

# 滯留時間과 圓板回轉速度가 回轉圓板生物膜法の 處理效率에 미치는 影響

Effects of Detention Time and Disc Speed on the Treatment  
Efficiencies of RBC

金 相 璿\*  
Kim, Sang Yong

## Abstract

A mult-stage rotating biological contactor process was evaluated by using the mixtures of nightsoil and sewage as influent substrate. An emphasis was concentrated on the BOD removal efficiency at each stage of the process with respect to hydraulic detention times, rotating speeds of the disc and influent organic substrate concentrations. The results indicated that the process was found to be economically feasible when operated at hydraulic detention time of 2 hours and disc rotating speed of 3 RPH.

As to treatment efficiency, BOD removal efficiency of 40 to 50 percent could be obtained at the first stage regardless of influent organic substrate concentrations. The overall BOD removal efficiency of the process was found to be 88 to 90 percent at even high organic loading of 2.0 kg BOD/m<sup>3</sup>·day.

## 要 旨

本 研究은 固定微生物膜을 이용한 回轉圓板法이 低濃度의 流入水로부터 高濃度 流入水로 段階別로 變하는 污水에 대해 各 段階別 處理效率과 回轉圓板의 回轉速度와 滯留時間이 處理效率에 어떤 影響을 미치는지를 分析하여 國內污水處理에 대한 回轉圓板法の 開發에 기여코자 한다.

高濃度의 流入水는 低濃度의 一般污水에 糞尿를 投入하여 그 濃度를 人爲的으로 만들어 사용했으며, 이들 流入水에 대한 pilot plant의 實驗結果는 圓板의 回轉速度가 3 rpm, 滯留時間이 120 分인 경우가 經濟性이 있는 것으로 나타났으며, 段階別 處理效率은 첫 段階에서 流入水의 濃度에 關係없이 40~50% 정도의 BOD<sub>5</sub> 除去率을 나타내었고, 容積負荷 2.0 kg BOD/m<sup>3</sup> 日이 高濃度에서도 放流水의 BOD<sub>5</sub> 除去率이 88~90% 정도로 良好하였다.

## 1. 序 論

### 1.1 研究의 目的

回轉圓板生物膜法(Rotating Biological Conta-

ctor: R.B.C: 回轉圓板法)은 固定生物膜을 이용한 有機性廢水處理法으로서 歐州諸國에서는 이미 1930 年代 부터 研究가 進行되어 왔으며, 가까운 日本에서는 수년전에 이미 實用化 하고 있다.

\*正會員 · 釜山開放大學 教授 土木工學科

最近들어 國內에서도 이 분야에 研究가 進行되면서 實用化를 위한 많은 努力이 이루어지고 있다.

이 回轉圓板法은 短點도 많으나 國內의 여건에 대해서는 長點이 더 많은 것으로 해석되어져 國內 污水淨化施設이나 糞尿處理場施設로 권장하고 싶다.

다행이도 回轉圓板法은 1984년 5월 16일 環境廳이 汚物清掃法 同施行規則을 告示(第 84-8號)하므로써 國內污水淨化施設로 채용 가능케되었다.

本 研究는 이와 같은 여건에서 回轉圓板의 實用化를 위한 기초로 實物 pilot plant를 製作하여 流入水質의 變動에 따른 各 段階의 處理效率를 高査하고 高濃度下水 實驗에서는 一般下水에 糞尿를 投入 調整하여 各 BOD<sub>5</sub> 負荷에서의 放流水 處理效率의 變化상태를 규명하고자 하였으며, 또 回轉速度와 滯留時間이 處理效率에 어떤 影響을 미치는지를 分析하여 回轉圓板의 실제 적용을 위한 基礎實驗을 실시하였다.

### 1.2 回轉圓板生物膜處理의 原理

生活系污水나 産業廢水 등의 有機性 汚染物質은 好氣性 微生物의 酸化分解作用에 의한 生物學的 處理를 이용한다.

生物學的 處理法으로 널리 應用되고 있는 活性슬러지法은 污水中에 浮遊生存하는 微生物群을 이용하는 方法으로서 微生物의 계속적인 관리를 必要로 한다.

撒水濾床法은 活性슬러지法과 달리 濾材인 碎石 또는 plastic 濾床위에 菌體를 附着시켜 이의 生物群을 이용하는 方法으로서 特別한 微生物管理를 必要로 하지 않으나 濾床이 막히는 등의 短點을 가지고 있다.

그런데 回轉圓板生物膜處理法은 圓板上에 微生物이 附着되어 이 圓板을 回轉시키는 方法으로 活性슬러지法과 撒水濾床法의 特徵을 모두 살린 方法이며, 污水의 高次處理에도 이용될 수 있는 處理法의 하나이다.

圓板의 材料는 高密度 polyethylene 또는 염화 vinyl 등을 사용하여 直徑 2~7.6 m의 圓板을 15~30mm 간격으로 길이 3~7.5 m의 鋼製

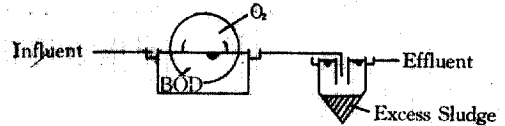


그림 1. RBC Flow Sheet

의 軸에 연결시키며 回轉圓板表面積의 40~50%가 污水中에 浸漬되어 있으며, 驅動部分은 電動機, 減速機, chain 등으로 연결, 圓板을 回轉시키면서 圓板이 水中과 空氣 상호간을 번갈아 접촉하므로써 圓板上에 1.5~3.0 mm의 好氣性 微生物이 生育하여 好氣狀態를 維持시키면서 污水가 淨化되는 것이다.

圓板上에 附着된 微生物은 活性슬러지法의 MLSS에 相當하며 濃度は 5%에 達하고 表面積이 크기 때문에 比較的 짧은 체류시간을 가지고도 높은 污水淨化 作用을 가질 수 있는 長點이 있다.

回轉圓板이 污水中을 通過할때 剪斷力으로 인해 잉여의 슬러지를 떨어져 나가게 하여 流水와 함께 沈澱池로 流出되며 沈澱池에서 슬러지는 分離되어 上澄水는 處理水가 된다. 回轉圓板法의 處理 系統은 그림 1과 같다.

### 1.3 回轉圓板生物膜法의 研究史

回轉圓板法의 研究는 美國의 J. Doman이 1929년에 直徑 35 cm의 回轉軸에 25 cm 간격으로 板을 配列하여 實驗한 研究報告가 있으며<sup>(1)</sup>, 1954년에는 독일 Stuttgart 大學에서 直徑 1m 두께 6mm의 圓板 40枚을 4단으로 배열하여 研究한 結果를 H. Hartman이 發表하였다<sup>(2)</sup>.

그후 Stuttgart市 Büsnau 終末處理場에 回轉圓板이 建設되었고, 그 實驗 結果는 1964년에 F. Pöpel教授에 의해 發表되어<sup>(3)</sup>, 오늘날의 回轉圓板法의 基礎가 되었다.

그로부터 歐美에서는 계속된 研究가 實用化에 이르게 되었고, 가까운 日本에서도 1961年 神山教授에 의해 殿粉廢液에 관한 研究<sup>(4,5)</sup>와 石黑教授 등이 養豚排水 下水 3次處理, 污水淨化 등 에 대한 研究發表가 있었다<sup>(6,7)</sup>.

伊藤尙夫<sup>(8)</sup>는 RBC를 활성슬러지법과 비교함

에 있어 다음과 같은 장점이 있음을 지적하였다.

- ① 큰 負荷가 작용되어도 된다.
- ② 水負荷나 BOD 負荷의 變動에 잘 견딘다.
- ③ 高濃度 汚廢水의 處理가 可能하다.
- ④ 슬러지의 解體나 팽화(bulking)가 일어나지 않는다.
- ⑤ 中性洗劑에 의한 發泡가 없다.
- ⑥ 잉여슬러지의 處理가 容易하다.
- ⑦ 管理가 容易하다.

또 RBC를 撒水濾床과의 비교에 다음 장점을 들었다.

- ① 큰 水量負荷가 가능하다.
- ② 큰 BOD 容積負荷가 가능하다.
- ③ 큰 BCD 面積負荷가 가능하다.
- ④ 濾床의 閉塞이 없다.

고 하였으며, 星野定司<sup>(9)</sup>는 消費電力當의 基質 除去速度를 설명하면서

$$P_w = A\beta \left( \frac{ND}{d} \right)^2$$

여기서  $P_w$ : 전력소비량

$A$ : 원판면적

$\beta$ : 계수

$N$ : 회전속도(rpm)

$D$ : 원판의 직경

$d$ : 원판의 간격

인 관계식을 제시하였다.

金子欣司<sup>(10)</sup>는 유지관리의 문제점을 제시하였고, 특히 BOD 除去率과 슬러지 발생량을 설명하면서 이자료를 이용 最終沈澱池의 容量決定에 활용하였다.

Famularo<sup>(11)</sup>는 製紙工場廢水와 家庭廢水를 가지고 RBC pilot plant 실험을 수행하므로써 水理學的負荷, 廢水의 濃度, 圓板의 회전속도 등을 변화시키면서 設計에 必要한 因子들을 유도하므로써 設計資料로 활용할 수 있게 하였다. Clark<sup>(12)</sup>는 4段階의 RBC pilot plant에서 얻어진 자료를 바탕으로 정상상태에서 수학적 model을 개발하고, 이에 대한 확인을 시험하였다. 그리고 주어진 설계기준아래서 활성슬러지법과 RBC 법에 대해 경제분석을 시도하므로써 小規模 處理場에 적용하는 경우 10~46%가 유리하다고 밝혔다. 加藤善盛<sup>(13)</sup>는 RBC 법과 활성슬러지법을

운전하는데 대한 전력 소비를 비교하였으며, 藤藤郁夫<sup>(14)</sup>는 원판의 회전속도와 生物膜의 두께에 대한 研究에서 속도가 30 cm/sec 이상인 경우 1mm 以下の 生物膜을 형성하기 때문에 活性度가 높은 生産膜을 이루기 위해서는 회전속도를 30 cm/sec 정도는 유지되어야 한다고 하였다. Joost<sup>(15)</sup>는 가정폐수를 45분의 체류시간으로 90% BOD 除去를 할 수 있다고 하였으며 전력소비량은 활성슬러지법에서 소모량의  $\frac{1}{2}$ 로 만족한다고 하였다. McAliley<sup>(16)</sup>는 RBC에서 기계공학적인 문제가 main shaft에서 발생하였으며 체류시간은 활성슬러지에 폭기를 위해서 요구되는 체류시간의 약 25%였다고 하였다. 그리고 동력은 활성슬러지법에서 요구되는 동력의 약 40%였으며 침전지의 밀도는 활성슬러지법에서 얻어진 것의 거의 2배가 되었고 관리에 대한 숙련이나 주의가 거의 요구되지 않았다고 하였다. Torpey<sup>(17)</sup>는 styrofoam 媒質을 사용하여 연구하였으며, BOD 및 질산화 제거를 위해서는 效果的이었으나, shaft에 균열이 생기고 媒質이 분해되는 問題點이 있었다고 지적하였다. Antonie<sup>(18)</sup>는 水理學的負荷가 0.23 mgd에서 85% BOD 除去를 이루었고, 이때 流出水의 잔유 BOD는 15~25 mg/l였고, 水理學的負荷가 0.04mgd에서는 95% BOD 除去를 할 수 있어 流出水 잔유 BOD는 5~10 mg/l였다. 그리고 전력소모량은 원판의 회전속도와와의 관계에서 2차포물선형으로 나타남을 밝혔다. Friedman<sup>(19)</sup>은 원판의 회전속도에 대해 언급하면서 最適回轉速度는 직경 2.0 m의 원판에 대해 0.3 m/sec임을 보고하였다.

國內에서는 鄭<sup>(20,21,22)</sup> 韓<sup>(23)</sup>이 回轉圓板法에 대한 研究를 發表한 바 있다.

이 研究에서 鄭<sup>(20)</sup>은 pilot plant에서 水理學的負荷率과 物質負荷率에 따른 암모니아 除去率을 얻었고, 高率負荷率時엔 段階로 나누는 效果가 없어지고 單位面積當除去率은 一定한 값을 維持한다고 發表하였으며, 계속된 研究에서<sup>(21)</sup> 處理效率를 算定하기 위하여 模型을 開發하고 simulation을 통하여 定常狀態와 非定常狀態에서의 模型을 分析하였다.

그리고 韓<sup>(23)</sup>은 回轉圓板法의 經濟的인 設計法을 提示한 바 있으나 모두다 實物크기의 實驗

은 아닌 것으로 보여지고, 특히 현장실험을 하지 않음으로써 현장적용에는 난점이 있는 것으로 생각된다.

## 2. 實 驗

### 2.1 實驗裝置

本實驗을 위한 裝置는 그림 2에 나타난 대로 取水 펌프, 流量調整槽, 모터, 減速機, 反應槽, 沈澱槽順으로 되어 있으며 圓板에 대한 사양은 表 1과 같다.

또 裝置에는 回轉數를 임의대로 調整할 수 있도록 減速機를 附着해 두었다.

表 1. 圓板의 사양

區 分	規 格	비 고
圓板의 直徑	2.0 m	週邊速度, 0.209, 0.314, 0.419 m/sec
回轉速度	2, 3, 4 rpm	
圓板의 間隙	25 mm	
圓板의 두께	3 mm	
圓板의 枚數	2련×100장=200	
段 數	2 단	
圓板全面積	1,256 m <sup>2</sup>	
接觸槽容量	4.63 m <sup>3</sup>	2.1 m×2.1 m×1.05 m
圓板浸漬率	40 %	
모 터	3상-Vs 모터 3HP	槽間의 回轉軸은 Couple 로 연결

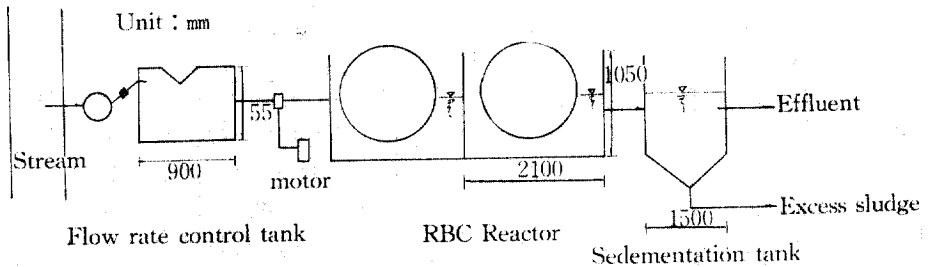


그림 2. RBC Experimental Apparatus

### 2.2 流入水質

實驗에 사용한 流入水는 晋州市 상대洞 일대의 家庭下水로서 取水地點은 南江에 放流되는 最下端에서 펌프에 의해 取水 流入시켰으며 이

들의 水質을 파악하기 위하여 1982년 11월 10일부터 1983년 3월 末까지 5개월에 걸쳐 pH, 수은, BOD<sub>5</sub>, COD, SS에 대해 調査한 結果는 그림 3 및 4와 같다.

그리고 1日中 BOD<sub>5</sub>와 COD에 대한 平均變

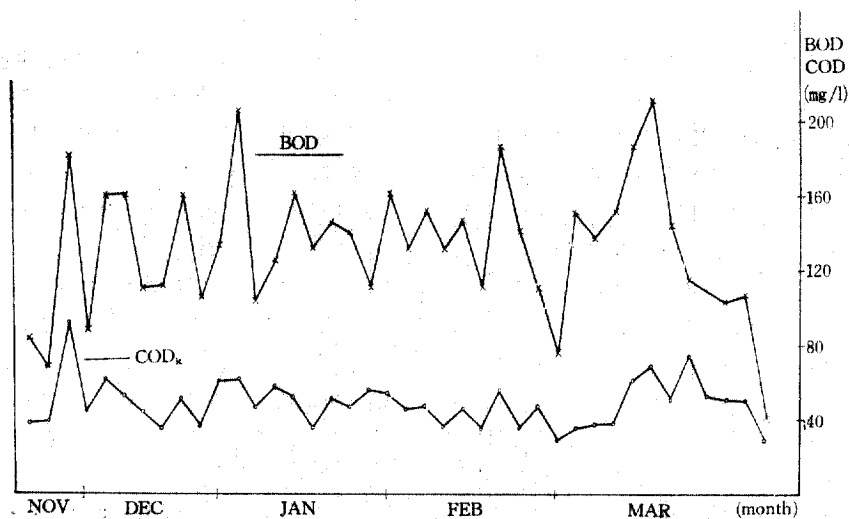


그림 3. Daily Variation in BODs and COD of Influent

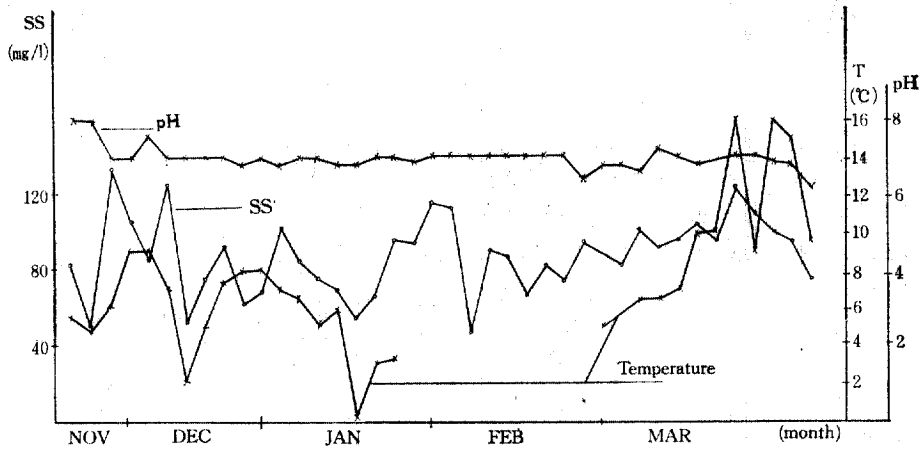


그림 4. Daily Variation in SS, pH Temperature of Influent

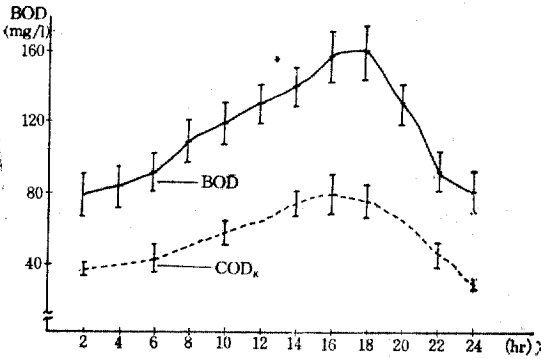


그림 5. Daily Variations of BOD and COD Values

화는 그림 5와 같다.

### 3. 實驗 및 考察

#### 3.1 回轉速度와 處理效率

回轉圓板法에서 汚水는 前處理 過程을 거쳐 反應槽 1 段階 2 段階를 거쳐 最終沈澱池까지 흘러가게 되는데 稼動 후 처음 며칠동안은 回轉圓板의 表面에는 微生物이 거의 나타나지 않았다.

그러나 回轉圓板에 의한 교반과 응집효과로 10~20%의 BOD가 除去되고 2~3일이 경과된 후 生物群은 볼 수 없으나 回轉圓板表面이 끈적 끈적한 것을 촉감으로 느낄 수 있었다. 그리하여 7~10일 경과후는 生物群이 명확히 나타나게 되고 BOD 除去는 지속적이 된다.

2~3週가 경과되면 圓板의 表面에는 生物群이 양탄자와 같이 형성되고 이때부터 BOD 除去

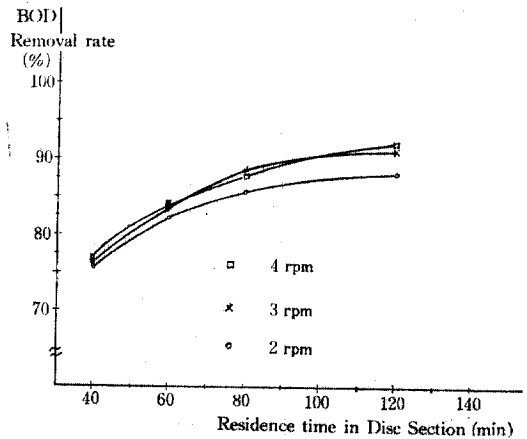


그림 6. BOD<sub>5</sub> Removal in Two-stage Pilotplant

는 正常狀態가 되며 板에 부착된 生物群은 灰色의 덩어리 모양을 이루었다.

따라서 正常狀態 이후의 체류시간과 圓板回轉速度에 의한 處理效率(BOD<sub>5</sub> 除去率)은 그림 6과 같았다.

그림 6에 의하면 處理效率는 回轉速度와 밀접한 關係가 있어 速度를 2, 3, 4 rpm(週邊速度 0.209, 0.314, 0.419 m/sec)로 바꾸면서 체류시간과의 關係를 調査했더니 回轉速度가 2, 3, 4rpm까지 증가에 대해서, 체류시간이 길어짐에 따라 BOD<sub>5</sub>의 除去率도 좋아졌다.

그런데 체류시간이 40분인 경우에는 2, 3rpm으로 速度를 바꾸어도 BOD<sub>5</sub> 제거율은 76%로 거의 變化가 없었으며, 체류시간 80분인 경우는

4 rpm 보다 3 rpm 의 속도에 대한 除去率이 더 좋은 결과를 나타내었고, 체류시간이 2 시간인 경우에는 BOD<sub>5</sub> 의 除去率이 2 rpm 가 88 %, 3rpm 가 91%, 4rpm 가 92% 의 결과를 얻을 수 있었다. 이들은 2rpm 을 기준으로 하면, 3rpm 3%, 4rpm 5% 의 더 좋은 효율을 나타내었는데, 回轉速度와 電力消費量과의 관계가 그림 7 과 같았기 때문에 최적속도를 3 rpm 으로 제안할 수 있으며, 이는 Antonie<sup>(15,16)</sup>가 추천한 값과 거의 一致되고 있다.

그리고 回轉速度와 전력소비량과의 관계식은 1~5 rpm 의 속도변화에 대한 값을  $y=ax^2+bx+c$  의 최소자승법에 의해

$$P_w = 0.9N^2 - 0.224N + 1.47$$

여기서  $P_w$  는 소비전력량 (kw/hr)

$N$  는 回轉速度 (rpm)

로 提示할 수 있었다.

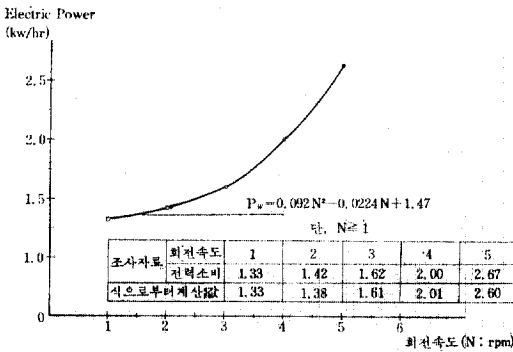


그림 7. Relationship between Rotating Speed and Electric Power.

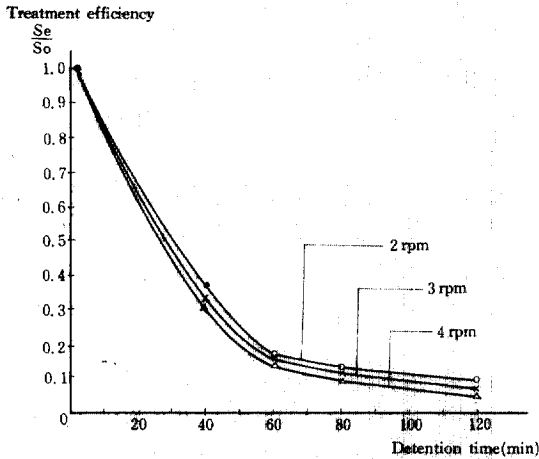


그림 8. Relationship between the Detention Time and Remaining BOD Rate.

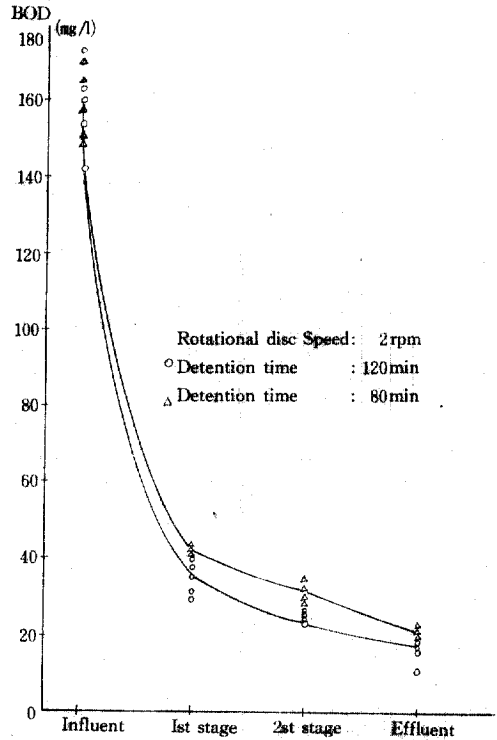


그림 9. Remaining BOD for Each Stage of RBC at Rotational Disc Speed of 2 rpm

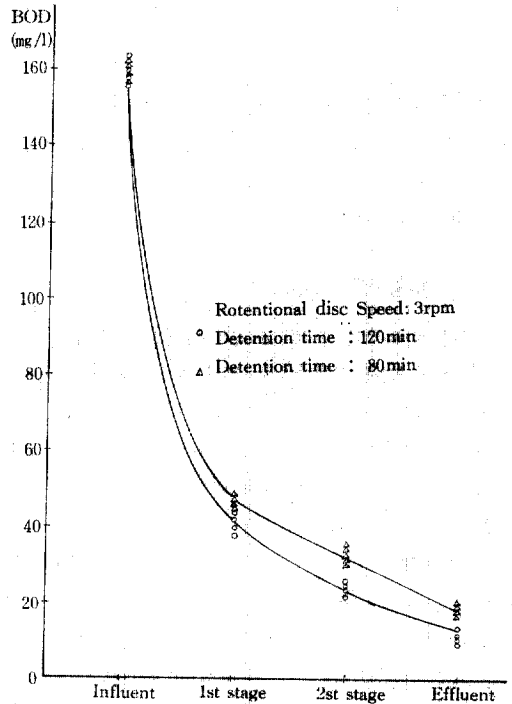


그림 10. Remaining BOD for Each Stage of RBC at Rotational Disc Speed of 3 rpm.

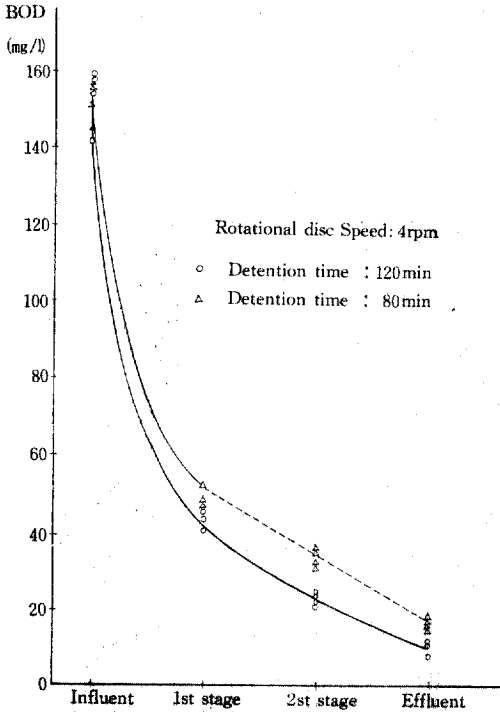


그림 11. Remaining BOD for Each of RBC at Rotational Disc Speed of 4rpm.

效流水의 잔유 BOD<sub>5</sub>는 2rpm 120分 체류시간에 15 mg/l인데 비해 3rpm에서는 10 mg/l, 4rpm인 경우는 8 mg/l 정도 이었다.

이러한 實驗結果로 回轉圓板生物膜法에서 處理는 回轉速度보다 체류시간이 더 큰 영향이 있음을 알았다<sup>(15,16)</sup>.

또한 체류시간에 대한 처리효율( $S_e/S_0$ )을 回轉速度에 따라 나타낸 것이 그림 8이며 回轉速度를 2, 3, 4 rpm에 대한 段階別 잔유 BOD<sub>5</sub> 체류시간 80分, 120분에 대해 나타낸 것이 그림 9~11이다.

### 3.2 滯留時間 流入濃도와 處理效率

流入水量은 밸브로 자유로이 調節할 수 있기 때문에 滯留時間을 40, 60, 80, 120分の 4 단계로 變更시키면서 實驗을 하였다. 流入水의 濃도와 除去率과의 관계는 그림 12와 같았다.

그림 12에서 보면 低濃度에서 除去率이 76% 以下이던 것이 BOD<sub>5</sub> 농도가 100~400 mg/l 의 범

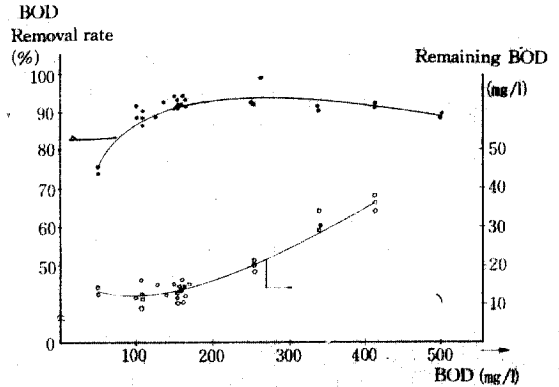


그림 12. Relationship between Influent BOD<sub>5</sub> and Removal Efficiency BOD for Various Influent Concentration (Condition: 3rpm. detentiontime 120 min)

위에서는 90% 이상 됨을 알 수 있었고, BOD<sub>5</sub>가 450 mg/l 以上으로 높게 되니 除去率이 감소되는 경향으로 나타났다.

處理效率는 圓板의 回轉速度와 滯留時間에 밀접한 관계가 있음이 확인된 바 있으며 이들의 관계는 그림 13, 14에 나타내었다. 여기서 BOD<sub>5</sub> 200 mg/l 以下에서는 체류시간이 120分인 경우 除去率은 90%를 上廻하였고, 잔유 BOD는 10~14 mg/l 정도였다. 이에 반해 容積負荷 2.0 kg BOD/m<sup>2</sup>. 日의 高濃度에서는 除去率이 88~90% 범위였고 잔유 BOD<sub>5</sub>는 50 mg/l 전후로 나타났다.

다음 段階別 處理效率는 그림 18을 보면 첫 단계에서 40~50% 除去되는 것이 一般의이며,

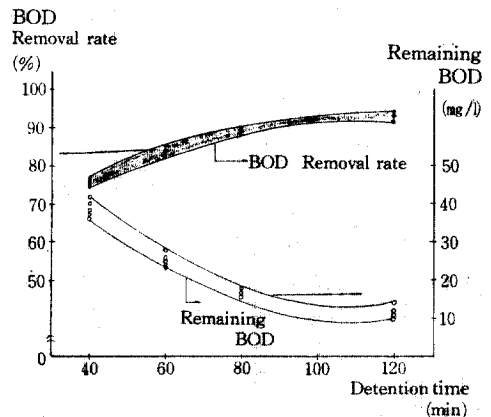


그림 13. Relationship between Detention Time, Remaining BOD and BOD Removal for Influent of Low Concentration (3rpm)

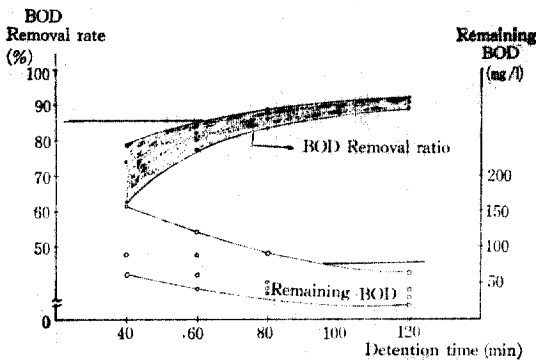


그림 14. Relationship between Detention Time, Remaining BOD and BOD Removal for Influent of High Concentration (3rpm)

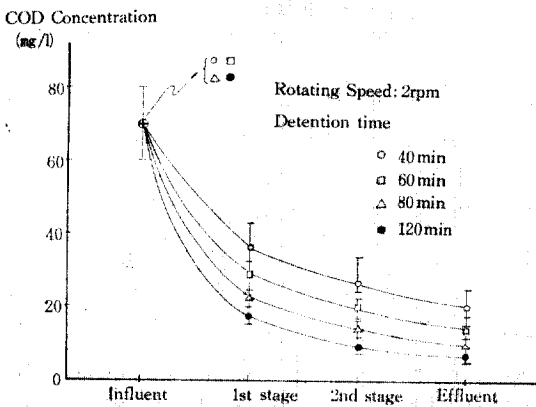


그림 15. Relationship between Remaining COD at Each Stage and COD Concentration (2rpm)

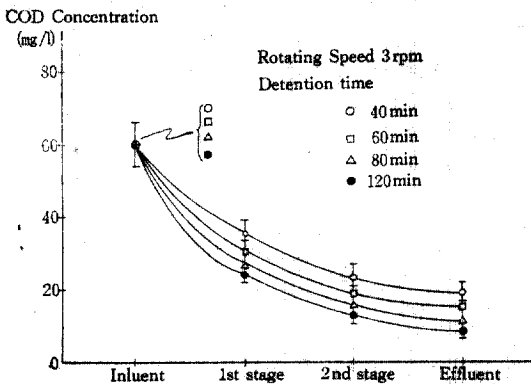


그림 16. Relationship between Remaining COD at Each Stage and COD Concentration (3rpm)

체류시간 120 분에서 放流水의 COD 除去率도 85 % 以上으로 잔유 COD 가 10 mg/l 정도였었다. 단계별 COD 負荷와 잔유 COD 와의 관계를 回轉時間, 滯留時間, 온도의 變化에 따라 나타낸 것

이 그림 15 및 16 이다.

이상의 實驗을 하는 동안 운전관리가 활성슬러지법, 2 단폭기법 媒質을 이용한 2 단폭기법 보다 쉽게 할 수 있음을 알았다.

다만 온도가 0°C 以下에서는 disc 에 부착된 biofilm 의 脫離現象이 일어나기 때문에 保溫에 대한 관리가 필요했다.

#### 4. 結 論

以上の 內容에서 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 處理效率는 경제성을 고려 회전속도가 3rpm (週邊速度: 0.314 m/sec)으로 정할 수 있었다.

2) 一般家庭下水의 경우 1 段階에서는 BOD<sub>5</sub>의 除去率이 40~70 % 였고, 流出水는 2 시간의 滯留時間에서 90 % 以上の 處理效率를 얻을 수 있었다.

3) 家庭下水에 분뇨를 混合한 高濃度(BOD<sub>5</sub> 250~400 mg/l) 流入污水에 대해서도 만족할 만한 處理結果(BOD 除去率 85~90 %)를 얻을 수 있었다.

4) 高濃度の 流入水에 대해 활성슬러지법은 그 除去率이 크게 低下되는데 반해 回轉圓板法은 큰 영향을 받지 않았다.

5) 回轉速度와 動力消費量과의 關係는

$$P_w = 0.09N^2 - 0.224N + 1.47$$

로 나타낼 수 있었다.

6) 운전관리가 활성슬러지법에 비해 아주 容易하며 또 技術人力을 줄일 수 있는 問題에 대한 검토를 행할 가치가 충분히 있다.

#### 參 考 文 獻

1. J. Doman "Result of Operation of Experimental Contact Filter with Partially Submerged Rotating plates" *Sewage works Journal* Vol. 1, No. 5, pp 555~560. (1929)
2. H. Hartman "Development and Operation of Rotating Biological Contactors" GWF(Wasser-Abwasser) (1960).
3. F. pöpel "Aufbau Abbauleistung und Bemessung Von Tauchtropfkörper" *Schweizerische Zeite Zur*



*Siedlungs Wasserwirtschaft* 11(1964).

4. 神山桂一 “馬鈴薯 澱粉工場における 廢水處理の問題點と生物化學的處理實驗” 用水と廢水 Vol. 3, No.12 pp.1~10 (1961).
5. 神山桂一 “回轉圓板接觸體による下水及澱粉廢水處理の研究” 第13回上下水道研究發表講演集 5(1962).
6. 渡邊義公 石黒政儀外 “回轉圓板法の淨化機構に関する研究” 下水道協會誌 Vol. 9, No. 6 pp.24~26 (1978).
7. 石黒政儀 “エネルギー消費の觀點からみた下水處理技術” 月刊水道 Vol. 2, No. 1 pp.100~106 (1979). 8. Vol.
8. 伊藤尚夫 本多瀧裕 野尻導彦, 欠保淳角谷和生 “回轉接觸板方式による下水處理實驗裝置の構造と機能” 水處理技術 No. 12 33 (1967).
9. 星野定司, 欠保田宏 “回轉圓板法 廢水處理 操作” 水處理技術 Vol. 8, No. 1 29(1977).
10. 金子欣司 “回轉圓板法における維持管理” 用水と廢水 Vol. 19, No. 7 40(1977).
11. Famularo, J. Mueller, J.A. Mulligan, T. “Application of Mass Transfer to RBC” *Journal WPCF* 653 April (1978).
12. Clark, J.H. Moseng, E.M. Takashi, A. “Performance of a RBC under Varying Wastewater Flow” *Journal WPCF* 896 May (1978).
13. 加藤善盛 “下水處理の省エネルギー化と回轉圓板法” 環境技術 Vol. 9, No. 8 (1980).
14. 遠藤郁夫 田村隆後 “回轉濾床法に関する實驗的研究” 下水道協會誌 Vol. 18, No. 208 (1981).
15. Joost, R.H. “Systemation in Using the Rotating Biological Surface Waste Treatment Process” *Proc. of the 24th Indus, waste Conf. Purdue Unvi* 365(1969).
16. McAilley, J.E. “A Pilot Plant Study of a Rotating Biological Surface for Secondary Treatment of Unbleached Kraft Mill Waste” *Tappi Vol.* 57, No. 9 Sep (1974).
17. Torpey, W.N. Heukelkian, H. Kaplovsky, A.J. and Epstein, R., “Rotating Disks with Biological Growths Prepare Wastewater for Disposal or Reuse”, *Journal WPCF Vol. 43, No. 11* 2181 (1971).
18. Antonie, R.L. “Application of the Bio-Disc Process to Treatment of Domestic Wastewater” *43rd Annual Conference of the water Pollution Control Federation*, oct (1970).
19. Friedman, A.A. Robbins, L.E., “Effect of Disk Rotational Speed on Biological Contactor Efficiency,” *Journal WPCF Vol. 51, No. 11* Nov (1979).
20. 鄭泰鶴 “回轉圓板을 이용한 下水의 窒酸化에 關한 實驗的 研究” 大韓土木學會誌 Vol. 29, No. 2 Apr (1981).
21. 鄭泰鶴 “回轉圓板接觸法에 의한 廢水處理의 模型에 關한 研究” 大韓土木學會誌 Vol. 2, No. 2 Jun (1982).
22. 鄭泰鶴 “微生物膜을 이용한 廢水處理의 數學的 모델에 關한 研究” 大韓土木學會論文集 Vol. 1, No. 1 (1981).
23. 韓泳教 外 “回轉圓板生膜法에 關한 研究” 公害對策 Vol. 13, No. 6 12月號 (1982).
24. Antonie, R.L. “*Fixed Biological Surface-Wastewater Treatment.*” CRC Press (1976).
25. Antonie, R.L. et al “Evaluation of a Rotating Disk Wastewater Treatment Plant” *Journal WPCF Vol. 46, No. 3.* (1974).

(接受: 1984. 1. 17)