

# 旋轉生物圓盤法在工業廢水處理之應用

歐陽嶠暉\*

## 一、前　　言

旋轉生物圓盤法 (Rotating Biological Contactor) 簡稱 RBC 法，為生物處理的一種，由於其可在短時間接觸下獲得高處理效率，對負荷變動較具彈性，設計簡單、產生污泥量少，無活性污泥法之膨化 (bulking)、發泡 (foaming)、及滴濾法之散發臭氣、濾池阻塞等缺點，且噪音小，操作上不必如活性污泥法需迴流污泥、調節污泥濃度及曝氣槽之溶氧量等高度技術，所須動力亦較活性污泥法為少；因此，近年來歐、美、日本等國漸加重視，而積極開發為有機工業廢水及都市污水處理之用。

截至1980年6月30日資料，在美國已有441處理廠採用本法處理  $3,213,329 \text{ m}^3/\text{d}$  之廢水，其量之比率主要以家庭污水佔 90%，373 廟。在歐洲至 1979 年底則已有 2,000 廟以上。而日本截至 1980 年 4 月底，亦已有 1,028 廟，處理  $331,253 \text{ m}^3/\text{d}$  之廢水，廠數及處理數量，生活排水及生產事業廢水各約佔一半。臺灣地區也已有數廠在操作中。RBC 法實用化至今約 10 年，而能有上述之發展，可見其受重視之一斑。

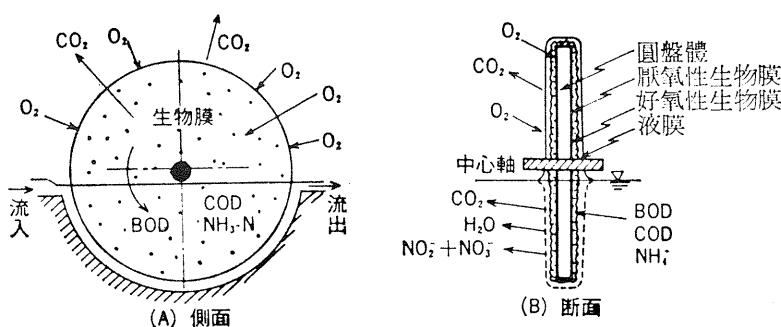
本文為針對 RBC 法在工業廢水處理上之應用加以探討，以供參考。

## 二、原 理 與 特 徵

### 2.1 原　　理

RBC 法為利用附着於圓板上之微生物羣以去除廢水中有機性污染物質的處理法。

RBC 法為將一連串的圓盤分成數段，其直徑之 40% 浸於接觸槽之水中，當緩慢旋轉圓盤與進流污水接觸後，經數日圓板表面開始產生附着微生物羣，這些微生物羣隨着圓盤的旋轉，自空氣中吸收氧及自水中吸收有機物進行好氧性分解。微生物之厚度通常為  $0.5\sim2 \text{ mm}$ ，隨着接觸日數微生物膜漸厚，被覆蓋於底層的微生物羣呈厭氧性，當其失去活性時則由於圓盤旋轉的剪力，而使微生物羣（污泥）自圓盤表面脫落，併同溢流水接觸槽流出，而於沉澱池分離去除污泥。旋轉生物盤法之原理示如圖一。



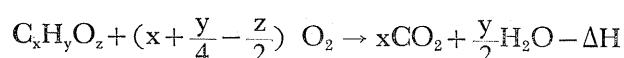
圖一 旋轉生物圓盤法之原理

\* 本小組委員

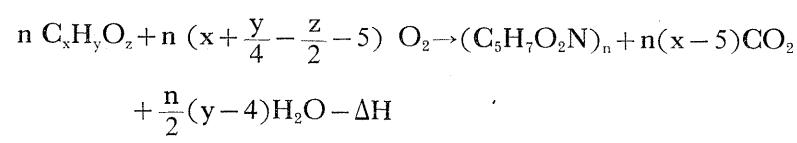
國立中央大學土木工程學研究所兼所長

RBC 法之好氧性微生物膜去除 BOD，可以 Eckenfelder 之式表之，微生物羣用空氣及水中之氧以分解廢水中之碳水化合物、脂肪、蛋白質等，成為  $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$ ，其反應式為：

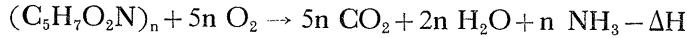
(1)有機物之氧化



(2)細胞之合成 (形成污泥)



(3)細胞質之氧化

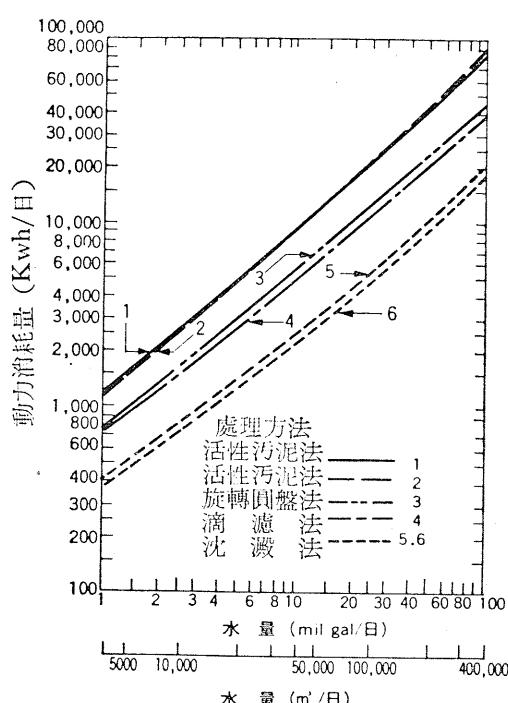


即廢水中的有機物一部份與微生物羣相接觸，依(1)式氧化形成  $\text{CO}_2$  及水等有機物，其他一部份依(2)式被微生物之細胞所利用，當廢水中有機物量少時，主要反應則為微生物羣依(3)式自行分解獲得熱能。

## 2.2 特徵

### 1. 動力費省

微生物羣所需氧量，為當圓盤轉至空中時，由大氣中攝取之，即不需要於接觸反應槽內曝氣，且不需迴流污泥因之所需動力較省（與標準活性污泥法相比較）。



圖二 廢水處理之動力比較

一般都市污水以本法處理，若入流水  $BOD 200 \text{ mg/l}$ ，則每去除單位  $BOD$  所需動力為  $0.7 \text{ kwh/kg} \cdot \text{BOD}$ ，標準活性污泥約為  $2.4 \text{ kwh/kg} \cdot \text{BOD}$ 。在二級處理負荷為  $100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ ， $150 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ ，則其動力為標準活性污泥法的  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 。而活性污泥法曝氣及迴流污泥所需電力為全廠的  $40\sim60\%$ ，則 RBC 法可節省整體動力的  $30\sim40\%$ 。圖二為美國 EPA 統計各種處理法之動力比較。

#### 2. 操作管理容易，不需高度技術

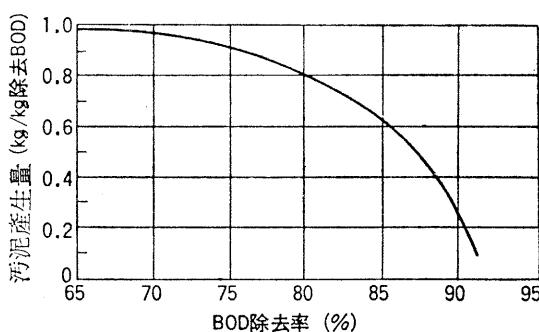
不若活性污泥法需調節曝氣槽之 MLSS 及送風量，也無發生膨化之間題，且無複雜的機械設備，僅每日觀察圓盤體及驅動部並定期加油即可。

#### 3. 短時間接觸可獲高淨化率，對於負荷的變動，影響較少。

由於圓盤上附着的生物膜達  $50\sim150 \text{ g/m}^2$ ，換算為槽中的 MLVSS 相當於  $20,000\sim50,000 \text{ mg/l}$ ，因之 F/M 低是為可獲高淨化率之原因。再則後段之生物以原生動物、藻類、後生動物等微生物羣，種類多，對於負荷的變化，較具緩衝能力。

#### 4. 污泥產生量少

由於係生物膜法，因之微生物的食物鏈環長，污泥產生量約僅為活性污泥法的二分之一左右。污泥產生量依原廢水的水溫、SS 濃度、圓盤旋轉數及  $BOD$  去除率而異，依據美國 EPA 都市污水  $BOD$  去除率與污泥產生率之關係示如圖三。



圖三  $BOD$  去除率與污泥產生量

#### 5. 自高濃度至低濃度，可處理範圍廣

$BOD$  處理範圍可自  $5\sim40,000 \text{ mg/l}$  由於各段生物不相同，若  $BOD$  在  $30 \text{ mg/l}$  以下可達硝化，而可以全浸水圓盤進行脫氮。

#### 6. 沒有發生污水蠅、惡臭、發泡、濾池阻塞及噪音等問題，

#### 7. 用地面積與活性污泥法相同，若用地狹小可將平面多段式改為立體多段式配置。

#### 8. 由於污泥產生量少，可直接以 Drum filter 分離污泥，而不需最終沉澱池，可使用地更為減少。

### 三、旋轉圓盤處理設施之設計

旋轉生物圓盤法之處理設備，主要包括接觸槽、旋轉圓盤體、中心軸、驅動馬達、減速機、鏈條及覆蓋物等。接觸槽有混凝土製及鐵板製。圓板之材質種類很多，一般使用者有發泡苯乙烯(styrol)、聚氯乙烯(polyvinyl chloride)、聚乙稀(polyethylene)、耐用夾板質輕不腐敗物。目前各國使用之旋轉生物圓盤接觸體之規格比較如表 1。

由上表知道 RBC 法設備構造上，與設計有關的條件，包括液量面積比(G 值)、圓板間隔、浸水率、材質、圓板形狀及覆蓋物等。

表 1 各國旋轉圓盤接觸體之規格(代表性)

國別 項目	西德	瑞士	英國	美國	日本
形 式	平 板	平 板	平 板	平 板	波 板
材 質	P S	P E	P E	P E	FRP. PE. PVC.
形 狀	發 泡 體	粗 糙 體	網 狀	平板／波板	平板／波板
圓板直徑(m)	2~5	2~3.4	1~4.0	1.2~3.6	1.0~4.0
軸長(m)	1.4~8.0	2.0~9.0	4.8~8.0	2.0~7.5	1.0~8.0
圓板間隔(mm)	15~30	15~30	19	15~30	10~30
圓板厚度(mm)	0.8~7.0	0.8~1.0	0.7	0.8~1.6	0.7~2.0
圓板面積( $m^2$ /軸)	300~10,000	630~5,880	300~7,200	750~14,840	350~8,800
液量面積比( $\ell/m^2$ )	3.6~20.0	6.0~16.8	5.4~10.4	2.8~5.8	4.1~10.2
浸水率(%)	40	70	40	40	40
周速(m/min)	$\leq 18$	$\leq 18$	$\leq 18$	$\leq 18$	$\leq 18$

#### 3.1 圓盤材質

圓板材質很多，主要為塑膠及硬質發泡體兩種，歐洲主要用發泡體圓盤，美國則多用聚乙稀板。發泡體因具浮力，可減輕中心軸的負荷，但由於增加無效體積，致增大用地面積。發泡體多用聚乙稀(polyethylene)，板狀者則用 PVC 或聚乙稀。一般材質以具耐久性，能使生物膜易於附着者為佳。

#### 3.2 圓盤表面形狀

早期圓盤之形狀為平板者，其後為增加圓盤表面積，而創造出各種表面，尤其塑膠材料加工容易，而製造出各種形狀的圓盤。大致有兩種：(1)波浪形，原圓盤表面製造成波浪狀，約可比平板增加 1.2~1.3 倍之面積。(2)蜂巢型板，為美國 Autotrol 等所開發者，狀如蜂巢，面積約為同直徑平板的兩倍。

#### 3.3 圓盤間隔

RBC 法在處理過程中，隨着處理開始，其表面生物膜日漸增厚致間隔漸減少，甚至有發生閉塞現象，因之間隔以較寬者為宜。生物膜之厚薄，依 BOD 負荷及廢水種類及操作狀況而異。適宜間隔如表 2。

表 2 第一段 BOD 負荷與圓板間隔

BOD 負荷 (第 1 段, g/m <sup>2</sup> ·d)		間隔 (mm)
一 般	碳水化合物	
45	45	15
45~70	15~20	20
70 以下	20	25

### 3.4 圓板直徑

如表 1 所示，一般圓板直徑為 2.0~3.6m，最大為 5.0m。直徑愈大則圓板面積愈大，接觸槽所佔的面積越小。若以直徑較小的模型廠實驗結果應用於大直徑之圓盤時，以 0.5m 直徑之值應用於 2.0m 直徑時須增面積 15%，2.0m 應用為 3.5m 直徑時，須增 10% 的面積，為歷經實際操作所獲致之結論。

### 3.5 浸水率

圓板浸水率大都採 40~70%，惟一般多採 40%。

### 3.6 液量面積比 (G 值)

液量面積比為接觸槽實容積與圓盤面積之比 ( $\frac{V}{A} \times 10^3$ )。槽之容積應為接觸槽容積減去圓盤浸水部份之容積。

依據 Antonie 實驗，一般廢水處理 G 值在 5 ℥/m<sup>2</sup> 以上處理效率之影響很小，但若廢水濃度較低或存在有微生物不易處理之物質，則必須增加其接觸時間，而採用較大 G 值。

水量面積負荷，有機物濃度面積負荷及停留時間，相互間之關係，可由下式表之：

$$B.L (g/m^2 \cdot d) = \frac{Q \times C_{in}}{A} = C_{in} \times H.L$$

$$H.L (\ell/m^2 \cdot d) = \frac{Q}{A} \times 1000 = \frac{G}{\theta_a} \times 24$$

$$\theta_a = \frac{V}{Q} \times 24 = \frac{G}{H.L} \times 24$$

式中  $C_{in}$  : 進流水 BOD 濃度 (mg/ℓ)

$V$  : 接觸槽實容積 (m<sup>3</sup>)

$Q$  : 進水流量 (m<sup>3</sup>/d)

$A$  : 圓盤總表面積 (m<sup>2</sup>)

$B.L$  : 進流水 BOD 之圓盤面積負荷 (g/m<sup>2</sup>·d)

$H.L$  : 進流水水量之圓盤面積負荷 (ℓ/m<sup>2</sup>·d)

$\theta_a$  : 進流水停留時間或接觸時間 (hrs)

在這些指標中，於設計時應以何者為先決條件似無一定的規律，而實際上互有密切的關係。

### 3.7 段數

RBC 法與其他生物處理法最大的不同點為本法幾乎為推進式之水流，也即不需迴流污泥。並可視需要調節段數，段數之增加有下述諸優點：

(1) 第 1 段由於進流水 BOD 濃度高，生物膜生長迅速，致 MLSS 濃度非常高，對於流量、濃度之負荷變化較易適應。

(2) 多段處理，各段可生長適當之微生物。

(3) 依據操作經驗，多段槽較單槽處理效率高。

(4) 多段處理由於食物鏈環作用，可減少污泥之產生量。

一般在處理上多採用 4 段並聯或串聯，段數以多者為宜，但若過多反而增加第 1 段之負荷，由於溶氧供給不足致散發臭氣，但此點可以增加第 1 段之面積或增加旋轉速度以提高溶氧供給能力，或於第 1 段注入純氧改善之。

### 3.8 攪拌

旋轉生物圓盤之旋轉，對溶氧移動及槽內水流之影響很大，槽內的水流狀況對於廢水的混合、污泥的沉降及 BOD 的去除也有很大的影響。依據神山、加藤之研究，圓盤與槽底之間隔 (a) 及圓盤直徑 (d) 之關係，以  $a/d = 0.055$  為宜。

### 3.9 廢水流入與軸旋轉方向

廢水之流入方法有三種，即(1)與軸成垂直流入，而與旋轉方向同流向，(2)與軸成垂直流入，而與旋轉方向逆流向，(3)與軸同方向流入者。一般(1)及(2)中以(1)為宜，因逆流向者易與表層下之水流成短路流。水流之流入以多點或均勻為宜。

### 3.10 圓盤覆蓋

為防止圓盤設備遭受風、雨吹打、日光曝曬，應附有覆蓋物或設置於建築物內。覆蓋物之材質一般用 FRP 等材料，以具耐蝕、耐荷重而不透明易於組立、拆除及通風者，尤其通風具有防臭效果，為通風需要，覆蓋面積上應有 0.01% 以上之開孔。

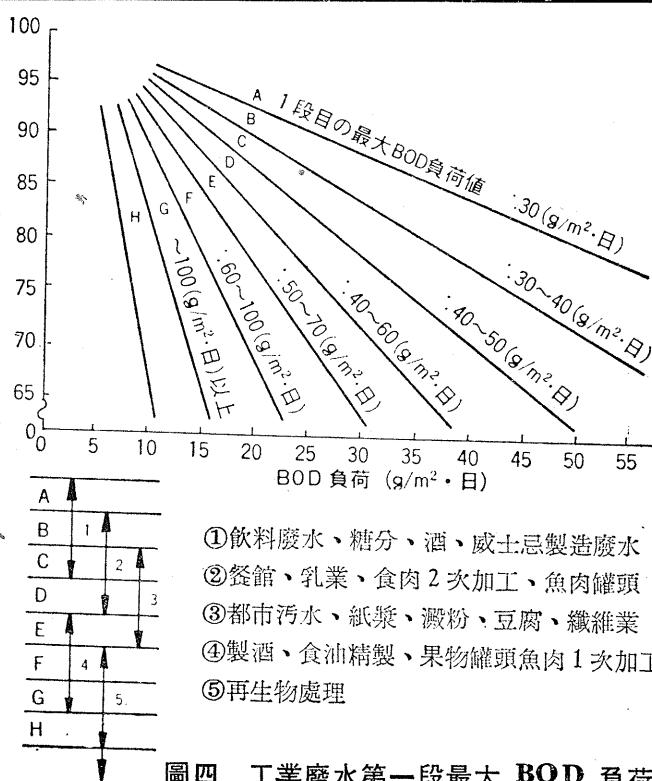
## 四、工業廢水處理上之應用

根據文獻，在美國有 68 個處理設施，日本有 581 個處理設施採用旋轉生物圓盤法處理工業廢水。

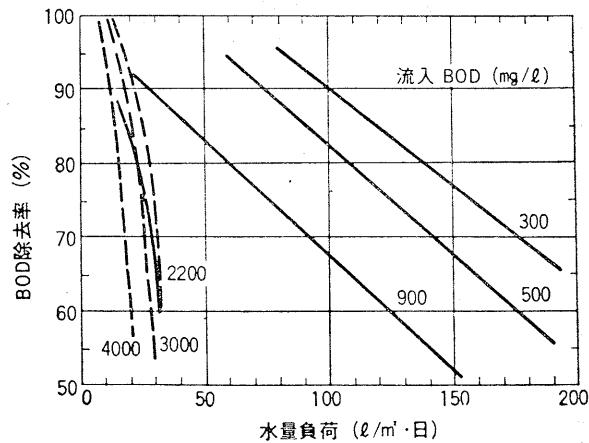
工業廢水之種類極多，廢水之 BOD 濃自  $100 \sim 6,000 \text{ mg/l}$ ，根據日本操作中之處理設施，按其廢水種類設計之 BOD 面積負荷示如表 3，將該表歸納為 5 類廢水，其第 1 段之最大 BOD 面積負荷及 BOD 去除率之關係示如圖四。在一般處理上，若原水濃度高，可於第 2 段或第 3 段之後設置中間沉澱池可提高去除率。圖五為美國乳業廢水處理例，圖六為紙漿，造紙工業廢水之操作例，圖七為各種廢水之 BOD 面積負荷及去除率之關係，原水水質之不同，其負荷及去除率亦異。表 4 為歐洲高濃度廢水以旋轉圓盤處理工廠廢水之數值。表中 BOD  $10,000 \sim 40,000 \text{ mg/l}$  者為以純氧之旋轉圓盤處理者，依據歐洲之經驗報告，高濃度有機廢水被認為以純氧旋轉圓盤處理為最適宜的方法。

表 3 各種工業廢水之圓盤設計面積負荷值

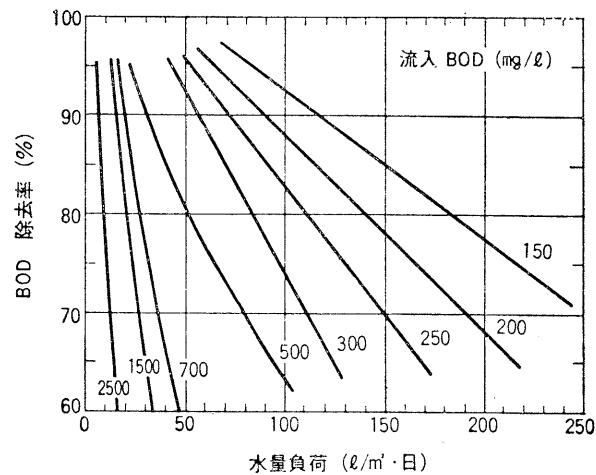
號碼	廢水名	原水 BOD (mg/l)	BOD 面積負荷 (g/m <sup>2</sup> ·日)	號碼	廢水名	原水 BOD (mg/l)	BOD 面積負荷 (g/m <sup>2</sup> ·日)
1	水產加工	400~1,000	30~90	19	紙漿	100~2,300	6~80
2	魚肉加工	150~444	25~60	20	精練漂白	800~1,000	50~65
3	魚市場	100~600	15~20	21	廢紙再生	300~800	10~20
4	食肉加工	100~1,500	10~20	22	抄紙白水	50~100	10~15
5	食鳥加工	300~500	15~20	23	石油廢水	100~800	5~80
6	味噌醬油製造	150~600	5~25	24	洗衣	85~140	8~10
7	食用油製造	400~600	20~25	25	乾洗	300~500	10~20
8	醬菜	500~1,500	30~50	26	製藥	600~1,000	5~25
9	釀酒	700~2,000	15~20	27	醫院	120~450	10~15
10	乳業	300~4,000	30~60	28	屠宰場	750~2,500	8~10
11	果實罐頭	1,000~1,600	20~60	29	養豬場	200~250	5~20
12	蜜柑罐頭	200~1,400	30~40	30	養豬場	500~800	25~30
13	芋頭罐頭	100~200	15~25	31	養豬場	1,000~1,300	25~50
14	餐館	200~500	10~30	32	稀釋水肥	2,000	5~30
15	蠶系	1,400~6,000	10~20	33	化糞池	100~200	5~7
16	染色	120~200	20~40	34	併化糞池處理	70~230	5~7
17	塗裝	70~140	4~6	35	焚化(垃圾)場	300~1,000	10~20
18	羊毛	150~200	20~25	36	垃圾掩埋	10~200	1~20



圖四 工業廢水第一段最大 BOD 負荷及 BOD 去除率之關係



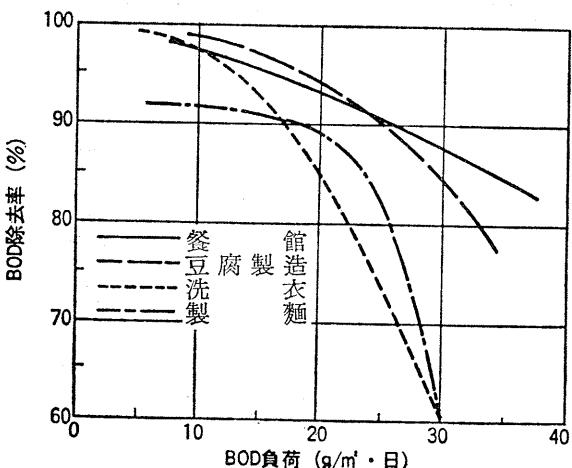
圖五 乳業工業廢水



圖六 紙漿、製紙廢水

表 4 高濃度工業廢水之處理數值表

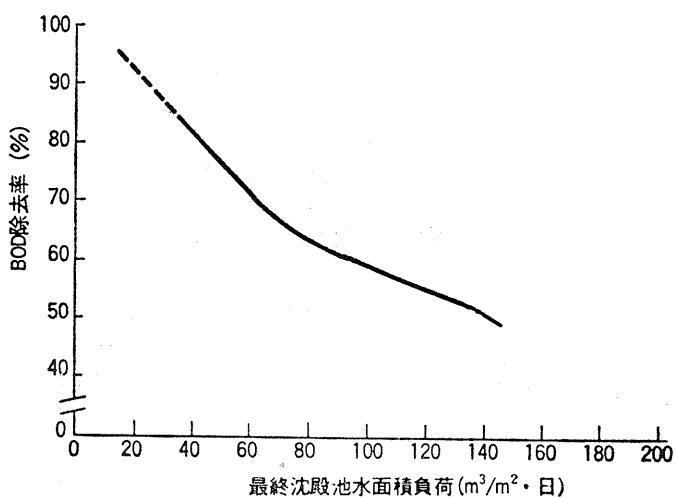
廢水種類	設置位置	處理流量 (m³/d)	流入水質 BOD (mg/l)	處理水 BOD (mg/l)	BOD面積 負荷 (g/m²·d)	圓盤體 (Φ3.0m) 表面積(m²)
製 酪	西 德	200	210~40,000 (平均 2,500)	12~45	20~25	6段1列 (3,000×6)
罐 頭	英 國	2,000	4,500~10,000	100~250	25	3段6列 (2,800×18)
酵 母、酒 精	西 德	50	1,000~10,000	6~440		純氧圓盤法
製 酒	義 大 利	400	2,500~3,500 (NH <sub>3</sub> -N. 1,000~1,500)	650~850	150	4段1列 (2,700×4)
橄 欖 油	義 大 利	500	40,000			純氧圓盤法



圖七 各種廢水 BOD 負荷及去除率

旋轉圓盤體接觸槽流出水之 MLSS，較活性污泥法曝氣槽之流出水為低，圓盤槽流入 BOD 200~300 mg/l 時，最終沉澱池流入之 MLSS 為 100 mg/l 左右。根據實際操作，旋轉圓盤法最終沉澱池之水面積負荷與 BOD 去除率之關係示如圖八。

至於污泥處理，與其他生物處理法相同，需要有濃縮槽及脫水設備，但由於本法所產生之污泥量少，因之所需之設備可較少。



圖八 旋轉圓盤法之最終沉澱池水面積負荷

## 五、結語

本文僅就一般旋轉圓盤法在工業廢水二級處理上之應用，加以扼要介紹，提供工業界及水處理公司於檢討處理工業廢水時之參考為目的，匆促執筆，若有疏漏之處敬請指正。

## 參 考 文 獻

1. 歐陽嶠暉：旋轉圓板法汙泥特性。博士學位論文。
2. 楠木正康、岩井重久：生物膜法。產業用水調查會。
3. 回轉圓板技術研究會：回轉圓板法污水處理技術。山海堂
4. U.S.E.P.A. and University of Pittsburgh : Proceeding of First National Symposium on Rotating Biological Contactor Technology. Feb. 1980.