

円筒型 固定床 生物膜法에 의한 高濃度 有機性 廢水處理에 關한 研究

孫鍾烈·張明培*·文瓌煥**

高麗大學校 保健專門大學

*(주) 大河엔지니어링, **京畿道 保健環境研究院

A Study on the Treatment of a High-Strength Organic Wastewater by the Tube Type Fixed Biofilter Process

Jong Ryeul Sohn, Myung Bae Jang* and Kyung Hwhan Mun**

Junior College of Allied Health Science, Korea University

*Dae Ha Engineering Co., LTD.

**Kyunggi Province Government Institute of Health and Environment

ABSTRACT

This study is to discuss the factors influenced on the removal efficiency of a high-strength organic wastewaters investigated using the polypropyrene media which appropriate to attach micro-organism in the tube type fixed biofilter reactor.

The results obtained in the experiment were as follows :

1. The kinetics of reaction rate (k') were 0.125, 0.135, 0.155 varying initial COD 720, 1280, 1630 mg/l in batch reactor.
2. In the range of pH 4.0~12.0 was obtained the removal efficiency of COD higher than 85%. It was proved that variation of pH (4.0~12.0) was nothing to do with the removal efficiency of substrate in continuous reactor.
3. Temperature to obtain removal efficiency of COD higher than 85% was 10~40°C. Removal efficiency of COD was no less than those at high temperature.
4. In the continuous reactor, the volumetric loading of COD for removal efficiency higher than 95% had to be 0.5~1.5 kg COD/m³·d below. And then the HRT was 8 hrs.
5. In comparison with the activated sludge process, the tube type fixed biofilter process was excellent in removal efficiency of substrate and sludge production rate.

Keywords : High-strength organic wastewater, removal efficiency, tube type fixed biofilter.

I. 緒 論

各種 産業發達과 人口增加로 因한 汚染物質의 量의 質的인 變化에 따라 水質汚染은 自然淨化能力을 超過하여 날로 深刻해지고 있다. 이러한 水質汚染의 防止를 위해 適用되는 處理方法으로는 物理的 處理方法과 化學的 處理方法, 그리고 生物學的 處理法 등이 廢水의 特性에 따라 單獨 또는 複合的으로 利用되고 있다. 이중 生物學的 處理方法은 現在까지 가장 效率的인 工法으로 알려져 왔다.¹⁻³⁾

廢水의 生物學的 處理工程은 河川에서의 自淨作用을 利用한 것으로 自淨作用과 人工的인 反應器中에서 효율적으로 進行시키는 工程이다. 有機性 廢水의 好氣性處理에 널리 利用되어 왔던 生物學的인 處理工程은 反應器內의 微生物利用方法에 따라 活性슬러지법과 같이 懸탁상태의 微生物을 利用하는 懸탁법(suspended growth process)과 撇水여상법과 같이 支持膜體의 表面에 부착시킨 微生物을 利用하는 生物膜法(attached growth process)으로 大別된다.⁴⁾

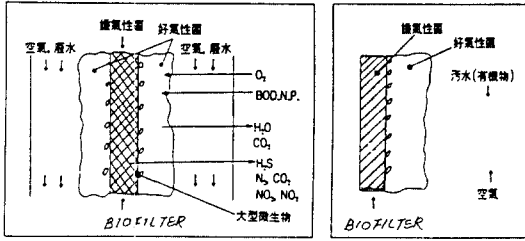


Fig. 1. Scheme diagram of tube type biofilter.

이러한 방법 중 우리나라에서는 대부분의 식품工場, 乳加工工場 등과 같이 高濃度有機性廢水를 排出하는 工場에서는 活性슬러지법으로 處理하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 활성슬러지법은 모든 有機性廢水에 適用하는데 있어서 많은 問題點들이 指摘되고 있다. 예를 들면 施設 및 運營經費의 過多, sludge bulking의 發生과 같은 維持管理上의 어려움, 多量의 슬러지 生成으로 因한 슬러지 處理問題, 그리고 高濃度有機性廢水는 處理하기 어렵다는 등의 問題點이 있다.⁵⁾

이러한 活性슬러지법의 問題點들을 解決할 수 있는 生物學的 處理工程으로 比較적 近年에 關心있게 研究되고 있는 것이 固定床 生物膜 工程에 의한 廢水處理 技術이다. 이 工程은 生物膜法의 變법으로 基本原理는 反應器內에 polypropyrene으로 만든 固定床接觸材를 넣어 生物膜을 形成시킨 후 廢水를 연속적으로 주입시켜 注入空氣 흐름에 의해 形成된 膜과 接觸시켜 生物膜外部의 好機性 酸化와 內部的 嫌氣性 酸化作用에 의해 有機物을 除去處理하는 工程이다⁵⁾ (Fig. 1).

固定床 生物膜 工程의 큰 長點으로는 反應槽單位 體積當 微生物이 增殖하는 表面積이 매우 커서 높은 MLSS濃度로 運轉될 수 있기 때문에 다른 廢水處理 工程 보다도 적은 面積, 낮은 建設費로 높은 處理效率를 얻을 수 있으며, 水溫 및 pH의 變化, 그리고 有機物 負荷의 變動에 對應할 수 있고, endogenous respiration에서 반응이 진행되므로 잉여슬러지 발생이 적으며, 특히 고도처리인 질소처리에도 효과적이고 유기관리면에서도 다른 어느 생물학적인 처리공정보다도 우수하다는데 있다.⁶⁾

實際적으로 外國에서는 小規模 有機性廢水에 適用한 예가 있으나, 우리나라에서는 폐수처리 公 正으로는 새로운 技術의 開發과 새로운 새로운 技術 導入의 忌避現象으로 거의 適用되지 못하고 研究段 階에 있다.

本 研究에서는 이러한 長點을 가진 固定床 生物膜

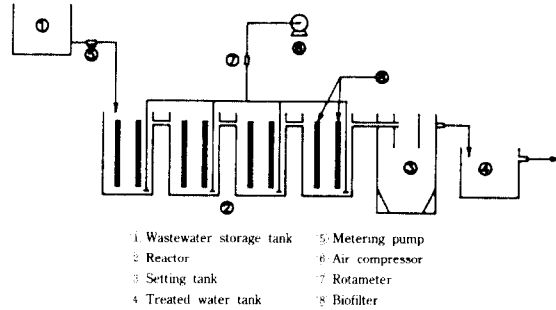


Fig. 2. Experimental apparatus for continuous reactor.

反應器에 微生物 附着能力이 우수한 接觸材를 利用하여 高濃度 有機性廢水處理에 適用하여 處理效率에 영향을 미치는 因子인 유기물 제거속도, pH, 溫度, 容積負荷, HRT와 슬러지 발생량 등에 關하여 研究檢討하였고, 활성슬러지 公 正과도 比較 分析하였다.

II. 實驗方法

固定床 生物膜 工程에 의한 廢水處理에 있어서 處理效率에 影響을 미치는 因子들을 研究하기 위한 實驗裝置는 Fig. 2와 같다.

反應槽는 가로 30 cm, 세로 30 cm, 높이 75 cm(4 sets)인 투명 아크릴판으로 製作하였으며 沈澱槽는 φ 30 cm, 높이 70 cm인 투명 아크릴원통을 使用하여 下部가 원추형이 되도록 제작하였다.

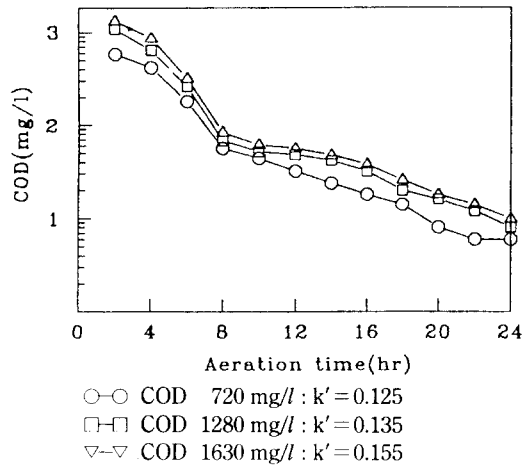
空氣注入은 air compressor(5 l/min × 0.4 kg/cm²)를 使用하여 反應槽 下部의 散氣石을 통하여 注入하도록 하였으며 여기에 空氣量調整을 하기 위한 rotameter와 水溫 調整을 위한 自動溫度調節裝置를 設置하였고 微生物이 附着成長하기 위한 接觸材는 polypropyrene으로 제조된 不織布로 φ 8.5 cm, 높이 50 cm로 제작 설치하였다.

本 實驗에 使用한 高濃度廢水는 실험실에서 제조한 合成下水⁷⁾로 주요 탄소원으로 glucose를 이용하였으며, COD : N : P = 100 : 9.2 : 1의 特性을 가진 것을 使用濃度에 맞도록 적당히 희석하여 사용하였다.

本 實驗에 사용한 식종미생물은 서울시 綜合終末 處理事業所 處理場의 返送슬러지를 利用하여 Table 1과 같은 合成下水에 約 2週日間 馴養시켜 使用하였다. 溫度에 대한 影響을 檢討하고자 5~40℃로 變환시켜 實驗을 進行하였다. 注入空氣量은 50~2500

Table 1. Composition of synthetic wastewater (COD_{Mn}: about 2,500 mg/l)

Glucose	2.50 g/l
K ₂ HPO ₄	0.03 g/l
KH ₂ PO ₄	0.01 g/l
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	0.06 g/l
NH ₄ Cl	0.24 g/l
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.11 g/l
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.001 g/l
CaCl ₂	0.14 g/l
Peptone	0.75 g/l

**Fig. 3.** Estimation of the kinetics of reaction rate (*k*) for batch reactor.

cc/min가 되도록 rotameter를 사용하여 調整하였고 合成下水의 供給에는 定量 pump로 注入하고 流量計로써 流量을 調整하여 反應槽內에 注入되도록 하였다.

本實驗에 利用한 分析方法은 環境汚染公定試驗法⁸⁾과 美國 APHA, AWWA, WPCF에서 採定 Standard Method⁹⁾를 基準으로 測定하였으며, pH는 pH meter, 溫度는 thermocontroller를 利用하여 측정하였고, COD濃度는 100℃ KMnO₄에 依한 酸素消費量으로 溶存酸素(DO)는 membrane electrode method에 의해 測定하는 方法으로 測定하였다.

III. 結果 및 考察

1. 有機物 除去反應

固定床 生物膜 反應器에서 有機物이 除去되는 速度를 알기 위하여 溫度를 20℃, 注入 空氣量 5l/

min로 고정한 후, 有機物 負荷量 變化에 따라 反應器에서 실험적으로 除去率을 구하여 reaction kinetics를 plot하면 Fig. 3과 같다.

微生物에 의해 廢水내의 有機物이 제거되는 反應은 1차 反應에 따른다. 여기서 회분식 반응기의 비가역 1차 反應速度는 다음 식으로 표현할 수 있다.^{10, 11)}

$$r = \frac{dc}{dt} = -kc \quad (1)$$

여기서, *r* : 유기물 제거속도(mg/l/hr)

c : 유기물 농도(mg/l)

k : 유기물 제거속도 상수(hr⁻¹)

(1)식을 변수 분리하고 적분하면 다음 식이 된다.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt \quad (2)$$

$$\log \frac{C}{C_0} = -k't \quad (3)$$

여기서, *C*₀ : 초기유기물 농도(mg/l)

t : 폭기시간

$$k' = \frac{k}{\log_e}$$

(3)식을 다시 정리하면 다음 식과 같이 된다.

$$\log C = \log C_0 - k't \quad (4)$$

(4)식을 시간 *t*를 횡축, 有機物濃度 *C*를 종축으로 하여 semi-log paper에 표시하면 Fig. 3과 같고, 그 직선의 기울기가 *k'*가 된다. Reaction rate constant (*k'*)는 초기 COD농도 720, 1280, 1630 mg/l의 變化에 따라 0.125, 0.135, 0.155를 나타냈고, 初期의 유기물 농도가 높을수록 그 값이 증가함을 보여주었는데 이는 고정상 반응기가 高濃度의 有機性 廢水를 처리하는데 효과적이라는 것을 간접적으로 입증한 것이다. 그리고, 폭기시간이 8시간이 지나면 반응기의 微生物은 내호흡상태로 轉換되는 것을 알 수 있다.

2. pH가 處理效率에 미치는 영향

一般的으로 好氣性 生物學的 處理方法 中 活性슬러지법으로 廢水를 處理하는데 있어서 최적 pH는 6.5~7.5이며, pH가 이 범위를 벗어나게 되면 微生物은 活性을 잃게 되므로 好氣性 生物學的 處理에서의 pH의 영향은 重要하다.¹²⁾

本實驗에서는 固定床 生物膜 工程의 特性을 파악하고자 pH를 3.0~13.0으로 調整하였으며 이때 유입되는 COD濃度는 合成下水를 희석하여 1,000

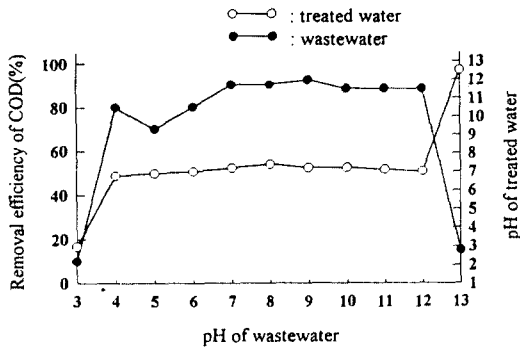


Fig. 4. Relationship between pH and removal efficiency of COD.

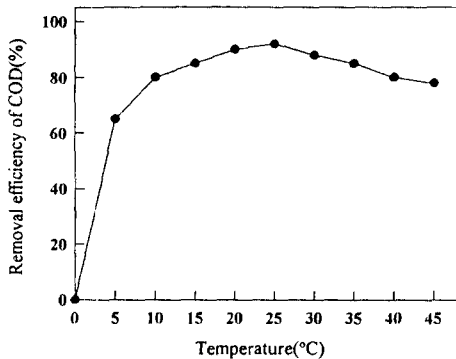


Fig. 5. Relationship between temperature and removal efficiency of COD.

mg/l로 한 다음 행한 실험 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 폐수의 pH 4.0~12.0에서 85% 이상의 COD 제거 효율을 얻었으며, 처리수의 pH도 미생물의 반응으로 중화되었다. 이는 고정막 생물막 공정이 pH 변화에는 영향이 적다는 것을 보여주는 것으로 이러한 현상은 접촉材의 호기성 및 혐기성 미생물의 작용으로 판단된다.

3. 溫度가 處理效率에 미치는 영향

一般的으로 생물學的 處理工程에서 廢水에 含有된 有機物 除去의 주된 역할을 하는 미생물은 溫度 변화에 극히 민감하여 水溫이 저하함에 따라 그 活性도 감소하게 되는데, 특히 水溫이 5°C 이하가 되면 급격히 저하한다. 國內에서는 冬節期時 水溫이 5°C 이하로 되는 경우가 많으므로, 생물학적 처리공정 중 호기성 처리에 있어서 수온이 미치는 영향은 중요하다.^{13, 14)}

本 實驗에서는 水溫을 5~40°C로 변화시켜 合成下水로 處理한 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 85%

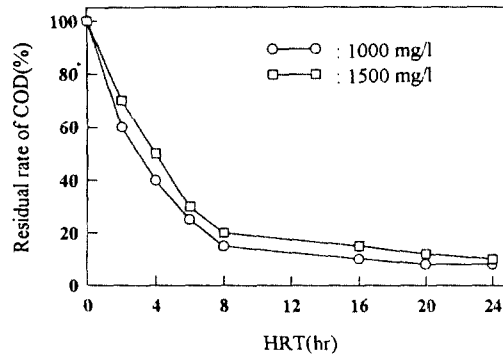


Fig. 6. Relationship between HRT and residual rate of COD.

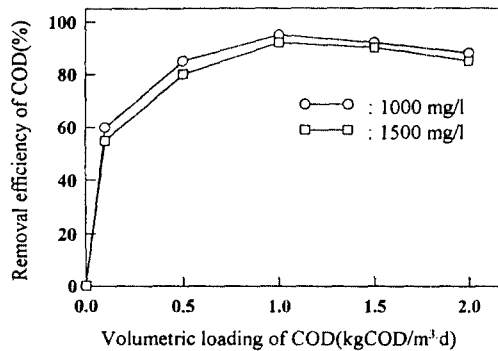


Fig. 7. Relationship between volumetric loading and removal efficiency of COD.

以上の COD 除去率을 얻기 위한 濃度는 10~40°C임을 알 수 있었고, 비록 20°C에서 가장 높은 效率을 나타냈으나 온도 변화에 따른 고정막 생물막 공정의 有機物 除去能力은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 接觸材에 미생물이 附着成長하고 있으므로 다른 어느 호기성 생물學的 工程보다도 고형물 滯留時間이 길기 때문인 것으로 사료된다.

4. 容積負荷 및 HRT 변화가 處理效率에 미치는 영향

固定床 生物膜 工程의 가장 重要한 運營因子인 容積負荷와 HRT(Hydraulic Retention Time) 변화에 따른 有機物 除去能力을 검토하기 위하여 水溫을 20°C로 유지하고 폐수의 초기流入 COD濃度 1,000 mg/l, 1,500 mg/l에서 HRT는 0~24 hr로, 容積負荷는 0.1~2.0 kgCOD/m³·d로 변화시켜 처리 실험한 결과는 Fig. 6, 7과 같다. Fig. 6, 7에서 95% 이상의 COD 제거율을 얻기 위해서 COD 용적부하는 0.5~1.5 kgCOD.m³·d이어야 하며, HRT는 8 hr이 요구된

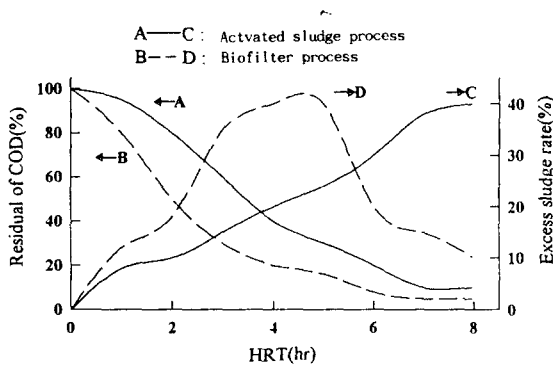


Fig. 8. Relationship between residual rate of COD and excess sludge rate varying HRT.

다는 것을 알 수 있었다.

이는 一般的인 活性슬러지 工程¹⁵⁾보다도 固定床 生物膜 工程이 적은 HRT에서 高濃度有機物을 處理할 수 있는 우수한 工程이라는 것을 입증하는 것이고, 또한 적은 容積의 曝氣槽로 運營될 수 있는 것을 보여주는 것이다.

5. 活性슬러지 工程과의 比較檢討

活性슬러지 工程과 比較하여 固定床 生物膜 工程의 우수성을 調査研究하고자 反應槽의 유입 COD 濃度를 1,000 mg/l로 한 후 處理時間別 殘存 COD (%)와 發生 잉여오니량을 實驗한 結果는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 90% 以上の COD 除去率을 얻기 위해서 활성슬러지 公정은 HRT 6시간이 요구되는 것에 비해 고정상 생물막 工程은 HRT 3시간이 요구되며, 슬러지발생률은 활성슬러지 公정¹⁶⁾은 HRT 8시간에서 38%인데 비해 固定床 生物膜 工程은 5%만 발생, 거의 슬러지가 發生되지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 여기서 固定床 生物膜 工程¹⁷⁾이 슬러지 처리문제에서도 우수한 工程임을 다시한번 확인할 수 있었다.

IV. 結 論

本 研究에서는 固定床 生物膜 工程의 特性에 關係 研究하기 위하여 合成下水로 流入濃度를 변화시켜 處理效率에 影響을 미치는 인자인 pH, 溫度, 容積 負荷, HRT 等에 關하여 實驗檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

① Batch reactor에서 reaction rate constant(k)는 유입 COD농도 720, 1280, 1630 mg/l에서 0.125, 0.135, 0.155로 초기유기물 농도가 증가할수록

증가함을 나타냈으며, 폭기시간이 8시간 지나면 반응조의 미생물이 내호흡상태로 전환됨을 알 수 있었다.

- ② pH 변화에 따른 影響을 검토한 結果 廢水의 pH 4.0~12.0 범위에서 85% 以上の 높은 COD 除去率을 얻었으며, 이는 固定床 生物膜 工程이 廢水의 pH 變化에는 크게 影響을 받지 않는다는 것을 보여준 것이다.
- ③ 溫度에 關한 影響을 보면 水溫 10~40℃에서 85% 이상의 높은 COD 除去效率을 나타냈다.
- ④ COD 容積負荷가 HRT에 미치는 影響에 대해서 검토한 結果 95% 이상의 COD 除去率을 얻기 위한 容積負荷는 0.5~1.5 kgCOD/m³·d이어야 하고, HRT는 8時間이 요구된다는 것을 알 수 있었다. 이는 本 公정이 짧은 HRT에서 高濃度 廢水를 높은 除去效率로 處理할 수 있음을 확인한 것이다.
- ⑤ 活性슬러지 工程과 比較할 때 固定床 生物膜 工程이 處理效率 뿐만 아니라 슬러지 處理問題 및 運營면에서 우수한 工程임을 입증되었다.

감사의 글

本 研究는 商工部 生産技術研究院의 有望 先進 企業 技術支援費에 依해 産學協同 研究로 遂行되었 으며 이에 感謝를 표하는 바입니다.

참고문헌

- 1) 최의소, 조광명: 환경공학. 청문각, 129-175, 1981.
- 2) 권숙표, 김원만: 환경공학. 보성문화사, 261-263, 1981.
- 3) 조영일, 정연규: 환경공학. 동화기술, 95-100, 1987.
- 4) Metcalf and Eddy, Inc.: Wastewater Engineering. McGraw-Hill Book Company, 394-397, 1979.
- 5) 須藤隆一, 石黒政儀: 生物膜法. 産業用水調査會, 25-27, 1984.
- 6) 須藤隆一: 應用微生物研究について. 技報堂, 126-147, 1985.
- 7) 中嶺善夫: 廢水の活性汚泥處理. 恒星社 厚生閣, 308, 1980.
- 8) 環境處: 環境汚染公定試驗法. 水質篇, 1992.
- 9) APHA, AWWA, WPCF: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF, 15th ed., 1981.
- 10) Morley, D. A.: Mathematical Modelling in Water and Wastewater Treatment. Applied Science Pub-

- lishers Ltd., 31, 1979.
- 11) Levenspiel, O. : Chemical Reaction Engineering, John Wiley and Sons Inc. 2nd ed., 42-49, 1972.
 - 12) 中嶺善夫 : 廢水の活性汚泥處理. 厚生社 厚生閣, 203-207. 1980.
 - 13) Konald, W. Sundstrom and Hebert, E. Klei : Wastewater Treatment. Prentice-Hall Inc., 98-101, 1979.
 - 14) Larry D. Benefield and Clifford W. Randall : Biological Process Design for Wastewater. Prentice-Hall Inc., 197-200, 1980.
 - 15) Metcalf & Eddy Inc. : Wastewater Engineering. McGraw-Hill Book Company, 484-485, 1979.
 - 16) 조광명 : 연속적인 흐름상태에서의 여과막 활성오염에 의한 하수처리. 대한토목학회, 22(2), 105-113, 1974.
 - 17) 中操外2人 : RLの材を用いた浸積の床による生活排水の處理, 用水と廢水, 21(9), 40-45, 1979.