하수슬러지 유중 건조에 대한 연구

신미수, 김혜숙, 임정균, 최승희, 홍지은, 장동순*
충남대학교 환경공학과
(p_dsjang@cnu.ac.kr*)

A study for fry drying of sewage sludge

M.S.Shin, H.S.Kim, J,K.Lim, S.H.Choi, J.E.Hong, D.S.Jang*
Department of Environmental Eng., Chungnam National University
(p_dsjang@cnu.ac.kr*)

서 론

자동차용 폐윤활유 뿐만 아니라 산업용 절삭유, 선박유, 각종 오일류 등 산업용 윤활유는 각종 산업의 발달로 점차 많은 양이 배출되나 아직도 일부는 처리되지 않은 채 그대로 토양이나 바다로 유추되어 주변 환경을 크게 오염시키고 있다. 특히 폐유에는 많은 중금속을 내포하고 있는 기본 특성을 가지므로 플라스틱이나 캔류와는 달리 자연계에 그대로 버려질 경우 자원의 낭비는 물론 중금속으로 인한 지하수 오염, 해수오염 등으로 막대한 오염복구 비용을 필요로 하므로 이중의 피해를 가져오게 된다.

또한 하수 처리공정에서 발생되는 슬러지는 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 국내외 적으로 슬러지나 유기성 폐기물의 직접 매립이나 해양투기가 어려워 질 전망이다. 이에 슬러지의 육상처리 및 자원화 계획을 수립하여 소각, 용융, 재사용, 퇴비화와 같은 합리적이며 환경 친화적인 처리공정들에 대한 체계적인 연구의 필요성이 높아지고 있다.

본 연구는 이론적 연구 및 실험적 연구를 활용하여 자동차나 선박 및 산업체 등에서 발생하는 폐유나 음식물 조리나 튀김 후 재활용 되는 폐유를 이용하여 슬러지 처리의 핵심인 건조공정에 적용하고자 하는 연구로써 높은 수분제거 효율을 달성할 수 있고, 또한 개량된 슬러지는 기존의 건조 슬러지보다 높은 열량을 가지므로 새로운 고형화 연료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.[1),2)]

연구 방법

(1) 이론적 연구

슬러지에 존재하는 물은 슬러지 내부 고형물과의 결합에 따라 자유수와 결합수로 분류된다.[4)] 자유수는 기계적 탈수공정으로 분리될 수 있지만 결합수의 제거를 위해서는 건조공정이 필요하다.

건조공정은 시간에 따른 시료의 수분함량 변화를 보여주는 건조곡선으로 나타내고 dry basis의 용어로 표현되나 유중건조 공정에서는 기름의 질량이 계산되어 일반적인 수분함량의 정의와 차이가 있다.

$$X_{ab} = \frac{\text{수분질량}(g)}{\text{유중건조후 슬러지질량}}$$

유중 건조 기술의 주요 메커니즘은 물에 비해 비열이 작은 폐유의 높은 온도와 폐유증기의 높은 활동성은 슬러지 수분의 온도 증가와 수증기의 증발 현상에 의해 내부압력을 증가시킨다. 이 결과 슬러지 내부의 수분과 외부 증기와의 물질전달 통로 역할을 하는 내부 기공의 구조가 극대화한다. 따라서 증가된 수증기의 압력과 배출통로의 확대는 수증기를 외부로 배출시키고 이에 일시적으로 형성되는 슬러지 내부의 음압(negative

pressure)은 오일증기의 내부 유입을 순조롭게 하여 흡수/흡착 과정을 돕는 작용을 한다.

본 연구에서 착안하고 있는 연구의 주안점은 수분과 오일의 대체 기전에 영향을 미치는 제반 중요변수에 따라 슬러지 건조에 미치는 영향을 조직적으로 연구 검토하고자 하는 것이다. 아래에 슬러지 처리에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상 되는 주요 운전변수를 나타내었다.

○ 슬러지 변수 : 함수율, 기공도 및 크기, 슬러지 형상 및 크기, 밀도, 비열, 응집성 등
○ 폐유 변수 : 폐유의 성질, 비열, 증기압, 비등점, 점성 등
○ 운전 및 장치 변수 : 처리량, 운전온도 등

(2) 실험적 연구

건조실험에 사용한 하수슬러지는 계절에 따라 함수율과 원소조성이 변화하므로 실험 전에 시료를 채취하여 함수율과 주요성분을 분석하였다. 하수슬러지의 함수율은 공정시험방법에 의해 105~110℃에서 4시간 건조시킨 후 황산데시케이터 안에서 방냉하여 건조 전 후의 중량차이로부터 계산하였으며 이와 같이 측정된 함수율은 건조기의 성능을 평가하는 자료로 사용하였다. 유기화합물의 주요성분인 탄소, 수소, 질소, 황, 및 산소는 자동원소분석기(Element Analyzer 1010)를 사용하여 정성, 정량 분석하여 함수율에 따른 발열량을 계산하였다. Table 1에 분석결과를 나타내었다. 건조 슬러지는 현재 토지 개량제 및 복토제등으로 사용을 제한하고 있는데 하수 슬러지의 경우 중금속 때문에 재이용 분야가 한정되어 있다. Table 2는 ICP-MASS에 의해 건조 하수 슬러지의 중금속을 분석한 것이다. 실험은 기름 20리터 용량과 전기소모량 17w/hr 이고 LPG 가스를 열원으로 사용하는 통상적인 가스튀김기구로 수행하였다. 슬러지의 유실을 막고 튀김기구에 슬러지는 잠기게 하고 일정시간 튀긴 후에는 끌어 올릴 수 있는 개폐형 금속질 구형망에 넣어서 실험을 수행하였다. 각 실험은 20ℓ 유조에 담그고 4분에서 16분까지 2분단위로 변화를 주어 튀긴 시간별 함수량을 측정하였다. 또한 가열온도는 120℃~160℃로 변화를 주어 수행하였다. 실험에 사용된 폐유는 일반 치킨집에서 사용한 폐식용유와 자동차에서 사용된 폐 엔진오일을 활용하였다. Fig. 1에 유중건조에 사용된 실험 장치를 나타내었다.

Table 1. Ultimate analysis of dehydrated sewage sludge

Location	Element (wt. %)	C	H	O	N	S	Ash	Water	Low calorific value (kcal/kg)[2)]
Daejon [1)]	Wet base	5.92	0.84	2.93	0.86	0.21	10.24	79	132.49

1) analyzed in August, 2007 2) calculated from Dulong formula

Table 2. The analysis of heavy metal of sewage sludge

	As	Cd	Cu	Pb	Hg	Cr	Cr^{6+}	
before fry-drying	5.76	1.86	454.53	154.33	ND	70.50	7.21	Conc (mg/kg)
after fry-drying	3.85	1.31	303.81	109.01	ND	52.21	5.23	Conc (mg/kg)

연구결과 및 고찰

Fig. 2에 탈수 슬러지와 유중 건조시킨 후의 슬러지의 실험사진을 나타내었다. 결과에 나타나 있듯이 수분이 증발하면서 부피가 현저히 줄어든 것을 볼 수 있다.

Fig. 1 Experimental set-up

건조온도는 일반적인 건조공정과 기름 온도가 중요시 되는 튀김의 경우에서 중요한 변수가 된다. Fig.3은 신선한 오일과 폐식용유를 사용한 수분 증발량 결과를 나타낸 것이다. 실험 조건은 슬러지량 10g에 대하여 건조온도를 120℃로 적용한 것으로, 건조시간에 따른 수분 함유량에 큰 차이를 나타내고 있지 않고 유사한 결과를 나타내었다.

Fig 4는 폐식용유를 사용한 경우 건조 온도에 따른 결과로 건조 온도가 높을수록 수분 증발량이 증가하는 것으로 나타났다. 120℃에서는 초기에 수분함량이 비교적 높게 나타났으나 140℃와 160℃의 경우 6분부터 5% 이내의 낮은 수분함량을 나타내었다. 140℃~160℃가 튀기는 온도로는 적당한 것으로 나타났다. Fig. 5는 폐 엔진오일을 사용한 경우에 대한 결과인데 폐식용유에 비하여 점도가 현저히 증가함에 따라 수분 증발이 현저히 지체되는 현상이 나타났다. 그러나 건조온도 140℃이상에서는 120℃에 비하여 건조시간이 경과함에 따라 수분 증발이 급격히 증가하는 결과를 나타내었다.

Fig. 6은 슬러지 직경변화에 따른 수분 건조곡선을 나타낸 것인데, 직경이 커질수록 슬러지 내부로부터 표면까지 수분이 통과하는 경로도 길어지면서 수분증발량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

(a) before fry-drying (b) after fry-drying

Fig. 2. Experimental result

결 론

다양한 변수 연구 결과 슬러지의 유중건조 시간은 건조온도에 따라 차이는 있지만 폐식용유의 경우 유중 건조 온도가 140℃ 이상 일 때는 6분부터 수분 함유량이 5%로 이내로 수분제거에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 또한 슬러지의 지름이 증가함에 따라 내부로부터 표면까지 수분이 통과하는 경로도 길어지면서 수분 증발이 감소하는 것으로 나타났다.

폐 엔진오일을 사용한 경우 점도가 현저히 증가함에 따라 폐식용유에 비하여 수분 증발이 현저히 지체되는 현상이 나타났다. 그러나 건조온도 140℃이상에서는 120℃에 비하여

건조시간이 경과함에 따라 수분 증발이 급격히 증가하는 결과를 나타내었다.

결과에서 유중 건조 공정은 높은 수분제거 효율을 달성할 수 있고, 향후 수분과 기름의 함량사이의 상관관계를 좀 더 세부적으로 연구해야겠지만, 제거된 수분의 자리를 대부분 폐유가 대체하므로 개량된 슬러지는 기존의 건조 슬러지보다 높은 열량을 가져 새로운 고형화 연료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

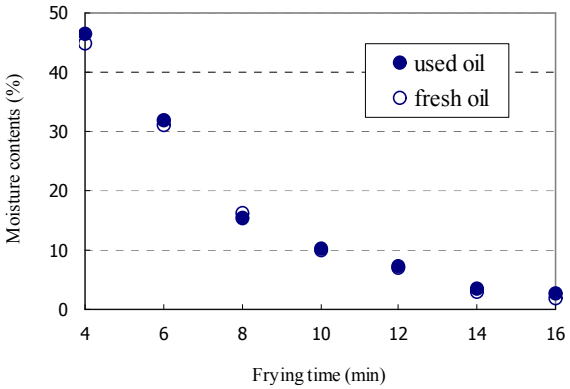

Fig.3. Moisture content(%) with frying time

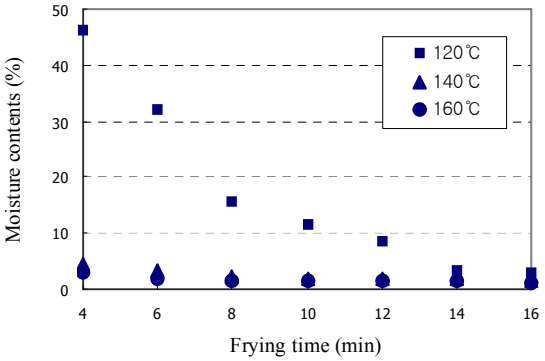

Fig. 4. Moisture content(%) with change of frying temperature

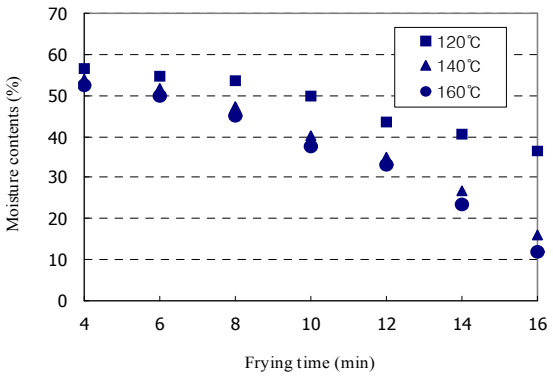

Fig. 5. Moisture content(%) with change of frying temperature

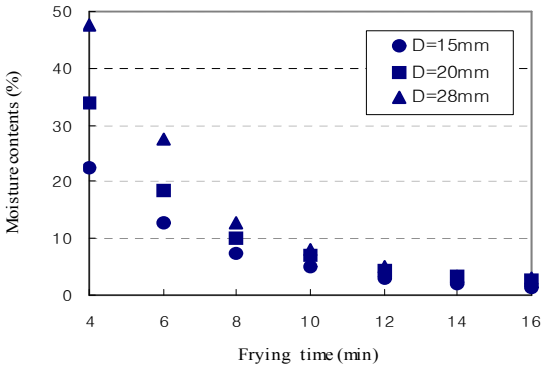

Fig. 6. Moisture content(%) with sludge diameter

참고문헌

1. Dermibas, A., “Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fules and Chemicals”, Energy Conversion and Management, 42, 1357-1378(2001).
2. Gamble, M. H., Rice, P. and Selman, J. D., “Relationship Between Oil Uptake and Moisture Loss During Frying of Potato Slices from c.v. Record U.K. Tuber", International Journal of Food Science and Technology, 22, 233-241(1987).
3. Daniela P. da Silva, Victor R., Osvaldir P.T., "Drying of sewage sludge through immersion frying", 14th IDS Symposium, vol. B, 1005-1012 (2004).
4. Kopp, J. and Ditchl, N., Prediction of Full-scale Dewatering Results by Determining the Water Distribution of Sewage Sludge, Water Science and Technology, 42(9), 141-149(2000).