

嫌氣性 消化槽 汚泥의 脫水에 對한 要因分析

彭 鍾 仁

서울大學校 保健大學院

A Study on Dewatering Characteristics of Anaerobic Digested Sludges

Jong In Paeng
*School of Public Health,
Seoul National University*

Abstract

Factors affecting on dewatering characteristics of anaerobically digested or/and elutriated sludges were examined from 15 January 1982 to 30 April 1982, results obtained were as follows;

1. Sludges, either anaerobically digested or/and elutriated sludges, which were produced at the Joong Rang Cheon Sewage Treatment Plant were found to be compressive in its nature, coefficient of compressibility ranged from 0.83 for unelutriated and 1.10 for elutriated.
2. Dosage of FeCl_3 for the anaerobically digested sludges were difficult to establish for the most favorable dosage rate, though the filterability indicated linear improvement with increased dosage from dosing rate excess of over 15% in terms of dry solids by weight, under the conditions of this examination. Optimum filterability were obtained with 9 ~ 11% of FeCl_3 for elutriated sludges, and required CaO, as aids, were appeared to be 2.5 ~ 3.5 times that of the FeCl_3 at that point by weight.
3. The specific resistances for anaerobically digested sludges showed higher value than the elutriated one, being $11 \times 10^{12} \sim 20 \times 10^{12}$ cm/g with no chemical conditioning, and $2 \times 10^{12} \sim 11 \times 10^{12}$ cm/g with conditioned ($\text{FeCl}_3 + \text{CaO}$) contrast to $0.5 \times 10^{12} \sim 2.0 \times 10^{12}$ cm/g for the elutriated.
4. The strength of the alkalinities before and after elutriation were measured to 10,000 ~ 15,000 mg/l and 1,500 ~ 2,000mg/l respectively. These alkalinities affected greatly on the filterabilities together with concentration of the organic matters in the sludges.
5. The yields with 11% FeCl_3 , by weight to the DS, on the elutriated sludges averaged to 14.7 kg/m².hr, and 3.2kg/m².hr for unelutriated sludges. Which was 4.6 times of not elutriated sludges. Elutriated sludges without chemical conditioner added showed much better filterabilities than with 15% of FeCl_3 added to the anaerobically digested and unelutriated sludges.

1. 緒 論

1. 研究의 背景

生活下水 및 産業廢水를 處理하는데 있어서 가장 어렵고도 重要한 工程을 中の 하나는 汚泥의 脫水라고 본다. 汚泥의 脫水方法에는 遠心分離, filter press vacuum filter, dry bed 等 여러가지가 있으나 其中 vacuum filter는 가장 널리 利用되는 機械式 汚泥脫水機로서 生汚泥나 消化汚泥脫수에 모두 利用할 수 있다.¹⁾ 現在 210,000 m³/d의 下水를 處理하는 中浪川 下水處理場의 脫水 設備은 vacuum filter 9臺의 filter press 4臺이며 여기서 發生되는 汚泥 cake의 含水度는 filter press 가 65%, vacuum filter 가 75%인데 約 144 ton/d 程度 發生되고 있다. 中浪川 嫌氣性 消化槽 汚泥의 特徵은 下水處理時 發生하는 生汚泥(raw sludge)와 剩餘汚泥(waste activated sludge)만으로는 消化槽에서 發生되는 메탄가스(CH₄) 量을 우리가 願하는 量만큼 얻을 수 없다. 따라서 市 形便上 中浪川 下水處理場 消化槽에는 生汚泥 및 剩餘汚泥와 生糞尿를 混合處理하고 있기 때문에 歐美에서 提示되고 있는 資料들과는 一致하지 않는다. 嫌氣性 消化汚泥의 알칼리度만 比較하여 보아도 外國의 境遇는 2,000 ~ 3,500 mg/l²⁾ 인데 比하여 中浪川 下水處理場 消化汚泥의 알칼리度는 生糞尿가 混合되기 때문에 9,000 ~ 15,000 mg/l³⁾ 程度나 된다. Genter (1946)는 汚泥의 脫수에 必要한 凝集劑의 量은 汚泥의 알칼리度 低下에 따라 그 量이 減少한다는 것을 밝혔다. 알칼리度는 메탄 醱酵時에 發生되는 多量의 重炭酸鹽 때문에 增加하게 되므로 이를 低下시키기 爲해서는 多量의 藥劑를 使用하여야 하는데 汚泥를 水洗함으로써 이 藥劑를 節約할 수 있다.^{4,5)} 中浪川 下水處理場의 嫌氣性 消化 汚泥도 이와 같은 洗淨槽

施設로 높은 알칼리度를 低下시켜 많은 量의 藥劑(FeCl₃와 CaO)를 節約하고 있다. 本 研究에서도 消化汚泥의 水洗와 藥劑인 FeCl₃와 CaO의 配合比를 變化시켜 各 因子들間의 變化關係를 살피고 最適의 汚泥脫水時 藥劑의 配合比를 決定하여 藥劑의 過多 使用을 防止, 効率的 運營을 하여 豫算을 節約하고자 함이다.

2. 研究의 目的과 範圍

生活下水와 工場廢水가 生糞尿와 約 2:1로 섞인 中浪川 下水處理場의 嫌氣性 消化汚泥(洗淨前)와 洗淨汚泥의 壓縮係數 等 여러가지 特性을 考察하여 汚泥脫수에 作用되는 因子들의 相互關係를 調査, 分析하여 現場에서 vacuum filter 稼動時 最適 作業條件(凝集劑의 最適量)을 決定하고 또한 洗淨槽의 效果를 調査하는데 그 目的이 있으며 아울러 中浪川 下水處理場의 汚泥脫水の 運營費를 最少化하고 消化汚泥의 몇가지 特性을 外國의 것과 比較해 봄으로써 앞으로 繼續 增設된 下水處理場의 運營에 參考 資料를 提供하고자 한다.

II. 濾過 理論

Ruth⁶⁾와 Carman⁷⁾은 濾過時間과 그때 얻어진 濾過液의 關係는 拋物線型을 取한다는 事實을 1933년에 세웠다.⁸⁾ 汚泥는 非壓縮性과 壓縮性으로 나누는데 汚泥를 vacuum filter에 넣으면 거의가 壓縮性이 된다.⁹⁾

1. 非壓縮性 Cake

두께가 L(m), 面積이 A(m²)인 粒子層을 흐르는 流量 Q = $\frac{V}{t}$ (m³/hr)는 粒子層間의 壓力差 P(kgf/m²)에 比例하고 層의 두께L, 粘度 μ (kg/m·sec)에 逆比例한다.

$$\text{即 } Q \frac{V}{t} = k_d \frac{PAg_c}{L\mu} = \frac{1}{\alpha_d} \frac{PAg_c}{L\mu} \dots (2.1)$$

여기서 V : 濾液量(m³)

t : 濾過時間 (hr)
 g_c : 重力換算係數 (kg · m / kg_f · sec²)
 k_d : 透過率 (permeability) (m²)

濾過抵抗 $R = \frac{L}{k_d} = \alpha_d L \dots \dots (2.2)$ 이라 定義하고 式(2.2)를 式(2.1)에 代入하여 定壓 濾過를 繼續할 때는 濾液量이 減少하므로 $\frac{V}{t}$ 를 $\frac{dV}{dt}$ 로 表示하여 整理하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{Pg_c}{\mu R} \dots \dots (2.3)$$

Cake 의 濾過抵抗을 R_c, 濾材의 抵抗을 P_m, cake에 依한 壓力降下를 P_c, 濾材에 의한 壓力降下를 P_m 이라 하면 式(2.3)은 다음과 같이 表示된다.

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{P_c g_c}{\mu R_c} = \frac{P_m g_c}{\mu R_m} = \frac{Pg_c}{\mu (R_c + R_m)} \dots \dots (2.4)$$

또한 濾過抵抗 R은 單位面積當 cake 의 固體質量 W_s/A 에 比例하므로

$$R = \alpha \frac{W_s}{A} \dots \dots (2.5)$$

Cake 中の 固體質量當 濾液量을 k 라 하면

$$k = \frac{V}{W_s} \dots \dots (2.6),$$

$$R = \alpha \frac{V}{k A} \dots \dots (2.7)$$

여기서 α : Ruth 의 平均抵抗 (m/kg)

$$R_c = \alpha \frac{V}{k A} \dots \dots (2.8),$$

$$R_m = \alpha \frac{V_0}{k A} \dots \dots (2.9) 가$$

된다.

여기서 V₀ : 濾材의 抵抗에 該當하는 cake 層을 假定하고 이때에 나오는 假定 濾液量.

式(2.8), 式(2.9)를 式(2.4)에 代入하여 整理하면 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{Pg_c}{\left(\frac{\alpha \mu}{k A^2}\right) V + \left(R_m \frac{\mu}{A}\right)} = \frac{Pg_c k A^2}{\alpha \mu (V + V_0)} \dots \dots (2.10)$$

定壓 濾過일 때는 K와 α 가 一定한 것으로 式(2.10)을 變數分離 積分하면

$$(V + V_0)^{-1} = \frac{2 Pg_c k A^2}{\alpha \mu} (t + t_0) \dots (2.11)$$

$$여기서 K = \frac{2 Pg_c k A^2}{\alpha \mu} (m^6/sec) \dots (2.12)$$

$$라면 (V + V_0)^{-2} = K (t + t_0) \dots (2.13) 이$$

된다. Ruth 는 式(2.13)이 많은 實驗結果와 一致한다는 것을 確認하여 定壓 濾過의 原理로 생각했다.¹⁰⁾ 式(2.13)에서 t=0, V=0 일 때 V₀² = Kt₀ 가 되어 V² + 2VV₀ = Kt 따라

$$서 \frac{t}{V} = \frac{V}{K} + \frac{2V_0}{K} \dots \dots (2.14) 보 된다. 式$$

(2.14)는 $\frac{t}{V}$ 와 V와의 關係가 直線이 되어 Slope 에서 $\frac{1}{K}$ 을 求하여 式(2.12)로 부터

Cake 의 比抵抗 α를 求할 수 있다.

2. 壓縮性 Cake

壓縮性 cake 일 때는 cake 의 比抵抗 α는 濾過壓力 P의 函數 即 α = f(P)로 생각할 수 있다. Carman 은 Ruth 와는 달리 α = α₀ P^s \dots \dots (2.15)와 같은 式이 成立한다고 假定했다.⁸⁾

여기서 s : 壓縮指數 (coeff of compressibility)

式(2.15)를 式(2.10)에 代入하여 整理하면

$$\frac{dV}{dt} = \frac{Pg_c}{\left(\frac{\alpha \mu}{k A^2}\right) V + \left(R_m \frac{\mu}{A}\right)} =$$

$$\frac{Pg_c}{\left(\frac{\alpha_o P^s \mu}{k A^2}\right) V + \left(R_m \frac{\mu}{A}\right)} \dots\dots\dots(2.16)$$

이 된다. $\alpha = f(P)$ 의 식으로 표시할 수 있을 경우 平均 cake의 比抵抗 α_{av} 는 다음 식에 의하여 計算된다.

$$\alpha_{av} = \frac{1}{P} \int_0^P \alpha \, dP \dots\dots\dots(2.17)$$

따라서 濾過方程式은 다음과 같다.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{Pg_c}{\left(\frac{\alpha_{av} \mu}{k A^2}\right) V + \left(\frac{R_m \mu}{A}\right)} \dots\dots\dots(2.18)$$

本 實驗에서는 比抵抗을 다음과 같이 計算했다. $\frac{t}{V} = \frac{V}{K} + \frac{2V_o}{K}$ 에서 V 와 $\frac{t}{V}$ 를 plot하여 slope을 求해 K 값을 求했다. $k = \frac{K}{A^2}$ 에서 k 를 求한 後 $m = \frac{1}{1 - \frac{P(\%) }{100}}$ 에서 m 을 求하여 單位乾 cake(Dry Solids) 質量當 濾液量 $k = \frac{1-rmS}{\rho s}$ 에서 k 를 求했다. 여기서 $\rho \times$ 比重, S : 汚泥의 TS(Total Solids)

다음에 $\alpha_{av} = \frac{2Pg_c k A^2}{k \mu} = \frac{2Pg_c k}{\mu k}$ 에서 α_{av} 를 求했다.

3. Test leaf

leaf filter test는 比抵抗 實驗보다 眞空 濾過 遂行의 實際的인 評價를 더 잘 나타내어 준다.¹¹⁾ Leaf의 浸液時間 t_f (min), 脫水時間 t_w (min), cake의 剝離 및 其他에 要하는 時間을 t_a (min)라 할 때 壺回轉에 要하는 時間 t 는 다음과 같다.

$t = t_f + t_w + t_a$ 가 되어 回轉數 $n = \frac{1}{t}$ 이 된다. Leaf의 濾過面積 A (m^2) cake의 質量 W_w (kg), cake의 水分을 P (%)로 나타낼 때의 濾過速度는 다음과 같다.

$$\text{濾過速度} = \frac{W_w}{A} \times \frac{100-P}{100} \times \frac{60}{t} \dots\dots(2.19)$$

III. 實驗材料 및 方法

1. 試料 採取

本 實驗에 使用된 試料는 1982年 1月 15日 부터 同年 4月 30日까지 中良川 下水處理場의 第1貯留槽 및 洗淨槽를 거친 第2貯留槽에서 採取하여 實驗室에서 實驗했다. 2日間隔으로 14:00頃에 採取했으며 保管은 冷藏庫를 利用하였다. 中良川 下水處理場의 脫水工程은 <Fig. 1>과 같다.

2. 實驗裝置 및 方法

(1) Leaf filter test

本 實驗에서 使用한 leaf filter test 裝置는 <Fig. 2>와 같으며 實驗方法은 다음 順序에 따랐다. 또한 leaf의 크기는 直徑이 2cm, 길이가 9.5cm로 濾布의 表面積이 59.7 cm^2 이 되게 했다.

a) 試料採取한 汚泥를 所定量(1,000 ml) beaker에 取하여 凝集劑 또는 助劑를 添加하여 前處理한다.

b) 眞空 pump로 濾過壓力을 400mmHg에 設定한다.

c) Beaker 內的 汚泥속에 leaf를 담고고 cock를 열어 濾過한다. 濾過中에는 leaf를 잡고 천천히 圓을 그리는 模樣으로 水平으로 움직인다.

d) 中良川 下水處理場의 脫水機는 濾過時間 2分, 脫水時間 2分, 洗滌時間 1分計이므로 leaf로도 濾過時間 2分, 脫水時間 2分으로 한다.

e) 濾過時間이 다 되면 가만히 leaf를 들어서 cake를 위로 하여 靜置하고 脫水を 한다. 脫水時間이 다 될 때까지의 사이에 cake의 狀態를 觀察하고 cake의 crack 發生與否를 觀察, 通氣가 되고 있는지의 與否도 調査한다.

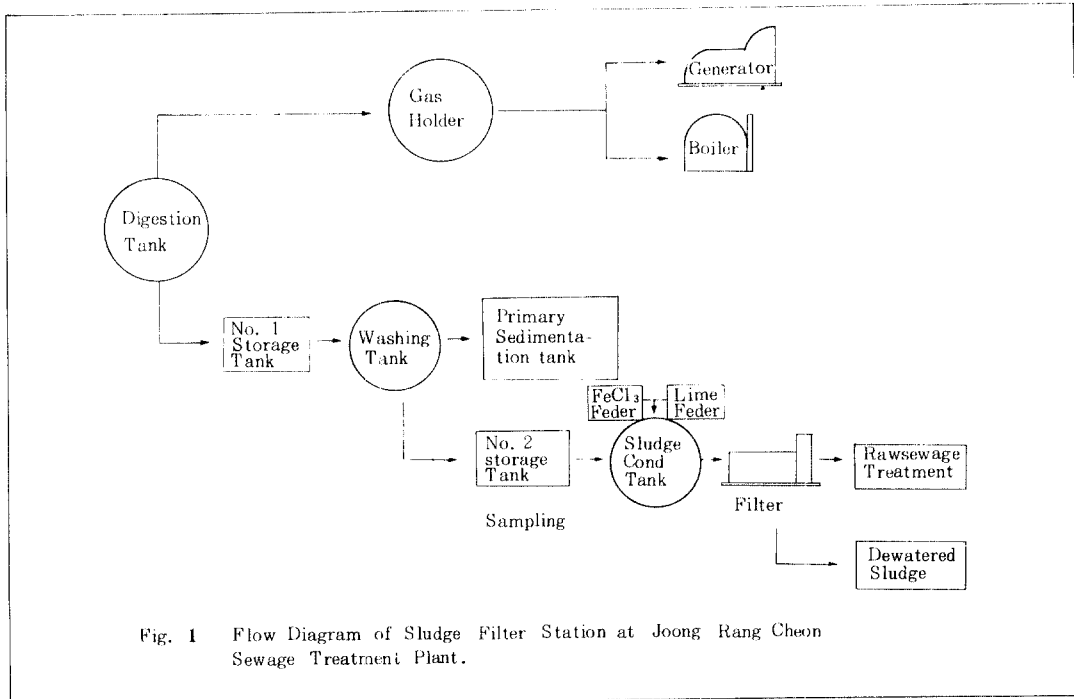


Fig. 1 Flow Diagram of Sludge Filter Station at Joong Rang Cheon Sewage Treatment Plant.

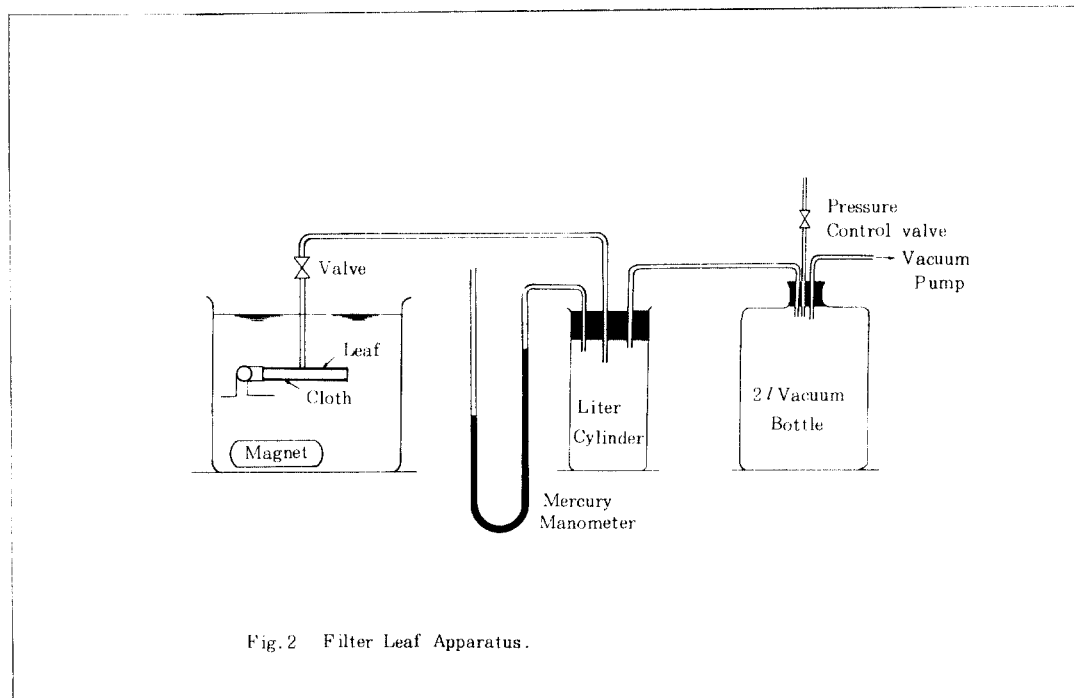


Fig.2 Filter Leaf Apparatus.

f) 眞空 pump를 停止한다. leaf에서 cake를 剝離하여 剝離狀態를 調査한다. cake의 두께, 全質量, 水分等을 測定한다.

(2) Buchner funnel test

本 實驗에서 使用한 Buchner funnel test 裝置는 <Fig. 3>과 같으며 實驗方法은 다음 順序에 따랐다. 또한 funnel의 直徑은 11cm로 濾過紙의 面積이 95cm²가 되게 하였다.

a) 試料 濃度를 測定하여 濃度가 낮을때는 沈澱 濃縮한 後 實驗用 試料를 만든다.

b) 試料用 汚泥를 所定量 (100ml) beaker에 取하고 乾燥固形物當으로 換算하여 凝集劑 또는 助劑를 添加하고 充分히 混合한다. 本 實驗에서는 FeCl₃를 먼저 添加하고 다음 CaO를 使用했다.

c) 眞空 pump를 稼動하고 壓力調整cock를 加減하면서 400 mmHg에 맞춘다.

d) 前處理 汚泥를 funnel 가운데 適當量 (100 ml)을 넣는다.

e) Cock를 열어 一定 濾液量을 測定한다. 1回 實驗이 끝나면 funnel을 洗淨하고 다시 靜置한 後, b)의 操作을 反復한다.

3. 分析 方法

實驗時 試料의 溫度는 25℃로 維持하였다. 本 實驗에서 測定된 모든 水質分析은 Standard Methods¹²⁾에 依하였으며 粘度測定은 獨逸 HAAKE 會社 製品인 B 81011, DIN

53015 Ball type 粘度計를 使用했다. FeCl₃의 添加量은 試料汚泥 乾燥重量의 0%, 3%, 5%, 7%, 9%, 11%, 15%를 擇했으며 CaO의 添加量은 添加된 FeCl₃ 量(%)의 1.5倍, 2.0倍, 2.5倍, 3.0倍, 3.5倍, 4.0倍씩 取하여 그 特性을 調査했다.

IV. 結果 및 考察

1. 比抵抗 (Specific resistance)

汚泥脫水時 脫水性을 一般的으로 表示하는 方法으로서 汚泥의 濾過比抵抗 (specific resistance to filtration)을 使用하는 것이 便利한 것으로 提案되어 왔다. 比抵抗에 關한 理論은 Carman에 依하여 1938년에 産業廢水汚泥의 濾過를 爲해 發展되었으며¹³⁾ Coackley¹⁴⁾는 1955년에 Carman의 理論을 다시 擴張해서 이것이 産業廢水뿐만 아니라 都市下水 汚泥에 對해서도 適用된다는 것을 實證하였고 Jones는 實驗室에서 測定한 汚泥의 濾過比抵抗에 따라 實際 現場에 있어서 vacuum filter 및 filter press의 脫水性能을 豫測할 수 있다는 것을 보였다.¹⁵⁾ 中浪川 下水處理場 第1貯留槽의 汚泥(消化 汚泥)의 比抵抗을 計算해 보면 $11 \times 10^{12} \sim 20 \times 10^{12} \text{ cm}^2/\text{g}$ (Table 1 參照), 消化汚泥에 凝集劑 및 助劑를 添加한 汚泥(凝集汚泥)는 그 添加된 凝集劑의 量에 따라 얼마간의 變化가 있었으나 그 範圍는 大略 2

Table 1. The Characteristics of Digested Sludge

Class \ Sample	A	B	C	D	E
TS (%)	2.71	2.85	2.86	2.90	3.12
Specific gravity	1,029	1,017	1,019	1,018	1,020
pH	7.9	8.0	7.8	7.8	7.9
Viscosity(C. P)	1,830	1,890	1,938	1,752	1,998
VS (%)	59.65	60.45	55.17	57.56	58.13
Specific resistance (cm ² /g)	19,044 × 10 ¹²	12,127 × 10 ¹²	13,914 × 10 ¹²	16,255 × 10 ¹²	13,254 × 10 ¹²
Alkalinity (mg/l)	14,496	14,496	12,700	14,688	15,618

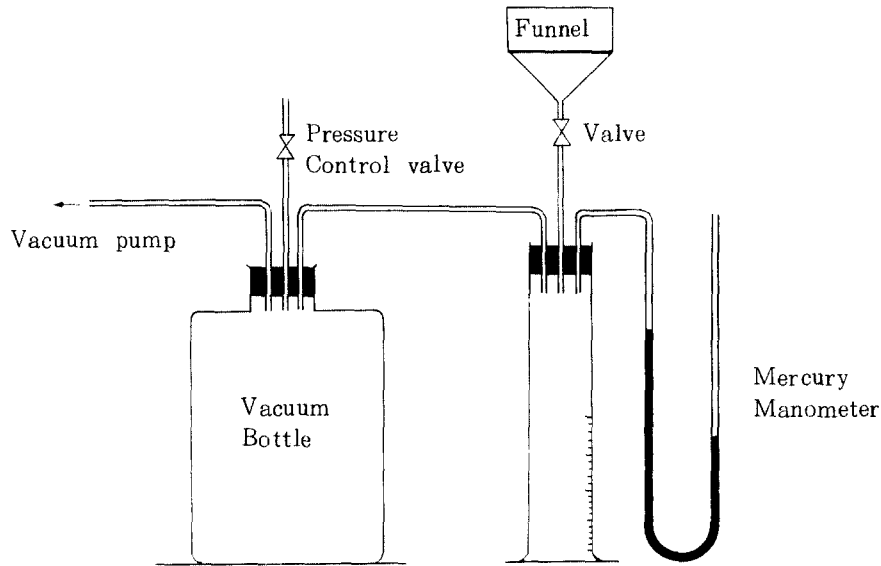


Fig.3 Buchner Funnel Apparatus

$\times 10^{12} \sim 10^{12} \text{ cm/g}$ (Table 2 參照) 程度로 나타났으며 洗淨槽를 거친 第2貯留槽汚泥(洗淨汚泥)의 比抵抗은 $0.5 \times 10^{12} \sim 2.0 \times 10^{12} \text{ cm/g}$ (Table 3 參照)로 나타났다.

이 數値는 外國에서 報告된 ¹⁶⁾ 消化汚泥 $10 \times 10^{12} \sim 60 \times 10^{20} \text{ cm/g}$, 凝集汚泥 $0.3 \times 10^{11} \sim 4 \times 10^{11} \text{ cm/g}$ 과 比較해 보면 消化汚泥는 비슷하나 凝集汚泥는 中浪川 下水處理場의 數値가 좀 높다. 比抵抗이 높다는 것은 脫水가 잘 안된다는 것이므로 凝集汚泥의 境遇는

外國의 境遇보다 낮게 나타났다. 이 原因은 汚泥의 特性, 眞空程度, 添加된 凝集劑와 助劑의 種類 및 量 等에 依하여 差異가 났다고 생각된다.

2. 汚泥의 壓縮性

普通 汚泥를 眞空脫水機에 通過시키면 壓縮性이 되며 Carman은 比抵抗 α 와 眞空脫水機에 걸린 壓力 P 와는 $\alpha = f(P)$ 의 關係가 있으며 實驗的으로 $\alpha = \alpha_0 P^s$ (여기서 α_0 는 상수)라는 關係式을 세웠다.⁸⁾ 이것을 兩對數 graph

Table 2. The Characteristics of Digested and Coagulant Sludge

Sample	A	B	C	D	E	F
Class						
FeCl ₃ (%) to DS*	13	13	13	13	13	13
CaO (%) to DS	19.5	26.0	32.5	39.0	45.5	52.0
specific gravity	1.014	1.014	1.014	1.014	1.012	1.011
pH	8.3	8.8	8.9	9.1	9.2	9.4
viscosity (c. p)	1,278	1,230	1,260	1,302	1,388	1,332
specific resistance (cm/g)	$8,853 \times 10^{12}$	$8,746 \times 10^{12}$	$2,946 \times 10^{12}$	$2,839 \times 10^{12}$	$10,606 \times 10^{12}$	$9,239 \times 10^{12}$
alkalinity (mg/l)	8.544	8,736	8,976	9.216	9,504	9,792

* DS : Dry Solids

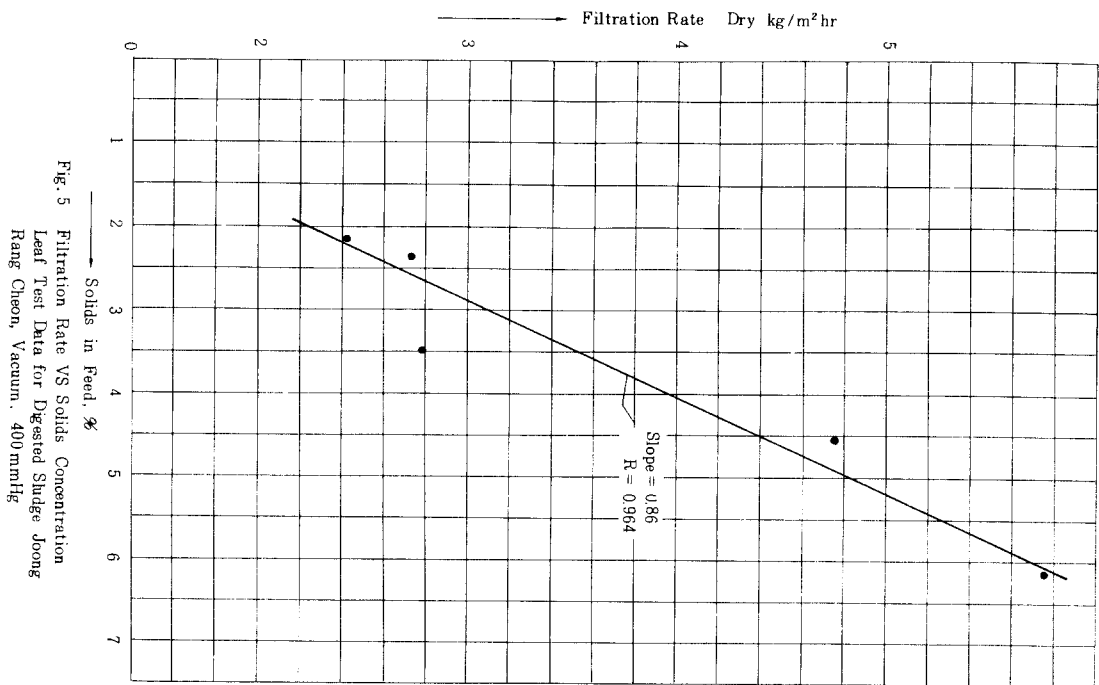


Fig. 5 Filtration Rate VS Solids Concentration
 Leaf Test Data for Digested Sludge Joong
 Rang Cheon, Vacuum, 400 mmHg

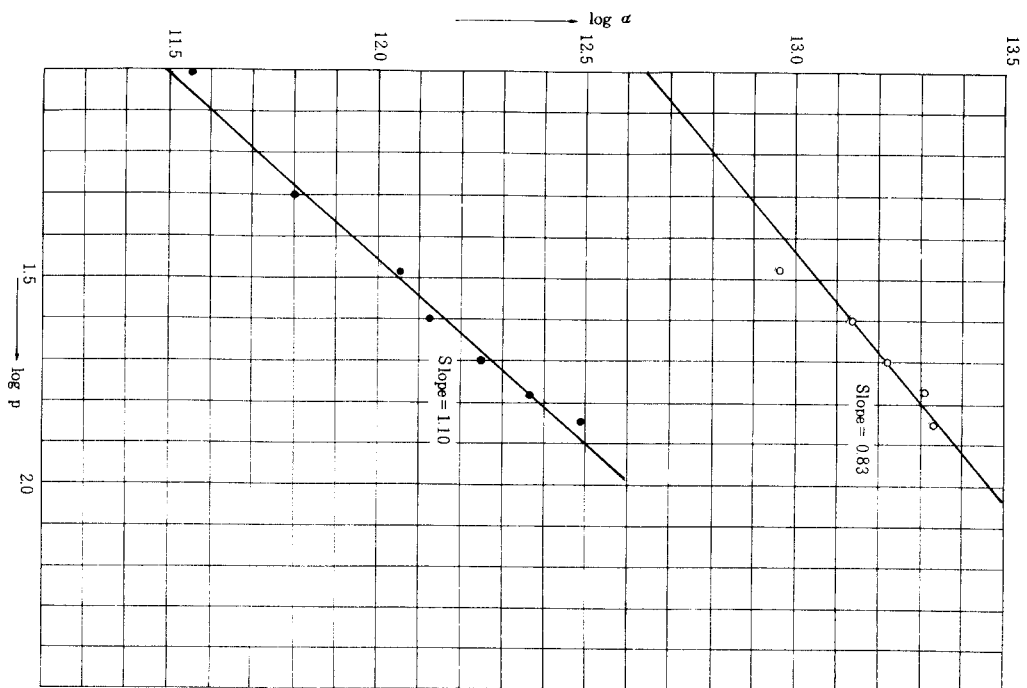


Fig. 4 Effect of Pressure on Specific Resistance

Table 3. The Characteristics of Elutriated Digested Sludge

Sample Class	A	B	C	D	E	F	G
TS (%)	3.57	3.95	4.10	4.25	4.31	4.70	5.51
VS (%)	62.62	68.13	60.83	65.32	60.17	68.00	58.80
specific gravity	1,007	1,008	1,006	1,008	1,008	1,010	1,008
pH	7.3	7.2	7.0	7.0	7.1	7.2	7.1
viscosity (C. P)	1,218	1,200	1,242	1,466	1,740	1,872	1,770
specific resistance (cm/g)	0.8711×10^{12}	1.740×10^{12}	1.609×10^{12}	1.600×10^{12}	1.106×10^{12}	1.329×10^{12}	1.239×10^{12}
alkalinity (mg/l)	2,064	1,968	1,488	1,584	1,776	1,920	2,016

紙 또는 $\log \alpha$ vs $\log P$ 를 plot 하면 직선이 되고 그 slope 이 s 이므로 s 값을 簡單히求할 수 있다. 中浪川 下水處理場 汚泥의 s 값은 消化汚泥가 0.83 (상관계수 $r = 0.991$), 洗淨汚泥가 1.10 ($r = 0.993$)으로 나타났다. (Fig. 4 참조). 이것은 P. Coackley⁸⁾ 등이 英國의 Mοgden 下水處理場에서 얻은 값인 0.70~0.86 (平均 0.74)보다는 약간 높은 便이기는 하지만 消化汚泥의 s 값은 이 範圍內에 包含된다. $s = 0$ 일때 濾過比抵抗은 濾過壓力에 無關係하므로 그 汚泥는 非壓縮性이다. 一般적으로 s 값은 0.6~0.9이며 이 範圍外의 값도 있을 수 있고 s 값이 큰 汚泥일수록 壓縮되기 쉽다.¹⁷⁾

3. 汚泥濃度の 効果

中浪川 下水處理場 汚泥의 濃度와 filtration rate (yield, Dry solids $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)의 關係를 表示하면 直線關係($r = 0.964$)로 된다. (Fig. 5 참조). 이는 B·A. Schepman 과 C. F. Cornell¹⁸⁾이 얻은 結果와 近似함을 볼 수 있다. 即 汚泥의 濃度가 크면 클수록 filtration rate (leaf filter 로 測定)도 거기에 比例하여 增加함을 알 수 있다. 汚泥의 濃度가 filtration rate에 한 因子라는 것은 알려진 事實이다. 本實驗에서의 filtration rate의 測定은 leaf filter ($P = 400 \text{ mm Hg}$)를 使用했다.

4. 汚泥의 藥品添加

中浪川 下水處理場의 Sludge conditioning에 使用되는 藥品은 FeCl_3 와 CaO 이므로 本實驗에서도 現場에서 使用하는 藥品을 使用했

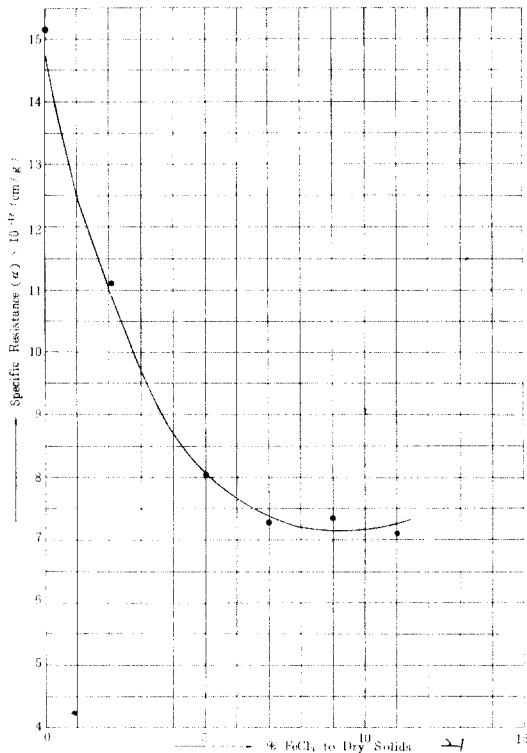


Fig. 6 Effect of Coagulant on Specific Resistance (Digested Sludge + FeCl_3)

다. 藥品 添加時는 그 添加 順序가 重要하다. Trubnick¹⁹⁾은 FeCl₃ 와 CaO 添加時 CaO 를 FeCl₃보다 먼저 添加하면 FeCl₃를 CaO 보다 먼저 添加하는 境遇보다 效果가 떨어진다고 했다. 中浪川 下水處理場 汚泥의 脫水에 添加한 Fe-Cl₃ 量과 濾過比抵抗과의 關係를 보면 單調減少를 나타내었다. (Fig. 6 참조) 이는 P. Co-ackley와 岩井²⁰⁾의 “ 汚泥의 濾過比에 미치는 凝集劑 添加率의 效果”와 잘 一致하고 있다. 汚泥의 水分에 對한 藥品의 消費量은 理論化學反應式과 대체로 一致하며 重要한 2가지 因子는 汚泥의 알칼리도와 汚泥 TS (Total Solids)中的 FS (Fixed Solids)에 對한 VS(Volatile Solids)의 比이다. 申丘澈, 名取眞¹⁷⁾은 이에 對하여 다음의 式으로 表現했다.

即 必要한 FeCl₃의 總量 L은

$$L = 1.08 \times \frac{P_w}{P_s} \times \frac{A}{10,000} + 1.6 \times \frac{S_o}{S_m}$$

여기서 P_w : 汚泥의 含水率(%)

P_s : 汚泥의 TS(%) = 100 - P_w(%)

A : 알칼리도 (mg/l)

S_o : VS(%)

S_m : TS中的 FS(%) = 100 - S_o(%)

알칼리도와 比抵抗間的 關係를 보면 알칼리도가 增加할수록 比抵抗도 增加함을 볼 수 있다. (Fig. 7 참조) (Fig. 7)에 나타난 바와 같이 알칼리도가 9,500 mg/l을 超過하는 瞬間 比抵抗은 急히게 增加하며 이에 따르는 FeCl₃ 量도 많이 必要하게 된다. 中浪川 下水處理場 消化槽內 汚泥의 알칼리도는 10,000 mg/l을 超過하므로(生糞灰가 混合됨) 이 알칼리도를 低下시키기 爲하여 洗淨槽 施設을 만들어 사용하고 있다. FeCl₃만 添加하여 flocc을 만들어 脫水하는 것 보다는 CaO를 適當量 添加하여 脫水하는 것이 效果가 좋음을 나타내고 있다. (Fig. 8, 9 참조). 曲線의 模樣을 보면 大體로 같은 FeCl₃ 量을 添加할 때는 CaO量이 어느 程度 많을수록 脫水效果가 좋음을 보여준다

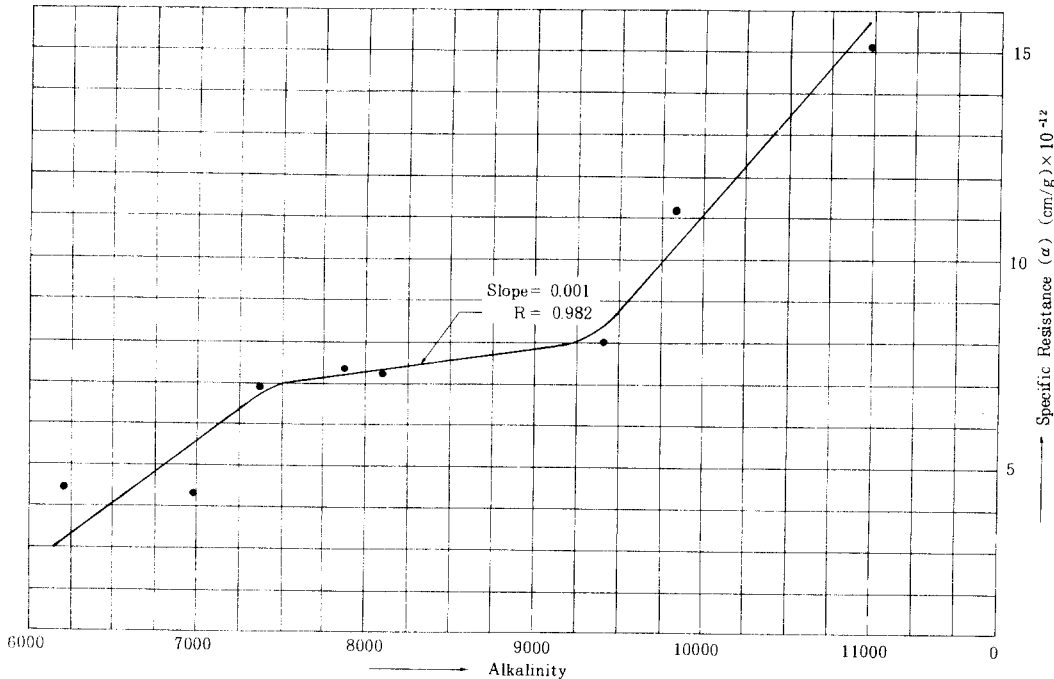


Fig. 7 Effect of Alkalinity on Specific Resistance

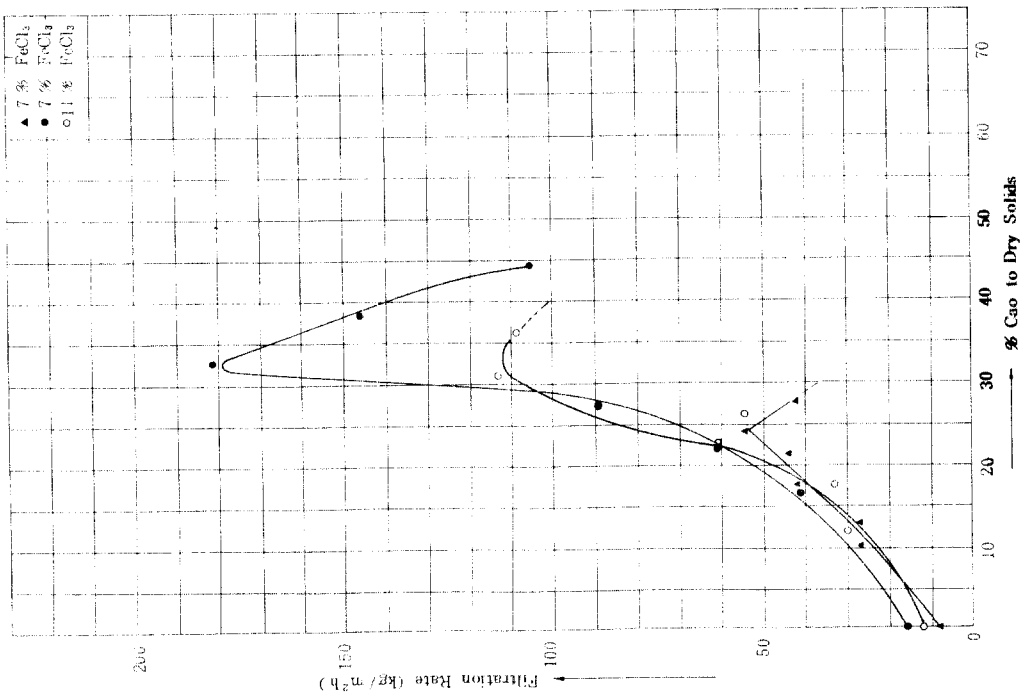


Fig. 9 Effect of Coagulants (FeCl₃ + CaO) on Filtration Rate Digested Sludge

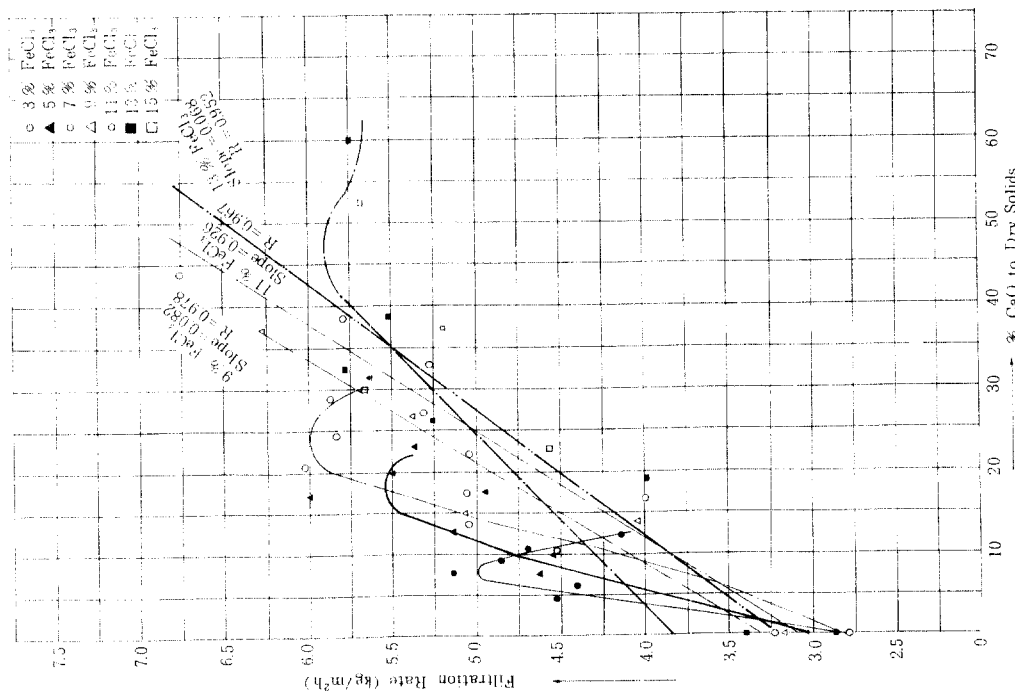


Fig. 8 Effect of Coagulants (FeCl₃ + CaO) on Filtration Rate Digested Sludge.

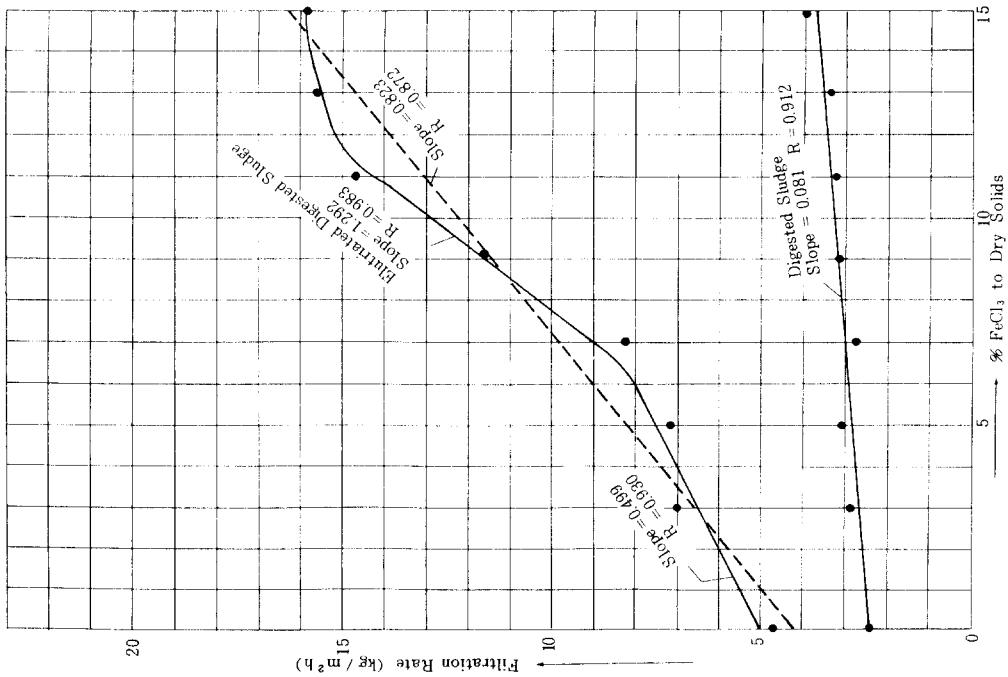


Fig. 10 Effect of Coagulant (FeCl₃) on Filtration Rate

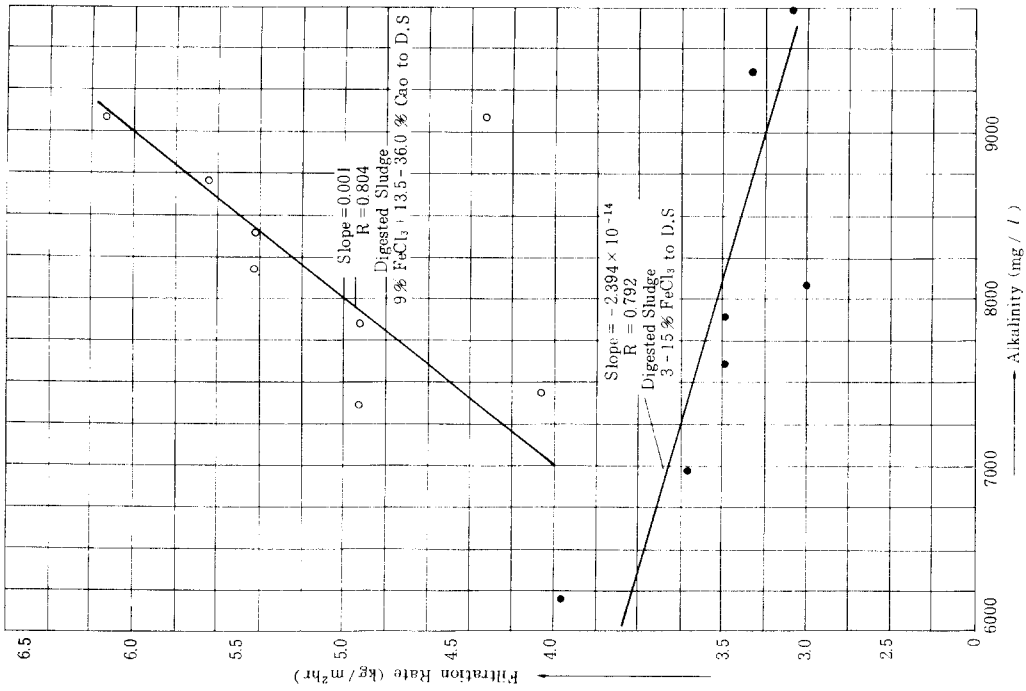


Fig. 12 Effect of Alkalinity on Filtration Rate.

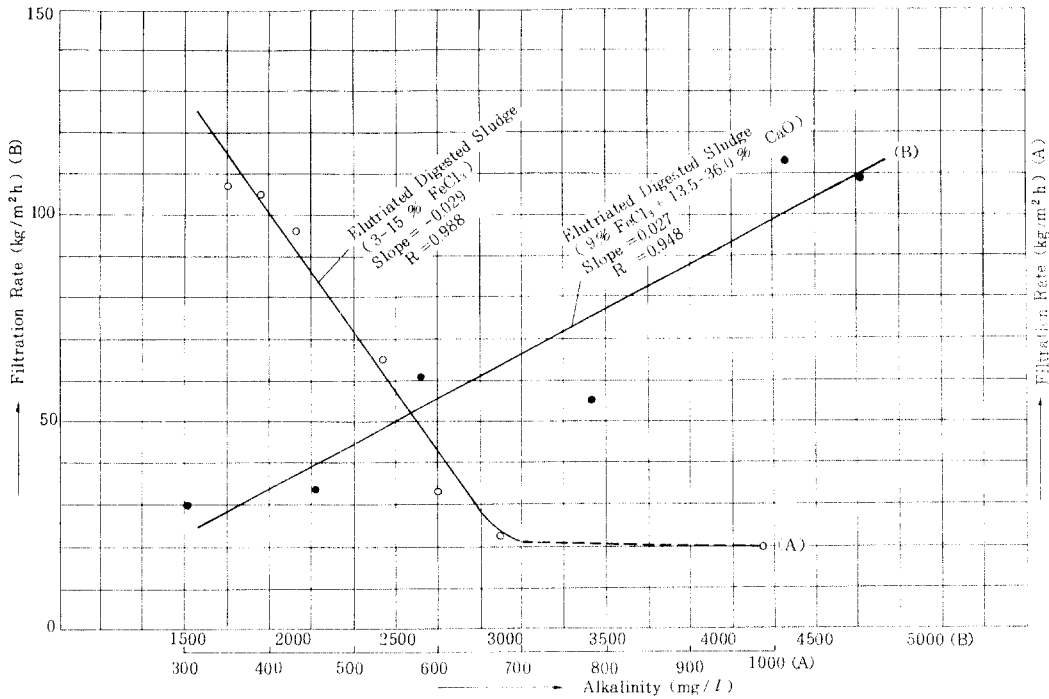


Fig. 11 Effect of Alkalinity on Filtration Rate

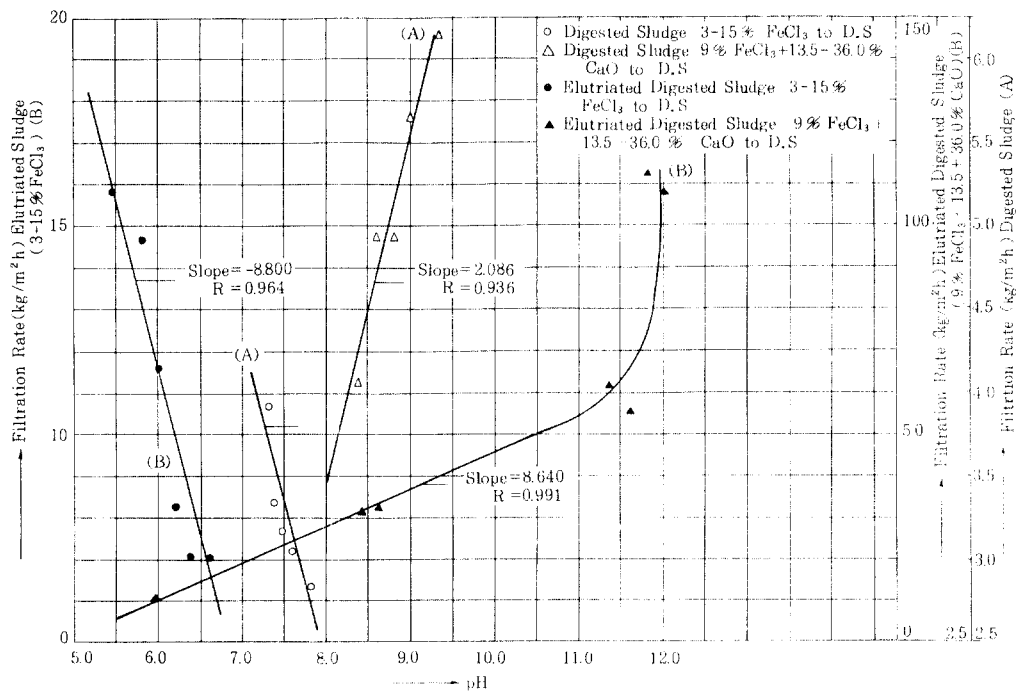


Fig. 13 Effect of pH on Filtration Rate

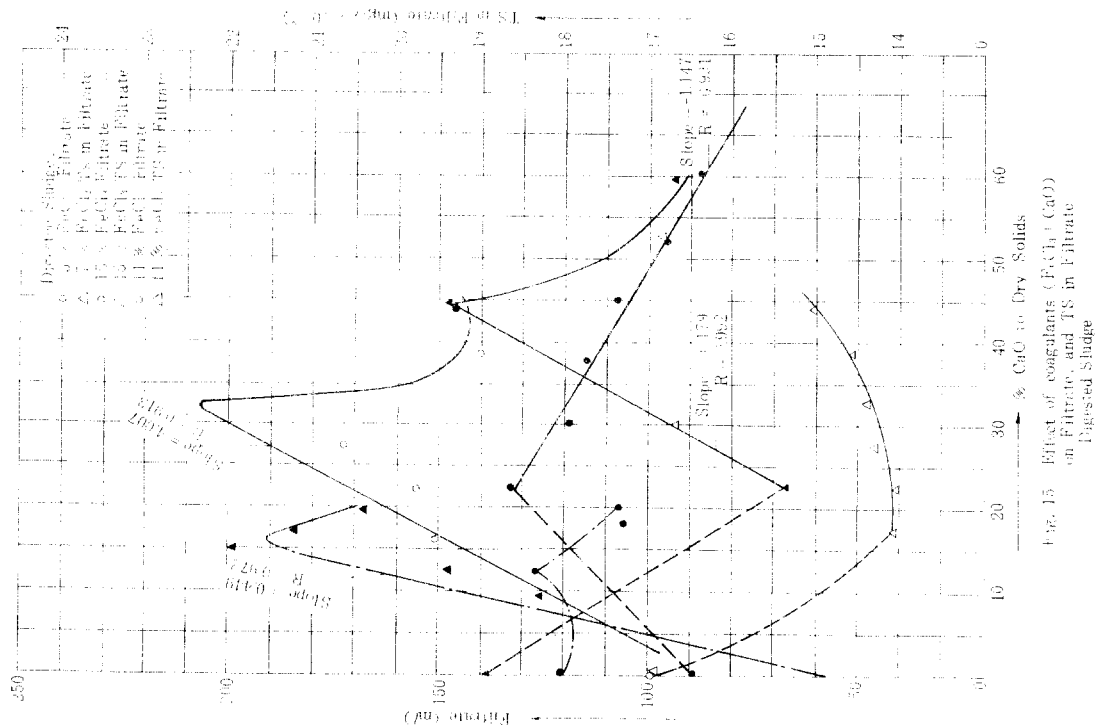


Fig. 13 Effect of coagulants (FeCl₃ + CaO) on Filtrate, and TS in Filtrate Digested Sludge

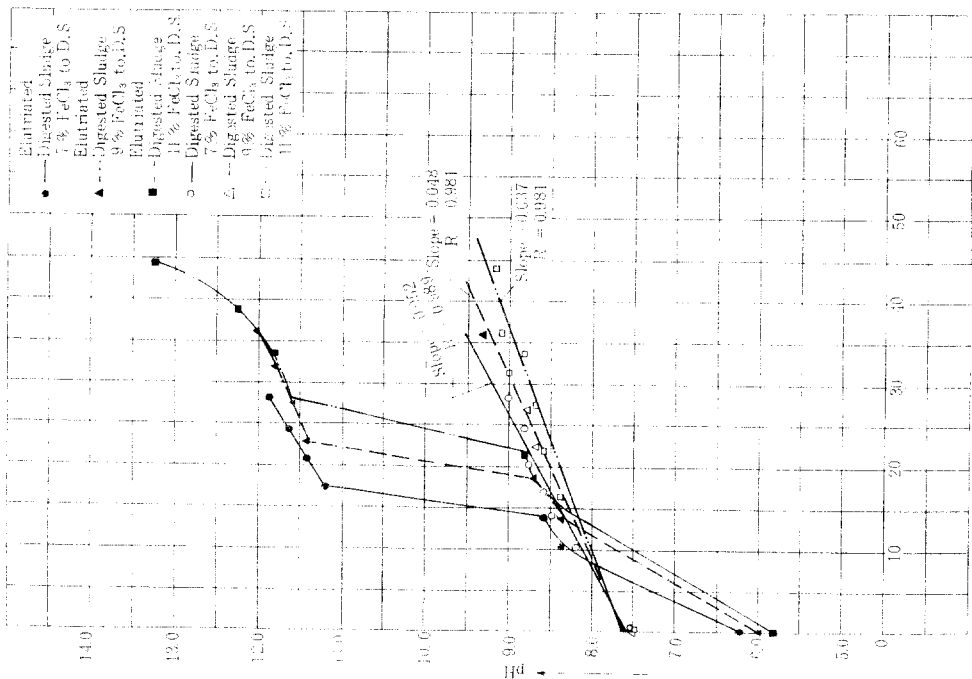


Fig. 14 Effect of Coagulants (FeCl₃ + CaO) on pH

發生되는 cake 量 pH 的增加로 發生되는 ammonia gas 및 經濟的 負擔 等으로 因하여 無限定 많이 넣을 수는 없으며 大略 FeCl₃ 量은 Dry Solids 量의 9~11%, CaO 量은 添加된 FeCl₃ 量(%)의 2.5~3.5 倍 程度가 適當한 것으로 推定된다. 消化汚泥에 添加된 FeCl₃ 量에 對한 filtration rate 의 값은 거의 變化가 없었으며(slope = 0.081, r=0.912) 물과 消化汚泥을 3:1 的 比로 하여 洗淨한 洗淨 汚泥은 FeCl₃ 添加量 7~11% 사이에서 添加된 FeCl₃ 量과 filtration rate 와의關係는 直線이며 0~15% 範圍 全體를 直線化할 때는 slope = 0.826, r = 0.997 로 된다.(Fig. 10 참조) 이는 알칼리도가 높은 消化汚泥은 乾燥汚泥當 0~15%의 FeCl₃ 添加로서는 거의 filtration rate 의 變化에 影響을 미치지 못하며 CaO를 必要로 하고 알칼리도가 낮은 洗淨汚泥은 同量의 FeCl₃ 添加로 floc 的 形成과 脫水가 더 잘된다는 것을 나타내며 알칼리도가 filtration rate 의 變化에 影響을 준다는 것을 보여준다. 洗淨汚泥에 FeCl₃(3~15%)만 添加하면(Fig. 11 참조) 알칼리도 3,000 mg/l까지는 直線으로 減少하며(slope = -0.029, r = 0.988), 9% FeCl₃에 13.5~36.0% CaO(to DS)를 添加하면 線型으로 增加한다. (slope=0.027 r=0.945) 이는 CaO가 알칼리도를 增加시키며, FeCl₃가 汚泥의 floc 및 脫水가 잘 되도록 하는 作用을 돕는 役割을 한다고 본다. 이와 같은 現象은 消化汚泥에서도 같은 樣相을 나타낸다. (Fig. 12 참조) pH와 filtration rate 의 關係를 보면(Fig. 13 참조) 洗淨汚泥 및 消化汚泥에 FeCl₃만 添加하면 slope 이 陰으로 移行하는데 이는 pH가 增加하면 filtration rate 가 增加함을 보여준다. 그러나 여기에 CaO를 添加하여 pH를 增加시켜보면 이 境遇에는 pH가 增加할수록 filtration rate도 增加한다. 이것 또한 CaO의 添加量이 많을수록 filtration rate가

增加함을 나타낸다. 洗淨汚泥을 보면 pH가 11.5까지는 緩慢하게 增加하나 pH 11.5를 넘으면 急히 增加함을 보여준다. 이것은 FeCl₃對 CaO에 限界性이 있음을 보여주며 CaO量이 添加된 FeCl₃ 量의 3~3.5 倍 있을 때 適當함을 나타냈다. FeCl₃ 添加後 CaO를 添加할 때의 pH를 살펴보면 알칼리도가 큰 消化汚泥은 CaO 添加에 따라 pH가 緩慢히 增加하는데 이에 比하여 알칼리도가 낮은 洗淨汚泥은 그 變化가 크다(Fig. 14 참조).

5. 濾液量과 濾液中 TS와의 關係

消化汚泥은 濾液量이 많으면 그 濾液中의 TS는 적다. 消化汚泥은 洗淨汚泥에 比하여 알칼리도가 높아 미끄러우며 또한 粒子도 微細하여 空隙을 메꾸어 脫水가 잘 되지 않는 것으로 본다(Fig. 15, 16 참조).

6. 알칼리도와 粘度와의 關係

濾過液의 粘度는 그 變化 範圍가 그리 크지 않으나(實驗值 1.085~3.006 C.P) 下水汚泥의 脫水에 있어서는 興味가 있다. 消化汚泥에 FeCl₃만을 添加할 境遇에는 알칼리도가 높은 非洗淨 消化汚泥에서는 粘度가 增加하며 洗淨汚泥의 境遇에는 알칼리도가 1,000 mg/l 이상일 때 粘度曲線은 上昇하며 消化汚泥의 알칼리도가 7,000~8,000 mg/l에서는 急傾斜로 增加하나 8,000 mg/l를 넘어서면 서서히 增加함을 보였다(Fig. 17 참조). 反面에 洗淨汚泥과 消化汚泥에 11% FeCl₃(汚泥의 乾燥質量에 對한)와 汚泥의 乾燥質量에 對한 0~44% CaO를 넣어 알칼리도를 增加시켜보아도 粘度는 거의 變化하지 않았다.

7. 粘度와 filtration rate 와의 關係

消化汚泥 및 消化汚泥에 FeCl₃만 넣어서 粘度와 filtration rate 와의 關係를 살펴보면 粘度가 增加할수록 filtration rate는 減少함을 알 수 있다(Fig. 18 참조). 따라서 脫水를 增加시키려면 粘度를 줄이는 것도 한가지 方法이 된다.

8. 有機物質과 filtration rate의 關係

汚泥의 TS中 FS에 比하여 VS가 크면 많은 $FeCl_3$ 量을 要求한다.¹⁷⁾ 本 實驗에서도 消化汚泥 및 洗淨汚泥의 VS/FS比와 filtrat-

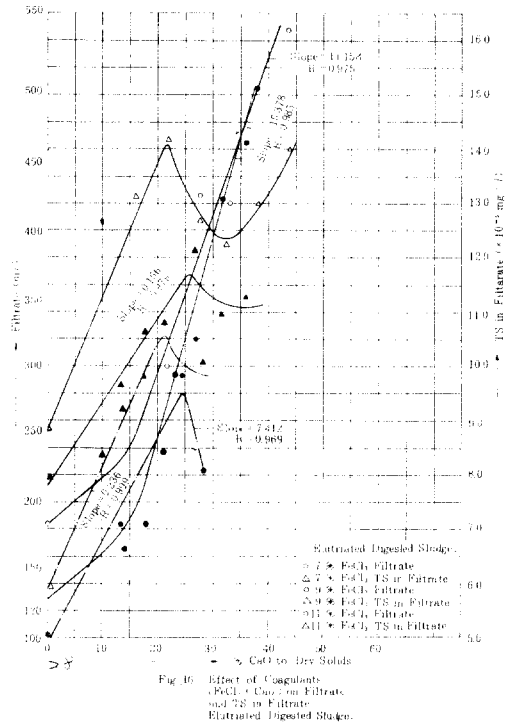


Fig. 16 Effect of Coagulants (FeCl₃) on Filtrate and TS in Filtrate. Elutriated Digested Sludge.

Table 4. Relationship between Organic Substance and Filtration Rate in Digested Sludge

Sample		A	
Class			
VS (%)		57.56	
FS (%)		42.14	
VS/FS		1,356	
Filtration Rate (kg/m ² ·hr)		3.21	
	B	C	D
	58.13	59.65	60.45
	41.87	40.35	39.55
	1,388	1,478	1,528
	3.13	3.05	2.86

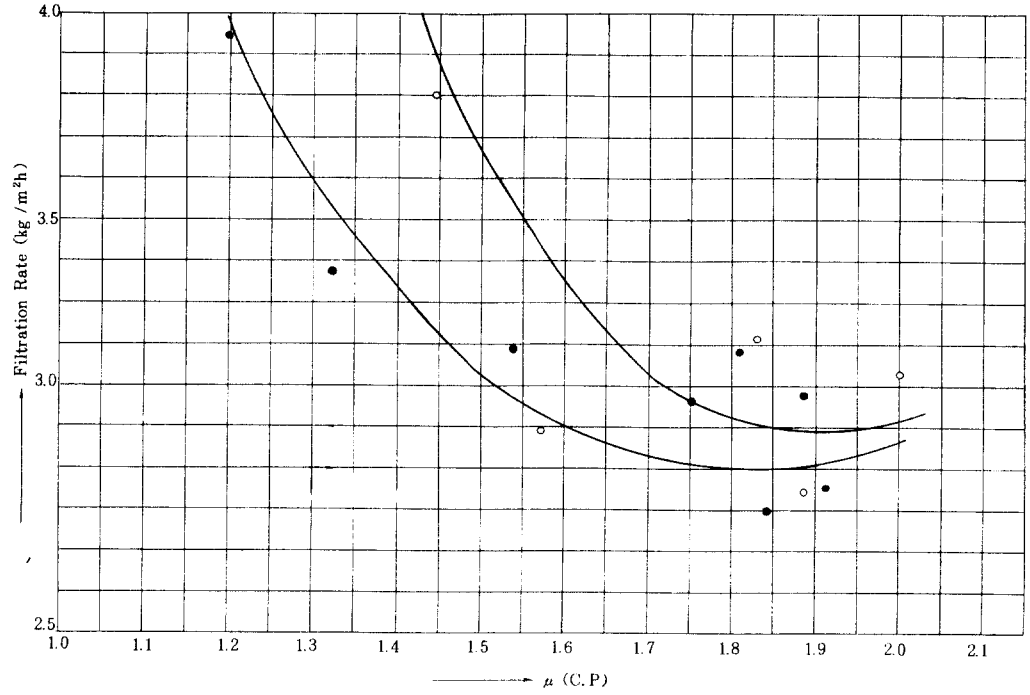


Fig. 18 Effect of Viscosity on Filtration Rate

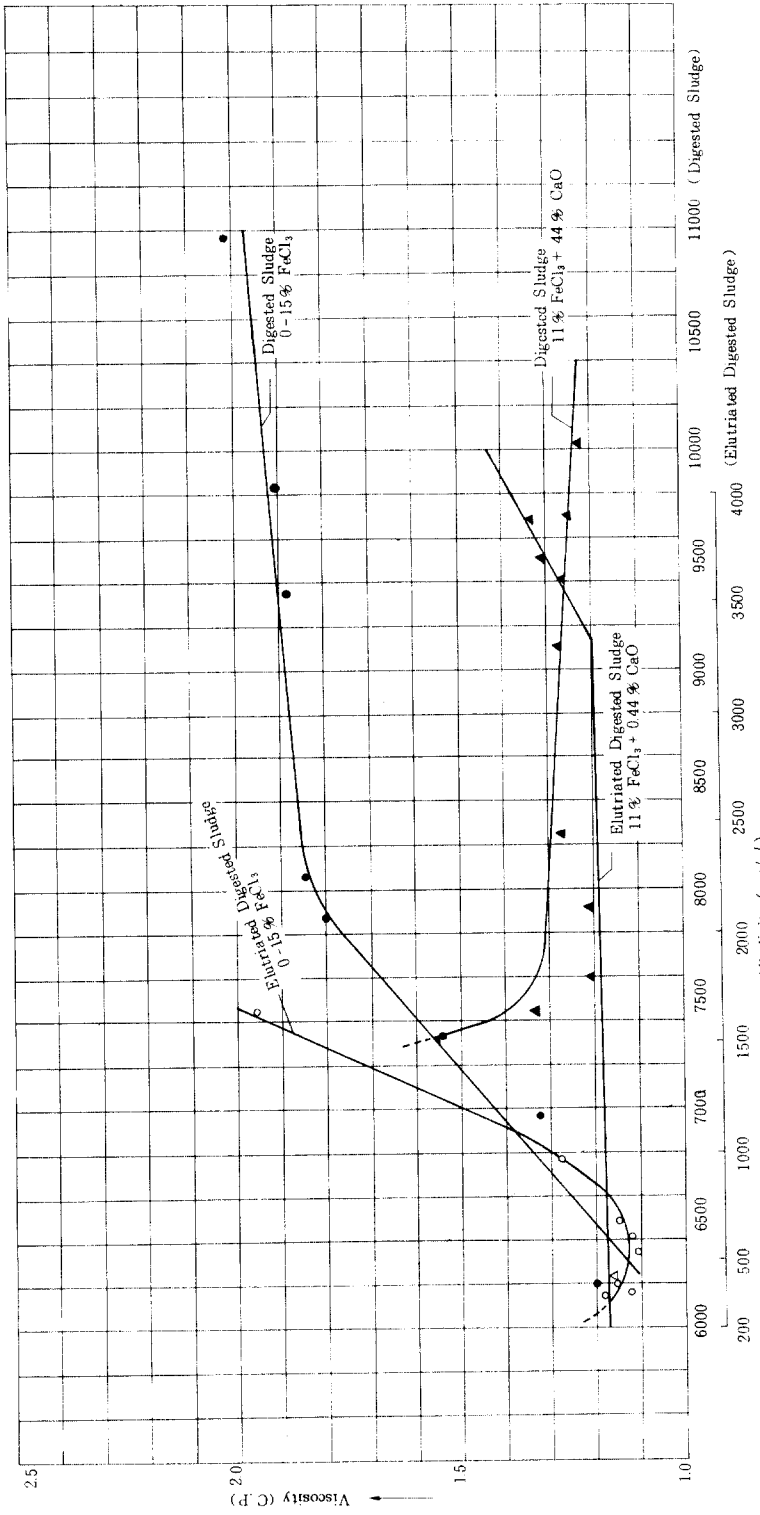


Fig. 17 Effect of Alkalinity on Viscosity.

Table 5. Relationship between Organic Substance and Filtration Rate in Elutriated Digested Sludge

Sample Class	A	B	C	D	E	F	G
VS (%)	58.80	60.17	60.83	62.62	65.32	68.00	68.13
FS (%)	41.20	39.83	39.17	37.38	34.68	32.00	31.87
VS/FS	1,427	1,511	1,553	1,675	1,884	2,125	2,138
Filtration Rate (kg/m ² ·h)	5.58	5.51	5.54	5.00	5.00	4.95	4.31

ion rate 關係를 調査한 바 거의 直線關係가 되어 線型을 이루었다 (Table 4, 5 參照)

따라서 有機物質이 無機物質보다 많으면 脫水가 잘 되지 않으므로 보다 많은 量의 FeCl₃를 要한다.

V. 結 論

中浪川 下水處理場의 消化汚泥 및 洗淨汚泥의 脫水能力에 影響을 미치는 여러가지 要因을 1982年 1月 15日부터 1982年 4月 30日까지 調査하여 본 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 中浪川 下水處理場 消化汚泥의 壓縮係數는 0.83 이었고 洗淨汚泥의 壓縮係數는 1.10 이었다.

2. 1段 消化系統인 中浪川 下水處理場의 消化汚泥의 最適 FeCl₃ 添加量은 15% 以下에서는 얻을 수가 없었으며 15% 以上 投入時 脫水度가 直線傾斜的으로 조금씩 改善되는 것으로 미루어 15% 以上으로 推定되며 (實驗條件으로 最適值를 發見하지 못했음), 洗淨汚泥의 最適 FeCl₃ 添加量은 乾燥汚泥 (Dry Solids) 量의 9~11% 이며 이에 따른 最適 CaO의 添加量은 添加된 FeCl₃ 量 (%)의 2.5~3.5 倍였다. 단, FeCl₃의 最適 添加量은 FeCl₃ 添加量에 對한 filtration rate의 變化率이 가장 큰 範圍의 끝 部分을 擇했다. 따라서 洗

淨汚泥의 FeCl₃ 添加量은 乾燥汚泥量의 11% CaO의 添加量은 乾燥汚泥量의 33%를 擇하는 것이 가장 효율적이다.

3. 消化汚泥의 比抵抗은 $11 \times 10^{12} \sim 20 \times 10^{12}$ cm/g 이며 消化汚泥에 凝集劑를 添加한 凝集汚泥의 比抵抗은 $2 \times 10^{12} \sim 11 \times 10^{12}$ cm/g 이며, 洗淨槽을 거친 洗淨汚泥의 比抵抗은 $0.5 \sim 2.0 \times 10^{12}$ cm/g 이다. 따라서 消化汚泥의 比抵抗이 洗淨汚泥의 比抵抗보다 顯著히 높게 나타났다.

4. 알칼리度 및 有機物質은 脫水에 重要한 影響을 미치는 因子이며 消化汚泥의 알칼리度는 10,000~15,000 mg/l 이며 消化汚泥를 3 倍의 洗滌水로 洗淨했을 때의 洗淨汚泥의 알칼리度는 1,500~2,000 mg/l로 洗淨後 顯著히 낮아졌다.

5. 乾燥汚泥量의 11%의 FeCl₃를 添加했을 때의 洗淨汚泥의 filtration rate는 14.7 kg/m²·hr 이며 消化汚泥의 filtration rate는 3.2 kg/m²·hr 이므로 洗淨汚泥가 消化汚泥보다 約 4.6 倍 程度 脫水가 잘되며 또한 洗淨汚泥에 전혀 藥品을 添加하지 않은 것이 消化汚泥의 乾燥汚泥量의 15% FeCl₃를 添加한 것 보다 filtration rate가 더 높았다.

參考文獻

- 1) 崔義昭, 趙光明; 環境工學, 淸文閣, 1977.

- 2) M. J. Hammer ; Water and Wastewater Technology, John Wiley and Sons Inc. , 1977.
- 3) 서울特別市 綜合終末處理事業所 ; 中浪川下水處理場, 水質綜合日誌, 1980. 3 ~ 1982. 5.
- 4) 金正, 金秀生 ; 糞尿下水汚泥의 處理, 産業公害研究所, 1977.
- 5) E. H. Trubnick, P. K. Mueller ; Sludge Dewatering Practice, Sew and Ind. Wastes, 30, 11, 1958.
- 6) B. F. Ruth, G. H. Montillon, R. H. Montonna ; Studies in Filtration. Parts I and II, Ind. Eng. Chem, 25, 76 and 153, 1933.
- 7) P. C. Carman ; A Study of the Mechanism of Filtration Part I, Jour. Soc. Chem. Ind. (Brit), 52, 280, 1933.
- 8) P. Coackley, B. R. S. Jones ; Vacuum Sludge Filtration, Part I, Interpretation of Results by the Concept of Specific Resistance, Sew. and Ind. Wastes 28, 8, 963, Aug 1956.
- 9) 金東孜, 金秀生 ; 廢水處理, 産業公害研究所, 1980.
- 10) 井出和夫 ; 水處理工學, 技報堂出版社, 1978.
- 11) P. A. Vesilind ; Treatment and Disposal of Wastewater Sludges. Ann Arbor Science Publ. Inc., 1974.
- 12) APHA, AWWA, WPCF ; Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater, 14th Ed, 1975.
- 13) P. C. Carman ; Fundamental Principles of Industrial Filtration, Chem. Eng. London, 168, 1938.
- 14) P. Coackley ; Research on Sewage Sludge carried out in the Civil Eng. Dep. of University College, London. Inst. Sewage Purific. Part I, 59, 1955.
- 15) B. R. S. Jones ; Vacuum Sludge Filtration. Part II. Prediction of Filter Performance Sew. Ind. and Wastes, 28, 9, 1103, 1956.
- 16) Metcalf and Eddy, Inc. ; Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill, 1979.
- 17) 中匠敏 名取真 ; 下水汚泥の處理, コロナ社, 1972.
- 18) B. A. Schepman, C. F. Cornell ; Fundamental Operating Variables in Sewage Filtration, Sew. and Ind. Wastes, 28, 12, 1443, 1956.
- 19) E. H. Trubnick ; Vacuum Filtration Principles and their Application to Sewage Sludge Dewatering Biological Treatment of Sewage and Ind. Wastes, Vol. 2, Reinhold Publ. Corp. p. 307, 1958.
- 20) 岩井重久譯 ; 廢水の生物學的處理, コロナ社, 1966.