

# 증기열 전처리공정을 이용한 유기성 슬러지의 건조 및 성형연료화

논문

58P-4-29

## Dehydration and RDF Production of Organic Sludge with Hydrothermal Pre-treatment Process

박 세 준\* · 최 용 성<sup>†</sup> · 이 경 섭\*\*

(Se-Joon Park · Yong-Sung Choi · Kyung-Sup Lee)

**Abstract** - This paper suggests the dehydration and RDF(Refuse Derived Fuel) production of organic sludge, livestock manure and sewerage sludge causing environmental problems, with hydrothermal pre-treatment process. The renewable technology from the organic wastes must involve short treatment time required, reusable energy source, anti-odor and viruses, low cost for the treatment, and well-fertilization. The hydrothermal pre-treatment process promotes to evaporate moisture in the sludge after being shortly treated in a reactor, which is supplied steam and heat by an external boiler, due to the pressure with steam breaks the cell walls of the sludge, so this process removes the internal moisture of the cell. Then, the treated sludge(solid-state) is mixed with waste vinyls called RDF(6,706kcal/kg).

**Key Words** : Renewable Energy, Organic Sludge, Hydrothermal Pre-Treatment Process, RDF(Refuse Derived Fuel)

### 1. 서 론

하수슬러지와 축분과 같은 유기성 슬러지의 처리방법 중 그동안 저가의 처리 비용으로 대부분의 지자체에 의해 선호되어 왔던 해양투기는 중금속 또는 잔류성 유기화합물질에 의해 해양생물의 안전 및 면역성을 훼손하고, 먹이연쇄 과정을 통해 인간의 건강을 위협할 수 있으며, 다량의 유기물질 투기로 인하여 폐쇄성 해역이나 해류가 정체된 해역에서 부영양화 또는 조류 발생 등으로 근해어장에 큰 피해를 야기할 수 있는 문제점을 안고 있다[1]. 더욱이, 2012년 이후 폐기물 해양배출 관련 국제협약에 의해 유기성 슬러지의 해양투기가 전면 금지될 것으로 전망되어 향후 유기성 슬러지의 환경친화적 처리기술 개발이 사회 문제로 부각될 것으로 전망되고 있다[2]. 이에 따라 유기성 슬러지의 처리를 위하여 정부에서는 혐기소화, 퇴비화, 고화, 연료화, 건조, 소각, 탄화, 열분해용융 등 유기성 슬러지의 처리방법을 확대, 자원화공공처리시설(액비, 퇴비 생산) 신설 및 지역단위 통합관리센터 설치 등의 방안을 제시한 바 있으나[3] 처리공정의 경제성 및 악취 등으로 인한 잦은 민원의 발생으로 처리설비의 확충에 어려움을 가중시키고 있는 실정이다.

한편, 최근에 활발한 연구가 진행되고 있는 혐기소화공정을 이용한 자원화 기술 개발은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 많은 연구개발이 진행되고 있으나, 가스 발생을 위해 30~40일이 필요하며, 온도편차에 의한 안정적 가스 발

생의 어려움, 악취 발생으로 여전히 민원의 소지를 안고 있을 뿐만 아니라 처리를 위한 충분한 공간 확보가 문제점으로 지적되고 있다.

유기성 슬러지의 효과적인 처리를 위해서는 ① 처리시간이 짧을 것, ② 단순한 처리가 아닌 재활용/에너지자원화가 가능할 것, ③ 악취방지, 질병예방이 가능할 것, ④ 처리비용이 높지 않을 것, ⑤ 고품질의 비료화 등을 만족할 수 있는 기술이어야 한다. 따라서 상기 5가지의 조건을 충족하고, 에너지 자원의 효율적 이용을 장려하는 정부의 시책에 기여할 수 있으며, 유기성 슬러지 해양투기 금지에 따른 대안제시가 가능한 증기열 전처리 및 성형연료화 공정기술을 본 논문에서 제안한다.

### 2. 유기성 슬러지의 건조

타 바이오매스와 마찬가지로 건조 처리되지 않은 유기성 슬러지는 함수율이 높아 에너지 자원으로서 활용은 비경제적이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 함수율과 가용에너지간의 상관관계는 함수율이 적을수록 이용할 수 있는 에너지는 높아진다는 것이다. 열화학적 프로세스에 의한 에너지 전환 방법에서, 유기성 슬러지가 가지는 화학 에너지보다 슬러지에 포함되어 있는 수분의 증발에 필요한 에너지가 훨씬 크기 때문이다. 따라서 고품질의 유기성 슬러지 자원화를 위해서는 최소의 비용으로 함수율을 저감하여 가용에너지를 증가시키는 것이 필수적이라 할 수 있다.

유기성 슬러지의 탈수가 어렵다는 사실은 많은 연구를 통해 잘 알려져 있다[4]-[6]. 유기성 슬러지 내에 존재하는 수분은 물리적 상태에 따라 자유수(free water)와 결합수(bound water)로 나뉜다. 결합수는 다시 간극수, 간극모관수, 표면부착수, 입상 결합수로 이루어져 있으며, 슬러지 입

<sup>†</sup> 교신저자, 시니어회원 : 동신대학교 전기공학과 교수 · 공박  
E-mail: yschoi67@dsu.ac.kr

\* 정 회 원 : 동신대학교 전기공학과 겸임교수 · 공박

\*\* 시니어회원 : 동신대학교 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 9월 23일

최종완료 : 2009년 10월 7일

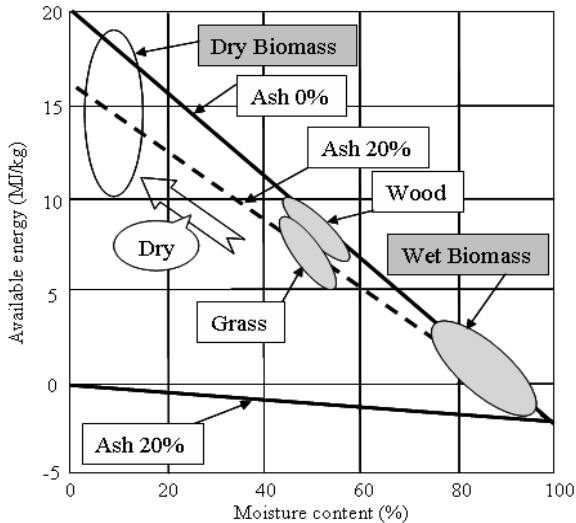


그림 1 바이오매스의 함수율과 가용에너지간의 상관관계  
 Fig. 1 Interrelation between moisture content and available energy

자를 형성하고 있는 세포의 세포액 또는 화학적 결합에 의해 형성된다. 기계적 탈수에 의해 제거 가능한 수분은 자유수와 간극수이며, 표면수와 결합수는 기계적 탈수에 의해 제거가 불가능한 것으로 알려져 있다. 결합수를 제거하기 위해서는 보다 많은 에너지가 필요하지만 완전하게 제거하는 것은 불가능하며, 이 결합수가 수분 제거 효율을 떨어뜨리는 가장 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 기계적으로 탈수된 슬러지 내의 함수율을 낮추기 위해서는 피건조물을 가열하여 내부수를 탈수시키는 공정이 필수적이라 하겠다. 현재 유기성 슬러지를 가열하여 건조하는 방식은 다양한 방법으로 시도되고 있으며, 그 방법으로는 크게 간접 가열방식의 전도건조(conduction drying)와 직접 가열방식인 대류건조(convection drying)로 분류할 수 있다[4], [6]-[12].

일반적으로 유기성 슬러지 건조과정은 그림 2에 나타난 바와 같이 유동성 단계, 점착성 단계, 입자화 단계의 3단계를 거치면서 건조가 진행된다. 유동성 단계는 함수율 80~65%의 끈죽(paste)상태에 있으며, 점착성 단계는 함수율 55~50%로서 작은 덩어리로 쪼개지면서 함수율 50%의 점성이 강한 반고체 상태이고, 입자 상태로 변화되어 건조가 진행된다.

### 3. 증기열(Hydrothermal) 전처리공정

증기열을 이용한 건조 방식은 다양한 건조 방식 중에서 대류에 의한 직접 건조 방식에 해당한다. 기존의 열풍이나 연소가스에 의해 건조열이 공급되던 것과 달리 증기열을 건조 매체로 사용하여 피 건조물을 건조하는 방식으로, 열풍 건조에 비교하여 건조 속도가 단축되어 에너지를 절감할 수 있는 친환경적인 공정이다. 증기열 건조와는 달리 열풍 건조에서는 공기 속의 증발된 수분이 건조 공기 자체를 습윤하게 만들어 피건조물의 상태에 좋지 않은 영향을 끼칠 수 있고, 또한 열풍과 증기열은 비엔탈피, 비열, 점도, 열전도도와 같은 물리적 성질에도 차이가 있는데 증기열의 비열이 열풍보다 크고 이는 건조속도를 더 빠르게 만드는 원인이 된다[14].

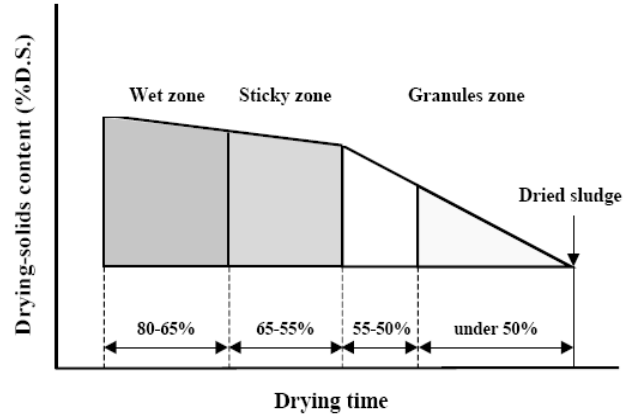


그림 2 함수율에 따른 유기성 슬러지의 성상[12]  
 Fig. 2 Characteristic of organic wastes by moisture content[12]

또한 각 형식의 슬러지 건조기의 선택은 건조대상 슬러지의 성상과 건조조건에 따라 건조기내의 피건조물 이동, 공급, 배출의 난이성 등에 대한 사전검토가 필요하며, 다양한 운전 변수들을 고려하여 선택하여야 할 것이다[11].

Mujumdar[13]는 열풍 건조 과정에서 4,000~5,000kJ/kg의 에너지가 소비되지만 증기열 공정을 이용함으로써 1,000~1,500kJ/kg 정도의 에너지를 절약할 수 있다고 발표한 바 있다 [13],[14]. 또한 그림 3에서 나타난 바와 같이, 열풍과 증기열에서 물의 증발 속도(=물질 흐름 속도)가 같아지는 역전온도(약 170~200℃ 사이) 이상에서는 증기열이 열풍보다 피건조물의 수분 증발을 촉진한다고 J. P. Schwartze et al.[15],[16] 등이 밝혔다. 따라서 증기열을 이용한 유기성 슬러지의 건조 공정이 열풍을 매체로 한 건조 공정보다 에너지 효율이 높으며 건조시간도 단축시키는 효과를 가지고 있다고 할 수 있다.

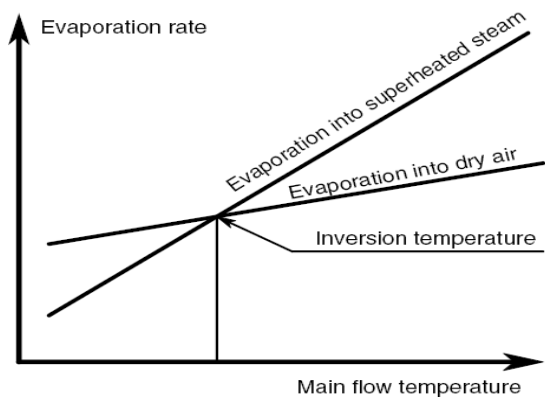


그림 3 역전온도에 따른 열풍과 증기열 공정의 증발량 비교 [16]  
 Fig. 3 Comparison of evaporation rate at air process and hydrothermal process with inversion temperature[16]

증기열을 이용한 유기성 슬러지 전처리공정도를 그림 4에 나타내었다. 본 시스템은 크게 스팀공급부, 건조처리부, 고액 분리 처리부, 운전제어 및 분석부 등으로 나누어진다. 본 전처리공정은 반응기 안에 유기성 슬러지를 채운 후 반응기 안의 온도 및 압력을 고압 스팀 보일러를 이용하여 약 200℃, 20atm으로 유지하여 약 30~50분간 처리한 후 배출하

여 액체와 고체를 분리하여 처리한다. 외부에 위치한 보일러에서 생성된 증압수증기를 반응기 내부에 공급함으로써 그림 5와 같이 이에 의한 고효율 유기성 슬러지의 파쇄효과와 수분증발을 위한 표면적의 증가효과, 그리고 세포벽을 파괴하여 자연 상태에서는 배출될 수 없는 내부수의 건조를 촉진하게 된다. Yoshikawa [17]-[20] 연구팀은 본 공정을 이용하여 하수슬러지를 건조하는 실험을 진행하였고, 그림 6과 같이 기존의 열풍 건조 공정에 비해 약 70%의 에너지를 절감할 수 있다고 밝힌바 있다. 또한 건조 처리 후 수거된 고형생성물은 단독 또는 폐비닐, 석탄과 혼합하여 성형연료로 재생활 수 있을 뿐만 아니라 토지개선펙, 고품질의 비료로도 재이용이 가능하다.

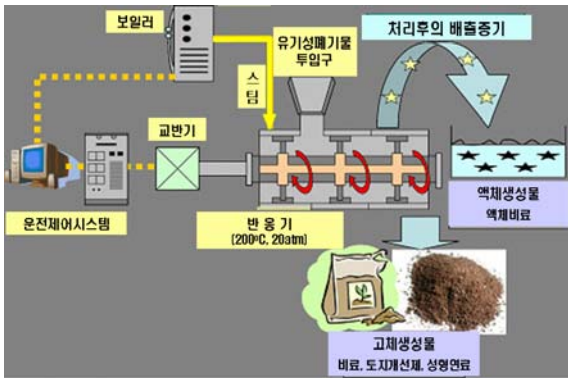


그림 4 증기열 전처리공정의 개요도  
Fig. 4 Schematic of hydrothermal pre-treatment process

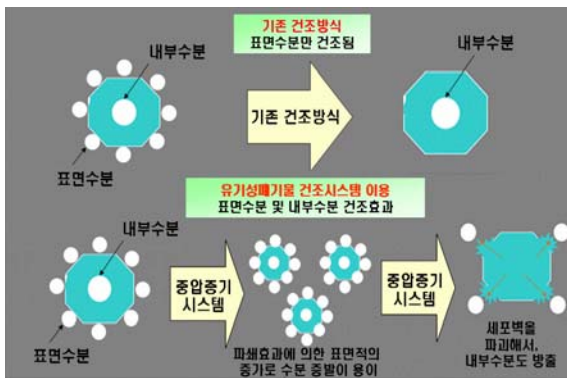


그림 5 유기성 슬러지의 건조특성 향상 메커니즘  
Fig. 5 Mechanism for dehydration characteristic of organic sludge using hydrothermal process

#### 4. 실험 및 결과 고찰

##### 4.1 성분 및 발열량 분석

하수슬러지와 축분을 G시의 하수처리장과 축산농가에서 중간처리 없이 수거하여 성분분석을 실시하였다. 하수슬러지의 경우 81% 이상의 높은 수분함량을 갖고 있으며, 10% 정도의 휘발분, 7% 정도의 회분으로 구성되어 있다. 이러한 높은 수분함량으로 인하여 2,900kcal/kg의 낮은 발열량 값을 나타내어 에너지화 이용을 위해서는 저함수율의 에너지 집약화(건조) 공정이 요구된다. 또한 축분의 경우 하수슬러지

와 비슷하게 77% 이상의 높은 함수율을 나타내었고 회분, 수소, 질소, 및 황 함량 등이 거의 유사 하였으며 하수슬러지 보다는 약간 높은 휘발분 및 탄소함량으로 인하여 3,520kcal/kg의 발열량 값을 표 1에 나타내었다. 그러나 이 또한 연료로서 적용하기에는 낮은 열량값 및 높은 함수율로 인하여 에너지 소비가 예상되어 탈수, 건조 공정이 필요하다.

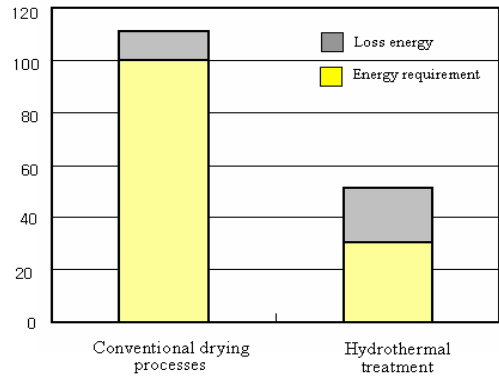


그림 6 기존의 방식과의 에너지 요구량 비교[16]  
Fig. 6 Comparison of energy requirement with conventional drying process[16]

표 1 유기성 슬러지의 성분 분석  
Table 1 Component analysis of organic wastes

시료명		하수슬러지	축산분뇨
분석항목	수분(M)	81.71	77.98
	휘발분(VM)	10.31	13.40
	회분(Ash)	7.26	7.88
	고정탄소(FC)	0.72	0.74
원소분석 (wt%)	탄소(C)	28.94	33.83
	수소(H)	5.01	5.00
	질소(N)	3.97	3.73
	산소(O)	59.63	55.65
	황(S)	1.73	1.05
고위발열량(kcal/kg)		2,900	3,520

##### 4.2 TGA(thermogravimetric analysis)

유기성 슬러지 건조 실험에 사용되는 하수슬러지 및 축산분뇨에 대한 연료로서의 특성을 파악하기 위하여 TGA (SETARAM TG/DTA 92-18) 분석기를 이용하였다. 초기 TGA basket 내 시료의 무게는 평균 19~20mg을 충전하였으며, 이러한 범위에서 시료무게에 대한 변수는 TGA 결과에 영향을 주지 않았다. 사용된 저울과 온도측정의 정밀도는 0.01mg과 0.01℃까지 측정이 가능하다. 승온속도 및 질소, 공기의 유량은 모든 실험조건에서 동일하게 15℃/min, 100ml/min으로 고정하였다. 또한 시료의 무게변화는 전자식 저울과 컴퓨터를 이용하여 2.6초의 일정한 시간 간격으로 측정하면서 data를 저장하였다.

유기성 슬러지의 발화온도 및 열분해 특성을 측정하기 위하여 일정량의 시료를 15℃/min의 승온속도로 1,400℃까지

공기 또는 질소를 주입하며 실험하였으며 그 결과를 그림 7 과 8에 나타내었다. 앞서 공업분석의 결과에서 알 수 있듯이 건조 전 두 종류의 유기성 슬러지의 경우 대부분 수분 및 휘발분으로 구성되어 있기 때문에 연소 및 열분해 경향이 거의 동일한 형태를 보였다. 초기 100℃까지는 수분 증발로 인하여 70% 이상의 무게감량이 발생하였으며, 200℃부터 500℃까지 10% 이상의 휘발분의 연소 또는 열분해로 인한 무게감량을 보였다. 연소 또는 열분해 반응 이후 8% 정도의 회분으로 인한 잔류물이 남았음을 확인할 수 있었다.

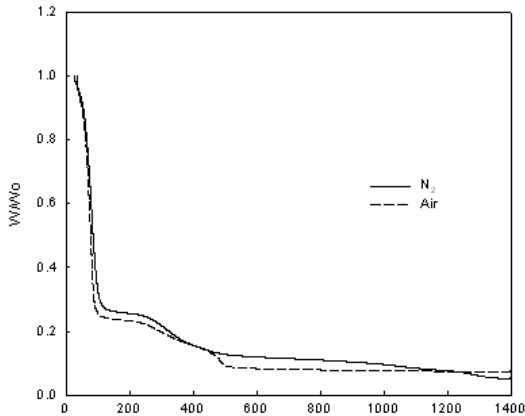


그림 7 하수슬러지의 TGA 결과(탈수 전)  
Fig. 7 TGA results of sewage sludge(before dehydration)

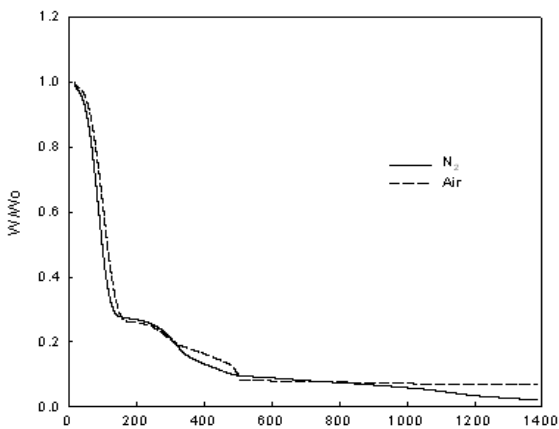


그림 8 축분의 TGA 결과(탈수 전)  
Fig. 8 TGA results of livestock manure(before dehydration)

4.3 건조실험

축분 147kg을 반응기에 투입 후 보일러에서 공급되는 스팀(21kg/cm<sup>2</sup>, 213℃)을 감압밸브를 이용하여 스팀의 압력 및 온도를 1kg/cm<sup>2</sup>, 100℃로 전환하여 건조시스템 처리 장치 자켓으로 공급한다. 건조시스템 처리 장치 자켓에서 발생하는 응축수는 스팀트랩을 이용하여 배출한다. 건조시스템 처리 장치 자켓으로 공급되는 스팀에 의해 건조시스템 처리 장치안의 온도를 약 100℃로 유지한다. 스팀 유량조절밸브를 이용하여 보일러에서 공급되는 스팀(21kg/cm<sup>2</sup>, 213℃)을 건조시스템 처리 장치로 공급하여 압력 및 온도를 19kg/cm<sup>2</sup>, 205℃로 조절한다. 건조시스템 처리 장치의 압력 및 온도가 19kg/cm<sup>2</sup>,

205℃에 도달하면 보일러에서 스팀(21kg/cm<sup>2</sup>, 213℃)을 자동으로 공급할 수 있도록 스팀 유량조절밸브를 조절하여 일정 시간(20분 이상)을 유지한다. 스팀 배출구를 열어 건조시스템 처리 장치의 내부 압력을 상압으로 조절한다. 슬러리 배출구를 이용하여 건조 처리된 슬러리를 배출하게 된다.

운전을 위한 반응 압력 및 온도 측정의 위치로는 그림 9의 모니터링 화면에서 보여주는 바와 같이 투입되는 스팀의 압력(TE-1000) 및 온도(PT-1000), 반응기 내부의 상부온도(TE-1110) 및 하부온도(TE-1100), 자켓의 온도(TE-1120), 그리고 반응기 내부의 압력(PIC-1100) 등이 있으며, 본 건조실험 시 측정된 상기 값들의 경시변화는 그림 10에서 확인할 수 있다.

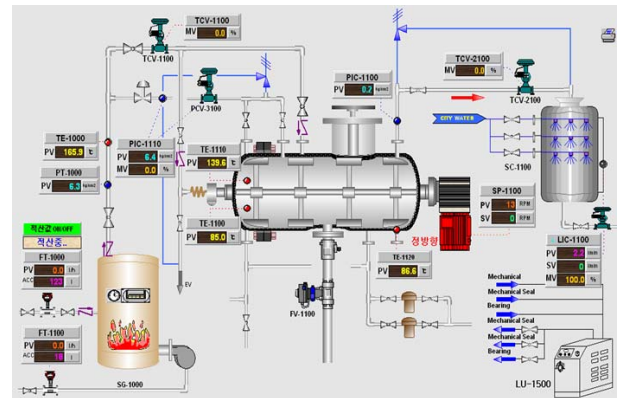


그림 9 증기열 전처리공정의 제어 파라미터  
Fig. 9 Control parameters of hydrothermal pre-treatment process

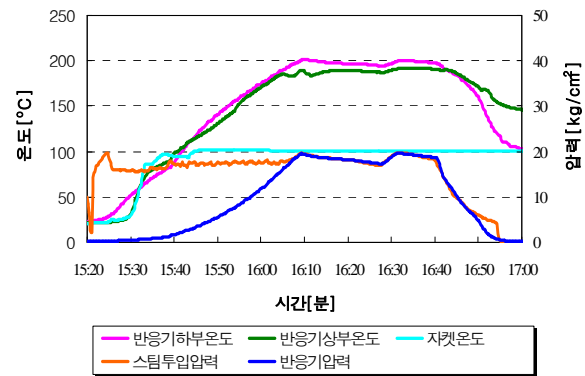


그림 10 반응기의 온도 및 압력 변화  
Fig. 10 Variation of temperature and pressure of reactor

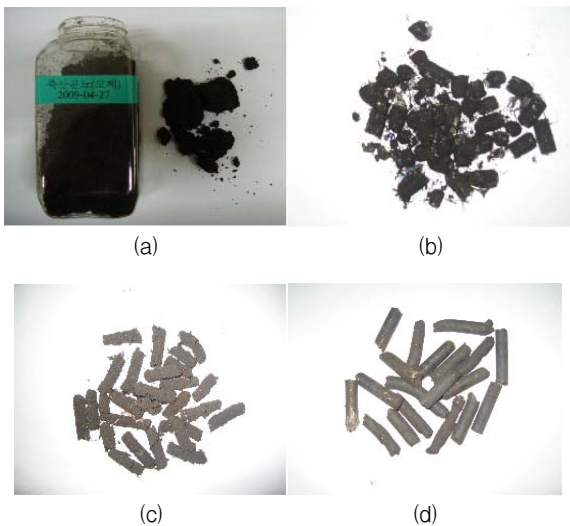
@15:20분에 자켓으로 스팀을 투입하였으며 @15:40분에 자켓의 스팀 투입을 정지하고 반응기로 스팀을 투입하였다. @16:07분에 반응이 완료되었으며 반응기내에 스팀을 투입하면서 속성 상태를 30분간 유지시킨 후 @16:40분에 반응기내의 스팀을 배출하였다. 압력을 해제한 후 반응기 하부로부터 건조처리된 실험 시료를 회수하였다. 회수된 시료는 탈수기를 이용하여 탈수한 후 무게를 측정하였으며, 약 17.5kg의 고형분과 약 135.6kg의 액분이 회수되었다. 따라서 증기열 전처리공정에 의해 건조 처리된 축분분뇨 고형분의 경우 147kg의 무게가 처리 직후 약 17.5kg으로 약 88%의 무게감량이 이루어졌으며, 자연건조 상태에서 24시간이 경과한

후에는 약 8.8kg로 약 94%의 무게 감량이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 위와 같은 방법으로 하수슬러지를 처리하였으며 처리 직후의 고형분 회수율은 20%, 24시간 자연건조 후에는 12%를 회수할 수 있었다.

**4.4 고형 부산물을 이용한 성형연료화**

유기성 슬러지의 건조처리 후 회수된 고형분을 페비닐과 혼합한 성형연료를 제조하여 그 발열량을 측정하였다. 성형 제조 장치는 Ring Dies Type으로 50kg/h, 37kW의 용량 및 규격을 가지는 성형장치를 사용하였다.

축분의 건조처리 후 회수된 고형물(연료화 전)은 그림 11의 (a)에 나타내었으며, 이를 원료로 하여 제조된 성형연료의 형태를 살펴보면 25%의 페비닐을 혼합하였을 때 (d) 성형연료의 부서짐이 가장 적어 우드 펠렛과 같이 연료의 생산, 운반 및 보관에 용이함을 확인하였다. 발열량에 있어서도 6,706kcal/kg으로서 축분 단독 고위발열량 4,324kcal/kg 보다 약 55% 이상 높은 발열량을 나타내었으며, 표 2와 같이 다른 비율로 혼합 가공한 경우와 비교하여 가장 양호한 결과를 보여주었다.



**그림 11** 페비닐 혼합비율에 따른 각각의 RDF 형태 ; (a) 처리된 고형물, (b) 5%, (c) 10%, (d) 25%  
**Fig. 11** Respective RDF shapes by waste vinyls mixture ratio ; (a) treated solid content, (b) 5%, (c) 10%, (d) 25%

**표 2** 페비닐 혼합비율에 따른 RDF의 발열량  
**Table 2** Caloric value of respective RDFs by waste vinyls mixture ratio

No	시료명	고위발열량 (kcal/kg)
1	축산분뇨+페비닐(95/5)	5,904
2	축산분뇨+페비닐(90/10)	5,333
3	<b>축산분뇨+페비닐(75/25)</b>	<b>6,706</b>
4	축산분뇨(건조후 고체)	4,324

**5. 결 론**

반응기 내부에 증압수증기를 공급하는 저온가압 건조 및 성형연료화 장치를 이용한 고효율 유기성 슬러지 처리와 페비닐 혼합 RDF 제조실험을 진행하여 다음과 같은 결론 및 향후 연구방향 등을 도출할 수 있었다.

- 1) 본 공정은 저온(약 200℃)에서 반응기 내부에 압력(약 20atm)을 가해주어 슬러지의 세포벽을 파괴함으로써 자연상태에서 제거되기 어려운 내부수분(결합수)을 신속 제거할 수 있다. 따라서 기존 열풍 건조의 소요 에너지 비용을 약 70% 절약할 수 있는 저탄소 기술이다.
- 2) 증기열 반응기에 의해 처리된 축분 및 하수슬러지는 24시간 자연건조 후 약 90%의 무게 감량을 보였으며, 성형연료를 위한 고형분 회수율은 각각 약 6%, 12% 수준으로 평가된다.
- 3) 개발된 건조 및 성형연료화 공정은 페비닐과 혼합하여 6,000kcal/kg 이상의 발열량을 갖는 성형연료 생산이 가능하므로 환경오염 부하의 저감과 폐기물의 에너지 자원화를 동시에 충족시킬 수 있는 친환경 에너지기술로 평가된다.
- 4) 성형연료는 대단위 화력발전이나 분산형 열병합발전의 연료, 비닐하우스나 오리/닭 사육시설 등의 기름보일러 대체에너지원으로 활용 가능할 것으로 사료된다.
- 5) 본 증기열 전처리공정의 향후 연구는 최소의 비용으로 유기성 슬러지의 가용에너지를 극대화시키기 위함이다. 이를 위하여 다양한 유기성 슬러지를 재료로 하여 반응기의 처리 온도 및 압력에 따른 슬러지 유형별 최적 건조 조건 탐색 또는 처리 후 함수율 특성을 분석하는 연구가 수행될 필요가 있다.

**감사의 글**

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)

**참 고 문 헌**

- [1] 김준현 외, “하이브리드형 반응기를 이용한 분뇨, 축산폐수, 하수슬러지 및 음식물쓰레기의 고효율 바이오 가스 생산 및 재활용 기술개발”, 산업자원부 에너지·자원기술개발사업 최종보고서, pp. 17-20 (2007).
- [2] 김윤호 외, “가축분뇨 자원화기술 연구성과”, 농촌진흥청 연구관리국 연구성과, pp. 9-13 (2007).
- [3] 환경부, “하수슬러지관리계획수립지침”, 환경부 계획수립지침서, pp. 3-17 (2006).
- [4] N. Katsiris et al., “Bound water content of biological sludges in relation to filtration and dewatering”, Water Res. 21(11), pp. 1319-1327 (1987).
- [5] K. R. Tsang et al., “Moisture Distribution in Sludge”, Water Sci. Tech., Vol. 22, No. 12, pp.135-142 (1990).
- [6] P. A. Vesilind, “The role of water in sludge dewatering”, Water Environ. Res. 66(1), pp. 4-11 (1994).
- [7] E. J. Neyens et al., “A Review of Thermal Sludge

Pre-treatment Process to Improve Dewaterability”, Journal of Hazardous Materials, No. B98, pp. 51-67 (2003).

- [8] J. A. Muller, “Prospects and problems of sludge pre-treatment processes”, Water Sci. Tech. 44(10), pp. 121-128 (2001).
- [9] U. K. Moller, Water Binding in Sludge Characteristics and Behaviour, NATO ASI Series E, Appl. Sci., No. 66, pp.182-194 (1967).
- [10] P.Lowe, “Development in the Thermal Drying of Sewage”, Sludge, J. CIWEM, pp.306-316 (1995).
- [11] 전원표, “회전건조기에서 고풍수율 유기성 슬러지 입자의 건조특성 연구”, 호서박사학위 논문, 2001.
- [12] Mujumdar, A. S., in A. S. Mujumdar(Ed.), “Handbook of Industrial Drying”, Ch. 35, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York, NY (1995).
- [13] 김옥신 외, “과열 증기 이용 친환경 건조기술”, 한국화학공학회논문지, Vol. 46, No. 2, pp. 258-273 (2008).
- [14] J. P. Schwartze et al., “The evaporation of water into air of different humidities and the inversion temperature phenomenon”, International Journal of Heat and Mass Transfer 43, pp. 1791-1800 (2000).
- [15] E. P. Volchkov et al., “Finding the inversion temperature for water evaporation into an air - steammixture”, International Journal of Heat and Mass Transfer 50, pp. 2101-2106 (2007).
- [16] K. Yoshikawa, “폐기물 처리기술 개발 및 정책동향”, 한·일 국제세미나 발표자료, 2007.
- [17] Marisamy Muthuraman et al., “Characteristics of co-combustion and kinetic study on hydrothermally treated municipal solid waste with different rank coals: A thermogravimetric analysis”, Applied Energy, 2009.
- [18] 박종배 외, “신재생에너지 사업의 청정개발체제 사전 타당성 평가 프로그램 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, pp. 420-421 (2006).
- [19] 심대섭 외, “TGA를 사용한 고분자 재료의 내열 수명 예측”, 전기학회논문지 C, Vol.51, pp.473-478 (2002).



**최용성 (崔龍成)**

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~2005년 원광대학교 연구교수. 2006년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 2006년~현재 에너지자원인력양성사업단 기획운영부장.

Tel : 061-330-3204

Fax : 061-330-3105

E-mail : yschoi67@dso.ac.kr



**이경섭 (李炘燮)**

1956년 11월 09일생. 1983년 조선대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1988년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 1994년~1995년 동경공업대학 객원연구원. 2006년~현재 에너지자원인력양성사업단 단장.

Tel : 061-330-3203

Fax : 061-330-3105

E-mail : kslee@dso.ac.kr

저 자 소 개



**박세준 (朴世竣)**

1980년 10월 10일생. 2002년 동신대학교 전기전자공학과 졸업(학사). 2004년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공박). 현재 (주)세화테크 기술연구소 선임연구원. 동신대학교 전기공학과 겸임교수.

Tel : 061-330-3218

Fax : 061-330-3105

E-mail : ssejoo@nate.com