

전과정 평가에 의한 양돈 바이오매스의 물질 및 에너지 자원화 잠재량 연구

김승환 · 김창현 · 윤영만*

국립한경대학교 바이오가스 연구센터

Bioenergy and Material Production Potential by Life Cycle Assessment in Swine Waste Biomass

Seung-Hwan Kim, Chang-Hyun Kim, and Young-Man Yoon*

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

As a result of the growing livestock industry, varieties of organic solid and waste biomass are generated in swine breeding and slaughtering stages. Anaerobic digestion is a promising alternative for the treatment of livestock waste biomass, as well as for the material recovery and energy production. Objectives of this study were to analyze the biochemical methane potential of swine waste biomasses that were generated from swine pen and slaughterhouse and to investigate the material recovery and methane yield per head. As pig waste biomass, swine slurry, blood, intestine residue, and digestive tract content were collected for investigation from pig farmhouse and slaughterhouse. The B_{th} (Theoretical methane potential) and B_0 (Biochemical methane potential) of swine slurry generating in swine breeding stage were 0.525 and $0.360 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{added}$, the ratio of degradation (B_0/B_{th}) was 68.6%. B_{th} of blood, intestine residue, and digestive tract content were 0.539 , 0.664 , and $0.517 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{added}$, and B_0 were 0.405 , 0.213 , and $0.240 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}_{added}$, respectively. And the ratio of degradation showed 75.1, 32.1, and 46.4% in blood, intestine residue, and digestive tract content. Material yield of swine waste biomass was calculated as TS 73.79, VS 46.75, TN 5.58, P_2O_5 1.94, and K_2O 2.91 kg head^{-1} . And methane yield was $16.58 \text{ Nm}^3 \text{ head}^{-1}$. In the aspect that slaughterhouse is a large point source of waste biomass, while swine farmhouse is non-point source, the feasibility of an anaerobic digestion using the slaughtering waste biomass need to be assessed in the economical aspect between the waste treatment cost and the profitable effect by methane production.

Key words: Swine waste, Biomass, Material recovery, Methane potential

서 언

식생활이 서구화되면서 우리나라 1인당 육류소비량은 1970년 5.2 kg에서 2010년 38.8 kg으로 급속히 증가 (MIFAFF, 2011)하면서 축산규모의 대규모화·기업화 추세가 지속되고 있다. 2005년 유기성 폐기물의 직매립이 금지되고, 2012년 가축분뇨 해양투기 전면금지가 예정됨에 따라 지속가능한 축산업을 위해 자원화 중심의 축산 바이오매스 이용에 대한 관심이 증대되고 있다. 축산부문에서 발생하는 바이오매스로는 소, 돼지, 닭 등의 가축 사육 과정에서 발생하는 가축분뇨와 도축과정에서 발생하는 동·식물성 잔재물이 있다. 가축분뇨는 가축의 사육과정에서 유기·무기의 사료를 섭취하고 체외로 배설되는 폐기물계 바이오매스를 말하며, 도축

과정에서는 폐기되거나 부패된 도체의 동물성 부속물과 장내에 잔류하는 식물성의 사료물질이 폐기물계 바이오매스로 발생한다 (KREI, 2007). 이러한 축산 바이오매스는 퇴비·액비화 과정을 통해 작물재배를 위한 비료로 이용되고 있으며, 최근 화석연료 대체와 온실가스 감축을 위한 노력으로 혐기소화를 통한 바이오가스 생산기술이 시도되고 있다.

가축분뇨를 비롯한 축산 바이오매스는 호기성 생물학적 처리과정을 거쳐 퇴비·액비로 전환되는데, 이러한 퇴비·액비의 이용은 물질 자원화의 방법 (Yoon et al., 2009a)이며, 최근에 도입되고 있는 혐기성 생물학적 처리과정을 통한 바이오가스 생산 기술은 생산한 바이오가스를 전기와 열에너지로 전환시킬 수 있는 에너지 자원화 방법 (Yoon et al., 2009b)이다. 특히 바이오가스 생산 기술은 축산 바이오매스 중의 유기물의 감량화, 대체에너지의 생산, 부산물의 퇴·액비 활용을 동시에 달성할 수 있다는 점에서 장점을 가지고 있으며, 2009년부터 농림수산식품부, 환경부, 지시경제부 등 정부부처가 합동으로 각종 바이오매스를 이용하여 지역 에

접수 : 2011. 11. 19 수리 : 2011. 12. 16

*연락처 : Phone: +82316705335

E-mail: yyman@hknu.ac.kr

너지를 자립하는 에너지 자립형 마을 시범사업을 추진하면서 축산 바이오매스를 이용하는 바이오가스화 기술은 농촌 지역에 도입할 수 있는 가장 실행 가능한 기술로 평가받고 있다 (MIFAFF, 2009).

국내 축산 바이오매스 중 양돈슬러리는 국내 가축분뇨 발생량의 50% 이상을 차지하고 있으며, 수분함량이 95~98%로 높아 퇴비화시 과다한 수분조절제 소모로 인한 경제성 문제가 지적되고, 비료성분 (질소와 인) 함량이 높은 반면 암모니아 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)의 함량이 높아 자원화시 악취 문제로 어려움을 겪고 있다. 또한, 바이오가스를 생산하는 혐기소화과정에서도 높은 암모니아로 인한 혐기미생물의 저해 효과가 보고 (Lee et al., 2004) 되고 있다.

따라서 국내 축산 바이오매스에 관한 연구는 양돈슬러리에 국한되어 있으며 도축·가공과정에서 발생하는 동식물성 잔재물에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 양돈슬러리는 일찍이 친환경 자연순환 농업과 연계하여 톱밥 등 수분 조절제와 혼합하여 호기적 발효를 통해 생산하는 퇴비를 토양 개량제로 활용해 오고 있으며, 2000년대에 친환경 농업이 대두되면서 화학비료 직접 대체를 위해 가축분뇨 발효액을 직접 액비로 활용하여 비료성분 (질소와 인)을 대체하는 물질자원화에 관한 연구 (RDA, 2002)가 진행되었다. 에너지 자원화의 경우 연속교반식 혐기소화조 (Kim et al., 2009), 고율혐기소화조 (Lee et al., 2004) 등을 활용하는 공정 연구와 바이오가스 생산량을 극대화시키기 위해 외부 탄소원으로 음식물쓰레기를 활용하는 통합 혐기소화 연구 (Heo et al., 2002; Yoon et al., 2011)가 진행된 바 있으며, 현재에는 바이오가스 생산의 주요 원료로 활용되고 있다.

따라서 본 연구는 축산부문에서 주요한 가축종인 돼지의 사육과정과 도축·가공과정에서 발생하는 양돈 바이오매스의 발생 특성을 조사·분석하고, 전과정 평가 기법을 활용하여 물질 (퇴·액비) 및 에너지 (바이오가스) 자원화 잠재량을 평가함으로써 지역단위 바이오매스 순환단지 조성을 위한 기초자료를 확립하고자 하였으며, 이를 위해 양돈 바이오매스의 발생 단계를 사양단계와 도축·가공단계로 구분하여 각각의 단계에서 발생하는 양돈바이오매스의 물질 및 에너지 자원화 잠재량을 평가하였다.

재료 및 방법

평가 범위 본 연구는 돼지 사양 및 도축·가공 과정에서 발생하는 양돈 바이오매스의 물질 및 에너지 자원화 잠재량을 평가하기 위하여 양돈 바이오매스 중 퇴비화, 액비화, 바이오가스화에 이용하는 바이오매스 발생단계를 포함하여 Fig. 1과 같이 평가 범주를 설정하였다. 돼지의 사육과정에서 발생하는 사체와 도축·가공장에서 발생하는 유기성 슬러

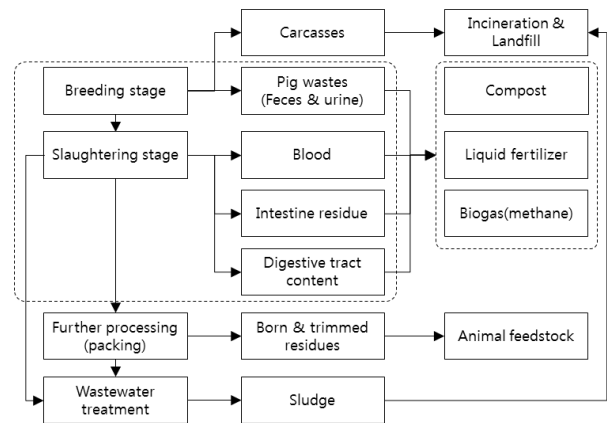


Fig. 1. Current recovery and disposal of organic solid by-products and wastes produced from the swine farming and slaughterhouse (Dotted line indicates the ranges for life cycle assessment in this study).

지는 소각 또는 매립 처분하는 것으로 평가의 범위에서 제외하였으며, 지육·정육과정에서 발생하는 육골분류는 동물 사료로 활용하는 것으로 평가의 범위에서 제외 하였다.

시험 재료 본 연구에서는 양돈 바이오매스 발생 단계 별 발생 특성을 조사·분석하기 위하여 양돈 전업농가와 도축·가공장을 선정·조사하였다. 사양 단계는 안성 일죽에 위치한 영농조합법인 (상시 사육두수 7,000두)을 선정·조사하였으며, 도축·가공장 단계는 국내 주요 도축장 2개소 (경남 김제 소재 도축장 1개소, 서울 송파 소재 도축장 1개소)를 선정·조사하였다. 또한, 양돈 바이오매스의 물질 및 에너지 잠재량 평가를 위하여 2010년 5월 공시한 양돈 전업농가에서 사양단계 발생 슬러지를 채취하여 시험에 공시하였으며, 2010년 6월 공시한 도축·가공장에서 발생하는 돈혈, 폐내장류, 장내 잔재물을 수거하여 시험에 사용하였다.

발생 원단위 산정 양돈 바이오매스의 물질 및 에너지 잠재량의 평가를 위해 양돈 슬러리의 발생 원단위는 “가축 분뇨 발생량 및 주요성분 재설정에 관한 연구” 보고서 (RDA, 2009)에 기초하여 사양 단계 (급여기간, 표준체중)별로 자돈 (1~9주, 23.4 kg), 육성돈 1기 (10~15주, 50 kg), 육성돈 2기 (16~21주, 80 kg), 비육돈 (22~26주, 110 kg)으로 구분하고 양돈분뇨 발생 원단위를 산정하였다. 또한, 도축·가공 단계에서의 동식물성 잔재물의 발생 원단위는 2010년 (12개월) 시험에 사용된 도축·가공공장 2개소의 경영자료를 분석하여 발생 원단위를 산정하였다.

물질 자원화 기준 산정 양돈 바이오매스의 물질 자원화 기준은 퇴비·액비화에 의한 비료성분량과 유기물의 함량을 항목기준으로 설정하고, 양돈 분뇨의 경우 “가축분뇨 발

생량 및 주요성분 재설정에 관한 연구” 보고서 (RDA, 2009)에 기초하여 발생 원단위 산정과 동일하게 사양단계별로 질소 (N), 인산 (P₂O₅), 칼리 (K₂O)의 함량을 산정하였으며, 유기물의 함량은 총고형물 (TS; total solid), 휘발성 고형물 (VS; volatile solid) 함량을 기준으로 산정하였다. 도축·가공 단계에서 발생하는 동식물성 잔재물의 비료성분과 유기물 함량은 공시한 시료의 질소, 인산 칼리, TS, VS 함량을 분석하여 평균값으로 산정하였다.

에너지 자원화 기준 산정 양돈 바이오매스의 에너지 자원화 기준은 혐기소화과정에서 생산되는 메탄 생산량을 항목 기준으로 설정하였으며, 바이오매스별 이론적 메탄퍼텐셜과 실험적 메탄퍼텐셜을 각각 잠재 메탄 생산량과 최대 메탄 생산량의 산출 기준으로 설정하였다. 이론적 메탄퍼텐셜은 바이오매스의 혐기소화시에 이론적으로 생산할 수 있는 메탄 생산량으로서 바이오매스의 전원소 분석 결과로부터 Boyle (1976)의 유기물 분해 반응식 식 (1)을 이용하여 화학양론적 식 (2)으로 산출하였으며, 실험적 메탄퍼텐셜은 혐기소화시 생산할 수 있는 최대 메탄 생산량으로서 생화학적 메탄 생산 퍼텐셜 (BMP; biochemical methane production) 시험 (Kim et al., 2010)을 통해 분석하였다.

$$C_a H_b O_c N_d S_e + \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3d}{4} + \frac{e}{2} \right) H_2O \rightarrow \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3d}{8} - \frac{e}{4} \right) CH_4 + \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4} \right) CO_2 + dNH_3 + eH_2S \quad (1)$$

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

메탄생산퍼텐셜 (BMP) 시험 바이오매스별 메탄생산 퍼텐셜은 회분식 혐기반응기를 이용하여 38°C에서 50일간 배양하였다 (Hansen et al., 2004). 반응기질 (S; substrate)은 공시시료를 분쇄·균질화하고, 접종액 (I; inoculum)은 가축분뇨와 음식물 통합혐기소화 시설 (안성 일죽)의 혐기소화조에서 소화액을 채취한 후 8일간 38°C에서 혐기 배양시키고, 잔여가스를 제거한 후 시험에 공시하였다. 기질 (S)과 접종액 (I)은 VS 기준으로 함량비 (S/I)가 0.5가 되도록 조정하여 혐기 반응기를 준비하였다. 메탄 생산 퍼텐셜의 측정을 위한 회분식 혐기반응기는 160 mL serum bottle을 이용하였고, 상층부는 N₂ 가스를 충전하여 혐기적 상태에서 완전 밀폐시키고 중온소화 (38°C)에서 배양하였다. 배양기간 중 주기적으로 바이오가스 생산량과 바이오가스 성상을 측정하였으며, 1일 1회 흔들어서 반응기를 교반하였다.

분석방법 메탄 생산 퍼텐셜 측정을 위한 회분식 혐기반응기의 발생가스는 2% 황산에 resazurin 0.1%를 함유하는 수주차식 가스측정기를 이용하였다 (Beuvink, 1992; Williams,

1996). 메탄농도 분석은 TCD (thermal conductivity detector)와 HayesepQ packed column (직경 3 mm, 길이 3 m, 80~100 mesh size)을 장착한 Gas chromatography (GC2010, shimadzu, 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). 이론적 메탄 퍼텐셜의 산출을 위한 전원소 항목 (C, H, O, N, S)은 원소분석기 (EA1108, Thermo Finnigan, CA)를 이용하여 분석하였다. 바이오매스의 화학적 성분분석은 Standard methods (APHA, 1998)에 따라 총고형물 (TS), 휘발성 고형물 (VS), 총질소 (TN), 총인 (TP), 칼륨 (K) 함량을 분석하였다.

자료분석 양돈 바이오매스의 발생 단계별 물질 자원화 잠재량 (P_{MR}), 에너지 자원화 잠재량 (P_{PMR} , P_{UMR})은 각각 식 (3)과 식 (4)의 산출방식에 근거하여 계산하였다. P_{MR} (kg head⁻¹)은 양돈 바이오매스의 발생 단계 (i), 양돈 바이오매스 종류 (j)를 고려한 유기물 (TS, VS) 및 비료성분 (N, P₂O₅, K₂O)별 총 물질 자원화 잠재량을 나타내며, P_{PMR} (Nm³ head⁻¹)은 양돈 바이오매스의 발생 단계 (i), 양돈 바이오매스 종류 (j)를 고려한 총 에너지 자원화 잠재량을 의미하고, P_{UMR} (Nm³ head⁻¹)은 양돈 바이오매스로부터 생산 가능한 최대 에너지 자원화 양을 의미한다.

$$P_{MR} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{MR(i,j)} Y_{MR(i,j)} \quad (3)$$

P_{MR} : Material recovery potential (kg head⁻¹)

i : Processing stage i producing pig waste biomasses
 j : Pig waste biomass j produced in each processing stage i

D_{MR} : Discharging amount of pig waste biomass j (kg head⁻¹)

Y_{MR} : Material content (% w w⁻¹)

$$P_{[PMR, UMR]} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{[MR(i,j)]} C_{VS(i,j)} Y_{[PMR, UMR(i,j)]} \quad (4)$$

P_{PMR} : Potential methane recovery (Nm³ head⁻¹)

P_{UMR} : Ultimate methane recovery (Nm³ head⁻¹)

i : Processing stage i producing pig waste biomasses
 j : Pig waste biomass j produced in each processing stage i

D_{MR} : Discharging amount of pig waste biomass j (kg head⁻¹)

C_{VS} : Volatile solid content (% w w⁻¹)

Y_{PMR} : Theoretical methane potential (Nm³ kg⁻¹-VS_{added})

Y_{UMR} : Ultimate methane potential (Nm³ kg⁻¹-VS_{added})

결과 및 고찰

양돈 바이오매스의 발생 특성 본 연구에서는 양돈 바이오매스의 물질 및 에너지 자원화 잠재량을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 양돈 및 도축·가공 과정에서 발생하는 바이오매스 중 퇴비화·액비화를 통한 물질자원의 이용과 바이오가스화를 통한 에너지 자원의 이용을 평가의 범주를 설정하였다. 돼지 1두의 사양과정에서는 돼지 분, 뇨와 돈사 세척수가 발생하고 있으나 돈사 세척수의 경우 유기물, 질소, 인산, 칼리과 같은 물질부하에는 영향을 주지 않으므로 본 연구에서는 세척수의 발생량은 평가에서 고려하지 않았으며, 도축·가공 과정에서 발생하는 물질 및 에너지 자원화가 가능한 폐기물계 바이오매스로는 도축시 방혈 단계에서 배출되는 돈혈(혈액), 돼지 도체의 불가식 적축물과 가공과정 부패로 인해 발생하는 폐내장류, 그리고 절식 후에 돼지 장내에 잔존하는 미소화 사료물질(장내 잔재물)이 배출되는 것으로 조사되었다. 도축·가공 단계의 바이오매스 중 돈혈과 폐내장류는 동물성 잔재물이었으며, 장내 잔재물은 옥수수 등 배합사료를 주성분으로 하는 식물성 잔재물이었다.

사양단계에서 발생하는 분과 뇨의 발생 특성은 가축의 성장단계별(사육기간, 평균체중)로 자돈(1~9주, 23.4 kg), 육성돈 1기(10~15주, 50 kg), 육성돈 2기(16~21주, 80 kg), 비육돈(22~26주, 110 kg)으로 분류하여 각각의 성장단계에서 발생하는 분과 뇨의 물질 부하량을 RDA (2009)의 최근 연구결과를 활용하여 재정리하였다. 자돈(23.4 kg)의 분뇨 발생 원단위는 분 0.47 kg, 뇨 0.71 kg이었으며, 육성돈 1기(50 kg)는 분 0.98 kg, 뇨 1.47 kg, 육성돈 2기(80

kg)는 분 1.55 kg, 뇨 2.33 kg, 비육돈(110 kg)는 분 2.12 kg, 뇨 3.18 kg으로 돼지의 성장단계별 분뇨 발생량의 차이가 큰 것으로 조사되었다(Table 1). 성장단계별 분에서의 TS 함량은 27.55~29.78%로 자돈에서의 총고형물 함량이 가장 낮은 것으로 나타났으며, VS 함량은 19.43~21.00%로 조사되었다. 도축·가공 단계의 혈액, 폐내장류, 장내 잔재물의 TS 함량은 각각 18.00, 29.75, 29.77%, VS 함량은 17.02, 25.64, 25.36%로 나타나 상대적으로 혈액에서의 TS 함량이 낮게 나타났다. Hejnfelt and Angelidaki (2009)는 돼지 도축장 부산물의 혐기소화 특성 연구에서 혈액의 TS와 VS 함량이 각각 17.9, 16.8%, 폐내장류의 TS와 VS 함량이 각각 28.6, 25.6%로 본 연구 결과와 비슷한 유기물 함량을 보고하였다.

양돈 바이오매스의 메탄생산 특성 양돈 바이오매스들의 전원소(C, H, O, N, S) 분석 결과와 전원소 분석 결과로부터 Boyle (1976)의 유기물 분해 반응식 식(1)을 이용하여 산출한 이론적 메탄퍼텐셜(B_{th}), BMP 시험에 의한 최대 메탄생산 퍼텐셜(B_0)은 Table 2와 같다. 전원소 분석결과로 계산한 돈분 슬러리 중 유기물의 대표 화학식은 $C_{37}H_5O_{26}N_4S_1$ 으로 나타났으며, 혈액 $C_{121}H_{23}O_{62}N_{37}S_1$, 폐내장류 $C_{177}H_{24}O_{69}N_{21}S_1$, 장내 잔재물 $C_{367}H_{53}O_{292}N_{17}S_1$ 으로 나타났다. 각각의 양돈 바이오매스의 대표 화학식으로부터 산출한 B_{th} 는 양돈 슬러리에서 $0.525 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} - \text{VS}_{\text{added}}$ 이었으며, 도축·가공 단계에서 발생하는 혈액, 폐내장류, 장내 잔재물에서 각각 $0.539, 0.664, 0.517 \text{ Nm}^3 \text{ kg}^{-1} - \text{VS}_{\text{added}}$ 으로 나타났다. BMP 시험에 의한 B_0 는 사양 단계의 돈분 슬러리에서 0.36 Nm^3

Table 1. Discharging characteristics of pig waste biomasses produced in pig farming and slaughterhouse.

Processes	By-product	Discharging unit	Chemical content					
			TS	VS	TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	
			kg day ⁻¹ head ⁻¹ ----- % -----					
Breeding step [†]	Piglet (23.4 kg) [‡]	Feces	0.47	27.55	19.43	1.02	0.67	0.36
		Urine	0.71	2.30	0.24	0.31	0.08	0.54
	Growing I (50 kg)	Feces	0.98	29.78	21.00	1.16	0.67	0.52
		Urine	1.47	3.03	0.32	1.19	0.12	0.70
	Growing II (80 kg)	Feces	1.55	29.33	20.68	0.82	0.59	0.26
		Urine	2.33	2.31	0.24	1.45	0.13	0.45
	Fattening (110 kg)	Feces	2.12	29.48	20.79	0.77	0.61	0.41
		Urine	3.18	3.08	0.32	1.11	0.15	0.65
	Slaughtering step	Blood	-	18.00	17.02	0.23	0.13	0.17
		Intestine residue	-	29.75	25.64	1.81	0.19	0.09
Digestive tract content		-	29.77	25.36	0.72	0.14	0.05	

[†]Recalculation from the data of RDA (2009).

[‡]Mean weight of pig in each feeding period.

Table 3. Material and energy recovery of pig waste biomasses produced in pig farming and slaughterhouse.

Processes	By-product	Discharging amount kg head ⁻¹	Material recovery					Energy recovery		
			TS	VS	TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	PMR [‡]	UMR [§]	
			---- kg head ⁻¹ ----					- Nm ³ head ⁻¹ -		
Breeding step	Piglet (23.4 kg) [†]	Feces	29.92	8.24	5.81	0.31	0.20	0.11	3.05	2.09
		Urine	44.92	1.03	0.02	0.14	0.04	0.24	0.01	0.01
	Growing I (50 kg)	Feces	41.47	12.26	8.64	0.48	0.48	0.48	4.54	3.11
		Urine	61.79	1.87	0.03	0.74	0.07	0.43	0.02	0.01
	Growing II (80 kg)	Feces	65.10	19.09	13.46	0.53	0.38	0.17	7.07	4.85
		Urine	97.71	2.26	0.03	1.42	0.13	0.44	0.02	0.01
	Fattening (110 kg)	Feces	74.19	21.87	15.42	0.57	0.45	0.30	8.10	5.55
		Urine	111.36	3.43	0.05	1.24	0.17	0.72	0.03	0.02
	Sub sum		526.46	70.05	43.46	5.43	1.92	2.89	22.82	15.65
	Slaughtering step	Blood	5.07	0.91	0.86	0.01	0.01	0.01	0.46	0.35
Intestine residue		2.78	2.00	1.72	0.12	0.01	0.01	0.47	0.20	
Digestive tract content		6.71	0.82	0.71	0.02	0.01	0.01	0.81	0.38	
Sub sum		14.56	3.74	3.29	0.15	0.02	0.02	1.74	0.93	
Sum		541.02	73.79	46.75	5.58	1.94	2.91	24.56	16.58	

[†]Mean weight of pig in each feeding period.

[‡]Potential methane recovery.

[§]Ultimate methane recovery.

요 약

본 연구는 축산부문에서 주요한 가축종인 돼지의 사육과정과 도축·가공과정에서 발생하는 양돈 바이오매스의 발생 특성을 조사·분석하고, 전과정 평가 기법을 활용하여 물질(퇴·액비) 및 에너지(바이오가스) 자원화 잠재량을 평가함으로써 지역단위 바이오매스 순환단지 조성을 위한 기초자료를 확립하고자 하였으며, 이를 위해 양돈 바이오매스의 발생 단계를 사양단계와 도축·가공단계로 구분하여 각각의 단계에서 발생하는 양돈바이오매스의 물질 및 에너지 자원화 잠재량을 평가하였다. 사양단계는 성장단계(사육기간, 평균체중)에 따라 자돈(1~9주, 23.4 kg), 육성돈 1기(10~15주, 50 kg), 육성돈 2기(16~21주, 80 kg), 비육돈(22~26주, 110 kg)의 단계로 분류하고 도축·가공단계에서 발생하는 혈액과 폐내장류, 장내 잔재물로 구분하여 생산량을 산정하여 양돈 바이오매스의 물질 및 에너지 자원 잠재량을 평가한 결과 돼지 1두에서 발생하는 바이오매스의 총량은 542.02 kg로 나타났다. 양돈 바이오매스는 분 210.68 kg head⁻¹, 뇨 315.78 kg head⁻¹가 발생하는 것으로 평가되었으며, 분 뇨 발생량은 성장단계별로 자돈 14.2%, 육성돈 1기 19.6% 육성돈 2기 30.9%, 비육돈 35.2%를 차지하는 것으로 나타났다. 양돈 바이오매스에서 기인하는 매탄 생산 잠재량은 24.56 Nm³ head⁻¹이었으며, 사양 단계에서 기인하는 매탄 생산 잠재량이 92.9%를 차지하는 것으로 나타났다. BMP 시

험에 의한 최대 매탄생산량은 16.58 Nm³ head⁻¹로 나타나 매탄 생산 잠재량의 67.5%가 에너지로 전환 가능하였으며, 94.4%가 사양 단계에서 기인하는 것으로 나타났다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ00744 2022011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Angelidaki, I., M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jenicek, and J. B. van Lier. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. *Water Sci. Technol.* 59(5):927-934.
- APHA. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Beuvinck, 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.
- 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 Manage.* 24:393-400.
- Hejnfelt, A. and I. Angelidaki. 2009. Anaerobic digestion of slaughterhouse by products. *Biomass Bioenerg.* 33(2009): 1046-1054.
- Heo, B.D., S.H. Kim, J.T. Yu, Y.K. Go, and S.M. Yang. 2002. The utilization of biogas production technology by anaerobic co-digestion using food waste and animal wastes. *J. KORRA* 9(4):29-34.
- Kim, J.M., J.T. Lee, and M.H. Cho. 2009. Characteristics of biogas production from organic wastes by BMP test. *Theor. Appl. Chem.* 15(2):1578-1581.
- Kim, S.H. and H.S. Shin. 2009. Acidogenesis of lipids containing wastewater by anaerobic sequencing batch reactor. *J. KSEE.* 31(12):1075-1080.
- Kim, S.H., H.C. Kim, C.H. Kim, and Y.M. Yoon. 2010. The measurement of biochemical methane potential in the several organic waste resources. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(3): 356-362.
- KREI. 2007. Policy issues and strategies to boost biomass utilization in agricultural sector: Problems and issues in Korea. Seoul, Korea.
- Lee, C.Y. 2007. Characteristics of methane production from piggery manure using anaerobic digestion. *J. KORRA.* 15(3):113-118.
- Lee, M.Y., C.W. Suh, H.S. Jeong, S.H. Lee, and H.S. Shin. 2004. A study model and estimation of ammonia inhibition on anaerobic methane fermentation. *J. KSEE.* 2004:86-99.
- Lee, Y.S., S.M. Hong, H.S. Park, U.S. Lee, and S.E. Oh. 2004. A comparative study of single and two-phase anaerobic system for distillery waster treatment in pilot plant. *J. KSEE* 13:485-192.
- MIFAFF. 2009. The study on design and establishment of biomass town. Gwacheon, Korea (in Korean).
- MIFAFF. 2011. Statistics for agriculture, fishery, and food (in Korean).
- Owen, W.P., D.C. Stuckey, J.B. Healy, L.Y. Young, and P.L. McCarty. 1979. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Res.* Vol. 13:485-492.
- RDA. 2002. Technique for application of livestock liquid fertilizer. Suwon, Korea (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. *Appl. Microbiol. Biot.* 34:823-827.
- 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. Evol. Micr.* 46: 195-199.
- Yoon, Y.M., H.C. Kim, J.S. Yoo, S.H. Kim, S.G. Hong, and C.H. Kim. 2011. The performance of anaerobic co-digester of swine slurry and food waste. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(1):104-111.
- 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.
- Yoon, Y.M., Y.J. Kim, and C.H. Kim. 2009b. The evaluation of economical efficiency to composting and liquefying process of biomass discharged in pig breeding. *Agr. Econ.* 31(6):39-62.