



하수슬러지의 성형연료화 최적조건 연구

안형철, 이영신[†]

한서대학교 환경공학과

(2015년 3월 3일 접수, 2015년 3월 24일 수정, 2015년 3월 24일 채택)

A study on optimum conditions for molding sewage sludge

Hyung-Chul Ahn, Young-Sin Lee[†]

Department of Environmental engineering, Hanseo university

ABSTRACT

In this study, evaluating the system to reuse the sludge by improving such shortcomings as well as focusing on value using as fuel, instead of a simple process were assessed. Molding time required for 1ton of material is 31.8 ~ 115.0 minutes and power consumption per 1ton of material was estimated at 79.6kW and the shape of solid waste completed was in 22mm-long & wide square. It's 14mm, when converting solid waste in sectional area, which was acceptable to quality standard requiring 50mm or less. As a result of reviewing the quality of solid waste produced in this test, caloric value at sludge-waste mixing ration, 2 : 8 was 3,941kcal/kg and, 8:2 was 4,924 kcal/kg in maximum.

Keywords : sewage, intermittent, biodegradability, fraction, TCODc

초 록

본 연구는 단순 처리보다 연료로서의 가치를 높이기 위한 하수슬러지를 고품형연료로서 활용하는 최적조건에 대하여 연구하였다. 연구결과, 분성형기의 성형소요시간은 1ton의 혼합시료를 성형하는데 31.8~115.0 min이 소요되었고, 원료 1ton 당 평균 전력소비량은 79.6kW로 산출되었다. 성형이 완료된 고품형연료의 크기는 모두 가로, 세로 22mm 내외의 정사각형 단면 형태이다. 생성된 고품형연료는 단면이 원형이 아니므로 단

[†] Corresponding author (lees@hanseo.ac.kr)

면적으로 환산하여 비교할 경우 직경 14mm 정도로 품질기준인 직경 50mm 이내로서 적합하다. 생산된 고�형 연료의 질은 혼합비가 2:8 일 때 3,941kcal/kg 였고, 8:2 일 때 4,924kcal/kg 였다.

핵심용어: 하수, 성형연료, SRF, RPF

1. 서론

하수처리 과정을 통하여 필연적으로 발생하는 하수슬러지는 액상폐기물로서 처리해야 되는 부산물이다. 상수원 수질개선계획에 따른 하수처리장 확충에 따라 하수슬러지의 발생량은 2003년에서 2012년 까지 일평균 37.5%의 증가율을 나타내고 있으며, 2013년 말 기준 발생량은 6,624,451톤에 이르고 있다. 기존의 하수슬러지 처리는 2011년 까지 대부분이 해양투기 처리방식에 의존하였으나, 1996년의 런던협약에 따른 '96 의정서가 발효됨에 따라, 하수슬러지를 포함한 유기성 폐기물의 해양배출이 단계적으로 제한되어 오다, 2014년에는 전면 금지된 상태이다. 그렇지만 향후 모든 발생 하수슬러지는 육상처리가 불가피함에도 불구하고 하수슬러지의 처리에 대한 대책은 미진한 편이다. 2003년 7월부터 적용된 유기성 슬러지의 직·매립 금지로 2004년부터 하수슬러지 처리 중 매립의 비율이 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 2007년 2월 슬러지 수분함량 75%이하, 1일 500톤 이하 처리시설의 하수슬러지는 직·매립이 일부 허용되도록 폐기물관리법 시행규칙이 개정됨으로써 2007년 말 매립의 비율은 다시 증가하고 있는 추세이다.¹⁾

하지만, 자원의 효율적 이용이라는 측면에서 매립은 궁극적으로 바람직한 방법이 될 수 없으며, 따라서 폐기물의 재활용 방안 중 고�형연료의 제조를 통한 신재생에너지의 개발이 다른 대안으로 요구될 수 있다. 전 세계적으로 에너지의 고갈, 고유가시대의 대응과 기후변화협약의정서 발효에 근거하여 지구온난화 방지와 CO₂ 저감을 위해 CDM 사업을 추진하는데 있어서 신·재생 에너지를 하나의 대안으로 보고 있다. 신·재생 에너지 중 재생

에너지 부분의 바이오매스 에너지로 분류되고 있는 유기성슬러지는 슬러지 연료, 바이오가스, 및 연료전지의 분야에 적용될 수 있다. 국외에서는 일찍부터 유기성슬러지를 재가공하여 연료화 함으로써 자국의 환경 친화적 이미지 상승과 더불어 이익 창출을 하는 시너지 효과를 내고 있다.²⁾

한편 고�형연료는 폐기물(생활/사업장 폐기물)을 전처리(선별·파쇄·건조·성형)하여 폐기물내 함유된 수분, 금속, 유리 등의 불연물을 제거한 후 가연성분만을 가공하여 만든 고체연료로서, 크게 생활폐기물 고�형연료제품(SRF : Solid Refuse Fuel), 페플라스틱 고�형연료제품(RPF : Refuse Plastic Fuel), 페타이어 고�형연료제품(TDF : Tire Derived Fuel), 폐목재 고�형연료제품(WCF : Wood Chip Fuel) 등의 4가지로 나눌 수 있다. 고�형연료 제품은 시멘트 소성로, 발전시설, 지역난방시설, 산업용보일러, 제철소 로, 보일러시설 등에 사용된다.³⁾

하수슬러지는 건조공정 등을 통해 재가공하면 연료화가 가능하며 이러한 과정을 거친 건조물은 수분함량 10%이하, 가연분 함량 50%이상, 탄소함량 35%이상 저위발열량 3,000kcal/kg이상의 성질을 보유하여 석탄과 매우 유사한 특성을 지니고 있다. 이와 같이 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 재가공하여 화력발전소의 연료로 활용함으로써 대체 에너지를 확보하는 에너지화 사업은 석탄 연료 대체효과와 온실가스 감축과 아울러 2012년부터 시행된 신재생 에너지의 무할당제인 RPS(Renewable Portfolio Standards)에 크게 기여할 것으로 사료된다.

SRF 공정은 페플라스틱이나 폐목재와 같은 함유율이 낮은 폐기물의 건조공정이 필요 없으므로 비교적 간단하지만, 폐기물의 성상에 따라 SRF 공

정은 달라진다. 따라서, SRF는 폐기물 내 수분함량을 비롯하여 불순물과 입자의 크기, 재의 함량 등을 조절하여 생산되므로, RDF에는 발열량이 매우 중요한 요소가 되며, 대체로 3,000~6,000 kcal/kg의 발열량을 나타낸다. 발열량은 수분 함량 뿐만 아니라 회분의 함량에 따라 증감되는 것으로 나타난다.⁴⁾

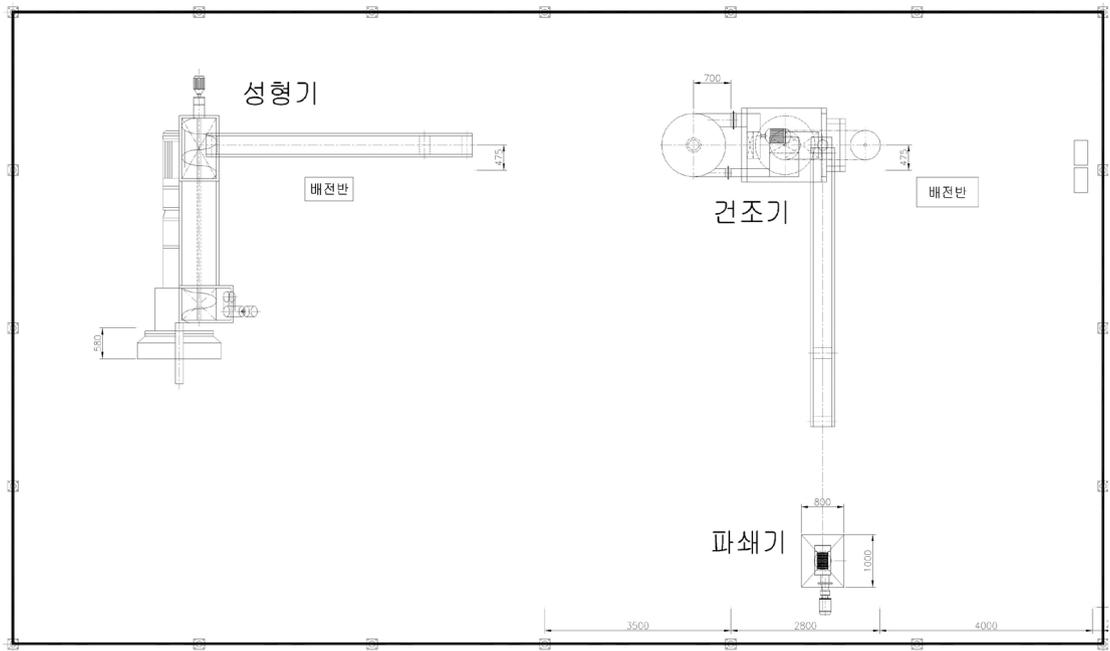
본 연구에서는 하수슬러지의 유기성 고형물 성분을 자원화 하기 위하여 기존의 단순건조 후 보조연료 생산방식을 탈피하고 보다 적극적인 방법을 적용하여 연료를 제조하는데 필요한 조건을 도

출하고자 한다. 일반폐기물과 하수슬러지의 혼합을 통하여 고형연료의 최적조건을 도출하기 위해 열량, 수분함량, 연료성분의 고형연료 특성을 평가하여 최종적으로 연료로서의 가치를 증대시키고자 하였다.

2. 시험방법 및 재료

2.1 슬러지 성상 분석

본 실험에 사용한 시료는 하수처리장 슬러지를 이용 하였으며, 그 성상은 [Table 1]에 나타내었



[Fig 1] Lab building facility layout

[Table 1] Sludge analysis result at Prunmul Center, Namyangju

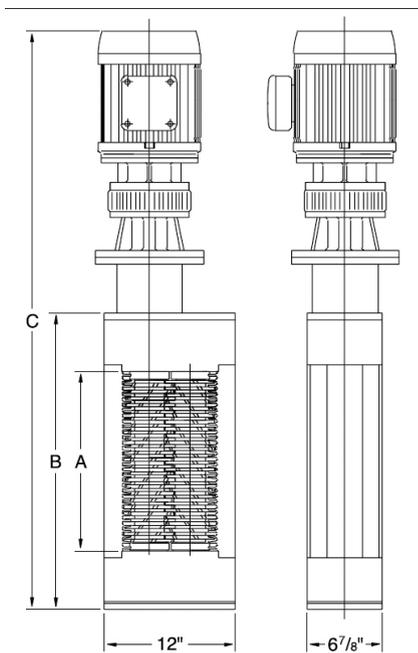
	Item	unit	Jingeon	Gaun	Jinjeob	Byulnae	Public plant for piggery waste
heavy metal	As	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND
	Cd		ND	ND	ND	ND	ND
	Hg		ND	ND	ND	ND	ND
	Pb		ND	ND	ND	6.39	ND
	Cr ⁺⁶		6.26	5.35	7.23	24.59	57.13

고, 일반적인 범위 내에 있는 시료를 사용하였다. 또한 본 연구에 활용될 설비의 설치여부 등을 고려하여 슬러지는 경기도 남양주시 별내 푸른물센터에서 탈수한 슬러지를 사용하였다.

남양주시 위치하는 진건, 가운, 진접, 별내, 가축분뇨공공처리시설의 슬러지 중 중금속을 분석한 결과, 비소, 카드뮴, 납의 경우 ND(Not Detects : 불검출)로 나타났으며, 6가크롬의 경우 5.35~57.13mg/kg으로 조사되었다. 또한 납의 경우 별내 푸른물센터에서만 6.39mg/kg으로 나타났다.

2.2 실험장치

연구 실험의 효율성을 위해 실험연구동에 배치된 기계설비는 [Fig 1]에 나타내었으며, 각각의 설비는 파쇄기, 건조기, 성형기 순으로 배치하였다. 파쇄기 전면에는 원료의 수급을 위해 원료 Yard를 설치하고 건조기와 성형기에는 원료 공급을 위한 컨베이어를 설치하였다. 실험장치는 각각의 성능 및 조합을 위해 Batch 타입으로 설



[Fig 2] Cursher design and specification

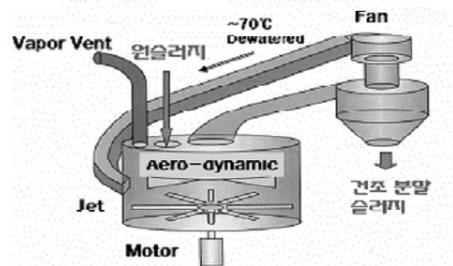
치, 운영하였으며 원료, 제품의 양을 파악하기 위해 계량기를 설치하였다. 탈수기는 경기도 별내 수질복원센터 설비를 이용하는 것으로 계획되어 별도 연구동을 설치하지 않았다.

2.2.1 파쇄기

TM 8500 파쇄기는 2개의 반대 방향으로 회전하는 커터 스택을 채용하고 있는데 그것은 좁은 간격으로 밀착되어 있어서 집중적으로 전단되고 파쇄되어 고형물이 작은 입자로 된다. [Fig 2]에 나타난 파쇄기는 본 실험에서 사용된 것으로 커터 카트리지를 채택하고 있으며 튼튼한 하나의 멀티 톱니 요소에 6개의 얇은 커터 및 스페이스 디스크를 결합한 것이다.

2.2.2 건조기

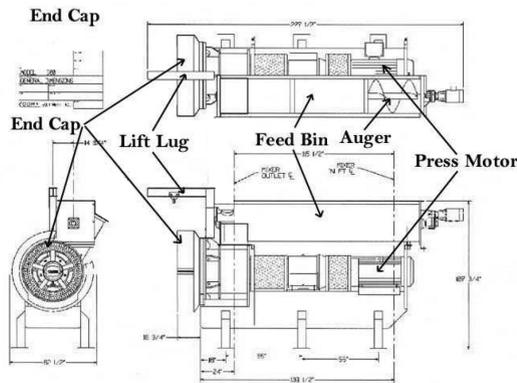
[Fig 3]에 나타난 건조기의 구조를 살펴보면, 기류를 통해 건조와 파쇄를 하는 비교적 간단한 구조를 가지고 있다. 사이클론의 공기압은 Blower motor를 통해 음압이 유지되며 덕트를 통해 공기의 흐름이 빨라오므로 토러스에 부압이 생성된다. 돌아오는 공기는 내부 제트를 통해 토러스 챔버로 전해지고 챔버에 균등하게 분배된다. 공기는 챔버로 전해지고 생산품의 대부분은 덕트를 통해 사이클론으로 유입된다. 공기는 투입 밸브를 통해서 기계 안으로 유입되고 과잉공기는 기계에서 챔버 외부에 있는 통풍구를 통해 수증기로 분리되어 배출된다. 다량의 수분을 함유하는 원료(슬러지 또는



[Fig 3] Dryer

[Table 2] Operation principle of moulder

구분	작동 원리
Feed Bin	<ul style="list-style-type: none"> 컨베이어를 통해 이송된 원료들은 Feed Bin내에 있는 Auger에 의하여 혼합되면서 Cuber 투입구 측으로 이동한다.
압축/이동	<ul style="list-style-type: none"> Cuber에 투입된 원료는 Auger Tube Assembly와 Outer Drum Assembly 사이로 투입되어 Press Motor에 의해 Auger Tube Assembly와 Outer Drum Assembly에 돌출되어 있는 나선형 돌기를 따라 압축되면서 End Cap측으로 이동한다.
성형	<ul style="list-style-type: none"> End Cap측으로 최종 압축, 이송된 원료는 Auger Tube Assembly와 Outer Drum Assembly의 말단에 압력 wheel에 의하여 다이 링을 통과 하면서 일정한 모양으로 성형되어 나온다.



[Fig 4] Driving mechanism of moulder

폐기물)는 컨베이어를 통해 역류나 먼지를 제거하는 에어수문(Air lock) 밸브를 통과하면서 건조기의 투입구에 떨어지게된다. 원료는 토러스 로터챔버에 들어가서 약 시간당 640km의 선단속도로 회전하는 막대(Sprinning bars) 위에 떨어진다. 원료는 토러스 양쪽 바와 충돌판에 반복적으로 부딪혀 파쇄되고 액체는 충격, 압축작용에 의해 재료에서 분리된다.

2.2.3 성형기

최적의 연소조건을 충족하기 위하여 질정한 모양 및 크기로 고품연료 성형제조를 위한 기기이며,

Feed Bin, Press Motor, Cuber로 구성되어 있다. 성형기의 모식도와 작동 원리에 대한 내용을 아래의 [Fig 4]와 [Table 2]에 나타내었다.

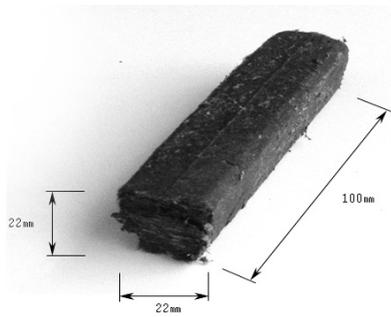
3. 결과 및 고찰

3.1 슬러지 고품연료 실험

슬러지만을 사용하여 성형한 연료의 경우는 발열량이 2,954kcal/kg으로 고품연료 품질기준에 미치지 못하였으며, 회분 또한 30%를 상회하여 연료로서 적합하지 않은 것으로 분석되었다. 다만 수분의 경우는 기준 이내로 나타났다. 슬러지만을 고품연료로 사용하는 것은 발열량이 낮고, 회분의 양이 많아 연료로서 사용은 부족한 것으로 판단되며, 이를 극복하고 주 연료로서의 가치를 갖기 위해서는 일정량 폐기물의 혼합이 필요한 것으로 판단된다. 따라서, 슬러지를 20% 혼합하여(일반폐기물 80% 함유) 제조한 성형연료의 발열량은 5,000 kcal/kg 이상으로 매우 우수한 품질을 보이고 있으며, 수분 및 회분도 각각 4.71%, 16.46%로 고품연료 품질기준에 적합한 것으로 분석되었다. 결과는 [Table 3]에 나타내었다.

[Table 3] Basic moulding test – SRF moulding test analysis result

슬러지/폐기물	발열량(kcal/kg)	수분(wt, %)	회분(wt, %)
2 : 8	5,314	4.71	16.46
10 : 0	2,954	9.98	34.03



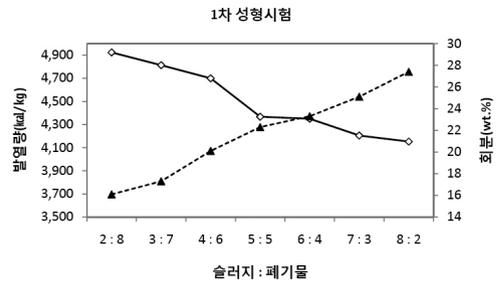
[Fig 5] Shape and size of SRF

3.2 고체연료와 슬러지의 최적의 성형조건
 최적의 성형조건을 결정하기 위하여 [Fig 5]에 나타난 것과 같은 고체연료를 슬러지와 혼합비를 달리하여 4회에 걸친 실험을 하였다. P시, 서산시의 생활폐기물 고형연료와 비성형 고형연료를 사용하였다. 슬러지와 고체연료의 혼합비율은 각각 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 및 8:2로 하였다.

3.2.1 성형조건 실험결과

1차 실험은 P시의 생활폐기물을 선별 후 적정 크기로 파쇄하여 생성한 비성형 고형연료를 본 실험의 목적에 맞게 가공하여 사용하였다. 실험결과는 [Fig 6]에 나타내었으며, 슬러지와 폐기물의 혼합비율에 따라 발열량의 경우 4,153~4,924kcal/kg, 수분은 2.5~6.6%wt, 염소 0.81~1.10%wt, 황분 0.02~2.22%wt로 고형연료 품질기준을 만족하였으나 회분은 16.1~27.4%wt로 슬러지의 혼합율이 높아질수록 회분량도 높아지는 것으로 나타났다. 대체로 4:6 혼합비율 이상에서는 기준치(20%wt)를 상회하고 있는 것으로 분석되었다.

2차 실험은 서산시의 생활폐기물을 수선별하여 시료로 사용하였으며, 성형한 고형연료를 ‘화학용



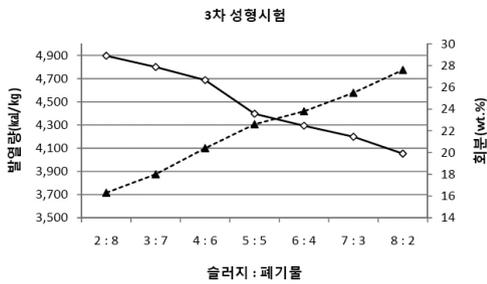
[Fig 6] Relationship between calorific value and ash content by mixing ratio (1st)

합시험연구원’에 의뢰하여 분석하였다. 2차 실험 분석결과는 [Table 4]에 나타내었으며, 폐기물을 20% 이상 혼합하였을 경우 4,000kcal/kg이상의 발열량을 보여 화력발전소등 고형연료 사용시설에서 충분히 주 연료로서 사용이 가능한 것으로 나타났다. 다만, 4:6과 5:5의 혼합시 각각 수분함량이 11.9%wt, 10.20%wt로 10%를 상회할 때 다른 혼합비율보다 낮은 열량을 나타내며 고형연료의 품질기준에도 부합하지 않으므로 건조시 수분의 조절이 필요할 것으로 판단되었다.

3차 실험은 P시의 비성형 고형연료를 시료로 사용하였으며, 성형한 고형연료의 발열량 및 수분, 회분을 분석하였다. 시험결과는 [Fig 7]에 나타내었으며, 발열량은 4,053~4,897kcal/kg이고, 수분함량은 3.10~4.10%, 회분은 16.3~27.60%의 분포를 보이고 있다. 발열량 및 수분의 경우는 고형연료 품질시험기준을 만족하고 있으나, 회분의 경우는 1차 시험의 결과에서와 같이 슬러지의 혼합비에 비례하는 결과를 보이고 있으며 슬러지 혼합율이 40% 이상이면 회분의 함량이 20%를 초과하는 것으로 나타나 고형연료 품질기준에는 부적합한 것으로 나타나고 있다.

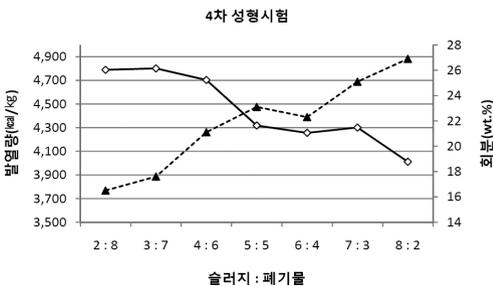
[Table 4] SRF moulding test analysis result(2nd)

구 분	슬러지와 폐기물의 혼합물(슬러지 : 폐기물)						
	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2
저위발열량(kcal/kg)	4,438	4,385	4,115	4,108	4,493	4,775	3,941
수분(% wt.)	5.59	9.16	11.90	10.20	5.52	4.02	3.26



[Fig 7] Relationship between calorific value and ash content by mixing ratio (3rd)

4차 실험은 서산시의 생활폐기물을 수선별 하여 시료로 사용하였으며, 성형한 고행연료의 발열량 및 수분, 회분을 분석하였다. 4차 시험분석결과는 [Fig 8]에 나타내었으며, 발열량 4,011~4,801kcal/kg, 수분함량 3.10~4.10%wt, 회분 16.5~26.90%wt로 나타났다. 전체적으로 앞서 시험한 결과들과 비슷한 양상을 보이며 발열량과 수분은 고행연료 품질기준에 적합, 회분은 슬러지 함량 40% 이상에서는 부적합한 것으로 나타나고 있다.



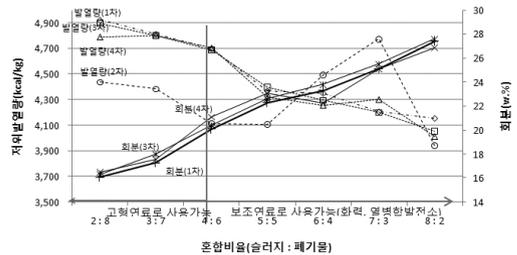
[Fig 8] Relationship between calorific value and ash content by mixing ratio (4th)

3.2.2 성형조건 실험결과 종합

4차에 걸친 실험분석 결과를 종합하여 [Fig 9]에 나타내었다. 슬러지만 고행연료화 하였을 경우는 발열량이 3,000kcal/kg 내외로서 발전시설이나 시멘트 생산시설에서 주 연료로 사용하기에는

부적합하나, 폐기물을 20% 이상 혼합하였을 경우 3,900kcal/kg 이상의 발열량을 보여 화력발전소 등 고행연료 사용시설에서 충분히 주 연료로서 사용이 가능한 것으로 나타났다.

발열량을 제외한 수분, 염소, 황분 및 중금속의 경우도 고행연료 품질기준에 적합한 것으로 분석되었으나, 회분의 경우는 슬러지의 혼합율이 증가할수록 높아지는 현상을 보이고 있어 현재의 고행연료 품질기준 중 회분의 품질기준(20wt.%)에 적합하지 않은 혼합비율도 있다.(슬러지 혼합율 40% 이상) 따라서 고행연료로서의 기준을 만족하기 위해서는 슬러지의 혼합율을 40% 이하로 조절하여 고행연료화 하여야 할 것이다.



[Fig 9] Quality of SRF by mixing ratio (sludge: waste)

4. 결론

본 연구를 통해 하수슬러지의 유기성 성분의 고행물을 자원화 하기 위한 최적의 조건을 도출하기 위하여, 일반폐기물과 하수슬러지의 적정한 혼합비율을 4차례의 시험을 통하여 고행연료 생산을 위한 최적조건으로 도출하고, 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시료 분석 결과

남양주시 푸른물센터의 슬러지의 경우 비소, 카드뮴, 수은, 납 모두 불검출로 분석되었으며, 6가 크롬은 5.35~24.59 mg/kg이 검출되었으며, 서

산시소재의 3개 공공하수처리시설 슬러지의 경우 납, 6가크롬은 불검출로 분석되었으며, 비소 0.006~0.018mg/kg, 카드뮴 0.005mg/kg, 수은 0.0008mg/kg가 검출되었다. 총 7개의 푸른물센터 및 공공하수처리시설 슬러지의 중금속 함유량은 극히 미량인 것으로 분석되었다.

2. 고품연료 및 하수슬러지 최적 혼합비 특성 평가

- (1) 본 연구에서 성형이 완료된 고품연료의 크기는 모두 가로, 세로 22mm 내외의 정사각형 단면 형태이며, 생성된 고품연료는 단면이 원형이 아니므로 단면적으로 환산하여 비교할 경우 직경 14mm 정도로 품질기준인 직경 50mm 이내로서 적합하다. 길이는 전체에 걸쳐서 일정한 모양을 하고 있으며, 100mm 이하로 생성되어 이 또한 성형 고품연료제품 품질기준에 각각 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 하수슬러지 혼합 기초실험 결과 발열량이 3,000kcal/kg 내외로서 발전시설이나 시멘트 생산시설에서 주 연료로 사용하기에는 부적합하나, 폐기물을 20% 이상 혼합하였을 경우 3,900kcal/kg 이상의 발열량을 보여 화력발전소 등 고품연료 사용시설에서 충분히 주 연료로서 사용이 가능한 것으로 나타났다.
- (3) 발열량을 제외한 수분, 염소, 황분 및 중금속의 경우도 고품연료 품질기준에 적합한 것으로 분석되었으나, 회분의 경우는 슬러지의 혼합율이 증가할수록 높아지는 현상을 보이고 있어 현재의 고품연료 품질기준 중 회분의 품질기준(20wt.%)에 적합하지 않은 혼합비율도 있다.(슬러지 혼합율 40% 이상) 따라서 고품연료로서의 기준을 만족하기 위해서는 슬러지의 혼합율을 40% 이하로 조절하여 고품연료화 하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 환경부, 『런던협약 '96의정서 발효에 따른 하수 슬러지 관리 종합대책』, 2007. 5
2. 송한철외 2인, 『유기성슬러지 연료화 기술』, 유기성자원화, Vol. 16 No. 1, pp. 20-22, 2008
3. 환경부, 『자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행 규칙』, 2010
4. 장필규, 『페플라스틱 고품연료의 열적 특성 연구』 수원대학교 석사학위논문, 2006
5. 정해찬, 『하수슬러지를 이용한 고품연료 제조 및 물성에 관한 연구』, 건양대학교 석사학위논문, 2004
6. Parker, C. and Roberts, T.(eds.), 『Energy from Waste : An Evaluation of Conversion Technologies.』, Elsevier, London, U.K., 217, 1985
7. C.G.Phae and M.Shoda, 『Characteristics of Bacillus subtilis isolated from Suppressive Composts Phytopathogens』, Soil SCI. Plant Ntr., 36, pp. 575-586, 1990
8. C.G.Phae and M.Shoda and H.Kubota, 『Suppressive Effect of bacillus subtilis and its products on Phytopathogenic Microorganisms』, J.Ferment. Bioeng., 69, pp. 1-7, 1990
9. 남영우외 1인, 『국내 하수슬러지 처리 현황 및 개선방안』, 한국폐기물학회지, 28. No1 pp.103-109, 2011
10. 신기명, 『하수슬러지 연료 특성 및 석탄화력 혼소에 따른 Fly Ash 재활용 영향 연구』, 계명대학교 석사학위논문, 2012
11. 최연석외 1인, 『폐기물 고품연료(RDF)의 특성 및 전망』, 한국폐기물학회지, Vol.16, No.4. pp 287~299., 2008
12. 최연석, 『가연성폐기물 고품연료(RDF)의 경제성 분석 및 제도도입에 관한 연구』, 2006
13. 이병진, 『MBT 공정 및 특성에 따른 RDF 수

- 을 및 최적화에 관한 연구], 서울시립대학교 석사학위논문, 2012
14. 김석준외 4인, 『폐기물고형연료(RDF)를 활용한 화력발전사업 타당성 연구』, 한국폐기물학회지 Vol.18, 2001
 15. 이양신, 『영농폐비닐과 제지슬러지를 혼소한 고형연료(RDF)에 관한 연구』, 목포대학교 석사학위논문, 2007
 16. 황현욱, 『폐플라스틱 고형연료 및 보조재 혼합 열분해의 열중량 및 동역학 특성 연구』, 경북대학교 박사학위논문, 2013
 17. 환경부, 『폐기물·바이오 고형연료 규정 전면 수정』, 2011
 18. 한국환경공단, 『성남시 하수슬러지 자원화시설 설치사업 타당성조사 보고서』, 2012
 19. 한국환경공단, 『익산시 하수슬러지 자원화시설 설치사업 기본계획 보고서』, 2013
 20. 환경부, 『하수슬러지 감량화 방안 연구』, 2011
 21. 환경관리공단, 『생활폐기물 소각시설 설치·운영지침 해설서』, 2008
 22. 수도권매립지관리공사, 『가연성폐기물 자원화시범사업 기본계획 보고서』, 2007
 23. 수도권매립지관리공사, 『가연성폐기물 자원화시범사업 조사보고서』, 2007
 24. 김준형외 2인, 『우리나라 하수슬러지의 처리 현황 및 건조연료화 개선 방안』, 대전대학교 환경문제연구소 논문집, Vol.17, pp. 49~58, 2013
 25. 김종철, 『폐자원을 이용한 하수슬러지의 마이크로파 건조 및 고형연료화』, 동아대학교 석사학위논문, 2010
 26. 진원기, 『하수슬러지 처리 및 자원화 정책방안에 관한 연구』, 연세대학교석사학위논문, 2009
 27. 한두희, 『폐플라스틱 재활용 고형연료(RPF)의 제조 및 특성 연구 1』, 한국산학기술학회, Vol. 2006 No. 1, 2006
 28. 원다도, 『고유가에 따른 대체연료로서의 RPF 제조와 특성에 관한 연구』, 경운대학교 석사학위논문, 2009
 29. 강성완, 『유동상식 가스화로에서 RDF의 원료 폐기물 성상별 가스화 특성』, 서울시립대학교 석사학위논문, 2011