

# 生物學的 流動層을 利用한 淨化槽流出水の 암모니아性 窒素除去에 관한 研究

A Study on the Treatment of Ammonia-Nitrogen in the Septic Tank Effluent Using Biological Fluidized Bed

金	煥	起*
Kim,	Hwan	Gi
權	文	先**
Kwon,	Moon	Sun

---

## Abstract

This paper is a basic study of the experimental results for the treatment of ammonia-nitrogen in the septic tank effluent.

The substrates in this experiment are actual septic tank effluent and synthetic waste-water which is similar to septic tank effluent containing a considerable amount of nitrogenous component.

Experiments were conducted for organic removal and nitrification using various recycle ratio and hydraulic retention time at each stage.

The results obtained show that organic removal rate was above 80% in the 1st and 2nd stage, but as nitrification process was proceeded, above 90% of ammonia-nitrogen was removed in the 3rd and 4th stage.

In these cases, the recycle ratio and HRT were found 30 and 7 hrs respectively.

In the relation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  removal to  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  formation in the synthetic waste-water and septic tank effluent, when 1 mg/l of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  was removed,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  formations were 0.95 mg/l and 0.82 mg/l respectively.

And kinetics of nitrification using Biological Fluidized Bed was discussed also.

---

## 要 旨

本 研究는 淨化槽 流出水の 窒素成分 除去에 관한 基礎的인 研究로서 主로 암모니아性 窒素除去를 위한 實驗的 結果에 관한 內容이다.

實驗에 使用한 試料는 淨化槽 流出水와 類似한 合成廢水를 使用하여 그 處理可能性을 糾明한 후 實際 淨化槽 流出水를 使用하여 處理效率를 比較하였고, 窒酸化 反應이 段階的으로 일어날 것을 考慮

---

\* 正會員 · 全北大學校 工科大学 副教授, 土木工學科

\*\* 正會員 · 群山開放大學 助教授, 土木工學科

하여 4 段階 生物學的 流動層을 考案하였으며, 이 反應器를 利用하여 窒素除去 可能性을 檢討하였다.

그 結果 循環比 變化에 의한 有機物 除去는 初期段階에서 80% 程度였으며 窒酸化 反應은 後期段階에서 90% 以上の 암모니아성 窒素가 除去되었다.

滯留時間에 따른 有機物은 1 段階에서 大部分 進行되어 85% 以上 除去되었으며 窒酸化 反應은 3, 4 段階에서 90% 以上の 암모니아성 窒素가 除去되었으며, 이 때 適正循環比 및 滯留時間은 각각 30 과 7 時間이었다.

合成廢水와 實際 淨化槽 流出水의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  除去와  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  生成 效率를 얻기 위한 實驗에서  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  1 mg/l 除去에 合成廢水는  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  0.95 mg/l 가 生成되었고 實際 淨化槽 流出水는 0.82 mg/l  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  이 生成되었다. 또한 流動層 反應器에서 窒酸化 反應의 動力學的 係數를 求하였다.

## 1. 序 論

최근 급속한 産業化로 인한 經濟生活의 向上으로 國民生活 程度가 점차 높아져가고 生活方式의 現代化에 따른 在來式 便所의 水洗化 傾向이 增大됨에 따라 水洗式 便所의 淨化槽 流出水量도 比例的으로 增大되고 있는 實情이다.

이러한 淨化槽 流出水에 포함된 窒素成分이 水質汚染에 미치는 影響을 살펴보면 이 流出水는 窒素成分을 相當量含有하고 있는 바, 이러한 窒素成分이 河川이나 湖沼에 流入되면 富營養化를 일으키는 原因物質<sup>(1)</sup>로서 藻類의 成長을 促進하여 물을 汚染시키는 重要한 成分이며 水中에서 암모니아 形態로 存在하는 窒素成分은 질산화 反應을 일으키는 동안에 상당량의 산소를 要求함으로써 水中 溶存酸素를 枯竭<sup>(2)</sup>시키고 유리 암모니아는 水生 生物에 有毒性을 일으키는 등 水質汚染에 심각한 影響을 끼치고 있다.

이러한 窒素成分 除去를 위하여 流動層 反應器를 導入했는데 이것에 관하여는 1950 年初<sup>(3)</sup>에 生物學的 流動層 工法이 廢水處理를 위하여 採擇된 이래로 1970 年 中반에 英國의 Manchester, WRC<sup>(4)</sup>에서 窒素除去에 生物學的 流動層을 適用하기 시작하여 窒酸化에 관해서 生物學的 流動層 工程이 매우 效果的이라고 알려져 있다.

著者 등은 그동안 生物學的 流動層을 利用한 流動論의 解析,<sup>(5)</sup> 糞尿處理,<sup>(6)</sup> 酒精廢水處理<sup>(7)</sup>에 관한 研究가 있었다.

本 研究에서는 淨化槽 流出水와 類似한 合成廢水를 調製하여 試料로 使用하였으며 그 處理 可能性을 糾明한 후 實際淨化槽 流出水를 使用

한 處理效率를 研究하였다. 窒酸化反應이 段階的인 反應임을 考慮하여 4 段階 生物學的 流動層 反應器를 考案하였으며, 이 反應器의 窒酸化 反應에 주로 影響을 미치는 因子는 溫度, DO, pH, 알칼리度 등이 있는데 이들의 適正反應 條件下에서  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , TKN 및 BVS<sup>(8)</sup> 등의 變化에 의한 窒酸化反應의 關係를 檢討하였다.

한편 循環比 및 滯留時間 變化에 따른 各 段階別 有機物(TOC)除去와 窒酸化 反應단계, 合成廢水와 實際淨化槽 流出水의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  除去와  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  生成效率를 比較하였으며 동시에 流動層 反應器에서 酸素와 窒素의 反應 및 生成관계에서 模型式을 利用하여 窒酸化 反應의 動力學的 係數를 求하였다.

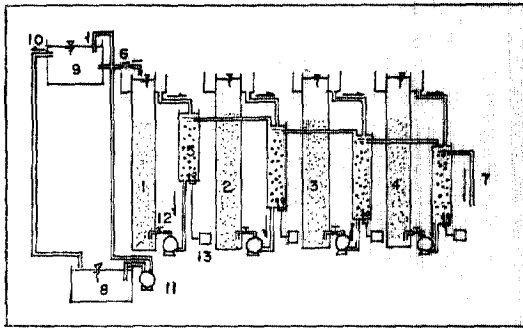
## 2. 實驗裝置 및 實驗方法

### 2.1 實驗裝置

本 研究에서 使用한 反應器는 各 各 높이가 180 cm, 두께가 5 mm 인 아크릴製 圓筒形 튜브로서 內徑이 8 cm 로 같은 크기의 直立式 4 組로 曝氣 工程의 位置를 다르게 設置하여 自然流下 方式으로 各 段階를 通過하도록 하였다. 따라서 처음 反應器의 流出水는 다음 反應器의 曝氣 工程의 流入水로 連結되고 流動層 매디아는 微生物이 附着하여 棲息할 수 있고, 表面積을 크게 提供할 수 있는 가는 모래로서 直徑이 0.4~0.6 mm 이다(그림 1, 사진 1 참조).

### 2.2 實驗方法

本 研究에서 使用한 生物學的 流動層 反應器는 최근에 開發되고 있는 up flow reactor<sup>(4)</sup>로



1. Fluidized bed 1st stage reactor
2. Fluidized bed 2nd stage reactor
3. Fluidized bed 3rd stage reactor
4. Fluidized bed 4th stage reactor
5. Aeration device
6. Influent
7. Effluent
8. Storage tank
9. Feed tank with constant water level for synthetic wastewater
10. Overflow from feed tank
11. Feed pump
12. Recycle pump
13. Air diffuser

그림 1. Schematic diagram of 4 stages continuous fluidized bed reactor for synthetic wastewater.

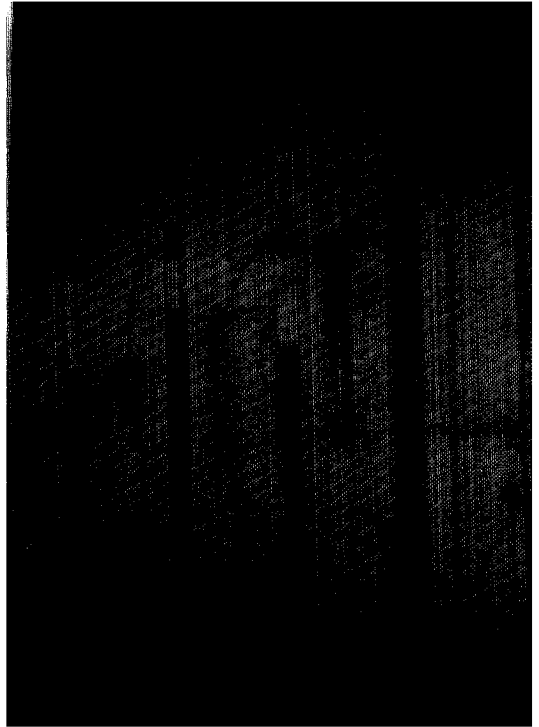


사진 1. Photograph of the 4 stages fluidized bed for synthetic wastewater.

表 1. Analytical methods

Item	Analytical method	Ref No.	Discriptions
pH		(8)	pH meter
BOD <sub>5</sub>	Std. dilution method	"	Sample → 5days incubation → DO detec.
COD <sub>cr</sub>	Titrimetic method	"	Sample → reflux 2hr (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) → Fe <sup>++</sup> titration (Ferroin indicator)
Alkalinity	Titrimetic method	"	Sample → titr. with std 0.1N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mixed bromocresol green methyl red indicator)
TOC			SYBRON Photo Chem. TOC Analyzer
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Colorimetric method	"	Sample → distill. (pH=9.5) → nessler → spectrophotometer (λ=425 nm)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Colorimetric method	"	sample → purpleazodye (pH 2.0~2.3) (by NED) → spectrophoto-meter (543)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	U.V. Spectrophoto method	"	Sample → calibration curve → spectrophotometer (λ=220 nm)
TKN	Kjeldahl method	"	Sample → digestion (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HgO K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) → distillation, distillate → titrate (with std H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> solution)
BVS		(9)	Sample → weighing → 550°C, 30min → weighing
DO	Probe	(8)	YSI-56 DO monitor

서 固-液接觸工程과 曝氣工程으로 區分하고 이 두 工程을 펌프로 연결하였다. 流動層 反應器를 가동할 때 殖菌用 微生物은 全州市 衛生處理場의 返送슬러지를 合成廢水로 2個月間 馴養한 슬러지를 使用하였으며 反應器에는 모래를 1.2 l 程度 채우고 물을 넣은 다음 馴養된 슬러지 2 l 程度를 反應器에 서서히 供給하면서 運轉하였다.

試料는 合成廢水 탱크에서 調製하여 上部 탱크에 液位를 一定하게 維持하기 위하여 循環된 프로 순환시키면서 0.9~4.8 l/hr의 流速으로 曝氣槽에 移送되면 포기조에서 700 NI/hr로 공기飽和후 反應器로 送入되면서 30~35 程度의 循環比로 反應器에서는 窒酸化 反應이 進行된다.

實際 淨化槽 流出水는 淨化槽 流出水 저장 탱크를 製作 設置하여 反應器에 流入하였다.

이와 같이 하여 15日 程度 運轉하면 定常狀態에 도달하고 流入廢水의 流速을 變化시키면서 反應工程을 實驗하였으며, 實驗은 窒酸化 微生物의 成長條件에 알맞도록 하였다. 또한 分析은 모두 18個 項目으로 反應器의 性能, 反應速度 등을 考察하기 위한 것으로 分析은 特別한 경우를 제외하고는 週3回 實施하였으며, 分析方法, 分析內容 및 使用한 分析機器는 表 1과 같다.

### 2.3 實驗에 使用한 材料

本 研究에 使用한 試料는 炭素 및 窒素源으로서 펩톤, 肉엑기스 및 尿素를 主로 하고 微生物 成長에 必要한 營養鹽類는 化學藥品을 적당한 濃度로 調製한 合成廢水로서 그 組成은 表 2와 같다.

表 2. Composition of liquid feed

Composition	Concentration (g/l)
Peptone	0.1225
Beef extract	0.0805
Urea	0.1475
NaCl	0.059
CaCl <sub>2</sub>	0.059
KCl	0.012
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.035
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.935
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.117

이와 같은 合成廢水를 擇하게 된 것은 淨化槽

表 3. Characteristics of synthetic waste water and septic tank effluent

All units: mg/l < except pH

parameters	effluent <sup>1)</sup>	effluent <sup>2)</sup>	effluent <sup>3)</sup>	mean	synthetic water
BOD <sub>5</sub>	35	103	60	66	131
COD <sub>Cr</sub>	90	148	182	140	142
COD <sub>Mn</sub>	58	97	124	93	94
Alkalinity	215	506	308	343	360
pH	7.7	7.6	7.8	7.7	7.8
TOC	19	54	32	38	67
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	42.4	98.8	57.8	66	53
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0	0	0	0	0.01
TKN	47.6	119	54.6	74	72

- 1) Septic tank effluent at College of Engineering.
- 2) Septic tank effluent at main building of Chonbuk National University.
- 3) Septic tank effluent at Woo Suk Building.

流出水의 濃度가 一定치 못할 것으로 豫想되기 때문이다.

그래서 本 大學의 實驗室 주변에서 學校 淨化槽 流出水의 代表 試料로서 大學廢水, 家庭 淨化槽 流出水의 代表試料로서 綜合빌딩(友石빌딩) 및 이와 類似한 合成廢水의 分析値가 表 3과 같다.

合成廢水는 表 3에서와 같이 淨化槽 流出水의 主要 汚染因子가 비슷하도록 調製하여 使用하였다. 그리고 流動層 매디아는 가는 모래로서 特性値는 表 4와 같다.

表 4. Characteristics of support media (fine sand)

Specific gravity	2.65 g/cm <sup>3</sup>
Diameter	0.42~0.6 mm
Sphericity	0.861
Specific surface	193.6 cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>
Voidage	0.42

### 3 實驗結果 및 考察

淨化槽 流出水의 암모니아性 窒素除去에 관한 連續式 4段階 生物學的 流動層 反應器를 利用한 綜合的인 實驗結果는 表 5와 같다.

#### 3.1 循環比 變化에 의한 TOC 除去와 窒酸化率

表 5. Summary of operational conditions and experimental results

Run No.	Feed rate (ml/min)	recycle ratio	HRT (hr)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	TOC (mg/l)	BVS (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)	TKN (mg/l)
1	19	51.2	10.6	30	7.2	6.0	3.0	6,030	5.0	0.16	41.2	6.2
2	24	40.3	8.5	29	7.5	5.8	4.2	6,270	18.0	0.12	40.5	17.0
3	30	33.3	7.0	30	7.7	5.9	4.5	6,870	15.4	0.12	37.2	16.3
4	38	25.4	5.0	29	7.9	5.7	4.3	6,360	9.5	0.01	45.0	10.2
5	44	22.2	4.7	28	7.5	5.5	5.0	7,230	6.3	0.01	39.8	8.4
6	51	20.7	4.0	29	8.0	5.3	6.4	7,680	6.0	0.24	40.5	7.0
7	56	18.2	3.8	29	8.4	5.3	6.9	7,210	5.8	0.30	33.4	6.2
8	61	16.7	3.5	28	8.3	4.9	7.1	8,720	10.0	0.34	38.0	14.2
9	71	14.3	3.0	26	8.4	4.5	8.3	5,430	20.6	0.38	31.0	28.0
10	80	12.5	2.6	25	8.6	4.1	11.6	8,320	22.2	0.27	24.9	23.8
11	89	11.1	2.3	23	8.2	3.5	13.2	8,218	16.4	0.40	24.5	17.0
12	98	9.8	2.1	22	8.5	3.2	14.0	8,560	22.3	0.02	23.6	21.0

流出水を再循環하는 理由<sup>(10)</sup>는 反應器內에서 流體의 流動性を 附與하고 微生物, 酸素 및 基質을 混合시켜 주며 동시에 反應器內의 溶存酸素濃度を 높임으로서 結果的으로 廢水の 處理效率를 向上시키는 것이라 할 수 있다.

특히 本 實驗에서 使用한 反應器와 같은 固-液接觸式 二相 生物學的 流動層<sup>(11)</sup>은 流動성을 갖기 위하여 비교적 높은 循環비가 要求되는데, 여기서 循環比(C)란 循環流量을 流入廢水量으로 나눈 값을 意味한다.

따라서 本 研究에서 使用한 反應器는 流動성을 좋게 하기 위하여 適當한 有効速度가 必要한데, 本 實驗에서는 定常狀態에서 觀察하여 그때의 有効速度<sup>(12)</sup>를 測定한 結果 12~35 cm/min 였다.

이것은 Shieh<sup>(12)</sup> 등의 生物學的 流動層 研究에서 18~40 cm/min 의 有効速度와 비슷하여 이때의 循環비가 10~50 이었고 循環比를 이 범위 정도로 維持하는 것이 効果的이었다.

本 研究에서는 이러한 有効 速度에 要求되는 適定循環比값을 구하기 위하여 前述한 바와 같은 循環比 10~50 범위에서 變化시켜 實驗하였는데 이 때 TOC 除去率과 窒酸化率의 變化關係가 그림 2, 그림 3과 같다.

그림 2에서 水理學的 滯留時間을 7時間으로 하였을 경우, 循環比 變化에 의한 TOC 除去率은 全段階에 걸쳐서 순환비 10~20 사이에서 급

격한 變化가 일어나다가 30 以上에서는 增加가 없었으며 이 때 窒酸化率은 84~96% 범위이었다.

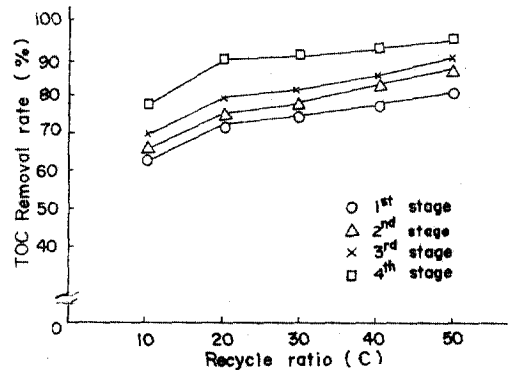


그림 2. Relationship between recycle ratio and TOC removal rate in 4 stages.

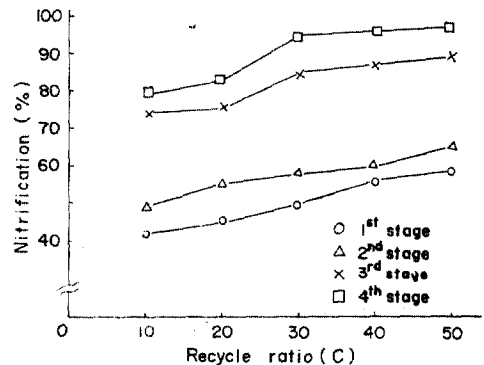


그림 3. Relationship between recycle ratio and nitrification in 4 stages.

이 결과 TOC 除去와 窒酸化에서 서로 다른 循環比 變化를 보이는 理由는 循環比 增加에 따라 流體의 流動性, 混合特性 및 溶存酸素濃度가 增加함으로써 反應器內的 微生物의 成長條件이 좋아지는데 基因한다고 볼 수 있다.

이와 같은 觀點에서 窒酸化 微生物의 成長條件은 有機物 除去 微生物보다도 溶存酸素 濃度 등이 높아야 한다는 特徵이 있는데, 그 理由는 活性 슬러지法과는 달리 메디아에 附着된 微生物量에 충분한 산소전달을 위해 높은 농도의 酸素 유지가 필요하기 때문에 생각된다.

또한 그림 3에서 窒酸化 反應은 分明하게 段階的으로 일어나고 있으며, 適定循環比는 30 程度로서 窒酸化 反應은 주로 後期段階에서 일어나고 있다.

그리고 初期段階에서는 有機的 除去에 關與하는 微生物의 作用에 의하여 TOC 除去가 빠른 시간에 進行되는 反面, 암모니아性 窒素除去는 無機營養 細菌層에 의하는데 긴 時間이 要求되는 것으로 생각된다.

### 3.2 滯留時間 變化에 의한 TOC 除去와 窒酸化 反應

生物學的 流動層 反應器에서 滯留時間 變化에 따른 段階別 TOC 除去와 窒酸化 反應에 관한 結果는 그림 4, 그림 5와 같다.

여기에 滯留時間을 2~11 時間 變化시켰을 때 TOC 除去와 窒酸化反應을 比較하면 TOC는 1 段階에서 大部分 除去됨으로서 金 등<sup>(13)</sup>의 單一流動層 反應器에 의한 高濃度 有機廢水 處理 結果와 비슷함을 나타냈으나 窒酸化 反應은 初期段

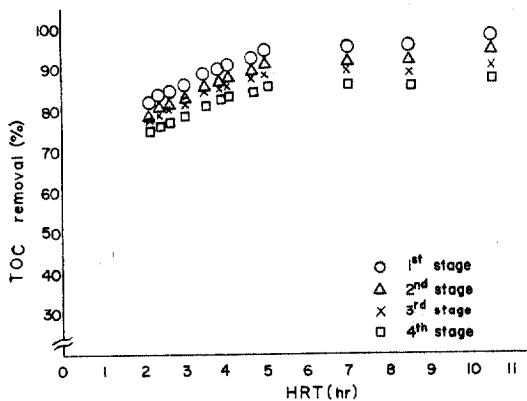


그림 4. Relationship between HRT and TOC removal rate in 4 stages

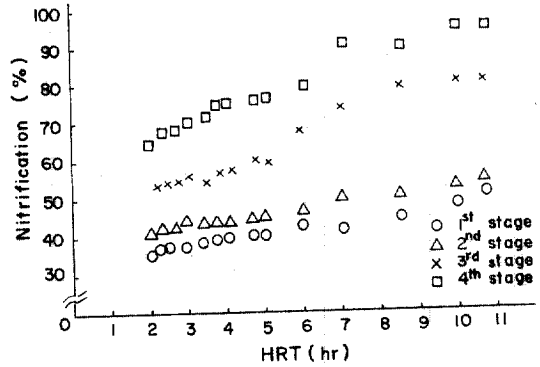


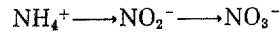
그림 5. Relationship between HRT and nitrification in 4 stages.

階와 後期段階의 差異가 顯著하여 多段階 流動層 反應器의 考案이 妥當하였다고 본다.

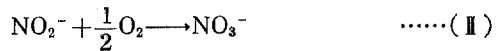
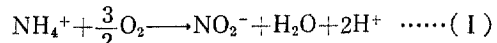
따라서 生物學的 流動層 反應器에서 有機物 除去는 初期段階에서 짧은 滯留時間에 進行되고 있는 反面, 窒酸化 反應은 後期段階에서 어느 정도 긴 滯留時間이 要求되었다. 이 結果 TOC는 HRT가 2時間 以內에 初期段階에서 거의 除去되었고 窒酸化反應은 HRT가 7時間 程度로 後期段階에서 주로 이루어지고 있음을 確認하였다.

### 3.3 窒酸化 反應의 動力學的 解析

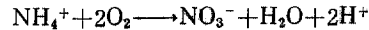
窒酸化 反應은 암모니움 이온이 아질산 이온으로 酸化되고 다시 아질산 이온이 계속 酸化되어 窒酸性 이온으로 酸化되는 二段階의 微生物 酸化工程으로서 다음과 같은 反應機構를 갖는다.



이 關係를 化學 反應式으로 나타내면,



I, II 段階를 綜合하면



窒酸化 反應의 動力學的 係數는 Michaelis-Menten<sup>(16)</sup> 函數로서 反應物들의 濃度關係로 表現되는데 제 I 段階에서는  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{O}_2$  濃度の 영향을 받게 되고, 제 II 단계에서는  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{O}_2$  濃度の 영향을 받을 것이다.

本 研究에서는 流動層에 의한 질산화 반응의 動力學係數를 求하기 위하여 物質收支 모델을 그림 6과 같이 나타냈다.

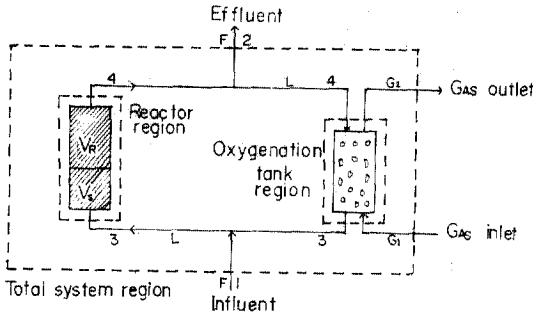


그림 6. Definition of mass balance regions for total system, reactor, and oxygenation tank region.

물질收支에서는 反應物과 生成物의 酸素와 窒素成分에 관한 것으로서 酸素傳達關係는 氣體의 流速과 反應에 의한 소비關係를 고려하여 酸素收支를 세우면 다음과 같이 된다.

$$G(C_{G1} - C_{G2}) + r_{O_2} V_R = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ 와 같은 질소성분은 液相에서 窒素는 系内の 축적, 流體 및 反應의 項을 區分하여 物質收支를 세우면 다음과 같이 된다.

$$V_C / C_{N_2} / dt = F(C_{N1} - C_{N2}) + r_N V_R \quad \dots\dots(2)$$

한편 氣相과 液相을 分離하여 酸素收支를 取하면 다음과 같이 된다.

液相에서는,

$$L(C_{L3} - C_{L4}) + K_L^a(C_L^* - C_{L3}) V_T = 0 \quad \dots\dots(3)$$

氣相에서는,

$$G(C_{G1} - C_{G2}) + K_L^a(C_L^* - C_{L3}) V_T = 0 \quad \dots\dots(4)$$

여기서,  $C_L^* = (RT/H)C_{G2}$ 이다.

그러므로 全工程에 관한 液相에서 酸素收支를 취하면,

$$K_L^a(C_L^* - C_{L3}) V_T + r_{O_2} V_R = 0 \quad \dots\dots(5)$$

그래서 反應機에서 酸素收支는 다음 式으로 表現된다.

$$L(C_{L3} - C_{L4}) + r_{O_2} V_R = 0 \quad \dots\dots(6)$$

이 경우 表 5에 提示한 資料에 의하여 (6)式을 利用하여 求한 값,  $r_{O_2} = 91 \sim 191 \text{ mg/l}\cdot\text{hr}$ 는 類似한 條件에서 McCarty<sup>(17)</sup> 등이 提示한 實驗值  $72 \sim 140 \text{ mg/l}\cdot\text{hr}$  보다 큰 값을 나타내었다. 또한 本 反應器에서 動力學的 係數를 測定하기 위하여 Batch 式으로 實驗하였으며,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ 의 初期濃度を 높게 하여 농도의 時間에 대한 變化를 實驗했다.

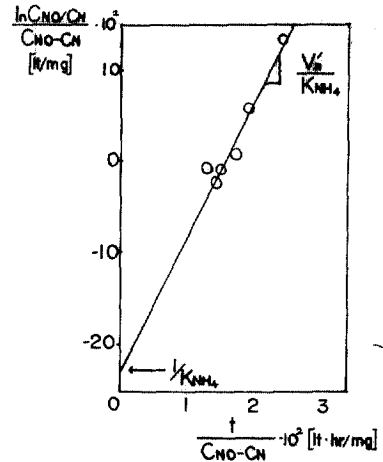


그림 7. Determination of kinetic parameters for  $NH_4^+$  oxidation from batch loop data.

Conditions :  $V_R = 6.5 \text{ l}$ ,  $V = 5.6 \text{ l}$   
 $L = 30 \text{ mg/min}$ ,  $C_{con_4} = 50 \text{ mg/l}$

그리고 질산화 反應의 I, II 단계에서  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ 에 관한 反應단계는 Michaelis-Menten의 速度모델식<sup>(18)</sup>이 適用되는데

$$r_{N^n} = -v_n \frac{C_N}{K_N + C_N} \cdot \frac{C_L}{K_o^n + C_L} \quad \dots\dots(7)$$

여기서  $n$ 은 단계 I, II를 나타내고  $N$ 은 段階 I, II에 대한  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ 를 각각 나타낸다.

또 2個의 飽和常數,  $K_{NH_4}$ ,  $K_{NO_2}$ 를 各各 구하기 위하여는  $C_L$ 은  $K_o$ 보다도 훨씬 큰 값이고,  $F=0$ 에서 (2)式과 (7)식의 關係를 整理하여 積分하면 다음과 같은 直線式이 얻어진다.

$$\frac{\ln(C_{N0}/C_N)}{(C_{N0} - C_N)} = \frac{v_n'}{K_N^n} \cdot \frac{t}{(C_{N0} - C_N)} - \frac{1}{K_N^n} \quad \dots\dots(8)$$

여기서,  $v_n' = V_n \cdot V_R / V$ 이다.

(8)식의 關係를 그림 7, 그림 8에 나타내고, 그림 7, 8에 나타난 實驗條件下에서  $K_{NH_4}$ ,  $K_{NO_2}$  값을 구할 수 있었으며 그 값은 各各 4.2, 2.5로서 Uzman 등<sup>(18)</sup>이 流動層 研究에서  $V_R = 1.5 \text{ l}$ ,  $V_T = 3.3 \text{ l}$ ,  $L = 1.2 \text{ l/min}$   $C_{ONH_4} = 100 \text{ mg/l}$ ,  $C_{ONO_2} = 30 \text{ mg/l}$ 의 條件下에서 얻은 값 4.5, 2.8과 비슷한 값이었다.

이 結果 合成廢水를 使用한 實驗에서 淨化槽 流出水의 암모니아性 窒素除去에 관한 論理性이 立證되어 實際 淨化槽 流出水에 관한 實驗을 進

行할 수 있었다.

### 3.4 合成廢水와 實際 淨化槽 流出水에 있어서 암모니아성 窒素除去와 窒酸性 窒素의 生成率

合成廢水와 實際 淨化槽 流出水에 관한  $\text{NH}_4^+$ -N 除去와  $\text{NO}_3^-$ -N 生成關係를 比較하면 表 6, 表 7과 같다.

合成廢水와 實際 淨化槽 流出水の  $\text{NH}_4^+$ -N 除去와  $\text{NO}_3^-$ -N 生成의 特性을 比較하면 合成廢水는 3.2項에서 考察한 바와 같이 3,4 段階에서  $\text{NH}_4^+$  除去와  $\text{NO}_3^-$  生成이 우수한 反面, 實際 淨化槽 流出水는 그림 9와 같이 오히려 2,3 段階에서 그 効率が 우수하게 나타나기 시작했다.

이와 같이 實際 淨化槽에서는 2,3 段階에서 窒酸化 反應이 거의 끝나는데 이것은 合成廢水에 比하여 淨化槽 流出水는 淨化槽 自體內에서 嫌氣性分解가 進行되는 過程에서 有機物 分解가 상당히 이루어져 窒素의 態가 安定化된 狀態로 생

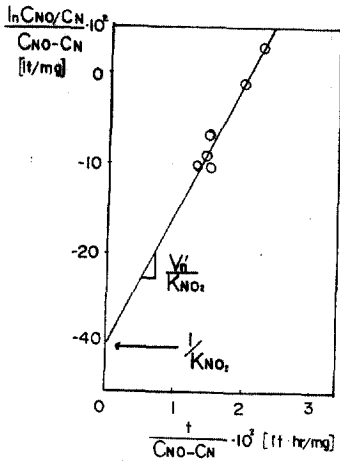


그림 8. Determination of kinetic parameters for  $\text{NO}_2^-$  oxidation from batch loop data.  
Conditions:  $V_R=6.5\text{l}$ ,  $V_T=5.6\text{l}$   
 $L=30\text{ml/min}$ ,  $\text{C}_{\text{ONH}_2^-}=20\text{mg/l}$

表 6.  $\text{NH}_4^+$ -N removal and  $\text{NO}_3^-$ -N formation for synthetic wastewater

Run No.	flow rate (ml/min)	Temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	$\text{NH}_4^+$ -N(mg/l)		$\text{NO}_3^-$ -N(mg/l)	
					infl.	effl.	infl.	effl.
1	25	28	7.6	7.2	51.2	12.6	0.01	28.5
2	15	28	7.1	7.3	50.0	4.6	0.01	46.0
3	20	28	7.3	7.5	52.0	16.3	0.01	25.1
4	30	29	7.2	7.4	52.0	9.2	0.01	37.0
5	30	30	8.1	7.8	53.0	7.9	0.02	49.6
6	30	29	8.2	7.9	52.0	7.0	0.01	52.0
7	40	30	8.2	7.7	52.0	22.1	0.01	31.0
av.	27.1	28.8	7.7	7.5	51.7	11.4	0.01	38.4

表 7.  $\text{NH}_4^+$ -N removal and  $\text{NO}_3^-$ -N formation for septic tank effluent.

Run No.	flow rate (ml/min)	Temp (°C)	pH	DO (mg/l)	$\text{NH}_4^+$ -N(mg/l)		$\text{NO}_3^-$ -N(mg/l)	
					infl.	effl.	infl.	effl.
1	25	26	7.0	7.0	64	29.5	0	27.2
2	15	27	7.4	6.9	63	26.0	0	30.0
3	25	26	7.1	7.3	62.1	32.0	0.01	28.0
4	20	28	7.1	6.5	63	34.0	0	29.5
5	30	28	8.0	7.7	65	28.2	0	26.0
6	30	29	7.1	7.2	64	27.9	0.02	26.2
7	30	27	7.9	7.7	67	27.0	0	26.9
8	50	28	8.1	7.8	62	36.0	0	24.0
9	40	28	7.8	7.5	61	33.6	0.01	25.1
av.	29.4	27.4	7.5	7.2	63.4	30.4	0.004	26.9



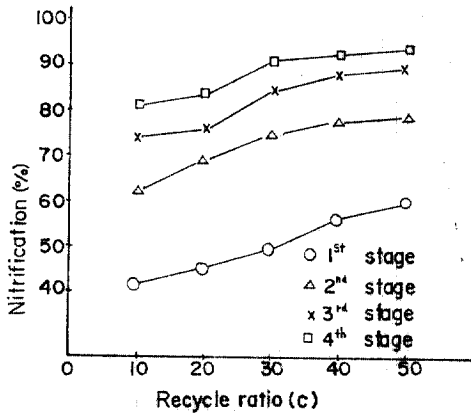


그림 9. Relationship between recycle ratio and nitrification in 4 stages for septic tank effluent.

자된다.

또한 表 6에 나타난 바와 같이 合成廢水는 流入水의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 이 平均  $51.7\text{mg/l}$ 이고, 流出水는  $11.4\text{mg/l}$ 로서  $40.3\text{mg/l}$ 가 除去되고  $\text{NO}_3^--\text{N}$ 은 流入水  $0.01\text{mg/l}$ , 流出水  $38.4\text{mg/l}$ 로서  $38.4\text{mg/l}$ 가 生成되어  $\text{NH}_4^+-\text{N}$   $1\text{mg/l}$  除去에 대하여  $\text{NO}_3^--\text{N}$   $0.95\text{mg/l}$ 가 生成되었다.

그러나 表 7에 나타난 바와 같이 淨化槽 流出水는  $\text{NH}_4^+-\text{N}$   $1\text{mg/l}$  除去에 대하여  $\text{NO}_3^--\text{N}$   $0.82\text{mg/l}$ 가 生成되었다.

이 結果 Muller<sup>(19)</sup> 및 朴 등<sup>(10)</sup>의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$   $1\text{mg/l}$  除去에 대한  $\text{NO}_3^--\text{N}$  生成은 각각  $0.8\text{mg/l}$ ,  $0.89\text{mg/l}$ 와 비교하면 合成廢水에 대한 結果는 두 研究者의 값보다 상당히 높은 값을 얻었으나 淨化槽 流出水에 대한 結果는 Muller의 것과 비슷하나 單位 時間當으로 換算하면 실제는 매우 높은 값으로 생각된다.

또한 合成廢水와 淨化槽 流出水의 結果에서  $0.13\text{mg/l}$ 의 差異가 나타났는데 그 理由는 淨化槽 流出水의 溫度關係, 濃度變化 등에 基因하는 것으로 생각된다.

#### 4. 結 論

生物學的 流動層 反應器를 利用한 淨化槽 流出水의 암모니아성 窒素 除去를 위하여 連續式

4 段階 流動層 反應器를 考案하여 合成廢水 및 實際 淨化槽 流出水에 대한 實驗을 遂行한 研究 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 窒酸化 反應은 段階的으로 일어나는 것으로 밝혀지고 生物學的 流動層을 連續工程으로 採擇함으로써 淨化槽 流出水의 암모니아성 窒素 除去가 보다 効果的이었다.
2. 모래를 매디아로 한 有效速度는  $12\sim 35\text{cm/min}$  이었다.
3. 循環比 變化에 의한 TOC 除去는 初期段階에서 80% 程度 이루어졌으며, 이때 適正循環比는 30 부근이었다.
4. 滯留時間에 따른 TOC 除去는 1 段階에서 大部分 進行되어 85% 以上이었으며 窒酸化 反應率은 3, 4 段階에서 90% 以上으로 이 경우 滯留時間은 7 時間이었다.
5. 流動層 反應器에서 窒酸化 反應의 動力學 모델式을 利用하여 求한 飽和常數는  $K_{\text{NH}_4}=4.2\text{mg/l}$ ,  $K_{\text{NO}_2}=2.5\text{mg/l}$  인 값을 얻었다.
6. 合成廢水와 實際 淨化槽 流出水의  $\text{NH}_4^+-\text{N}$   $1\text{mg/l}$  除去에 대하여  $\text{NO}_3^+-\text{N}$  生成은 各各  $0.95\text{mg/l}$ ,  $0.82\text{mg/l}$  이었다.

#### 記 號

- BVS biomass volatile solids ( $M/L^3$ )
- C component concentrations ( $M/L^3$ )
- F flow rate of liquid entering system ( $L^3/\text{time}$ )
- G flow rate of gas ( $L^3/\text{time}$ )
- H Henry's law constant ( $L^2/\text{time}^2$ )
- $K_L^a$  volumetric mass transfer coefficient based on liquid volume ( $\text{time}^{-1}$ )
- K saturation constants ( $M/L^3$ )
- L flow rate of liquid recycled through reactor ( $L^3/\text{time}$ )
- N stirrer speed ( $\text{time}^{-1}$ )
- R production rate by reaction ( $M/\text{time}$ )
- r production rate by reaction per unit volume liquid ( $M/L^3\text{ time}$ )
- V total system volume ( $L^3$ )
- v reaction velocity parameter ( $M/L^3\text{ time}$ )
- v' reaction velocity parameter  $v'=v(VR/V)$  ( $M/L^3\text{ time}$ )

## Indices

- B expanded bed
- G gas phase oxygen concentration
- L liquid phase oxygen concentration
- N nitrogen components  $\langle \text{NH}_4^+, \text{NO}_2^-, \text{or } \text{NO}_3^- \rangle$
- n designates steps I or II
- O oxygen
- o initial values
- R reactor
- S sand volume of unexpanded bed
- T tank
- \* equilibrium concentration
- I first reaction step
- II second reaction step
- 1 system feed stream
- 2 system outlet stream
- 3 tank outlet and reactor inlet
- 4 tank inlet and reactor outlet

## 參 考 文 獻

1. P.M. Sutton, et al, "Efficiency of Biological Nitrification," *J. of WPCF*, Vol, 47, No. 11, pp. 2665~2673, 1975.
2. M.K. Bansal, "Nitrification Design Approach for High Strength Ammonia Wastewaters," *J. of WPCF*, Vol. 49, No. 3, pp. 413~420, 1977.
3. D.G. Miller, "Fluidized Beds in Water Treatment a Short Historical Introduction," BFB Treatment of Water and Wastewater, WRC, pp. 35~47, 1980.
4. J.S. Jeris, B. Beer and J.A. Muller, "High Rate Biological Denitrification Using a Granular Fluidized Bed," *J. of WPCF*, Vol. 46, pp. 2118~2128, 1974.
5. 정우철, 김환기, 이복렬, "BFB의 유동론적 해석에 관한 고찰", 대한 환경공학회지 제 5 권, 제 2 호, pp. 1~9, 1983.
6. 김환기, 이영동, "BFB에 의한 분뇨처리의 연구", 대한토목학회논문집 제 3 권, 제 2 호, pp. 1~13, 1983.
7. 정우철, 김환기, 이복렬, "생물학적 유동층을 이용한 주정폐수 처리에 관한 연구", 한국화학학회

- 지 제 23 권, 제 6 호, pp. 369~377, 1985.
- 8. APHA-AWWA-WPCF, "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater," APHA, AWWA, WPCF, 15th ed. 1981.
- 9. P.F. Cooper (editor) "Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater," WRC. pp. 18, 1981.
- 10. 박영규, 조병락, "생물학적 활성탄 여과탑에서 암모니아성 질소제거", 대한환경공학회지 제 6 권, 제 2 호, pp. 12~30, 1984.
- 11. 전해수, 이재근, "유동층의 공업적 이용", 한국화학공학회지 제 16 권, 제 1 호, pp. 13~27, 1978.
- 12. W.K. Shieh, P.M. Sutton, and P. Koc, "Predicting Reactor Biomass Concentration in a Fluidized Bed System," *J. of WPCF* 53(11), pp. 1574~1584, 1981.
- 13. 김환기, 이영동, "BFB에 의한 고농도 유기폐수 처리시 온도의 영향", 대한환경공학회지 제 6 권 제 1 호, pp. 22~32, 1984.
- 14. Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater Engineering-Treatment, Disposal, Reuse," McGraw-Hill, New Work, 1979.
- 15. R.A. Poduska and J.F. Andrews, "Dynamics of Nitrification in the Activated Sludge Process," *J. of WPCF*, Vol. 47, No. 11, pp. 2599~2618, 1975.
- 16. R.E. Buchanan and W.E. Gibbons. Eds., "S.W. Watson, Bergey's Manual of Determinative Bacteriology," William and Wilkens, Baltimore, 8th ed., chap. 12, 1974.
- 17. R.T. Haug and P.L. McCarty, "Nitrification with Submerged Filters" *J. of WPCF*, 44, pp. 1574~1584, 1972.
- 18. H. Tanaks, S. Uzman, and I.J. Dunn, "Kinetics of Nitrification Using a Fluidized Sand Bed Reactor with Attached Growth," *Biotechnology and Bioengineering* Vol. 23, pp. 1683~1702, 1981.
- 19. W.R. Muller and L. Sekoulor, "Intensification of the Ammonia Oxidation in a Sand Bed Filter," *IAWPR Specialized conference*, Copenhagen Vol. 3, 7, 1975.

(接受: 1986. 2. 17)