ORIGINAL PAPER 원저

하수슬러지 감량화를 위한 one구동 2단형 열풍건조/열분해에 관한 연구

하상안, 김승호 *
신라대학교 환경생명공학부, 삼척대학교 환경공학과*
(2004년 4월 15일 접수, 2004년 6월 9일 채택)

A Study on the 2-stage dry and pyrolysis system for reduction of sewage sludge

Sang-An Ha, Seung-Ho Kim*
Dept. of Environmental Engineering, Silla University, Dept. of Environmental Engineering, Samchok University *

ABSTRACT

The basic approach to sewage sludge is organic waste minimization, promotion of energy recovery; volume and weight reduction by final treatment, and environmentally final disposal of natural circulation.

Dry and pyrolysis of maize was experimentally investigated in full-scale rotary kiln in semi-continuous operation. The operational parameters varied are the operating temperature 160~175℃ of dry and 450~800℃ of pyrolysis, the solids residence time 9 min for pyrolysis. Important parameters studied include the running time, water content of sewage sludge, solids amount of sewage sludge(TS%) by the varied temperature. Also, with the increasing of temperature, how the yield of oil and char product change was observed, and the distribution of gas production components was observed. The gas of C_1~C_3 yield increased and oil of C_4~C_6 yield decreased along with pyrolysis temperature of 670℃ by the run time of 9 min.

Key Words : Dry, Pyrolysis, Disposal of sewage sludge, Pyrolysis temperature, Water content of sludge

초 록

본 연구는 슬러지처분을 위해서 유기성폐기물 감량화, 에너지 회수기술 공정시도, 자연순환형 슬러지 처분을 위한 최종 시스템개발의 기초연구이다. 본 연구는 full-규모의 건조시스템과 반자동식 로타리 킬른식 열분해로를 이용하여 실험하였다. 운전매개변수는 온도를 건조는 160~175℃와 열분해온도는450~800℃로 변화시켜 실험을 실행하였고, 고형물의 열분해 공정의 체류시간은 9min으로 실험을 t실행하였다. 본 연

구에서 중요한 실험매개변수는 운전시간, 슬러지 수분함량, 고형물량에 따라 온도를 변화시켜 열분해특성을 연구하였다. 운전시간 9분의 일정한 상태에서 670℃조건은 탄소쇄 C_1~C_3의 물질의 생성은 증가하였지만, C_4~C_6를 함유한 오일성분은 감소하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 건조, 열분해, 하수슬러지 처분, 열분해 온도, 슬러지 수분함량

1. 서론

하수처리장에서 발생하는 하수슬러지는 하수중의 오염물질을 고형분으로 분리하여 처리하는 과정에서 필연적으로 발생하는 부산물로서, 약 80% 정도 고함수율과 유기물을 다량함유하고 있다, 또한 부패하기 쉬운 특성을 가지고 있다. 국내에서는 대부분의 하수슬러지를 직매립 또는 해양투기에 의해 처리하여 왔으나, 최근 환경문제가 국민적 관심을 보이는 가운데 매립지 설치부지의 확보가 어려워지고, 하수슬러지의 안정적 처리를 위해서 폐기물 관리법(1997. 7. 19)의 개정으로 개정시 3년 6개월 내지 7년 6개월의 유예기간을 두어 하수슬러지의 직매립 금지 규정을 도입하였다.[1)]

하수종말처리시설의 증가와 고도처리로 하수슬러지의 발생량은 매년 증가하고 있음에도 불가하고 육상매립과 해양배출이 어렵게 되어감에 따라 지금까지의 하수슬러지 처리정책을 재검토하고 경제적이고 효율적인 하수슬러지 처리를 위한 중장기정책 방향을 수립해야 할 상황에 직면하고 있다.

미국과 유럽의 경우 하수슬러지의 재활용을 통한 자원화 사업이 꾸준히 진행되어 왔으나, 우리나라는 관련제도 및 기술적 문제 등의 제반 여건에 따라 그간 하수 슬러지의 재활용이 활발히 진행되지 못했다. 또한 퇴비화는 농립부의 비료공정규격에 의하여 비료원료로서 도시지역 하수슬러지의 퇴비화는 원칙으로 금지하고 있어 재활용에 큰 걸림돌로 작용하고 있는 실정이다.

폐기물관리의 기본원칙은 감량화, 재활용 및 적정처리이며, 이를 위해서 하수슬러지 재활용, 소각 및 열분해 기술 등이 현재 적정처리 방법으로 대두되고 있는 추세이며,[2)] 이는 국민생활 수준의 향상이라는 측면과 국민의 환경권 보장이라는 면에서 더욱 증가할 것으로 전망되고 있다.[3,4,5)]

일반적으로 적용되고 있는 방법은 소각과 매립이며 매립처분 방법은 하수슬러지 첨가물에 의한 지하수의 오염, 매립지 용지부족 등 이미 한계상황에 이르고 있으며, 소각처리에 의하여 dioxine 등과 같은 유해가스 발생으로 2차적인 환경오염을 유발시키고, 연소반응시 효과적인 산소공급이 어렵기 때문에 선진국에서는 점차 규제하는 움직임을 보이고 있다.[6)] 이런 관점에서 보면 슬러지를 재활용하거나 슬러지량을 최대한 줄여 처리하는 방안이 가장 경제적으로 보이며 최근 이에 관한 연구 및 개발이 활발해지고 있다.[7,8,9)] 유기성 폐기물을 환경친화적으로 감량화함과 동시에 에너지화를 위한 기술개발이 필요하다.

본 연구에서는 국내의 발생 슬러지를 처리하기 위해서 소각설비의 환경부하에 대한 문제점과 공정상 소각기술에 비하여 연속처리상의 문제를 안고 있는 것으로 다른 대안으로 급부상하고 있는 열분해설비의 경제성과 초기설계에 대한 기초 자료로 제공되기 위해서 열풍 2단형 고속건조와 열분해공정의 운전시 온도변화에 따라 슬러지 감량화시 발생되는 문제점과 특성을 파악하기 위한 연구이다.

2. 이론적 배경

열분해기술은 가연성 폐기물을 처리하여 2차오염 물질의 발생을 최소화시키면서 에너지를 회수하는 기술의 하나로서 개발되고 있다. 열분해는 폐기물을 무산소 또는 저산소 상태에서 고온(500~1,000℃)으로 가열하는 조작이며, 연소는 발열반응에 의하여 이루어지나 열분해는 흡열반응에 의하여 진행된다. 일반적으로 각종 탄화수소화

합물의 탄소수가 12개(C_{12})이상이면 고체상이고, 탄소수가 6개에서 12개(C_6~C_{12})이면 액체상, 탄소수가 6(C_6)개 이하이면 기상으로 되는 점으로부터 열분해온도에 따라 탄소쇄의 분해정도에 따라 생성되는 연료의 상이 변화하게 된다.

열분해는 탄소쇄가 긴 고분자화합물을 산소가 없는 상태에서 환원 분해시켜, 액상성분 및 각종 저분자유기화합물화로 생성되어 진다.[10] 열분해과정에서 함수율은 생성물에 영향을 미치는 인자로서 열분해 과정에서 전처리 단계서 함수율 감소가 필요하다. 또한 슬러지 건조는 열분해 과정에서 균일한 열분해를 위해서 입자구조가 미세하고 균일한 분포로 필요하다.[11]

열분해 과정에서 생성물의 상관관계를 규명하기 위해 필요한 인자를 무차원으로 나타내면 다음의 값으로 나타내어진다.

$$\Theta = \frac{T - T_o}{T_H - T_o} \qquad [식\ 1]$$

여기에서 T_H는 가열온도이고, T_o는 초기온도를 나타낸다.

회전식 열분해간의 길이에 대한 상관관계를 무차원으로 나타내면 다음과 같다.[12]

$$z^* = \frac{z}{L} \qquad [식\ 2]$$

L은 회전로의 전체길이와 z는 축방향 길이다.

열분해에서 생성되는 물질흐름의 상관관계는 다음과 같은 흐름비로 나타낼 수 있다.

$$\beta_i = \frac{m_i}{m_{BM,O}} \qquad [식\ 3]$$

생성되는 i종이 물질량과 $m_{BM,O}$값은 유입되는 유기성물질의 전체 량의 값이다.

건조 및 열분해반응은 그 구조가 매우 복잡하고 특성화하기가 어려워 일반적인 화학공학적 접근방법을 적용할 수 없는 많은 단점을 가지고 있다. 따라서 단순화한 속도론식을 적용하여 가장 기본적인 속도론만을 해석하고자 한다. 한편, Friedman 등의 연구에서는 PET의 반응차수가 1차에 가깝다고 보았으며 가열속도를 주요변수로 택하여 가열속도를 포함한 속도식을 택하여 속도론적 해석을 행하기도 하였으나, 본 연구에서는 가열속도가 그리 큰 영향을 끼치지 못한다고 판단하여 일반적인 속도식을 적용하였다.[12]

일반적으로 대부분의 합성고분자 분해반응 속도식은 다음에 나타나는 [식 4]와 같이 간단한 미분식으로 나타낼 수 있다.[13]

$$-\frac{dw}{dt} = k(w_t - w_\infty)^n \qquad [식\ 4]$$

여기서, k는 분해반응의 반응속도상수(min−1), n은 반응차수, t는 반응시간(min)을 의미한다. 그리고, wt는 분해가 진행되는 동안 어느 특정 시간에서의 질량(g)이며, w∞는 실험이 종결되었을 때 반응기내에 존재하는 잔사의 질량(g)을 나타낸다. 즉, wt−w∞ 값은 열적변화에 따른 건조/열분해에 의해 분해된 슬러지의 총 질량(kg)을 의미한다.

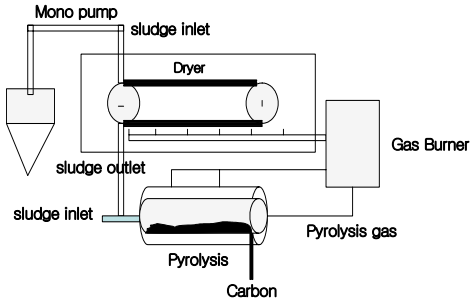
$$\frac{dw}{dt} = -kw \qquad [식\ 5]$$

여기서, w는 반응시간에 따른 반응기내 슬러지의 잔류량(g)이다. [식 5]는 적분과정을 거치면 최종적으로 다음의 [식 6]과 같이 된다.

$$\ln\frac{w_0}{w} = -kt \qquad [식\ 6]$$

3. 실험방법 및 장치

본 연구의 실험은 원구동 2단형 열풍장치와 열분해 시설의 full−scale 규모로 장치를 이용하였다. 본 시스템에서 슬러지량은 670kg/h가 주입되어져서 160~174℃의 열풍시스템에 의해서 건조가 진행되어진 된 후 TS고형물은 25~40%, 수분함수율은 5~10%을 가진 건조슬러지가 자동켄베이어 시스템을 통해서 자동적으로 시간당 147kg/h을 열분해 반응장치에 투입되어지도록 운전하였다. 열분해 장치가 운전시작과 운전가동 9분에 연속적으로 질소가스를 주기적으로 주입하여 공기주입으로 인하여 발생될 폭발의 위험성을 제거하여 운전을 실행하였다. 열풍건조장치의 건조능력은 1t/h H_2O로서 콘테이너형 열풍 2단구조로 이루어져 있다.



[Fig. 1] Schematic diagram of dryer and pyrolysis

본 연구는 유기성폐기물을 처분하고 발생되는 에너지를 지연순환형으로 재사용하기 위해서 열풍건조/열분해 방식을 이용하여 실험하였다. 운전매개변수는 온도를 450~800℃로 변화시켜 실험을 실행하였고, 고형물의 열분해 공정의 체류시간은 7~20min내외로 변화하여 실험을 하였다. 본 연구에서 중요한 실험매개변수로 운전시간, 슬러지 수분함량, 고형물량에 따른 온도를 변화시켜 열분해 특성을 연구하였다.

본 연구에서 실험장치를 [Fig. 1]에 나타내었다. 본 실험에서 생성되는 성분분석은 C_1~C_{12}의 탄소계열의 성분을 표준가스로 제조한 분석 값과 실제로 채취된 시료를 GC-MS(HP, US)로 분석하여 상대값을 이용하여 정성 값과 표준가스의 조성에 따른 비례 값과 비교하여 전체 값에 따른 정량을 분석하였다. CO와 CO_2는 적외선원광분석기(UR-330SG, Japan), 일부 미량의 SO_2는 적외선형광분석기(Pulse UV, fluorrescence method)를 이용하여 자동 측정하였으며, 슬러지에 함유된 수분함량의 측정은 수분측정기(MR-200, Japan)를 이용하여 측정하였다.

4.결과 및 고찰

4.1 수분함량에 따른 건조운전결과

본 연구결과에서 온도변화에 따른 열분해 온도에 의해서는 미치는 영향은 크게 나타났다. 하지만 최적의 온도상태에서는 운전시간의 변화에 따라 발생량의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

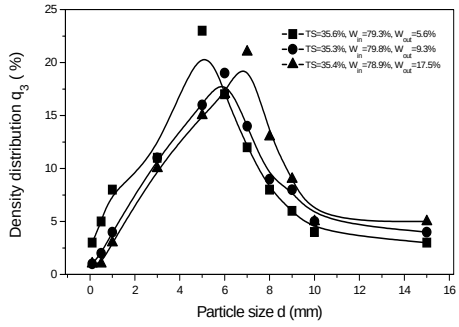
열분해의 전처리 단계에서 에너지 소요와 수분증발은 다음과 같은 결론으로 나타났다. One구동 열풍 건조시스템을 이용한 슬러지를 감량화 실험결과 사용되는 연료는 평균적으로 60~23kg/h(98l/h)정도가 소요되었고, 연료사용량을 에너지로 환산하면 42.8 MJ/kg 정도로 나타났다.

4.2 건조상태에 따른 슬러지 입경변화

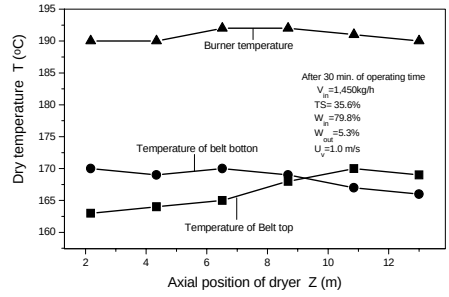
[Fig. 1]은 건조결과에 따른 입자의 상태를 나타내기 위해서 8가지의 입자를 체분류 방법으로 분류하여 입자의 분포도를 조사하였다. 고형물의 조건이 거의 같은 슬러지를 조사한 결과 TS는 35.5 %로 거의 같고, 수분의 함량이 79.3%일 때 운전조건인 온도를 변화시켜 건조시킨 후 최종 수분함량이 5.6%일 때 평균입경은 5.2㎜ 로 나타났다. 최종 수분함량이 9.3%로 건조되어진 경우에는 5.89㎜및 수분함량이 적게 증발되어진 17.5%인 경우에는 평균입경 6.72㎜로 나타났다. 건조결과에 따라서 수분함량이 적게 감소되어질수록 입자간의 가교형성이 크게 작용하여 미세입자가 응집되는 효과가 크기 때문에 큰 입자분포가 많이 나타나는 것으로 조사되었다.[14] 열분해 과정에서 입자분포가 미세할 수 열분해도 높기 때문에 건조과정에서 입자분포도는 0.25~10㎜로 분포하는 것이 효율적이었다.

[Table1] Variations of Sludge by Dryer at 190℃ of Burner Temperature

	Water content(%)		Evaporation amount (l)	Sludge amount(㎥)		Oil amount (l)
	input	output		input	output	
Sample 1	79	2.7	2,100	15.18	3.6	260
Sample 2	78	2.0	1,700	11.60	2.9	200
Sample 3	79	35.0	1,700	8.59	3.9	200
Sample 4	74	3.0	3,300	21.02	4.8	310



[Fig. 1] Variation of distribution as a function of particle size.

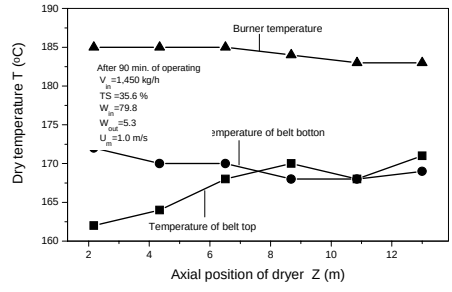


[Fig. 2] Temperature profile along the dryer axis by the varied properties of sludge after 30 min operating.

4.3 운전조건에 따른 구간별 온도변화

[Fig. 2]는 수분함량이 79.8%인 슬러지를 건조시키기 위해서 30분 시운전 후 연속가동 도는 동안 건조장치에 벨트 간격 2.17m 마다 설치된 온도센서에 감지되는 온도변화를 보면 다음과 같다. 슬러지가 투입되는 상단부 2.17m 지점에서 가열버너 온도가 190℃일 때 수분함량이 증발되기 시작함으로서 슬러지에 함유된 수분에 의해서 온도가 162℃까지 급격히 하강하다가 4번째 구간의 온도센서가 있는 8.68 m의 지점에서 온도상태가 정상으로 유지된 후, 건조기가 2단형 벨트형 구동으로서 하단으로 슬러지가 침강하는 동안 약간 온도가 약간 냉각되어져서 구동시스템이 출구방향으로 전환된후 다시 반대방향으로 유출되어지는 동안 슬러지 함수율이 연속적으로 감소됨과 동시에 170℃로 정상적인 온도상태로 유지됨을 볼 수 있었다.

[Fig. 3]은 운전시간 90분 후 건조장치에서 충분하게 가열된 후 슬러지를 투입하여 수분이 증발되는 과정에서 건조기의 벨트구간에 따라서 온도변화를 측정한 결과를 나타내었다. 슬러지가 투입되어져서 벨트하부는 최종 슬러지가 유출되는 구간에서 버너온도가 185℃에서 건조기 유출부에서 170℃를 최적조건으로 유지되었고, 슬러지가 투입되는 구간의 유입부의 건조기 2.17m에서 온도를 측정한 결과 투입되는 슬러지에 함유된 함수율로 인해서 온도의 냉각효과로 급격히 162℃까지 하강하는 것으로 나타났다. 슬러지의 운반 시스템인



[Fig. 3] Temperature profile along the dryer axis by the varied properties of sludge after 90 min operating.

벨트 상단부의 8.68m지점에 설치된 온도센서에 의해서 측정된 온도는 정상조건인 170℃를 유지함을 볼 수 있었다. 따라서 수분을 함유한 슬러지를 건조기에 투입한 후 온도의 냉각으로 인하여 온도가 하강하다가 증가하는 지점은 8.68m의 지점에 수분의 증발량이 온도하강에 큰 영향을 미치지 않는 구간으로 나타났다.

4.4 열분해특성에 따른 생성물질변화

건조장치에서 슬러지 함수율을 94.7%까지 제거한 슬러지를 열분해로 투입하여 온도상태를 450~800℃를 변화시켜 열분해로에 147kg/h을 유입되어지도록 투입되는 건조슬러지를 조절하여 공급하였다. 운전시간은 9분으로 일정한 체류시간을 유지하도록 조절하였고, 특히 열분해에서 유입되

는 유기성물질은 열분해 반응에 의해서 1차적으로 분해 가능한 40%가 2차적으로 분해하여 CO_2 및 CH_4로 최종산물 생성되고, 나머지 열분해 부산물이 60%는 2차적으로 CO, H_2로 생성되어진다. 또한 생물량에서 열분해반응 K_1에서 온도가 낮은 조건에서 열분해오일의 분해가 쉽게 가능한 것과 열분해가 힘든 것으로 분류되어진다. 이에 따라 분해가 쉬운 열분해오일은 CO, CO_2 및 H_2O로 생성되어지고, 열분해오일에서 분해가 힘든 부분은 CO, CO_2, CH_4 및 H_2로 생성되어진다.

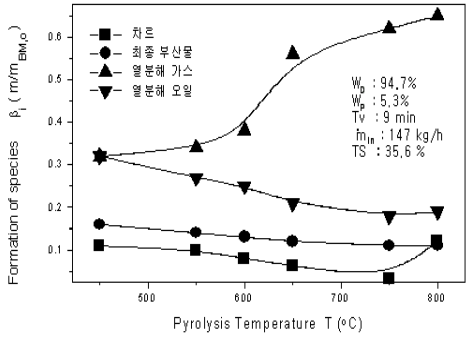
[Fig. 4]의 결과는 건조단계에서 함수율이 평균 94.7 %까지 감량화된 슬러지를 열분해 시킨 후 온도조건에 따라서 열분해에 의해서 생성되는 발생량과 차르, 오일 및 최종부산물의 변화를 조사하였다.

결과에서 1차적 반응물과 부산물이 2차적인 열분해 반응에서 생성되는 주 물질인 CO_2, H_2, CO 및 CH_4는 온도가 증가함에 따라 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. 분해의 최종 산물인 CO_2는 450~600℃ 범위에서 발생량의 상관관계는 큰 차이가 없었고, 600~800℃범위에서 650℃를 초과하는 온도조건에 발생량이 증가함을 볼 수 있다. 온도변화에 따른 열분해 특성에서 슬러지를 효율적으로 분해함과 동시에 최적조건의 가스 생산을 위해서 650℃ 범위가 가연성 가스인 CH_4와 CO가 가장 효과적으로 생성되는 온도조건임을 볼 수 있었다.

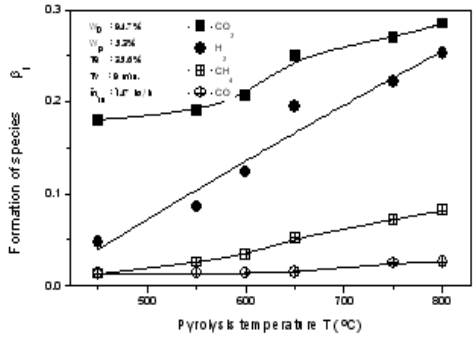
슬러지 열분해로 인하여 발생되는 오일 및 차르 열분해가스의 변화량은 550℃이상의 온도에서 비례적으로 증가하고, 오일량은 상대적으로 감소하게 된다. 이 결과에서 저온 열분해 구간에서는 오일생성이 크고, 고온의 조건에서 가스발생이 크게 발생됨을 볼 수 있다. 온도조건이 650℃의 범위에서 열분해가스량이 최적조건으로 증가하기 시작하였으며, 차르 및 오일 최종부산물도 최적으로 감소하는 온도조건임을 볼 수 있었다.

[Fig. 5]의 결과는 건조단계에서 함수율이 94.7%, 열분해로 주입되는 함수율이 5.3%일 때 열분해 반응을 다양하게 온도조건을 변화시켜 생성된 가스를 정량적 비례의 값으로 분석하였다. 열분해 반응에서 1차적 반응물과 부산물이 2차적인 열분해 반응하여 생성되는 주 물질인 CO_2, H_2, CO 및 CH_4는 온도의 증가에 따라서 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. 분해의 최종산물인 CO_2는 450~600℃ 범위에서 발생량의 상관관계는 큰 차이가 없었고, 600~800℃범위에서 650℃를 초과하는 온도조건에 발생량 증가함을 볼 수 있다. 온도변화에 따른 열분해 특성에서 슬러지를 효율적으로 분해함과 동시에 최적조건의 가스 생산을 위해서 650℃ 범위가 가연성 가스인 CH_4와 CO의 생성이 효과적인 온도조건임을 볼 수 있었다.

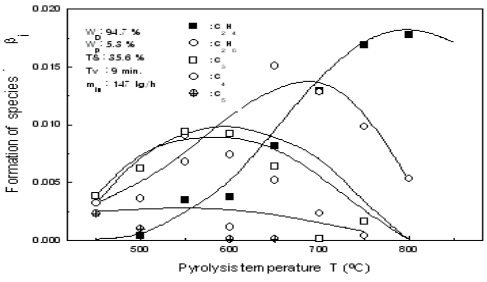
[Fig. 6]의 결과에서 탄소쇄가 2개인 C_2H_4는 500℃이하의 온도에서 거의 생성이 없었지만 온



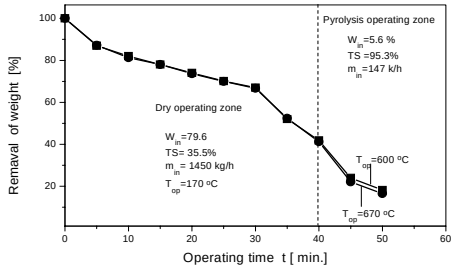
[Fig. 4] Variations of pyrolysis gas, tar and oil by the temperature.



[Fig. 5] Influence of the pyrolysis temperature on the formation of single gas species.



[Fig. 6] Influence of the pyrolysis temperature on the formation of single gas species.



[Fig. 7] Weight removal of sewage sludge by dry and pyrolysis processing.

도가 높아질수록 증가하다가 800℃의 온도에서 생성이 감소됨을 볼 수 있었다. 또한 C_2H_6의 경우 700℃까지 생성이 증가하다가 800℃에서 거의 생성이 없었음을 볼 수 있다. 탄소쇄가 3에서 5개를 가진 물질의 온도가 500~600℃ 범위에서 효율적으로 생성된 반면에 700~800℃ 범위에서는 거의 생성이 없었다. 이들의 결과에서 보면 CO, H_2, CH_4 및 C_2H_4는 온도가 600~700℃까지 온도가 증가에 따라서 열분해가스의 량은 증가하였지만, C_3, C_4, C_5는 450~600℃범위 내에서 증가함을 볼 수 있다. 따라서 탄소가 적은 물질은 고온 열분해조건에서 생성량이 많은 반면 탄소쇄가 큰 물질은 낮은 온도의 열분해조건에서 발생량이 많았다.

열분해로에서 온도변화에 따른 물질변화를 조사한 결과는 [Fig. 6]과 같은 결과가 나타났다.

최종잔재물의 변화는 열분해 온도가 450~650℃ 범위에서는 최종적으로 발생되는 부산물은 16 %에서 13 %까지 유기물의 함량변화가 있었으나 650℃이상에서 물질의 변화량은 거의 없었고, 650℃ 이상에서 유기물의 분해 반응이 다시 감소하는 것으로 조사되었다.

4.5 건조 / 열분해에 따른 중량변화

본 실험장치의 열분해과정에서 발생되는 폐열을 건조구간에 순환과 보조연료 사용으로 버너의 가열온도 190℃와 건조장치의 구간에 따라 160~170℃를 유지하는 조건에서 슬러지의 함수율이 3~35%까지 상태가 유지되도록 하여 운전시간을 40분 동안 가동 하였고, 건조된 슬러지를 시간당 147kg/h가 유지되도록 하여 건조 슬러지를 9분 동안 열분해로 운전온도가 600℃와 670℃의 열분해 조건에서 함수율이 변화되는 과정을 건조와 열분해과정으로 구분하여 자동적으로 실험에서 중량의 변화를 조사하였다. 건조단계에서는 열분해에서 발생되는 폐열과 버너온도가 190℃를 유지하도록 하여 건조단계에서 평균 170℃에서 유지되도록 하였으며, 열분해단계에서 발생되는 생성가스는 세정한 후 버너를 이용하여 열분해 반응로에서 간접 가열하여 평균온도가 600~670℃ 온도가 유지되도록 운전되었다.

열분해 온도의 증가에서 건조단계에서 평균건조가 170℃로 유지되도록 한 후 40분까지 건조에 따른 중량의 감량율이 일정하게 유지되었지만, 열분해 단계에서 9분 동안 열분해하는 과정에서 [Fig. 7]의 실험결과에서 하수슬러지 분해과정 중 감량화 단계는 슬러지에 함유하고 있는 수분이 건조과정에서 94.7 %정도까지 탈수가 일어났고, 열분해 단계에서 열분해에 의하여 발생되는 열분해가스, 오일, 차르로 생성되고 최종적으로 생성되는 부산물은 16.5~18.0 %범위 이내로 생성되었다.

본 연구에 사용된 슬러지를 종침에서 탈수를 거친 후 수분함량이 79.0~81.5 %정도였고, TS성분 중 가연분이 73.2 %와 회분이 26.8 %로 건조 후 전체 감량화는 58.8 %였지만, 전체 고형물질 중 유기물질량이 많았기 때문에 열분해 과정에서 가스발생이 많이 발생함과 동시에 열분해 과정에서

감량화가 발생하여 열분해 온도 600℃인 경우 9분 동안 열분해 후 전체량은 81.8%가 감량화 되었고, 670℃에서는 84.6 %까지 감량화되었다.

[식. 6]에 따른 건조/열분해 과정에서 열적반응 속도식 이용하여 k값을 구한 결과에서 온도가 600℃일 때 0.0426, 온도가 670℃일 때 0.046로 각각 나타났다. 실험결과에서 일정한 슬러지 함유량의 조건에서 열분해 온도가 높을수록 반응속도상수 k값이 증가하였다.

5.결 론

하수슬러지를 감량화하고 분해하기 위해서 건조/열분해기술을 적용한 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

1. One 구동 2단 열풍건조 시스템에서 슬러지가 투입되는 상단에서 슬러지에 함유된 수분에 의해서 온도가 162℃까지 급격히 하강하다가 4번째 온도센서가 있는 8.68 m의 지점에서 온도상태가 정상으로 유지된 후, 건조기가 2단형 벨트형 구동으로서 하단으로 슬러지가 침강하는 동안 약간 온도가 약간 냉각되어져서 구동시스템이 출구방향으로 전환되어져서 다시 반대방향으로 유출되어지는 동안 슬러지 함수율이 연속적으로 감소됨과 동시에 170℃로 정상적인 온도상태로 유지됨을 볼 수 있었다. 따라서 열풍건조로 인해서 가동 30분 후에 열적거동이 거의 일정하게 유지됨으로서 슬러지에 함유된 수분제거에 효율적으로 나타났다.
2. 열분해 온도조건에 따른 부산물의 생성관계를 살펴보면 열분해 최종산물인 CO_2는 450~600℃ 범위에서 발생량은 큰 차이가 없었고, 600~800℃범위에서 650℃를 초과하는 온도조건에서 발생량이 증가함을 볼 수 있다. 온도변화에 따른 열분해 특성에서 슬러지를 효율적으로 분해함과 동시에 최적조건의 가스생산을 위해서 650℃범위가 가연성 가스인 CH_4과 CO 생성에 효과적인 온도조건임을 알 수 있었다.
3. 탄소쇄의 크기에 따라 생성물의 생성관계를 보면, 탄소쇄가 2개인 C_2H_4는 500℃이하의 온도에서 거의 발생이 없었지만 온도가 높아질수록 증가하다가 800℃의 온도에서 생성이 감소됨을 볼 수 있었다. 탄소쇄를 3~5개 가진 물질은 온도가 500~600℃ 범위에서 효율적으로 생성되고 700~800℃ 범위에서 거의 생성없었다.
4. 연구에 사용된 슬러지는 종침에서 탈수를 거친 후 수분함량이 79.0~81.5 %정도였고, TS성분 중 가연분이 73.2 %와 회분이 26.8 %로 건조 후 전체 감량화는 58.8 %였지만, 전체 고형물질 중 유기물질량이 많았기 열분해 감량화가 발생하는 동안 열분해 온도 600℃인 경우 9분 동안 간법가열에 의한 열분해반응 후 전체량은 81.8 %가 감량화 하였고, 670℃에서 84.6 %까지 감량화됨을 볼 수 있었다
5. 건조/열분해 과정에서 열적반응 속도식을 이용하여 k값을 구한 결과 온도가 600℃일 때 0.0426, 온도가 670℃일 때 0.046로 각각 나타났다. 실험결과에서 일정한 슬러지 함유량의 조건에서 열분해 온도가 높을수록 반응속도상수 k값이 증가하였다.

참고문헌

1. 양재문, “생활폐기물의 발생 및 소각처리실태” 환경부(1999).
2. 오길종, “하수슬러지 관리와 재활용기술” 환경부(2002).
3. 환경부, “96년 하수처리장 슬러지 발생 및 처리현황”(1997).
4. 환경처, “하수종말처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성조사 연구”(1994).
5. 삼성중공업, “다단식 열풍건조 이용한 하수슬러지 지원화시설” 폐기물자원화, 8권 3호, pp 60~71, (2000).
6. Billigman, F.-m., “Kreislaufwirtschaft in der Praxis, V. 3, Llaerschlammentsorgung:Behandung-Verwertung Beseitigung

Bundes-verband der Deutschen Ensorgungwirtschaft e.V Koeln(1995).

7. Laguna, O. and Collar, E.P., "Reuse of Plastics Recovered From Solid Wastes. Modification of Properties in PE Blends". J. Polym. Eng, 7(3), p 169(1987).
8. 한국에너지기술연구소, "폐플라스틱 유동층 열분해시험", 과제 최종보고서(1995).
9. 환경부, "하수슬러지 처리 정책방향 일간건설신문, pp 11-4~11-7(2003).
10. 정재춘 외 다수, "폐기물의 열분해 및 쓰레기 전화연료," 폐기물처리, pp 289~290(1998).
11 .N.N, "Heissdampf-Schuettguttrockner, TRSG 1000.1, MAB-Metall(2000).
12. Wolfgang, K., and Wolfgang W., "Experiments and mathematical modeling of maize pyrolysis in a rotary kiln" Fuel 78, pp 65~72(2000).
12. Gehardt, "Thermische nutzung von klarschlammen in Kraftweksfeuerungen entsorgungspraxis" 3, pp 50~58(1996).
13. Kaminsky, W. and Janning, J., "Processing of Plastic Waste and Scrap Tires into Chemical Raw Materials, Especially by Pyrolysis." Angew. Chem., Int. Ed. Engl., 15, p 660(1976).
14. Kummer, A., "Pyrolyse von ausgefaulten Klaerschlamm in der Wirbelschicht. Eine Entsorgungsalternative." Dissertation, University Hamburg(1989).