

生物學的 流動層을 利用한 魚類養殖 循環水의 處理시스템 開發

李 基 完

東新大學校 工科大學 環境工學科

Developments of Water Treatment System by Biological Fluidized Bed for Water Reuse Aquaculture

Ki-Wan LEE

*Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Dongshin University
Naju, Chonnam 520-714, Korea*

The experimental study was made to propose the treatment method of wastewater in the high-density fish culture system. The BOD to COD ratios of effluents were almost same to 0.65 in the eel-farm, but were various in the farm rearing together with tilapia etc. A BOD rate curve of the eel-farm effluent could be described mathematically by the equation, $BOD_u = 14.1(1 - 10^{-0.222t}) + 30.9(1 - 10^{-0.035(t-8)})$. Nitrification in Biological Fluidized Bed(BFB) system to treat the fish-farm wastewater could be reduce ammonium level up to 65~79% when ammonium loading rates were between 0.014 and 0.075 g NH₄/g BVS-day. Nitrification efficiency was decreased by organic matters in the wastewater when ammonium loading was low(0.014 g NH₄/g BVS-day). T-N removal ratios were decreased to increase loading in denitrification process, because of low C/N ratio. Based on much higher biological mass concentrations, BFB system takes many advantages of a practical viewpoint, such as stability of treatment efficiency and reduction of necessary site area for the facility, as compared with conventional treatment systems.

緒 論

國內에서 지금까지 研究되어온 魚類養殖 廢水의 處理方式은 微生物을 利用한 生物學的 處理方法으로서 循環水 中の 암모니아性窒素(NH₄-N) 제거를 기대하는 循環濾過式 淨水方法이 主를 이루고 있다(金, 1980; 田, 1983; 金 등, 1986; 金 등, 1987; 李 등, 1992).

循環濾過式 淨水方法은 자갈, 천모직,凹凸 플라스틱 판 등의 濾過材를 利用하여 濾過材에 附着成長하는 微生物을 活用하는 方式이나 濾過材의 附着 微生物 濃度가 비교적 낮기 때문에 處理效率이 떨어지는 편이어서 相對的으로 넓은 敷地面積을 필요로 하고 있다.

또한, 魚類養殖 廢水中에 함유된 NH₄-N은 窒酸

化 微生物에 의하여 窒酸性 窒素(NO₃-N)형태로 轉換되는 것이며 窒素成分이 완전 除去되는 것이라 볼 수 없다(金 등, 1983; 李 등, 1992, Hanaki *et al.*, 1990). 反面, 本 研究에서 適用하려는 生物學的 流動層은 反應槽內에 비교적 크기가 작은 미디어를 넣고 流體의 흐름으로 미디어에 流動性을 주어 미디어에 附着된 微生物과 廢水의 接觸面積 增大 및 反應槽內에 高濃度의 微生物을 維持시켜 주므로 反應槽 단위 체적당 보다 많은 양의 廢水を 處理할 수 있어서 效率의인 水處理 方法으로 알려져 있으며(Pearson *et al.*, 1977; Mulcahy *et al.*, 1978; Sutton *et al.*, 1981; 李 등, 1987; 金 등, 1987; 李, 1988) 原水 中の NH₄-N을 NO₃-N으로 窒酸化 시킬 뿐만 아니라 장치를 적절히 考案하면 NO₃-N의 脫窒除去까지도 期待 可能하므로 效率의인 水處理

方法으로 評價되고 있다(Jeris *et al.*, 1974; Jeris *et al.*, 1977; 권, 1987).

따라서, 本 研究에서는 아크릴材質의 模型反應槽를 제작한 뒤 養殖場廢水와 유사한 合成廢水를 利用, 有機物 및 窒素成分 負荷率 變化에 따른 處理 實驗을 통하여 研究를 進行하였다.

개략도는 Fig. 1과 같다.

模型 實驗裝置의 反應槽는 아크릴 材質이며 恒溫 恒濕을 維持할 수 있는 實驗室 내에서 裝置가 운영되도록 하였다.

窒酸化 및 脫窒反應槽의 내경은 110 mm, 높이 930 mm이며 反應槽 上部와 下部에 多孔性 지지판을 설치하여 上下의 多孔性지지판 사이에서만 매다가 流動될수 있도록 하였다. 微生物附着 매다 아의 流動空間인 유효깊이는 770 mm이며 反應槽 하단에는 매다를 流動시킬수 있는 循環水 分散 裝置가 부착되어 있고 反應槽內에서의 直接曝氣가 可能하도록 散氣石을 설치하였다.

材料 및 方法

1. 實驗材料

本 研究를 수행하기 위하여 설치한 實驗裝置의

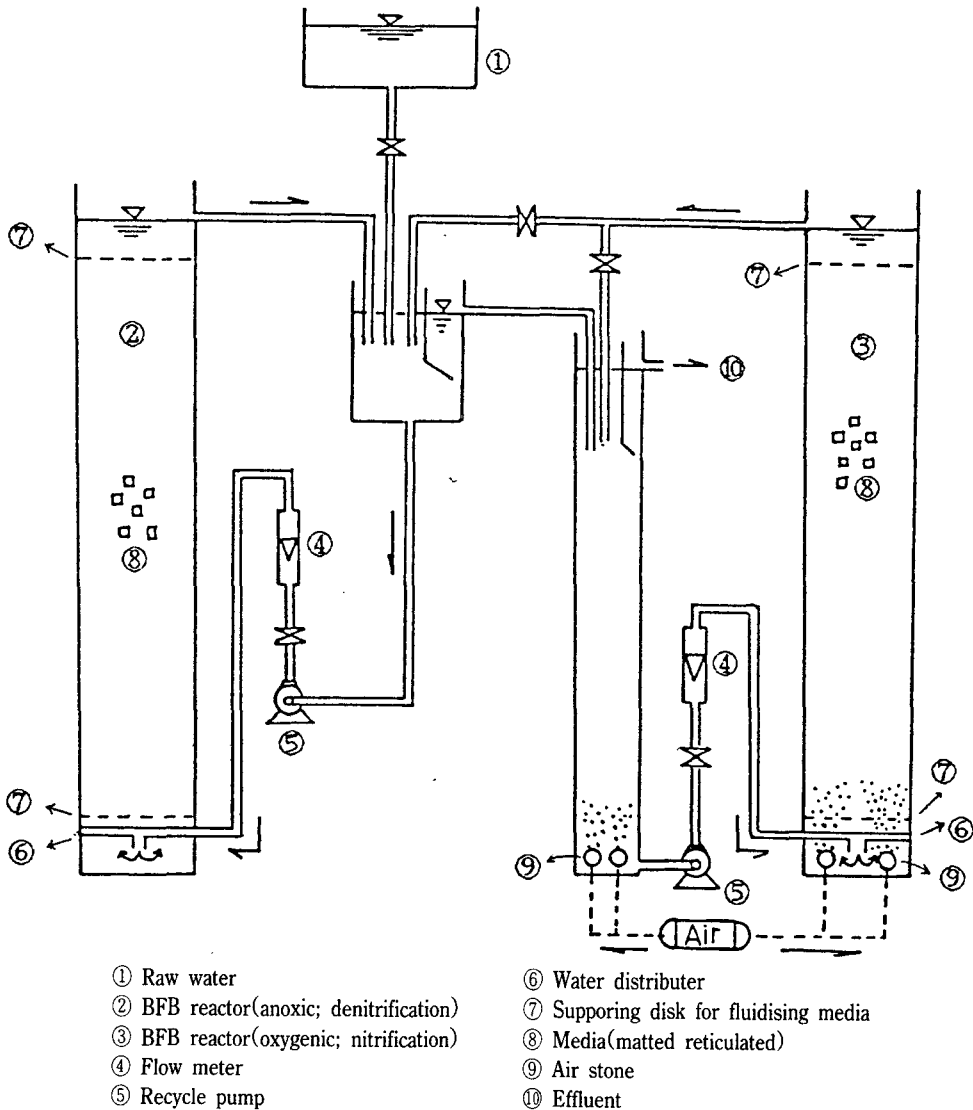


Fig. 1. BFB reactor system for nitrification and denitrification

反應槽에서 사용할수 있는 미디어에는 여러 종류가 있으며 그중 대표적인 것이 모래이지만, 本研究에서는 비중이 작은 폴리프로필렌계 不織布를 15×15×12 mm 크기로 잘라서 미디어로 使用하였다. 窒酸化反應槽와 연결된 循環槽의 직경은 55 mm, 높이 760 mm이며 窒酸化反應槽 上部로부터의 循環水는 一部가 循環槽 上部에 流入되어 循環槽 底部를 經유, 유량조절 펌프와 유량계를 통하여 窒酸化反應槽 底部로 流入되는 시스템으로 구성되어 있다.

窒酸化反應槽 上部 流出水중 循環槽로의 一部 循環流量을 제외한 나머지 流量은 脫窒反應槽의 循環槽에 流入된다. 脫窒反應槽의 경우, 反應槽부터의 流出水가 脫窒循環槽에서 窒酸化 反應槽 流出水와 혼합된 후 脫窒 循環流量이 펌프와 유량계를 통하여 脫窒反應槽 底部로 流入되는 시스템으로 구성되어 있다.

本 實驗에 使用된 試料水로는 既存의 魚類養殖場 水質과 유사하게 合成廢水를 調整하여 原廢水로 定하였던 바 Table 1은 合成廢水의 組成을 나타낸 것이며 原水는 脫窒循環槽를 통하여 脫窒槽 底部로 流入되게 하였다.

Table 1. Composition of synthetic wastewater

Chemical added	Concentration(g/l)
Pepton	0.1225
Urea	0.1475
NaCl	0.059
CaCl ₂	0.059
KCl	0.012
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.035
KH ₂ PO ₄	0.017
NaHCO ₃	control Concentration
K ₂ CO ₃	control Concentration

2. 實驗方法

2-1. 微生物의 馴養

本 實驗에서 使用한 微生物은 羅州市 衛生處理場의 曝氣槽로부터 취하였으며 이를 實驗室로 옮겨 Table 1의 合成廢水에 대하여 5 주일 동안 馴養시켰다.

微生物 馴養 기간동안 實驗室 內的 溫度는 서서히 상승되도록 하였던 바, 최종적으로 實驗溫度 조건인 35℃에서 馴養이 完了 되었다. 窒酸化微生物

과 脫窒微生物의 馴養은 각각의 馴養槽에서 별도로 進行시켰으며 처음 2 주일간 窒酸化 微生物을 먼저 馴養한 뒤 窒酸化微生物 馴養槽의 流出水와 合成廢水를 1:1의 비율로 混合하여 약 3 주일간 脫窒 微生物의 馴養이 이루어지도록 하였다.

窒酸化微生物 및 脫窒微生物의 馴養조건중 pH는 각각 8~9, 6.5~7.5를 기준하였고 溶存酸素(DO) 濃度는 각각 6.0 mg/l 以上, 0.1 mg/l 以下를 기준으로 하였다.

2-2. 生分解性 實驗

S 養殖場廢水 및 合成廢水의 生分解性을 평가하기 위하여 각 試料水 별로 20 일간 BOD 實驗을 시행하였으며 이와 별도로 羅州市 衛生處理場의 活性슬러지를 利用, 2 주일간의 微生物 馴養과정을 거쳐 35℃ 진탕 배양기 내에서 微生物에 의한 回分式 生分解度 實驗을 進行하였다.

回分式 生分解度 試驗에 使用된 容器는 1 l 容量으로서 Fig. 2와 같다.

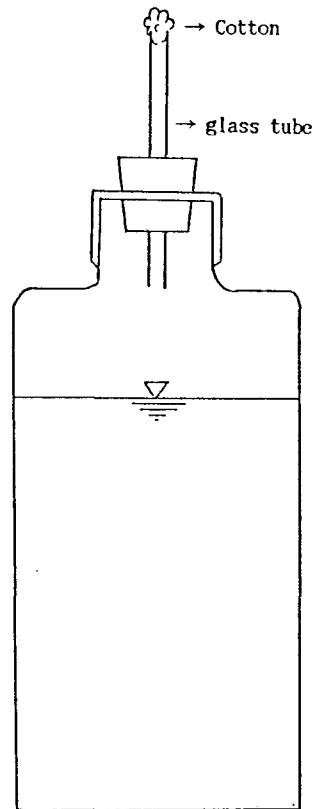


Fig. 2. Batch reactor(plastic bottle) for biodegradation

2-3. BFB 시스템에서의 窒酸化 및 脫窒反應
1) 窒酸化 反應

Fig. 1의 裝置중 窒酸化 反應을 주목적으로한 窒酸化反應槽와 循環槽의 시스템은 實驗기간동안 Biomass volatile solid(BVS) 濃度 2.65~2.92 g/l 범위를 維持하였고 負荷率[(F/M)N比]은 0.05~0.30 g NH₄/g BVS · day의 범위를 기준하여 負荷 변동에 따른 反應率을 검토할 수 있도록 하였다. pH의 조정은 合成廢水중의 알카리도만으로 pH 維持가 되지 않을 경우 NaHCO₃와 K₂CO₃로서 8.5 ± 0.5를 維持시켰다.

反應槽내의 DO 濃度は 反應槽의 直接曝氣裝置나 循環槽의 間接曝氣裝置를 利用, 6.0 mg/l 以上으로 維持시켜 窒酸化율에 미치는 DO 制限가능성을 배제시켰다.

2) 脫窒反應

Fig. 1의 裝置중 脫窒反應을 주목적으로 한 脫窒反應槽와 循環槽의 시스템은 實驗기간동안 BVS 濃度 3.04~3.44 g/l, 負荷率[(F/M)N]은 0.11~0.34 g T-N/g BVS · day, DO 濃度は 0.1 mg/l 미만인 維持되게 하였다.

養魚場廢水는 본래 有機物濃度(COD 濃度)가 1 日中 시간에 따라 2~3 倍정도로 變動하는 등 水質變動이 비교적 큰 것으로 알려져 있을뿐만 아니라 특히 Fig. 1의 實驗裝置에서는 裝置의 운영상 비교적 복잡한 循環과정을 필요로 하므로 脫窒槽에서의 탄소/질소(C/N) 比를 일정하게 조정하기가 어려워 C/N 比 조정을 위한 별도의 첨가제는 가하지 않았다. 脫窒 시스템에 있어서는 循環流量에 따른 DO 증가의 우려 때문에 될수록 循環流量 없는 운영이 바람직하다. 그러나 本 研究에서는 反應槽 시스템을 完全混合形으로 維持시켜 負荷變動 및 pH 變化要因 등의 影響을 최소화하기 위하여 DO 濃도에 影響을 주지 않을 정도의 循環流量을 導入하였다.

2-4. 水質分析

本 研究의 수행을 위하여 實驗하였던 水質項目과 測定方法은 다음과 같다.

① pH: pH Meter(HM-20S, TOA, Japan)를 사용하여 3회 測定의 平均값으로 나타냈다.

② 알카리도(Alkalinity): 0.1 N-H₂ SO₄, bromocresol green과 메틸레드의 混合指示藥을 利用한 適定法으로 분석하였다.

③ BVS(Biomass Volatile Solid): 微生物이 附着된 不織布 매디아를 壓搾, 微生物을 脫離시켜 Standard Methods(1989)에 따라 反應槽 부피 중의

Volatile suspended solids(VSS) 濃度로 測定하였다.

④ DO: DO meter(YSI model 56, U.S.A)를 利用 3 회 測定한 平均값(20℃의 환산값)으로 나타냈다.

⑤ BOD₅: 20℃ 恒溫 BOD Incubator를 利用 하였으며, Standard Methods(1989)에 따라 5 일간의 BOD값으로 測定하였다.

⑥ COD(Mn): 酸性 100℃에서 과망간산 칼륨에 의한 화학적 산소 요구량으로 測定하였다.

⑦ NH₄-N: 50 ml Nessler tube와 네슬러 試藥으로 發色시킨후 분광광도계(Spectrophotometer, Model 200-10, Hitach, Japan)로 425 nm의 波長조건에서 吸光度를 測定 분석하였다.

⑧ NO₂-N: 試料濃度は 술퍼닐 아미드 α-나프틸에틸렌디아민염의 試藥으로 發色시킨후 분광광도계의 吸光度를 540 nm의 波長에서 測定 분석하였다.

⑨ NO₃-N: Brucine-sulfanil 試藥 등으로 發色시킨후 분광 광도계의 吸光度를 410 nm의 波長에서 測定하였다.

結果 및 考察

1. 養殖場의 水質特性

既存의 養殖場廢水와 合成廢水의 主要水質을 分析한 結果는 Table 2와 같다.

Table 2의 魚類 養殖場에 있어서 B는 忠南 소재의 양식장, K는 全北 소재의 양식장, H 및 S는 全南 소재의 양식장 試料水에 대한 水質分析 結果를 나타낸 것이다. B 養殖場, K 養殖場의 主要 飼育魚種은 鰻장어, 鰻라피아, 이스라엘계 잉어이며 H 養殖場과 S 養殖場은 鰻장어만을 飼育하는 양만장인바, BOD₅ 濃度 9.3~13.1 mg/l, COD(Mn) 濃度 8.0~20.0 mg/l, NH₄-N 濃度 1.1~20.2 mg/l, NO₂-N 濃度 0.14~0.50 mg/l, NO₃-N 濃度 15~46 mg/l 등 각 養殖場別로 水質의 차이가 비교적 크게 나타나고 있다. 이는 原水의 水質, 飼育魚種, 魚類의 成長狀態, 飼育槽의 形態 등 각 養殖場別 飼育方式이 서로 다른 경우가 많기 때문이다.

調査된 4개소의 養殖場 廢水에 대한 BOD/COD 비율을 비교해보면, 鰻장어만을 養殖하는 H 및 S 양만장의 경우 0.65로 거의 비슷하였고 單一 魚種을 養殖하지 않는 B 및 K 養殖場에서는 0.84~1.41로서 매우 相異한 結果를 보였다.

또한, 동일 형태의 魚類 飼育槽내에서도 魚種別

Table 2. Characteristics of aquarium wastewater and synthetic wastewater

(unit: mg/l)

	Aquarium wastewater(Average)*				Synthetic wastewater
	B	K	H	S	
BOD ₅	9.3	11.3	9.4	13.1	16
COD(Mn)	11.1	8.0	14.5	20.0	18
NH ₄ -N	7.3	20.2	1.1	2.3	8~10
NO ₂ -N	0.14	0.23	0.32	0.50	< 0.3
NO ₃ -N	46.4	26.9	15	21	32~38

* B, K; fish-farm with eels, Tilapia and Carp
H, S; fish-farm with eels

로 飼料의 形態, 먹이 供給量 및 供給 頻度는 서로 다르게 적용되므로 Table 2의 水質分析 값은 時間別 水質變動特性과 함께 이해되어야 한다.

Fig. 3은 B 養殖場에 있어서 24 時間 동안의 水質變動 特性을 나타낸 것으로 飼育槽内の DO 濃도와 pH 값을 時間別로 分析한 結果이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 DO 濃도는 02~12 時 사이에서 5 mg/l를 上位하고 있으며 16~22 時 사

이에는 4 mg/l 정도를 나타낸다.

pH는 日間 變化幅에는 큰 차이가 없었으나 DO 濃度 變化와 비교할 때 서로 반비례 경향을 보이고 있다.

循環濾過槽 및 飼育槽内の DO 濃도는 20~22 時경부터 서서히 증가하여 다음 날 08時경에 最大 濃度を 나타냈다. 이것은 露地의 池水式 養殖場과는 反對의 현상으로서, 이와 같이 DO 濃도가 夜間

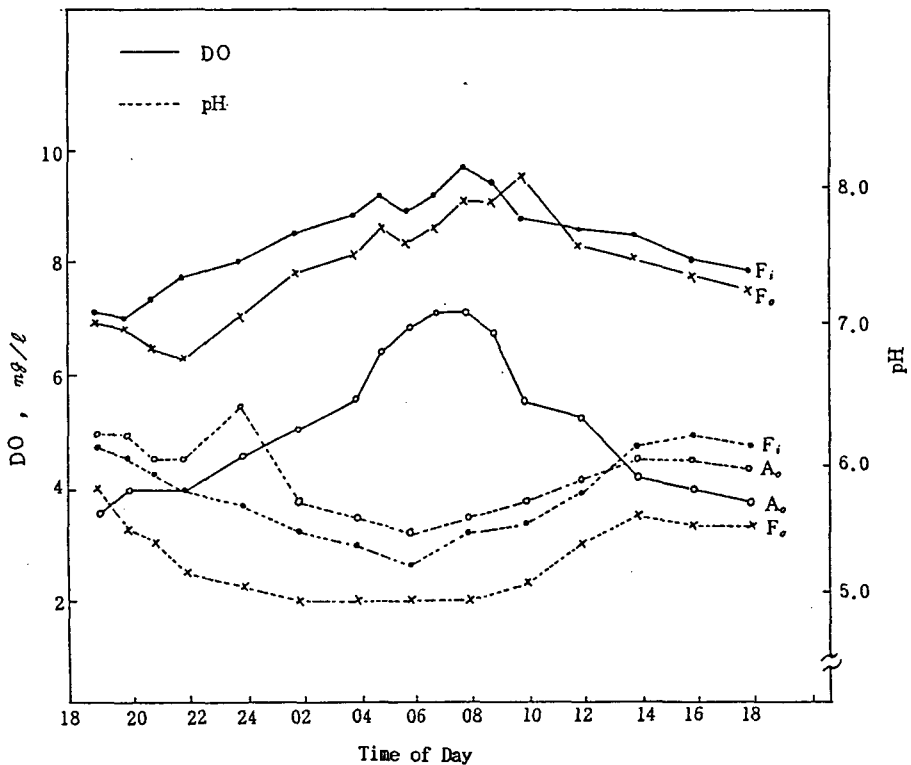


Fig. 3. Hourly variation of water quality in the fishfarm B

(F_i: influent of submerged filter tank, F_o: effluent of submerged filter tank, A_o: effluent of rearing tank)

에 높게 나타난 理由는 夜間의 사료공급 정지 기간동안 飼育槽內에서 물고기의 산소 요구량이 감소 되었기 때문에 판단된다.

pH의 增加 및 減少는 循環 시스템의 水路 및 濾過槽 벽면에 번식하는 藻類의 影響을 받기 때문에 판단된다.

2. 養殖場 廢水의 生分解 特性

有機性 廢水에 대한 生物學的 處理能力 評價方法으로 BOD 값을 도구로 하는 生分解度 測定수단 이 알려져 있다.

Fig. 4는 養殖場 廢水 및 合成廢水에 대하여 20 日간의 BOD 측정값을 日別로 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 S 養殖場廢水 및 合成廢水는 모두 뚜렷한 2 段階의 生物學的 分解反應을 나타내고 있다. 즉, 유기탄소 성분 的 산화 분해에 따른 C-BOD 曲線과 窒素成分의 窒酸化反應에 기인한 N-BOD 曲線 형태의 各 단계 別로 反應速度가 서로 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다.

C-BOD 및 N-BOD의 各 反應速度 상수를 구하기 위하여 Fig. 5, Fig. 6과 같이 代數微分法과 토마스法(Adams *et al.*, 1981)을 사용 하였으며 그 結果는 Table 3에 나타내었다.

Fig. 4에서 合成廢水와 S 養殖場廢水는 N-BOD 曲線이 各 各 BOD 分解개시 후 7 日과 8 日 만에 出現하므로 S 養殖場廢水의 N-BOD 曲線이 1 日 정도 지체되어 늦게 나타나는 경향을 보인다.

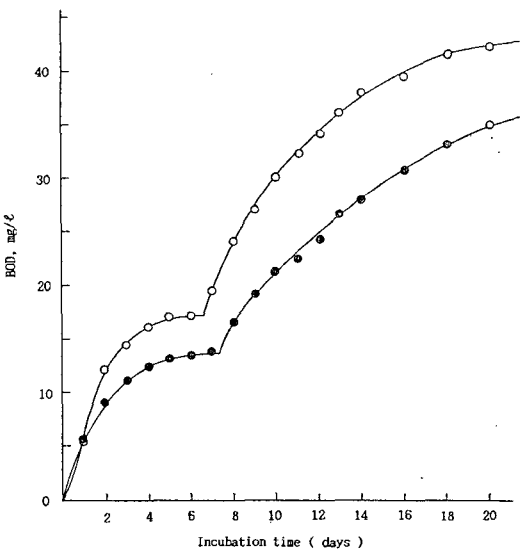


Fig. 4. BOD curve of wastewater. (○: synthetic, ●: fishfarm S)

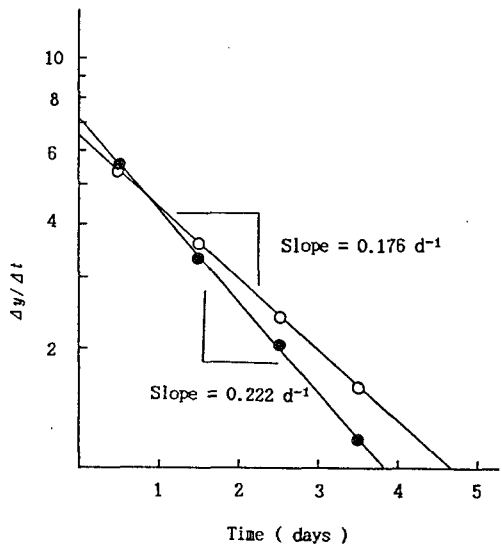


Fig. 5. Determination of rate constants and ultimate nitrogenous BOD by Log-Difference method (○: synthetic, ●: fishfarm S).

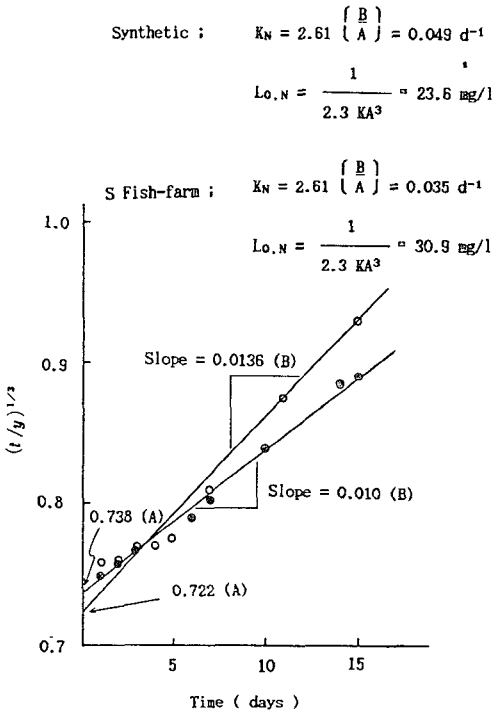


Fig. 6. Determination of rate constants and ultimate nitrogenous BOD by Thomas method (○: synthetic, ●: fishfarm S)

Table 3. BOD reaction rate constants of wastewater and synthetic wastewater

	wastewater	reaction rate constant, $k[\text{day}^{-1}]$	ultimate BOD $[\text{mg/l}]$
C-BOD	synthetic	0.176	16.3
	fishfarm S	0.222	14.1
N-BOD	synthetic	0.049	23.6
	fishfarm S	0.035	30.9

따라서, 이를 각 廢水에 대하여 C-BOD와 N-BOD를 합한 曲線式으로 나타내면 다음(1), (2) 식과 같다.

合成廢水の 曲線式;

$$y_T = 16.3(1 - 10^{-0.176t}) + 23.6(1 - 10^{-0.049(t-7)}) \dots\dots (1)$$

S 養殖場 廢水の 曲線式;

$$y_N = 14.1(1 - 10^{-0.222t}) + 30.9(1 - 10^{-0.035(t-8)}) \dots\dots (2)$$

合成廢水 및 養殖場廢水の 反應速度 상수값을 서로 비교해 보면, 탄소성 유기물의 경우 養殖場

廢水 0.222 d^{-1} , 合成廢水 0.176 d^{-1} 으로서 養殖場 廢水쪽이 약간 빠르며 窒酸化 反應의 경우는 反應速度상수 0.035 d^{-1} 인 養殖場 廢水보다 0.049 d^{-1} 인 合成廢水쪽이 약간 빠름을 알 수 있다.

한편, Table 4는 Fig. 2의 回分式 生分解度 實驗裝置를 利用하여 1회 反應時間 12時間씩 7 日간의 實驗結果를 요약한 것이다.

Table 4에 따르면, F/M 比 0.04 d^{-1} 의 조건하에 微生物에 의한 BOD 분해율 82~86%, COD 분해율 71~76%로 나타났던바, 廢水中에 함유된 유기성 물질은 生物學的 處理의 적용 가능성이 충분한 것으로 파악되었다. 魚類 養殖場 廢水는 本質的으로 魚類의 크기 및 成長樣態에 따라 水質이 변하는바 合成廢水の 水質特性을 養殖場廢水에 완전히 일치시키는 불가능하다. 그러나, 本 研究를 수행하기 위하여 調整된 合成廢水는 그 基質分解특성이 어느 정도 養殖場廢水와 類似함이 인정되므로 廢水 處理 研究目的의 養殖場 廢水 대용이 가능할 것으로 평가되었다.

Table 4. Results of batch type biodegradation test for fishfarm S and synthetic wastewater

Wastewater	MLSS $[\text{mg/l}]$	MLSS * hr $[\text{g/l} \cdot \text{hr}]$	F/M ratio $[\text{day}^{-1}]$	Removal ratio(%)	
				BOD	COD
synthetic	740	8.9	0.04	82	76
fish-farm S	740	8.9	0.04	86	71

3. BFB 시스템에서의 窒酸化 및 脫窒化 反應

魚類養殖場 廢水の 대응으로 調整된 合成廢水에 대하여 BFB 實驗裝置 시스템으로 處理運營한 結果를 Table 5, Table 6에 나타내었다.

Table 5와 Table 6은 각각 窒酸化 反應 및 脫窒化 反應을 목표로 負荷조건을 달리하여 處理 實驗한 結果이다.

Table 5에 따르면, BFB 反應槽를 利用한 암모니아성 窒素의 窒酸化 시스템에서 0.8~3.4 時間의 水理學的 滯留時間(HRT) 조건일 때 암모니아성 窒素의 窒酸化率은 65~79%, COD 除去率은 27~54%로 나타났다.

Fig. 7은 BFB의 窒酸化 시스템에 있어서 암모니아성 窒素 및 COD 除去率을 암모니아성 窒素 負荷量과 상관시켜 본 것이다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 암모니아성 窒素의 負荷量 $0.014 \sim 0.075 \text{ g NH}_4\text{-N/g BVS} \cdot \text{day}$ 범위내에서는 負荷量이 5 배 정도의 증가 폭을 나타내어

도 窒酸化率은 65~79%로서 비교적 安定된 處理率을 보여 주었다. 이는 李 등(1992)이 循環濾過式 養殖場 廢水處理 研究에서 水理學的 負荷量을 $0.028 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 로부터 $0.111 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 까지 4 배 증가시켰을 때 窒酸化率은 76%에서 9.2%로 크게 減少되는 것과 매우 대조적이다. 이러한 차이는, 李 등(1992)이 循環濾過式 處理裝置에 使用하였던 固定床 선라이트 골판 여재의 경우, 濾材 附着 微生物量을 계량할 수 없을 정도로 微生物이 적게 함유되어 있을 뿐만아니라 濾材 주변의 빠른 流速이 微生物의 附着成長을 制限하는 반면, 本 研究에서 流動床 濾材로 택한 폴리프로필렌계 不織布의 경우 微生物이 치밀하게 附着되어 反應槽內的 微生物 濃度를 $2.65 \sim 2.92 \text{ g/l}$ 의 高濃度로 維持할 수 있어서 負荷變動의 影響을 적게 받기 때문인 것으로 판단된다.

그런데 Fig. 7에서 負荷量 $0.014 \text{ g NH}_4\text{-N/g BVS} \cdot \text{day}$ 의 암모니아성 窒素 低負荷時에는 예외

Table 5. Results of treatment using the nitrification system by BFB

Run type	A	B	C	D
Temp [°C]	35	35	35	35
pH	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5	8.5 ± 0.5
Qi [l/hr]	2.16	4.32	6.48	8.64
HRT [hr]	3.4	1.7	1.1	0.8
Qr/Qi	27.8	13.9	9.3	6.9
DO [g/l]	6.8	6.2	5.8	5.7
BVS [g/l]	2.65	2.80	2.84	2.92
(F/M) _N [g·NH ₄ -N/g·BVS·d]	0.014	0.031	0.055	0.075
(NH ₄ -N) _i [mg/l]	5.2	6.1	7.3	7.7
(NH ₄ -N) _e [mg/l]	1.8	1.3	1.7	2.3
(NH ₄ -N) _r [%]	65.0	78.7	76.7	70.1
(NO ₃ -N) _i [mg/l]	14	20	22	24
(NO ₃ -N) _e [mg/l]	17	23	27	28
COD _i [mg/l]	6.1	4.0	4.5	3.3
COD _e [mg/l]	2.8	2.4	1.8	2.4
COD _r [%]	54	40	40	27

* Subscript; i: influent, e: effluent, r: removal, Qr: recycle flow rate

Table 6. Results of treatment using the denitrification system by BFB

Run type	A	B	C	D
Temp [°C]	35	35	35	35
pH	7.0 ± 0.5	7.0 ± 0.5	7.0 ± 0.5	7.0 ± 0.5
Qi [l/hr]	2.16	4.32	6.48	8.64
HRT [hr]	3.4	1.7	1.1	0.8
Qr/Qi	27.8	13.9	9.3	6.9
BVS [g/l]	3.04	3.15	3.30	3.44
(F/M) _{T-N} [g·T-N/g·BVS·d]	0.112	0.184	0.270	0.343
(NH ₄ -N) _i [mg/l]	9.6	8.5	8.6	8.2
(NH ₄ -N) _e [mg/l]	5.2	6.1	7.3	7.7
(NO ₃ -N) _i [mg/l]	38	32	33	33
(NO ₃ -N) _e [mg/l]	14	20	22	24
(NO ₃ -N) _r [%]	63.2	31.4	33.3	24.2
(T-N) _i [mg/l]	47.9	40.8	41.9	41.5
(T-N) _e [mg/l]	19.5	26.4	29.6	33.0
(T-N) _r [%]	59.3	35.3	29.4	22.9
COD _i [mg/l]	18.0	13.5	16.2	14.0
COD _e [mg/l]	6.1	4.0	4.5	3.3
COD _r [%]	66.1	70.4	72.2	76.4

* Subscript; i: influent, e: effluent, r: removal, Qr: recycle flow rate

T-N: {(NO₃-N) + (NH₄-N) + (NO₂-N)}, (NO₂-N) ≅ 0.3 mg/l

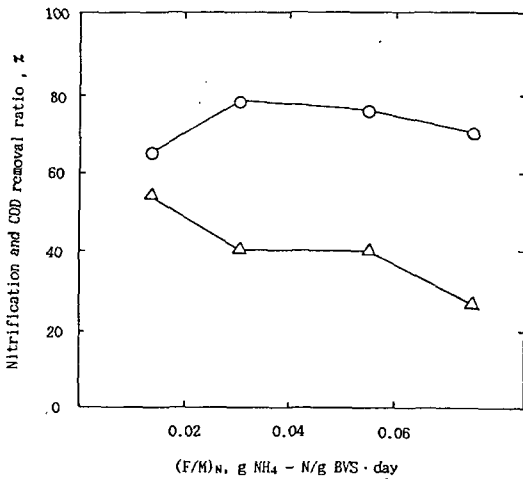


Fig. 7. Nitrification and COD removal ratio vs. $(F/M)_N$ in BFB oxygenic reactor.
(○: Nitrification ratio, △: COD removal ratio)

적으로 高負荷 조건에서보다 窒酸化率이 떨어지고 있다.

이는 低負荷 조건시, 流入水의 COD 濃도가 6.1 mg/l로서 COD 濃도 3.3~4.5 mg/l인 타 조건에 비하여 비교적 높았기 때문에 窒酸化 反應速度에 影響을 준 結果라고 생각된다. 이러한 결과는 0 次 反應의 生物膜 窒酸化 反應速度式에 있어서 有機物 同時 제거는 反應速度를 低下시키는 要因으로 작용하였다는 Bovendeur 등(1990)의 研究結果와도 잘 일치하고 있다.

Fig. 8은 BFB 反應槽의 脫窒化 시스템에 있어서 總窒素 負荷率 증가와 總窒素 除去率, COD 除去率 간의 관계를 나타낸 것이다.

無酸素 工程의 脫窒 시스템에서 T-N 負荷率 증가 시, 脫窒 反應槽內의 微生物 濃도가 3.04~3.44 g/l로 증대됨을 볼 때 (Table 6 참고) T-N 除去率은 負荷率 變化에 대하여 큰 影響을 받지 않을 것으로 예측되었으나, 負荷率 증가에 따라 COD 除去率은 66%에서 76%로 약간 向上된 반면 T-N 除去率은 減少의 경향이 뚜렷하게 나타났다.

이처럼 脫窒反應槽에서의 窒素負荷量 증가가 脫窒 反應率에 예상밖의 큰 影響을 주었던 理由는 T-N 제거가 주로 好氣性 反應槽內의 窒酸化 微生物에 의해 이루어지므로 嫌氣性의 脫窒槽內에서는 好氣性 窒酸化 微生物의 증식이 억제되기 때문이기도 하지만 T-N 제거에의 기여도가 비교적 작은 嫌氣性 微生物에 있어서도 脫窒反應의 여러 影響

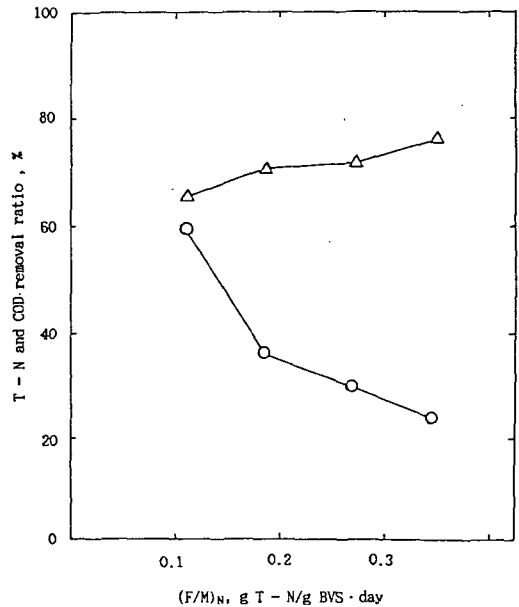


Fig. 8. T-N and COD removal ratio vs. $(F/M)_{T-N}$ in BFB anoxic reactor.
(○: T-N removal ratio, △: COD removal ratio)

因子 중 큰 비중을 차지하는 C/N 比가 理想的인 3~5(Cooper et al., 1981; 權, 1987)에 비하여 0.6~0.7 정도로 매우 낮았기 때문으로 파악되었다.

本 研究에서는 魚類養殖場 廢水를 處理함에 있어, 될수록 특별한 添加工程없이 汚染物質을 控除시키는 工程만을 검토하기 위하여 C/N 比를 인위적으로 조절하지 않았던 것인바, 脫窒反應에 필요한 有機炭素를 廢水中の COD 성분에 의존하였기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

앞으로 보다 效率的인 脫窒 工程이 제안되기 위하여는 養殖場 廢水中の COD 성분 및 C/N 比의 脫窒反應率 寄與度 관계에 대한 별도의 後續 研究가 經濟性 檢討와 함께 이루어져야 할 것으로 생각되었다.

4. 養殖廢水에 대한 BFB 工程의 實用性

國內에서 適用되는 대부분의 循環濾過式 魚類養殖 廢水處理 方法은 回轉圓板法과 潛水濾床法이 보편화 되어 있다.

그러나, 이들 方法은 비교적 處理效率이 낮으며 養殖場內에서 養魚槽 面積과 거의 동일한 공간을 점유하는 水處理槽 面積으로 미루어 볼때 敷地의 효율적 활용 등 水處理 工程에 있어서 改善의 여

지를 보여주고 있다.

金 등(1986)은 이스라엘계 잉어 養殖을 위한 生物學的 濾過處理 시스템에 있어서 濾過材料에의 不完全한 微生物 附着 때문에 암모니아性 窒素 除去率이 낮게 나타남을 지적하였으며, 李 등(1992)도 循環濾過式 潛水濾床 水處理 시스템을 채택하고 있는 既存의 鰻장어, 틸라피아 養殖場의 경우, 濾過槽 流入水와 流出水의 DO 濃度差가 0.8~0.9 mg/l로서 微生物에 의한 酸素 소비량이 적었던 조사 결과를 토대로 하여 濾過槽 附着微生物 濃도가 높지 않았음을 밝히고 보다 處理效率를 높이려면 高濃度의 微生物을 利用하는 水處理 方式이 필요함을 강조한바 있다.

Table 7은 文獻研究를 통하여 本 研究結果와 비교할 수 있도록 水處理 方法別로 運營된 水理學的 負荷率과 암모니아性 窒素 除去率을 나타낸 것이다(田 등, 1985; 李 등, 1992; Yang *et al.*, 1992).

Table 7에서 水理學的 負荷率값은 原水流入流量과 反應槽內의 濾材 表面적을 기준으로 하여 산출된 것이며 田 등의 回轉圓板式의 경우에는 資料不足때문에 예외적으로 循環流量을 基準으로 산출하였다.

또한, BFB 方式의 경우 流動床의 濾材로 택한 不織布 미디어 内部에 많은 空隙이 존재하는바, 미디어의 실제 表面적은 미디어 외형 치수를 기준으로 계산한 값 외에 미디어 空隙 내부 섬유 조직이

液體에 노출되어 나타내는 表面적 값을 포함하므로 水理學的 負荷率 계산시, 미디어 내부 空隙이 점유하는 生物膜 表面積도 함께 고려해야 한다.

그러나, 空隙 0.95인 미디어에 微生物이 附着될 경우 附着微生物量(附着微生物量은 反應槽 流入基質濃도와 微生物 增殖速度 등의 動力學的 函數)에 비례하여 不織布 内部의 空隙이 減少하게 되므로 미디어 内部 空隙이 점유하는 生物膜 表面積의 精確한 계산은 거의 不可能하다(Atkinson *et al.*, 1981).

따라서, BFB 方式의 生物膜 表面積은 不織布 미디어의 섬유질 表面에 微生物이 附着 成長하여 미디어 内部의 空隙을 완전히 채운 것으로 假定한 겉보기 表面積 값이다.

Table 7에 따르면, BFB 方式은 循環濾過式 潛水濾床法 또는 回轉圓板法의 경우보다 水理學的 負荷率을 증가시켜도 암모니아性 除去率은 65~79%의 安定된 높은 값을 維持하고 있다.

이는 BFB 方式이 反應槽內에 2.65~2.92 g/l의 높은 微生物 濃도를 維持할 수 있기 때문에 가능한 것이며 文獻상으로는 BFB 反應槽 內의 微生物 濃도를 25~40 g/l까지도 높일 수 있다(Jeris *et al.*, 1977; Atkinson *et al.*, 1981). 이와 같이 BFB 處理 시스템에서의 매우 높은 微生物 濃度維持 잠재력은 다른 生物學的 處理方式의 경우와 비교해 볼 때 反應槽內의 微生物 濃度차이 만큼 反應槽內의 水

Table 7. Hydraulic loading and NH₄-N removals of water recycling treatment processes in fish culture system

Process system	Biofilm surface area(m ²)	Hydraulic loading (m ³ /m ² · day)	NH ₄ -N in fish tank(mg/l)	NH ₄ -N removal (%)
RBC ^(a)	1,127	0.332	2.36~3.25	—
Submerged Filter ^(b)	9.27	0.028	3.12	76.2
		0.037	3.50	62.9
		0.056	8.32	39.1
		0.111	10.32	9.2
Semiclosed system ^(c)	1,215	0.076	0.12~0.43	23.0
BFB system ^(d)	1.17	0.044	5.2	65.0
		0.088	6.1	78.7
		0.132	7.3	76.7
		0.177	7.7	70.1

^(a) RBC: Rotating undulated PVC plates+Submerged undulated PVC plates(Jeon *et al.*, 1985)

^(b) Submerged filter with corrugated skylight plate(Lee *et al.*, 1992)

^(c) Semiclosed system: RBC+Submerged filter(Yang *et al.*, 1992)

^(d) Biological fluidised bed: Matted reticulated polypropylene media

理學的 滯留時間과 所要 反應槽 부피를 縮小시킬 수 있음을 의미한다.

魚類 養殖場에서는 魚類의 成長 정도가 다르며 빈번한 魚種의 교체 등 管理 運營의 變化에 따라 水質 變動幅이 크게 나타나는바, BFB 方式은 상황에 따라 反應槽 投入 매디아량을 임의 조절하여 反應槽內의 微生物 濃度を 增減시킬 수 있으므로 負荷變動에 쉽게 대처할 수 있는 큰 長點을 갖는다 (金 등, 1987; Atkinson *et al.*, 1981).

또한, 魚類 養殖 廢水處理에 BFB 工程을 채택할 경우 反應槽의 所要 부피와 處理效率을 임의로 선택할 수 있는 實用性이 보장되며 敷地를 적게 차지하므로 BFB 方式은 施設의 設計 및 運營面에서 既存 處理方法을 크게 改善할 수 있을 것으로 評價된다.

要 約

高密度의 魚類 養殖 循環水 處理 시스템 開發을 위하여 養殖場의 水質特性 調査 및 生物學的 流動層 工程에 의한 模型 廢水處理 裝置로 運營 實驗한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 單一 魚種을 養殖하는 H 및 S 養鰻場 廢水의 경우 BOD 9.4~13.1 mg/l, COD(Mn) 14.5~20.0 mg/l, NH₄-N 1.1~2.3 mg/l, NO₃-N 15~21 mg/l 이었고, 틸라피아 등 3種의 魚類를 飼育하는 B 및 K 養殖場에서는 BOD 9.3~11.3 mg/l, COD(Mn) 8.0~11.1 mg/l, NH₄-N 7.3~20.2 mg/l, NO₃-N 26.9~46.4 mg/l의 水質特性을 나타내었다.

2) H 및 S 養鰻場 廢水의 BOD/COD 比率은 0.65로 거의 同質의 有機物 濃度 값을 가지며, 틸라피아 등 3種의 魚類를 飼育한 B 및 K 養殖場 廢水에서는 크게 相異하였다.

3) 養殖場의 濾過槽 및 飼育槽內 DO 濃度を 基準으로 한 時間別 水質變動幅은 1.5~2.0 倍로 調査되었다.

4) 養鰻場 廢水의 炭素性 有機物 分解速度常數 값은 0.049 d⁻¹, 窒酸化反應 速度常數 값은 0.035 d⁻¹ 로서 微生物 分解作用에 의한 BOD 曲線式은 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$y_T = 14.1(1 - 10^{-0.222t}) + 30.9(1 - 10^{-0.035(t-8)})$$

5) BFB 處理 시스템의 0.014~0.075 g NH₄-N/g BVS · day 負荷 조건 하에서 5 倍의 암모니아性 窒素 負荷量 증가에도 窒酸化率은 65~79%로 安定되게 나타났다.

6) BFB 處理 시스템에 있어서 0.014 g NH₄-N/g BVS · day의 낮은 암모니아性 窒素 負荷 조건에서는 共存 有機物 濃도가 窒酸化 反應速度 低下 要因으로 作用하였다.

7) 負荷率 變化 影響을 받지 않을 것으로 예측되었던 微生物 濃度 3.04~3.44 g/l의 無酸素 BFB 脫窒 시스템에서 T-N 負荷率 증가시 T-N 除去率 감소경향이 뚜렷하였던바, 그 理由는 嫌氣性槽內에서 好氣性 窒酸化 微生物의 증식이 억제되었기 때문으로 파악되었다.

8) 負荷率 變化에 따른 處理率의 安定성과 反應槽內에서 高濃度の 微生物維持 잠재력을 확보하는 BFB 方法은 所要 敷地面積이 작고 處理效率을 임의로 선택할 수 있는 實用性이 보장되므로 既存의 處理方法보다 設計 및 運營面에서 有利할 것으로 評價되었다.

謝 辭

본 논문은 1991년도 교육부 지원 한국 학술진흥재단의 자유공모(지방대학 육성) 과제 학술연구 조성비에 의하여 연구된 것으로 본 연구를 지원해 준 한국 학술진흥재단에 감사의 뜻을 표합니다.

參 考 文 獻

- Adams, C. E., Ford, D. L., & Eckenfelder, W. W. Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment, CBI, 1981.
- APHA · AWWA · WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA · AWWA · WPCF, 17th Ed., 1989.
- Atkinson, B., Black, G. M., & Pinches, A. "The Characteristics of Solid Supports and Biomass Support Particles When Used in Fluidised Beds", Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater, pp. 75~109, WRC, 1981.
- Bovendeur, J., Zwaga, A. B., Lobee, B. G. J., & Blom, J. H. "Fixed-Biofilm Reactors in Aquacultural Water Recycle System: Effect of Organic Matter Elimination on Nitrification Kinetics", Water Research, Vol. 24, No. 2, pp. 207~213, 1990.

- Byung-Soo Yang, Heon-Mo Lee and Byung-Gon Jeong. "Water Quality Control in the Semiclosed Culture System Growing a Flounder, *Paralichthys Olivaceus*", Bull. Korean Fish Soc. 25(3), pp. 197~204, 1992.
- Cooper, P. F. and Wheeldon, D. H. V. "Complete treatment of sewage in a two-fluidised bed system", Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater, WRC, pp. 121~144, 1981.
- Hanaki, K., Wantawin, C., & Ohgaki, S. "Nitrification at Low Levels of Dissolved Oxygen with and without Organic Loading in A Suspended-Growth Reactor", Water Research, Vol. 24, No. 3, pp. 297~302, 1990.
- Jeris, J. S., Beer, B., & Muller, J. A. "High Rate Biological Denitrification Using A Granular Fluidized Bed", Journal WPCF, Vol. 46, pp. 2118~2128, 1974.
- Jeris, J. S., Owens, R. W., & Hickey, R. "Biological Fluidized Bed Treatment for BOD and Nitrogen Removal", Journal WPCF, pp. 816~831, 1977.
- Mulcahy, L. T. "Mathematical Model of the Fluidised Bed Biofilm Reactor", Univ. of Massachusetts, June 1978.
- Pearson, F. H., & McDonnell, A. J. "Characterization of Coarse Porous Media", Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, Aug. 1977.
- Sutton, P. M., Shieh, W. K., & Kos, P. "Predicting Reactor Biomass Concentration in A Fluidized-Bed System", Journal WPCF, Vol. 53, No. 11, pp. 1574~1584, 1981.
- 權文先. 3段階 生物學的 流動層을 利用한 廢水의 窒素除去에 관한 研究, 박사학위논문, 전북대학교 대학원, 1987.
- 金仁培. "循環濾過式 飼育水 淨化 再使用 方法에 의한 Pilot 規模의 魚類養殖試驗", 한국수산학회지, 13(4), pp. 195~206, 1980.
- 金仁培·金炳起. "循環濾過式 飼育裝置 內에서 이 스텔라계 잉어(*Cyprinus carpio*)의 成長을 위한 最適 溶存酸素量", 한국수산학회지, 19(6), pp. 581~585, 1986.
- 金仁培·金炳起·池英玉. "The Ammonia Removal Capacity of a Few Kinds of Filter Media in Water Reuse Aquaculture System", 한국수산학회지, 20(6), 561~568, 1987.
- 金煥起·李基完. "間接曝氣式 生物學的 流動層을 利用한 合成下水處理", 대한토목학회 논문집, 제7권, 제3호, 1987.
- 李基完. 深層曝氣工程의 酸素傳達特性和 이를 利用한 生物學的 流動層에서의 窒酸化 反應, 박사학위논문, 전북대학교 대학원, 1988.
- 李基完·羅德寬. "高密度 魚類養殖을 위한 效率의 인 循環水 處理시스템에 관한 研究", 순천대학교 공업기술 연구소 논문집, 제6집, pp. 7~20, 1992.
- 李基完·金煥起·李福烈·羅德寬. "深層曝氣工程을 利用한 生物學的 流動層에 있어서의 窒酸化反應", 대한환경공학회지, 제9권, 제3호, pp. 23~36, 1987.
- 李錫謨·金道熙·宋教旭. "循環濾過式 養魚場의 암모니아 制御를 위한 最適 水理學的 負荷", 한국수산학회지, 25(3), pp. 176~180, 1992.
- 田世圭·孫相奎·金鎮禹. "波狀回轉圓板을 使用한 뱀장어 飼育과 疾病對策", 한국수산학회지, 18(6), 563~570, 1985.

1993년 4월 20일 접수

1993년 7월 3일 수리