

## 도시하수 슬러지의 혼합비율과 탈수성에 관한 연구

이재운 · 김상훈

국립환경연구원 환경보건연구부

### A Study on the Mixed Ratio and Dewaterability of Municipal Wastewater Sludge

J. W. LEE, S. H. KIM

*Environmental Health Research Department  
National Institute of Environmental Research*

#### Abstract

When incineration method is utilized as a disposal process of sludge, the treatment generally consists of thickening, dewatering and incineration, implying that sludge dewaterability has a close relationship with operating condition of a thickener. Dewatering factors should be, therefore investigated for achieving effective sludge treatment. No research on this has been performed in Korea.

This study has focused on the evaluation on the effects of thickener operating variables on sludge dewatering, including sludge feed types and retention time. Mixing ratio of the first and the second sludge and operation time were varied in order to observe the change of dewaterability and optimum input of chemical conditioner.

#### I. 서론

하수를 물리적, 생물학적 또는 화학적 방

법으로 처리하고 나면 유입수량의 약 1~2%에 해당하는 슬러지가 발생하게 된다. 슬러지란 하수처리 과정에서 수중의 부유물이

중력작용으로 침전한 고형물이고 일반적으로 하수슬러지는 오염성분이 많고 부패성이 매우 크므로 위생 문제 및 환경 문제를 야기시킨다. 따라서 슬러지의 최종적 처리는 매우 중요하다. 일반적인 슬러지 처리공정은 농축(Thickening)—안정화(Stabilization)—탈수(Dewatering)—소각(Incineration)—최종처분(Disposal)으로 된다. 소각 방법은 슬러지 처분의 목적에서 볼 때 아주 바람직한 방법인데 슬러지의 감량화는 물론 에너지화의 한 방법으로 이용될 수 있는 단위공정의 하나로서 유럽이나 일본에서도 그 이용이 점차 증가하고 있고 우리나라에서도 대부분 소각을 많이 이용하게 될 것이다. 이렇게 될 경우 슬러지 처리과정중 안정화에 크게 기여하는 소화공정은 그 의미를 상실하게 된다. 소각이 도입될 경우 일반적인 슬러지 처리공정은 농축—탈수—소각—최종처분으로 구성된다. 슬러지의 탈수성은 탈수성 공정의 운전조건, 즉 농축조의 운전조건에 의하여 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

외국에서는 이 분야에 관한 연구들이 이미 진행되고 있고 이에 따른 운전지침도 마련되어 있으나 국내에서는 조사나 연구가 거의 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 농축조의 운전조건, 즉 발생원이 다른 슬러지의 농축조 유입시 혼합되는 비율, 경과시간에 따른 탈수성 및 개량제의 최적 주입량의 변화를 관찰함으로써 하수처리장의 설계 및 운전을 위한 기초자료로 활용코자 한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 탈수 이론

슬러지 탈수의 가능성을 일률적으로 표현하는 방법으로서 슬러지의 여과 비저항(Specific resistance to filtration)을 측정한다.

Cockley는 Carman의 여과식을 하수슬러지의 탈수에 적용하였는데 이는

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta PA^2}{\mu(rvV + RfA)}$$

$$\frac{dv}{dt} : \text{여과속도}$$

$\Delta P$  : 여과압

$A$  : 유효 여과에서의 면적

$\mu$  : 여액의 점도

$v$  : 단위 여액부피당 형성되는 케익의 부피( $m^3/m^3$ )

$V$  : 여액부피( $m^3$ )

$r$  : 슬러지의 여과 비저항( $m/kg$ )

$Rf$  : 여재의 저항

$v$ (단위 여액 부피당 형성되는 케익의 부피)를  $C$ (단위 여액의 체적당에 생기는 케익 건조 고형질 중량)로 바꾸면

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta PA^2}{\mu(CrV - RfA)}$$

위의 식을 적분하면

$$t = \frac{\mu Cr V^2}{2\Delta PA} = \frac{\mu Rf V}{\Delta PA}$$

$$\text{또는 } \frac{t}{V} = \frac{\mu Cr V}{2\Delta PA} = \frac{\mu Rf X}{\Delta PA}$$

위의 식은  $y=ax+b$ 의 형태로 시간( $t$ )에 따른 여액량( $v$ )을 측정, 그 기울기를 이용하여 다음식으로부터 비저항을 결정할 수 있다.

따라서 여과 비저항

$$r = \frac{2PA^2a}{\mu C}$$

$$a = \frac{\mu Cr}{2\Delta PA^2}$$

2. 슬러지의 탈수성

슬러지를 탈수시키는 목적은 슬러지내의 수분을 제거시켜 처분시켜야 할 슬러지의 양을 감소시키기 위함이다. 일반적으로 탈수는 인위적 혹은 자연적인 힘을 이용하여 고형물로부터 물을 분리하는 단위공정으로서 슬러지의 물리적 특성과 관계가 깊다. 특히 입자의 크기 및 그 분포형태와 결합수 등의 함량은 슬러지의 탈수성을 절대적으로 좌우하며 입자가 떠는 표면 전하의 크기, pH 그리고 압축성(Compressibility) 등이 중요한 요소이다.

슬러지의 발생원별로 작게는 시간에 따라 그 성상이 다르고 탈수성도 달라지게 된다. Karr(1978)는 입자 크기의 분포가 슬러지 탈수성에 미치는 영향을 파악하고자 슬러지입자를 크기별로 분류하였고 탈수성 측정을 실시하였다.

그 결과 표 1에서 나타난 바와 같이 혐

기성 슬러지, 1차 슬러지, 2차 슬러지순으로 탈수성이 나쁘게 나타났고 슬러지가 함유하고 있는 분포는 그 발생원에 관계없이 슬러지의 탈수성을 좌우하며 연탄재나 Fly-ash 미분탄 등은 탈수보조제로 이용하는 경우도 슬러지 입자의 크기 분포를 바꾸며 동시에 압축성을 개선시키는 효과가 있기 때문이다.

III. 실험 및 측정방법

1. 실험개요

농축조로부터 인출된 슬러지를 개량 후 직접 탈수할 경우 1차 슬러지와 2차 슬러지의 혼합비율이 슬러지 탈수성에 미치는 영향을 파악하고 슬러지의 총지체 시간(침전지로 인출↔탈수)에 따른 탈수성의 변화 관찰을 본실험의 주 목적으로 두었던 바 다음과 같은 실험계획을 세워 진행하였다.

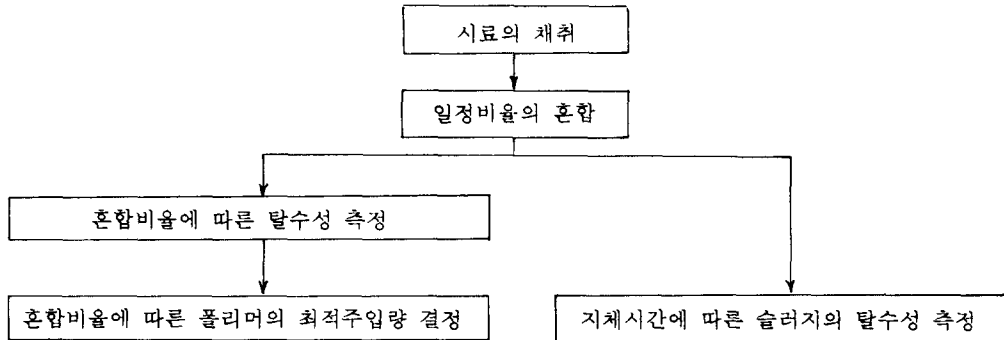
2. 시료의 채취 및 혼합

본 연구에 사용된 시료는 서울특별시 소재하는 중랑하수처리장 제 1공장의 1차 침전지 슬러지 및 2차 슬러지로서 채취지점

표 1. Charcateristics of three sludges : Particle size and dewaterability

	Type of sludge		
	Primary sludge	Activated sludge	Mixed digested sludge
Specific resistance (m/kg)	2.1×10 <sup>14</sup>	4.8×10 <sup>13</sup>	9.3×10 <sup>14</sup>
CST*(Sec)	17	14	144
Total solids(mg/l)	9,698	8,841	10,266
Rigid settable(% of Total)	6,452	1,920	3,374
Fragile settable(% of Total)	2,320	6,587	4,054
Suprer colloidal(% of Total)	355	84	1,997
True colloidal(% of Total)	45	7	301
Dissolved(% of Total)	526	243	540

Note) a : Capillary Suction Time

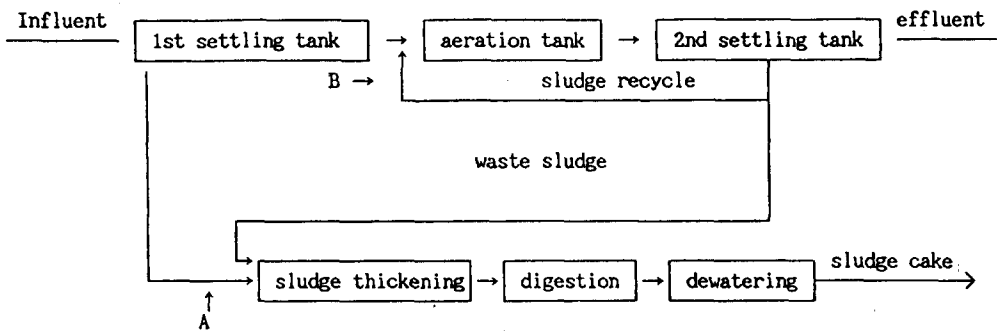


은 그림 1.에 나타내었다. 채취시점부터 실험실로 운반되기까지의 총소요시간은 2 시간 정도였으며 도착 즉시 혼합슬러지가 1차 슬러지의 부피를 기준하여 0, 20, 40, 60, 80 그리고 100%가 되도록 혼합하였다. 혼합된 각 슬러지의 부피는 2l가 되게 하였으며 슬러지의 완전한 혼합을 위하여 Jar-tester 이용, 20분 동안 80rpm의 속도로 mixing 하였다. 본 실험의 목적상 시료의 신선도를 유지할 필요는 없었으므로 혼합시료는 실내에 그대로 방치하고 일정에 따라 분석을 실시하였다.

### 3. 비저항

본 연구에 사용된 비저항 측정장치는 그림 2.와 유사한 형태이며 Pinch Clamp 대신 개스용 밸브를 사용하였다. Funnel과 눈금이 표시된 실린더 외에 주요 부대설비로서 0~76cmHg 범위의 진공 Gauge가 설치되어 있으며 진공 Gauge와 진공펌프 사이에 진공완충 탱크가 위치한다. 이는 측정시작시 밸브를 급히 열어줌으로써 오는 진공압력의 급격한 저하를 최소화하기 위한 방법이다.

Carman이 제시한 여과이론을 이용하여 비저항을 결정하는 방법은 Funnel내의 시



A : Sampling site for primary sludge.  
 B : Sampling site for secondary sludge.

그림 1. Sampling sites.

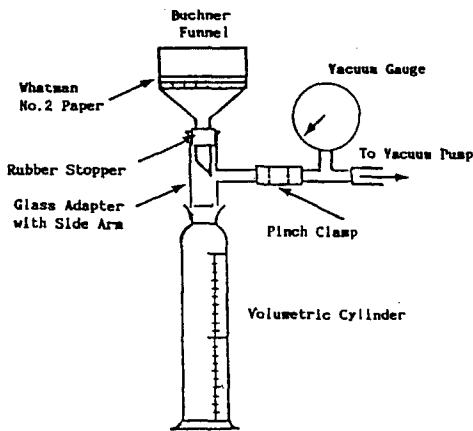


그림 2. Buchner funnel apparatus.

료로부터 분리되어 나오는 여액을 경과시간에 따라 측정하여  $x$  축을 여액의 부피( $V$ )  $y$  축을 시간/여액의 부피( $t/V$ )로 놓고서 기울기를 결정함으로써 계산할 수 있다. 그 외에 압력이나 탈수 케익의 면적 등은 일정하다고 가정한다. 그러나 케익의 고형물 농도 측정은 학자에 따라 견해가 다르며 측정절차도 표준화 되지 않고 있는 실정이다. 따라서 이러한 부분에 대해서는 실험자 자신의 규칙이 필요하며 본 실험에서는 다음과 같은 방법으로 측정을 실시하였다.

#### 4. 입자분포

입자의 분포형태와 슬러지 탈수성과의 관계를 알아보기 위하여 본 실험에서 사용한 측정기는 감지부의 측정원리가 광차단(Light obscuration)으로서 HIAC/ROYCO INS.의 제품이다. 이 감지부(HR-300HA)는 그 측정범위가  $5\sim 250\mu\text{m}$ 이며 분당 90,000 개까지의 입자를 측정할 수 있다는 한계성이 있다. 그런데 슬러지는 고농도의 고형물 집합체이므로 많은 회석이 필요하였다.

이러한 여러 단계의 회석은 단위부피당 함유하고 있는 총 갯수의 파악에 많은 오차를 주었으므로 여기에서는 입자의 분포상태만을 비교하는데 그쳤다.

이 측정기는 HIAC/ROYCO의 PDAS(Particle Distribution Analysis System)로서 감지부, 분류기, PC 그리고 Printer로 구성되어 있다.

#### 5. 최적주입량의 결정

1, 2 차 슬러지 및 일정비율로 혼합된 슬러지 100ml를 취하여 고형물 무게를 기준으로 개량제의 주입량을 변화시키면서 여액량이 62.5ml가 되기까지의 시간을 측정하였다. 이러한 방법을 택한 이유는 개량된 슬러지의 경우 탈수속도가 빨라 시간에 따른 여액의 부피를 정확히 측정할 수 없었기 때문이었다. 개량제로서 사용된 양이온 폴리머는 고분자인 Zetag-92( $15 \times 10^{16}$  by viscosity, about 40% charged chain unit, Allied Colloids Ltd., Bradford, England)로서 0.1%의 수용액을 만든 후 시료에 주입하였다. 개량제가 시료에 주입된 즉시 표준 Jar-tester를 이용하여 급속 300rpm 1분으로 하여 교반한 후 37.5cmHg의 진공압력에서 고·액분리의 속도를 측정하였다.

### IV. 실험결과 및 고찰

#### 1. 슬러지 특성 비교

표 2는 1차 및 2차 슬러지의 특성을 비교하기 위해 비저항과 압축성 측정 결과를 나타내었다. 일반적으로 비저항 결정을 위한 기울기의 결정에 있어서 여재의 저항과 공

표 2. Determination of Specific Resistances

Sludge	Vacuum Pressure (N/m <sup>2</sup> )	Slope (S/m <sup>2</sup> )	Viscosity (N/m <sup>2</sup> )	Specific Resistance (m/kg)	Compressibility Coefficient
Primary Sludge	27,000	4.94 × 10 <sup>11</sup>	0.00124	7.36 × 10 <sup>13</sup>	1.24
	40,000	5.57 × 10 <sup>11</sup>	0.00124	1.23 × 10 <sup>14</sup>	
	50,000	5.57 × 10 <sup>11</sup>	0.00121	1.58 × 10 <sup>14</sup>	
Secondary Sludge	27,000	1.39 × 10 <sup>11</sup>	0.0121	5.34 × 10 <sup>13</sup>	0.99
	40,000	1.41 × 10 <sup>11</sup>	0.0121	7.99 × 10 <sup>13</sup>	
	50,000	1.34 × 10 <sup>11</sup>	0.0012	9.85 × 10 <sup>13</sup>	

※ Cake Area = 0.006358m<sup>2</sup>

※ Solid Concentration = Primary sludge 11.8kg/m<sup>3</sup>  
Secondary sludge 4.7kg/m<sup>3</sup>

극 폐쇄에 따른 곡선부위가 형성되는 것으로 알려져 있으나 그림 3.에서의 본 실험 결과에 의하면 초기에 그런 경향을 보였을뿐 나머지는 직선 형태로 나타났다. 기준압력 37.5cmHg 진공에서 두 슬러지의 비저항을 비교해 보면 1차 슬러지가 1.58 × 10m/kg, 2차 슬러지가 9.85 × 10<sup>13</sup>m/kg 으로서 1차 슬러지가 1.6 배 정도의 높은 비저항을 나타내고 있다. 이는 1차 슬러지의 탈수성이 2차 슬러지보다 2 배 정도 나쁘다는 것을 의미한

다. 동일 시료를 진공압력의 변화에 따라 결정 한 비저항으로부터 두 슬러지의 압축성을 결정하였다. 이는 Carman (1933)이 제시한 경험식 즉,

$$r/r_0 = (P/P_0)^3$$

여기서 S : 압축지수(Compressibility Coefficient)

r, r<sub>0</sub> : 압력 P와 P<sub>0</sub>에서의 비저항  
P, P<sub>0</sub> : 압력

을 이용한 것으로 압력의 변화에 따른 비저항을 비교함으로써 시료의 압축성을 판단하는 가장 간단한 방법이다. 모래같은 입자의 경우에는 윗식의 양변에 대수를 취했을 때 그 기울기 S가 0에 접근할 것이며 입자가 압축성일 경우에는 그림 4.에 나타난 바와 같이 0 이상의 기울기를 나타내게 된다. 그림에서도 알 수 있듯이 1차 슬러지의 경우가 더 가파른 경사를 이루므로 비저항 뿐만 아니라 압축성에도 2차 슬러지보다 큰 것으로 나타났다.

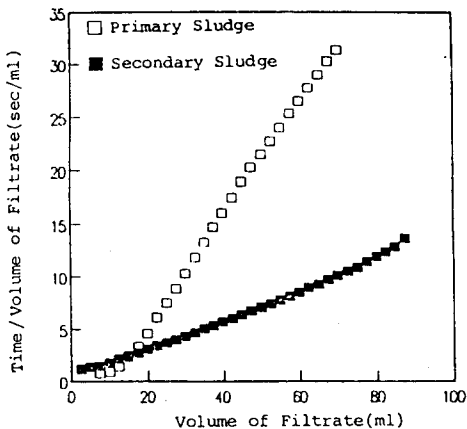


그림 3. Determination of slope b.

2. 슬러지의 혼합에 따른 탈수성의 변화  
탈수성의 측정결과로부터 2차 슬러지의

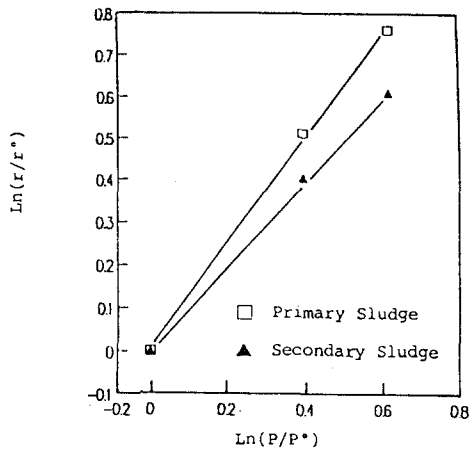


그림 4. Determination of compressibility coefficient.

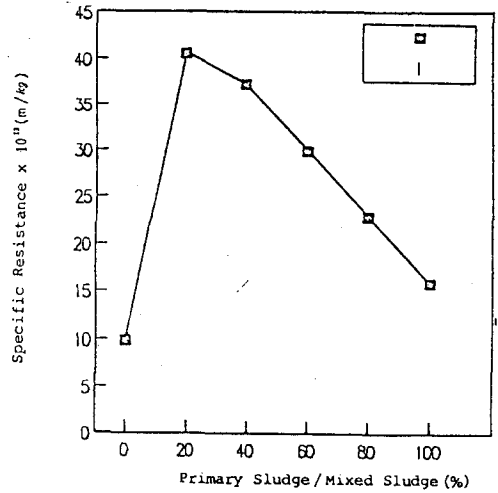


그림 5. Variation of Specific resistance as a function of primary sludge/Mixed sludge

탈수성이 1차 슬러지보다 양호한 것으로 나타났다. 따라서 혼합된 상태로 농축조에 유입된 슬러지는 농축조내에서 일정시간 동안 머물며 감량화 및 균일화 되어 탈수성은 두 슬러지의 중간정도에 위치해야 하며 2차 슬러지의 혼합비율이 증가할수록 그 탈수성은 좋아 질 것임을 예상할 수 있다. 탈수성이 향상된다는 것은 탈수시 화학적 개량제의 투입량이 감소하게 되며 슬러지의 침강성과 탈수성은 밀접한 관련이 있다는 연구결과로부터 농축조의 효율도 증가될 것으로 판단된다.

따라서 두 가지 슬러지의 혼합에 따른 탈수성의 변화를 살펴보고 적정혼합비를 결정하고자 슬러지의 혼합비에 따른 탈수성을 측정해 보았다. 그러나 그림 5.는 혼합된 슬러지의 탈수성이 더 나빠지는 것으로 나타났다. 혼합된 슬러지내에 2차 슬러지의 비율이 증가할수록 비저항도 동시에 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 Notebeart(1975)

가 주장한 바 있는 폐쇄현상(Blocking phenomena)에 기인한 것 같다. 문헌연구의 표 1에서 예시하였듯이 입자분포가 크게 다른 1, 2차 슬러지가 혼합됨으로써 탈수성의 악화를 초래한 것 같다. 또 2차 슬러지의 비율이 감소할 수록 탈수성이 향상된 것은 1차 슬러지의 비율이 증가함에 따라 미세입자 역시 증가함으로써 큰 입자들 사이에서 케익의 일부분으로 작용하여 여재의 폐쇄를 감소시켰다고 판단된다.

본 실험에서도 이러한 현상을 파악하기 위하여 입도측정을 시도하였으나 감지부의 측정한계 즉, 250 $\mu$ m 이상의 입자가 많이 존재하여 감지부를 폐쇄시킴으로써 측정에 실패하였다. 그러나 3일이 지난 후에는 시료의 부패에 따른 입자분포의 변화 때문에 측정이 가능하였다. 그림 6.은 입자의 분포와 탈수성과의 관계를 나타내는 단적인 예로서 큰 입자의 분포분율이 클수록 탈수성은 양호함을 보여주고 있다.

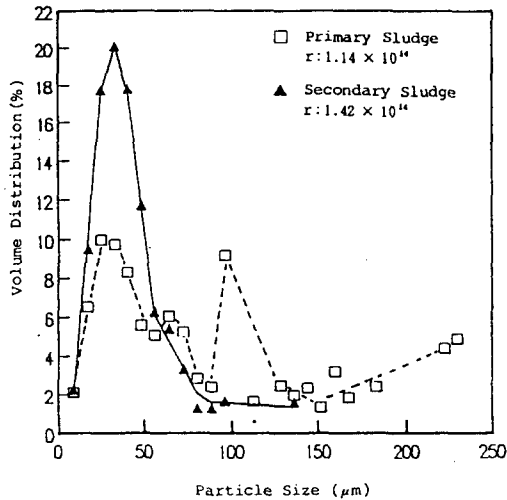


그림 6. Relationship between the particle size distribution and volume auptied.

### 3. 시간의 경과에 따른 탈수성의 변화

EPA(1987)의 design manual 에 의하면 혼합슬러지를 중력식으로 농축할 경우 2차 슬러지의 비율이 1차 슬러지보다 커야 하며, 바닥의 경사를 2.5 : 12 이상으로 유지하는 것이 좋다고 규정하고 있다. 전자의 경우에는 1차 슬러지의 쉬운 부패성 때문이며 후자는 고형물의 체류 시간을 줄여줌으로써 혼합슬러지의 부패에 의한 농축조 운전 방해 줄이기 위해서이다. 이렇듯 시간에 따라 슬러지의 성상은 변하게 되며 이러한 요소가 탈수성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 혼합 슬러지의 시간경과에 따른 비저항을 측정하였다.

그림 7.과 그림 8.에서 알 수 있듯이 혼합 슬러지들은 시간이 경과할수록 전체적으로 탈수성이 향상됨을 보이고 있다. 또 1차 슬러지도 시간이 경과할수록 향상된 것으로 나타났다. 이러한 결과의 원인을 정확히 설

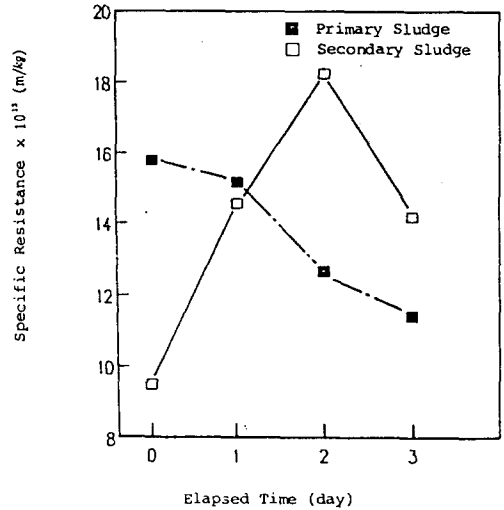


그림 7. Variation of Specific resistances with respect to the change elapsed time.

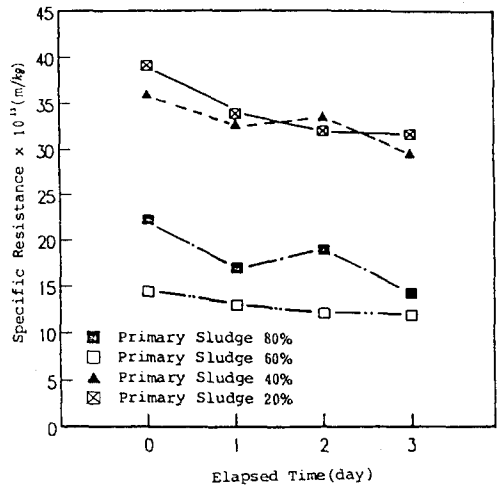


그림 8. Variation of mixed sludge Specific resistance by elapsed time.

명할 수는 없으나 큰 고형물과 비교하여 상대적으로 분해가 쉬운 미세입자들이 줄었고 또한 큰 고형물들도 그 속도는 늦으나 탈수에 방해가 되지 않을 정도의 적당한 크기로 분해되어 입자의 균질성을 유지했기 때문으



로 판단된다. 그러나 2차 슬러지는 정반대의 경향을 보이고 있다. 시간이 경과할수록 탈수성이 악화되었다. 이러한 원인은 부패에 의한 입자의 분해라고 단순히 생각되며 3일이 경과한 후의 탈수성은 동기간 후 1차 슬러지의 탈수성보다 더 나빠져 있음을 비저항 계수의 비교로 알 수 있다.

이상에서 보았듯이 시간의 경과에 따른 슬러지의 탈수성을 관찰한 결과, 혼합슬러지 및 1차 슬러지는 시간이 경과할수록 탈수성이 향상되었고 그와는 반대로 2차 슬러지는 탈수성이 악화되었다. 이러한 결과의 원인은 슬러지의 부패시 입자특성의 변화가 탈수의 측면에서 유리하게 또는 불리하게 작용했기 때문이라 판단된다.

4. 폴리머의 최적주입량 변화

슬러지는 그 발생원에 따라 개량제의 최적주입량이 변화하는 것으로 알려져 있다. 하수도 보급률의 확대 및 처리장의 증설은 슬러지의 발생량을 증가시킬 수 밖에 없으며 슬러지 처리시 개량제에 소요되는 비용을 고려할 때 최적주입량의 파악은 중요하다고 판단되어 그 변화를 관찰하였다. 개량제로 사용된 양이온 폴리머의 양이 증가할수록 그림 9와 그림 10에 나타난 바와 같이 1, 2차 슬러지 및 혼합슬러지의 탈수성은 급격히 향상되고 있다. 유기성 폴리머의 최적주입량을 결정하는데 있어서의 문제점은 변곡점(critical point)이 뚜렷하지 않다는 점에 있었다. 그러나 그림에 나타난 바와 같이 20초 이하에서는 감소속도가 둔화되고 있으므로 20초 이하가 되게 하는 주입량을 최적으로 결정하였으며 이렇게 결정된 최적주

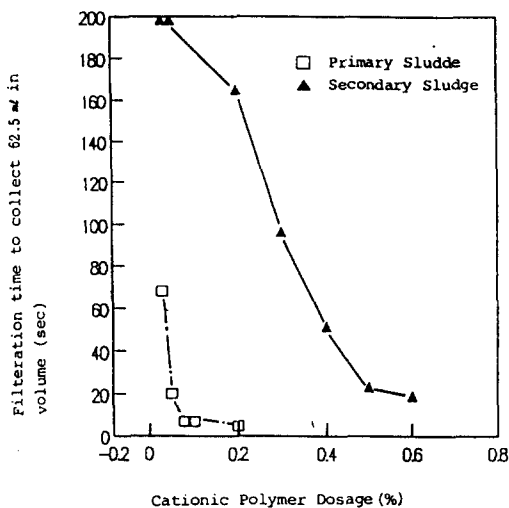


그림 9. Variation of dewaterability with respect to the dosage of polymer aid for Filtration of primary and secondary sludges.

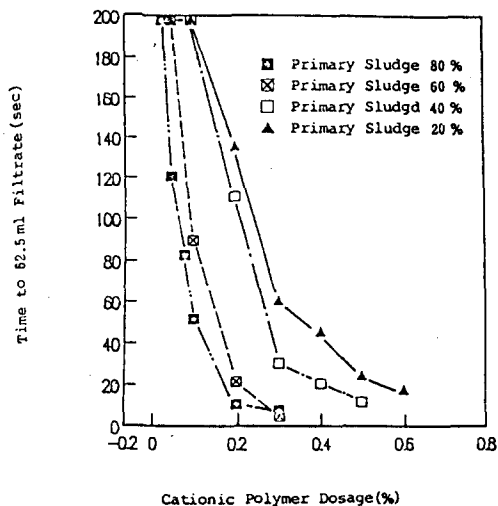


그림 10. Variation of mixed sludge dewaterability by polymer dosage.

입량의 변화를 그림 10.에 도식화 하였다.

미국의 경우에는 진공탈수를 위한 화학적 개량시 폴리머의 최적주입량은 1차 슬러지의 경우 0.03~0.06%(Weight of dry polymer/Weight of dry solids)이며 2차 슬러지의 경우 0.48~0.9%인 것으로 문헌화 되어

있다. 본 연구의 결과에서도 1차 슬러지는 0.08%, 2차 슬러지는 0.6%로서 외국의 경우와 일치하며, 그림 11.에 나타난 바와 같이 2차 슬러지의 비율이 증가할수록 개량제의 최적 주입량이 증가하는 것으로 나타났다.

주입량이 이렇게 변하는 것은 미생물 플락의 형상을 결정하는 중요 요소중 하나로 알려지고 있는 biopolymer의 음이온성에 기인한 것 같다. 즉, 입자의 응집성을 향상시키기 위해서는 화학적 개량제에 의하여 입자의 표면전하를 중화시켜야 하며 혼합슬러지내 2차 슬러지의 비율이 높아짐은 그만큼 중화해야 할 입자의 수가 증가되고 따라서 보다 많은 양의 폴리머가 필요하게 된다는 것이다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 혼합슬러지의 개량시 폴리머의 최적주입량은 2차 슬러지의 비율이 높아질수록 급격히 증가하는 것으로 보아 1차 슬러지의 발생량이 많을 때는 분리농축을, 2차 슬러지의 발생량이 많을 때 혼합농축을 실시함이 소요약품비를 절약하는 측면에서는 유리한 것으로

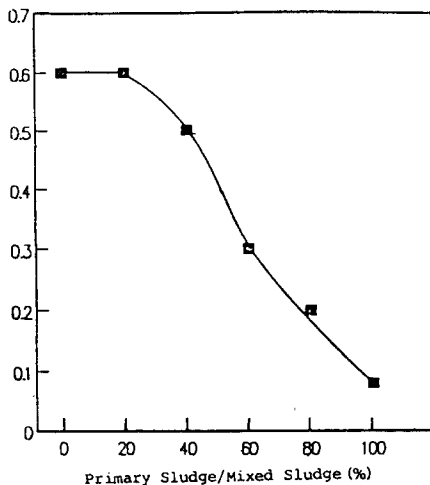


그림 11. Variation of optimum polymer dosage.

나타났다.

## V. 결 론

농축→탈수→소각 공정에 의한 순으로 슬러지를 처리하게 될 경우 농축조로 유입되는 슬러지의 혼합비율, 경과시간 등이 후속되는 탈수공정에 미치는 영향을 규명하고자 하였던 본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 시료로 사용된 중량하수처리장의 1공장 슬러지는 1차 슬러지의 경우 비저항 및 압축성이 각각  $1.58 \times 10^{14}$ , 1.24, 2차 슬러지의 경우는 각각  $9.58 \times 10^{13}$ , 0.99로서 1차 슬러지의 탈수성이 상대적으로 약 62% 낮았다.
2. 슬러지의 혼합비율에 따른 탈수성은 2차 슬러지의 혼합비율이 높아질수록 악화되었으며 혼합후 비율에 관계없이 1차 또는 2차 슬러지의 탈수성보다 낮아졌다.
3. 경과시간에 따른 탈수성을 측정한 결과 1차 슬러지는 시간이 경과될수록 탈수성이 향상되었으며, 혼합슬러지의 탈수성도 혼합비율에 관계없이 향상되었다. 그러나 2차 슬러지의 탈수성은 시간이 경과함에 따라 악화되는 것으로 나타났다.
4. 혼합비에 따른 폴리머의 최적주입량은 2차 슬러지의 비율이 증가할수록 증가하였다.
5. 1차 슬러지의 발생량이 많은 경우에는 분리농축을 실시하여 탈수시킴이 보다 효과적이고 경제적으로 탈수목적을 달

성할 수 있다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 김동민, "폐수처리", 청문각, p. 377. (1988)
2. 조용모, "연탄재를 여과보조제로 이용한 소화슬러지의 탈수에 관한 연구"
3. 권재현, "미분탄 첨가에 의한 하수슬러지의 탈수성 향상 및 열회수에 관한 실험적 연구", 서울대학교 공학석사학위논문, (1988)
4. Ishikawa, T. "Present status and problems of sludge processing and disposal" J. Japan Sewage Works Assoc., 21, No. 243, (1984)
5. Lawler, D.S., Chung, Y.J., Hwang, S.J. and Hull, B.A., "Anaerobic digestion : Effects on particle size and dewaterability", JWPCF, Vol. 58, No. 12, p. 1107 (1986)
6. E.P.A. Design Manual. "Dewatering municipal wastewater sludge", EPA/625/1-87/014. (1987)
7. Vesilind, P.A., "Treatment and disposal of wastewater sludge", Ann Arbor Science, Revised Ed. (1979)
8. Karr, P.R., "Factors influencing the dewatering characteristics of sludge", Ph. D. Dissertation, Clemson Univ, South California, U.S.A. (1978)
9. Christensen, G.L. and R.I. Dick "Specific resistance management ; Nonparabolic data", JASCE, Vol. 111, No. 3, p. 243. (1985)
10. Swanwick, J.D. and Daridson, M.F., "Determination of specific resistance to filtration", The Water and Wastewater Treatment Journal, Vol. 8, p. 386. (1961)
11. Kavanagh, B.V., "The dewatering of activated sludge : Measurements of specific resistance to filtration and Capillary Suction Time", JWPCF, Vol. 79, p. 338. (1980)
12. Weber, JR. W.F., Physicochemical processes for water quality control, Wiley, New York. (1972)
13. Metcalf and Eddy, Inc., Wastewater Engineering, McGraw-Hill, 3rd.(1979)
14. Notebeart, F.F., et al., "A new deduction with a larger application to the specific resistance to filtration of sludges", Water Research, 9, 667.(1975)
15. Busch, P.L. and Stumm, W., "Chemical interaction in the Aggregation of bacteria", Environmental Science and Technology, Vol. 2, No. 1. p. 49. (1968)
16. Tenny, M.W. and Stumm, W., "Chemical flocculation of Microorganisms in biological wastewater treatment", JWPCF, Vol. 37, p. 1370. (1965)
17. J.T., Novak and Haugan, B.E., "Chemical conditioning of activated sludge" JASCE, Vol. 161, No. EE5, p. 993. (1979)