

슬러지의 탈수 특성에 대한 마이크로파와 약품개량의 영향

박상숙* · 강화영[†] · 왕승호**

*순천대학교 토목환경공학부 · 한영대학 보건환경과 · **오남환경산업(주)

(2005년 3월 15일 접수, 2005년 7월 15일 채택)

Effect of Microwave Irradiation and Chemical Conditioning for Dewatering Characteristics of Sludge

Sang-Sook Park* · Hwa-Young Kang[†] · Seung-Ho Wang**

*Division of Civil and Environmental Engineering, Suncheon National University

Department of Health and Environmental, Hanyeong Technical College · **Onam Environmental Industry Corporation

ABSTRACT : The purpose of this study is the presentation of the proper microwave treatment conditions by means of the investigation of the effect of microwave irradiation on the dewaterability and dryability of sludge. For the improving of dewatering efficiency of sludge using the microwave, the proper time of microwave irradiation is very important. The dewatering efficiency of thickening sludge conditioned by microwave irradiation for proper time was considerably improved with reducing of capillary suction time from 52.3 sec to 30.8 sec, and the sludge conditioned by microwave irradiation had contained the moisture of 81.4% after that pressure filtration. The result of drying characteristics of dewatered sludge using the microwave irradiation and furnace heating, for drying of sludge to moisture of below 55%, microwave irradiation time was required 3 min, whereas, furnace heating was required 40 min at 105°C, 20 min at 170°C and 9 min at 300°C, respectively. We certified that the drying of dewatered sludge using the microwave irradiation was effectively reduction of moisture of sludge compare to traditional heating method.

Key Words : Microwave, Sludge, Dewatering, Conditioning, Drying, Capillary Suction Time

요약 : 본 연구는 슬러지의 효율적인 처리를 위하여 슬러지의 탈수 및 건조 효율에 미치는 마이크로파의 영향을 실험하여 마이크로파의 적정 처리 조건을 제시하는데 목적이 있다. 마이크로파를 이용하여 슬러지의 탈수 효율을 향상시키기 위해서는 슬러지 부피에 따른 적정 마이크로파의 조사시간의 결정이 매우 중요하며, 적정 시간 동안 마이크로파 처리된 농축슬러지의 경우 모세흡입시간이 52.3초에서 30.8초로 저감되어 탈수성이 상당히 향상되었고, 마이크로파에 의해 개량된 농축슬러지의 압력여과 후 함수율은 81.4%로 나타났다. 또한 마이크로파와 전기로의 탈수슬러지 건조 특성을 평가한 결과, 슬러지의 함수율을 55% 이하로 건조시키는 데 마이크로파 가열 방식은 3분이 소요된 반면, 전기로를 이용하여 105°C에서 건조한 경우에는 40분이 소요되었고, 170°C에서 건조한 경우는 20분이 소요되었으며, 300°C에서 건조한 경우는 9분이 소요되었다. 따라서 마이크로파를 이용하여 슬러지를 건조할 경우, 기존 가열 방식보다 훨씬 효율적으로 슬러지에서 수분을 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

주제어 : 마이크로파, 슬러지, 탈수, 개량, 건조, 모세흡입시간

1. 서론

최근 하·폐수처리 및 방류기준이 강화되고, 처리공법이 고도화됨에 따라 폐슬러지 발생량은 지속적으로 증가할 것이다. 그리고 이러한 폐슬러지에는 미생물을 포함한 다량의 유기물이 함유되어 있으므로 그대로 방치할 경우 쉽게 부패되어 악취를 발생시키며, 매립시 침출수에 의하여 주변 토양과 하천 및 지하수를 오염시키는 등 2차 환경오염을 일으킬 가능성이 크다.

이러한 문제점의 대두로 인해 향후 폐슬러지 관리의 정

책방향은 재활용 및 소각처리 방향으로 유도되고 있는 실정이다. 즉 폐슬러지를 소각처리 할 경우 폐슬러지의 부피를 크게 줄일 수 있어 매립지의 수명연장에 기여할 뿐만 아니라 지표수나 지하수 오염을 줄일 수 있고 소각 잔사를 건설자재로 활용함으로써 부수적인 자원화의 효과도 얻을 수 있다.¹⁾ 그러나 이와 같이 폐슬러지의 소각 처리가 다양한 장점을 가지고 있으면서도 국내에서는 아직 소각처리 방식을 적극적으로 도입 또는 활용하지 못하고 있는데, 그 이유는 주로 운전상의 문제와 더불어 낮은 슬러지의 탈수효율로 인하여 소각시 보조연료 소비량이 과대하게 되어 매립에 비해 소각 처리비용이 많이 소요되기 때문이다. 이러한 소각 처리방식이 경제성을 가지기 위해서는 슬러지의 탈수성을 개선함으로써 슬러지의 부피를 감량화하여 운반비를 줄이고 보조연료의 사용량을 감소시키는 것이 중요하다.

† Corresponding author
E-mail: khy9792@hanmail.net
Tel: 061-650-4038

Fax: 061-650-4020

슬러지의 탈수성을 개선하기 위한 슬러지 개량방법으로는 약품 주입, 슬러지 세척, 열처리, 회분 주입 등이 있는데 현재에는 약품주입 법이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 화학적 개량제 투여는 슬러지 입자 표면의 전기적인 부하를 중화시켜 분산상태의 입자를 영키게 함으로서 탈수를 촉진하는데 탈수 효율에는 약품과 슬러지의 접촉시간 뿐만 아니라 혼합정도에 따라서도 그 효과가 상이한 것으로 알려져 있다.²⁾ 주로 사용되고 있는 화학적 개량제로는 무기약품 계인 FeCl₃, FeCl₂, FeSO₄ 등이 있으며, 유기약품 계로는 고분자 물질인 유기폴리머가 이용되고 있다.³⁾ 화학약품 주입이 아닌 물리적인 개량제 투여방법에 사용되는 물질로는 fly ash와 같은 불활성 물질이 이용되기도 한다.⁴⁾ Porteous에 의하여 개발된 열처리 방법은 고온, 고압으로 처리하여 슬러지의 탈수성을 증대시키는 방법으로 다양한 장점을 가지고 있으나 초기설치비가 고가인 단점을 가지고 있으며,⁵⁾ 동결-용해법은 슬러지 전처리 공정으로 탈수효율을 높일 수 있으나⁶⁾ 에너지 소요가 커서 아직 실제에는 적용되지 못하고 있다. 그 밖에 혐기성 슬러지의 알칼리도를 세척하여 슬러지의 탈수성을 증가시키는 방법도 이용되고 있으며,⁷⁾ 전기적인 개량으로 슬러지의 탈수성을 효과적으로 증대시킨 방법이 보고되고 있으나 역시 실제규모의 처리시설은 없는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 초음파를 이용한 슬러지 개량의 경우 초음파가 입자간의 정전기적인 전위를 변위시키므로서 탈수 성능이 향상되어지나,⁹⁾ 동시에 형성된 플럭을 다시 부수는 문제점을 내포하고 있으며, 방사선을 투과하는 경우에는 슬러지가 소독이 되며 또한 슬러지 내의 PCB나 살충제가 해독되고 슬러지의 탈수성이 증대되는 것으로 알려지고 있다.¹⁰⁾

최근에는 슬러지의 탈수 및 건조특성 향상을 위해 2,450 MHz의 마이크로파를 이용한 가열방식이 시도되기도 하였다.¹¹⁻¹³⁾ 마이크로파에 의한 가열은 전파에너지가 유전체의 내부에서 열로 전환되는 원리를 이용하는 것으로 종래의 가열방식이 물질의 표면을 가열하는 표면가열 방식인데 비하여 가열시간이 짧고 온도분포가 균일하며, 대상물질만 가열하므로 열효율이 높은 장점이 있다. 특히 에너지 손실이 거의 없으므로 가열시간을 단축할 수 있으며 가열의 균일성을 높일 수 있고 세포내의 분자 자체 진동에 의해 외부수 뿐만 아니라 세포 내부수 파괴를 가져와 높은 탈수능을 보이는 것으로 알려지고 있다.¹¹⁾ 따라서 본 연구는 슬러지의 효율적인 처리를 위하여 슬러지의 탈수 및 건조 효율에 미치는 마이크로파의 영향을 실험하여 마이크로파의 적정 처리 조건을 제시하는데 목적이 있으며, 또한 약품 개량을 통한 비교실험을 통해 슬러지의 탈수성 향상에 대한 마이크로파의 효율을 비교 평가하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험재료

마이크로파의 슬러지 탈수성 증진 및 건조특성을 평가하

Table 1. Analysis of thickened, digested and dewatered sludge collected from sewage treatment plant

| Items | Moisture (%) | TS(%) | VS(%) | FS(%) |
|------------------|--------------|-------|-------|-------|
| Thickened Sludge | 98.1 | 1.9 | 69.3 | 30.7 |
| Digested Sludge | 97.2 | 2.8 | 57.2 | 42.8 |
| Dewatered Sludge | 77.8 | 22.2 | 55.0 | 45.0 |

Table 2. Trace element and heavy metal contents of dewatered sludge and quality standard(QS) for Korean by-product compost

| Metal (mg/kg) | As | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb |
|---------------|------|-----|-------|-------|-----|-------|
| Sludge | 2.1 | 3.1 | 34.6 | 108.0 | N.D | 42.0 |
| QS | 50.0 | 5.0 | 300.0 | 500.0 | 2.0 | 150.0 |

(N.D : Non detected)

기 위하여 본 연구에서는 S시 하수처리장 농축슬러지 및 탈수슬러지를 채취하여 실험하였다. 농축슬러지 및 탈수슬러지의 시료채취는 수시로 하였으며, 농축슬러지의 경우 시료의 부패를 방지하기 위하여 채취한 시료를 냉장 보관하여 사용하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 슬러지의 특성에 대한 분석 결과를 보여주고 있으며, Table 2는 EPA Methods 3050에 의한 슬러지에 함유된 중금속과 미량원소 함량에 대한 분석 결과를 보여주고 있는 것으로, 모든 원소 함량은 농립부가 규정한 부산물비료의 허용 규제치를 만족하고 있다.

2.2. 실험장치

현재 국제적으로 이용되고 있는 ISM(Industrial Scientific Medical) 주파대는 공업용, 과학용 및 의학용으로 사용되는 것으로 915±25 MHz, 2,450±50 MHz와 22,155±125 MHz의 주파수를 배정하여 사용하고 있다. 이 중에서 915±25 MHz와 2,450±50 MHz의 주파수가 주로 산업용으로 많이 이용되고 있으며, 가열에 사용되는 주파수는 13.56 MHz, 27.12 MHz, 433.9 MHz, 2,450 MHz를 사용하고 있다.¹¹⁾ 따라서 슬러지 탈수성 증진을 위한 슬러지 개량과 탈수슬러지의 건조특성

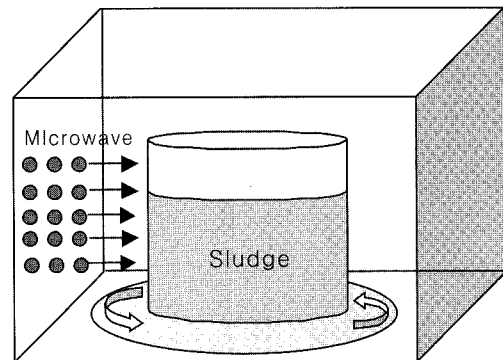


Fig. 1. Microwave oven operated at a frequency of 2,450 MHz with a power output of 700 W for sludge conditioning and drying.

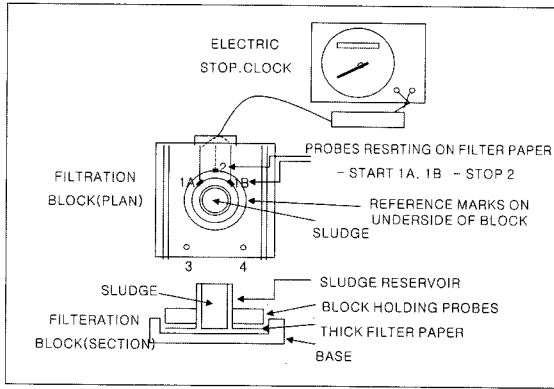


Fig. 2. CST(Capillary Suction Time) apparatus.

에 대한 마이크로파의 효과를 실험하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 주파수 2,450 MHz, 최대 출력 700 W 인 L사의 microwave oven을 사용하였다.

슬러지의 탈수성 향상을 위한 마이크로파 처리 및 화학약품 처리된 슬러지의 탈수 특성을 평가하기 위하여 모세 흡입시간(CST)를 측정하였다. CST 측정은 Fig. 2와 같이 아크릴수지로 장치를 제작하여 사용하였으며, 내경 1.5 cm의 관에 20 mL의 시료를 넣고 CST 측정 장치에 설치한 자동타이머를 이용하여 수분의 제1감지기 통과시간부터 제2감지기에 도달시간까지를 측정하였다. 여지는 Whatman No. 17의 CG paper를 사용하였으며, 제1감지기와 제2감지기 사이의 길이는 1.0 cm로 하였다. CST는 슬러지 시료에 물이 흡착되어있는 특성에 따라서 측정되는 시간이 다르게 나타난다. 즉 탈수성이 불량한 시료의 경우 CST는 높게 나타나고, 탈수성이 양호한 시료의 경우는 낮게 나타난다. 이 장치는 측정시간이 짧고 재현성이 좋으며, 실험방법이 간편하다는 장점을 가지며, 특히 슬러지 개량제의 선택과 적정 농도를 결정하는데 매우 유용한 방법이다.

2.3. 슬러지 개량 및 건조

슬러지 탈수특성에 대한 마이크로파의 영향을 평가하기 위하여 500 mL의 비이커에 200 mL의 농축슬러지를 채운 다음, 마이크로파 조사시간 변화에 따른 CST를 측정하여 적정 마이크로파 조사시간을 결정하였다. 또한 시판응집제 (FeCl₃ · 6H₂O와 Al₂(SO₄)₃ · 14~18 H₂O)를 이용하여 35%-FeCl₃ · 6H₂O와 35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 H₂O를 제조한 후 각 응집제 주입량과 pH를 변화시켜 응집실험 후 CST를 측정하였다. 그리고 이들 CST 값의 비교를 통해 슬러지의 탈수성 증진을 위한 마이크로파의 효용성을 평가하였다.

마이크로파의 슬러지 건조특성을 평가하기 위하여 석영제 도가니에 50 g의 탈수슬러지를 취하여 마이크로파 조사시간 변화에 따른 슬러지의 함수율 변화를 실험하였다. 또한 1,050 °C까지 승온 가능한 Muffle furnace(주, 제이오텍)를 이용하여 수분이 증발되는 온도인 105 °C와 건조시 건조기 내벽에 슬러지가 부착이 되지 않는 온도인 170 °C 그리고 Rotary dryer의 운전온도인 300 °C에서 같은 실험을 수행하여 함수율 변화를 조사하였다.¹⁴⁾

2.4. 분석방법

수분, 휘발분, 회분, 고형분은 폐기물공정시험법¹⁴⁾을 이용하여 실험하였으며, 마이크로파 및 약품처리된 슬러지의 CST는 Fig. 2에서 보여주는 CST 측정장치를 이용하였다. 그리고 마이크로파 및 약품 처리된 슬러지의 탈수 후 함수율은 Whatman Cat No. 1001의 여지를 이용하여 500~600 mmHg에서 Buchner Funnel로 압력여과한 후 슬러지 कै의 함수율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 마이크로파 처리에 의한 CST

슬러지 탈수특성에 대한 마이크로파의 영향을 평가하기 위하여 마이크로파 조사시간 변화에 따른 CST와 온도 변화를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타냈다.

Fig. 3에서 보는 것과 같이 마이크로파를 180초 동안 조사하였을 경우 CST 값이 30.8초로 탈수 효율이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 마이크로파 조사시간을 240초 이상으로 할 경우는 CST 값이 마이크로파 처리를 전혀 하지 않은 농축슬러지 자체의 CST 값 52.3초 보다 증가되는 것으로 나타났다. 그리고 온도는 마이크로파 적용시간에 비례하여 증가하였으며, 적용시간 90초에서 거의 물의 끓는 온도인 96 °C까지 상승한 후 이 온도를 지속적으로 유지하였다.

마이크로파를 이용하여 농축슬러지를 개량할 경우 조사시간 180초에서 탈수 효율이 향상된 것은, 조사된 마이크로파가 슬러지에 함유된 미생물의 세포막을 파괴하여 내부수가 침출하였기 때문으로 판단된다. 그러나 마이크로파의 적용 시간을 지나치게 연장할 경우 조사된 마이크로파가 슬러지의 세포막을 밀립화시켜 이들 미세 입자가 CST 실험장치 여재의 공극을 막아 탈수력을 저하시킴으로서 오히려 탈수 효율이 악화된 것으로 판단된다. 이와 유사한 결과를 지¹¹⁾의 연구 결과에서도 볼 수 있었는데, 그는 광학현미경 관찰을 통해 슬러지에 마이크로파를 지나치게 조사할 경우 슬러지에 함유된 미생물 세포가 미세하게 파괴되었음을 확인하였다.

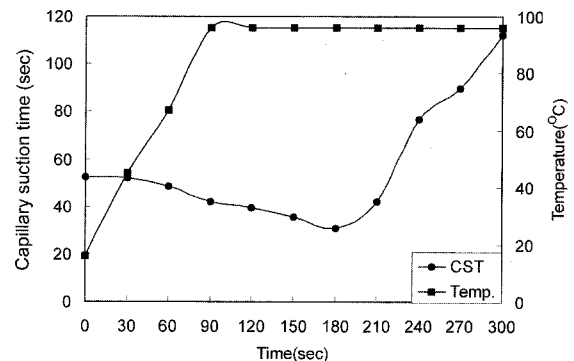


Fig. 3. Change of capillary suction time and temperature by microwave radiation.

따라서 슬러지의 탈수성 향상을 위한 개량방법으로 마이크로파를 적용할 경우, 슬러지 부피에 따른 적정 마이크로파 조사시간의 결정이 매우 중요하며, 적정 시간 동안 마이크로파로 처리된 슬러지의 경우 탈수성이 상당히 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 약품개량 대신 마이크로파를 이용하여 슬러지를 개량할 경우 슬러지 발생량을 줄일 수 있을 것이다. 또한 Table 2에서 확인했듯이 슬러지의 중금속과 미량원소 함량이 농립부가 규정한 부산물비료의 허용 규제치를 만족하고 있을 뿐만 아니라 유·무기성 약품이 함유되지 않아 토양개량제 등으로 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 즉 현재 슬러지의 탈수효율 증진을 위해 많이 사용되는 유기폴리머의 경우 국내에서는 인체에 미치는 해를 우려해 수처리에는 사용하지 않고 슬러지에만 사용하고 있는데¹⁵⁾ 이러한 약품이 슬러지에 함유되지 않음으로써 슬러지의 토양이용성을 더욱 높여 줄 수 있을 것이다.

3.2. 약품응집에 의한 CST

슬러지의 탈수에 영향을 주는 인자들로써 슬러지의 pH, 고형물 농도, 유기물 함량, 셀룰로오스 함량, 입자 크기와 분포, 폴리머, 결합수 등을 들 수 있다.¹⁶⁾ Fig. 4는 약품개량시 슬러지 탈수성에 대한 pH의 영향을 조사하기 위하여 35%-FeCl₃ · 6H₂O와 35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 · H₂O를 각각 농축슬러지 500 mL에 2 mL와 1 mL의 비율로 주입하였다. 그런 다음 pH를 pH 2-10의 범위로 조정하여 200 rpm으로 1 min간 급속교반 한 후, 50 rpm으로 10 min간 완속교반하여 CST를 측정하였다.

Fig. 4에서 보여주는 것과 같이 산성과 알칼리성 영역보다는 pH 5-8의 중성부근에서 비교적 CST 값이 적게 나타나 탈수특성을 개선하는데 효과적임을 알 수 있었으며, 특히 pH 6에서 CST 값은 철염을 사용할 경우 22.6초, 그리고 Alum을 사용할 경우는 30.8초로 가장 낮게 나타났다. 구 등¹⁷⁾은 양호한 응집체를 이루고 있던 초기 pH 6에서 pH의 감소 또는 증가에 따라 0이던 Zeta-potential이 ⊕, ⊖ 방향으로 증가됨에 따라, 그에 따른 플러 파피와 입자의 분산으로 입경 감소와 비표면적 증가가 이루어져 표면수가 증가되는 경향을 나타내며, 이러한 현상들은 비저항을 증가시켜 탈수성이 악화되는 결과를 초래한다고 발표하였다.

철염과 Alum을 이용한 슬러지의 약품개량시 적정 pH로 밝혀진 pH 6에서 응집제 주입량 변화에 따른 CST 값의 변화를 Fig. 5에 나타냈다. 실험결과 농축슬러지 L당 35%-FeCl₃ · 6H₂O 6 mL와 8 mL를 주입하였을 경우 CST 값이 각각 20.3초와 20.1초를, 그리고 35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 · H₂O 1.2 mL를 주입하였을 경우 CST 값이 18.1초로 가장 낮게 나타나 탈수특성이 향상되었음을 확인할 수 있었으며, 이 값은 슬러지를 마이크로파 처리하여 개량한 경우보다 낮은 값을 나타냈다.

Fig. 5에서 응집제 주입량이 증가함에 따라 CST 값이 감소하다가, 응집제가 적정 주입량 이상으로 주입되면 CST 값이 다시 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이것은 불안정

화 된 입자가 다시 안정화되기 때문으로 판단된다. 입자의 표면성질을 살펴보면, 응집제 투입량이 증가하면 +charge 농도가 상대적으로 증가하여 입자표면의 -charge 농도와 같게 되므로 표면이 중화되어 입자간 인력의 힘이 발생되어 응집이 일어나기 시작한다. 그러나 투입량이 임계 제타포텐셜 영역을 벗어나게 되면, 표면의 charge는 +쪽으로 이동하게 되므로 다시 입자간 반발력이 생겨 응집효율이 떨어지게 된다.¹⁸⁾ 따라서 적정 주입량 이상으로 응집제가 주입될 경우 응집효율의 감소로 CST 값이 증가한 것으로 판단된다.

3.3. 마이크로파와 약품응집에 의한 CST

Fig. 6은 앞에서 제시한 마이크로파와 철염 및 Alum의 적정 슬러지 개량 조건에서 두 방법을 혼합 사용하였을 경우 CST 값의 변화를 보여주고 있다. 실험 결과 마이크로파와 철염(35%-FeCl₃ · 6H₂O) 및 마이크로파와 Alum(35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 · H₂O)을 혼합 적용하여 농축슬러지를 개량한 경우의 CST 값은 마이크로파 단독처리 방법으로 슬러지를 개량한 경우와는 큰 차이가 없었으며, 철염 및 Alum 단독으로 약품개량한 슬러지 보다는 오히려 CST 값이 높아져 슬러지의 탈수특성이 악화되었음을 알 수 있었다.

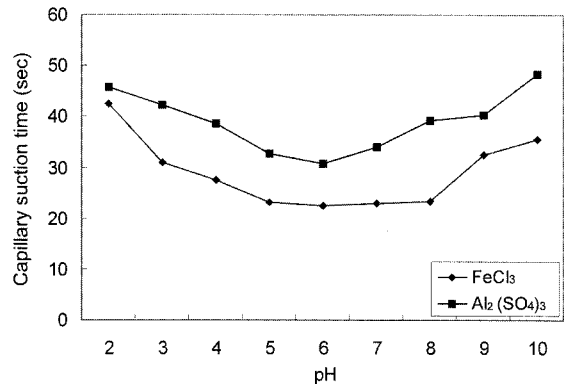


Fig. 4. Capillary suction time of sludge as a function of pH for chemical conditioning with 35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 H₂O and 35%-FeCl₃ · 6H₂O.

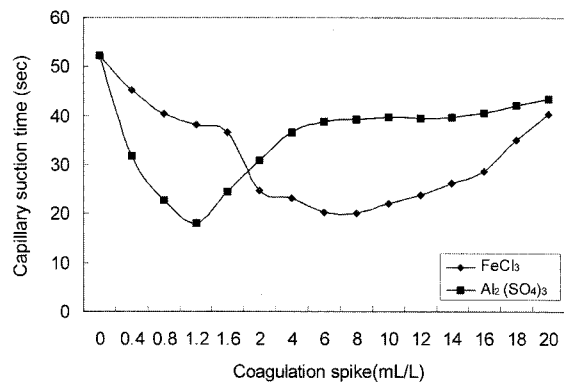


Fig. 5. Capillary suction time of sludge as a function of spiked chemical mass for chemical conditioning with 35%-FeCl₃ · 6H₂O and 35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 H₂O at pH 6.

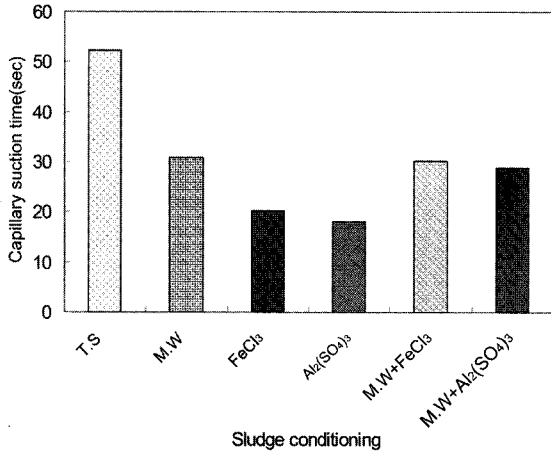


Fig. 6. Capillary suction time of sludge conditioned by various conditioning methods(T.S: Thickening sludge, M.W: Microwave).

즉 농축슬러지를 전혀 개량처리하지 않은 슬러지의 CST는 52.3초였고, 마이크로파와 철염 및 Alum을 이용하여 단독으로 개량하였을 경우 개량된 농축슬러지의 CST는 각각 30.8초와 20.3초 및 18.1초였다. 그런데 농축슬러지를 마이크로파 처리와 철염을 이용한 약품개량을 동시에 한 경우의 CST는 30.2초였고, 마이크로파 처리와 Alum을 이용한 약품개량을 동시에 한 경우의 CST는 28.8초로 측정되어 탈수특성이 개선되지 않았다. 이러한 결과는 마이크로파와 약품개량을 동시에 적용할 경우 응집약품에 의해 응집된 슬러지 플러를 마이크로파가 오히려 해체하는 결과를 가져오며, 또한 마이크로파 처리를 선행할 경우에도 마이크로파가 슬러지를 파괴하여 응집을 방해하기 때문으로 판단된다. 따라서 개량효과와 처리공정의 단순화를 고려할 때 슬러지를 개량하는 방법으로는 마이크로파 또는 약품처리 중 한 가지 방법을 단독으로 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3.4. 개량된 슬러지의 압력여과 후 함수율

적정 슬러지 개량 조건에서 농축슬러지를 개량한 후 압력여과 한 다음 탈수슬러지의 함수율을 측정하여 슬러지 개량 방법에 따른 탈수효율을 Fig. 7에 나타냈다. 실험결과 함수율이 98.1%인 농축슬러지를 개량처리하지 않고 압력여과 할 경우 슬러지의 함수율은 84.2%였으며, 마이크로파를 이용하여 개량한 후 압력여과 한 슬러지의 함수율은 81.4%로 나타났다. 따라서 농축슬러지를 마이크로파 처리할 경우 상당한 슬러지 개량효과가 있음을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 그리고 철염과 Alum을 이용하여 약품개량 한 농축슬러지의 압력여과 후 함수율은 각각 78.0%와 77.9%로 나타났으며, 마이크로파 처리와 약품개량을 동시에 적용한 농축슬러지의 압력여과 후 함수율은 78.8%로 조사되어 마이크로파 처리보다는 개량효과가 크다는 것을 알 수 있었다. 그러나 약품개량과 마이크로파 처리를 동시에 적용한 슬러지의 경우, 약품응집제 단독 처리한 것보다 함수율이 다소

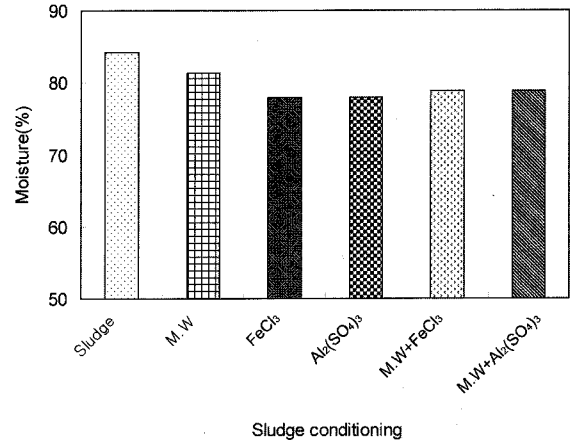


Fig. 7. Dewatering efficient of sludge conditioned by various conditioning methods(M.W: Microwave).

높게 나타나 탈수효율이 저하되었음을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 3.3절의 CST 측정 결과와도 어느 정도 일치하고 있다.

따라서 슬러지 탈수효율 증진을 위한 슬러지 개량 방법으로는 약품개량 또는 마이크로파 처리 중 단일 방법을 이용하는 것이 타당할 것이라는 앞의 실험 결과를 다시 한번 확인할 수 있었다. 이때 슬러지를 약품개량 할 경우 마이크로파 처리할 경우 보다 탈수효율이 다소 높다는 장점이 있으나 약품 첨가에 따른 탈수슬러지의 증가와 탈수슬러지 재이용시 슬러지에 함유된 응집약품으로 인한 제약받을 수 있다는 단점을 가지고 있다. 반면에 슬러지를 마이크로파를 이용하여 개량할 경우 약품개량과 비교해 슬러지 탈수효율이 다소 감소되는 단점이 있으나 슬러지 재이용시 유·무기성 응집 약품이 함유되어 있지 않아 슬러지의 재이용성을 높일 수 있는 장점이 있다.

3.5. 마이크로파의 슬러지 건조특성

효율적인 소각을 위한 전처리 공정으로서 마이크로파의 슬러지 건조 특성을 파악하기 위하여 함수율이 77.8%인 탈수슬러지를 이용하여 마이크로파 조사시간 변화에 따른 함수율의 변화를 살펴보았다. 또한 마이크로파의 슬러지 건조 효율을 비교하기 위하여 수분이 증발되는 온도인 105℃, 건조시 건조기 내벽에 슬러지가 부착 되지 않는 온도인 170℃ 그리고 Rotary dryer의 운전온도인 300℃에서 Furnace를 이용하여 비교실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 목표 함수율은 슬러지를 유동층 소각로를 이용하여 소각시 보조연료가 불필요한 것으로 알려진 55% 이하¹²⁾를 목표로 하였다.

실험 결과 마이크로파를 이용하여 건조한 경우 조사시간 2분에서 함수율이 56.1% 그리고 3분에서는 48.6%로 나타나 목표 함수율에 3분만에 도달하였으며, 이때 함수율은 50% 이하까지 건조됨을 알 수 있었다. 반면에 전기로를 이용하여 105℃에서 건조한 경우 목표 함수율에 도달하는데 40분이 소요되었으며, 이때 함수율은 52.3%였고, 170℃에

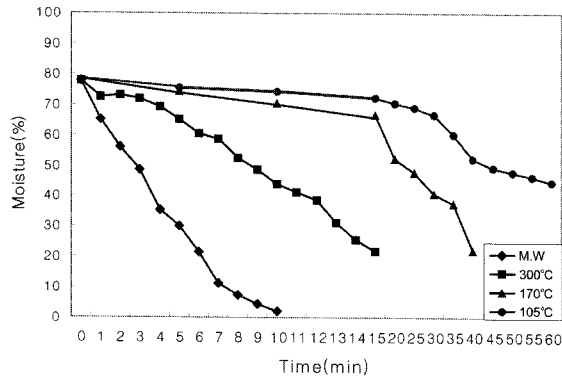


Fig. 8. Moisture content of sludge as a function of drying time for different drying method.

서 건조한 경우는 목표 함수율에 도달하는데 20분이 소요되었으며, 이때 함수율은 52.2%였다. 그리고 300°C에서 건조한 경우는 목표 함수율에 도달하는데 9분이 소요되었으며, 이때 함수율은 52.4%였다. 따라서 슬러지를 소각하기에 앞서 건조할 경우 마이크로파를 이용하는 것이 전기로를 이용한 가열방식보다 훨씬 효율적으로 슬러지에서 수분을 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

폐슬러지 발생량을 줄이고 발생된 폐슬러지를 효율적으로 처리하기 위한 기술 개발의 일환으로 슬러지의 탈수 및 건조 효율에 미치는 마이크로파의 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CST 값이 52.3초인 200 mL의 농축슬러지에 마이크로파를 180초 조사하여 슬러지를 개량할 경우 CST 값은 30.8초로 저감되어 슬러지의 탈수성이 상당히 향상되었으며, 이렇게 개량한 농축슬러지의 압력여과 후 함수율은 81.4%로 나타났다. 따라서 마이크로파는 슬러지의 탈수성 향상을 위한 효과적인 개량 방법이 될 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) 철염과 Alum을 이용한 약품개량시 슬러지 탈수성에 대한 pH의 영향을 조사한 결과 pH 6에서 CST 값이 가장 낮게 나타났다. 또한 pH 6에서 농축슬러지 L당 35%-FeCl₃ · 6H₂O 6 mL와 35%-Al₂(SO₄)₃ · 14~18 H₂O 1.2 mL를 투입하였을 경우 CST 값이 각각 20.3초와 18.1초로 낮게 나타나 탈수특성이 향상되었음을 확인할 수 있었다.
- 3) 마이크로파와 약품 응집제를 동시에 적용하여 슬러지를 개량할 경우 약품에 의해 응집된 슬러지 플럭을 마이크로파가 오히려 해체하는 결과를 가져와 약품처리 단독으로 개량한 슬러지 보다 오히려 CST 값이 높아져 슬러지의 탈수특성이 악화됨을 알 수 있었다.
- 4) 마이크로파의 슬러지 건조 특성을 조사한 결과, 슬러지 함수율을 55% 이하로 건조시키는데 마이크로파 가열 방식은 전기로를 이용한 기존 가열 방식보다 훨씬 효율적으로 슬러지에서 수분을 제거할 수 있었다.

사 사

본 연구는 2004년도 순천대학교 산·학·연 컨소시엄사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Owen, M. B., Sewage Solids Combustion, Water and Sew. Work, pp. 107(1960).
2. USEPA, Evaluation of Dewatering Devices for Producing High Sludge Solid Cake, Office of Research and Development, Cincinnati, OH(1979).
3. Englands, A. J., "Sludge Conditioning" in Sludge Treatment Edited by Eckenfelder, J. W. Jr., Marcel Dekker, Inc.(1981).
4. EPA, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA 625/1-79-011(1979).
5. Ruggenthaler, P. T., "Full scale experience with sludge treatment at the Vienna Sewage Works," *Water Sci. Technol.*, **21**, 1447(1989).
6. Muller, J. A., "Prospects and problems of sludge pretreatment process," *Water Sci. Technol.*, **44**(10), 121~128(2001).
7. WPCF, Sludge Dewatering, Mop 20, Washington, DC. (1969).
8. Slagk, E. A. and Roberts, L. M., "Treatment of sewage and sewage sludge by electrodialysis," *Sewage Works J.*, **14**, 1021(1942).
9. Bien, J. B., Kempa, E. S., and Bien, J. D., "Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process," *Water Sci. Technol.*, **36**(4), 287~291(1997).
10. 최의소, 폐기물처리의 자원화, 청문각(1990).
11. 지향만, Microwave 적용에 따른 슬러지의 탈수 및 건조특성 변화, 아주대학교 석사학위논문(2000).
12. 박진, 마이크로파 가열에 따른 슬러지 탈수특성에 관한 연구, 순천대학교 석사학위논문(2002).
13. Veschetti, E., Maresca, D., Santarsiero, A., and Ottaviani, M., "Sewage sludge microwave digestion procedure optimized by temperature and pressure analysis," *Microchem. J.*, **59**, 246~257(1998).
14. 동화기술편찬위원회, 수질오염, 폐기물, 토양오염공정시험방법, 동화기술(2003).
15. 김승현, 문성용, "정수장 슬러지의 농축 및 탈수특성 향상에 관한 연구," *대한환경공학회지*, **19**(5), 643~650(1997).
16. Hashimoto, M. and Hiroka, M., "Characteristics of sewage sludge affecting dewatering by belt press filter," *Water Sci. Technol.*, **22**(12), 143~152(1990).

17. 구윤희 외 4인, “상수슬러지의 수분분포와 탈수성에 대한 영향인자,” *대한환경공학회지*, **20**(12), 1811~1822 (1998).
18. Pignatello, J. J., “Dark and photoassisted Fe^{3+} catalyzed degradation of chlorophenoxy hydrogen peroxide,” *Environ. Sci. Technol.*, **26**(5), 944~951(1992).