

回轉型 半固定網 活性슬릿지 工法の 數學的 解法에 關한 研究

1. 有機物 除去速度에 對하여

韓 雄 傳* · 韓 英 鎬*

STUDIES ON THE MATHEMATICAL KINETICS FOR THE REMOVABLE MOVING SCREEN MEDIA-ACTIVATED SLUDGE PROCESS

1. On the Kinetics of the Substrate Removal Rate

Ung-Jun HAN* and Yeong-Ho HAN*

It is presented the removable moving screen media-activated sludge (REMSMAS) process by using the biological fixed-film systems.

The substrate removal kinetic difference between the aeration-only completed mixing activated sludge (CMAS) process and REMSMAS process were observed. The substrate removal kinetics were developed based on the attached and suspended microbial growths.

The units of the aeration-only CMAS process were continuously operated with the normal detention time of 4.5, 6, 9.5 and 12 hours studies after steady-state condition and the operating of the REMSMAS units conducted with the normal detention time of 6 and 12 hours studies in nonsteady-state condition.

The feed solution was diluted 18 times to the raw starch wastewater in order to maintain the proper COD (950mg/l) and BOD (450mg/l) concentration.

Design parameters related to the suspended microbial growths were calculated by the equations used in the aeration-only CMAS model and these parameters used to evaluate the kinetic constants in the REMSMAS process.

The kinetic constant values of Y_s , K_{ds} (μ_{max}), and K_s from Monod equations were respectively 0.78, 0.027/hr, 1.1/hr and 95 mg/l in the aeration-only CMAS process. The value of the aera capacity (F) appeared to be 9.1 mg/cm²-day and the mean value of the saturation constant (K_p) appeared to be 53.5 mg/l in the REMSMAS process. Also, the substrate removal rate of the REMS-MAS process was higher than that of the normal activated sludge process when this system was operated in steady-state condition. However, the rate was reduced as the critical operating day was approached.

序 論

生物學的 廢水處理 方法중 好氣性 處理工法인 活

性 슬릿지法과 撒水濾過床法이 널리 利用되고 있다. 그러나 이工法들은 莫大한 施設費와 유지관리비가 所要되며 迴轉方法이 어렵기 때문에 最近 새로운 工法들이 開發되고 있다.

* 釜山水産大學, National Fisheries University of Busan

生物學的 固定膜(biological fixed-film)을 利用한 RBC(rotating biological contactor) 工法이나, FAST (fixed media-activated sludge treatment), RESMAS(removable screen media-activated sludge)工法에 關한 研究가 進行되어 實際 運轉中에 있다. 그러나 RBC工法이나 FAST工法은 附着된 슬러지의 sloughing off 때문에 最終沈澱池를 두어야 하나 RESMAS工法은 沈澱施設이 없어도 良好한 流出水를 얻을수 있었다.

生物學的 固定膜을 利用한 工法은 Zobell¹⁾, Heukelekian과 Heller²⁾, Renn³⁾, Hartmann⁴⁾에 의하여 反應槽內에서 溶解物質의 浮遊狀態의 微生物보다는 固體表面에서 成長하는 微生物에 의한 除去率이 높다는 理論下에 Burkhead와 Choi⁵⁾ 및 Choi⁶⁾ 등에 의하여 FAST工法이 研究되었고 Kornegay⁷⁾, Joost⁸⁾ 및 Weng⁹⁾ 등에 의하여 RBC工法에 關한 動力學的 研究가 行하여졌으며, Choi 및 Han¹⁰⁾에 의하여 RESMAS工法이 開發되었다. 그러나 Han 및 Choi에 의하여 開發된 RESMAS工法은 反應槽內의 水理學的 양상 및 動力學的 解析 등이 미비하다. 따라서 本 研究에서는 이러한 미비점을 補完하여 REMSMAS (removable moving screen media, activated sludge)工法에 關한 有機物質除去速度의 數學的 解析, 슬러지 生産量과 蓄積過程 및 流出水의 水質에 關하여 研究하였다.

裝置 및 實驗

RESMAS工法은 screen망이 固定되어 있어 有機物質이 망을 통과하므로 各 screen에 附着된 슬러지 量이 均一하지 않으며 反應槽의 水理學的 양상이 完全混合形態가 되지 않으므로 限界運轉期日內에 到達하기前 局部的으로 嫌氣性 상태로 變하였다. REMSMAS工法은 RESMAS工法을 補完하여 screen망 全體를 反應槽內에서 수평이동 모타에 연결시키므로 screen에 附着된 슬러지가 均一한 濃도의 有機物質을 통과하도록 하였으며 따라서 附着된 슬러지의 流動效果를 주었다. 또한 FAST工法과 다른點은 K OCH media대신에 screen망을 설치하고 曝氣裝置도 表面曝氣裝置 대신에 diffusers를 사용하였으며 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다.

한편 單一曝氣活性슬러지工法은 反應槽內의 screen 망을 除去한 상태에서 運轉하였다. 反應槽內의 混合效果와 슬러지의 流動 및 附着效果를 높이기 爲하여

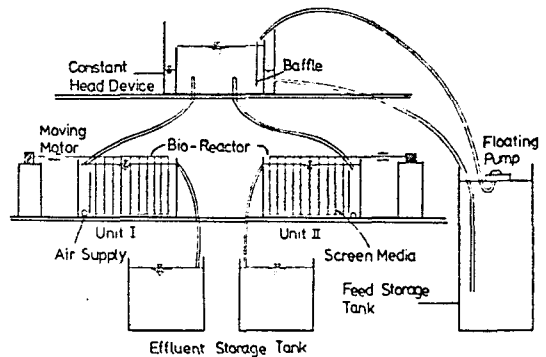


Fig. 1. Unit set-up.

screen망의 수평이동을 1분당 약 20회 왕복하도록 하였으며 連續培養을 爲하여 constant head device를 使用하여 連續적으로 一定量의 시험水를 流入시켰다. 反應槽內의 溫度는 27°C로 유지하였으며 反應槽의 容積은 12l이었으나 screen망을 設置한후 公稱容積은 11.5l로 감소되었다.

曝氣裝置는 8個의 diffusers에 依하여 曝氣하였는데 1個의 送風器(100V×5W)에 2個의 diffusers를 連結시켰다. 또한 screen망은 反應槽內에 10個를 1.5cm 간격으로 設置하였으며 그 제원은 Table. 1과 같다.

Table 1. Specification of screen media used

surface area of one media screen (cm ²)	Max. 985 Ave. 742 Min. 495
volume of total media screen (cm ³)	500
tension stress (Kg/cm ²)	28
mean specific surface area (cm ³ /cm ²)	0.67

本 實驗에 利用된 試驗水는 밀가루를 진분과 단백질은 분리過程에서 배출되는 殘分이 多量 함유된 悬浮액으로 메액의 性質은 Table. 2에 나타내었다.

Table 2. Characteristics of starch waste water

Item	Concentration
TCOD (mg/l)	17000~17600
SCOD (mg/l)	13,500~13,600
TBOD (mg/l)	9000~9500
SBOD (mg/l)	8100~8400
TSS (mg/l)	3250
VSS (mg/l)	2830

진분 배수의 적응력 및 活動力이 良好한 微生物을 얻기 爲하여 相當한 期日동안 시험병에 슬러지를 培養 하였고 단인포기 환형슬러지法에서는 公稱 滯留時間은 4.5時間, 6時間, 9.5時間, 12時間이었고 REMSMAS反應槽에서는 6時間, 12時間 되도록 流量 조절하였다.

진분배수의 最經 BOD와 5日間 BOD 比는 約1.55 였으며 生物學的 分解 不可能한 COD값은 3890mg/l 로 約 17% 程度였으며 性분과 濃度가 一定한 試水 물 使用하기 爲하여 約 18배 희석하여 총 COD값이 900~1,000mg/l 되도록 하였고 微生物 生長에 必要

한 營養素는 시수 100당 FeCl₃·6H₂O 0.09g, KH₂PO₄ 0.18g, NH₄Cl 20g, NaHCO₃ 4.5g 주입하였다.

結果 및 考察

1. 結果

Table 3은 單一曝氣活性 슬러지工法에 依한 迴轉結果를 要約한 것이며,

Table 4는 REMSMAS 工法에 依하여 迴轉한 結果이다.

Table 3. Summary of operational results by the aeration-only CAMS process

Detention time(hr)	Influent (mg/l)		Effluent (mg/l)			
	TCOD	TBOD(S ₀)	SCOD	SBOD(S _t)	TSS	VSS(X _t)
4.6	892	485	106	24	378	322
6.3	892	485	82	19	370	314
9.5	1,005	502	60	14	365	308
12	1,005	502	40	10	343	292

Table 4. Operational results by REMSMAS process Unit. II. Operation results(1978)

DATE	Flow Q (l/day)	Influent			Effluent				
		TCOD (mg/l)	TBOD(S ₀) (mg/l)	SCOD (mg/l)	TCOD (mg/l)	TBOD (mg/l)	SBOD(S _t) (mg/l)	TSS (mg/l)	VSS(X _t) (mg/l)
May. 21	—								
22	40	533		76		61	6	138	117
23	41	1,066	588	140		106	16	92	148
24	40	952	476	202		104		168	142
25	37	1,152		192	368	92	45	92	78
26	38	1,013	471	204	336			85	72
27	30	950		120	240	52	14	66	56
28	38	920	405	80	240	27	20	69	58
29	39	870	480	108	276	36	15	67	57
30	40	870	480	104	290	35	22	37	88
31	35	784	390	112	260	30	16	36	30
June. 1	37	1,085	557	118	198	39	18	30	25
2	38	864	465	124	176	29	16	28	23
3	39	864	465	104	140	30	17	17	14
5	40	696	360	108	132	30	12	17	14
6	36	440	260	32	112	28	8	24	20
7	40	816	408	72	81	29	18	21	71
8	36	972	458	96	168	29	20	18	15
9	38	985	440	102	172	40	23	37	31
10	41	1,050	497	128	215	48	32	104	98
11	43	995	487	105	170	62	49	165	128
12	37	882	472	110	132	30	20	24	20
13	36	1,020	510	108	130	34	22	28	23
14	39	1,010	505	94	105	26	19	26	22

Unit. II. Operation results (1978)

DATE	Flow (l/day)	Influent		Effluent					
		TCOD (mg/l)	TBOD(S ₀) (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TBOD (mg/l)	SBOD(S ₀) (mg/l)	TSS (mg/l)	VSS(X ₂) (mg/l)
May. 21									
22	23	533						54	46
23	25	1,066	588			61	50	198	106
24	23	952	476		60	100	21	203	107
25	25	1,152		356	184	81	25	115	92
26	23	1,013	471	375	116		20	86	73
27	24	950		300	164	44	34	98	84
28	25	920	405	240	220	54	14	77	62
29	24	870	480	240	150		15	65	52
30	20	870	480	184	108	24	12	125	101
31	22	784	390	172	104	78	52	45	40
June. 1									
2	24	864	465	100	92	27	11	45	42
3	19	864	465	108	88	19	3	8	8
4									
5	23	696	360	132	92	18	7	3	3
6	19	440	260	68	40	13	8	1	10
7	26	816	408	90	45	24	9	10	10
8	24	972	458		64	22	12	7	7
9	23	985	440	68	28	20	10	7	7
10	24	1,050	497	102	74	25	13	10	10
11	27	995	487	181	38	26	12	8	8
12	20	882	472	64	42	22	8	9	9
13	23	1,020	510	58	53	36	11	10	10
14	24	1,010	505	72	50	19	10	12	12
15	25	950	459	89	92	38	13	53	47
16	22	920	463	72	53	24	16	20	17
17	23	980	452	82	60	28	14	13	10
18	24	900	442	90	72	83	24	42	38
19	23	870	472	158	138	102	35	68	50
20	22	880	435	102	78	32	20	15	15
21	25	925	483	98	12	24	18	10	10
22	23	907	495	72	50	20	10	9	7
23	22	907	495	80	49	20	11	12	12

2. 有機物 除去速度

REMSMAS 工法은 浮游狀態의 微生物과 固體表面에 附着된 微生物에 依하여 有機物質이 除去되는 二個의 反應槽의 混合狀態로 生覺할 수 있다. 따라

서 反應槽內의 有機物質의 平均 方程式은 反應槽의 水理學的 完全混合 狀態이고 微生物의 사멸을 無視한다면

$$\left[\begin{array}{c} \text{고정상에} \\ \text{착적된} \\ \text{유기물질량} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{유입수의} \\ \text{유기물질량} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{유출수의} \\ \text{유기물질량} \end{array} \right] -$$

$\left[\begin{matrix} \text{망에 부착된} \\ \text{미생물에 의한} \\ \text{유기물 소모량} \end{matrix} \right] - \left[\begin{matrix} \text{반응조내의 부유} \\ \text{미생물에 의한} \\ \text{유기물 소모량} \end{matrix} \right]$ 으로 나

타낼수 있으며 式으로 表示하면 式(1)과 같다.

$$\frac{dS}{dt} V = Q(S_0 - S_s) - \frac{\mu_g}{Y_g} M_0 - \frac{\mu_s}{Y_s} X_s V \dots\dots\dots(1)$$

여기서

Q: 流量(l/day)

S₀: 流入水의 有機物質의 濃度(mg/l)

S_s: 物質代謝되고 남은 有機物質의 濃度(mg/l)

V: 反應槽內의 有效容量(l)

M₀: 망에 附着된 活性微生物

X_s: 反應槽內의 부유상태의 微生物 濃度(mg/l)

μ_g, μ_s: 부착 또는 부유상태의 微生物의 比成長率 (hr⁻¹)

Y_g, Y_s: 망에 부착 및 부유 微生物의 生産量

망에 附着된 活性微生物量(M₀)은 젖은 상태에서의 망 한쪽의 平面의 表面積(A)와 活性微生物두께(d)와 附着된 活性微生物의 濃度(X_f) 및 screen망의 수(N)의 積으로 나타낼수 있으며 式(2)와 같다.

$$M_0 = 2N \cdot A \cdot d \cdot X_f \dots\dots\dots(2)$$

또한 μ_g 및 μ_s는 Monod⁽¹⁾式에서

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K+S} \dots\dots\dots(3)$$

여기서

K: 대사상수(mg/l) 또는 포화상수

식(2)(3)을 式(1)에 代入하면 (4)와 같다.

$$\left(\frac{dS}{dt} \right) V = Q(S_0 - S_s) - \frac{2(\mu_{max})_g}{\mu_g} N \cdot A \cdot X_f \cdot d \left(\frac{S_s}{K_g + S_s} \right) - \frac{2(\mu_{max})_s}{Y_s} X_s \cdot N \cdot \left(\frac{S_s}{K_f + S_s} \right) \dots\dots(4)$$

그런데 REMSMAS 工法에서 附着된 活性微生物의 두께(d) 및 附着된 活性微生物의 濃度(X_f) 活性微生物의 最大比成長率(μ_{max})_g 및 生産量(Y_g)을 측정하기는 매우 어렵다.

따라서 單位面積 및 有機物負荷量 상수를 F라하면 式(5)와 같다.

$$F = \frac{(\mu_{max})_g}{Y_g} \cdot X_f \cdot d \dots\dots\dots(5)$$

식(4)에서 steady-state로 運轉되면 式(5)를 代入하여 式(6)을 얻을수 있다.

$$Q(S_0 - S_s) = 2FNA \left(\frac{S_s}{K_g + S_s} \right) - \frac{2(\mu_{max})_s}{Y_s} X_s V \left(\frac{S_s}{K_f + S_s} \right) \dots\dots\dots(6)$$

식(6)을 선형식 형태로 바꾸면

$$\frac{K_g}{F} \cdot \frac{1}{S_s} + \frac{1}{F} = \frac{2NA}{Q(S_0 - S_s) - \frac{2(\mu_{max})_s}{Y_s} X_s V \left(\frac{S_s}{K_f + S_s} \right)} \dots\dots\dots(7)$$

또한 (μ_{max})_s, Y_s, K_s는 單一 曝氣活性슬릿지 工法の 微生物의 純生産量과 有機物質의 平衡方程式으로 부터 求할수 있다.

微生物의 純生産量의 평형方程式으로부터

$$\mu_s = K_d + \frac{1}{t} \dots\dots\dots(8)$$

유기물질의 평형方程式으로 부터

$$\frac{S_0 - S_s}{X_s} = \frac{K_d t}{Y_s} + \frac{1}{Y_s} \dots\dots\dots(9)$$

식 (3), (8), (9)로 부터 물질대사되고 남은 有機物質의 濃度は 式(10)과 같다.

$$S_s = \frac{K_s(1+tK_d)}{t(\mu_{max})_s - (1+tK_d)} \dots\dots\dots(10)$$

식(10)을 선형方程式으로 바꾸면 式(11)과 같다.

$$\frac{t}{1+tK_d t} = \frac{K_s}{(\mu_{max})_s} \cdot \frac{1}{S_s} + \frac{1}{(\mu_{max})_s} \dots\dots\dots(11)$$

K_d: 微生物의 내호흡 계수

또한 X_s는 反應槽內의 부유微生物이나 流出水의 微生物의 濃度(VSS)와 같으며 액체상의 용적(V)는 슬릿지 축적으로 액체용량이 줄어들어 式(12)와 같이 표정하였다.

$$V = V_0 \sum_{i=1}^n V_i \dots\dots\dots(12)$$

여기서

V₀: 공칭용적 (11.5l)

V_i: i일동안 축적된 슬릿지 부피(l)

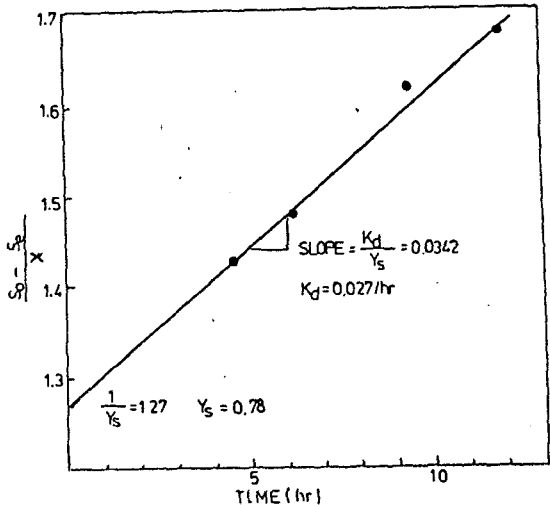


Fig. 2. Determination of Y_s and K_d.

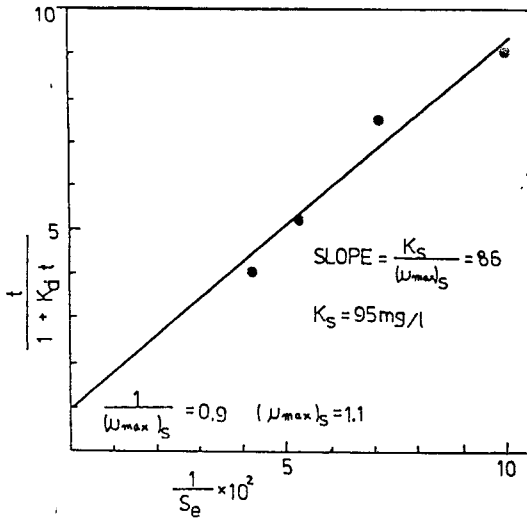


Fig. 3. Determination of $(\mu_{max})_s$ and K_s .

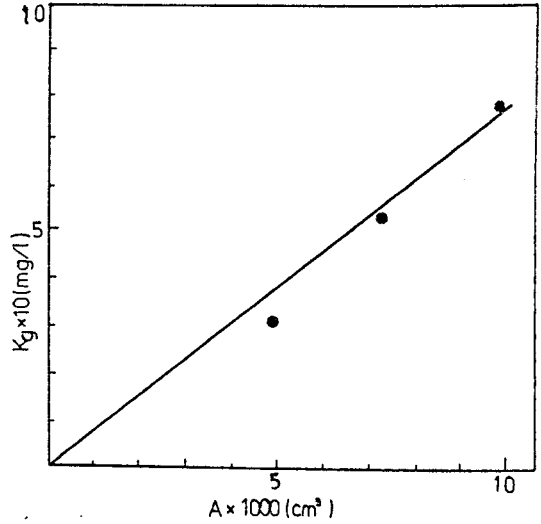


Fig. 5. Relationship between media surface-area versus saturation values(Kg).

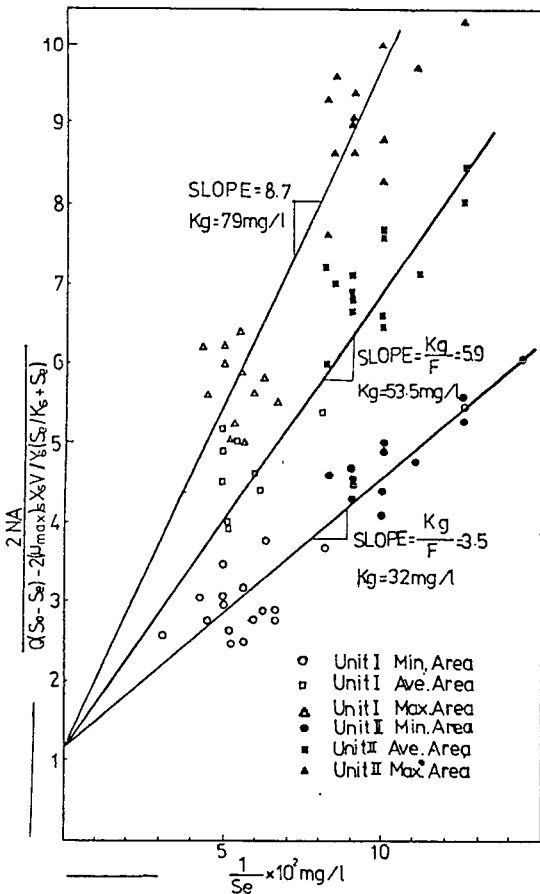


Fig. 4. Determination of F and K_g values.

單一曝氣活性슬릿지 工法의 식(9)로 부터 절편의 값 $(\frac{1}{Y_s})$ 로 부터 Y_s 값은 0.78이며 기울기 $(\frac{K_d}{Y})$ 값으로 부터 K_d 값은 0.027hr⁻¹였다.

또한 식(11)로 부터 절편값 $(\frac{1}{(\mu_{max})_s})$ 로 부터 $(\mu_{max})_s$ 값은 1.1hr⁻¹이며 기울기 값 $(\frac{K_s}{(\mu_{max})_s})$ 로 부터 K_s 값은 95mg/l였다.

單一曝氣活性슬릿지 工法의 여러상수들 식(11)에 代入하여 Fig. 4와 같이 F 의 값은 9.1mg/cm²-day 이고 K_g 값은 表面積이 最小(4,945cm²)인 때 32mg/l, 평균(7,420cm²)인 때 53.5mg/l, 최대(9850cm²)인 때 79mg/l로 나타났으며 表面積과 K_g 의 關係는 Fig. 5에 나타내었다.

要 約

生物學的 固定膜(biological fixed-film)을 利用한 REMSMAS工法이 開發되었다.

REMSMAS 工法에서 有機物質 除去速度에 關한 數學的 model은 CMAS工法과는 많은 차이점이 있으며, 有機物質 除去速度에 對한 動力學的 解析은 screen media에 附着된 活性微生物과 浮遊狀態의 微生物에 근거를 두어 解析하였다.

單一曝氣 CMAS工法은 steady-state에 到達된 후 연속적으로 공칭체류시간이 4.5, 6, 9.5 및 12時間으로 運轉되었고 REMSMAS 工法은 공칭체류시간

이 6시간 및 12시간으로 운전되었으며 운전초기는 nonsteady-state상태였다. 또한 試水는 원액을 約 18배 희석하여 COD값이 950mg/l, BOD값이 450mg/l 되도록 하였다.

浮遊狀態의 微生物에 근거를 둔 設計因子들은 單一曝氣 CMAS工法 依하여 구하여 졌으며 이 값들은 REMSMAS工法の 有機物 除去速度에 대한 動力學的 常數를 구하는 利用되었다.

單一曝氣 CMAS工法에서 얻어진 Y_s , K_d , (μ_{max}) , 및 K_s 값은 각각 0.78, 0.027/hr, 1.1/hr, 95mg/l이었다. REMSMAS工法에서 單位表面積당 有機物 負荷量常數 값은 9.1mg/cm²-day였고 포화상수(K_g)값은 평균 53.5mg/l이었다. REMSMAS工法은 steady-state로 運轉될때는 有機物 除去率은 單一曝氣 CMAS法 보다 높게 나타났으나 限界運轉 期日에 到達됨에 따라 감소 한다.

기 호 표 시

- RBC: Rotating Biological Contactor
- FAST: Fixed Media Activated Sludge Treatment
- RESMAS: Removable Screen Media Activated Sludge
- CMAS: Complete Mixing Activated Sludge
- REMSMAS: Removable Moving Screen Media-Activated Sludge
- TCON: Total Chemical Oxygen Demand
- SCOD: Soluble Chemical Oxygen Demand
- TBOD: Total Biochemical Oxygen Demand
- SBOD: Soluble Biochemical Oxygen Demand
- TSS: Total Suspended Solids
- VSS: Volatile Suspended Solids

文 獻

1) Zobell, C. E. (1943): The effect of solid su-

rfaces upon bacterial activity. J. Bact. 46, 39-41.

2) Heukelekian, H. and H. Heller(1940): Relation between food concentration and surface for bacterial growth. J. Bact. 1, 547-549.

3) Renn, C. E. (1956): Biophysical process in slime film and floc formation. Biol. Treat. sewage and Ind. wast. Reinholding pub. Co. 116-120.

4) Hartmann, L. (1967): Influence of turbulence on the activity of bacterial slimes. J. Wat. Poll. Con. Fed. 39(6), 958-962.

5) Burkhead, C. and E. Choi (1974): Kinetics of a fixed media activated sludge process. The 7th. Int. Assn. Wat. Poll. Res. Paris.

6) Burkhead, C. and E. Choi (1973): A fixed activated sludge treatment process. Univ. Kansas. Center Res. Inc. Lawrence Kansas.

7) Kornegay, B. H. and J.F. Andrew (1969): Characteristics and kinetics of fixed-film biological reactors. Final Rep. Fed. Wat. Poll. Con. Adm. Res. Grant No. WP 01181. Clemson Univ. Clemson. South Carolina.

8) Joost, R. H. (1969): Systemation in using the rotating biological surface waste treatment process. Proc. 24th Ann. Purdue Ind. wast. Confer. 365, 380.

9) Weng, C.N. and A.H. Molof (1972): Nitrification in the biological fixed-film rotating disk sys. Presen. 45th Ann. Wat. Poll. Con. Fed. Confer. Atlanta. Georgia.

10) 최의소·한웅진(1975): 반고정망 활성슬러지 공법에 의한 폐수처리, 한국화학공학회, 추계만표회. 부산

11) Monod. J. (1950): L_a technigues de culture continue, theorie et applications. Annal. Inst. Pasteur 79, 390.