

## 석회석을 이용한 소화슬러지 탈수성 개선 및 최적조건 결정에 관한 연구

김은호 · 서정윤\*  
창원대학교 환경공학과

### A Study on Improving Dewaterability and Determining Optimum Condition of Digested Sludge Using Limestone

Ean-Ho Kim · Jeoung-Yoon Seo<sup>†</sup>

Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University  
(Received March 5, 2004; Accepted July 10, 2004)

#### ABSTRACT

The purposes of this study were to examine applicability of limestone as a conditioning agent and to determine the optimum conditions for improving dewaterability of digested sludge. The optimum conditions for temp., pH, dosage, particle size, time, and pressure was 30°C, 7, 45 g/l, 100 mesh, 30 min., and  $2.66 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , respectively. On the basis of induced optimum conditions, if adding limestone in digested sludge, it estimated that its specific resistance was  $1.43 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ . Therefore, it seemed that we could utilize limestone as conditioning agent for improving dewaterability of digested sludge.

**Keywords:** limestone, digested sludge, dewaterability

#### I. 서 론

슬러지의 해양투기가 금지와 더불어 지속적인 하수도 보급율의 증대에 따라 슬러지의 처리·처분시 상당한 환경문제를 야기할 것으로 예상된다.<sup>1)</sup>

그러므로, 이와 같은 슬러지를 처리·처분할 경우에 탈수과정을 거치는 것은 슬러지에 함유되어 있는 수분을 제거하여 처분하여야할 슬러지량을 감소시키기 위함이다. 일반적으로 슬러지 처리비는 하수처리비용의 전체의 1/2~1/4 정도에 해당되며,<sup>2)</sup> 이 중에 슬러지 탈수처리가 가장 큰 비율을 차지한다. 따라서, 슬러지 탈수에 소요되는 비용을 감소시킬 수 있다면 폐수처리비용을 효과적으로 감소시킬 수 있으므로 슬러지 탈수성 증진을 위해 무엇보다도 슬러지 개량이 우선적으로 수행되어야할 것이다. 슬러지 개량에는 크게 물리·화학적 및 생물학적인 방법 등이 널리 이용되고 있지만 재

활용 측면에서 폐굴껍질,<sup>3)</sup> 연탄재<sup>2)</sup> 및 비산재<sup>4)</sup> 등을 슬러지 개량제로써 활용하려는 다양한 접근도 이루어지고 있다. 이들은 다공성이며 투과가 잘되는 불활성 물질로 구성되어 있어 탈수전 단계에 첨가하여 슬러지가 압축되면서 발생하는 폐쇄현상을 방지할 뿐만 아니라 화학개량제 보다 탈수과정에 있어 변화가 거의 없는 장점을 지니고 있다. 한편, 국내 석회석 매장량<sup>5)</sup>은 '97년 현재  $26,800 \times 10^3 \text{ ton}$  정도로서 비교적 풍부할 뿐만 아니라 석회석은 다량의  $\text{Ca}^{2+}$  성분 등으로 구성되어 있고 석회석 면적이 불규칙하여 비표면적이 높고 다량으로 함유되어 있는  $\text{Ca}^{2+}$ 은 자신이 갖는 양(+전하)의 역할로 응집을 촉진시키고 탈수케이크의 다공질화로 처리상의 슬러지 입자가 서로 입자사이에 들어가 지지하게 되어 액이 흐를 수 있는 간격을 가지게 하며 그 외에 플릭의 무게를 무겁게 하여 침전성을 좋게 하는 등 장점을 지니고 있어 약간의 전처리를 한다면 슬러지 개량제로서 재활용성이 충분히 있을 것으로 여겨진다.

따라서, 본 연구에서는 석회석을 소화슬러지의 탈수성 개선을 위한 개량제로써 활용성을 검토하고 최적의 조건을 도출하고자 한다.

<sup>†</sup>Corresponding author : Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University  
Tel: 82-55-279-7562, Fax: 82-55-281-3011  
E-mail : syseo@sarim.changwon.ac.kr

## II. 실험 및 방법

### 1. 석회석의 성상

석회석을 슬러지 개량효율 증진을 위한 개량제로써의 이용가능성을 평가하기 위해서 Rigaku X-Ray Spectrometer RIX 2000으로 형광 X선 분석을 행하였다. 그 결과, Table 1에 나타난 바와 같이 CaO 성분이 석회석과 소석회에 각각 47.58와 62.68%가 함유하고 되어 있어 석회석이 소석회에 비하여 함유량이 낮지만 비교적 많은 함유량을 지니고 있는 것을 알 수 있으며 그 외 성분 함유량은 비슷한 것을 알 수 있다.

따라서, 석회석은 슬러지 탈수성 증대를 위한 개량제로써 활용 가능성이 충분할 것으로 여겨진다.

**Table 1.** Chemical properties of limestone used in this study

Component	Limestone	Lime <sup>6)</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1.45	0.39
CaO(%)	47.58	62.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.46	0.06
K <sub>2</sub> O(%)	0.7	0.39
MgO(%)	0.82	1.22
MnO(%)	0.01	0.01
Na <sub>2</sub> O(%)	0.65	0.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.02	0.01
SiO <sub>2</sub> (%)	8.11	7.1
TiO <sub>2</sub> (%)	0.01	ND
Ig. Loss(%)	40.19	28.09

**Table 2.** Characteristics of digested sludge used in this study

Items	Ranges(Average)
Water content(%)	95.4~96.6(96)
TS(%)	3.4~4.6(4)
Temperature(°C)	24.3~26.5(25.4)
pH(-)	7.2~7.6(7.4)

**Table 3.** Experimental conditions for estimating dewaterability using limestone

	Temp. (°C)	pH (-)	Dosage (g)	Size (Mesh)	Time(min.)		Pressure (×10 <sup>4</sup> N/m <sup>3</sup> )
					Rapid (130rpm)	Slow (50rpm)	
Run 1	15~50	7	9	100	5	25	2.66
Run 2	30	3~12	9	100	5	25	2.66
Run 3	30	7	0~15	100	5	25	2.66
Run 4	30	7	9	20~200	5	25	2.66
Run 5	30	7	9	100	5	5~55	2.66
Run 6	30	7	9	100	5	25	2.66~7.98

### 2. 소화슬러지의 특성

본 연구에 사용된 시료는 P 시에 위치한 J. 하수종말 처리장에서 발생하는 소화슬러지를 채취하여 사용하였다. 보관하여야 할 경우에는 4°C에서 냉장보관하였다.

Table 2는 채취한 소화슬러지의 특성을 보여주고 있다.

Table 2에서 알 수 있듯이 슬러지의 함수율과 TS (Total Solids)는 각각 95.4~96.6와 3.4~4.6%의 범위에 있고 채취당시 온도는 평균 25°C이었으며 pH는 7.2~7.62의 범위를 유지하였다. 일반적으로 슬러지는 미세한 고형물질이 많이 존재하여 탈수시 여과막을 폐쇄시키므로 응집제나 개량보조제를 사용하지 않고서는 탈수하기가 어렵다.

### 3. 방법

#### 1) 석회석을 이용한 슬러지 개량

본 연구에서는 석회석의 슬러지 개량제로서의 활용성을 검토하기 위하여 Jar tester를 이용하였으며 Table 3에 나타난 실험 조건, 즉 온도, pH, 주입량, 입경, 개량시간 및 압력 등의 물리·화학적 인자를 다양하게 변화시키면서 탈수성을 평가하였다. 온도의 영향에서는 300 ml 비이커에 입경 100 mesh인 석회석을 9g 첨가한 후에 pH 7로 조절된 소화슬러지 200 ml을 넣고 온도를 15~50°C까지 변화시키면서 Jar tester를 이용하여 급속교반(130 rpm) 5분과 완속교반(30 rpm) 25분 후에 이것을 10분 동안에 침전시키고 나서 Siphon을 이용하여 상등수 80 ml을 제거한 다음에 잔존 120 ml을 골고루 혼합한 후에 100 ml을 채취하여 대상시료로써 탈수성 평가에 사용하였다. 주입량의 영향에서는 300 ml 비이커에 입경 100 mesh인 석회석 주입량을 0~15g으로 첨가한 후에 pH 7로 조절된 소화슬러지 200 ml을 넣고 온도 30°C의 조건하에서 Jar tester를 이용하여 급속교반(130 rpm) 5분과 완속교반(30 rpm) 25분 후에 이것을 10분 동안에 침전시키고 나서 Siphon을 이용하여 상등수 80 ml을 제거한 다음에 잔존 120 ml을 골고루

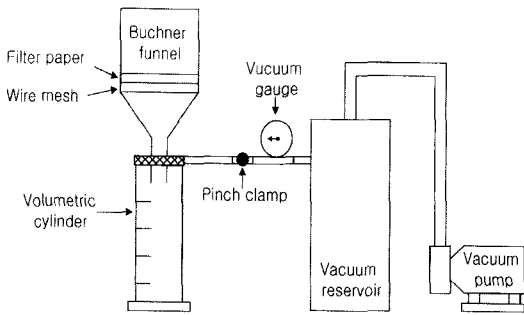


Fig. 1. Schematic diagram of Buchner funnel test apparatus.

혼합한 후에 100 ml을 채취하여 대상시료로써 탈수성 평가에 사용하였다. 또한, pH, 주입량, 입경, 개량시간 및 탈수압력의 영향에서도 Table 3에 나타난 바와 같이 각각 실험조건에 따라 석회석 입경 20~200 mesh, 온도 10~40°C, pH 3~12 및 개량시간 10~60분까지 변화시키면서 온도의 영향과 동일한 조건으로 대상시료를 조제하여 탈수성 평가에 사용하였다.

2) 슬러지 탈수성평가

Fig. 1은 슬러지의 비저항계수를 측정하기 위한 Büchner funnel 시험장치를 나타내고 있으며 압축계가 연결된 진공펌프, Büchner funnel, 300 ml 메스실린더, 글라스 아답터로 구성되어 있고 모든 연결부는 타이콘 튜브로 연결하였다. 슬러지 개량을 거친 후에 본 연구에서의 실험진행은 다음과 같이 행하였다. 판넬에 직경 90 mm, Pore size 6µm인 Adventec 사의 No. 2 여지를 놓은 다음 증류수로 적시어 여과지를 봉입하고 판넬에 미리 조제된 시료 100 ml을 붓고 10초 동안에 자연배수시킨 후에 각 실험조건에 따라 탈수시키며 10초 간격으로 여액량을 측정하고 10초 동안에 여액량이 1 ml 이하까지 떨어지거나 슬러지 케이크에 균열이 생길 때 여액의 부피와 시간기록을 종료하였다.

그리고, 슬러지 케이크의 고형물 질량분율은 슬러지 케이크의 균열이 생길 때 슬러지 케이크의 깊이를 잴 다음 젖은 케이크를 건조기에 넣은 후 18 h 동안 105 ± 1°C에서 건조시킨 후에 무게를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 온도의 영향

일반적으로 온도는 석회석의 용해도에 크게 영향을 미치기 때문에 국내와 같이 사계절 기온의 차이가 뚜렷한 경우에 무엇보다도 중요한 인자중 하나일 것으로 여겨진다.<sup>3)</sup>

Fig. 2는 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로

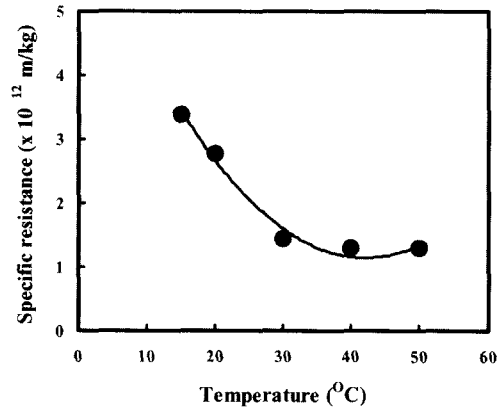


Fig. 2. Effect of temperature on specific resistance.

써 석회석의 활용성을 검토하기 위하여 온도변화(Table 3의 Run 1)에 따른 비저항계수를 보여주고 있다. 온도가 증가함에 따라 비저항계수가 감소하여 탈수성이 증진되는 것을 알 수 있다. 특히, 온도 15~20°C까지 비저항계수가 3.39~2.78×10<sup>12</sup> m/kg으로 그다지 많이 감소하지 않았으나 그 이후 30°C에서는 급격하게 감소하여 1.43×10<sup>12</sup> m/kg을 나타내었으며 또한 40°C에서는 1.29×10<sup>12</sup> m/kg으로 20°C에서 30°C까지의 감소에 비하여 낮을 뿐만 아니라 온도유지를 위한 경제성 등을 고려해볼 때 석회석에 의한 슬러지 개량시 최적 온도는 30°C로 여겨진다.

이와 같이 온도증가에 따라 비저항계수값이 감소하는 이유는 여과에 있어서 저항이 되는 점성인 온도증가에 따라 감소하기 때문이며 또한 높은 온도에서 여과를 방해하는 물질들이 쉽게 용해되거나 분해되었기 때문인 것으로 여겨진다.

2. pH의 영향

일반적으로 용집제로 슬러지를 개량할 경우에 슬러지 입자의 제타전위가 0에 도달할 때, 즉 슬러지 입자가 전하중화점에서 최고의 탈수성을 유지하는 것으로 알려져 있다.<sup>7)</sup>

Fig. 3은 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로써 석회석의 활용성을 검토하기 위하여 pH 변화(Table 3의 Run 2)에 따른 비저항계수를 보여주고 있다. 대체적으로 낮은 pH에서 높은 pH에 비하여 비저항계수가 낮은 것을 알 수 있으며 pH 3의 경우에 비저항계수는 1.29×10<sup>12</sup> m/kg이었으나 그 이후에는 pH가 증가할수록 비저항계수 역시 증가하는 특성을 보여주고 있다.

이러한 결과는 낮은 pH에서 석회석중 Ca<sup>2+</sup> 이온용출이 잘 일어나기 때문에 높은 pH에 비하여 슬러지 고형

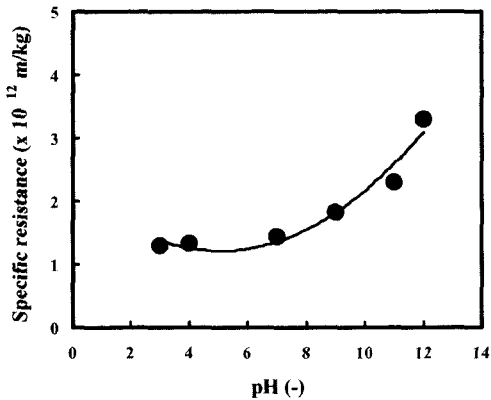


Fig. 3. Effect of pH on specific resistance.

물의 표면전하가 보다 더 쉽게 중화됨에 따라 응집효과로 인하여 탈수능이 다소 우수하였던 것으로 여겨진다.

서<sup>8)</sup>에 의하면 고분자 응집제 첨가에 따른 슬러지 탈수에 있어서 pH 6~7에서 가장 적은 비저항계수를 보이면서 슬러지 탈수성이 가장 좋았다는 연구결과와 Gale<sup>9)</sup>이 주장한 경제적인 슬러지 탈수 한계치인 중성영역과는 상이하지만 pH 3.5에서 소화슬러지의 탈수성이 최적이었다는 고<sup>10)</sup>의 연구결과와는 거의 일치하였다. 그러나, 무엇보다도 소화슬러지 자체의 pH가 거의 중성영역을 유지하고 있음을 고려하여 최적의 pH를 결정하는 것이 바람직할 것으로 여겨진다.

3. 주입량의 영향

Fig. 4는 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로써 석회석의 활용성을 검토하기 위하여 주입량 변화 (Table 3의 Run 3)에 따른 비저항계수를 보여주고 있다.

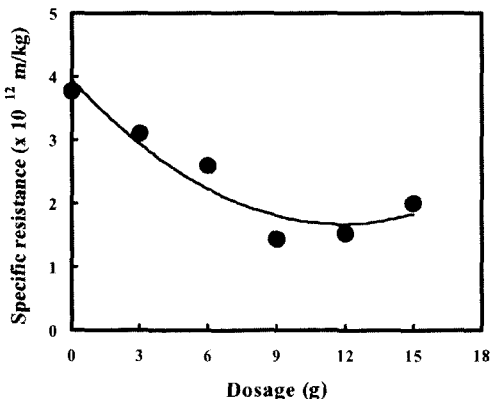


Fig. 4. Effect of dosage on specific resistance.

대체적으로 석회석을 첨가하지 않은 슬러지에 비하여 석회석을 첨가한 경우에 비저항계수가 감소하는 경향을 보여주고 있어 석회석이 슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로서의 활용성이 충분히 있는 것으로 평가되었다.

그러나, 석회석 주입량을 증가시킨다고 해서 반드시 비저항계수가 낮아지는 것은 아니며 슬러지의 특성에 따라 적절한 량의 주입이 효과적임을 알 수 있다. Novak 등<sup>11)</sup>은 개량제를 주입함에 따라 여과비저항이 감소하다가 완만해지는 점과 다시 증가하는 점을 최적 주입농도로 결정하였으며 EPA<sup>12)</sup>에서는 가장 적은 비저항계수에 대응하는 값을 개량제의 최적 주입농도로 결정하였다. 본 연구에서 석회석을 첨가하지 않은 슬러지의 경우에 비저항계수는  $3.78 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ 으로 높게 측정되어 탈수가 어려울 것으로 여겨진다. 반면에 석회석 주입량이 9g일 때 비저항계수는  $1.43 \times 10^{12} \text{ mg/kg}$ 으로 가장 낮았으며 그 이후에는 다시 증가하는 경향을 보여주고 있어 9g이 개량제로써 최적 주입량인 것으로 여겨진다.

4. 입경의 영향

Fig. 5는 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로써 석회석의 활용성을 검토하기 위하여 입경 변화 (Table 3의 Run 4)에 따른 비저항계수를 보여주고 있다.

입경 20 mesh에서 80 mesh까지 변화시킬 경우에 비저항계수는  $3.65 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ 에서  $2.54 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ 까지 크게 감소하였다.

그 이후에는 입경 100 mesh에서 200 mesh까지 변화시키어도 비저항계수는  $1.43 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ 에서  $1.32 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ 로써 완만한 감소현상을 보였다.

그러나, 김<sup>13)</sup>에 의하면 대체적으로 입경이 적을수록

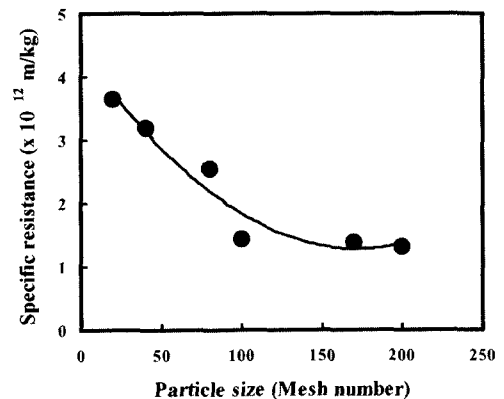


Fig. 5. Effect of particle size on specific resistance.

비저항계수가 적어져 탈수성이 우수한 것으로 평가하였다. 일반적으로 슬러지 개량제 투여시 최적입경이 있는 것으로 알려져 있으며 입경 20~80 mesh(0.84~0.177 mm) 범위의 입자를 사용하는 것이 보다 나은 효과를 낸다고 보고한 바 있으나<sup>14)</sup> 본 연구에서는 소화슬러지 개량시 석회석의 입경은 100 mesh가 적절한 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 석회석이 슬러지의 미세한 고형물이 공극의 폐쇄현상을 방지할 수 있는 다공성의 구조를 형성하여 여과액이 잘 통과할 수 있도록 하기 때문인 것으로 여겨진다.

5. 개량시간의 영향

Fig. 6은 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로써 석회석의 활용성을 검토하기 위하여 개량시간 변화(Table 3의 Run 5)에 따른 비저항계수를 보여주고 있다.

석회석을 첨가하지 않은 슬러지의 경우에 비저항계수는  $3.78 \times 10^{12}$  m/kg이었으나 석회석에 의한 개량후에 개량시간이 증가하면서 비저항계수가 감소하는 것을 알 수 있으며 특히 개량시간 30분에 가장 낮은 비저항계수  $1.43 \times 10^{12}$  m/kg으로써 최적의 탈수성을 나타내었다.

그러나, 개량시간이 경과한 60분에는 비저항계수가  $1.55 \times 10^{12}$  m/kg으로 오히려 증가하여 탈수성이 저하되었다. 이러한 결과는 개량시간 30분까지는 슬러지 개량제 주입과 더불어 슬러지내 미세플러이 큰 플러과 결합하여 부유성 미세플러량이 감소되어 탈수성이 증가하였으나 그 이후에는 개량시간이 증가함에 따라 큰 플러이 파괴되어 탈수성이 저하되는 것으로 판단되며 고<sup>10)</sup>의 연구결과와 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서, 개량시간이 탈수성 증진을 위한 변수로 작용할 수 있음을 보여준다.

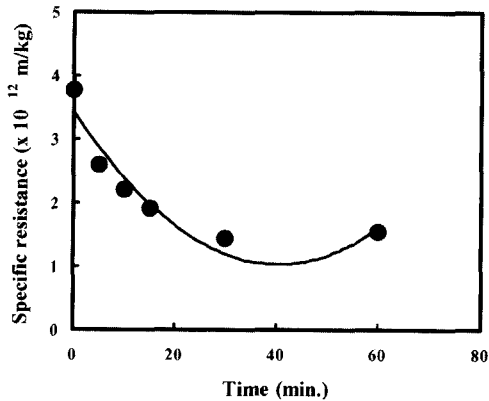


Fig. 6. Effect of conditioning time on specific resistance.

6. 탈수압력의 영향

Fig. 7은 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 개량제로써 석회석의 활용성을 검토하기 위하여 탈수압력 변화(Table 3의 Run 6)에 따른 비저항계수를 보여주고 있다.

탈수압력이  $2.66 \times 10^4$  N/m<sup>2</sup>에서  $7.98 \times 10^4$  N/m<sup>2</sup>까지 증가함에 따라 비저항계수 또한  $1.43 \times 10^{12}$  m/kg에서  $3.25 \times 10^{12}$  m/kg까지 증가하는 경향을 보여주고 있으며 낮은 탈수압력에 비하여 높은 탈수압력으로 갈수록 비저항계수의 증가폭이 더 커지는 것을 알 수 있다. 이 결과는 연탄재를 이용하여 소화슬러지의 탈수성 평가시 탈수압력의 영향에서 언급한 조<sup>2)</sup>와 신<sup>4)</sup>의 연구결과와 일치하는 것을 알 수 있으며 탈수 케이이크내에 공극율의 감소로 인하여 나타나는 탈수 케이이크의 압축성에 기인한 것으로 생각되어진다. 석회석 입자는 탈수 케이이크의 압축성을 저감시키고 배수성을 유지하는데 아주 효과적으로 작용하였기 때문에 무엇보다도 압축계수에 대한 고찰을 통하여 판단하여야 할 것이다. Carman<sup>15)</sup>은 비저항계수를 탈수압력의 함수로 식 (1)과 같이 표현하였다.

$$R = r_1 P^\alpha \text{ 또는 } R = r_2(1 + \alpha P) \tag{1}$$

여기에서,  $\alpha$ : 압축성을 나타내는 상수

P: 탈수압력

$r_1, r_2$ : 실험 슬러지 상수

진공탈수 방정식은 여과 케이이크의 물리적 구조가 변하지 않는다는 가정에서 발달되었다. 따라서, 비압축성 케이이크에서만 성립하며 압축성 케이이크에서는 압력에 의하여 압축되고 케이이크는 변형된다.

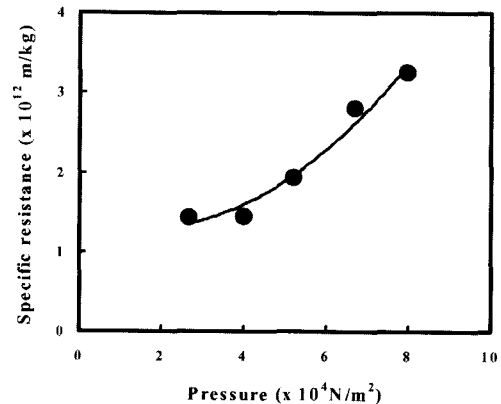


Fig. 7. Effect of pressure on vacuum dewatering.

**Table 4.** Compressibility coefficient from Coakley and Jones

Type of sludge	Compressibility coefficient(S)
Digested	0.7~0.86
Activated	0.6~0.79
Raw	0.87
Humus	0.8
This study	0.37

일반적으로 S가 0인 경우에는 비압축성 탈수 케이크, S가 0보다 큰 경우에는 압축성 탈수 케이크라고 하며 압축계수값이 1정도되는 고압축성 탈수 케이크는 탈수압력이 증가함에 따라 비저항계수 또한 증가하여 탈수속도가 탈수압력 증가에 따라 크게 증가하지 않는 것으로 알려져 있다.

Fig. 7을 이용하여 탈수압력에 따른 비저항계수를 Plotting하여 기울기값인 압축계수(S)를 구하였다. 본 연구에서의 S는 0.37 정도로서 일반적으로 도시 하수슬러지의 압축계수 0.4~0.85 범위<sup>12)</sup>에 비하여 다소 낮은 것을 알 수 있으며 Coakley<sup>16)</sup>와 Jones<sup>17)</sup>가 Table 4에 제시한 압축계수에 비하여 낮은 특성을 보여주고 있어 석회석에 의한 탈수 케이크의 압축성이 개선되었음을 의미한다. 이러한 결과는 석회석이 슬러지 탈수시 효과적으로 다공성 구조상을 형성하여 여과액이 잘 통과하도록 하였기 때문으로 여겨진다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 소화슬러지 탈수성 개선을 위한 개량제로써 석회석의 활용성을 검토하고 개량을 위한 최적의 조건을 결정해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 석회석을 이용하여 소화슬러지를 개량할 시에 온도 30°C, pH 7, 주입량 45 g/l, 입경 100 mesh, 개량시간 30분, 압력  $2.66 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 으로 조절하는 것이 소화슬러지의 탈수성 증진을 위한 최적의 조건인 것으로 평가되었다. 이 최적의 조건에서 석회석을 이용한

소화슬러지 개량시 비저항계수는  $1.43 \times 10^{12} \text{ m/kg}$ 을 나타내었다. 이상의 결과로 미루어볼 때 석회석은 소화슬러지 탈수성 개선을 위해 활용 가능성이 있는 것을 여겨진다.

#### 참고문헌

1. 환경부 : 하수도통계자료, 1996.
2. 조용모 : 연탄재를 여과보조제로 이용한 소화슬러지의 탈수에 관한 연구. 대한환경공학회, 7, 2, 40, 1985.
3. 김은호 : 소화슬러지 탈수성 증진을 위한 폐굴껍질의 재활용. *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 11(2), 176-182, 2000.
4. 신용섭 : 유연탄 여과보조제에 의한 도시하수 1차 슬러지의 탈수특성. 대한환경공학회, 18(8), 971, 1996.
5. 대한광업진흥공사 : 광물자원매장량 현황, 1997.
6. 김은호 : 폐광산폐수의 혐기성 처리. 동아대학교 대학원 박사학위논문, 1998.
7. 김용순 : Alum 슬러지의 유기고분자응집제 개량에 의한 탈수특성. 상수도연구보, 4, 144, 1998.
8. 서정원 : 고분자응집제 첨가에 따른 슬러지의 탈수성 및 점도 특성. 대한환경공학회, 18(12), 1609, 1996.
9. Gale, R. S. : Filtration theory with specific resistance to sewage sludge. *J. Water Pollut. Cont. Fed.*, 622, 1967.
10. 고재봉 : 슬러지 탈수성 증진에 관한 연구. 고려대학교 대학원, 1994.
11. Novak, J. T. : The binding of sludge during filtration. *J. Water Pollut. Cont. Fed.*, 60(2), 206, 1988.
12. EPA : Dewatering municipal wastewater sludges. EPA/625/1-87/014, 1987.
13. 김익성 : 해산폐기물을 이용한 슬러지 탈수. 한국폐기물학회지, 8(2), 87, 1991.
14. Water environment federation, sludge incineration : thermal destruction of residues, 49, 123, 1992.
15. Carman, P. C. : Fundamental principles of industrial filtration. *Chem. Eng.*, London, 168, 1983.
16. Coakley, P. : Research on sewage sludge, carried out in the Civil Eng. Dep. of University College, London, Inst. Sewage purific, Part I, 59, 234, 1995.
17. Jones, B. : Vacuum sludge filtration II, Prediction of filter performance, Sewage and industry wastes. 1103, 1956.