한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 9, No. 3. pp. 154-159, August 2006

생선 폐기물의 혐기성 소화 처리(II) : Biochemical Methane Potential을 이용한 생분해도 평가

정 병 곤†
군산대학교 토목환경공학부

Anaerobic Digestion of Fish Offal(II) : Evaluation of Biodegradability Using Biochemical Methane Potential

Byung Gon Jeong†
School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

요 약

본 연구에서는 생선폐기물의 혐기성 소화처리를 위한 생선폐기물의 혐기성 생분해 특성을 평가하기 위하여 serum bottle을 이용한 BMP(Biochemical Methane Potential) test를 수행하였다. 어판장에서 배출되는 생선폐기물 중 고등어 손질 시 발생되는 폐기물 중 내장을 제외한 부분과 갈치손질 시 발생되는 폐기물 중 내장을 제외한 부분, 생선 손질 시 발생되는 내장류 3개 군을 실험대상 기질로 선정하여 사용하였다. 각각의 생선폐기물들을 분쇄 후 serum bottle에 50 ml, 100 ml, 150 ml 씩 혐기적으로 넣은 다음 BMP test를 실시하였으며 실험의 정확도를 위하여 동일 시료에 대하여 3개씩 중복으로 조제하여 실험하였다. 배양시간에 따른 누적 메탄가스 생성량과 메탄생성속도를 평가하였다. 이들 값들은 기질의 특성에 따라 다르기는 하나 통상 휘발성 고형물(Volatile Solids : VS) 1 kg당 420-470 ml의 메탄가스를 생성하는 것으로 나타났다. 기질 종류별로 볼 경우 갈치와 고등어군에 비하여 내장 군이 고형물 단위 중량당 메탄발생량과 분해속도 측면에서 모두 높은 것으로 나타났다. 대상 시료에 대하여 원소분석을 실시한 결과, C/N비는 5.2로 나타났다. 원소분석 자료를 근거로 계산한 이론적인 최종 메탄생성량은 522 ml·CH_4/g·VS로 나타났다. 이를 본 실험에서 구한 실제 최종 메탄생성량과 비교해 볼 때 생분해도는 0.847로 평가되었다.

Abstract – It is essential to understand the decomposition characteristics for developing the optimum anaerobic digestion system of organic wastes. In this study, BMP (Biochemical Methane Potential) test using serum bottle was conducted to evaluate the anaerobic degradability of fish offal. 3 different groups of fish offal including waste from mackerel and hairtail handling except viscera and fish viscera were chosen for the substrates. Grinded fish offal was transferred anaerobically to serum bottle in amounts of 50 ml, 100 ml and 150 ml, respectively. BMP test was carried out in triplicate. Cumulative methane production and methane production rate depending on incubation time were evaluated. These results varied depending on substrate characteristics. The average values of ultimate methane yield ranged between 420 ml·CH_4/kg·VS and 490 ml·CH_4/kg·VS, and the methane production and degradation rate of viscera were higher than those of other parts of fish offal. According to the analysis of elemental composition, average C/N ratio of fish offal used in this study was 5.2. Theoretical ultimate methane yield calculated from elemental composition was 522 ml·CH_4/g·VS. Biodegradability was calculated as 0.847.

Keywords: Fish offal(생선폐기물), BMP(Biochemical Methane Potential), Dry fermentation(건발효), Cumulative gas production(누적 가스 생성량), Biodegradability(생분해도)

†Corresponding author: bjeong@kunsan.ac.kr

1. 서 론

어판장에서 생선판매시 생선 손질과정에서 발생되는 어류 폐기물은 냄새를 유발할 뿐만 아니라 파리 같은 해충 문제나 여러 가지 심미적, 위생적 문제를 가져온다. 이러한 어류 폐기물은 종전까지는 종량제 봉투에 담겨진 채 배출되어 매립되었으나 2005년부터 시 지역에서는 젖은 쓰레기 직매립 금지로 인하여 매립 이외의 자원 재순환을 위한 여러 가지 다른 대안적 처리방안이 모색되고 있는 실정이다. 생선판매를 위한 손질과정에서 발생되는 폐기물은 단독으로 처리되거나 재활용되지 않고, 음식물 폐기물과 함께 처리되어진다. 현재 주로 사용되고 있는 음식물 쓰레기를 포함한 유기성 폐기물의 자원화방식으로는 퇴비화, 메탄발효, 소각/열분해 방식이 있으나, 그중 퇴비화가 가장 많이 적용되고 있다. 그러나 퇴비화는 높은 염분농도로 인하여 적용에 제한성이 있으나, 혐기성 소화공정은 폐유기물의 안정화와 메탄가스 생성을 통한 에너지 회수라는 측면에서 매력적인 대안이다. 그러나 이러한 혐기성 소화공정을 특정 폐기물의 소화처리에 적용하기 위해서는 특정 폐기물에 대한 소화특성을 규명하는 일이 선행되어야만 한다. 유기성 폐기물의 안정화 및 메탄가스 생성을 위하여 사용되는 공정은 여러 가지가 있으나 그중에서 건 발효(Dry Fermentation) 공정은 고형물을 액상에 침지시켜 소화효율을 증대시키되 액상부분은 반응조 내에서 내부반송을 통하여 재순환시켜 반응조 밖으로의 액상유출이 없도록 한 공정으로 1980년대에 들어 주로 연구되면서 DRANCO, VALORGA, BIOCEL, BIOMET, SEBAC, SOLIDIGEST 등 다양한 공정들이 개발되어 상용화되어있다(신 등[2001], 정 등[2005]). 그러나 이러한 건발효 공정은 주로 농산계 폐기물, 음식폐기물 등에 적용되어 왔으며 어류폐기물 단독처리 예는 보고된 바가 없다.

유기성 폐기물로부터 에너지를 생산할 수 있는 시스템으로서 메탄발효에 관심이 고조되면서 짧은 시간 내에 메탄생성속도 및 메탄 수율을 측정하고자 기질의 열역학적 전 처리에 의한 발효 속도의 가속화 및 생분해도 연구가 여러 연구자들에 의하여 수행되었다(Gossett[1975], Chynoweth[1978]). 생분해도란 유기성 폐기물의 생물학적 분해가능 정도를 나타내며 생물학적 폐기물 처리 시스템을 설계하는데 가장 중요한 인자로 고려되고 있다. 유기성 폐기물에 대한 혐기성 소화공정의 개발에 있어서 폐기물의 분해특성을 완전히 이해하는 것은 공정의 합리적인 설계와 소화조 운전을 하기 쉽게 하기 위하여 필수적인 것이며(Peres *et al.*[1991], Owens *et al.*[1992]), 유기성 물질의 메탄전환 수율의 최적화를 가능하게 할 것이다.

Hungate[1969]에 의해 혐기성균의 배양방법이 개발된 후 Owen *et al.*[1979]이 Biochemical Methane Potential(BMP) 측정법을 제안하였는데 이는 시험병 내의 가스발생량을 누적 메탄 발생량으로 나타내어 투입 기질에 대한 메탄수율을 계산함으로써 생분해도를 측정하는 방법이다. BMP 측정법은 Shelton *et al.*[1984]에 의해 그 기법이 향상되었으나 탄산가스의 용해로 인해 가스 발생량을 정확하게 정량하기에는 한계가 있다는 점이 단점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 Dry Fermentation 적용가능성을 검토하기 위한 선행연구로 어판장에서 생선 손질시 발생되는 생선폐기물의 혐기성 생분해도 평가를 위하여 Serum Bottle을 이용한 Biochemical Methane Potential(BMP) 실험(Owen *et al.*[1979], Shelton *et al.*[1984])을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 실험에 사용된 시료는 군산시 어판장에서 배출되는 수산계 폐기물을 사용하였다. 지역 특성상 어종별로는 고등어, 갈치에서 유래되는 폐기물이 많았고 부위별로는 내장이 가장 많았으며 기타 머리, 꼬리, 지느러미 등으로 구성되어 있었다. 따라서 실험에 사용된 시료는 군산시 어판장의 배출특성을 반영하기 위하여 어종에 관계없이 배출되는 폐기물중 내장부분만을 따로 모은 군(Viscera group)과 내장을 제외한 생선폐기물중 고등어에서 유래된 폐기물군(Mackerel group), 갈치에서 유래된 폐기물군(Hairtail group)의 3개 군으로 만들어 사용하였다. 각 시료군은 가정용 믹서를 이용하여 충분히 slurry 상태가 되게 만든 다음 종류별로 고형물 부하를 달리하여 500 ml 용량의 serum bottle에 주입하였다. 믹서로 파쇄 하여 실험에 사용한 시료의 평균 고형물 농도는 어류 종류에 따라 21~31% 정도의 분포를 보였고 내장의 경우 평균 16.5% 전후였다.

본 실험에 사용한 식종액은 군산시 하수처리장 소화조의 소화슬러지를 실험실로 이송한 후 100 mesh 체를 사용하여 불순물을 거른 후 농축하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 식종 소화슬러지의 특성은 TSS(Total Suspended Solids) 13.1 g/l, VSS(Volatile Suspended Solids) 9.2 g/l, pH 7.47이었으며 식종량은 serum bottle 용량을 기준으로 약 20%였다.

실험은 500 ml serum bottle에 혐기성 슬러지 100 ml를 넣고 여기에 어판장에서 배출되는 어류폐기물을 각각 50 ml, 100 ml, 150 ml 주입하여 실험하였다. 나머지 부피분에 대하여는 혐기성 배지로 채워 전체 용량을 300 ml로 하였다. 혐기성 배지는 Table 1과 같이 Shelton *et al.*[1984]이 혐기성 생분해도 측정에 사용하였던 방법과 같이 제조하여 사용하였다. 주입방법은 Terry and Wolin [1974]의 방법에 따라 질소가스를 치환시키면서 500 ml serum bottle에 정해진 양을 넣은 후 butyl rubber마개와 알루미늄 캡을 이용하여 이중으로 봉하였다. 알루미늄 캡은 스테인리스 밴드로 고정하였다. 모든 실험은 triplicate로 실시하였고 35°C 항온실에서 120 RPM으로 운전되는 진탕기에서 배양하였다. 또한 혐기성 배지와 식종액만을 넣은 대조시료를 동일한 조건에서 병행 운전하여 보정하였다. 실험방법의 개략도를 Fig. 1에 나타내어 놓았다.

메탄생성세균의 활성은 가스 생성속도로 평가하였다(Owen *et al.*[1979]). 즉, 혐기성 분해에 의한 유기물의 메탄가스 전환율을 파악하기 위하여 일정시간 간격으로 가스 생성량을 측정하였다.

Table 1. Characteristics of the anaerobic media for anaerobic biodegradability test. (Shelton *et al.*[1984])

Compound		Concentration (g/L)
Phosphate buffer (adjusted to pH 7.0)	KH_2PO_4	0.27
	K_2HPO_4	0.35
Mineral salts	NH_4Cl	0.53
	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.075
	$MgCl \cdot 6H_2O$	0.100
	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	0.020
Trace metals	$MnCl_2$	0.0005
	H_3BO_3	0.00005
	$ZnCl_3$	0.00005
	$CuCl_2$	0.00003
	$NaMo_4$	0.00001
	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.0005
	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	0.00005
	Na_2SeO_3	0.00005

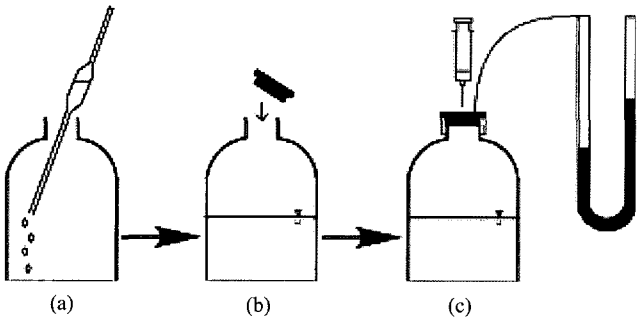

Fig. 1. Procedure for serum bottle test. (a) pouring buffer solution and seed sludge with N_2 flushing, (b) substrate injection and capping, (c) gas measuring with syringe and manometer.

가스 생성량 측정은 주사기와 Manometer를 이용하였다. 가스가 발생하게 되면 일정한 액면을 유지하고 있던 Manometer 내의 액이 압력차로 인하여 액면차가 발생하게 되므로 주사기를 이용 최초 일정한 액면 상태까지 생성된 가스를 제거시키는 방법을 이용하였다.

가스내 메탄 함량은 적외선 가스분석기(Geotechnical Instrument, GA-94A)를 사용하여 측정하였다. 생분해도 평가를 위하여 시료의 pH는 pH meter를 사용하여 측정하였고, TS(Total Solids), VS(Volatile Solids)는 Standard Methods(APHA[1998])에 준하여 실험하였으며 원소분석은 원소분석기(Elemental Analyzer, Profile HV-3)을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

수산물 폐기물에 대한 생분해도 실험시 적정 부하율을 구하기 위하여 현장에서 가져온 폐기물을 고등어군과 갈치군, 어류 내장군으로 분리하여 파쇄한 후 별도의 전 처리를 가하지 않고 이를 각각 serum bottle에 50 ml, 100 ml, 150 ml 씩 주입한 다음 시간에 따른 메탄 발생량을 평가하였으며 이들의 결과를 Fig. 2~4에 나타내었다. 발생되는 메탄생성량은 다음과 같은 식(신 등[1993])

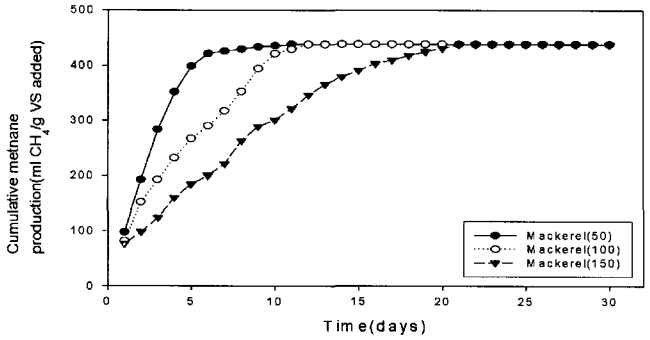

Fig. 2. Cumulative methane production of Mackerel offal during BMP test (ml·CH_4/g·VS).

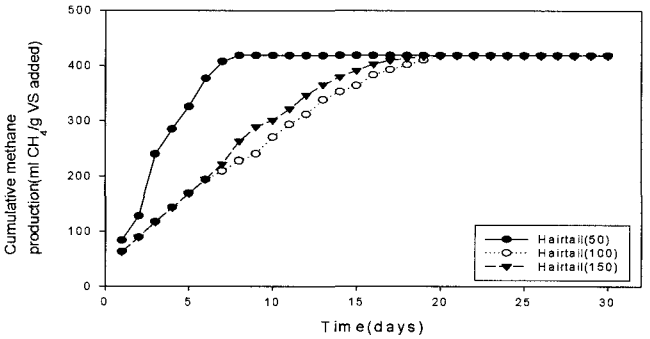

Fig. 3. Cumulative methane production of Hairtail offal during BMP test (ml·CH_4/g·VS).

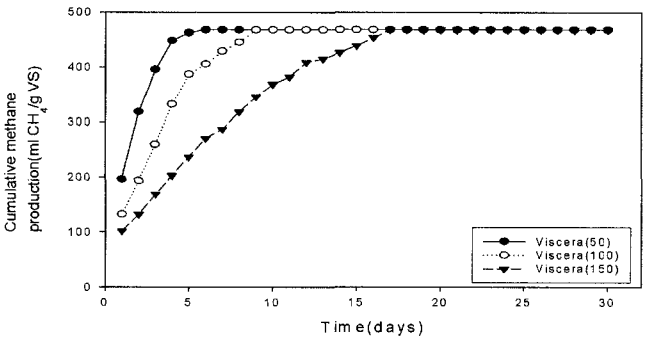

Fig. 4. Cumulative methane production of fish viscera during BMP test (ml·CH_4/g·VS).

을 이용하여 0°C, 1 atm의 STP 상태의 건조가스로 환산하였다.

$$\text{Dry } CH_4(\text{STP L/g VS}) = CH_4(35^\circ C \text{ L/g VS}) \times 273/(273+35) \times (760-42.2)/760$$

여기서, 42.2는 35°C에서의 수증기압(mmHg)이다.

운전시간 경과에 따라 각 기질 종류별로 누적 메탄발생량 및 메탄 발생속도에 다소 차이는 있으나 1 g VS당 약 420~470 ml를 나타내었다. 기질 종류별로 볼 경우 갈치와 고등어군에 비하여 내장군이 고형물 단위 중량당 메탄 발생량, 분해속도 둘 다 더 높은 것으로 나타났다.

일반적으로 미생물의 기질분해를 해석함에 있어서 기질이 제한인자이고 미생물이 충분할 때 식 (1)과 같이 시간에 따른 기질의 분해속도를 일차식으로 나타내어 표현할 수 있다. 통상 이 경우에 가수분해가 율속단계 이므로 k를 가수분해 속도 상수라고도 한다.

$$dS/dt = -kS \quad (1)$$

여기서, k = kinetic constant

S = Substrate concentration

식 (1)을 적분하여 식 (2)와 같이 표현하였다.

$$\ln(S/S_0) = -kt \quad (2)$$

반응기 내부의 생분해성 VS 농도는 직접 가스발생량과 관련되므로 Hashimoto *et al.*[1978]이 제안한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S/S_0 = (B_u-B)/B_u \quad (3)$$

여기서, B = 누적 메탄 발생량

B_u = 최종 메탄 발생량

위의 식 (2)와 (3)을 조합하면

$$(B_u-B)/B_u = \exp(-kt) \quad (4)$$

와 같다.

따라서 식 (4)에서 미생물의 적응에 필요한 지체시간을 제외하고, 시간 (t)에 대하여 $\ln(B_u-B)/B_u$의 관계를 Fig. 5~7과 같이 나타

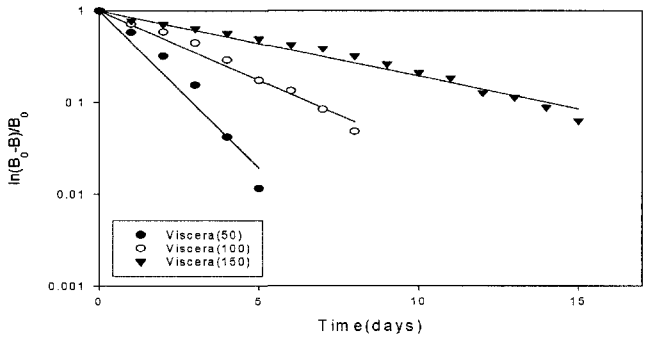

Fig. 5. Kinetic constant(k) of Mackerel offal digestion.

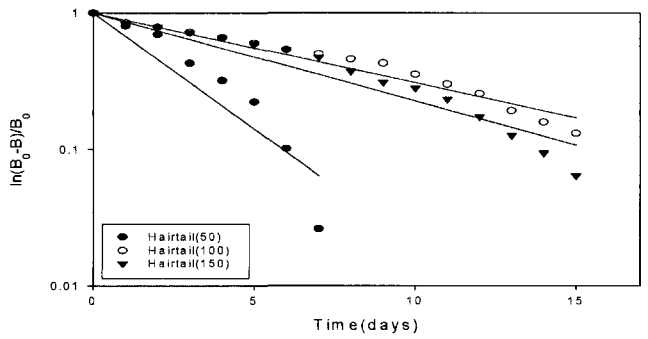

Fig. 6. Kinetic constant(k) of Hairtail offal digestion.

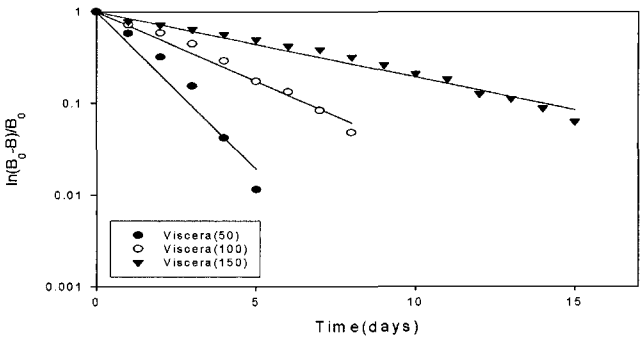

Fig. 7. Kinetic constant(k) of fish Viscera digestion.

내어 k값을 구하였다. 여기에서 구한 1차 반응속도 상수 k값은 여러 종류의 대상 기질에 대한 생분해도와 분해속도를 평가하기 위하여 사용될 수 있는 인자로 보고(Cecchi *et al.*[1991])되고 있으며 결국 반응속도상수가 크다는 것은 분해가 빠르다는 것을 나타낸다.

상관계수가 0.877~0.988이므로 분해 반응을 1차식으로 표현한 것이 적절하였다. 다른 문헌에서 조사한 값들과 본 연구에서 구한 값들을 비교하여 보면 신 등[1993]이 어류폐기물에서 최종 메탄 발생량과 속도상수 (k)값을 각각 0.379 l·CH_4/g·VS 및 0.129 d^{-1}로 보고하고 있다.

본 실험에서 구한 속도상수(k)와 최종 메탄발생량(B_u) 값은 Table 2에 정리하여 놓았다. 생선폐기물에 대하여 구한 이러한 수치는 어류에 대한 생분해도 실험에서 신 등[1993]에 의하여 보고된 0.379 l·CH_4/g·VS나 Owens *et al.*[1992]의 음식폐기물에서의 g·VS당 메탄 발생량인 318~349 ml에 비하여는 다소 높은 값을 나타내었다. 한편 Chynoweth *et al.*[1993]이 음식폐기물에서 연구 보고한 540 ml·CH_4/g·VS_{added} 보다는 낮은 값을 박[1999]이 생선폐기물에 대하여 보고한 477 ml·CH_4/g·VS와는 유사한 값을 나타내었다.

한편, 실험에 사용한 어류 폐기물의 원소조성을 파악하기 위하여 어판장에서 가져온 어류 손질 폐기물을 분쇄, 건조하여 원소분석하였다. 사용된 생선폐기물 3개군에 대한 최종 메탄생성량은 g·VS당 420-470 ml로 종류에 따라 큰 차이를 나타내지 않았으므로 종류에 관계없이 각 시료를 혼합한 어류 폐기물을 시료로 사용하여 원소분석을 실시하였다. 분석된 원소조성을 통하여 이론적

Table 2. Kinetic constant(k) and ultimate methane yield of fish offal

Fish offal		Correlation coefficient	k(d^{-1})	Ultimate methane yield (l·CH_4/g·VS)
Mackerel	50 ml	0.9877	0.235	0.4380
	100 ml	0.8766	0.1382	
	150 ml	0.968	0.0614	
Hairtail	50 ml	0.8921	0.2045	0.4185
	100 ml	0.9616	0.0551	
	150 ml	0.9479	0.0739	
Viscera	50 ml	0.9615	0.3836	0.4682
	100 ml	0.9858	0.1626	
	150 ml	0.9787	0.0757	

Table 3. Average chemical compositions of fish offal used in this study

Elemental composition(%)					C/N ratio
C	H	O	N	S	C/N ratio
51.1	7.6	30.5	9.8	1.0	5.2

인 메탄생성량을 계산할 수 있다. 생선폐기물의 원소조성은 Table 3에 나타내었다.

원소분석 자료로부터 구한 분자식과 Buswell의 식을 이용하여 화학양론적인 메탄발생량을 계산하였다(Shelton *et al.*[1984], 조 등[1993]).

$$C_nH_aO_bN_cS_d+(n-a/4-b/2+7c/4+d/2)H_2O\rightarrow$$
$$(n/2-a/8+b/4-5c/8+d/4)CO_2+(n/2+a/8-b/4-3c/8-d/4)CH_4$$

이들 계산결과로부터 생선폐기물 1 g·VS에 대하여 화학양론에 근거한 이론적인 최종 메탄생성량은 522 ml·CH_4/g·VS로 나타났다. Table 2에 제시된 최종 메탄생성량의 평균치는 442 ml·CH_4/g·VS 이므로 생분해도는 0.847로 계산되었다. 이는 신 등[1993]이 생선폐기물에 대하여 보고한 값인 0.703에 비하여는 높은 값이나 박[1999] 및 조 등[1993]이 생선폐기물에 대하여 보고한 0.92에 비하여는 낮은 값이다.

한편, 원소조성으로부터 계산한 C/N비는 5.2로 나타나 조 등[1993]이 혐기성 발효에 가장 적합한 C/N비로 제시한 12~30 범위에 비하여 낮은 값을 나타내었다. 생선폐기물에 대한 다른 연구에서의 보고된 C/N비를 보면 11.2(박[1999]), 5.2(신 등[1993]) 등으로 보고되고 있어 육류 등에 비하여 비교적 낮은 C/N비를 나타내는 것으로 판단되며 이러한 특징은 혐기성 생물학적 처리 시 반드시 고려하여야할 사항으로 판단된다.

4. 결 론

수산물 폐기물에 대한 생분해도를 평가하기 위하여 활어 판매장에서 폐기물로 배출되는 고등어, 갈치, 어류내장 시료에 대하여 BMP실험을 실시하였다. 실험방법은 serum bottle에 시료를 50 ml, 100 ml, 150 ml씩 각각 혐기적으로 주입한 후 BMP를 평가하였다.

운전시간 경과에 따라 각 기질 종류별로 누적메탄생성량과 발생속도에는 다소 차이가 있었지만 kg VS당 약 420-470 ml를 나타내었다. 기질을 갈치군, 고등어군, 내장 군으로 나누어 실험해본 결과 기질 종류별로 볼 경우에는 고형물 단위중량당 메탄발생량은 주로 어류의 머리 부분과 지느러미, 꼬리 등으로 구성된 갈치군과 고등어군에서보다 어류의 내장으로 구성된 내장 군이 더 높은 값을 나타내었으며 분해속도 역시 내장부분이 더 빠른 것으로 나타났다. 대상 시료에 대하여 원소분석을 실시해본 결과 평균 C/N비는 5.2로 나타났다. 원소분석 자료를 근거로 계산한 이론적인 최종 메탄생성량은 522 ml·CH_4/g·VS로 나타나 생분해도는 0.847로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업(과제번호 20040034)의 지원을 받아 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 박남배, 1999, 혐기성 소화에 의한 음식물 쓰레기와 하수슬러지의 혼합처리, 부경대학교 대학원 환경공학과 박사학위논문.

[2] 신항식, 김상현, 2001, "유기성폐기물의 혐기성 자원화 기술", 한국폐기물학회지, 제18권 제8호, 14-21.

[3] 신항식, 문민주, 송영채, 배병욱, 1993, "생분해도 실험에 의한 주방폐기물의 혐기성소화 타당성 연구", 한국폐기물학회지, 제10권 제1호, 35-42.

[4] 정병곤, 김병효, 2005, "내부반송을 통한 슬러지층 유동화가 생선폐기물 처리용 소화조의 운전효율에 미치는 영향", 한국폐기물학회지, 제22권 제8호, 685-690.

[5] 조재경, 이진석, 박순철, 장호남, 1993, "주방폐기물의 Biochemical Methane Potential 측정", 한국폐기물학회지, 제10권 제2호, 211-217.

[6] APHA, AWWA, WPCF, 1998, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 20th Ed., American Public Health Association, Washington, D.C.

[7] Cecchi, F., Mata-Alvarez, J., Marcomini, A. and Pavan, P., 1991, "First order and step diffusional kinetic models in simulating the mesophilic anaerobic digestion of complex substrate", Bioresource Technology, Vol. 36, No. 3, 261-269,

[8] Chynoweth, D.P., 1978, "Biomethanation of giant brown kelp Macrocystis pyrifra". Paper presented at Symposium on Energy from Biomass and Waste, August 14-18, Washington, D.C. U.S.A.

[9] Chynoweth, D.P., Turick, C.E., Owen, J.M., Jerger, D.E. and Peck, M.W., 1993, "Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks", Biomass and Bioenergy, Vol. 5, No. 1, 95-111.

[10] Gossett, J.M., 1975, "Heat treatment of refuse for increasing anaerobic biodegradability", Civil Engineering Technical Report, 198, Stanford University, Stanford.

[11] Hashimoto, A.G. and Chen, Y.R., 1978, "Kinetics of methane fermentation", Biotechnol. Bioeng., Symp., Vol. 8, 269.

[12] Hungate, R.E., 1969, "A roll tube method for cultivation of strict anaerobes", NORRIS, J.R. and D.W. RIBBONS, Method in microbiology, Vol. 38. 117-132.

[13] Owen, W.P., Stuckey, D.C., Healy, J.B., Young, L.Y. and McCarty, P.L., 1979, "Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity", Water Res., Vol. 13, 485-492.

[14] Owens, J.M. and Chynoweth, D.P., 1992, "Biochemical Methane Potential of MSW Components", 5th Inter. Symp. on AD of Solid Waste, Venice, Italy, 29-42.

[15] Peres, C.S., Sanches, C.R., Matumoto, C. and Schmidell, W.,

1991, "Anaerobic biodegradability of the organic components of municipal solid wastes (OFMSW)", Proceedings of the 6th Anaerobic Digestion Symp., San Paulo, 283-291.

[16] Shelton, D.R. and Tiedje, J.M., 1984, "General method for determining anaerobic biodegradation potential", Appl. & Environ. Microbiol., Vol. 47, 850-857.

[17] Terry, L.M. and Wolin, M.J., 1974, "A serum bottle modification of the Hungate technique for cultivating obligate anaerobes", App. Microbiol., Vol. 27, 985-987.

2006년 2월 22일 원고접수
2006년 8월 14일 수정본 채택