국내 주요 시설채소 부산물의 메탄 생산 퍼텐셜

신국식 · 김창현¹ · 이상은 · 윤영만^{1*}

한경대학교 기후변화연구센터, ¹한경대학교 바이오키스연구센터

Biochemical Methane Potential of Agricultural Byproduct in Greenhouse Vegetable Crops

Kook-Sik Shin, Chang-Hyun Kim¹, Sang-Eun Lee, and Young-Man Yoon^{1*}

Climate Change Research Center, Hankyong National University, Anseong, 456-749, Republic of Korea

¹Biogas Research Center, Hankyong National University, Anseong 456-749, Republic of Korea

Number of crop residues generated at large amount in agriculture can be utilized as substrate in methane production by anaerobic digestion. Greenhouse vegetable crop cultivation that adopting intensive agricultural system require the heating energy during winter season, meanwhile produce waste biomass source for the methane production. The purpose of this study was to investigate the methane production potential of greenhouse vegetable crop residues and to estimate material and energy yield in greenhouse system. Cucumber, tomato, and paprika as greenhouse vegetable crop were used in this study. Fallen fruit, leaf, and stem residues were collected at harvesting period from the farmhouses (Anseong, Gyeonggi, Korea) adopting an intensive greenhouse cultivation system. Also the amount of fallen vegetables and plant residues, and planting density of each vegetable crop were investigated. Chemical properties of vegetable waste biomass were determined, and theoretical methane potentials were calculated using Buswell's formula from the element analysis data. Also, BMP (Biochemical methane potential) assay was carried out for each vegetable waste biomass in mesophilic temperature (38°C). Theoretical methane potential (B_{th}) and Ultimate methane potential (B_u) of stem, leaf, and fallen fruit in vegetable residues showed the range of 0.352~0.485 $Nm^3 kg^{-1}VS_{added}$ and 0.136~0.354 $Nm^3 kg^{-1}VS_{added}$ respectively. The biomass yields of residues of tomato, cucumber, and paprika were 28.3, 30.5, and 21.5 $Mg ha^{-1}$ respectively. The methane yields of tomato, cucumber, and paprika residues showed 645.0, 782.5, and 686.8 $Nm^3 ha^{-1}$. Methane yield ($Nm^3 ha^{-1}$) of crop residue may be highly influenced by biomass yield which is mainly affected by planting density.

Key words: Agricultural byproduct, Biomass, BMP, Anaerobic digestion

서 언

최근 기후변화에 대응하고 화석연료를 대체하고자하는 노력으로 신·재생 에너지원에 대한 관심이 급증하고 있으며, 바이오에너지는 이산화탄소를 증가시키지 않으면서 화석연료를 직접 대체할 수 있는 저장성 연료를 생산할 수 있다는 측면에서 향후 가장 실용적 가치가 있는 재생에너지원으로 평가받고 있다. 우리나라의 경우 제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급기본계획 (MKE, 2008)에서 2030년까지 전체 에너지 부문에서 신·재생에너지의 비중을 11%까지 확대하는 목표를 수립하고 있으며, 이 목표를 달성하기 위해 신·재생에너지 중 2008년 8.1%에 불과한 바이오에너지 비

중을 2030년까지 31.4%까지 확대하는 계획을 수립하고 있어 향후 국가 에너지 대책에서도 바이오에너지가 핵심적인 위치를 차지하고 있는 상황이다. 특히 2005년 유기성 폐기물의 직접매립이 금지되고, 2012년 가축분뇨 해양투기 전면 금지가 예정되면서 각종 유기성 폐기물을 처리하면서 대체 에너지를 생산할 수 있는 바이오가스 생산 연구가 주목을 받고 있다.

근래 우리나라에서 바이오가스 생산을 위해 주로 이용되고 있는 양돈슬러리는 유기물 함량이 2~5% 정도로 매우 낮고 계절별 유기물 농도의 변동이 커서 양돈 슬러리를 단독으로 혐기소화 하는 경우 안정적인 혐기소화조 운전과 바이오가스 생산의 경제성 확보에 어려움이 있다 (Yoon et al., 2009). 따라서 혐기소화조 운전의 안전성과 경제성을 확보하기 위해 함수율이 낮고 고농도의 유기물을 포함하는 바이오매스와 통합 혐기소화 하는 방안이 제시되고 있으며, 현

접수 : 2011. 11. 20 수리 : 2011. 12. 15

*연락처 : Phone: +82316705335

E-mail: yyman@hknu.ac.kr

재까지는 음식물쓰레기를 주요 외부 탄소원으로 이용하고 있는 실정이다 (ME, 2011).

해외에서는 농산부산물을 바이오가스 에너지원으로 활용하기 위하여 각종 농산부산물의 발생량의 원단위를 산정하여 그 자료를 바이오가스 에너지 생산의 기초 자료로 활용하고 있으며 (Bauer et al., 2009), 바나나 (Stewart et al., 1984), 당근 (Knol et al., 1978), 식물줄기 (Chynoweth et al., 1993; Hashimoto, 1986) 등 다양한 농산부산물에 대한 연구가 보고되고 있다. 국내에서도 1980년대에 식물박류 (Lim and Park, 1982a), 강피류 (Lim and Park, 1983), 식품가공슬러지 (Lim, 1980; Lim and Park, 1982b) 등의 농산 부산물의 메탄 생산 퍼텐셜이 보고된 바 있으나, 그 활용사례는 극히 미미한 상황이다. 국외의 연구 사례와 비교할 때, 국내 농산부산물의 에너지화 및 바이오가스화 촉진을 위해서는 다양한 농산부산물의 메탄 퍼텐셜 측정, 작물 재배 면적과 연동하여 농산부산물의 에너지 잠재량 산출, 이를 통한 농산 바이오매스 이용의 경제성 평가에 관한 연구가 매우 시급한 실정이다.

우리나라의 시설 원예하우스는 집약적인 농업형태를 가지고 있어 동절기 난방을 위해 많은 양의 에너지를 요구하면서 동시에 다양한 종류의 농산 바이오매스를 발생시킨다. 따라서 시설 원예하우스와 바이오가스 시설을 연계하는 경우 혐기소화를 위한 원료 확보와 생산에너지의 수요처를 동시에 확보할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구는 시설 원예하우스에서 기인하는 농산 바이오매스의 바이오가스화 잠재량을 평가하고자 하였으며, 이를 위해 시설 원예 작물로서 오이, 토마토, 파프리카를 공시하고, 공시작물별 재배 면적, 재배기간을 고려하여 농산 바이오매스 발생특성을 조사하였으며, 농산 바이오매스의 혐기적 메탄 생산 퍼텐셜을 분석하고 작물별 단위면적당 농산 바이오매스 생산량 및 메탄생산 잠재량을 평가하였다.

재료 및 방법

공시 재료 본 연구에서는 시설 원예하우스에서 기인하는 농산부산물별 발생원 단위와 발생특성을 조사·분석하기 위하여 오이, 토마토, 파프리카를 공시하고, 경기도 안성 지역에 위치한 시설 원예하우스를 선정하였다. 공시한 시설 원예하우스는 오이 (재배면적 9,900 m²), 토마토 (재배면적 16,500 m²), 파프리카 (재배면적 8,250 m²) 재배 하우스로써 2010년 8월부터 10월까지 재배, 수확기간 중 각각의 시설하우스에서의 농산 바이오매스의 발생특성을 조사하고 시료를 채취하여 시험에 공시 하였다. 발생특성의 조사는 줄기, 잎, 열매로 구분하여 발생량을 조사하였으며, 열매는 작기중 생산량과 상품성이 떨어져 낙과 시키거나 폐기하는 곡과, 열과의 발생량을 조사 대상에 포함하였다.

시설 원예 바이오매스의 에너지 잠재량 평가 농산부산물의 에너지화 기준은 혐기소화과정에서 생산되는 메탄 생산량을 항목 기준으로 설정하였으며, 농산부산물별 이론적 메탄퍼텐셜과 실험적 메탄퍼텐셜을 각각 잠재 메탄 생산량 (잠재량)과 최대 메탄 생산량 (가용량)의 산출 기준으로 설정하였다. 이론적 메탄퍼텐셜은 바이오매스의 혐기소화시 이론적으로 생산할 수 있는 메탄 생산량으로써 바이오매스의 원소 분석 결과로부터 Boyle (1976)의 유기물 분해 반응식인 식 (1)을 이용하여 화학양론식인 식 (2)로 산출하였으며, 실험적 메탄퍼텐셜은 혐기소화시 생산할 수 있는 최대 메탄 생산량으로써 생화학적 메탄 생산 퍼텐셜 (BMP; biochemical methane production) 시험 (Kim et al., 2010)을 통해 분석하였다. 공시재료의 발생 원단위를 조사한 자료를 기초로 면적당 발생하는 부산물의 양을 추정하였고, BMP시험을 통해서 얻어진 결과로 면적당 발생하는 부산물을 메탄으로 전환할 수 있는 메탄 생산량을 계산하여 시설원예지의 잠재적 메탄발생량을 산정하였다.

$$C_a H_b O_c N_d S_e + \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3d}{4} + \frac{e}{2} \right) H_2O \rightarrow$$

$$\left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3d}{8} - \frac{e}{4} \right) CH_4 + \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4} \right) CO_2 + dNH_3 + eH_2S \quad (1)$$

$$B_{th} (Nm^3 Kg^{-1} VS_{added}) = 22.4 \times \left[\frac{\left(\frac{4a + b - 2c - 3d - 2e}{8} \right)}{12a + b + 16c + 14d + 32e} \right] \quad (2)$$

메탄 생산 퍼텐셜 (Biochemical methane potential, BMP)

시험 메탄 생산 퍼텐셜은 시설 원예하우스에서 채취한 오이, 토마토, 파프리카를 줄기, 잎, 열매로 나누어서 시험에 공시하였다. 농산부산물별 메탄 생산 퍼텐셜은 회분식 (Batch) 혐기 반응기를 이용하여 38℃에서 97일간 배양하였다 (Hansen et al., 2004). 접종액 (Inoculum)은 가축분뇨 혐기소화 시설 (안성 일죽)의 혐기 소화조에서 소화액을 채취한 후 7일간 38℃에서 혐기 배양시키고, 잔여가스를 제거한 후 접종액으로 이용하였다. 메탄 생산 퍼텐셜의 측정을 위한 회분식 혐기 반응기는 160 mL serum bottle을 이용하였고, 반응기질 (Substrate)은 80 mL로 하였다. 공시재료를 분쇄하여 균질화 하여 휘발성 고형물 (Volatile solid) 함량을 기준으로 접종액과의 비율 (S/I 비율)을 0.5로 맞추어 혼합한 후 N₂ 가스를 충전하여 혐기적 상태에서 밀폐 시키고 38℃에서 97일간 배양하였다. 배양기간 중 주기적으로 바이오가스 생산량과 가스성상을 측정하였으며, 1일 1회 흔들어서 반응기를 교반하였다. 농산부산물별 단위 유기물당 메탄 생산 퍼텐셜을 분석하기 위하여 혐기 배양 기간중 메탄 발생량을 측정하여 누적 메탄생산 곡선을 구하였으며, 생산된 바이오가스량은 0℃ 1기압의 표준상태로 보정하였다.

분석방법 메탄생산퍼텐셜 측정을 위한 회분식 혐기반응기의 발생가스는 2% 황산에 resazurin 0.1%를 함유하는 수주차식 가스량 측정기를 이용하였다 (Beuvink, 1992; Williams, 1996). 메탄 함량은 TCD (Thermal conductivity detector)와 HaysepQ packed column (직경 3 mm, 길이 3 m, 80~100 mesh size)을 장착한 Gas chromatography (GC2010, shimazu, Japan)를 이용하였으며, 주입구 (Injector) 150°C, 컬럼부 (Column) 90°C, 검출부 (Detector) 200°C의 조건에서 Ar 가스를 이동상으로 하여 유속 30 mL min⁻¹에서 분석하였다 (Sorensen et al., 1991). 농산부산물 화학적 성상과 메탄 생산 퍼텐셜 측정을 위한 혐기 배양액의 화학적 성상 분석은 Standard methods (APHA, 1998)에 따라 총고형물 함량, 휘발성 고형물 함량, 용해성 화학적 산소요구량 (Soluble chemical oxygen demand, SCOD), 암모니아성 질소 (NH₄⁺-N), 총질소, 총인, 칼륨 함량을 분석하였다. 한편 이론적 메탄 퍼텐셜의 산출을 위한 전원소 항목 (C, H, O, N, S)은 원소분석기 (EA1108, Thermo Finnigan, CA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

시설 원에 부산물의 성상 특성 공시한 오이, 토마토, 파프리카의 화학적 성상 특성은 Table 1과 같다. 공시작물인 오이, 토마토, 파프리카는 줄기와 잎에서 총고형물 (TS) 함량이 높게 나타났으며, 상대적으로 열매에서의 총고형물 함량은 낮았다. 혐기소화 과정에서 바이오가스로 전환되는 유기물 지표인 휘발성 고형물 (VS)은 오이, 토마토, 파프리카의 줄기에서 총고형물 함량 대비 82.5~87.8%의 범위를 보였으며, 잎에서는 73.6~79.1%, 열매에서는 86.9~92.7%의 범위를 보여 열매에서의 가용성 유기물의 함량이 높고, 잎에서의 가용성 유기물의 함량이 상대적으로 낮게 나타났다.

메탄 생산 퍼텐셜 공시한 시설 원에 작물의 부위별 이론적 메탄 퍼텐셜을 분석한 결과 0.352~0.485 0.485 Nm³ kg⁻¹ VS_{added}의 범위를 보였다 (Table 2). 이론적 메탄 생산 퍼텐셜은 각각의 바이오매스의 구성원소의 함량으로부터

Table 1. Chemical composition of greenhouse vegetable crop residues.

Biomass	TS [†]	VS [‡]	N	Avail. P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----				
Tomato stem	10.83 ± 1.73	9.48 ± 1.72	0.44 ± 0.03	0.18 ± 0.02	1.44 ± 0.04
Tomato leaf	11.61 ± 0.81	8.54 ± 0.71	0.81 ± 0.04	0.23 ± 0.02	1.76 ± 0.13
Tomato	7.98 ± 0.66	7.29 ± 0.65	0.71 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.29 ± 0.03
Cucumber stem	10.31 ± 1.97	8.51 ± 1.68	0.51 ± 0.03	0.53 ± 0.04	1.83 ± 0.04
Cucumber leaf	14.50 ± 0.67	11.15 ± 0.58	1.41 ± 0.05	0.60 ± 0.03	1.24 ± 0.09
Cucumber	3.28 ± 0.21	2.85 ± 0.20	0.28 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.53 ± 0.01
Paprika stem	16.44 ± 0.82	14.44 ± 0.81	0.63 ± 0.02	0.27 ± 0.03	2.94 ± 0.07
Paprika leaf	15.44 ± 1.53	12.22 ± 1.08	1.46 ± 0.17	0.39 ± 0.05	4.22 ± 0.13
Paprika	7.44 ± 1.53	6.90 ± 1.41	0.36 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.71 ± 0.01

[†]Total solid.

[‡]Volatile solid.

Table 2. Elemental compositions and methane potential of greenhouse vegetable crop residues.

Biomass	C	H	O	N	S	Ash	B _{th} [†]	B _u [‡]	VS _r [§]
	----- % -----						----- Nm ³ kg ⁻¹ VS _{added} -----		
Tomato stem	41.7	5.4	46.2	1.6	0.2	4.9	0.387	0.170	43.9
Tomato leaf	37.2	4.9	38.6	3.0	2.2	14.2	0.388	0.268	69.0
Tomato	48.6	5.6	41.3	1.8	0.0	2.7	0.464	0.210	45.2
Cucumber stem	36.1	4.6	43.3	1.9	0.0	14.1	0.352	0.278	66.7
Cucumber leaf	38.9	5.3	34.9	4.0	0.2	16.8	0.436	0.337	77.2
Cucumber	42.4	5.6	41.0	3.6	0.0	7.3	0.418	0.348	83.0
Paprika stem	40.2	5.1	43.3	2.5	0.4	8.6	0.384	0.136	35.4
Paprika leaf	40.0	5.1	38.8	4.3	0.1	11.7	0.400	0.274	68.5
Paprika	47.5	6.3	39.7	2.3	0.0	4.3	0.485	0.354	72.9

[†]Theoretical methane potential.

[‡]Ultimate methane potential.

[§]Ratio of degradation (This was calculated by B_u/B_{th}).

Fig. 1. Biochemical methane potential curve of tomato vegetable crop residue.

Fig. 3. Biochemical methane potential curve of paprika vegetable crop residue.

Fig. 2. Biochemical methane potential curve of cucumber vegetable crop residue.

메탄을 생산하는 유기물 분해 반응식인 식 (1)에 따라 산출되므로 메탄의 구성 원소인 탄소 (C), 수소 (H)의 함량이 높은 시료에서 이론적 메탄 생산 퍼텐셜이 높게 나타나는 경향을 보였으며, 이론적 측면에서는 작물별로 줄기보다 잎과 열매에서의 메탄전환 수율이 우수할 것으로 예측되었다.

실험적 메탄 퍼텐셜은 Table 2에서 보는 바와 같이 토마토는 잎 $0.268 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$, 열매 $0.210 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ 와 비교하여 줄기에서 $0.170 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ 로 낮은 메탄 퍼텐셜을 보였으며 (Fig 1), 토마토의 유기물 (VS) 분해율은 43.9~69.9%의 범위를 보였다. 오이는 잎 $0.337 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$, 열매 $0.348 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ 과 비교하여 줄기에서 $0.278 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ 로 낮은 메탄 퍼텐셜을 보였으며 (Fig. 2), 유기물 (VS) 분해율은 66.7~83.0%의 범위를 보였다. 파프리카 또한 잎 $0.274 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$, 열매 $0.354 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ 과 비교하여 줄기에서 $0.136 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{added}}$ 으로 낮은 메탄 퍼텐셜을 보였으며 (Fig. 3), 유기물 (VS) 분해율은

35.4~72.9%로 작물 부위별로 큰 차이를 보였다.

이론적인 메탄 퍼텐셜은 시료중의 모든 유기물이 메탄가스로 전환 된다는 가정 하에 이론적으로 산출되는 값으로서 해당 원료를 혐기소화 하는 경우 이론적으로 얻을 수 있는 메탄 퍼텐셜이다. 그러나 실제 혐기소화 과정에서에서는 유입 유기물의 5~10%가 혐기소화 미생물의 군체 증식에 이용되어 이론적 메탄 퍼텐셜의 5~10%가 감소하고, 또 혐기 미생물적으로 분해가 어려운 난분해성 유기물의 함량에 따라 실제 메탄 퍼텐셜은 이론적 메탄 퍼텐셜 보다 낮게 나타날 수 있다. 일반적으로 셀룰로스계 원료의 경우 평균 분해율이 60% 정도 되는 것으로 보고되고 있어 (Gunaseelan, 1997), 본 연구의 유기물 분해율 35.4%~77.2%의 범위는 타 연구자의 실험결과와 비슷한 범위를 보이는 것으로 판단되며, 본 연구에서 전반적으로 줄기의 메탄 퍼텐셜이 잎과 열매에 비하여 낮은 것은 줄기 조직의 치밀성과 난분해성 유기물의 함량이 높아 잎과 열매에 비해 상대적으로 낮은 메탄 생산 퍼텐셜을 나타낸 것으로 생각된다.

또한, 본 연구에서는 실험적 메탄 퍼텐셜의 측정에서 시료를 그라인더로 갈아 BMP 시험에 이용하였는데, Sharma (1989)의 입자 사이즈가 6 mm 이상이 되면 혐기적 유기물 분해율이 현저히 떨어진다는 보고를 고려할 때, 바이오가스 플랜트의 혐기소화조에 투입하는 실제 원료의 크기에 따라 식물성 농산부산물들의 메탄생산 효율은 차이를 보일 수 있다. 따라서 식물성 농산 바이오매스의 바이오가스화 효율 평가를 위해서는 분쇄 전처리 방법 및 투입 원료의 입자 크기 등에 따른 혐기소화 효율 시험이 더 이루어져야 할 것이다.

에너지 자원화 잠재량 공시한 시설 원예 작물의 단위 면적당 바이오매스 발생량은 오이가 30.5 Mg ha^{-1} 로 가장 높았으며, 다음은 토마토 28.3 Mg ha^{-1} , 파프리카 21.5 Mg ha^{-1} 순 이었다. 단위면적당 메탄생산량은 오이 782.5 Nm^3

Table 3. Nutrient and methane yield[†] of greenhouse vegetable crop.

Biomass		Biomass yield [†]	N	Avail. P ₂ O ₅	K ₂ O	Methane yield
		Mg ha ⁻¹				Nm ³ ha ⁻¹
Tomato	stem+leaf	21.6	134.7	44.2	344.8	533.6
	fruit [‡]	6.7	47.2	8.7	19.3	111.4
Cucumber	stem+leaf	15.9	152.5	89.7	243.8	615.6
	fruit	14.6	40.9	20.5	77.5	166.9
Paprika	stem+leaf	20.1	210.5	66.5	721.0	651.2
	fruit	1.4	4.9	1.9	9.6	35.6

[†]Fresh matter.[‡]Fallen fruit.

ha⁻¹, 파프리카 686.8 Nm³ ha⁻¹, 토마토 645.0 Nm³ ha⁻¹순이었다 (Table 3). 식물체 부산물 중 오이 열매의 부산물 발생량이 높은 것은 1작기 동안의 생산수량이 높으며, 상대적으로 비상품성 곡과의 비율이 높았기 때문이다 (Table 3).

IEA bioenergy task 37 (2011)은 바이오에너지 작물 연구에서 주요 바이오에너지 작물로 이용 중인 옥수수의 경우 3,573~18,540 Nm³ ha⁻¹로 보고하고 있으며, 채소류 중 케일의 경우는 1,440~15,030 Nm³ ha⁻¹로 보고하고 있다. 이러한 결과는 본 연구의 결과인 토마토 340.0, 오이 782.5, 파프리카 686.8 Nm³ ha⁻¹와 비교할 때 큰 차이를 보였다. 이는 국외의 경우 에너지 작물로서 작물의 바이오매스 생산량 전체를 이용하여 바이오가스를 생산하는 것과 달리 본 연구에서는 시설 원예하우스에서 발생하는 부산물만을 바이오가스 생산에 이용하는 것으로 가정한다 따른 것이다. 특히 다른 연구자인 Weiland (2003)는 채소작물인 케일의 단위면적당 메탄생산량이 1,680 Nm³ ha⁻¹로 보고한 바도 있어 지역별 기후환경, 비료시비, 작물재배 기술 등의 변수에 따라서도 시설 원예작물의 메탄 생산량 (Nm³ ha⁻¹)은 차이를 보일 수 있는 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 얻은 단위면적당 메탄 생산량은 작물별로 1작기를 기준으로 하여 조사·분석된 결과로서 단위면적당 바이오매스의 증가가 단위면적당 메탄 생산량의 증대를 유도할 수 있는 가장 중요한 인자라는 측면에서 연간 시설 하우스의 작부체계를 다양화 하는 경우 단위면적당 농산 바이오매스의 생산량은 더욱 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에 공시한 시설 원예하우스는 생산성 향상을 위해 비료, 농약 등 다양한 농자재를 투입할 뿐만 아니라 동절기 시설하우스의 가온을 위해 경유, 석탄, 전기 등 많은 양의 에너지를 투입하고 있는 점을 고려할 때, 시설 원예하우스의 작물잔사의 에너지 생산 능력은 자재, 화석연료 등 작물 재배를 위한 투입 에너지를 고려한 단위면적당 에너지 수지의 평가를 수행함으로써 그 경제성을 세밀히 분석할 필요가 있다.

요 약

본 연구는 안성시 관내에서 발생하는 농산부산물 바이오매스 중 오이, 토마토, 파프리카 작물 잔사를 수거하여 실험에 공시하고 각 부산물의 발생특성과 메탄 생산 퍼텐셜을 조사·분석하였다. 농산부산물의 에너지 자원화 기준으로는 메탄생산량을 설정하고, 부산물별 메탄 퍼텐셜을 시험하였으며 측정된 메탄 퍼텐셜을 기초자료로 활용하여 단위면적당 바이오매스 발생량, 바이오가스 생산량 및 비료가치를 조사·분석하였다. 실험적 메탄 퍼텐셜은 농산부산물별로 0.170~0.354 Nm³ kg⁻¹ VS_{added}의 값을 보였으며, 그중 파프리카 열매가 가장 높은 메탄 생산 퍼텐셜을 보였으며, 오이 줄기가 가장 낮은 메탄 생산 퍼텐셜을 보였다. 시설 원예에서 기인하는 바이오매스별 메탄생산량은 줄기 부위가 잎이나 열매 부위 보다 낮은 값을 나타내는 경향을 보였다. 시설 재배지의 단위면적당 바이오매스 발생량은 오이 30.5 > 토마토 28.3 > 파프리카 21.5 Mg ha⁻¹순 이었으며, 단위면적당 메탄생산량은 오이 782.5 > 파프리카 686.8 > 토마토 645.0 Nm³ ha⁻¹순 이었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ00744 2032011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Bauer, A., C. Leonhartsberger, P. Bösch, B. Amon, A. Friedl, and T. Amon. 2009. Analysis of methane yields from energy crops and agricultural by-products and estimation of energy potential from sustainable crop rotation system

- in EU-27. *Clean Techn Environ Policy*. 12:153-161.
- Beuvink, J.M., S.F. Spoelstra, and R.J. Hogendrop. 1992. An automated method of measuring the time course of gas production of feedstuffs incubated with buffered rumen fluid. *Neth. J. Agri. Sci.* 40:401-407.
- Boyle, W.C. 1976. Energy recovery from sanitary landfills - a review. In: Schlegel, H.G. and Barnea, S. (Hrsg.): *Microbial Energy Conversion*: Oxford, Pergamon Press.
- Buswell, A.M. and H.F. Müller. 1952. Mechanism of methane fermentation. *Ind. Eng. Chem.* 44: 550-552.
- Chynoweth, D.P., C.E. Turick, J.M. Owens, D.E. Jerger, and M.W. Peck. 1993. Biochemical methane potential of biomass waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 5. Issue 1:95-111.
- Gunaseelan, V.N. 1997. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 13. No. 1/2:83-114.
- Hansen, T.L., J.E. Schmidt, I. Angelidaki, E. Marca, J. Cour Jansen, H. Mosbæk, and T.H. Christensen. 2004. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*. 24:393-400.
- Hashimoto, A.G. 1986. Pretreatment of wheat straw for fermentation to methane. *Biotechnology and Bioengineering*. 28:247-255.
- IEA Bioenergy task 37. 2011. Biogas from energy crop digestion (http://www.iea-biogas.net/_content/publications/publications.php).
- Kim, S.H., H.C. Kim, C.H. Kim, and Y.M. Yoon. 2010. The measurement of biochemical methane potential in several organic waste resources.
- Knol, W., M.M. van der Most, and J. de Waart. 1978. Be Waart. Biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste. *J. Sci. Fd. Agric.* 29:822-830.
- Lim, J.H. 1980. Material test for the methane production of industrial wastes. RDA. Report of National Academy of Agricultural Science. Nongyeon-Nongyeol-2:596-602 (in Korean).
- Lim, J.H. and Y.D. Park. 1982a. The investigation of methane production by agricultural byproducts. RDA. Report of National Academy of Agricultural Science. Nongyeon-Nonghwa-14:205-211 (in Korean).
- Lim, J.H. and Y.D. Park. 1982b. The investigation of methane production by industrial wastes. RDA. Report of National Academy of Agricultural Science. Nongyeon-Nonghwa-14: 212-219 (in Korean).
- Lim, J.H. and Y.D. Park. 1983. The investigation of methane production by agricultural byproducts. RDA. Report of National Academy of Agricultural Science. Nongyeon-Nonghwa-15:102-113 (in Korean).
- ME. 2011. 2010 Waste energy statistics; The renewable energy production facility using organic wastes. (in Korean).
- MKE. 2008. The 3rd basic plan for the use and development of new-renewable energy (2009-2030). (in Korean).
- RDA. 2009. The study to re-establish the amount and major compositions of manure from livestock. Suwon. Korea.
- Sorensen, A.H., M. Winther-Nielsen, and B.K. Ahring. 1991. Kinetics of lactate, acetate and propionate in unadapted and lactate-adapted thermophilic, anaerobic sewage sludge: the influence of sludge adaptation for start-up of thermophilic UASB-reactors. *Micro biol. biotechnol.* 34:823-827.
- Sharma, S.K., I.M. Mishra, M.P. Sharma, and J.S. Saini. 1989. Effect of particle size on biogas generation from biomass residues. *Biomass*. Vol. 17. Issue 4:251-263.
- Stewart, D.J., M.J. Bogue, and D.M. Badger. 1984. Biogas production from crops and organic wastes. 2. Results of continuous digestion tests. *New Zealand J. Sci.* 27:285-294.
- Weiland, P. 2003. Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. *Applied Biochemistry Biotechnology* 109:263-74.
- Williams, A., M. Amat-Marco, and M.D. Collins. 1996. Phylogenetic analysis of *Butyrivibrio* strains reveals three distinct groups of species within the *Clostridium* subphylum of gram-positive bacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 46:195-199.
- Yoon, Y.M., C.H. Kim, Y.J. Kim, and H.T. Park. 2009a. The economical evaluation of biogas production facility of pig waste. *Kor. J. Agr. Manag. Pol.* 36(1):137-157.