

가축분뇨와 간척지 사료작물의 메탄발생량과 생분해도

허남효***, 이승현, 김병기

Biochemical Methane Potential and Biodegradability of Animal Manure and Cultivated Forage Crops at the Reclaimed Tideland

Namhyo Heo***, Seungheon Lee and Byeongki Kim

Abstract

Anaerobic biodegradability (AB), which can be determined with the ultimate methane yield by the decomposition of organic materials, is one of the important parameters for the design and the operation of anaerobic digestion plant. In this study, Biochemical methane potential (BMP) test has been carried out to evaluate the methane yields of animal manures such as pig and cattle slurries, and different forage crops cultivated at the reclaimed tideland such as maize, sorghum, barley, rye, Italian ryegrass (IRG), rape, rush, and waste sludge produced from slaughterhouse wastewater treatment plant (SSWTP). In the ultimate methane yield and biodegradability of animal manure, those of pig slurry were 345 mICH₄/gVS_{fed} and 44.7% higher than 247 mICH₄/gVS_{fed} and 46.4% of cattle slurry (Cat. 2). The ultimate methane yield and biodegradability of spike-crop rye (Rye 1) were 442.36 mICH₄/gVS_{fed} and 86.5% the highest among different forage crops, those of the other forage crops ranged from 306.6 to 379 mICH₄/gVS_{fed} of methane yield with the AB having the range of about 60 to 77%. Therefore the forage crops could be used as a good substrate to increase the methane production and to improve the biodegradability in anaerobic co-digestion together with animal manure.

Key words

Anaerobic digestion(혐기성소화), Biodegradability(생분해도), BMP(메탄발생량), Biogas(바이오가스), Methane(메탄), Animal manure(가축분뇨), Forage crops(사료작물)

(접수일 2008. 11. 17, 수정일 2008. 12. 5, 게재확정일 2008. 12. 10)

*** 한국농촌공사 농어촌연구원 농촌자연환경연구소

■ E-mail : bionhheo@ekr.or.kr ■ Tel : (031)400-1825 ■ Fax : (031)400-1889

Subscrip

AB : anaerobic biodegradability

BMP : biochemical methane potential

IRG : Italian ryegrass

TMY : theoretical methane yield

UMY : ultimate methane yield

SWTP : slaughterhouse wastewater treatment plant

1. 서론

2000년대 접어들어 고유가 상황과 온실가스에 의한 지구온난화가 가시화 되면서 재생 가능한 에너지 개발과 자원의 효과적인 이용을 통한 자원순환사회 구축, 나아가 환경적으로 건전한 사회구현이라는 목표를 실현시키기 위하여 최근에 선진국을 중심으로 환경과 에너지 문제를 농업에서 해결하고자 하는 노력이 진행 중이다. 그 노력의 일환으로 농업분야에서 가축분뇨와 다양한 농축산바이오매스로부터 바이오가스 생산을 위한 혐기성소화 기술 개발 및 시설 보급화와 재생에너지원으로 바이오가스의 다각적인 활용 계획을 포함하고 있다.

일반적으로 농축산바이오매스는 농업과 축산업 과정에서 발생하는 주산물과 부산물의 유기체를 포함하며, 곡물, 식물, 농작물, 가축분뇨, 농공산업폐기물, 식품폐기물, 도축장폐기물 등과 같은 다양한 농산부산물을 포함한다. 농축산바이오매스의 에너지·자원화 기술의 기본개념은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 바이오매스 물질은 혐기성소화 과정에서 분해되고 부산물인 소화슬러지는 퇴·액비 형태로 농지에 환원되어 농산물 혹은 사료작물 생산을 위한 유기질 비료로 활용되며 바이오가스는 열과 전력을 생성하기 위한 에너지원 혹은 자동차 연료로 이용 할 수 있다.^(1,2)

2006년 현재 EU 27개국의 바이오가스 총 생성량은 62TWh이며, 독일의 바이오가스 생성량은 22.5TWh로 EU 생성량의 약 36%를 차지한다(Fig. 2). EU 국가와 독일의 경우 매립장과 하수처리장으로부터 발생하는 바이오가스량은 일정함에도 불

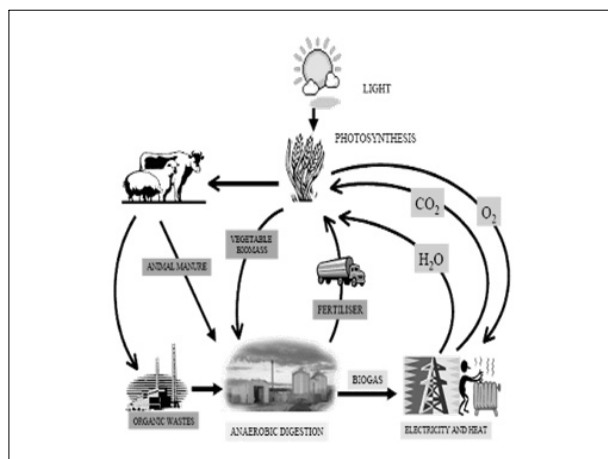
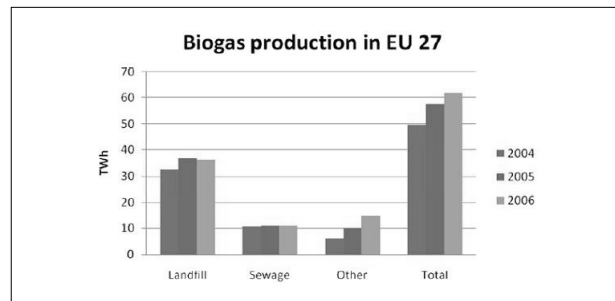


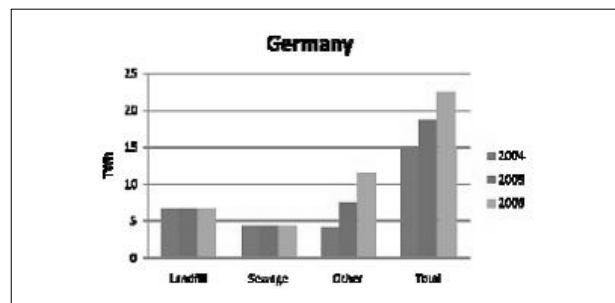
Fig. 1 Sustainable cycle of anaerobic co-digestion for agro-livestocks biomass (Source: IEA Bioenergy Task 24, 2002).

구하고 각 년도별 총 바이오가스 생성량은 지속적으로 증가하는 양상을 나타내며, 이는 가축분뇨를 비롯한 다양한 농축산 바이오매스를 혐기성소화 플랜트에서 처리하기 때문으로 보고하고 있다.⁽³⁾ 이와 같은 농축산바이오매스의 혐기성소화 기술은 온실가스 발생을 최소화하는 환경적 기능, 메탄가스와 같은 재생에너지 생산기능, 소화부산물의 농지환원을 통한 자원순환 기능을 동시에 달성 할 수 있어 EU 국가 등에서는 온실가스 감축과 동시에 각 국가별 장래 신재생에너지 목표 공급량을 충족시키기 위한 여러 대안 중의 하나로 인정받고 있다.

한편, 최근 국내 농업분야의 당면문제에 있어 DDA(Doha Development Agenda) 협상 및 한·미 FTA(Free Trade Agreement) 협상 타결은 농축산업의 생산과 소비 시장에 커다란 변화를 예고하고 있고, 특히 축산업에 있어 “에그플레이션” 현상으로 인한 사료가 폭등과 가축분뇨에 대한 환경규제 강화 및 해양배출 금지에 따른 처리비용 증가는 가축 생산비를 증가시키는 주요한 요인으로 작용하고 있다. 이에 정부는 국내 축산업의 경쟁력 제고와 더불어 생산성을 향상시키기 위한 대안으로 가축분뇨의 관리 정책을 종전의 정화처리 중심에서 퇴·액비 형태로 자원화하여 조사료 생산기반 구축을



(a)



(b)

Fig. 2 Biogas production in EU countries (a) and Germany (b) from 2004 to 2006 year (Source: Swedish Gas Centre, 2008).

통한 자연순환형 친환경 축산정책을 추진하고 있고,⁽⁴⁾ 최근 국내에서도 고유가 및 지구온난화 문제가 급부상하면서 가축 분뇨를 비롯한 다양한 농축산바이오매스의 혐기성소화에 의한 메탄가스 생성과 동시에 소화부산물을 자원으로 재이용하는 기술 개발의 필요성을 인식하고 있다.

본 연구에서는 국내의 다양한 농축산바이오매스 중 가축분뇨와 간척지에서 재배된 조사료 작물 및 초지식물의 혐기성소화 방식에 의한 처리 가능성을 평가하기 위하여 BMP test를 수행하였고, 처리대상 바이오매스의 메탄가스 발생량과 생분해도를 조사하여 바이오에너지 생산을 위한 자원으로의 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료

2.1.1 가축분뇨

본 연구에 사용된 가축분뇨는 양돈농가에서 슬러리 형태로 발생하는 돈분(pig slurry)과 배합사료와 함께 조사료로 초지류와 볏짚은 급여하는 각각의 우분(cattle slurry)을 한우농가에서 수거하였다. 한우농가의 경우 소의 생리적 특성 때문에 배합사료와 조사료를 60:40 비율로 혼합하여 먹이를 급여하는 것으로 조사되었다.

2.1.2 사료작물과 도축폐수슬러지

일반적으로 조사료 작물은 동계와 하계작물로 구분되며, 본 연구대상 시료는 화옹 간척지 조사료 시험포로부터 수집하였다. 본 연구에서는 청보리, 호밀, 유채, IRG의 동계작물과 사료용 옥수수, 수수, 갈대의 하계작물을 시료로 활용하였다. 청보리와 호밀 각각은 총채(whole-crops)와 이삭(spike-crops)을 분리한 2개의 시료로 구분하여 연구를 수행하였다. 도축폐수슬러지는 W시에서 활성슬러지공법으로 운영 중인 도축폐수처리장의 탈수슬러지를 시료로 이용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 시료 전처리 및 BMP test

수거된 시료는 dry oven의 50°C 조건에서 건조하였고, 분

쇄기를 이용하여 입경 2mm 이하로 파쇄 후 기질로 활용하였으며, 식중 소화균은 도시하수처리장 소화조로부터 채취하였다. 시료의 메탄가스 발생량과 생분해도를 평가하기 위하여 Owen 등⁽⁵⁾과 Shelton과 Tiedje⁽⁶⁾에 의해 제안된 BMP test 방법을 이용하였다.

250ml 용량의 Erlenmyer flask에 식중균 200ml와 연구대상 각 시료량 2gVS/L 주입하여 식중 혼합액(bioassay)을 제조하였고, 식중균으로부터 발생하는 메탄가스 발생량을 보정하기 위한 control 배양액(control bioassay) 1개를 준비하였다. 식중 혼합액은 일 3회 수(hand)작업에 의해 혼합하면서 35°C의 일정온도 유지가 가능한 incubator에서 약 90일 동안 배양하였다.

각 식중 혼합액으로부터 발생하는 바이오가스량을 측정하기 위하여 10ml 유리주사기를 이용하였고, 바이오가스의 메탄함량은 TCD가 장착된 GC에 의해 정성분석 하였다. 발생 바이오가스는 온도에 따른 부피팽창을 고려하여 표준상태(0°C, 1atm)의 dry gas 부피로 환산하였다.

2.2.2 생분해도 평가

혐기성 생분해도는 처리대상 물질을 구성하는 총 고형물(total solid, TS) 중 소화균에 의해 분해되는 유기물량의 정도를 의미하며, 시료의 총 휘발성유기물(total volatile solid, TVS) 중 생분해성 유기물(biodegradable volatile solid, BVS)의 비를 측정함으로써 알 수 있다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이, 혐기성소화에서 시료의 TVS(BVS+NBVS)중 BVS 부분이 바이오가스로 분해되기 때문에 실제 메탄발생량을 측정함으로써 BVS 비율을 평가할 수 있으며, BVS 분해에 따른 메탄 생성 속도는 소화조 설계시 반응조 형태나 규모를 결정하는

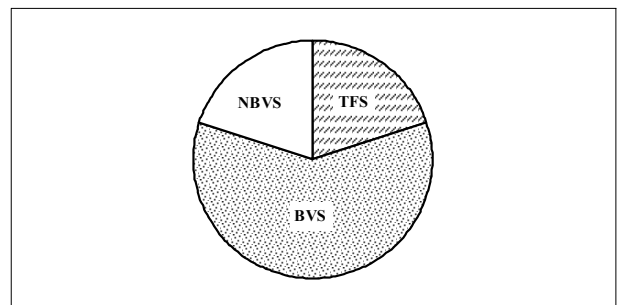
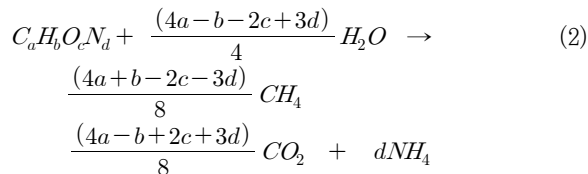


Fig. 3 Solid fraction of organic material (TS = TVS + TFS, TVS = BVS + NBVS)

중요한 인자로 고려되고 있다.⁽⁷⁾

생분해도(anaerobic biodegradability, AB)는 식 (1)에 나타난 바와 같이, 이론적 메탄 발생량(theoretical methane yield, TMY)에 대한 BMP test에서 얻어진 최종 메탄발생량(ultimate methane yield, UMY)의 백분율로 나타내며^(8,9), 이때 평가된 생분해도는 시료의 BVS/TVS 비율로 나타낼 수 있다. 처리대상 시료의 유기성분이 완전하게 CH₄와 CO₂로 분해된다고 가정 할 경우, 이론적 메탄수율은 시료의 TVS를 구성하는 원소조성에 근거하여 식 (2)의 화학양론식으로부터 계산할 수 있다.⁽¹⁰⁾

$$Biodegradability(\%) = \left(\frac{UMY}{TMY} \right) \times 100 \quad (1)$$



3. 연구결과 및 고찰

3.1 원소조성과 C/N비

본 연구에 사용된 가축분뇨, 사료작물 그리고 도축폐수슬러지의 원소조성과 C/N비를 Table 1에 나타내었다. 혐기성 소화에서 C/N비는 소화균의 성장과 신진대사 뿐만 아니라 공정의 운전성능 지표인 바이오가스 발생량을 좌우하는 주요한 변수로 작용하며, 메탄생성을 위한 최적 C/N비는 25~30으로 보고하고 있다.^(11,12)

가축분뇨의 C/N비는 우분의 경우 돈분에 비하여 약 2배 이상의 높은 수치를 나타냈으며, 돈분의 높은 탄소(C)함량에도 불구하고 낮은 C/N비를 나타내는 것은 우분에 비하여 상대적으로 질소(N)함량이 월등히 높기 때문이다. 곡류 사료작물인 호밀과 청보리의 C/N비는 이삭시료(Rye 1, Barley 1)에 비하여 총체시료(Rye 2, Barley 2)에서 높은 값을 나타내었고, 특히 호밀의 총체시료는 낮은 질소함량으로 인해 이삭시료에 비하여 2배 높게 조사되었다. 나머지 조사료 작물의 C/N비는 10~20 범위를 나타내었고, IRG 시료는 다른 시료에 비하여 낮은 질소함량으로 인해 가장 높은 19.4인 반면,

Table 1. Elemental composition and C/N ratios

Sample	Element (wt% VS)				C/N	
	C	H	O	N		
Manure	Pig	62.80	10.34	20.15	5.54	11.34
	Cat. 1	50.58	7.67	39.16	2.26	22.35
	Cat. 2	50.47	7.56	40.00	1.72	29.43
Forage crops	Rye 1	48.61	7.73	40.88	2.58	18.84
	Rye 2	49.52	7.60	41.36	1.36	36.41
	Barley 1	47.02	7.77	42.71	2.37	19.87
	Barley 2	47.18	7.58	43.05	2.01	23.46
	Maize	49.26	7.55	39.07	3.94	12.50
	Sorghum	49.52	7.64	38.05	4.55	10.89
	IRG	48.38	7.50	41.38	2.50	19.37
	Rape	48.75	7.64	38.87	3.96	12.31
	Rush	49.57	7.44	39.41	3.27	15.16
Organic waste	SSWTP	51.23	8.66	30.19	8.89	5.76

* Remarks

- Cat. 1: supplied a rice straw as forage crops
- Cat. 2: supplied the grasses as forage crops
- Rye 1: spike-crops rye · Rye 2: whole-crops rye
- Barley 1: spike-crops barley
- Barley 2: whole-crops barley
- SSWTP: wasted sludge produced from SWTP

수수의 경우 높은 질소함량으로 인해 상대적으로 가장 낮은 10.89 값을 나타내었다. 도축폐수슬러지는 연구시료 중 가장 높은 질소함량을 유지하면서 5.76의 낮은 C/N비 값을 나타내었다. 이는 도축 물량의 약 80% 정도가 돈육이기 때문이며, 도축과정에서 발생하는 분뇨, 피, 세척폐수 등의 부산물에 다량의 단백질 성분을 포함하고 있기 때문으로 판단된다.

3.2 메탄가스 발생량

3.2.1 가축분뇨와 도축폐수슬러지

돈분과 우분 그리고 도축폐수슬러지의 메탄발생량을 Fig. 4에 나타내었다. 메탄가스 발생량은 배양 15일까지 꾸준한 증가를 보이다 이후 완만한 증가 추세를 보여주고 있다. 가축분뇨의 메탄가스 발생량은 우분에 비하여 돈분(Pig slurry)에서 월등하게 높으며, 돈분의 가스 발생량은 345mlCH₄/gVS를 보였다. 한편, 우분의 경우 급여되는 조사료 종류에 따라 메탄가스 발생량은 상당한 차이를 나타내었다. 목초지류를 조사료로 이용한 우분(Cat. 2)의 가스 발생량은 벣짚을 조사료로 활용

한 우분(Cat. 1)에 비하여 약 1.5배 높은 247mlCH₄/gVS 나타내었는데 이는 볏짚에 비하여 초지류에 생분해성 cellulose 함량이 높기 때문으로 판단된다. 한편, 활성슬러지공법으로 운영 중인 도축폐수처리장에서 수거한 잉여슬러지(wasted sludge)의 메탄가스 발생량은 Heo 등⁽¹³⁾의 연구에서 제시한 도시하수처리장의 잉여슬러지 메탄가스량(165mlCH₄/gVS)보다 약 1.5배 높은 254mlCH₄/gVS를 나타내었는데, 이는 도축과정에서 발생하는 폐수내에 유기물질을 구성하는 주요 성분인 탄수화물, 단백질, 지방이 다량 함유하고 있기 때문으로 판단된다.

Table 2에 IWA bioenergy task group의 연구결과로부터 얻어진 가축분뇨, 볏짚류, 초지류, 도축폐기물과 음식물쓰레기의 메탄발생량을 나타내었다.⁽¹⁾ 돈분의 메탄가스 발생량은

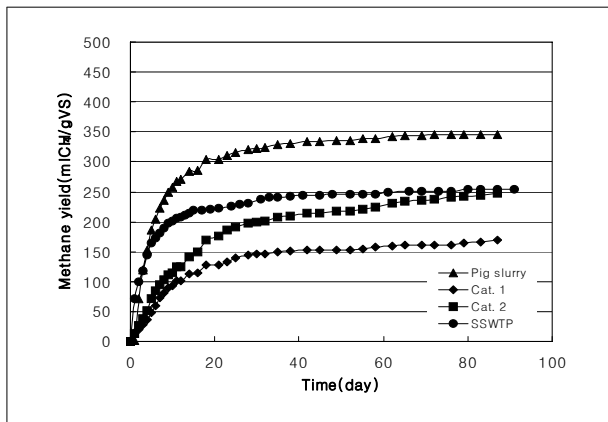


Fig. 4 Methane yields of animal manure and wasted sludge of SWTP.

Table 2. Amount of biogas produced from different agro-livestock biomass

Raw material (Substrate)	DM (%)	VS of DM (%)	Gas yields (m ³ /kgVS)	
			Biogas	Methane
Cattle slurry	5-12	80	0.20-0.30	0.13-0.20
Pig slurry	3-8	70-80	0.25-0.50	0.17-0.35
Straw	70-90	80-90	0.15-0.35	0.10-0.23
Grass	15-25	90	0.55-0.56	0.35-0.36
Slaughterhouse wastes	15-16	80-85	0.40-0.68	0.26-0.45
Source-sorted food wastes	25-30	83-88	0.50-0.70	0.33-0.46

* Remarks

- DM: content of dry material
- Slaughterhouse wastes: stomach contents and sludge from SWTP
- Source-sorted food wastes: households and restaurants

본 연구에서 얻은 결과(345mlCH₄/gVS)와 유사하고, 우분의 메탄발생량 비교에 있어 본 연구의 조사료로 볏짚을 급여한 우분(Cat.1)의 가스발생량은 유사하나, 초지류를 급여한 우분(Cat.2)에서 다량의 메탄가스가 발생되었음을 알 수 있다. Table 2에서 제시하는 초지류(Grass)의 메탄가스 발생량이 볏짚(Straw)에 비하여 약 1.5~3.5배 증가한 연구결과는 본 연구에서 볏짚을 조사료로 이용한 우분보다 초지류를 급여한 우분에서 가스발생량이 1.5배 증가한 결과와 일치한다. 따라서 우분으로부터 메탄가스 회수량 증대를 위해서는 조사료로 볏짚보다는 초지류 혹은 에너지작물 등을 활용하는 것이 유리함을 알 수 있다. 도축폐기물과 음식물쓰레기의 메탄가스 발생량은 가축분뇨보다 2~3배 높은 연구결과로 볼 때, 가축분뇨 혐기성소화에 있어 혼합기질로 활용 할 경우 메탄가스 발생량 증가에 상당한 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3.2.2 호밀과 청보리

국내의 대표적인 곡물 사료작물인 호밀과 청보리의 이삭시료(Rye 1, Barley 1) 및 총체시료(Rye 2, Barley 2)의 메탄가스 발생량을 Fig. 5에서 보여주고 있다. 메탄가스 발생은 배양 초기 7일 동안 급속하게 증가하였고 이후 배양 30일까지 꾸준하게 증가한 이후 생산량이 현저하게 감소하는 추이를 보였다. 이삭과 총체시료의 메탄가스 발생량은 청보리보다 호밀시료에서 높게 나타내었다. 호밀 이삭시료의 메탄가스 발생량은 청보리 이삭시료의 379mlCH₄/gVS보다 높은 442mlCH₄/gVS이며, 이는 Swedish Biogas Centre에서 제시한 곡식류의 400mlCH₄/gVS보다 높다.⁽¹⁴⁾ 본 연구에서 조사된 호밀과 청보리 총체시료의 메탄가스 생성량은 365mlCH₄/gVS로 바이

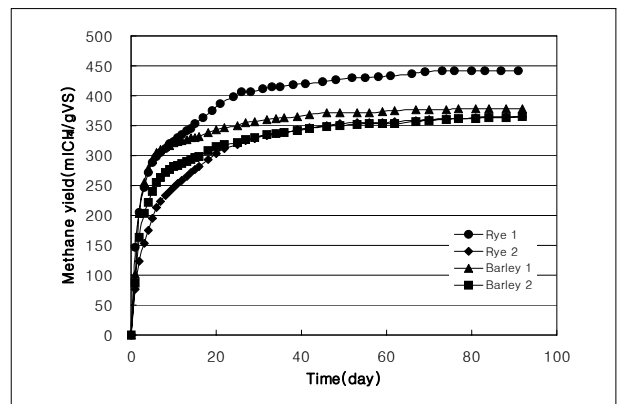


Fig. 5 Methane yields of rye and barley.

오에너지원으로써의 효용가치가 상당히 높으며, 축산농가에서 총체 호밀과 청보리를 조사료로 활용할 경우 우분으로부터 다량의 메탄가스를 회수할 수 있을 것으로 기대된다.

청보리의 이삭과 총체시료의 가스 발생량 차이는 근소한 반면, 호밀의 경우 상당한 차이를 나타내는데 이는 호밀대가 lignocellulose complex 물질로 구성하고 있기 때문으로 사료된다. Tong 등⁽¹⁵⁾은 입자상 유기물질(particulate organic materials)의 메탄가스 발생량은 lignocellulose complex 함량에 좌우되는 것으로 보고하고 있으며, Pavlostathis과 Gossett⁽¹⁶⁾는 밀짚의 혐기성소화 효율을 개선하기 위하여 알칼리 전처리 한 결과 가스발생량 증가와 함께 생분해도가 상당히 개선되는 것으로 보고하였다.

3.2.3 사료작물 및 초지류

간척지에서 수거한 사료작물과 초지류의 메탄가스 발생량을 Fig. 6에 제시하였다. 사료용 옥수수, 수수, IRG는 유럽의 경우 가축의 조사료로 활용할 뿐만 아니라 에너지작물(energy crops)로서 바이오가스 생산을 위한 혼합물질로 이용하고 있으며,^(3,14,17) 유채로부터 바이오디젤용 원료를 얻을 수 있다. 메탄가스 발생은 배양 초기 5일동안 급속하게 증가하였고 이후 배양 20일까지 꾸준하게 증가한 이후 생산량이 현저하게 감소하는 추이를 보였다. 사료작물 중 사료용 옥수수의 메탄가스 발생량은 382mlCH₄/gVS로 가장 높았으며, 수수와 IRG 각각 370, 361mlCH₄/gVS의 높은 가스 발생을 나타내었다. 유채의 메탄가스 발생량은 사료작물보다 다소 낮은 314mlCH₄/gVS였고, 갈대의 경우 도축폐수슬러지와 하수처리장 슬러지보다 월등히 높은 306mlCH₄/gVS의 발생량을 나타내어 에너지 작

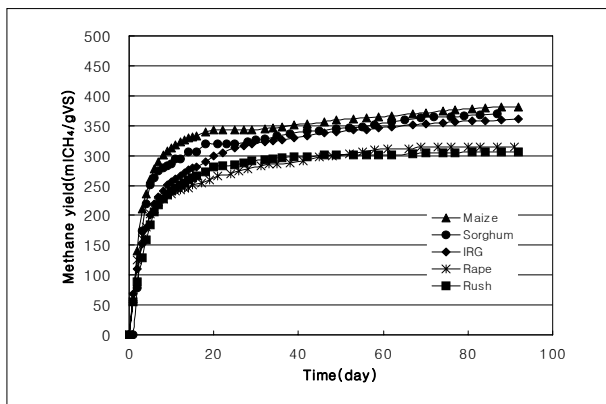


Fig. 6 Methane yields of forage crops.

물로써 효용가치가 상당히 높으며, 향후 활용방안에 대한 적극적인 검토가 필요 할 것으로 판단된다.

Table 3에 독일을 비롯한 EU 국가에서 가축분뇨 혐기성소화 플랜트의 바이오가스 발생량을 향상시키기 위해 혼합기질로 이용되고 있는 에너지작물의 메탄수율과 발생량을 나타내었다.⁽¹⁴⁾ 초지류(Ley)의 메탄수율은 본 연구에서 조사된 갈대의 메탄발생량과 유사하고 사료용 옥수수(Maize)의 경우 본 연구 결과보다 약간 낮은 메탄발생량을 나타내며, 곡류(Cereals)와 사탕무우(Sugarbeet)의 메탄수율은 본 연구에서 얻은 호밀과 청보리 이삭시료의 메탄가스 발생량보다 높음을 알 수 있다.

2000년대 이후부터 독일, 덴마크, 오스트리아, 벨기에 등의 유럽 국가에서는 가축분뇨의 대부분을 혐기성소화 플랜트에서 처리하고 있으며, 바이오가스 발생량을 향상시키기 위해 다양한 농축산바이오매스를 혼합기질로 이용하는 통합소화 방식을 적용하고 있다. 특히, 독일은 유럽에서 바이오가스 최대 생산국으로 2007년말 현재까지 3,750기의 농가형 통합

Table 3. Methane production of different agricultural energy crops

Crops	Content of DM (%)	Methane yield (m ³ /kgVS)	Methane production (m ³ /ton)
Ley (grass, clover)	35	0.30	95
Maize (whole)	30	0.35	95
Cereals (grain)	86	0.4	334
Sugar beet	beets	0.424	94
	tops	0.297	33

※ Remarks

· DM: content of dry material

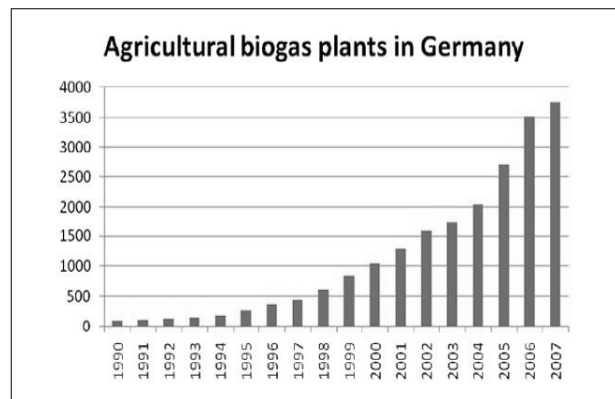


Fig. 7 Status of agricultural biogas plants in Germany from 1990 to 2007 year (Source: Swedish Gas Centre, 2008).

소화 바이오가스 플랜트(agricultural co-digestion biogas plant)를 운영 중에 있으며(Fig. 7), 바이오가스 생산량을 향상시키기 위해 플랜트의 약 98%는 가축분뇨와 함께 사료용 옥수수(maize), 호밀, 수단글라스, 도축폐기물, 농산부산물 등의 다양한 농축산바이오매스를 혼합처리하고 있다.⁽³⁾

3.3 생분해도 평가

연구대상 시료의 원소조성에 의해 계산된 이론 메탄발생량(TMY)과 BMP test로부터 얻은 최종 메탄발생량(UMY)에 기초하여 산정된 혐기성 생분해도(AB)를 Table 4에 정리하였다.

생분해도 평가 결과, 가축분뇨와 도축폐수슬러지의 생분해도는 사료작물에 비하여 상당히 낮음을 확인 할 수 있었다. 돈분의 경우 높은 메탄가스 생산량에도 불구하고 44.7%의 다소 낮은 생분해도를 나타내었고, 우분(cat. 2)과 도축폐수슬러지의 생분해도는 돈분과 거의 유사한 45~46% 범위를 나타내었다. 특히, 도축폐수슬러지 경우는 도시하수처리장의 잉여슬러지 생분해도(30%)^(7,13)보다 약 1.5배 높은 45%를 나타내어 효용가치가 높음을 알 수 있다. 이론적 메탄발생량(TMY)에 있어 가축분뇨와 도축폐수슬러지의 경우 사료작물에 비하여 높음에도 불구하고 낮은 생분해도를 나타낸 이유는 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이 총휘발성 고형물(TVS) 중

메탄가스로 전환되는 생분해성 유기성분(BVS)의 함량이 사료작물에 비하여 낮기 때문이다.

한편, 사료작물과 초지류의 생분해도에 있어 호밀이삭(Rye 1)의 생분해도는 전체 연구대상 시료 중 가장 높은 86.48%였고, 보리이삭(Barley 1) 또한 약 77%의 높은 생분해성 유기물(BVS) 함량을 나타내었다. 주요 사료작물로 이용되고 있는 총체호밀(Rye 2), 총체보리(Barley 2), 사료용 옥수수, 수수, IRG는 약 70~75% 범위의 높은 생분해도를 나타내어 메탄가스로 전환 가능한 다량의 생분해성 유기성분(BVS)을 함유하고 있으며, 유채와 갈대의 생분해도는 사료작물에 비하여 다소 낮지만 가축분뇨와 도축폐수슬러지보다 높은 60~62% 범위로 조사되었다.

Fig. 8에 본 연구의 BMP test로부터 얻어진 연구대상 시료의 메탄발생량과 생분해도의 상관관계를 나타내고 있다. 혐기성 생분해도(AB)는 처리대상 물질을 구성하는 유기성분 중 혐기성 미생물에 의해 바이오가스로 분해 가능한 유기물을 정량화 한 지표로서 메탄가스 생성량이 높을수록 생분해도 또한 동시에 증가하는 비례적인 상관관계를 갖는다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 가축분뇨와 도축폐기물의 경우 사료작물에 비하여 생분해성 유기성분의 함량이 낮아 메탄가스 발생량과 생분해도가 상당히 낮다. 따라서 가축분뇨 혐기성소화에 있어 생분해성 유기물질을 다량 포함하는 사료작물을 혼합기질로 사용 할 경우 메탄가스 생산량 증대 뿐만 아니라 생분해도 개선에 상당한 효과를 가져 올 수 있으며, 특히 돈분과 도축폐수슬러지의 혐기성소화에 있어 사료작물의 혼합은 C/N비 증가와 같은 긍정적인 효과로 인해 혐기성소화 공정을 안정적으로 운영 할 수 있다고 보고하고 있다.^(12,17)

Table 4. Biodegradability of the samples

Sample	Methane yield		AB (%)	
	TMY (mlCH ₄ /gVS)	UMY (mlCH ₄ /gVS)		
Manure	Pig slurry	771,91	345,11	44,71
	Cat. 1	536,27	168,65	31,45
	Cat. 2	532,35	247,03	46,40
Forage crops	Rye 1	511,54	442,36	86,48
	Rye 2	521,97	364,38	69,81
	Barley 1	492,83	378,96	76,89
	Barley 2	489,86	364,85	74,48
	Maize	510,80	381,61	74,71
	Sorghum	515,52	370,38	71,85
	IRG	501,81	360,54	71,85
	Rape	509,12	314,23	61,72
	Rush	513,34	306,59	59,72
	Organic waste	SSWTP	561,75	253,63

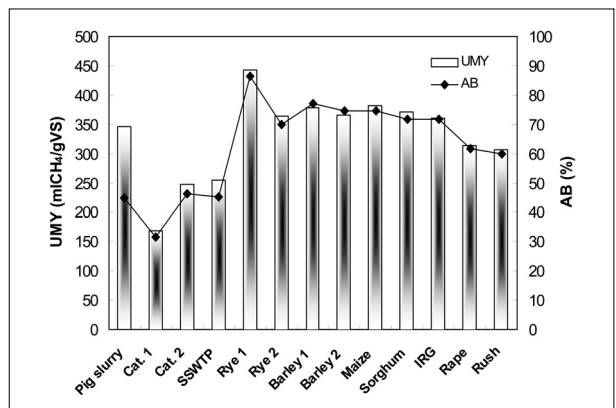


Fig. 8 Relationship between ultimate methane yield vs anaerobic biodegradability.

4. 결론

본 연구의 가축분뇨와 간척지 사료작물의 메탄가스 발생량과 생분해도를 평가하기 위하여 BMP test를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가축분뇨 중 돈분의 경우 우분에 비하여 낮은 C/N비에도 불구하고 345mlCH₄/gVS의 높은 메탄가스 발생과 더불어 44.7%의 생분해도를 나타내었으며, 가축분뇨 혐기성소화에 있어 가스발생량과 생분해도를 고려해 볼 때 돈분이 유리한 것으로 조사되었다.
2. 우분의 메탄가스 발생량과 생분해도는 볏짚보다 초지류를 조사료로 급여한 우분에서 월등히 높았으며, 도축폐수 슬러지의 C/N비는 우분에 비하여 약 4배 낮음에도 불구하고 우분보다 높은 메탄가스 발생 254mlCH₄/gVS와 45%의 생분해도를 나타내어 혐기성소화 기질로써 효용가치가 높음을 알 수 있었다.
3. 간척지 사료작물(총채호밀, 총채보리, 사료용 옥수수, 수수, IRG)은 360~380mlCH₄/gVS의 높은 메탄가스 발생량과 70% 이상의 생분해도 특성을 나타내어 혐기성소화에 있어 양질의 기질로 사용 할 수 있으며, 특히 돈분과 함께 사료작물을 혼합기질로 사용시 C/N비 증가와 더불어 메탄가스 생산량 증가에 상당한 효과를 기대 할 수 있으며, 또한 본 연구대상 사료작물을 조사료로 활용할 경우 우분의 생분해도 개선 함께 다량의 메탄가스를 회수 할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국농촌공사의 자체연구사업 지원에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Seadi, T. Al, 2002, Good practice in Quality Management of AD residues from biogas production, IEA Bioenergy Task 24.
- [2] Wellinger, A., 2005, Biogas production and utilisation, IEA Bioenergy Task 37.
- [3] Petersson, A., 2008, Biogas from an international perspective, Swedish Gas Centre.
- [4] 농림수산식품부, 2008, 친환경축산 표준모델.
- [5] 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", *Wat. Res.*, Vol. 13, pp. 485-492.
- [6] Shelton, D. R. and Tiedje, J. M., 1984, "General method for determining anaerobic biodegradation potential", *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 47, pp. 850-857.
- [7] Heo, N. H., 2004, High-rate anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge for the recovery of biogas, Ph. D. thesis, Chungnam National University.
- [8] Cho, J. K., Park, S. C. and Chang, H. N., 1995, "Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food waste", *Bioresource Technology*, Vol. 52, pp. 245-253.
- [9] Penaud, V., Delgenes, J. P. and Moletta, R., 1999, "Thermo-chemical pretreatment of a microbial biomass: influence of sodium hydroxide addition on solubilization and anaerobic biodegradability", *Enzyme and Microbial Technology*, Vol. 25, pp. 258-263.
- [10] Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S., 1993, *Integrated Solid Waste Management-Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill, New York, 679-683.
- [11] Kayhanian, M. and Tchobanoglous, G., 1992, "Computation of C:N ratios for various organic fractions", *Biocycle*, Vol. 33, No. 5, pp. 58-60.
- [12] Mata-Alvarez, J., 2003, *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste*, IWA Publishing, pp. 181-189.
- [13] Heo, N. H., Park, S. C., Lee, J. S. and Kang, H., 2003, "Solubilization of waste activated sludge by alkaline pretreatment and biochemical methane potential(BMP) tests for anaerobic co-digestion of municipal organic waste", *Wat. Sci. and Tech.*, Vol. 48, No. 8, pp. 211-219.
- [14] Clementson, M., 2007, *Basic data on biogas-Sweden*, Swedish Gas Centre.
- [15] Tong, X., Smith, L. H. and McCarthy, P. L., 1990, "Methane fermentation of selected lignocellulosic materials", *Biomass*, Vol. 21, pp. 239-255.
- [16] Pavlostathis, S. G. and Gossett, J. M., 1985, "Alkaline treatment of wheat straw for increasing anaerobic digestion", *Biotech. and Bioeng.*, Vol. 27, pp. 334-344.
- [17] Braun, R. and Wellinger, A., 2003, *Potential of co-digestion*, IEA Bioenergy Task 37.

허 남 호



1996년 (국)충주대학교 환경공학과 공학사
1998년 (국)부산대학교 환경공학과 공학석사
2004년 (국)충남대학교 환경공학과 공학박사

현재 한국농촌공사 농어촌연구원 주임연구원
(E-mail : bionhheo@ekr.or.kr)

이 승 헌



1995년 (국)서울대학교 농화학과 농학사
1997년 (국)서울대학교 농화학과 농학석사
2006년 (국)서울대학교 농화학과 농학박사

현재 한국농촌공사 농어촌연구원 책임연구원
(E-mail : shyi@ekr.or.kr)

김 병 기



1984년 인하대학교 화학공학과 공학사

현재 한국농촌공사 농어촌연구원 수석연구원
(E-mail : kimbk@ekr.or.kr)