

조류를 이용한 유기성 폐수 처리 시스템과 물벼룩 성장 조건

조재훈¹, 김준휘², 이정섭³, 윤성명⁴, 박돈희⁵, 김시욱¹

조선대학교 환경공학부¹, 생물신소재학과², 생물과학부³, 생물교육학과⁴,

진남대학교 화학공학부⁵

전화 (062)230-6649, FAX (062) 225-6040

Abstract

Food wastewater eluted from the three-stage methane fermentation system developed in this lab showed high concentrations of TCOD, BOD, T-N and T-P. Because the effluent of biological filter chamber (BFC) still had high concentration of nitrogen and organic material, the effluent was treated with algal periphyton system using algae. The removal rates of COD, T-N and T-P were 96, 98 and 91%, respectively, in this system. The grown algae could be digested by waterfleas using the ecological food chain system. Food wastewater is better than algal culture medium for growth of waterflea, *Moima Macrocopa*. During 12 days, the individual of waterflea increased to 180 in the food wastewater containing a T-N concentration of 150 mg/ℓ.

1. 서론

혐기 소화 처리후 배출되는 음식 폐기물의 최종 유출수는 고농도의 유기성 폐수로서 질소와 인 성분이 대단히 높으므로 기존의 폐수 처리 공법으로는 처리하기 어렵다. 현재 본 실험에서는 국내에서 다량 발생하는 음식물 쓰레기를 제거할 목적으로 반혐기성 가수분해/산 발효조, 혐기성 산발효조, 혐기성 메탄 발효조의 3단계 메탄 발효 시스템을 운전하고 있다.²⁾ 그러나 최종 방출되는 폐수내에는 총질소(TN), 총인(TP), 잔류 COD가 너무 높아 방류하기 어려우므로, 이 폐수를 방류수 수질 기준 이하에 맞추기 위해서는 생물막조(BFC)에서 나온 유출수를 조류와 물벼룩을 이용한 생태학적 먹이 연쇄 시스템을 응용하는 새로운 처리 공정을 개발하고 이 시스템의 운전조건을 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

본 실험에서 사용된 폐수는 음식물 쓰레기 처리를 위한 3단계 발효 공정에서 배출되는 고농도의 유기물을 함유한 폐액을 사용하였다. 음식물 발효 폐액은 먼저 여재로 충전하여 생물막을 형성시킨 호기조(200 ℓ)와 무산소조(400 ℓ)로 구성된 Biological Filter Chamber(BFC)에 일차적으로 유입되었다. 실험에 사용한 조류는

Selenastrum capricornutum 사용하였고 조류 배양기(25°C, 7000Lux)에서 24시간 배양하였다. 총질소, 총인, COD, BOD 등은 Standard method에 따라 분석하였다.³⁾ 물벼룩은 *Monina macrocopa*를 사용하였고, 약간 변형된 M4 배지에 배양하였다.⁵⁾ 3 ℓ 비이커에 배양 배지를 2ℓ 채운 후 조류를 2×10^5 cells/ml가 되도록 주입한 후 25°C, 24시간 배양하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 음식물 쓰레기 메탄 발효 공정 발효액과 생물막을 형성시킨 BFC의 운전 조건과 성상을 나타낸 것이다. 음식물 쓰레기를 메탄 발효 한 후 발생하는 고농도의 유기성 폐수를 미생물막이 형성된 BFC에서 처리한 후에도 폐수는 여전히 고농도를 유지하고 있다. 따라서 조류가 살 수 있는 농도 범위까지 희석하여 *S. capricornutum*을 처리하면 COD는 2214 mg/ℓ에서 73 mg/ℓ로 96%, T-N은 4,200 mg/ℓ에서 53 mg/ℓ로 98% 제거되었으며, T-P는 80 mg/ℓ에서 7 mg/ℓ으로 91% 제거되었다. 조류는 고농도의 유기물을 함유한 폐수로부터 질소, 인 성분을 흡수하여 성장할 수 있기 때문에 이들을 이용한다면 질소와 인을 제거함과 동시에 세포내 우량 단백질의 함량이 높아 고단백질 가축사료로 이용할 수 있다.

Table 1. Operation conditions and characteristics of organic wastewater

Parameter	Methane Fermentation System	Biological Filter Chamber		Algal Periphyton
		Oxic	Anoxic	
HRT(day)	16	1	2	4
Loading (kg VS/m ³ · day)	12~18.8	2.8~3.0	2.5~2.7	1.7~1.8
pH	7.6-7.9	6.1~6.5	8.6~9.0	8.8~9.2
T-N(mg/ℓ)	4200	1050	500	53
NH ₃ -N(mg/ℓ)	1350	30	53	5
NO ₃ -N(mg/ℓ)	60.2	500	62	19
T-P(mg/ℓ)	80	21	16	7
TCOD(mg/ℓ)	3282	422	280	-
SCOD(mg/ℓ)	2214	388	218	73
BOD(mg/ℓ)	834	47	25	21

그러나 생물막 반응조(BFC)의 유출수를 조류를 이용하여 처리시 과다 성장으로 인한 사멸로 유기물로의 재환원을 막기 위해서 조류를 먹이원으로 이용하는 물벼룩을 이용하여 이를 제어하고자 하였다.

Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 18×180mm의 소형 시험관에서 물벼룩을 넣어 주지 않은 시험관(대조군)에서는 조류의 성장이 시간이 지남에 따라 계속적으로 개체수

가 증가하여 17일 경과한 후 2.0×10^5 cells/ml에서 2.7×10^6 cells/ml로 증식하였다. 그러나 물벼룩을 처리하였을 경우 물벼룩이 조류를 포식하기 때문에 조류 개체수가 처음 6일 동안은 약간씩 증가하다가 그 이후로는 물벼룩 개체수의 증가로 조류의 감소가 이어지다가 물벼룩이 사멸되기 시작하는 10일을 기점으로 다시 증가하여 최종적으로 1.25×10^6 cells/ml의 개체수를 나타내었다.

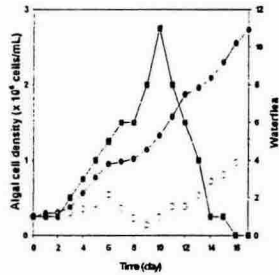


Fig. 1

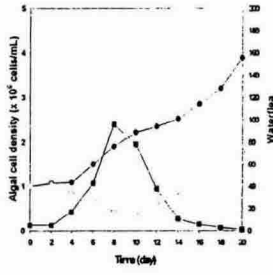


Fig. 2

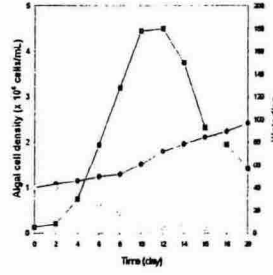


Fig. 3

Fig. 1 Small scale test tube에서 *S. capricornutum*과 *Monia macrocopa*와의 관계

Fig. 2 Large scale test tube에서 *S. capricornutum*과 *Monia macrocopa*와의 관계

Fig. 3 BFC에서 나온 T-N 150mg/ℓ에서 *S. capricornutum*과 *Monia macrocopa*와의 관계

Symbols : ●, 대조군 ; ○, *S. capricornutum*, ; ■, *Monia macrocopa*

반면 30×200mm의 중형 시험관에서 조류 배양액 30ml를 주입한 시험관(대조군)에서는 초기 1×10^6 cells/ml에서 20일이 지난 후 3.9×10^6 cells/ml로 증가하였다. 조류와 물벼룩을 함께 접종한 시료에서는 물벼룩이 초기 5마리에서 4일 후 급격한 개체수 증가를 보이면서 8일 후 최대 개체수인 96마리를 나타냈다. 10일 후 3.8×10^5 cells/ml를 감소하다가 물벼룩이 감소하면서 다시 증가하여, 20일 후 1.8×10^6 cells/ml로 다시 증가하였다.(Fig. 2)

한편, 생물막 유출수를 질소 농도 기준으로 150 mg/ℓ로 희석한 폐액에 조류만을 넣은 시험관(대조군)에서 조류는 1.0×10^6 cells/ml에서 20일이 지난 후 2.4×10^6 cells/ml로 증가하였다. 물벼룩은 5마리에서 12일 경과 후 가장 많은 180마리의 개체수를 나타냈으며, 20일 후 57마리의 개체수를 나타냈다. 50마리 이상이 살아서 계속적으로 조류를 포식하면서 최종적으로 조류는 1.1×10^5 cells/ml로 관찰되었다. 물벼룩은 동물성 플랑크톤으로서 조류 뿐만 아니라 다른 미생물도 먹이원으로 섭취를 하여 성장할 수 있으므로 조류 배양 배지보다 오히려 다량의 미생물이 포함되어 있는 생물막 유출수에서 생존률이 높은 것으로 사료된다.

앞으로 생태학적인 먹이 연쇄를 이용하여 폐수로부터 어류의 사료로 이용될 수 있는 물벼룩의 대량 배양을 위한 조건을 계속 연구하고자 한다. 이를 위해서는 조류가 살 수 있는 T-N 농도를 200 mg/l 까지 낮출 수 있는 BFC 공정을 개선하여야 할 것이다. 그리고 물벼룩 사멸의 원인으로 산소 농도, 공간의 제한, 광주기 그리고 다른 인자르를 검토하여야 할 것이다.

요약

본 실험실에서 개발한 3단계 메탄 발효시스템을 이용하여 음식물 쓰레기를 소화처리하고 그 폐액을 생물 여재막으로 처리하여도 여전히 고농도의 COD, BOD, T-N 그리고 T-P을 함유하고 있기 때문에 조류를 이용하여 처리하였다. 이 때 T-N, T-P는 각각 98%, 91%의 제거율을 보였다. 한편 생태학적인 먹이 연쇄 관계에서 조류를 먹이원하여 성장한 조류를 제거하고자 하였다. 물벼룩은 조류 배지에서는 10일 후 최대의 개체수를 보였으나, 생물막 유출수에 조류(1×10^6 cells/ml)와 물벼룩 5마리를 접종한 시료에서는 물벼룩은 12일 후 최대 180마리로 관찰되었고 그 이후로 점차 사멸하여 20일 후 57마리의 개체수를 나타냈다. 이 때 조류의 개체는 계속적으로 감소하여 1.1×10^5 cells/ml을 보였다.

참고문헌

1. 최정우, 김영기, 류재홍, 이우창, 이원홍, 한징택, "축산폐 처리를 위한 광섬유 생물 반응기를 이용한 조류배양공정 개발"(2000), 한국생물공학회지, **15(1)**, 14-21
2. Si W. Kim, Jin Y. Park, Jung G. Kim, Jae H. Cho, Young N. Chun, In H. Lee, Jug S. Lee, Jin S. Park, and Don H. Park, "Development of a modified three-stage methane production process using food wastew"(2000), Appl. Biochem. & Biotech., **84-86**, 731-741
3. American Public Health Association (APHA) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"(1985), 16th ed., APHA, Washington, DC.
4. Ray W. Drenner, Donald J. Day, Stacy J. Basham, J. Durward Smith, and Susan I. Jensen. "Ecological water treatment system for removal of phosphorus and nitrogen from polluted water"(1997), Ecological Application, **7(2)**, 381-390
5. A. Samel, M. Ziegenfuss, C. E. Goulden, S. Bankxs, and K. N. Baer. "Culturing and Bioassay Testing of *Daphnia magna* Using Elendt M4, Elendt M7, and COMBO Media" (1999), Ecologicology and Environmental Safety, **43**, 103-110