

流動床生物膜反應槽

曾四恭*

一、前　　言

傳統處理有機物廢水通常用懸浮生長的污泥法，或固著生長的生物膜來去除，此二方法由於受到生物濃度及接觸面積的限制，處理設備的體積很大，須要較多的土地面積。近年來發展出一種方法，大大地提高了生物濃度及接觸面積，可以在較小的空間下，完成相同的處理效果，這種方法就是流動生物床，最早使用於污水處理廠放流水的去氮處理。其方法是令生物著生於在水流中浮動的小顆粒的砂或其他介質上，由於小顆粒介質龐大的表面積，以及良好的沉降性，使得生物濃度可以高達15至40g/l，較一般懸浮生長活性污泥法之生物濃度高出數倍，可以節省設備及土地之規模。此處理技術在國內外大部分還在實驗階段，尤其國內之經驗更少，正式在臺灣地區完成之研究只有二篇，一篇屬好氧性之處理研究，另一篇為厭氣性之處理，目前尚有三個題目正進行研究之中。因此介紹流動生物床法之展望，僅能根據這二篇研究之經驗，此處理技術之優劣點以臺灣廢水處理之環境、探討此方法在臺灣地區之可行性以及應進行之研究工作。

二、臺灣地區之研究成果

流動床應用於廢水處理，始於西元1973年起，開始時大部分限於應用脫氮及去除碳質有機質之研究，最近才把研究重點偏向於有機物之厭氣處理。臺灣地區完成之研究分別為「厭氣生物流動床處理工業有機廢水之研究」及「流體化床生物反應槽處理屠宰場廢水之研究」，研究結果分述如下：

(一)研究題目：厭氣生物流動床處理工業有機廢水之研究：

1.廢水：啤酒後釀酵廢水。

2.着床介質：砂及活性炭，砂之粒徑為0.35~0.59mm，比重2.65，孔隙率44%；活性炭粒徑為0.4mm至0.6mm，比重1.54，孔隙率61%。

3.消化溫度：35°C。

4.試驗結果：

(1)生物膜之馴養

a 馴養初期生物膜是微生物被吸附在粒子表面而產生，其後當生物附着及生長的速度大於剝蝕的速度時，生物膜可以保持一定的厚度，穩定存在。

b 砂粒表面平滑，生物附着不易，加以砂床之上流速度高，且浮動不穩定，使砂床之馴養甚為困難。

c 活性炭床在數天馴養後，即有穩定的生物膜，並且一直維持良好的處理功能。

*臺灣大學環境工程研究所副教授

(2)處理效率

- a 活性炭厭氣生物流動床處理啤酒廢水處理效率極高，體積負荷在 $50\text{Kg/m}^3\cdot\text{day}$ 以下時，COD 去除率在 90 % 以上，體積負荷增加至 $300\text{Kg/m}^3\cdot\text{day}$ ，亦有 80% 之去除率。
- b 體積負荷在 $300\text{Kg/m}^3\cdot\text{day}$ 時，仍無有機酸累積的現象，處理每公斤 COD 所產生之甲烷為 $200\sim377\text{公升}$ ，甲烷菌之活性高。

(3)流動床之可揮發性懸浮固體量約為 $20,000\text{mg/l}$ 。

(2)研究題目：流體化床生物反應槽處理屠宰場廢水之研究：

1. 流體化床反應槽：為內徑 2.6 公分，高 200 公分之壓克力槽。
2. 着床介質：活性炭，粒徑 $0.42\sim0.84\text{mm}$ ，比重 1.5，孔隙率 40%。
3. 廢水：屠宰場廢水經前處理後，再用流體床法處理。前處理方法為化學混凝法，於最佳加藥量條件下，約可去除 COD 26~58%，油脂 66~89%，SS 為 62~73%。前處理後水質約為 $300\sim700\text{mg/l}$ 。
4. 氧氣來源：純氧氣體。
5. 試驗結果：

(1) BOD 體積負荷低時之去除率較高，負荷高時則低負荷與去除率呈線性關係。

$$\text{BOD去除率 (\%)} = 95.8 - 0.255 \text{ BOD體積負荷 } (\text{Kg/m}^3\cdot\text{day})$$

$$\text{COD去除率 (\%)} = 101 - 0.298 \text{ COD體積負荷 } (\text{Kg/m}^3\cdot\text{day})$$

(2) 處理水質要達到工廠礦場放流水標準 $\text{BOD}_5 = 100\text{mg/l}$ 。其體積負荷應小於 $51\text{Kg/m}^3\cdot\text{day}$ ，其水力停留時間如下：

廢水 $\text{BOD}_5 = 401\text{mg/l}$ 時，水力停留時間 9.6 分以上

廢水 $\text{BOD}_5 = 558\text{mg/l}$ 時，水力停留時間 11.9 分以上

廢水 $\text{BOD}_5 = 602\text{mg/l}$ 時，水力停留時間 13 分以上

(3) 當前處理後 BOD 濃度高時，為達到放流水標準，須用迴流方法稀釋，並可提供較高之溶氧量。

(4) 出流水 BOD 濃度隨水力停留時間及迴流比增加而降低。

(5) 基質 BOD 去除速率與出流水 BOD 約呈 0.72 階反應

$$\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} = 1.137 S_e^{0.7241}$$

(6) 廢水油脂負荷應小於 $3.5\text{Kg/m}^3\cdot\text{day}$ ，才可達到臺灣工礦場放流水標準 10mg/l 。

三、現階段國內進行之研究專題

厭氣消化法處理廢水研究為目前行政院國家科學委員會重點研究項目之一，厭氣消化研究中，有三個專題屬厭氣性生物流動床之研究，即：

(1) 以厭氣流體化床法處理人工廢水之基礎研究

李俊德 成功大學環境工程研究所

(2)生物流動床增進低溫厭氣消化效率之研究(一)

曾四恭 臺灣大學環境工程研究所

(3)高效率生物流體化床之基本研究(1)生物流體化床電腦模擬之研究

陳秋揚 中興大學環境工程學系

四、生物流動床法與其他生物處理方法比較

根據以上兩篇國內之研究成果，加上參考國外之研究資料，作下列項目之比較。

1.介質比表面積

滴濾池	12~30 ft ² /ft ³
旋轉生物盤法	40~50 ft ² /ft ³
生物流動床法	800~1200 ft ² /ft ³

2.活性汚泥濃度

純氧活性汚泥法	3,000~5,000 mg/l
傳統活性汚泥法	2,000~3,000 mg/l
好氧性生物流動床法 (BOD去除)	12,000~20,000 mg/l
好氧性生物流動床法 (硝化)	8,000~12,000 mg/l
厭氧性生物流動床法	20,000~40,000 mg/l

3.BOD體積負荷

	lbs BOD/1000ft ³ /天	Kg BOD/m ³ /天
純氧活性汚泥法	75~150	12~2.4
傳統活性汚泥法	30~ 75	048~1.2
好氧性生物流動床法	500~1000	8~16

4.流動床微生物從介質中脫落量 (Sloughing) 較其他固定生物膜少。

5.反應時間短

	水力停留時間 (分)
去除93% BOD (好氧性)	16分
去除99% NH ₃ -N	11分
去除99% NO ₃ -N	<65分

6.流動床法沒有像滴濾池因生物膜剝落阻塞濾料間空隙的情形，可以減少此種水頭損失所增加之操作費用。

7.根據厭氣性處理啤酒廢水之結果，與厭氣濾池法及上流式污泥床發酵法之比較如表一，由表中可知厭氣流動床負荷很高，約為厭氧濾池的10倍。同樣處理效果之下，反應槽空間為厭氧濾池的1/10節省用地面積及空間。

表一 活性炭厭氧生物流動床、上流式污泥釀酵槽及厭氧濾池之操作特性比較

操作特性	釀酵槽種類	活性炭厭氧流動床	上流式污泥釀酵槽	厭 氧 濾 池
溫 度 ($^{\circ}\text{C}$)		34~36	30~32	24~26
處 理 廢 水		啤酒廢水	葡萄糖和營養肉汁	啤酒廢水
去除COD 90%之最大體積負荷 (KgCOD/m ³ ·d)		100 (T=3hr) 大於360 (T=1.5hr)	8.4 (T=24hr) 33.6 (T=6hr)	9.9 (T=51hr) 18.5 (T=25.5hr)
反應槽內揮發性懸浮固體濃度 (mgVSS/l)		20000	12000	—
廻 流		有	無	無

註：T為水力停留時間。

五、生物流動床法之優點

根據上述生物流動床法與其他生物方法之比較結果，可綜合得到下列優點：

- 1.活性污泥濃度很高，可以縮短生物反應時間。
- 2.可以減少反應槽體積及用地面積，節省大量的設備費用。
- 3.由於具有很高之活性污泥濃度，對於突增負荷或溫度改變所產生之影響較少。
- 4.對於超負荷處理廠，其處理容量的擴充很方便。
- 5.生物流動床沒有滴濾池法的水頭損失。

六、生物流動床之缺點

- 1.需要一相當均勻的水流分散設備。
- 2.技術經驗缺乏，設計建造均較困難。
- 3.操作管理需要較高的技術。
- 4.廻流率大，動力需求較高。
- 5.停車時會略受損害，需一段時間恢復。

七、厭氣生物流動床之優點

目前生物流動床法對廢水之處理，有偏向於厭氣處理之趨向。厭氣處理如此之受重視，只要理由如下：

- 1.厭氧流動床可以產生甲烷，而行能源回收，而其他的好氧性生物處理法，則需消耗能源。
- 2.厭氧流動床產生相當低的生物固體量，而減少污泥處理的問題。

3. 厭氧流動床由於單位體積的生物量相當的高，和傳統厭氧完全混合式反應槽相比的結果，在較短的水力停留時間就有相當好的去除效率。
4. 厌氧流動床不會有厭氧濾池過量污泥阻塞濾料孔隙，而增加損失水頭的問題。
5. 對中濃度廢水的處理，厭氧流動床在稍短於活性污泥的停留時間之情況下，就有傳統活性污泥法的去除效果，甚至更好。
6. 體積負荷高，約為厭氧濾池的10倍。在相同的處理量下反應槽的體積約為厭氧濾池的1/10，節省用地和空間。
7. 可處理高濃度有機廢水，不須預先稀釋。
8. 污泥產生量很少，無須龐大的污泥處理設備。

八、未來研究方向

1. 厳氧生物流動床法在實際應用於處理工業有機廢水前，尚須就不同溫度、各種不同大小質料之浮動粒子介質及選擇不同的上流速度等各方面，再進行更廣泛、更深入之研究，以累積設計廠及操作所需要的技術及經驗。
2. 見於生物流動床對有機廢水之高處理效率，未來對低濃度工業有機廢水之處理能力也該進行研究，試以取代好氣處理之可能性，以減低處理成本及能源之消耗。
3. 研究微生物自聚一起之可行性，以取代介質，減少需用介質成本。
4. 配水系統之設計研究。

九、展望

生物流動床處理技術，由國內外之研究成果可確知為一種高效率之處理方法，建設成本低、用地面積及反應槽空間小，非常適用於用地受限制之臺灣地區，尤其用於工業有機性廢水，對廠區小、用地取得困難之工廠更為有用，應該是一種很值得推展之方法。但本人認為此種處理技術要達到實際應用，在臺灣地區尚需要研究發展，比起嚴氣過濾法應用所遭遇之困難更多。嚴氣過濾法雖然處理效率不及生物流動床法，但却比生物流動床法在馴養及操作上均較容易，實際應用可能發生之問題較少。生物流動床進展到今天，還有許多設計以及操作上之間題尚待克服，也就是此技術於處理效率已被肯定，但處理上之技術問題尚需繼續研究及探討。

生物流動床法採用好氣或嚴氣之處理方式，應該都有其優劣點，但以臺灣之環境條件看來，本人認為嚴氣式之進展前途將比好氣處理為佳。由於好氣處理時受到供氧量之限制，必須提供純氧才足以維持反應槽之好氣狀態。而以臺灣目前之環境條件，純氧製造費用是難以負擔的。嚴氣式不受氧氣之限制，污泥之處置問題也少，而且嚴氣法除可處理高濃度之廢水外，對處理低濃度有機廢水以替代好氣式處理，亦具相當之挑戰性。因此生物流動床處理技術若能解決設計以及操作之間題，應該是可推展的一種處理廢水方法。

參 考 資 料

- (1) 曾四恭、吳先琪；厭氧生物流動床處理工業有機廢水之研究，國科會工程科學研究中心七十年研究報告，頁A—8—1～A—8—45，1982年。
- (2) 曾四恭、洪榮勳；厭氧濾池處理有機廢水之研究，國科會工程科學研究中心六十八年研究報告，頁14—1～14—45，1980年。
- (3) 王西華、馮玉蘭；上流式反應槽行分段沼氣釀酵之研究，第四屆廢水處理技術研討會專題報告，頁1—23，國立臺灣大學工學院環境工程研究所編印，1979年9月。
- (4) 李俊德、吳春生；流體化床生物反應槽處理屠宰場廢水之研究，國立成功大學環境研究所報告，1983年。