Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, 24(2), pp.3-13 (2016) ISSN 1225-6498
http://dx.doi.org/10.17137/korrae.2016.24.2.3 Special feature

하수슬러지 처리방법별 환경성 및 경제성 분석에 대한 연구(Ⅰ)
- 정밀모니터링 분석 중심으로 -

이동진, 이수영, 권영현, 배지수†, 조윤아†
국립환경과학원 환경자원연구부

A Study on Environmental and Economic Analysis for Each Treatment of Sewage Sludge(Ⅰ)
- Results of Precision Monitoring -

Dongjin Lee, Suyoung Lee, Younghyun Kwon, Jisu Bae†, Yuna Cho†
National Institute of Environmental Research, Environmental Resource Research Department

(Received: May 10, 2016 / Revised: Jun. 9, 2016 / Accepted: Jun. 13, 2016)

ABSTRACT: This study investigated the environmental and economical assessment for sewage sludge treatment options including biogasification, incineration, carbonization, drying, and solidification. Additionally it is also investigated the economical feasibility of the current guidelines (Digestion efficiency for organic waste = 45 %, Moisture content of sludge = 95 and 93 %) and it aimed to suggest the scientific informations for a policy-making. For the economical feasibility the 30 plants with anaerobic digestion treatment and the 17 plants without anaerobic digestion treatment were investigated. The result of the comparison of sewage sludge treatment options showed that anaerobic digestion+incineration was the most economically feasible considering incineration and drying. For smaller treatment capacity, solidification was the most economically feasible considering carbonization and solidification and anaerobic digestion+carbonization was the most economically feasible considering carbonization and solidification.

Keywords: sewage sludge, economical assessment, environmental assessment, anaerobic digestion

초 록: 본 연구는 바이오가스화 처리 유·무에 따라 하수슬러지 처리방법별, 즉 소각, 탄화, 건조, 고형화 등에 대한 환경성 및 경제성 분석을 실시하였다. 추가적으로 혐기 소화효율 45 %, 함수율 95% 등 정부정책 가이드라인에 때한 경제적 타당성 조사도 실시하여 정책수립의 과학적 근거자료로 제시하고자 하였다. 경제성 분석을 위하여 30개의 혐기소화 소유 시설과 17개 소유하지 않는 시설을 조사하였다. 결과적으로, 환경성 및 경제성을 고려할 때 혐기소화 이후 후처리로 소각 또는 건조하는 경우가 가장 타당한 것으로 분석되었으며, 후처리로 탄화처리하는 경우가 가장 타당성이 적은 것으로 분석되었다. 고형화 처리는 가장 경제적이었으나 환경적 및 운전성이 부족하여 타당성이 부족한 것으로 분석되었다.

주제어: 하수슬러지, 경제성 평가, 환경성 평가, 혐기소화

†Corresponding Author (e-mail: 배지수; js7532@korea.kr, 조윤아; yasic29@korea.kr)

1. 서 론

우리나라는 해양오염방지에 관한 국제협약인 “런던협약 96의정서” 가입 이후 2012년 1월 1일부터 하수슬러지의 해양배출을 전면 금지하고 있다. 또한 2005년부터는 하수슬러지의 육상 직매립이 금지되어서 하수슬러지의 육상처리 및 재활용 처리가 시급한 사회적 이슈가 되고 있다.

하수슬러지는 2011년말 기준으로 전국 496개 하수처리시설에서 연간 3,341,965 톤/년이 발생하고 있고, 2009년 이후 연평균 5.9%씩 증가하는 추세를 보이고 있다. 그리고 슬러지 발생량 증가와 더불어 에너지 비용도 상승하여 하수슬러지 총처리비용은 2006년 877억원에서 2011년 1,645억원으로 급증하였다.[1,2)]

이러한 추이에 하수슬러지의 바이오가스화는 육상 처리일 뿐만 아니라 자원·에너지 빈국인 우리나라에서 신재생에너지 생산이라는 장점을 갖은 좋은 처리대책으로 관심의 대상이 되고 있다. 환경부는 하수슬러지를 처리할 뿐만 아니라 신재생에너지까지 생산하여 하수처리장의 에너지 자립화를 이루고자 하수처리장의 소화조 효율개선을 추진하고 있다. 주요 개선사업은 유기물 분해율 45 %까지 향상과 농축조 이용을 통해 하수슬러지 함수율을 93 %까지 낮추는 방법 등이다.

하수슬러지 처리는 유기성오니에 대한 해양투기가 금지된 이후에 여러 가지 처리방법(소각, 건조, 탄화, 고화 등)이 현장에서 이루어지고 있다. 그러나 하수슬러지의 처리방법별 환경적·경제적 타당성에 대한 과학적 근거자료들에 대한 검토가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 하수슬러지의 바이오가스화 처리방법이 바람직한지, 바람직하다면 얼마 규모 이상에서 하는 것이 경제적인지를 조사하였다. 또한 바이오가스화가 경제적이지 않는 경우에는 적정 처리방법(소각, 건조, 탄화, 고화 등)이 무엇인지 환경성 및 경제성 분석을 실시하였다. 그리고 에너지자립화사업에서 실시하고 있는 유기물 분해율 45 %까지 향상과 슬러지 함수율을 95 %와 93 %로 하여 소화조에 투입하는 경우의 경제성 분석을 실시하여 정책 방안에 과학적 자료를 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 조사시설 선정

혐기성 소화시설을 운영하는 처리장에 대한 시료는 하수슬러지 유입수와 처리수 그리고 혐기성 소화조 시설폐수 등으로 하였다. 시료의 성상과 환경성 요인을 분석하기 위한 기초자료로 활용하기 위해 15개의 시설에 대한 시료분석을 실시했다. 하수슬러지만 처리하는 탄천 등 9개 시설과 하수슬러지와 음식물류폐기물을 병합처리하는 서남 등 6개 시설에 대해서 시료분석을 진행했다.

Table 1. Surveyed facilities

구 분	시설명	시설 수
하수슬러지	탄천, 부천, 일산, 안산, 정읍, 순천, 김천, 대구 북부, 부산 남부	9
하수슬러지 + 음식물류 폐기물 병합	서남, 난지, 군산, 울산, 대구 신천, 부산 수영	6

2.2. 시료분석 방법

기초조사를 위해 삼성분(수분, 고형물, 회분) 함량 분석을 수행하였고, 원소(C, H, O, N) 함량을 분석하였다. 또한 운영효율분석을 위해 VS 분해율과 이론적 메탄가스 발생량, 그리고 COD_{cr} 제거율을 분석 하였고, 저해요인 분석을 위해 휘발성 지방산 유분, 총질소, 암모니아성 질소를 분석하였다.

2.2.1. 삼성분 분석법

폐기물공정시험방법에[3)] 명시된 삼성분 분석법을 참고해서 대상 시료의 수분 함량, 가연분 함량, 회분 함량을 각각 무게 %로 나타냈다. 또한 총고형물(TS)의 함량과 휘발성고형물(VS)의 함량은 가연분 함량과 회분 함량을 고려하여 계산하였다. 분석에 사용된 계산식은 아래와 같다.

$$\text{수분 함량 (\%)} = \frac{\text{건조 전의 무게} - \text{건조 후의 무게}}{\text{건조 전의 무게}} \times 100$$

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

회분함량 (%) = 100 − 수분함량 (%) − 가연분 함량 (%)

TS (%) = 100 − 수분 함량 (%)

VS (%) = 회분함량 (%) − TS (%)

2.2.2. 원소 함량 분석법

대상 시료를 105℃로 완전 건조시켜 시료의 수분을 제거하고 0.05 mm 이하의 미세 분말 상태로 분쇄한 후 원소분석기(Leco Co. 628 series, 2012)를 이용해 대상 시료의 C, H, O, N에 대한 % 함량을 분석한다.

2.2.3. 탄수화물/단백질/지방 함량 분석법

식품공정시험법 (제 10. 일반시험법, 1.1.3.1 나. 단백질 분석기를 이용하는 방법; 1.1.5.1.1. 에테르 추출법) 에 근거한 방법으로 단백질과 지방을 분석하였고, 탄수화물은 식품공정시험법 (제 10. 일반시험법, 1.1) 에 근거한 방법으로 수분, 회분, 지방과 단백질을 분석한 후에 탄수화물을 계산하였다.

탄수화물 = 100 − (수분 + 회분 + 지방 + 단백질)

2.2.4. 그 외 분석방법: CODcr, 암모니아성 질소, 총질소, 유분, 휘발성지방산

CODcr은 수질오염공정시험기준 (ES 04315.3 화학적 산소요구량−적정법−다이크롬산칼륨법), 암모니아성 질소는 수질오염공정시험기준 (ES 04355.3, 자외선/가시선 분광법), 총질소는 수질오염공정시험기준 (ES 04363.1, 자외선/가시선 분광법−산화법)에 근거한 방법으로 분석하였고, 노말헥산 추출물질은 수질오염공정시험기준 (ES 04302.1)에 근거하여 유분을 분석하였다.

휘발성 지방산은 Standard method 5560 D. Gas chromatographic method 4.a에 의하여 전처리한 용액을 Diethylether로 추출하여 GC−FID (Aglient 6890, USA)로 측정하여 분석하였다.

2.3. 이론적 메탄가스 발생량 산정

투입한 유기성폐기물은 혐기소화를 거치면서 메탄과 이산화탄소를 주성분으로 하는 바이오가스를 생성한다. 유기성폐기물의 함유원소 C, H, O로부터 발생되는 메탄 가스발생량의 이론적 산정식은 Buswell and Mueller[4]의 식을 이용하고 있다.

$$C_nH_aO_b + [n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2}]H_2O \rightarrow [\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}]CH_4 + [\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4}]CO_2 \quad \langle \text{Eq-1} \rangle$$

Tchobanoglous et al[5]은 유기성폐기물의 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.이 제안한 예측식은 단백질이 혐기소화 후 발생되는 암모니아성 질소를 고려한 것이다. 본 연구에서는 원소 함량을 분석한 후, 함량 값을 이용하여 〈Eq−3〉 식으로 이론적 메탄가스 발생량을 계산하였다.

$$C_aH_bO_cN_d + (\frac{4a - b - 2c - 3d}{4})H_2O \rightarrow (\frac{4a + b - 2c - 3d}{8})CH_4 + (\frac{4a - b + 2c + 3d}{8})CO_2 + dNH_3 \quad \langle \text{Eq-2} \rangle$$

$$\text{이론적메탄가스발생량}(STPL \cdot CH_4/g \cdot VS) = \frac{22.4(\frac{4a + b - 2c - 3d}{8})}{12a + b + 16c + 14d} \quad \langle \text{Eq-3} \rangle$$

Fig. 1을 통해서 종합적인 분석 방법론을 보여주고 있다. 각 시설의 혐기소화조 유입과 슬러지의 시료를 가지고 기초 분석 항목, 운영효율 인자, 저해인자들을 분석하였고, 그 분석 결과를 토대로 VS 기준 혐기소화 효율과 이론적 메탄가스 발생량을 산출하였다. 또한 혐기소화조 시설의 폐수 시료를 가지고 기초 수질 항목을 분석하였다.

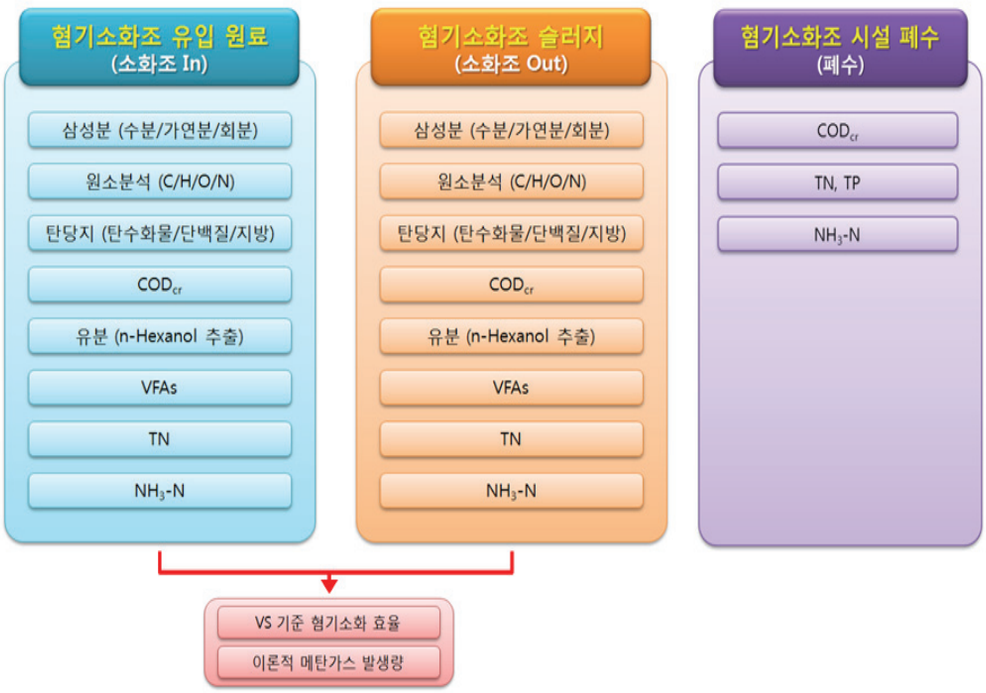

Fig. 1. Schematic diagram of the analytical methodology.

3. 연구결과

3.1. 하수슬러지 처리 기술 현황

3.1.1. 하수슬러지 발생 및 처리량 조사

하수처리 용량이 500 톤/일 이상 하수처리시설의 용량을 대상으로 하수슬러지의 발생량을 살펴보면, 2007년에서 2012년까지 6년 동안 년평균 증가율은 시설 수는 8.5 %, 처리용량은 4.3 %, 1일 톤당 하수슬러지 발생량은 5.9 %로 꾸준히 증가하였다. 이는 하수시설의 확충과 더불어 총인처리시설 등 고도처리 시설이 증가함에 따라 하수슬러지 발생량 역시 지속적으로 증가하고 있음을 보여준다.

3.1.2. 하수슬러지에 대한 국내 처리기술 종류 및 현황조사

하수처리장에서 발생된 하수슬러지는 소각, 건조, 탄화, 고화로 크게 네 가지 방법으로 최종처분되고 있다. 기타 처리방법으로 지렁이사육, 퇴비화, 부숙화 등이 일부 이용되고 있다. 하수슬러지의 해양투기가 금지되면서 국내에서 가장 많이 부각되고 있는 처리방법은 건조에 의한 슬러지 감량화 방법으로 건설 중인 시설이 16개이고, 운영 중인 시설은 32개이다. 예정대로 건설되면 총 48개로 전체 처리시설 중에서 건조공법으로 처리되는 비율은 43 %에 해당하게 된다. 이는 하수슬러지 연료화 정책 유도에 따른 건조연료 수요발생으로 최종처분되어 재활

Table 2. Trend of sewage treatment

년 도	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'15 (추정)	'20 (추정)	'25 (추정)	'07–'12 증가율 (%)
개소수	357	403	433	470	496	535	639	811	984	8.5
처리용량 (천㎥/일)	16,745	17,113	16,681	16,111	18,353	20,392	22,900	27,080	31,260	4.3
하수슬러지 발생량 (톤/일)	7,518	7,719	8,295	8,438	9,156	10,008	10,763	12,728	14,692	5.9

Table 3. Status of sewage sludge treatment facilities

구 분	개 소	용 량 (톤/일)	사업비 (억원)	처 리 공 법				
				소각	건조	탄화	고화	기타
계	111	12,213	14,650	17	48	16	13	17
운영 중 시설	89	9,157	8,844	16	32	16	12	13
건 설중 시설	22	3,056	5,806	1	16	–	1	4

Table 4. Capacity of sewage sludge digestion facilities

(1,000㎥/day)

하수처리 시설용량		계	5000이상	500미만 ~2500이상	250미만 ~2500이상	100미만 ~500이상	50미만 ~100이상
개소수	계	65	14	11	13	12	15
	가동	57	14	10	12	9	12
	미가동	8	–	1	1	3	3

용이 용이한 방향으로 처리방식이 도입되고 전환되고 있다. 건조된 슬러지는 사용처에 따라 건조연료화(시멘트연료, 발전소연료), 건조혼소(소각장내에서 건조 후 생활폐기물과 혼소하여 소각로 투입), 기타(매립, 소각)등으로 처리되고 있다. 하수슬러지 소각시설은 운영 중인 기존 16개(18 %) 시설이 존재하고 있으며 건설 혹은 계획 중인 시설이 1개소로써 감소하는 경향이다. 하수슬러지 탄화시설은 운영중인시설 16개 외에 추가로 계획·건설되고 있는 시설은 없으며, 고화시설은 운영 중인 12개 시설 외에 1곳에서 건설 중으로 탄화와 고화공법에 의한 수요는 감소하는 경향이다.

전국 470개 공공하수처리시설 중 소화조가 설치된 하수슬러지 감량화 처리시설은 65개소이다. 이 중 8개는 시설노후화 등으로 미가동 상태이고 57개소가 운영 중이다. 하수처리 시설용량 별 소화조 처리시설 개수를 보면, 운영 중인 시설 모두 하수처리량 10만톤/일 이상의 중대형 하수처리장에 소화조가 설치되었음을 알 수 있다.

3.2. 정밀모니터링 분석 결과

3.2.1. 기초조사

3.2.1.1. 삼성분

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 유입물의 특성을 수분(moisture), 가연분(VS), 및 회분(FS) 함량으로 나타냈다.

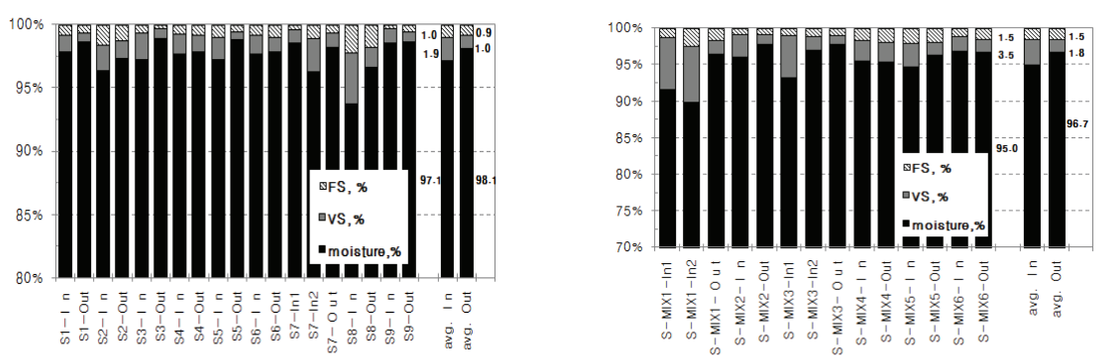

Fig. 2. Characteristics of the input/output materials of the sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment plants (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion plants).

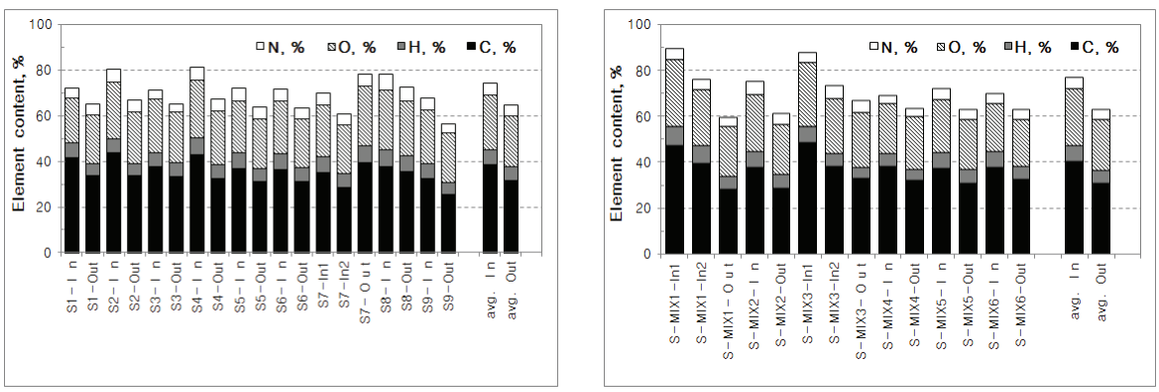

Fig. 3. C, H, O, N of the input/output materials of sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment plants (S1~S9: Sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion plants).

하수슬러지의 수분함량이 평균적으로 (97.1 %) 하수슬러지/음폐수 병합시설의 유입물 (95.0 %)보다 높은 것으로 조사되었다. 병합시설의 총고형물 함량은 평균적으로 5.0 %이고 휘발성고형물(VS)은 3.5 % 이며, 음폐수 병합시설의 유입물이 높은 것으로 분석되었다.

3.2.1.2. 원소분석

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 유입물의 원소분석 결과를 보면 음식물 병합시설의 유입물의 C 과 N의 함량이 41.0 %와 4.7% 으로 C/N 비는 8.7 이고 하수슬러지 유입물의 C과 N의 함량 38.6 %와 5.4 %으로 C/N 비는 7.1 로서 하수슬러지/음폐수 병합시설의 유입물의 C/N비가 높은 것으로 분석되었다. 두 가지 시설 모두에서 적정 C/N비 12~30 보다 적어서 N의 비중이 높은 것으로 나타났다.

3.2.2. 운영효율

3.2.2.1. VS 분해율

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 VS 기준 분해율을 비교분석 하였다. [Fig. 4]

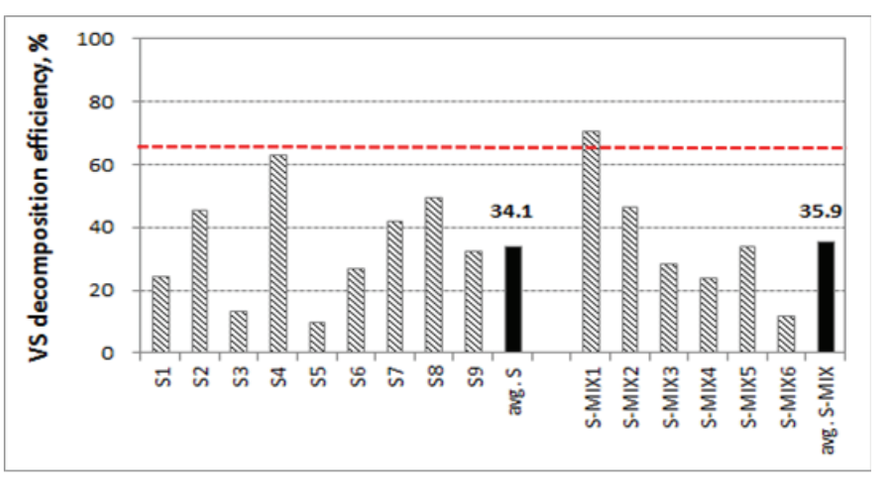

Fig. 4. Digestion efficiency (VS basis) for sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment plants (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion plants).

하수슬러지의 VS 기준 분해율은 평균적으로 40.5 % 이고 하수슬러지/음폐수 병합시설의 VS 기준 분해율은 평균적으로 41.2 % 로 분석되었다. 이 결과는 음식물의 하수슬러지/음식물 병합처리 시설에서 혐기소화 분해율이 하수슬러지 시설보다 높은 것으로써 혐기성미생물들의 분해활동이 영양성분이 풍부한 하수슬러지/음식물 병합시설에서 좀 더 활성화되어 있다고 하겠다.

3.2.2.2. 메탄가스 생성율

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 이론적 메탄가스 생성율을 비교분석 하였다.[Fig. 5]

하수슬러지의 이론적 메탄가스 생성율은 평균적으로 557.5 L・CH_4/kg$VS_{유입}$ 이고 하수슬러지/음식물 병합시설의 이론적 메탄가스 생성율은 평균적으로 566.6 L・CH_4/kg$VS_{유입}$ 분석되었다. 이 결과는 하수슬러지/음폐수 병합처리 시설에서 혐기성소화 분해율이 하수슬러지 시설보다 높은 것과 같이 이론적 메탄가스 생성율 또한 높게 나타났으며, 음식물류폐기물의 병합으로 인해 더 나은 분해율과 관련이 있음을 시사하며 미생물의 분해활동에 좋은 영향을 주었음을 알 수 있었다. 4개 시설에 대한 실제 메탄가스 생성율 평균은 0.32㎥/kg・$VS_{유입}$으로 조사되었다. 따라서 실제 메탄가스 생성율은 이론적 생성율의 57.4 %로 나타났다.

3.2.2.3. COD_{cr} 제거율

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 COD 제거율을 비교분석 하였다.

하수슬러지시설의 혐기성소화조를 통해 COD_{cr} 의 농도는 소화조 유입물 26,571 에서 유출수 18,862 mg/L로 29.0 % 제거된 반면에, 하수슬러지/음폐수 병합시설의 혐기성소화조를 통해서는 COD_{cr}의 농도는 소화조 유입물 64,033 에서 유출수 22,145 mg/L로 65.5 % 제거되었다(Fig. 6). 하수슬러지시설의 유입 COD_{cr} 농도가 낮았으며 그 제거율도 하수슬러지/음폐수병합 시설보다 낮았으며, 하수슬러지/음폐수 병합시설은 음폐수로 인해 높은 유기물함량으로 높은 COD_{cr} 농도를 보였으나 혐기성소화조의 효과적인 처리를 통해 높은 제거율이 나타났다.

3.2.3. 영향인자

3.2.3.1. 탄수화물/단백질/지방

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 탄수화물/단백질/지방 함량을 비교분석 하였다.

하수슬러지의 유입물의 탄수화물/단백질/지방함량은 하수슬러지/음폐수 병합시설의 유입물의 함량보다 낮은 것으로 분석되었다(Fig. 7). 이 인자들은 혐기성미생물의 분해활동을 위해 필요한 영양성분이며 하수슬러지/음폐수 병합 시설의 유입물이 미

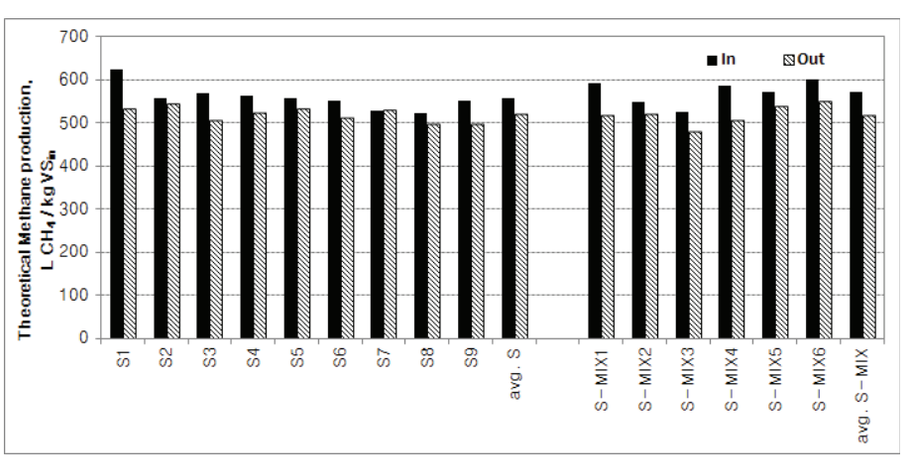

Fig. 5. The theoretical methane productions for sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment facilities (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion facilities).

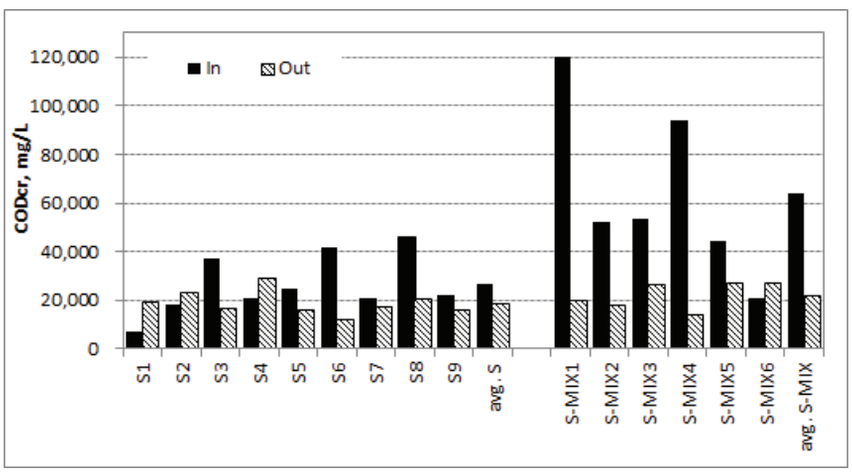

Fig. 6. COD_{cr} results of sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment facilities (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion facilities).

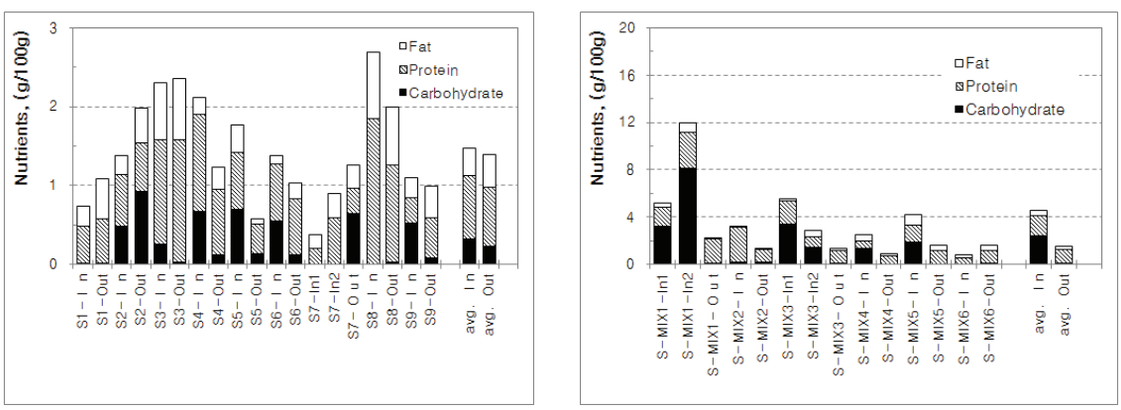

Fig. 7. Carbohydrate/Protein/Fat contents in the input/output materials of sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment facilities (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion facilities).

생물 활동을 위해 필요한 영양성분을 가지고 있음이 관찰되었다.

3.2.4. 저해요인

3.2.4.1. 휘발성지방산

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합 처리시설의 휘발산지방산의 함량을 비교분석 하였다.

하수슬러지 유입물의 휘발성지방산 함량이 전체적으로 하수슬러지/음폐수 병합 유입물의 함량보다 높은 것으로 분석되었다. 특히 아세트산과 프로피온산이 높은 것으로 분석되었다. 프로피온산 등을 분해하는 수소생산소화균은 아세트산분해 메탄생성균 보다 빠른 분해속도와 성장속도를 가지고 있다[6]. 느린 분해속도의 아세트산 분해 메탄생성균의 분해속도와 이미 높은 휘발성지방산의 농도로 소화조의 pH가 내려가므로 혐기성미생물, 특히 메탄생성균의 분해활동이 제한을 받게 된다.

3.2.4.2. 유분

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합 처리시설의 유분 함량을 비교분석 하였다.

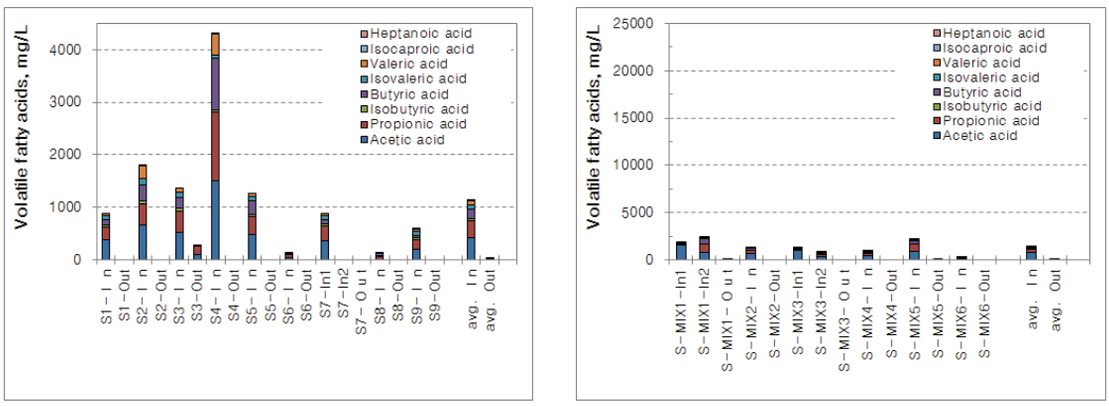

Fig. 8. Various Volatile Fatty Acids (VFAs) in the input/output materials of sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment facilities (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion facilities).

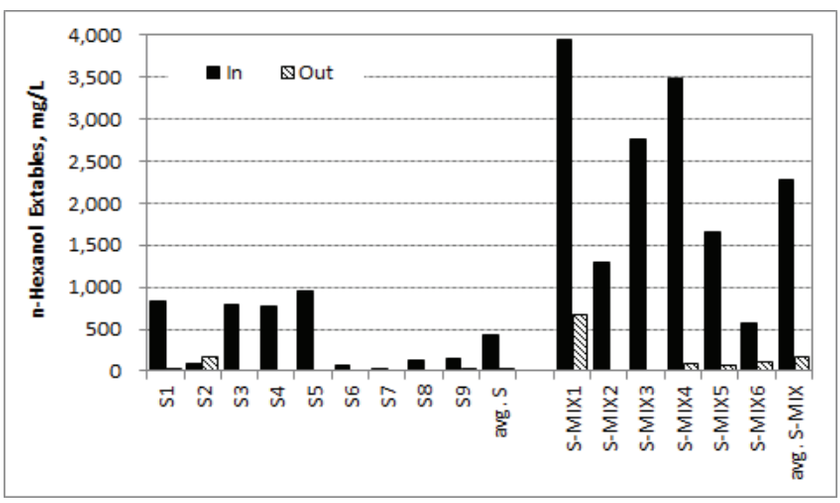

Fig. 9. N-Hexanol in the input/output materials of sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment plants (S1~S9: sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion plants).

하수슬러지시설의 혐기성소화조를 통해 N-hexanol의 농도는 422.0 에서 37.0 mg/L로 91.2 % 제거되었고 하수슬러지/음폐수 병합시설의 혐기성소화조를 통해서는 N-hexanol 의 농도는 2,288.0 에서 165.0 mg/L로 92.8 % 제거되었다(Fig. 9). 하수슬러지/음폐수 병합 유입물의 높은 농도의 유분은 음식물류폐기물에서 온 것으로 추측된다. 혐기성소화 과정 중 알코올은 아미노산, 설탕 및 지방산 발효단계에서 생성된다[4,7]. 그러므로 어느 정도의 알코올 농도는 메탄생성균의 분해활동에 활성화를 주어 메탄생성율 관련하여 도움을 주지만 알코올/유분의 축적은 메탄생성균의 활동에 저해요인이 될 수도 있다.

3.2.4.3. 총질소, 암모니아성 질소

하수슬러지 처리시설 및 하수슬러지/음폐수 병합처리시설의 총질소와 암모니아성 질소 함량을 비교분석 하였다.

하수슬러지 유입물의 암모니아성 질소 함량이 하수슬러지/음폐수병합시설의 유입물 함량보다 높은 것으로 분석되었고, 이미 존재하는 암모니아성 질소의 농도에 미생물이 순응하는 시간과 느린 분해

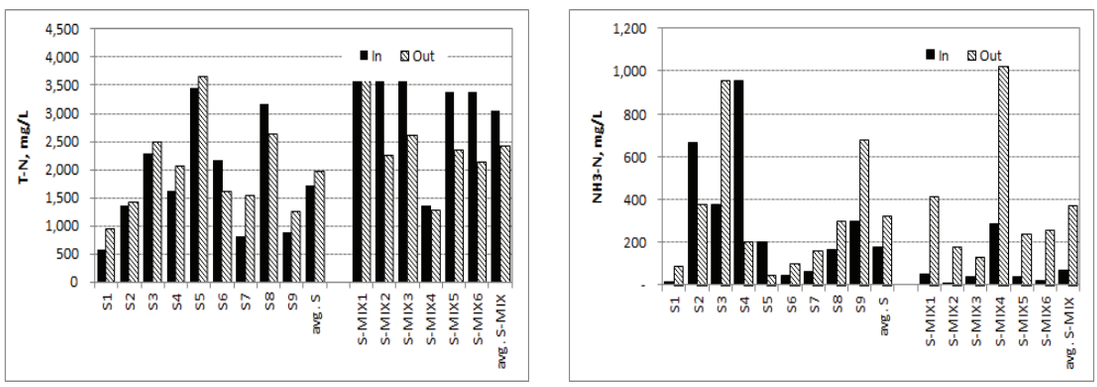

Fig. 10. T-N and NH_3-N in the input/output materials of sewage sludge and sewage sludge/food waste co-digestion treatment plants (S1~S9: Sewage sludge treatment plants; S-MIX1~S-MIX6: sewage sludge/food waste co-digestion plants).

속도가 합쳐져서 메탄생성균의 분해활동에 저해가 되었을 수 있다. 하수슬러지/음폐수 병합의 유출물에서의 암모니아성 질소는 미생물의 분해활동으로 인한 질소성분/단백질의 분해로 높은 농도로 나타났다. 총질소의 함량은 하수슬러지/음폐수 병합시설의 유입/유출물에서 높이 나온 것으로 분석된다. 암모니아는 단백질이나 요소 등이 혐기성 분해될 때 생성되는 물질이며 암모늄 이온에서 발생되는 암모니아 가스는 독성물질로 알려져 있다. Appel et al., (2008)[8], Yiying et al., (2012)[9]는 암모니아성 질소의 농도가 3,000 mg/L 이상은 저해농도라고 보고하지만 4,300 mg/L 에서도 미미한 영향이 있는 것도 보고되었고[10], 4,000 mg/L 이내의 농도에서 소화조를 운전하는 것이 좋은 것으로 보고하고 있다[11]. 보고된 자료의 농도와 비교할 때 본 시설들의 유입/유출물의 암모니아 농도는 치명적이 아닌 것으로 관찰된다.

References

1. Ocean dumping management system, http://www.oceandumping.re.kr/lundon convention, (2013).
2. Korea Ministry of Environment, 2011 Sewer statistics, (2012).
3. Korea Ministry of Environment, Official testing method on wastes, (2012).
4. Buswell, A. M. and Muller, H. F., "Mechanism of methane formation", Industrial and Engineering Chemistry, 44, pp. 550~552 (1952).
5. Angelidak, I. and Sanders, W., "Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants", Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 3, pp. 117~129. (2004).
6. Korea Ministry of Environment, Energy technology on the biogasification, Korean Environment Corporation (2011).
7. Anti, H., Addition of Esters on Anaerobic digestion: inhibiting or boosting biogas production, Master thesis, Chalmers University of Technology, Sweden (1912).
8. Appels et al., "Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge", Progress in Energy and Combustion Science, 34, pp. 755~81. (2006).
9. Yiying, J., "Biomass-biogas recycling technique studies of municipal food waste disposal: a review", Rocznik Ochrona Srodowiska, 14, pp. 21~55. (2012).
10. Kim, M., "Monitoring of digester optimum and impediment factors in intermediate temperature anaerobic digestion using high-concentration food wastes, J. Korean Soc. Urban Environment, 11(2), pp. 161~167, (2011).
11. Lee, J., "Effect of ammonia and salinity in the

anaerobic digestion using food waste, J. Korean Soc. Environ. Eng. 19(9), pp. 1185~1192. (1997).
12. Korean Institute of Development Research, An research on supplementary revision of general manual of preliminary feasibility plan, (2004).
13. Korea Ministry of Environment, An research on improvement plan of establishment・operation and economic analysis of each livestock excretion treatments, pp. 46~50 (2011).
14. Korea Ministry of Environment, An research on calculation of unit requirement of water and wastewater in housing area and cost of sewage treatment facilities, Korean Land Cooperation (2001).
15. Park, J., An research on emission characteristic of hazardous air pollution matters in incineration of sewage sludge, National Institute of Environmental Research (2006).
16. Wang, et al., "Environmental effects of sewage sludge carbonization and other treatment alternatives", Energies, 6, pp. 871~883. (2013).