

減壓乾燥法을 利用한 下水슬러지處理

장 성 호, 박 진 식, 김 수 생*

국립 밀양산업대학교 환경공학과
*동아대학교 환경공학과

A Study on Sewage Sludge Treatment by Vacuum Drying Method

Seong-Ho Jang, Jin-Sick Park*, Soo-Saeng Kim*

Department of Environmental Eng., National Miryang Univ.

*Department of Environmental Eng., Dong-A Univ.

ABSTRACT

This study was to experiment, through sewage sludge treatment by Vacuum Drying Method, variation of water content with reaction pressure, reaction time, reaction temperature.

The result are as follows; The water content decreased with the same reaction temperature and reaction time at lower pressure and 360~40 mmHg (a close vacuum) showed lower water content at low reaction temperature and short reaction time. The water content rapidly decreased with the same reaction pressure and time at low reaction temperature (above 120°C).

Key words : vacuum drying, sewage sludge, water content

초 록

본 연구에서는 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지의 부피를 감소시키기 위하여 감압건조법을 이용하여 반응압력, 반응시간, 반응온도에 따른 하수슬러지의 탈수효율을 조사하였다.

반응압력이 낮아질수록 슬러지의 함수율은 감소되는 경향을 보였으며, 동일한 반응압력 및 반응온도

에서는 반응시간이 길어질수록 탈수효율이 상승하였고 반응온도에 따라서는 120°C 이상에서부터 슬러지의 탈수효과가 뛰어난 것을 알 수가 있었다.

결과적으로 하수슬러지를 감압건조법으로 처리할시에는 탈수효율이 기존의 탈수 방법보다 우수한 결과를 보임으로서 하수슬러지의 처리시 소요되는 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단되며 슬러지만이 아니라 음식물쓰레기 등의 유기성폐기물에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 감압건조, 하수슬러지, 함수율

1. 서 론

경제발전 및 생활의 향상은 생활하수나 공업 폐수의 증가를 가져왔고, 이에 따라 하천 및 강의 오염을 방지하기 위한 하·폐수처리장의 증가는 필연적인 결과이다. 하·폐수처리장의 증가와 함께 슬러지의 발생량도 증가하여 이의 처리는 앞으로 큰 환경 문제로 대두될 것이다(김수생, 1993; 류지영, 1993; 이호태 등, 1994a).

70년대 중반부터 시작한 우리나라의 하수처리장은 서울의 중랑천 하수처리장을 필두로 1995년말을 기준으로 볼 때 우리나라에 설치된 하수종말처리시설은 모두 71개소로, 시설 용량은 965만 m³/d에 달한다. 전국 인구 4,618만 명에 대한 하수처리인구는 2,088만명으로서 하수도보급율은 45.0%이다. 앞으로 정부에서는 2005년까지 하수도보급율을 80%까지 향상 시킬 계획으로 하수종말처리시설 설치 및 증설사업을 계속 추진하고 있으며, 1997년까지 294개소의 처리장에서 2,072만 m³/d의 하수를 처리할 계획이다. 이중 슬러지 발생량은 1~2%로 예상하고 있다(최의소 등, 1995; 환경부, 1996; MOE., 1994).

그러므로 하수처리장에서 필연적으로 발생되는 슬러지의 양은 지속적으로 증가하고 있다. 그러나, 하수처리장에서 발생되는 슬러지의 대부분이 슬러지 자체가 가지고 있는 잠재적 에너

지 가치는 무시된 채 오히려 별도의 비용지출과 함께 단순히 매립 처리됨으로서 지하수, 지표수, 토양오염 및 악취와 같은 2차 환경오염은 물론 부족한 매립지 난을 가중시키고 있다. 그러므로 하수슬러지의 적정처리는 폐기물의 재이용 및 감량화의 측면에서 시급한 연구과제로 대두되고 있다(김수생, 1993; 이호태 등, 1994a, b).

일반적인 하수슬러지의 처리에 있어서 가장 중요한 점은 보통 60~80% 정도로 함유되어 있는 수분을 경제적이고도 효과적으로 어떻게 제거하는가에 있다. 현재까지 하수슬러지 처리의 대부분을 매립에 의존하는 것도 이러한 문제를 효과적으로 해결하지 못하고 있기 때문이다. 그러므로 슬러지를 처리 및 처분하는 경우 탈수과정은 거치는 것은 슬러지에 함유되어 있는 수분을 제거하여 슬러지의 양을 감소시키고 재이용의 측면에 있다고 할 수 있다고 할 수 있다(김익성 등, 1991; 최의소 등, 1995).

일반적으로 슬러지 처리비용은 도시하수 전체 처리 비용의 1/2~1/4 정도에 해당되고, 그 중에서도 슬러지 탈수처리가 가장 큰 비율을 차지한다. 따라서 슬러지 탈수에 소요되는 비용을 감소시킬 수 있다면 폐수 처리의 비용을 효과적으로 줄일 수 있다(김익성 등, 1991).

이러한 문제의 해결 및 각종 유기성 폐기물의 적절한 재이용을 위해서 Nakazono는 기존의 감압 Fry법(小俗明司, 1987a, b, c)을 응용하

여 감압건조법[일명 PROREX SYSTEM (Protein Resources Exploitation System)]이라는 새로운 처리법을 개발하였다. 감압건조법은 식품의 제조 및 건조방법중 Frying (튀김)에 사용되는 유지의 특성을 이용하여 개발한 처리방법으로 유지를 열매체로 감압, 가온하에서 원료중의 수분을 탈수시킨 후 사료 및 비료 등으로 재이용하는 방법이다(中園修三, 1981). 유지를 열매체로 이용하는 이유는 가열된 유지가 슬러지의 입자사이와 조직중에 들어가서 수분과 급속히 치환되므로 비교적 저온하에서도 빠르고 양호하게 함유수분을 탈수시키기 때문이다. 새로운 처리방법인 감압건조법을 이용하여 하수슬러지의 함수율 감소를 극대화시킴으로서 슬러지의 부피를 최소한으로 줄이고자 한다.

따라서 본연구에서는 국내 하수종말처리장의 증설과 함께 각종 산업장 폐기물처리시설에서 다량 배출되는 하·폐수 슬러지의 적정처리를 위해 감압건조법을 이용하여 반응시간, 반응압력, 반응온도에 따른 슬러지의 탈수를 실험함으로써 그에 대한 기초자료 제공에 있다.

2 실 험

2.1 시 료

본 실험에 사용된 슬러지는 P시 J하수종말처리장에서 발생하는 슬러지를 채취하여 시료로써 이용하였으며, 5회 분석한 슬러지의 함수율을 Table 1에 나타내었다. 식용유는 H사에서 시판하고 있는 식용유를 사용하였으며 분석결과를 Table 2에 나타내었다.

2.2 실험장치

3000 mL의 원통 스테인레스 용기에 식용유와 슬러지를 넣고, 정확한 온도제어를 위하여 자동온도 조절기가 부착된 가열기를 사용하여

Table 1. Water content of sewage sludge

No. of tests Item	1	2	3	4	5	Average
water content(%)	81.3	80.6	80.9	81.1	80.8	80.9

Table 2. Analytical data of Fresh Soybean oil used

Item	Value
Acid Value(AV)	0.07
Peroxid Value(POV)	2.7
Carbonyl Value(COV)	8.2
Iodine Value(IV)	133.2

반응조내의 일정온도를 유지하였으며 Aspirator와 압력조절기를 사용하여 반응조내의 필요한 압력 상태를 유지하면서 실험을 행하였다. 반응조내부에는 가열부분과 슬러지와 직접접촉을 방지함과 동시에 시료채취를 위하여 눈금 1 mm 망을 원통으로 설치하여 이 곳에 슬러지를 투입하면서 실험하였다.

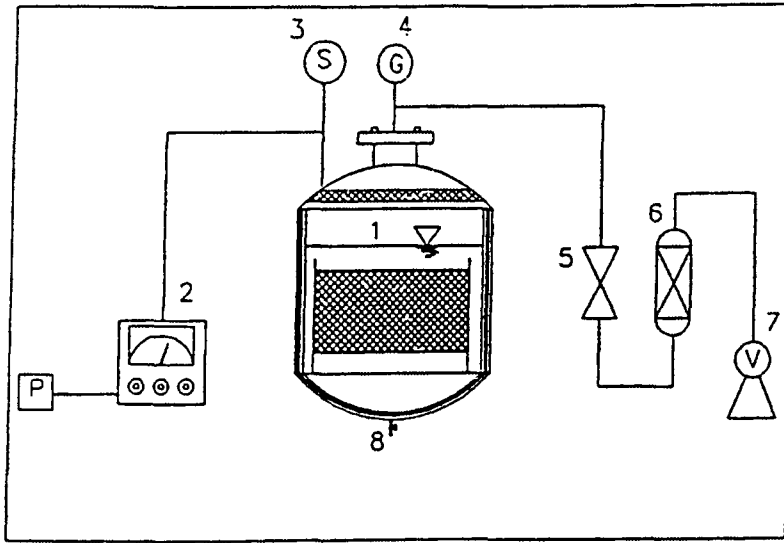
본 실험에 사용된 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.3 실험방법

반응조에 슬러지와 유지를 중량비로 넣어 각각의 반응압력(760 mmHg, 560 mmHg, 360 mmHg, 160 mmHg, 60 mmHg), 반응온도(80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C), 반응시간(5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 40 min)에 따른 슬러지의 함수율의 변화를 분석함으로써 각 반응조건이 함수율을 변화에 미치는 영향을 분석하여 탈수에 최적의 조건을 찾는다.

2.4 분석방법

시료의 함수율 측정에는 두가지 분석방법을 병행하여 사용하였다. 먼저, 원 시료의 함수율은



- 1. Vacuum Fry Reactor
- 2. Auto Control Thermostat.
- 3. Thermo Sensor(S)
- 4. Vacuum Gauge(G)
- 5. Vacuum Check Valve
- 6. Cold Trap
- 7. Vacuum Pump(V)
- 8. Oil port
- P. Power

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

Standard Methods 중에서 수분(고형분)시험법에 의해 측정하였다 (APHA, AWWA, WPCF, 1990). 감압건조처리 후의 시료는 유지성분이 다소 포함되어 있기 때문에 위와 같은 중량법으로는 오차가 발생할 우려가 있다. 따라서 식품공전에 의거 간접 수분정량법인 Karl Fischer Method에 의하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 반응압력이 760 mmHg일 때 반응 온도 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C에서 반응시간 변화에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것이다. 초기 함수율이 80.9%인 슬러지를 80°C에서 5분 간격으로 40분간 반응시켰을 때 감압 건조처리한 슬러지의 함수율은 35~64%로서 최

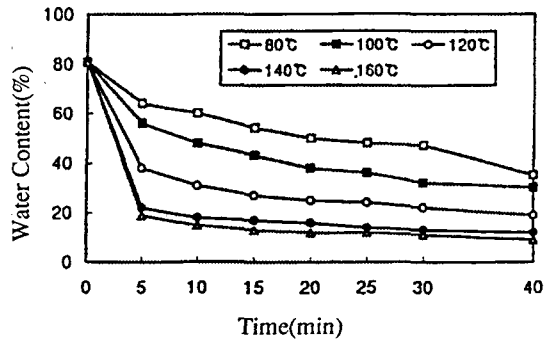


Fig. 2. Variation of water content with reaction time (at 760 mmHg).

고 45.9%의 함수율이 감소됨을 알 수가 있었으며 100°C일 때는 30~56%의 함수율을 보이는 것으로 조사되었다. 그리고 160°C일 때는 40분간 반응시켰을 때 함수율이 9%로 조사되었다. 이상의 결과로 동일압력에서는 온도가 상승

할수록 처리효율이 증가하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3은 반응압력이 560 mmHg일 때 반응 온도 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C에서 반응시간 변화에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것이다. 초기 함수율이 80.9%인 슬러지를 80°C에서 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 40 min의 시간에서 반응시켰을 때 함수율 각각 53%, 48%, 42%, 38%, 35%, 33%, 28%를 조사되어 상압에서 처리한 경우와 비교하였을 때 최고 11%의 함수율의 차이를 보였다. 그리고 100°C일 때는 43%, 37%, 33%, 29%, 26%, 24%, 22%를 나타내었고, 120°C일 때는 30%, 24%, 22%, 21%, 20%, 18%, 17%를 나타내었고, 140°C일 때는 19%, 15%, 14%, 13%, 11%, 11%, 10%를 나타내었고, 160°C일 때는 16%, 13%, 12%, 11%, 10%, 9%, 8%로 각각 나타났다. Fig. 2와 전체적으로 비슷한 경향을 보였으며 특히 40분간 반응시에는 차이가 미미한 것으로 조사되었다.

Fig. 4는 반응압력이 360 mmHg일 때 반응 온도 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C에서 반응시간 변화에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것이다. 초기 함수율이 80.9%인 슬러지를 80°C에서 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25

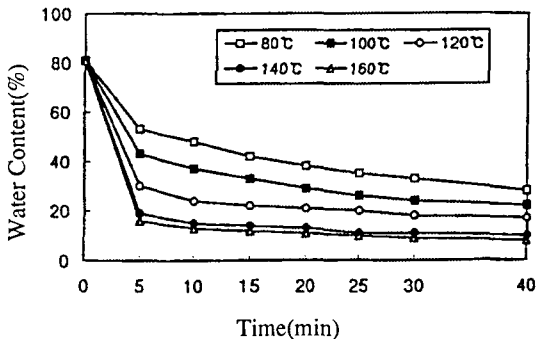


Fig. 3. Variation of water content with reaction time (at 560 mmHg).

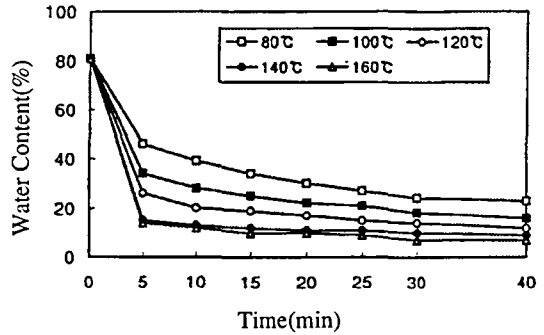


Fig. 4. Variation of water content with reaction time (at 360 mmHg).

min, 30 min, 40 min의 시간에서 반응시켰을 때 함수율 각각 46%, 39%, 34%, 30%, 27%, 24%, 23%를 나타내었고, 100°C일 때는 34%, 28%, 25%, 22%, 21%, 18%, 16%를 나타내었고, 120°C일 때는 26%, 20%, 19%, 17%, 15%, 14%, 12%를 나타내었고, 140°C일 때는 15%, 13%, 12%, 11%, 11%, 10%, 9%를 나타내었고, 160°C일 때는 14%, 12%, 10%, 10%, 9%, 7%, 7%를 나타내었다.

Fig. 5는 반응압력이 160 mmHg일 때 반응 온도 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C에서 반응시간 변화에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것이다. 초기 함수율이 80.9%인 슬러지를 80°C에서 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 40 min의 시간에서 반응시켰을 때 함수율 각각 28%, 22%, 18%, 15%, 13%, 12%, 10%를 나타내었고, 100°C일 때는 23%, 16%, 14%, 12%, 10%, 9%, 8.5%를 나타내었고, 120°C일 때는 18%, 11%, 10%, 8%, 7.5%, 7%, 7%를 나타내었고, 140°C일 때는 10%, 9%, 8%, 7%, 7%, 6.5%, 6.5%를 나타내었고, 160°C일 때는 8.5%, 8%, 7%, 6.5%, 6.5%, 6.5%, 6.5%를 나타내었다.

Fig. 6는 반응압력이 60 mmHg일 때 반응 온도 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C에서

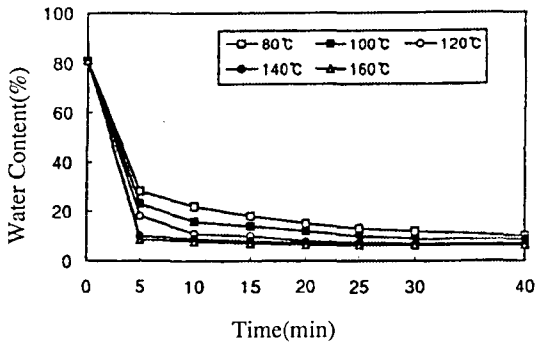


Fig. 5. Variation of water content with reaction time (at 160 mmHg)

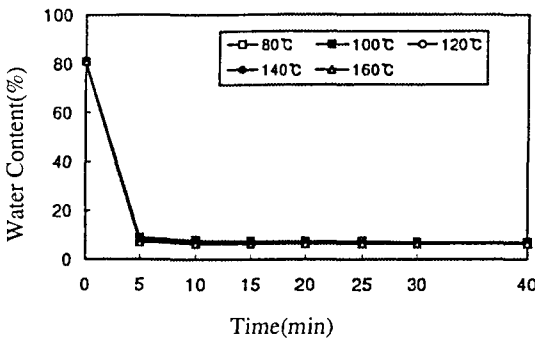


Fig. 6. Variation of water content with reaction time (at 60 mmHg)

반응시간 변화에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것이다. 초기 함수율이 80.9%인 슬러지를 80°C에서 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 40 min의 시간에서 반응시켰을 때 함수율 각각 9%, 8%, 7.5%, 7.5%, 7.5%, 7%, 7%를 나타내었고, 100°C일 때는 8%, 7.5%, 7%, 7%, 6.5%, 6.5%, 6.5%를 나타내었고, 120°C일 때는 7.5%, 7%, 7%, 6.5%, 6.5%, 6.5%를 나타내었고, 140°C일 때는 7%, 7%, 7%, 6.5%, 6.5%, 6.5%, 6.5%를 나타내었고, 160°C일 때는 7%, 6.5%, 6.5%, 6.5%, 6.5%, 6.5%를 나타내었다. 60 mmHg의 압력에서는 온도 및 시간변화에 대

한 함수율 변화는 적은 것으로 실험결과 나타났다.

4. 결 론

하수처리시 하수처리장에서 발생하는 슬러지의 감량화를 위하여 감압건조법으로 하수슬러지의 탈수를 반응압력, 반응시간, 반응온도를 변화시키면서 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 반응압력이 감소될수록 슬러지의 함수율이 낮아지는 경향을 나타내었으며 특히 360 mmHg에서 진공에 근접한 60 mmHg 일때 짧은 반응시간과 낮은 반응온도에서 10% 이하의 낮은 함수율을 얻을 수 있었다.
- 2) 동일한 반응압력과 반응시간에서 반응온도가 120°C 이상에서 부터 짧은 반응시간에서 급격히 함수율이 감소하는 경향을 나타내었다.

하수슬러지를 감압건조법으로 처리한 후 최종 처분시(소각, 매립, 사료화 등) 함수율의 감소는 부피의 감소를 나타내므로 처리비용의 절감이 기대되며, 향후 하수슬러지 외에 유기성폐기물의 적정처리 및 재이용을 위해서 감압건조법에 대한 지속적인 연구가 되어져야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

김수생 (1993), "하수슬러지의 적정처리", 월간 폐기물, 8월호 pp.82-90.
 김익성 외 2인 (1991), "해산폐기물을 이용한 슬러지의 탈수", 한국폐기물학회지, 제8권, 2호, pp.87-91.
 류지영 (1993), "국내하수처리시설 현황과 향후

추진방향”, 첨단환경기술 8월호 pp.58-62.
 보건사회부(1994), “식품공전”.
 이호태 외 3인(1994a), “하폐수 슬러지의 처리
 및 이용기술 현황”, Energy R&D 제16권, 4
 호, pp.59-76.
 이호태 외 2인(1994b), “하폐수슬러지의 에너
 지 자원화 기술 개발 동향” 한국폐기물학회
 지, 제11권, 4호, pp.670-679.
 최의소의 2인(1995), “하수슬러지의 농경지 이
 용”, 첨단환경기술, 8월호 pp.28.
 환경부(1996), “환경백서”, pp.261-274.
 APHA, APHA, AWWA, WPCF. (1990),
 “Standard Methods for the Examination
 of Water and Waste Water”, 17th. ed.

USA.
 Ministry of Environment R.O.K. (1994),
 Korea Environmental Yearbook, p.499.
 小谷明司(1987), “減壓フライ乾燥法の現状と
 今後(上)”, 油脂, 제40권, 11호, pp.82-88.
 小谷明司(1987), “減壓フライ乾燥法の現状と
 今後(下)”, 油脂, 제40권, 12호, pp.71-81.
 小谷明司(1987), “減壓フライ法による乾燥
 食品の製造”, フードケミカル, pp.72-78.
 中園修三, “汚泥から蛋白料, 窒素肥料を製造
 する方法”, 特許公報, 昭56-52544.
 中園修三, “油溫脫水裝置”, 公開特許公報, 平
 1-252243