



음식물폐수와 축산분뇨의 혼합소화에서 적정 혼합비 및 소화슬러지의 위생성 연구

정두영, 정명희, 김영준[†]

가톨릭대학교 생명환경공학부 환경공학전공

(2009년 6월 15일 접수일, 2009년 6월 25일 수정일, 2009년 6월 27일 채택일)

Optimal Mixing Ratio of Wastewater from Food Waste and Cattle Manure and Hygienic Aspect in Batch Type Anaerobic Digestion

Jeong, Doo-Young, Myung-Hee Chung, Young-Jun Kim[†]

School of Biotechnology and Environmental Engineering, The Catholic University, Bucheon, Korea

ABSTRACT

This research was performed to figure out the optimal mixing ratio of food- to livestock wastewater for the best degradation of organic matter in the anaerobic digestion. The presence of various microorganisms, such as *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, was also investigated in both wastewater in this process. Enteric bacteria were only found in livestock wastewater, whereas pathogenic bacteria like *S. aureus* were detected in both wastewater. The optimal mixing ratio of food- to livestock wastewater for the best mineralization was found to fifty to fifty, with reduction ratios of BOD₅, COD_{Cr} SS as 23.2%, 24.7%, 19.7%, respectively. Hygiene of the digested sludge was also analyzed by counting the number of total colonies and various pathogens. Enterobacteriaceae including *E. coli* were barely detected in 10 days after reaction. Meanwhile, *S. aureus* was gradually reduced during reaction, even showing 1,000~5,000 CFU/mL in final days

Keywords : Food wastewater, Pig wastewater, Anaerobic digestion, Pathogens, Hygiene

초록

본 연구에서는 돈분폐수와 음식물폐수를 대상으로 대장균을 비롯한 병원성균의 존재여부를 파악하였으며, 이들

[†]Corresponding author: yjunkim@catholic.ac.kr

을 여러 비율로 혼합한 혼합폐수를 대상으로 55°C의 고온의 회분식 혐기소화를 실시하여 최적의 유기물 분해를 위한 혼합비율 및 혐기소화과정에서의 미생물상의 변화를 관찰하였다. 대장균 등의 분변성 장내세균은 축산폐수에서만 발견되었으며 식중독세균인 포도상구균은 음식물과 축산폐수 양쪽에서 발견되었다. 각 폐수의 혼합비율을 달리 하여 고온 회분식 혐기소화과정을 거친 결과 각 폐수의 비율이 50:50인 R3 반응조에서 가장 높은 유기물 제거효율을 나타냈으며, 이때 BOD₅, COD_{Cr} SS의 감량율은 각각 23.2%, 24.7%, 19.7%로 나타났다. 한편, 소화과정 중 미생물상의 변화는 각 혼합반응조 모두 유사한 결과를 보여주었다. 총 세균수의 경우, 반응 최종일까지 상당량의 미생물이 존재하는 것으로 나타났으며, 대장균 등의 분변성 장내세균의 경우에는 반응 10일째 대부분이 사멸되는 것으로 나타났다. 반면, 포도상구균의 경우, 반응기간 내내 완만한 감소세를 보이며 최종 반응일 까지 1,000~5,000 CFU/mL 정도의 개체수가 유지되는 것으로 관찰되었다.

핵심용어 : 음식물폐수, 축산폐수, 혐기소화, 병원균, 위생성

1. 서론

인류는 화석연료의 남용에 따른 에너지 고갈과 이로 인한 지구온난화 현상으로 이를 대체할 환경친화적이고 재생가능한 대체에너지의 개발을 고대하고 있다. 최근, 국내에서는 음식물폐수, 가축분뇨, 슬러지 등의 유기성폐기물들이 석유자원을 대체할 차세대 주요 에너지원으로 각별한 관심을 받고 있는데, 이는 이들이 현실적으로 구현가능한 대체바이오에너지란 측면과 함께 그 동안 이들이 투기되어 왔던 해양생태계의 보호와 아울러 각종 환경협약에 따른 국제적 압력에 대한 적극적 대응방안이란 차원에서 국가적으로 크게 환영을 받고 있기 때문인 것이다. 따라서 유기성폐기물을 적절한 바이오에너지로 전환하기 위한 기술의 개발 및 이를 정착시키기 위한 실효성 있는 정책이 매우 시급한 실정이라 할 것이다.

유기성폐기물을 바이오에너지로 전환하는 기술 중 혐기소화를 통한 바이오가스의 생성기술은 매우 보편적이고 구현성이 높은 기술이라 할 수 있다. 한편, 유기성폐기물의 혐기소화 시 이를 단독처리할 경우보다 혼합처리할 경우 처리효율이 매우 높아지는데, 이는 혼합을 통하여 혐기소화에 적절한 물리, 화학적 특성이 결합된 결과인 것이다. 가령, 음식물폐수의 경우, 낮은 pH와 높은 C/N비 및 염분농도의 물리화학적 특징이 있으며, 축산분뇨의 경우엔 반대로 C/N비가 낮고 높은 암모니아에 의해 pH의 농도가 높은 경향이 있는데, 이

를 혼합 시 양쪽의 단점을 보완함으로써 최적의 혐기발효조건을 충족시켜 줄 수가 있는 것이다. 따라서 음식물폐수와 축산분뇨의 적절한 혼합은 혐기소화율을 높여 결과적으로 바이오가스의 생성률을 높이는 경제적인 방법이라 할 것이다^{1,2)}.

한편, 혐기소화과정을 거쳐 생성된 소화슬러지는 특성에 따라 다양한 목적으로 재이용이 가능한 데 이들 중 작물의 비료 또는 토양개량제로서의 활용에 각 나라별로 많은 관심을 기울이고 있다. 슬러지를 토양에 적용하기 위한 주요 관건은 슬러지의 안정화와 병원성균의 감소에 관한 것이라 할 수 있다. 이에 따라, 미국 및 유럽 선진국에서는 슬러지의 처분과 사용에 대한 법규를 제정하여 이를 적용하고 있으나³⁾, 국내의 경우엔 이에 대한 법적 대안이 매우 미흡한 실정이다.

소화슬러지의 안정성 및 위생성은 적용되는 혐기소화방법과 과정에 따라 큰 차이를 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 특히 소화슬러지의 위생성에 큰 영향을 미치는 요인으로는 온도와 pH를 들 수 있다. 소화과정의 적절한 온도와 pH, 시간 등은 최종 슬러지로부터 인간과 가축의 안전을 도모하며 주변환경의 오염을 차단시킬 수 있는 주요 요인이 되고 있으며, 이에 따라 온도 저항성이 강한 살모넬라나 포자를 형성하는 병원성세균을 포함하여 많은 종류의 장내세균들에 대한 치사온도의 범위가 결정되어 이에 따른 슬러지 내 병원성세균 문제를 해결할 수 있는 효과적인 방안이 제시되고 있다^{4,5)}. 최근의 혐기소화방법은 주로 50°C를 넘는 고온에서

운전되고 있으며, 이중 고온과 중온을 연계한 이상 혐기소화공정 (TPAD)이 소화슬러지의 안정화 및 위생성에 매우 효과적인 방법으로 잘 알려져 있다^{6,7)}.

본 연구에서는 55°C의 고온의 회분식 혐기소화과정을 통하여 음식물폐수와 양돈분뇨를 채취하여 이들의 혼합비에 따른 이화학적 성상의 변화 및 병원성균을 포함한 미생물상의 변화를 파악함으로써 최대의 유기물 제거효율을 도출하기 위한 최적의 혼합비율 및 소화액의 위생성을 점검할 수 있는 기초자료로 활용할 목적으로 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료의 채취 및 보관

본 실험에 사용된 축산폐수는 P시의 개인양돈농장에서 채취하였고, 음식물폐수는 B시 종합폐기물처리장에서 이물질 선별과 혼합과정을 거친 탈리액을 사용하였다. 채취한 폐수는 각각 2mm sieve에 체거름 한 후, 실험 전까지 4°C 냉장보관 하였으며, 실험직전 두 폐수를 혼합 교반하여 사용하였다.

2.2. 환경요인 분석방법

BOD₅, COD_{Cr}, SS, TN, PO₄-P, ammonia, C/N비, pH 등을 측정하였다. BOD₅ 및 SS는 수질오염공정시험방법⁸⁾을 이용하였고, COD_{Cr}, TN, PO₄-P, ammonia는 Spectrophotometer (HACH DR4000U)를 이용하여, HACH사에서 제조된 vials을 이용하였다. 제공된 vials 중 COD_{Cr}은 Reactor digestion method (Closed Reflux, Titrimetric method), TN은 Persulfate digestion method, PO₄-P는 PhosVer3 method, ammonia는 Salicylate method에 준한다. DO는 YSI (Model-58)을 이용하여 격막전극법으로 분석하였고, C/N비는 carbon과 nitrogen의 비를 나타냄이 적합하나, 본 연구에서는 COD/TN비로 계산하였다.

2.3. 소화슬러지의 미생물학적 안정성 평가

소화슬러지의 미생물학적 안정성 평가는 슬러지의 혐기소화 전후의 총균수 및 병원성균수를 비교하여 평

가하였다. 총 균수 (Total Colony)는 종속영양 총세균수를 계수하였으며 각 시료를 적당량 희석한 다음, NA (Nutrient Agar) 배지에 도말한 후 37°C에서 3일간 배양하여 형성된 집락을 계수하였다. 병원성균으로 식중독의 원인균인 황색포도상구균 (Staphylococcus aureus)은 페트리펄름배지 (PetriFilm, 3M Co., USA)를 이용하여 배양한 후 계수하였다. 대장균 (Escherichia coli), 대장균군 (Coliform), 장내세균 (Enterobacteriaceae) 등의 분변오염 지표세균과 효모 (Yeast) 등은 각 시료를 적당량 희석 후, 페트리펄름배지 (PetriFilm, 3M Co., USA)에 1mL을 접종하여 35°C에서 24시간~48시간 배양한 후, 제조사의 매뉴얼에 따라 계수하였다.

2.4 회분식 혐기소화 반응

유기성폐수의 최적 혼합비율을 도출하기 위한 회분식 반응은 각 혼합비율별로 1L bottle의 반응조에 working volume 500mL을 사용하였다. 각 반응조는 반응 전 질소가스를 주입하여 10분간 탈기시킨 후 곧바로 밀봉하여 55°C의 shaking waterbath을 이용하여 실험하였다. 각 시료의 측정은 10일 간격으로 4차례에 걸쳐 측정하였으며, 각 회당 10mL을 취하여 측정조건에 맞춰 희석한 후 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 유기성폐수 및 혼합비율별 이화학적 성상

본 실험에서 사용된 음식물폐수 및 축산분뇨 시료의 혼합 전 이화학적 성상 및 각 혼합비율에 따른 변화를 [Table 1]에 나타내었다. 축산폐수와 음식물폐수는 각각 80:20, 65:35, 50:50, 35:65, 20:80의 비율로 5개조로 혼합하여 실험하였고, 각각의 혼합폐수에 대해서는 3회 반복시험의 평균값을 알아보았다. 축산폐수와 음식물폐수의 혼합 전 BOD₅의 평균농도는 각각 33,675 mg/L, 73,450 mg/L로 확인되었고, COD_{Cr}는 각각 78,100 mg/L, 194,400 mg/L로 비교적 높은 농도로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, COD/TN

[Table 1] Physicochemical Characteristics of Food Wastewater(FW), Livestock Wastewater(LW), and Various Mixed Wastewater

Reactors (FW : LW)	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	SSML (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	ammonia (mg/L)	COD/TN ratio	pH
R1 (80:20)	65,730	157,330	53,790	18,300	4,250	2,010	1,112	37.0	4.6
R2 (65:35)	60,880	145,150	53,600	18,800	4,688	2,185	1,250	31.0	5.2
R3 (50:50)	53,720	126,760	52,775	19,100	5,363	2,330	1,7152	3.6	5.7
R4 (35:65)	47,600	121,610	51,805	19,300	5,738	2,670	2,312	19.4	6.1
R5 (20:80)	40,150	118,320	51,233	19,700	6,626	2,710	2,638	14.0	6.6
Livestock Wastewater (LW)	33,675	78,100	50,833	21,300	7,083	2,983	3,430	11.0	7.1
Food Wastewater (FW)	73,450	164,400	54,750	17,200	3,480	1,760	498	47.2	4.0

비는 축산폐수의 경우 평균 11.0을 보여 COD_{Cr}가 TN에 비해 다소 낮은 것으로 확인되었고, 음식물폐수의 경우는 평균 47.2 정도로 비교적 높은 값을 보임으로써 각 폐수의 COD/TN비의 특징을 잘 반영하고 있었다. 축산폐수내 암모니아 농도는 3,430 mg/L를, pH는 7.1를 보인 반면 음식물폐수는 498mg/L와 pH 4.0을 보여 대조적인 차이를 나타냈다. Kayhanian과 Hardy는 유기성폐수의 효율적인 혐기소화를 위한 적정 C/N ratio가 20~30정도로 보고하고 있으며¹⁰⁾, Sterling 등은 암모니아의 농도가 3,000mg/L 이상일 때 혐기소화에 저해를 일으키고, 수소발생에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다¹¹⁾. 따라서 혐기소화에 적절한 조건을 갖추기 위해서는 두 폐수의 적절한 혼합이 요구되며 본 실험에서는 음식물폐수와 축산폐수의 비율이 50:50 일 때 가장 적합한 조건을 충족시키는 것으로 사료된다.

3.2 각 유기성폐수내 미생물 분포 특성

축산폐수 및 음식물폐수 내 총 세균 및 미생물의 분포도는 [Table 2]와 같다. 두 폐수내 총 세균수는 음식물폐수에서 두 배 정도의 높은 수치를 보였으나, 대장균을 비롯하여 대장균군, 장내세균 등의 분변성 세균이 검출되지 않았다. 이는 pH가 낮은 음식물폐수에서 산성에 민감한 장내세균들의 생육이 저해되고 있음을 보여주는 결과라 할 것이다. 축산폐수는 음식물폐수보다 총 세균의 숫자가 적었음에도 불구하고 대장균 등의 분변성 장내세균이 많이 검출되어 분뇨에 의한 특징적인 장내균총의 분포특성을 보여주었다. 대표적인 병원성균인 황색포도상구균 (*S. aureus*)의 경우, 상대적으로 pH에 강한 면모를 보이며 음식물폐수에도 상당량 검출되었다.

[Table 2] Number of various Microorganisms in Food and Livestock Wastewater

(단위 : CFU/mL)

	Total Colony	Enterobacteriaceae	Coliform	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	Yeast
livestock wastewater	4.50 × 10 ⁶	1.13 × 10 ⁵	6.35 × 10 ⁴	1.82 × 10 ⁶	4.45 × 10 ⁴	2.15 × 10 ⁴
food wastewater	9.15 × 10 ⁶	ND*	ND	2.70 × 10 ⁴	ND	1.20 × 10 ⁴

*ND : Not Detected

3.3 혼합비율별 혐기소화에 따른 이화학적 성상 변화

고온 회분식 혐기소화 실험은 음식물폐수와 축산폐수를 일정한 비율에 따라 혼합한 후, 10일 간격으로 총 40일간의 반응기간 동안 이화학적 성상변화를 살펴보았다 [Table 3]. BOD₅, COD_{Cr}, 그리고 SS의 값은 모든 반응조에서 반응시간에 따라 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. TN과 PO₄-P의 경우, 반응기간 내내 모든 혼합조에서 다소 높거나 낮은 값으로 거의 변동이 없는 결과를 보여주었으며, 암모니아는 반응기간에 비례하여 그 값이 높아지는 현상을 나타냄으로써 전형적인

회분식 혐기소화의 특징을 보여주었다. 결과적으로 COD/TN비율도 모든 반응조에서 시간의 흐름에 따라 낮아지는 결과를 보여주었다.

각 반응조별로 유기물 감량효과를 비교한 결과는 [Table 4]와 같다. 감량비율은 40일이 지난 최종반응값과 비교하여 감소율(%)로 나타내었다. 제시한 바와 같이 각 반응조에서 유사한 감량효과를 보여주고 있으나 R3에서 가장 높은 감소율을 나타내었다. 다른 혼합 반응조와 비교하여 R3에서의 상대적으로 높은 반응효과는 두 폐수의 혼합으로 인하여 저해인자인 ammonia, pH 그리고 COD/TN비가 혐기소화 조건을

[Table 3] Physicochemical Characteristics of various Mixed Wastewater during Batch-type Anaerobic Digestion

Reactor (FW:LW)	days	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	ammonia (mg/L)	COD/TN ratio	pH
R1 (80:20)	0	65,700	157,330	53,790	4,300	2,010	983	37	4.6
	10	59,350	144,000	49,430	4,600	1,780	1,096	31	4.97
	20	58,500	140,500	49,360	4,200	2,780	1,426	33	4.82
	30	53,500	122,600	48,330	4,600	1,900	1,376	27	4.83
	40	52,650	126,400	49,830	4,400	2,320	1,452	29	4.88
R2 (65:35)	0	60,850	145,150	53,600	4,688	2,185	1,250	31	5.2
	10	60,900	146,200	52,900	4,600	3,160	2,032	32	5.6
	20	53,800	121,900	49,830	4,600	2,960	1,612	27	5.35
	30	50,750	131,200	46,930	5,400	2,240	2,162	24	5.42
	40	50,150		115,600	44,970	3,800	2,240	2,016	255.47
R3(50:50)	0	54,700	126,760	52,760	5,363	2,330	1,715	24	5.7
	10	53,600	128,800	48,890	5,600	3,640	2,730	23	5.8
	20	52,950	127,100	43,730	4,000	3,060	2,190	32	5.81
	30	50,400	121,000	45,630	5,000	2,940	2,210	24	5.68
	40	42,000	95,500	42,360	5,600	3,000	2,780	17	5.77
R4(35:65)	0	47,600	111,250	51,850	5,738	2,670	2,312	19	6.1
	10	49,900	122,200	48,830	5,900	3,760	3,292	21	6.23
	20	43,050	115,300	44,630	5,400	2,780	2,922	21	6.12
	30	42,350	99,800	45,360	5,200	2,620	3,552	19	6.3
	40	38,700	92,400	41,990	6,200	3,320	3,754	15	6.19
R5(20:80)	0	45,250	118,320	51,250	6,626	2,710	2,638	18	6.6
	10	39,950	95,800	47,350	6,100	2,460	4,544	16	6.73
	20	37,750	90,700	41,250	6,200	3,160	3,716	15	6.91
	30	37,600	90,400	43,360	6,600	3,380	5,270	14	6.92
	40	35,600	96,200	43,150	5,600	3,480	5,594	17	7.05

[Table 4] Reduction Rates of Organic Matter in various Mixed Wastewater

Reactor Parameters	R1	R2	R3	R4	R5
BOD ₅	19.9*	17.6	23.2	18.7	21.3
COD _{Cr}	19.7	20.4	24.7	16.9	18.7
SS	7.4	16.1	19.7	19.0	15.8

*Each value was calculated as the final value/the initial value x 100 (%)

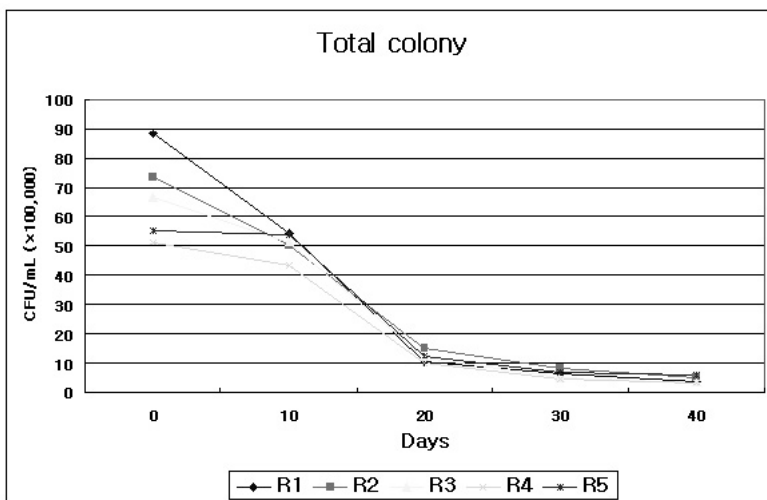
적절하게 유지시킬 수 있었기 때문인 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 추후 현장에서의 유기성폐수의 혼합에 의한 혐기소화 시 이를 반영시킬 수 있는 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

3.4 고온 회분식 혐기소화과정에 따른 각 반응조별 미생물상의 변화

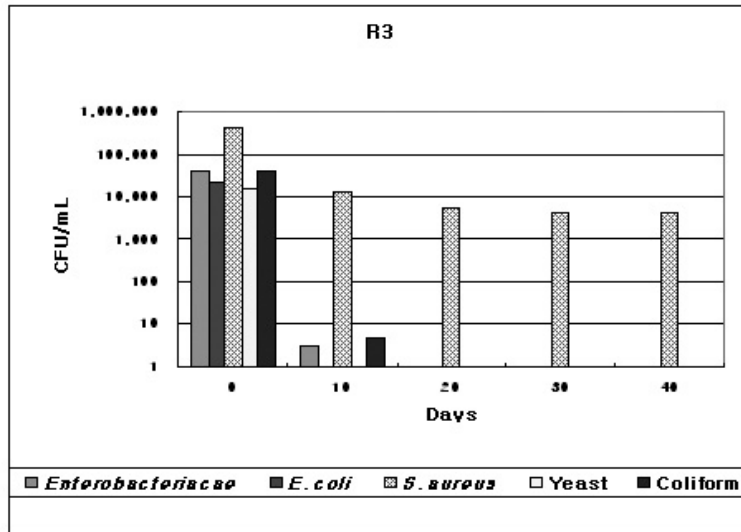
총 40일의 고온 회분식 혐기소화기간 동안 각 혼합폐수별 미생물상의 변화를 살펴보았다 [Fig. 1]. 초기에 유입된 혼합폐수의 총 균수는 R1, R2, R3, R4, R5에서 각각 8.8×10^6 , 7.4×10^6 , 6.7×10^6 , 5.1×10^6 , 5.5×10^6 의 수치를 보였으나 서서히 감소하며 40일이 지난 후

에는 3.8×10^5 , 5.1×10^5 , 3.7×10^5 , 3.4×10^5 , 6.2×10^5 의 수치를 보여 각각 95.7%, 93.1%, 94.5%, 93.4%, 88.9%의 감소율을 보였으나, 여전히 상당량의 미생물들이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 이는 고온에 비교적 강한 Bacillus 등의 유기물 분해세균 및 통성 혐기성 산 발효세균 등의 존재에 기인할 것으로 추측된다.

5개의 혼합반응조 가운데, 혐기소화가 가장 잘 일어난 R3의 경우, 대장균을 비롯한 분변성 장내세균이 반응 후 10일이 지나면서 대부분 사멸되었고 20일경에는 전혀 관찰되지 않았는데 이는 온도에 민감한 장내세균의 특성을 잘 반영하고 있다 할 것이다. 반면에, 식중독균인 포도상구균(S. aureus)은 유입폐수 내 개체



[Fig. 1] Number of total bacteria in various mixed wastewater during batch-type anaerobic digestion.



[Fig. 2] Number of various microorganisms in R3 reactor during batch-type anaerobic digestion.

수가 4.12×10^5 에서 40일이 경과한 후 4.0×10^3 이 확인되어 약 99%의 감소율을 보였지만, 완전히 감소하지는 않았다[Fig. 2]. 이 결과는 S. aureus 경우 생육온도의 범위가 넓어 고온 소화시에도 장기간 생존이 가능한 것으로 판단되며 이와 유사한 결과가 다른 연구에서도 조사된바 있다¹²⁾. 따라서 슬러지의 안정성을 위해서는 S. aureus와 같은 병원성세균의 제어방안에 대한 연구의 필요성이 제기되는 바이다.

4. 결론

본 연구에서는 처리현장에서 발생하는 가축분뇨와 음식물폐수를 대상으로 대장균을 비롯한 병원성균의 존재여부를 파악하였으며, 이들을 여러 비율로 혼합한 혼합폐수를 대상으로 55℃의 고온의 회분식 혐기소화를 실시하여 최적의 유기물 분해를 위한 혼합비율 및 혐기소화과정에서의 미생물의 변화를 파악함으로써 소화액의 위생성을 점검할 수 있는 기초자료를 수집하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 축산폐수는 음식물폐수보다 총 세균의 숫자가 적었음에도 불구하고 대장균 등의 분변성 장내세균

이 많이 검출되어 분뇨에 의한 특징적인 장내균총의 분포특성을 보여주었다. 대표적인 병원성균인 황색포도상구균 (S. aureus)의 경우, 상대적으로 pH에 강한 면모를 보이며 음식물폐수에도 상당량 검출되었다.

- 2) 혼합비율별 고온 회분식 혐기소화과정에서 최대의 유기물 감량효과를 보인 것은 음식물폐수 대 축산폐수의 비율이 50:50인 R3 반응조에서 관찰되었고, 두 폐수의 혼합에 의해 이화학적 성상 및 COD/TN비가 적절하게 유지되었다.
- 3) 혼합비율별 고온 회분식 혐기소화과정을 통하여 각 반응조 내 총 세균수는 비교적 완만한 감소세를 나타내었고 최종 반응일까지 상당량의 미생물이 존재하는 것으로 나타났다. 반면, 대장균 등의 분변성 장내세균의 경우에는 반응 10일째 결과에서 대부분이 사멸된 것으로 나타났으나 대표적인 식중독균인 포도상구균의 경우에는 반응 40일째에도 1,000~5,000 CFU/mL 정도의 개체수가 유지되는 것으로 관찰되었다. 따라서, 본 세균에 대한 철저한 위생관리 및 위생기준의 제도적 마련이 시급한 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 2009년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Carl E. Adams, Jr., Davis L. Ford, W. Wesley Eckenfelder, Jr, Development of Design and operational Criteria for Wastewater Treatment, Enviro Press, Inc., pp. 255~277, 371~382 (1981).
2. Kim, S.H., Han, S.K., and Shin, H.S., "Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge", Int. J. Hydrogen Energy, 29, pp. 1607~1616(2004).
3. R. Iranpour, H.H.J.Cox, R.J. Kearney, J. H. Clark, A.B. Pincince and G.T. Daigger, "Regulations for Biosolids Land Application in U.S. and European Union", J. of Residuals Science & Technology, 1(4), pp. 209~222(2004).
4. K.M. Lee, C.A. Brunner, J.B Farrell, A.E Eralp, "Destruction of enteric bacteria and viruses during Two-Phase digestion", J. WPCF, 61, pp. 1421~1429(1989).
5. Han, Y. and Dague, R, "Laboratory studies on the Temperature-Phased anaerobic digestion of mixtures of primary and waste activated sludge.", 69th Annual Conference of the Water Environment Federation, Dallas, Texas(1996).
6. C. Burtscher, P.A. Fall, O. Christ, P.A Wilderer, S. Wuertz, "Detection and survival of pathogens duringtwo-stage thermophilic/mesophilicanaerobic treatment of suspended organic waste.", Wat. Sci.Tech., 38(12), pp. 123~126(1998).
7. A. Huyard, B Ferran, J.M Audic, "The two phase anaerobic digestion process: sludge stabilization and pathogens reduction", Water Science and Technology, 42(9), pp. 41~47(2000).
8. 환경부, "수질오염공정시험방법." (2007).
9. Kayhanian. M, Hardy. S, "The impact of four design parameters on the performance of a high-solids anaerobic digestion of municipal solid waste for fuel gas production", ENVIRON, TECHNOL. 15(6), pp. 557~567(1994).
10. M.C. Sterling Jr., R.E. Lacey, C.R. Engler, S.C. Rice, "Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure", Bioresource Technology 77, pp. 9~18(2001).
11. Halpin-Dohnalek, M.I, and Marth, E.H., Staphylococcus aureus: Production of extracellular compounds and behavior in foods. - A review., J. Food Protect. 52(4), p. 267 (1989). 