

# 回轉圓板接觸法에 의한 廢水處理의 模型에 관한 研究

Models of Wastewater Treatment by Rotating Discs

鄭 泰 鶴\*

Chung, Tai Hak

朴 仲 鉉\*\*

Park, Chung Hyun

---

## Abstract

A model of substrate removal by rotating discs has been developed for a better understanding of the process, and the performance of the system has been evaluated under steady and unsteady state. The model was constructed based upon mass transfer of the substrate from the bulk solution to the biofilm and a simultaneous removal of the substrate by the biomass. The model is composed of a few sets of differential equations representing mass balance within the elements of a liquid film and a biofilm, and in the bulk solution.

Substrate removal efficiency of the process is largely dependent on a diffusion coefficient of the substrate within the biofilm and a maximum rate of substrate removal of the biomass. The efficiency is affected to a greater extent when the substrate concentration is low and the maximum substrate removal rate is high. The efficiency increases proportionally with increasing film depth when the biofilm is shallow, however, the rate of increase gradually decreases with an increase of the film depth. As the film reaches a limiting depth, the efficiency remains constant. Unlike the steady state, the effluent quality is affected by the tank volume under dynamic state. Increasing tank volume decreases peak concentration of the effluent under peak loading. Additional tank volume provides a buffer capacity against a peak loading and the holding tank behaves like an equalization tank.

---

## 要 旨

回轉圓板接觸法에 의한 廢水處理의 理解를 增進시키고 여러가지 條件의 變化에 따라 달라지는 處理效率를 算定하기 위하여 模型을 開發하고 Simulation을 통하여 定常狀態와 非定常狀態에서의 模型을 分析하였다. 回轉圓板에 의한 基質除去模型은 溶液으로부터 微生物膜內部로의 基質傳達와 微生物에 의한 基質의 分解에 의해 處理가 이루어진다고 假定하고 定立되었고 模型은 여러개의 要素로 나뉘어진 液體膜과 微生物膜, 그리고 溶液中의 基質濃도에 관한 일련의 物質收支式으로 構成된다.

定常狀態에서 處理效率는 基質의 擴散係數와 微生物의 最大基質分解率에 의해 左右되고 擴散에 의한 영향은 溶液中의 基質濃도가 낮고 最大基質分解率이 높을 경우 현저하게 나타난다. 基質除去效率는 微生物膜의 두께가 얇을 때는 거의 두께에 比例하여 增加하나 두께의 增加에 따

---

\* 正會員 · 서울大學校 工科大學 助教授

\*\* 正會員 · 서울大學校 工科大學 教授

라 效率增加는 鈍化되고 限界두께에 이르면 基質의 浸透가 不充分하여 效率은 一定해진다. 非定常狀態에서 流出水의 水質은 反應槽의 體積에 의해 영향을 받는다. 反應槽의 體積增加는 尖頭負荷에 대하여 尖頭濃度를 낮게하는 緩衝效果를 나타내기 때문에 反應槽는 均等槽의 역할을 한다 할 수 있다.

## 1. 序 論

廢水의 生物學的 處理는 活性슬러지法과 같이 浮遊式으로 成長하는 微生物을 利用하는 方法과 固形의 媒介體(solid media)의 表面에 붙어서 成長하는 微生物을 利用하는 方法으로 大別할 수 있으며 回轉圓板接觸法(rotating disc contact process)은 후자에 속한다 할 수 있다. 回轉圓板接觸法은 都市下水와 産業廢水의 有機物의 除去와 암모니아性窒素의 酸化에 주로 利用되고 있으며 運轉의 容易性 등의 利點으로 보급이 점차 擴大되고 있다. 특히 최근에는 空氣驅動方式(air drive system)이 도입되어 종래의 機械式驅動方式(mechanical drive system)에 비해 적은 에너지로 높은 處理 效率을 얻을 수 있게되어 이에 대한 關心이 고조되고 있다.

回轉圓板에 의한 處理效率은 運轉結果를 토대로 하여 BOD와 암모니아의 除去에 대하여 많이 소개되어 있으나<sup>(1,2,3)</sup> 經驗的 方法으로는 주어진 여건이 달라질 경우에는 適用이 어렵다는 缺點이 있다. 본 研究에서는 理論的인 方法에 의하여 回轉圓板接觸法의 模型을 定立하고 이의 Simulation을 통해 處理工程의 理解를 돕고 새로운 條件에서의 處理效率變化를 豫測하고자 한다.

回轉圓板接觸法에 의한 汚染物의 除去는 圓板 表面에 附着된 微生物과 反應槽內에서 浮遊狀態로 存在하는 微生物에 의해 이루어지며 浮遊狀態의 微生物은 附着狀態의 微生物에 비하여 적은 量이다. Pretorius<sup>(4)</sup>의 實驗結果에 의하면 圓板表面에 附着된 微生物을 전부 떼어낸 후 回轉圓板反應槽內에 浮遊시켰을 때 浮遊物質의 濃도가 36,000 mg/l로 되었다 한다. 附着狀態의 微生物은 圓板表面에서 얇은 微生物膜을 形成하고 微生物膜은 成長과 剪斷力에 의한 sloughing에 의해 一定한 環境條件下에서 定常狀態를 維持하

게 되며 여건이 變化하면 이에 따라 서서히 새로운 定常狀態로 바뀌게 된다. 微生物膜의 두께 變化는 初期 試運轉 段階를 除外하고는 느리게 進行되기 때문에 微生物膜이 一定한 두께를 維持한다고 假定하였다.

回轉圓板의 反應槽는 圓板의 回轉速度가 아주 느린 경우를 除外하고는 混合狀態가 良好하므로 完全混合型의 反應槽로 取扱할 수 있다.

## 2. 回轉圓板에 의한 基質分解模型

回轉圓板에 의한 基質의 分解는 微生物膜模型(biofilm model)<sup>(5,6)</sup>에서 제시한 mechanism을 따른다고 假定하면 溶液중의 基質은 다음과 같은 段階를 거치며 除去된다고 할 수 있다. 溶液으로부터 微生物膜 表面으로의 物質傳達(mass transfer)이 있을 후 基質은 擴散(diffusion)에 의해 微生物膜 內부로 浸透되고 微生物에 의한 生化學的 反應에 의해 基質이 分解된다고 할 수 있다. 本 研究에서는 이와 같은 諸 현상을 回轉圓板의 幾何學的 特性과 關連시켜 模型을 定立하고자 한다.

回轉圓板은 完全混合型의 反應槽에서 一定時間 廢水에 잠긴 狀態로 있다가 一定時間은 反應槽밖으로 露出되어 大氣와 接觸하게 된다. 圓板이 回轉하여 大氣中으로 露出될 때에는 微生物膜 表面에 溶液이 함께 붙어 얇은 液體膜(liquid film)을 形成하며 回轉하게 되고 물속에 잠기는 순간에 液體膜은 反應槽의 溶液과 섞이게 된다. 液體膜이 圓板 表面을 따라 아래로 흘러내리는 현상(dripping)을 무시하면 液體膜의 두께가 一定하다고 假定할 수 있다.

微生物膜 內부와 表面근처에서의 基質의 濃度 分布는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 計算의 편의를 위하여 微生物膜을 여러개의 要素(element)로 나누어 각 要素의 平均濃度를 代表되는 濃도로 정했다. 微生物膜 表面에서는( $i=1$ ) 圓板

이 공간에서 차지하는 위치에 따라 용액 혹은 액체막과 접하게 된다. 微生物의 활성이 높을 경우 기질濃度は 微生物膜의 表面 근처나 中間部分에서 零에 도달하게 되며 本 模型에서는 이러한 경우에도 特別한 取扱이 必要없이 解析이 可能하다.

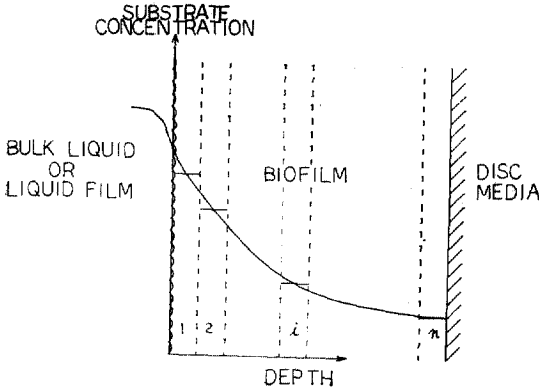


그림 1. 微生物膜表面과 内部에서의 基質濃度分布

圓板이 空氣中에 있을 때 液體膜으로부터 微生物膜으로의 物質傳達は 液體膜內의 基質濃도가 均一하다고 假定할 때 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\delta \frac{S_{L,j+1} - S_{L,j}}{\Delta t_a} = -K_a(S_{L,j} - S_{a,i,j}) \quad (1)$$

위의 式에서

$\delta$  = 液體膜의 두께

$S_L$  = 液體膜內의 基質濃度

$S_a$  = 液體膜과 접해있는 微生物膜의 基質濃度

$K_a$  = 液體膜과 微生物膜사이의 物質傳達係數

$\Delta t_a$  = 圓板이 空氣中에 있을 때 微小한 時間의 增加量

두개의 subscript 가 쓰일 때 첫번째의 subscript 는 微生物膜 内部에서의 要素를 表示하고 두번째의 subscript 는 時間을 의미하며 하나의 subscript 만 쓰일 때는 時間을 의미한다. 즉  $S_{a,i,j}$  는 微生物膜 内部로  $i$  번째 要素에서  $j$  번째 時間에서의 基質濃度を 뜻하고  $S_{L,j}$  는  $j$  번째 時間에서의 液體膜의 基質濃度を 의미한다.

微生物에 의한 生化學的 反應이 Monod 公式를 따른다고 假定하고 첫번째 ( $i=1$ ) 要素에 대하여 物質收支式을 세우면 다음과 같다.

$$\Delta Z \frac{S_{a1,j+1} - S_{a1,j}}{\Delta t_a} = K_a(S_{L,j} - S_{a1,j}) - \frac{D_s}{\Delta Z}(S_{a1,j} - S_{a2,j}) - \frac{kXS_{a1,j}}{K_s + S_{a1,j}} \Delta Z \quad (2)$$

위의 式에서

$D_s$  = 基質의 擴散係數

$k$  = 單位質量的 微生物이 갖는 最大基質分解率

$X$  = 微生物의 濃度

$K_s$  = 基質分解率이 最大值의 半일 때의 基質濃度

$\Delta Z$  = 微生物膜 要素의 두께

또한 中間層 ( $2 \leq i \leq n-1$ ) 要素에 대하여 다음 式이 얻어진다.

$$\frac{S_{a,i,j+1} - S_{a,i,j}}{\Delta t_a} = D_s \frac{S_{a,i+1,j} - 2S_{a,i,j} + S_{a,i-1,j}}{(\Delta Z)^2} - \frac{kXS_{a,i,j}}{K_s + S_{a,i,j}} \quad (3)$$

마지막 ( $i=n$ ) 要素에 대한 物質收支式은 다음과 같다.

$$\Delta Z \frac{S_{a,n,j+1} - S_{a,n,j}}{\Delta t_a} = \frac{D_s}{\Delta Z}(S_{a,n-1,j} - S_{a,n,j}) - \frac{kXS_{a,n,j}}{K_s + S_{a,n,j}} \quad (4)$$

液體膜과 微生物膜內의 基質濃度は 圓板이 空氣中을 移動함에 따라 減少하게 되고 圓板이 물에 잠기는 순간에 液體膜은 사라지고 微生物膜內의 基質濃度は 增加하게 된다. 圓板이 溶液과 접할 때의 微生物膜內의 基質에 대한 物質收支式은 (2), (3), (4) 式과 類似하며 다음과 같이 表示된다.

첫번째 ( $i=1$ ) 要素의 경우,

$$\Delta Z \frac{S_{w1,j+1} - S_{w1,j}}{\Delta t_w} = K_w(S_k - S_{w1,j}) - \frac{D_s}{\Delta Z}(S_{w1,j} - S_{w2,j}) - \frac{kXS_{w1,j}}{K_s + S_{w1,j}} \quad (5)$$

中間層 ( $2 \leq i \leq n-1$ ) 要素의 경우,

$$\frac{S_{w,i,j+1} - S_{w,i,j}}{\Delta t_w} = D_s \frac{S_{w,i+1,j} - 2S_{w,i,j} + S_{w,i-1,j}}{(\Delta Z)^2} - \frac{kXS_{w,i,j}}{K_s + S_{w,i,j}} \quad (6)$$

마지막 ( $i=n$ ) 要素의 경우,

$$\Delta Z \frac{S_{w,n,j+1} - S_{w,n,j}}{\Delta t_w} = \frac{D_s}{\Delta Z}(S_{w,n-1,j} - S_{w,n,j}) - \frac{kXS_{w,n,j}}{K_s + S_{w,n,j}} \quad (7)$$

위의 式에서

$S_w$  = 溶液과 접해있는 微生物膜의 基質濃度

$K_w$  = 溶液과 微生物膜사이의 物質傳達係數

$dt_w$  = 圓板이 溶液中에 있을 때 微小한 時間의 增加量

또한  $S_k$  는  $k$  번째 時間에서의 溶液의 基質濃도를 뜻하며 定常狀態에서는 一定한 값  $S$  를 갖게 된다. 圓板이 回轉하며 얻어지는 變位를 나타내기 위하여 편의상 time step 으로  $j$  로 表示했으나 이는 진정한 의미의 time step 인  $k$  와 區別된다. 비록 定常狀態일지라도  $j$  번째와  $j+1$  번째에서의 基質濃度( $S_L$ ,  $S_a$ ,  $S_w$ )는 다른 값을 나타내며 溶液의 濃度( $S$ )는 定常狀態에서  $k$  번째와  $k+1$  번째에서 同一한 값을 갖는다.

溶液狀態에서 基質濃度の 變化는 流量의 영향, 液體膜의 영향, 그리고 微生物膜表面으로의 物質傳達에 의해 發生되며 이에 대한 物質收支式은 다음과 같이 表示된다.

$$V \frac{dS}{dt} = Q(S_0 - S) + \frac{A\delta}{t^*} (S_{L,m} - S) - \frac{AK_w}{t^*} \int_0^{f_w t^*} (S - S_{w1,i}) dt_w \quad (8)$$

위의 式에서

$S$  = 溶液中の 基質濃度

$t$  = 時間

$V$  = 反應槽의 體積

$Q$  = 流量

$S_0$  = 流入水의 基質濃度

$A$  = 圓板의 表面積

$t^*$  = 圓板의 1 回轉에 所要되는 時間

$S_{L,m}$  = 圓板이 물에 잠기는 순간에서의 液體膜의 基質濃度

$f_w$  = 空氣中에 露出된 圓板表面積의 全體表面積에 대한 比

식(8)에서 우변의 첫번째 項은 流量에 따른 基質의 純流入(net mass input)을 뜻하고 둘째 項은 液體膜에 의한 純流入을 뜻하며 마지막 項은 溶液으로부터 圓板表面으로 傳達되는 基質의 傳達量이다. 위의 式을 difference equation 으로 다시 쓰면 다음과 같다.

$$S_{k+1} = \frac{2Q\Delta t}{V} S_0 + \frac{2A\delta\Delta t}{Vt^*} S_{L,m} + \frac{2f_w AK_w \Delta t}{V} \cdot$$

$$\int_0^1 S_{w1,i} d\alpha - \frac{2\Delta t}{V} (Q + \frac{A\delta}{t^*} + f_w AK_w) S_k + S_{k-1} \quad (9)$$

定常狀態에서는  $S_k$  가 一定한 값  $S$  로 되며 定常狀態의 溶液의 基質濃度は 다음과 같이 表示된다.

$$S = \frac{QS_0 + \frac{A\delta}{t^*} S_{L,m} + f_w AK_w \int_0^1 S_{w1,i} d\alpha}{Q + \frac{A\delta}{t^*} + f_w AK_w} \quad (10)$$

式(10)에서 알 수 있듯이 定常狀態에서의 溶液의 基質濃度は  $V$  의 영향을 받지 않음으로 回轉圓板에 의한 處理效率는 定常狀態에서 反應槽의 體積과는 無關함을 알 수 있다. 하지만 非定常狀態에서는 式(9)가 適用되며 基質濃度は 反應槽 體積의 영향을 받게 된다.

液體膜에서의 基質濃度( $S_L$ )는 大氣에 露出된 微生物膜의 基質濃度( $S_a$ )와 連關되어 있고 또한 溶液과 접하는 微生物膜의 基質濃度( $S_w$ )는 溶液의 基質濃度( $S$ )와 連關되어 있다. 위의 式들을 拘束하는 境界條件(boundary condition)은 다음과 같다.

$$S_{a1,1} = S_{w1,m}$$

$$S_{w1,1} = S_{a1,m}$$

$$S_{L1} = S$$

### 3. 模型의 解析

模型에 關與하는 微分方程式의 境界條件이 explicit form 으로 주어지지 않고 相互間의 關係로 表示되기 때문에 境界條件을 利用한 直接演算이 不可能하므로 反復演算을 통한 試行錯誤法에 의해 解析하도록 한다. 定常狀態模型의 解析方法은 다음과 같다.

(1)  $S$  와  $S_{a1,1}$  을 假定한다. ( $i=1, \dots, n$ )

(2)  $S_{Lj}$  와  $S_{a1,j}$  를 동시에 푼다. ( $i=1, \dots, n$ ,  $j=1, \dots, m$ )

(3)  $S_{w1,1} = S_{a1,m}$  ( $i=1, \dots, n$ )

(4)  $S_{w1,j}$  를 푼다. ( $i=1, \dots, n$ ,  $j=1, \dots, m$ )

(5) 식(10)을 풀어  $S$  를 구한다.

(6) 처음에 假定한  $S$  와 計算된  $S$  와 比較한다.

처음에 가정한  $S_{a1,1}$  과 計算된  $S_{w1,m}$  과 比較한다.

(7) 假定値와 計算値가 許容誤差限界以內이면

計算을 끝내고 誤差가 클 경우 計算值를 새로운 假定值로 하고 反復演算한다.

非定常狀態의 경우에는 定常狀態模型에서 얻은 結果를 初期條件으로 하여 式(9)를 適用하여 解析한다. 非定常狀態에서는  $Q$ 와  $S_0$ 가 時間의 函數로 表示되며 定常狀態의 條件이 初期條件이 되므로 試行錯誤法 대신에 直接演算法으로 解析이 可能하다.

#### 4. 模型의 分析 및 考察

回轉圓板 模型에는 여러개의 parameter가 入力資料로서 關連되어 있으며 특히 擴散係數와 物質傳達係數, 微生物膜과 液體膜의 두께, 微生物의 濃度와 活性度 등에 關한 情報가 不充分하여 模型의 應用에 커다란 障壁로 남아있어 앞으로 研究되어야 할 課題이다. 本 論文에서는 parameter 값이 比較的 잘 알려진 窒酸化 反應을 中心으로 定常狀態와 非定常狀態에 대하여 模型의 simulation을 통하여 結果를 分析考察하도록 한다. 模型의 解析을 위해 窒酸化反應을 택하고 암모니아性 窒素를 基質로 하여 文獻에 發表된 값을 parameter로 使用했다<sup>(7,8)</sup>. 模型의 simulation에 使用된 入力資料가 表 1에 表示되어 있다.

表 1. 模型의 解析에 導入된 parameter의 값

Parameter	Value	Parameter	Value
$V$	17 l	$D_s$	$1.7 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$
$Q$	5 $\text{cm}^3/\text{sec}$	$X$	10 $\text{mg}/\text{cm}^3$
$S_0$	20 $\text{mg}/\text{l}$	$L$	500 micron
$K_s$	0.7 $\text{mg}/\text{l}$	$\delta$	50 micron
$K_a$	0.007 $\text{cm}/\text{sec}$	$A$	2.35 $\text{m}^2$
$K_w$	0.017 $\text{cm}/\text{sec}$	$f_w$	0.35
$k$	1.0 $\text{day}^{-1}$	$i^*$	6 sec

回轉圓板接觸槽 流入水의 流量과 基質濃度가 一定하게 維持되면 流出水의 基質濃度は 定常狀態에 到達하게 되고 處理效率은 一定해진다. 流入水의 基質濃도가 20  $\text{mg}/\text{l}$ 이고 stage 수가 6인 圓板의 全體 表面積當 水理學的 負荷率을 1.28  $\text{l}/\text{m}^2/\text{hr}$ 에서 15.32  $\text{l}/\text{m}^2/\text{hr}$ 의 範圍에서 變化시킬 때 각 stage에서의 基質濃도가 그림 2에 表示되어 있다. 負荷率이 낮은 경우 첫째 stage와 둘째 stage에서 거의 모든 基質이 分解되고 뒤

의 stage에서는 基質의 缺乏現狀이 나타나며 負荷率이 높아지면 각 stage에서의 除去量은 거의 一定해지고 基質濃度は stage 수의 增加에 따라 거의 直線의으로 減少함을 알 수 있다. 또한 處理效率은 表面積當 負荷率을 一定하게 維持할 때 stage 수의 增加에 따라 높아진다. 이와 같은 結果는 實驗을 통한 觀察과 잘 符合된다<sup>(9)</sup>.

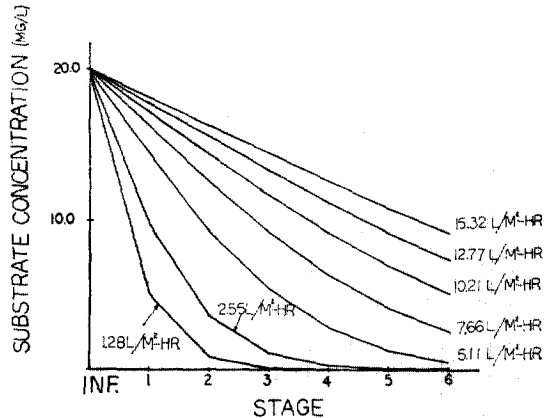


그림 2. 水理學的 負荷率에 따른 基質濃度 變化

定常狀態에서 流出水의 基質濃도가 一定하게 되지만 液體膜과 微生物膜內의 基質濃度は 圓板의 要素가 移動하며 空間에서 차지하는 位置에 따라 變하게 된다. 表面積當 水理學的 負荷率이 7.66  $\text{l}/\text{m}^2/\text{hr}$ 인 경우 液體膜과 微生物膜內의 基質濃도가 圓板의 位置에 따라 그림 3에 表示되어 있다. 圓板表面積의 65%가 大氣中에 露出되어 있는 system에서 각 變位가 零인 地點은 溶液으로부터 空氣中으로 露出되는 순간의 圓板要素를 나타내고 각 變位가  $1.3\pi$ 인 地點은 溶液으로 다시 잠기는 순간의 要素를 表示한다. 液體膜과 微生物膜內의 基質濃度は 圓板이 空氣中으로 露出되는 순간에 ( $\theta=0$ ), 最大值를 나타내고 空氣中을 移動할 때 物質傳達率보다 生化學的 分解率이 크게 되므로 점차 減少하여 圓板要素가 다시 溶液에 잠기기 直前에 ( $\theta=1.3\pi$ ), 最小值를 나타낸다. 圓板要素가 溶液中을 移動할 때는 微生物膜 內部로의 物質傳達率이 生化學的인 分解率보다 커져서 微生物膜內의 基質濃度は 점차 增加한다.

模型에 關與하는 여러가지 parameter의 값을

$$S = \frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4K_s S_0}}{2} \quad (11)$$

위의 식에서

$$\alpha = S_0 - K_s - \frac{kXAL}{Q}$$

위의 식을 適用하면  $kX$ 가 2, 10, 20 mg/cm<sup>3</sup>-day인 경우에 理論적으로 얻을 수 있는 最大效率은 26.0, 92.5, 98.0 %로서  $D_s$ 가 무한히 커지면 最大效率에 接近하게 된다. 반면에 處理效率은 擴散係數가 작아짐에 따라 減少하며 이런 現狀은 最大基質分解率인 높은 경우( $kX=20$  mg/cm<sup>3</sup>-day) 더욱 顕著하게 나타난다. 擴散係數가 零에 接近할 경우에는 基質分解가 微生物膜表面에서만 이루어지며 微生物膜表面으로의 物質傳達係數가 處理效率을 左右하게 된다. 擴散係數는 處理效率에 큰 影響을 끼치나 實際 運轉時에는 이에대한 調整이 어렵고 微生物의 密度와 種類에 따라 定해진다. 現在까지는 이에 대하여 구명이 되어있지 않은 狀態이다.

微生物膜의 두께와 最大基質分解率의 變化에 따른 處理效率의 變化가 그림 5에 表示되어 있다. 두께가 비교적 얇은 微生物膜의 경우에는 基質의 浸透가 微生物膜全體에 걸쳐 容易하므로 處理效率은 두께의 增加에 比例하여 增加하게 되고 增加率은 微生物膜이 두꺼워짐에 따라 鈍化됨을 알 수 있다. 微生物膜의 두께가 限界두께에 이르면 效率은 두께의 增加에 無關하게 거의 一定하게 된다. 두꺼운 微生物膜에서 基質의 擴散障碼로 인하여 效率의 增加와 鈍化되는 現狀은 最大基質分解率이 크고 溶液狀의 基質濃도가 낮을 경우 더욱 顯著하게 나타나며 이러한 結果

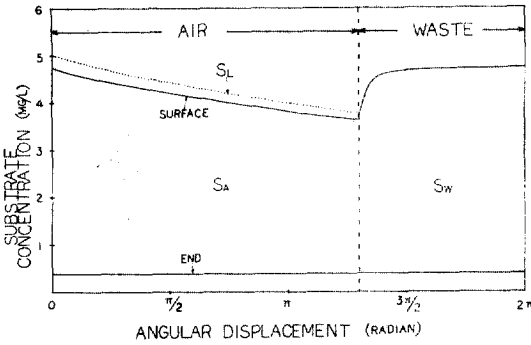


그림 3. 液體膜과 微生物膜 内部에서의 基質濃度分布 變化시키며 處理效率을 구한 結果 微生物膜 内部에서의 基質의 擴散速度와 微生物의 基質分解速度가 處理效率에 가장 큰 影響을 끼치는 것으 다 밝혀졌다. 微生物膜內에서의 基質의 擴散係數와 微生物의 基質分解能力의 變化에 따른 處理效率의 變化가 그림 4에 semi-log graph로 表示되어 있다.  $k$ 는 單位質量의 微生物이 갖는 最大基質分解率이고  $X$ 는 微生物膜을 構成하는 微生物의 濃度を 表示하므로  $kX$ 는 單位體積의 微生物膜이 갖는 最大基質分解能力을 意味한다.

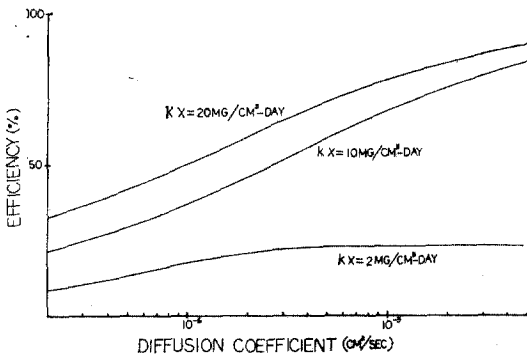


그림 4. 擴散係數에 따른 處理效率

擴散係數가 아주 높을 경우( $D_s \rightarrow \infty$ ) 微生物膜 內의 基質濃度는 溶液狀의 基質濃도와 거의 같 아지며 微生物膜을 構成하는 모든 微生物이 浮遊狀態로 있을 때와 같은 處理效率을 나타내고 이 때의 溶液狀의 基質濃度は 다음 式으로 表示될 수 있다.

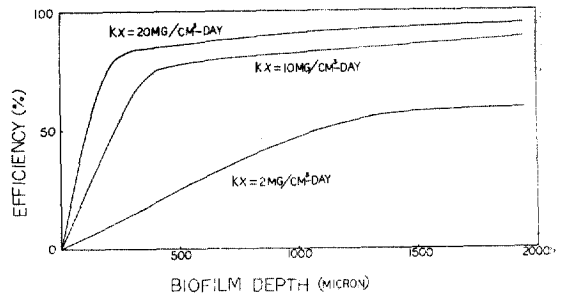


그림 5. 微生物膜두께에 따른 處理效率

는 實驗을 통한 觀察과 잘 符合된다<sup>(9,10)</sup>.

模型에 關與하는 parameter가 常數가 아니고 時間에 따라 變할 경우 system은 定常狀態에서 벗어나게 되어 流出水의 水質은 一定水準을 維持하지 않고 動的變化를 나타낸다. 一般的으로 廢水處理施設로 流入되는 廢水는 流量과 基質濃度가 恒상 變하는게 보통이고 이러한 경우에 流出水의 水質變動은 流量이나 流入水의 基質濃度を 時間의 函數로 表示하여 式(9)를 利用하여 計算할 수 있다.

非定常狀態의 水質變化를 나타내는 例로서 流量이 sine 函數로 1시간동안 變化할 때의 流出水의 基質濃度變化가 그림 6에 表示되어 있다. system은 流量變化가 있기 前에 定常狀態를 維持하고 있다고 假定하였고 1時間동안의 流量變化後에는 定常狀態의 流量(5 cm<sup>3</sup>/sec)으로 回復하는 것으로 假定했다. 1時間동안의 流量變化는 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$Q = 5.0 \left( 1 + \sin \frac{2\pi t}{7200} \right) \quad (12)$$

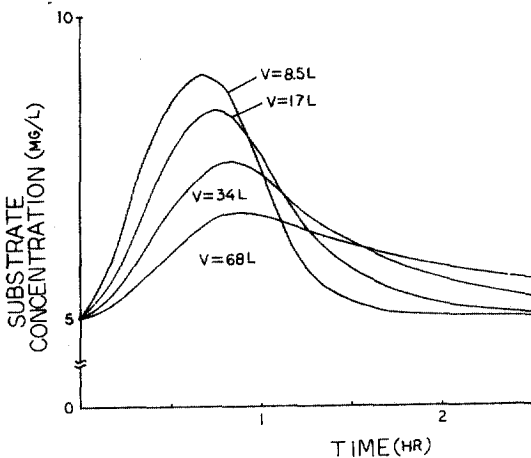


그림 6. 尖頭負荷時 流出水의 水質變化

定常狀態의 경우와는 달리 反應槽의 體積에 따라 流出水의 水質變化狀態가 달라지는 것을 알 수 있다. 流出水의 基質濃度는 反應槽의 體積이 增加함에 따라 尖頭濃度(peak concentration)가 減少하여 완만한 變化를 나타내고 滯留時間의 增加로 尖頭濃度가 發生하는 時間이 길어지며 또한 流出水의 水質이 定常狀態로 回復되는데 必要한 時間은 反應槽의 體積이 增加함에 따라 약

간 增加함을 알 수 있다. 模型의 定立過程에서 反應槽內에서 浮遊狀態로 成長하는 微生物의 量을 무시했으므로 定常狀態에서는 反應槽의 體積에 무관하게 流出水의 水質이 決定되나 非定常狀態에서는 反應槽 自體가 一種의 均等槽(equalization tank)의 역할을 하여 流量이나 基質濃度の 變化에 대하여 緩衝作用을 하는 것으로 說明할 수 있다. 浮遊狀態의 微生物을 고려할 경우에는 反應槽의 體積이 커짐에 따라 緩衝能力은 더욱 커진다.

## 5. 結 論

回轉圓板接觸法에 의한 廢水處理의 理解를 돕고 處理效率를 算定하기 위해 微生物膜內部로의 物質傳達과 同時에 生化學的 分解에 의해 基質의 除去가 이루어지는 것으로 假定하여 模型을 定立하고 定常狀態와 非定常狀態에 대하여 simulation을 통하여 模型을 分析하였다.

定常狀態에서 處理效率에 가장 큰 영향을 미치는 因子는 微生物膜內에서 基質의 擴散速度와 微生物全體의 最大基質分解率이고 擴散에 의한 영향은 溶液中的 基質濃도가 낮을 때와 最大基質分解率이 높을 때 현저하게 나타난다. 微生物膜의 두께가 얇을 때는 基質除去效率은 거의 두께에 比例하여 增加하고 微生物膜이 두꺼워짐에 따라 效率의 增加는 鈍化되고 限界두께이상으로 되면 깊숙한 곳에서 基質의 缺乏現狀이 發生하여 效率은 더 以上 增加하지 않고 一定水準을 維持한다.

非定常狀態에서의 流出水의 水質은 初期條件을 주고 流量과 流入水의 基質濃度を 時間의 函數로 表示하여 算定할 수 있다. 定常狀態의 경우엔 反應槽의 體積이 流出水의 水質에 영향을 미치지 않지만 非定常狀態에서는 反應槽의 크기 에 따라 流出水의 基質濃度 pattern이 變化한다. 즉 反應槽의 體積의 增加는 尖頭負荷에 대하여 尖頭濃度を 낮추주고 尖頭濃度 發生時間과 非定常狀態의 持續時間을 延長시키는 緩衝效果를 나타낸다.

本 研究에서는 窒酸化反應을 中心으로 模型을 分析하였으나 다른 種類의 生化學反應에 대하여 도 模型의 適用이 可能하다. 模型의 正確도를 얻

기 위해서는 이에 關與하는 parameter의 값을 正確히 구하는 것이 先決問題이므로 이에 대하여 實驗을 통한 研究가 絶실히 要望된다.

### 謝 辭

本 研究는 文教部의 1981年度 學術研究助成費支援으로 이루어졌으며 謝意를 표한다.

### 參 考 文 獻

1. Antonie, R.L., Kluge, D.L., and Mieke, J., "Evaluation of a Rotating Disc Wastewater Treatment Plant.", *Jour. Water Pollution Control Federation*, 46, 498(1974)
2. Marsh, D., Benefield, L., Bennett, E., Linstedt, D., and Hartman, R., "Coupled Trickling Filter-Rotating Biological Contactor Nitrification Process." *Jour. Water Pollution Control Federation*, 53, 1469(1981)
3. Clark, J.H., Moseng, E.M., and Asano, T., "Performance of a Rotating Biological Contactor under Varying Wastewater Flow.", *Jour. Water Pollution Control Federation*, 50, 896(1978)
4. Pretorius, W.A., "Some Operational Characteristics of a Bacterial Disc Unit.", *Water Research*, Pergamon Press, 5, 1141(1971)
5. Williamson, K.J., and McCarty, P.L., "A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films.", *Jour. Water Pollution Control Federation*, 48, 9(1976)
6. Chung, T.H., "Mathematical Models of Substrate Utilization within Bacterial Films.", *Proceeding Korean Society of Civil Engineers*, 1, 43(1981)
7. Knowles, G., Downing, A.L., and Barrett, M.J., "Determination of Kinetic Constants for Nitrifying Bacteria in Mixed Culture, with the Aid of Electronic Computer.", *J. Gen. Microbiology*, 38, 263(1965)
8. Sherwood, T.K., Pigford, R.L., and Wilke, C.R., "Mass Transfer.", McGraw Hill Book Co., p.26 (1975)
9. Chung, T.H., "An Experimental study on Nitrification of Wastewater Using Biological Rotating Discs.", *Jour. Korean Society of Civil Engineers*, 29, 63(1981).
10. Kornegay, B.H., and Andrews, J.F., "Kinetics of Fixed Film Biological Reactors.", *Proceeding of the 22nd Industrial Waste Conference*, Purdue Univ. 620(1967)

(接受 : 1982. 5. 27)