

가축분뇨 병합처리 바이오가스화를 위한 설계 및 운전 기술지침 마련 연구(I): 현장조사 결과 중심으로

이동진, 문희성, 손지환, 배지수[†]

국립환경과학원 폐자원에너지연구과

A Study on Establishment of Technical Guideline of the Installation and Operation for the Efficient Bio-gasification Facility of Fig Manure and Food Waste(I): Results of the Field Investigation

Dongjin Lee, HeeSung Moon, Jihwan Son, Jisu Bae[†]

Environmental Resource Research Department, National Institute of Environmental Research

(Received: Jun. 2, 2017 / Revised: Jun. 14, 2017 / Accepted: Jun. 14, 2017)

ABSTRACT: The purpose of this study is to provide a design and operation technical guideline for meeting the appropriate design criteria to bio-gasification facilities treating organic wastes. In accordance with the government's mid-to long-term policies on bio-gasification and energization of organic wastes, the expansion of the waste-to-energy (WTE) facilities is being remarkably promoted. However, because of the limitation of livestock manure containing low-concentration of volatile solids, there has been increased in combined bio-gasification without installing new anaerobic digestion facilities. The characteristics and common problems of each treatment processes were investigated for on-going 13 bio-gasification facilities. The seasonal precision monitoring of chemico-physics analysis on anaerobic digester samples was conducted to provide guidelines for design and operation according to the progress of bio-gasification treatment. Consequently, major problems were investigated such as large deviation of organic materials depending on seasons, proper dehumidification of biogas and pretreatment of hydrogen sulfide.

Keywords: swine manure, food waste, anaerobic digestion, bio-gasification

초 록: 본 연구는 유기성폐자원 (가축분뇨, 음식물류폐기물, 음식물류폐수 등)을 병합 소화하는 시설을 대상으로 적정 설계 기준치를 충족하기 위한 설계 및 운전 기술지침서 마련하고자 현장조사와 정밀모니터링을 실시하였다. 정부의 중장기 바이오가스화 정책에 따라 폐자원의 자원화 시설 확충이 활발히 추진되고 있다. 하지만 저농도 유기물을 함유하는 가축분뇨의 원료적인 한계점으로 인하여 최근 신규 혐기소화시설 설치 없이 기존시설을 활용하는 병합처리 바이오가스화에 대한 관심이 증가하고 있는 실정이다. 따라서 현재 운영 중인 바이오

[†] Corresponding author(e-mail : jisubae88@gmail.com)

가스화 13개소를 대상으로 공정별 특징 및 문제점을 분석하고 혐기소화조 현장 시료의 계절별 정밀모니터링을 실시하여 바이오가스화 공정 흐름에 따른 설계·운영 가이드라인을 제시하였다. 현장조사 수행 결과, 반입·공급 공정에서 계절별 유입물의 총고형물 농도 편차, 농가 종류에 따른 유입물 성상의 비균일성 등이 바이오가스 생산·이용 공정에서는 바이오가스의 적정 제습, 황화수소 전처리 등이 주요 문제점으로 조사되었다. 특히 가축분뇨 단독 및 병합처리 바이오가스화 시설은 최종 혐기소화 유출액이 액비화 공정을 거치므로 수요처로의 공급 및 액비저장조의 적정규모 산정이 선제되어야 한다.

주제어: 가축분뇨, 음식물류폐기물, 음폐수, 병합 소화, 바이오가스화

1. 서론

2005년 1월, 전국적으로 유기성폐기물(음식물류폐기물, 가축분뇨 등)의 직매립이 금지되고, 2006년 발효된 런던협약에 따라 2013년 1월부터 유기성폐기물의 해양배출이 전면 금지되어 육상처리 및 재활용 방안이 시급한 실정이다.¹⁾ 국내 음식물류폐기물의 발생량은 2013년도 기준으로 전체 생활폐기물의 약 26.0%인 12,663.2 ton/day 규모로 배출되고 있다.²⁾ 또한 가축분뇨의 경우, 2012년도 173,052 m³/day 로 발생되고 있으며, 전국 농가의 89.3%는 자원화(퇴비, 액비화), 9.7%는 위탁처리 등을 하고 있다.^{3),4)} 최근 음식물류폐기물 및 가축분뇨의 바이오가스화는 유기성폐자원의 해양투기 금지에 따른 대안으로 부상하고 있는 방법뿐만 아니라 새로운 신재생에너지를 생산하는 시설로 각광받고 있다.

농림축산식품부는 「중장기 가축분뇨 자원화 대책」(‘13)⁵⁾, 「가축분뇨 에너지화 실행 계획」(‘09)⁶⁾을 마련하여 환경 규제 강화에 따라 자원화 시설의 확충 등 가축분뇨를 에너지화 하고자 하는 정책방향을 추진 중에 있다. 환경부에서는 「폐자원 및 바이오매스 에너지 대책」(‘08)을 수립하여 22개 바이오가스화 시설의 확충사업을 진행하고 있으며, 최근에는 가축분뇨 처리시설과 하수슬러지 처리시설을 대상으로 음식물류폐기물을 병합하여 처리하는 방안을 적용하고 있다.^{7),8)} 이는 별도의 신규 바이오가스화 시설의 설치 없이, 기존 시설을 활용하여 음식물류폐기물을 처리하기 용이한 장점을 가진다. 또한 가축분뇨에 음식물류폐기물을 병합처리함으로써 발생되는 기존의 톤당 바이오가스의 양을 증가시킬 수

있는 효율적인 방법이다.

현재 국내에서 가동 중인 바이오가스화 시설의 가스발생량은 음식물류폐기물 109.7 m³/ton, 음식물류폐기물 폐수(음폐수) 40.9 m³/ton이다. 이에 비하여 가축분뇨는 9.6 m³/ton으로 음식물류폐기물에 비해 현저히 적은 가스발생량을 나타내고 있어 바이오가스화 처리 효율기준에 미치지 못하고 있는 실정이다.⁹⁾

따라서 음식물류폐기물을 가축분뇨와 병합처리하는 상호보완을 통하여 효율을 증대시키고 병합시설의 안정적인 운영을 도모해야 할 것이다. 본 연구에서는 가축분뇨 및 음식물류폐기물의 특성을 감안한 설치 및 운영 인자에 대한 가이드라인을 제시하는 기술지침서를 마련하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구방법 체계도 및 흐름도

본 연구는 유기성폐자원 바이오가스화 시설의 실질적인 효율 증대를 목적으로 설계·운전 기술지침서를 작성하고자 한다. Fig. 1의 연구방법은 기초조사, 정밀조사, 기술매뉴얼 마련 등 세부분으로 구분되며, 국외 매뉴얼조사, 국내 사례조사, 대표시설의 현장조사, 기술지침서 마련 등의 과정으로 진행되었다. 본 연구는 Fig. 2에 설명되어있는 바와 같이 총 3차 전문가 워크숍과 기술지침서 초안에 대해 이해관계자 설명회 등 5회에 걸쳐 의견 수렴하여 기술지침서(안)을 마련하였다.

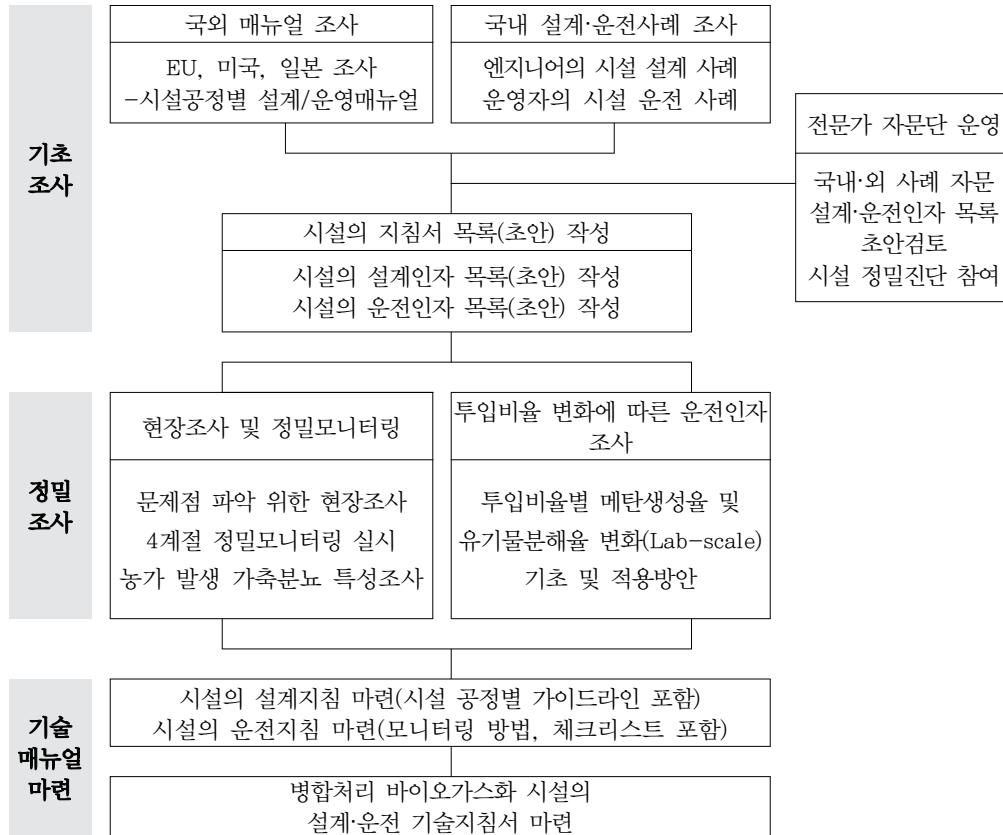


Fig. 1. Structure of research methods.

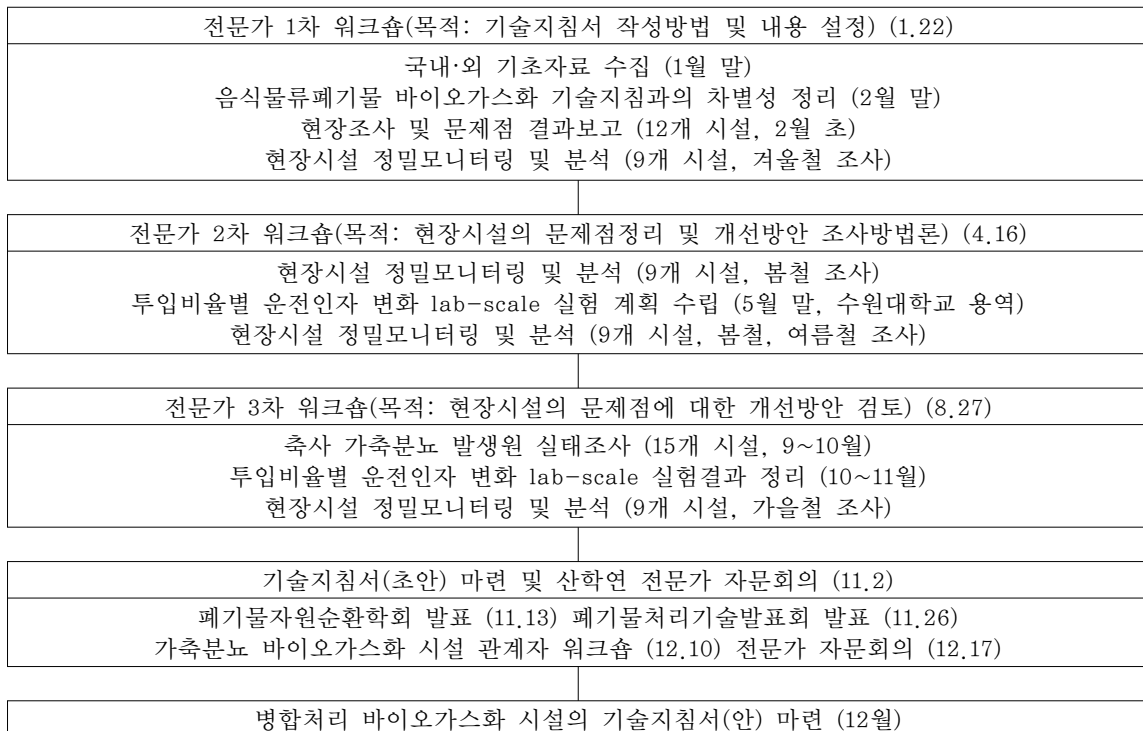


Fig. 2. Flow chart of research methods.

2.2. 현장조사

현재 운영 중인 바이오가스화 시설에 대한 기초 자료 수집 및 문제점을 분석하기 위하여 현장조사를 실시하였다. 가축분뇨 병합처리 바이오가스화 시설의 설계·운전 기술지침서 마련을 위하여 전국 13개 시설(안성, 김제, 정읍, 고창, 광주 광산, 보성, 공주, 창녕, 밀양, 양산, 아산, 파주, 울산 온산)을 대상으로 1~3차에 나누어 조사를 실시하였으며 공정별 특징 및 문제점(반입·공급 공정, 전처리 공정, 혐기소화 공정, 바이오가스 생산·이용 공정, 부산물·악취·폐수 등)을 조사하였다. 현장조사 대상시설 제원은 <Table 1>과 같다.

2.3. 정밀모니터링

가축분뇨 및 음식물류폐기물 병합처리 바이오가스화 시설의 기술지침(안) 마련을 위하여 정밀모니

터링을 실시하였다. 안성, 광주 광산, 고창, 밀양, 아산, 정읍, 파주, 양산, 울산 온산 시설을 조사대상으로 선정하였다. 시설의 특성을 반영한 4 계절 샘플링을 실시하였으며, 운영 및 분석데이터 검토를 목적으로 반입량, 가스발생량, 유기물부하량 (kg/(m³·day)), 메탄농도 등을 조사하였다.

2.3.1. 조사방법

바이오가스화 시설의 분석항목은 다음과 같다. 시설로 유입되는 원료의 성분분석을 위하여 삼성분(수분, 고형물, 회분), 영양성분(단백질, 탄수화물, 지방), COD_{Cr}, 질소(TN, NH₃-N), 인(TP, PO₄-P), 휘발성지방산(VFAs) 등을 분석하였다. 또한 공정분석 및 운영효율을 검토하기 위하여 유기물부하율, 메탄발생량 등을 산정하였다.

Table 1. Specifications of bio-gasification facilities in the field investigation

순번	시설명	대상 처리물질	병합비율 (FW : AW)	설계 용량 (ton/day)
1	안성 바이오에너지화 시설 (민간시설, 허가대상, 액비화 실시)	AM	-	20
2	광주 광산 바이오가스화 시설 (민간시설, 허가대상, 액비화 실시)	AM	-	30
3	고창 바이오가스화 시설 (민간시설, 허가대상, 액비화 실시)	AM	-	50
4	김제 가축분뇨 자원화시설 (민간시설, -, 액비화 실시)	AM	-	20
5	보성 가축분뇨 공공 처리시설 (공공시설, 신고·신고 미만, 액비화 미실시)	AM, FW	0.13 : 0.87	60
6	공주 가축분뇨 공공 처리시설 (공공시설, -, 액비화 미실시)	AM	-	250
7	창녕 우포월드 바이오가스 플랜트 (민간시설, 허가시설, 액비화 미실시)	AM, FWL	0.3 : 0.7	100
8	밀양 음식물류폐기물 병합처리시설 (공공시설, 신고·신고 미만, 액비화 미실시)	AM, FWL	0.17 : 0.83	120
9	아산 병합처리 바이오가스화 시설 (민간시설, 신고·신고 미만, 액비화 실시)	AM, FWL	0.3 : 0.7	90
10	정읍 가축분뇨 공동자원화 시설 (민간시설, 신고·신고 미만, 액비화 실시)	AM, FWL	0.3 : 0.7	100
11	파주 축분 혼합 처리시설 (공공시설, 신고·신고 미만, 액비화 미실시)	AM, FW	0.45 : 0.55	110
12	양산 바이오가스화 시설 (공공시설, 신고·신고 미만, 액비화 미실시)	AM, FW	0.46 : 0.54	130
13	울산 온산 바이오에너지 센터 (공공시설, 신고·신고 미만, 액비화 미실시)	AM, FW	0.67 : 0.33	150

* AM : 가축분뇨, FW : 음식물류폐기물, FWL : 음식물류폐기물 폐수(이하 음폐수)

2.3.2. 분석방법

바이오가스화 시설의 분석방법은 다음과 같다. 음식물류폐기물 원료의 성상분석을 위하여 삼성분(수분, 고형물, 회분), 영양성분(탄수화물, 단백질, 지방), CODcr, 질소(TN, NH₄⁺), 인(TP, PO₄³⁻), 휘발성지방산(VFAs)을 분석하였다. 또한 공정 분석 및 현장자료 검토를 위하여 유기물부하율, 체류시간, 유기물 함량(TS, VS), 메탄발생량 등을 분석하였다.

2.3.2.1 삼성분 분석법

폐기물공정시험방법¹⁰⁾에 명시된 삼성분 분석 방법을 바탕으로 시료의 수분, 가연분, 회분 함량(무게 % 기준)을 나타내었다. 가연분과 수분 함량을 아래의 계산식에 적용하여 총고형물(TS)과 회분(FS)의 함량을 계산하였다.

$$\text{수분(\%)} = \frac{\text{건조 전 시료의 무게} - \text{건조 후 시료의 무게}}{\text{건조 전 시료의 무게}} \times 100$$

$$\text{TS(\%)} = 100 - \text{수분 함량(\%)}$$

$$\text{가연분(\%)} = \text{TS(\%)} \times \frac{\text{강열 전 시료의 무게} - \text{강열 후 시료의 무게}}{\text{강열 전 시료의 무게}} \times 100$$

2.3.2.2. 영양성분(탄수화물, 단백질, 지방) 분석법
식품공정시험법¹¹⁾ (제 10. 일반시험법, 1.1.3.1 나. 단백질 분석기를 이용하는 방법; 1.1.5.1.1. 에테르추출법)에 근거하여 단백질과 지방을 분석하였다. 탄수화물은 식품공정시험법¹¹⁾ (제 10. 일반시험법, 1.1)에 근거하여 수분, 회분, 지방과 단백질 함량 분석 값을 이용하여 도출하였다(아래의 계산식 참고).

$$\text{탄수화물} = 100 - (\text{수분} + \text{회분} + \text{지방} + \text{단백질})$$

2.3.2.3. CODcr, 질소(TN, NH₄⁺), 인(TP, PO₄⁻), 휘발성지방산

CODcr은 수질오염공정시험기준¹²⁾ (ES 04315.3 화학적 산소요구량-적정법-다이크롬산칼륨법), 암모니아성 질소는 수질오염공정시험기준¹²⁾ (ES 04355.1, 자외선/가시선 분광법), 총질소는 수질오염공정시험기준¹²⁾ (ES 04363.1, 자외선/가시선 분광법-산화법), 총인은 수질오염공정시험기준¹²⁾ (ES 04362.1, 자외선/가시선 분광법), 인산염인은 수질오염공정시험기준¹²⁾ (ES 04360.2, 자외선/가시선 분광법-아스코빈산환원법)에 근거하여 분석을 실시하였다.

휘발성지방산은 기기분석시 Standard method 5560 D. Gas chromatographic method 4.a¹³⁾에 따라 Diethylether로 전처리 용액을 추출하여 GC 기기 (GC-FID, Aglient 6890, USA)를 이용하여 분석하였다. 수분석시¹⁴⁾ 원심분리기로 전 처리된 용액을 독일 바이오가스화 지침서에 수록된 적정법에 따라 분석을 실시하였다.

2.3.2.4. 이론적 메탄가스 발생량

투입한 유기성폐자원은 혐기소화를 거치면서 메탄과 이산화탄소를 주성분으로 하는 바이오가스를 생성한다. 유기성폐자원의 함유원소 C, H, O로부터 발생되는 메탄가스 발생량의 이론적 산정 식은 Buswell and Mueller (1952)¹⁵⁾의 식을 이용하고 있다.

$$C_n H_a O_b + [n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2}] H_2 O \rightarrow [\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}] CH_4 + [\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4}] CO_2 \quad \langle \text{Eq-1} \rangle$$

Tchobanoglous et al (1993)¹⁶⁾은 유기성폐자원의 주원소로 C, H, O와 함께 N을 추가하여 <Eq-2> 식과 같이 제안하고 있다. 모든 유기물질이 메탄과 이산화탄소 등 바이오가스로 전환되었다고 가정할 때 <Eq-3> 식으로 이론적 메탄가스 발생량을 계산할 수 있다. Tchobanoglous et al (1993)이 제안한 예측 식은 단백질이 혐기소화 후 발생하는 암모니아성 질소를 고려한 것이다. 본 연구에서는 원소 함량을 분석한 후, 함량 값을 이용하여 <Eq-3> 식으로 이론적 메탄가스 발생량을 계산하였다.

Table 2. Specifications of the fig farm in animal manure investigation

구분	돈사 바닥	사육 종류	비고
고성1	슬러리, 개방형, 톱밥평사	자돈, 비육성, 육성	6개월 단위로 올인 아웃 운영, 고액분리 실시
하동1	슬러리, 개방형	비육성, 육성, 임신돈, 자돈	고액분리 실시
하동2	슬러리	비육성, 육성, 모돈, 자돈	
하동3	슬러리, 개방형	비육성, 자돈	
함양1	슬러리, 개방형	자돈, 모돈, 비육성	
함양2	스크래퍼, 밀폐형	모돈, 비육성	고액분리 실시
함양3	스크래퍼	이유자돈, 모돈, 비육성, 육성	고액분리 실시
임실1	평사구조, 슬러리, 밀폐형, 개방형	자돈, 모돈, 임신돈, 이유자돈, 비육돈	고액 분리한 액상분뇨를 폭기처리하여 액비화
순창1	슬러리, 개방형	자돈, 모돈, 비육성, 육성	
순창2	슬러리, 개방형	이유자돈, 자돈, 임신돈, 분만돈, 비육성, 육성	고액분리 실시
진천1	슬러리, 밀폐형, 개방형	모돈, 비육성, 육성	고액분리 실시
진천2	개방형	육성, 분만사	고액분리 실시
진천3	슬러리, 밀폐형	이유자돈, 자돈, 비육성, 모돈	
진천4	계단식 슬러리, 개방형	자돈, 육성, 모돈, 임신돈	톱밥 토양 여과 정화시설 시범, 고액분리 실시
음성1	슬러리, 개방형	자돈, 비육성, 육성, 검정돈	고액분리 실시

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a-b-2c-3d}{4}\right)H_2O \quad \langle \text{Eq-2} \rangle$$

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

이론적 메탄가스발생량 (STP L_{CH4}/g_{VS})

$$\frac{22.4 \left(\frac{4a+b-2c-3d}{8}\right)}{12a+b+16c+14d} \quad \langle \text{Eq-3} \rangle$$

2.4. 농가 발생원 조사

가축분뇨 바이오가스화 시설로 유입되는 농가 발생원에 대하여 가축분뇨의 성상 및 유입 특성에 대해 조사하고자 정밀모니터링과 동일한 항목 (삼성분, VFAs 등)을 분석하였다. 농가 발생원 조사 대상 15개 시설 제원은 <Table 2>과 같다.

2.5. 병합처리 효과 기초조사

음식물류폐기물과 가축분뇨 병합처리시 적정 혼합 비율을 산정하고자 기초조사 실험을 실시하였다. 실험은 연속식 반응조를 사용하였으며, 메탄생성율, 유기물분해율, 휘발성 지방산 등을 조사·분석하였다. 사용된 음식물류폐기물은 A시에 위치한

음식물류폐기물 자원화 시설에서 배출된 음폐수를 이용하였고, 가축분뇨는 A시에 위치한 슬러리 형태 농가 발생원에서 채취하였다. 혼합된 기질의 농도는 2, 4, 6, 8, 10 gVS/L로 설정하였으며, 가축분뇨 : 음폐수의 비율은 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80으로 설정하여 실험을 진행하였다.

3. 연구결과

3.1. 현장조사 결과

현재 운영 중인 가축분뇨 단독 및 병합처리 바이오가스화 시설을 대상으로 현장조사를 실시하였으며, 일반적인 시설의 공정 흐름에 따라 진행하였다. 반입 및 공급 공정에서 발생하기 쉬운 문제점들은 <Table 3>과 같고, 이하 공정의 문제점들은 다음과 같다.

Table 3. Operating problems in bio-gasification facilities in field investigation

공정	문 제 점
반입 공급 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 계절별 유입물의 TS 농도 차이 <ul style="list-style-type: none"> - 하절기 축사 세척수 사용 등 물 사용량이 증가하여 동절기와 비교시 TS 농도 약 30 % 이상 감소 - 농가 저류조의 유·무, 축사 종류 및 규모의 차이에 따라 유입되는 가축분뇨 농도에 차이가 있음 (저류조 설계시 주변 농가의 축사파악이 중요) • 농가 특성에 따른 유입물 성상의 비균일성 <ul style="list-style-type: none"> - 농가의 특성에 따라 (사육 양돈 종류, 축사 형태, 축분 저장조 등) 다양한 TS 농도의 분뇨가 유입 (유입물 성상에 따라 요구되는 전처리, 혐기소화 및 가스발생량의 차이 발생) - 농가의 축분 저류조 청소시기 (예, 늦겨울 ~ 초봄)에는 고농도로 발생되어 갑작스러운 유입물의 부하변동으로 인하여 혐기성소화조에 장애 발생 • 독성물질 유입 우려 <ul style="list-style-type: none"> - 소독제 및 항생제가 발생되며, 현장 운영자들은 해당물질의 혐기소화조 저해를 받은 경험이 없다고 함. 그러나 구제역시 다량의 소독제를 사용하는 지역에서 발생하는 축분이 유입되는 경우, 혐기소화의 장애가 발생된 곳이 있음. 다만, 구제역시 소독제 함유량 등이 혐기소화에 미치는 영향을 과학적으로 규명하지는 않음 • 가축분뇨 유입 배관 폐색 <ul style="list-style-type: none"> - 고농도의 가축분뇨 유입시 좁은 관경으로 설계된 시설의 경우, 관 폐색 발생 • 유입물 동결문제 <ul style="list-style-type: none"> - 겨울철 낮은 온도로 인하여 음식물류폐기물이 동결되어 반입 및 전처리에 어려움 발생 • 호퍼 여유용량 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 평소보다 음식물류폐기물이 과다 유입되거나 또는 설비고장에 대비한 호퍼 여유용량 부족함
전처리 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 이물질 혼입 <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 유입시 이물질 (주사기, 모래, 왕겨, 가축 사체, 돌덩이 등)이 혼입됨. 전체 가축분뇨의 1 % 이내 정도 - 음식물류폐기물의 유입시 이물질은 약 7~10 %로 매우 다량 포함되어 있어 제거가 필요함. 음폐수의 경우 이물질량은 음식물류폐기물에 비해 감소함 • 음식물류폐기물의 전처리시설 집수정 용량 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 평소 이송 컨베이어에서 흘러나오는 다량의 음식물로 인하여, 물청소를 실시할 경우 집수정이 자주 넘침 • 음식물류폐기물의 파쇄선별기, 미세파쇄기 잦은 고장 <ul style="list-style-type: none"> - 제 기능을 못하는 시중의 파쇄선별기, 미세파쇄기 등으로 인하여 소화조로 이물질 및 큰 고형물이 많이 넘어가서 결국 배관의 막힘 현상이 잦음 • 저장조 미교반시 장애 <ul style="list-style-type: none"> - 저장조에 미교반시 침출수만 이송되는 현상 발생 • 이송배관 및 펌프 <ul style="list-style-type: none"> - 하부 퇴적물의 유입, 이물질 및 고부하의 원수 유입으로 인하여 원수조, 저류조의 수중펌프 고장 및 이송배관의 폐색 발생

Table 3. Operating problems in bio-gasification facilities in field investigation

(continued)

공정	문 제 점	
혐기성 소화 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 하부 퇴적물 문제 <ul style="list-style-type: none"> - 발효조 및 소화조 하부에 퇴적물로 인하여 실질적인 소화조 용량 감소 - 가스 교반시 하부 퇴적물로 인한 교반효율의 저하 우려 운영되고 있는 시설 중 혐기소화조에서 발생하는 바이오가스 계측기 및 유량계가 구비되어있지 않아 정확한 가스발생량을 예측이 어려움 • 스컴 및 거품 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기성소화조 상부에 다량의 스컴이 발생하는 경우, 바이오가스 배관의 막힘 현상 발생 - 초음파식 수위계는 스컴이 발생할 경우, 잦은 오류가 발생되므로 스컴을 육안으로 확인할 수 있도록 내부 점검용 투시창 필요 - 거품 측정기가 없는 경우는 거품이 소화조로부터 월류될 수 있음 • 소화조 온도 유지 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기성소화조의 온도유지를 위한 가온설비 필요 - 소화조 가온설비가 미비한 시설의 경우, 겨울철 가축분뇨 투입량을 줄여 소화조의 온도 변동을 줄여 운영하는 시설도 있음 철판으로 시공된 혐기성소화조는 상부 부식의 우려가 있음 • 펌프의 잦은 고장 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기성소화조 2기를 직렬로 연결시 중간 연결부분의 펌프는 주로 하부에서 인발하여 상부로 유입하므로 펌프의 고장이 잦음 • 안전장치 미흡 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기성소화조 상부에 브리더밸브 (습식), 안전밸브 및 립처디스크 (습식) 등 폭발방지 안전장치가 없음 • 발효조 및 소화조 열교환기 <ul style="list-style-type: none"> - 이중관식 열교환기는 순환 슬러지로 인해 자주 막힘 발생 - 중·대규모 시설에서 스팀 분사방식은 완전혼합, 온도 유지 등이 어려움 	
	바이오가스 생산·이용 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오가스 제습 문제 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스에 약 10 wt%, 20~25 vol% 정도의 응축수 발생함 - 제습 처리되지 않은 바이오가스로 인하여 발전기 엔진 고장 유발 • 황화수소 <ul style="list-style-type: none"> - 황화수소가 적정처리 되지 않고 발전기 혹은 보일러에 유입되는 경우, 부식이 발생하여 유지보수 비용 증가 - 발전기 종류에 따라서는 피스톤 부분이 주로 황동으로 제조되어 황화수소로 인한 부식 문제가 심각한 경우가 있음 • 하절기 발전기 가동 중지 <ul style="list-style-type: none"> - 여름철 주변의 고온으로 인하여 발전기 설비부품의 제한온도를 초과하여 오작동 및 가동 중지의 문제가 발생 • 잉여가스 연소기 <ul style="list-style-type: none"> - 가스포집조에 안전밸브를 설치하여 저장 필요 - 발전되고 남은 잉여가스를 연소하여 처리할 수 있도록 해야 함 • 가스배관 응축수 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 배관 하부에 물이 고여 발전기 및 보일러 전단부에 물을 인발할 수 있는 배출용 밸브를 설치해야 함

Table 3. Operating problems in bio-gasification facilities in field investigation

(continued)

공정	문 제 점
부산물, 악취, 폐수 등 처리 공정	<p>악취제거 미흡 시설</p>
	<p>- 공동자원화시설의 경우 악취제거 설비 미흡</p>
	<p>- 악취포집시설이 미반영 되어 있어 특히 여름철 폐수 온도 상승에 따른 암모니아 가스 과다발생으로 악취가 심함</p>
	<p>암모니아</p>
	<p>- 바이오가스의 암모니아 성분을 제거하지 않을 경우, 탈황 촉매와 반응 하여 촉매의 효율 저하</p>
	<p>액비관련 문제</p>
	<p>- 액비의 호기성 처리 부속이 적절히 이뤄지지 않을 경우, 악취 발생 (저장기간을 길게 하여 저속 폭기로 악취 제거)</p>
	<p>- 액비의 슬러지 (고형물)로 인하여 펌프 이송이 어려움</p>
	<p>- 계절별 액비 수요량이 달라 (농번기에는 수요가 적음) 공급에 어려움이 있으므로 액비저장조의 적절한 규모 확보가 필요함</p>
	<p>질소 부하</p>
<p>- 소화조 방류수가 인근 폐수처리장과 연계 처리될 경우, 질소부하에 따른 어려움</p>	
<p>지역적 특성</p>	
<p>- 특정지역 (환경 보호구역 등)은 방류수 기준 준수를 위하여 후속 폐수 처리 설비를 구비해야 함</p>	
<p>모든 저장조를 밀폐화하여 악취 발생을 제어</p>	
<p>폐수저장조의 규모가 과소하게 설계된 경우, 연계처리시 폐수 과다 발생으로 적정 유량으로 폐수 연계 방류 조절이 어려움</p>	
<p>폐수 냉각설비</p>	
<p>- 공랭식 칠러 방식은 폐수에 섞여있는 슬러지 등에 의해 막힘 현상 발생</p>	

편집자 주

이 특집원고는 총 3편으로 구성되어 있으며, 2, 3 편은 유기물자원화 25권 3호에 게재될 예정입니다.

References

1. Ministry of Environment, Economic analysis of waste-to-energy project, (2008).
2. Ministry of Environment, The status of waste generation and treatment in Korea, (2013).
3. Ministry of Environment, The status of livestock manure in korea, (2014).
4. Statistics Korea, 2014 Agriculture, Forestry and Fisheries survey report, (2014).
5. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs,

Measures for recovery for long-term livestock manure, (2013).

6. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Energization plan of livestock manure, (2009).
7. Ministry of Environment, Comprehensive plan of energization and land disposal of food waste leachate[2008~2012], (2007).
8. Ministry of Environment, Comprehensive plan of energization and land disposal of food waste leachate, (2012).
9. Ministry of Environment, 2014 Status of organic waste energy utilization facilities, (2014).
10. Ministry of Environment, Official testing method on wastes, (2012).
11. Ministry of Food and Drug Safety, Official food testing method. General testing method, (2015).
12. Ministry of Environment, Official testing method on

- water, (2014).
13. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd ed, Washington, USA, (1998).
 14. Lee, D. J., Translation of guidelines for biogas production and use in Germany, National Institute of Environmental Research (2014).
 15. Buswell, A. M. and H. F. Mueller, H. F., "Mechanism of methane fermentation", *Industrial and Engineering Chemistry*, 44(3), pp. 550~552. (1952).
 16. Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., *Integrated solid waste management*, McGraw-Hill, (1993).
 17. Ministry of Environment, Study for preparation of technical guidelines for livestock manure biogasification facilities, (2015).
 18. Sanders, F. A. and Bloodgood D. E., "The effect of nitrogen-to-carbon ratio on anaerobic decomposition, *Journal of Water Pollution Control Federation*", 37(12), pp. 1741~1752. (1965).
 19. Lee, D. J., Translation of anaerobic sludge digestion operation manual in U.S, National Institute of Environmental Research (2014).
 20. Lee, D. J., Guidelines for operation management of food waste biogasification facilities, National Institute of Environmental Research (2014).
 21. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Fertilizer control ACT, (2015).
 22. Ministry of Environment, Standard design of livestock manure facility, (2009).
 23. Lee, K. M., Jo, Y.M., Characterization of odorous elements in a livestock waste treatment plant, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 10(1), pp. 8~17 (2011).
 24. Kim, J. H., Park, J. G., Moon, M.S., Oh, J. B., Shin, J. S., The characteristic and management of odor emitted from pig farms, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 10, pp. 201 ~ 215 (2009).
 25. Parkin, G. F. and Owen W. F., "Fundamental of anaerobic digestion of wastewater sludges", *J. Environmental Engineering*, 112(5), pp. 887~920. (1991).
 26. O'Flaherty, V., Lens P., Leahy B. and Colleran E., "Long-term competition between sulfate-reducing and methane-producing bacteria during the full-scale treatment of citric acid production wastewater", *J. Water Research*, 32, pp. 185~196. (1998).