

〈論 文〉

變形된 活性슬러지工法の 廢水處理에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on Wastewater Treatment

by Modified Activated Sludge Process

*蔡洙權 · **延基錫 · ***金健興 · ****安相鎮

Chea, Soo Kwen · Yeon, Ki Suck · Kim, Kun Heung · Ahn, Sang Jin

Abstract

This study deals with the performance of an activated sludge system which is modified by the researcher to function without any additional chemical or internal recycle in removing organics, nitrogen, and phosphorus from synthetic wastewater. To improve the nutrient removal efficiency, the researcher utilized the anoxic, anaerobic, and aerobic reactor sequences with a single sludge return, which led to nitrification/denitrification and phosphorus release/overplus accumulation. A bench scale system was operated with a view to investigating the reaction characteristics of each reactor, and to measuring the biological kinetic coefficients (Y , K_a , k , K_s) for the removal of COD in relation to the mean cell residence time at five different MLSS concentrations, 5000, 4200, 3300, 2600, and 1900 mg/l.

The results of the research showed that organic substance and nutrient were removed simultaneously by this modified activated sludge process. And the process had 66%-99% ortho-p removal efficiency.

要 旨

本 研究는 活性슬러지工法을 變形시킨 無酸素—謙氣—好氣反應槽를 사용해서 窒酸化—脫窒素反應 및 磷의 放出—超過蓄積反應을 유도하여 합성폐수의 有機物, 窒素 및 磷을 同時에 除去하였다.

無酸素槽, 謙氣槽 및 好氣槽 각각에 대한 反應특성을 조사하기 위해 실험실규모의 反應槽가 運營 되었으며 MLSS濃도를 5000, 4200, 3300, 2600, 1900mg/l로, 變化시켜 COD除去率에 대한 生物學 的 動力學係數를 결정하였다.

研究結果, 有機物 및 營養鹽이 變形된 活性 슬러지工法에 의해 同時에 除去될 수 있음을 알았고, ortho-p 除去效率은 66%~99%로 높게 나타났다.

1. 序論

最近에 上水源으로 利用되고 있는 湖水들이 富

營養化되고 있으며, 이의 原因이 되는 下水, 糞 尿處理場 流出水 等に 包含되어 있는 窒素, 磷 等を 除去하기 위하여, 既存 處理場들이 새로운 處理工法을 開發하거나, 3次 施設까지 더 擴張할

****蔡洙權 仁荷大學校大學院 博士課程

****延基錫 大田工業大學 土木工學科 助教授

****金健興 仁荷大學校 土木工學科 副教授

****安相鎮 忠北大學校 土木工學科 教授

必要가 있다.

一般的인 營養鹽類 處理工法을 보면, 窒素를 處理하기 위하여, ammonia stripping, 電氣透析, 逆滲透, 不連續點鹽素處理, 化學的 凝集, 活性炭 吸着, 生物學的 窒酸化-脫窒素處理 등이 있고, 磷을 處理하기 위하여, 化學的 凝集, 限外濾過, 逆滲透, 이온 交換 및 生物學的 磷의 放出一超過蓄積處理 등이 있으며, 약품비용 및 화학적 슬러지 처리 등을 고려할 때, 窒素, 磷을 同時에 除去하는 生物學的 處理工法이 바람직하다.¹⁾

대체로 $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ 및 CaO 같은 응집제에 의해 磷이 沈澱除去되므로, 별도의 응집제 비용이 必要하며,²⁾ 沈澱된 化學的 슬러지의 處理가 곤란하다. 또한 生物學的 窒酸化-脫窒素反應에 의해 窒素가 除去되지만, 脫窒反應에 必要한 炭素源을 注入해야한다.³⁾

그러므로 微生物이 嫌氣狀態에서 細胞內의 磷을 放出(release)하고, 好氣狀態에서 廢水內의 磷을 超過蓄積(overplus accumulation)하는 生物學的 磷 除去 方法⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾을 利用하여 化學的 슬러지 처리문제를 해결함과 아울러, 生物學的 窒素 除去方法인 脫窒素反應에 메탄을 대신 廢水中的 炭素源을 利用하므로써, 運營費를 절감시킬 수 있게 된다.

이러한 점들을 감안하여, Bardenpho와 A/O 工法⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾들이 개발되었으며, 이 工法들은 滯留時間을 길게 維持하고 好氣槽 混合液을 無酸素槽로 內部返送시켜, 混合液中的 窒酸性 窒素(NO_3^- -N)를 脫窒素反應에 의해 除去한다. 그리고 沈澱된 슬러지를 嫌氣槽로 再循環시켜 磷의 放出을 유도하고, 無酸素槽를 통과한 후, 好氣槽에서 磷을 超過蓄積한 微生物 슬러지를 除去한다. 그러나 嫌氣槽의 混合液이 無酸素槽로 流入되면, 好氣槽에서 無酸素槽로 보낸 內部返送液中的 NO_3^- 에 의해 영향을 받아 磷의 放出이 減少되므로,¹¹⁾ 好氣槽에서 磷의 超過蓄積에 의한 除去效率이 저하되는 실정이다.

따라서 本 研究에서는 磷 除去에 중점을 두고, 微生物의 磷 放出이 內部返送液中的 NO_3^- 에 의해 영향을 받지 않도록 하기 위하여 內部返送을

하지 않고, 嫌氣槽에서 磷이 最大로 放出되도록 處理 시스템을 無酸素槽-嫌氣槽-好氣槽 順으로 構成하고, 沈澱 슬러지만을 再循環시키는 變形된 活性 슬러지 시스템에 의한 有機物, 窒素 및 磷의 同時 除去에 관하여 檢討하였다.

各 反應槽의 特性을 보면, 無酸素槽에서는 有機物 除去, 脫窒素反應 및 磷의 放出反應이 일어나고, 嫌氣槽에서는 磷의 放出을 계속 유도하며, 好氣槽에서는 有機物 除去, 窒酸化 및 磷의 超過蓄積을 발생시키는 것으로, 시스템 全體的으로는 窒酸化-脫窒素反應과 磷의 放出一超過蓄積反應에 의해 有機物은 물론 窒素와 磷을 除去한다.

시스템의 處理度를 實驗하기 위하여 MLSS를 5,000, 4,200, 3,300, 2,600, 1,900 mg/l로 變化시켜 F/M 比 0.38, 0.44, 0.56, 0.69, 0.93(mg COD/mg MLVSS-day)으로 運營하여, 各 反應槽에서의 有機物 除去, 窒酸化-脫窒素反應 및 磷의 放出一超過蓄積反應을 檢討하고, 運營結果를 土臺로 動力學的 係數를 算出하였다.

2. 生物學的 動力學

生物學的 處理에서 微生物 成長과 基質消耗에 對한 理論的 關係는 첫째, 微生物의 內生呼吸을 고려한 純成長率과 基質消耗率, 둘째, 微生物 成長率과 基質濃度로서, 첫째 關係는 다음과 같이 數式化될 수 있다.^{12) 13) 14)}

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - k_d \dots \dots \dots (1)$$

여기서, $\frac{dX}{dt}$ = 微生物 純成長率 (mg/l·d)

Y = 微生物 成長係數 (mg VSS/mg COD)

$\frac{dS}{dt}$ = 單位時間當 基質消耗率 (mg/l·d)

k_d = 微生物 內生呼吸率 (1/day)

X = 微生物 濃度 (mg/l)

活性微生物 單位 무게당 基質消耗率을 比消耗

率, $U = \frac{dS}{dt} X$ 라 하고, 單位時間에 폐기되는

微生物量當 活性微生物量을 微生物 平均 滯留時

間, $\theta_c = \frac{X}{dX/dt}$ 라 하면, 식(1)은 다음과 같다.

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \dots\dots\dots (2)$$

또한, 定狀狀態인 反應槽에서 들쭉關係는 基質에 대한 物質收支式과 Monod 모델에 의해 다음과 같이 數式化될 수 있다.

$$U = \frac{S_o - S_e}{X\theta} = \frac{k \cdot S_e}{K_s + S_e} \dots\dots\dots (3)$$

- 여기서, S_o = 流入水 基質濃度(mg/l)
- S_e = 流出水 基質濃度(mg/l)
- θ = 水理學的 滯留時間(day)
- k = 微生物 單位 무게當 最大基質消耗率(1/day)
- K_s = 最大比成長率의 1/2에 해당하는 基質濃度(mg/l)

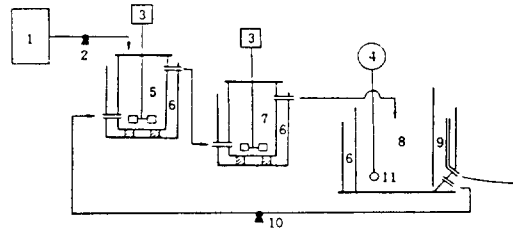
식(3)을 Lineweaver-Burk形으로 재정리하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{k} \left(\frac{1}{S_e} \right) + \frac{1}{k} \dots\dots\dots (4)$$

3. 實驗

1) 實驗裝置 및 對象試料

生物學的 營養鹽類 除去를 위한 變形된 活性슬러지 시스템의 實驗裝置는 그림 3-1과 같이 無酸素-嫌氣-好氣反應槽 (anoxic-anaerobic-aerobic reactor)로 構成되며, 連續흐름 完全混合浮遊成長狀態로 運營하였다. 無酸素槽에는 廢水流入口, 再循環 슬러지 流入口, 混合液을 嫌氣槽로 流出시키는 流出口가 있으며, 嫌氣槽에는 無酸素槽에서의 混合液 流入口와 嫌氣槽 混合液을 好氣槽로 流出시키기 위한 流出口가 설치되었다. 好氣槽는 가변분리판에 의해 曝氣槽와 沈澱槽로 分離되며, 沈澱槽는 上澄液 流出口와 再循環 슬러지 流出口가 있다. 曝氣는 공기여과장치가 부착된 송풍기를 利用하였으며, 산기석을 바닥에 넣어 공기에 의한 完全混合을 維持하고, 無



	D(cm)	H(cm)	V(l)
Anoxic Reactor	12.3	26.85	3.19
Anaerobic Reactor	12.3	13.81	1.64
Aerobic Reactor	-	-	10.45

- 1. Refrigerator 2. Feed Pump 3. Stirring Motor
- 4. Air Compressor 5. Anoxic Reactor 6. Water Bath
- 7. Anaerobic Reactor 8. Aerobic Reactor
- 9. Settling Tank 10. Recycle Sludge Pump
- 11. Diffuser

Fig. 3-1 Schematic diagram of proposed system.

酸素槽와 嫌氣槽는 교반모터에 의해 完全混合시켰다.

모든 反應槽는 항온수조를 利用하여 20°C ± 2°C를 維持하고 無酸素槽와 嫌氣槽는 거의 嫌氣狀態가 되도록하였다.

本 研究에 使用한 試料는 都市下水特性을 나타내는 主要項目인 COD, N, P등을 기본으로 하였으며 構成成分은 표3-1과 같다.

Table 3-1. Composition of synthetic wastewater for proposed system.

Item	unit(mg/l)	
Carbon source	Glucose	245
	Milk(powder)	250
	Yeast extract	131
	Peptone	106
Nitrogen	NH ₄ Cl	122.3
	Phosphorus	KH ₂ PO ₄
		Na(PO ₃) ₆
Mineral	FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.2
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	1.5
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	19.7
	MnSO ₄ ·H ₂ O	2.0
pH-buffer	NaHCO ₃	250.0

2) 運轉方法

種菌은 과천하수처리장의 曝氣槽 混合液으로 써 對象試料에 적용시켰으며, MLSS가 5000mg/l 정도 되기까지 約 1個月間 回分式으로 運營하였다. 對象試料에 적용된 微生物의 MLSS가 5000mg/l 정도 되었을때, 回分式 反應槽의 混合液을 無酸素槽, 嫌氣槽 및 好氣槽에 각각 옮겨 넣었다.

對象試料은 4℃ 냉장고에 보관하고, 流入流量과 再循環 슬러지 量을 각각 0.03 l/min, 0.04 l/min로 維持하여, 無酸素槽, 嫌氣槽 및 好氣槽의 HRT가 각각 0.76시간, 0.39시간, 2.49시간으로 一定하게 運營하고 無酸素槽 이후의 흐름은 모두 重力을 利用한 자연흐름으로 하였다.

COD, N, P의 濃度가 一定한 同一試料를 基質로 하여 反應槽를 運營하고, MLSS를 5000, 4200, 3300, 2600, 1900 mg/l로 각각 變化시켰으며, 이때, F/M比는 각각 0.38, 0.44, 0.56,

0.69, 0.93(mg COD/mg MLVSS-day)이 되게 하였다. MLSS 變化에 따른 安定狀態를 確認하기 위하여 COD除去率과 슬러지 生成率을 測定하였으며, 反應槽 運轉條件은 표3-2와 같다.

각각의 MLSS를 유지하기 위하여 好氣槽에서 잉여슬러지를 除去하고, 除去슬러지 부피만큼의 증류수를 다시 넣어 전체 부피가 같도록 하였다.

試料의 採取는 安全狀態에 도달한 이후부터 每日 一定한 시간에 실시하였으며, 分析은 Standard Methods¹⁵⁾를 따랐다. 試料採取位置와 分析項目은 표 3-3과 같다.

4. 結果 및 考察

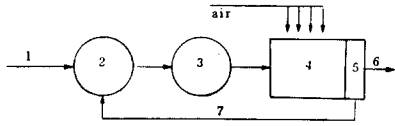
1) 化學的 酸素要求量

그림 4-1에서 MLSS 濃度別 無酸素槽, 嫌氣槽, 流出水의 平均 COD 濃度變化를 볼 수 있으

Table 3-2. Experimental apparatus for proposed system.

Conditions	Values
Substrate feed rate	0.03 l/min
Return sludge rate	0.04 l/min
Total recirculation ratio(Qr/Q)	1.33
Air flow rate	7.0 l/min
Operating temperature	20℃ ± 2℃
DO in the aeration basin	5.4~6.8 mg/l
Anoxic reactor	
Liquid depth	26.85 cm
Liquid volume	3.19 l
Reaction period w/o return flow	1.77 hrs
Reaction period with return flow	0.76 hrs
Anaerobic reactor	
Liquid depth	13.81 cm
Liquid volume	1.64 l
Reaction period w/o return flow	0.91 hrs
Reaction period with return flow	0.39 hrs
Aerobic reactor	
Liquid depth	20.3 cm
Liquid volume	10.45 l
Reaction period w/o return flow	5.81 hrs
Reaction period with return flow	2.49 hrs

Table 3-3 Sampling locations and measurements schedule.



Sample location	1	2	3	4	5	6	7
measurements							
Flow	D						D
TSS						D	
VSS						D	
MLSS		D	D	D			
MLVSS		D	D	D			
COD	D	D	D			D	
TKN	D	D	D			D	
NH ₃ -N	D	D	D			D	
NO ₃ -N	D	D	D			D	
Total-P	D	D	D			D	
Ortho-P	D	D	D			D	
pH	D	D	D			D	
DO				D			
SVI				D			

D = daily

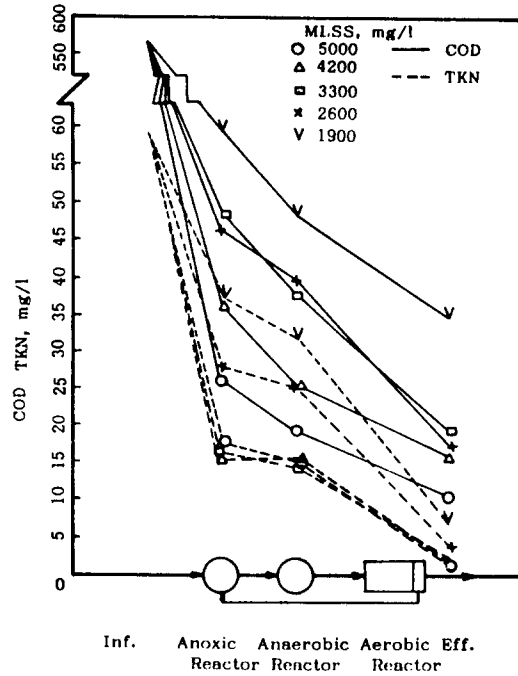


Fig. 4-2 COD and TKN profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations

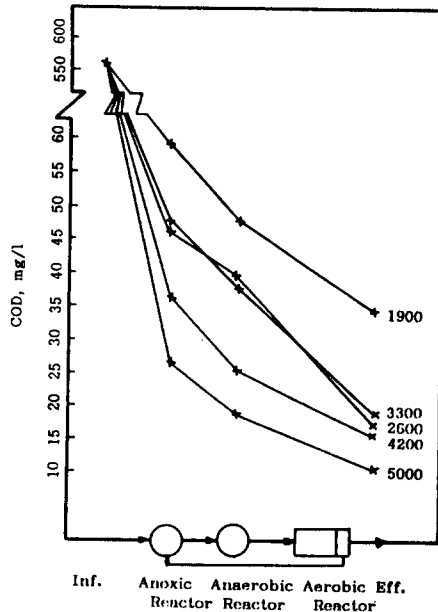


Fig. 4-1 COD profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations

며, 流入 COD의 大部分이 無酸素槽에서 처리됨을 알 수 있었다. 그림 4-2는 COD와 TKN의 各 反應槽에서의 濃度를 나타낸 것으로 감소경향이 서로 비슷한 양상을 보였다. 李¹⁶⁾ 등도 A/O 시스템을 運營하여 有機物이 대부분 無酸素槽에서 제거됨을 보였으며, 柳¹⁷⁾ 등도 無酸素-好氣 시스템을 運營하여 같은 경향을 나타냈다. 特히 無酸素槽에서 細胞內의 磷을 放出하면서도 廢水內의 COD가 흡수되는 것은 Comeau의 理論⁷⁾과 符合되며, 그림 4-3의 COD와 Ortho-P의 關係로 確認할 수 있었다. 시스템의 전체적인 COD 처리 효율은 94%~98%이고, 無酸素槽에서의 처리효율은 89%~95%였다.

2) 窒素

MLSS濃度別 TKN, NH₃-N과 NO₃-N 濃度變化는 각각 그림 4-4, 4-5와 같다. MLSS濃度에 따른 TKN 및 NH₃-N이 無酸素槽에서 각각 35%~74%, 36%~66% 除去되었다. 이것을 볼 때

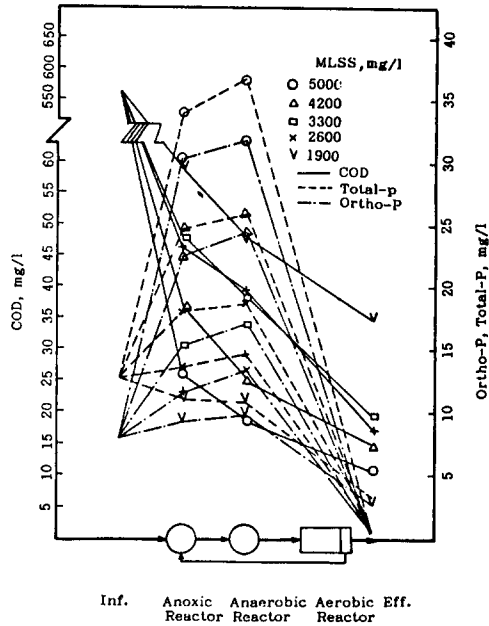


Fig. 4-3 COD, ortho-P and total-P profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations

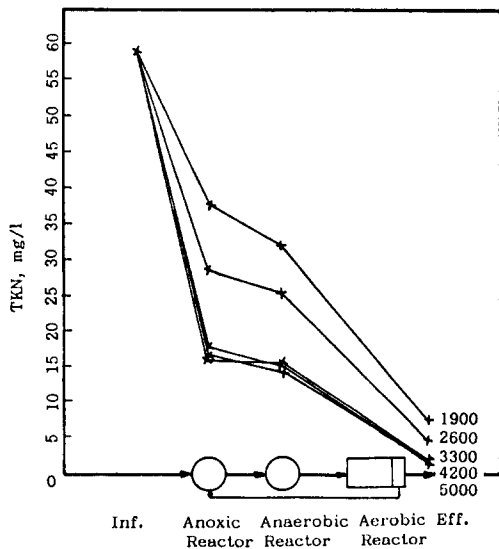


Fig. 4-4 TKN profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations

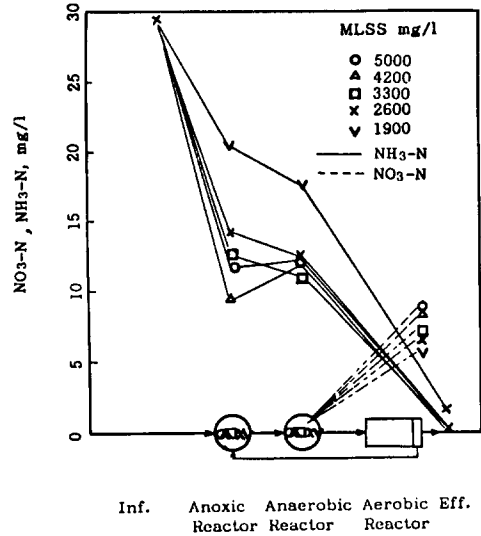


Fig. 4-5 $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations.

窒素除去率が高い 것은 MLSS 농도를 증가시키므로서 Organic-N이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 變化된 量이 많아진 것으로 사료된다.

또한 그림 4-5에서 볼 수 있는 바와 같이, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度가 無酸素槽와 嫌氣槽에서 脫窒素反應에 의해 환원되어 0.01mg/l 이하였으며, 반대로 好氣槽에서는 窒酸化反應에 의해 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度가 5.1~7.3 mg/l 로 증가 추세를 보였다. 그러나 유입수 농도를 고려할 때 매우 낮은 농도이며, 아울러 現在 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 음로수 기준치 10 mg/l 를 감안한다면 流出水濃度 7.3 mg/l 는 큰 문제가 되지 않는 것으로 판단되었다.

그리고 일반적으로 脫窒素反應에 수소공여체로서 메탄을 같은 탄소원을 添加하고 있으나, 본 시스템을 이용할 경우 廢水內의 有機物도 수소공여체 역할을 하여, 별도의 탄소원을 주입하지 않고 脫窒素가 이루어 질 수 있음을 알 수 있었다.

3) 磷

MLSS濃度別 各 反應槽에서의 Ortho-P 濃度를 測定한 結果는 그림 4-6과 같다. 이것에 의하면 일반적으로 嫌氣槽에서 微生物이 Ortho-P

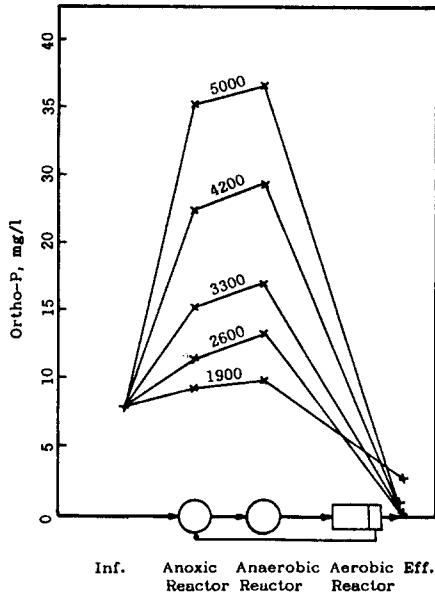


Fig. 4-6 Ortho-P profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations

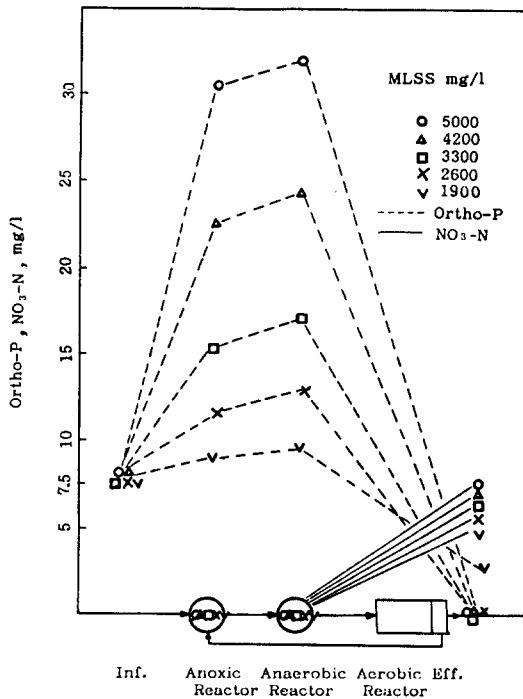


Fig. 4-7 Ortho-P and NO₃-N profiles through various stages of flow unit at different MLSS concentrations

를 細胞 밖으로 放出하고 好氣槽에서 磷을 過大 攝取하게 된 것을 알 수 있으며, 시스템에 의한 Ortho-P의 전체처리효율은 66%~99%이었으며, MLSS농도가 2600 mg/l 이상에서는 處理效率이 90% 이상이었다.

Levin과 Shapiro¹⁸⁾는 活性 슬러지에 의한 下水 處理場의 曝氣槽에서도 DO가 충분하지 않으면 磷이 放出될 수 있다고 하였으며, Sekikawa¹⁹⁾도 營養素, 毒性物質, DO에 대한 微生物의 磷 放出을 確認하였다. 또한 Barth와 Stensel은 Bardenpho와 A/O 시스템 앞에 嫌氣槽를 設置하는 것이 磷을 除去하는 데 바람직하다고 하였으며, Osborn과 Nicholls²⁰⁾는 好氣狀態에서 磷 攝取量은 嫌氣狀態에서의 磷 放出量에 따라 變化한다고 하였다. 그림 4-7은 Ortho-P와 NO₃-N의 變化를 나타낸 것으로, 嫌氣狀態에서 Ortho-P가 放出되고 NO₃-N이 환원되어 脫窒되며, 好氣狀態에서 Ortho-P가 微生物에 攝取除去되고 NO₃-N이 증가되는 것을 알 수 있다. 이러한 特性을 考慮하여 볼 때, 無酸素槽에서 流入廢水와 再循環 슬러지가 混合되어 無酸素狀態로 運營되면서 COD가 除去되고 NO₃가 환원되며, 嫌氣槽에서는 NO₃가 없는 狀態에서 磷이 계속 放出되도록 嫌氣狀態로 運營되며, 好氣槽는 好氣狀態로 運營되어 磷의 超過蓄積 및 窒酸化가 發生된다. 또한 전체적으로 混合液의 內部返送없이 시스템의 HRT를 5시간 以內로 維持하여 有機物 除去, 窒素의 窒酸化-脫窒素, 磷의 放出-超過蓄積이 합리적으로 수행될 수 있음을 알 수 있었다.

4) 動力學 係數

微生物 繁殖係數, Y와 內生呼吸率, k_d는 식 (2)를 이용하여 결정하며, 종축을 1/θ_c, 희축을 U 값으로 하여 그린 것이 그림 4-8이다. 이 圖表에 의하면, 기울기인 微生物 繁殖係數, Y는 0.563 (mg-VSS/mg COD), 종축의 절편인 內生呼吸率, k_d는 0.054(day⁻¹)이며 상관계수는 0.9766으로 높은 상관성을 나타냈다.

또한, 基質最大消耗率, k와 最大成長率의 半에 해당되는 基質濃度, K_s는 식(4)를 이용하여 얻

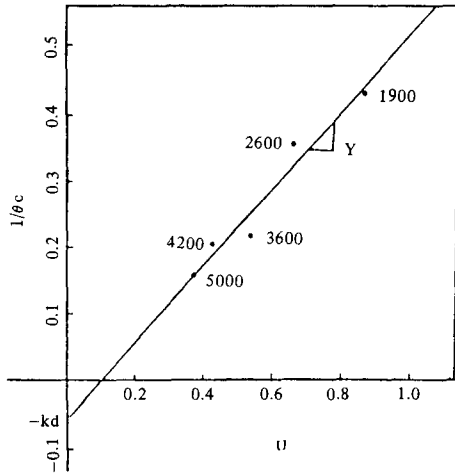


Fig. 4-8 Determiration of Y and kd for removal of COD

을 수 있다. 종축을 $\frac{1}{U}$, 횡축을 $\frac{1}{S_e}$ 값으로 하여 그린 것이 그림 4-9이며, 이때 K_s 와 k 는 각각 49.156(mg COD/l), 2.045(day⁻¹)이었으며, 상관계수는 0.9093으로 그 精度가 높게 나타났다.

本 研究에 의한 動力學的 係數들이 一般 活性 슬러지에 의한 係數들과 類似한 값을 나타내며, ¹³⁾²¹⁾ 無酸素-嫌氣狀態에서 微生物이 DO에 의한 스트레스를 받지만 本質的으로 活性슬러지 法과 類似하게 運營되고 있음을 알 수 있다.

5. 結論

廢水の 有機物, 窒素 및 磷을 處理하기 위하여 無酸素-嫌氣狀態를 先行시킨 變形된 活性슬러지 시스템을 이용하여 合成廢水を 對象으로 實驗室 規模의 反應槽를 運營하고 結果를 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. F/M比 0.4~0.9 (mg MLVSS-day) 범위에서 總 COD處理效率은 94~98%이고, 無酸素槽에서의 COD 處理效率은 89~95%로 大部分의 有機物이 無酸素槽에서 除去되었다.
2. 無酸素槽에서는 流入廢水內의 炭素源을 利

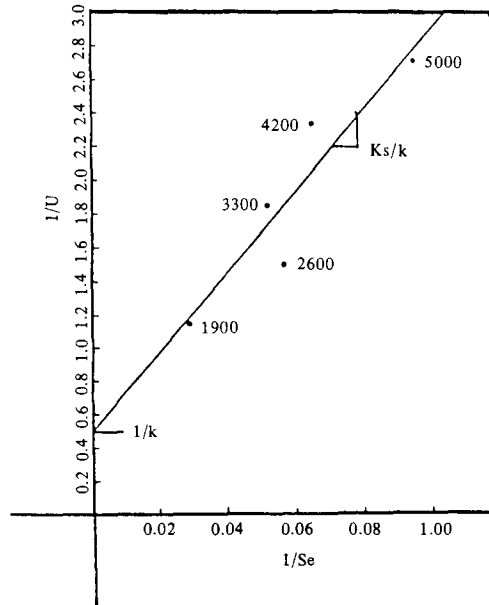


Fig. 4-9 Determination of K_s and k for removal of COD

用한 脫窒素反應이 일어나 窒酸性 窒素成分이 0.01 mg/l 以下였으며, 沈澱槽 流出水の 窒酸性 窒素濃度는 5.1~7.3 mg/l 이었다.

3. MLSS濃度를 5000 mg/l 에서 1900 mg/l 로 變化시켰을 때, 시스템의 Ortho-P 處理效率은 66~99%이었다.

流入廢水の Ortho-P 濃度는 8.0 mg/l 이었으나, 嫌氣槽에서 9.9~31.9 mg/l 로 增加하고, 好氣槽에서 0.1~2.8 mg/l 로 減少한 것을 보아, 嫌氣狀態에서 磷을 放出시키고 好氣狀態에서 超過蓄積시켜 磷을 效率的으로 除去 할 수 있었다.

4. COD基準으로 시스템의 生物學的 動力學 係數 Y, k_d , k 및 K_s 는 각각 0.563(mg VSS/mg COD), 0.054(day⁻¹), 2.045(day⁻¹) 및 49.156(mg COD/l)이며, 在來式 活性슬러지工法의 動力學 係數와 近似하였다.

5. 無酸素-嫌氣反應을 先行시킨 本 시스템은 好氣槽 混合液을 內部返送시키지 않고, 沈澱槽 슬러지를 無酸素槽로 再循環시켜 廢水內 有機物을 利用한 脫窒素反應에 의해 窒素를 除去하고,

無酸素槽와 嫌氣槽에서 磷을 放出시키고 好氣槽에서 超過蓄積시켜 磷을 處理할 수 있는 시스템으로 判斷되었다.

參 考 文 獻

1. WPCF.,(1983) Nutrient Removal, (Automated Graphic Systems, White Plains, MD), pp.1-24.
2. Spiegel, M. and T. Forrest, (1969) Phosphate Removal: Summary of Papers, Proc., J. Am. Socivic, Proc., J. Am. Soci. Civ. Eng. 95, pp.803-827.
3. McCarty, P.L., L. Beck and P.ST. Amant., (1969) Biological Denitrification of Wastewater by Addition of Organic Materials, paper presented at the 24th Annual Industrial Waste Conference, Purdue U., West Lafayette, Ind.
4. Yall, I., et al.,(1970) Biological Uptake by Activated Sludge, Applied Microbiology, 20, pp.145-150.
5. Jones, H.P.,(1973) Treatment in Municipal Plants: Innovations for Removal of Phosphorus, Water Research, 7, pp.211-218.
6. Carberry, B.J. and M.W. Tenney, (1973) Luxury Uptake of Phosphate by Activated Sludge, J. WPCF., 45(12), pp.2444-2457.
7. Comeau, Y., et al.,(1986) Biochemical Model for Enhanced Biological Phosphorus, Water Research, 20(12), pp.1511-1521.
8. Barnard, L.J.,(1975) Biological Nutrient Removal Without the Addition of Chemicals, Water Research, Vol.9, pp.485-490.
9. Barnard, L.J.,(1976) A Review of Biological Phosphorus Removal in the Activated Sludge Process, Water SA., 2(3), pp.136-144.
10. Simpkins, M.J. and A.R. McLaren, (1978) Consistent Biological Phosphate and Nitrate Removal in an Activated Sludge Plant, Prog. Water Tech., 10(5/6), pp.433-442.
11. Osborn, D.w. and H.A. Nicholls, (1978) Optimisation of the Activated Sludge Process for the Biological Removal of Phosphorus, Prog. Wat. Tech., 10(1-2), pp.261-277.
12. Metcalf and Eddy, (1979) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, (McGraw-Hill Inc., New York, N.Y.), pp.696-758.
13. Benefield, L.D. and C.W. Randall, (1980) Biological Process Design for Wastewater Treatment, (Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.), pp.43-54.
14. Qasim, S.R. and M.L. Stinehelfer, (1982) Effect of a Bacterial Culture Product on Biological Kinetics, J. WPCF., 54(3), pp.255-260.
15. APHA., AWWA., WPCF., (1980) Standard Methods, 15th ed.
16. 李秉禧, 李性淇, 朴仲鉉 (1987) 嫌氣-好氣法에 의한 窒素除去에 관한 實驗的 研究, 上下水道 學會誌, 1(1), pp.9-16.
17. 柳泰鍾, 李性淇, 朴柱錫 (1987) 嫌氣-好氣法에 의한 有機物, 窒素, 磷의 同時除去에 관한 實驗的 研究, 上下水道 學會誌, 1(2), pp.65-74.
18. Levin, V.G. and J. Shapiro, (1965) Metabolic Uptake of Phosphorus by Wastewater Organisms, J. WPCF., 37(6), pp.800-821.
19. Sekikawa, Y., et al., (1967) Release of Soluble Orthophosphate in the Activated Sludge Process, Advanced in Water Pollution Research, 2, pp.261-284.
20. Osborn, D.W. and H.A. Nicholls, (1979) Bacterial Stress: Prerequisite for Biological Removal of Phosphorus, J. WPCF., 51(3), pp.557-569.
21. Lawrence, A.W. and P.L. McCarty, (1970) Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation, J. Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE, pp.757-778.