

동전기를 이용한 슬러지 탈수에 관한 연구

Dewatering of Sewage Sludge by Electrokinetics

김지태* · 원세연** · 조원철***

Kim, Ji Tae · Won, Se Yeon · Cho, Won Cheol

Abstract

In this study, an experiment of sewage sludge dewatering is carried by using electrokinetic method, and the electrokinetic dewatering efficiency of digested sludge is analyzed. Digested sludge without coagulants is selected and gravitational and pressing dewatering methods are applied in combination with electro-osmotic and electro-osmotic pulse technology. After the test of digested sludge, dewatering test of thickened sludge is carried to evaluate the electrokinetic dewatering feasibility of thickened sludge. Under the condition of constantly applied voltage, however, electrical resistance increases with decreasing of water content so that dewatering rate decreases with time. To reduce such a hindrance caused by constantly applied voltage, electro-osmotic pulse technology which is considered to reduce the difference of water content with height, is applied. For the application of electro-osmotic pulse, the dewatered flow rate and the dewatered volume became more increasing from the middle of the dewatering process than that of continuous voltage. Through the test of thickened sludge, electro-osmotic dewatering combined with gravitational and expression also showed high dewatering rate, which proved the possibility of using electrokinetic dewatering.

Keywords : *sludge dewatering, electroosmotic pulse, water content*

요 지

본 연구에서는 동전기를 이용한 하수 슬러지 탈수 실험을 실시하였다. 소화 과정을 거치고 탈수과정에 투입되기 전 응집제가 첨가되지 않은 슬러지에 중력 및 가압, 전기삼투 및 전기삼투펄스 기법을 적용하여 탈수 효율을 분석하였으며, 소화 과정을 거치지 않고 농축조에서 배출된 슬러지에 대하여도 동일한 방법으로 탈수 실험을 실시하여 농축 슬러지의 탈수율을 평가하였다. 압력을 가하지 않은 중력 탈수 방식에 직류전기장을 적용한 경우 적용 전압에 비례하여 탈수율이 증가하여 전기삼투에 의한 슬러지 탈수의 가능성이 입증되었다. 그러나, 짧은 시간에 높은 탈수율을 얻기 위해서는 고전압이 필요한 문제점이 대두되었다. 이를 보완하기 위하여 슬러지 내에서 높이에 따른 함수비 변화폭을 줄여줄 것으로 기대되는 펄스 기법을 도입한 결과 실험 중반부터 배출량 및 부피감소량이 정전압에 비해 증가하는 특성을 보여 슬러지 내 함수비가 감소하면서 그 효과가 나타나는 것으로 해석된다. 농축 슬러지에 대한 중력식 및 압력식 전기삼투 탈수 기법도 소화 슬러지와 마찬가지로 높은 탈수율을 나타내어 동전기에 의한 탈수 가능성이 입증되었으며, 소화조 운영 목적 중 화학적인 부분들이 전기삼투에 의한 탈수에 의해 어느 정도 보완될 수 있는지가 평가된다면 슬러지 처리 공정 및 비용을 단축시킬 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 슬러지 탈수, 전기삼투 펄스, 함수비

1. 서 론

오폐수를 처리하는 과정에서 침전의 과정을 거친 후에 슬러지가 남게 되는데, 이러한 슬러지는 최종적으로 매립 또는 소각, 해양에 투기하는 방법을 취하고 있다. 현재 하수처리장에서 탈수 후 매립지에 직매립하는 것은 금지되어 있기 때문에 계속해서 늘어가는 방대한 양의 슬러지 처리에 대한 연구가 요구되고 있다. 전체 하수처리비용의 50%에 달하는 슬러지의 처리비용을 절감하기 위해서는 낮은 함수율의 탈

수 슬러지를 생산하는 것이 매우 중요한 관건이라고 할 수 있다. 낮은 함수율의 탈수 슬러지는 액상 또는 농축 슬러지에 비해 취급이 용이할 뿐만 아니라 부피의 감소에 따른 운반비용의 절감과 소각시 에너지 함량을 증가시킬 수 있다. 또한 퇴비화 전에 개량제의 소모량을 감소시킬 수 있고 냄새나 부패성을 현저히 감소시킬 수 있다. 따라서 슬러지의 탈수효율 향상을 위한 방법이 주목을 받고 있다. 현재 주로 사용하고 있는 탈수 방법으로는 주로 기계적 탈수 방법에 의존하고 있는데 기계적 탈수에 의한 물리적인 방법으로는

*정희원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : jtkim@yonsei.ac.kr)
**(주)유신코퍼레이션 사원(E-mail : wsy0320@hotmail.com)
***정희원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수(E-mail : woncheol@yonsei.ac.kr)

함수율을 낮추는데 한계가 있을 뿐만 아니라 탈수전에 필요한 응집제등의 첨가에 의한 2차 오염문제도 발생시킬 수 있는 단점이 있다. 이에 따라 보다 효과적인 슬러지 탈수 기법에 관한 많은 연구가 진행 중이다.

Yoshida 등(1985)은 전기삼투를 이용하여 gelatinous bentonite 슬러지의 배수 실험을 실시하였다. 전류제어와 전압제어를 통한 연직 배수 실험 결과 상부에서는 함수비 감소가 크게 나타나 저항이 증가하며, 하부로 갈수록 함수비 감소율이 적은 특성을 보였으며, 배출량은 전류를 일정하게 제어한 경우가 약간 큰 결과를 보였다. 또한, 진공여과와 전기삼투 기법을 결합한 결과 배수효과가 좋은 것으로 나타나 효율적인 기법으로 제시하였다.

Yoshida(1993)는 전기삼투를 이용한 슬러지 연직 배수 실험을 실시하여 기존의 진공여과 방법보다 배수 효과가 좋을 것을 입증하였고, 진공여과, 가압여과 등의 기법과 전기삼투 기법을 결합하여 배수 효율을 증가시키는 방법을 제시하였다. 또한, 전기삼투 배수시 하부에서 슬러지의 함수율이 감소하지 않는 현상을 보완하기 위하여 상부에 3개의 전극을 설치하여 스위치 조작으로 교대로 양극을 주는 기법을 적용하여 연직셀의 하부에서 함수율을 감소시켰다. 이 방법으로 배수 증대와 전력소모 감소라는 효과를 보았지만, 배수가 끝난 후 상부의 전극을 제거하기가 어려운 단점이 발생하였다.

Buijs 등(1994)은 정수장 슬러지의 탈수에 가압여과와 전기삼투-가압여과 결합 방법을 적용하여 처리 후 고형물함량 증가율은 가압여과의 경우 4%, 결합 방법의 경우 16%로서, 전기삼투에 의한 배수 효과가 좋은 것으로 입증되었다.

민경석 등(1995)은 전기침투식 벨트프레스 필터를 이용하여 전해질과 응집제를 첨가한 각종 슬러지의 전기탈수 실험을 실시한 결과 전기탈수에 의한 케이크 발생량이 일반탈수에 비해 20~48%로 감소되었다고 하였으며, 전기침투로 인한 열의 발생으로 케이크의 건조효과, 병원균 사멸, 발효균의 증식속도 증가, 중금속 배출 등의 효과가 있다고 하였다.

Shang과 Lo(1997)는 동전기를 적용하여 일반 점성토를 산성 광산찌꺼기의 배출수 방지를 위한 복토재로 사용하기 위한 연구로써 실내실험을 행하였다. 점성토를 복토재로 사용하기 위해서는 낮은 투수성을 유지하도록 입자간격을 조밀하게 만들어야 하는데 실험결과 30시간 이내에 점토 슬러리의 함수비를 액성한계 이하로 낮추어 배수효과가 탁월함을 입증했다. 전기영동과 전기삼투를 연속적으로 적용하여 배수 효과를 높였고 전극을 역전시키는 방법을 이용하여 물의 화학적 변화를 방지하였다.

오인규(1999)는 정수 슬러지에 침전속도 향상과 간극비 감소 측면에서 동전기 적용성을 판단하기 위해 동전기 효율에 큰 영향을 미치는 전류밀도를 변화시켜 침강과 배수실험을 실시하였다. $1A/m^2 \sim 10A/m^2$ 범위의 전류밀도에서 실험을 하였으며 중력침강과 동전기에 의한 침강을 비교할 때 동전기에 의한 침강시 슬러지의 침강속도가 가속될 뿐만 아니라 최종 간극비 감소에서도 효과가 있음을 확인하였다. 또한 최소전류 밀도 이상에서는 전류밀도가 증가함에 따라 동전기 효과가 증가하지만 최대 전류밀도 이상에서는 전류밀도에 비례하여 동전기 효과가 증가하지 않음을 확인하였고 기존의 이론 예측과 같이 $3A/m^2 \sim 7A/m^2$ 범위에서 전류밀도와 초기

침강속도의 선형관계가 성립함을 확인하였다.

Yoshida 등(1999)은 정전압을 이용한 전기삼투 배수 시 전극과 접촉부에서 발생하는 저항과 이에 따른 함수비의 불균일한 분포로 인해 배수 효과가 저하되는 것을 방지하기 위하여 일정 간격으로 전극이 역전되는 교류전기를 슬러지에 적용한 배수 시험을 실시하였다. 그 결과 일정 기간 동안 교류전기에 의한 총배수량이 직류 정전압에 의한 총 배수량 보다 많음을 확인하였으며, 교류전기의 주파수가 작을수록 효과가 좋다고 제시하였다. 또한 교류전기를 적용한 시료내의 함수비와 pH가 일정하게 분포하여 전기적으로 안정성을 보인다고 하였다. 그러나, 교류전기는 양극과 음극의 적용 시간 조절이 불가능하므로 다양한 주기에 대한 효과를 기대하기는 힘들 것으로 판단된다.

본 연구에서는 기존의 탈수방법을 개선하고 효과적인 방법을 제시하고자 소화 과정을 거치고 탈수과정에 투입되기 전 응집제가 첨가되지 않은 소화슬러지에 중력 및 가압, 전기삼투 기법을 적용하여 탈수 효율을 분석하였다. 또한, 기존의 연구결과에서 드러나는 특징 중 하나인 저항의 증가로 인한 탈수 효과의 저하 현상을 방지하기 위하여 전기삼투펄스 기법을 도입하여 그 효과를 시험하였다.

2. 실험개요

2.1 시료

본 연구에서 사용한 슬러지 시료는 서울시내에 위치한 J하수처리장에서 채취한 전형적인 도시 하수처리시설에서 발생하는 슬러지이다. 시료의 대표성을 확보하기 위해 약 28일간의 소화과정을 거친 탈수직전의 소화슬러지를 채취한 것으로 실험기간 동안 4°C정도에서 냉장보관하였다. 본 연구는 현재 대량으로 생산되는 도시 하수시설에서 발생하는 슬러지를 탈수하는데 사용되는 기존의 방법을 개선하여 보다 효율적인 탈수방법을 제시하는데 있으므로 시료 자체의 분석은 생략하였다.

2.2 실험장치

본 연구에서 사용한 전기삼투 탈수실험 장치의 개요도는 그림 1과 같으며 탈수 효율을 향상시키기 위하여 슬러지 상부에서 일정한 압력을 가할 수 있는 가압 탈수 장치를 제작하였다. 셀은 직경 8 cm, 높이 15 cm의 원통형 이크릴로 제작되었으며 시료가 셀에 투입되면 시료의 상부에 피스톤을 설치하여 일정 압력을 가하게 된다. 적용된 압력은 압력게이지로 측정이 가능하며 시료의 상하부에는 배수에 지장이 없도록 일정한 간격으로 구멍이 뚫린 직경 8 cm, 두께 0.2 cm의 탄소 전극관을 설치하여 물이 배수되도록 하였다. 또한 상부로 가스 방출을 위한 별도의 배수구멍을 설치하였다. 하부로 배출되는 물은 하부의 배출구를 통해 배수되며 압력에 의해 시료 상부로 배출되는 물은 상부 파이프를 통해 배수되도록 설계하였다. 상하부에서 배수되는 물은 배수관을 통해 하나의 메스실린더로 배출시키도록 하여 배출량을 측정한다.

직류 전원을 공급하기 위하여 그림 2와 같은 전원 공급 장치를 제작하였다. 본 전원 공급 장치는 0~240V의 전압 범위를 가지며 0.1V 간격으로 전압을 조절할 수 있다. 전압

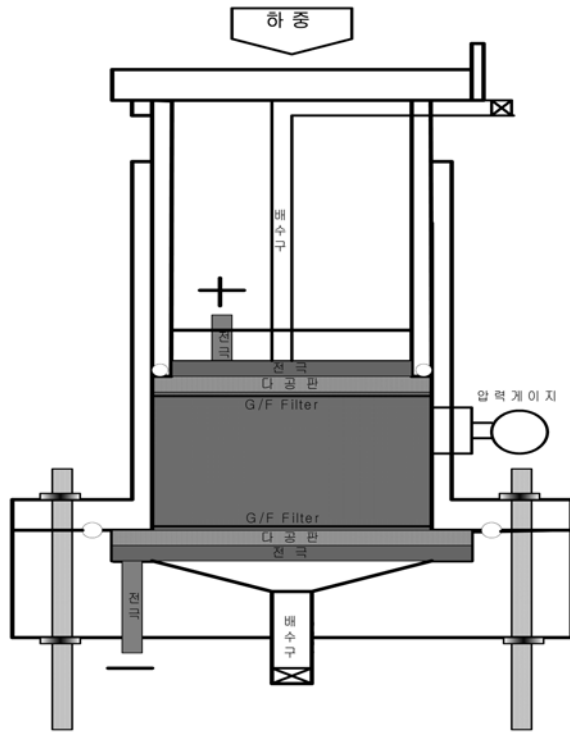


그림 1. 가압 탈수 장치

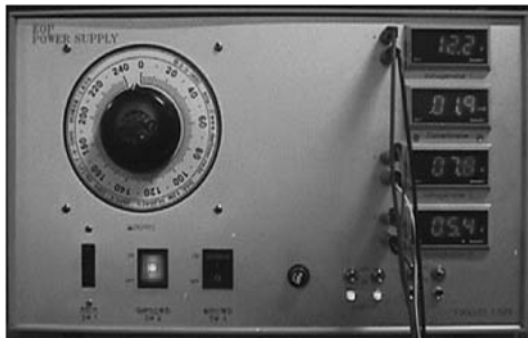


그림 2. 전원 공급 장치

및 전류는 디지털미터로 각각 0.1V, 0.1mA 단위까지 측정이 가능하다. 또한 전극 역전 실험을 위해 수동조작에 의해 극성을 역전시킬 수 있게 하였으며, 컴퓨터와 연결하여 극성 역전의 시간을 조절하는 펄스 제어 프로그램에 의해 전기삼투펄스를 자동으로 제어할 수 있다. 펄스의 적용 시간은 0.001초까지 제어가 가능하여 다양한 펄스 주기에 의한 효과를 분석할 수 있도록 설계하였다. 펄스는 처음 지정하는 양극과 음극의 순방향(positive), 전원을 공급하지 않는 상태(off), 양극을 음극으로 음극을 양극으로 역전시켜 주는 역방향(negative), 다시 전원을 공급하지 않는 상태(off)로 조절할 수 있다. 각각의 상태에 대하여 시간 조절이 가능하며 임의의 상태를 주지 않기 위해서는 해당 상태의 적용 시간을 0으로 입력함으로써 다음 단계로 넘어갈 수 있다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 최적의 탈수방법을 찾기 위해 가압식과 중력식, 직류전기와 펄스전기를 적용하고 위의 방법들을 혼용한 탈수실험을 실시하였다. 탈수를 시작하기 전에 슬러지의 함수율을 측정하였으며, 측정방법은 공정시험법에 따라 시행하였다(공정시험방법, 1992). 탈수 전 함수율은 증발접시를

표 1. 적용된 실험종류 및 방법

실험명	하중재하		적용전기	
	중력 (Gravity)	가압 (Expression)	전기삼투 (EO)	전기삼투펄스 (EOP)
G	◎			
G-EO	◎		◎	
G	◎			
G-EO	◎		◎	
P		◎		
P-EO		◎	◎	
P-EOP		◎		◎

미리 106°C에서 1시간 건조시킨 후 무게(W_1)를 정밀히 달고 여기에 시료를 적당량 취하여 증발접시와 시료의 무게(W_2)를 측정하였다. 다음에 106°C의 건조기 안에서 12시간 건조시킨 다음 방냉하여 무게(W_3)를 정밀히 측정하였다. 탈수후 함수율은 측정된 값을 식(1)에 대입하여 슬러지의 함수율을 계산하였다.

$$\text{수분(\%)} = 100 - \left(\frac{W_3 - W_1}{W_1 - W_2} \times 100 \right) \quad (1)$$

슬러지 높이를 5 cm로 하여 1시간 간격으로 배출구를 통해 배출되는 유량과 셀 내의 슬러지 높이를 측정하였다. 또한 같은 시간 간격으로 전압과 전류를 측정하여 슬러지의 높이와 함수율 감소에 따른 전기적 영향을 분석하였다.

중력 탈수와 가압 탈수에서 적용 전압 및 펄스 주기에 따른 탈수 효과를 측정하기 위하여 다양한 실험을 실시하였다. 적용된 실험 종류 및 방법을 표 1에 제시하였다. 표의 실험명에서 약자 D는 Drain, G는 압력을 가하지 않은 중력 탈수, P는 가압 탈수, EO는 Electro-Osmosis를, EOP는 Electro-Osmotic Pulse를 의미한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 중력 탈수

3.1.1 배출량

가압을 가하지 않은 중력 탈수 상태에서 전기를 가하지 않은 경우와 5V(1V/cm)의 정전압 및 10V(2V/cm)의 정전압을 적용한 경우 시간에 따른 배출량을 비교하였다. 12시간 동안 배출량을 측정한 결과 그림 3과 같이 5V의 정전압을 가하는 경우 중력만에 의한 배출량 보다 많은 양이 배출되었으며 10V 정전압은 5V 보다 더 많은 양을 배출하고 있음을 알 수 있다. 실험 종료시 누적 배출량은 중력 탈수는 58.5 cm³, 5V 전기삼투를 적용한 경우는 81 cm³, 10V는 121 cm³로 1V/cm의 전압경사를 주는 경우 배출량이 약 38% 증가하였고 2V/cm의 전압경사인 경우 중력 탈수의 배출량에 비해 약 107%의 증가율을 나타내었다. 이는 전기삼투가 슬러지 탈수에 효과가 있음을 입증하는 결과로 판단된다.

3.1.2 슬러지 높이

시간에 따른 슬러지 높이의 변화를 그림 4에 도시하였다. 배출량의 증가 양상과 같이 전압의 증가에 따른 슬러지 높

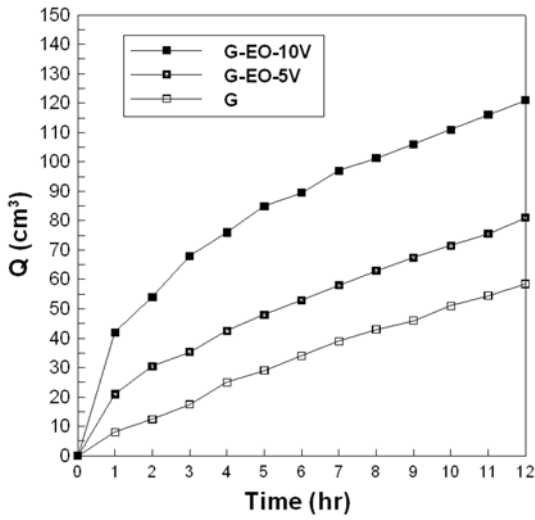


그림 3. 중력 탈수 시간-배출량 곡선

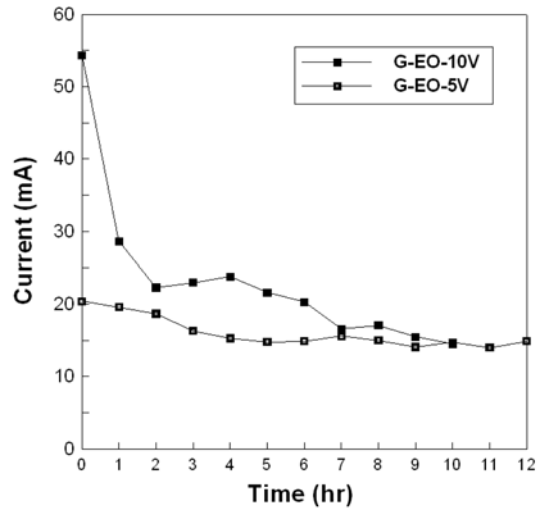


그림 5. 중력 탈수 시간-전류 곡선

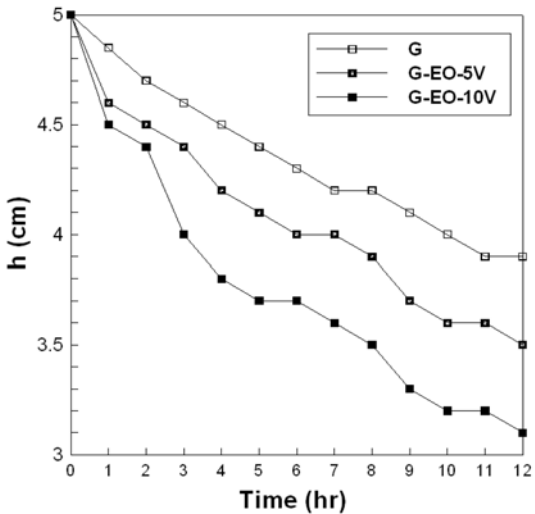


그림 4. 중력 탈수 시간-슬러지 높이 곡선

이 감소가 비례하는 결과를 나타내었다. 12시간이 경과한 후 중력 탈수와 5V, 10V 정전압을 적용한 슬러지 높이는 3.9cm와 3.5cm, 3.1cm로 초기 높이 5cm에서 각각 22%와 30%, 38% 감소한 것이다. 감소 기울기는 배출량과 마찬가지로 선형을 보이고 있는데, 이는 실험을 12시간에서 종료하였기 때문에 기울기 감소가 나타나지 않은 것으로 판단되며 최종 감소 높이까지 실험을 지속한다면 기울기가 감소될 것으로 예측된다.

3.1.3 전류변화

5V와 10V의 일정전압에 대하여 배수실험 시 진행되는 전류의 변화를 그림 5에 도시하였다. 시간이 경과됨에 따라 전류는 감소하는데 이는 탈수가 진행됨에 따라 슬러지와 전극의 접촉부분의 함수비 감소가 현저하게 감소하여 저항이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 5V 보다 10V에서 전류의 감소폭이 크게 나타나는데 이는 전압이 높음에 따라 슬러지 상부 슬러지의 함수율이 크게 저하되어 저항도 크게 증가하기 때문에 발생하는 현상인 것으로 판단된다.

3.2 가압 탈수

3.2.1 배출량

슬러지의 상부에 0.2 kg/cm²의 일정한 압력을 가한 상태에

표 2. 적용한 펄스 주기

(단위 : sec)

실험명	positive	negative	off
P-EOP(5-1-1)-5V	5	1	1
P-EOP(1-0.1-0.1)-5V	1	0.1	0.1

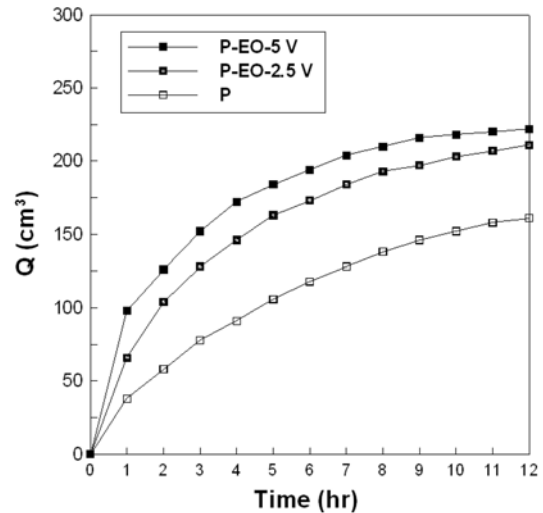


그림 6. 가압 탈수 시간-배출량 곡선

서 5V(1V/cm), 2.5V(0.5V/cm)의 정전압 및 5V의 펄스를 적용하여 탈수 실험을 실시하였다. 적용한 펄스 주기는 표 2와 같다.

0.2 kg/cm²의 압력을 가한 상태에서 슬러지 탈수를 12시간 동안 실시한 결과 실험 종료시까지 161 cm³가 배출되었다. 이는 압력을 주지 않은 중력 탈수의 배출량 58.5 cm³의 2.75배에 해당하는 값으로 압력을 가해 주는 경우 탈수 효과가 급증함을 알 수 있다. 또한, 가압식과 전기삼투를 병용하여 탈수를 하게 되면 그림 6과 같이 그 효과가 더욱 증가함을 알 수 있다.

5V의 전압에 대하여 전기삼투 펄스 기법을 적용한 탈수 실험의 배출량은 그림 7과 같다. 두 가지의 펄스 주기를 적용한 결과 정전압을 적용한 탈수 실험의 배출량 보다 높은 양상을 보였다. 특히 실험이 지속되면서 그 차이가 커지는 경향을 나타내고 있다. 정전압을 적용하는 경우 허부 방향으로 배수가 진행되면서 슬러지 상부에서 함수비가 감소하게

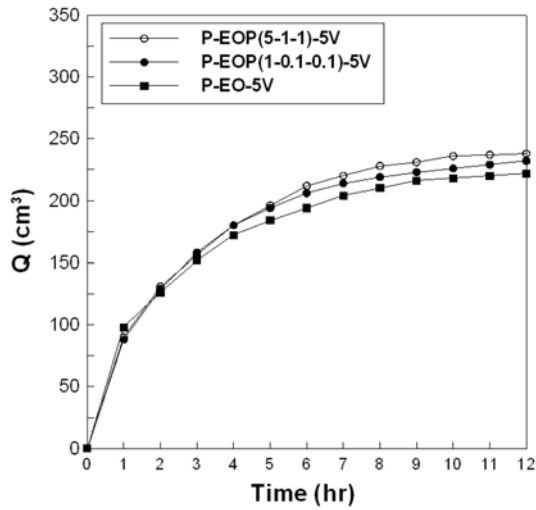


그림 7. 가압 탈수 시간-배출량 곡선(정전압-펄스)

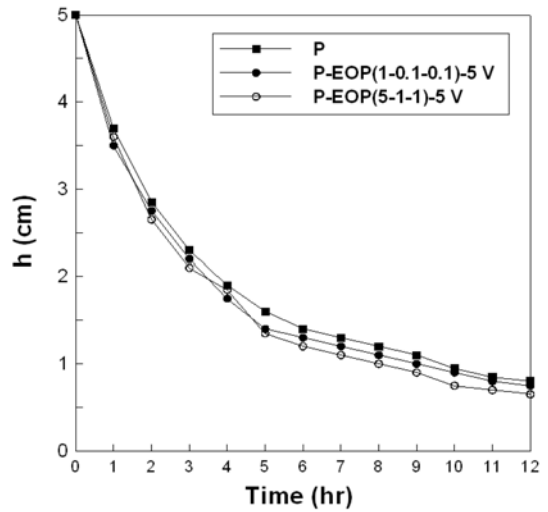


그림 9. 배수시간-슬러지 높이 곡선(정전압-펄스)

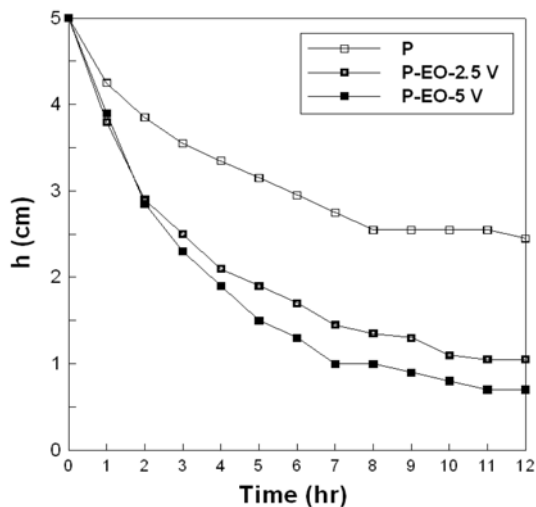


그림 8. 가압 탈수 시간-슬러지 높이 곡선

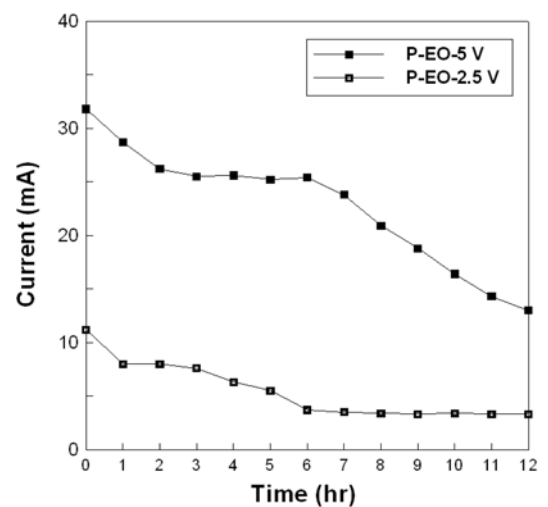


그림 10. 가압 탈수 배수시간-전류 곡선

되어 저항이 증가함에 따라 전기에 의한 탈수 효율이 감소하는 현상을 보이는데, 펄스를 적용하는 경우 주기적으로 극성을 전환함에 의해 슬러지 내의 함수비가 비교적 고르게 분포함에 따른 결과로 판단된다.

3.2.2 슬러지 높이

가압 탈수에서 시간에 따른 슬러지 높이의 변화를 그림 8에 도시하였다. 12시간이 지난 후 압력만을 가한 경우는 슬러지 높이가 2.45 cm로 초기 높이 5 cm에서 2.55 cm가 감소하였다. 2.5V를 가한 경우에는 1.05 cm, 5V를 적용한 경우에는 0.7 cm로 각각 3.96 cm, 4.3 cm가 감소하였다. 이는 각각 51%, 79%, 86%의 감소율을 보이는 것으로서 가압을 가하면서 전기를 적용하는 경우 슬러지 탈수 효율이 매우 높음을 알 수 있다.

펄스를 적용한 경우 슬러지의 높이는 그림 9와 같이 실험 중반부부터 펄스에 의한 효과가 발생하여 정전압을 적용한 경우보다 높이 감소가 크게 나타나는 결과를 보이고 있다.

3.2.3 전류변화

5V와 2.5V의 전압을 적용하였을 때 전류의 변화를 그림 10에 도시하였다. 그림과 같이 전류는 고전압에서 더욱 높은

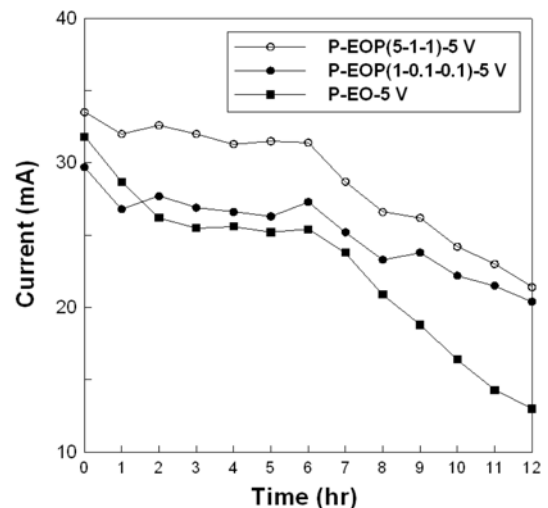


그림 11. 배수시간-전류 곡선(정전압-펄스)

값을 나타내었으나, 슬러지의 함수비가 감소하여 저항이 증가함에 따라 전류가 감소하는데 전압이 높은 경우 그 감소폭이 낮은 전압에 비해 큰 것을 알 수 있다. 반면에 펄스를 적용한 경우 그림 11과 같이 전류 감소폭이 작고 특히, 실험이 진행됨에 따라 정전압에 비해 전류가 큰폭으로 감소하지 않는 결과를 보이고 있다.

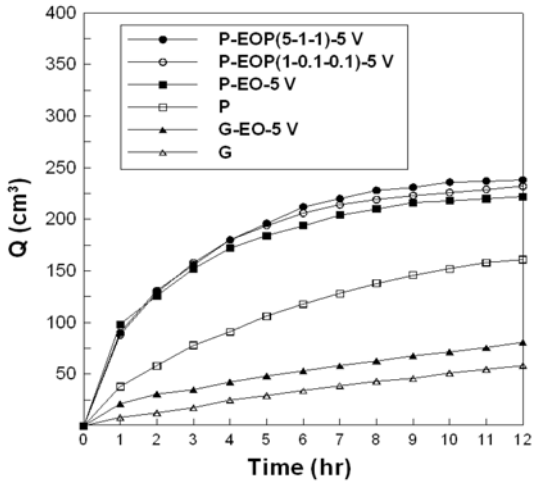


그림 12. 중력 및 가압 탈수 시간-배출량

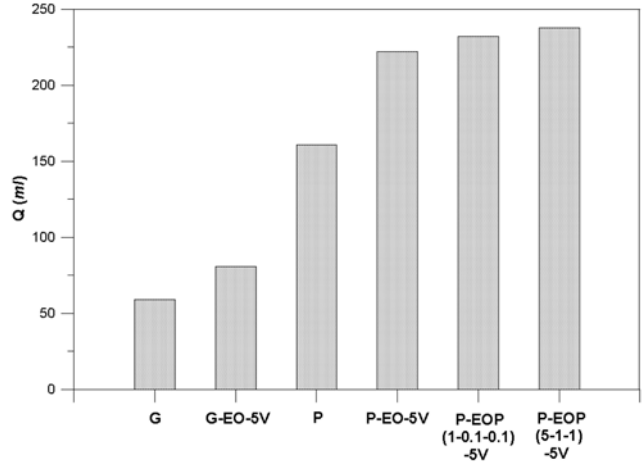


그림 13. 중력 및 가압 탈수 최종 배출량

표 3. 중력 및 가압 탈수 최종 배출량

실험명	배출량(cm ³)
G	59
G-EO-5V	81
P	161
P-EO-5V	222
P-EOP(1-0.1-0.1)-5V	232
P-EOP(5-1-1)-5V	238

3.3 비교 고찰

3.3.1 배출량

중력 탈수, 중력식 전기삼투 및 가압 탈수, 가압식 전기삼투, 가압식 전기삼투펄스 탈수에 의한 배출량 변화 곡선을 그림 12에 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 중력 탈수에 의한 배출량이 가장 낮으며 중력식 전기삼투에 1V/cm의 전압경사를 적용한 경우 중력 탈수보다 배출량이 많았으나, 이 또한 가압만을 가한 조건보다 배출량이 적었다. 즉, 가압을 가하지 않은 상태에서 전기를 적용하는 것보다는 가압에 의한 탈수가 더욱 탈수 효과가 좋다는 결론을 얻을 수 있다. 가압식 탈수에 전기삼투를 결합하게 되면 가압을 가하지 않은 중력식 탈수에 전기삼투를 적용한 경우보다 전기삼투 탈수 효율이 훨씬 좋은 것으로 나타났다. 또한, 가압식 탈수에 전기삼투펄스를 결합하게 되면 정전압의 전기삼투 기법보다 배출량이 7% 증가하는 것으로 나타났다. 12시간 동안 배출량은 표 3에 제시하였으며 그림 13에 비교 도시하였다.

3.3.2 슬러지 부피

슬러지의 부피는 탈수 과정에서 중요한 요소 중의 하나이다. 탈수 공정의 주목적 중 하나가 부피를 줄이는 것이기 때문에 부피의 감소율은 탈수 효율 평가의 기준이 될 수 있다. 그림 14와 같이 본 실험의 슬러지 부피 변화는 슬러지 탈수시 발생하는 배출량과 반비례 관계를 나타내고 있다. 배출량 관계와 마찬가지로 가압식 전기 탈수가 가장 효율이 좋았으며 그 중에서도 가압식 전기삼투펄스의 효과가 가장 뛰어난 결과를 보였다. 12시간의 실험 결과 표 4에 나타낸 바와 같이 초기 부피에 비해 중력 탈수의 경우 78%가 남

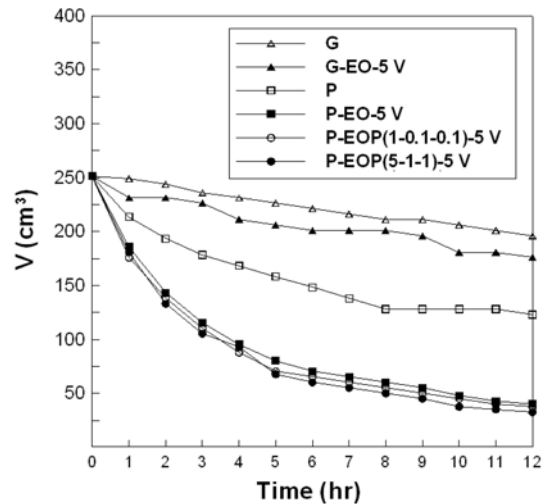


그림 14. 중력 및 가압 탈수 시간-슬러지 부피

표 4. 중력 및 가압 탈수 최종 슬러지 부피

실험명	슬러지 부피(cm ³)	비율
G	196	78%
G-EO-5V	176	70%
P	123	49%
P-EO-5V	40	16%
P-EOP(1-0.1-0.1)-5V	38	15%
P-EOP(5-1-1)-5V	32	13%

아 22%의 감소율을 보였으며 가압을 가하는 경우 51%가 감소하여 부피가 절반 정도로 되었으며 가압식 전기삼투펄스의 경우 87%까지 감소하여 부피 감소율이 뛰어난 것으로 판명되었다.

3.3.3 함수율

슬러지를 처리하는 과정에서 소각을 하는 경우에는 슬러지가 일정 함수율 이하를 유지하여야 한다. 또한 매립을 하는 경우에도 침출수 등의 문제로 인해 함수율을 낮추어야 한다. 일반적으로 슬러지 탈수시 기준 함수율은 75%로 정하고 있다. 이를 위해 응집제를 첨가하여 슬러지를 화학적으로 개량한 후에 기계적 탈수 방법을 사용하고 있으나 함수율을 75% 이하로 낮추기는 어려운 실정이다. 본 연구에 시료로

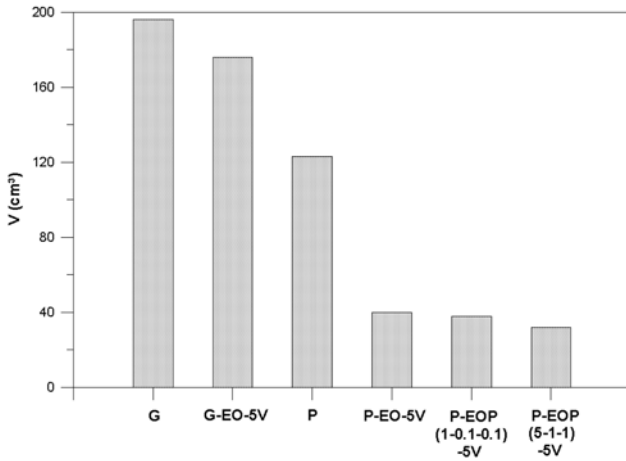


그림 15. 중력 및 가압 탈수 최종 슬러지 부피

표 5. 중력 및 가압 탈수 최종 함수율

실험명	함수율
G	96.5%
G-EO-5V	92.5%
P	86.6%
P-EO-5V	79.1%
P-EOP(1-0.1-0.1)-5V	77.7%
P-EOP(5-1-1)-5V	76.7%

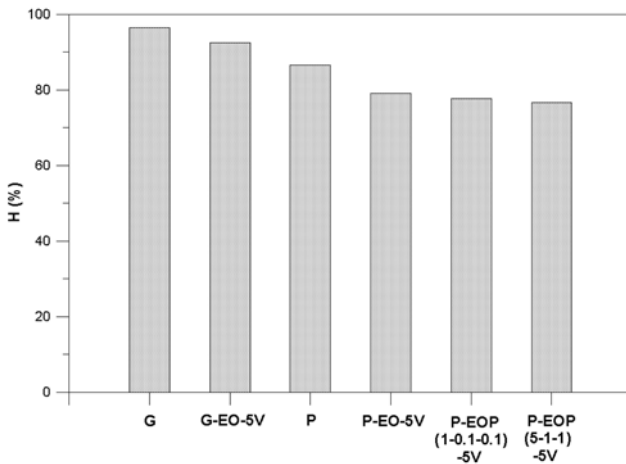


그림 16. 중력 및 가압 탈수 최종 함수율

사용한 소화 슬러지는 평균 함수율 97.5%이었으며 탈수 실험을 통한 함수율은 표 5와 그림 16에 제시하였다. 탈수 효율이 가장 좋은 경우 76.7%로서 75% 보다는 약간 높은 값을 보이고 있지만, 본 실험에서는 응집제를 첨가하지 않았고, 실험시간도 12시간으로 제한한 상태에서 탈수를 하였으므로 효과적인 결과라고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 전기삼투 기법을 이용하여 소화 슬러지의 탈수 실험을 실시하였으며 중력, 가압식과 전기삼투, 전기삼투펄스를 결합한 탈수 방법을 적용하여 각각의 탈수 효과를

분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전기를 주지 않은 상태에서 소화 슬러지에 대한 중력 및 가압 탈수를 실시한 결과 가압 탈수의 탈수율이 높았으며, 슬러지 높이에 대하여 1V/cm 전압경사의 전압을 적용하여 중력식 전기삼투 탈수의 결과도 가압 탈수의 효율보다 낮아 슬러지 탈수에 가압 탈수가 효과적임을 알 수 있었다.
2. 가압 탈수에 전기삼투 기법을 결합한 경우 전기 효율이 향상됨으로 인해 탈수 효과가 증대되어 높은 슬러지 부피 감소 및 함수율 감소율을 나타내었다. 소화 슬러지의 초기 함수비 97.5%에서 1V/cm의 전압경사에서 12시간의 실험 후 함수비가 76.7%로 감소하였다. 이 결과는 응집제를 첨가하지 않은 상태에서 전기장과 가압만에 의한 탈수 효과이므로 효과적인 방법이라고 판단된다. 하지만 기존의 기계적인 탈수방법에 비해 시간이 오래 걸리고 시간 경과에 따라 전극에 피막이 형성되어 전류에 의한 탈수효율이 감소하므로 전극을 자주 교체해 주어야 하는 단점이 있다.
3. 정전압 적용시 슬러지 내에서 발생하는 불균일한 함수비 분포로 인한 전기의 탈수효율 감소를 줄이기 위해 일정 주기로 전극의 극성을 전환하여 주는 펄스 기법을 적용한 결과 탈수 효율이 정전압에 비해 증대되었으나 펄스 기법은 적용 주기에 따라 다양한 결과를 나타내므로 슬러지 탈수에 가장 적합한 주기를 선정한다면 더욱 향상된 탈수율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 편집부(1998) **공정시험방법**, 동화기술.
- 민경석, 김홍태, 황상철, 안영호, 남광현, 서광희(1995) 전기침투식 Belt Press Filter를 이용한 슬러지탈수에 대한 연구, **한국폐기물학회지**, 한국폐기물학회, 제12권, 제5호, pp. 544-551.
- 오인규(1999) **Electrokinetics 기술에 의한 상수 슬러지 탈수에 관한 연구**, 석사학위논문, 중앙대학교 .
- Buijs, P.J., Van Diemen, A.J.G, and Stein, H.N. (1994) *Efficient dewatering of waterworks sludge by electroosmosis*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 85, pp. 29-36.
- Schang, J.Q. and Lo, K.Y. (1997) *Electrokinetic dewatering of Florida phosphate clay*, Journal of Hazardous Materials, Special Edition.
- Yoshida, H., Shinkawa, T., and Yukawa H. (1985) *Water content and electric potential distributions in gelatinous bentonite sludge with electroosmotic dewatering*, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 18, No. 4, pp. 337-342.
- Yoshida, H. (1993) *Practical aspects of dewatering enhanced by electro-osmosis*, Drying Technology, Vol. 11, No. 4, pp. 787-814.
- Yoshida, H., Kitajyo, K., and Nakayama, M. (1999) *Electroosmotic dewatering under A. C. electric field with periodic reversals of electrode polarity*, Drying Technology, Vol. 17, No. 3, pp. 539-554.

(접수일: 2004.8.25/심사일: 2004.9.20/심사완료일: 2004.9.20)