

國立臺灣大學工程學院環境工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Environmental Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

固定式生物程序之污泥產率研究

Sludge Yield of Immobilized Biological System



指導教授：林正芳 博士

Advisor: Cheng-Fang LIN, Ph.D.

中華民國 98 年 7 月

July, 2009

謝誌

碩士的兩年時間過的很快，怎麼從剛進環工所慢慢摸索的碩一，瞬間一下就從學妹變成學姐，再來就要離開這裡了。

我最要感謝的就是我的指導老師，林正芳教授，在這兩年中，老師總是給予我最大的自由，讓我可以盡情發揮自己的想法，此外，無論在學業上及做人道理，老師總給予我很正面的指導，這種亦師亦友的關係，的確讓我獲益良多。另外，我也要感謝指導過我的學長，宗賢、學文、國權，感謝學長們給予實驗及論文上的建議及指導，也感謝同學佑晴、日偉兩位好夥伴，我們一起走過這碩士兩年的點點滴滴，有苦有笑都值得我們往後細細品味。

最後，我要感謝的是我爸爸、媽媽、哥哥、弟弟及順帆，謝謝你們總給予我最大的關懷及鼓勵，讓我可以順利的拿到碩士學位，希望這次我真的能讓你們感到驕傲。

畢業後，又是另一個開始，希望所有我關心的人，疼愛我的人你們都能展翅高飛、幸福快樂，我沒有忘記過我們的約定及夢想，希望不久的將來，我們每一個人，都能記得曾經的美好，微笑追逐著屬於你我的未來。

瑜玲 2009

國立台灣大學環境工程研究所

中華民國 98 年 6 月

中文摘要

傳統式活性污泥法為在廢水處理中最廣泛使用的生物處理方法，其可利用微生物可效地去除水中溶解性有機物，但由於傳統式活性污泥法會產生大量之廢棄物，造成後續處理之問題。

固定化生物處理技術為一種可同時去除 COD 及氮氮之生物處理方法，且固定化細胞具有高機械強度與耐久性穩定性高、操作簡易等特性，但對於其污泥產率(sludge yield)仍尚未進行研究，因此本研究以固定化細胞處理技術搭配不同實驗參數(污泥粒徑、水力停留時間、曝氣模式)進行污泥產率之研究。

利用合成廢水(COD：300 mg/L，總氮：25 mg/L)，配合不同粒徑之固定化細胞(1 cm 及 2.5 cm 粒徑)、不同曝氣模式(連續曝氣、1 小時曝氣/1 小時不曝氣、1 小時曝氣/2 小時不曝氣)及水力停留時間(6 小時及 12 小時)進行實驗，其 COD 去除率均可達 92.3%以上；總氮去除率約介於 22.9~64.8%。於污泥生長係數方面，以 1 cm 粒徑之污泥粒，搭配連續曝氣(10 L/min)及 12 小時之水力停留時間所得到之污泥產量較低，其污泥生長係數為 0.107 kg SS/kg COD，其餘則介於 0.11~0.275 kg SS/kg COD。

於高 COD 之合成廢水(COD：1000 mg/L，總氮：25 mg/L)搭配連續曝氣及 12 小時之水力停留時間進行連續一星期之試驗方面，其結果得知，COD 平均去除率為 94.6%，總氮去除率約 99.6%以上；於污泥生長係數方面，1 cm 之污泥粒為 0.228 kg SS/kg COD，2.5 cm 之污泥粒為 0.270 kg SS/kg COD。

本研究另採取食品廢水 (TCOD 773 mg/L，SCOD 556 mg/L，NH₃-N 平均 13.2 mg/L，NO₃⁻平均 1.3 mg/L) 搭配連續曝氣及 12 小時之水力停留時間進行連續一星期之測試，結果發現，COD 之平均去除率達 89.4%，總氮去除率達 95.9%以上；於污泥生長係數方面，1 cm 之污泥粒為 0.018 kg SS/kg COD，2.5 cm 之污泥粒則為 0.047 kg SS/kg COD。

關鍵字：固定化細胞、固定化生物程序、污泥產率

ABSTRACT

The conventional active sludge process is the most widespread used biological treatment in wastewater treatment plant, which uses microorganisms to remove the soluble organic matter effectively in water. However, the conventional active sludge process will emit a large amount of wastes and produce problems to the following treatment processes.

The Immobilized biological treatment is a technology simultaneously to remove COD and ammonia nitrogen and the immobilized cell has high density mixed microbial cells, high stability and durability, low effluent suspended solids, a short start-up period and easy to restart the operation but no studies have been focus on sludge yield of immobilized biological treatment yet. Thus, this study used immobilized cell processing technology with different experiment parameter (sludge particle size, hydraulic retention time, and aeration mode) to study the sludge yield.

The lab scale immobilized biological treatment process is fed by synthesis wastewater to provide COD : 300 mg/L and $\text{NH}_3\text{-N}$: 25 mg/L, with different particle size of immobilized cell (1 cm and 2.5 cm), different aeration mode (continuous aeration, 1 hour aeration/1 hour non-aeration, 1 hour aeration /2 hours non-aeration) and different hydraulic retention time (6 hours and 12 hours). The SCOD removal efficiencies can reach more than 92.3% and the total nitrogen removal efficiencies approximately is situated between the rate of 22.9~64.8%. Moreover, sludge yield is low, 0.107 kg SS/kg COD, for 1 cm particle size of immobilized biological treatment with continuous aeration (10 L/min) and 12 hour hydraulic retention time, the rest were between 0.11~0.275 kg SS/kg COD.

As for the high COD concentration of synthesis wastewater (COD : 1000 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$: 25 mg/L) with the continuous aeration mode and 12 hour hydraulic retention time carries continuously a week of experimental aspect, the results show that the

average COD removal efficiency is 94.6% and total nitrogen removal rate is approximately above 99.6%. In addition, the sludge yield of 1 cm particle size is 0.27 kg SS/kg COD, and 2.5 cm particle size is 0.27 kg SS/kg COD.

On the other hand, this research also adopts food industrial wastewater which concentrates 773 mg/L of TCOD, 556 mg/L of SCOD, 13.2 mg/L of $\text{NH}_3\text{-N}$, 1.3 mg/L of $\text{NO}_3\text{-N}$ with the continuous aeration mode and 12 hour hydraulic retention time carries continuously a week of experiment aspects, the results show that the average COD removal efficiency is 89.4% and the total nitrogen removal rate can reach more than 95.9%. The sludge yield of 1 cm particle size is 0.018 kg SS/kg COD and 2.5 cm particle size is 0.047 kg SS/kg COD.

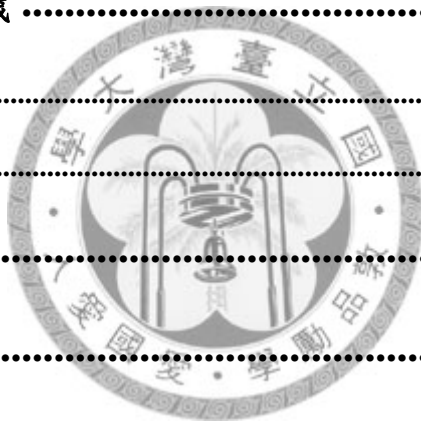
Key word : Immobilized cells, Immobilized biological system, Sludge yield



目錄

謝誌	i
中文摘要	ii
ABSTRACT.....	iii
第一章 前言	1
1-1 研究目的及內容.....	1
第二章 文獻回顧	2
2-1 廢水生物處理方法	2
2-1-1 懸浮生長式生物處理法.....	2
2-1-2 固定生長式生物處理法.....	2
2-2 生物處理之污泥產生	4
2-2-1 生物處理污泥產率.....	6
2-2-2 污泥產率減量研究.....	6
2-3 固定化微生物	8
2-3-1 固定化微生物技術.....	9
2-3-2 固定化細胞相關研究.....	11
2-3-3 利用固定化細胞進行廢水生物處理之優點及限制	12
第三章 材料與研究方法.....	15
3-1 實驗內容與項目	15
3-2 實驗設備	17
3-3 實驗方法	19
3-3-1 固定化微生物製作.....	19
3-4 分析方法	20

3-5 污泥產率計算	22
第四章 結果與討論	23
4-1 合成廢水	23
4-1-1 不同粒徑之污泥產生量	24
4-1-2 不同水力停留時間之污泥產生量	27
4-1-3 不同曝氣模式之污泥產生量	32
4-2 高COD合成廢水	41
4-3 食品廢水	45
4-4 家庭污水(模型廠)	49
第五章 結論與建議	53
5-1 結論	53
5-2 建議	54
參考文獻	55
附錄	62



圖目錄

圖 2-1 滴濾池內濾料表面之生物膜反應.....	3
圖 2-2 微生物新陳代謝示意圖.....	4
圖 2-3 基質在顆粒內外部質傳情形.....	8
圖 3-1 實驗流程圖.....	16
圖 3-2 實驗裝置.....	18
圖 3-3 固定化濾料製作流程.....	19
圖 4-1 粒徑 1 cm 污泥粒於不同曝氣模式和水力停留時間之COD及總氮氮去除率	24
圖 4-2 直徑 1 cm 污泥粒改變曝氣和水力停留時間之固體量.....	25
圖 4-3 直徑 2.5 cm 污泥粒改變曝氣和水力停留時間得到的COD和總氮氮去除率	26
圖 4-4 直徑 2.5 cm 污泥粒改變曝氣和水力停留時間之固體量.....	27
圖 4-5 水力停留時間 12 小時之所得之COD去除效率及總氮氮去除效率.....	28
圖 4-6 水力停留時間 12 小時之所得之總固體量及污泥產率.....	29
圖 4-7 水力停留時間 6 小時之所得之COD去除效率及總氮氮去除效率.....	30
圖 4-8 水力停留時間 6 小時之所得之總固體量及污泥產率.....	31
圖 4-9 不同直徑污泥粒及水力停留時間之COD及總氮氮去除效率.....	32
圖 4-10 不同直徑污泥粒及水力停留時間總固體量及污泥產率.....	33
圖 4-11 一小時曝氣一小時不曝氣之COD去除效率及總氮氮去除效率.....	34
圖 4-12 一小時曝氣一小時不曝氣之總固體量及污泥產率.....	35
圖 4-13 一小時曝氣二小時不曝氣之COD去除效率及氮氮去除效率.....	36
圖 4-14 一小時曝氣二小時不曝氣之總固體量及污泥產率.....	37
圖 4-15 實驗第 1 天反應槽底部曝氣管.....	38
圖 4-16 實驗第 7 天反應槽底部曝氣管.....	38
圖 4-17 實驗第 1 天填充物無生物生長.....	39

圖 4-18 實驗進行第 7 天反應槽下層填充物生物生長.....	39
圖 4-19 實驗第 7 天反應槽中層填充物生物膜生長情形.....	40
圖 4-20 直徑 1 cm 顆粒之 COD 去除率	42
圖 4-21 直徑 1 cm 直徑顆粒之總氮氮去除率	43
圖 4-22 直徑 2.5 cm 顆粒之 COD 去除率	44
圖 4-23 直徑 2.5 cm 顆粒之總氮氮去除率	44
圖 4-24 直徑 1 cm 污泥粒之 SCOD 去除率	46
圖 4-25 直徑 1 cm 顆粒之 TCOD 去除率	46
圖 4-26 直徑 1 cm 顆粒之氮氮去除率	47
圖 4-27 直徑 2.5 cm 顆粒之 SCOD 去除率	48
圖 4-28 直徑 2.5 cm 顆粒之 TCOD 去除率	48
圖 4-29 直徑 2.5 cm 顆粒之氮氮去除率	49
圖 4-30 模型廠之實驗反應槽主體.....	50
圖 4-31 模型廠之實驗反應槽主體內部構造.....	50
圖 4-32 模型廠水力停留時間 6 小時之 SCOD 去除率	51
圖 4-33 模型廠水力停留時間 6 小時 TCOD 去除率	51
圖 4-34 模型廠水力停留時間 6 小時 NH ₃ 去除率	52

表目錄

表 2-1 各種進流有機質之活性污泥產率	2
表 2-2 活性污泥產率與內呼吸分解係數	6
表 4-1 人工合成廢水組成	23
表 4-2 高COD人工合成廢水組成	41



第一章 前言

污水處理是健全都市發展重要的公共建設，將生活污水以下水道收集至污水處理廠處理，可以改善都市居住環境衛生及防制河川水域污染。污水處理廠使用土地面積廣大，且傳統活性污泥法污泥需要迴流、操作複雜並產生之較多污泥量，由於污泥之含水量大，處理及處置廢棄污泥約佔污水處理廠操作維護成本之 50% ~ 60% (Wei et al., 2003)。

污泥處置及處理需適當的技術，使廢棄污泥加以利用成為有用之物質，或是不影響環境的而重回自然環境。常見的污泥處置方法較偏重於管末處置方法如：再利用、掩埋、焚化等等，這些方法仍存在一些問題有待克服，譬如污泥中的大量有機物適合作為土質調節(soil conditioner)或施肥之用，但存在於廢水中的致病微生物經常隨著懸浮顆粒一起被濃縮在污泥中，因此利用污泥做為土壤調節及施肥有可能造成人體健康危害或有影響環境衛生之虞。此外，來自污泥中之菌種可能使原有土壤菌之相造成的改變，也可能破壞原來農業之土地使用。

污泥掩埋處置成本負擔重，且容易造成地下水污染問題。焚化處置可以使污泥體積大幅減少，但焚化的設備投資和操作營運的費用都很龐大。近年來許多新的方法解決污泥處置問題，為日益增加的污泥尋求最好方法，應用生物程序減少污泥的產量應是值得注意之方向。

1-1 研究目的及內容

本研究係利用固定式生物濾料生物反應程序處理廢水以減少污泥產量，由於固定化生物濾料之污泥停留時間長，產生之污泥量可能較傳統活性污泥法少，因此本研究以固定式濾料生物反應程序進行實驗。

本研究藉由改變固定式生物濾料生物處理方法之操作條件，紀錄實驗之各污染物處理效率及污泥產率。實驗內容為利用合成廢水進行實驗，在不同操作條件下，觀察紀錄反應槽出流水之各項水質分析及污泥產生量；並進一步採集食品廢水至實驗室進行廢水處理以及與實際模廠之實驗數據進行比較討論。

第二章 文獻回顧

2-1 廢水生物處理方法

廢水生物處理方法依耗氧方式可以分為好氧系統與厭氧系統，於生物處理方法中微生物存在形式則大約分為懸浮生長式生物處理法、附著生長式生物處理法、混合式生物處理法。

2-1-1 懸浮生長式生物處理法

懸浮生長式生物處理法主要利用活性污泥，並藉由異營性混合之微生物群，細菌、輪蟲、真菌、原生動物所構成，在有氧環境下利用有機基質，藉由質傳輸及細胞的代謝作用生成最終產物二氧化碳及水。傳統活性污泥法一般污水停留時間為 4~8 小時，其污泥產率(sludge yield)約為 0.4~0.8 kg SS/kg BOD₅ (0.2-0.5 kg SS/kg COD) (Vesilind, 2003)，表 2-1 為各種不同有機質之活性污泥產率。

表 2-1 各種進流有機質之活性污泥產率

項目	Yield(kg SS/ kg BOD ₅)
家庭污水	0.70
蝦加工廠	0.50
葡萄糖	0.59
工業污水	0.60
屠宰場	0.30

(林正芳等,2002)

2-1-2 固定生長式生物處理法

自然固定化微生物指提供適當環境微生物細胞附著於濾料表面，而形成固定的生物膜，譬如滴濾池法、旋轉生物接觸法。此法之原理為利用質量擴散與微生物的分化作用而去除有機基質，如圖 2-1 水流經濾料表面，濾料表面上附有生物膜，而生物膜由於穿透深度不同，一般認為氧氣能夠通透之範圍約 2~3 mm，而使生物膜外層呈好氧性，內層呈厭氧性。生物膜利用有機物增殖，使生物膜厚度逐漸

增加，後因在內部濾料生物因不易獲得食物源，而進行自生分解作用，並且因水流剪力作用而使生物膜剝落，一般常用於處理家庭廢水及低濃度有機工業廢水處理。生物旋轉盤法之污泥產率為 0.4~0.8 kg SS/kg BOD，而污泥固體量約佔其體積 80% (A Joint Committee of the Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers, 1977)。

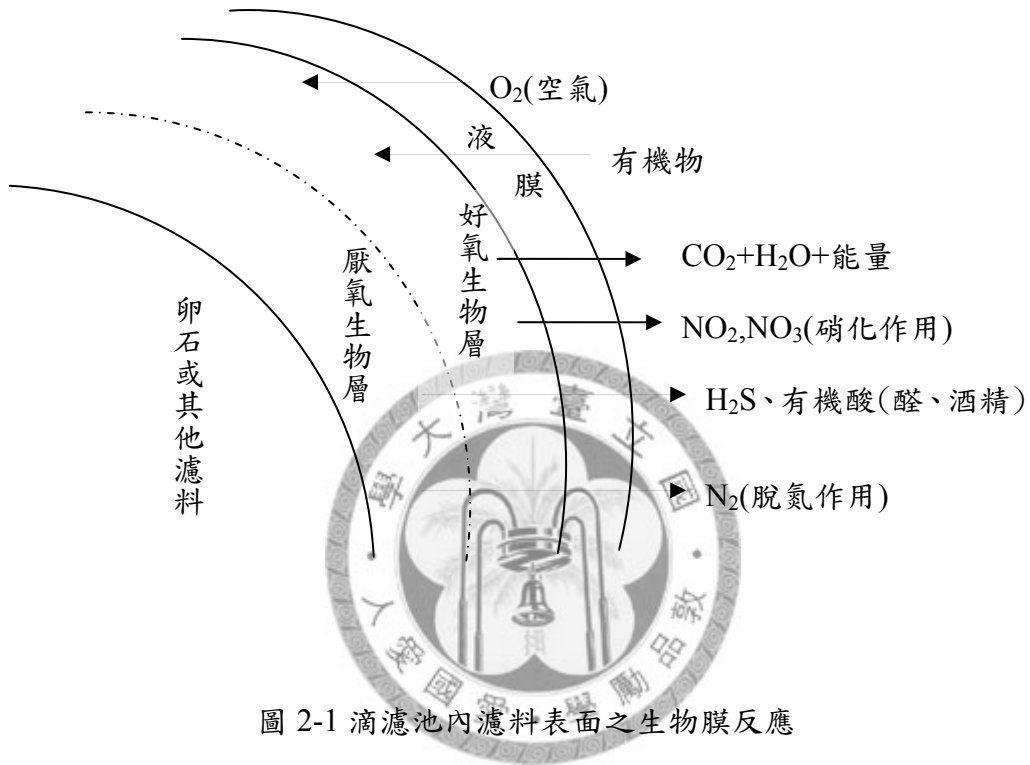


圖 2-1 滴濾池內濾料表面之生物膜反應

2-2 生物處理之污泥產生

廢水的生物處理主要仰賴微生物利用有機質，微生物將有機質分解後，一部份能量維持微生物新陳代謝，一部分能量則使其持續進行生長與繁殖，圖 2-2 說明微生物新陳代謝利用與產物。

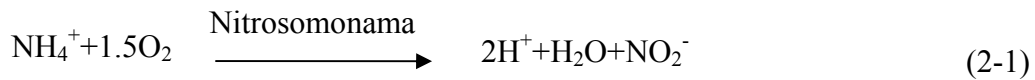
微生物依能源所需不同，可以分為以陽光為能量來源的光合性微生物和利用化學反應中所釋放出的熱能作為能量的化學性微生物；或依碳源不同，可以分為利用無機碳組成細胞分子的自營性微生物和以複雜有機物質為營養的異營性微生物；而以電子接受者來區分，則有以水中分子氧為電子接受者的好氧微生物，以其他含氧之有機物如硫酸鹽、硝酸鹽或是二氧化碳中的氧為電子接受者的厭氧微生物（陳, 2000）。



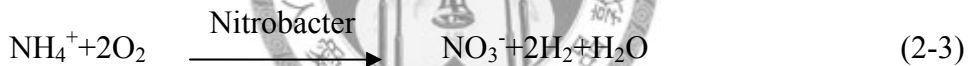
圖 2-2 微生物新陳代謝示意圖

廢水之好氧處理為好氧微生物代謝處理有機物質，並轉變成水、二氧化碳、氮氣及其他硝酸鹽等最終產物；而厭氧處理主要處理複雜的高分子有機化合物質，在厭氧環境下被厭氧微生物代謝分解，生成甲烷和二氧化碳等最終產物。在受污染之水體經常發生有機物蛋白質，經生物作用而轉化成氨基酸後進一步分解成氮氣，而在廢水處理中主要去除氮氣之作用包括硝化作用及脫硝作用。

硝化作用(Nitrification)為兩階段之反應，利用自營性硝化菌(Nitrosomonas 及 Nitrobacter)將有機氮或氮氣氧化之反應，首先亞硝酸菌將氨(Ammonium, NH_4)氧化成亞硝酸鹽(Nitrite, NO_2^-)，其次亞硝酸鹽在被氧化為硝酸鹽(Nitrate, NO_3^-)。硝化作用之化學反應式，2-3 式為總反應式：

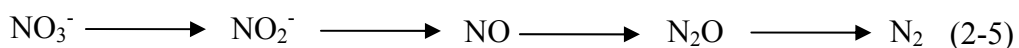


總反應式：



由上列方程式可知硝化過程需要大量氧氣供給，通常在生物反應系統中，曝氣槽溶氧量須於 0.3 mg/L 以上硝化作用才得以進行，當不考慮微量元素及溶氧時，硝化細菌的限制生長因子為氨與亞硝酸鹽之含量。理論上硝酸菌較亞硝酸菌生長好，又亞硝酸菌的含量來自氨之氧化，所以硝化作用主要由氨之氧化所控制。

脫硝作用(denitrification)為脫硝菌利用硝酸鹽或亞硝酸鹽為基質，以有機物或無機物如硫、氫為能源，可將氧化態的氮經還原反應成為氮氣之化學反應。脫硝作用可經由同化作用(2-4 式)與異化作用(2-5 式)達成其之化學反應式：



硝酸鹽於缺氧環境中較利於脫硝，但有些兼氣菌能夠在低溶氧環境中作用，一般若為生物膜系統且生物膜厚度足夠大時脫硝作用不會受到限制。而廢水處理中脫硝反應，著重於異化作用來進行脫硝，且主要產物為 N_2 ，其他如 NO 、 N_2O 之電子結構不穩定因此較難觀察。一般認為缺氧環境中電子供給者為有機物而電子接受者為硝酸鹽時，污泥產率為 $0.3 \text{ kg VSS/kg COD}$ ；厭氧環境中電子供給者為有機物而電子接受者同樣為有機物時污泥產率為 $0.06 \text{ kg VSS/kg COD}$ 。

2-2-1 生物處理污泥產率

污泥產率(sludge yield)或稱為污泥生長係數，為表示微生物利用單位基質所產生之細胞增殖量，可分為 Y_g (污泥增殖之實際量) 及 Y_{obs} (污泥增殖之觀察值)，其中 Y_g 由微生物細胞增殖而得，而 Y_{obs} 為細胞利用基質增加之質量及考量細胞衰退(細胞進行內呼吸反應)所得到的實驗直接觀察之產率，表 2-2 為活性污泥產率與內呼吸分解係數。

表 2-2 活性污泥產率與內呼吸分解係數

係數	單位	範圍
Y	kg SS/g kg BOD_5	0.4~0.84
Y	kg SS/g kg COD	0.24~0.4
k_d	d^{-1}	0.004~0.10

(林正芳等,2002)

2-2-2 污泥產率減量研究

污泥減量方法分為污泥產生後利用一些物理或化學方法達到減量目的譬如加熱、加鹼等，或是在生物處理過程使污泥較少生成，以下為對生物處理程序進行之污泥減量方法作說明：

一、利用化學解偶聯劑(Uncoupler)抑制污泥生成

活性污泥法中，微生物以廢水中的污染物質作為生長碳源與能源而將污染物從廢水中去除，而在大多數情況下，微生物生長與基質利用是相關的，因此去除一單位基質即產生 Y 單位微生物量，且生物合成反應除了物質反應外，還需要能

夠與之相偶合的能量以形成新細胞。Mayhew and Stephenson (1998)在活性污泥法中連續投入 7 個星期 2,4 dinitrophenol (2,4 DNP)，並監測 BOD 之去除量及觀察 MLSS 中之污泥產生量，發現 BOD 之去除量並無受到明顯影響，而得到結果平均的 Y 值為 0.3 kg SS/ kg BOD；而利用延長曝氣、提高生物濃度和提高反應槽溫度之活性污泥方法得到的 Y 值為 0.42 kg SS/ kg BOD。

實驗證明投入化學偶聯劑 2-4-dinitrophenol (DNP)可以在不明顯影響處理效果下有效降低活性污泥產率，經由批次實驗得到短期效果很好，但因微生物具有環境適應的能力，所以就長期而言污泥減量的效果慢慢減弱 (Strad et al., 1999)。由於此研究尚處於起步階段，有許多問題仍需克服，譬如解偶聯劑大多為有毒物質，過量之解偶聯劑可能對微生物具有毒害作用，或是投加解偶聯劑可能會引起其他副作用仍為未知(Euan w et al., 1999；Liu, 2000)。

二、添加微型動物削減污泥量

依生態學理論，藉由食物鏈使能量自低營養級(low trophic)向高營養級(high trophic)傳遞過程中將會有一定的損失(Ratsk, 1994)，因此利用微型動物對細菌的捕食作用，如使用原生動物(鞭毛蟲或纖毛蟲)和後生動物(輪蟲或線蟲)在好氧處理中，將可達到削減污泥量之效果(Curd, 1992；Ratsak et al., 1996)。一般可將原生動物直接投入於傳統活性污泥系統、或薄膜生物反應器(SBR)中、或分段使用於處理廢水。

Lee and Welander (1996)同樣進行類似之研究。在研究中係採用生物膜系統，利用此設計處理不同製造紙漿和造紙廢水後，發現傳統活性污泥法之污泥產率為 0.2~0.4 kg SS/kg COD，而採用活性污泥法和生物膜兩段式法之污泥產率為 0.01~0.23 kg SS/kg COD。

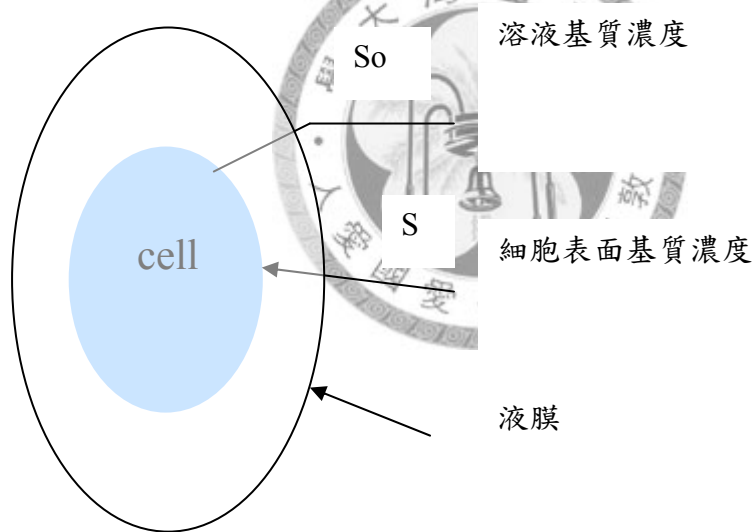
三、細胞水解作用

利用生物體細胞溶解而促進微生物之生物降解作用，目前較為熟知促進生物體細胞降解之方法有降低食微比(F/M)、提高污泥濃度、增加污泥齡、提高溫度等。研究發現薄膜生物反應器(MBR)處理生活廢水於污泥停留時間(SRT) 50 天和 100 天時，污泥停留時間 100 天有污泥產量大量減少之現象，研究者認為是低食微比及較長污泥停留時間的關係(Chaize and Huyard, 1991)。

Canales 等人(1999)在薄膜生物反應系統處理生活廢水之研究，加入一個熱處理流程，研究顯示污泥活性和污泥產率隨污泥齡增長而降低，而污泥經過 90°C 停留 3 小時之熱處理後，幾乎全數細胞被殺死並引發部分細胞水解，此時污泥產率為 0.17 kg SS/kg COD。也有學者於批次活性污泥法中加氯氣，目的是使多餘之污泥氧化而達成污泥減量之目標，研究發現 15 mg chlorine/g MLSS 可以使污泥係數由 0.58 kg SS/kg COD 降低為 0.3 kg SS/kg COD，污泥減少量為 48%。但也發現出流水之 SCOD 有增加之情形，去除率由 95% 降為 55% (Takdastan, et al., 2009)。

2-3 固定化微生物

固定化酵素和固定化菌體為近年來重要的研究方向，其中酵素和菌體的固定化技術在醫學、化工、食品工業方面商業應用已相當廣泛，在廢水處理方面微生物的應用潛力也相當被看好。(江晃榮, 2000)



(Blanch and Clark, 1997)

圖 2-3 基質在顆粒內外部質傳情形

固定化反應系統與懸浮系統最大不同在於固定化系統是在非均勻相的環境中進行反應。基質在顆粒內外部質傳情形主要包括五個主要步驟且顆粒內外質傳情

形如圖 2-5 (Blanch and Clark, 1997)：

- 1、養份(基質)由外部溶液傳至載體表面(屬於外部質傳)。
- 2、養份(基質)從載體表面擴散至內部菌體區(屬於內部擴散)。
- 3、養份(基質)進行消耗反應(屬於菌體反應)。
- 4、產物進行由內部菌體區傳送至載體表面(屬於內部擴散)。
- 5、產物由載體表面傳至外部液體(屬於外部質傳)。

2-3-1 固定化微生物技術

人工固定化方法是利用化學或物理方法，將菌體由活動狀態轉變為固定化狀態或為將其限制在某一範圍而達到有效利用之。以自然吸附或是化學鍵結之方法將微生物附著在固體載體上，或以膠體將微生物保留在格子內皆為菌體固定之方法，其優點為增加系統之菌種密度和減少反應過程菌種的流失。固定化方法可略分為附著法(Attachment)、包埋法(Entrapment)、包含法(Containment)及聚集法(Aggregation)。(陳國誠, 2000；吳美惠等, 1996)

一、吸附法(Attachment)

又稱為載體結合法，微生物或酵素可藉由物理吸附、離子鍵結、金屬螯合作用或共價鍵等方式與載體結合。

共價鍵結是由活性碳、多孔性陶瓷、砂、不銹鋼或玻璃等不溶於水之載體，進行化學反應而形成共價鍵結合的固定化方法，其主要是利用微生物或酵素與載體間產生共價鍵，將微生物或酵素固定於載體上。通常載體與微生物或酵素間無法直接產生共價鍵，因此需藉有特定藥物先將載體表面活化後，將微生物或酵素加入與其形成共價鍵。酵素上常被利用之官能基為 amino group (NH₂)、hydroxyl group (OH)、sulfydryl group (SH)、carboxyl group (COOH)等，通常微生物或酵素經由共價鍵之結合後不易流失，但缺點為在合成過程中會造成微生物或酵素有較大傷害。

物理吸附是最簡單的固定化方式，譬如滴濾池法、旋轉生物轉盤法(RBC)、接觸曝氣法等生物膜處理法皆屬於此應用方式。微生物或酵素藉由凡得瓦力、離子作用力、氫鍵、疏水性結合等作用力附著於載體表面，載體可能為石頭或塑膠等材料，再利用質量擴散與微生物的分化作用而去除有機質之方法。

金屬螯合作用是利用微生物或酵素上之官能基和過渡金屬水合物形成螯合作用使微生物或酵素固定於載體上，其中主要的過渡金屬鹽類有鈦、鐵、鋅、鈮、錫之氯化物或硫酸鹽等，而適用之載體有纖維素、褐藻膠、幾丁質、陶瓷、玻璃、矽化合物。

離子鍵結是利用微生物或酵素與載體上帶電之官能基產生離子鍵結而將微生物固定於載體上之方式，因離子鍵結力較物理吸附強，因此其作用力易受 pH 及離子強度影響，當 pH 或離子強度改變時可能會造成離子作用力減弱，造成微生物或酵素流失。

二、聚集法

聚集法為載體共價結合和架橋結合方法，為利用具有兩個以上之官能基之化學藥物與微生物或酵素進行分子間之交聯(Intermolecular-crosslinking)或分子內交聯(Intramolecular-crosslinking)而達到固定化之方式，其中可使用架橋藥物有戊二醛(Glutaraldehyde)、Aliphaticdiamines、TiO₂ 等。

三、包含法

本法亦稱為膠囊固定法或是微粒包覆法，應用半通透性的高分子膜將微生物菌體包覆製成 10-100 μm 之微粒，再利用滲透壓平衡使水分、營養鹽、溶解基質與微生物代謝物自由進出，而菌體則截留於薄膜內，一般常被用於微囊包覆之材料有 nylon 和 cellulose nitrate，但此方法因細胞較易流失之故並不廣泛被使用。

四、包埋法

包埋法亦稱格子法、膠體包覆法，為目前最普遍被使用之人工微生物固定方法。利用載體和多價離子間的離子鍵結進行網狀結構來包埋微生物菌體，將膠體物質溶於適當溶劑中，再將微生物菌體與之混合攪拌，使其形成網狀之構造而將微生物細胞嵌於膠質格子中，微生物所需之基質與養分或是其代謝產物能透過膠

體格子自由進出，而微生物則固定於格子內。本法又可分為三類：

第一類為聚合包覆(Entrapment by polymerization)，將微生物固定於載體內。可利用之載體材料如聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)、聚乙二醇(Polyethylene glycol, PEG)、聚丙烯胺(Polyacrylamide, PAA)、醋酸纖維(Cellulose triacetate)等高分子聚合物。

第二類為離子鍵結網路包覆(Entrapment by ionic network formation)，利用高分子化合物與多價離子鍵達成固定化，而將微生物細胞包埋於載體內。最常使用的載體材料為褐藻膠鈣(Ca-alginate)。

第三類為沉澱包覆法(Precipitation entrapment)，常見的載體材料如瓊脂(Agar)、明膠(Gelatin)、鹿角藻膠(K-carrageenan)等，利用改變溶液中之 pH、鹽度、溫度或溶劑等條件，使合成聚合物或天然聚合物沉澱成膠體並包覆微生物。

2-3-2 固定化細胞相關研究

Tanaka et al. (1991) 以 Polyethylene glycol (PEG) prepolymer 添加褐藻膠鈣所製備的硝化菌顆粒，將此硝化菌顆粒應用於懸浮污泥脫硝槽中進行都市廢水之處理，經過連續 6 個月的操作下發現總氮的去除率可達 70 %，出流水 BOD 亦低於 20 ppm。

Tada et al. (1993) 分別以聚乙二醇、丙烯醯醇、環氧樹脂三種材料將硝化菌固定後，進行固定化微生物顆粒之物理特性及硝化活性之評比，以生活污水為硝化及脫硝模場試驗，槽中填充率為 7.5 %、BOD 為 50~170 mg/L、總氮為 10~50 mg/L，出流水及總氮得到結果均維持 10 mg/L 以下，受天候及溫度之影響不大。經過一年操作後發現固定化硝化菌載體，於初期時載體內外層微生物均勻分佈，培養 60 天後硝化活性逐漸增強，馴養 200 天時載體表面於載體表面有 60 μm 厚之生物膜，造成顆粒內部無微生物生長跡象。Tada et al. (1993) 建議固定化細胞應用於好氧生物處理宜採流體化床程序，因流體化床可以利用空氣衝擊、水流剪力減少顆粒表面生物膜生長或使其脫落，可減少因質傳不佳而造成固定化細胞內部微生物之死亡。

Tramper and Grootjen (1989) 以 carrageenan 作為載體材質，包覆 Nitrobacter

agilis 和 Nitrosomonas europaea(硝化菌)做成固定化顆粒，以氣泡圓柱型生物反應槽進行固定化菌體對氨氮、亞硝酸氮的去除率之研究。包覆 Nitrobacter agilis 之固定化顆粒，以 50 分鐘的水力停留時間操作 200 天，顆粒菌體活性仍佳，而氨氮的轉化率平均在 95% 以上；而 Nitrosomonas europaea 之固定化顆粒以水力停留時間 6.67 小時，顆粒填充率 9.08% 及水力停留時間 7.14 小時顆粒填充率 8.85% 等操作條件，並改變氨氮的濃度，可得氨氮轉化率平均在 92~97% 之間。

Kokufuta et al. (1998) 將 Nitrosomonas europaea 及 Paracoccus denitrificans(脫硝菌)混合，植種於多電解質複合物的載體內，利用載體氧氣傳輸程度不同，使好氧菌硝化菌生長於載體表面，而厭氧菌則於載體內部增殖，並將利用含乙醇及氨氮的合成廢水進行曝氣培養，結果呈現共同固定化顆粒之氨氮代謝速率較僅固定 N.europaea 純菌載體快 3.4 倍，且共同固定化載體槽內液體經實驗測得無亞硝酸鹽氮之累積，顯示此顆粒在通氣條件下仍具有脫氮的能力，其原因為載體內外質傳效率與微結構代謝機制不同，因此減少了亞硝酸鹽氮之累積。

Sumino et al. (1992) 以酯聚合物包埋硝化菌製成高濃度微生物為載體之流體化床操作，並進行合成氨氮廢水處理，此系統逐漸提升濃度以馴養固定化細胞，操作至第五天負荷維持為 0.24 kg N/m^3 ，結果顯示系統中固定化細胞微生物攝氧率自啟動後逐漸上昇，之後穩定維持於 $160\sim 240 \text{ mg O}_2/\text{L pellet-hr}$ ，並且觀察發現固定化載體之物理特性無明顯改變，因此可推論微生物代謝發生於固定化細胞中。

2-3-3 利用固定化細胞進行廢水生物處理之優點及限制

固定化細胞應用於廢水生物處理之優點說明如下(Yang et al., 1993；陳國誠，1998)：

- 一、啟動時間短，僅需 5-7 天之馴養時間。
- 二、多種菌體固定化能夠提供多種酵素系統，亦可用於不同反應器之操作而增加廢水處理的範圍及種類。
- 三、操作方法與活性污泥法或其他污水處理方法相似，優點為不須迴流污泥以及沒有污泥膨化之情形，且現場操作可降低反沖洗之頻率。
- 四、污泥齡較無固定化處理方法長，產生污泥較少，即於生物處理程序中即

可減少污泥產量，出流水品質佳且無須設置終沉池。

五、污泥包埋在固定式濾料中，可長期操作且活性維持穩定，並藉由載體之保護，使菌體對毒性之敏感性較低。

六、固定化細胞之微生物可根據廢水性質而自行改變或人為選擇不同之菌株，以達分解特定廢水又可提高處理效率之目的。

七、污泥不容易流失，較其他濾料有較高且穩定的去除率，因此放流水質良好且沈降性較佳容易分離，並可以視情況增設或不增設沉澱池。

八、由於微生物生長和擴散阻力之交互作用，固定化細胞內部可形成無氧或厭氧狀態，而固定化細胞外部則進行好氧反應，達到單槽即可同時去除COD和氮氧化物之目的。

利用固定化細胞用於廢水生物處理有以下限制(江晃榮,1990;阮國棟,1997):

一、經固定化之微生物，可能會有代謝或菌叢改變之情形，當細胞增殖或死亡於固定化細胞表面，將造成孔洞阻塞而影響質傳效率，更進一步可能引起表面菌體剝落而增加出流水之懸浮固體濁度。

二、由於大型生物如原生動物在固定化細胞內不易存活，此生物處理機制與一般生態自然系營生階層之層級不相同，因此可能引起反應槽機能不良。

三、固定化細胞之製作方法、機械強度、微生物存活率及成本，均會影響廢水處理程序，因此需做長期性觀察。

四、基質透過固定化之載體傳輸，其傳輸速率會影響微生物處理效率，因此若處理通透性差之高分子基質或懸浮微粒濃度較高之廢水，有可能會影響處理效率。

五、好氧生物處理使用固定化細胞時，其內部氧氣和基質之質傳效率會影響菌體或酵素增殖，若固定化細胞內部質傳通透性差時菌體僅生長於表層與中層，內層則觀察不到菌體，因此固定化細胞粒徑不適合過大，因當粒徑過大時菌體僅於表層增殖，且當其表面附著特殊微生物時，容易造成出流水之濁度增加。



第三章 材料與研究方法

本研究目的為利用球形固定式濾料處理廢水並探討污泥生成量，經由改變不同操作條件如顆粒大小(1 cm 和 2.5 cm 之粒徑)、水力停留時間(6 小時及 12 小時)、曝氣模式(連續曝氣、1 小時曝氣/1 小時不曝氣、1 小時曝氣/2 小時不曝氣)，以觀察生物反應器去除 COD 效率及污泥產生量。

3-1 實驗內容與項目

利用固定式生物濾料反應程序處理廢水，比較不同顆粒大小的影響及不同的水力停留時間及曝氣方式之結果，以探究不同操作條件下所產生的 COD 去除率及污泥產生量，圖 3-1 為實驗流程圖。

第一階段：

此階段以合成廢水進行實驗，pH 值控制在約 6.2~7.3 之間，以空氣壓縮機供給空氣並以浮子流量計控制曝氣量。由於人工合成廢水為溶解性 COD (SCOD)，可以得知過濾出流水後增加之污泥量，為反應槽內生長之菌體及顆粒外微生物之增長量。

- 1、分為兩個不同粒徑之球形顆粒濾料來進行實驗。
- 2、以不同水力停留時間 (HRT) 和改變曝氣量為操作條件進行實驗。
- 3、在此不同操作條件下，測得 COD、氨氮處理效率及產生之污泥量。
- 4、每 7 天清洗反應槽，反覆進行直到實驗結束。
- 5、以第一階段之最佳反應參數進行第二階段實驗。

第二階段：

進行高濃度 COD 之合成廢水實驗，觀測處理效率及產生之污泥量。

第三階段

以實際食品廢水進行實驗及模廠試驗。

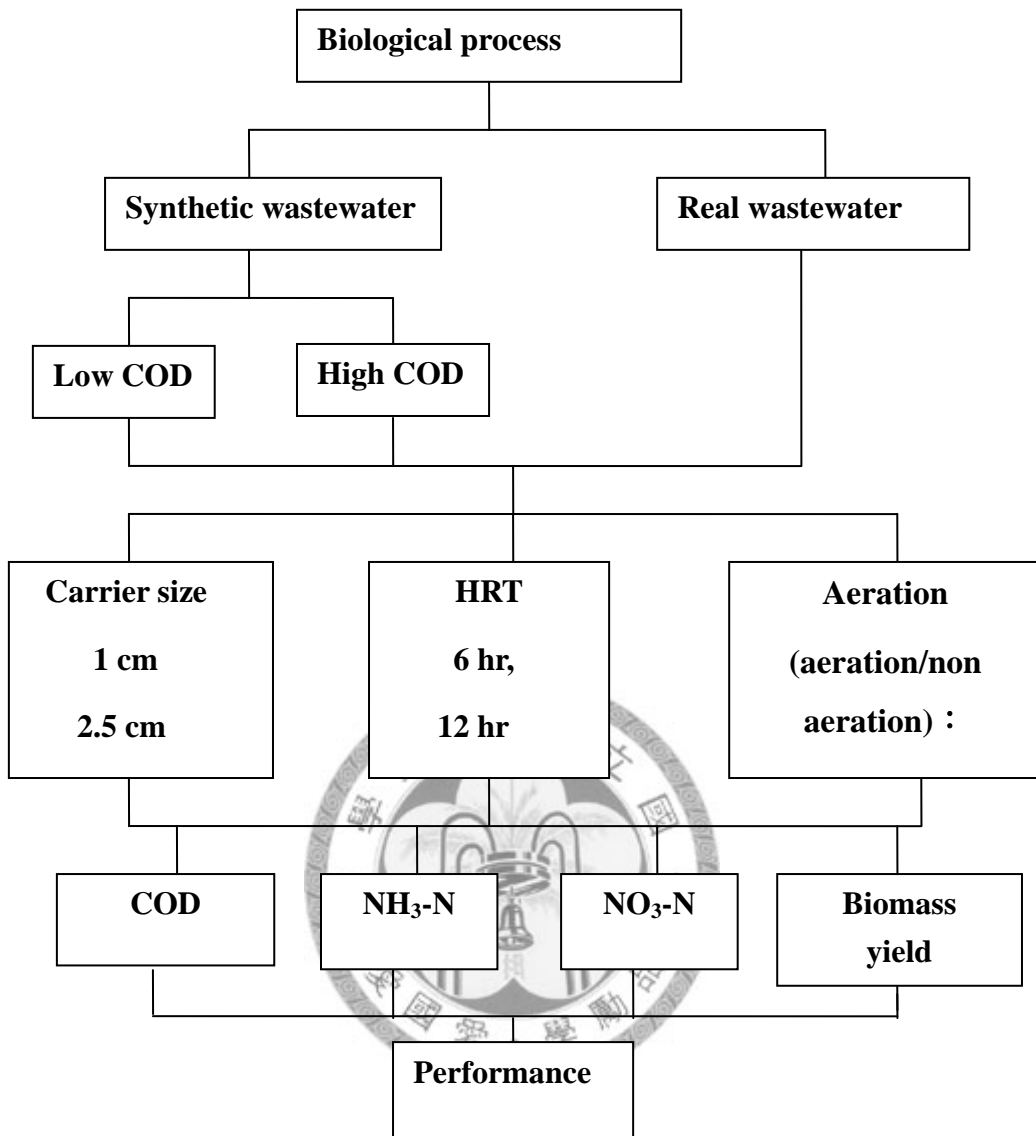


圖 3-1 實驗流程圖

3-2 實驗設備

本生物處理實驗設備包括反應槽主體、曝氣設備、進流水設備和入流與出流水桶如圖 3-2。

1、反應槽主體

本研究使用之生物反應器寬 150 mm 高 700 mm，將固定式濾料分兩層填入反應器中，固定式濾料以填充物質填充並以隔網區隔，而此固定式濾料之填充率為 30%，利用蠕動幫浦控制營養液流入生物反應槽之流速，並且利用空氣壓縮機供應空氣。管柱中間有三個採樣孔，以觀察反應槽不同階段的微生物處理污染物效率及其變化，而反應槽上方圓蓋提供 pH 量測儀和其他量測水質設備之量測空間。

2、曝氣設備

空氣壓縮機 VA-51 供應反應槽空氣，空氣儲存量為 60 L，排氣量為 106 L/min，最大壓力 10 kg/cm^2 使用壓力為 7 kg/cm^2 。

3、進出流裝置

進入生物反應槽的合成廢水以蠕動幫浦控制流量，由下方入流口進入生物反應槽，廢水經由水流及空氣帶動而進行固定式濾料兩段式處理，再經由上方出流口流出。

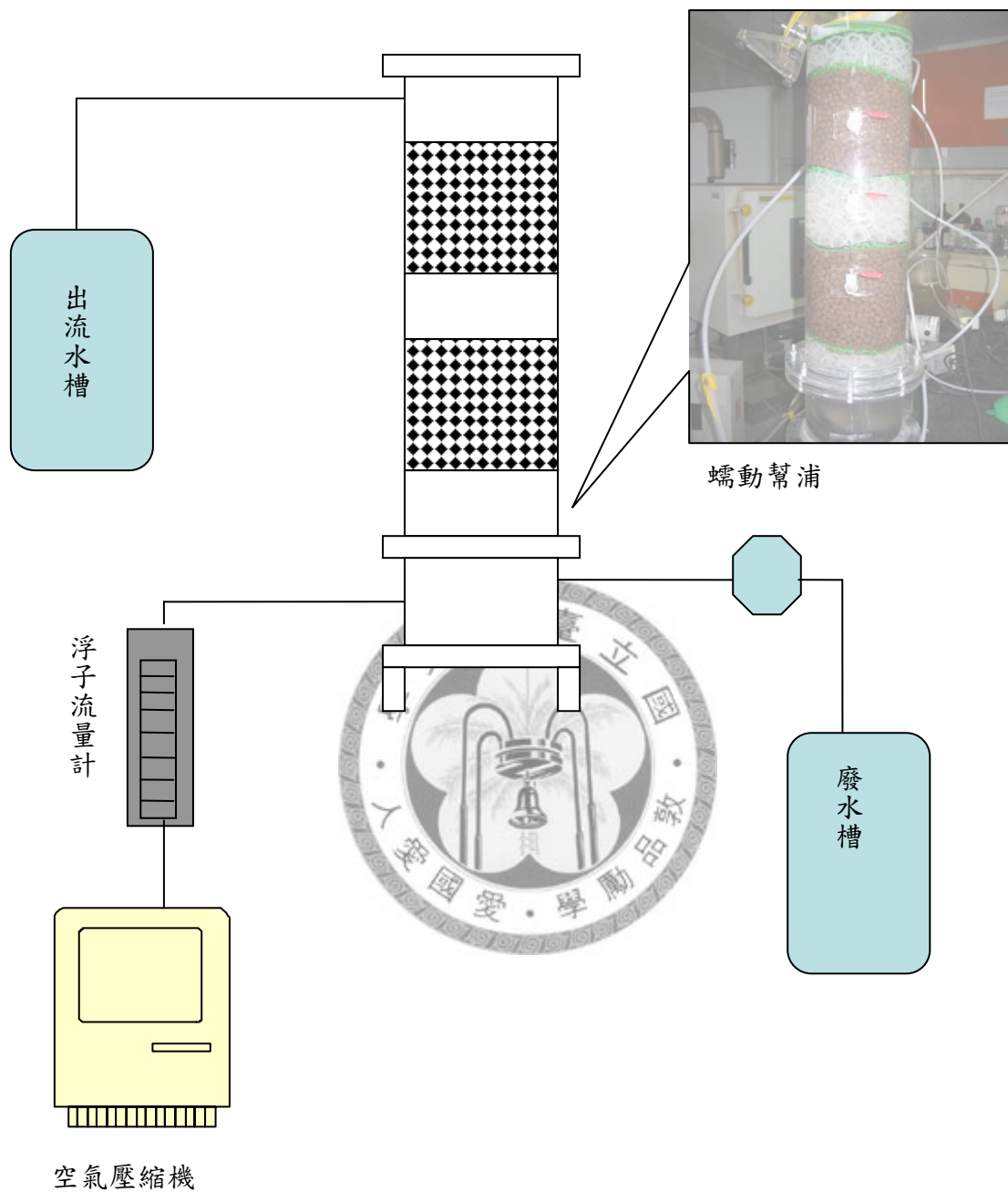


圖 3-2 實驗裝置

3-3 實驗方法

3-3-1 固定化微生物製作

固定化微生物濾料係微生物包埋於固定膠體之固定化技術 (Yang, 1993)，將固定式濾料置於生物反應器內，固定化微生物製做之方法如圖 3.3 之流程：

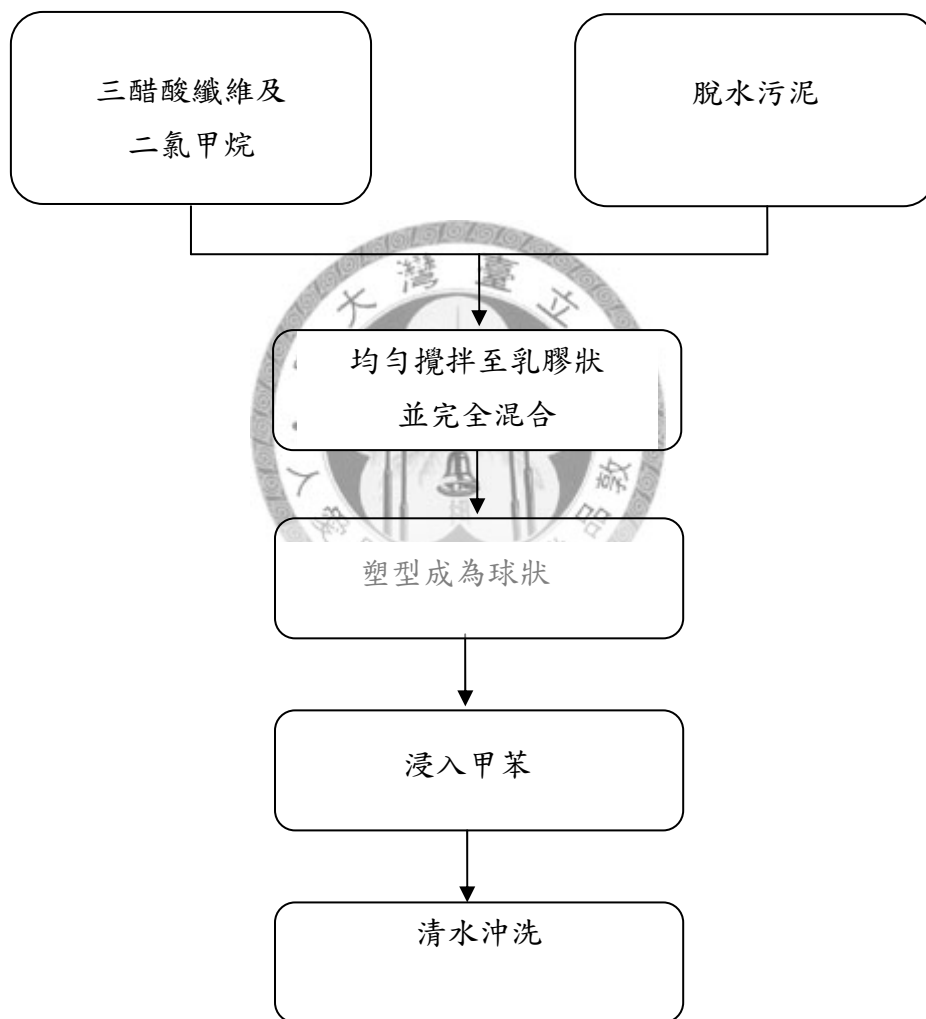


圖 3-3 固定化濾料製作流程

本研究係將由食品廢水廠取得之污泥脫水後，利用上述流程固定濾料，將固定化濾料顆粒製程大小為直徑 1 cm 球體與直徑 2.5 cm 之球體，並於固定化濾料顆粒乾燥完後以水沖洗，再於置入反應槽後經適當馴養使顆粒之微生物適應環境即可開始進行實驗。

3-4 分析方法

利用固定式濾料進行廢水處理實驗，量測每日入流水與出流水質之 pH 值、溶氧量、COD 量、氨氮、總懸浮固體量。

一、pH 和溶氧

利用 pH controller pH-101 和 dissolved oxygen controller DC-5100 測得水中溶氧和 pH 值。

二、SCOD

- 1、原理：將水樣過濾後，將其與 COD 試劑混合均勻後，置於 150°C 反應器內加熱兩小時，即可由比色計讀取水樣之化學需氧量值。
- 2、設備：COD 試劑、試管、COD 反應器(HACH COD reactor)、COD 比色計(HACH DR/2800 spectrophotometer)、精密微量滴管、蒸餾水、量筒。
- 3、COD 試劑藥品：硫酸汞、濃硫酸、重鉻酸鉀
- 4、方法：將水樣稀釋 3~5 倍，再加入 2 mL 水樣至 COD 試劑中，放入事先預熱之 COD 加熱器加熱兩小時。加熱兩小時後等溫度降至 120°C 以下後，取出冷卻至室溫，開啟比色計並設定好分析方法參數，再放入空白樣品做零點校正，最後放入待測樣品即可測得 COD 值，再將測得數據乘上稀釋倍數即可得到正確值。

三、氨氮及硝酸鹽氮

NH₃-N (Nitrogen, Ammonia)分析方法：

- 1、原理：將水樣過濾後將藥劑依序滴入水樣中，再由 HACH DR/2800 spectrophotometer 讀取水樣之 NH₃-N 值。
- 2、設備： HACH DR/2000 spectrophotometer、精密微量滴管、蒸餾水、量筒。

3、試劑藥品： mineral stabilizer、polyvinyl alcohol 及 nessler reagent，可測得範圍為 0.02–2.50 mg/L NH₃-N

4、方法：將水樣稀釋 3~5 倍，再照順序將藥劑 mineral stabilizer、polyvinyl alcohol 及 nessler reagent 依序滴入三滴於水樣中並且均勻混合，開啟比色計並設定好分析方法參數，放入空白樣品做零點校正，再放入待測樣品即可測得 NH₃-N，最後將測得數據乘上稀釋倍數即可得到正確值。

NO₃⁻-N (Nitrogen, Nitrate)分析方法：

1、原理：將水樣過濾後，將其藥劑 Cadmium Reduction 混合均勻後，由 HACH DR/2000 spectrophotometer 讀取水樣之 NH₃-N 值。

2、設備： HACH DR/2000 spectrophotometer、精密微量滴管、蒸餾水、量筒。

3、試劑藥品：Cadmium Reduction，可測得範圍為 0.3–30.0 mg/L NO₃⁻-N

4、方法：將水樣稀釋 3~10 倍，將藥劑 Cadmium Reduction 藥粉置於水樣中，將瓶蓋蓋上並搖 1 分鐘後靜置 5 分鐘，開啟比色計並設定好分析方法參數，再放入空白樣品做零點校正，最後放入待測樣品即可測得 NH₃-N，再將測得數據乘上稀釋倍數即可得到正確值。

四、總懸浮固體

1、原理：混合均勻的水樣經玻璃纖維濾紙過濾後，將濾紙置於鋁盤上，在 103~105°C 的烤箱內乾燥至恆重，濾紙所增加的重量為即總懸浮固體重(TSS)。

2、設備：濾紙、鋁盤、低溫烘箱 Prema RUO-452 (溫度設於 103~105°C)，乾燥箱、電子分析天平、量筒、去離子水、過濾裝置(濾膜過濾器)、抽氣裝置(幫浦、抽氣瓶)

3、方法：將未使用過之濾紙置於 103~105°C 的烤箱內 24 小時後，放入乾燥箱中乾燥至恆重，量測重量後取適量水樣及濾紙置於薄膜過濾器，並且連接抽氣幫浦，至水份均抽乾後，將濾紙取出，裝入鋁盤中後放於烘箱以 103~105°C 烘乾 24 小時後取出量測，濾紙所增加重量即為總懸浮固體重。

3-5 污泥產率計算

探討固定化生物反應系統所產生之污泥產率，計算公式為：

$$Y = \frac{\Delta x}{\Delta s} \quad (3-1)$$

Y：污泥產率，單位為 kg SS/kg COD

Δx ：細胞利用基質所增加之質量，單位為 kg SS

Δs ：細胞所利用之基質，單位為 kg COD

Yield 之種類分為 Y_{obs} 和 Y，其中 Y_{obs} 反應槽中由總值量(Δx)，包括細胞利用基質增加之質量及細胞衰退減少之質量(細胞進行內呼吸反應)，為直接觀察之產率；而 Y 污泥產率計算僅由細胞增殖而得，不考慮細胞衰退之生物質量。

由於此實驗之系統動力反應非常複雜，且固定化濾料內之真正質量不易估算，無法套用傳統活性污泥法之設計參數或動力模式計算，因此實驗之污泥產率由觀察而得(Y_{obs})，即包含細胞利用基質所增殖部分和細胞衰退所減少部分之總和。

第四章 結果與討論

本研究比較不同顆粒大小及不同的水力停留時間及改變曝氣方式的影響，求得不同操作條件產生的污泥量，係由兩個相同大小之反應槽，填充直徑 1 cm 污泥粒及直徑 2.5 cm 污泥粒分別進行實驗。

4-1 合成廢水

本研究利用人工合成廢水配合不同操作參數進行污泥產率之探討，合成廢水之組成如表 4.1 所示，此人工合成廢水參考目前生活污水之設計水質，固定以 COD 為 300 mg/l，NH₃ 為 25 mg/l 為操作水質。

表 4-1 人工合成廢水組成

Composition of synthetic wastewater

content	Concentration (mg/L)
sucrose	267.85
(NH ₄) ₂ SO ₄	133.93
KH ₂ PO ₄	141.16
K ₂ HPO ₄	286.62
MgSO ₄ ·7H ₂ O	21.43
MnSO ₄ ·H ₂ O	2.68
CaCl ₂	3.8
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.134

4-1-1 不同粒徑之污泥產生量

在不同粒徑(1 cm 及 2.5 cm)之污泥粒條件下，改變水力停留時間(HRT)為 6 小時以及 12 個小時和連續曝氣、1 小時曝氣/1 小時不曝氣及 1 小時曝氣/2 小時不曝氣，進行 COD 去除率、總氮去除效率和污泥產生量實驗。

由圖 4-1 中可知當反應槽內載體為直徑 1 cm 污泥粒時，改變水力停留時間或是曝氣模式，對於 COD 去除效率並無明顯的影響，其平均去除率均達 92.3% 以上；總氮去除率方面，於 1 小時曝氣/2 小時不曝氣之曝氣模式搭配 6 小時之水力停留時間時，其去除效率為最佳(39.6%)；另在連續曝氣條件下，其總氮之去除效率則較不理想，於 6 及 12 小時之 HRT 下分別為 22.9 及 30.4%。

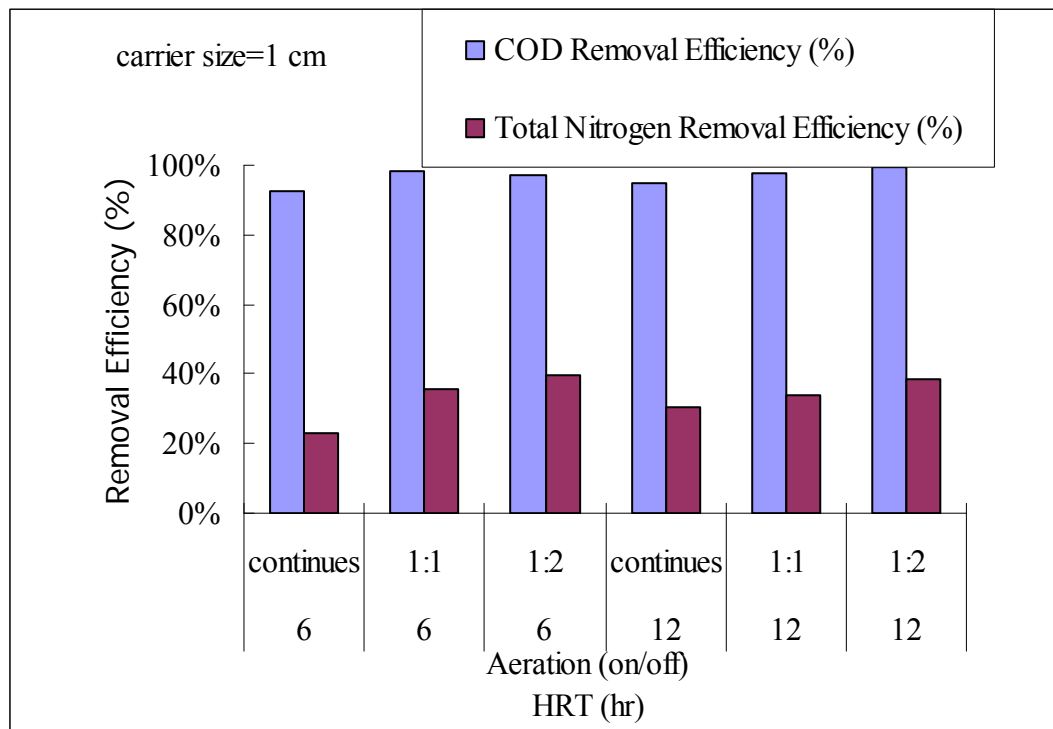


圖 4-1 粒徑 1 cm 污泥粒於不同曝氣模式和水力停留時間之 COD 及總氮氮去除率

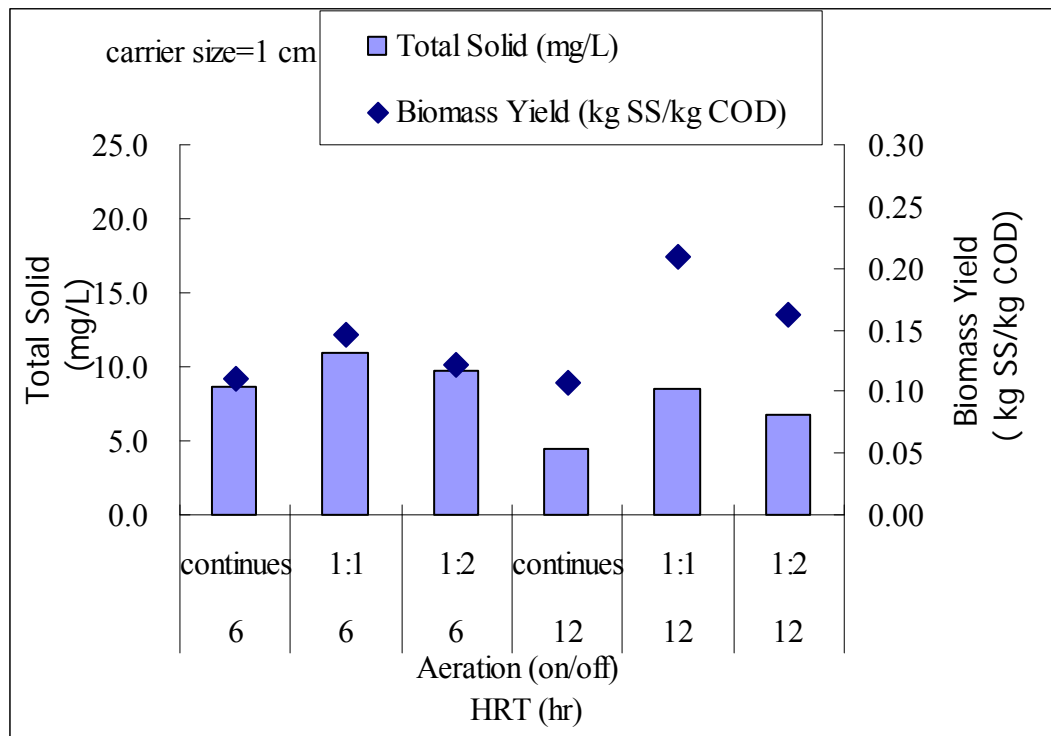


圖 4-2 直徑 1 cm 污泥粒改變曝氣和水力停留時間之固體量

在總固體量和污泥產率方面(如圖 4-2 所示)，當操作條件為連續曝氣，水力停留時間為 12 小時時，其污泥產率為最低，總固體產生量為 4.490 克，污泥產率為 0.107 kg SS/kg COD。

於 2.5 cm 污泥粒實驗結果 (如圖 4-3 所示)，改變水力停留時間或曝氣模式，對於 COD 去除效率沒有明顯的影響，均達到去除率 92.6% 以上；在總氮去除率方面，操作條件為 1 小時曝氣/1 小時不曝氣搭配 6 小時之水力停留時間時，其總氮去除效率為最高(64.8%)；於其他操作條件下，其總氮之去除率約介於 40.0~48.1%。

在總固體量和污泥產率方面(如圖 4-4 所示)，操作條件為水力停留時間為 12 小時，曝氣模式為 1 小時曝氣/2 小時不曝氣時，其污泥產率較低(0.157 kg SS/kg COD)，而其總懸浮固體量為 5.980 克。

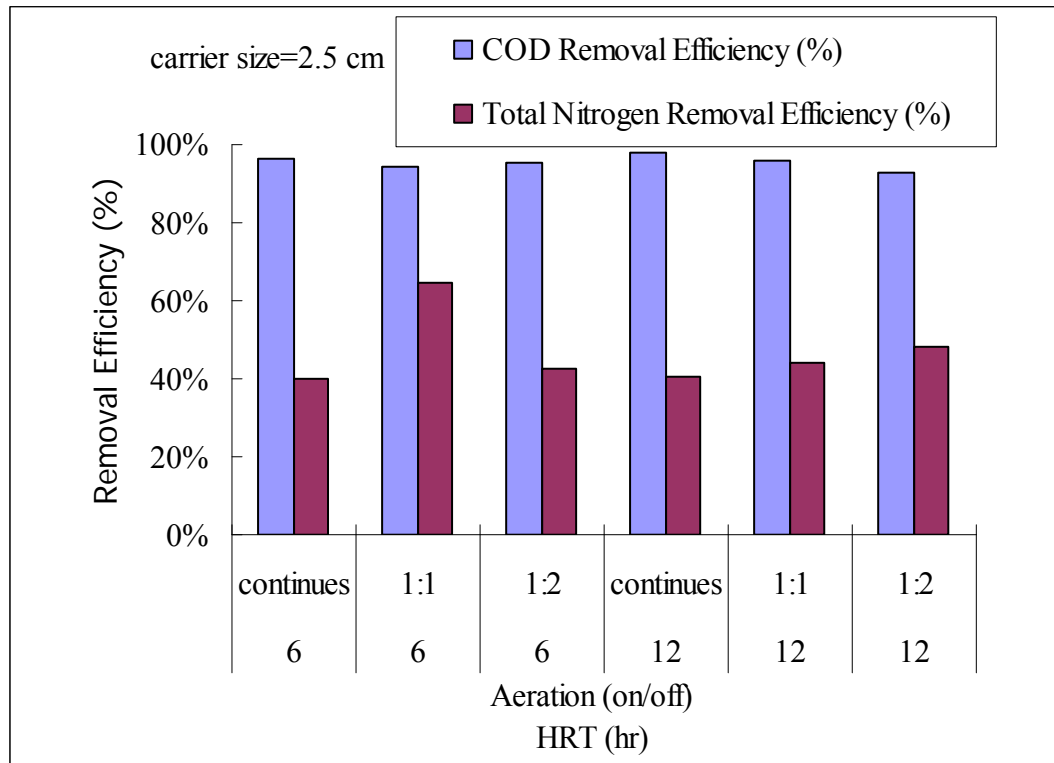


圖 4-3 直徑 2.5 cm 污泥粒改變曝氣和水力停留時間得到的 COD 和總氮去除率

綜合上述數據之研究結果得知，改變粒徑、水力停留時間及曝氣模式並不會影響其 COD 之去除效率，均可達 92.3% 以上。於總氮之去除效率方面，2.5 cm 粒徑之污泥粒之平均總氮去除效果(40.0-64.8%)均較 1 cm 粒徑(22.9-39.6%)佳，最高可達 64.8%。

於總懸浮固體產生量及污泥產率方面，1 cm 污泥粒之平均總懸浮固體產生量(4.490 – 10.910 g)及污泥產率(0.107 – 0.21 kg SS/kg COD)較 2.5 cm 之污泥粒低，其 2.5 cm 之總懸浮固體產生量及污泥產率分別介於 5.980 – 20.750 g 及 0.157 – 0.275 kg SS/kg COD。其中又以 1 cm 之污泥粒，於水力停留時間為 12 小時及連續曝氣時，其污泥產率為最低，為 0.107 kg SS/kg COD。

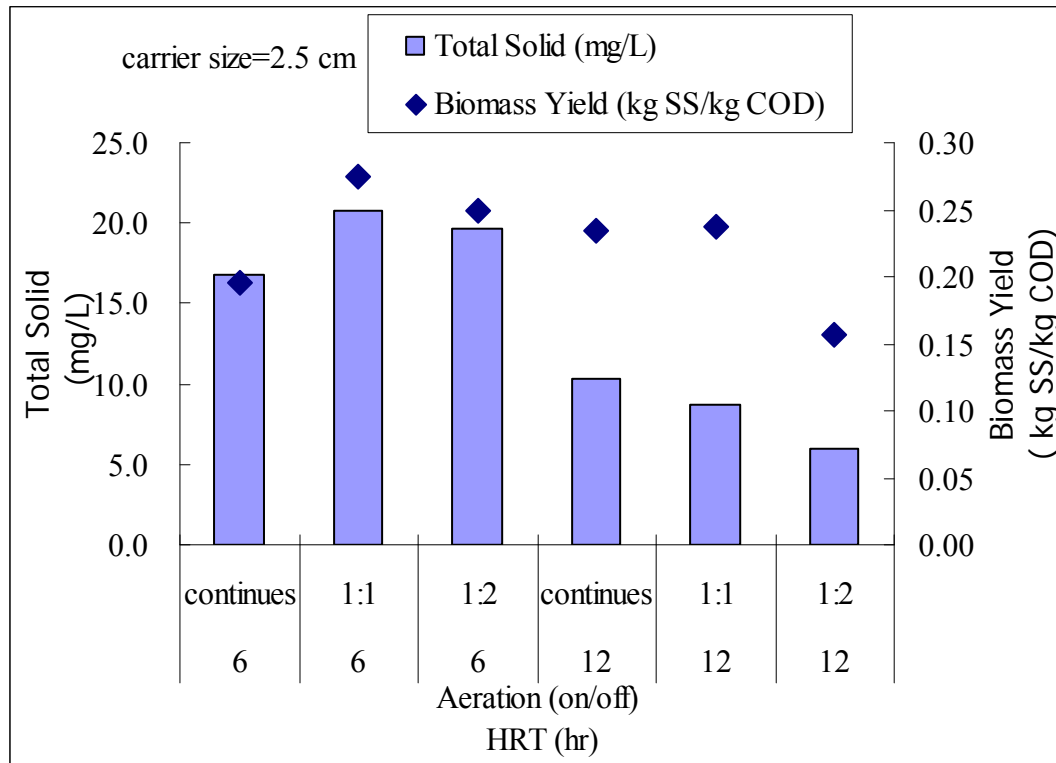


圖 4-4 直徑 2.5 cm 污泥粒改變曝氣和水力停留時間之固體量

4-1-2 不同水力停留時間之污泥產生量

在不同水力停留時間(6 小時與 12 小時)下，操作 1 cm 污泥粒和 2 cm 污泥粒之生物反應槽，在連續曝氣、1 小時曝氣/1 小時不曝氣及 1 小時曝氣/2 小時不曝氣，進行 COD 去除率、總氮去除效率和污泥產生量實驗。

首先進行水力停留時間 12 小時之實驗，體積負荷為 0.6 kg COD/M³ day。由圖 4-5 中可知當反應槽內載體為直徑 1 cm 或 2.5 cm 污泥粒時，改變曝氣模式對於 COD 去除效率並無明顯的影響，其平均去除率均達 92.6%；總氮去除率方面，曝氣模式設定於較少曝氣時有去除率增高之趨勢，於 1 小時曝氣/2 小時不曝氣之曝氣模式時，1cm 及 2.5cm 污泥粒去除效率均最佳(38.6%及 48.1%)。

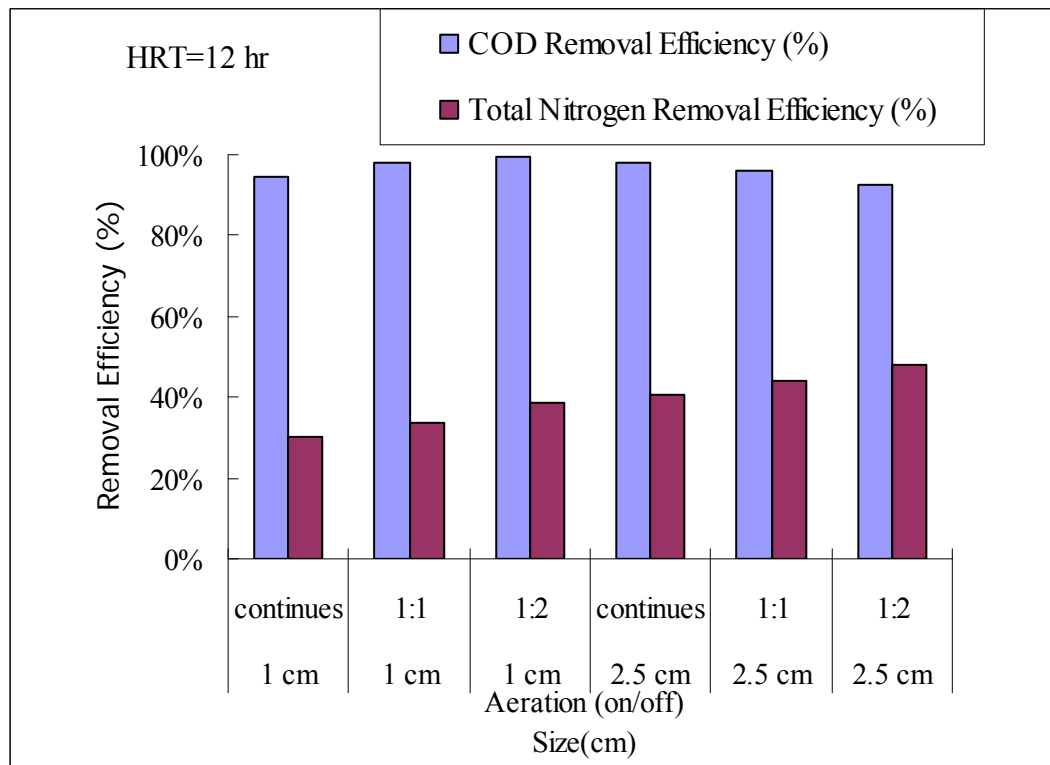


圖 4-5 水力停留時間 12 小時之所得之 COD 去除效率及總氮氮去除效率

如圖 4-6 得知總懸浮固體產生量及污泥產率，1 cm 污泥粒之平均總懸浮固體產生量(4.49 – 8.58 g)及污泥產率(0.107 – 0.210 kg SS/kg COD)較 2.5 cm 之污泥粒低，其 2.5 cm 之總懸浮固體產生量及污泥產率分別介於 5.980 – 10.330 g 及 0.157 – 0.235 kg SS/kg COD。其中 1 cm 之污泥粒於連續曝氣時，其污泥產率為最低，為 0.107 kg SS/kg COD。

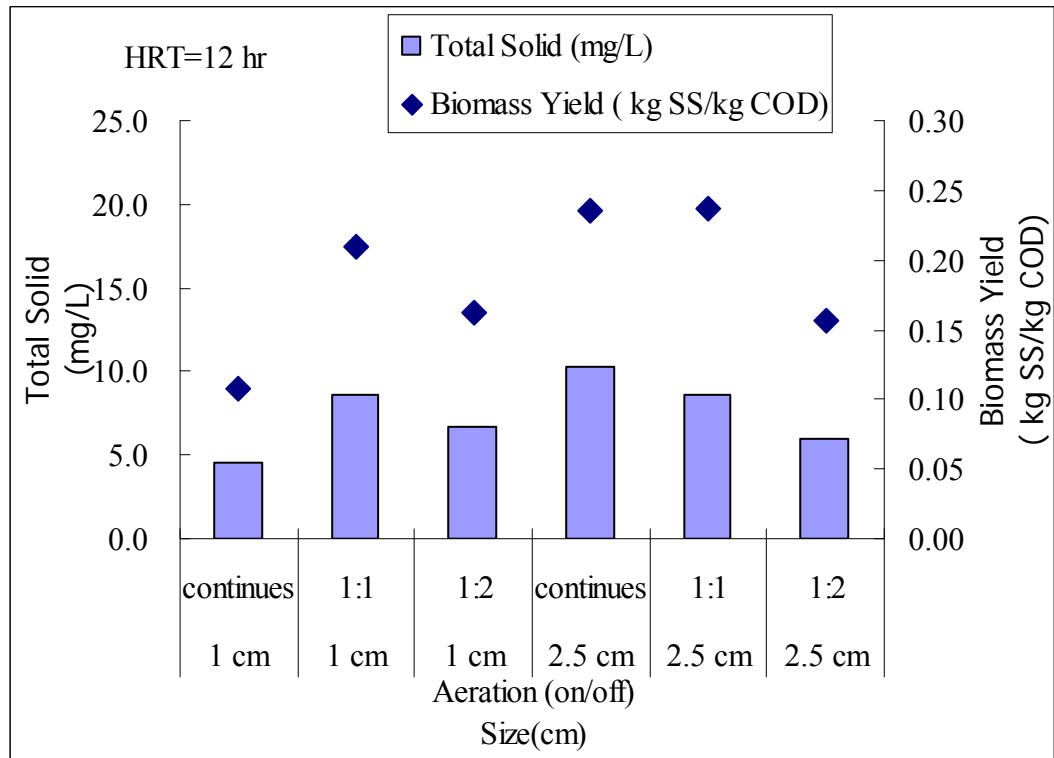


圖 4-6 水力停留時間 12 小時之所得總固體量及污泥產率

將水力停留時間由 12 小時縮短為 6 小時增加總反應槽負荷為 1.2 kg COD/M³ day，如圖 4-7，COD 平均去除率仍達 92.3% 以上，總氮去除率於曝氣 1 小時/不曝氣 1 小時，2.5 cm 污泥粒時有最大去除效率 64.8%。

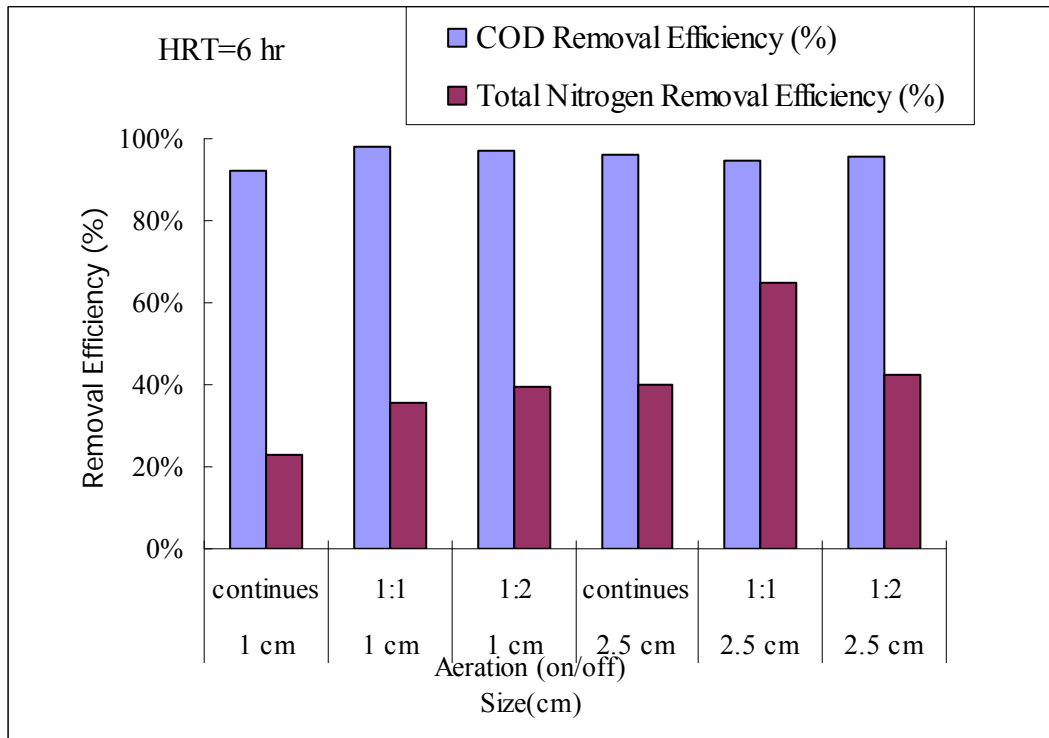


圖 4-7 水力停留時間 6 小時之所得之 COD 去除效率及總氮氣去除效率

總固體量和污泥產率方面如圖 4-8，1 cm 污泥粒連續曝氣時總固體量 8.693 g，污泥產率為 0.110 kg SS/kg COD；1 小時曝氣/2 小時不曝氣時，總固體量 9.727 g 而污泥產率為 0.121 kg SS/kg COD。由實驗觀察發現 1cm 污泥粒反應槽於水力停留時間 12 小時改變為 6 小時使體積負荷增加，得到的 COD 去除率一開始稍微減少，後來恢復平穩最後去除率可達 98% 以上，但 TSS 也因此增加。

2.5cm 污泥粒連續曝氣時總固體量 16.81 g，污泥產率 0.195 kg SS/kg COD；於 1 小時曝氣/1 小時不曝氣時污泥產率最高，有總固體量 20.753 g 而污泥產率為 0.275 kg SS/kg COD。

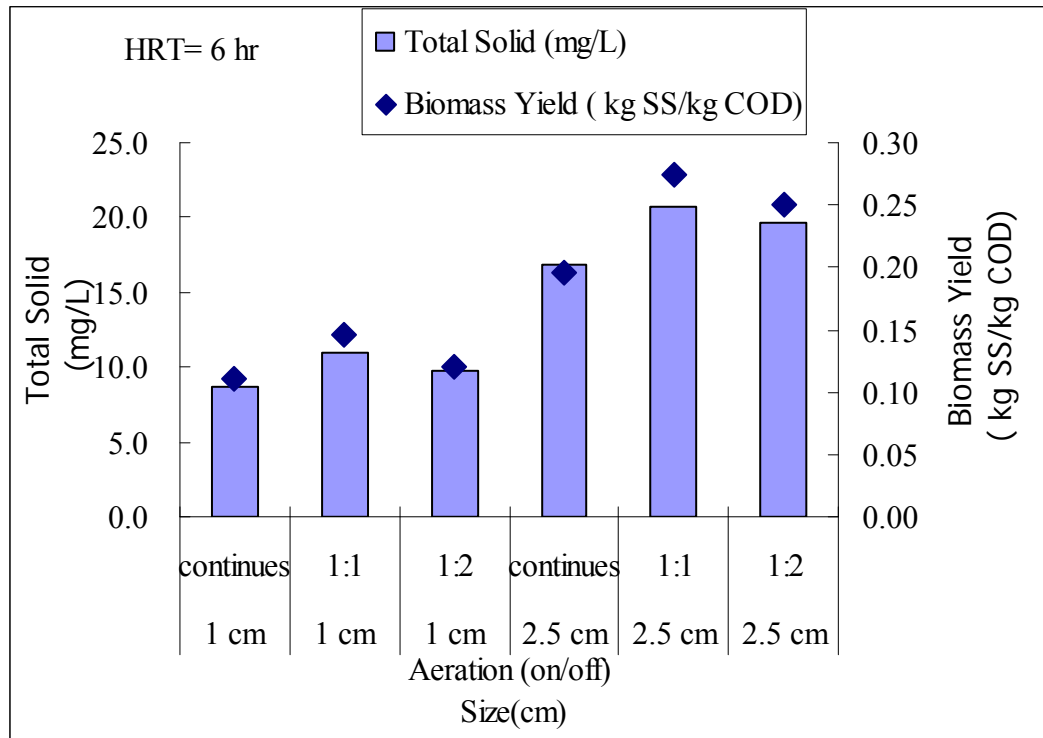


圖 4-8 水力停留時間 6 小時之所得之總固體量及污泥產率

綜合上述數據得知改變粒徑、曝氣模式並不會影響其 COD 之去除效率，均可達 92.3% 以上，於總氮之去除效率方面，2.5 cm 粒徑之污泥粒之平均總氮去除效果有最佳去除效率 64.8%。

懸浮固體量及污泥產率方面，水力停留時間 12 小時，污泥粒大小無明顯影響固體量及污泥產率之趨勢，總懸浮固體介於 4.490 g-10.33 g，污泥產率為 0.107-0.237 kg SS/kg COD。水力停留時間六小時，1cm 污泥粒反應槽平均懸浮固體產量(8.693 g-10.91g)及污泥產率(0.110-0.146 kg SS/kg COD)，有較 2.5cm 污泥粒平均懸浮固體產量(16.801 g-20.753 g)及污泥產率(0.195-0.275 kg SS/kg COD)小之懸浮固體產量及污泥產率。

4-1-3 不同曝氣模式之污泥產生量

2.5 cm 及 1 cm 污泥粒生物反應槽操作曝氣條件，連續曝氣及間歇曝氣(1 小時曝氣/1 小時不曝氣及 1 小時曝氣 2 小時不曝氣)進行實驗。

在連續曝氣之空氣供給條件下，COD 平均去除率達 92.3%，總氮氮去除率於 2.5 cm 污泥粒有較佳的效果(40.0%及 40.6%)，由圖 4-9 得知水力停留時間在此操作條件下對反應效率影響不顯著。

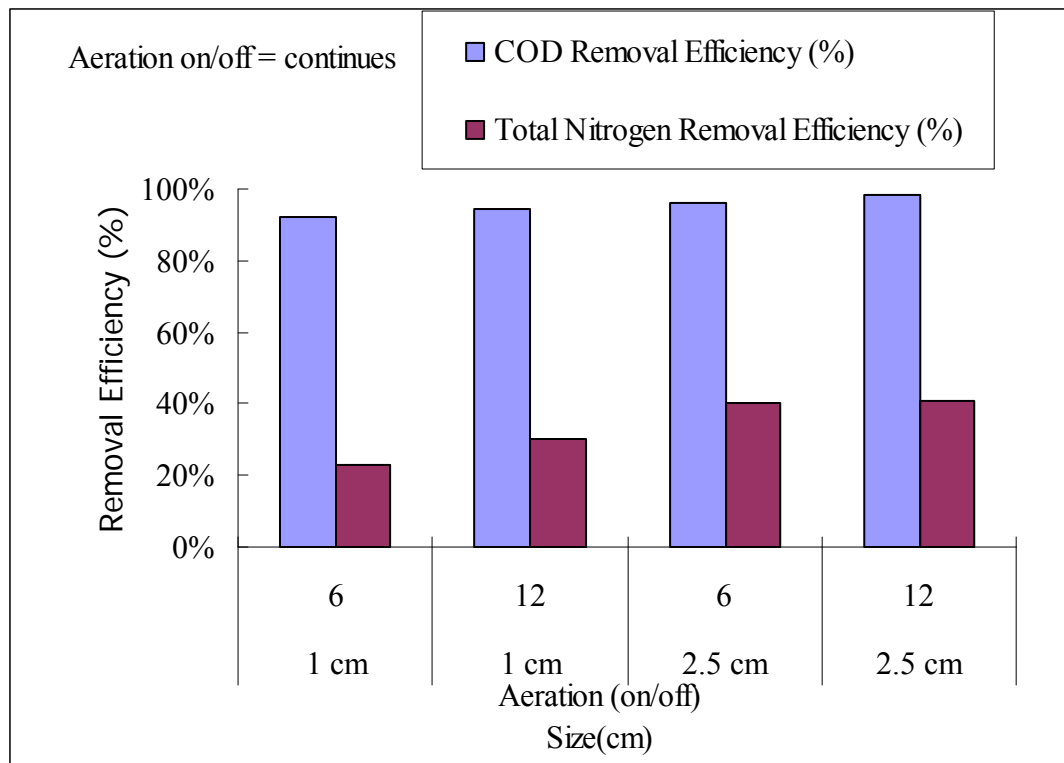


圖 4-9 不同直徑污泥粒及水力停留時間之 COD 及總氮氮去除效率

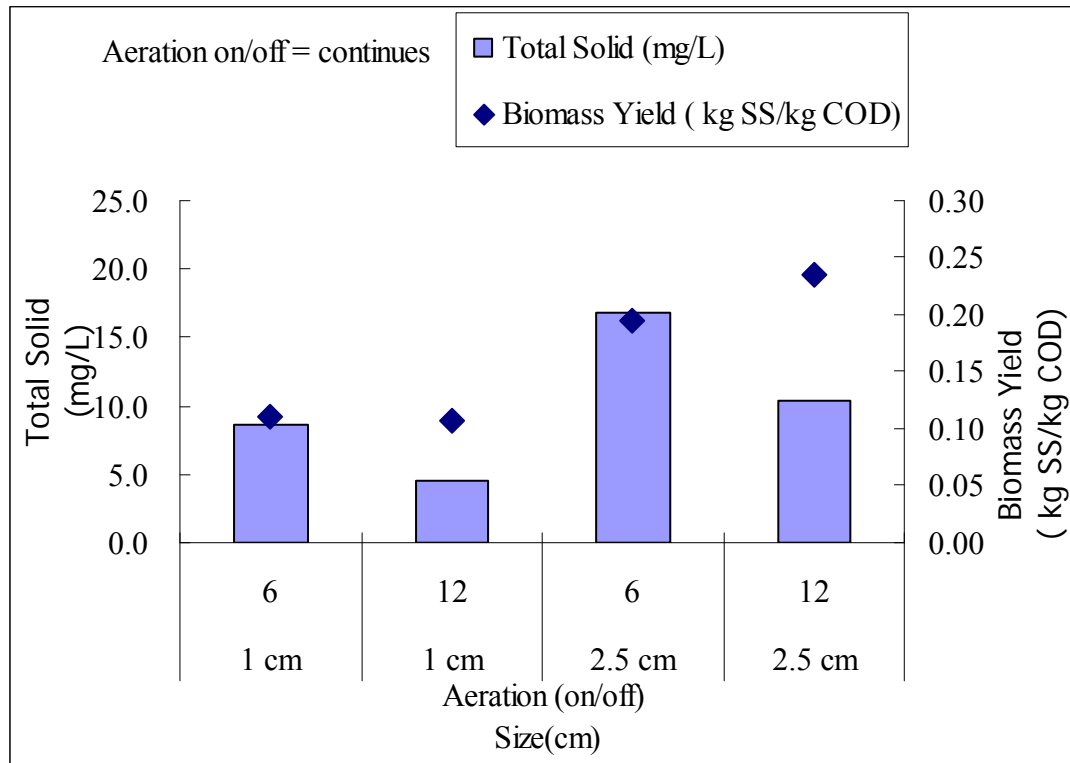


圖 4-10 不同直徑污泥粒及水力停留時間總固體量及污泥產率

由圖 4-10 得知，連續曝氣條件下 1 cm 污泥粒有較少總固體量，於水力停留時間 6 小時及 12 小時分別有總固體量為 8.693 g 及 4.490 g，污泥產率為 0.110 kg SS/kg COD 及 0.107 kg SS/kg COD。而 2.5 cm 污泥粒於水力停留時間 6 小時及水力停留時間 12 小時之總固體量為 16.80 g 及 10.33 g，污泥產率為 0.195 kg SS/kg COD 及 0.235 kg SS/kg COD。

在 1 小時曝氣 1 小時不曝氣條件下，COD 平均去除率達 94.5% 以上，總氮平均去除率以水力停留時間 6 小時有最大氮氮平均去除率 64.8%，由圖 4-11，2.5 cm 污泥粒有較佳總氮氮去除效率。

如圖 4-12 在間歇曝氣條件下，直徑 1 cm 污泥粒且水力停留時間為 12 小時有最小總固體量 8.58 g，污泥產率為 0.210 kg SS/kg COD；直徑 2.5 cm 污泥粒且水力停留時間為 6 小時有最大總固體量 20.753 g，污泥產率為 0.275 kg SS/kg COD。

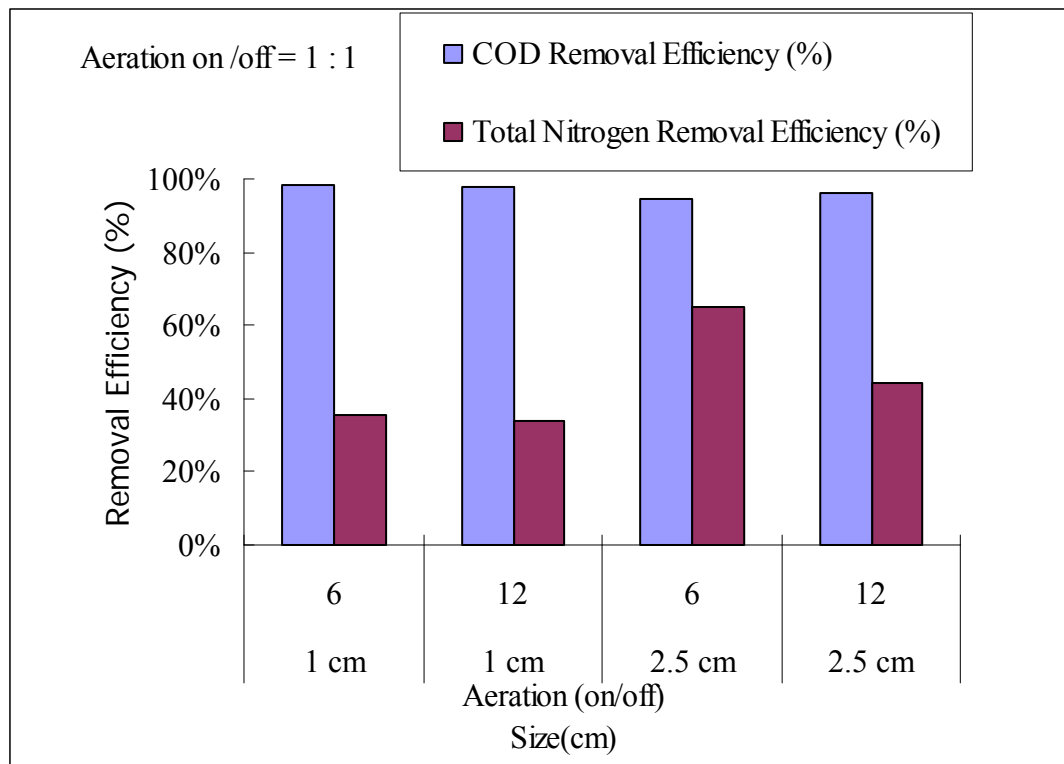


圖 4-11 一小時曝氣一小時不曝氣之 COD 去除效率及總氮氮去除效率

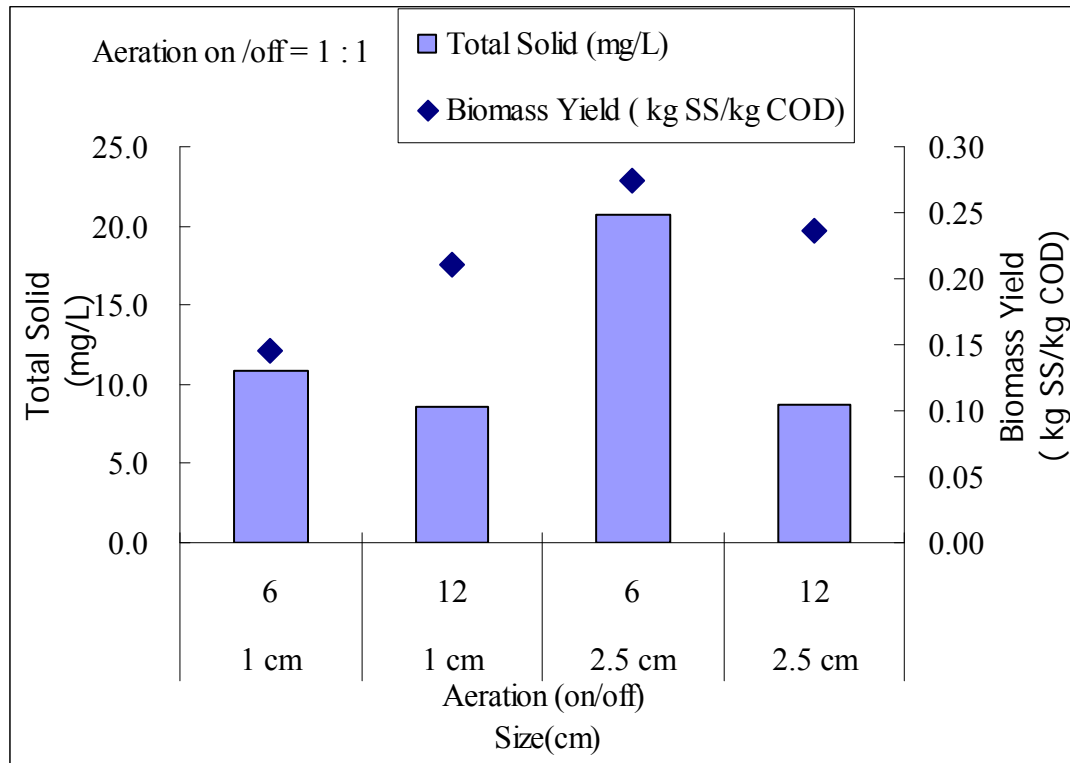


圖 4-12 一小時曝氣一小時不曝氣之總固體量及污泥產率

在 1 小時曝氣 2 小時不曝氣條件下如圖 4-13，COD 平均去除率達 92.6% 以上，氨氮總平均去除率在 38.6% 至 48.1% 之間，就整體而言 1 小時曝氣 2 小時不曝氣條件下，得到總氨氮平均去除率最為穩定，1 cm 污泥粒於此曝氣條件之總氨氮平均去除率最佳。

如圖 4-14 所示，直徑 2.5 cm 污泥粒且水力停留時間為 12 小時有最小總固體量 5.983 g，污泥產率為 0.157 kg SS/kg COD；但直徑 2.5 cm 污泥粒當水力停留時間為 6 小時，總固體量有增高的趨勢，總固體量為 19.710 g，污泥產率為 0.250 kg SS/kg COD。

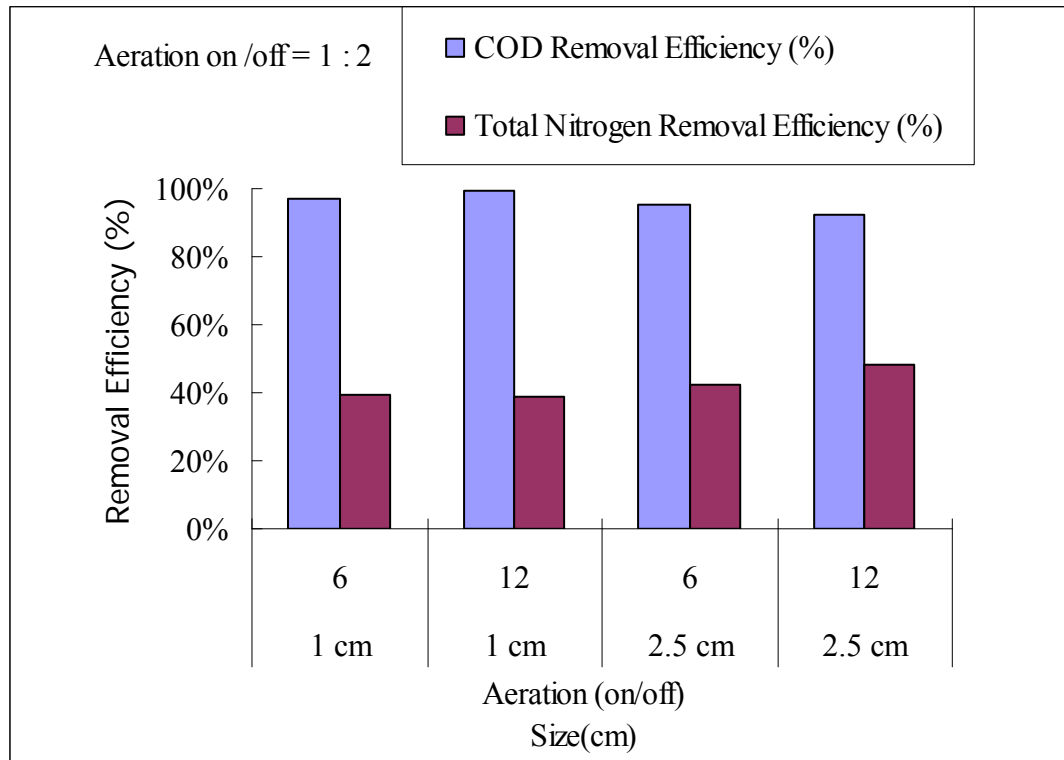


圖 4-13 一小時曝氣二小時不曝氣之 COD 去除效率及氮氮去除效率

綜合上述實驗數據發現水力停留時間 6 小時及水力停留時間 12 小時，COD 平均去除效率無明顯差異均可達 92% 以上。而總氮平均去除效率方面，似乎於連續曝氣條件下較弱，1cm 之污泥產率有 0.110 kg SS/kg COD、0.107 kg SS/kg COD、0.195 kg SS/kg COD、0.235 kg SS/kg COD。雖在 2.5cm 污泥粒反應槽於水力停留時間 12 小時，有較高之污泥產率 0.235 kg SS/kg COD，就整體而言仍有較少污泥產生之趨勢。且為了提供足夠生物反應之時間，往後實驗將以水力停留時間 12 小時且連續曝氣繼續進行。

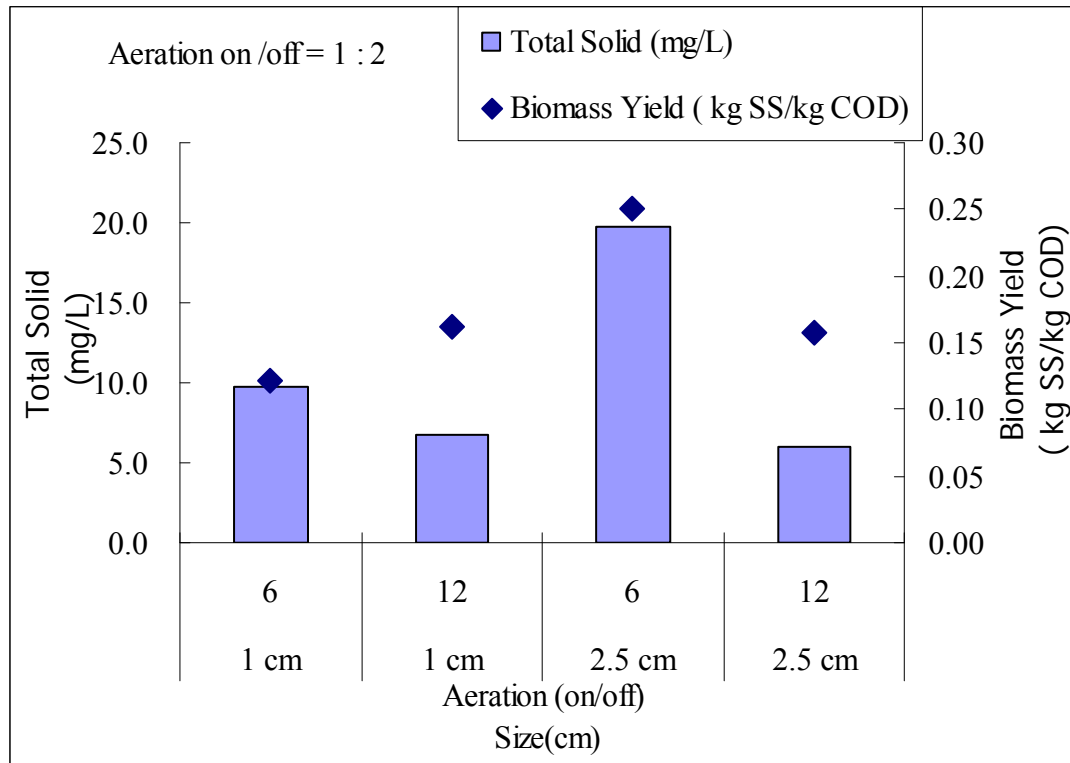


圖 4-14 一小時曝氣二小時不曝氣之總固體量及污泥產率

以下圖片為固定化生物反應槽進行合成廢水 COD 300 mg/L 之微生物生長之對照圖，以直徑 1 cm 污泥粒生物反應槽進行說明。圖 4-15 與圖 4-17 為實驗進行第 1 天之反應槽之情形，可看出完全無微生物生長，圖 4-16、4-18 和圖 4-19 為實驗進行第 7 天之照片，圖 4-16 與 4-18 可看出較圖 4-19 生長更多的微生物，推測在此反應槽中氧氣與養分充足的部份，有較多生物生長，但實際原因與微生物菌種有待後續研究。



圖 4-15 實驗第 1 天反應槽底部曝氣管

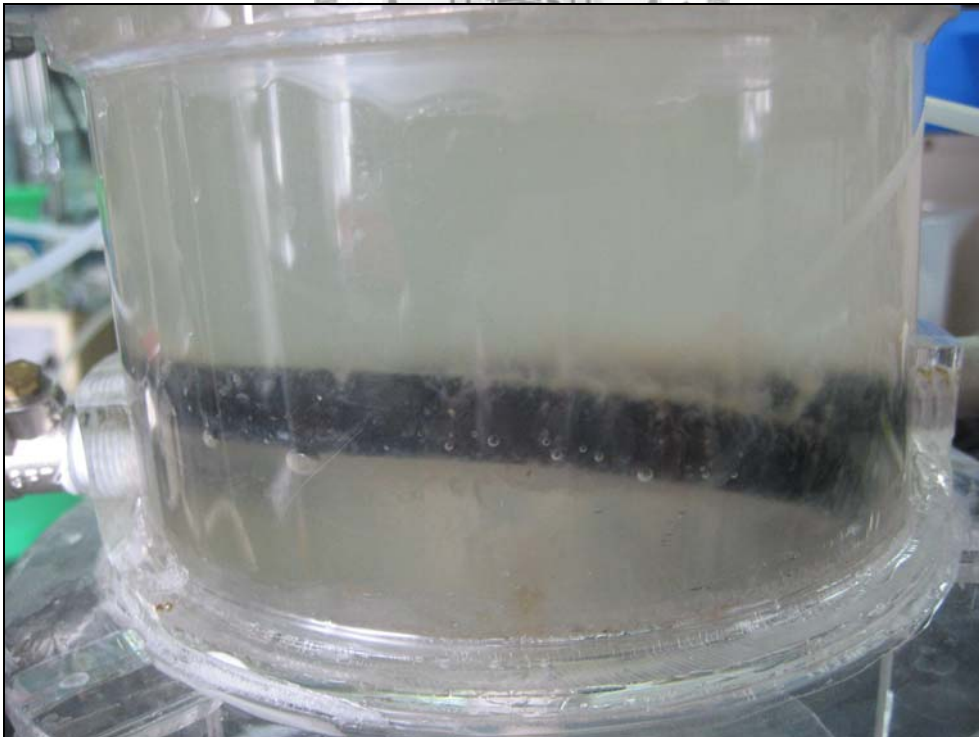


圖 4-16 實驗第 7 天反應槽底部曝氣管



圖 4-17 實驗第 1 天填充物無生物生長



圖 4-18 實驗進行第 7 天反應槽下層填充物生物生長

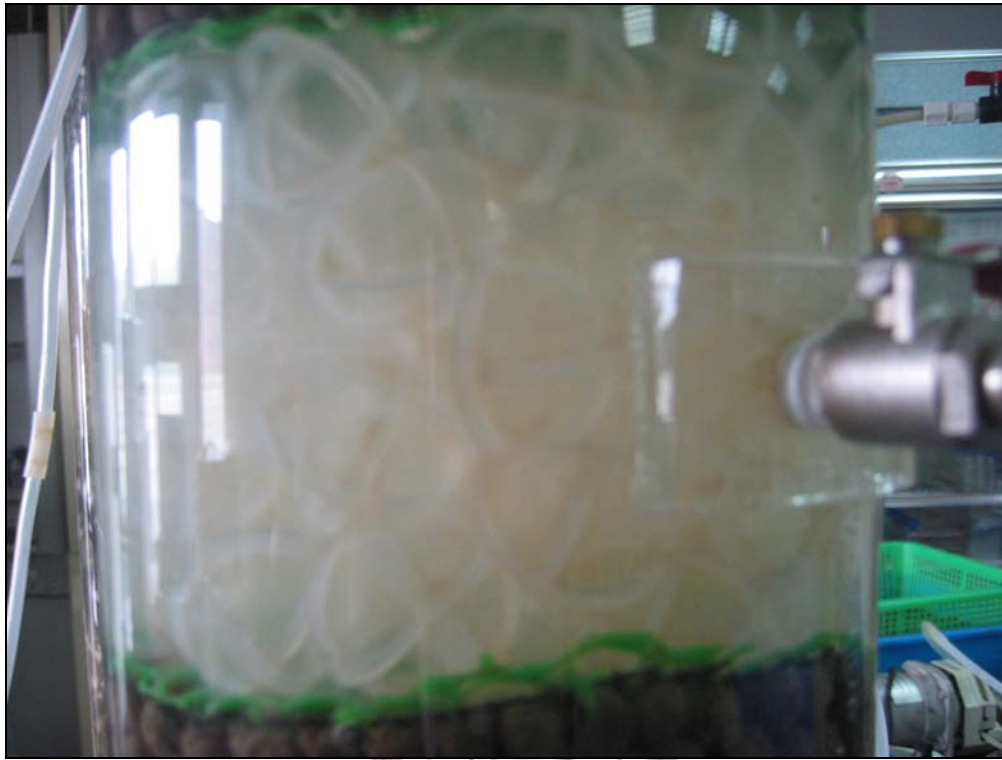


圖 4-19 實驗第 7 天反應槽中層填充物生物膜生長情形



4-2 高COD合成廢水

利用連續曝氣直徑 1 cm 及 2.5 cm 污泥粒生物反應槽之 COD 去除效率皆高達 92.3% 以上，以水力停留時間 12 小時進行高濃度 COD 合成廢水進行實驗。此高 COD 實驗之合成廢水配方僅提高入流 COD 為 1000 mg/L，其於配方均不改變，進行不同顆粒且為期 7 日之實驗。

由於 COD 濃度由 300 mg/L 提高至 1000 mg/L，進行本實驗前，1 cm 與 2.5 cm 污泥粒之生物反應槽均有經過一星期之 1000 mg/L COD 廢水之馴養，人工合成廢水組成如下：

表 4-2 高 COD 人工合成廢水組成

Composition of synthetic wastewater

content	Concentration (mg/l)
sucrose	890.63
(NH ₄) ₂ SO ₄	133.93
KH ₂ PO ₄	141.16
K ₂ HPO ₄	286.62
MgSO ₄ ·7H ₂ O	21.43
MnSO ₄ ·H ₂ O	2.68
CaCl ₂	3.8
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.134

經 1 星期實驗觀察，直徑 1 cm 之污泥粒，平均 COD 去除率為 96.0%，總氮平均去除率達 99.6%，詳如圖 4-20 及圖 4-21，總固體量為 30.230 g，污泥產率為 0.228 kg SS/kg COD。

將得到之數值與同樣大小濾料且均為連續曝氣之 COD 為 300 mg/L 比較，COD 去除率為 94.6%、總氮平均去除率為 39.6%(NH₃-N 平均去除率為 30%，

出流水 NO_3^- -N 幾乎測不到)、總固體量為 9.727 g，而污泥產率為 0.121 kg SS/kg COD，提高 COD 後總氮平均去除率有很大的改善，推究硝化作用與碳源有很大的關係。

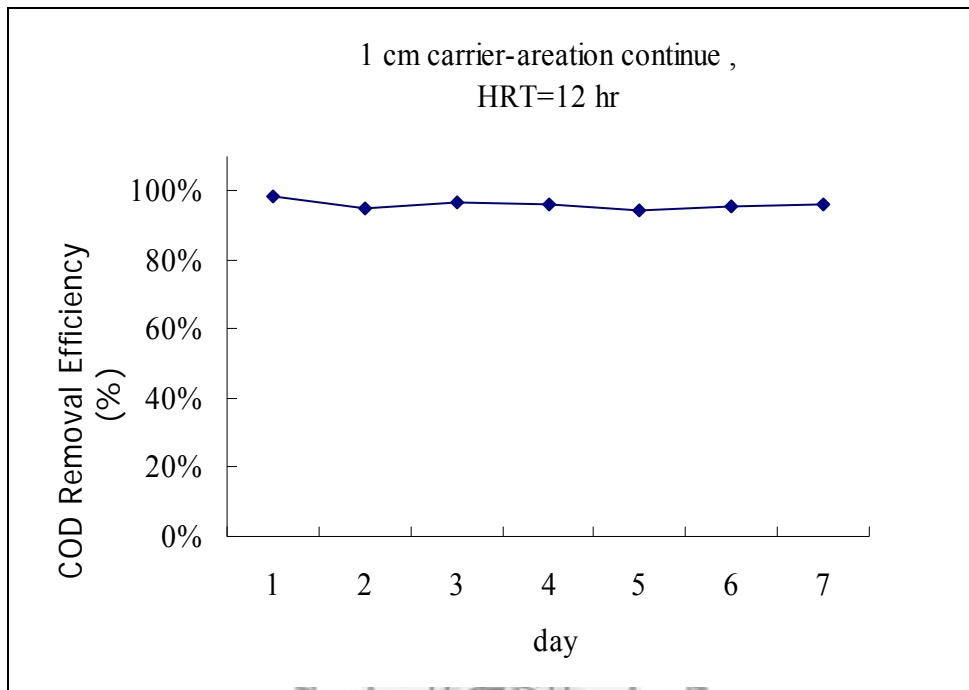


圖 4-20 直徑 1 cm 顆粒之 COD 去除率

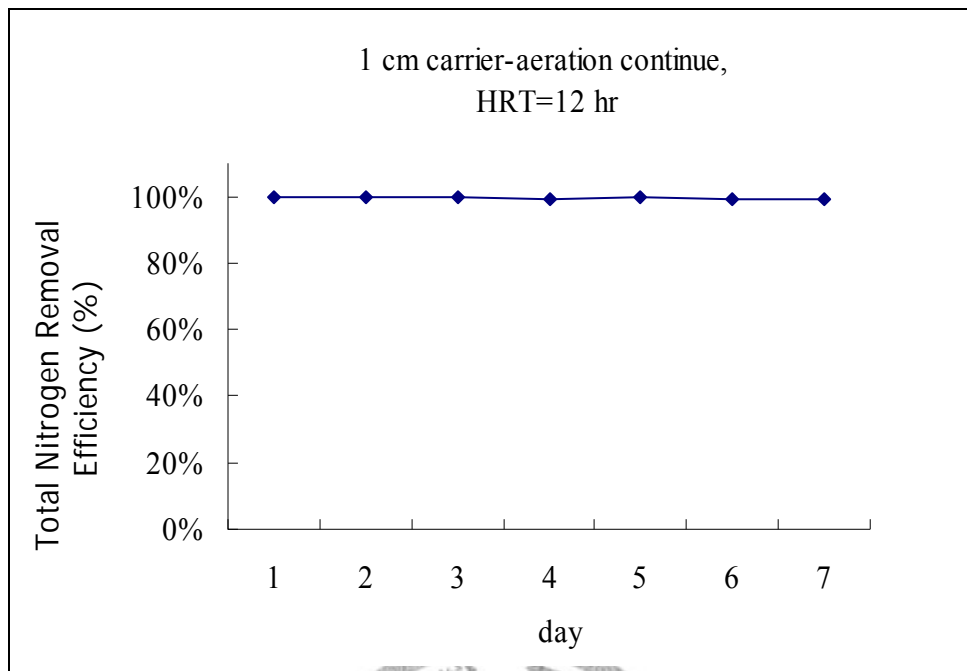


圖 4-21 直徑 1 cm 直徑顆粒之總氮氣去除率

2.5 cm 污泥粒反應槽平均 COD 去除率為 94.6%，總氮氣平均去除率達到 99.7%，詳如圖 4-22 及圖 4-23，總固體量為 35.330 g、污泥產率為 0.270 kg SS/kg COD，與 1 cm 污泥粒生物反應槽之總氮氣平均去除率 99.6% 相同。COD 為 300 mg/L 且其他操作參數相同做比較，COD 去除率為 98.1%、總氮氣平均去除率為 40.6% ($\text{NH}_3\text{-N}$ 平均去除率為 42%，出流水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 於實驗第四天開始測出)，總固體量為 10.330 g，污泥產率為 0.235 kg SS/kg COD。

無論是直徑 1 cm 污泥粒或直徑 2.5 cm 污泥粒之生物反應槽對於高 COD 之合成廢水同樣具有良好的去除效果。

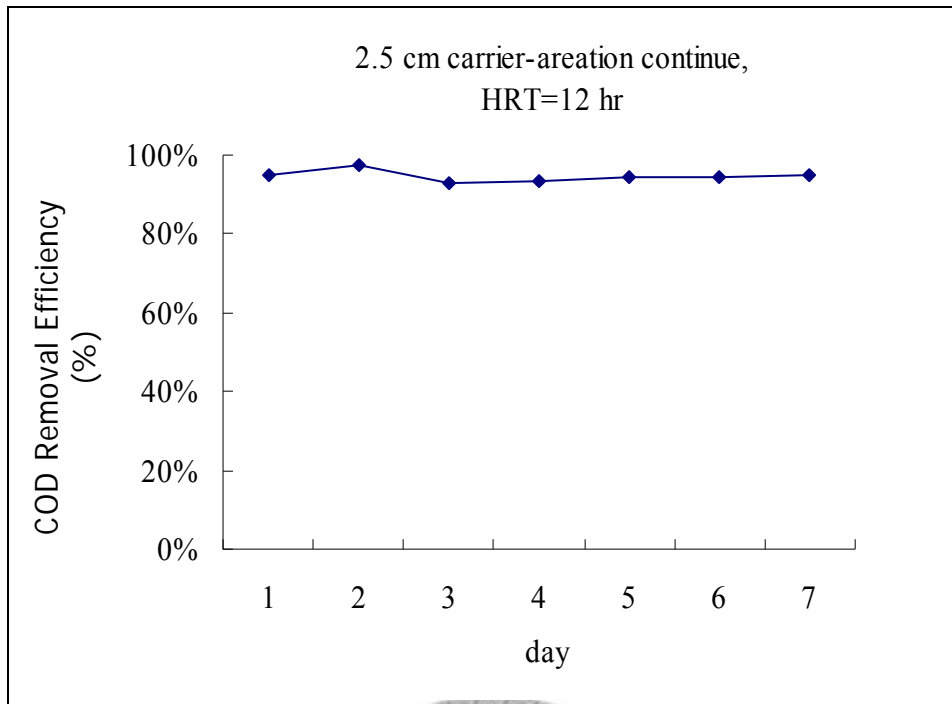


圖 4-22 直徑 2.5 cm 顆粒之 COD 去除率

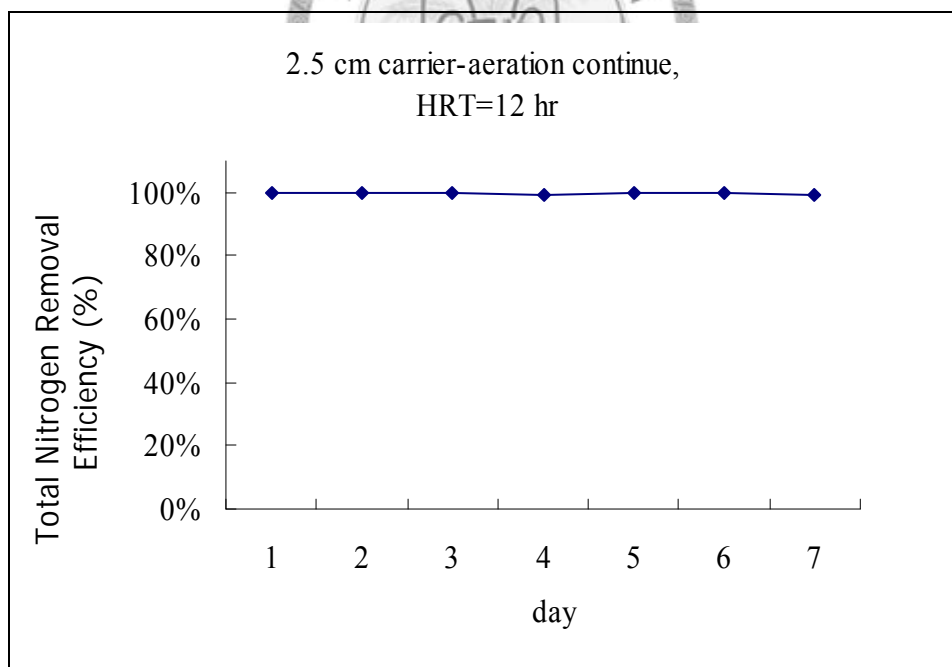


圖 4-23 直徑 2.5 cm 顆粒之總氮去除率

4-3 食品廢水

實驗至食品加工工廠採取廢水，由於此食品公司製造乳製相關產品，因此採集之水樣需經浮除池去除去大部分油脂之水樣。為避免水樣腐敗，水樣採集後則立即保存於 4°C 之冰櫃中；每日更換進流水樣時，再從冰櫃中取出 40 L 之原廢水樣，並放置於室溫下 2 小時，以做為當日之進流水樣。為確保生物反應槽之穩定性，本實驗先利用食品廢水馴養生物反應槽 4 天，並控制操作條件(水力停留時間為 12 小時，曝氣模式為連續曝氣)進行 7 天之實驗。

此食品廢水 pH 約為 7.0，溶解性 COD (SCOD)平均為 556 mg/L，總 COD (TCOD)平均為 773 mg /L；NH₃-N 平均為 13.2 mg /L，NO₃⁻-N 平均為 1.3 mg/L，總懸浮固體(TSS)為 572 mg /L。

1 cm 污泥粒反應槽之結果得知(如圖 4-24 至圖 4-26 所示)，SCOD 平均去除率為 90.3%，氨氮平均去除率(NH₃-N 和 NO₃⁻-N)為 93.9% (不包括有機氮)，出流水總固體量為 1420 g，扣除原有之總懸浮固體量，污泥產率為 0.018 kg SS/kg SCOD。由圖 4-24 至圖 4-26 可以得知，SCOD、TCOD 去除率和氨氮平均去除率均有逐日緩慢降低之趨勢，推測原因可能為食品廢水中含有許多懸浮顆粒，懸浮顆粒進入反應槽中，並附著於污泥粒之表面上，減少污泥粒反應面積，進而使得 COD 及氨氮去除率漸漸下降。

另由 TCOD 去除率結果(圖 4-25)，其平均去除率為 80%，其結果較 SCOD 之去除效率低，主要因進流水樣中含有懸浮顆粒，且生物對於懸浮顆粒之去除效率較差，因此出流水中也含有懸浮顆粒及生物代謝所產生之污泥，因此導致 TCOD 之去除率偏低。

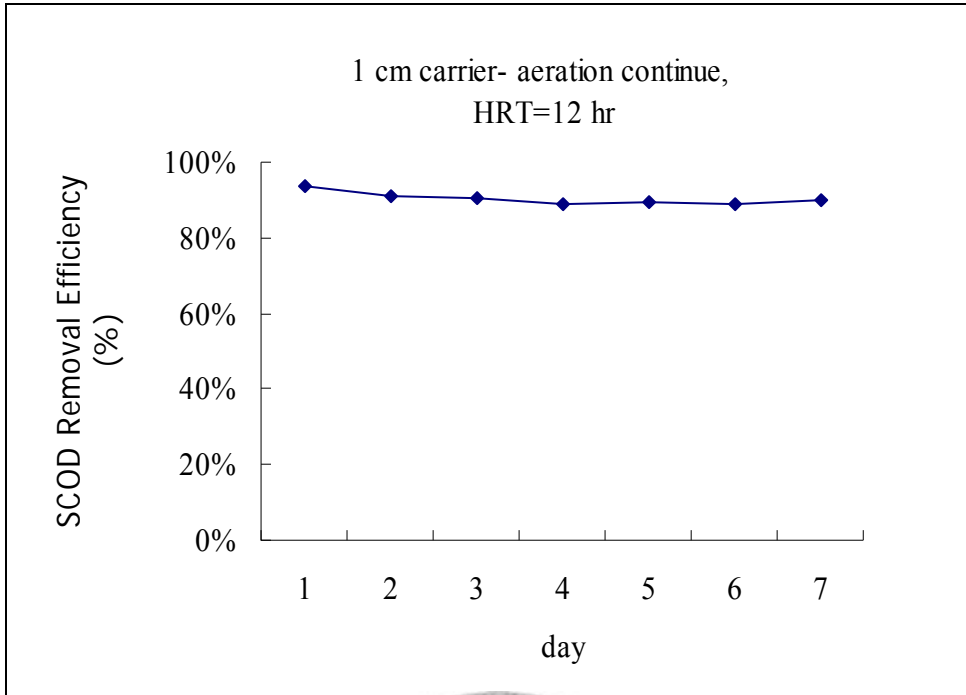


圖 4-24 直徑 1 cm 污泥粒之 SCOD 去除率

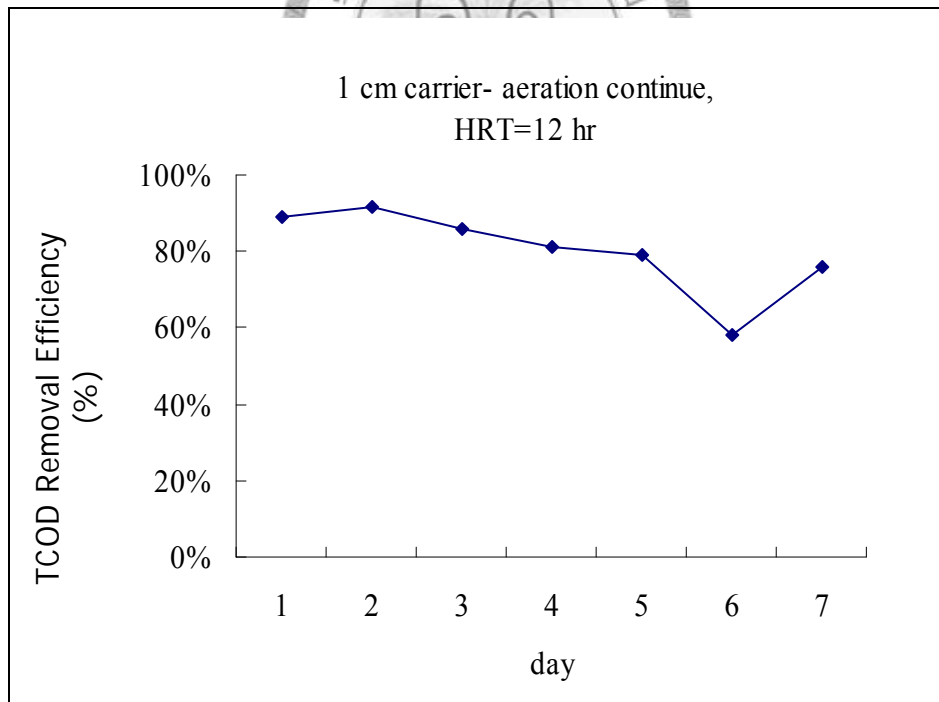


圖 4-25 直徑 1 cm 顆粒之 TCOD 去除率

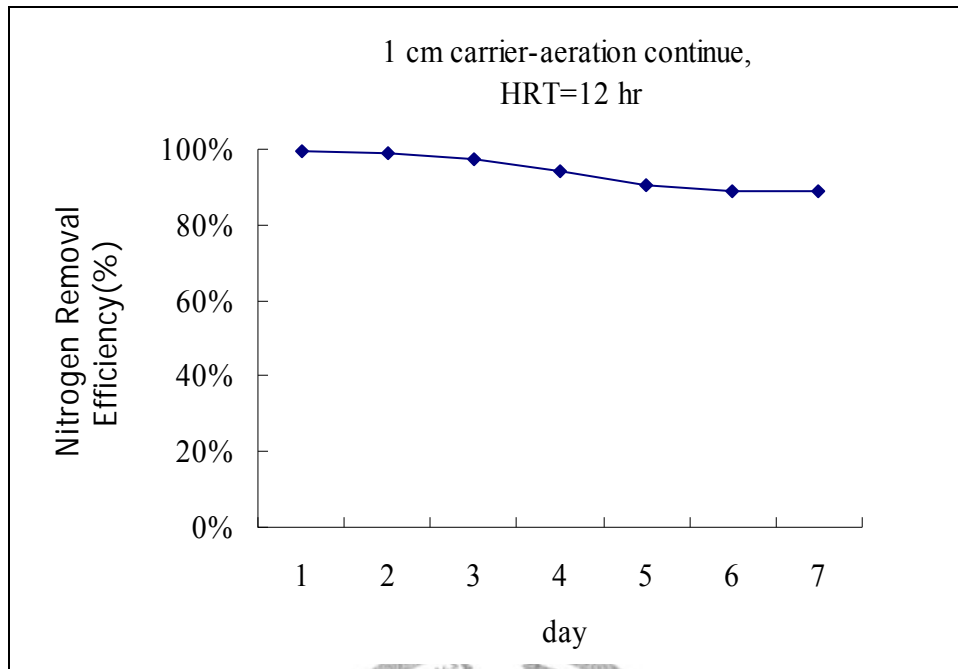


圖 4-26 直徑 1 cm 顆粒之氮氮去除率

直徑 2.5 cm 之污泥粒 SCOD 平均去除率為 89.4%，氮氮平均去除率($\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$)為 85.9%，出流水所得到總固體量為 3586 g，扣除原有之總懸浮固體量，計算得污泥產率為 0.047 kg SS/kg COD。由圖 4-27、4-29 可以看出 SCOD 平均去除率和氮氮平均去除率均有逐日降低之趨勢。

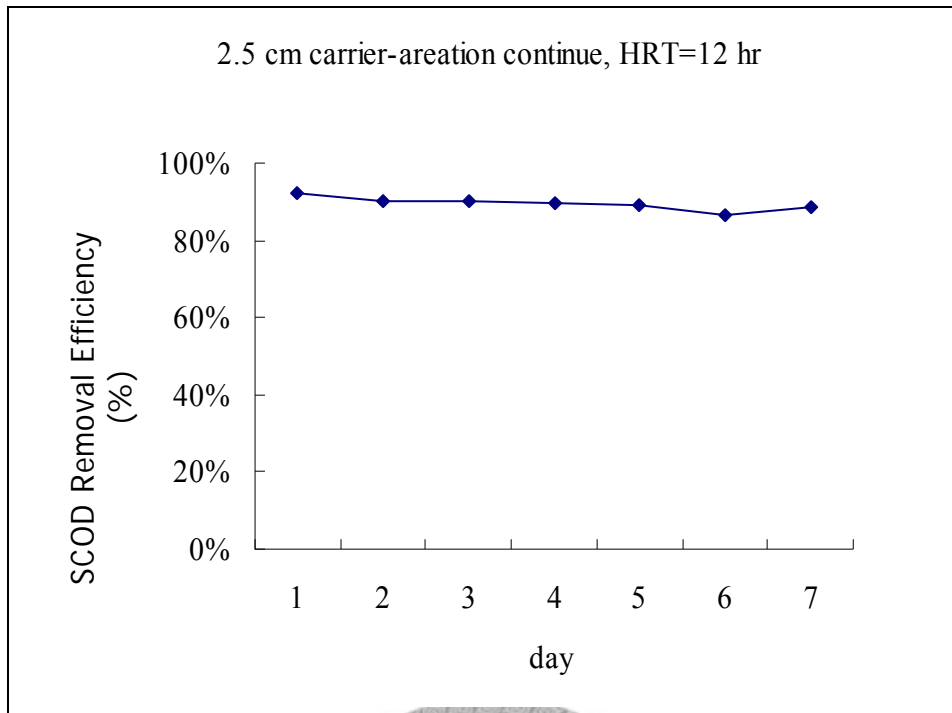


圖 4-27 直徑 2.5 cm 顆粒之 SCOD 去除率

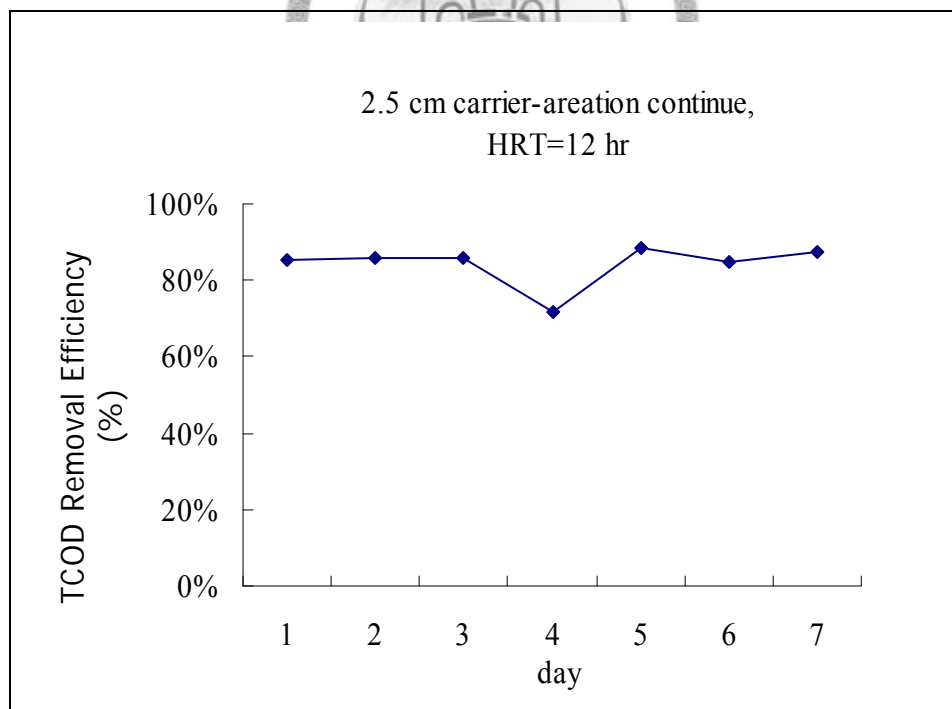


圖 4-28 直徑 2.5 cm 顆粒之 TCOD 去除率

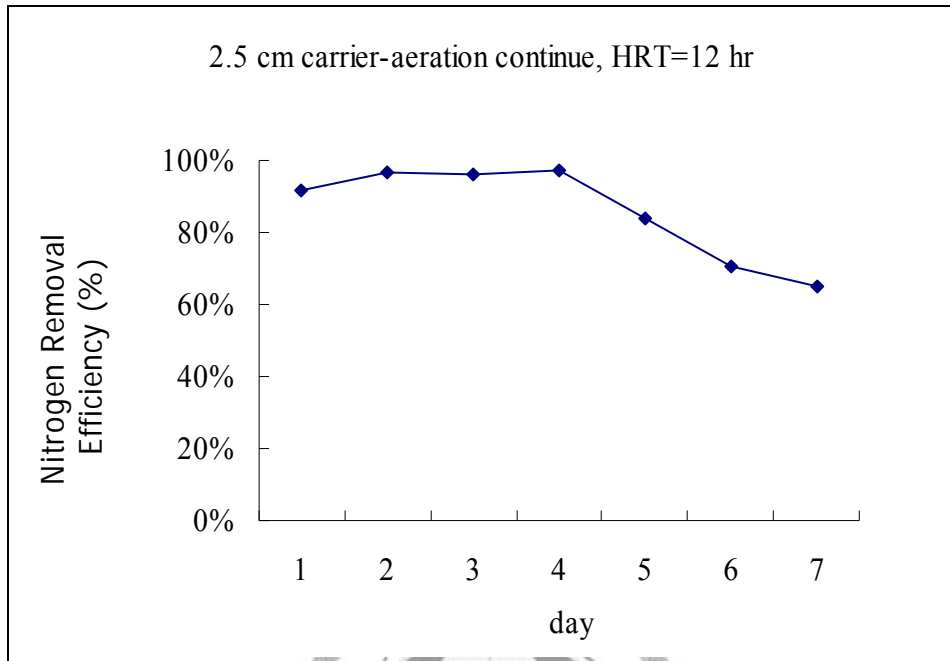


圖 4-29 直徑 2.5 cm 顆粒之氮氮去除率

圖 4-28 得知直徑 2.5 cm 污泥粒之 TCOD 平均去除率為 84.3%，TCOD 平均去除率較 SCOD 平均去除率低，推論為 TCOD 中含有生物反應槽中為去除廢水中有機物而產生之污泥，因此以 TCOD 去除率計算之污泥產率較為不準確，此處之污泥產率皆以 SCOD 去除率代表。

食品廢水中含有機氮，但因探討污泥產率，故不進行凱氏氮分析。直徑 1 cm 污泥粒或是直徑 2.5 cm 污泥粒之 COD 去除效率及氮氮去除率，有每天遞減的趨勢。

4-4 家庭污水(模型廠)

廢水為生活污水，pH 值約為 7.4~8.0，每日進流量為 1.25 L/day，實廠廢水入流廢水含有懸浮微粒，實驗分析時以 SCOD 和 TCOD 去除率分別表示。此實廠廢水 SCOD 為 93.2 mg/L，平均 TCOD 為 128.1 mg/L，平均入流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 為 20.6 mg/L， $\text{NO}_3\text{-N}$ 為 0.73 mg/L，實驗參數為水力停留時間 6 小時且連續曝氣，實廠廢水實驗於污水廠內設立模型廠進行實驗分析。



圖 4-30 模型廠之實驗反應槽主體

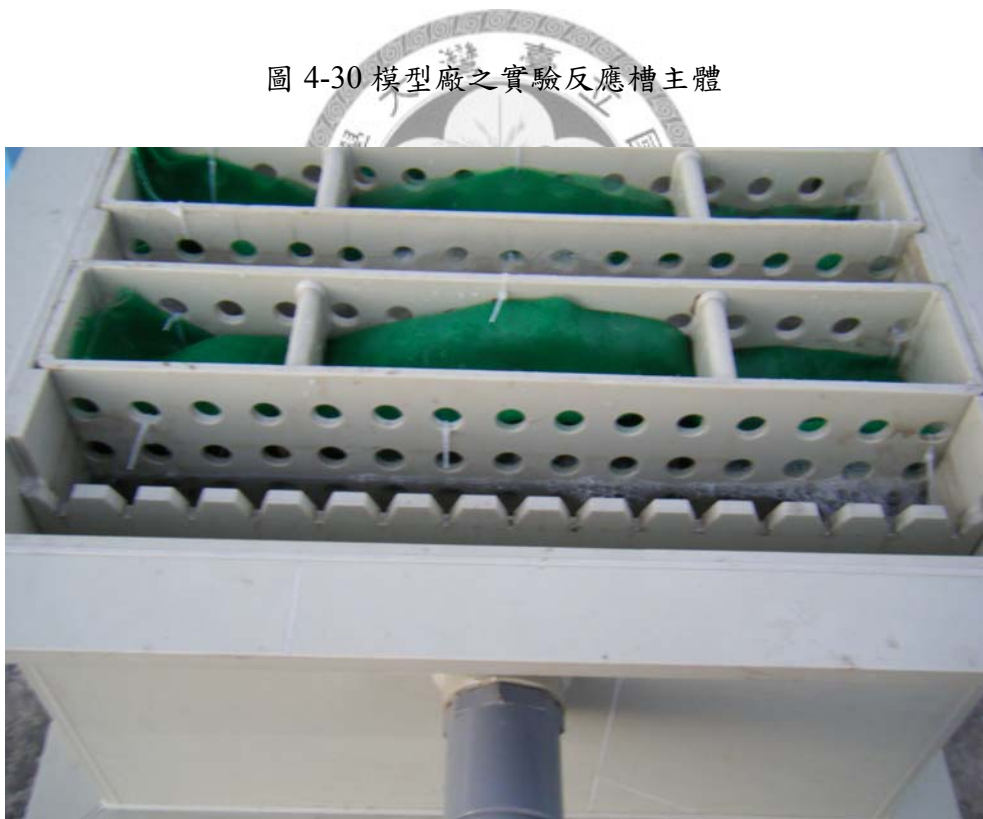


圖 4-31 模型廠之實驗反應槽主體內部構造

模廠形式與實驗室之反應槽相異之處，為實驗室內反應槽水流為由下(入流口)至上(出流口)，而模廠為由左(入流)至右(出流)。此模廠之反應槽以隔板做為固定式填充率料填充處，如圖 4-30。

圖 4-31 反應槽內可見綠色的網子，為固定作用，為避免固定式濾料受水之浮力而上浮而影響處理效率，於出流口前設有溢流堰。

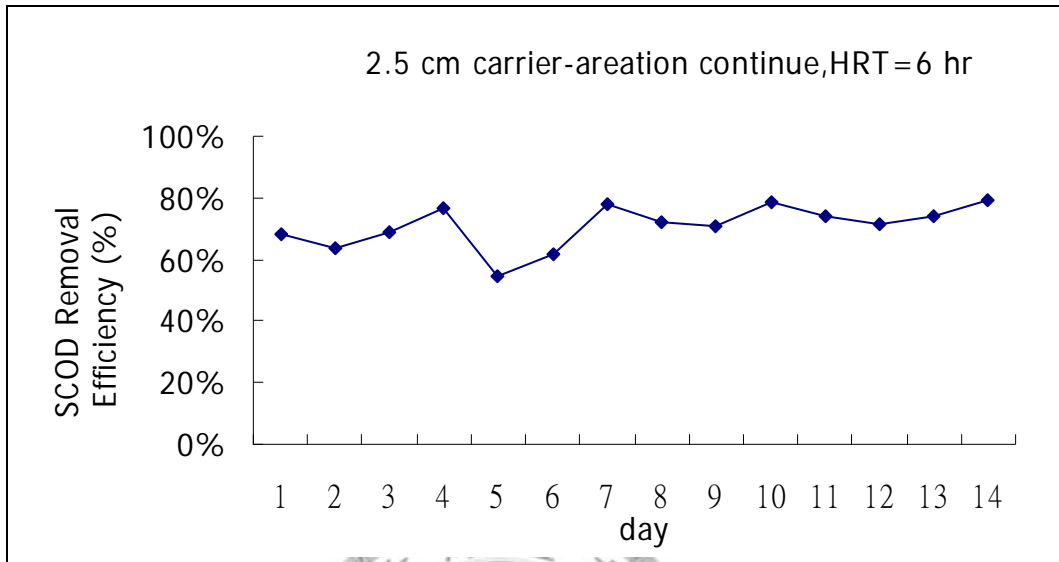


圖 4-32 模型廠水力停留時間 6 小時之 SCOD 去除率

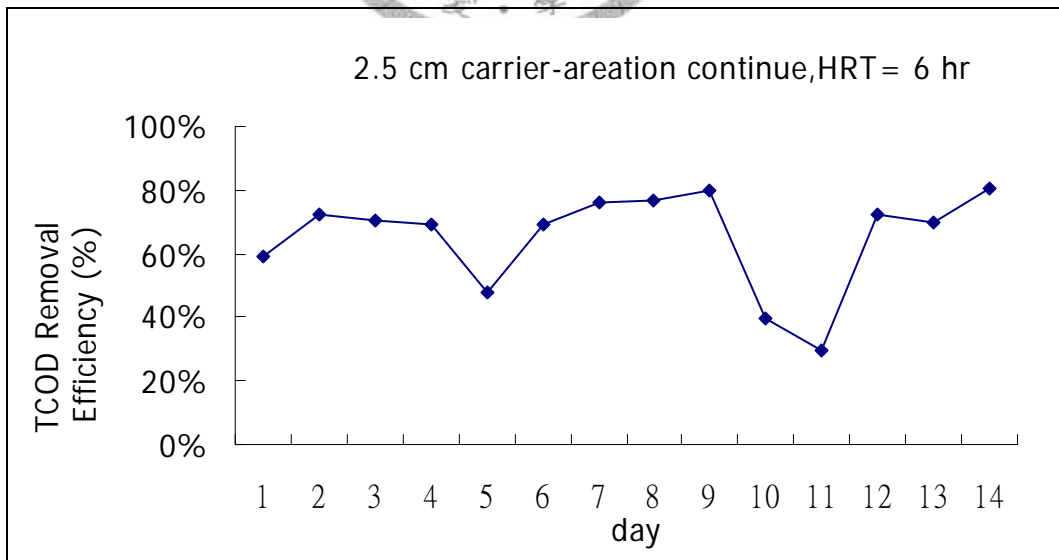


圖 4-33 模型廠水力停留時間 6 小時 TCOD 去除率

實驗數據顯示出流水之平均出流 NH_3 為 1.3 mg/L， NO_3 為 18.5 mg/L，由圖得

知 NH_3 去除效率為 90.4% 以上，由於 NO_3 脫硝效果不佳，總氮氮移除率約 20.4 %。

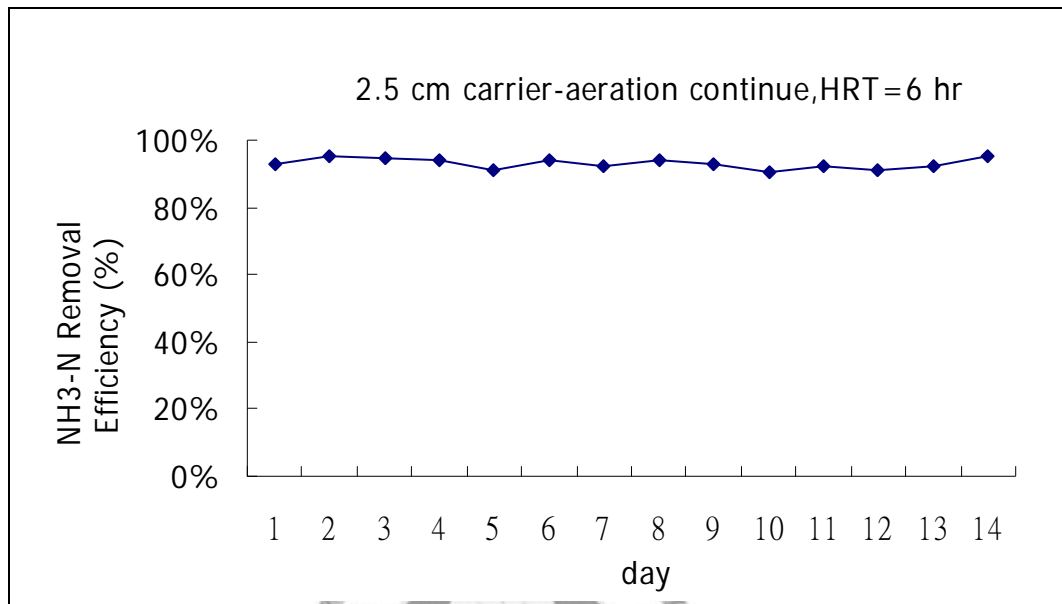


圖 4-34 模型廠水力停留時間 6 小時 NH_3 去除率

模型廠(生活廢水)與食品廢水在實驗室進行之處理效率比較：食品廢水之有機物較高 TCOD 約 773 mg/L，而 SCOD 為 556 mg/L；生活污水之 TCOD 為 128.1 mg/L 而 SCOD 為 93.2 mg/L，在食品廢水之生物處理效率 TCOD 平均去除率達 80 %，SCOD 平均去除率達 89.4% 以上，模型廠 TCOD 平均去除率 65%，SCOD 平均去除率 71%，SCOD 實驗數據變化幅度大，最低去除率 54.5% 而最高去除率 79 %；TCOD 最低去除率 29.25% 而最高去除率 80.8%。

模型廠系統與實驗室反應槽皆無沉澱槽。在此模型廠實驗中值得注意的是進入反應槽的 TSS 為 758 mg/L 而出流 TSS 為 373 mg/L，代表入流的 SS 沉積於反應槽中進行可能之污泥消化反應。

模型廠總固體量與食品廢水總固體量計算差別為食品廢水實驗進行 1 星期後，即進行清洗反應槽及收集反應槽內 SS，而模型廠總固體量則持續操作並無進行沖洗動作，因而無法準確得知污泥產率。

第五章 結論與建議

5-1 結論

研究以體積 10 L 的生物反應槽，固定顆粒填充率(packing ratio)30%，以不同粒徑大小、水力停留時間，及曝氣模式作為控制參數，獲得以下結論：

- 1、COD 300 mg/L 之合成廢水，COD 去除率均達 92.3% 以上，總氮去除率 22.9%~64.8%；COD 為 1000 mg/L 合成廢水 COD 去除率均 94.6% 以上，總氮去除率 99.6% 以上。在食品廢水方面，SCOD 去除率為 89.4% 以上，TCOD 去除率為 80% 以上，總氮去除率達 85.9% 以上；模型廠(家庭廢水)SCOD 去除率為 71% 以上，TCOD 去除率為 65% 以上，總氮去除率為 20.4% 以上。
- 2、在總懸浮固體量及污泥產率方面，COD 300 mg/L 之合成廢水在 1 cm 污泥粒連續曝氣且水力停留時間 12 小時之條件下有最小總懸浮固體量 4.49 g，污泥產率為 0.107 kg SS/kg COD；2.5 cm 污泥粒水力停留時間為 12 小時 1 小時曝氣/2 小時不曝氣有最小總懸浮固體量 5.983 g，污泥產率為 0.157 kg SS/kg COD。食品廢水總固體量為 1420 g(含有入流 SS)，1 cm 污泥粒生物反應槽污泥產率為 0.018 kg SS/kg COD，2.5 cm 污泥粒生物反應槽污泥產率為 0.047 kg SS/kg COD。
- 3、以污泥粒顆粒比較在 COD 為 300mg/L 時，1 cm 污泥粒與 2.5cm 污泥粒之 COD 去除率均達 92%，總氮去除率則以 2.5 cm 污泥粒較佳約為 40%~64.8%(1 cm 污泥粒去除率 22.9%~39.6%)。總懸浮固體量為 1 cm 污泥粒較低 (約為 4.49 g~10.91 g)，污泥產率為 0.110 kg SS/kg COD ~0.210 kg SS/kg COD (2 cm 污泥粒總懸浮固體量為 5.983 g~0.275 g，污泥產率為 0.157 kg SS/kg COD ~0.275 kg SS/kg COD)。
- 4、水力停留時間 12 小時與 6 小時在合成廢水 COD 為 300 mg/L 時實驗，得到 COD 去除率與總氮去除率無明顯差異，因此可以視廢水情形而增減水力停留時間。
- 5、合成廢水 1000 mg/L COD 之效果良好，於連續曝氣與水力停留時間 12 小時之操作條件，得到 COD 去除率與總氮去除率均達 94.6% 以上，1 cm 污泥粒總固體量為 30.23 g，2.5cm 污泥粒總固體量為 35.33g，而污泥產率分別為 0.228 kg

SS/kg COD 及 0.270 kg SS/kg COD。食品廢水 COD 去除率達 89.4%以上，總氮去除率 85.9%以上，而模型廠(家庭污水) SCOD 去除率為 71%以上，總氮去除率為 20.4%以上，總氮去除率效果不佳之原因是由於其脫硝效果較差，未來將繼續改變實驗參數繼續進行實驗。

5-2 建議

- 1、由實驗得之固定式濾料生物反應槽有良好效果，未來可以繼續進行生物反應槽中生長之生物成分分析或是於生物反應器後加設沉澱池，探究此生物反應系統之污泥沉降性。
- 2、本研究以人工合成廢水、食品廢水和家庭廢水進行實驗，未來可以探究以實際工業廢水實驗或模型廠研究。



參考文獻

. A Joint Committee of the Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers, 1977. Wastewater treatment plant design. Lancaster Press, Lancaster, PA.

Iwai, S., Kitao, T., 1994. Wastewater treatment with microbial films. Technomic Publishing Company, Lancaster, PA.

Mattok, G., 1978. New processes of waste water treatment and recovery. Ellis Horwood Limited, Sussex, England.

Vesilind, P.A., 2003. Wastewater treatment plant design. Water Environment Federation, London, UK.

Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers, 1991. Design of wastewater treatment plants. American Society of Civil Engineers, Brattleboro, Vermont.

Chang, C.T., Chen, B.Y., Shiu, I.S., Jeng, F.T., 2004. Biofiltration of trimethylamine-containing waste gas by entrapped mixed microbial cells. Chemosphere 55, 751-756.

Cho, E.S., Zhu, J., Yang, P.Y., 2007. Intermittently aerated EMMC-Blobarrel (entrapped mixed microbial cell with Bio-barrel) process for concurrent organic and nitrogen removal. Journal of Environmental Management 84, 257-265.

Ghyoot, W., Verstraeth, W., 1999. Reduced sludge production in a two-stage membrane-assisted bioreactor. Water Res. 34, 205-215.

Heran, M., Wisniewski, C., Orantes, J., Grasmick, A., 2008. Measurement of kinetic parameters in a submerged aerobic membrane bioreactor fed on acetate and operated without biomass discharge. *Biochemical Engineering Journal* 38, 70-77.

Ichinari, T., Ohtsubo, A., Ozawa, T., Hasegawa, K., Teduka, K., Oguchi, T., Kiso, Y., 2008. Wastewater treatment performance and sludge reduction properties of a household wastewater treatment system combined with an aerobic sludge digestion unit. *Process Biochemistry* 43, 722-728.

Kim, S.J., Yang, P.Y., 2004. Two-stage entrapped mixed microbial cell process for simultaneous removal of organics and nitrogen for rural domestic sewage application. *Water Science and Technology* 49, 281-288.

Kim, S.J., Yang, P.Y., 2005. Combined removal of high-strength organics and nitrogen using two-stage entrapped mixed microbial cell (2SEMMC (R)) process. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 11, 945-951.

Kitao, S.i.a.T., 1994. Wastewater treatment with microbial films. Technomic Publishing Company.

Lee, N.M., Welander, T., 1996a. Reducing sludge production in aerobic wastewater treatment through manipulation of the ecosystem. *Water Res.* 30, 1781-1790.

Lee, N.M., Welander, T., 1996b. Use of protozoa and metazoa for decreasing sludge production in aerobic wastewater treatment. *Biotechnology letters* 18, 429-434.

Liu, Y., 2000. Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge. *Water Res.* 34, 2025-2030.

Liu, Y., Tay, J.H., 2001. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process. *Biotechnology Advances* 19, 97-107.

Low, E.W., Chase, H.A., 1999a. The effect of maintenance energy requirements on biomass production during wastewater treatment. *Water Res.* 33, 847-853.

Low, E.W., Chase, H.A., 1999b. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Water Res.* 33, 1119-1132.

Low, E.W., Chase, H.A., Milner, M.G., Curtis, T.P., 2000. Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process. *Water Res.* 34, 3204-3212.

Ni, B.J., Fang, F., Xie, W.M., Yu, H.Q., 2008. Growth, maintenance and product formation of autotrophs in activated sludge: Taking the nitrite-oxidizing bacteria as an example. *Water Res.* 42, 4261-4270.

Qian, X., Yang, P.Y., Maekawa, T., 2001. Evaluation of direct removal of nitrate with entrapped mixed microbial cell technology using ethanol as the carbon source. *Water Environment Research* 73, 584-589.

Rim, Y.-T., Yang, H.-J., Yoon, C.-H., Kim, Y.-S., Seo, J.-B., Ryu, J.-K., Shin, E.-B., 1997. A full-scale test of a biological nutrients removal system using the sequencing batch reactor activated sludge process. *Water Science and Technology* 135, 241-247.

Rocher, M., Goma, G., Begue, A.P., Louvel, L., Rols, J.L., 1999. Towards a reduction in excess sludge production in activated sludge processes: biomass physicochemical treatment and biodegradation. *Applied Microbiology and Biotechnology* 51, 883-890.

Song, C.Y., Cho, E., Wang, Z., Yang, P.Y., 2006. Removal of organic and nitrogen and molecular weight distribution of residual soluble organic from entrapped mixed microbial cells and activated sludge processes. *Water Environment Research* 78, 2501-2507.

Spinosa, L., Lotito, V., 2003. A simple method for evaluating sludge yield stress. *Advances in Environmental Research* 7, 655-659.

Strand, S.E., Harem, G.N., Stensel, H.D., 1999. Activated-sludge yield reduction using chemical uncouplers. *Water Environment Research* 71, 454-458.

Takdastan, A., Mehrdadi, N., Azimi, A.A., Torabian, A., Bidhendi, G.N., 2009. Investigation of intermittent chlorination system in biological excess sludge reduction by sequencing batch reactors. *Iran. J. Environ. Health Sci. Eng.* 6, 53-60.

Tanaka, K., Tada, M., Kimata, T., Harada, S., Fujii, Y., Mizuguchi, T., Mori, N., Emori, H., 1991. Development of new nitrogen removal system using nitrifying bacteria immobilized in synthetic resin pellets. *Water Science and Technology* 23, 681-690.

Tramper, J., Grootjen, D.R.J., 1986. Operating performance of nitrobacter-agilis immobilized in carrageenan. *Enzyme and Microbial Technology* 8, 477-480.

Tsubone, T., Ogaki, Y., Yoshiy, Y., Takahashi, M., 1992. Effects of biomass entrapment and carrier properties on the performance of an air-fluidized-bed biofilm reactor. *Water Environment Research* 64, 884-889.

Wang, W.H., Jung, Y.J., Kiso, Y., Yamada, T., Min, K.S., 2006. Excess sludge reduction performance of an aerobic SBR process equipped with a submerged mesh filter unit. *Process Biochemistry* 41, 745-751.

Wei, Y.S., Liu, J.X., 2006. Sludge reduction with a novel combined worm-reactor. *Hydrobiologia* 564, 213-222.

Wei, Y.S., Van Houten, R.T., Borger, A.R., Eikelboom, D.H., Fan, Y.B., 2003a. Comparison performances of membrane bioreactor and conventional activated sludge processes on sludge reduction induced by Oligochaete. *Environ. Sci. Technol.* 37, 3171-3180.

Wei, Y.S., Van Houten, R.T., Borger, A.R., Eikelboom, D.H., Fan, Y.B., 2003b. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. *Water Res.* 37, 4453-4467.

Wong, P.K., Kwok, S.C., 1992. Accumulation of nickel ion (Ni^{2+}) by Immobilized cells of enterobacter species. *Biotechnology letters* 14, 629-634.

Yang, P.Y., Cao, K., Kim, S.J., 2002. Entrapped mixed microbial cell process for combined secondary and tertiary wastewater treatment. *Water Environment Research* 74, 226-234.

Yang, P.Y., Chen, H.J., Kim, S.J., 2003a. Integrating entrapped mixed microbial cell (EMMC) process for biological removal of carbon and nitrogen from dilute swine wastewater. *Bioresource Technology* 86, 245-252.

Yang, P.Y., Su, R., Kim, S.J., 2003b. EMMC process for combined removal of organics, nitrogen and an odor producing substance. *Journal of Environmental Management* 69, 381-389.

Yang, P.Y., Zhang, Z.Q., Jeong, B.G., 1997. Simultaneous removal of carbon and nitrogen using an entrapped-mixed-microbial-cell process. *Water Res.* 31, 2617-2625.

Low, E.W., Chase, H.A., 1999. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Water Res.* 33, 1119-1132.

Kokufuta, E., M. Shimohashi, and L. Nakamura, 1998 “Simultaneously Occurring Nitrification and Denitrification under Oxygen Gradient by Polyelectrolyte Complex Co-immobilized *Nitrosomonas europaea* and *Paracoccus denitrificans* Cells.” *Biotechnol Bioeng.* ,31, 382-384.

Sumino, T., H. Nakamura, N. Mori, Y. Kawaguchi and M. Tada,1992 “Immobilization of Nitrifying Bacteria in Porous Pellets of Urethane Gel for Removal of Ammonium Nitrogen from Waste-water.” *Applied Microbiology Biotechnology*, 36, 556-560.

林正芳、林瑤勤、羅棋穎、吳忠信，2002，「水及廢水處理理論與實務」，六合出版社。

江晃榮，2000，「生物技術與污染防治(一)固定化微生物在廢水處理上之應用」，工業污染防治技術叢書，廢水耗氧處理論著彙編(下)，台北，頁 31-40。

李公哲，2000，「工業廢水處理技術(四)」，工業污染防治技術叢書，廢水耗氧處理論著彙編(上)，台北，頁 55-65。

陳秋揚，2000，「工業廢水生物處理及應用」，工業污染防治技術叢書，廢水耗氧處理論著彙編(上)，台北，頁 195-224。

陳國誠，吳建一，2000，「微生物固定化技術在廢水處理的應用」，工業污染防治技術叢書，廢水耗氧處理論著彙編(下)，台北，頁 269-292。

陳國誠，1991，「廢水生物處理學」，台北茂昌。

陳國誠，1989，「微生物酵素工程學」，台北藝軒。

吳美惠，張芳賓，朱昱學，1996，「固定化微生物廢水處理技術評估」，工業污染防治，第59期，頁81-110。

李國鏞，游若箴，2001，「微生物學」，華香園出版社，台北。

營建署委託研究報告，2002，社團法人台灣下水道協會「台灣地區家庭污水量及污染量推估研究」，頁27-31。

洪仁陽，2002，「污泥水解技術」，化工資訊月刊 Vol.6，頁66-73。

王祖珩等編輯，2005，「廢水污泥減量技術手冊」，經濟部工業局。

陳見財，陳志銘、莊敏芳，2004，「污泥處理技術彙編」，經濟部工業局。

朱敬平，李篤中，2001，污泥處置，國立台灣大學台大工程學刊，Vol.82，頁49-76。

徐傲暉，林宜長，1995，包陷式混合微生物處理食品有機廢水之動力模式，中華衛誌，Vol.14，頁129-137。

附錄

1、合成廢水 300 mg/L

1 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 12 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
306	15	95.1%	26.25	16	39.0%	0	39.0%	ND
306	22	92.8%	26	16.25	37.5%	0	37.5%	ND
324	21	93.5%	28.25	19	32.7%	0	32.7%	ND
319	15	95.3%	27	19.75	26.9%	0	26.9%	ND
320	16	95.0%	27.5	19.25	30.0%	0	30.0%	ND
323	15	95.4%	26.75	20.25	24.3%	0	24.3%	ND
329	16	95.1%	27.25	21.25	22.0%	0	22.0%	ND

反應槽內 SS 總量 4.49g

1 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/1)水力停留時間 12 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
295	5	98.3%	27	16.75	38.0%	0	38.0%	ND
293	5	98.3%	26.75	16.25	39.3%	0	39.3%	0.003
303	8	97.4%	28.5	17.5	38.6%	0	38.6%	0.003
328	9	97.3%	26.5	16.5	37.7%	0	37.7%	ND
299	3	99.0%	26	18.5	28.8%	0	28.8%	ND
301	6	98.0%	24.75	19	23.2%	0	23.2%	ND
271	7	97.4%	26.75	18.25	31.8%	0	31.8%	ND

反應槽內 SS 總量 8.58g

1 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/2)水力停留時間 12 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
293	0	100.0%	22	15.5	29.5%	0	29.5%	
294	0	100.0%	25.75	15.25	40.8%	0.6	38.4%	0.009
300	2	99.3%	26.5	12.5	52.8%	1	49.1%	0.006
294	1	99.7%	25.5	14.75	42.2%	1	38.2%	ND
284	1	99.6%	27.5	14.5	47.3%	3.1	36.0%	0.005
306	3	99.0%	26.5	14.5	45.3%	0	45.3%	0.004
295	0	100.0%	26.5	17.5	34.0%	0	34.0%	0.005

反應槽內 SS 總量 6.69g

1 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 6 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
307	19	93.8%	26.5	14.25	46.2%	0	46.2%	ND
301	33	89.0%	26	16.25	37.5%	0	37.5%	ND
310	29	90.6%	26.5	21.25	19.8%	0	19.8%	ND
301	28	90.7%	25.75	25.25	1.9%	0	1.9%	ND
302	14	95.4%	26	19.25	26.0%	0	26.0%	0.005
313	20	93.6%	25.5	19.25	24.5%	0	24.5%	ND
311	21	93.2%	24.5	23.5	4.1%	0	4.1%	0.006

反應槽內 SS 總量 8.693g

1 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/1)水力停留時間 6 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
263	2	99.2%	26	17.25	33.7%	0	33.7%	
274	11	96.0%	25.75	17.75	31.1%	0	31.1%	0.008
274	3	98.9%	25.75	16.5	35.9%	0	35.9%	ND
272	3	98.9%	26	14.5	44.2%	0	44.2%	0.004
267	8	97.0%	27.25	20.25	25.7%	0	25.7%	ND
276	2	99.3%	27.25	17.76	34.8%	0	34.8%	ND
274	6	97.8%	28.25	16.25	42.5%	0	42.5%	ND

反應槽內 SS 總量 10.91g

1 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/2)水力停留時間 6 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
307	5	98.4%	27.75	15.25	45.0%	0	45.0%	0.000
297	3	99.0%	26	15	42.3%	0	42.3%	ND
291	7	97.6%	26.25	15.5	41.0%	0	41.0%	ND
279	6	97.8%	25.75	16.5	35.9%	0	35.9%	ND
291	8	97.3%	27.75	16	42.3%	0	42.3%	ND
279	13	95.3%	26.5	17	35.8%	0	35.8%	ND
315	15	95.2%	26.5	17.25	34.9%	0	34.9%	ND

反應槽內 SS 總量 9.727g

2.5 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 12 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
344	3	99.1%	25.75	12.75	50.5%	0	50.5%	0.004
307	6	98.0%	25.75	15.5	39.8%	0	39.8%	0.011
284	8	97.2%	26.5	16.25	38.7%	0	38.7%	0.013
331	8	97.6%	25.5	15.75	38.2%	0	38.2%	0.018
325	5	98.5%	27.5	14.75	46.4%	0.2	45.6%	0.007
331	7	97.9%	26.5	16.25	38.7%	1.4	33.4%	0.008
316	6	98.1%	26.5	15.5	41.5%	1	37.7%	0.008

反應槽內 SS 總量 10.33g

2.5 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/1)水力停留時間 12 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
263	8	97.0%	26	14.5	44.2%	0	44.2%	0.010
274	15	94.5%	25.75	14.5	43.7%	0	43.7%	0.000
274	19	93.1%	25.75	14	45.6%	0	45.6%	0.009
272	3	98.9%	26	13.75	47.1%	0	47.1%	0.006
267	6	97.8%	27.25	14.5	46.8%	0	46.8%	ND
276	16	94.2%	27.25	15.75	42.2%	1	38.5%	0.005
274	8	97.1%	28.25	15.25	46.0%	0.8	43.2%	0.004

反應槽內 SS 總量 8.65g

2.5 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/2)水力停留時間 12 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
307	27	91.2%	27.75	11	60.4%	0	60.4%	0.001
297	16	94.6%	26	12	53.8%	0	53.8%	0.004
291	17	94.2%	26.25	11.5	56.2%	0	56.2%	0.001
279	19	93.2%	25.75	13.75	46.6%	0	46.6%	0.002
291	27	90.7%	27.75	15	45.9%	0	45.9%	0.001
279	22	92.1%	26.5	16	39.6%	0	39.6%	0.002
315	24	92.4%	26.5	17.5	34.0%	0	34.0%	0.003

反應槽內 SS 總量 5.983g

2.5 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 6 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
319	13	95.9%	29	15	48.3%	0	48.3%	0.011
328	11	96.6%	28.5	16.25	43.0%	0	43.0%	0.007
319	18	94.4%	28	17.75	36.6%	0	36.6%	0.002
323	15	95.4%	26.5	17.5	34.0%	0	34.0%	0.002
319	17	94.7%	27.5	15.5	43.6%	0	43.6%	0.000
316	6	98.1%	26.5	16.25	38.7%	0	38.7%	0.006
316	6	98.1%	26.5	17	35.8%	0	35.8%	0.012

反應槽內 SS 總量 16.81g

2.5 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/1)水力停留時間 6 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
295	20	93.2%	27	14.25	47.2%	0	47.2%	0.012
293	15	94.9%	26.75	9	66.4%	0	66.4%	0.012
303	13	95.7%	28.5	8	71.9%	0	71.9%	ND
238	10	95.8%	26.25	8.75	66.7%	0	66.7%	0.002
299	20	93.3%	26	10	61.5%	0	61.5%	0.014
301	17	94.4%	24.75	9	63.6%	0	63.6%	0.019
271	15	94.5%	26.75	6.27	76.6%	0	76.6%	0.009

反應槽內 SS 總量 20.75g

2.5 cm 污泥粒曝氣/不曝氣(1/2)水力停留時間 6 小時實驗數據

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/200 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
293	12	95.9%	22	10.25	53.4%	0	53.4%	0.005
294	10	96.6%	25.75	11.5	55.3%	0	55.3%	0.006
300	5	98.3%	26.5	16.25	38.7%	0	38.7%	0.005
294	11	96.3%	26.5	15	43.4%	0	43.4%	0.006
284	19	93.3%	25.5	16	37.3%	0	37.3%	0.008
306	25	91.8%	27.5	18.75	31.8%	0	31.8%	0.009
295	12	95.9%	26.5	16.5	37.7%	0	37.7%	0.015

反應槽內 SS 總量 19.71g

2、合成廢水 1000 mg/L COD 實驗數據

1 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 12 小時

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/100 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
1005	15	98.5%	26.75	0	100.0%	0	100.0%	0.0065
1007	51	94.9%	25.75	0	100.0%	0	100.0%	0.0097
970	31	96.8%	27.75	0	100.0%	0	100.0%	0.0226
1004	41	95.9%	26.25	0.25	99.0%	0	99.0%	0.0025
958	54	94.4%	26	0	100.0%	0	100.0%	0.0108
984	46	95.3%	26.5	0.25	99.1%	0	99.1%	0.0117
978	39	96.0%	26.5	0.25	99.1%	0	99.1%	0.015

反應槽內 SS 總量 30.23g

2.5 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 12 小時

COD (mg/L)	COD (mg/L)	COD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N 去除效率 (%)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮氮去 除效率 (%)	SS g/100 mL
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Eff.)		(Eff.)
1005	49	95.1%	26.75	0	100.0%	0	100.0%	0.0047
1007	27	97.3%	25.75	0	100.0%	0	100.0%	0.0036
970	67	93.1%	27.75	0	100.0%	0	100.0%	0.0242
1004	68	93.2%	26.25	0.25	99.0%	0	99.0%	0.0197
958	52	94.6%	26	0	100.0%	0	100.0%	0.0323
984	56	94.3%	26.5	0	100.0%	0	100.0%	0.0243
978	51	94.8%	26.5	0.25	99.1%	0	99.1%	0.0111

反應槽內 SS 總量 35.33g

3、食品廢水實驗數據

1 cm 污泥粒連續曝氣水力停留時間 12 小時(過濾)

COD (mg/L)	COD (mg/L)	SCOD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	N-NH ₃		NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮 氮去 除效 率(%)	SS g/100 mL
					去除 效率 (%)					
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)	(Eff.)		
624	39	93.8%	14.25	0	100.0%	0	0.1	99.3%	ND	
602	53	91.2%	15.75	0	100.0%	2.2	0.2	98.7%	40	
649	62	90.4%	17.5	0.25	98.6%	2	0.2	97.4%	ND	
612	69	88.7%	16.25	0.75	95.4%	2.6	0.2	94.2%	71	
593	64	89.2%	9.75	0.75	92.3%	0.3	0.2	90.3%	65	
564	62	89.0%	9.25	0.75	91.9%	0.5	0.3	88.6%	58	
664	68	89.8%	9.5	0.75	92.1%	0.3	0.3	88.9%	26	

反應槽內 SS 總量 1420g

1 cm 污泥粒食品廢水連續曝氣水力停留時間 12 小時(未過濾)

COD (mg/L)	COD (mg/L)	TCOD 去除效 率(%)	NH ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	N-NH ₃		NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	總氮 氮去 除效 率(%)	SS g/100 mL
					去除 效率 (%)					
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)	(Eff.)		
756	83	89.0%	20.5	8	61.0%	0	1.8	52.2%	ND	
753	65	91.4%	19.25	8	58.4%	0.5	0.3	56.9%	40	
817	116	85.8%	21.5	8.75	59.3%	0.1	0.1	58.8%	ND	
871	166	80.9%	20.5	3.5	82.9%	0.4	0.4	81.0%	71	
734	154	79.0%	13.25	2.75	79.2%	3.1	0.6	74.7%	65	
711	299	57.9%	12.25	2.75	77.6%	2.6	2.7	55.5%	58	
771	184	76.1%	13.75	3.75	72.7%	2.8	1.4	62.5%	26	

反應槽內 SS 總量 1420g

2.5cm 污泥粒食品廢水連續曝氣水力停留時間 12 小時(過濾)

COD (mg/L)	COD (mg/L)	SCOD 去除效 率(%)	NH ₃ -N		N-NH ₃ 去除 效率 (%)		NO ₃ ⁻ -N		總氮 氮去 除效 率(%)	SS g/100 mL
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)	(Eff.)		
624	49	92.1%	14.25	1	93.0%	0	0.2	91.6%	ND	
602	58	90.4%	15.75	0.25	98.4%	2.2	0.3	96.5%	ND	
649	64	90.1%	17.5	0.5	97.1%	2	0.2	96.0%	9	
612	65	89.4%	16.25	0.25	98.5%	2.6	0.2	97.2%	10	
593	66	88.9%	9.75	1.25	87.2%	0.3	0.3	84.1%	112	
564	76	86.5%	9.25	2	78.4%	0.5	0.7	70.8%	96	
664	76	88.6%	9.5	2	78.9%	0.3	1.3	65.3%	34	

反應槽內 SS 總量 3587g

2.5 cm 污泥粒食品連續曝氣水力停留時間 12 小時(未過濾)

COD (mg/L)	COD (mg/L)	TCOD 去除效 率(%)	NH ₃ -N		N-NH ₃ 去除 效率 (%)		NO ₃ ⁻ -N		總氮 氮去 除效 率(%)	SS g/100 mL
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		
(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)		(Inf.)	(Eff.)	(Eff.)		
756	112	85.2%	20.5	9	56.1%	0	0.1	55.6%	ND	
753	105	86.1%	19.25	8.75	54.5%	0.5	0.2	53.5%	ND	
817	115	85.9%	21.5	8.75	59.3%	0.1	0.1	58.8%	9	
871	245	71.9%	20.5	3.25	84.1%	0.4	2.8	70.5%	10	
734	85	88.4%	13.25	3.25	75.5%	3.1	3.1	52.1%	112	
711	107	85.0%	12.25	3	75.5%	2.6	0.6	70.6%	96	
771	95	87.7%	13.75	3.5	74.5%	2.8	1.1	66.5%	34	

反應槽內 SS 總量 3587g

4、模型廠家庭廢水實驗數據

pH	DO(mg/L)	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	TBOD (mg/L) (每週)	SS(mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	TKN (每週)
7.6	2.30	110.0	95.2		20.0	21.7	0.9	
8.0	8.28	44.7	30.2		9.0	1.5	17.4	
7.6	0.70	103.0	76.5	37.1	26.5	21.5	0.5	45.5
7.9	7.19	28.4	27.9	9.7	8.0	<4	18.5	32.1
7.6	0.69	101.0	91.9		20.0	19.4	0.8	
8.0	7.02	30.0	28.5		12.0	<4	21.0	
7.4	0.81	145.0	121.0		56.0	18.8	0.5	
7.9	7.00	45.0	28.5		15.0	1.1	24.8	
7.4	1.03	116.0	102.0		31.0	20.6	2.9	
8.0	5.50	60.2	46.4		22.0	1.8	6.6	
7.4	0.91	141.0	92.0		68.0	19.7	0.8	
8.0	5.93	43.6	35.2		14.0	1.2	5.0	
7.4	0.86	119.0	91.5	39.8	66.0	19.3	0.7	48.9
7.8	5.31	28.6	20.1	9.1	14.0	1.5	14.5	32.2
7.4	0.04	113.0	86.2		35.0	19.9	0.8	
7.9	4.90	26.1	24.1		14.0	1.2	19.2	
7.4	0.24	133.0	88.6		56.0	17.9	0.4	
7.8	8.00	26.6	25.9		12.0	1.3	25.8	
7.4	0.41	105.3	97.9		26.0	21.9	0.3	
7.4	4.12	63.5	20.8		78.0	2.1	22.8	
7.4	0.59	93.0	93.0		17.5	23.1	0.7	
7.8	79.50	65.8	24.4		59.0	1.8	20.8	
7.4	0.14	126.0	77.3		64.0	22.5	0.2	48.0
7.6	7.90	34.5	22.0		27.0	2.0	21.1	33.1
7.3	0.18	204.0	84.9		150.0	21.4	0.3	
7.6	7.47	62.0	22.0		58.0	1.6	20.7	
7.4	0.14	184.0	107.0		122.0	21.2	0.4	
8.1	8.05	35.3	22.5		31.0	1.0	20.6	