

축산폐기물의 바이오가스화에 의한 에너지 이용 가능성 검토

이 준표¹⁾, 박 순철²⁾, 이 진석³⁾

Study on the Biogas Production from Livestock Manure

Joonpyo Lee, Soonchul Park, Jinsuk Lee

Key words : Livestock manure(축산폐기물), Biogas(바이오가스), BMP(생물학적 메탄발생량)

Abstract : 축산폐기물중 바이오가스 생산량이 많을 것으로 여겨지는 돈분(슬러리 돈사의 경우 분과 뇨)과 우분을 대상으로 BMP 방법에 의하여 바이오가스 생산량을 알아보았다. 실험결과 메탄가스 생산량은 슬러리식 돈사 돈분뇨가 가장 많은 330-402ml/gVS, 다음으로 채래식 돈사 돈분이 316-349ml/gVS, 그리고 스크래퍼식 돈사 돈분은 244-281ml/gVS를 보여 에너지 이용측면에서 볼 때 슬러리식 돈사 돈분뇨를 우선적으로 바이오가스화하여 이용하는 방안을 고려해야할 것으로 판단되었다. 우분의 경우 137ml/gVS로 매우 적은 메탄가스 생산량을 보임으로써, 바이오가스화보다는 퇴비화와 같은 다른 처리방법을 채택하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

Subscrip

BMP : biochemical methane potential

TS : total solid

VS : volatile solid

많을 것으로 여겨지는 돈분(슬러리식 돈사의 경우 분뇨)과 우분을 대상으로 Biochemical Methane Potential(BMP) 방법에 의하여 바이오가스 생산가능량을 조사하므로써 축산폐기물의 혐기성 소화공정 도입시 참고자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

최근 한미 자유무역협정(FTA)이 타결됨에 따라 우리나라 축산농가에도 상당한 영향이 있을 것으로 추정되고 있으며, 또한 2012년부터는 축산폐기물의 해양투기가 전면 금지되어 이의 저비용 고효율 처리방법 개발이 요구되고 있다.

혐기성 소화는 일반적으로 고농도 유기성 폐수나 슬러지의 안정화 처리를 목적으로 도입되었으나, 최근에는 폐수처리보다는 고품(고상) 유기성 폐기물의 처리와 동시에 바이오가스의 생산 이용을 목적으로 이용되고 있다.

축산폐기물의 혐기성 소화는 주로 축산폐수의 처리를 위하여 간혹 적용되어 왔으며, 최근 축산분뇨의 혐기성 처리공정이 일부 농가와 축산분뇨처리장에 시설되었으나, 이는 혐기 소화조 유입 전 고형물(유기물)의 상당부분을 제거하여 혐기성 소화를 하므로써 축산분뇨의 혐기성 소화보다는 축산폐수의 처리 개념에 가깝다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 바이오가스 생산량이

2. 축산폐기물 발생 및 처리현황

우리나라의 축종별 축분 및 축산폐수의 발생량은 <Table 1>의 산정 기준을 적용하여 통계화하고 있으며, 이 산정기준을 적용하여 2003년 현재의 축분 및 축산폐수의 발생량을 추정하면 <Table 2>와 같이 산출된다¹⁻²⁾.

축산폐수 처리시설은 <Table 3>과 같이 퇴비화 시설이 가장 많이 설치되어 있으며, 그 다음으로 액비화 시설, 정화처리시설 순이다¹⁾.

축분의 처리시설은 별도의 통계자료 없이 축산폐수 처리시설에 합산하여 통계화 되고 있는

1) 한국에너지기술연구원
E-mail : bmjplee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3551 Fax : (042)860-3739
2) 한국에너지기술연구원
E-mail : bmscpark@kier.re.kr
Tel : (042)860-3557 Fax : (042)860-3739
3) 한국에너지기술연구원
E-mail : bmjslee@kier.re.kr
Tel : (042)860-3553 Fax : (042)860-3739

Table 1 축종별 축분 및 축산폐수 산정기준

구분	산정기준	
	축분 (kg/일.두)	축산폐수 (L/일.두)
돼지	2.3	8.6
소.말	10.1	14.6
젓소	24.6	45.6

Table 2 축종별 축분 및 축산폐수 발생량

구분	축분 (톤/일)	축산폐수 (m ³ /일)
돼지	25,410	95,015
소.말	16,710	23,875
젓소	17,032	31,593

Table 3 축산폐수 처리시설

시설(개소)	허가대상	신고대상
정화처리시설	515	1,076
퇴비화시설	8,476	35,841
액비화시설	780	2,567
위탁처리	829	3,120

데, 이중 퇴비화 시설이 축분의 처리시설로 볼 수 있으며, 혐기성 소화 처리시설은 근래에 들어 소규모로 3-4군데에 시설되어 있는데, 이 역시 폐수의 처리 개념 혹은 액비화의 개념 수준에 머무르고 있는 실정이다.

돈분뇨의 경우 돈사의 형태에 따라 크게 재래식과 스크래퍼식 그리고 슬러리식으로 구분하는데, 이들 돈사 형태에 대한 사육규모의 통계는 거의 없으나, 재래식의 경우 관리의 어려움으로 인하여 점차 사라지고 있으며, 분과 뇨가 분리 배출되는 스크래퍼식은 소규모 축산농가(신고대상 또는 신고미만)에서 행해지고 있고, 분과 뇨가 통합되어 배출되는 슬러리식은 기업축산(허가대상)과 같은 대규모 축산업에 적용되고 있다³⁾.

3. 축산폐기물의 바이오가스 생산량

축산폐기물의 바이오가스 생산량은 비교적 간단한 실험을 통하여 얻을 수 있는 BMP 측정방법⁴⁾을 이용하였다.

3.1 실험재료 및 방법

실험에 사용된 축분은 돈분(재래식, 스크래퍼식, 슬러리식)과 우분(한우)을 각각의 농장을 방문하여 채집하여 성상 분석후 냉동건조하여 실험에 사용하였으며, 그 성상을 <Table 4>에 나타내었다.

스크래퍼식 돈사의 경우 고형물 함량과 휘발성 고형물 함량이 서로 차이를 보이는데, 이것은 배설 이후 시차에 따른 시료 채취과정에서 오류

Table 4 실험시료의 성상

구분	구분	TS(%)	VS(% of TS)	비고
돈분	재래식	27.24	86.27	P01
		26.74	84.84	P02
	스크래퍼식	20.99	81.21	PS1
		33.93	87.50	PS2
	슬러리식	3.14	56.76	PR1
		10.00	75.44	PR2
우분 (한우)	23.98	81.10	C1	

가 있었던 것으로 추정된다. 슬러리식 돈사의 경우에는 돈사내에 체류하는 시기와 청소수 등의 사용량에 따라 휘발성 고형물의 함량과 고형물 함량에 많은 변화가 있는 것으로 나타났다.

실험장치 및 실험방법은 [Fig.1]에 나타낸 바

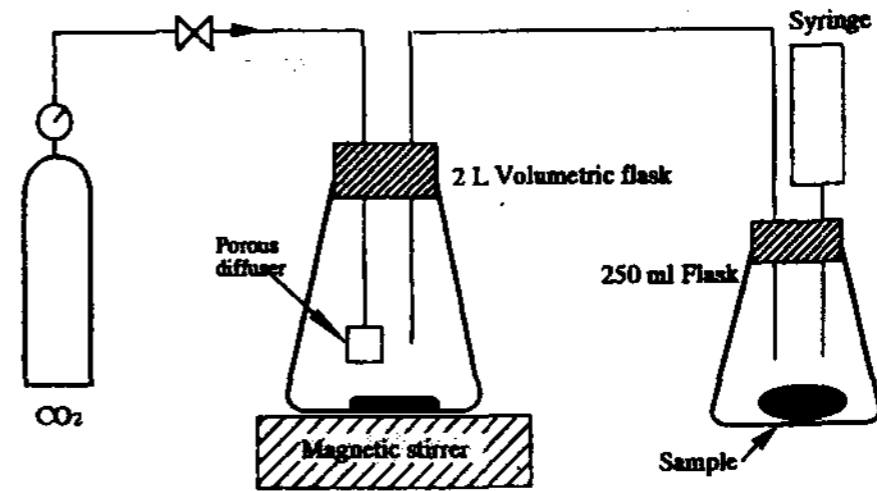


Fig.1 바이오가스화 실험장치

와 같이 2ℓ 플라스크에 탈이온수 1ℓ를 넣은 다음 산소 오염 감지위해 resazurin 0.0072g 첨가하고, (NH₄)₂HPO₄ 0.1442g 첨가한 다음 <Table 5>의 용액 27ml를 넣고 탈이온수를 1,800ml까지

Table 5 Nutrient solution (Nutrients in 100ml solution)

CaCl ₂ · 2H ₂ O	1.67g	H ₃ BO ₃	0.038g
NH ₄ Cl	2.66g	CuCl ₂ · 2H ₂ O	0.018g
MgCl ₂ · 6H ₂ O	12g	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.017g
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.133g	O	0.014g
KCl	8.67g	ZnCl ₂	0.2g
		CoCl ₂ · 6H ₂ O	

채운 다음 1ℓ/min 유속의 CO₂(70%)-N₂(30%) 가스로 치환하면서 15분 동안 끓이고 다시 상온으로 식히며, 여기에 <Table 6>의 용액 1.8ml와 FeCl₂·4H₂O 0.66g을 첨가하고 환원 분위기를 제공하기 위해 Na₂S·9H₂O를 0.9g 첨가한 다음 8.4g NaHCO₃를 분말로 넣고 배지 pH가 7.2로 될 때까지 CO₂(70%) -N₂(30%) 가스로 폭기 하였다. 이상과 같이 조제된 배지에 식종슬러지 200ml 첨가하고 [Fig.1]과 같이 각각의 시료(0.4gVS)가 담겨진 250ml 용량의 삼각 플라스크에 위와 같이 조제된 액을 200ml씩 혐기조건하에서 첨가하여 37℃에서 배양하였다.

Table 6 Vitamin solution
(Vitamins in 1,000ml solution)

Biotin	0.02g
Pyridoxine hydrochloride	0.1g
Riboflavin	0.05g
Nicotinic acid	0.05g
p-Aminobenzoic acid	0.05g

실험에 사용된 식중슬러지는 D시 하수종말처리장의 소화조 슬러지를 사용하였으며, 시료의 순수 바이오가스(메탄) 발생량을 측정하고자 기질을 첨가하지 않은 공시체(blank)에도 같은 양의 식중슬러지를 첨가하여 계산과정에서 식중슬러지로 인한 바이오가스(메탄) 발생량을 보정하여 주었다.

발생가스량 측정은 실리콘 고무마개로 막은 삼각플라스크 내부로 주사기침(Hamilton 90022)을 넣고 피스톤을 상하로 움직여서 삼각플라스크 안이 대기압과 평형인 상태에서 측정하는 다음 표준 상태로 환산하였으며, 메탄함량 측정은 GC(HP-5890A)를 이용 삼각플라스크 안의 가스를 뽑을 때마다 삼각플라스크 내부로 직접 분석용 주사기(Hamilton 81320)로 채취하여 조성을 분석하였고, TS와 VS는 Standard method⁵⁾에 의하여 분석하였다.

3.2 결과 및 고찰

실험에 사용된 식중슬러지는 TS 2%, VS 50%(TS 대비) 내외였으며, 식중슬러지에 의한 가스 발생은 첫날 4ml가 발생한 이후 더 이상의 가스 발생이 없어 식중슬러지의 활성이 떨어지는 하였으나, 식중슬러지의 활성으로 인한 시료의 바이오가스 생산량에는 거의 영향이 없었다.

재래식 돈사에서 배출되는 돈분의 바이오가스화 실험결과는 [Fig.2]에서 같이 메탄함량은 두 시료에서 비슷한 값으로, 실험초기에 CO₂의 함량

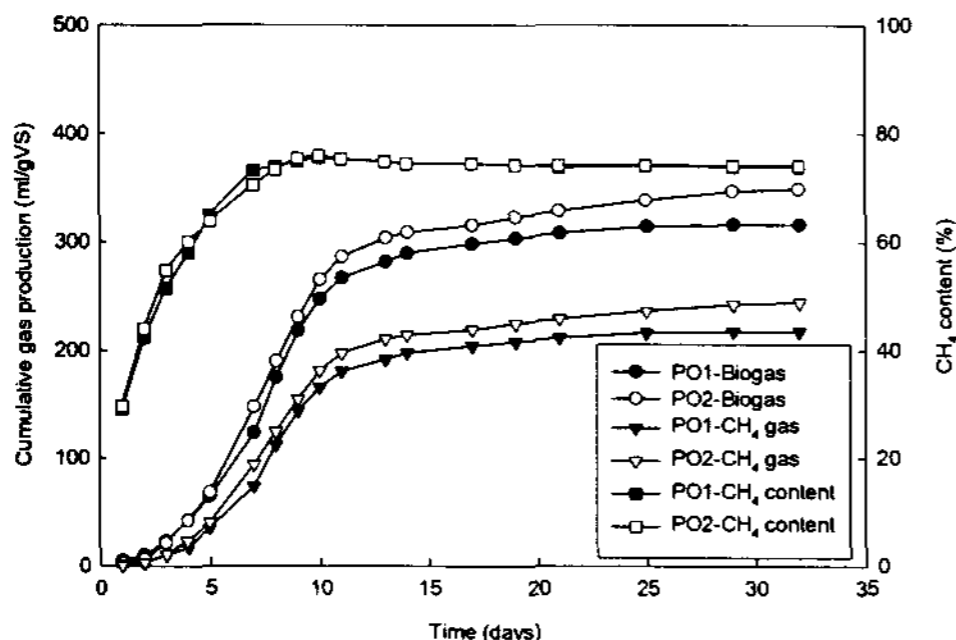


Fig.2 재래식 돈사 돈분의 바이오가스화 실험결과

이 높으나, 이후 증가하여 10일 이후부터는 메탄함량이 75%를 상회하였으며, 바이오가스의 발생량과 바이오가스중의 메탄가스량은 실험 10일경

까지 급격한 증가를 보이고 이후에는 완만하게 증가하는 것으로 나타났다.

스크래퍼식 돈사에서 배출되는 돈분의 바이오가스화 실험결과는 [Fig.3]에서 같이 두 시료 모

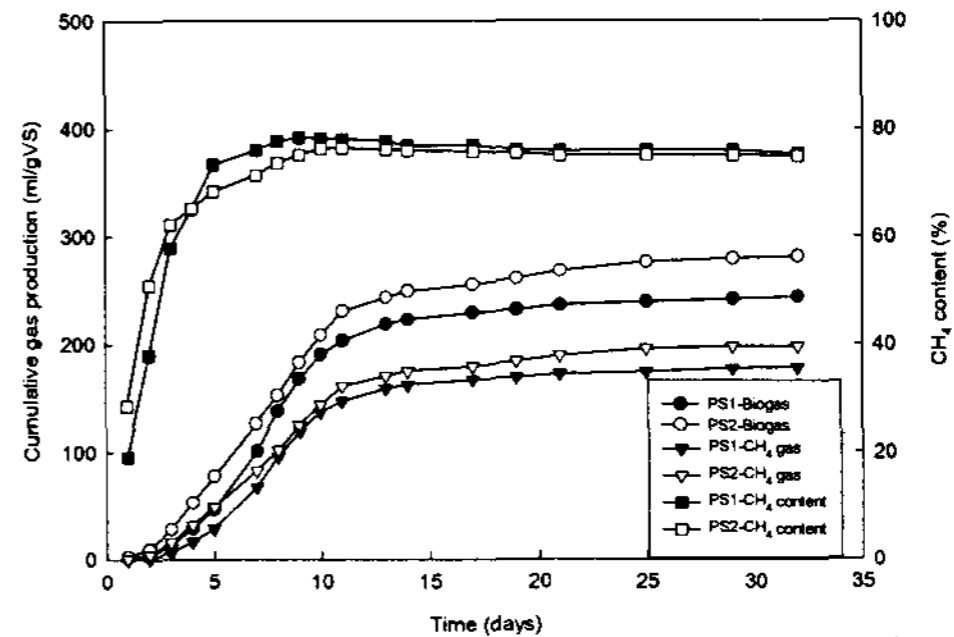


Fig.3 재래식 돈사 돈분의 바이오가스화 실험결과

두 메탄함량은 재래식과 비슷하였으며, 바이오가스량과 바이오가스중의 메탄가스량은 두 시료간에 약간 차이가 있는 것으로 나타났는데, 이는 앞서 설명한 바와 같이 시료가 돼지의 배설 이후 시차에 따른 시료의 채취 때문에 쉽게 분해 가능한 유기물의 손실이 있었을 것으로 추정된다.

슬러리식 돈사에서 배출되는 돈분의 바이오가스화 실험결과는 [Fig.4]에 나타내었으며, 그림

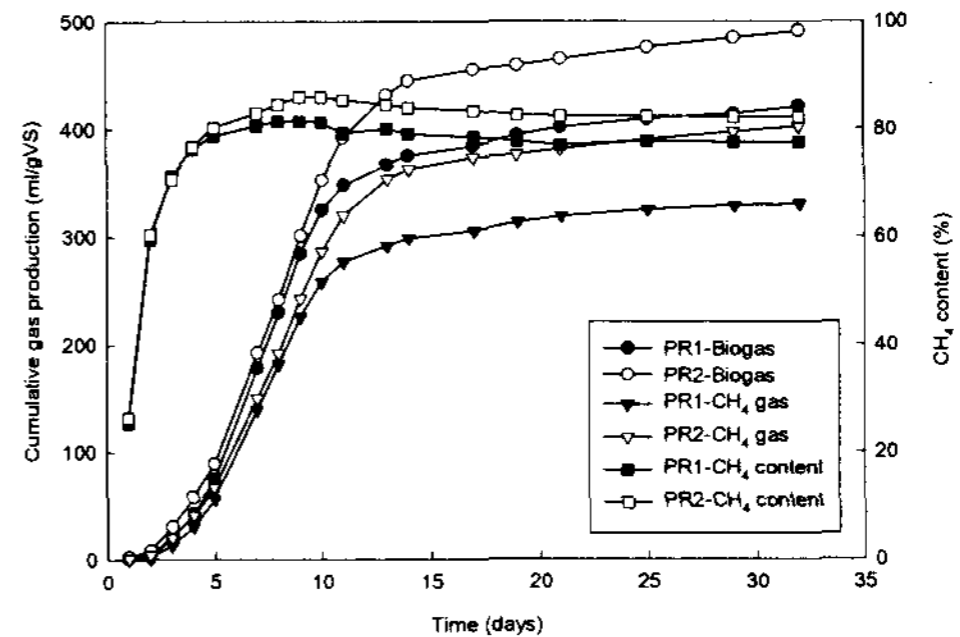


Fig.4 슬러리식 돈사 돈분의 바이오가스화 실험결과

에서와 같이 두 시료의 메탄함량과 그 변화패턴은 비슷하였지만 바이오가스과 바이오가스중의 메탄가스량에서는 현격한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이것은 고형물 함량과 휘발성 고형물 함량에서도 크게 다른데서 원인을 찾을 수 있는 것으로 풀이된다.

한편, 우분의 경우 한 개의 시료만을 취하여 실험을 수행하였는데, 실험결과는 [Fig.5]에 나타내낸 바와 같이 메탄함량은 돈분의 재래식이나 스크래퍼식과 비슷하게 나타났으나, 바이오가스량과 바이오가스중의 메탄가스량은 돈분에 비해 훨씬 적은 것으로 나타났다. 이는 소의 사료에 비교적 생분해가 쉽지 않은 cellulose계가 많이 포함된 까닭으로 보인다.

이상의 실험결과를 요약하여 <Table 7>에 나

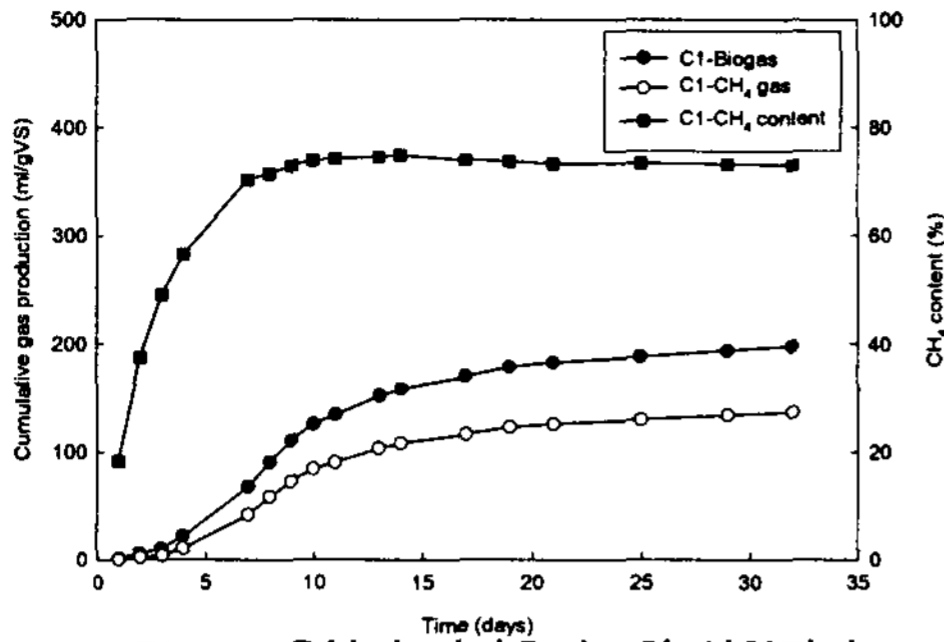


Fig.5 우분의 바이오가스화 실험결과

Table 7 축산분뇨의 바이오가스화 실험결과

구분	바이오가스 (ml/gVS)	메탄가스 (ml/gVS)	평균메탄 함량(%)	비고	
돈분	재래식	315.8	217.2	68.8	P01
		348.7	244.1	70.0	P02
	스크래퍼식	243.5	178.2	73.2	PS1
		280.9	197.9	70.4	PS2
	슬러리식	490.6	402.1	82.0	PR1
		420.4	330.0	78.5	PR2
우분 (한우)	197.8	136.9	69.2	C1	

타내었는데, 표에서 보듯이 돈분의 바이오가스 발생량은 슬러리식 돈사의 돈분이 가장, 많은 420-490 ml/gVS를 보였으며, 다음으로 재래식과 스크래퍼식이 각각 316-349ml/gVS, 244-281 ml/gVS를 보였고 바이오가스중의 메탄가스량은 슬러리식, 재래식, 스크래퍼식 각각 330-402 ml/gVS, 217-244ml/gVS, 178-198ml/gVS를 보여 슬러리식 돈사 분뇨의 경우 우리나라 음식물 쓰레기⁵⁾ 다음으로 메탄가스량이 많은 것으로 나타났다. 그러나 Batzias⁷⁾, 신⁸⁾ 등이 보고한 돈분의 바이오가스 발생량인 649ml/gTS, 430 ml CH₄/gVS와 비교할 때 전반적으로 낮게 나타났으며, 돈사의 형태와 시료 채취 농장에 따라서도 다소 차이를 보였다. 이는 항생제나 소독제의 사용량 등에 영향을 받았을 것으로 추정되며⁹⁻¹⁰⁾, 따라서 이들 영향인자에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

실험기간중 평균 메탄함량은 슬러리식, 재래식, 스크래퍼식 순으로 79-82%, 69-70%, 70-73%를 나타내었다. 평균 메탄함량이 이같이 높은 것은 가스의 량을 측정하기 전까지 발생된 가스가 삼각플라스크에 머물러 있기 때문에 이때 CO₂가 배지에 용해되어 상대적으로 CH₄의 함량이 높게 측정되기 때문이다. 따라서 연속 운전되는 혐기 소화공정에서는 바이오가스량이 이보다 많이 발생할 수 있지만 에너지원인 메탄가스의 량에는 영향을 미치지 않는다.

돈분의 바이오가스화 이용은 위와 같은 실험 결과로 볼 때 재래식이나 스크래퍼식 돈사보다는 슬러리식 돈사 분뇨의 경우 우선적으로 고려해 볼 만한 가치가 있는 것으로 판단되며, 우분의 경우 바이오가스 생산량이 적어 퇴비화와 같은

다른 처리방법을 채택하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 다만, 바이오가스의 이용을 위하여는 메탄발효후 발생하는 발효액의 처리가 필수적인데, 메탄발효 폐액은 액비로서의 부숙 조건이 좋은 것으로 평가되고 있으므로¹¹⁾ 폐수처리비용의 절감과 유기질 비료의 이용 측면에서 적극적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

축산폐기물 바이오가스화에 의한 에너지 이용 가능성 검토 실험결과 돈분의 경우 재래식이나 스크래퍼식 돈사보다는 슬러리식 돈사 분뇨의 경우 우선적으로 고려해볼 만한 가치가 있는 것으로 판단되며, 우분의 경우 퇴비화와 같은 다른 처리방법을 채택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

References

- [1] 국가환경기술정보센터 “축산폐수 처리의 기본원리 및 기초기술” 실무교육자료 (2000)
- [2] 환경부 “축산폐수처리 통계 2004” (2004)
- [3] 박순철, 이준표, 이진석, 허남효, 김덕근, 이인구 “축산폐기물 바이오가스 이용 발전 타당성 조사 용역” 충청남도, 한국에너지기술연구원 연구보고서 (2001)
- [4] Owen W.P., Stuckey D.C., Healy J.B., Young L.Y. and McCarty P.L. "Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential and Anaerobic Toxicity", Water Res. 13, 485-492 (1979)
- [5] Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th Ed., ADHA, AWWA and WPCF (1985)
- [6] 박순철, 조재경, 이준표, 홍종준, 이진석 “생분해에 의한 폐기물의 에너지 및 비료화 공정개발연구” 한국에너지기술연구원 연구보고서, KE-93006G (1993)
- [7] F. A. Batzias et al. "Evaluating livestock manures for biogas production : a GIS method" Renewable Energy Vol. 30, pp.1161-1176 (2005)
- [8] 신항식, 이채영, 오세은, 송영채, 홍승모 “축산분뇨의 혐기성 생분해 특성 및 기질 농도에 따른 저해 영향평가” 유기성자원학회, 1996년도 가을학술대회 (1996)
- [9] 조미경, 투안트란홍, 김대희, 지아유홍, 안대희 “축산물 항생제 사용에 의한 축산폐수의 처리효율에 미치는 영향 조사” 대한상하수도학회, 한국물환경학회, 2006 공동 추계 학술발표회 논문집 (2006)
- [10] 원승권, 라창식 “축산폐수내 함유되어 있는 화학물질이 생물학적 처리에 미치는 영향” 대한환경공학회지, 제23권 11호, pp.1843-1851 (2001)
- [11] 정광용, 조남준, 정이근 “가축분뇨 슬러지 액비 부숙조건별 특성 비교” 한국환경농학회지 제17권 제4호, pp.301-305 (1998)