

工程實務

塑膠濾材滴濾法之設計

歐陽嶠暉*

一、基本原理

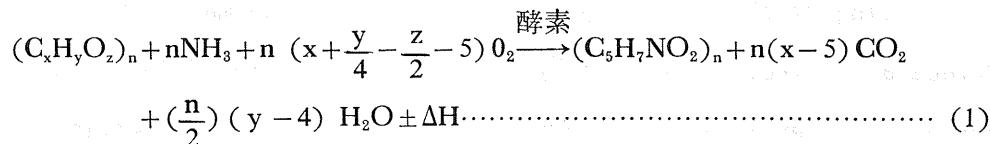
清淨的河川承受有機廢水後，在其流入點之下游河川水質遭受污染，惟污染程度隨着流程漸行減少，當污染狀況降至某一限值以下時，必將再度恢復為清淨的河川，此一現象乃河川本身具有自淨能力之故，這一作用稱為自淨作用。

河川的自淨主要賴棲息於水中及底床中之各種生物的作用，尤其於較淺的河川，受底床生物的影響至大。河川的底床若為礫石，則該礫石的表面，常被細菌、藻類、原生動物等微生物及輪蟲類、貧毛類等微小後生動物所組成之軟泥 (Slime) 覆蓋，此軟泥即為生物膜。將河川中生物膜淨化有機物質的機能移至槽中，利用人工控制以提高處理效率，進行有機廢水的處理，是為固定膜生物處理法。

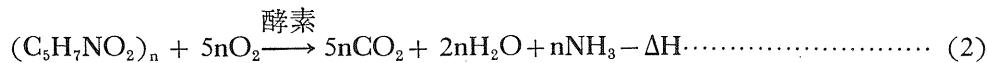
河川中的生物膜，只附着存在於河床之一面，但固定生物膜廢水處理設施，則除增大單位容積之生物膜表面積外，並使廢水能與該等生物膜充分接觸為主要條件。

生物膜依廢水處理設施及溶氧供給方式的不同，可分為(1)滴濾法，(2)旋轉生物盤法，及(3)接觸曝氣法等三種。皆為於濾材或圓盤之表面，增殖固定生物羣，藉以氧化、分解廢水中之有機性污染物質的處理方法。

生物膜之代謝模式示如圖一。廢水中之有機質、氮、磷等，被存在於生物膜中之微生物，於好氧性狀態下攝取之。生物膜之反應，主要受基質 (BOD) 及氧所限制，若以化學方程式表之如下：



而微生物同時以其一部份進行內呼吸而氧化之：



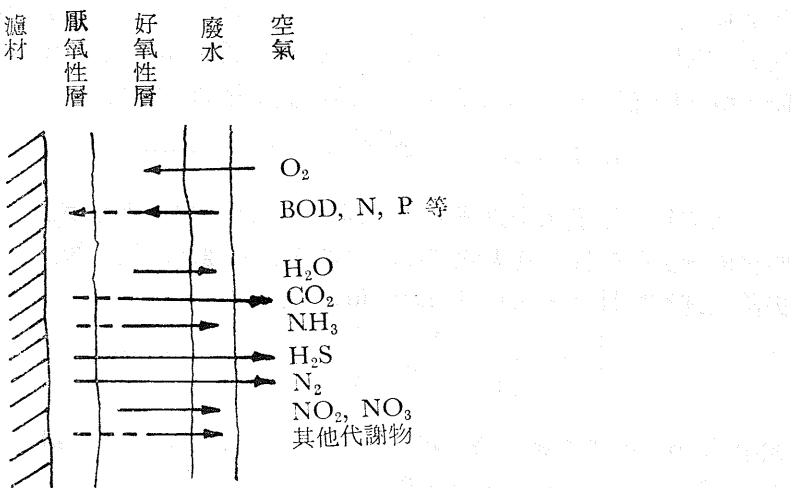
式中 $\pm \Delta H$ 為反應時所利用之能量。

生物膜隨著生長而積厚，由於氧無法到達深部而形成厭氧性層，一般認為氧能够貫入生物膜之深度約為 2~3mm。三級處理以外之生物膜法，一般存在有厭氧性層，該層由於厭氧性微生物的代謝而產生有機酸、硫化氫等。故若生物膜過份積厚，將因有機物的厭氧分解而散發惡臭。而

* 本小組委員

中央大學土木研究所所長

好氧性層增殖之微生物，一部份於厭氧性狀態下分解，隨着分解的進行，生物膜自濾材剝落，而再開始形成新的生物膜，厭氧性層過於增大，不利於好氧性處理，因之近年來頗著重於加速生物膜的更新，為生物膜處理法，最近發展的傾向。



圖一 生物膜之代謝模式

式(1)表示微生物直接攝取有機物質的反應，但事實上並不如此單純。生物膜之生物相雖與活性污泥並無太大的差別，但在有日光的地方常有藻類出現，以及菌類及大形生物的出現為其特性。通常藻類在生物膜淨化上並不重要，而以原生動物最多，尤其是纖毛蟲類。且與活性污泥不同，以分歧增殖之綠毛較佔優勢。也有後生動物輪蟲類、線蟲類、昆蟲類、貝類、貧毛類等出現。廢水中的有機質被細菌、菌類所攝取，而該等微生物再被原生動物或後生動物攝取，於生物膜中發生食物鏈鎖現象，且該等動物在淨化過程，扮演着重要的角色。也即生物膜構成一生態系，而其質與量的組成對於廢水的處理效率有着極微妙的影響。雖然各種動物，不可能直接攝取廢水中之有機質，惟一般認為生物膜正常處理上不可欠者。

三、BOD 去除之動力學

生物膜法之去除 BOD，為氧移動、基質 (BOD) 移動及生物化學反應三者同時進行而發生。而三者之中任何一個皆會影響 BOD 之去除速度。

Howland 對於滴濾池，假設如同活性污泥法一樣為一次反應式

式中： k ：反應速度係數 (day^{-1})

L_0 : 流入水之 BOD (mg/ℓ)

L_e ：流出水之 BOD (mg/l)

t : 廢水之平均接觸時間 (day)

平均接觸時間 t 可以下式表之

式中： D：滴滤池深度 (m)

I : 水量負荷 ($m^3/m^2 \cdot day$)

c, m, n : 為常數

(4)式中之 c , m , n 等常數，依濾材表面，粘性等之不同而異，理論分析值 $n = \frac{1}{3}$ (亂流) $\sim \frac{2}{3}$ (層流)。Eckenfelder 依塑膠濾材滴濾池實驗結果得 $n = 0.7$ 。 m 值於滴濾池在深方向之生物膜一樣時， $m = 1$ ，但實際處理廠之上下層活性並不相同，故其 $m < 1$ 。合併(3)及(4)式，得

式(5)為假設廢水中之成分皆以同一速度去除之，但事實上均一的成分並不多，而廢水中容易同化成分去除較快。且去除速度隨著廢水之處理而降低。像這一種不均一的去除過程，考慮BOD去除之遲滯特性者，可以 Eckenfelder 式表之。

式中 k , m , n 為常數，依 Eckenfelder 在水量負荷 1 mgad, ($1 \text{ mgad} = 0.935 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)，濾池深度 $D(\text{ft})$ 時， $k = 2.85$, $m = 0.33$, $n = 0.5$ 。

上述之討論，乃假設所有生物反應皆受 BOD 之去除速度所支配，惟在高溫時雖飽和溶氧降低，但生物反應却增速，生物反應之物質移動較遲時，系內則受物質移動所支配。

溶氧之移動，依 Atkinson 認爲液膜阻力爲限制因子，又依 Tomlinson 氏，認爲生物膜之擴散係數，約爲液膜擴散係數之10倍，因之液膜表面的界面活性劑，分子量較大的鎖狀化合物，皆會妨礙氧的移動，造成去除效率降低之原因。

生物膜中之生物活性受氧之移動所影響，因之生物膜中好氧性層之厚度，可以下式推測之（也即以綜合溫度效率爲推測基礎的構想）

式中 M : 氧移動速度。

A : 面積 (m^2) 。

D_L ：氣之擴散係數 (m^2/hr)。

C_1 ：生物膜表面之氧浓度 (mg/ℓ)。

C_2 ：生物膜深度 h 處之氧濃度 (mg/ℓ)。

對於M之氣消耗速度，則可以下式表之：

式中 k_r : 生物膜單位重量之氧消耗速度。

w：生物膜比重。

在定當狀態下可以下式表之：

而在 $C_o \approx 0$ 之 h 為好氧層厚度，而在下式之範圍內行好氧化代謝

上式中 h 值一般為 $2\sim3$ mm。

Mehta 假定在塑膠濾材，廢水沿着垂直平板流下時，依氧移動特性，在下列假設條件下，求出平均之物質移動係數 k_L ：

- (1)生物膜之氧消耗很快，其溶氧量接近於零。
 - (2)液膜內廢水呈放射線分佈的速度流。

因之氣移動之基本式可以下式表之（如圖二）

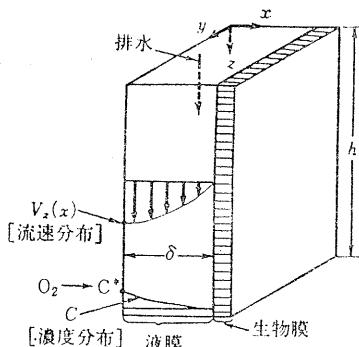
$$V_z \frac{\partial C}{\partial z} = D_L \frac{\partial C}{\partial x^2} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

式中 C：溶氧濃度。

D_L ：氧之擴散係數 (m^2/hr) 。

$$V_z = V_{\max} \left[1 - \left(\frac{x}{\delta} \right)^2 \right] \dots \dots \dots \quad (12)$$

式中 S : 液膜之厚度 (m) 。



圖二 流下液膜之流速分布及氧移動

依 Pigford 氏解之，得 k_1 如下式：

$$k_L = \sqrt{\frac{6}{\pi}} \sqrt{\frac{D_L \tau}{\delta h}}$$

式中 k_L 為 m/hr , τ 為濾壁單位長度之流量 ($m^3/hr \cdot m$), h 為潤濕壁之高度 (m)。若為層流，液膜之厚度可以下式表之

$$\delta = \left(\frac{3\mu\tau}{\rho g} \right)^{1/3} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

式中 μ ：爲廢水之粘度 ($\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{hr})$)， ρ ：密度 (kg/m^3) g ：重力加速度 (m/hr^2)。

三、生物膜法之特性

生物膜法之廢水處理，乃藉附着於濾材表面之微生物羣以氧化、分解有機物，故與活性污泥法有很大的差異。若以滴濾法討論之，其優點包括：①對於流入水水質及水量的變化，較具緩衝

能力，②對於有害物質的突變負荷較具耐力，③可達硝化程度，④操作管理容易，建設費較低，⑤受溫度的影響較小。⑥沒有如活性污泥法發生膨化之問題。但其缺點則有①處理設施所需面積較大，②有散發臭氣及發生污水蠅之困擾，③處理效率較低，④濾池有阻塞造成不能處理之問題。惟其缺點近年來已漸加克復，由於塑膠濾材的開發，處理設施面積及處理效率，已不遜色於活性污泥法。

在活性汚泥法中與淨化有關之特定微生物比增殖速度，依下式以停留時間及污泥迴流比決定之。

式中 K : 比增殖速度。

$$D : \frac{Q_f}{V} \text{ (稀釋率) } .$$

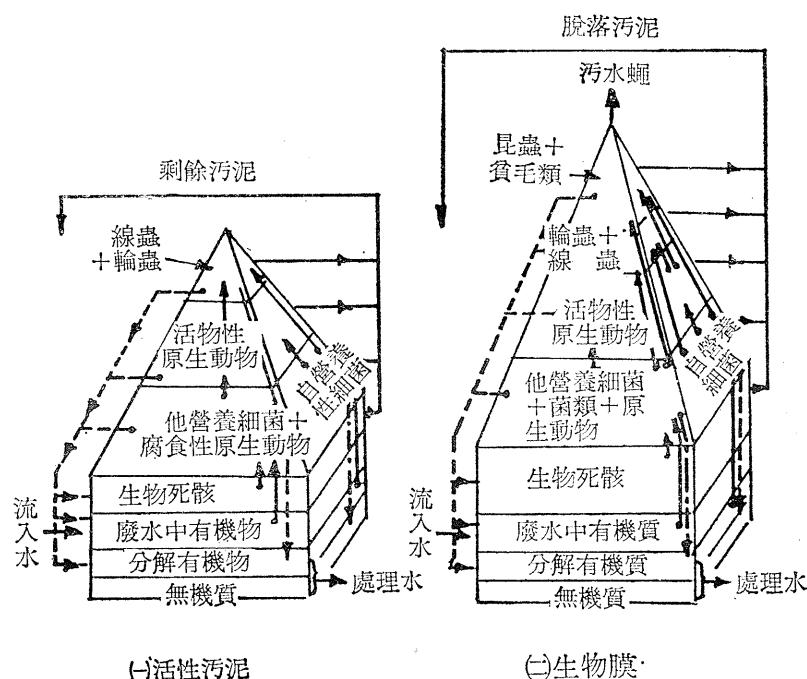
V：曝氣槽之容積。

Q_f : 流入水量。

Q_e : 流出水量。

r : 回流比。

式(14)中活性汚泥法之比增殖速度較小之生物，由於被刷洗流出，而無法生息於污泥中，一般比增殖速度在 0.1 day^{-1} 以下之生物，大多無法存在於活性汚泥中。但生物膜，由於與水之停留時間無關，故比增殖速度較小的生物也可增殖。因此如貧毛類比增殖速度在 0.05 day^{-1} 以



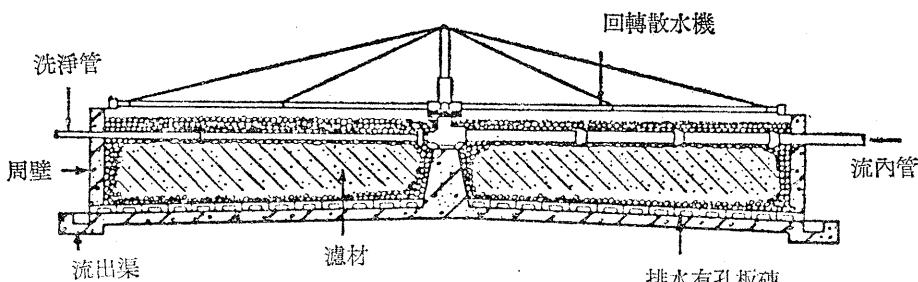
圖三 活性污泥及生物膜之生物相比較

下之生物也可生息於生物膜中。又微小動物之中有些對於攪拌強度具有敏感性，但生物膜則較無此種衝擊。由於以上的理由，生物膜法較活性污泥法之生物種類更具多樣化，而構成安定化的生態系，此乃對於環境變化較具耐力和緩衝特性之主要原因。在實際生物膜中由於大形的生物（輪蟲類、昆蟲類、貧毛類等）大量存在之故，食物鏈較長（如圖三），其總生物量因之較活性污泥為少，所產生的污泥量亦較少。

活性污泥法曝氣所需動力較大，但生物膜生物處理所需氧幾乎可自大氣供給，所需動力少，因之操作費較低，且由於硝化菌的增值（比增殖速度較小者），一部份氮被氧化為硝酸鹽，而一部份的硝酸鹽則於生物膜之厭氧層達到脫氮。

四、滴 濾 法

滴濾法為將經最初沉澱後的廢水，以間斷連續式散水於堆置濾材之滴濾池上，流經濾池後的水引入最終沉澱池分離污泥。滴濾池例示如圖四。



圖四 滴 濾 池 例

當廢水於滴濾池上，與廢水一起流入之微生物，由於生物及生化作用而附着於濾材表面，附着後的生物在適應其環境後逐漸繁殖而生成生物膜，生物膜形成後，當廢水流經濾材表面時，廢水中之懸浮物就被生物氧化而分解。附着於濾材表面之微生物量，無法以人工加以控制，在操作上缺乏彈性，BOD容積負荷有其限界，惟近年來由於濾材的開發，漸成為一優良的好氧性處理法。

滴濾法與活性污泥法相同，必須先於最初沉澱池去除粗大固體物後始將廢水導入滴濾池。廢水中的有機物被附着的微生物羣所分解，其中一部份被攝取供微生物增殖之用，而生物膜漸次肥厚至某一程度而剝離，與處理水流出。因之滴濾池處理需有最終沉澱池，以上為滴濾法組成之基本條件。為使滴濾池在定常狀態下能正常操作，必須維持生物膜之生長速度及脫落速度相平衡，而從BOD負荷及散水負荷加以適當的控制。若生物膜繁殖過剩則會造成濾池阻塞(clogging)，反之散水過量會使得生物膜脫落，因之其防止對策為設計及操作管理上最大的問題。

4.1 普通濾材滴濾池

滴濾法之處理方式有標準滴濾法及高率滴濾法，一般來說，前者屬二級處理，後者僅能稱為中級處理。標準滴濾法在低BOD負荷操作下除可獲高淨化率並達硝化程度的處理水，惟所需用地較大。又高率滴濾法由於散水負荷大，用地面積可節省，但處理水較前者為差。高率滴濾法原

則上需迴流大量的處理水，其目的為：

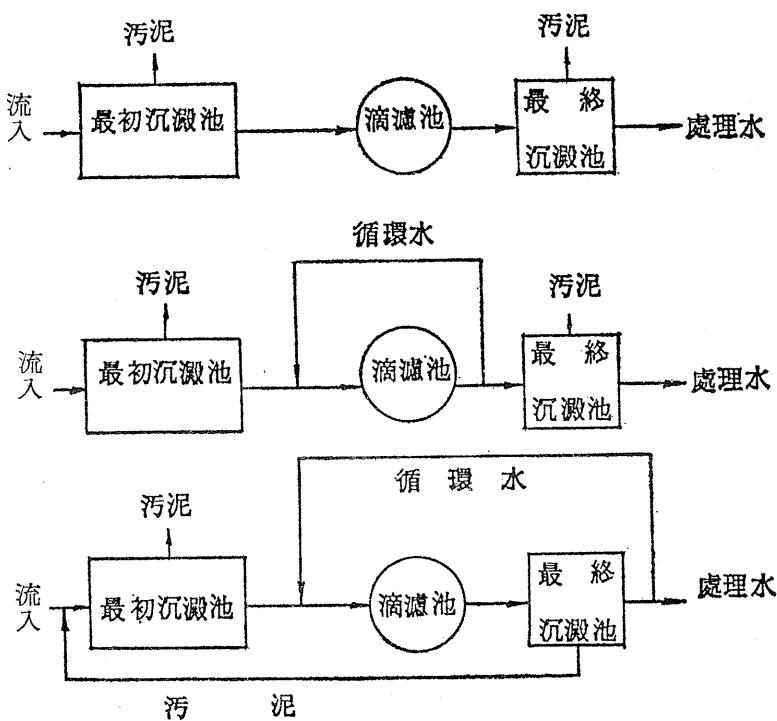
- (1) 減低流入廢水之流量、溫度、有毒物質的影響。
- (2) 維持散水機之自動運轉。
- (3) 防止污水蠅的產生及飛散。
- (4) 防止臭氣的產生。

標準滴濾法通常為單一濾池操作。高率法則有二段濾池者，其迴流水可為滴濾池流出水或最終沉澱池流出水。其代表性組合示如圖五、圖六。一段濾池濾材之厚度約 1.5~2.0m，二段濾池則為 0.9 m。一般礫石濾料的大小一段池之直徑以 50~60 mm 為佳，而二段池之第一池之濾材可大些，第二池則較小，為一般所使用者。

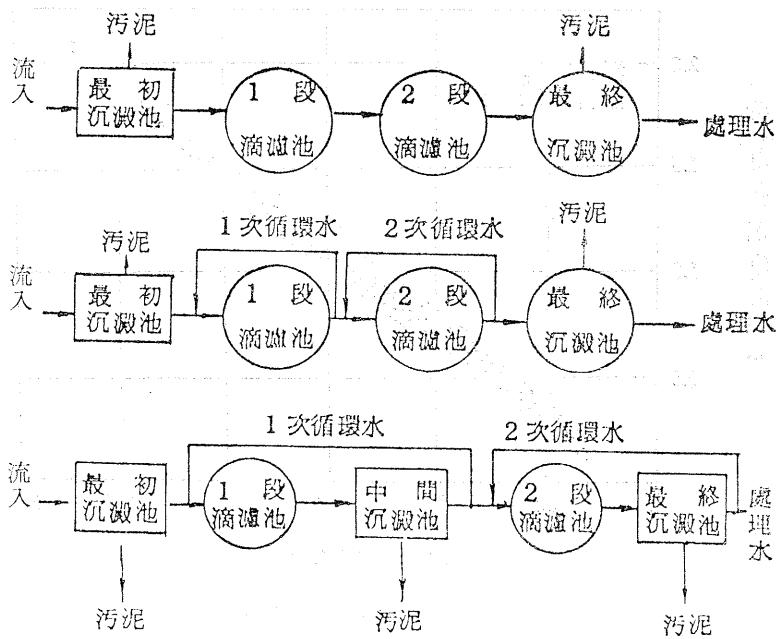
滴濾池在設計及操作上須有適當的負荷，濾池之負荷有散水負荷及 BOD 負荷，依處理方式有其一定的界限。

散水負荷為濾池一日處理水量除以濾池的表面積表示之，其單位為 ($m^3/m^2 \cdot d$)。散水負荷以散水強度和 BOD 負荷決定之。散水強度為濾池表面某一部份瞬間所承受之散水量，又 BOD 負荷為單位體積之濾材，一日所供給之 BOD 量，即散水於濾池之廢水的 BOD 和散水量之乘積除以濾池之體積，單位為 ($Kg BOD/m^3 \cdot d$)。

當散水於濾池上，廢水自濾池的表面流下，而被生物膜在好氧狀態下分解，因之以能均勻散水於濾料表面流下為宜。濾池內廢水之流下狀態，因散水強度而異，若散水強度太大，則廢水不易流下，例如 5 cm 大小的濾材，濾池散水強度以 $200 m^3/m^2 \cdot d$ 為宜。

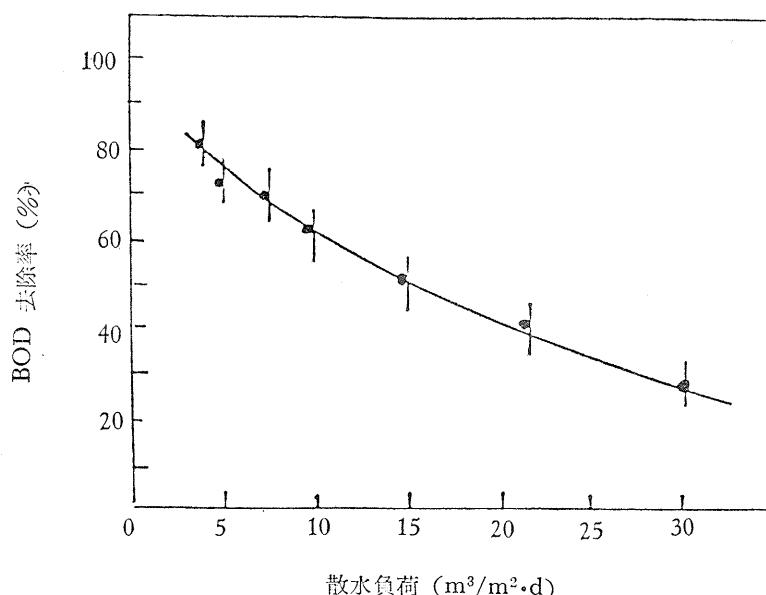


圖五 標準滴濾法流程

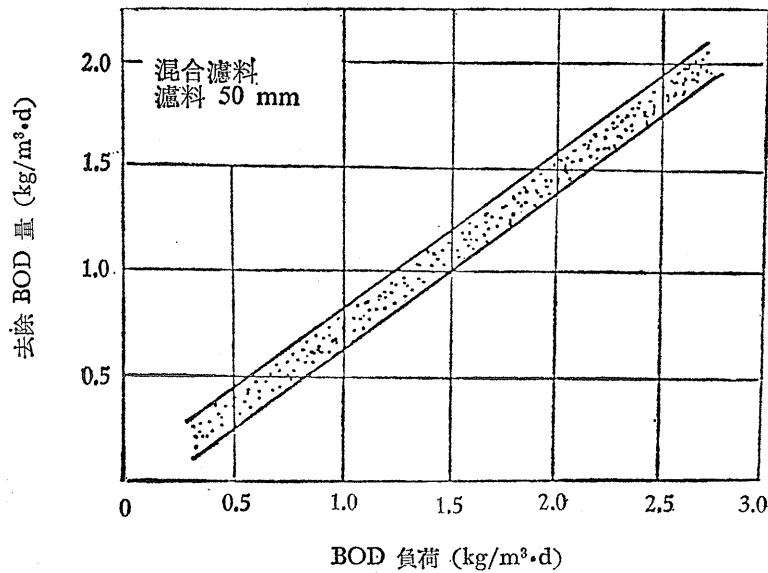


圖六 高率滴濾法流程

圖七為 Schulze 的實驗結果，在散水負荷為 $5 \sim 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 之範圍，隨著散水負荷的增大，BOD 去除率減少。濾池之處理能力依 BOD 負荷表之，大約以 $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 為限界，示如圖八，而散出負荷依此一界限，視濾池之深度及廢水之 BOD 決定之。



圖七 散水負荷及 BOD 去除率



圖八 BOD 負荷及 BOD 去除量

滴濾池標準法之散水負荷以 $1\sim3 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$, BOD 負荷 $0.3 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ 為上限。高率法散水負荷 $15\sim25 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$, BOD 負荷 $1.2 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ 以下為設計、操作標準。至於有迴流之高率散水負荷可依下式決定之：

式中： L_h ：散水負荷 ($m^3/m^2 \cdot d$)

A : 濾池表面積 (m^2)

Q' : 有迴流時之散水量 (m^3/d)

Q ：計劃處理廢水量 (m^3/d)

r : 回流比

各種廢水濃度之散水負荷示如表一。

表一 廢水 BOD 與散水負荷

廢水 BOD (mg/ℓ)	散水負荷 (m³/m²·d)
120	25
150	20
200	15

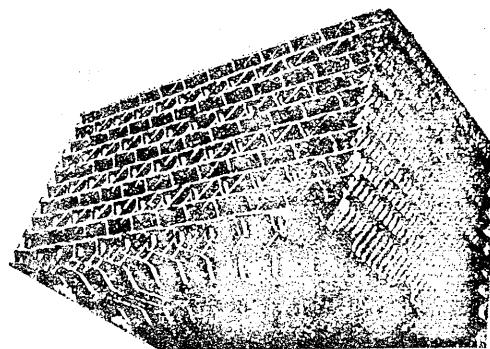
4.2 塑膠瀘材滴瀘池

(一) 塑膠濾材

傳統以礫石爲濾料之滴濾池有下列缺點：

- (1)單位容積之孔隙率小。
- (2)礫石重，無法施做較高的濾池，
- (3)由於礫石的風化，導致孔隙率年年減少，
- (4)自池上部至下部生物膜並不均勻附着，下部較少。

因之自1960年起，歐美開始開發可自由成形的塑膠濾材，以取代傳統的礫石濾材。塑膠濾材例如圖九。



圖九 塑 膠 濾 材 例

塑膠濾材具有下列特性：

- (1)具耐久性。
- (2)重量輕。
- (3)表面積大，孔隙率大。
- (4)由於濾料大小相同，因之廢水在濾材表面可均勻流動。
- (5)自濾池上部至下部，生物膜可均勻生長。

在各種塑膠濾材中，以 polyvinylchloride (Flocor) 及 polystyrene (Surpac) 使用較多，表二為各種濾材之比較。

表二 各 種 濾 材 之 比 較

使用 國別	濾材種類	尺 寸 (m)			間 隔 (mm)	厚 度 (mm)	重 量 (kg/m ³)	比表面積 (m ² /m ³)	孔 隙 率 (%)
		寬 度	高 度	長 度					
美 國	礫石 (6cm)						1,300	110	45
	Flocor	0.6	0.6	1.2			39	88	97
	Surpac						64	85	94
日	A	0.6	0.6	1.2	60	0.6	38.4	88.5	97
	B	1.0	1.0	1.0	30	0.5~0.8	21.2~33.9	93.0	98.5~97.5
	C	1.0	1.0	1.0	16	0.4~0.5	33.6~42.0	160.0	97.5~97.0
		0.5~1.0	1.0	1.0	27	0.4~0.6	21~32	120.0	98.6~97.8
本	D	0.5~1.0	1.0	1.0	33	0.4~0.6	17~26	100.0	98.2~98.8
		0.48	0.6	0.96	60	0.8	39.0	100.0	97.3
		0.48	0.6	0.96	30	0.4	39.0	200.0	97.3

由表二可看出重量與孔隙率兩項，塑膠濾材與礫石相差很大。例如 Flocor 濾材為以 10 片的平板和 10 片的波浪板交互連接者，尺寸為 $1,200 \times 600 \times 600$ mm，每個的重量為 16.8 kg (35 kg/m³)，將這些濾材直接堆置時，約可承受 3 t/m² 的耐力。如前所述使用礫石，濾池深度僅可達 2 m，但塑膠濾材由於較輕，可堆置至 8 m 高，且濾池呈立體化，用地面積可減少。濾材雖堆置較高，但其下部仍可維持好氧性，使生物膜充分生殖，達到濾池整體有效，故單位體積塑膠濾材較礫石去除 BOD 為高，惟濾材之成本也較礫石為貴。

(二) 塑膠濾材高率滴濾池負荷

塑膠濾材滴濾池有一段式，也有多段式而以第一段做為粗處理，而漸次減少負荷進行處理者，而以圖六所示之二段式滴濾池較多。首先將廢水引入分水槽，藉泵抽水至濾池上方以噴嘴散水之，沉澱池上澄水則迴流至分水槽再抽送散水之。其循環比以 1.0—3.0 者較多，而處理高濃度廢水時，則有配置如圖六中之循環方式者。圖六中之中間沉澱池之功能，在以分離去除已脫落之生物膜，以減輕次段濾池之負荷，故負荷較高時，以設有中間沉澱池為宜。

一般塑膠濾材滴濾池之散水負荷為 $30 \sim 70$ m³/m²·d，BOD 負荷以 $3.0 \sim 4.0$ kg/m³·d 為限度，在此一負荷下 BOD 去除率可達 70—80%。

塑膠濾料滴濾池之 BOD 去除率，可依洞沢式計算之：

$$\frac{L_e}{L_o} = 0.176 \left(\frac{45.455}{L} \right)^{0.748} \cdot L^{0.707} \quad (16)$$

式中：
 L_o ：流入水 BOD (mg/ℓ)
 L ：BOD 面積負荷 (g/m²·d)
 L_e ：處理水 BOD (mg/ℓ)。

濾池之散水量則可以下式計算之：

$$\frac{Q \cdot L_o}{b \cdot D \cdot n} \times q = \frac{Q \cdot L_o \cdot q}{b \cdot D \cdot n} \quad (17)$$

式中：
 Q ：處理水量 (m³/d) L_o ：流入水 BOD (g/m³)
 a ：濾材之比表面積 (m²/m³) b ：濾材 BOD 之面積負荷 (g/m²·d)
 q ：濾材每 m² 之散水量 (m³/m²·d) n ：濾池池數
 D ：濾池每池深度 (1m 之 D 倍)

依據 EPA 報告，塑膠濾池散水負荷以 $28 \sim 70$ m³/m²·d 為界限，如圖十。若散水量太大，由於水流剪力會使生物膜無法附着，但若生物膜過厚，則會增加濾材之負載亦不宜。

(三) 濾池深度

塑膠濾材即輕且孔隙率高，濾池可建成塔型，但若無限制增加高度，反有造成阻塞之慮，故其高度以 3~6 m 為適。若負荷較高，脫落污泥量多時，濾池高度以 3~4 m 為適當，而 BOD 之去除率與濾池的高度成正比。塑膠濾池深度之計算有 Schulte 式：

$$\frac{L_e}{L_o} = \exp \frac{-\theta K D}{Q^n} \quad (18)$$

式中：
 L_o ：廢水之 BOD (mg/ℓ) L_e ：處理水 BOD (mg/ℓ)
 K ：常數 (7°C 時 0.06, 20°C 時 0.08) θ ：水溫係數 ($\theta = 1.035^{T-20}$)

D：濾池直徑

Q ：處理水量 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$)

T : 水溫 (°C)

(四) 回流水量

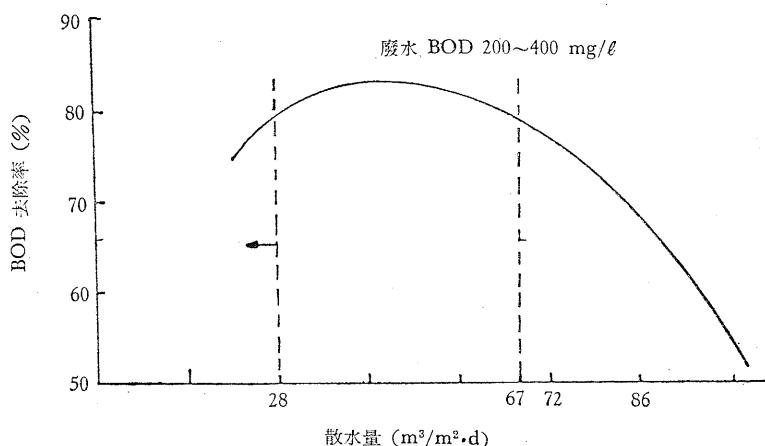
塑膠濾池之迴流水量 $R(m^3/d)$ 為由式(7)之散水量減去處理水量 $Q(m^3/d)$

$$\text{回流比} = \frac{\left(\frac{Q \cdot L \cdot q}{b \cdot n \cdot D} - Q \right)}{Q} = \frac{L \cdot q}{b \cdot D \cdot n} - 1 \dots \dots \dots (20)$$

一般迴流比以 200 % 以上爲宜。

(五) 濾池構造

固定散水或旋轉臂散水，其噴嘴距瀘池表面應有 15cm 以上，噴嘴間隔以 50~100cm 為適。旋轉臂噴嘴為達噴射的反力以旋轉，應有 50~100cm 之水頭。



圖十 散水量與 BOD 去除率之關係

濾材支持與槽之底部間隔應有 30cm，槽底部坡度以 1/50以上為宜。

4.3 塑膠濾材滴濾池之應用

塑膠濾材滴濾池，可使用做爲：

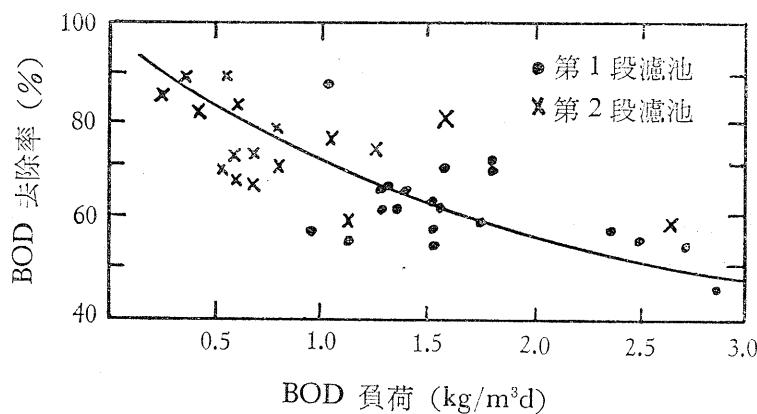
- (1)高濃度廢水活性污泥處理之預先處理，
 - (2)二級處理，
 - (3)三級處理。

預先處理 BOD 400~1,000 mg/l 之廢水，經由塑膠濾池處理至 200 mg/l 左右，得以提高活性污泥法之處理效果。表三為清涼飲料工廠廢水之塑膠濾料預先處理及活性污泥處理之實例。

二級處理，一般採用二段式處理，圖十一為牛乳洗瓶廢水之處理（二段濾池）其 BOD 負荷與 BOD 去除率之關係，包括一段及二段之總去除率在 BOD 負荷 $1.5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 之下，BOD 去除率可達 80%。

表三 塑膠滴濾及活性汙混合併處理

試 料	pH	透視度 (cm)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	備 註
原 廢 水	5.1	13.5	36	368	427	
滴 濾 處 理 水	6.5	9.2	34	60	68	BOD 負荷 $1.2 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{d}$, 水量負荷 $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
活 性 污 泥 處 理 水	7.3	>30	7.6	11	5.5	BOD 負荷 $0.1 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{d}$, MLSS $1,000 \text{ mg/l}$



圖十一 牛乳工場廢水二段濾池 BOD 負荷與 BOD 去除率

都市污水活性污泥處理水，以塑膠滴濾池三級處理，於 BOD 負荷 $0.02 \sim 0.1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 下，其處理結果如表四。

表四 塑膠滴濾池三級處理例

項 目	二級處理水 (活性污泥處理水)	三級處理水 (滴濾處理水)	去 除 率 (%)
水 溫 ($^{\circ}\text{C}$)	9.4	7.2	—
pH	7.1	6.8	—
SS (mg/l)	7.4	3.4	54
BOD (mg/l)	10.9	5.4	50
COD _{cr} (mg/l)	41.4	27.3	34
PO ₄ -P (mg/l)	1.57	1.36	—
T-P (mg/l)	1.83	1.63	11
K-N (mg/l)	3.06	1.01	67
NH ₄ -N (mg/l)	9.9	1.1	89
NO ₂ -N (mg/l)	0.15	0.11	—
NO ₃ -N (mg/l)	1.6	14.0	—

五、結 語

本篇係配合本刊第一、二期相關兩篇生物膜法，做一系列的介紹，以提供參考，敬請指正。在此並向引用資料之原著者致意。