

好氣生物膜法에 의한 低濃度 基質除去에 관한 考察

洪聖哲 · 鄭文植*

서울産業大學 環境工學科
*서울大學校 保健大學院

A Study on Low Concentration Substrate Removal by Using the Aerated Submerged Biofilter

Sung Chul Hong · Moon Shik Zong*

*Dept. of Environmental Engineering, Seoul National
Polytechnic University*

**School of Public Health, Seoul National University*

Abstract

This study was performed employing the two stage aerated submerged biofilter of media pore size 1.5cm and 2cm, and influent substrate concentrations were 30.25mg COD/l, 50.1mg COD/l respectively. The purpose was to determine the treatment efficiency at the low concentration influent, reaction order and substrate flux with application of variable-order model that was presented by Rittmann and McCarty.

The results are as follows.

1. Treatment efficiency of 1st reactor was about BOD 82% and COD 76%, when effluent concentration was BOD 3.9 ~ 6.8, COD 7.1 ~ 12.5 mg/l, and this effluent concentration didn't satisfy the water quality grade I, II of river and lake. But as treated effluent of 1st reactor with 2nd reactor, we could achieve appropriate water quality, since instillation of 2nd reactor was needed.
2. Difference of media pore size between 1.5cm and 2cm didn't effect significantly to treatment efficiency and since this of 2nd reactor was about BOD 60%, COD 50%, an consideration of economic point of view should be carried out in field application.
3. Reaction order and substrate flux was varied 0.9851 ~ 0.9956 and 0.0028 ~ 0.0405 mg/cm²·day, and the substrate flux was increased as influent substrate concentration increased.

I. 緒 論

浸積形 好氣 生物膜法은 反應槽內에 媒體 (Media)를 두고 여기에 微生物을 附着增殖시키면서 基質을 제거하는 방법으로서 오래전 부터 널리 사용되어온 撒水濾床法과 원리면에서 거의 일치한다.

근래에는 여러가지 형태의 附着成長形 處理法이 사용되어지고 있는데 대표적인 것으로 回轉圓板接觸法, 生物膜 濾過法, 浸積濾床法 등이 있다. 이러한 방법들이 미생물을 浮遊成長시키는 방법보다 유리한 점은 슬러지의 反送이 불필요하고 沈殿이 용이하며, 높은 미생물 농도 유지로 인해 衝擊負荷에 강하며 슬러지 발생량도 적다. 또한 유지관리가 쉬운 편이며 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 窒酸化도 가능하다고 알려져 있다.^{1,2} 그러나 曝氣에 드는 動力費가 높고 媒體의 空隙이 막히기 쉬우며, 막혔을 경우 세척방법에 대한 대책이 확립되어 있지 않은 단점도 있다.

한편 산업의 고도성장과 인구의 증가 및 도시 집중화, 그리고 각종 비료, 농약 등의 토양 살포, 세계의 과다사용 등으로 인하여 국내의 水資源 現況은 날로 악화일로에 있으나 수요량은 점차 증대되고 있는 실정하에서, 마침내 최근 매스컴에서도 언급되었 듯이 上水原水 및 上水の 汚染問題까지 대두하게 되었다. 따라서 우리나라도 기존의 處理施設로는 상수원수의 처리가 어렵게 되거나, 下水나 廢水를 3차 處理하여 재사용해야 하는 시점에 근간 도달하게 될 지도 모를 일이다. 本 研究에서는 上記와 같은 처리에 비교적 적합한 것으로 여겨지는 好氣生物膜法을 이용함으로써 下水終末處理場의 放流水 水質基準 또는 廢水排出許容基準에 해당하는 低濃度의 流入水를 처리하여, 流出水가 環境保全法上的³ 河川 및 湖沼 水質基準으로서 I 또는 II 등급을 만족할 수 있는지의 여부를 검토함과 아울러 이때의 處理效率를 평가하고

자 한다.

또한 몇가지 常數값을 가정하고 Rittmann 과 McCarty^{4,5}가 제시한 Variable - order Model을 本 實驗의 結果에 사용했을 때의 反應次數와 基質 Flux의 變化도 考察하고자 한다. 實驗裝置의 구조와 運轉條件 등은 여러문헌을 참고하여 定常狀態에서 적절하게 처리될 수 있도록 하였으며, 실험에 적용한 유입수 기질농도는 처리대상으로 삼고있는 하수종말처리장의 방류수 수질기준인 하수 및 폐수 BOD 30 mg/l, 폐수의 COD 30mg/l, 그리고 청정지역을 기준으로 했을 시의 폐수배출허용기준인 BOD 및 COD 50mg/l 이하를 충족시키기 위하여 각각 COD기준으로 30mg/l 와 50mg/l 로 하였는데, 실제적으로는 本 實驗에서의 COD 値는 Cr 법이고 環境보전법상의 COD 値는 Mn 법이므로 本 실험에서의 COD 値를 Mn 법으로 환산하면 각기 30mg/l 및 50mg/l 보다 상당히 작은 값을 갖게 된다.

II. 使用된 Model의 背景

本 實驗에서는 Rittmann 과 McCarty^{4,5}가 提示한 微生物膜의 動力學에 關한 variable-order model을 使用하였다.

1. Steady - State Model의 概念

定常狀態下에서의 model을 이해하기 위한 그림은 Fig. 1과 같고 그림에서의 基質濃度 移動은 Z方向으로만 있다고 가정하였다.

변수의 차원은

X_f : Uniform cell density ($M_x L^{-3}$), x-in cell mass

L_f : Uniform cell thickness (L)

L : Diffusion layer thickness (L)

S : Sub. conc. in bulk liquid ($M_s L^{-3}$), s-in substrate

S_s : Sub. conc. of interface between di-

diffusion layer & biofilm (ML⁻³)

S_f : Sub. conc. in biofilm (M_f L⁻³), f-in biofilm 이다.

Fig. 1 과 같이 基質이 생물막에 이용된다는 概念下에서 다음과 같은 4 個의 基本式을 應用하였다.

1) Substrate utilization—생물막의 全部에서 Monod function을 따른다고 가정.

$$\left(\frac{\partial S_f}{\partial t}\right)_{rx} = -\frac{k X_f S_f}{K_s + S_f} \dots\dots\dots(1)$$

S_f : Rate-limiting sub. conc. (M_f L⁻³)

K_s : Half-velocity coeff. (M_s L⁻³)

k : Max. specific rate of sub. utilization (M_s M_x⁻¹ T⁻¹)

t : time

2) Molecular diffusion—Fick's 1st law. 를 따른다고 가정하고 생물막내에서의 唯一한 物質 移轉 수단이며 基質濃度가 變함에 따라 變한다.

$$\left(\frac{\partial S_f}{\partial t}\right)_{diff} = D_f \frac{\partial^2 S_f}{\partial z^2} \dots\dots\dots(2)$$

D_f : Molecular diffusivity (L² T⁻¹)

한편 생물막내에서 기질농도 변화는 정상상태에서 zero 이므로

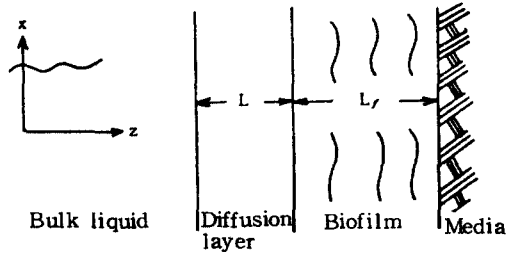
$$D_f \frac{d^2 S_f}{dz^2} = \frac{k X_f S_f}{K_s + S_f} \dots\dots\dots(3)$$

3) Molecular diffusion—diffusion layer 에서 Fick's 1st Law를 따른다.

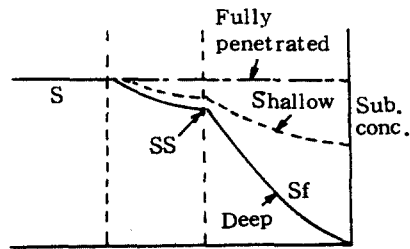
$$J = -D \frac{ds}{dz} = D \frac{S - S_s}{L} \dots\dots\dots(4)$$

J : Sub. flux per unit area paralld to the conc. gradient (M_s L⁻² T⁻¹)

D : Molecular diffusivity of sub. in liquid (L² T⁻¹)



(a) Physical concepts



(b) Substrate concentration profiles

Fig. 1. Conceptual basis for biofilm model

L : Depth of effective diffusion layer

$$(L) km = D/L (L T^{-1}) \dots\dots\dots(5)$$

여기서 Williamson, McCarty⁴⁾의 연구와 Rittmann, McCarty⁴⁾의 연구에서 生物膜과 擴散層間의 기질이용 관계식이 연결되었으며, 정상 상태하의 model에서 새로운 공헌은 생물막의 성장에 관한 것인데, biofilm의 differential section에 있어 생체량의 전체 성장율은 Herbert⁷⁾등의 理論을 Van Uden⁸⁾에 의해 變形되어 다음과 같이 제시되었다.

$$\textcircled{d} \frac{\partial AX_f dz}{\partial t} = Y \frac{k S_f}{K_s + S_f} AX_f dz - b AX_f dz \dots\dots\dots(6)$$

Y : True yield of bacterial mass/unit of sub. utilized (M_x M_s⁻¹)

b : Specific decay or maintenance-respiration coeff. (T⁻¹)

A : Cross-sectional area of biofilm section (L^2)

dz : Thickness of biofilm section (L)

또한 에너지 보존에 관한 가정으로서, 정상 상태하에서의 생물막 두께를 결정하기 위하여는 전체 생물막량이 基質 flux에 의해 형성될 수 있는 생물막량과 같다고 가정하여, 單位面積, 單位時間當 생물막이 이용할 수 있는 전체 에너지를 $J \cdot Y$ 로 표시하였으며, 전체 지속에너지 要求量을 $X_f L_f b$ 로 표시하여

$$JY = X_f L_f b \text{에서 } L_f = JY / b X_f \dots (7)$$

을 유도하였다.

지금까지의 전개에 있어서 고려해야 할 점은 첫째, kinetic parameter는 bulk liquid와 biofilm에서 동일하게 사용되었으며 둘째, decaying portion은 growing portion에 生育場所를 제공하여 줌으로서 전체적인 생물막의 두께는 일정하다고 가정되었으며 셋째, 被食 (Predation), 脫離 (Sloughing), bulk liquid와의 교체등으로 인한 생체량의 손실이 고려되어 있지 않기 때문에 어떤 경우에 있어서는 생물막량의 過大評價가 있을 수 있다는 점이다.

한편 정상상태에서의 생물막 두께에 대한 解析을 위하여 생물막 두께를 monolayer로 가정한 후 이 monolayer가 存續되기 위한 基質의 限界濃度 (S_{min})를 구하는 식이 유도됐으며 기질의 농도가 증가함에 따라 정상상태가 생물막이 monolayer로부터 어느 일정한 두께로 성장하기 위한 기질농도 (S_{deep})를 구하는 식도 유도되었고 이 두 농도간에는 Ritlmann等⁹⁾에 의하여 $S^*_{deep-s} = 4.6 S^*_{min-s} (1 + \sqrt{2 D_f^* L^*})$ 로 近似한다고 나타났다. 이러한 계산의 편의를 위하여 變數를 無次元 領域으로 전환하여 수식화하였으며, 그중 본 실험 결과로서 응용될 몇가지는 다음과 같다(무차원 變數에 대하여 Asterisk 부호를 주었다).

$$D_f^* = D_f / D \dots (8-1)$$

$$J^* = J / (\tau / DK_s) \dots (8-2)$$

$$\tau = \text{Standard biofilm depth dimension (L)} (2K_s D_f / kX_f) \dots (8-3)$$

$$L^* = L / \tau \dots (8-4)$$

$$S^* = S / K_s \dots (8-5)$$

2. Variable-order model

이 model의 적용은 1項에서 언급한 S_{deep} 농도 이상의 범위에서만 가능한데 대부분의 생물학적 처리에 있어서는 유입수의 基質濃度가 S_{deep} 보다 크므로 본 실험에서는 적용여부의 검토없이 사용하였다.

Variable-order model은 1項에서의 기본식들을 무차원 영역으로 變換하여

$$\begin{aligned} (J/A)^* &= -D_f^* \frac{ds_s^*}{dz^*} \\ &= 2D_f^* \sqrt{S_s^* - \ln(1 + S_s^*)} \end{aligned} \dots (9)$$

를 유도하였으며 이 식을 S^* 와 $(J/A)^*$ 의 함수로서 Curve를 그리며 S^* 값이 낮아짐에 따라 1次反應으로 되며, 높아짐에 따라 1/2次에 接近함을 알 수 있으므로

$$(J/A)^* = C^* (S^*)^q \dots (10)$$

$$q = \text{reaction order} = q(S^*, D_f^*, L^*),$$

$$0.5 \leq q \leq 1.0$$

$$C^* = \text{dimensionless reaction coeff.} = C^*(S^*, D_f^*, L^*)$$

의 형태로 표시할 수 있고 (10)식을 다시 변형하여 해석하면 數值代入만으로도 명확한 解를 구할 수 있는 다음과 같은 (11), (12), (13)식을 제시하였다.

$$A = \ln(S^*) - \ln\left(2 + \frac{\ln D_f^*}{2.303}\right) - 1.8 \ln(1 + 2L^* D_f^*) + 0.353 \dots (11)$$

$$q = 0.75 - 0.25 \tanh(0.477A) \dots (12)$$

$$C^* = \frac{2D^*[\sqrt{2} + 2L^*D_r^*]^{(1-2q)}}{1.0 + (0.54)[1 + 0.0121 \ln(1 + 2L^*)] \left[1 - 8.325 \left(\ln \frac{q}{0.707}\right)^2\right]}$$

..... (13)

3. Ks, k의 計算

정상상태에서의 기질 제거 속도는 (1) 식에서와 같은 형태를 취하므로

$$\frac{ds}{dt} = \frac{kXS}{K_s + S} = -\frac{S_0 - S}{\theta} \text{ (14)}$$

θ : Hydraulic retention time (T)

S_0 : Substrate concentration of influent (ML^{-3})

S : Substrate concentration of influent (ML^{-3})

(14) 식의 양변을 X로 나누어 선형방정식으로 변형하면

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{k} \text{ (15)로 되고}$$

$\frac{X\theta}{S_0 - S} = y$ 로 $\frac{1}{S} = x$ 로 하여 직선방정식을 그리면

기울기 = $\frac{K_s}{k}$, 절편 = $\frac{1}{k}$ 이 되므로 K_s, k 값을 구할 수 있다.

4. D, Df, L값의 假定

擴産層에서의 分子擴散 係數인 D와 生物膜內에서의 분자확산 계수 Df는 실험여건상 측정이 어려웠으므로 Williamson과 McCarty¹⁰⁾가 밝힌 代表值를 그대로 利用하고자 한다. L 값에 관해서도 Williamson과 McCarty는 대표치가 0.01cm라고 하였으나 Sodium acetate를 대상으로 實測한 실험치¹⁰⁾의 평균값인 0.018cm를 사용하고자 하는바, 이때 사용된 Jennings의 경험식은 (16)식과 같은데 식에 사용

되는 係數 dp는 圖形 多孔性 媒體의 直徑이므로 本 實驗材料로 쓰인 매체의 形狀과 다소 차이가 있으나 流入水 基質의 種類 및 濃度와 L과는 獨立的이다.

$$L = D(Rem)^{0.75} Sc^{2/3} / 5.7\nu \text{ (16)}$$

$$Rem = [2\rho dp \nu / (1 - \epsilon)\mu]$$

ν : Superficial velocity (LT^{-1})

dp : Diameter of the spherical porous medium (L)

μ : Absolute viscosity ($ML^{-1}T^{-1}$)

ρ : Liquid density (ML^{-3})

ϵ : Porosity

Sc : $\mu / \rho D$

III. 實驗方法

1. 實驗裝置

反應槽와 媒體는 각각 두께 5mm와 1mm의 Acryl 판으로 제작하였으며 規格은 Table 1과 같다(媒體 모양은 Fig. 3 참조).

空氣의 供給은 Medo compressor (MITTO KOHKI CO. Japan), 基質流入은 Metering pump (GORMAN-RUFF CO. USA)를 각각 사용하였다. 반응조는 Fig. 2에서 보듯이 直列로 연결하였는데 대개의 경우 이때에는 NH_3-N 의 窒酸化가 목적이지만 본 실험에서는 저농도 기질을 2 단계로 처리할 경우의 流出水 最大濃度 限界를 구하기 위해서였다. 또한 媒體는 Fig. 2에서와 같이 間隙의 크기가 1.5×1.5 (cm)와 2×2 (cm)의 두가지로 함으로서 間隙의 크기에 따른 처리효율의 변화를 검토하였다.

2. 實驗材料

사용된 유입수는 人工製造된 것으로서 지금까지 널리 알려져 있는 영양균형(BOD : Nip가 100 : 5 : 1)을 고려하여 제조하였으며, 탄소원

Table 1. Reactor specification

Reactor serial No	Reactor				Media			
	Structure	Volume (l)	Surface area (Cm ²) (a)	Shape	Size (Cm)	Surface area (Cm ²) (b)	Volume (Cm ³) (c)	Area/volume (Cm ² /Cm ³) (b)/(c)
1	1st reactor	19	3922.4	Squared	d=1.5 l=46	23956.6	1430	16.75
	2nd reactor	19		Column	*b ₁ =14 *b ₂ =10			
	Clarifier	4	-	-	-	-	-	-
2	1st reactor	19	3922.4	Squared	d=2 l=46	22080.0	1335	16.53
	2nd reactor	19		Column	*b ₁ =14 *b ₂ =10			
	Clarifier	4	-	-	-	-	-	-

Note : *b₁, *b₂ - Cross sectional width in media

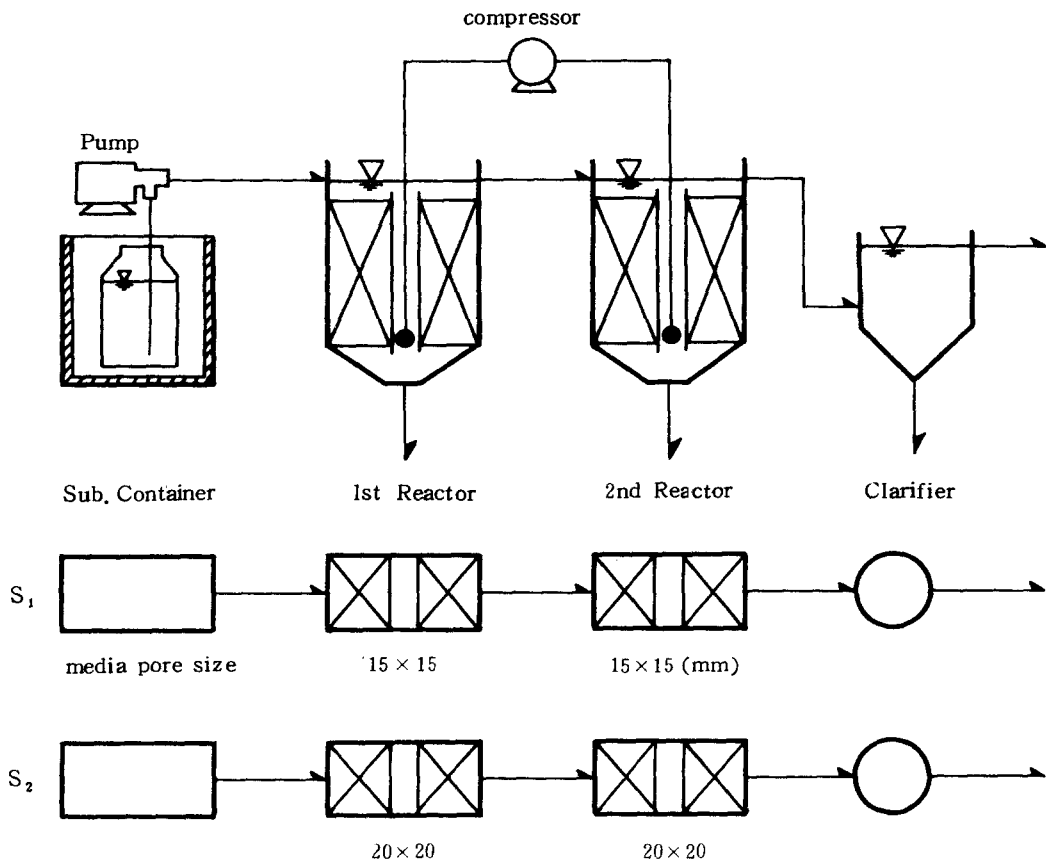


Fig. 2. Schematic diagram of treatment system and reactor disposition

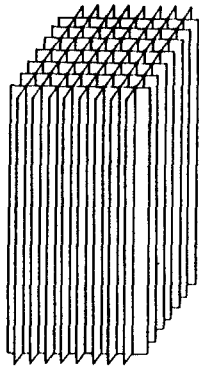


Fig. 3. Media shape

으로서 glucose를, 단백질원으로 peptone을 각각 사용하였다. 조성은 Table 2와 같다.

유입수의 COD농도는 약 30mg/l와 50mg/l가 되도록 peptone 양으로 조절하였으며 이때의 pH는 7.1~7.3이었다. 殖種된 微生物은 活性슬러지 曝氣槽의 反送슬러지를 採取하여 수일간 增菌시킨후 각 반응조 내에 均等하게 식중시키고 매체 표면에 고르게 부착될때까지 試運轉하였다.

3. 運轉 및 分析方法

정상상태하에서 반응조내 운전조건의 변화는 Table 3과 같은데, 온도변화는 대체로 22 ± 2 °C 정도였으므로 온도에 의한 영향은 유의할 만큼 크지 않았다고 보여지며 pH나 DO수준도 현재까지 연구되어진 好氣性 生物學的 處理와 비교해 볼때 적절한 상태였다고 여겨진다.

本 實驗에서와 같은 반응조의 형태에서는 循環流速이 클수록 生物膜에 미치는 剪斷力이 커

져서 생물막 형성 초기에는 막의 형성을 지연시키지만 정상상태로의 막형성이 완료되면 순환유속의 증가는 掃流가 일어나는 限界流速內에서는 성장을 증대시키게 되며, Characklis¹²⁾는 이 한계유속을 15~17cm/sec라고 하였다.

이렇듯 순환유속은 상당히 중요한 인자로 작용하는데 兵野¹³⁾ 등은 媒體의 形態가 蜂狀일때 순환유속 5cm/sec가 가장 實用的이라고 하였으며 中川¹⁴⁾은 平板狀媒體에서의 최저순환유속을 2m/min이라고 하였다. 순환유속이 한계유속내에서 지나치게 클 경우는 動力費가 과다로 소요되므로 본 실험에서는 적정수준으로 여겨지는 平均流速 4.5cm/sec가 되도록하였으며, 이때의 DO농도는 6.5~7.2mg O₂/l를 보였다.

체류시간은 예비실험에서 각각 2hr, 4hr, 6hr로 실시한 결과 4hr에서 목적으로 하는 수

Table 2. Composition of synthetic waste water

Composition	Concentration (mg/l)
Peptone	varies
Glucose	20
(NH ₄) ₂ SO ₄	192
K ₂ HPO ₄	28.5
KH ₂ PO ₄	13.2
MgSO ₄ · H ₂ O	100
MnSO ₄ · H ₂ O	10
CaCl ₂	7.5
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.5
NaCl	5
NaHCO ₃	10

Table 3. Operation condition of reactor

Temp (°C)	pH	DO (mg/l)	HRT (hour)	Circulation rate (cm/sec)	Influent flow rate (ml/min)	Influent COD concentration (mg/l)
20 - 25	6.8 - 7.4	6.5 - 7.2	4	3.2 - 5.1	S ₁	73.6
					S ₂	72.2
					1	28.4 - 32.1
					2	47.3 - 52.9

질기준에 조사하는 유출수를 얻을 수 있었으므로 4hr 로 고정하였다.

정상상태로 운전중일때의 유입수 평균 COD 농도는 30.25mg/l 와 50.1mg/l 로서 目的濃度에 近似하였으며, 먼저 유입수 COD 농도 30mg/l 를 對象으로 실험을 完了한 후 50mg/l 의 유입수에 대한 실험을 行하였고, 정상상태의 판단기준은 유출수의 농도가 거의 일정하게 유지되는 시점부터로 하였다. 또한 슬러지 反應은 없었다.

분석방법은 standard method¹⁶⁾ 16 판을 기준으로 분석하였으며, 특히 COD 는 산화제와 적정액의 Mole 농도를 1/10 로 한 저농도 COD 분석법으로 하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 處理效率 檢討

Table 4 의 실험결과에서 全般的으로 볼때 제 1 반응조의 처리효율은 BOD 82%, COD 76% 내외, 그리고 제 2 반응조는 BOD 59%, COD 50% 내외로서 전체 처리효율은 BOD 93%, COD 88% 정도를 나타내므로서 BOD 제거효율이 COD보다 다소 높게 나타났다. 또한 유입수의 농도가 변화더라도 처리효율에는 큰

변화가 없었으며 媒體間隙 1.5cm 와 2cm 의 차이는 처리효율에 별다른 영향을 미치고 있지 않음을 보였다. 이는 生體量이 반응조에 많이 존재하고 있기 때문에 유입수농도와 媒體表面積의 작은 변화가 처리효율에 영향을 줄 수 있는 요인으로 작용하지 않았기 때문으로 보인다.

제 1 반응조 유출수농도가 BOD 3.9~6.8mg/l, COD 7.1~12.5mg/l 임을 고려할때 河川 및 湖沼의 I 등급 수질인 BOD 와 COD 각기 1mg/l 이하와 II 등급 수질 BOD 와 COD 3mg/l 를 만족하기에는 다소 부족함이 있으나, 제 2 반응조로 다시 처리하면서 BOD 1.4~2.9mg/l, COD 3.5~6.5mg/l 를 얻을 수 있었으므로 제 2 반응조의 설치가 필요한 것으로 나타났다.

한편, 처리효율적인 면에서 제 2 반응조의 제거율이 BOD 와 COD 각각 60% 와 50% 내외였으므로 實際 應用에 있어서는 경제적인 측면에서의 고려가 있어야 할 것이다. 그러나 본 실험의 의도대로 저농도 유입수를 처리하여 超低濃度의 유출수를 얻는 側面에서 볼때는 水資源管理를 위한 처리방법으로서 타당하리라고 사료된다.

2. 反應次數 및 基質 flux

Model 變數의 計數에 사용된 기질농도는 COD

Table 4. Variation of treated water conc. & removal efficiency related to reactor

Serial No.	BOD (mg/l)							COD (mg/l)								
	Influent conc.			Effluent conc.			Re-actor	Total	Influent conc.			Effluent conc.			Re-actor	Total
	Max.	Min.	Av.	Max.	Min.	Av.			Max.	Min.	Av.	Max.	Min.	Av.		
1st Reactor	26.3	21.1	23.9	5.6	2.3	3.9	83.5	-	32.1	28.4	30.25	7.4	6.8	7.1	76.5	-
	42.1	39.7	40.9	7.4	6.2	6.8	83.4	-	52.9	47.3	50.1	12.3	12.7	12.5	75.0	-
2nd Reactor	5.6	2.3	3.9	1.5	1.2	1.4	64.1	94.1	7.4	6.8	7.1	4.3	2.9	3.6	49.3	88.1
	7.4	6.2	6.8	3.9	1.8	2.9	57.4	92.9	12.3	12.7	12.5	4.7	4.5	6.5	48.0	87.0
1st Reactor	26.3	21.1	23.7	4.9	3.5	4.4	81.4	-	32.1	28.4	30.25	7.5	7.1	7.3	75.9	-
	42.1	39.3	40.99	7.9	5.1	6.5	84.1	-	52.9	47.3	50.1	12.9	11.8	12.4	75.2	-
2nd Reactor	4.9	3.5	4.4	1.8	1.1	1.5	65.9	93.7	7.5	7.11	7.3	4.1	2.9	3.5	52.1	88.4
	7.9	5.1	6.5	2.7	2.4	2.6	60.0	93.6	12.9	11.8	12.4	6.3	5.7	6.0	51.6	88.0

基準으로 하였고 각 변수값들의 계산치는 Table 5 와 같으며 反應次數 4 및 基質 flux J/A 를 구하기 위한 計算表는 Table 6 과 같다. 계산 결과 全 反應槽에서의 반응차수는 0.9851 ~ 0.9956 으로서 1 次反應에 接近하여 나타났는데 Model 의 特性上 유입수의 농도가 낮으면 1 次로 접근하므로 타당한 값이라 여겨진다.

流入水 濃度에 따른 J/A 變化는 全反應槽에서 유입수의 농도가 增加함에 따라 0.0028mg/cm²·day에서 0.0405mg/cm²·day 까지 증가하였다. 침언하여 보다 정확한 해를 얻기 위하여는 각 基質種類에 따른 D, D_f, 및 L 값에 대한 보다 많은 실험적 연구가 수행되어져야

할 것이다.

V. 結 論

本 研究에서는 媒體間隙 1.5 cm와 2 cm 인 好氣 生物膜反應槽를 直列 2 단계로 설치하여, 하수종말처리장의 방류수 수질기준과 폐수배출허용기준에 상응하는 유입수농도 30.25mg COD/l 와 50.1mg COD/l 를 처리하고, 유출수의 수질이 河川 및 湖沼의 수질기준 I, II 등급에 상응되는 超低濃度로의 處理可能性과, Ritmann 과 McCarty 가 제시한 variable-order model 을 적용했을 시의 反應次數와 基質

Table 5. Calculated values for variables

Serial No.	S (mg COD/l)	X _f (mg Bio-mass/ Cm ³)	L (cm)	K (mg COD/ mg Bio-mass day)	K _s (mg COD/l)	D (Cm ² /day)	D _f (Cm ² /day)
1	1st Reactor	7.1	24.890	0.086	10.2	0.8	0.64
		12.5	24.10				
	2nt Reactor	3.6	25.17	0.017	6.9		
		6.5	24.85				
2	1st Reactor	7.3	24.41	0.234	29.1	0.8	0.64
		12.4	24.01				
	2nt Reactor	3.5	25.13	0.067	25.5		
		6.0	24.94				

Table 6. Calculated values of variables for using the model

Serial No.	Inf. con. (COD mg/l)	τ (cm)	L* × 10 ⁻²	D _f * × 10 ⁻²	S* × 10 ⁻²	q	C*	(J/A)* × 10 ⁻²	J/A (mg/cm ² day) × 10 ⁻³
1	1st Reactor	30.25	0.247	7.29	0.8	1.139	0.9956	1.0354	1.20
		50.1	0.251	7.17	0.8	2.006	0.9925	1.0296	2.13
	2nt Reactor	30.25	0.454	3.96	0.8	2.120	0.9915	1.0625	2.33
		50.1	0.457	3.94	0.8	3.830	0.9853	1.0486	4.21
2	1st Reactor	30.25	0.255	7.06	0.8	2.475	0.9909	1.0273	2.63
		50.1	0.257	7.00	0.8	4.200	0.9851	1.0155	4.47
	2st Reactor	30.25	0.440	4.09	0.8	1.380	0.9944	1.0680	1.51
		50.1	0.442	4.07	0.8	2.358	0.9906	1.0593	2.59

flux를 추정하고자 실험하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 제1반응조의 처리효율은 BOD 82%, COD 76% 내외이며, 이때의 유출수 수질은 BOD 3.9~6.8, COD 7.1~12.5mg/l로서 하천 및 호소의 I, II등급 수질기준을 만족하기 어려웠고, 제2반응조로 재처리하였을 경우 전체 처리효율은 BOD 93%, COD 88% 내외로서 처리수질이 BOD 1.4~2.9, COD 3.5~6.5mg/l를 얻을 수 있었으므로 제2반응조의 설치가 필요한 것으로 나타났다.

2. 媒體間隙 1.5cm와 2cm의 차이는 처리효율에 유의할 만한 차이를 보이지 않았으며 제2반응조의 처리효율이 BOD와 COD 각각 60%와 50% 내외였으므로 實際反應에 있어서는 경제적인 측면에서의 고려가 있어야 할 것이다.

3. Rittmann과 McCarty의 生物膜에 관한 variable-order model을 사용하여 計算된 全反應槽의 反應次數는 0.9851~0.9956으로서 1次反應에 接近하였고 基質 flux J/A 는 0.028~0.0405mg/cm²·day였으며, 流入水の 基質濃度가 증가함에 따라 증가하였다.

參 考 文 獻

1. 前田嘉道, 接觸酸化プロセスによる有機性廢水の處理, 醱酵工學, 第57卷, pp. 114~124, 1970
2. Lubin, G.R., The Biological Aerated Filter Process of Development in the US, USEPA 1983.
3. 環境廳, 環境保全法, 法社令 第805號, 1987
4. B.E. Rittmann, A.M. ASCE, P.L. McCarty, M. ASCE: "Variable order Model of Bacterial-film Kinetics." ASCE, Vol. 104, No. EE5 1978.
5. B.E. Rittmann, A.M. ASCE and Perry L. McCarty, M. ASCE: "Substrate flux into biofilms of any thickness." ASCE, Vol. 107, No. EE4, 1981.
6. K. Williamson, P.L. McCarty: "A model of substrate utilization by bacterial films." WPCF, 48 (1), 1976.
7. D. Herbert et al., J. Gen. Microbiol., 14, 610, 1956.
8. N. van Uden, Arch. Mikrobiol., 58, 145, 1967.
9. B.E. Rittmann & P.L. McCarty; "Model of Steady-State Biofilm Kinetics." Biotechnology & Bioengineering, Vol. pp. 2343-2357, 1980.
10. K. Williamson & P.L. McCarty; "Verification studies of the biofilm model f for bacterial substrate utilization." WPCF, 48 (2), 1976.
11. B.E. Rittmann & P.L. McCarty; "Evaluation of Steady-state-Biofilm kinetics." Biotechnology & Bioengineering, Vol. XXII, pp. 2359-2373, 1980.
12. Characklis, W.G., "Attached Microbial Growths-1. Attachment and Growth." Water Research, 7, pp. 1113-1127, 1973.
13. 兵野守 外 3人, 大板府にける生物處理實驗, JWWA, 第54卷 9號, 1983
14. 中川正雄, 平板狀 接觸材の應用と性質, 用水と廢水, 23 (4), 1981
15. "Standard methods for the examination of water and waste-water." 16th. ed. APHA 1985.