



체류시간, 입도분포 및 여재가 정수 슬러지의 탈수에 미치는 영향

Influences of Detention Time, Particle Size Distribution, and Filter Medium on Waterworks Sludges Dewatering

김광수 · 이재복*

Kim, Kwang-Soo · Lee, Jae-Bok*

경성대학교 공과대학 건설환경공학부

(2008년 12월 1일 접수; 2009년 1월 28일 1차수정; 2009년 2월 16일 2차수정; 2009년 2월 17일 채택)

Abstract

Objectives of this study were to investigate influencing factors of detention time, particle size distribution, and filter medium characteristics for waterworks sludge dewatering. The stepped pressure filtration was carried out with lab scale apparatus and the filter press pilot test for dewatering was conducted at the water treatment plant. Effects of filter medium and polymer dose were examined through observing water content and dewatering velocity and cyclic dewatering rate with filter press pilot test. Relationships among detention time, particle size distribution and filtration resistance were analyzed. Prolongation of sludge detention time was found to cause blinding phenomenon in cake and filter medium and to decrease dewatering process efficiency. The average specific resistance increased according to detention time. In pilot test of dewatering for thickened sludge with Nylon Multi-NY840D and Nylon Mono-100% filter media, dewatering velocities were 0.92 and 0.93 kg DS/m²·hr according to 0.1% polymer dose of dried solids weight base. And cyclic dewatering rates were 2.45 and 2.50 kg DS/m²·cycle for the Nylon Multi-NY840D and Nylon Mono-100% media. Dewatering velocity of polymer dosed sludge was observed to be higher than that of non-polymer sludge.

Key words : Sludge Dewatering, Waterworks Sludge, Detention Time, Particle Size Distribution, Filter Medium, Cyclic Dewatering Rate

주제어 : 슬러지 탈수, 정수 슬러지, 체류시간, 입도분포, 여재, 주기 당 탈수처리율

1. 서론

산업과 인구의 규모가 확대됨에 따라 물사용량이 매년 증가하고 있고 호우에 따른 고탁수의 발생빈도가 최근 늘고 있어 용수를 공급하는 정수장의 슬러지 발생량은 매년 증가하는

추세이다. 정수 슬러지의 함수율은 비교적 높은 편이어서 매립, 재활용 등의 슬러지 처분에 어려움을 겪고 있다. 정수 슬러지의 탈수효율을 높이기 위해서는 슬러지의 탈수속도를 증가시키고 저함수율의 탈수케이크를 배출하는 것이 중요한데(변 등, 2005), 이 두가지 요소는 대체로 상반된 탈수결

* Corresponding author Tel:+82-33-250-6241, Fax:+82-33-244-6239, E-mail:hyukjae68@hotmail.com(Kwon, H.J.)

과를 나타낸다.

효율적인 슬러지 감량화를 위하여 다양한 전처리 기술의 개발이 진행된 바 있으며, 전처리 기술에서 기계적 처리의 경우 운전비용이 높고, 슬러지의 탈수성 개선효과는 미흡하고, 열처리 및 화학적 처리도 고온과 약품을 공급해야 하므로 처리비용이 높은 단점이 있다.(정 등, 2003, 김 등, 1999).

슬러지 탈수성은 슬러지의 pH와 입자의 전하, 결합수의 함량, 고형물의 함량, 알칼리도, 입자의 기계적 강도, 공극률, 입자의 크기, 유기물함량, 압축계수, 슬러지의 종류, 슬러지 개량제의 종류 및 양, 탈수시 운전조건 등 수많은 인자들에 의해 영향을 받으므로 슬러지 개량을 위해서는 이러한 물리화화학적 영향인자의 검토가 중요하다.(이 등, 2007, 권, 1999).

문 등(2007)은 정수슬러지의 농축조 체류시간에 따른 최적응집제 투여율을 조사한 결과, 체류시간이 증가함에 따라 슬러지의 제타전위가 증가하고 응집제 투여율도 함께 증가함을 보고하였다. 상수도시설기준에 따른 농축조 체류시간은 24~48 시간인데, 탈수효율을 향상시키기 위해서는 슬러지 체류시간을 과도하게 지체하지 않도록 운영할 필요가 있음을 제시하였다.

저함수율의 케이크를 얻기 위해 슬러지의 성상을 고려한 탈수방법의 선정하는 것이 필요하다. 슬러지 탈수방법은 일반적으로 기계적 탈수방법과 자연건조 탈수방법으로 크게 분류하는데, 기계적 탈수방법에는 가압탈수, 진공탈수, 원심탈수, 벨트프레스 등이 있고, 자연건조 탈수방법은 슬러지 건조상 등이 있다. 가압탈수는 기계장치가 복잡하고 운전이 어려우며, 여과포의 수명에 한계가 있는 등 운전 및 유지보수가 어려운 편이나 탈수여액의 부유물 및 농도가 낮고 슬러지 감량화의 궁극적인 목적인 55~65%의 저함수율의 케이크를 생성하는 장점으로 인해 최근 많이 이용하고 있다.

슬러지 탈수를 효과적으로 수행하기 위해서는 여포(filter cloth)의 적절한 선택이 핵심요소가 되는데, 여포의 특성은 미세입자에 의한 폐색에 저항성이 있어야 하고 박리성과 내구성이 좋아야 한다(Wakeman, 2007).

슬러지의 탈수성을 평가하기 위해서 일반적으로 이용되는 방법 중의 하나는 여과시간에 따른 여과액량의 변화를 측정하여 이론적으로 평균비저항 값을 분석하는 것이다. Tiller 등(2002)은 슬러지의 탈수성을 나타내는 평균비저항(average specific resistance)의 해석에 사용되는 식으로서 여재저항이 인자로 작용할 때 다음의 두식을 제시하였다.

$$\frac{p}{\mu} \frac{dt}{dv} = \frac{p}{\mu q} = \alpha_{av} w_c + R_m \quad (1)$$

$$\frac{p}{\mu} \frac{t}{v} = \frac{p}{\mu q_{av}} = \frac{1}{2} \alpha_{av} w_c + R_m \quad (2)$$

여기서, α_{av} 는 평균비저항, w_c 는 케이크의 질량, R_m 은 여재저항, t 는 여과시간, v 는 여액의 량, q_{av} 는 여액의 평균유량으로서 v/t 로 나타내고, q 는 여액의 순간유량으로서 dv/dt 로 나타낸다. (2)식에서 평균여과저항, $p/\mu q_{av}$ 는 케이크 질량, w_c 에 대하여 $0.5\alpha_{av}$ 의 기울기를 나타냄을 알 수 있다.

본 연구에서는 실험실에서의 여과시험과 파일럿 테스트를 수행하여 정수 슬러지의 탈수 영향인자를 평가하였으며, 압력의 증가에 따른 단위여과면적당 평균유량, 평균비저항, 그리고 여재에 따른 탈수속도를 평가하여 탈수효율의 개선을 모색하였다. 또한, 정수 슬러지의 저류조 체류시간이 탈수에 미치는 영향을 분석하고 여재특성에 따른 탈수 개선효과를 분석하였다. 필터프레스의 파일럿 테스트를 통해 여재와 개량제 조건에 따른 필터프레스 탈수속도의 개선효과를 평가하여 고효율 가압여과를 위한 운전인자들의 영향을 밝히고자 하였다.

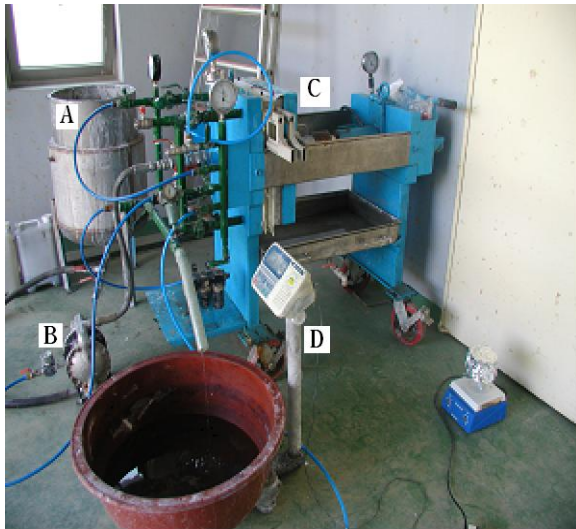
2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서 정수슬러지의 탈수특성을 조사하기 위하여 실험에 사용한 슬러지는 W시에 위치하여 341,000 m³/day의 정수용량을 갖는 A정수장의 농축조 슬러지를 이용하였다. 농축슬러지(thickened sludge)는 저류조(storage tank)로 이송되어 일정시간 체류 후 가압탈수 공정으로 진행하게 되며, 체류시간의 영향을 비교분석하기 위하여 농축 후 저류조로 가는 이송관에서 슬러지를 채취하여 체류시간별 변화를 분석하였다.

2.2 필터프레스 파일럿 테스트

본 연구에서는 A정수장에 설치된 탈수기 종류와 같은 필터프레스의 양면탈수 방법을 이용하여 실시하였으며 Fig. 1에 파일럿 테스트 장치를 나타내었다. 먼저 유압으로 여과판(filter plate) 전체를 결합시킨 다음 탈수판의 가운데에 있는 구멍으로 유입펌프를 이용하여 각 탈수실내로 슬러지를 유입시킨다. 탈수실 내가 가득 찰 때까지 가압이 계속되며, 탈수실 내에 슬러지가 가득 차게 되면 슬러지의 공급이 정지된다. 유압실린더에 의해 탈수판이 가압되어 슬러지에 포함된 수분을 탈수시켜 탈수가 실시된다. 탈수판을 분리시키면 케이크는 여포에서 박리되어 밑으로 떨어지고 탈리여액은 탈수판상에 파여 있는 다수의 작은 홈을 통하여 탈수판 밑에 있는 탈수여액 배출구로 빠져나간다. 운전 중 일정간격의 시간동안 탈수여액량을 측정하고 케이크(cake) 발생량을 측정함으로써 탈수처리량과 탈수 속도를 계산하였다. Table 1에 A정수장에서 실시한 파일럿 테스트의 운전조건에 대해 나타내었다.



A: Feeding Tank B: Pump
C: Filter Plate D: Digital Balance

Fig. 1. Pilot test apparatus for filter press dewatering.

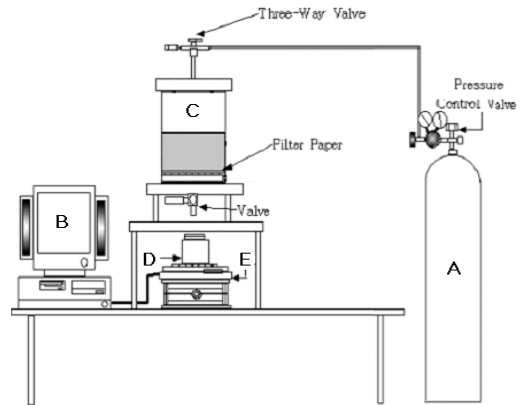
Table 1. Operation conditions for filter press pilot test

Items	Value
Filtration Area	0.2992 m ²
Filter Chamber Volume	2.5 ℓ
Feeding Time	80 min
Squeezing Time	50 min
Air Blow Time	2 min
Total Operation Time	160 min
Feeding Pressure	441 kPa (4.5 kgf/cm ²)
Squeezing Pressure	686 kPa (7 kgf/cm ²)

2.3 단계적 승압여과 시험

단계적 승압 여과시험(steppped pressure filtration)을 위하여 슬러지 250mL를 여과실린더에 주입하고 여과실린더의 뚜껑은 압력유지를 위해 밀폐하였다. 여과실린더 뚜껑에 붙어있는 압력전달판에는 압력공급원으로서 압축질소가스를 연결하여 여과실린더 내부로 압력이 가해지도록 하였다. 압력이 가해짐과 동시에 여과실린더 하부에 있는 밸브를 열어서 여액이 빠져나가도록 하였다. 이 여액은 디지털저울 위에 놓여져 있는 집수통에 저장되면서 여액의 중량이 자동적으로 측정되어 측정값은 PC에 실시간으로 저장되도록 시스템을 구성하였다.

압력여과에 가해지는 압력은 49, 98, 147, 196kPa의 4단계



A : Nitrogen Gas B : Computer
C : Filtration Cylinder D : Filtrate Container
E : Digital Balance

Fig. 2. Schematic diagram of dewatering apparatus.

로서 외부에서 압력주입밸브로 조절하면서 시간에 따라 승압시켰다. 각 압력단계마다 400초 동안 여과를 위한 지속시간이 되도록 하였으며, 최종여과시간은 1,600초로 설정하였다. 매 20초마다 탈수여액의 무게는 데이터 저장 프로그램에 의해서 실시간으로 측정이 되도록 하였다.

본 연구에서 분석항목은 pH, SS, VS, 입도분포 등이었고, 평가항목으로는 슬러지 입자의 비표면적, 유기물 함량 등이었다. 입도 분석기는 레이저 산란에 의한 투영 원상당경(projected area diameter) 측정방식의 Coulter LS100Q를 사용하여 0.4~900 μm까지의 입경을 측정하였으며 불규칙한 형상의 입자와 동일한 투영면적을 갖는 구형입자의 직경을 불규칙한 입자의 직경으로 가정하는 방법이 적용되었다. 입자의 체적은 투영 원상당경으로부터 입도분석기에 내장된 프로그램으로 누적하여 계산되며, 슬러지 입자의 체적기준의 입도 분포, 입경 중앙값과 균등계수 등을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물리화학적 특성

본 연구에서 사용한 A 정수장의 농축슬러지에 대하여 측정된 pH는 6.54이고 SS는 30,000 mg/ℓ, VS는 7700 mg/ℓ를 나타내었다. Table 2는 저류조 체류시간에 따른 슬러지의 입도분포를 나타낸 것이다.

슬러지의 탈수성에 영향을 미치는 인자 중 입도분포가 중요한 인자로 알려져 있는데(Karr and Keinath, 1978), 농축 슬러지의 체류일수에 따라 슬러지의 부패가 진행될 수 있으므로 이에 따른 슬러지의 입도분포와의 상관성을 확인하기 위

하여 입도분포분석을 수행하였다. 여기서 채취한 시점에 입도의 중앙값인 D_{50} 은 $35.02 \mu\text{m}$ 를, 하위 10% 분포의 입경인 D_{10} 은 $9.86 \mu\text{m}$ 를 나타내는 등 체류일수 경과에 따른 슬러지 입도분포의 큰 변화는 보이지 않았으나 슬러지 체류일수 4일과 8일이 경과함에 따라 슬러지 중 $1 \mu\text{m}$ 이하의 입자분포는 채취시점의 0.27%로부터 체류일수 3일에 0.62%, 체류일수 7일에 0.74%로 증가함을 보였다. 입자의 비표면적이 증가함에 따라 마찰저항이 증가하여 슬러지 여과성은 저하되는 경향을 나타낸다(Lawler et al., 1986).

본 연구에 따르면 체류일수의 증가에 따라 비표면적이 채취시점에는 $3,012 \text{ cm}^2/\text{ml}$, 4일후 $3,141 \text{ cm}^2/\text{ml}$, 그리고 8일후 $3,551 \text{ cm}^2/\text{ml}$ 로 증가하는 경향이 나타나 체류일수에 따라 탈수성이 저하됨을 알 수 있었다. 이는 농축 슬러지의 체류일수가 증가함에 따라 슬러지의 분해가 진행되어 미세입자가 증가하여 영향을 미친 것으로 판단되며 케이크에 원통형으로 존재하는 수십 nm 크기의 공극은 폐색될 수가 있다(Yang et al., 2008).

Fig. 3은 체류일수에 따라 $2.5 \mu\text{m}$ 이하의 입자를 비교한 그래프로서, 미세한 영역의 입자는 체적비가 증가하는 경향을 보였다. 회분식으로 운전되는 가압탈수의 특성상 탈수기에 슬러지를 유입하기 전 농축조 슬러지가 저류조에서 일정시간 체류하는 것이 불가피하다. 따라서 슬러지가 일정시간 동안 저류조에 체류하게 되는데, 저류조의 체류시간이 증가함에 따라 슬러지의 미세입자의 체적비가 증가하므로 슬러지의 탈수성은 감소될 것이다. 그리고, 슬러지가 농축조에서 저류조로 이송된 채취시점에서의 미세입자의 분포가 가장 적은 값을 나타내므로, 농축 슬러지가 이송되어 저류조에서 체류하는 시간을 최대한으로 짧게 함으로써 미세입자의 증가경향을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 저류조 체류일수에 따른 탈수성 변화

체류일수 증가에 따라 슬러지에 미치는 영향을 검토하기 위

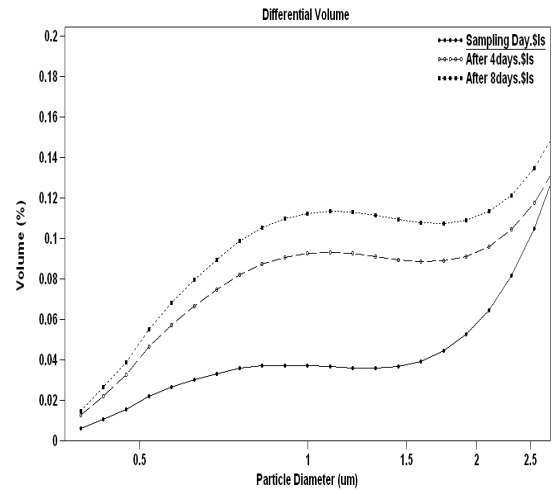


Fig. 3. The variation of particle size distribution curve for different detention time.

해 Fig. 4에는 슬러지 체류일수별 여과시간에 따른 여액 발생을 비교하였다. 그리고, 슬러지 체류일수별 케이크 질량에 따른 여과저항의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 단계적 승압 여과시험법을 이용하여 여재의 투과 특성과 케이크의 압축성을 평가할 수 있는데, Fig.4에서 여과압력이 증가하는 지점에서 여액량이 급격히 증가하지 않으므로 압축성이 높은 슬러지의 여과거동을 보이고 있다. Fig.5에는 여과압력을 증가할 때마다 여과저항이 동반하여 증가함을 보이고 있는데 고압축성 슬러지의 탈수에는 여과압력을 높일수록 여과저항도 함께 증가하여 탈수효율을 감소시키는 것을 알 수 있다. 그리고, 채취시점과 채취시점으로부터 4일 후, 그리고 8일 후의 슬러지를 비교하여 슬러지 체류일수에 따른 여과저항의 변화를 시험하였다. 채취시점으로부터 체류시간이 증가할수록 여액 발생량이 감소하고 여과저항이 상대적으로 증가함을 보이고 있다. 슬러지 체류일수가 증가할수록 슬러지

Table 2. Results of particle size analysis for waterworks sludge during detention time

Item		Measured Values					
Specific Surface	Sampling Day	3,012 cm^2/ml					
	After 4 Days	3,141 cm^2/ml					
	After 8 Days	3,551 cm^2/ml					
Distribution Parameter		D10	D50	D90	<D1	D90/D50	D90/D10
Sampling Day		9.86 μm	35.02 μm	149.40 μm	0.27%	4.27	15.12
After 4 Days		10.50 μm	43.75 μm	210.70 μm	0.62%	4.82	20.07
After 8 Days		9.63 μm	37.23 μm	152.7 μm	0.74%	4.10	15.86

* <D₁ : volume ratio below 1 μm diameter

D₅₀ : diameter(μm) of 50 percent volume ratio

D₁₀ : diameter(μm) of 10 percent volume ratio

D₉₀ : diameter(μm) of 90 percent volume ratio

중의 미세입자가 증가하는 경향을 나타내므로 슬러지의 농축성을 저하하고, 탈수공정에서 슬러지 케이크와 여재 공극에 대해 폐색효과를 유발하여 여액의 흐름에 대한 저항을 높이기 때문에 탈수효율을 감소시키게 된다.

Table 3에는 슬러지의 체류일수에 따라서 슬러지의 탈수성이 변화하는 것을 해석하기 위하여 단계적 승압 여과법에 의한 평균비저항을 나타내었다. 각 여과압력조건에서 슬러지 체류일수가 길어질수록 평균비저항이 증가하므로 슬러지 저류조에 적정체류시간을 초과하여 저장되는 것은 슬러지 탈수효율을 저하시킬 수 있다.

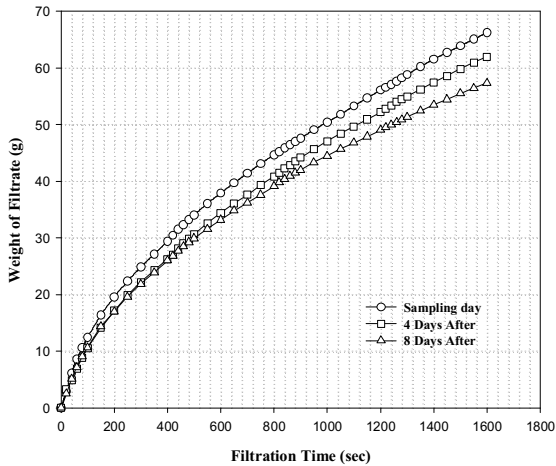


Fig. 4. Results of pressure filtration for different detention time.

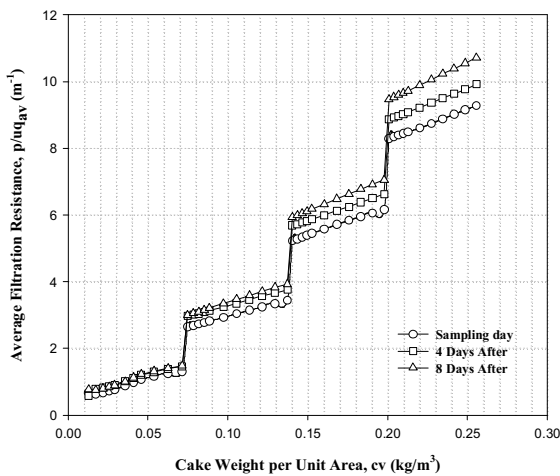


Fig. 5. The variation of filtration resistance, $P / \mu q_{av}$ for detention time in the pressure filtration process.

Table 3. Variation of average specific resistance, α_{av} according to the sludge detention time

Sludge Retention Time	Average Specific Resistance α_{av} ($\times 10^{12}$ m/kg)			
	49	98	147	196
Applied Pressure, p(kPa)	49	98	147	196
Sampling Day	25.75	25.65	32.84	36.08
4 Days After	28.75	25.63	32.83	38.28
8 Days After	27.86	30.16	38.99	45.72

3.3 저류조 슬러지의 탈수 파일럿 테스트

3.3.1 Nylon Multi-NY840D 여포 사용

탈수공정의 효율을 개선하기 위해서는 적절한 여포를 선택하여 사용하는 것이 중요한데, 여포의 특성에 따라 탈수속도와 세정효과에 영향을 주게 된다. 여포는 단사여포(monofilament filter cloth)와 복사여포(multifilament filter cloth)로 크게 구분할 수 있는데, 동일한 재질일 때 단사여포는 복사여포보다 일반적으로 투수성이 좋아 탈수에 유리하다. 본 연구의 대상인 A 정수장에서 사용하는 여포는 공기투과도가 $84 \text{ cc/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 로 투수성이 좋은 Nylon Mono-100%를 적용하고 있었으며, 이와 같은 재질의 Nylon으로 된 다른 공기투과도의 여포를 사용하여 서로 비교분석 하기 위해 공기투과도가 $11 \text{ cc/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 인 Nylon Multi-NY840D 여포를 실험에 함께 사용하였다. 탈수 약품은 E사의 양이온계 고분자 응집제인 Yang Floc C-101P를 투여하여 슬러지 개량효과를 평가하였으며 폴리머 투여율은 슬러지 건조고형물 중량에 대한 폴리머 중량비로서 나타내었다. 농축조 슬러지가 저류조로 이송되어 저류조에서 2~3일 체류하는 경우가 있어 체류시간의 영향을 알고자 저류조 슬러지와 농축조 슬러지 각각에 대해 파일럿 테스트를 수행 하였다.

Fig. 6에는 Nylon Multi-NY840D 여포를 이용하여 실험하였을 때 저류조 슬러지를 이용하여 탈수 폴리머 투여율에 따른 여액 발생량을 나타내었다. 여기서 초기 20분까지는 0.1% 투여율일 때 여액량이 증가하는 추세를 보였으나 20분 후부터는 폴리머를 주입하지 않은 것과 비슷한 경향으로 보여 슬러지 개량의 효과가 근소한 듯 보였다. 그러나 0.2%의 투여율은 폴리머를 주입하지 않은 것에 비해 약 1.5배의 여액 발생량의 증가를 보이는 것으로 나타났다.

그리고 Table 4에는 폴리머 투여율에 따른 여액발생량 실험 종료 후 발생한 케이크의 특성과 파일럿 테스트에서의 탈수 처리율과 탈수 속도를 나타내었다. Nylon Multi-NY840D 여포를 이용하여 슬러지에 약품을 주입하지 않는 방식으로 실험 하였을 때 $0.71 \text{ kg DS/m}^2 \cdot \text{hr}$ (DS = Dried Solids)의 탈수 속도가 나타났으며, 0.1%의 투여율일 때 탈수 속도는 $0.81 \text{ kg DS/m}^2 \cdot \text{hr}$, 그리고 0.2%의 투여율일 때 탈수 속도는 $1.08 \text{ kg DS/m}^2 \cdot \text{hr}$ 로 나타났다. 비록 함수율은

약품을 투여하였을 때 약 2%씩 증가가 나타났으나, 0.1%와 0.2%의 투여율에서 각각 14%, 52%의 탈수 속도 증가를 보였다. 따라서 약품을 투여하지 않는 방식에 비해 약품을 투여하였을 경우 탈수성이 크게 향상됨을 알 수 있다.

그리고 가압여과는 슬러지 주입, 여과, 압착 및 케이크의 배출단계로 이어지는 회분식 공정이므로 슬러지 주입으로부터 케이크의 배출까지의 과정을 한 주기(cycle)로 구분할 수 있다. 한 주기 당 처리율의 변화를 측정한 결과 주기 당 탈수처리율은 약품을 투여하지 않는 방식으로 실험하였을 때 1.90 kg DS/m² · cycle로 나타났다. 0.1%의 주입율일 때 주기 당 탈수처리율은 2.15 kg DS/m² · cycle, 그리고 0.2%의 투여율일 때, 2.90 kg DS/m² · cycle로 주기 당 탈수처리율은 0.1%의 투여율과 0.2%의 투여율에서 각각 1.2배, 1.5배 향상되는 경향을 보였다.

3.3.2 Nylon Mono-100% 여포 사용

Nylon Multi-NY840D 여포를 사용하여 실험한 방법과 동일한 방법으로 Nylon Mono-100%를 사용하여 실험 하였다.

Table 4. Data of dewatering pilot test for storage tank sludge (Media=Nylon Multi-NY840D)

Polymer Dose		0.0%	0.1%	0.2%
Cake	Weight(kg)	1.60	1.92	2.57
	Thickness(mm)	8.6	9.3	17.3
	Water Content(%)	64.8	66.6	66.2
Cyclic Dewatering Rate (kg DS/m ² · cycle)		1.90	2.15	2.90
Dewatering Velocity (kg DS/m ² · hr)		0.71	0.81	1.08

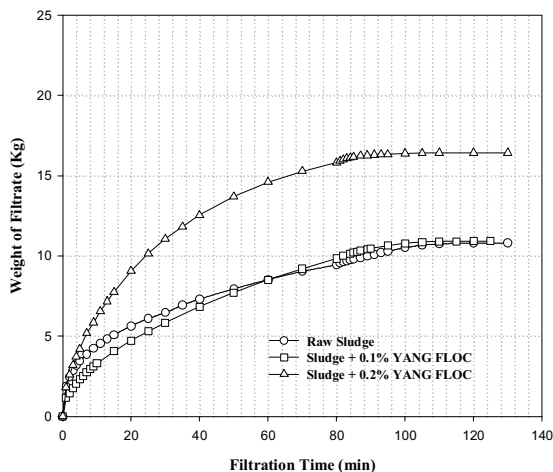


Fig. 6. Sludge dewatering process pilot test for storage tank sludge (Media=Nylon Multi-NY840D).

Fig. 7에는 Nylon Mono-100% 여포를 이용하여 실험하였을 때 저류조 슬러지에 대한 탈수 폴리머 투여율에 따른 여액발생량을 나타내었다. 여기서는 약품을 투여하지 않는 방식에 비해 0.1%와 0.2% 탈수 폴리머를 투여하였을 때 모두 약 1.3배 정도의 탈수성 향상이 나타났다. 이는 Nylon Multi-NY840D 여포에서 보인 탈수성과 유사한 값을 나타내었지만 Nylon Multi-NY840D 여포를 사용할 때 80분경에서 여액의 유출이 끝나는 것에 비하여 Nylon Mono-100%여포는 실험의 마지막 단계인 130분까지 여액이 유출되었다. 초기탈수와 여과의 지속성에 대하여 Nylon Mono-100% 여포가 상대적으로 우수한 성질을 갖는 것으로 나타났다.

그리고 Table 5에 Nylon Mono-100% 여포에 대한 폴리머 투여율에 따른 여액발생량 실험 종료 후 발생한 케이크의 특성과 과일렛 테스트에서의 탈수 처리량과 탈수 속도를 나타내었다. Nylon Mono-100% 여포를 이용하여 슬러지를 약품을 주입하지 않는 방식으로 실험 하였을 때 탈수 속도는 0.70 kg DS/m² · hr이었다. 0.1%의 투여율일 때 탈수 속도는 0.73 kg DS/m² · hr, 그리고 0.2%의 투여율일 때 탈수 속도는 0.79 kg DS/m² · hr로 나타났다.

Nylon Mono-100% 여포 역시 0.1% 투여율에서 함수율이 상승하는 경향을 보였으나 Nylon Multi-NY840D여포를 사용하였을 때와 다르게 0.2% 투여율에서 함수율은 약 2% 감소가 나타났다. 그리고 0.1%의 투여율과 0.2%의 투여율에서 각각 4%, 12%의 탈수 속도 증가를 보여 약품을 투여하지 않는 방식에 비해 약품을 투여하였을 경우 탈수성이 향상되나 Nylon Multi-NY840D 여포를 이용하였을 때에 비해 탈수성 개선이 적은 것으로 나타났다.

Nylon Mono-100% 여포를 사용한 시험에서, 주기 당 탈수처리율은 약품을 투여하지 않는 방식으로 실험하였을 때 1.88 kg DS/m² · cycle로 나타났으며, 0.1%의 투여율일 때 주기 당 탈수처리율은 1.94 kg DS/m² · cycle, 그리고 0.2%의 투여율일 때, 2.11 kg DS/m² · cycle로 0.1%의 투여율과 0.2%의 투여율에서 각각 1.04배, 1.13배 향상되는 경향을 보였다.

Table 5. Results of dewatering pilot test for storage tank sludge. (Media=Nylon Mono-100%)

Polymer Dosage		0.0%	0.1%	0.2%
Cake	Weight(kg)	1.63	1.80	1.75
	Thickness(mm)	8.3	7.2	9.3
	Water content(%)	65.6	67.7	63.9
Cyclic Dewatering Rate (kg DS/m ² · cycle)		1.88	1.94	2.11
Dewatering Velocity (kg DS/m ² · hr)		0.70	0.73	0.79

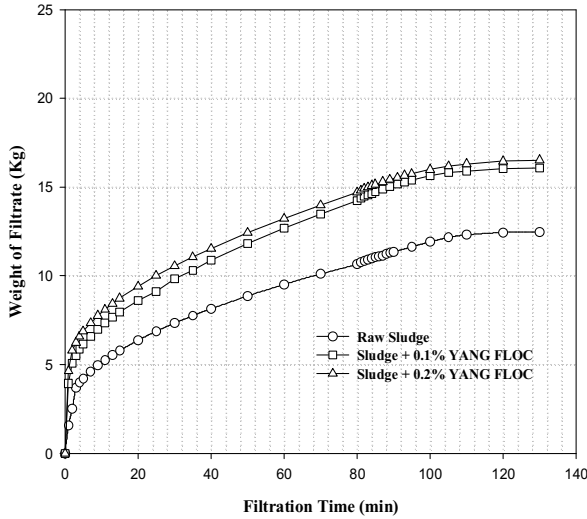


Fig. 7. Sludge dewatering pilot test for storage tank sludge(Media =Nylon Mono-100%).

3.4 농축조 슬러지 탈수 파일럿 테스트

Fig. 8에는 농축조 슬러지를 이용하여 0.1% 폴리머 투여율 일 때 Nylon Multi-NY840D 여포와 Nylon Mono-100% 여포로 여액 발생량을 비교하였고, Table 6에는 폴리머 투여율에 따른 여액 발생량 시험이 종료된 후 얻어진 케이크의 특성과 파일럿 테스트에서의 탈수 처리량과 탈수 속도를 나타내었다.

농축조 슬러지에 대해서 Nylon Multi-NY840D 여포를 사용하였을 경우 2.5배, Nylon Mono-100% 여포의 경우는 2.1 배로 모두 탈수 여액량이 크게 상승하는 것으로 나타났고 80분경에 여액 유출이 끝나는 것으로 나타났다. 그리고 탈수 속도 면에서 폴리머를 투여하지 않는 방식으로 실험하였을 때 0.59 kg DS/m² · hr의 탈수 속도를 얻었으며, 0.1%의 폴리머 투여율에서 Nylon Multi-NY840D 여포를 사용하였을 때 탈수 속도는 0.92 kg DS/m² · hr, 그리고 같은 투여율에서 Nylon Mono-100% 여포의 경우에 탈수 속도는 0.93 kg DS/m² · hr로 나타나 각각 탈수 속도면에서 56%, 57%의 개선을 나타내었다.

그리고 함수율 면에서도 두 여재 각각 함수율이 3%씩 감소하는 경향을 보였다. 주기 당 탈수처리율에서도 폴리머를 투여하지 않는 방식으로 실험 하였을 때 1.58 kg DS/m² · cycle로 나타났으며, Nylon Multi-NY840D여포를 사용하였을 때 주기 당 탈수처리율은 2.45 kg DS/m² · cycle, 그리고 Nylon Mono-100% 여포의 경우 2.51 kg DS/m² · cycle로서 여재별로 각각 1.6배씩 향상되는 경향을 보여 슬러지 개량 효과를 나타내었다.

그리고, Table 5와 Table 6에서 여재를 동일하게 Nylon Mono-100%를 적용하고 폴리머 투여율을 0.1%로 조절한 경우에 대하여 탈수속도를 비교하면 농축조 슬러지는 0.93 kg DS/m² · hr 이고 저류조 슬러지는 0.79 kg DS/m² · hr를 나타내었다. 실험실 압력여과 실험에서 얻어진 경향과 마찬가지로 현장실험에서도 체류시간의 영향으로 저류조 슬러지가 농축조 슬러지보다 탈수속도가 15% 감소하는 것으로 나타났다.

Table 6. Results of dewatering pilot test for thickened sludge

Polymer Dose		0.0% (Multi)	0.1% (Multi)	0.1% (Mono)
Cake	Weight(kg)	1.48	2.11	2.16
	Thickness(mm)	7.8	15.2	10.4
	Water content(%)	68.0	65.3	65.4
Cyclic Dewatering Rate (kg DS/m ² · cycle)		1.58	2.45	2.51
Dewatering Velocity (kg DS/m ² · hr)		0.59	0.92	0.93

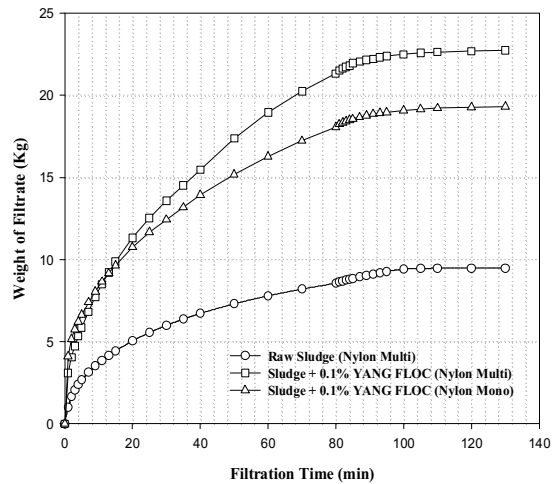


Fig. 8. Sludge dewatering process pilot test for thickened sludge (Media=Nylon Multi-NY840D, Nylon Mono- 100%).

4. 결론

본 연구에서 실험실에서의 여과시험과 파일럿 테스트를 수행하여 정수 슬러지의 탈수에 대하여 체류시간, 입도분포, 여재가 미치는 영향을 평가하고 정수 슬러지의 탈수효율의

개선을 모색하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 정수장의 농축조 슬러지에 대하여 채취시점부터 4일후, 8일후의 체류일수 별 입도분포를 분석한 결과 1 μm 이하 입자의 체적비가 체류일수 경과에 따라 증가하고 입자의 비표면적이 증가 하였다. 농축조 슬러지가 이송되어 저류조에서 체류하는 시간을 최대한으로 짧게 함으로써 미세입자의 증가를 억제할 수 있다.

2) 저류조 체류시간이 증가할수록 단위시간당 여액 발생량이 감소하고 여과저항이 상대적으로 증가함을 보였다. 단계적 승압 여과법에 의하여 측정된 슬러지의 평균비저항은 각 여과압력 조건에서 슬러지 체류일수가 길어질수록 평균비저항이 증가하는 것으로 나타나 슬러지 저류조에 적정체류시간을 초과하여 저류하는 것은 탈수효율을 저하하는 것으로 나타났다.

3) 저류조 슬러지에 대해 파일렛 테스트에서 Nylon Multi-NY840D 여포를 사용하였을 때 80분경에서 여액유출이 끝나는 것에 비하여 Nylon Mono-100% 여포는 여과 마지막 단계인 130분까지 여액이 유출되었다. 초기탈수와 여과의 지속성에 대하여 Nylon Mono-100% 여포가 상대적으로 우수한 성질을 갖는 것으로 나타났다.

4) Nylon Mono-100% 여포를 사용하는 시험에서 저류조 슬러지에 대하여 주기 당 탈수처리율은 약품을 투여하지 않는 방식으로 탈수하였을 때 1.88 kg DS/m² · cycle로 나타났으며, 0.1%의 투여율일 때 주기 당 탈수처리율은 1.94 kg DS/m² · cycle, 그리고 0.2%의 투여율일 때, 2.11 kg DS/m² · cycle로 0.1%의 투여율과 0.2%의 투여율에서 각각 1.04배, 1.13배 향상되는 경향을 보였다.

5) 농축조 슬러지의 탈수속도의 해석으로부터 Nylon Multi-NY840D 여포를 사용하고 폴리머를 투여하지 않는 방식으로 시험하였을 때 0.59 kg DS/m² · hr의 탈수속도를 얻었고 0.1%의 Yangfloc 폴리머의 투여율에서 탈수속도는 0.92 kg DS/m² · hr로 나타나 56%의 탈수속도 증가를 보였고 생성 케이크의 함수율은 3% 감소하여 폴리머에 의한 슬러지 개량효과를 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 2006학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 연구의 수행에 도움을 주신 (주)섬진 EST에 감사사를 드립니다.

참고문헌

1. 권동민 (1999) 정수슬러지 탈수공정의 최적화, 공학박사 학위논문, 부경대학교.
2. 김은호 이미경 김형석 성낙창 허중수 황영기 (1999) "정수장슬러지의 전처리에 의한 탈수특성" *한국환경농학회지*, 18(4), pp. 316~320.
3. 문용택, 김병군, 김연권, 김홍석 (2007) "체류시간에 따른 정수장 슬러지의 탈수특성," *상하수도학회지*, 21(6), pp.709~715.
4. 변석중, 임제현, 김현철, 권재현, 이석헌 (2005) "정수 슬러지의 특성이 탈수공정 전처리를 위한 폴리머의 최적 주입량 결정에 미치는 영향," *대한상하수도학회·한국물환경학회 2005공동춘계학술발표회 논문집*, pp.251~254.
5. 이진철, 유명진, 이석헌 (2007) "한강수계 정수장 슬러지 탈수특성 평가," *대한상하수도학회·한국물환경학회 2007공동추계학술발표회 논문집*, pp.B59~B65.
6. 정종식, 김정대, 이재복, 이재근, 정원섭 (2003) "정수슬러지의 전기탈수에서 전기화학적 전처리의 응용에 관한 연구," *대한환경공학회지*, 25(9), pp.1092~1099.
7. Karr, P. R. and T. M. Keinath (1978) "Influence of particle size on sludge dewaterability," *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 50, pp. 1911~1920.
8. Lawler, D. F., Y. J. Chung, S. J. Hwang and B. A. Hull (1986) "Anarobic digestion - Effects on particle size and dewaterability," *Jour. Water Poll. Control Fed.*, 58, pp.1107~1117.
9. Tiller, F. M. and W. Li (2002) *Theory and Practice of Solid/Liquid Separation*, 4th Ed., University of Houston, pp.6-1~7-19.
10. Yang, Y., Y. Q. Zhao, P. Kearney (2008) "Influence of ageing on the structure and phosphate adsorption capacity of dewatered alum sludge," *Chemical Engineering Journal*, 145(4), pp.276~284.
11. Wakeman, R. J. (2007) "Separation technologies for sludge dewatering," *Jour. of Hazardous Materials*, 144(1), pp.614~619