

## 生物學的 流動層을 利用한 水中的 植物性油의 除去特性

Characteristics on the Removal of Emulsified Vegetable Oil in Wastewater using Biological Fluidized Bed

金 煥 起\* · 朴 魯 參\*\*  
Kim, Hwan Gi · Park, Ro Sam

### Abstract

In this paper, the experimental study was carried out for the removal of olive oil in wastewater by the use of Biological Fluidized Bed(BFB) with the reticulated polypropylene sheets as media. The nonbiodegradable olive oil, one of the animal and vegetable oil, was used because of the relative simplicity of constitution. Biological degradability and removal characteristics of emulsified olive oil were studied by batch and continuous experiments respectively.

From the results of batch experiments, it was observed that the emulsified olive oil used in BFB reactor was absorbed by media and sludge in about 12 hours, and degradation of the absorbed olive oil was mostly completed for 24 hours. The functional relationship of Michaelis-Menten's Enzyme reaction equation exists between oil concentration and maximum specific rate of olive oil.

From the continuous experiments for the removal of olive oil using BFB reactor, it was proved that the substrate removal rate coefficient  $k=0.004 d^{-1}$ , which is the first order kinetics. It was appeared that oxygen utilization coefficients for synthesis(a') and endogenous respiration(b') of microorganisms in the reactor are respectively  $0.85mg O_2/mg COD_{cr}$  and  $0.011mg O_2/mg BVS. day$ .

### 要 旨

本 研究는 動植物油中에서 比較的 組成이 單純하고 難分解性 物質인 Olive Oil의 油分除去 特性을, 合成纖維 不織布를 매디아로 하는 生物學的 流動層(BFB) 反應器를 사용하여 實驗的으로 檢討하였다. 實驗은 回分式에 의한 油分의 生物學的 分解性和 連續 實驗에 의한 油分의 除去 特性에 關하여 考察하였다.

回分 實驗은 BFB 反應器에 投入된 에멀전狀 Olive Oil이 微生物 附着 매디아에 依해서 약 12時間 程

\*정희원 · 全北大學校 工科大學 土木工學科 教授  
\*\*정희원 · 慶北產業大學 土木工學科 副教授

度에서 吸着되었고, 吸着된 Olive Oil은 24時間 程度에서 거의 分解가 完了되었다. 또한, Olive Oil의 最大 比除去速度와 油分 濃度 사이에는 Michaelis-Menten의 酵素 反應式의 函數 關係가 成立됨을 알 수 있었다.

BFB反應槽를 이용한 Olive Oil의 除去의 관한 連續 實驗에서는 基質除去速度가 1次 反應의 關係가 있음을 알 수 있었고, 이때의 基質除去速度係數는  $k=0.004d^{-1}$ 이었다.

酵素利用速度에서 基質의 酸化에 利用된 酸素量  $a=0.85mg O_2/mg COD_{Cr}$ 이고, 內生呼吸 및 維持代謝에 필요한 酸素量  $b=0.011mg O_2/mg BVS.day$ 로 나타났다.

## 1. 序 論

最近 科學 技術의 發達과 더불어 기름은 產業과 人間生活에 지대한 貢獻을 한 반면에 油分을 함유한 廢水流出로 內水面 汚染 등의 環境問題는 심각한 狀態에 놓여있다.

油分을 함유한 廢水가 水系에 流入되면 油膜으로 인한 溶存酸素의 缺乏을 招來하여 水生 動植物의 呼吸阻害의 原因이 되고, 下水處理施設에 流入되면 濾材를 閉鎖시키며 微生物의 活動을 阻害하는 등 下水處理效率를 감소시킨다. 동시에 油分은 물 위에 퍼져가는 동안에 일부는 蒸發하고 일부는 물에 溶解된다. 廢水중에 油分의 存在 狀態는 (1) 遊離狀 (2) 에밀전(emulsion)狀, (3)懸濁物과 共存狀으로 존재하는데 실제에 있어서 油濁은 거의 이들이 혼합된 상태이다<sup>(1, 2)</sup>.

에밀전狀 油分을 함유한 廢水處理는 浮上法<sup>(3)</sup> 活性炭吸着<sup>(4, 5)</sup>, 및 프리코트 濾過法<sup>(6)</sup>과 같은 物理化學的 處理와 生物學的 處理에 의존한다. 物理 化學的 處理는 有機物이 포함된 경우의 油分除去에는 油分과 有機物을 별도로 處理해야 하는 短點이 있다. 生物學的 處理에 의한 油分 除去에 관한 研究를 살펴보면 Young<sup>(7)</sup>은 生物學的 處理을 이용해서 grease와 oil 除去에 관한 研究에서 9種類 處理方法에 따른 55個所 處理場의 流出水에 관한 處理效率 등을 調查, 分析하였으며, 徐<sup>(8)</sup>의 研究에서는 活性 슬러지에 의한 油分의 處理에서 基質 除去 速度와 酸素 利用 速度에 관한 報告가 있다.

生物學的 處理方法인 活性슬러지법은 低濃度 油分을 함유한 廢水處理에 긴 滯留時間을 요한다. 또한 過負荷에 따른 處理 效率의 限界性 및 油分廢水에 함유되어 있는 毒性物質에 의한 微生物의 性狀

變化로 固·液分離의 어려움이 發生하고 油分과 活性슬러지 floc과 吸着이 容易하지 않는 등의 短點이 있다. 한편 生物學的 流動層法<sup>(9)</sup>은 反應槽 內에 高濃度 微生物이 매디아에 附着해서 成長하므로 有機物 除去와 더불어 毒性和 負荷變化에 對處하기 쉽고 에밀전상 油分이 매디아에 吸着된 狀態를 維持할 수 있으므로 除去가 容易하고, 高濃度 微生物을 이용해서 處理하므로 滯留時間 短縮과 反應槽의 容量을 줄일 수 있고 油分을 分解하는 微生物이 매디아 안에 獨立的으로 成長할 수 있으므로 油分의 分解效率를 높일 수 있을 것으로 思料된다.

따라서 本 研究에서는 都市下水 중 生活下水에 함유되어 있는 主要 油分은 動植物性油라 思料되며, 그 중에서도 比較的 組成하고 單純하고 難分解性인 olive oil을 試料로 生物學的 流動層을 이용하여 에밀전상 油分의 生物學的 分解性和 連續處理裝置를 통한 油分除去를 實驗的으로 研究 檢討하였다.

## 2. 實 驗

### 2.1 Olive Oil의 生物學的 分解

BOD 測定에 사용된 稀釋水는 衛生處理場 活性슬러지의 混合液을 30分 沈澱시킨 후 上澄液 0.2ml를 BOD 稀釋水에 植種시켜서 全量을 1ℓ로 하였다. 測定用 試料는 olive oil 및 比較試料로 glucose를 300mg/ℓ 濃度로 製造한 후 稀釋水를 사용하여 50倍로 稀釋하여 實驗하였으며, 이때 olive oil을 溶液內에 均一하게 油化시키기 위하여 超音波器(Bransonic 2200, USA)를 사용하였다. BOD 測定은 Incubator에 넣은 후 1, 3, 5, 8, 10, 15 및 20日의 BOD값을 測定하였다. 그러나 olive oil의 分子式을 알 수 없으므로 理論酸素要求量 ThOD를 計算하기 곤란하여 試料의  $COD_{Cr}$ 값을 測定해서 理論酸素要求量으로 代用하였다. 實

驗은 standard methods<sup>(10)</sup>에 의해서 BOD 및 COD<sub>cr</sub> 實驗을 實施하였다.

## 2.2 生物學的 流動層에 의한 Olive Oil의 處理

### 2.2.1 實驗裝置

不織布를 매디아로 直接曝氣式 生物學的 流動層을 이용한 油分除去 實驗裝置는 그림1과 같다. 反應槽의 크기는 內徑 9.4cm, 有效높이 90cm인 아크릴 圓筒을 사용하여 有效 容積이 6ℓ가 되도록 하였으며, 上部에는 處理水 流出口를, 下部에는 原水 流入口 및 散氣石을 設置하였다. 原水의 流量은 各 實驗條件에 따라 定量 注入 펌프(model CX-500) 사용하여 調節하였으며, 酸素는 散氣石을 통하여 反應槽에 直接 傳達될 수 있도록 하였다. 微生物이 附着하여 成長할 수 있는 매디아로서 폴리프로필렌系 不織布를 크기 1cm×1cm×0.7cm정도가 되도록 잘라서 사용하였다. 反應槽 內의 매디아는 한 方向으로 偏重되기 쉬우므로 이런 現象을 억제할 수 있도록 매디아의 有效 流動空間을 制限시킬 수 있는 裝置로서 液體와 空氣의 出入이 가능하도록 지름 3mm의 구멍을 뚫은 Stainless Steel板을 反應槽 內徑에 맞게 上部로 부터 27cm간격으로 설치하고 중앙에는 별도로 支持臺를 設置하였다.

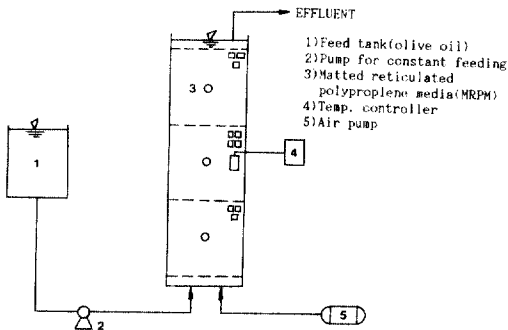


그림 1. Diagram of the experimental apparatus

### 2.2.2 基質組成

本 實驗에 사용된 試料는 植物性 기름인 olive oil을 주 炭素源으로 하고 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl) 및 重炭酸암모늄(NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>)을 포함하는 것으로 基質의 炭素-窒素比(C/N比)는 5.0이다. 試料의 化學的 組成은 表 1에 나타나 있으며, 油分을 물에 乳化시키기 위한 添加劑로 tween 80을 油分量에 대하여 1/20程度로 添加하여 家庭用 mixer를 이용

하여 製造된 試料水를 實驗條件에 맞게 적당히 稀釋하여 사용하였다.

表 1. Composition of Synthetic Wastewater(1ℓ)

Substances	Wt(g)
Olive Oil	1.00
Tween 80	0.05
NH <sub>4</sub> Cl	0.29
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	0.43
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.07
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.77

### 2.2.3 實驗方法

實驗에 사용된 活性슬러지는 微生物處理場의 返送슬러지를 #125체로 거른 뒤 表 1에 나타난 基質을 사용하여 Fill and Draw 방식으로 馴養槽에서 微生物을 附着시킨 후 反應槽에 6,000개를 投入하였고, 實驗中에 引出된 매디아는 같은 數만큼 보충하여 反應槽 內의 微生物 濃度を 一定하게 維持하였다. 微生物 濃度는 無作爲로 引出된 매디아를 조심스럽게 털어내어 측정한 뒤 反應槽 有效 容積에 대한 濃도로 나타내었다. 實驗은 pH=7.0±0.5, 溫度 20°C 및 DO는 5ppm 以上으로 維持시켰다.

BFB에 의한 Olive Oil의 分解와 比除去速度 측정을 위하여 反應槽 內에 微生物 濃度を 1400-2900mg/ℓ 범위로 調整하고, 基質의 投入 油分濃도로서는 100, 250, 500, 700 및 1,000ppm의 5段階로 變化시켜 回分處理 實驗을 실시하였다. 試料는 基質 投入 15分前, 投入 後 混合液과 6, 12, 24, 48, 72, 96 및 120hr별로 上澄液 및 매디아를 높이별로 無作爲로 引出하였다. 引出된 上澄液 및 매디아의 油分의 濃度는 Soxhlet 抽出法<sup>(10)</sup>을 이용하여 各 油分을 測定하였다. 이때 매디아로 사용된 不織布에 吸着된 油分 濃度を 測定하기 위하여 別途로 微生物이 附着되지 않은 不織布를 同一 油分濃도의 溶液에 投入하여 曝氣한 후 不織布에 吸着된 油分量을 測定하여 슬러지에 의한 油分 吸着量을 計算하였다. BVS(Biomass Volatile Solids)濃度는 無作爲로 引出한 매디아를 採取하여 매디아에 附着된 微生物을 測定하고 反應槽에 投入된 매디아 數와 反應槽의 부피에 대한 濃도로 환산하여 나타내었으

며, 메디아의引出로 인한 誤差를 最少化하기 위해서 試料 採取後 곧 引出된 메디아 數만큼 새로운 메디아를 보충해 주었다. BFB에 대한 olive oil의 連續處理實驗을 통해서 基質의 除去, 酸素 利用, 活性슬러지 增殖 등의 상호 關係에서 基礎 資料를 提共하고자 定量 注入 펌프로 基質의 注入 速度를 4 段階로 變化시켜서 生物學的 流動層을 이용한 連續 處理實驗을 실시하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1. Olive Oil의 生物學的 分解特性

廢水와 糞尿의 COD중에는 微生物에 의해서 잘 分解되지 않는 難分解性物質이 多量으로 함유된 경우가 많다. 難分解性物質을 함유한 廢水を 生物學的으로 處理할 수 있는가의 與否를 判定하기 위한 處理性的 試驗은 一般적으로 活性슬러지를 利用한다. 生物에 의한 分解性的 平價方法으로는 (1) BOD 測定에 의한 方法 (2) 化學物質의 減少를 직접 追跡하는 方法 (3) COD, TOC의 減少를 追跡하는 方法 (4) 微生物에 의한 酸素 消費速度를 측정하는 方法 등이 있다<sup>(1)</sup>.

難分解性 物質에 대한 Pitter<sup>(12)</sup>는 有機物을 生分解性和 毒性에 따라서 (1) 生物 分解 가능한 無毒性 物質, (2) 生物 分解 가능한 毒性 物質, (3) 生物 分解 불가능한 無毒性 物質, (4) 生物 分解 불가능한 毒性 物質의 4種類로 分類하였다. Dugan<sup>(13)</sup>은 分解되지 않고 環境中에 長期間 殘留하는 物質을 難分解性이라 하였다. Alexander<sup>(14)</sup>는 化學物質의 生分解性的 有無와는 別도로 環境中에 長期間 殘留하는 物質을 Recalcitant物質이라 하였다. 橋本將 等<sup>(15)</sup>은 未汚染 河川水 등을 接種源으로 BOD 試驗을 하여서 經過日數와 理論 酸化率(BOD/理論 酸素要求量(ThOD))이 증가하는 것을 分解性 物質이라 하고, 分解速度가 極히 遲延되고 酸素消費에 따른 時間 遲延이 있다든지 혹은 經過 日數와 함께 酸素消費가 증가하지만 5일 후 理論 酸化率이 10%에 도달하지 않는 物質을 難分解性 物質이라 定義하였다. 左合 等<sup>(16)</sup>은 工場廢水에 함유된다고 예상되는 有機物質에 대하여 10일간에 걸친 BOD의 徑日變化를 측정하여 그 有機物質의 理論 酸素要求量 ThOD와 BOD로부터 BOD/ThOD-時間曲線을 그림 2와 같이 分類하였다. 그림 2에서 type의 物質은 生物學的 分解성이 좋은 物質이며, type

의 物質은 毒性은 없으나 分解되기 어려운 物質이 든가, 毒性이 있기 때문에 微生物의 作用을 일시 抑制하는 物質이며, type의 物質은 type보다도 難分解性 物質이고, type의 物質

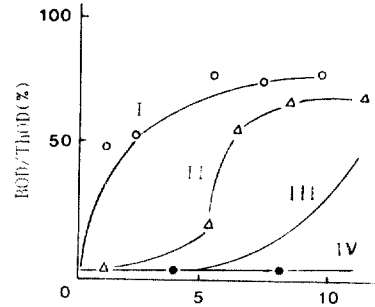


그림 2. Relationship between BOD/ThOD and Time

은 매우 毒性이 강한 物質이든가, 非分解性 내지는 極히 難分解性 物質로 定義하였다.

實驗 結果值로부터 BOD/ThOD(=COD<sub>cr</sub>)를 Y軸에, 日數를 X軸에 나타내면 그림 3과 같다. 여기에서 ThOD로 사용된 COD<sub>cr</sub>값은 olive oil의 경우 328mg/ℓ, glucose의 경우는 350mg/ℓ 이었다. 그림 3에 나타난 바와 같이 glucose의 경우에 BOD測定은 時間經過에 큰 變動 없이 BOD/ThOD값이 增加하고 있음을 보여주고 있으나 olive oil의 경우에는 初期 1日까지는 溶存酸素의 消費가 나타나지 않고 그 이후부터 酸素 消費가 서서히 일어났다. 이것은 植物性 기름인 olive oil이 微生物에 의해서 分解될 수 있음을 보여주고 있다. 그러나, 時間 經過에 따라서 BOD값이 낮게 나타나고 있으므로 微生物에 의한 油分의 分解에 있어서, 左合 等<sup>(16)</sup>이 分類한 그림 2의 type II에 해당하는 難分解性 物質로 分解가 完了되기 위해서는 一般 下水 및 그 밖의 基質에 비해서 長期間의 馴養 期間을 必要로 하며, 有機 物質과 難分解性 物質을 동시에 높은 效率로 除去할 수 있는 高濃度 活性슬러지法 適用이 要求된다.

#### 3.2 BFB에 의한 Olive Oil의 分解와 比除去速度

##### 3.2.1 BFB에 의한 Olive Oil의 分解

回分處理 實驗에 의해서 各 實驗條件에 따라 上澄液 및 微生物 附着 메디아에 吸着된 油分은 RUN1(100 ppm), RUN2(250 ppm), RUN3(500 ppm), RUN4(700 ppm) 및 RUN5(1,000 ppm)중에서 RUN2

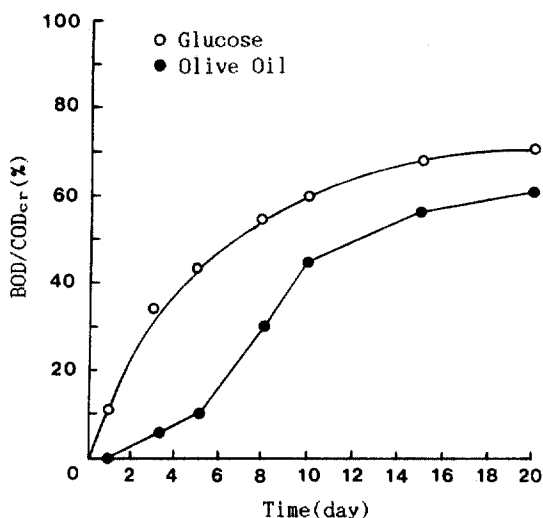


그림 3. Variation of BOD/COD<sub>cr</sub> on Olive Oil and Glucose

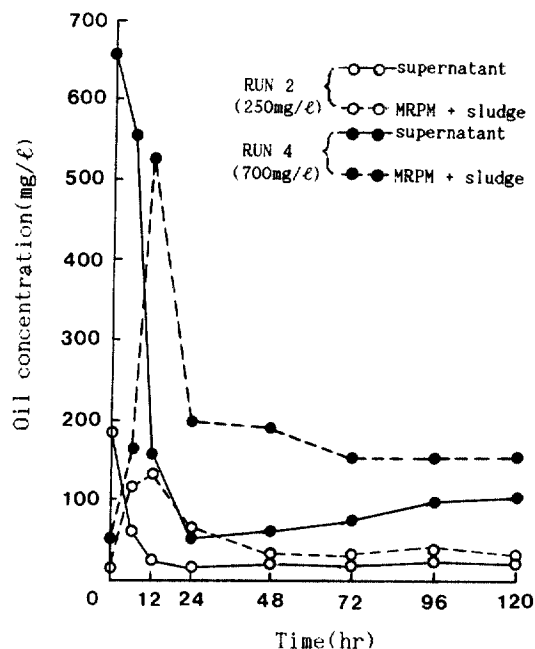


그림 4. Variation of Oil Concentration (RUN 2, 4)

와 RUN4의 經時變化를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에 나타난 바와 같이 時間別로 採取한 上澄液의 油分濃度는 12時間 程度 經過 後 거의 一定하게 되었고, 反面에 微生物 附着 메디아에 吸着된 油分濃度는 12時間 經過 後 最高值를 나타내고 있으며, 24時間 經過 後에는 大部分의 吸着된 油分이

除去되는 傾向을 보이고 있다. 活性슬러지法에서는 微生物 flocc에 의한 油分吸着이 이루어진 後에 微生物에 의해서 分解 過程이 連續的으로 進行된다. 그러나 生物學的 流動層을 이용한 本 反應器는 油分이 微生物 附着 메디아에 吸着할 수 있는 限界量까지 재빨리 吸着된후 高濃度의 微生物에 의해서 分解가 進行되므로 油分除去 效率를 높일 수 있다고 思料된다.

### 3.2.2 比除去速度

本 研究에서 採擇한 BFB 反應槽 内部에서 空氣, 氣泡, 試料水와 메디아의 氣-液-固 三相이 不規則한 流動을 하며 反應槽의 空間이 3段으로 구분되어 있고 各段別로 流路長과 流路幅의 比率이 약 3.0 程度이고 aeration에 의해서 水流를 曝氣시키므로써 氣-液이 거의 完全 混合에 가까운 分散흐름을 보이므로 工程解析을 위하여 完全 混合 反應式을 적용시켰다. 한편, 生物學的 反應의 總括 反應速度는 主 反應中에서 酵素의 觸媒 活動度에 따른다. 單一基質 反應에 대하여 Michaelis-Menten은 酵素의 反應速度를 다음과 같이 나타내었다<sup>(7)</sup>.

$$V = V_{\max} \frac{[S]}{[S] + K_s} \quad (4.1)$$

여기서, V = 油分 比除去速度 (1/day)

$V_{\max}$  = 油分の 比除去速度의 最大值 (1/day)

S = 油分 濃度 (mg/l)

$K_s$  = 油分の 除去速度가 最大 除去速度의 1/2 일때의 油分濃度 (mg/l)

式(4.1)의 兩邊에 逆數를 취하면 式(4.2)와 같이 되고, 여기서  $1/V$ 과  $1/S$ 사이의 Lineweaver-Burk 線圖에서  $V_{\max}$ 와  $K_s$ 를 결정할 수 있다.

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{\max}} + \frac{K_s}{V_{\max}} \cdot \frac{1}{S} \quad (4.2)$$

表 2는 각 實驗에 따른 初期條件 (時間別, BVS 濃度 및 油分濃度)을 나타낸 것이다.

一般的으로 BFB 反應槽 内部에서 油分 濃度 減少는 그림 4에서와 같이 메디아 吸着 및 微生物에 의한 分解 除去의 두 要因때문으로 생각되는 바, 初期(0-12 時間)의 油分 濃度 減少 要因은 一部 微生物의 分解 影響을 받기도 하지만 주로 微生物 吸着 메디아의 油分 吸着에 起因하며, 12-24時間의 油分 濃度 減少 要因은 주로 微生物의 分解 除去에

表 2. Initial Experimental Data

Run No.	Item	Time (hr)	BVS (mg/ℓ)	Oil Concentration		Removal Rate V (1/day)	
				Supernatant (mg/ℓ)	MRPM+Sludge (mg/ℓ)	Supernatant (V1)	MRPM+Sludge (V2)
RUN1 (100 mg / ℓ)		0	1642.6	77.0	34.0		
		12	1432.0	28.0	70.0	0.060	
		24	1853.0	25.0	47.0		0.032
RUN2 (250 mg / ℓ)		0	2293.0	185.2	17.6		
		12	2900.0	25.3	134.3	0.139	
		24	2573.0	15.8	66.5		0.047
RUN3 (500 mg / ℓ)		0	2340.4	410.3	34.6		
		12	2460.2	139.5	307.9	0.231	
		24	2401.6	61.4	184.7		0.100
RUN4 (700 mg / ℓ)		0	2457.7	650.3	51.6		
		12	2585.7	158.9	529.5	0.400	
		24	2604.2	55.6	201.7		0.254
RUN5 (1000 mg / ℓ)		0	2340.0	901.5	41.9		
		12	2583.2	234.4	765.4	0.570	
		24	2449.6	93.8	382.7		0.296

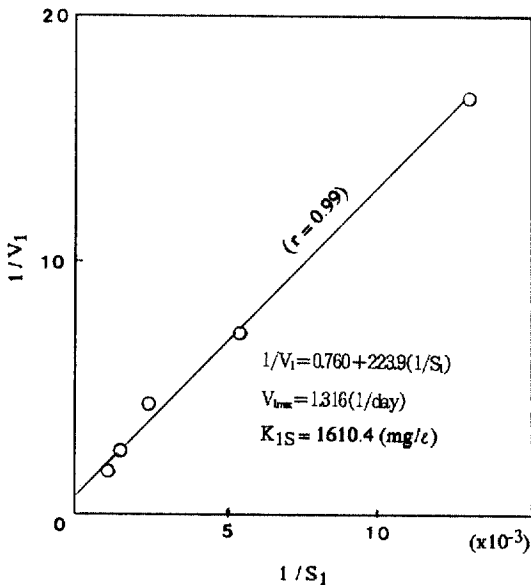


그림 5. Lineweaver-Burk plot( $S_1$  and  $V_1$ )

起因한 것으로 思料된다. 따라서 實驗初期(0~12時間)의 값에 대한 比除去速度  $V_1$ 과 上澄液中 油分濃度  $S_1$ 의 관계로부터 上澄液의 比除去速度에 관

한 Lineweaver-Burk 線圖를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 最少自乘法를 이용하여 다음의 回歸直線式을 얻었다.

$$\frac{1}{V_1} = 0.760 + 1223.9 \frac{1}{S_1} \quad (4.3)$$

式 (4.3)에서  $V_{1max} = 1.316(1/day)$ ,  $K_{1S} = 1610.4(mg/l)$ 을 구하고 式(4.1)에 대입하면 다음 式과 같다.

$$V_1 = \frac{1.316S_1}{1610.4 + S_1} \quad (4.4)$$

微生物 附着 미디어의 比除去速度에 관한 Lineweaver-Burk 線圖는 그림 6에 나타내었다. 이때, 微生物 附着 미디어에 吸着된 油分濃度  $S_2$ 와 比除去速度  $V_2$ 는 12~24時間 값을 이용하였다.

그림 6에서 구한 回歸直線의 결과로부터 式 (4.5)를 얻었다.

$$\frac{1}{V_2} = 1.675 + 2187.7 \frac{1}{S_2} \quad (4.5)$$

式(4.5)에서  $V_{2max} = 0.597(1/day)$ ,  $K_{2S} = 1306.1$

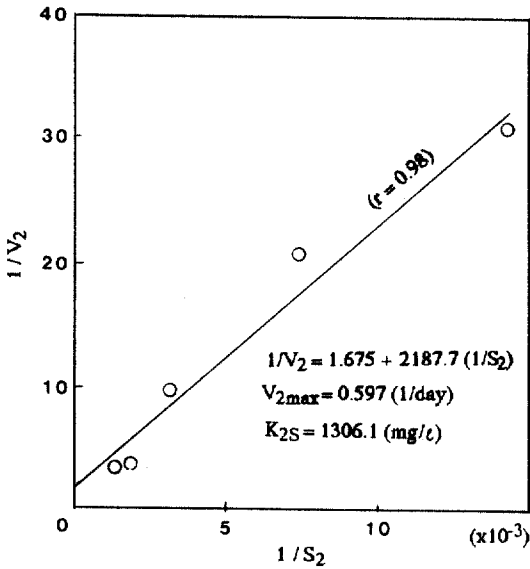


그림 6. Lineweaver-Burk Plot( $S_2$  and  $V_2$ )

( $\text{mg/l}$ )을 구하여 식(4.1)에代入하면 식(4.6)

을 얻는다. 
$$V_2 = \frac{0.597S_2}{1306.1 + S_2} \quad (4.6)$$

以上の結果에서 上澄液과 微生物 附着 매디아에 의한 油分の 最大 比除去速度는 각각

$1.316\text{d}^{-1}$ 와  $0.597\text{d}^{-1}$ 으로 나타났다. 따라서, 微生物 附着 매디아에 의한 油分の 最大 比除去速度, 즉, 吸着된 oil이 微生物에 의해서 分解되는 速度가 微生物 附着 매디아에 의한 吸着 速度보다 작으므로 BFB에 의한 除去時 制限 因子로 判斷되며, 上澄液의 比除去速度가 높게 나타난 것은 油分

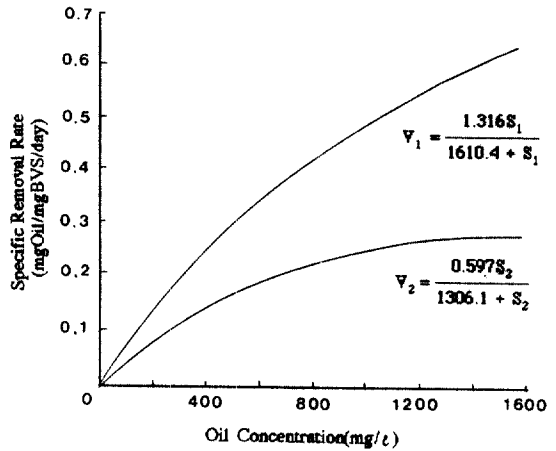


그림 7. Relationship between  $V_1$  and  $V_2$

表 3. Summary of Operating Conditions and Performance Data at Different HRT

RUN NO.	R1	R2	R3	R4
Organic Loading Rate ( $\text{kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$ )	2.7	1.4	0.9	0.6
HRT(hr)	3	5	8	12
Flow Rate( $\ell/\text{min}$ )	0.033	0.020	0.013	0.008
BVS( $\text{mg}/\ell$ )	11,907 (10,395-13,230)	11,277 (9,975-12,495)	9,479 (7,560-10,765)	10,260 (8,925-12,285)
Overflow Biomass ( $\text{mg}/\ell$ )	9.2 (7.9-11.2)	6.7 (5.4-7.9)	6.2 (5.2-7.4)	5.2 (3.8-6.3)
$R_r(\text{mgO}_2/\text{l}\cdot\text{day})$	1,969	1,236	838	492
F/M Ratio ( $\text{kg COD}/\text{kg}\cdot\text{BVS}\cdot\text{day}$ )	0.228	0.126	0.090	0.064
Influent $\text{COD}_{cr}$ ( $\text{mg}/\ell$ )	339 (310-360)	299 (290-350)	282 (224-365)	327 (264-340)
Effluent $\text{COD}_{cr}$ ( $\text{mg}/\ell$ )	54 (48-59)	36 (34-38)	30 (25-35)	22 (16-28)
Removal Efficiency(%)	84	88	90	93

을 實驗初期에는 微生物 附着 미디어에 어느 限界量까지 急速하게 吸着시킨 結果이며, 微生物 附着 미디어에 吸着된 油分은 高濃度 微生物에 의해서 除去되는 것으로 思料된다. 式(4.4)와 (4.6)에서 上澄液과 微生物 附着 미디어 中の 油分除去速度 關係를 그림 7에 나타내었다. 除去速度는 基質濃도에 대하여 거의 1次 反應이다. 그러나 基質의 濃도가 增加함에 따라 除去速度가 曲線을 그리는 領域에 到達하고, 基質濃도가 더 增加하게 되면 除去速度는 一定하게 되어 基質의 濃도에 독립적 이다. 이들 結果로 부터 olive oil의 最大 比除去速度와 油分濃度 사이에는 Michaelis-Menten의 酵素 反應式의 函數關係가 있음을 알 수 있었다.

### 3.3. BFB에 의한 Olive Oil의 連續處理

實驗에 사용된 微生物은 合成下水로 충분히 馴養하여 實驗을 시작하여 定常狀態에 도달된 후부터 資料 分析을 실시하였다. BFB에 의한 Olive Oil의 連續處理 實驗에서 측정된 流出水 中の 油分은 低濃도이므로 實際 解析에서는 基質濃도로서  $COD_{Cr}$ 濃도를 사용하여 表 3과 같은 結果를 얻었다.

#### 3.3.1 處理效率

BFB 反應器에 의한 Olive Oil의 連續處理에서 BVS濃도를 9,479-11,277mg/l로 維持시키고 水理學的 滯留時間을 4段階로, F/M比를 0.064-0.228까지 負荷變動시켜서 連續處理한 結果 水理學的 滯留時間 12時間, F/M比 0.064에서 90% 이상  $COD_{Cr}$  除去率이 維持되었다. 徐<sup>(5)</sup>은 olive oil과 類似한 基質인 sodium oleate( $C_{17}H_{33}COONa$ )를 사용한 活性슬러지法에서 MLVSS濃도 2,279mg/l, F/M比 0.466, 水理學的 滯留時間 1.07일로 連續處理해서 90% 이상의 除去 效率를 얻었다는 報告가 있다.

따라서 生物學的 流動層을 이용한 本 反應器는 미디어로서 不織布를 이용하고 微生物의 濃도를 高濃도로 維持해서 處理하므로 活性슬러지法에 비해서 滯留時間 短縮과 處理 效率를 높일 수 있다고 思料된다.

#### 3.3.2 基質除去速度와 流出基質濃度

流出基質濃도  $S_e$ 와 基質除去速度  $\frac{S_0 - S_e}{X_{e,t}}$ 와의 關係를 그림 8에 나타내었다.

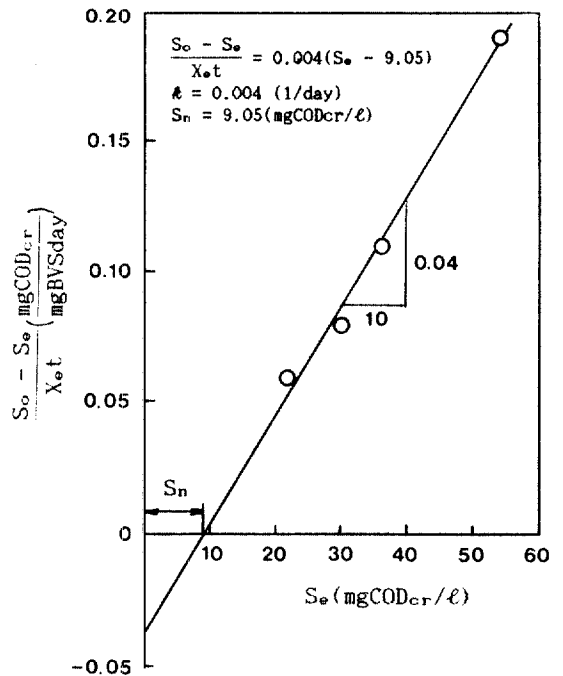


그림 8. Graphical Determination of k

完全 混合 反應槽에서 生物學的 分解 不可能한 物質이 存在할 때 有機物의 除去速度는 다음 式으로 주어진다.

$$\frac{S_0 - S_e}{X_{e,t}} = k(S_e - S_n) \quad (4.7)$$

여기서,  $S_n$ 은 生物學的 分解 不可能한 物質의 濃도이다. 式(4.7)과 그림 8에서 求한  $k$ 값은  $0.004d^{-1}$ ,  $S_n$ 은  $9.05mg/l$ 이었다. Simpson<sup>(18)</sup>은 下水를 活性슬러지法에 의해서 處理하는 경우  $k$ 값은  $0.0063 - 0.0132d^{-1}$ (基質,  $CoD_{Cr}$ ), Okubo等<sup>(19)</sup>은 油分을 多量 含有한 水産加工 廢水를 活性슬러지法에 의해서 處理한 경우  $k$ 가  $0.012d^{-1}$ (基質,  $BOD_5$ )과  $0.007d^{-1}$ (基質,  $CoD_{Cr}$ )이 되는 것을 究明하였으며, Dickenson等<sup>(20)</sup>은 石油精製 廢水에 대한  $k$ 의 값은  $0.0096 - 0.021d^{-1}$ (基質,  $BOD_5$ )이 된다는 報告가 있다. 本實驗은 에밀전상의 難分解性 油分을 함유한 廢水處理이므로 油分을 多量 함유한 水産加工 廢水를 活性슬러지法으로 처리한 값(Okubo 等)보다 除去速度가 조금 느린 것은 活性슬러지法에 비하여 本 研究는 高濃도 微生物



을 사용하므로 處理效率을 增大시킬 수 있었기  
때문으로 思料된다.

### 3.3.3 基質除去速度와 酸素利用

一般的으로 微生物的 廢水處理 과정에서 필요한 總 酸素量은 微生物的 細胞合成을 위하여 有機物 除去에 소요될 酸素量과 微生物的 內呼吸에 필요한 酸素量으로 구분되며, 有機物 除去에 이용되는 酸素量만을 고려하면 다음式으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{R_r}{X_e} = a' \left( \frac{S_o - S_e}{X_{e,t}} \right) + b' \quad (4.8)$$

여기서,  $R_r$  = 酸素 攝取率 ( $\text{mgO}_2 / \ell \cdot \text{day}$ )

$R_r/X_e$  = 比攝取率 ( $\text{mgO}_2 / \text{mg} \cdot \text{Sludge} \cdot \text{day}$ )

$a'$  = 基質 除去에 필요한 酸素 利用 係數 ( $\text{mg O}_2 / \text{mg} \cdot \text{Sludge} \cdot \text{day}$ )

$b'$  = 內生 呼吸에 필요한 酸素 利用 係數 ( $\text{mg O}_2 / \text{mg} \cdot \text{Sludge} \cdot \text{day}$ )

基質除去速度 ( $\frac{S_o - S_e}{X_{e,t}}$ )와 比攝取率 ( $R_r/X_e$ )과의 관계를 그림 9에 나타내었다.

그림 9에 微生物的 細胞合成을 위하여  $\text{COD}_c$  除去에 필요한 酸素利用係數  $a'$ 은 0.85 微生物的 內

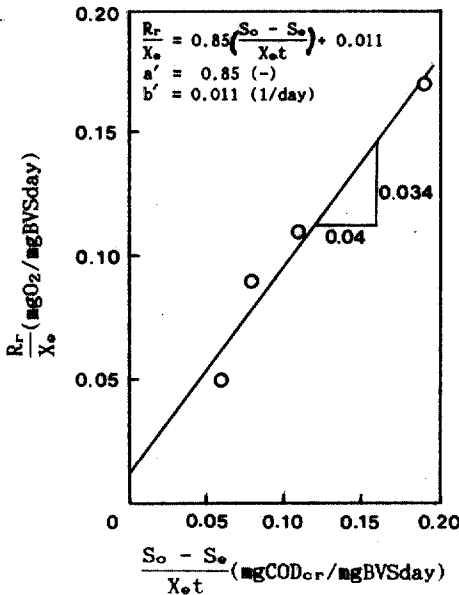


그림 9. Graphical determination of oxygen utilization coefficients ( $a'$ ,  $b'$ )

表 4. Relationship between oxygen utilization coefficient ( $a'$ ) and endogeneous respiration ( $b'$ )

Wastewater	Unit	$a'$ (-)	$b'$ (1/day)	Remark
Fish factory	$\text{COD}_c$	0.670	0.050	石原 <sup>21)</sup>
"	$\text{BOD}_5$	0.543	0.045	"
Refinery	$\text{BOD}_5$	0.910	0.160	Dickenson <sup>20)</sup>
Brown Coal liquefaction factory	$\text{COD}_c$	1.300	0.100	Hung <sup>22)</sup>
High concentration salt	$\text{COD}_c$	0.410	0.050	Tokuz <sup>23)</sup>
Domestic	$\text{COD}_c$	0.520	0.106	Eckenfelder <sup>24)</sup>
Olive Oil	$\text{COD}_c$	0.850	0.011	

生呼吸에 필요한 酸素利用係數  $b'$ 은 0.011을 얻었다.

本 研究에서 얻은  $a'$ 와  $b'$ 의 값을 다른 研究 結果와 比較하여 表4에 나타내었다.

## 4. 結 論

生物學的 流動層을 利用한 에멀전狀 Olive Oil의 油分除去에 관한 實驗 結果는 다음과 같다.

1) BFB 反應器에 投入된 에멀전狀 Olive Oil은 微生物 附着 매디아에 依해서 12時間 程度에서 吸着되었고, 吸着된 Olive Oil은 24時間 程度에서 거의 分解가 完了되었다.

2) Olive Oil의 最大 比除去速度와 油分濃度 사이에는 Michaelis-Menten의 酵素反應式의 函數關係가 있었다.

3) 基質除去速度係數는 1次反應式으로서  $k=0.004\text{d}^{-1}$ 이었다.

4) 酸素利用速度에서 基質의 酸化에 利用된 酸素量  $a'=0.85\text{mgO}_2/\text{mgCOD}_c$ 이고, 內生呼吸 및 維持代謝에 必要한 酸素量  $b'=0.011\text{mgO}_2/\text{mgBVS} \cdot \text{day}$ 로 測定되었다.

## 參 考 文 獻

1. 圖說公害防止 핸드ブック 編輯委員會編, 油分測定法·分析法, 日刊工業新聞社, pp212~213, 1975.
2. Staff of Research and Education Association,

- Modern pollution Control Technology*, International Standard Book, 1978.
3. 金煥起, 裴主星, 浮上法에 의한 水中油分 除去에 관한 研究, 大韓環境工學會誌 第5卷, 第2號, pp.21~38, 1981.
  4. 浦野廣平, 石炭. 活性炭の 水溶液吸着作用と 廢水處理への 利用, 石炭の 水溶液 吸着等溫線, 工業用水, 1970.
  5. 浦野廣平, 石炭・活性炭の 水溶液吸着作用と 廢水處理への 利用, 石炭の 水溶液 吸着速度, 工業用水, 1971.
  6. 李東勳, 柳明振, 프리코트 濾過法에 의한 에멀전상 油分除去에 관한 研究, 大韓環境工學會誌 第5卷 第2號 pp.79~87, 1983.
  7. Young, J. C., Removal of Grease and Oil by Biological Treatment Processes, *Journal WPCF* Vol. 51, No. 8, 1979.
  8. 徐錠基, 活性汚泥による 油分の 分解に 關する 基礎的 研究, 東北大學學位論文, 1981.
  9. Jerris, J. S., et al., Biological Fluidized Bed Treatment for BOD and Nitrogen Removal, *Journal WPCF*, pp. 816~831, 1977.
  10. Standard Method for the Examination of Water and Waste Water, 16th, American Public Association, pp. 496~501, 1985.
  11. 吳英敏, 金鍾齊, 活性 슬러지法, 東和技術, pp.194~198, 1985.
  12. Pitter, P., Determination of Biological Degradability of Organic Substances, *Water Research*, Vol. 10, No. 3, pp. 231~235, 1976.
  13. Dugan, P. R. 著, 鈴木等譯, 水質汚染の 化學生態學, 東京化學同人, pp.17~18, 1973.
  14. Alexander, M., Nonbiodegradable and other Recalcitrant Molecules, *Biotechnol. Bioeng.*, Vol. 10, No. 4, pp. 611~647, 1973.
  15. 橋本獎等, 活性汚泥法による 難分解性物質の 處理に 關する 研究(第1報), 下水道協會誌, Vol. 17, No. 189, 1980.
  16. 左合, 山口, 工場廢水に 含まれる 有機藥品の 生物酸化の 可能性, 下水道協會誌, Vol. 2, No. 11, pp.20~33, 1965.
  17. Ramalho, R. S., "Introduction to Wastewater Treatment Processes," Academic Press, Inc., pp. 219~223, 1977.
  18. Simpson, J. R., Extended Sludge Aeration Activated Sludge System *Jour. Inst. Sew. Purif.*, pp. 328~341, 1964.
  19. Okubo, T., Ishihara, J. E., and Matsumoto, J., *Fundamental studies on the Treatment of Fish-Processing Wastewater by the Activated Sludge Process*. In Treatment disposal of Liquid and Solid Industrial Wastes, Pergamon press Oxford and New York, pp.345~355, 1980.
  20. Dickenson, R. L., and Giboney, J. T., Stabilization of Refinery Waster with the Activated Sludge Process : Determination of Design parameters, *Proceeding of the 25th Industrial Waste Conference*, Purdue University, pp.294~303, 1970.
  21. 石原 アアニ・エミリオ, 活性汚泥による 水産加工廢水 處理に 關する 研究, 東北大學修士論文, 1977.
  22. Hung, Y. T., Evaluation of Lignite Liquefaction Wastewater Treatment by Activated sludge Process, *Presented at the 2nd Internation Symposium on Water Treatment and Utilization. Theory and Practice of Waste Management* University of Waterloo, Canada, 1980.
  23. Tokuz, R. Y., and Eckenfelder, Jr. W. W., The Effect of F/M Ratio on an Activated Sludge System Treating High Salinity Wastewater, *Proceedings of the 33rd Industrial Waste Conference*, Purdue University, pp. 200~203, 1978.
  24. Eckenfelder, Jr. W. W., *Water Quality Engineering for Practicing Engineers*, Barnes and Noble, p. 156, 1970.

(接受: 1970. 5. 10)