

浸漬型 生物膜反應槽에 의한 負荷變動에서의 基質除去에 關한 研究

南 喆 鉉 · 朴 鍾 雄

大邱韓醫科大學

A Study of Substrate Removal in Wastewater Flow Variations by Submerged Biofilm Reactor

Chul Hyun Nam · Jong Woong Park

Dae Gu Oriental Medicine College

Abstract

The objective of this study is to review the basic theories related substrate removal in wastewater flow variations using submerged biofilm reactor. An aerated biofilm reactor is that in which influent organic substrates are aerobically oxidized by the microorganisms of biofilm grown on the surface of submerged media. No sludge is returned, and oxygen is supplied by diffusers. Three types of aerated biofilm reactor are one stage-central aeration, one stage-upflow aeration and two stage-side aeration.

The orders of substrate removal capacity in wastewater flow variations showed two stage-side aeration, one stage-upflow aeration and one stage-central aeration. The phenomenon of non-closing void in upflow aeration type was superior to these in central-side aeration type. Attached biofilm masses in case of upflow, side and central aeration reactor were 1.0mg/cm², 4.1 mg/cm² and 0.93 mg/cm², respectively. Yield coefficient for biofilm was 0.31 to 0.48. Especially, removal efficiency can be increased remarkably according to the number of biofilm reactor and the packed condition of media.

I. 緒 論

生物學的 處理工法은 크게 浮遊成長하는 미생물에 의하여 處理하는 方法과 附着成長하는

미생물에 의하여 處理하는 方法으로 分類할수 있다.

固定生物膜工法(fixed-film biological processes)은 接觸材의 表面에 미생물막을 形成한 후, 그 生物膜과 水中에 포함된 汚濁物質을

接觸시켜 생물학적으로 酸化分解하는 方法이다^{1,2,3}. 이러한 浸漬媒質을 이용한 固定生物膜工法은 維持管理의 容易性, 系內의 生物性汚泥保有量이 많고 生物相이 多樣하여 生分解性 또는 生分解速度가 낮은 基質除去에 有效하다. 또한 水溫의 變化나 負荷變動에 強하고 好氣性, 嫌氣性的 兩作用이 동시에 일어나며 슬러지發生量이 적고 高度處理에 효과적인 것으로 알려져 있다^{2,3,4,6,7}.

이러한 生物膜이 形成되기 위하여 일어나는 物理的, 化學的 그리고 生物學的 變化는 基質과 微生物 세포가 媒質表面으로 移動한 후 基質이 媒質表面에 吸着되며 吸着된 表面에 微生物 세포가 固着되는 것으로 알려져 있다¹⁴.

生物膜 內部에서의 基質濃度는 깊이에 따라 다소 減少하는데 이것은 膜表面에서의 基質濃度, 膜 內部에서의 基質擴散 및 微生物의 物質代謝등에 따라 결정된다. 한편 液體와 接하고 있는 生物膜 內外部에는 生物膜 表面과 溶液사이에 얇은 水膜이 있고, 이 水膜을 通過할 때 基質濃度는 減少된다.

Williamson과 McCarty¹²에 의하면 水膜은 攪拌으로 除去될 수 있는 層과 그렇지 않은 固定層이 있는데 固定層은 海綿構造처럼 生物膜 表面과 接하고 있기 때문에 것으로 알려져 있다.

따라서 本 研究에서는 接觸媒體의 形狀 및 曝氣方式이 서로 다른 浸漬型 生物膜 反應槽를 이용하여 有機性 廢水의 負荷變動에 따른 基質除去에 대하여 比較分析하였다.

II. 實驗方法

1. 接觸媒體

本 實驗에 使用한 接觸媒體는 曲面이 있는 平板狀과 小型筒狀이며 각 形狀별 特性은 Table 1과 같다.

2. 實驗裝置

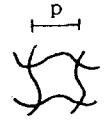

本 研究에 使用된 實驗裝置는 Fig 1과 같으며 裝置의 구성은 人工廢水를 저장할 수 있는 1 m³용 F·R·P 原水槽와 流量分配槽 및 曝氣方式別 生物膜反應槽로 구성되어 있다. 各反應槽의 諸元은 Table 2와 같다.

3. 人工廢水調劑

本 實驗에 使用된 人工廢水の 組成은 Table 3과 같으며 廢水의 平均性狀은 COD 245 ± 15 mg/l, BOD 220 ± 20 mg/l, pH 7.0 ± 0.2 였다.

4. 負荷變動實驗

Table 1. Properties of filter media used

Type of packed media	Shape	Size (mm)			Specific area (m ² /m ³)	Void space (%)	Number of packed media (EA/m ³)	Remarks
Curved flat board		P			90	95	-	Material : PP Specific gravity : 0.9
		50						
Small tubular		a	b	c	144 (0.01565 m ² /EA)	94.7	9,200	Material : PE Specific gravity : 0.97
		24	40	73				

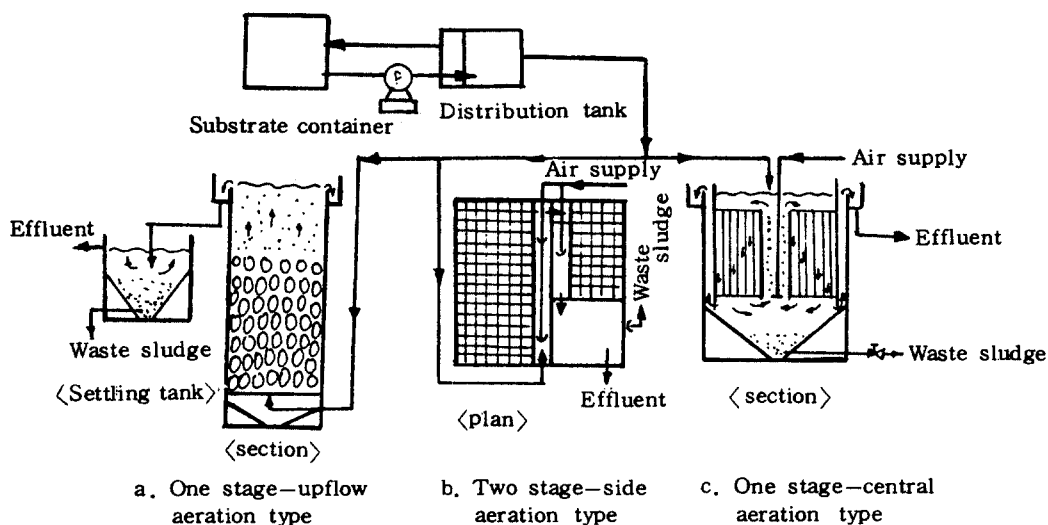


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus

Table 2 Detail of the experimental apparatus

Type of reactor	Type of packed media	Volume of reactor (l)	Total surface area (m ²)	Ratio of packed media (%)	Remarks
1 stage-central aeration	Curved flat board	136 (biofilm) 46 (settling)	9.33	60	
2 stage-side aeration	"	127 (1st chamber) 80 (2nd chamber)	6.86 (1st chamber) 4.35 (2nd chamber)	60	
1 stage-upflow aeration	Small tubular	68.7	5.40	60	Height of reactor: 145cm

Table 3. Composition of substrate solution

Compound	Quantity in 100 ml tap water	Compound	Quantity in 100 ml tap water	Remarks
D-glucose	20.2 g	MgSO ₄ · 7H ₂ O	2.5 g	COD = 245 ± 15 mg/e
Glutamic acid	6.6 g	K ₂ HPO ₄	1.88 g	BOD = 220 ± 20 mg/e
NH ₄ COOH	8.6 g	CaCl ₂	160 mg	pH = 7.0 ± 0.2
Mn SO ₄	250 mg	FeCl ₃ · 6H ₂ O	15 mg	

接觸媒體가 充填된 반응조에 數 회에 나누어 植種을 한 후, 침전된 슬러지를 재순환 시키면서 接觸媒體에 미생물막이 형성되도록 回分實驗을 行하였다. 接觸媒體에 부착된 미생물의 環境條件 및 負荷變動에 대한 適應能力을 附

與하기 위하여 滯留時間別로 連續實驗을 行하였다. 流量變動은 Fig 2와 같이 일정시간 간격으로 時間平均流量의 최대 2배까지를 기준하여 運轉하였으며, 變動部位의 中心部分인 06時, 10時, 16時, 21時에 試料를 채취하

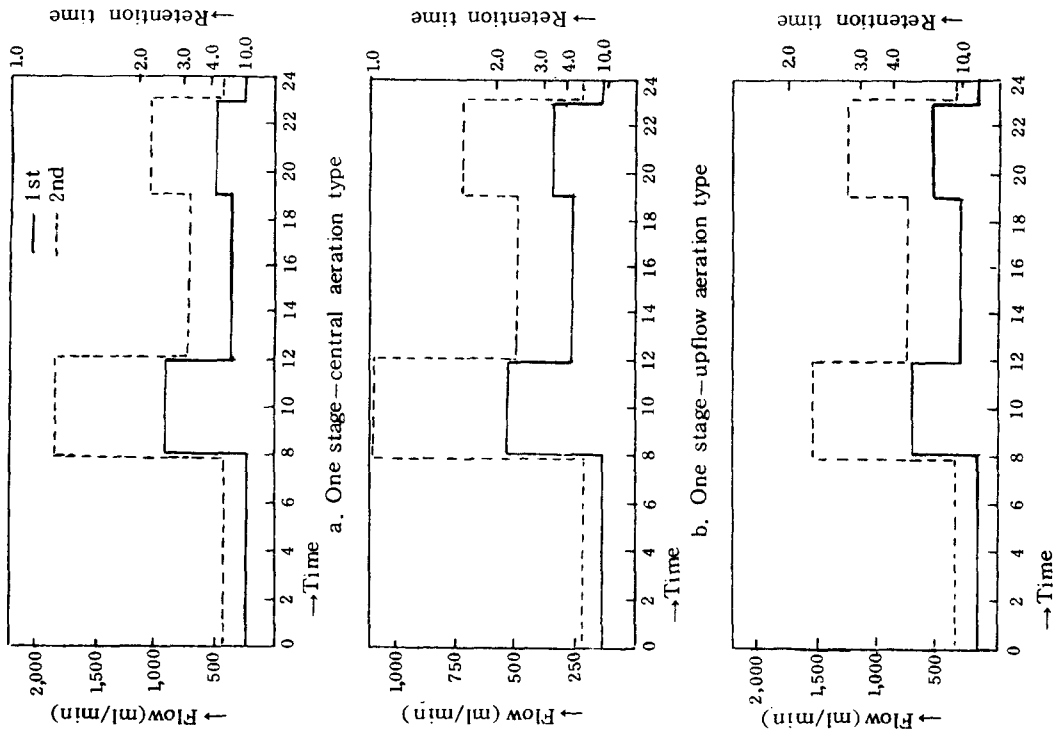


Fig. 2. Aeration type and wastewater flow variations

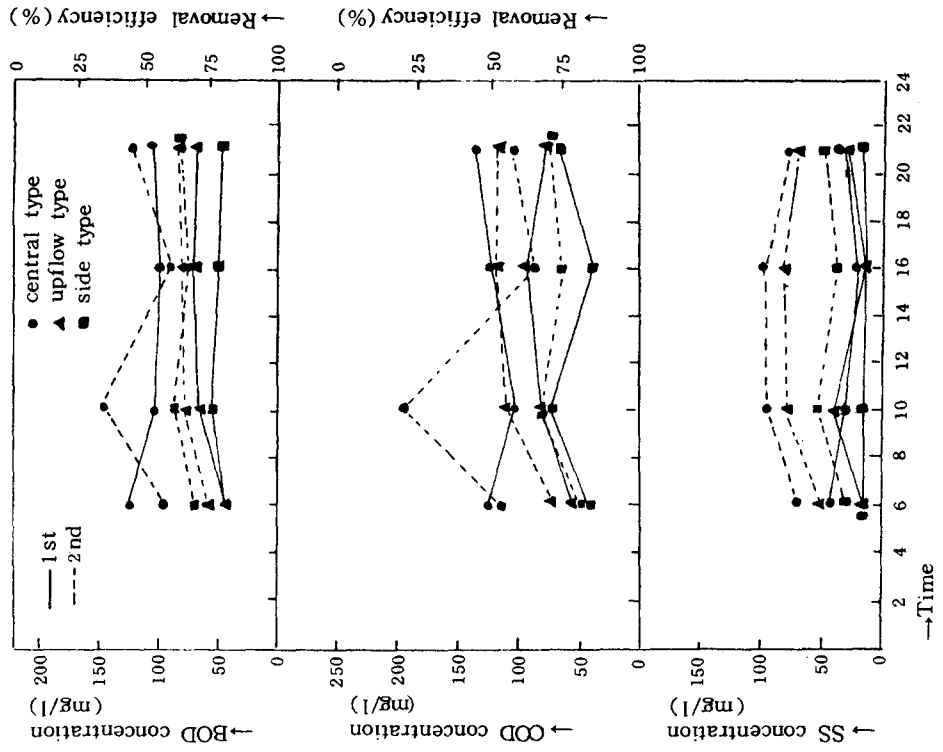


Fig. 3. Aeration type and effluent concentration (BOD, COD, SS)

여 BOD COD SS 를 測定하였고 슬러지 發生量은 1 일 1 회 測定하였다. 한편 注入空氣量은 부상식 공기유량계로 計測하였고 流量測定은 1 l 용기를 사용하였다.

5. 分析方法

溶存酸素 및 水素이온 濃度の 測定은 計測器를 사용하였고, BOD, COD, SS 및 슬러지량에 대한 試料分析은 Standard Method 에 따라 실시하였다.

III. 實驗結果 및 考察

接觸媒體가 充填된 반응조내에서 曝氣方式別 流量變動에 따른 유출수의 BOD, COD, SS 의 측정 결과는 Fig. 3 과 같다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 時間平均流量의 최대 2배 까지 流量 및 有機物負荷量을 변동시킨 결과 中心曝氣型에 비해 上向流曝氣型 및 側面曝氣型에서 負荷變動이 강한 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 系內의 生物性 汚泥保有量이 많고 生物相이 多樣하여 生分解性 또는 生分解速度가 낮은 基質除去에 有効하기 때문인 것으로 판단된다.

浸漬型 生物膜反應槽에서 基質除去에 미치는 重要因子를 살펴보면 다음과 같다.

1. BOD 面積負荷와 滯留時間

문헌⁷⁾에 의하면 原水의 BOD가 200 mg/l 前後의 2次處理 영역에서는 10~20g/m²·day 이고, 原水의 BOD가 30 mg/l 前後의 3次處理 영역에서는 3~5g/m² day 前後인 것으로 알려져 있다. 한편 反應槽內의 滯留時間은 BOD 負荷量, 水溫, 接觸媒體의 表面積 및 目標除去率에 따라 차이가 있으나 문헌⁷⁾에 의하면 앞서 언급한 BOD 面積負荷量內에서 90% 除去時, 水溫이 25℃ 이상에서는 2hr, 25~15℃에서는 3hr, 15~10℃

에서는 4hr, 그리고 10℃ 이하에서는 6hr 이 적합한 것으로 알려져 있다. 그러나 Table 4에서와 같이 本實驗에서는 槽內의 平均滯留時間이 3.5~5.4 hr 범위내에서는 BOD 面積負荷가 10~16g/m² day 이었고, 1.6~2.7 hr 범위내에서는 BOD 面積負荷가 23~31.1g/m² day 이었다. Table 4에 나타난 바와 같이 BOD 面積負荷가 클수록 槽內의 滯留時間이 짧을수록 基質除去效率은 대체적으로 低調한 편이며, 특히 滯留時間이 짧을수록 分散狀態의 미세 floc이 많으며 침전되지 않고 그대로 越流하기 때문에 SS가 높은 편이다. 負荷變動에 대한 適應能力을 살펴보면 側面曝氣型이 가장 強하고 그 다음이 上向流曝氣型 그리고 中心曝氣型의 順序로 나타났다.

2. 接觸媒體의 形狀과 微生物附着量

문헌⁷⁾에 의하면 接觸媒體의 空隙사이에서 閉塞을 防止하기 위하여 公극의 間격은 原水의 BOD가 200mg/l 이상인 경우 30mm, 200~30mg/l는 20mm 그리고 30mg/l이하의 3次處理領域에서는 10mm가 적합한 것으로 알려져 있다. 曝氣方式別 生物膜反應槽內의 閉塞現象을 살펴보면 上向流曝氣型에서는 이러한 현상이 발생되지 않으나, 中心 및 側面曝氣型에서는 閉塞現象이 발생되었다. 이러한 현상이 발생하는 原因은 槽內의 流入流量의 變動과 不均等한 循環때문에 정상적인 微生物膜의 附着·脫離가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 추정된다.

Table 4에서 보는 바와 같이 接觸媒體에 附着된 微生物량은 中心曝氣型에서 87.63g 上向流曝氣型에서 浮遊狀態 18.2g 附着狀態 55g 그리고 側面曝氣型에서는 462g이었다. 中心 및 側面曝氣型에서의 膜形成은 曝氣되는 部位를 중심으로 하여 循環流速이 작은 외곽 부위부터 附着되기 시작하여 얇은 膜

Table 4. Experimental results

Items	Type of reactor	One stage—central aeration		One stage—upflow aeration		Two stage—side aeration	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
pH value		7.0±0.2	7.0±0.2	7.0±0.2	7.0±0.2	7.0±0.2	7.0±0.2
Temperature		21±2	23±2	20±2	20±2	21±2	19±2
Influent flow(l/d)		603	1220	389	765	531	1176
Air supply (l/d)		5,760	5,760	2,718	2,880	5,895	5,760
Influent flow/Air supply		9.5	4.7	7.0	3.8	11.0	4.9
Dissolved Oxygen(mg/l)		0.8	0.8	1.4	1.8	1.0	1.0
Reactor volume(l)		136	136	68.7	68.7	127* (1st chamber) 80** (2nd chamber)	
Retention time		5.4	2.7	4.2	2.1	5.7* 3.6**	2.6* 1.6**
BOD loading (g/d)		133	268	85	168	117	258
Influent BOD (mg/l)		220±20	220±20	220±20	220±20	220±20	220±20
Effluent BOD (mg/l)		106	117	60	73	47	80
Removal efficiency (%)		52	46	72	67	79	63
Volumetric loading (kg BOD/m ³ day)		0.98	1.97	1.24	2.44	0.92	2.0
Surface area loading (g BOD/m ² day)		14.2	28.7	15.7	31.1	10.4	23
COD loading (g/d)		148	299	95	187	130	288
Influent COD (mg/l)		245±15	245±15	245±15	245±15	245±15	245±15
Effluent COD(lmg/l)		70.8	163	29.3	80.3	29.1	73.1
Removal efficiency (%)		52	45	69	57	77	75
Sludge production (g/d)		12.6	38	8.9	5.46	24.9	28.4
Effluent SS (mg/l)		27	72	26	55.8	10.3	42.6
Yield factor		0.42	0.52	0.31	0.45	0.33	0.48
Attached biofilm mass g, (mg/cm ²)		87.63 (0.93)		18.2 (suspended) 55 (attached) (1.0)		462 (4.1)	

을 형성한 후, 서서히 얇은 회갈색으로 변하면서 海綿構造로 形成되었다. 형성된 膜의 두께는 下部쪽보다는 上部쪽이 그리고 曝氣部位보다는 外廓部位가 두꺼운 상태였으며, 두께는 2~3cm 정도로 두꺼웠는데 이는 混浴이 완전히 일어나지 않아 基質의 농도가 다른 부분보다 높기 때문인 것으로 思料된다. 小型筒狀 接觸媒體를 사용한 上向流曝氣型에서는 하부부터 附着形成되기 시작하였고 外面보다는 內面에 膜이 두껍게 形成되었으

며 전체적인 膜두께의 분포에는 큰 차이가 없었다.

접촉매체의 面積當 附着量을 살펴보면 側面曝氣型에서는 4.1mg/cm², 上向流曝氣型에서는 1.0mg/cm² 그리고 中心曝氣型에서는 0.93mg/cm² 이었다. 한편 金²⁾의 實驗結果에 의하면 접촉매체의 面積當 附着량이 8.8mg/cm²인 것으로 알려져 있으나, 이러한 附着量의 차이는 사용된 接觸媒體의 形狀, 充填方法 그리고 물의 循環流速등에 영향을 받기

때문인 것으로 사료된다.

한편 生物膜의 有効두께(Le)는 生物膜表面積이 生物膜反應에 중요한 인자인데, Rittmann과 McCarty 및 Bryer¹⁴⁾ 등은 그것을 100 μm 이하로 보고하고 있다. 그러나 本實驗結果 접촉매체의 單位面積當 微生物附着量이 많을 수록 負荷變動에 強하고 安定된 處理水를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

3. 空氣注入量과 槽內的 溶存酸素濃度

Table 4에서 보는 바와 같이 공기주입량에 따른 槽內的 溶存酸素濃度を 살펴보면, 上向流曝氣型이 中心 및 側面曝氣型보다 酸素傳達效率이 훨씬 유리한 것으로 나타났다. 中心 및 側面曝氣型에서 酸素傳達效率이 低調한 것은 下部의 퇴적 슬러지에 의한 酸素消耗과 空隙閉塞現象으로 인한 不均等 循環때문인 것으로 판단된다.

靑本健⁹⁾은 公극이 30mm, 比表面積 133 m^2/m^3 인 接觸매체를 사용하여 BOD 60~180 mg/l 인 하수를 BOD 面積負荷 10~50 $\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$ 로 處理하는데 필요한 空氣量은 日平均 汚水量的 10~15倍가 적당한 것으로 報告한 바 있으며, 安原등은 除去 BOD 1kg 當 120 m^3 以上の 空氣量 즉 平均汚水量的 17倍에 公기량이 필요한 것으로 보고하였다. 그러나 本實驗結果로는 時間平均流量의 最大 2倍까지의 流量 및 有機物負荷 상태에서, BOD 220 \pm 20 mg/l 인 廢水를 BOD 60 mg/l 이하로 處理時, 注入空氣量은 流入流量의 7~12倍로 槽內的 溶存酸素濃度 1 mg/l 以上 유지가 가능했다.

4. 슬러지 發生量

Table 4에서 보는 바와 같이 除去된 BOD 濃도와 流出水의 SS로부터 슬러지 生産係數를 구하면 0.31~0.52로 타 방식에 비해 슬러지 發生量이 상당히 적은 편이다.

IV. 結 論

接觸媒體의 形狀 및 曝氣方式이 서로 다른 中心, 側面 및 上向流 曝氣型 反應槽를 이용하여 有機性 廢水의 負荷變動에 따른 基質除去에 대하여 比較分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 負荷變動에서의 基質除去 能力은 側面曝氣型이 가장 強하고 그 다음이 上向流曝氣型 그리고 中心曝氣型으로 나타났다.

2. 浸漬型 生物膜反應槽에서는 BOD 面積負荷가 클 수록 槽內的 滯留時間이 짧을 수록 負荷變動에 弱하고 基質除去效率이 低調한 편이다.

3. 空隙의 閉塞現象은 上向流 曝氣型에서는 發生되지 않으나 中心 및 側面型에서는 流入流量의 變動과 不均等한 循環으로 인하여 發生되었다.

4. 接觸媒體의 面積當 微生物 附着量은 側面曝氣型에서 4.1 mg/cm^2 , 上向流曝氣型에서 1.0 mg/cm^2 그리고 中心曝氣型에서 0.93 mg/cm^2 으로 微生物附着量이 많을 수록 負荷變動에 強하고 安定된 處理水를 얻을 수 있다.

5. 浸漬型 反應槽는 最大 2倍의 流量과 有機物負荷變動에서도 強하며 反應槽를 2段以上으로 하고 媒體充填方法을 개선하면 상당히 양호한 處理效率을 기대할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. 조광명, “연탄재를 이용한 有機性 廢水 處理”, 第3回 環境技術開發 國際심포지움 發表文集, 東亞大學校, pp. 21~48 (1982)
2. 金東玟, “都市下水의 接觸酸化處理에 관한 研究— 溶存有機物質 除去에 관한 數學的 모델을 中心으로 —”, 서울市立大

- 論文集, No. 19-2, pp. 317~326 (1985)
3. 洞澤勇 9 人, 生物膜法, 思考社 (1982)
 4. 北尾高峯, “浸漬濾床接觸材の基本条件および水質・操作条件に應じた選擇法”, 用水と廢水, Vol. 23, No. 4, pp. 381~387 (1981)
 5. 中川正雄, “平板狀 接觸材の性質と應用” 用水の廢水, Vol. 23, No. 4, pp. 43~49 (1981)
 6. Porter, K.E., “Plastic-Media Biological Filter,” J.W. PCF, pp. 371-381 (1979).
 7. 洞澤勇, “接觸曝氣方式 淨化槽の構造と性能”, 用水と廢水, Vol. 23, No. 1, pp. 15~19 (1981)
 8. 岡田宏道 2 人, “網狀 接觸材の性能とその應用”, 用水と廢水, Vol. 23, No. 4, pp. 22~27 (1981)
 9. 青木建ほか, “生物接觸酸化法を利用した下水の二次處理”, 用水と廢水, Vol. 20, No. 5 (1979)
 10. 渡邊音二, “生物酸化接觸方法による下水の三次處理に關する研究”, 水處理技術, Vol. 15, No. 1, pp. 23~28 (1974)
 11. Kornegay, H. and Andrews, J.F., “Kinetics of Fixed-Film Biological Reactors,” J. WPCF, Vol. 40, No. 11, pp. R460-J. WPCF, Vol. 56, No. 5, pp. 424-431 (1984)
 14. Rittmann, B.E. and McCarty, P.L., “Model of Steady-State Biofilm Kinetics,” Biotechnol. Bioeng., Vol. 11, pp. 2343-2357 (1980) 468 (1968)
 12. Willamson, K. and McCarty, P.L., “A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films,” J. WPCF, Vol. 48, No. 1, pp. 9-24 (1976)
 13. Rusten B., “Wastewater Treatment with Aerated Submerged Biological Filters,”