부하조 농도}) \times 100$$

#### 6. 통계처리

담체설치의 효과를 검증하기 위하여 담체 설치 전, 담체설치 1주일 후 및 담체설치 3주일 후에서의 발효성적간의 통계적 유의성을 SAS(SAS ver. 6.0, SAS Institute)의 GLM procedure를 이용하여 Duncan's multiple range test로 검증하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 총고형물

폭기조로 부하된 기질의 총고형물(Total solids; TS) 함량은 운용기간중 0.23~0.19%의 범위로 약간의 차이는 있었으나 통계적 유의차는 없었으며, 담체 설치전의 1차 폭기조와 2차 폭기조내의 TS 농도는 각각 0.30, 0.33%로 단계가 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보였고, 침전조에서는 0.28%를 나타내어 부하기질의 농도보다 23.12%가 증가하였다. 이

Table 1. Chemical composition of wastewater used as substrate

Item	Content
Total solids (%)	0.22
Volatile solid (%)	0.16
Total nitrogen (ppm)	411.15
Ammonia nitrogen (ppm)	248.33
Nitrate (ppm)	1.00
BOD5 (ppm)	227.53
pH	7.14

와 같이 단계가 진행됨에 따라 TS 함량이 증가하는 결과는 시간경과에 따른 solid retention time과 liquid retention time의 차이에서 기인하는 것으로 생각되었다.

담체설치 1주 후와 3주 후의 총고형물의 농도는 1차 폭기조에서 각각 0.24, 0.28%을 나타내었으며, 2차 폭기조에서는 0.24, 0.34%를, 침전조에서는 0.27, 0.34%를 나타내어 부하기질의 TS 농도에 비하여 각각 36.01 및 78.95% 증가하였다(표 2).

담체 설치에 의해 TS 함량이 증가한 것은 담체의 filtering effect에 의해 고형물이 담체에 다량 부착되어 발효조내의 농도가 증가한 반면, 액체는 그대로 통과하기 때문이라고 생각되어 졌다. 또한 담체에 미생물이 많이 부착하여 증식함으로서 결과적으로 이들 미생물체가 TS 함량을 높이는 데 기여한 것으로 추정되었다.

2. 총질소

부하기질의 담체 설치전과 후의 총질소 농도는 448.91과 399.00ppm으로 차이를 나타내었다. 담체 설치전의 1차 폭기조, 2차폭기조내의 총질소의 농도는 폭기에 의해 206.04, 186.00ppm으로 감소하는 경향을 보였으며, 침전조에서는 152.92ppm을 나타내어 부하기질의 총질소를 65.94% 제거하였다.

담체설치 1주 후와 3주 후의 농도는 1차 폭기조에서 각각 145.46, 149.50ppm을 나타내었으며, 2차 폭기조에서는 144.27, 114.00ppm을, 침전조에서는 각각 138.31, 85.00ppm을 나타내어, 부하기질의 총질소량에 대하여 각각 52.14%, 78.70%가 감소하였다(표 3).

1차 및 2차 폭기조에서의 총질소 농도는 담체설치 전과 비교하여 담체설치 1주 후와 3주 후에 유의하게 감소하였고(P<0.05), 침전조에서의 총질소 농도도 담체 설치전과 비교하여 1주 후에는 약간 감소하였으나 담체설치 3주 후에는 크게 감소하여 통계적 유의성이 인정되었다(P<0.05).

Table 2. Effect of proliferation filament on purification reduction rate of total solids concentration of swine wastewater after fermented anaerobically in a 2-step aerobic fermentation system

Tank	Control period	Proliferation filament	
		1 week	3 weeks
		..... % .....	
Loading tank	0.23 ± 0.03	0.20 ± 0.00	0.19 ± 0.02
1st aeration tank	0.30 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.28 ± 0.01
2nd aeration tank	0.33 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.06 <sup>ab</sup>
Settling tank	0.28 ± 0.03	0.27 ± 0.00	0.34 ± 0.04
Purification efficiency (%)	-23.12	-36.01	-78.95

Means with different superscripts in the same row are significantly different( P <0.05).

Table 3. Effect of proliferation filament on purification reduction rate of total nitrogen concentration of swine wastewater after fermented anaerobically in a 2-step aerobic fermentation system

Tank	Control period	Proliferation filament	
		1 week	3 weeks
	..... ppm .....		
Loading tank	448.91 ± 22.1 <sup>a</sup>	288.99 ± 19.94 <sup>b</sup>	399.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
1st aeration tank	206.04 ± 8.58 <sup>a</sup>	145.46 ± 13.53 <sup>b</sup>	149.50 ± 7.50 <sup>b</sup>
2nd aeration tank	186.00 ± 16.3 <sup>a</sup>	144.27 ± 2.87 <sup>b</sup>	114.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
Settling tank	152.92 ± 10.8 <sup>a</sup>	138.31 ± 7.98 <sup>a</sup>	85.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
Purification efficiency (%)	65.94	52.14	78.70

<sup>a,b</sup>Means with different superscripts in the same row are significantly different(P <0.05).

이러한 총질소 함량의 감소는 담체 설치에 의하여 폭기조내의 미생물의 서식 밀도가 증가하여, 질소 화합물을 질산태 화합물로 변화시키는 능력이 높아진 것에서 기인하는 것으로 생각되어진다. 또한 기질중의 고형물이 담체에 부착된 미생물에 의하여 고정되어 총질소 함량에 변화를 가져온 것으로 판단되었다.

### 3. 암모니아태 질소

실험 기간중의 부하기질의 암모니아태 질소 농도는 267.91, 236.67ppm으로 통계적 유의성은 없었으나, 담체 설치전의 1차 및 2차 폭기조내의 암모니아태 질소 농도는 각각 23.64, 22.77ppm으로 폭기에 의해 크게 감소하였으며(p<0.05), 침전조에서는 37.05ppm을 나타내어 부하기질의 암모니아태 질소 농도에 비하여 총 86.16% 감소하였다. 담체설치 1주 후와 3주 후의 농도는 1차 폭기조에서 각각 38.82, 12.00ppm을 나타내었으며, 2차

폭기조에서는 19.78, 0 ppm을, 침전조에서는 25.29, 0 ppm을 나타내어, 부하기질의 암모니아태 질소 농도에 대하여 각각 89.31 및 100%의 제거율을 나타내었다.

1차 폭기조에서의 담체 설치전과 설치 3주 후의 암모니아태 질소 농도의 차이는 인정되지 않았으나, 2차 폭기조와 침전조에서는 담체 설치전에 비교하여 3주 후에서 유의하게 (p<0.05) 낮은 농도가 인정되었다(표 4).

암모니아태 질소의 1차 및 2차 폭기조에서의 감소는 미생물의 질산화 반응에 의한 것으로서, 담체 설치전에는 2차 폭기조에서 22.77 ppm으로 검출된 암모니아태 질소가 담체설치 3주 후에는 전혀 검출되지 않은 것은 담체에 의해 질산화 관련 미생물의 밀도가 높아져서 분해되기 쉬운 암모니아태 질소로부터의 질산화 반응이 급속히 이루어진 것에 의한 것으로 생각되어진다.

그리고 침전조에서 암모니아태 질소의 농도가 2차 폭기조보다 높아졌는데, 침전조에서 침전된 고형물 및 미생물체 단백질이 혐

Table 4. Effect of proliferation filament on purification reduction rate of ammonia nitrogen concentration of swine wastewater after fermented anaerobically in a 2-step aerobic fermentation system

Tank	Control period	Proliferation filament	
		1 week	3 weeks
	..... ppm .....		
Loading tank	267.91 ± 9.95	236.67 ± 15.09	253.50 ± 3.50
1st aeration tank	23.64 ± 3.20 <sup>b</sup>	38.82 ± 1.77 <sup>a</sup>	12.00 ± 5.00 <sup>b</sup>
2nd aeration tank	22.77 ± 0.76 <sup>a</sup>	19.78 ± 2.48 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
Settling tank	37.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	25.29 ± 2.99 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
Purification efficiency (%)	86.17	89.31	100.00

<sup>abc</sup>Means with different superscripts in the same row are significantly different (P < 0.05).

가미생물에 의해 다시 분해가 이루어져서 암모니아태 질소농도가 상승하였다고 생각되어진다.

Taiganides(1987)의 보고에서 암모니아태 질소의 제거는 호기발효를 이용하는 것이 가장 경제적이고 효율적이라고 했는데 본 실험에서도 그 사실이 증명되었다. 호기상태에서는 두 균의 절대호기성 독립영양세균인 암모니아 산화세균과 아질산 산화세균에 의하여 암모니아가 질산염으로 산화된다고 Brock와 Madiga(1991)와, Collins 등(1991)이 보고했던 바와 같이 본 실험에서도 이들 미생물에 의한 질화반응이 활발히 일어난 것으로 보인다. 일반적으로 용존 산소량이 높을 때 질화반응이 잘 일어나는데, 본 실험에서는 1차 및 2차 폭기조에서 용존 산소량이 4~5 mg/l 이 되도록 폭기량을 조절하였기 때문에, 질화반응을 일으키기에 충분한 양이었다고 사료된다. 따라서 이와 같은 담체 설치전에 비하여 담체 설치후의 1차 및 2차 폭기조에서의 암모니아태 질소농도의 감소는 질산화에

관련하는 미생물의 활력 및 밀도가 크게 증가하였음을 나타낸 것으로 생각되었다.

### 적 요

호기발효조에 합성섬유로 제작된 담체의 설치가 돈사 발생폐수의 혐기소화 잔류폐액의 정화효율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 단계별로 부하기질 저장조, 1차 폭기조, 2차 폭기조 및 침전조로 구성된 2개의 호기발효장치를 이용하여 담체 설치전과 설치 1주 및 3주 후의 유기성분의 제거율을 조사하였다.

총고형물은 담체 설치에 의해 제거율이 개선되지 않고 오히려 증가하는 경향을 보였다. 그러나 총질소의 농도는 담체 설치 3주 후에 크게 감소하여(p<0.05) 제거율에 대한 담체 설치의 효과가 나타났고, 암모니아태 질소농도도 담체 설치 1주 및 3주 후에 크게 감소하였다(p<0.05). 이들 결과로부터 호기발효조에 대한 담체의 설치는 고질소 함유 양

돈폐수의 질소성분 제거에 효과적인 것으로 판단되었다.

### 인 용 문 헌

1. AOAC. 1990. Official methods of analysis (5th ed.). Association of official analytical chemists inc..
2. Brock, T. D., and M. T. Madiga. 1991. Biology of microorganisms(6th ed.). Prentice hall.
3. Collins, A. G., W. W. Clarkson, and S. A. Florio. 1991. Alternative fixed-film biological nitrification processes for a semi-conductor waste. Research J. WPCF. (63): 60-66
4. Kakiichi, N., S. Kamata, S. Kobayashi, and K. Uchida. 1987. Treatment of feces by modified aerated lagoon process for denitrification. Jpn. J. Zootech. Sci., (58): 497-504.
5. Kameoka, T., Y. Inno, and M. Sakimoto. 1988. Methane fermentation system for swine wastewater treatment. Jpn. J. Zootech. Sci., (63):38-46
6. Lee, S. R., N. K. Cho, and W. J. Maeng. 1995. Using the pressure of biogas created during anaerobic digestion as the mixing power. J. Fermentation and Bioengineering. 80(4):415-417.
7. Taiganides, E. P. 1987. Animal waste management and waste water treatment. Animal production and environmental health. Elsevier. pp 91-153.