

# 잔자갈을 充填한 間接曝氣方式 浸漬濾床에 의한 合成下水處理

Treatment of Synthetic Wastewater by Indirect Aerating Biofilter Submerged Gravel

梁	相	鉉*
Yang,	Sang	Hyon
元	燦	喜**
Won,	Chan	Hee

## Abstract

In order to develop the design and operational criteria in sewage treatment by indirect aerating submerged biofilter, experimental investigations were performed for the reasonable oxygen supply and effecting factors of treatment efficiency.

The experiments were executed for the up-flowing synthetic wastewater and aerated water in the submerged biofilter at 20°C.

The obtained results are as follows:

- 1) Appropriate mean diameter of gravels was about 11mm.
- 2) BOD<sub>5</sub> loading rate based on biofilter volume was more reasonable than that on surface area of gravel for operational criteria.
- 3) To remove the influent BOD<sub>5</sub> more than 90%, BOD<sub>5</sub> loading rate must be less than 1.0kg-BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>·d and circulating flowrate must be more than 189m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d.
- 4) Reaction rate coefficient K<sub>1</sub> is related to diameter of gravel and circulating flow rate based on biofilter volume.

## 要 旨

本 研究에서는 잔자갈을 充填한 間接曝氣方式 浸漬濾床의 設計나 운전에 合理性을 부여하기 위해, 曝氣槽에서 浸漬濾床으로의 酸素供給 特性 및 잔자갈의 粒徑, 循環水의 水量負荷, BOD<sub>5</sub> 容積負荷 변화에 대한 處理效率를 검토하였다.

實驗은 20°C를 유지한 浸漬濾床의 下部에 合成下水를 上向流로 연속注入하였고, 同時에 포기 조에서 충분히 포기된 물을 浸漬濾床에 上向流로 循環시키면서 수행되었다.

實驗結果 가장 적당한 잔자갈의 粒徑은 11 mm 정도였으며, 設計 및 운전을 위해서는 잔자갈의 表面積負荷보다는 浸漬濾床의 容積을 기준으로 하는 것이 타당하며, 90% 이상의 BOD<sub>5</sub> 제거율을 얻기 위해서는 BOD 容積負荷率을 1.0kg-BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>·d 이하로 운전하여야 하며, 이때 循環水(DO7.2mg/l)의 水量負荷는 189m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d 이상으로 유지시켜야 할 것으로 나타났다. 또 本實驗 범위내에서 反應速度係數 K<sub>1</sub>은 循環水의 水量 負荷 및 잔자갈의 粒徑과 밀접한 關係가 있음을 알았다.

\* 正會員 · 全北大學校 工科大學 教授

\*\* 正會員 · 全北大學校 大學院 博士課程

## 1. 緒論

유기성 廢水를 처리하는 생물학적 폐수처리工法은 크게 floc 狀의 현탁미생물을 이용하는 工法과 固定微生物膜을 이용하는 工法으로 나눌수 있다.

현탁미생물을 이용하는 대표적인 방법은 활성슬러지법이며, 固定微生物膜工法으로는 散水濾床法이 가장 널리 이용되고 있다. 그러나 활성슬러지법은 유기물負荷의 변동에 약하고 포기조내 미생물의 膨化현상에 의한 固液분리상의 난문제등이 따르며, 동력소비가 크다는 등의 단점이 있다<sup>(1,2)</sup>.

한편, 散水濾床法은 온도변화에 민감하고, 파리나 악취발생이 심하며, 처리수 수질이 최근에 강화되고 있는 유출수질 기준을 만족시킬 수 있는가 하는 의문이 있다<sup>(3,4)</sup>.

이와 같은 활성슬러지법이나 散水濾床法의 短點을 補完하기 위한 하나의 方法으로서 浸漬濾床法의 試圖가 가능하다.

浸漬濾床法은 media 를 水中에 浸漬시켜 그 表面 또는 media 間의 空隙에 微生物膜이 형성되도록 한후, 폐수를 接觸시켜 처리하는 方法으로 上記한 두가지 方法을 折衷시킨 方法이라 할 수 있다<sup>(5,6)</sup>. 이 방법은 反應槽內의 미생물 농도를 높일 수 있으며, 水溫 및 유기물負荷의 변동에도 적응성이 강하고 잉여 슬러지 발생량을 줄일 수 있으며, 파리 및 악취의 발생을 방지할수 있을 뿐만 아니라 유지관리가 容易한 장점이 있다.

浸漬濾床法은 1937年 Bach<sup>(7)</sup>가 散水濾床의 단점인 파리나 악취의 발생을 방지키 위해 개발한 이래 Keto<sup>(8)</sup>등은 media 로서 대나무, 석면, 플라스틱 조각을 充填한 浸漬濾床을 이용한 下水處理 실험결과, 처리효율은 활성슬러지법보다 크게 向上시키지 못하였으나, 잉여슬러지 발생량이 감소하고, 衝擊負荷에 강하며, 슬러지 膨化 등의 문제를 해결할 수 있다고 보고하였다. 또 Tolaney<sup>(9)</sup> 등은 체류시간을 여러가지로 변화시켜 실험한 결과 최적체류시간에서 90% 이상의 BOD 및 SS 除去率을 얻을 수 있다고 보고하였으며, 北尾高嶺은 최종 침전지를 생략할 수 있으므로

처리장의 규모를 축소시킬 수 있으며, 底濃度 폐수처리에 유리함을 보고하였다.

그런데, 廢水處理를 위한 浸漬濾床法의 設計 및 운전시 가장 중요한 요소는 미생물이 media 에 附着成長할 수 있는 적절한 조건과 충분한 반응시간을 만들어주는 일이다.<sup>(10)</sup> 이것은 적당한 media 의 제공, 미생물 성장에 필요한 산소 및 영양소 공급, 수류의 흐름형태 등을 적절히 함으로써 가능해지며 특히 media 및 曝氣方式의 선택이 중요하다<sup>(11)</sup>. Heukelekian<sup>(12)</sup>은 media 표면조도와 미생물 附着量과의 관계에 대한 연구에서 media 의 표면조도가 클수록 初期에는 미생물 附着量이 많으나 時日이 경과하였을 때는 거의 差異가 없다고 하였다.

한편, 曝氣方式에 있어서는 間接曝氣方式과 直接曝氣方式이 있는데, 直接曝氣方式은 빠른 水流 또는 氣泡의 上昇으로 인한 亂流가 발생하여 生物膜의 形成이 어렵게 되기 쉽다<sup>(12)</sup>. McCarty<sup>(13)</sup> 등은 純酸素 間接曝氣方式을 이용하여 水處理 실험을 수행한 결과 生物膜의 附着을 容易하게 하였으며 有效生物膜 두께를 크게 하였으나, 處理費用이 증대되었다.

本 研究에서는 間接曝氣方式을 도입하고 media 로서는 구입이 용이하고 表面積이 비교적 크며, 生物膜 附着성이 良好한 粒狀의 잔자갈을 채택하는 浸漬濾床法을 대상으로 하였다. 이와 같은 浸漬濾床法으로 폐수처리를 할 때 처리 효율에 영향을 미칠 수 있는 주요인자는 유기물 負荷, 循環水의 水量負荷 및 잔자갈의 粒徑 등이 다.

따라서, 本 研究에서는 浸漬濾床法의 特性과 合理的인 운전방식을 究明하기 위해 曝氣槽에 의한 酸素供給特性 및 BOD<sub>5</sub> 부하, 순환수량부하, 잔자갈의 粒徑 변화에 의한 處理效率를 實驗의 으로 연구 검토하였다.

## 2. 實驗裝置 및 實驗方法

### 2-1. 實驗裝置 및 試料

實驗에 사용된 실험장치는 그림 1과 같으며, 크게 浸漬濾床, 曝氣槽 및 廢水槽와 循環펌프등으로 구성되어 있다.

그림에 있어서 media 를 充填한 浸漬濾床은

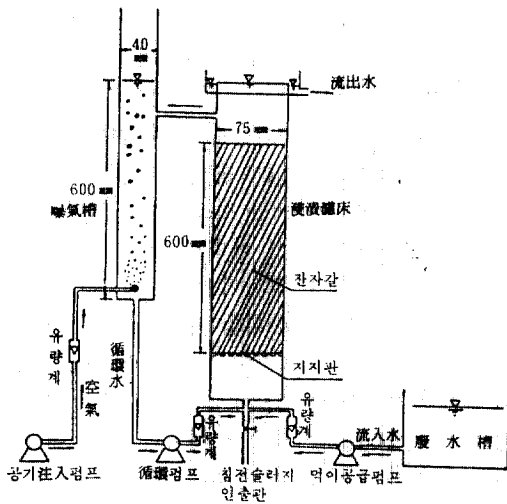


그림 1. 實驗裝置

높이 900 mm, 內徑 75 mm 의 투명 아크릴관으로 제작되었으며, 曝氣槽 역시 높이가 900 mm, 직경 40 mm 의 투명 아크릴관으로 제작되었다. 浸漬濾床의 有效容積은 2.65 l 이며, 曝氣槽의 有效容積은 0.75 l 인데, 浸漬濾床과 曝氣槽는 펌프로 연결하여 강제순환시켰다. 실험이 진행되는 동안 浸漬濾床의 下部에 쌓이는 잉여슬러지의

제거 및 洗淨을 위한 管과 밸브를 浸漬濾床의 下端에 設置하였다. 實驗은 그림 1 과 같은 장치를 5 개 만들고 각 浸漬濾床에 表 1 과 같은 粒徑別 media 를 각각 한 종류씩 60cm 높이로 充填하여 media 의 粒徑이 處理效率에 미치는 영향을 검토하였다. 순환펌프, 먹이공급펌프, 공기주입펌프는 流量調整을 위해 速度調節裝置가 設置된 펌프를 사용하였고, 流量測定을 위해 流量計를 設置하였다.

實驗에 사용된 시료는 표 2 에 그 成分을 表示한 바와 같이 skim milk 를 주로하여 미생물의 성장에 必要한 무기성 영양염류를 적량 混合한 것에 증류수를 加하여 1 l 로 만든 合成下水이다. 이 合成下水의 원액 1 l 에 대한 COD 는 132,000mg/l, BOD<sub>5</sub> 는 112,000mg/l 이며, 실제의 實驗에서는 유입수 BOD<sub>5</sub> 농도를 도시하수의 BOD<sub>5</sub> 농도 범위값인 200 mg/l 가 되도록 稀釋하여 사용하였다.

## 2-2. 實驗 方法

### (1) 循環流量的 決定

曝氣槽의 酸素供給能力을 알아보기 위하여 曝氣槽內의 총괄산소이동계수( $K_L a$ )를 구하였다. 實驗은 清水를 채운 포기조와 浸漬濾床의 連結部를 차단하고 아뷰산소다( $Na_2SO_3$ )를 投與하여

表-1. 메디아(잔자갈)의 특성

메디아	특성	입경 (mm)	비 중	형상계수	비표면적 ( $m^2/m^3$ )	공 극 율	기하평균경 (mm)
A형		4.67~7.93	2.65	0.75	1,270	0.39	6.1
B형		7.93~9.52	2.65	0.75	920	0.42	8.7
C형		9.52~12.7	2.65	0.75	721	0.44	11.0
D형		12.7~15.9	2.65	0.75	559	0.45	14.2
E형		15.9~19.1	2.65	0.75	450	0.46	17.4

表 -2. 合成下水 원액 1 l 중의 성분 함량

성 분	중 량 (g)
Skim milk	100.0
Urea, $(NH_2)_2CO$	10.0
Sodium chloride, NaCl	3.0
Sodium phosphate, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	10.0
Potassium chloride, KCl	1.4
Calcium chloride, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$	1.4
Magnesium Sulfate, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	1.0

포기조내의 용존산소(DO)농도를 0에 가깝게 낮춘 뒤 포기를 시작하여 시간의 경과에 따른 DO 농도를 測定하고 이 값을 半對數 그래프에 그린 뒤 기울기를 정하여  $K_{La}$  값을 구하였으며, 산소 전달에 미치는 특성을 고려하여  $\alpha(K_{La} \text{ 페수}/K_{La} \text{ 청수})$  및  $\beta(C_s \text{ 페수}/C_s \text{ 청수})$ 를 측정하였다. 이때 공기량은 133, 267, 400, 533, 667 l/hr·l의 5가지로 변화시키면서  $K_{La}$ 를 구하였는데, 이렇게 구한  $K_{La}$  및  $\alpha\beta$ 를 이용하여 산소이동속도를 계산하였다. 또 blower 吸入口와 吐出口에서의 절대 압력 (mmH<sub>2</sub>O)을 測定해서 소요동력을 계산하였다. 산소이동속도를 소요동력으로 나누어 동력효율을 계산하여 동력효율이 가장 좋은 공기량으로 포기시키면서 순환유량을 변화시킬 때 浸漬濾床에 供給되는 산소량과 미생물이 必要로 하는 산소량과 比較하였다. 실험기간중 실험은 항온실에서 수행되어 침지여상 및 포기조의 수온은 20±0.2°C로 유지하였다.

## (2) 水處理 實驗

下水處理 實驗에 사용된 미생물은 全州市衛生 處理場의 反送슬러지를 #125의 체로 거른 뒤 실험실에서 合成下水를 먹이로 하여 24시간 숙양시킨 뒤 사용하였으며, 이렇게 숙양된 미생물의 농도를 測定하여 적량을 浸漬濾床에 注入하고, 微生物이 浸漬濾床內의 media에 附着될때까지 예비가동을 실시하였다. 미생물이 附着하는 데는 약 4~5일이 소요되었으며, 處理된 流出水의 測定은 微生物注入후 1週日이상 경과된 후 steady state 下에서 실시하였다. 實驗은 체류시간을 0.8~5 hr, 循環水의 水量負荷를 47~236 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d, BOD<sub>5</sub> 負荷率을 0.4~3.0 kg-BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>·d로 변화시키면서 粒徑別로 處理率을 조사하였다. 실험중에 浸漬濾床內의 biomass를 測定하기 위해 各 조건에 대한 실험이 끝난 직후 濾床下端에 設置된 잉여오니 인출관의 밸브를 열어 浸漬濾床內의 下水를 完全히 排水시킨 다음 media를 임의로 10여개 꺼내어 씻어서 定量하였다. 이때 排水中의 biomass도 定量하였다. 實驗에 利用된 COD, BOD, SS 등의 측정방법은 standard methods<sup>(14)</sup>에 준하였다.

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3-1. 循環流量의 決定

간접포기식 침지여상에 있어서의 순환은 침지여상에서 필요한 산소의 공급에 있기 때문에 수처리 실험에 앞서 순환유량의 결정이 선행되어야 한다. 포기조에서는 순환수에 의해 산소를 공급하고 침지여상에서는 산소를 소비하는바, 순환유량은 침지여상에서 최대로 소비되는 산소를 공급할 수 있도록 결정되어야 한다.

포기조의 산소공급능력을 알아보기 위하여 曝氣槽 단위용적당 注入空氣量을 100~700 l/hr·l로 변화시키면서 포기조의 清水에 대한 총괄산소이동계수( $K_{La}$ )를 측정할 결과는 그림 2와 같으며 清水에 대한 廢水의보정계수  $\alpha, \beta$  값의 실험치는 각각 0.82, 0.88이었다.

그림 2에서 알 수 있듯이 공기량을 증가시킬수록  $K_{La}$ 는 증가하지만 공기량 500 l/hr·l 이상에서는  $K_{La}$  증가속도가 약간 둔화되는 경향을 나타내고 있다. 이것은 공기량 500 l/hr·l 이상에서는 기포가 상승하는 도중에 기포 合體 현상이 발생하기 때문에 氣液 接觸面積이 작아져서 산소전달이 감소되는 것으로 판단된다.

일반적으로 포기조의 산소이동속도는 다음 식으로 표현된다.

$$N = \alpha K_{La} \cdot V (\beta C_s - C) \quad (1)$$

여기서,  $N$ : 산소이동속도(mg/hr)

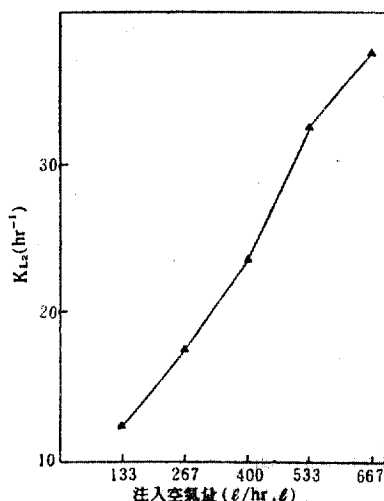


그림 2. 空氣量 變化에 따른  $K_{La}$ .

$K_{La}$  : 총괄산소 이동계수( $hr^{-1}$ )

$V$  : 포기조 용적( $l$ )

$C_s$  : 포화 용존산소 농도( $mg/l$ )

$C$  : 용존산소 농도( $mg/l$ )

$\alpha, \beta$  : 清水에 대한 廢水의 補正係數

또 blower의 소요動力은 다음 式으로 表示된다.

$$L = \frac{P_1 G_s}{6120} \frac{K}{K-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (2)$$

여기서,  $L$  : 소요 動力( $kW$ )

$P_1$  : blower 吸入口 絶대압력( $mmH_2O$ )

$P_2$  : blower 吐出口 絶대압력( $mmH_2O$ )

$K$  : 壓縮 指數, 空氣의 경우  $K=1.40$

$G_s$  : 공기량( $Nm^3/min$ )

한편 動力效率 ( $D_{eff}$ )은 다음 式으로 表示된다.

$$D_{eff} = N/L \quad (3)$$

측정한  $K_{La}$ 값을 (1)式에 代入하여 계산한 산소 이동속도  $N$ 과 實測한 값  $P_1, P_2$ 을 (2)式에 代入하여 산정한 소요動力  $L$ 을 (3)式에 代入하여 구한 動力效率  $D_{eff}$ 은 그림 3과 같다.

그림 3에서 알 수 있듯이 動力效率은 공기량  $267l/hr \cdot l$ 에서 가장 좋았다. 그 원인은 공기량  $267l/hr \cdot l$  이상에서는 기포의 과다 生成으로 인한 合體現狀에 의해 산소 이동계수  $K_{La}$ 의 증가속도가 소요動力의 증가량에 미치지 못하였기 때문이라 판단된다. 한편 산소는 미생물이 세포의 合成과 生命을 유지하는 데 필요한 에너지를 供給하기 위해 사용되는데 필요 산소량은 다음 式으로 表現된다.

$$R_0 = a'S_r + b'X \quad (4)$$

여기서,  $R_0$  : 필요 산소량( $g/d$ )

$S_r$  : 제거된 BOD 양( $g/d$ )

$a'$  : 제거된 BOD 중 증식에너지를 공급하기 위한 산소 소비율

$b'$  : 내생 호흡에 의한 산소소비율( $d^{-1}$ )

$X$  : 침지여상내 미생물량( $g$ )

(4)式에서

$$S_r = Q(S_0 - S_e) \quad (5)$$

가 되며, 여기서  $Q$ 는 유입폐수량,  $S_0$ 는 유입수 BOD<sub>5</sub>농도,  $S_e$ 는 유출수 BOD<sub>5</sub>농도이다. 本實驗에서  $S_0$ 는  $200 mg/l$ 이고, 90%의 처리효율을 目標로 할 때  $S_e$ 는  $20 mg/l$ 이며,  $Q$ 는  $5.7 \sim 34.2 l/d$ 의 조건이었으므로, (5)式에 의해 계산된  $S_r$ 은  $1.03 \sim 6.16 g/d$ 가 된다. 한편 測定에 의한 浸漬濾床內의 biomass는 최대  $10 g/l$  정도이고, 유효용적이  $2.65 l$ 이었으므로 침지여상내의 총 미생물량  $X$ 는  $26.5 g$ 이 된다. (4)式에서 下水에 대한  $a', b'$ 의 값은 각각  $0.3, 0.05$ 로 측정되었으므로 필요산소량은 (4)式에 의해 계산되며, 그 값은  $1.64 \sim 3.17 g/d$ 가 된다.

한편 循環水에 의해 浸漬여상에 공급되는 산소량은 다음 式으로 表示될 수 있다.

$$O = Q_r(C_1 - C_2) \quad (6)$$

여기서,  $O$  : 산소 공급량( $mg/d$ )

$Q_r$  : 순환 유량( $l/d$ )

$C_1$  : 여상에 유입하는 循環水의 DO 농도( $mg/l$ )

$C_2$  : 포기조에 유입하는 循環水의 DO 농도( $mg/l$ )

포기조에 유입하는 循環水의 최저 DO 농도는  $1 mg/l$ 이므로 動力效率이 가장 좋은 공기注入量  $267 l/hr \cdot l$ 로 포기시킬 때 순환유량  $Q_r$ 의 변화에 따른 여상유입 循環水의 DO 농도  $C_1$ 값과 (6)式에 의해 계산된 산소공급량  $O$ 는 표 3과 같다.

따라서, 폐수유입량  $Q$ 의 변화에 따라 공급해야 할 산소를 만족시키기 위해서는 순환유량을

表-3. 순환유량 변화에 따른 산소 공급량

순환유량 $Q_r (l/d)$	125	250	375	500	625
$C_1 (mg/l)$	8.8	8.0	7.5	7.2	7.0
$O (g-O_2/d)$	0.98	1.75	2.44	3.1	3.75

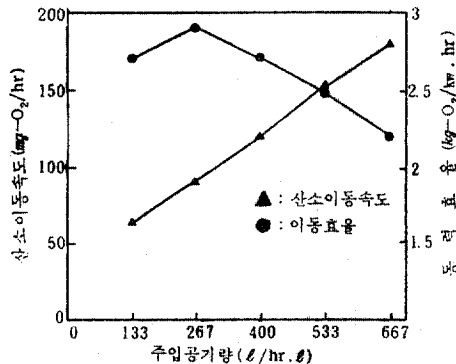


그림3. 空氣量變化에 따른 산소이동속도 및 動力效率

表-4. 입경, 부하율 및 순환유량 변화에 따른 하수처리 실험결과

메디아	BOD 용적 부하(kg-BOD/m <sup>3</sup> d)	순환유량(l/d) 유입수 BOD <sub>5</sub>	유출수 BOD <sub>5</sub> 농도(mg/l)				
			125	250	375	500	625
A형	0.42	200mg/l	9	6	4	4	4
	0.93		42	30	26	25	27
	1.47		72	58	52	51	52
	1.83		92	79	74	72	70
	3.00		122	104	98	92	87
B형	0.42	200mg/l	7	4	3	3	3
	0.93		35	23	19	18	18
	1.47		62	49	43	42	44
	1.83		84	69	62	60	54
	3.00		112	99	94	88	82
C형	0.42	200mg/l	5	3	2	2	2
	0.93		25	19	15	14	14
	1.47		50	41	38	33	31
	1.83		72	70	52	50	47
	3.00		105	98	80	76	74
D형	0.42	200mg/l	6	4	3	3	3
	0.93		28	19	16	15	15
	1.47		57	42	40	32	36
	1.83		77	62	60	25	55
	3.00		109	96	92	84	86
E형	0.42	200mg/l	7	4	3	3	3
	0.93		32	22	18	17	17
	1.47		52	44	33	30	34
	1.83		84	62	63	56	60
	3.00		116	102	95	89	91

250~500 l/d로 하여야 하며 이 값을 浸漬여상 단위 용적으로 환산하면 94~189 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d의水量負荷가 된다.

### 3-2. 合成下水 處理 驗實

各 實驗條件 및 잔자갈 粒徑別 實驗結果는 表 4에 要約하여 表示하였다.

#### (1) BOD<sub>5</sub> 負荷率 變化에 따른 處理效率

理論적으로 필요한 循環水量은 최대 500 l/d 이었으므로 循環水量을 500 l/d로 하고, 各 粒徑別 BOD 용적부하 變化에 따른 유기물 제거효율을 실험한 결과는 그림 4와 같다.

한편, media 粒徑別 제거율을 media의 表面積 負荷率의 變化에 따라 表示한 결과는 그림 5와 같다.

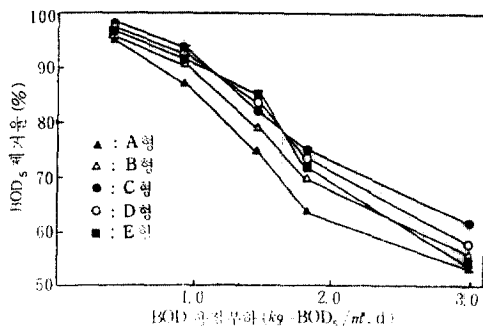


그림 4. BOD 용적부하 변화에 따른 BOD<sub>5</sub> 제거율

그림 4에서 알 수 있듯이 모든 粒徑의 media를 충전한 浸漬濾床에 있어서의 BOD<sub>5</sub> 除去率은 BOD 용적부하를 증가시키면 감소되었으며, 90%

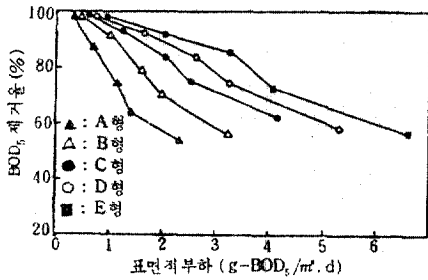


그림 5. 잔자갈의 표면적부하 변화에 따른 BOD<sub>5</sub> 제거율

이상의 除去率을 目標로 하였을 때 BOD 용적부하率을  $1.0 \text{ kg-BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  이하로 운전하여야 한다. 이 값을 F/M 比로 환산하면(biomass 측정치는  $5 \sim 10 \text{ g/l}$ )  $0.1 \sim 0.2$  정도인 바 活性슬러지법의 적정 F/M 比가  $0.2 \sim 0.4$  인 것에 비하여 다소 적은 값이지만, BOD 용적부하는 活性슬러지법의  $0.3 \sim 0.8 \text{ kg-BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  보다 크게 하여 운전할 수 있으므로 浸漬濾床法에 의한 폐수처리시 活性 슬러지法에 비해 反應槽의 용적을 줄일 수 있을 것으로 생각되며, F/M 比가 낮은 관계로 微生物은 감소成長狀態에서 운전되므로 自酸化率이 커져서 단위 미생물량당 잉여 슬러지發生量이 감소될 것으로 예측된다.

한편, 잔자갈의 粒徑別로 BOD<sub>5</sub> 除去率을 비교해 보면 C형 잔자갈이 가장 우수하였고, A형 잔자갈이 가장 저조하였다. 이 원인은 주로 浸漬濾床內의 미생물량과 水理學的 현상때문으로 생각되는데, 微生物量은 比表面積이 가장 큰 A형 잔자갈보다 C형 잔자갈이 더 많은 것으로 측정되었다. 이것은 A형 잔자갈은 空隙의 크기가 너무 작기 때문에 공극사이의 미생물이 부착성장함에 따라 유로의 형성을 위한 공간이 없어서, 強制循環에 의한 水理學的 剪斷力이 미생물의 附着成長을 방해하거나, 일단 附着된 미생물도 脫離시키기 때문인 것으로 판단된다. 또 C형 잔자갈 이상의 粒徑 크기를 가진 잔자갈로 充填한 浸漬濾床에 의한 處理效率는 잔자갈의 粒徑이 커질수록 낮아졌는데 이것은 水理學的인 剪斷力이 미생물의 附着成長을 방해하지 않는 정도의 공간, 즉 공극의 크기가 주어진다면 미생물량은 比表面積이 커질수록 많아지게 될 것이므로, 比

表面積이 작은 D, E형 잔자갈에 附着된 미생물량이 적어지기 때문임을 알 수 있다. 또한 空隙의 크기가 큰 D, E형 잔자갈에서는 공극을 통과하는 循環水의 局部的인 攪亂현상이 C형 잔자갈에 비해 작을 것으로 예상되며, 그에 따라 유기물의 擴散이 덜 활발해지기 때문으로 판단된다.

한편, 그림 5에서 보면 잔자갈의 粒徑이 작을수록 잔자갈의 表面積부하率의 증가에 따라 處理效率가 급격히 감소하며, 粒徑이 큰 여타의 잔자갈에 비해 處理效率가 매우 낮았다. 이 원인은 前述한 水理學的인 이유로 인하여 粒徑이 작을수록 比表面積은 큰 반면, biomass는 오히려 더 적기 때문이다. 따라서 浸漬濾床法의 운전시 media의 比表面積을 기준으로 하여 BOD 부하를 決定하는 것은 不合理하며 容積부하로서 기준을 삼아야 할 것이다.

(2) 循環水의 水量부하 변화에 따른 處理效率  
處理水を 循環하는 이유는 浸漬濾床에 산소공급을 원활히 하여, 처리율을 향상시키기 위한 것이라고 볼 수 있다. 本實驗에서는 循環流量을 충분히 하면서( $500 \text{ l/d}$  이상) BOD 제거율을 90% 이상 유지시키기 위해서는 BOD 용적부하를  $1.0 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  이하로 유지하여야 하므로, BOD 용적부하를  $0.93 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  가 되도록 한 뒤, 순환유량의 변화에 따른 처리효율을 검토하기 위해 순환

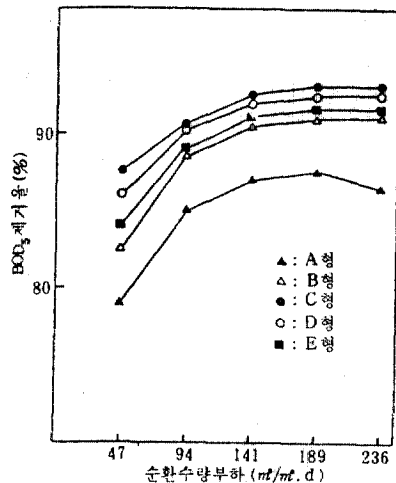


그림 6. 循環水量부하 변화에 따른 BOD<sub>5</sub> 제거율

유량을 125~625l/d(水量負荷 47~236m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d)로 변화시키면서 實驗한 結果는그림 6 과 같다.

그림 6에서 알 수 있듯이 循環水量負荷의 증가에 따라 BOD<sub>5</sub> 제거율이 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 循環水量負荷 189 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d 이상에서는 거의 증가하지 않았다. 이것은 3-1 절에서 언급한바와 같이 BOD 용적부하가 0.93kg-BOD/m<sup>3</sup>·d의 경우 이론적으로 必要한 산소량을 공급하기 위한 循環流量은 250 l/d(水量負荷 94 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d)이지만 循環流量을 그 이상으로 증가시키면 산소공급량이 더욱 커질 뿐만 아니라, 유속의 증가로 인한 局部的인 Mixing 효과가 커져서 산소 및 기질이 biomass 내부로 용이하게 침투하였기 때문이라 생각되며, 循環水量負荷 189m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d 이상에서는 그림 7에서와 같이 浸漬濾床內의 biomass 流出이 크게 증가하였기 때문이며, 특히 A형 잔자갈의 경우가 biomass 流出이 큰 것으로 미루어 A형 잔자갈을 充填한 浸漬濾床이 BOD<sub>5</sub> 제거율이 가장 저조한 것으로 생각된다.

### (3) 生物反應의 數學的 해석

본 침지여상에 있어서 공극내의 biomass 상태는 floc 狀 또는 橋着(bridging)상태로 관찰되어서 살수여상에 있어서의 생물막 상태보다는 활

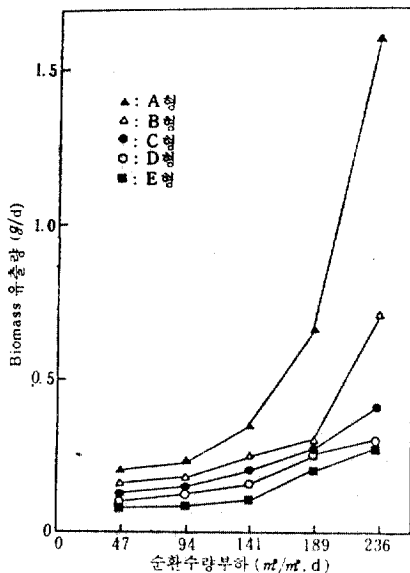


그림 7. 循環水量負荷 變化에 따른 Biomass 流出量

성슬러지법에서의 floc 狀에 더 가까웠고 F/M 비의 실험범위가 일반적인 활성슬러지 법에서의 F/M 비 범위와 비슷하였다.

대부분의 활성슬러지법이 감소 증식단계에서 운전되며<sup>(16)</sup> 이 때의 BOD 제거식은 1 차반응식으로 나타낼 수 있음을 감안하여<sup>(17)</sup> 본 실험에서의 BOD 제거를 1 차반응으로 가정하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$-\frac{ds}{dt} = K_1 S \quad (7)$$

여기서,  $\frac{ds}{dt}$  : 반응속도(mg/l·hr)

$K_1$  : 반응속도 계수(hr<sup>-1</sup>)

$S$  : 유기물 농도(mg/l)

(7)식을 경계조건  $t=0$ 에서  $t$ 까지 적분하면 다음 식이 된다.

$$\ln S_t/S_0 = -K_1 t \quad (8)$$

$$\ln S_0/S_e = K_1 t \quad (9)$$

여기서,  $S_0$  : 유입수 유기물 농도(mg/l)

$S_e$  : 유출수 유기물 농도(mg/l)

$t$  : 체류시간(hr)

그런데, BOD 용적부하  $L_0$ 는  $QS_0/V$ 로 표시되고 체류시간  $t$ 는  $\epsilon V/Q$ 로 표시되어, 체류시간  $t$ 는  $\epsilon S_0/L_0$ 로 표시되므로 식 (9)은 다음 식으로 표시된다.

$$\ln S_0/S_e = K_1 \epsilon S_0/L_0 \quad (10)$$

여기서,  $\epsilon$  : 空隙率

$L_0$  : 유기물의 용적부하(kg/m<sup>3</sup>·d)

(10)식에서  $\ln S_0/S_e$ 를 縱軸,  $\epsilon S_0/L_0$ 를 橫軸으로 하여 表 4의 실험자료를 plot 하면 기울기, 즉 반응속도계수  $K_1$ 이 얻어지며 잔자갈의 粒徑과 循環比變化에 따른 反應速度係數값의 변화는 그림 8과 같다.

그림 8에서 알 수 있듯이 모든형의 잔자갈을 充填한 浸漬濾床에 있어서의 反應速度係數  $K_1$  값은 循環水量負荷가 낮은 범위에서는 單位循環水量負荷의 증가분에 대한  $K_1$ 값의 증가분이 크지만, 循環水量負荷가 점점 커짐에 따라 單位循環水量負荷의 증가분에 대한  $K_1$ 값의 증가분이 점점 작아지다가 循環水量負荷 189 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d 이상에서는 循環水量負荷가 증가하여도  $K_1$ 값의 증가는 없었다. 이것은 주로 산소공급량과 biomass



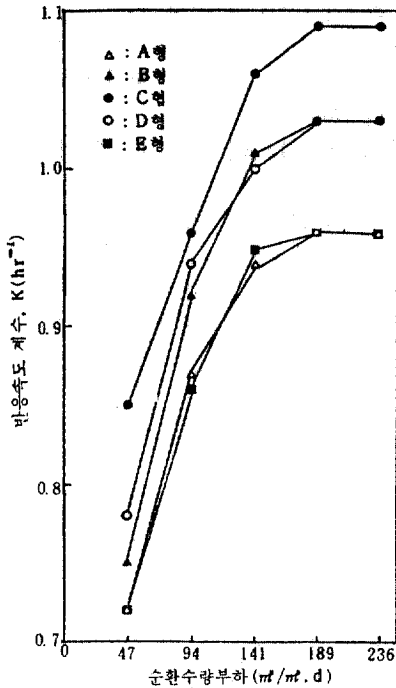


그림 8. 循環水量負荷 變化에 따른 반응속도 계수  $K_1$ 의 變化

를 스쳐 지나가는 流速의 變化에 기인된 것이라 판단된다. 즉 酸素供給面에서는 本 實驗에서 理論적으로 必要한 산소량은  $BOD_5$  용적부하가 가장 큰  $3.0 \text{ kg-BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  일때에 대해서도 循環水量負荷  $189 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  일 때 만족시켰기 때문이며, 循環水量負荷 증가에 따른 流速의 증가는 침지여상내의 mixing rate 및 turbulence 를 크게하여, 기질 및 용존산소가 미생물에 접촉할 수 있는 기회를 증대시켰기 때문이라 판단된다. 한편, 반응 속도계수  $K_1$  값은 잔자갈의 粒徑이 C인 경우가 가장 좋았으며, 다음이 B, D, A, E의 순이었다. 이것은 粒徑이 너무 작을 경우, 공극이 작아서 미생물 서식 및 유로형성 공간이 同時に 이루어지기가 어려웠던 것으로 생각되고, 粒徑이 너무 큰 경우, 空隙은 큰 反面 比表面積이 상대적으로 적어져서 biomass 량이 적어졌기 때문으로 생각된다.

#### 4. 結 論

잔자갈을 充填한 間接曝氣方式 浸漬濾床의 設計나 運轉時에 必要한 영향인자를 究明하기 위

해 理論的 考察과 實驗的 檢討를 한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 浸漬濾床에 適用할 수 있는 잔자갈의 가장 適當한 粒徑은  $11 \text{ mm}$  정도였다.

2) 合理的 設計를 위한 負荷率의 決定은 잔자갈의 表面積보다는 浸漬濾床의 容積을 基準으로 하는 것이 타당하다.

3) 90% 以上の  $BOD_5$  除去率을 얻기 위해서는  $BOD_5$  용적부하율을  $1.0 \text{ kg-BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  이하로 운전하여야 하며 이 때 循環水( $DO 7.2 \text{ mg/l}$ )의 水量負荷는  $189 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  以上으로 유지하여야 한다.

4) 反應速度係數  $K_1$  값은 잔자갈의 粒徑이  $11 \text{ mm}$ , 循環水量負荷  $189 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  로 운전하였을 때  $1.09 \text{ hr}^{-1}$ 로 가장 높았다.

#### 參 考 文 獻

1. Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw-Hill Book company, 1979, pp. 414~442, 484~485.
2. J.A. Oleszkiewicz, S. Koziarski, "Anaerobic Treatment in Novel Contact Digester", *Jour. of the Environ. Eng. Div.*, ASCE, Vol. 108, No. EE2, 1982.
3. N.E. Kinner, T.T. Eighmy, "Biological Fixed-Film System", *JWPCF*, Vol. 57, No. 6, June, 1985.
4. R.E. Speece, "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment", *Environ. Sci & Technol.*, Vol. 46, No. 17, 1983.
5. 須藤隆一外 3人, 生物膜法, 産業用水調査會, 1980, pp. 221~320.
6. Y. Iida, A. Teranish, "Nitrogen Removal from Municipal wastewater by a single submerged Filter" *JWPCF*, Vol. 56, No. 3, March, 1984.
7. Bach, *water works and sewerage*, Vol. 397, No. 84, 1937.
8. K. Kato, Y. Sekikawa, "Fixed Media Activated Sludge process for Industrial waste Treatment", *Proc. 22nd Indu. Waste conf.* purdue univ. 129, 1976, pp. 926.
9. M. Tolaney, "A Fixed Media Complete Mixing Activated sludge system", N.S. thesis univ. of kansas, 1971, pp. 2~34.

10. J.C. Young, P.L. McCarty, "The Anaerobic Filter for waste Treatment", *JWPCF*, Vol. 41, No. 5.
11. K.M. Lee, H.D. Stensel, "Aeration and Substrate utilization in a Sparged packed-Bed Biofilm Reactor", *JWPCF*, Vol. 58, No. 11, Nov. 1986.
12. Heukelekian, H., "slime formation in polluted waters, II. Factors affecting slime growth", *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 28, No. 1, 1956, pp.78~92.
13. Haug, R.T. and McCarty, P.L. "Field studies of Nitrification with Submerged Filters", *JWPCF*, Vol. 47, No.2, 1975, p.291.
14. Standard Methods for the Examination of water and Waste-water, *APHA·AWWA·WPCF*, 16th Ed., 1985.
15. 井出哲夫, 水處理工學, 技報堂出版株式會社, 1980, pp.214~220.
16. J.W. Clark, et al., "*Water Supply and Pollution Control*", Third Ed., Harper& Row, 1977.
17. B.J. McCabe and W.W. Eckenfelder Jr., "BOD Removal and Sludge Growth in the Activated Sludge process", *JWPCF*, Vol. 33, No.3, 1961, pp.258~271.

(接受 : 1988. 4. 30)