



ORIGINAL PAPER

원저

ONE구동 열풍건조시스템을 이용한 하수슬러지 감량화를 위한 열적거동 연구

배해룡, 하상안*

경주대학교 건설·환경공학부, 신라대학교 환경·생명공학부*

(2005년 3월 20일 접수, 2005년 5월 20일 채택)

A Study on the thermal Kinetics for Disposal of Sewage Sludge Using Thermal Wind Drying of One mechanical Power

Hae-Ryong Bae, Sang-An Ha*

Department of Environmental Engineering, Kyongju University, Department of Environmental Engineering, Silla University*

ABSTRACT

The objectives of this study was to investigate the improvement of thermal kinetics for disposal of sewage sludge using thermal wind drying. The operational parameters varied are the temperature of 130~170°C and evaporation velocity W_D . Important parameters effect on thermal kinetics for evaporation of water in sewage sludge studied include the drying time, water content of sewage sludge, solids amount of sewage sludge(TS%) by the varied temperature.

The saturation point of water evaporation was observed at the drying time of 60 min in conditions of drying temperature 170°C and drying time of 120 min by drying temperature 130°C and $W_D=0.95$ m/s. Operation at drying temperature of 170°C led to higher rate of evaporation than those 130, 150°C at $W_D=1.0$ m/s and $W_D=1.0$ m/s was higher than $W_D=0.5$ m/s at drying temperature of 130°C.

Keywords : Thermal Wind Dryer, Disposal of Sewage Sludge, Evaporation Rate, Water Content, Solids Amount

초 록

본 연구의 목적은 열풍건조를 이용하여 슬러지를 감량화하는 과정에서 발생하는 열적거동을 조사하는데 있다. 실험에서 중요한 운전매개변수는 공급되는 건조온도가 130~170°C와 증발속도 W_D 를 변화시켜 실험하였다. 슬러지내 수분을 증발하는 과정에서 열적거동의 변화에 미치는 영향인 주요매개 변수는 공급되는 온도변화에 따른 건조시간, 슬러지내 수분함량, 슬러지의 고형물량에 따른 결과를 조사하였다. $W_D=0.95$ m/s의 조건에서 170°C의 건조온도에서 수분이 증발되는 포화점은 95분과 130°C에서 120분에서 조사되

었다. 열풍의 의한 증발속도가 1.0 m/s로 일정할 때 건조온도가 130와 150℃일 때 보다 170℃인 경우가 증발율이 더 높게 나타났고, 건조기 온도가 130℃인 경우는 $W_D=1.0$ m/s일 때 $W_D=0.5$ m/s 보다 증발율이 높게 나타남을 볼 수 있었다.

핵심용어 : 열풍건조기, 슬러지 처분, 증발율, 수분함량, 고형물량

1. 서론

우리나라 하수종말처리시설의 증가와 고도처리로 하수슬러지의 발생량은 매년 증가하고 있음에도 불구하고 육상매립과 해양배출이 어렵게 되어 감에 따라 지금까지의 하수슬러지 처리정책을 재검토하고 있으며, 경제적이고 효율적인 하수슬러지 처리를 위한 중장기정책 방향을 수립해야 할 상황에 직면하고 있다¹⁾. 따라서 하수 슬러지는 해양투기 비율이 증가하고 있는 추세에서 세계적으로 런던협약 96년 개정의 발효를 통해서 해양투기를 정책적으로 반대하고 있는 추세이다. 본 연구과제는 런던협약발효와 함수율 70%이상의 유기성폐기물의 직·매립 금지로 인하여 하수종말처리시설의 증가와 고도처리로 하수슬러지의 발생량은 매년 증가하고 있음에도 불구하고 육상매립과 해양배출이 어렵게 되어감에 따라 재활용기술의 보급이 증가하고 있지만, 하수슬러지의 재활용이 활발하지 못하고 있기 때문에 소각처리의 혼재처리 기술, 건조 및 열분해 기술 등의 적용이 요구되고 있는 실정이다^{2, 3)}.

선진 외국의 경우 미국과 유럽은 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. 따라서 슬러지 처리시설인 소각, 용융 및 열분해 기술들이 관심이 고조되고 있다. 최근, 하수처리장의 신설 내지는 증설이 대폭 증가되고 2차 고도처리의 도입도 증가되는 추세이며, 이는 국민생활 수준의 향

상이라는 측면과 국민의 환경권 보장이라는 면에서 더욱 증가할 것으로 전망되고 있다⁴⁾. 본 연구과제는 열적처리 공정의 개발이 요구되고 있는 시점에서 탄화기술이나 열분해 시설과 연계된 종합시스템으로 개발되기 위해서 국내외적으로 에너지순형 고효수율을 제거하기 위한 저동력 사용과 폐열의 순환으로 운전이 가능한 ONE구동 고온 열풍순환 벨트 건조기술 시스템의 개발의 필요성에⁵⁾ 따라 슬러지 건조에서 다양하게 발생하는 열적인 거동을 연구하여 Data베이스를 구축함으로써 하수슬러지를 건조 처리공정에 필요한 시스템을 구축하는데 있다.

2. 이론적배경

건조물질을 흐르는 열풍온도 T_{Dein} 은 170℃가 유지되도록 메인 열교환기에서 열풍이 공급되었다. 건조기 자유단면적당 건조대상물질의 흐름속도는 0.9~1m/s가 되도록 운전하였고, 건조기의 수분증발율 Δm_w 은 550 ± 50 kg/h이 운전되도록 장치가 설계되었다. 건조기내의 슬러지의 물질흐름은 다음과 같이 계산 되어진다⁶⁻⁸⁾.

$$m_{TG} = \frac{\Delta m_w}{X_a - X_e} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 X_a 슬러지의 함수율, X_e 는 제거된 함수율이다. 최초슬러지내 수분의 물질흐름량 m_w 과 최종슬러지내 수분 물질흐름량 m_{we} 는 다음과 같다.

$$m_{wa} = m_{TG} X_a \dots\dots\dots (2)$$

$$m_{we} = m_{TG} X_e \dots\dots\dots (3)$$

전체 수분을 함유한 슬러지의 물질흐름량(질량)과 체적흐름량은 전체 물질흐름량에 밀도 값으로 환산하여 나타낼 수 있다.

$$\dot{m}_{FGa} = \dot{m}_{TG} + \dot{m}_{Wa} \dots\dots\dots (4)$$

$$V_{FGa} = \frac{\dot{m}_{FGa}}{\rho_s} \dots\dots\dots (5)$$

이에 따라서 최종 수분을 함유한 슬러지 질량흐름은 다음과 같다.

$$\dot{m}_{FGe} = \dot{m}_{TG} + \dot{m}_{We} \dots\dots\dots (6)$$

건조물질의 면적단위당 비면적물질흐름량은 건조기내 자유단면적당 건조물질흐름의 흐름속도 값에 비례하여 증가한다.

$$\dot{m}_{Dspcz} = W_D \cdot \rho_D \dots\dots\dots (7)$$

최종 건조기내에서 수분량 변화량과 질량변화는 슬러지의 수분함유량과 최종 슬러지내 함유된 함수율과 질량비는 수분과 슬러지량의 변화에 따라 계산되어진다.

$$\beta_w = \frac{X_e}{X_a} \text{ (kg/kg)} \dots\dots\dots (8)$$

$$\beta_m = \frac{m_{Fe}}{m_{Fg}} \text{ (kg/kg)} \dots\dots\dots (9)$$

3. 실험 및 방법

본 실험장치는 이송시스템이 ONE구동 2단형의 컨베이어 시스템이 리턴이 되도록 운전이 실행되었고, 슬러지 건조를 위한 고온열풍을 순환시켜 약취 및 열순환으로 열원을 최대로 이용할 수 있는 에너지순환의 건조시스템이 설계되었다. 고탍수율을 가진 하수 슬러지는 평균 500±50 kg/h량이 연속적으로 모노펌프를 이용하여 공급되어졌다. 열풍을 공급하기 위한 평균 공급온도는 170℃가 유지하도록 열분해 과정에서 발생하는 폐열과 보조 증류 버너를 이용하여 열원이 순환되도록 공급되어졌으며, 건조를 위한 적정한 온도가 유지되도록 하기 위해서 설정된 열원이 부족한 경우 열풍이 자동적으로 순환되도록 운전 하였다. 열풍공급에 따른 건조기내 상단부의 이송부는 슬러지 Free

Water와 표면수가 증발되도록 설계되었으며, 하단부의 이송부인 하단 컨베이어가 리턴하면서 1차로 건조된 슬러지 표면이 뒤집어져서 결합수와 interstitial water의 분자가 파괴 될 수 있도록 하기 위해서 2단형 이송시스템이 구성되어져서 고탍수율을 가진 슬러지를 감량화 시킬 수 있도록 운전 되어졌다. ONE구동 컨베이어 방식의 연속열풍 건조기의 온도를 초기에 2시간 승온한 후 슬러지 투입한 후 15분 정도 정지한 후 건조 슬러지가 연속적으로 배출되도록 운전하였다. 최종 배출되는 슬러지내에 함유한 함수율 5~10% 이하로 유지되었고, 건조된 슬러지는 입상의 형태로 배출되었다.

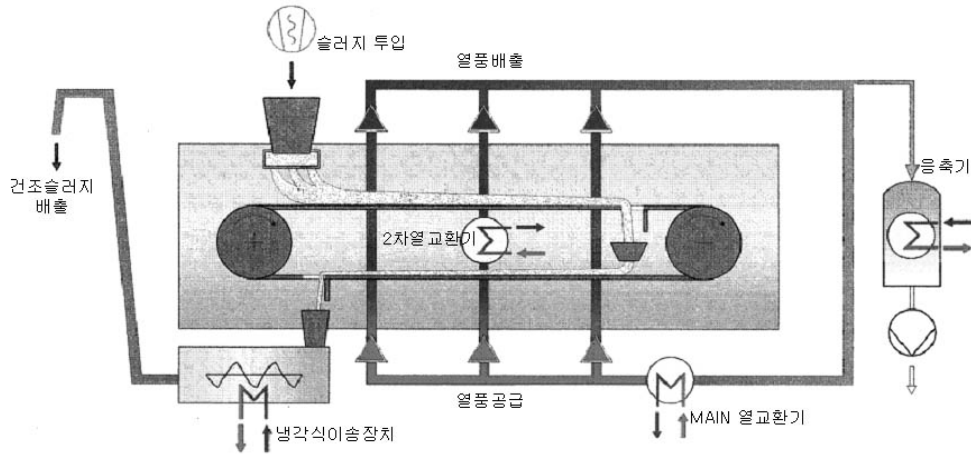
열풍건조기는 ONE구동 2단형 컨베이어 이송 시스템인 하단부에 부착된 열풍노즐에 의해서 드럼 내부에 투입되는 재료가 열풍 속에서 지속적으로 상부로 분산되고, 1단에서 80%를 함유한 수분을 충분히 증발 시킬 수 있는 구간으로 작용하여 슬러지 공극을 미세하게 조절되어져서 하단부로 슬러지 하강하는 동안 컨베이어 상부에 한번 뒤집기가 형성되도록 설계되어 있어 건조효율을 높이고, 건조시간을 단축시키는 구조와 기능을 할 수 있도록 시설이 설치되어 있다. 열풍건조기의 건조과정에서 발생하는 대기오염물질은 배기송풍기에 의하여 공해방지시설로 통과되는 것이 아니고 다시 발생하는 악취성분이 한번 연소가 되도록 하여 2차적으로 발생하는 대기오염원 제거장치가 복잡하게 구성될 필요가 없도록 설계되어 있다.

4. 연구결과 및 고찰

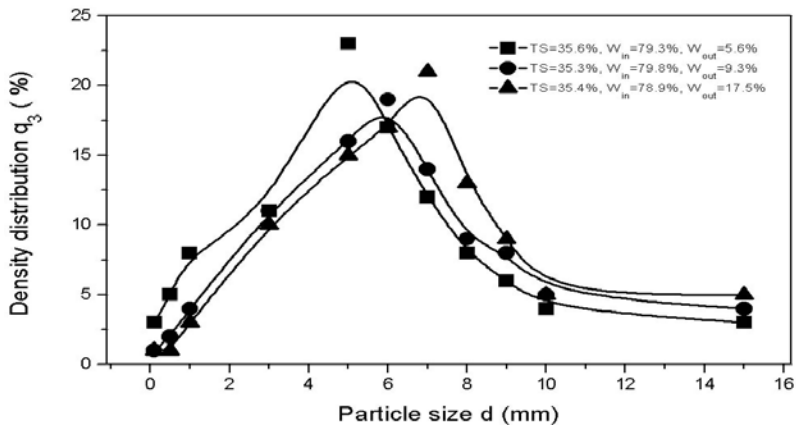
4.1 건조물 수분함유량에 따른 입상크기 변화

[Fig. 2]은 건조결과에 따라서 건조된 슬러지 입상상태를 나타내기 위해서 12가지의 입자를 분류할 수 있는 체분류기를 이용하여 입자분포도에 따른 평균입경을 분석하였다.

건조기에 주입된 최초의 슬러지의 고탍물량은 조사한 결과 시료별 TS가 35.5%로 거의 일정하였고, 수분함량이 79.5±0.5%로 거의 일정한 운전 조건에서 건조온도를 170℃로 변화시켜 건조시킨



[Fig.1] Schematic diagram of full-scale reactor for drying of sewage sludge.



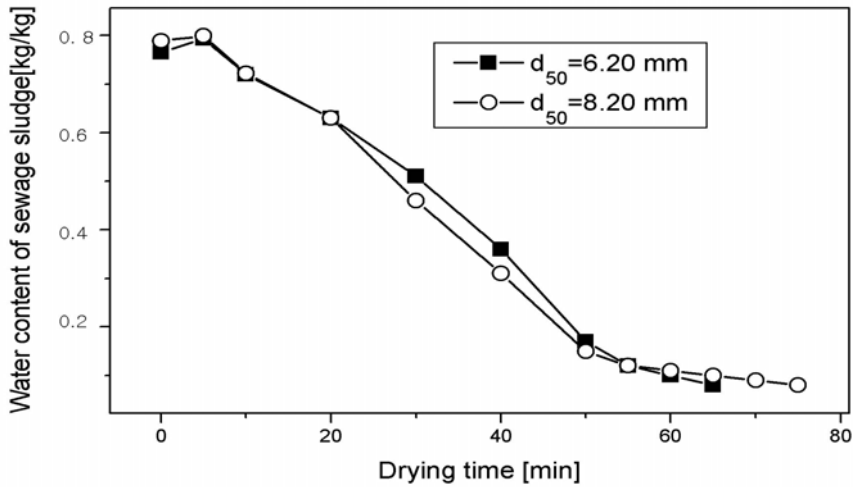
[Fig. 2] Variations of particle density distribution after drying by solids amount(TS%) and water content of sewage sludge.

후 최종 수분함량이 5.6%일 때 평균입경은 5.20mm로 나타났고, 최종 수분함량이 9.3%로 건조되어진 경우에는 6.20mm 및 수분함량이 적게 증발되어진 17.5%인 경우에는 평균입경 7.20mm로 나타났다.

실험장치에서 슬러지를 건조한 결과에서 보면 건조된 슬러지의 입경크기는 수분함량이 적게 증발되어질수록 입자간의 내부수나 층간수가 증발되는율이 낮아 가교형성이 크게 작용하여 미세입자가 응집되는 효과가 크기 때문에 슬러지에 함유된 수분의 증발량이 적은 거 따라 대체적으로 큰 입자분

포가 많이 나타나는 것으로 조사되었다. 온도조건에 따라서 입자간의 증발되는 수분에 따라 크기가 다양하게 나타났으며, 입경크기는 0.25~10mm의 입자들이 분포하는 것으로 나타났다.

[Fig. 3]에 나타낸 결과에서 수분함유량이 비슷한 슬러지를 건조한 후 건조된 슬러지 입경크기가 건조과정에서 열적전달에 미치는 영향을 조사한 결과 슬러지의 증발온도는 170°C의 건조조건에서 증발속도 W_b 가 0.95m/s로 운전될 경우 건조기에서 증발시간 변화에 따라 슬러지에 함유된 수분증발량의 감량화에 따라 증량변화(수분kg/슬러지



[Fig. 3] Variations of water evaporation of sewage sludge according to time for drying.

kg)에 따른 열적거동은 슬러지의 건조에 의해서 증량단위 변화가 10%까지 감량되었고, 최종 건조된 슬러지의 평균입경크기가 6.20mm 경우가 8.20mm보다 수분증발을 위해서 포화점에 도달하는 시간은 더 빠르게 나타났다.

따라서 슬러지에 함유된 수분이 증발되는 동안 열적거동은 슬러지 입경크기가 적은 경우 열풍이 수분을 함유한 단면과 접촉할 수 있는 표면적의 증가로 인해서 건조가 효율적으로 나타났다⁹⁻¹²⁾.

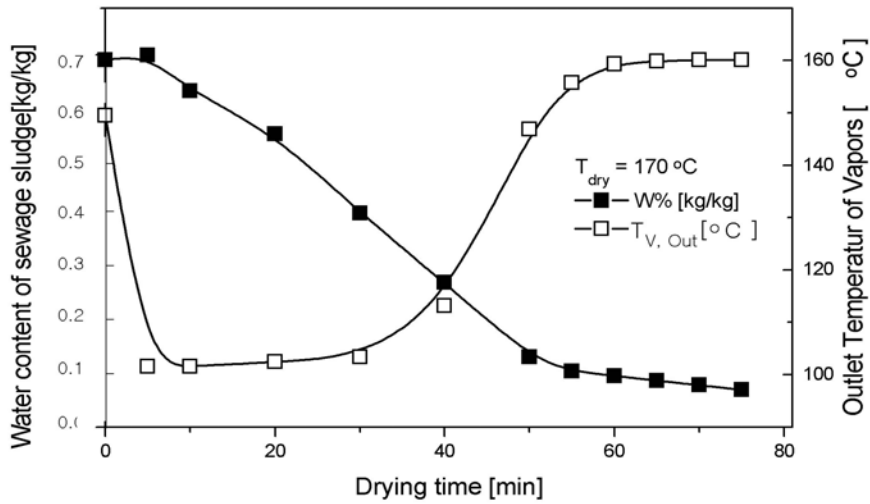
4.2 건조온도에 따른 증발량과 증발온도변화

건조실험에서 슬러지가 건조되는 과정에서 발생하는 열적거동을 실험하기 위해서 건조장치 1단은 9.02m와 2단부의 하단 9.02m가 리턴하여 건조 슬러지가 배출되도록 설계되어 있다. 실험장치에서 최적단위당 건조를 위한 슬러지의 흐름속도 W_D 는 0.9m/s로 일정한 조건에서 건조온도를 변화하여 열적거동을 평가하기 위해서 증발량과 최종 증발을 위한 포화온도변화를 각각 [Fig. 4]~[Fig. 6]에 나타내었다. 슬러지를 건조할 수 있는 170°C 온도조건과 물질흐름속도 W_D 를 0.95 m/s로 일정한 조건에서 열적거동의 평가를 위해서 증발온도 변화를 분석한 결과 건조시간 7분까지는

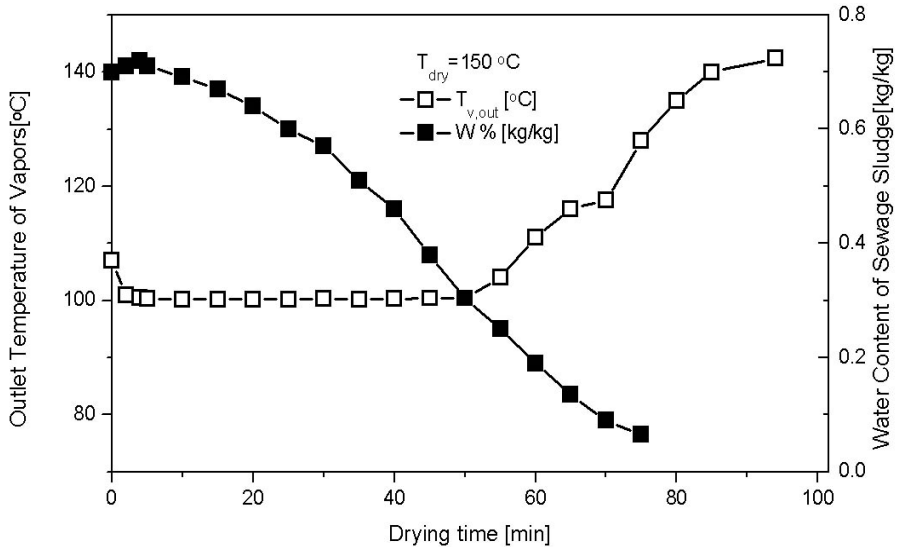
슬러지에 함유된 수분으로 인하여 온도가 100°C로 급강하였다가 건조시간 30분까지 승온을 위해서 일정한 온도가 유지되다가 건조기 하단부에서 슬러지에 함유하고 있는 자유수와 표면수가 거의 증발되어 함수율이 0.1% (kg/kg)까지 유지되는 건조시간은 60분까지 온도가 급상승하여 60분 이후부터 일정하게 유지하였다. 건조기내의 온도는 증발의 포화점에 도달되면서 슬러지의 내부수와 층간수가 증발되어지면서 함수율이 약간 감소하였으나 60분부터 거의 160°C로 일정하게 유지하였다.

[Fig.5]의 결과는 150°C의 건조기에 공급되어진 온도조건에서 슬러지 투입에 따라 온도가 하강하다가 수분이 증발되어 포화점에 도달하여 증기 온도가 승온하여 포화점에 도달하는데 걸리는 시간은 170°C의 건조온도 보다 20분 정도 길게 나타났다으며, 건조온도가 150°C의 조건에서 증발온도가 포화점에 도달하여 140°C까지 도달하는데 95분이 필요로 하였다.

슬러지 성상이 같은 조건에서 수분이 증발되어 포화점에 도달하는 필요한 건조시간은 건조를 위해서 공급되는 건조온도가 각각 150°C와 170°C를 비교하면 150°C의 건조온도 조건이 건조하는데 필요한 시간이 35분 정도 길게 나타남을 볼 수 있



[Fig. 4] Variations of saturation situation of water evaporation in conditions of drying temperature of 170°C and $W_b=0.95$ m/s.



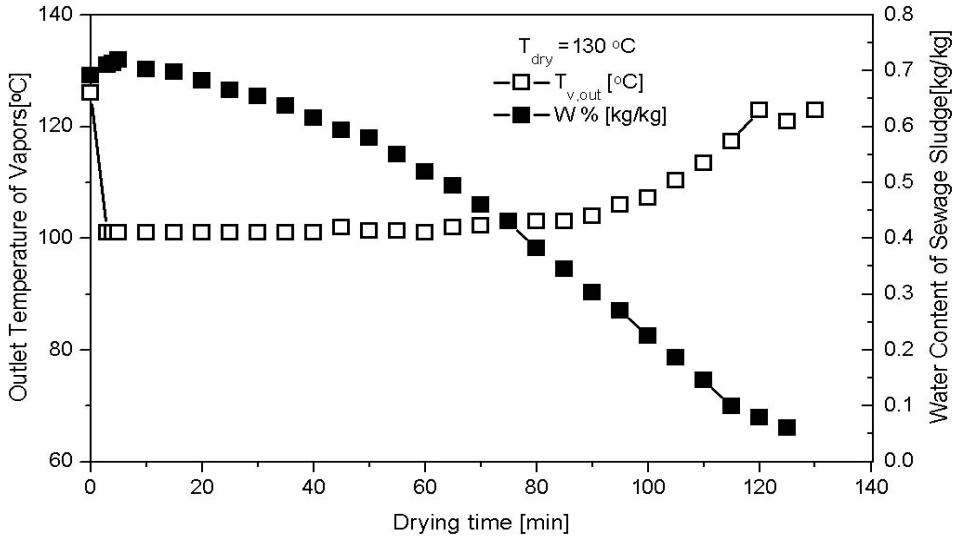
[Fig. 5] Variations of saturation situation of water evaporation in conditions of drying temperature of 150°C and $W_b=0.95$ m/s.

었다.

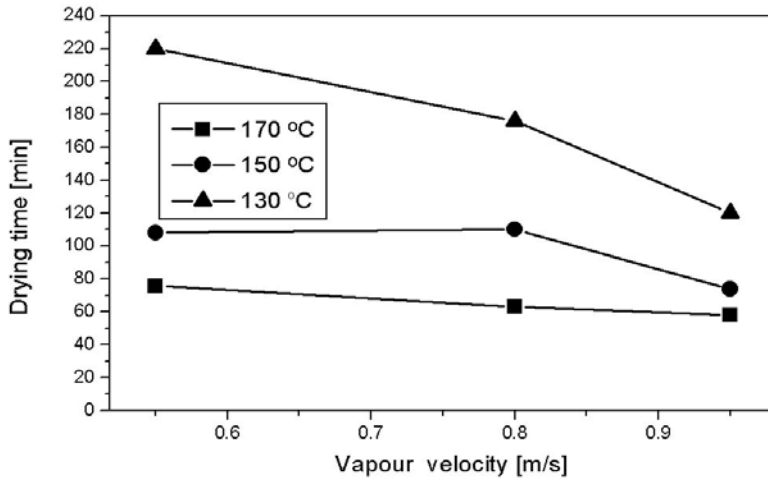
건조온도 130°C의 조건에서 수증기가 증발되어 증기온도가 상승하면서 포화점에 도달하는 시간은 [Fig. 6]에 나타난 결과에 따라서 120시간 정도

소요되는 것으로 나타났다.

[Fig. 7]에 나타난 결과는 건조기내의 열적거동을 실험하기 위해서 기초실험을 위한 높이 0.15m와 길이는 0.014m에서 최적단위당 건조를 위한



[Fig. 6] Variations of saturation situation of water evaporation in conditions of drying temperature of 130 °C and $W_0=0.95m/s$.



[Fig. 7] Variations of drying time by varied temperature of drying and evaporation velocity.

슬러지의 증발흐름속도는 0.5~1.0m/s변하여 온도조건에 따른 건조속도를 측정결과를 나타내었다. 실험에 사용된 슬러지의 밀도와 수분의 함량은 일정하게 고정된 상태에서 유입되는 온도를 130°C에서 170°C에서 건조시간은 다음과 같은 결과

를 얻을 수 있었다.

공급되는 건조온도가 130°C의 조건에서 증발속도의 증가에 건조시간의 변화는 감소하였지만, 150°C와 170°C의 조건에서 0.5~0.8 m/s 범위에서 건조시간의 변화가 거의 없었지만 0.9 m/s이상

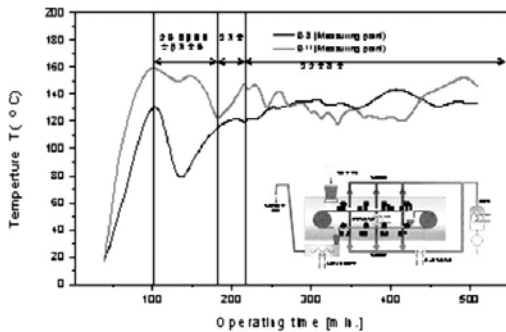
증가할수록 건조시간이 감소하였다. 본 연구결과에 의하면 증발속도의 변화보다는 공급되는 건조 온도에 따라 건조시간은 큰 변화가 있는 것으로 나타났다. 건조실험을 위한 ONE구동 컨베이어 시스템에 슬러지 투입량과 수분함량에 따라서 실제 열적거동의 변화를 분석하기 위해서 벨트구간에 따라 온도변화를 나타내었다.

[Fig. 8]는 슬러지 투입에 따라 상단부와 하단부 온도변화를 분석하기 위해서 건조기 내부에 온도센서를 이용하여 연속실험 가동에 따라 온도변화를 나타내었다. 건조기에 공급된 슬러지는 수분함량이 79.8 %이고, 투입된 시료를 건조시키기 위해서 2시간 동안 건조기를 승온한 후 슬러지 투입 후 15분 정도를 정지하여 충분한 증발할 수 있는 조건을 만든 후 연속가동을 하는 동안 건조장치의 이송 컨베이어 벨트 간격 2.17m 마다 설치된 온도센서에 감지되는 온도변화를 구간마다 분석하였다. 실험장치에 슬러지가 투입되는 상단부 2.17m 지점인 상단 유입부 B8은 가열버너 온도가 190℃의 조건에서 건조기에 공급된 온도가 160℃로 예열한 후 수분함량이 증발되기 시작함으로써 상단부에 슬러지가 투입되어 벨트가 상단부에 운전되는 동안 유입부인 B8지점의 온도는 하강하였다. 건조기내 일정한 온도를 보정하기 위해서 약 15분에서 20분정도 벨트를 정지시켜 온도를 145℃까지 유지하도록 하여 다시 연속적으

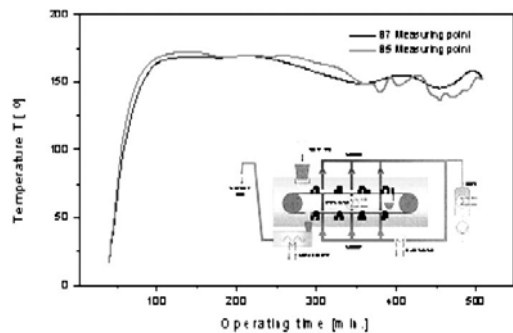
로 슬러지를 투입시켜 500분까지의 온도변화는 145℃에서 120℃ 부근까지 하강하다가 최종 건조가 끝나는 시간대에서 온도가 다시 155℃까지 증가하는 슬러지내의 수분 증발에 따라 열적거동을 분석할 수 있다.

B11지점은 슬러지가 투입되어 2단부로 리턴되어 슬러지가 떨어지는 지점으로서 시운전 40동안 127℃까지 증가하다가 슬러지가 투입되어 상단부에 운반되어지는 동안 B11지점의 온도는 82℃까지 급격히 감소한다. 이 때 벨트는 정지시켜 125℃까지 온도가 상승되는 지점에서 16분에서 20분정도 벨트 정지시 온도를 상승시켜 정상 운전되는 동안 135~140℃를 유지하면서 운전되어진다.

[Fig. 9]에 나타낸 벨트의 하단부 B7은 상단부에서 하단부로 슬러지가 하강하는 지점으로서 운전시작점에서 40분 운전까지는 컨베이어가 리턴하면서 건조된 슬러지가 반대로 뒤집어지면서 슬러지에 함유하고 있는 층간수와 내부수가 증발이 되면서 B7지점의 온도가 급상승하기 시작하여 온도가 168℃까지 증가하다가 연속적인 운전에 따라 온도가 일정하게 유지되어진다. B7과 B5지점의 온도 프로파일은 운전시간에 따라서 큰 변화가 없었고, 정상적인 운전이 이루어지는 동안 400분까지는 온도가 약간 하강하다가 슬러지가 최종 유입되는 시간에 다시 155℃정도를 유지하게 되어진다.



[Fig. 8] Temperature variations of B8 and B11 zone in dryer after 510 min. of operating time.



[Fig. 9] Temperature variations of B5 and B7 zone in dryer after 510 minute of operating time.

슬러지를 건조하기 수분함량과 평균밀도가 950kg/m³로 거의 일정한 성분조건에서 투입되는 량을 변화량에 따라 건조시간을 변화시켜 최종 수분증발량과 슬러지 중량변화를 실험하였다. 건조시간은 건조기내부에서 170℃의 조건으로 승온되는 시간을 제외하고 W_D 가 0.95 m/s로 운전조건에 따라 공급되는 슬러지량은 550 kg/h가 되도록 연속적으로 실험을 실행하여 최종 슬러지가 건조되어 배출되도록 하였다.

[Table. 1]과 [Fig. 10]는 슬러지 투입량을 변화시켜 일정한 운전조건에서 투입된 슬러지가 배출되는 동안 슬러지 중량의 변화비와 슬러지내에 함유된 수분함량의 증발량을 분석한 결과를 나타내었다. S-1시료는 투입되어진 슬러지가 2.03톤을 투입하여 최종 건조된 량이 0.36톤으로 전체 중량비의 변화는 82.3%가 감소되었고, 수분량은

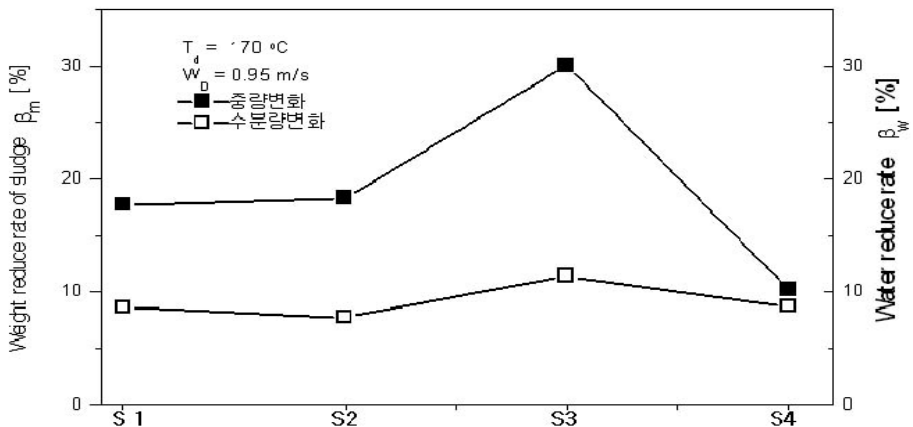
91.4%가 감소되었다. S-2시료는 투입량이 1.58톤에서 최종 건조량이 0.29톤으로 슬러지 중량변화는 81.7%가 감소되었고, 수분증발은 92.3%가 감소되었다. S-3시료는 투입되어진 슬러지가 1.30톤을 투입하여 최종 건조된 량이 0.39톤으로 전체 중량비의 변화는 70 %가 감소되었고, 수분량은 88.5%가 감소되었다.

S-4시료는 투입되어진 슬러지가 2.74톤을 투입하여 최종 건조된 량이 0.28톤으로 전체 중량비의 변화는 89.7%가 감소되었고, 수분량은 91.2%가 감소되었다.

S3의 시료에서 최종 중량감소량이 적은 경우 수분 증발율이 낮게 나타남을 볼 수 있었고, S1,S2 및 S4시료의 결과에서 슬러지에 함유된 수분이 적게 함유하고 있는 슬러지가 투입되어진 량의 증가에 따라 운전시간의 연장에도 불구하고 중량 감

[Table1] Experimental Result of Full-scale

Sample	Sludge amount		Water content (%)	
	input(ton)	output(ton)	input	output
S-1	2.03	0.36	79.0	6.8
S-2	1.58	0.29	78.0	6.0
S-3	1.30	0.39	78.0	8.9
S-4	2.74	0.28	74.0	6.5



[Fig. 10] Reduce rate of weight and water content according to input sludge amount by drying temperature of 170℃ and WD=0.95 m/s.

소율이 높게 나타났으며, 일정한 운전조건에서 수분함유량이 건조에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

운전결과에서 ONE구동열풍건조 실험결과에서 나타난 온도변화에 따른 건조에 미치는 영향은 크지만, 최적의 온도상태의 운전시간의 변화에 따라 감량화는 큰 변화가 없었다.

One구동 열풍 건조시스템을 이용한 슬러지를 건조에 따른 감량화 실험결과 사용되는 연료는 23-45 kg/h(45l //h)정도가 소요되었고, 폐열이용에 따라 에너지원이 75% 감소되어 18 //h의 연료사용으로 감소됨을 볼 수 있었다.

5. 결론

원구동 2단형 쉐이버 열풍건조기를 이용하여 슬러지 건조과정에서 발생하는 열적거동에 관한 결과는 다음과 같다.

1. 슬러지의 고형물량의 TS가 35.5%와 수분함량이 79.5± 0.5 %로 일정한 운전조건에서 온도를 170°C로 변화시켜 건조시킨 후 최종 수분함량이 5.6 %일 때 평균입경은 5.20mm로 나타났고, 최종 수분함량이 9.3%로 건조되어진 경우에는 6.20mm 및 수분함량이 적게 증발되어진 17.5%인 경우에는 평균입경 7.20mm로 나타났다. 건조되는 과정에서 평균 입경 작은 경우가 열풍의 접촉면의 증가로 건조가 효율적으로 나타났다.
2. 슬러지내에 수분이 증발하기 위해서 증발포화점에 도달하는 건조시간이 $W_b=0.95\text{m/s}$ 의 일정한 조건에서 건조온도가 170°C일 때 60분에 도달하였지만, 130°C에서 120으로 나타났으며, 슬러지의 수분을 효율적으로 증발시키기 위한 조건은 170°C에서 효율적으로 나타났다.
3. 일정한 슬러지 밀도와 수분함량의 조건에서 일정하게 고정된 상태에서 유입되는 온도를 130°C 에서 170°C에서 건조시간의 변화는 증발속도보다 온도조건에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
4. 공급되는 일정한 시료내의 중량의 감량화는 일

정한 투입량의 조건에서 슬러지내에 수분 함량의 값이 슬러지 중량 감소율에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 환경부, “전국폐기물발생 및 처리현황” 환경부, (2002).
2. 오길중, “하수슬러지 관리와 재활용기술” 환경부, (2002).
3. 환경처, “하수종말처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성조사 연구” (1994).
4. 강정식, 권영배, 강수호 “유기성폐기물의 연속 탄화 및 재활용기술” 폐기물자원화, 11(3), pp 16~25 (2003).
5. 삼성중공업, “다단식 열풍건조 이용한 하수슬러지 자원화시설,” 폐기물자원화, 8(3), pp 60~71, (2000).
6. 홍원석 외, “슬러지 간접열건조 시스템의 실험적 연구,” J. Korean Solid Wastes Engineering Society 18(4), pp 51~58 (2001).
7. Brandauer, E and Verch, E., “Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Klaerschlammtrocknung mit Heissdampf und verfahrenstechnische Dimensionierung einer mobilen Trocknungsanlage,” BSW, (1997).
8. .N.N, “Heissdampf-Schuettgutrockner,” TRSG 1000.1, MAB-Metall, (2000).
9. Vaxelaire, J and Bongiovanni J., “Thermal drying of residual sludge,” Water Res. 34(17), pp 4318~4323, (2000).
10. Smollen, M., “evaluation of municipal sludge drying and dewatering with respect to sludge volume reduction,” Water Science Technology, 22(12), pp 152~161 (1990).
11. Voronjec D. and Antonijevic D., “Drying potential of humid air: a thermodynamical analysis,” Drying Technology, 14(7/8), pp

- 1751~1762 (1996).
12. Gehardt, "Themische Nutzung von Klearschlamm in Kraftwerksfeuerungen entsorgungspraxi" 3, pp 50~58, (1996). 