

生物學的窒素 및 磷 除去에 관한 研究

李鉉東, 柳亨烈,* 金元滿**

韓國建設技術研究院

*京畿道保健環境研究院

**漢陽大學校工科大学

A Study on Biological Treatment of Nitrogen and Phosphorus

Hyun-Dong Lee

Korea Institute of Construction Technology(KICT)

Hyung-Ryal Ryu

Public Health Environ. Research of Kyong Gi-Do

Won-Man Kim

College of Engineering, Han Yang University

ABSTRACT

The Anaerobic Anoxic/Oxic process is one of the biological treatment methods to remove nitrogen and phosphorus effectively which are nutritional elements for eutrophication.

Supernatant of primary sediment of Anaerobic digester is used as a carbon source instead of methanol methanol supply in usual A_2/O process.

The efficiency of the following treatment processes are as follow :

- 1) Changing recycle ratio in the usual A_2/O process without the stage of Anaerobic digester.
- 2) Changing recycle ratio in the usual A_2/O process with the supernatant supply of the Anaerobic digester.

In the result of comparison, changing recycle ratio is almost no effect in the removal of

phosphorus, however the effect of removal in nitrogenous substance are remarkable, and the effect of Anaerobic digester is not as effective as expected because the BOD removed in the digester partly, the rate of phosphorus to the BOD exceed pertinent range.

I. 序 論

最近 物質文明이 高度로 발달되면서 自然環境을 이용하고 變形시킬수 있는 人間은 繁盛하게 되었으며 또한 人口의 都市集中으로 都市가 발달하게 되었다.

人口가 증가함에 따라 人間들만을 위한 便益施設, 大量 生産施設 등을 더 많이 必要로 했고 結果적으로 多量의 廢棄物이 生態系에 排出되어 自然生態系の 均衡이 威脅받고 있는 實情이다. 汚染物質들은 文明 初期에는 적은 量이 自然界에 放出되었고 또한 自然의 自淨作用에 의하여 쉽게 分解되어 環境적인 問題를 야기시키지 않았으나, 오늘날은 이런 物質들이 大量 排出되어 自然의 自淨能力을 超過하게 되면서 環境問題를 發生시키게 되었다. 水資源이 限定된 狀況에서 生活下水와 工場廢水 등에 의해 汚染된 河川水가 上水源으로 利用되는 湖沼나 貯水地에 流入되면서 그 深刻性을 더욱 實感하게 되었다.¹⁾

大部分의 有機性 汚染物質들은 活性슬러지法 등의 開發로 거의 除去가 可能하게 되었으나, 營養鹽類 流入으로 藻類 등 水生植物의 異常增殖을 가져와 水中의 溶存酸素가 缺乏되고 惡臭가 發生하는 등의 富營養化 現象²⁾은 抑制하기 어렵다. 이러한 富營養化

現象은 炭素, 窒素, 磷 등의 營養鹽類의 流入으로 因하여 發生되는 것으로 既存이 廢·下水處理方式으로는 그 影響物質인 窒素, 磷 등 營養鹽類의 除去가 거의 不可能하다.³⁾ 이들 窒素·磷 등의 營養鹽類의 濃度は 富營養化와 직접 關聯되는 것으로 美國 環境廳에서 指示한 湖沼의 富營養化 段階判定을 위한 基準을 보면 Table 1 과 같으며⁴⁾ 國內이 河川 湖沼의 營養狀態를 Table 2 에 나타내었다.⁵⁾

우리나라는 좁은 國土에 많은 人口를 수용하고 있어 山間이나 河口에 댐을 建設하여 用水로 사용하고 있으나 現在까지 湖沼 流入物質의 管理를 철저히 하지 못한 理由로 대부분의 湖沼가 富營養化, 中營養化 狀態에 이르렀으며 Table 3 에서와 같이 계속 惡化될 것으로 豫想된다.⁶⁾

富營養化를 일으키는 藻類細胞의 主要 構成成分은 炭素, 水素, 酸素, 窒素, 磷 등이지만 炭素源은 炭酸鹽의 溶解나 大氣中 CO₂의 溶解, 微生物의 代謝產物 등이 利用되며, 水素나 酸素는 H₂O 에서 由來하므로 이들 因子들은 藻類成長이 制限要素(Limiting Factor)로 作用하기 어려우며, 窒素 또한 大氣中 窒素를 固定하는 窒素固定 微生物이 存在하므로 엄밀히 보면 窒素가 制限要素로 作用하기 어려우므로 대체로 磷의 濃度에 의해

Table 1. A criteria of eutrophication stage in lakes and marshes(U.S. EPA)

Parameter	Oligotrophication	Mesotrophication	Eutrophication
T-P($\mu\text{g}/\text{l}$)	< 10	10~20	> 20~25
Chlorophyll-a ($\mu\text{g}/\text{l}$)	< 4	4~10	> 10
Transparency (m)	> 3.7	2.0~3.7	< 2.0
DO of deep water(%)	> 80	10~80	< 10

Table 2. A nutritive conditions in a lades and marshes

Water system	Lakes and Marshes	Nutritive conditions
Han R.	Soyang L. Euiam L. Paldang L. Chuncheon L. Chungju L.	Mesotrophication Meso-Eutrophication
Naktong R.	Andong L. Jinyang L.	Oilgo-mesotrophication Meso-Eutrophication
Kum R.	Daecheong L.	Meso-Eutrophication
Others	Yeongsan L. Sabgyo L. Asan L.	Mesotrophication Meso-Eutrophication Eutrophication

Table 3. A nutritive conditions classified by years in the major lakes and marshes in Korea in future

Lakes	A nutritive conditions classified by years				Notes
	1986	1991	1996	2001	
Paldang L.	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	
Euiam L.	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	
Chungju L.	Mesotrophic	Meso-Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	
Andong L.	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	
Hyeobcheon L.	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	
Daecheong L.	Mesotrophic	Mesotrophic	Meso-Eutrophic	Eutrophic	
Ogjeong L.	Mesotrophic	Oligotrophic	Oligotrophic	Oligo-Mesotrophic	
Asan L.	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	
Sabgyo L.	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	Eutrophic	

이들 藻類이 成長이 左右된다고 할 수 있다.

7). 8)

이들 無機物中에서도 窒素와 磷 成分은 生命體의 細胞를 構成하는 必須營養素로 生物生産力을 左右하은 重要な 要素이며 陸上 植物의 生産性에 影響을 미친다. 하지만 이들 營養物質들이 水中에 많이 存在하게 되어 生産力이 過多할 境遇에는 上記와 같이 水體가 富營養化 狀態에 이르게 되어 바람직하지 못한 現狀이 된다. 특히 湖沼와 같이 混合이 圓滑하지 못한 停滯水域에서는 制限 營養物質 流入을 크게 줄인다 하더라도 한번 流入되어 蓄積된 堆積物로부터의 溶出로 因해 長期間에 걸쳐 富營養化 現狀이 反復되므로 未然에 이들 營養物質의 流入을 防止하는 것이 가장 確實하고 安全한 對處方法이다.

營養物質(窒素, 因)除去技術에는 物理的 處理方法, 化學的 處理方法, 生物學的 處理

方法 등 여러 가지가 있을 수 있으나 本論文에서는 이들 方法中 가장 經濟的인 處理方法으로 알려져 있는 生物學的 處理方法을 中心으로 研究하였으며 그중에서도 現在 下·廢水處理場에서도 별다른 무리없이 適用이 可能하고 經濟的이고 效率이 優秀한 A_2/O 工法의 原理, 運動變數, 經濟的인 效率 增大 方案 등에 關하여 Semi-pilot plant 를 만들어서 實驗的인 研究를 遂行하였다.

2. 實驗方法

2-1 分析方法

試料의 分析은 實驗狀態가 바뀌면 최소한 1주일의 適應期間이 필요하므로 그 期間이 지난 後부터 施行했다. 分析項目은 COD, BOD, MLSS, SS, TKN, NH_3-N , NO_x-N , t-P, PO_4-P 項目 등을 中心으로 分析하였다. 모든 試料의 分析은 Standard methods⁹⁾에 의해서 다음과 같은 分析方法에 의해 實施하였다. COD는 $K_2Cr_2O_7$ Reflux method,

BOD는 Winkler method中 Azide modification法에 의해서 分析하였으며, SS는 Gelman type A glass fiber와 眞空펌프(MEDI-Pump)를 利用하여 測定하였으며, 暴氣槽의 DO는 YSI Oxygen meter(Model 51 A)를 使用하였다.

또한 TKN項目은 Kjeldahl method, NH₃-N은 Indo-Phenol法, T-P는 몰리브덴산法으로 NO_x-N와 PO₄-P는 Ion Chromatography(model Dionex)를 使用하여 分析하였으며, SV는 100 ml Mass-Cylinder로, TS와 VS는 Drying Oven (Sam Haung Science Co.)과 Muffle Furnace (Han Sin Machine)를 使用하여 測定하였다.

測定地點 및 그地點別 測定項目 및 回數는 Table 4와 Fig. 1에서 나타낸 바와 같다.

2-2 實驗裝置

本 研究에 使用된 實驗裝置는 Fig. 1과 같이 嫌氣性 消化槽, 完全嫌氣性槽(脫磷槽), 嫌氣性槽(脫窒槽), 暴氣槽, 沈澱槽 등의 4~5

個槽로 構成되어 있다.

沈澱槽와 暴氣槽를 除外한 모든 反應槽는 完全混合型 形態의 흐름을 維持시킬수 있도록 만들어졌으며 才質은 투명 아크릴樹脂를 利用하여 직접 製作하였다.

嫌氣性 消化槽의 有效容積은 2l이며 아크릴 圓筒으로 空氣 浸透防止를 위해 天井까지 密閉시켰으며 消化發生가스의 處理를 위해 眞空狀態의 주머니를 運結했다. 完全混合反應槽로 運轉되는 槽는 變速 可能한 機(完全混合을 維持하기 위하여 20~30 rpm)를 設置하였다. 脫磷槽의 有效容積은 1 l의 正方形으로 完全 密閉했으며 滯留時間의 調節을 위해 3個의 포트(Port)를 만들었다. 脫窒槽는 直四角型 反應槽로 滯留時間調節을 위해 3個의 流出口를 設置했다.

暴氣槽의 全體부피는 30l이며 모드 8區間으로 構成되어 있으며 内部 返送을 위해 一部를 脫窒槽로 返送하도록 했으며, 各 區間은 魚缸散氣具(Aerator 3 W) 8個를 使用

Table 4. The measurement items classified by every measurement point

Items	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
TBOD, SBOD	3 times a week	-	-	-	everyday
TCOD, SCOD	3 times a week	-	-	-	
SS, VSS	3 times a week	-	-	-	
TKN	3 times a week	2 times a week	2 times a week	2 times a week	
NH ₃ -N	3 times a week	2 times a week	2 times a week	2 times a week	
NO _x -N	3 times a week	2 times a week	2 times a week	2 times a week	
T-P	3 times a week	2 times a week	2 times a week	2 times a week	
PO ₄ -P	3 times a week	2 times a week	2 times a week	2 times a week	
VA	-	-	-	-	
TS, VS	-	-	-	-	
CV	-	-	-	-	
SV	-	-	-	-	

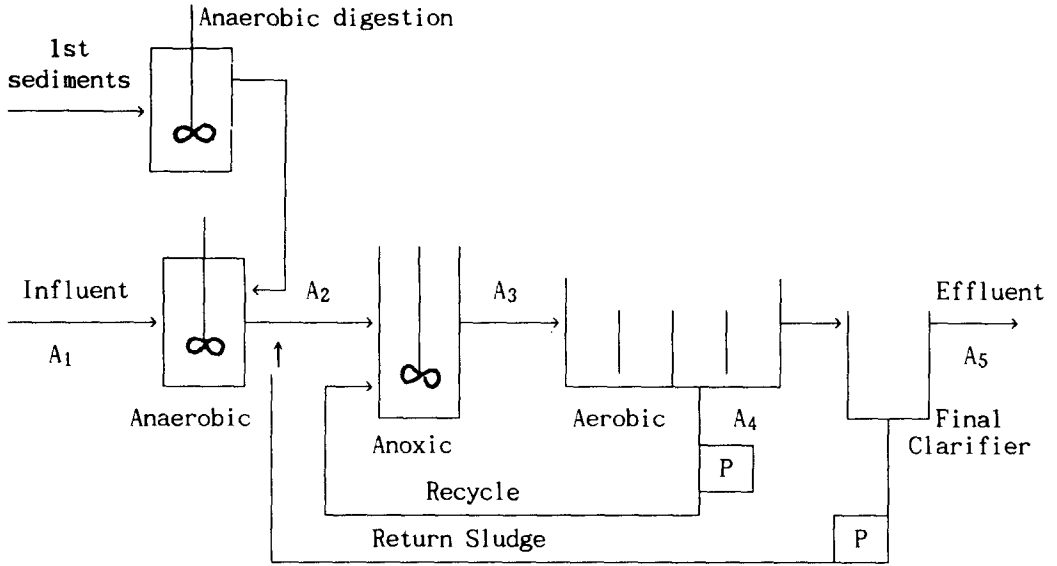


Fig. 1 Diagram of the measurement point and experimental apparatus

하여 空氣를 供給했다. 沈澱槽의 모양은 圓錐形이며 水理學的 滯留時間은 2時間으로 標準活性슬러지法과 같게 設計했으며 寢殿된 슬러지는 NO_x-N 의 形態로 酸化된 窒素를 脫窒하기 위해 脫窒槽로 返送했다. 各反應槽間의 流出水와 流入水의 連結은 反應槽間의 高度差를 利用하도록 만들었다.

鍾菌은 中浪川 下水終末處理場의 2次沈澱槽에서 暴氣槽로 返送되는 MLSS로 그 濃度가 3,000 mg/l 程度되는 活性슬러지를 利用하였다.

實驗에 使用된 試料는 家庭下水의 汚水處理場 流入原水를 利用했으며 原水의 性狀은 Table 5와 같다.

嫌氣性 消化槽가 附着된 A_2/O 法의 流入水는 1時間 程度 沈澱시킨 後 그 上澄水를 脫磷槽로 流入시켰으며 沈澱物은 嫌氣性 消

化槽로 流入시켰다.

嫌氣性 消化槽가 附着되지 않은 A_2/O 法의 流入水는 原水를 完全混合시키며 完全嫌氣性槽로 流入시켰다. 暴氣性의 實驗條件은 活性슬러지 工法에서 窒酸化가 일어나기 충분한 時間인 8時間으로 維持시켰으며 슬러지 反送律은 50%, 運轉溫度는 室溫(冬季: 18~20°C)에서 運轉하였다.

III. 結果 및 考察

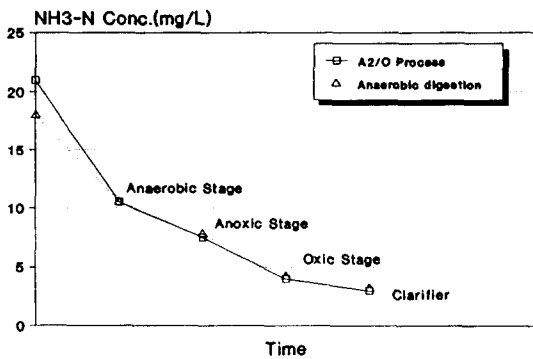
3-1 窒素 除去效果

Fig. 2, 3, 4는 内部 反送律을 0.5, 1.0, 2.0으로 變化시키면서 Stage 別로 各各 NH_3-N 의 濃度, NO_x-N 의 濃度, TKN의 濃度 變化를 나타낸 그림이다.

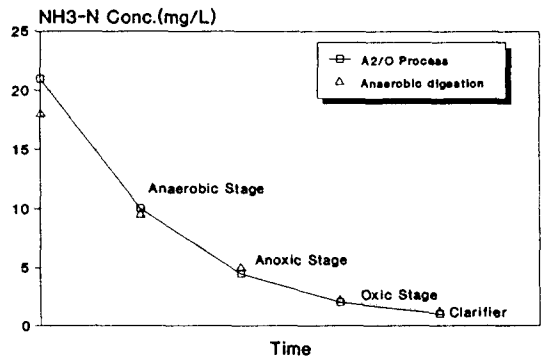
그 結果를 보면 内部 反送律이 커질수록

Table 5. A composition of Influent water

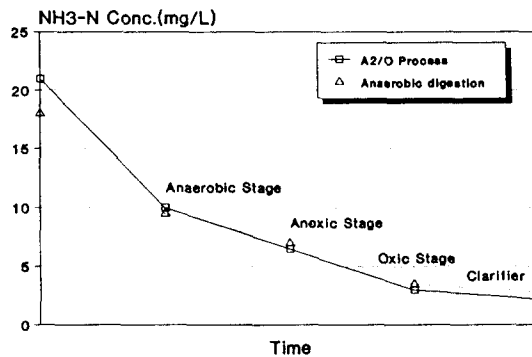
Times	BOD	COD _{Cr}	SS	TKN	T-P
1	175.5	420	217	28.7	4.40
2	163.0	435	183	30.5	4.78
3	185.0	428	185	30.4	3.89
4	162.0	388	135	33.6	4.05
5	173.0	412	210	33.1	3.75
6	200.0	554	234	32.1	5.23
Average	175.0	438	194	31.4	4.40



(a) Recycle ratio = 0.5



(b) Recycle ratio = 1.0



(c) Recycle ratio = 2.0

Fig. 2 The changes of NH₃-N concentration classified by every reactor followed by the changes of recycle ratio

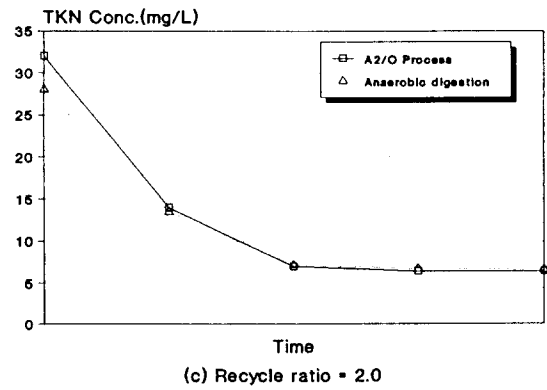
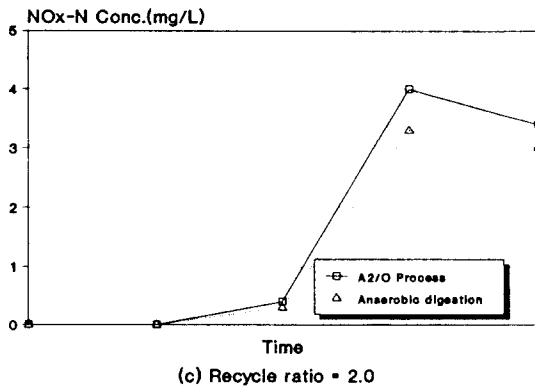
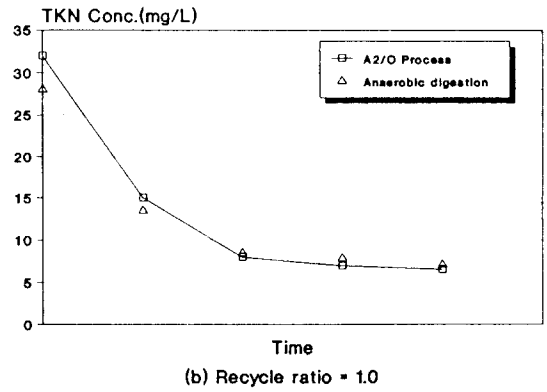
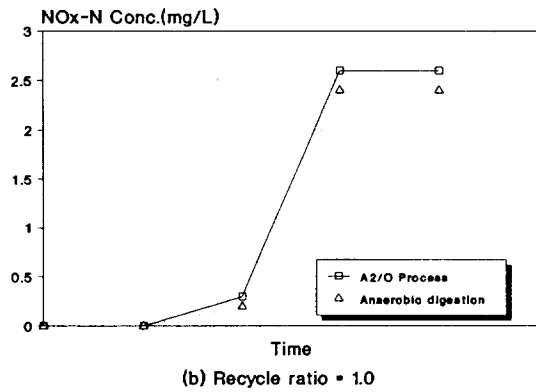
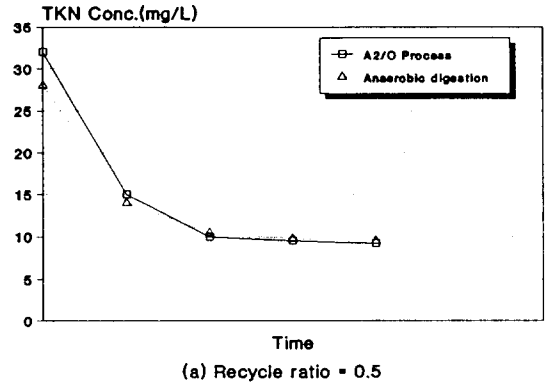
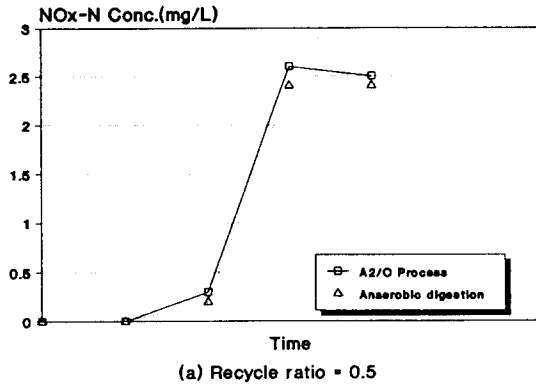


Fig. 3 The changes of NO_x-N concentration followed by the changes of recycle ratio

Fig. 4 The changes of TKN concentration followed by the changes of recycle ratio

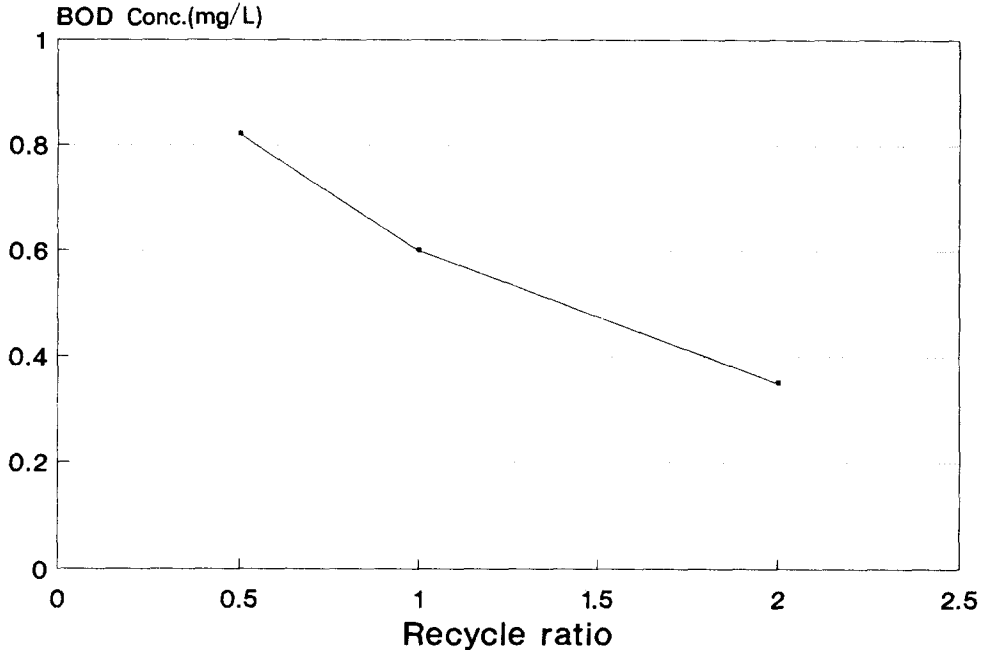


Fig. 5 The changes of BOD concentration followed by the changes of recycle ratio

窒素의 窒酸化와 窒素 除去效率은 良好하게 나타났다.

A₂/O Process 와 嫌氣性 消化槽를 設置한 A₂/O Process 와의 比較에서는 오히려 嫌氣性 消化槽를 設置한 場合에서 그 除去效率이 떨어진 結果를 보여 주었다. 특히 암모니아性窒素의 場合를 보면 A₂/O Process 에서 95.723%, 嫌氣性 消化槽를 設置한 Process 에서는 95.662%로 效率이 조금이지만 떨어지는 傾向을 나타낸다. 嫌氣性 消化槽에 投入시킨 沈降物들을 流入水에 包含시켜 除去效率을 比較하면 그 除去效率의 差異가 더 커질 것으로 생각된다.

嫌氣性 消化槽를 設置했을 場合에 오히려 除去效率이 보다 떨어진 理由는 制限된 流入水 基質에서 脫窒을 원활히 遂行하는데

必要한 電子供與體를 嫌氣性 消化槽에서 消耗를 가져와 處理效率이 떨어지게 되는 것으로 推測된다.

3-2 磷 除去效果

Fig. 5는 内部 返送變化에 따른 流出水의 BOD 濃度 變化를 나타낸 것으로 反送律을 크게 하면 할수록 BOD 除去가 잘되는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 磷 濃度の 變化를 나타낸 것으로 그림에서와 같이 内部 返送變化는 磷의 除去效率에 별다른 影響을 미치지 않는 것으로 나타났다. 특히 窒素의 除去效率 側面에서 보면 嫌氣性 消化槽를 설치한 場合에서 오히려 除去效率이 떨어졌다.

그 理由는 最終 沈澱池에서의 嫌氣性 狀態로 말미암아 磷의 再溶出이 일어났고

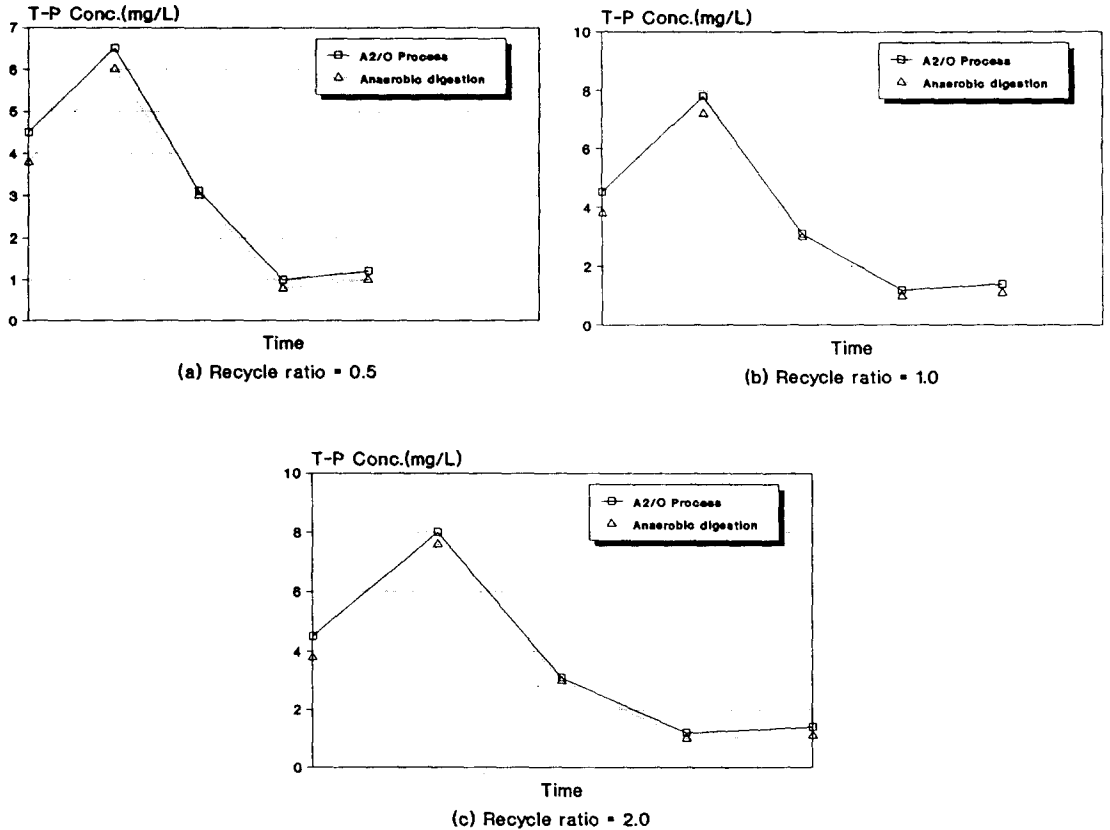


Fig. 6 The changes of T-P concentration followed by the changes of recycle ratio

Sludge 淨上이 發生하여 流出水의 水質을 惡化시켰다고 볼 수 있다.

IV. 結 論

富營養化 現象을 일으키는 影響要素인 窒素 및 磷 除去 處理方法中 가장 經濟的이고 實用的이라고 알려져 있는 生物學的 處理方法中의 하나인 A₂/O Process 를 Semi-Pilot Plant 로 만들어서 實驗을 遂行해 보았다. 本實驗의 結果로 얻게된 事項들을 列舉하면

다음과 같다.

1) 内部 返送의 變化로는 磷의 除去效率에 큰 影響을 주지 못했으나 内部 反送率을 높이면 높일수록 窒素 除去效果는 높게 나타났다.

2) 嫌氣性 消化槽를 設置한 A₂/O Process 의 處理效率이 오히려 嫌氣性 消化槽를 設置하지 않은 既存의 A₂/O Process 에 比하여 떨어졌다.

3) 流入水의 條件을 같이 하고 嫌氣性 消化槽를 設置하였다면 最初 期待했던 效果가

나타났을 것으로 생각되며 앞으로 보다 細部的인 研究가 必要하다.

4) BOD 및 COD 除去效率 側面에서 本 研究結果는 다른 活性 Sludge process 에 比 해 良好한 것으로 나타났다.

References

1. 李鉉東, 水質汚染의 現況과 對策, 冷凍空 調技術 11號, Vol. 8, No. 11, 1991.
2. Sybil P. Parker, et al., MacGraw-Hill Encyclopedia of Environmental science, 2 nd. ed., MacGraw-Hill Book Co., 1980.
3. W.Connel and G.J.Miller, Chemistry and Ecotoxicology of Pollution, Wiley., 1984.
4. U.S.environmental Protection Agency, Emerging Technology Assessment of Biological removal of Phosphorus, U.S. EPA., 1984.
5. 국립환경연구원, 하천 및 호수수질이 최적화관리방안, "부영양화 방지를 위한 인 제거기술", 세계환경의 날 기념학회세미나, 1989.
6. 서윤수, "호수의 부영양화 현상과 대책", 상수 및 폐하수 처리 선진기술 세미나 논문집, 국립환경연구원-한국수질보전학회, 1985.
7. Dart R.K., and Stretton R.T., Microbiological Aspects of Pollution Control, 7 Eutrophication, Elsevier, 1980.
8. Mitchell R., Introduction to Environmental Microbiology, Ch. 11, Eutrophication, 1974.
9. Standard methods, 15 th edition, 1981.