

# 接觸安定法の 모델과 設計法에 관한 研究

## A Study on the Model and the Design Procedure of the Contact Stabilization Process

梁	相	鉉*
Yang,	Sang	Hyon
安	松	燁**
Ahn,	Song	Yeob

### Abstract

The mechanisms and the models of the contact stabilization process were briefly reviewed. The researchers proposed the more practical and rational models and the procedure for the design of the contact stabilization process. These models were derived from the material balances of the system based on the increase of Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) in the contact tank and the decrease of MLSS in the stabilization tank. The proposed models were also discussed with the experimental data.

### 要 旨

接觸安定法の mechanism 과 모델을 간단히 문헌검토하였다. 本 研究에서는 接觸安定法の 設計를 위한 順序와 더욱 合理的이며 實用的인 모델을 제안하였다. 이들 모델은 接觸槽에서의 MLSS 增加와 安定槽에서의 MLSS 減少를 토대로 하여 시스템에 物質收支를 적용하여 유도하였다. 또한 제안된 모델들을 實驗 data 와 관련시켜 考察하여 合理的인 결과를 얻었다.

### 1. 緒 論

家庭下水나 工場廢水 등 各種 廢水 內에 存在하는 여러 가지 汚染物 中에서 微生物에 의하여 分解 可能한 有機物의 除去를 위해서 通常 活性 슬러지法이 채택되어 왔으나 이 工法보다 經濟的이라고 알려져 있는 接觸安定法の 特性을 究明하기 위하여 많은 사람들이 研究하여 왔

다<sup>(1,2,3,4,5)</sup>. 接觸安定法の 기본개념과 基質除去 機構(mechanism)에 관하여 研究된 바를 살펴보면 다음과 같다.

接觸安定法이란 슬러지 再曝氣를 利用한 活性 슬러지 變法으로서 生物吸着(biosorption), 二重 曝氣(dual aeration), 슬러지 再曝氣(sludge re-aeration) 및 長期 再曝氣法(extended reaeration) 과 같은 이름 하에 産業廢水뿐만 아니라 家庭下水를 처리하기 위하여 여러 해 동안 사용되어 온

\*正會員·全北大學校 工科大學 教授 土木工學科

\*\*正會員·圓光大學校 工科大學 助教授 土木工學科

方法의 總稱이다.

根本的으로 그 工程은 한개의 沈澱池와 2個의 曝氣槽(接觸槽와 安定槽)를 사용하는 시스템(system)이다(그림 1 참조).

生下水나 沈澱된 生下水는 接觸槽에서 活性슬러지와 接觸混合되어 짧은 시간동안 曝氣된다. 接觸된 후에 MLSS는 沈澱池에서 분리된다. 이때 濃縮된 슬러지는 安定槽로 流入되어 接觸槽로 되돌아 가기에 앞서 몇 시간 동안 曝氣된다.

Mckee 와 Fair<sup>(6)</sup>는 接觸安定法의 基質除去 機構는 두개의 獨특하지만 상호 관련된 단계로 구성되었다고 말했다.

즉 ① 有機物質이 活性슬러지에 依하여 下水로부터 除去되거나 活性슬러지 表面이 有機物質로 덮여지기 때문에 신속히 처리되고 감소되는 吸着과 flocculation의 物理的인 처리, ② 그리고 동시에 시작되지만 보다 느리게 進行되는 에너지 生成과 세포합성을 위한 有機物質 消費의 生物學的 處理이다.

이외에도 接觸安定法의 基質除去 機構에 관하여 많은 사람이 研究하였다<sup>(7,8,9,10,11)</sup>. 1970年, Jones<sup>(12)</sup>는 接觸安定法에서의 基質除去 機構를 吸着, 吸收, 加水分解에 관하여 실험적으로 연구하여 모델化하였다.

1975年, Gujer 와 Jenkins<sup>(13)</sup>는 基質除去機構를 COD 除去, 酸素消費量, 슬러지 生成量 및 處理效率間의 關係式으로서 表示하였다. 1976年, Benefield 와 Randall<sup>(14)</sup>은 唯一하게 接觸安定法의 設計節次(procedure)에 관하여 論하였는데 그의 研究論文에 관하여 다음과 같은 事項을 指摘할 수 있다.

1) 工程모델(process model) 유도 前提가정으로서 몇가지를 列舉한 가운데 그는 다음 가정을 포함시키고 있다.

① 曝氣槽(接觸槽와 安定槽)에서 非沈澱性 固形基質과 溶解性基質이 1次反應에 依하여 除去된다.

② 溶解性 基質만이 接觸槽에서 代謝한다.

2) 그러나 위의 前提와 그의 設計法에 대하여 다음과 같은 指摘을 할 수 있다.

① 流入廢水를 非沈澱性 固形基質과 溶解性基質로 구분하면 모델이 複雜해지고

② 이들 두 形態의 基質들이 1次反應에 의하여 除去된다 함은 基質濃度가 낮을 때에 한하며 따라서 一般性이 不足하다.

③ 接觸槽內의 水理學的 滯留時間이나 슬러지 滯留期間에 따라 接觸槽 內에서는 固形性 基質의 吸着, 加水分解 및 吸收, 溶解性基質의 吸收 등의 現象이 여러 가지로 組合하여 일어날 것이므로 接觸槽에서 溶解性 基質만이 代謝가 일어난다 함은 너무 단순화시킨 가정이라 할 수 있다.

④ 모델式이 너무 복잡하고, 실제로 式中의 媒介變數들(parameters) ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $S_p$ ,  $S_p$ , 등)를 구하기 힘들다.

⑤ 設計 順序를 定함에 있어 不合理한 點이 있다.

本 論文의 目的은 上述한 바 接觸安定法의 淨化機構와 모델式 및 設計法을 참고로 하고 보다 合理的인 接觸安定法의 設計를 위한 모델 作成과 設計法을 開發하는 데 있다.

## 2. 接觸安定法 設計모델의 誘導

微生物을 이용한 生物學的 廢水處理 시스템의 設計와 稼動을 위한 基本原理은 微生物에 의한 反應速度(kinetic) 개념과 微生物 배양이론으로부터 개발되어 왔다<sup>(15)</sup>.

그림 1과 같은 定常狀態의 連續流 接觸安定 시스템에 대하여 工程 모델을 유도하고자 한다.

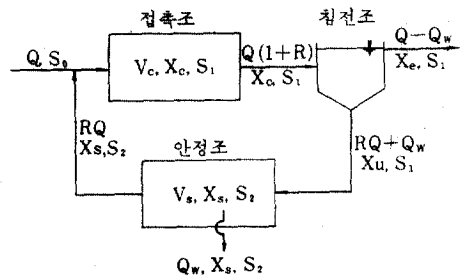


그림 1. 接觸安定시스템의 모형도

微生物의 增殖과 基質利用 사이의 관계는 다음과 같은 2개의 基本方程式 (1)과 (9)로 表示할 수 있다.

첫번째 방정식은 다음과 같은 微生物의 純

増殖率(net rate of bacterial growth)  $\left(\frac{dx}{dt}\right)_n$ 과 基質利用率  $\left(\frac{ds}{dt}\right)$  간의 관계를 나타내는 實驗式이다.

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_n = Y\left(\frac{ds}{dt}\right) - bX \quad (1)$$

윗 式에서  $X$ 는 슬러지 농도,  $S$ 는 基質濃度,  $Y$ 는 슬러지 増殖係數,  $b$ 는 슬러지의 內生呼吸係數이다. 方程式 (1)보다 훨씬 더 유용한 형태는 方程式 (1)을  $X$ 로 나누므로 얻어지는 데 그 결과 方程式은 다음과 같다.

$$\frac{1}{X}\left(\frac{dx}{dt}\right)_n = Y\left(\frac{ds}{dt}\right) - \frac{bX}{X} \quad (2)$$

이것은 또한 다음과 같이 表示된다.

$$\mu = Yu - b \quad (3)$$

여기서

$$u = \frac{1}{X}\left(\frac{ds}{dt}\right) \quad (4)$$

윗 式에서  $\mu$ 는 슬러지의 比増殖率이고  $u$ 는 比基質 利用率(specific substrate utilization)을 나타낸다.

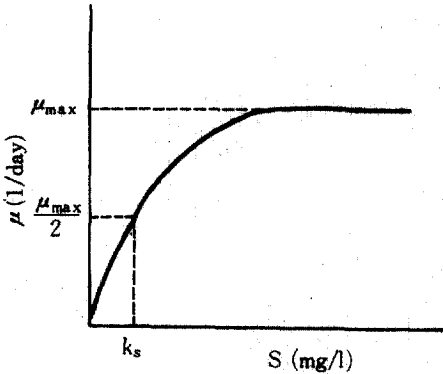


그림 2. Monod 式의 內容

두번째 基本 方程式은 그림 2와 같은 Monod 式 (5)로부터 다음과 같이 유도된 式 (8)이다.

$$\text{Monod: } \mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad (5)$$

윗 式에서  $\mu$ 는 슬러지의 比増殖率,  $\mu_{\max}$ 는 最大 増殖率,  $K_s$ 는 半速度係數이다.

$$\text{그런데 } \left(\frac{dx}{dt}\right)_n = \mu X = \mu_{\max} \frac{SX}{K_s + S} \quad (6)$$

$$\text{한편 } \left(\frac{dx}{dt}\right)_n = Y \frac{ds}{dt} \quad (7)$$

이때의  $Y$ 는 內生呼吸까지를 포함한 増殖係數를 나타낸다.

式 (6)=(7)로부터

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\mu_{\max}}{Y} \frac{SX}{K_s + S} \quad (8)$$

여기서  $\frac{\mu_{\max}}{Y} = k$ 라 놓으면 윗식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{ds}{dt} = \frac{kSX}{K_s + S} \quad (9)$$

$$\text{따라서 } u = \frac{1}{X} \frac{ds}{dt} = \frac{kS}{K_s + S} \quad (10)$$

上式에서  $k$ 는 Monod의 最大 比基質 利用率이다.

(9)식은 다음과 같이 표시되기도 한다.

$$\frac{ds}{dt} = KXS \quad (11)$$

$$K = \frac{k}{K_s + S} \quad (12)$$

윗 式의  $K$ 는 基質除去 反應速度係數이다. (9)식은 基質 利用率과 基質濃度 사이의 함수관계가 基質濃度 전체범위에 걸쳐 연속적임을 나타낸다.

生物學的 廢水處理 시스템의 設計와 가동에 있어서 널리 응용된 2개의 媒介變數가 있다. 그 중 하나는 工程負荷率, Food/Micro organism(F/M)比, 比基質 利用率 등과 같은 것인데, F/M比는 (13)式 및 (14)式으로 表示되며, 比基質 利用率은 (4)식으로 表示되며, 이것을 差分形式으로 表示하면 (15)式과 같이 된다.

$$(F/M)_c = \frac{QS_0}{X_c V_c + X_c V_s} \quad (13)$$

$$(F/M)_c = \frac{Q S_0}{X_c V_c} \quad (14)$$

윗 式에서  $Q$ 는 流入廢水 流量,  $S_0$ 는 流入廢水의 基質濃度,  $V$ 는 曝氣槽 容積, 添字  $c$ 와  $s$ 는 各各 接觸槽과 安定槽를 나타낸다.

$$u = \frac{(ds/dt)}{X} \quad (15)$$

이 媒介變數  $u$ 와 微生物의 増殖率間의 관계는 方程式 (3)에 表示된 바와 같다. (15)式을 기초로 하여 接觸槽에서의 比基質 利用率( $u_c$ )과 總괄시스템(total system)에서의 比基質 利用率( $u_t$ )은 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$u_c = \frac{Q(S_0 - S_1)}{X_c V_c} \quad (16)$$

$$u_t = \frac{Q(S_0 - S_1)}{X_c V_c + X_r V_r} \quad (17)$$

또 하나의 媒介變數는 슬러지 一齡 혹은 微生物 滯留期間 ( $\theta_c$ )이라고 불려지는 것이며 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_c = X \left( \frac{1}{dx/dt} \right) = \frac{X}{(\Delta x / \Delta t)} \quad (18)$$

윗 式에서  $\frac{dx}{dt} = (\Delta x / \Delta t)$ 는  $\Delta t$ (보통 1日) 동안에 增殖되는 슬러지로서 시스템의 定常狀態를 유지하기 위하여는 그  $\Delta t$ 마다 增殖된 슬러지를 시스템 外로 버려야 한다. 또  $\theta_c$ 는 (19)式과 같이 表示된다.

$$\theta_c = \frac{1}{\mu} \quad (19)$$

式 (18)을 기초로 하여 接觸槽에서의 微生物 滯留期間 ( $\theta_{cc}$ )과 총괄시스템에서의 微生物 滯留期間 ( $\theta_{ct}$ )은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\theta_{cc} = \frac{X_c V_c}{X_r Q_w + (Q - Q_w) X_r} \quad (20)$$

$$\theta_{ct} = \frac{X_c V_c + X_r V_r}{X_r Q_w + (Q - Q_w) X_r} \quad (21)$$

윗 式에서  $Q_w$ 는 廢슬러지 流量,  $X_r$ 는 流出水の 슬러지 濃度이다.  $X_c$ 는 일반적으로 아주 적으므로 무시하면, 근사적으로 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\theta_{cc} = \frac{X_c V_c}{X_r Q_w} \quad (22)$$

$$\theta_{ct} = \frac{X_c V_c + X_r V_r}{X_r Q_w} \quad (23)$$

$u$ 와  $\theta_c$ 에 대하여 비교해 보건데,  $u$ 는 微生物의 單位質量에 의한 基質利用의 척도이며, 반면에  $\theta_c$ 는 시스템內에서의 微生物의 平均 滯留期間의 척도이다. 위의 두 媒介變數는 둘 다 기능적으로 슬러지의 比增殖率( $\mu$ )과 관계가 있기 때문에 廢水處理 시스템의 바람직한 처리효율은 이들 媒介變數 중 어느 하나의 制御에 의해서 얻어질 수 있다. 그러나 接觸安定法과 같은 處理 시스템에 있어서는 上記 두 媒介變數 중  $\theta_c$ 를 훨씬 더 쉽게 측정할 수 있으며, 制御하는 데 편리하다.

生物學的 工程에 의한 基質除去率  $E$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E = \frac{100(S_0 - S_1)}{S_0} (\%) \quad (24)$$

그림 1과 같은 接觸安定法의 設計모델을 유도함에 있어서 다음과 같은 가정을 도입한다.

- ① 接觸槽 流入下水 中の 微生物 濃度は 무시할 수 있다.
- ② 시스템은 定常狀態로 유지된다.
- ③ 沈澱池에서의 活性슬러지 代謝는 무시한다.
- ④ 슬러지는 沈澱池에 축적되지 아니하며 流入率과 流出率은 같다.
- ⑤ 接觸槽와 安定槽는 完全混合 狀態에 있다.
- ⑥ 接觸槽에서는 基質의 吸着과 吸收에 의한 MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids 혼합액)의 증가가 일어나고 安定槽에서는 酸化에 의한 MLSS의 減少가 일어난다.

連續流式 廢水處理 시스템에 있어서 定常狀態의 工程모델은 그 시스템 內의 物質收支를 생각하면 된다.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{曝氣槽內에서의 ML-} \\ \text{SS 濃度の 變化率} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{曝氣槽內에서의 ML-} \\ \text{SS의 純增加率} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{曝氣槽로부터} \\ \text{MLSS의 流失} \end{array} \right] \quad (25)$$

接觸槽에서의 基質除去는 後述하는 實驗的 事實과 같이 (9)式에 의하여 表示된다. 媒介變數  $K_s$ 와  $k$ 의 값에 관한 關係式을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{ds}{dt} = \frac{S_0 - S_1}{t} = \frac{S_0 - S_1}{\frac{V_c}{Q}} \quad (26)$$

윗 式과 (9)式을 이용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{k S_1 X_c}{K_s + S_1} = \frac{S_0 - S_1}{\frac{V_c}{Q}} \quad (27)$$

윗 式을 정리하면

$$\frac{\frac{V_c}{Q} X_c}{S_0 - S_1} = \frac{K_s + S_1}{k S_1} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{S_1} + \frac{1}{k} \quad (28)$$

윗 식은 接觸槽에서의  $K_s$ 와  $k$ 를 구하는데 이용된다.

接觸槽에서의 基質의 物質收支 關係는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\left( \frac{ds}{dt} \right)_n V_c = Q S_0 - \left( \frac{ds}{dt} \right)_c V_c - (1+R) Q S_1 + R Q S_2 \quad (29)$$

윗 式에서  $R$ 는 슬러지 返送比,  $S_2$ 는 安定槽

의 기질 농도,  $\left(\frac{ds}{dt}\right)_c$ 는接觸槽의 기질利用率  
 $\left(\frac{ds}{dt}\right)_n$ 은接觸槽內的純基質變化率이다.

윗式중  $\left(\frac{ds}{dt}\right)_c$ 에式(9)를代入하면

$$\left(\frac{ds}{dt}\right)_n V_c = QS_0 - \frac{kS_1 X_c}{K_1 + S_1} V_c - (1+R)QS_1 + RQS_2 \quad (30)$$

定常狀態에서  $\left(\frac{ds}{dt}\right)_n = 0$  이므로

$$QS_0 - \frac{kS_1 X_c}{K_1 + S_1} V_c - (1+R)QS_1 + RQS_2 = 0 \quad (31)$$

$$\therefore V_c = [QS_0 - (1+R)QS_1 + RQS_2] \frac{K_1 + S_1}{kS_1 X_c} \quad (32)$$

$S_1$ 과  $S_2$ 가微小하므로 같다고 하면,式(32)는 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$V_c = Q(S_0 - S_1) \frac{K_1 + S_1}{kS_1 X_c} \quad (33)$$

接觸槽의容積을水理學的滯留時間( $T_c$ )에 의한式으로表示하면 다음과 같다.

$$V_c = T_c(1+R)Q \quad (34)$$

安定槽에서의슬러지의物質收支關係는 다음과 같이表示할 수 있다.

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_n V_n = RQX_n - b_s X_n V_n - RQX_n \quad (35)$$

윗式에서  $X_n$ 는沈澱槽下部流出슬러지濃度이다.一般的으로  $X_n$ 는 다음과 같이表示된다.<sup>(16)</sup>

$$X_n = \frac{10^6}{SVI} \quad (36)$$

定常狀態에서  $\left(\frac{dx}{dt}\right)_n = 0$  이므로 윗式은 다음과 같다.

$$RQX_n - b_s X_n V_n - RQX_n = 0 \quad (37)$$

$$\therefore b_s = \frac{RQ(X_n - X_c)}{V_n X_c} \quad (38)$$

$$\text{또 } V_n = \frac{RQ(X_n - X_c)}{b_s X_c} \quad (39)$$

또한安定槽의容積을水理學的滯留時間( $T_n$ )에 의한式으로表示하면 다음과 같다.

$$V_n = T_n RQ \quad (40)$$

슬러지返送比  $R$ 는沈澱池에서슬러지의物質收支關係로부터 다음과 같이 유도된다.

$$(1+R)QX_c - (Q - Q_w)X_c - (RQ + Q_w)X_n = 0 \quad (41)$$

$$R = \frac{Q(X_c - X_n) + Q_w(X_c - X_n)}{Q(X_n - X_c)} \quad (42)$$

上式에서  $Q(X_c - X_n) \gg Q_w(X_c - X_n)$ 이다.

$$\text{따라서 } R = \frac{X_c - X_r}{X_n - X_c} \quad (43)$$

한편沈澱池의設計를 위한 모델은 다음과 같은 것이 있다.<sup>(16,17,18,19)</sup>

$$A = \max\left(\frac{Q(1+R)X_c}{G_1}, \frac{Q - Q_w}{v}\right) \quad (44)$$

$$v = v_0 \exp(-k_s X_c) \quad (45)$$

$$X_1 = 0.5[(X_n) + \{(X_n)^2 - 4X_n/k_s\}^{0.5}] \quad (46)$$

$$G_1 = X_1^2 v_0 k_s \exp(-k_s X_1) \quad (47)$$

윗式에서  $A$ 는沈澱池의水面積,  $G_1$ 은沈澱池下部流出SS(suspended solids, 원탁고형물)濃도에對한 최대SS flux,  $k_s$ 는침전지에서의지역침강속도계수,  $X_1$ 은 $G_1$ 이일어날 때의SS濃度,  $k_s$ 와  $v_0$ 는沈澱池의地域沈降에서實驗的으로유도된係數,  $v$ 는曝氣槽에서沈澱池로流入되는MLSS濃도의地域沈降速度,  $X_n$ 는침전지下部流出總SS濃度이다.

### 3. 모델에 대한 實驗的 考察

#### 3.1 實驗裝置

實驗裝置는 아크릴로 製作하였으며 그 모형은 그림 3과 같다. 接觸槽, 安定槽 및 沈澱槽의 容積은 각각 4l, 6l, 6l이었다.

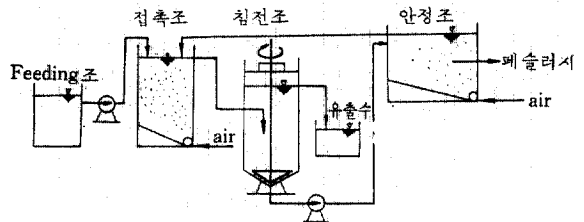


그림 3. 連續流式 接觸安定 實驗裝置

流入合成下水溶液은 Master Flex 펌프를 사용하여一定流量이 공급되도록 하였다.

接觸槽와 安定槽에서의酸素供給은酸素器와

air stone을 사용하여 시행하였으며 實驗期間 동안 曝氣槽內 DO(dissolved oxygen, 용존산소)를 2 mg/l 이상으로 유지시켰다.

接觸槽의 MLSS는 槽 側面에 달린 溢流管을 통하여 沈澱槽로 水位差에 의하여 흘러 들어가게 하였다. 이 원통형 沈澱槽에는 小型 Motor로 回轉하는 스크레이퍼(scraper)를 設置하여 바닥에 깔린 슬러지를 긁어 모아 잘 배출되도록 하였으며 그 슬러지는 바닥에 달린 排泥管을 통하여 一定量이 펌프에 의하여 安定槽로 유입되도록 하였다.

이때 슬러지 返送比는 50%로 하였으며, 沈澱槽 上澄液은 자동적으로 沈澱槽에서 集水筒으로 流出되도록 設置하였다. 安定槽에서 安定된 슬러지는 自動적으로 接觸槽에 流入되도록 하였다.

### 3.2 試料

本 實驗에서 使用한 먹이供給(feeding) 溶液은 表1에 그 成分을 表示한 바와 같이 脫脂粉乳와 無機物의 混合液으로서 콜로이드性 合成下水이다.

表 1. 合成下水 原液 1l 中の 成分含量

成 分	重量 (g)
Skim milk	100.0
Urea (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	10.0
Sodium Chloride NaCl	3.0
Sodium phosphate Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12 H <sub>2</sub> O	10.0
Potassium chloride KCl	1.4
Calcium Chloride CaCl <sub>2</sub> ·2 H <sub>2</sub> O	1.4
Magnesium sulfate MgSO <sub>4</sub> ·7 H <sub>2</sub> O	1.0

이 原液 1l의 COD (Chemical Oxygen Demand 화학적산소요구량)는 132,000 mg/l이며, BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand 5일 생물화학적산소요구량)는 112,200 mg/l이다. 이 시료의 COD와 BOD<sub>5</sub>의 상관관계는 그림 4에 表示한 바와 같다. 實驗에서는 이 合成下水 原液을 500 배로 희석하여 使用하였다. 따라서 그 COD 濃度는 260 mg/l 정도이었다.

그림 4와 같이 COD와 BOD<sub>5</sub>는 밀접한 相關關係가 있기 때문에 本 論文에서 COD로 表示된 事項은 必要에 따라 바로 BOD<sub>5</sub>에 관한 것으로 變換하여 생각할 수 있다.

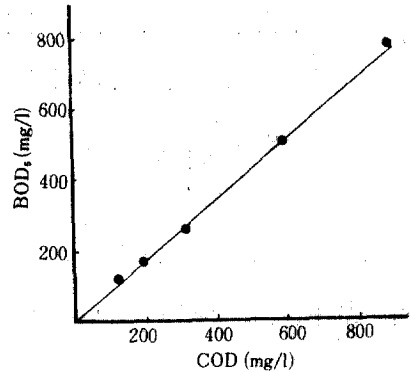


그림 4. COD와 BOD<sub>5</sub>의 相關關係

### 3.3 實驗方法

實驗은 그림 3에 表示된 實驗裝置를 使用하였으며, 水溫은 20±1°C로 유지시켰으며 pH는 6.9~7.1이었다. 接觸槽의 MLSS 濃度는 3,000 mg/l를 기준으로, 安定槽의 MLSS 濃度는 6,000 mg/l를 기준으로 유지시켰고 前記 合成下水 희석액을 流入下水로써 먹이 供給하였다.

流入下水流量 Q는 19.2 l/day에서 67.2 l/day까지 변화시키며 實驗하였다. 流入下水量의 변동에 따라, 接觸槽에서의 水理學的 滯留時間[式(34)에 의하여 計算]은 0.95시간에서 3.30시간까지 변동되었으며, 安定槽에서의 水理學的 滯留時間[式(40)에 의하여 計算]은 4.30시간에서 15.0시간까지 변동되었다.

本 實驗에서는 運轉 媒介變數로서 SRT (Sludge Retention Time 슬러지 체류기간)를 택하였으며 SRT를 여러 가지로 변화시켰을 때의 處理效果를 檢討하였다. 接觸槽에서의 SRT는 3.12~23.98日이고 總괄시스템에서의 SRT는 12.5~96.15日로 변화시켰다.

實驗은 변화시킨 各 流入下水量(따라서 그에 해당하는 水理學的 滯留時間 또는 슬러지 滯留期間)에 대하여 總괄시스템이 定常狀態가 되었을 때 後述하는 ①~⑥項目의 測定을 하였다.

시스템의 定常狀態는 流出水의 水質, 接觸槽와 安定槽의 酸素攝取率 및 MLSS增加率을 每日 測定하여, 그 値가 一定해졌을 때 達成된 것으로 보았으며, 定常狀態를 유지하기 위하여 하

表 2. 接觸安定法에 의한 實驗結果

	$S_0$ (mg/l)	$S_1$ (mg/l)	$S_2$ (mg/l)	$X_1$ (mg/l)	$X_2$ (mg/l)	$X_3$ (mg/l)	$Q$ (l/day)	$Q_0$ (l/day)	$T_1$ (day)	$T_2$ (day)	F/M比	SRT (day)	SVI
1	266.0	12.0	8.5	3,014	6,015	9,146	19.2	0.067	0.208	0.652	0.10	96.15	69.0
2	258.2	18.0	9.0	3,006	6,013	9,180	28.8	0.124	0.138	0.416	0.15	40.48	62.0
3	261.4	25.5	10.0	3,007	6,013	9,578	38.4	0.177	0.104	0.310	0.20	25.12	73.0
4	261.2	31.4	11.0	2,989	5,977	9,678	48.0	0.235	0.833	0.247	0.25	20.00	67.4
5	256.7	38.5	12.0	2,984	5,969	9,980	57.6	0.446	0.069	0.206	0.30	15.48	72.4
6	256.7	47.5	14.0	2,916	5,832	10,198	67.2	0.540	0.059	0.178	0.35	12.50	60.0

투동안에 增加된 MLSS를 安定槽에서 每日 떠냈다.

測定 項目은 다음과 같다.

- ① 合成下水의 流入 COD 濃度
- ② 流出水의 溶解性 COD 濃度
- ③ 接觸槽, 安定槽 및 流出水의 MLSS 濃度
- ④ 接觸槽와 安定槽의 酸素攝取率
- ⑤ 水溫 및 pH
- ⑥ 沈澱槽 下部 排泥管을 통해 安定槽로 流入되는 MLSS 濃度 및 SVI (Sludge Volume Index 슬러지용적지수)

이상 測定項目中 COD, MLSS, SVI, pH 등은 U.S. Standard Method<sup>(20)</sup>에 의하여 실시하였다.

DO 攝取率은 曝氣槽內 DO의 시간적 變化를 DO-meter로 測定하므로써 求하였다.

### 3.4 實驗結果

實驗 結果는 表 2와 같다. 이 表의 값은 1983년 8월 22일부터 1983년 12월 10일까지 實驗한 結果이며, 各 流入下水流量(Q)에 대하여 5회씩 反復 實施한 結果值 중 가장 신뢰할만한 값을 3개 취하여 平均한 것이다.

### 3.5 考 察

그림 5는 총괄시스템과 接觸槽에서의 比基質 利用率( $u_c$ 와  $u_s$ , 式 (16)과 式 (17)에 의한)과 F/M比 [式 (13)과 式 (14)]에 대한 것이다.

그림에서 比基質 利用率은 F/M比, 즉 COD/MLSS 負荷率에 比例함을 알 수 있다. 이것은 接觸安定法에 있어  $u$ 와 F/M比가 같은 種類의 性格을 갖는 媒介變數임을 나타낸다고 볼 수 있다.

그림 6은 총괄시스템과 接觸槽에서의 比基質

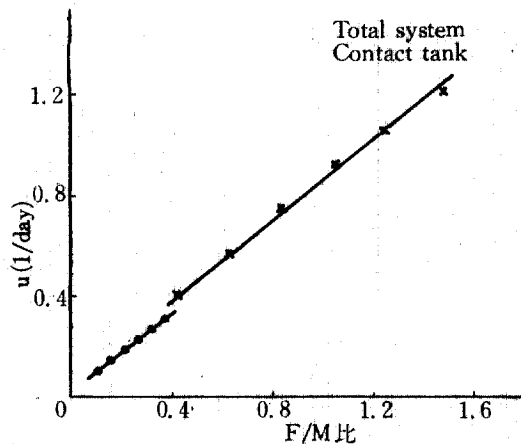


그림 5. F/M比에 대한 比基質 利用率

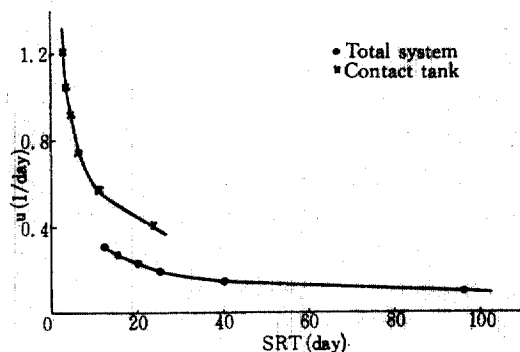


그림 6. 슬러지 滯留期間에 대한 比基質 利用率

利用率( $u_c$ 와  $u_s$ , 式 (16)과 式 (17)에 의한)과 슬러지 滯留期間( $\theta_{cc}$ 와  $\theta_{cs}$ , 式 (20)과 式 (21)에 의한)에 대한 것이다.

그림에서 SRT와  $u$ 는 相反된 關係가 있음을 알 수 있다. 이것은 (3)式과 (18)式을 組合한 式  $\frac{1}{\theta_c} = Yu - b$ 로 볼때 求되는 당연한 結果라 볼 수 있다.

比基質 利用率은 接觸槽에서의 SRT가 약 7日 이하일 때 크고 총괄시스템에서의 SRT가 약 25日 이하일 때 크다.

그림 7은 총괄시스템과 接觸槽에서의 슬러지 滯留期間 또는 F/M比와 COD除去率과의 關係를 表示한 것이며 총괄시스템의 슬러지 滯留期間 ( $\theta_{ct}$ )이 12.5日에서 96.15日로 變할 때 COD除去率은 81.5%에서 95.5%까지 變한다.

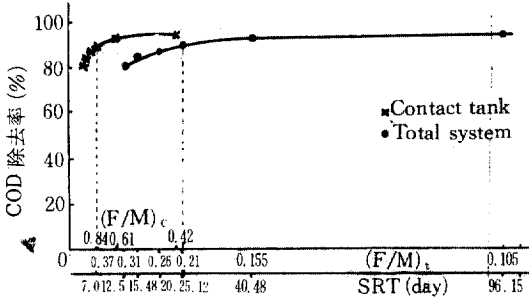


그림 7. 슬러지 滯留期間에 대한 COD除去率

SRT의 영향이 크게 作用하는 것은 接觸槽에 있어서는 7日 以下이고, 총괄시스템에 있어서는 25日 以下이다. 따라서 接觸槽의 SRT는 7日, 총괄시스템의 SRT는 25日 정도로 함이 效果이다. 이것은 그림 6의 結果로부터 當然히 豫상되는 結果이다.

接觸槽에서의 SRT가 짧은데도 불구하고 COD除去率이 비교적 높은 것은 安定槽에 의해서 SRT가 높게 確保되어 있기 때문이다. 또 그림에 있어 SRT值와 F/M值는 1對 1로 相應하며 SRT나 F/M중의 한 值만 定해지면 거기에 따라 COD除去率이 定해진다. 따라서 工程의 基質除去率 調整은 F/M比나 SRT中의 어느 하나를 택하므로써 可能하다.

참고로 SRT值와 (F/M)比의 關係式을 유도하여 보면 다음과 같다.

(22)式을 (14)式에 代入하여

$$(F/M)_c = \frac{QS_0}{X_c Q_w} \cdot \frac{1}{\theta_{cc}} \quad (48)$$

(23)式을 (13)式에 代入하여

$$(F/M)_t = \frac{QS_0}{X_c Q_w} \cdot \frac{1}{\theta_{ct}} \quad (49)$$

그림 8은 총괄시스템에서의 微生物 滯留期間

( $\theta_{ct}$ )과 SVI에 대한 것이다.

이것은 총괄시스템의 SRT가 약 10日 이상일 때 SVI는 68 정도로서 良好한 沈澱性을 나타낼을 의미한다.

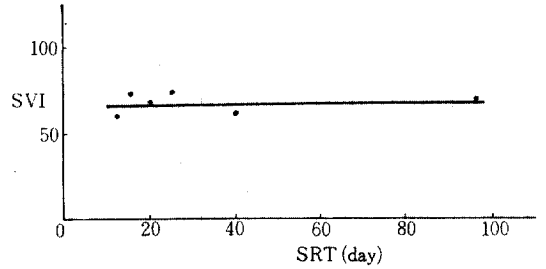


그림 8. SVI와 슬러지 滯留期間의 關係

接觸槽의 水理學的 滯留時間이 짧음에도 不拘하고 슬러지의 沈澱性이 좋은 것은 슬러지가 安定槽에서 充分히 安定化되었기 때문이다.

그림 9는 接觸槽의 水理學的 滯留時間의 變化에 따른 接觸槽의 MLSS增加率과 COD除去率의 關係를 나타낸다.

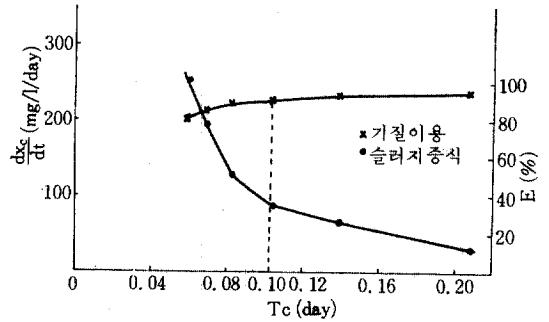


그림 9. 接觸槽의 水理學的 滯留時間 ( $T_c$ )의 變化에 따른 MLSS增加率과 COD除去率 關係

위 그림에서 接觸槽의 水理學的 滯留時間 ( $T_c$ )이 약 0.1日 (2.4 시간) 이하일 때 基質除去率과 MLSS增加率이 크게 變化하나  $T_c=2.4$  시간 이상에서는 基質除去率의 增加가 거의 없고, MLSS增加率의 變化도 完만해지므로 接觸槽에서의 水理學的 滯留時間은 2.4 시간 以下로 取함이 좋다.

그림 10은 安定槽의 水理學的 滯留時間의 變化에 따른 총괄시스템의 MLSS增加率에 대한 것이다.

그림 10에서 총괄시스템의 MLSS增加率의 急



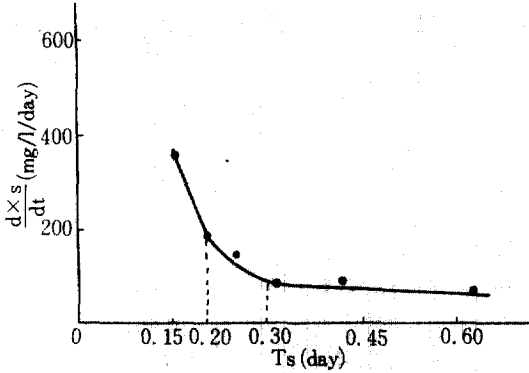


그림 10. 安定槽의 水理學的 滯留時間의 變化에 따른 MLSS 增加率

激한 減少는 슬러지 安定化에 基因하는 것이며 따라서 MLSS 增加率이 完滿해지기 시작하는 時點( $T_s=0.2\sim 0.3$ 日 $=4.8\sim 7.2$ 시간)에서 슬러지의 安定化가 끝난다고 볼 수 있다. 故로 安定槽의 水理學的 滯留時間을 약 6시간 또는 5~7시간으로 취함이 좋을 것이다.

그림 11은 微生物의 最大 比基質 利用率과 半速度係數와의 關係를 나타낸 것이다. 이것은 接觸槽에서의 最大 比基質 利用率( $k$ )와 半速度係數( $K_s$ )의 關係를 式(28)을 利用하여 圖化(plot)한 것이다. 이 그림을 線型回歸分析하여  $K_s=106.64\text{mg/l}$ 와  $k=4.0/\text{day}$ 를 얻었다.

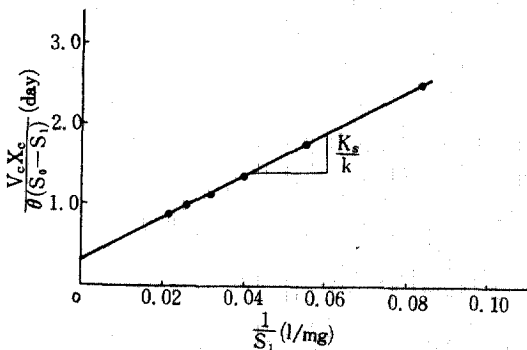


그림 11. 最大 比基質 利用率과 半速度係數의 關係

이때의 相關係數  $R=0.99$ 이었다.

相關係數가 이와 같이 높은 것은 接觸槽에서의 基質除去率( $\frac{ds}{dt}$ )가 (9)式으로서 잘 表現됨을

의미한다.

그림 12는 接觸槽에 있어서의 基質濃度와 比基質 利用率과의 關係를 表示한다.

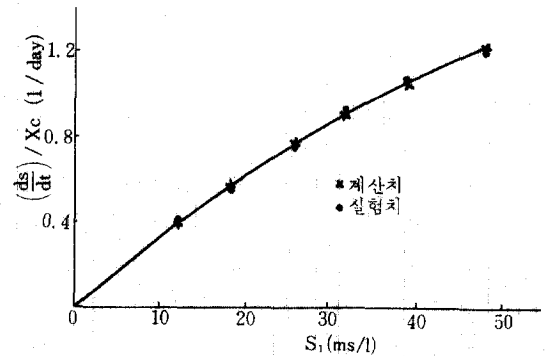


그림 12. 接觸槽에서의 比基質 利用率과 基質濃度와의 關係

그림에서  $\bullet$ 표는 實驗值(실험치를 써서 式(16)으로 求한 것)를 表示하고  $\times$ 표는 計算值(그림 11에서 求한  $K_s$  및  $k$ 值를 (10)式에 代入하여 計算한 것)인데 이들 値는 아주 잘 一致한다. 따라서 接觸槽의 基質除去는 式(9) 또는 式(10)에 依하여 表示된다는 가정은 正當한 것이라 할 수 있다.

그림 13은 接觸槽에 있어서의 比基質 利用率  $u_c$ [(10)式으로 계산]와 安定槽에서의 MLSS 減少係數  $b_s$ [(38)式으로 계산]의 關係를 나타낸 것

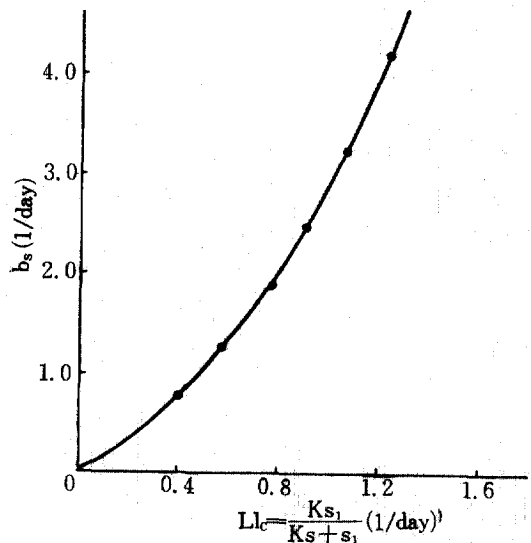


그림 13. 比基質 利用率과 分解係數間의 關係

이다.

圖化된 點들에 대하여 Marquardt<sup>(21)</sup>가 개발한 多重非線性 回歸分析法를 利用하여  $b_s$ 와  $u_s$ 의 關係式을 다음과 같이 유도하였다.

$$b_s = 0.218 + 0.59 u_s + 2.14 u_s^2 \quad (50)$$

#### 4. 合理的 設計法

이제까지 接觸安定法의 設計는 신빙성이 적고 막연한 經驗에 의한 것이 대부분이었다. Benefield가 唯一하게 理論的인 設計法을 提示하였으나 이것도 앞서 著者가 지적한 바와 같은 여러 가지 문제점이 있다. 이에 著者들은 다음과 같은 보다 合理的인 設計節次를 提案하는 바이다.

1) 環境基準 또는 廢水處理 排出水質基準에 의하여 流出水의 基質濃度  $S_1$ 과 SS濃度  $X_s$ 를 定한다.

2) 接觸槽의 MLSS濃度を 적절히 定한다.

$$X_s = 2,000 \sim 4,000 \text{ mg/l (標準值 } 3,000 \text{ mg/l)}$$

3) 그림 3에 表示한 바와 같은 實驗裝置를 사용하여 處理코자 하는 廢水에 對한 實驗을 한다. 實驗을 통하여 最大 比基質 利用率  $k$ 와 半速度 係數  $K_s$ 를 求한다[(28)式 利用].

4) (36)式을 利用하여  $X_u$ 를 算定한다.

5) 슬러지 返送比  $R$ 는 (43)式에 의하여 算定한다.

6) 實驗에 의하여  $b_s$ 를 求하고(실험치를 (38)式에 代入하여 계산함) 한편 (10)式에 의하여  $u_s$ 를 구한 다음  $u_s - b_s$  曲線을 圖化하고, 回歸曲線式을 求한다[(50)式 참조]. 그 回歸曲線式의  $u_s$ 에 所定值를 代入하므로써  $b_s$ 를 求한다.

7) 接觸槽의 水理學的 滯留時間은 所定の COD 除去率에 따라 2.4시간 이하, 安定槽의 水理學的 滯留時間은 5~7시간으로 定한다.

8) (32)式 또는 (33)式과 (34)式을 利用하여 각각  $V_s$ 를 求하고, 서로 比較하여 큰 값을  $V_s$ 로 定한다.

9) (F/M)比를 所要 COD 除去率이 되도록 實驗을 통하여 定한다(그림 7 참조). 그 (F/M)值와 (40)式으로 구한  $V_s$ 值를 (11)式에 代入하여 安定槽의 MLSS濃度  $X_s$ 를 求한다.

10) (39)式에 의하여  $V_s$ 를 求한다.

11) (40)式에 의한  $V_s$ 와 (39)式에 의한  $V_s$ 와 比較하여 큰 값을  $V_s$ 로 定한다.

12) 沈澱池의 水面積을 (44)式에 의하여 결정한다.

#### 5. 設計例

設計條件

$$S_0 = 250 \text{ mgCOD/l} \quad Q = 10,000 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$S_1 = 30 \text{ mgCOD/l} \quad X_s = 20 \text{ mgSS/l}$$

$$v_0 = 146.3 \text{ m/day} \quad k_s = 0.6 \times 10^{-3} \text{ l/mg}$$

設計內容

①  $X_s = 3,000 \text{ mg/l}$ 로 定함

② 實驗에 의하여 媒介變數  $K_s = 106.64 \text{ mg/l}$ ,  $k = 4.0/\text{day}$ ,  $b_s = 2.38/\text{day}$ ,  $SVI = 100$ 을 求함.

$$③ X_u = \frac{10^6}{SVI} = \frac{10^6}{100} = 10,000 \text{ mg/l}$$

$$④ R = \frac{X_s - X_c}{X_u - X_c} = \frac{3,000 - 20}{10,000 - 3,000} = 0.425 \approx 0.43$$

⑤ 實驗을 통한 COD 除去率( $E$ )와  $T_c$ 의 關係 曲線으로부터  $E = \frac{100(S_0 - S_1)}{S_0} = \frac{100(250 - 30)}{250} = 88\%$ 에 해당하는  $T_c$ 를 求함. 즉,  $T_c = 2.0$ 시간

$$⑥ V_s = Q(S_0 - S_1) \frac{K_s + S_1}{k S_1 X_s} = 10,000(250 - 30) \frac{106.64 + 30}{4.0 \times 30 \times 3,000} = 835 \text{ m}^3$$

$$V_s = T_c(1 + R)Q = \frac{2.0}{24}(1 + 0.43) \times 10,000 = 1,191.7 \text{ m}^3$$

여기서,  $V_s$ 는 1,191.7  $\text{m}^3$ 로 定함.

⑦ 實驗을 통하여 (F/M)<sub>s</sub>는 0.20( $\theta_{cs} = 20$ )이라 定하고  $T_c$ 는 6시간으로 定함

$$⑧ V_s = T_c R Q = \frac{6}{24} \times 0.43 \times 10,000 = 1,075.0 \text{ m}^3$$

$$⑨ X_s = \frac{Q S_0 - (F/M)_s V_s}{b_s V_s} = \frac{10,000 \times 250 - 0.25 \times 3,000 \times 1,191.7}{0.25 \times 1,075.0}$$

$$= 5,976.7 \text{ mg/l} \approx 6,000 \text{ mg/l}$$

$$⑩ V_s = \frac{R Q (X_u - X_s)}{b_s X_s} = \frac{0.43 \times 10,000(10,000 - 6,000)}{2.38 \times 6,000} = 1,204.5 \text{ m}^3$$

여기서  $V$ , 는  $1,204.5 \text{ m}^3$  로 定함

⑩ 沈澱池의 水面積은 式 (19)에 表示된 式에 의하여 다음과 같이 計算한다.

$$Q_w = \frac{X_c V_c + X_r V_r}{X_c \theta_{c,r}}$$

$$= \frac{3,000 \times 1,191.7 + 6,000 \times 1,204.5}{6,000 \times 20}$$

$$= 90.0 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$A = \max\left(\frac{Q(1+R)X_c}{G_1}, \frac{Q-Q_w}{v}\right)$$

$$v = v_0 \exp(-k_d X_c) = 146.3 \exp(-0.6 \times 10^{-3} \times 3,000) = 24.18 \text{ m/day}$$

$$X_1 = 0.5[(X_w) + \{(X_w)^2 - 4(X_1)/k_d\}^{0.5}]$$

$$= 0.5[10,000 + \{(10,000)^2 - 4 \times 10,000/0.6 \times 10^{-3}\}^{0.5}] = 7,886.75 \text{ mg/l}$$

$$G_1 = X_1^2 v_0 k_d \exp(-k_d \cdot X_1)$$

$$= 7,886.75^2 \times 146.3 \times 0.6 \times 10^{-3} \exp(-0.6 \times 10^{-3} \times 7,886.75)$$

$$= 48,093.71 \text{ g/m}^2/\text{day}$$

$$A = \max\left(\frac{10,000 \times (1+0.43) \times 3,000}{48,093.71}, \frac{10,000 - 90.02}{24.18}\right)$$

$$= \max(892.0, 409.8)$$

$$= 892.0 \text{ m}^2$$

沈澱池의 水面積은  $892.0 \text{ m}^2$  로 定한다.

## 6. 結 論

1) 接觸槽에서의 基質 利用率(除去率)은  $\left(\frac{ds}{dt}\right)_c = \frac{kXS_1}{K_s + S_1}$  의 式으로 잘 表現된다.

2) 接觸安定法의 淨化 機構은 여러 가지 複雜한 factor 가 關係되므로 生物學的 媒介變數의 直接의 使用을 避하고 接觸槽에서의 MLSS 增加와 安定槽에서의 MLSS 減少를 托대로 한 시스템의 物質收支를 適用하므로 簡便하고 合理的인 設計 모델을 유도하였다.

3) 그와 같은 設計 모델을 適用할 때, 設計는 다음과 같은 順序로 進行함이 可하다.

① 處理水 水質基準 決定, ② 接觸槽의 MLSS 濃度 選定, ③ 實驗을 통한 媒介變數推定, ④ 沈澱池 下部流出水의 슬러지 濃度算定, ⑤ 슬러지

返送比 決定, ⑥ 安定槽에서의 MLSS 減少係數 決定, ⑦ 各槽의 水理學的 滯留時間 決定, ⑧ 接觸槽의 容積 決定, ⑨ 安定槽의 MLSS 濃度 決定, ⑩ 安定槽의 容積 算定, ⑪ 沈澱池 水面積 算定.

4) 脫脂粉乳와 無機物을 組合한 合成廢水에 利用하여 다음과 같은 實驗結果를 얻었다.

① 安定槽에서의 MLSS 減少係數  $b$ , 와 接觸槽에서의 比基質 利用率  $u_c$  는 다음과 같은 2次函數로 表示된다.

$$b = 0.218 + 0.59 u_c + 2.14 u_c^2$$

② 接觸槽와 安定槽에서의 水理學的 滯留時間을 所要 COD(또는 BOD) 除去率에 따라 各各 2.4 時間이하와 5~7 時間으로 定함이 適當하다.

## 記 號

本 論文에서 使用된 기호는 다음과 같다.

$A$ : 沈澱池의 水面積( $\text{m}^2$ )

$b$ : 微生物 分解係數(1/day)

$b_r$ : 安定槽에서의 MLSS 減少係數

$E$ : 基質 除去率(%)

$(F/M)_c$ : 接觸槽에서의 F/M 比

$(F/M)_r$ : 總괄시스템에서의 F/M 比

$G_1$ : 沈澱池下部的 固形物濃度( $X_w$ )를 얻기 위한 最大 懸濁固形物 flux( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{sec}$ )

$k$ : 最大 比基質 利用率(1/day)

$k_d$ : 地域沈降速度에 대한 實驗係數( $l/\text{mg}$ )

$K_1$ : 單位時間單位微生物當 溶解性 基質除去率

$K_2$ : 單位時間單位微生物當 콜로이드性 基質除去率

$K_s$ : 半速度係數( $\text{mg}/l$ )

$Q$ : 流入廢水流量( $\text{m}^3/\text{day}$ )

$Q_w$ : 廢슬러지 流量( $\text{m}^3/\text{day}$ )

$R$ : 슬러지 返送比

$RQ$ : 返送流量( $\text{m}^3/\text{day}$ )

$S_0$ : 流入廢水의 總基質濃度( $\text{mg}/l$ )

$S_1$ : 接觸槽 流出水의 基質濃度( $\text{mg}/l$ )

$S_2$ : 安定槽의 基質濃度( $\text{mg}/l$ )

$S_{c,p}$ : 接觸槽 固形性 基質濃度( $\text{mg}/l$ )

$S_{r,p}$ : 接觸槽 流入水의 固形性 基質濃度( $\text{mg}/l$ )

SVI: 슬러지 容積指數

$t$ : 時間(day)

$T_c$ : 接觸槽의 水理學的 滯留時間(day)

$T_r$ : 安定槽의 水理學的 滯留時間(day)

$u$ : 比基質 利用率(1/day)

$u_c$ : 接觸槽에서의 比基質 利用率(1/day)  
 $u_t$ : 총괄시스템에서의 比基質 利用率(1/day)  
 $v$ : 活性슬러지 懸濁固形物の 沈澱池에서의 地域沈降 速度(m/day)  
 $v_0$ : 沈澱速度(m/day)  
 $V$ : 曝氣槽의 容積(m<sup>3</sup>)  
 $V_c$ : 接觸槽의 容積(m<sup>3</sup>)  
 $V_s$ : 安定槽의 容積(m<sup>3</sup>)  
 $X_1$ :  $G_1$ 이 일어나는 懸濁固形物濃度(mg/l)  
 $X_c$ : 接觸槽에서의 MLSS濃度(mg/l)  
 $X_s$ : 安定槽에서의 MLSS濃度(mg/l)  
 $X_u$ : 沈澱池下部에서 流出되는 固形物 濃度(mg/l)  
 $Y$ : 曝氣槽에서의 微生物 增殖係數  
 $\theta_c$ : 微生物 滯留期間(day)  
 $\theta_{c,c}$ : 接觸槽에서의 微生物 滯留期間(day)  
 $\theta_{c,t}$ : 총괄시스템에서의 微生物 滯留期間(day)  
 $\mu$ : 比增殖速度(1/day)

### 參 考 文 獻

- Haseltine, T.R., "Sludge Reaeration in the Activated Sludge Process-A Survey", *Journal WPCF*, Vol. 33, No. 9, September, 1961, pp. 946~967.
- Ullrich, A.H., and Smith, M.W., "Operation Experience with Activated Sludge-Biosorption at Austin, Texas", *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 29, No. 4, 1957, pp. 400~413.
- McKinney, R.E., "Research and Current Developments in the Activated Sludge Process", *Journal WPCF*, Vol. 37, 1965, pp. 1696~1704.
- Khararjian, H.A., and Sherrard, J.H., "Contact Stabilization Treatment of a Colloidal Organic Wastewater", *Journal WPCF*, Vol. 50, No. 4, April 1978, pp. 645~652.
- 梁相鉉, 安松燁, "回分式 接觸安定法의 淨化特性에 관한 實驗의 研究", 全北大學校 工學研究 第13輯, 1983, pp. 189~199.
- Mckee, J.E. and Fair, G.M., "Load Distribution in the Activated Sludge Process", *Sewage Wks J.*, Vol. 14, No. 1, 1942.
- Steward, M.J., "Activated Sludge Process Variations-The Complete Spectrum", *Wat. Sewage Wks.*, Vol. III, No. 5, 1964, pp. 153~297.
- Keefer, C.E. and Meisel, J., "Activated Sludge Studies, II. Efficiency and Performance under Various Operating Conditions", *Sew. and Ind. Waster*, Vol. 22, No. 12, 1950, pp. 1518~1523.
- Eckenfelder, W.W., Jr., "Kinetic Relationships in the Bio-Oxidation of Sewage and Industrial Waste", *Proc., 14th Ind. Waste Conf.*, Vol.

104, Purdue Univ., 1959.

- McCarty, P.L., "The Role of Enzymes in the Contact Stabilization-Formal Discussion", *In Advances in Wat. Pollut. Research*, Vol. 2, Journal WPCF, 1967.
- Siddiqi, R.H., Speece, R.E., and Engelbrecht, R. S., "Effect of the Stabilization Period on the Performance of the Contact Stabilization Process", *Journal WPCF*, Vol. 39, No. 7, July, 1967, pp. 1211~1222.
- Jones, P.H., "A mathematical Model for Contact Stabilization-Modification of the Activated Sludge Process", *5th Int. Conf. Wat. Pollut. Res.*, San Francisco, 1970, pp. II-5/1~II-5/10.
- Gujer, W. and Jenkins, D., "The Contact Stabilization Activated Sludge Process-Oxygen Utilization, Sludge Production and Efficiency", *Water Research*, Vol. 9, 1975, pp. 553~560.
- Benefield, L.D. and Randall, C.W., "Design Procedure for a Contact Stabilization Activated Sludge Process", *Journal WPCF*, Vol. 48, No. 1, January, 1976, pp. 147~152.
- Lawrence, A.W. and McCarty, P.L., "Unified Basic for Biological Treatment Design and Operation", *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, Vol. 96, No. SA3, Paper 7365, June, 1970, pp. 757~778.
- Dick, R.I., "Folklore in the Design of Final Settling Tanks", *Journal WPCF*, Vol. 48, No. 4, April, 1976, pp. 633~644.
- Dick, R.I., "Role of Activated Sludge Final Settling Tanks", *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, Vol. 96, No. SA2, April, 1970, pp. 423~436.
- Vesilind, P.A., "Design of Prototype Thickeners from Batch Settling Tests", *Water and Sewage Works*, Vol. 115, No. 302, July, 1968, pp. 302~305.
- Middleton, A.C. and Lawrence, A.W., "Cost Optimization of Activated Sludge System", *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. XVI, John Wiley and Sons, Inc., N.Y., 1974, pp. 807~826.
- "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 15th ed., American Public Health Association, Washington, D.C., 1981.
- Marquardt, D.M., "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters", *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, Vol. 11, 1963, pp. 431~441.

(接受: 1984. 3. 19)