

嫌氣性 生物膜法에 의한 有機性 排水의 處理

金 容 大 · 鄭 京 勳*

瑞江專門大學 環境衛生科

* 朝鮮大學校 環境工學科

Treatment of Organic Wastewater by the Anaerobic Fixed-Film Process

Yong Dae Kim · Kyeong Hoon Cheong*

Dept. of Environmental Hygiene, Seokang Junior College

** Lecturer, dept. of Environmental Engineering, Chosun University*

ABSTRACT

A study on the effects of volumetric loading rate, surface loading rate and hydraulic retention time (HRT) for the anaerobic treatment was conducted with the anaerobic fixed-film process using synthetic wastewater at lower temperature than that of conventional anaerobic treatment. The results are as follows

1. Alkalinity and pH value decreased as the hydraulic retention time increased
2. Increase of the volumetric loading rate led to increase of effluent COD concentration and decrease of COD removal efficiency.
3. The removed volumetric loading rate increased linearly according to the increase of the volumetric loading rate.
4. Similarly, the linear increase of the removed surface loading rate was noticed with an increase of the surface loading rate.

I. 緒 論

嫌氣性 處理方法은 종래부터 슬러지나 屎尿의 處理에 이용되어 왔지만 下水處理에는 거의 이용되지 않았었다. 그러나 最近의 下水處理에서는 동력비의 절감 슬러지 발생량의 제어, 窒素 및 磷의 동시 除去, 소규모 下水處理 등이 중요과제가 되어 왔으며, 이러한 문제 해결을 위해서 下水의 嫌氣性處理가 주목되어지게 되었다.

이 嫌氣性處理法은 1) 好氣性處理法에 비해서 에너지 消費量이 적고, 2) 排水處理後 有效한 메탄가스를 얻을 수 있고, 3) 嫌氣性 微生物은 好氣性 微生物보다 菌體合成의 비율이 작기 때문에 汚泥生成量이 적으며, 4) 적은 영양염의 요구량 등의 장점을 가지고 있다.

그러나 嫌氣性 微生物은 1) 增殖速度 및 代謝가 好氣性 微生物과 비교해 볼 때 매우 느리기 때문에 反應槽의 容積을 크게 할 필요가 있기 때문에 處理施設의 建設費가 그만큼 增加하고, 2) 反應速

도를 높이기 위해서 常溫 보다 높은 溫度로 하기 위해서 加溫이 필요하며, 3) 嫌氣性處理에서는 通常好氣性處理 만큼이나 透明度가 높은 양호한 處理水質을 얻을 수 없기 때문에 反應槽에서 나오는 排出液은 다시한번 好氣性處理를 하지 않으면 放流할 수 없는 것이 단점이다.

그러나, 好氣性處理에 비해서 工學的으로나 微生物學的으로도 技術開發의 여지가 남아있는 등의 이유로부터 排水 및 廢棄物의 處理法으로서 最近 다시 國內외에서 연구가 활발히 행해지게 됐다. 이러한 것으로 부터 종래 好氣性處理라고 하면 BOD 1,000mg/l 以下の 有機性排水, 嫌氣性處理라면 BOD 1,000mg/l 以上の 濃厚한 有機性排水와 固形物 2~7% 下水 汚泥處理가 對象이라고 생각하여 왔다.¹⁾

최근 10여년동안 새로운 嫌氣性 프로세스로서 嫌氣性活性汚泥法²⁾, 嫌氣性여상법^{3,4)} 嫌氣性流動床法,^{5,6)} 嫌氣性汚泥床法(UASB: Up Flow Anaerobic Sludge Blanket)등^{7,8)}이 改良 내지는 開發되어 1,000mg/l 이하의 有機性排水에 대해서도 嫌氣性 處理를 사용하려는 시도가 행해졌다.

이러한 嫌氣性處理法은 好氣性處理法에 비해서 上記에서 기술한 바처럼 여러가지 장점을 갖고 있음에도 불구하고, 中低濃度의 排水에 대해서는 메탄생성균의 增殖速度가 늦고, 또한 菌體收率이 낮을뿐만 아니라 汚泥의 wash out가 발생함으로 인해 嫌氣性處理法의 실용화는 어렵게 되었다. 그러나 最近 水理學的 滯留時間과는 별도로 汚泥의 滯留時間을 콘트롤하여 高濃度의 生物量을 維持하려는 嫌氣性 생물막 프로세서가 개발되어 處理對象 범위를 확대하려는 연구가 진행되어 왔다. 한편 通常의 嫌氣性處理에 있어서는 中溫, 高溫에서 處理가 행해지고 있으며 이렇게 상온보다 온도를 상승시킴으로써 에너지가 소비되는 문제점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 上記에서 기술한 여러가지 嫌氣性處理法 중에서도 우선 충전제 粒子를 流動化 시키는 에너지가 필요하지 않고 더욱이 維持管理가 비교적 容易한 嫌氣性 固定床法이 유리하다고 판단하여 微生物을 維持하는 충전제의 表面積을 알고 있는 礬化비닐 평판을 충전하여 嫌氣性 固定床에 있어서 통상 嫌氣性處理가 행해지는 온

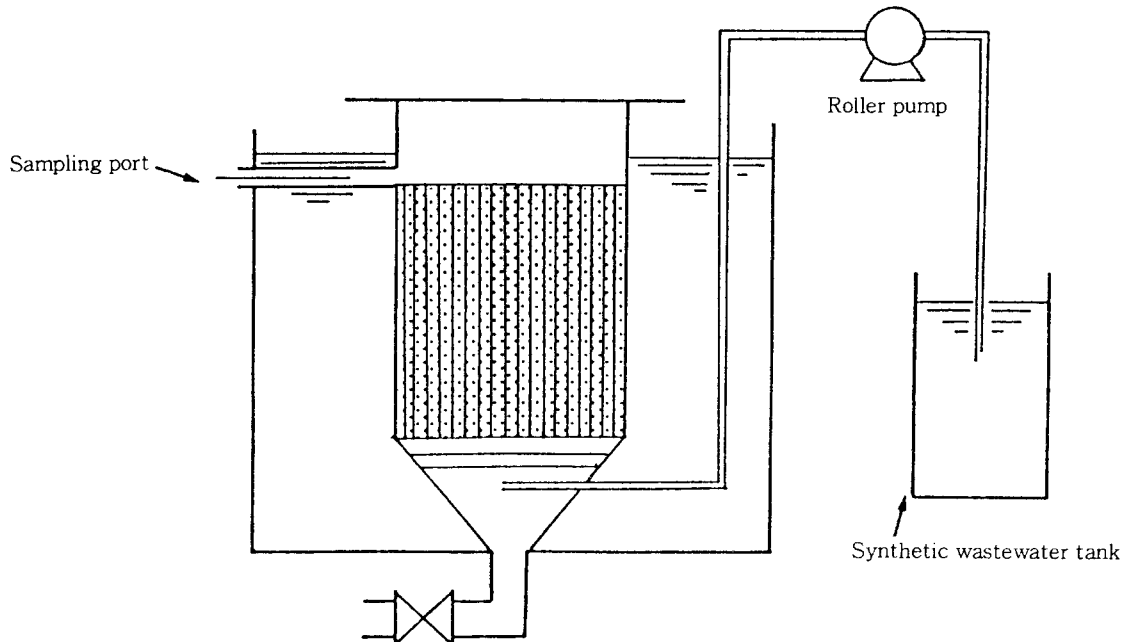


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

도 이하의 25℃에서 處理의 가능성을 조사하기 위해서 有機物 濃度가 틀린 3種類의 人工排水를 사용하여 處理性能에 미치는 基質容積負荷量 表面積負荷量 및 水理學的滯留時間의 影響에 대해서 검토하였다.

II. 實驗方法

1. 實驗裝置

본 연구에서 사용된 反應槽는 聚乙烯닐판으로 3槽를 제작하였으며 反應槽內에는 충전제로써 聚乙烯닐판(높이 30cm, 폭 10cm, 두께 0.5cm)을 0.5cm 간격으로 20매를 평형하게 설치하였다 (Fig. 1). 反應槽內에 설치한 충전제의 表面積은 331m²/m³이며 反應槽의 實容積은 3.7l 이다. 또한 反應槽의 下部에는 流入水가 잘 분산되도록 구멍이 뚫린 평판을 0.5~0.6cm 간격으로 3매를 고정하였다. 反應槽는 25±1℃로 유지된 恆溫조에 고정하였으며 人工排水는 定量펌프를 사용하여 反應槽의 하부에서 상류식으로 공급하였다.

2. 人工排水

人工排水는 글루코스과 폴리펩톤을 주성분으로 하여 여기에 무기영양염을 첨가한 것을 사용하였다 (Table 1). 人工排水는 성상의 변화를 방지하기 위해서 4℃ 냉장고에 보관 사용하였다.

Table 1. Composition of the synthetic waste water

Composition	concentration (mg/l)
K ₂ HPO ₄	108
KH ₂ PO ₄	42.5
NH ₄ Cl	8.5
NaHPO ₄ · 12H ₂ O	223
MgSO ₄ · 7H ₂ O	11.2
CaCl ₂	13.75
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.125
Polypeptone	2200
Glucose	2200

3. 實驗方法

중균인 嫌氣性 消化슬러지는 下水處理場에서

채취한 것을 사용하였으며 回分裝置를 이용하여 70日間 馴化시킨 후에 反應槽의 충전제에 微生物이 부착하도록 각 反應槽에 3l씩 넣고, COD 濃度 2500mg/l의 人工排水를 HRT(水理學的滯留時間) 5日로 하여 60日間 start-up시킨 후, COD 濃度 1,760mg/l, 1,030mg/l, 490mg/l의 人工排水를 HRT 3, 2, 1 日로 운전하였다 (Table 2).

4. 試料分析

COD_{Mn}, SS, 알칼리도는 日本 工業用水試驗方法 (JIS)⁹에 따라서 분석하였으며, pH는 pH meter (Orion Research Inc. Model 191-04)를 사용하였다.

III. 結果 및 考察

1. 處理成績

Fig. 2에 流入 COD 濃度는 1,760mg/l, 1,030mg/l, 490mg/l일 때 流出COD 濃度 및 COD 除去率의 經時 변화를 나타내었다. 流入 COD 1,760mg/l의 경우 HRT 3日에서 流出水 平均濃度는 45mg/l로 除去率은 97.4%였으며, HRT 2日에서는 流出水 濃度 84mg/l로 除去率은 95.2%였고, HRT 1日에서는 流出水 濃度 240mg/l로 除去率은 86.4%였다. 또한, 流入 COD 1,030mg/l인 경우 HRT

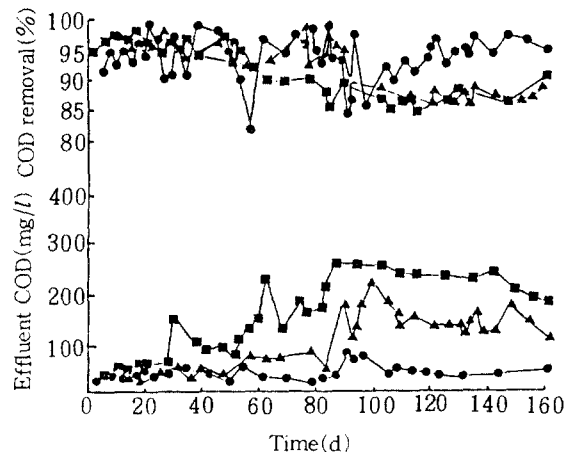


Fig. 2. Changes in effluent COD and COD removal in various influent concentrations.

■ : 1760mg/l ▲ : 1030mg/l ● : 490mg/l

Table 2. Summary of operation results on anaerobic fixed-film process

HRT(d)	3			2			1		
Influent conc. (mg/l)	1760	1030	490	1760	1030	490	1760	1030	490
Volumetric loading rate (kg/m ³ · d)	0.586	0.343	0.163	0.880	0.515	0.222	1.760	1.03	0.49
Surface loading rate (kg/m ² · d)	1.808	1.058	0.053	2.713	1.587	0.755	5.426	3.175	1.510
COD removed (%)	97.4	96.0	93.9	95.2	95.0	90.7	86.4	86.4	89.9

3, 2, 1日에서의 平均 流出水 濃度는 각각 39mg/l, 48.8mg/l, 139mg/l로 除去率은 각각 96.0, 95.0, 86.4%였다. 流入 COD 490mg/l인 경우 HRT 3, 2, 1日에서의 平均 流出水 COD는 각각 30, 45.6, 51mg/l로 除去率은 각각 93.9, 90.7, 89.7%였다.

따라서, HRT가 짧아짐에 따라 COD 除去率은 저하하는 경향을 보이고 있으며, HRT의 변동이 있을 때 流出水 COD는 증가하였으나 점차 회복하여 안정한 상태로 되고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 본 실험의 조건하의 中, 低濃度의 인공폐수를 사용했을 때 HRT 24시간에서 86% 이상의 除去率을 얻을 수 있었다(Table 2).

Fig. 3에는 실험기간중의 流入 COD 1,060mg/l의 流出 pH 및 알칼리도를 나타내었다. pH는 6.5에서 7.7 사이에서 변동하고 있으며 특히 HRT가 짧아짐에 따라 pH의 저하가 있었지만 점차 회복하는 경향이 있었다. HRT가 짧아짐에 따라 pH가 저하하는 것은 有機物의 負荷가 높게 되어 휘발성 유기산의 형성이 촉진되기 때문일 것으로 판단된다. 그리고 pH가 저하함에 따라서 알칼리도 역시 저하되는 경향이 있으나 대체로 실험기간을 통해서 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 또한 알칼리도가 충분히 존재하고 있어서 완충능을 발휘하고 있기 때문에 pH는 6.5정도 까지 밖에 저하하지 않았다. 順藤 등¹⁰⁾은 20℃에서 嫌氣性 生物膜法에 의한 處理에서 低濃度 有機物을 處理한 결과 pH 6.5 이하로 저하하지 않았음을 보고하였다. 본 실험에서도 嫌氣性 微生物群의 增殖이 제어된다

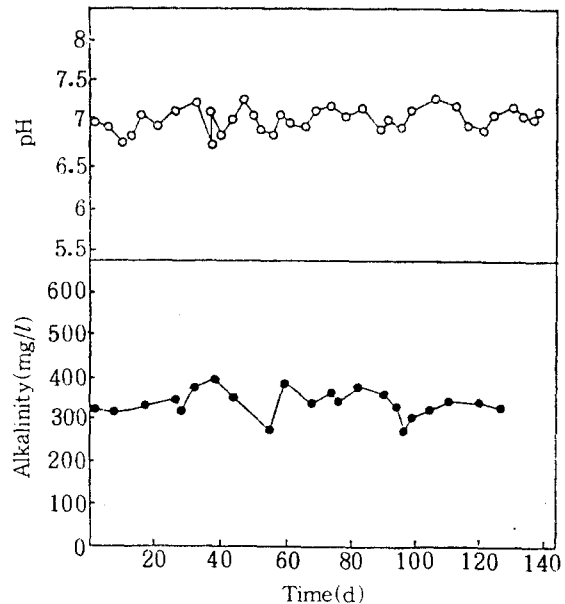


Fig. 3. Changes in pH and alkalinity on influent concentration of 1060mg/l.

고하는 pH 6.5 이하까지는 저하 하지 않았다.

2. 流出水 濃度 및 除去率에 미치는 容積 負荷의 影響

流出水 COD 濃度 및 除去率에 미치는 COD 容積 負荷量의 영향을 Fig. 4에 나타냈다. COD容積 負荷量의 증가함에 따라서 流出水의 COD값은 증가하였으며, COD 容積 負荷量이 0.5kg/m³이 보다

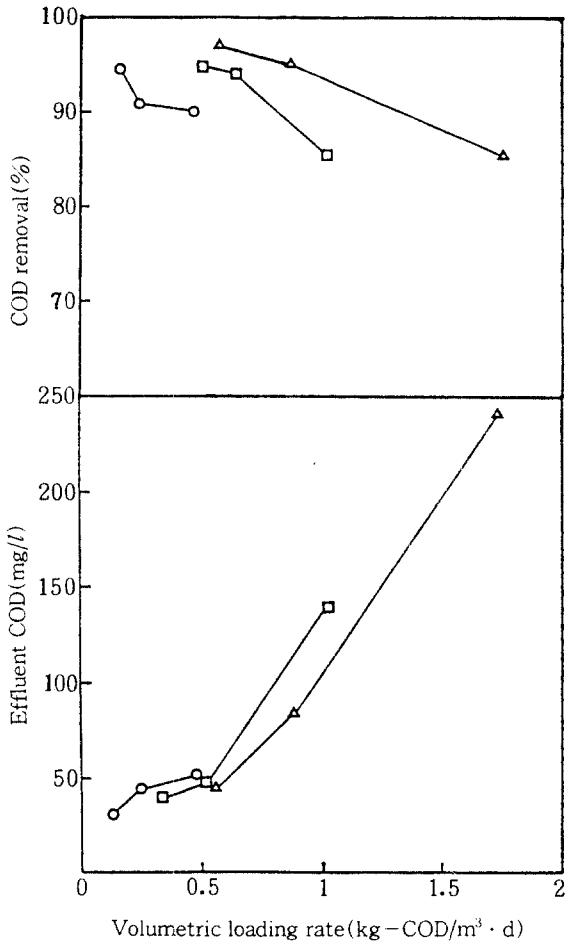


Fig. 4. Influences of volumetric loading rate on effluent COD and COD removal in various influent concentration.

△ : 1760mg/l □ : 1030mg/l ○ : 490mg/l

낮은 경우, 동일 COD 용적부하량에 있어서流入 COD 농도가 1,760mg/l, 1,030mg/l, 470mg/l에 대해서流出 COD 농도를 비교해 보면流入 COD 농도가 낮은 쪽이 높은 쪽보다流出 COD 농도가 높은 것을 알 수 있었다.

또한 COD 용적부하량에 따른流出水 COD의除去率은 COD 용적부하량이 증가함에 따라서 저하하고 있음을 알 수 있었다. 동일 용적부하량에 있어서 서로 다른流入水에 대한 COD除去率을 비교해 보면流入水 COD 농도가 낮은 쪽이 COD除去率이 낮았다. 이것은 동일 용적부하량이지만

수리학적 체류시간이 짧으면嫌氣性生物膜法の處理性能이 낮다는 것을 시사하고 있다.橋本 등¹¹⁾은嫌氣性순환여상의정화기능의정상상태해석에 관한 연구에서流出水 TOC 농도에 미치는 TOC 용적부하량의影響을 조사한 결과 동일 용적부하에서流入 TOC 농도가 높은 경우가流入 TOC 농도가 낮은 경우보다流出水 농도가 높으며處理率 역시 저하하고 있음을 보고한 바 있다.

3. 용적부하除去량에 미치는 용적부하량의影響

COD 용적除去량을 증축에 COD 용적부하량을 횡축에 플롯트하면 Fig. 5처럼 된다.流入 COD 농도의 변화에도 불구하고 COD 용적除去부하량은 COD 용적부하량의 증가함에 따라 증가하였다.

동일 용적부하량에 있어서流入水 COD 농도별로 비교해 보면流入水 COD 농도에 의해 차가 있으며流入 COD 농도가 낮은 쪽이 높은 쪽보다 용적부하除去량이 낮았다.橋本 등¹²⁾은 용적부하除去량에 미치는 용적부하량의影響을 조사한 결과流入 TOC 농도가 낮으면 용적부하除去량이 낮다는 것을 보고하였으며 본 연구에서는橋本 등의 연구와는 직접적으로 비교할 수 없으나流入 COD 농도가 낮을 때 그들의 연구결과와 일치하고 있음을 알 수 있었다.

4. 표면적 부하除去량에 미치는 표면적 부하의影響

Fig. 5에 나타난 것처럼 표면적 부하除去량은 표면적 부하량이 증가함에 따라서 거의 직선적으로 증가하였으며反應槽內的 담체로써의生物膜의 표면적이 넓으면 넓을수록 COD除去效率이 높다는 것을 알 수 있었다. 여기에서 용적부하량의除去率과 마찬가지로流入水 COD의 농도가 높은 쪽보다는 낮은 쪽의 표면적 부하除去량이 낮았다.

이러한 결과로부터 유기성排水를處理함에 있어서는 통상中溫處理인 경우 30~35℃의 온도에서 행하여져 왔으나嫌氣性生物膜法을 이용함으로써 25℃에서도中,低濃度の有機性排水를 수리학적 체류시간이 길면 수량이 어느정도 변화하더라도 충분히 COD를除去할 수 있음을 알 수 있

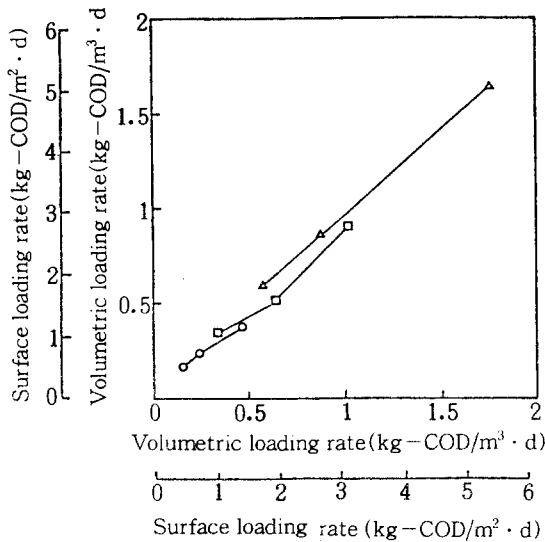


Fig. 5. Influences of volumetric and surface loading rate on removed volumetric and surface loading rate in various influent concentration.

△ : 1760 mg/l □ : 1030 mg/l ○ : 490 mg/l

었다. 須藤 등¹⁰⁾도 혐기성 생물막법을 이용하여 저농도(BOD 200mg/l)의 유기성 배수를 용적부하 0.64kg/m³·d로 20℃에서 처리한 결과 COD로서 64~74%의除去效率을 보여 혐기성 처리에서 보면 저온이라고 할 수 있는 조건하에서도 좋은 처리效率을 얻을 수 있는 것이 가능함을 보고한 바 있다. 또한 中川 등¹³⁾도 혐기성 고정상을 이용하여 체류시간 1.3~3.0일에서 BOD 1,000~1,500 mg/l의 유기성 배수를 64~97%까지의 처리效率을 보고하였으며 이 때의 처리 특성은 유기물 부하보다는 수리학적 체류시간에 의존하고 있음을 나타냈다.

한편 Switzenbaum 등⁶⁾도 혐기성 유동상법에 있어서 저농도(COD 600mg/l이하) 유기성 배수를 10~30℃의 저수온의 유기물부하 8kg-COD/m³·d에서도 數時間의 수리학적 체류시간에서 효과적으로 처리할 수 있음을 보고 하였다.

또한 그들은 저수온에서도 양호한 처리성적을 얻을 수 있는 것은 큰 표면적을 갖는 입상담체에 다량의 활성을 갖는 微生物膜이 30,000mg/l라는 높은 농도로 부착하여 微生物당 유기물 부하가 적

기 때문일 것으로 보고하였다. 한편, Young 등³⁾은 상항류식의 혐기성 여상을 사용하여 유기물 부하량 0.85kg/m³·d와 3.4kg/m³·d에서 휘발성 유기산 및 단백질 탄수화물로 되어 있는 하수의 처리實驗을 실시하였는데, 그들은 反應槽의 底部에서 30cm까지의 微生物量은 전 反應槽의 27~52%를 차지하며 反應槽 75cm까지의 微生物量은 53~76%를 차지하여 혐기성 여상조의 정화기능은 거의 反應槽의 底部에서 일어나고 있음을 실증하였다.

본 연구에서는 反應槽의 부착微生物 내지는 反應槽 저부의 微生物量을 파악하고 있지는 않지만 본 연구에서도 혐기성 생물막법을 이용하여 25℃에서도 中, 低濃度의 유기성 배수의 처리가 가능한 것은 反應槽의 담체에 부착된 微生物뿐만 아니라 反應槽의 저부에도 상당량의 微生物이 존재하기 때문에 처리가 가능한 것으로 판단된다.

따라서 혐기성 생물막법을 이용하여 유기성 배수를 처리하고자 할 때에는 反應槽에서 流出되는 微生物量(SS)뿐만 아니라 反應槽內의 微生物量을 파악함과 동시에 反應槽에서 생성되는 유기산 및 메탄가스 생성에도 주목하여 측정할 필요가 있다고 사료된다.

IV. 結 論

혐기성 생물막법을 이용하여 中, 低濃度의 유기성 배수를 혐기성 처리에서는 비교적 低溫인 25℃에서 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. HRT가 짧아짐에 따라 pH, 알칼리도는 저하하는 경향을 보였으나 pH, 알칼리도는 곧바로 회복하고 있음을 알 수 있었다.
2. COD 용적부하량이 증가함에 따라서 流出水 COD 濃度가 증가하고, COD 除去率은 저하하였다.
3. COD 용적除去량은 COD 용적부하량이 증가함에 따라서 직선적으로 증가하였다.
4. 表面積 負荷除去량도 表面積 負荷량이 증가함에 따라서 직선적으로 증가하였다.

參 考 文 獻

- 1) 稻森悠平, 順藤隆一: 嫌氣性處理の最近の動向, 用水と廢水, **24**(2), 43~56, 1982.
- 2) 佐藤和明: 下水汚泥からのエネルギー回収, 再生と利用, **2**(6), 23~28, 1979.
- 3) J. C. Young and P. L. McCarty: The anaerobic filter for waste treatment, *J. WPCF*, **41**(5), 160~173, 1969.
- 4) 鄭京勳: 有機性排水の嫌氣性處理, 東京農工大學工學部碩士學位論文, 1987.
- 5) W. J. Jewell, M. S. Switzenbaum, and J. W. Horris: Municipal waste water treatment with the anaerobic attached microbial film expanded bed process, *J. WPCF*, **53**(4), 482~490, 1981.
- 6) M. S. Switzenbaum and W. J. Jewell: Anaerobic attached-film expanded bed reactor treatment, *J. WPCF*, **52**(1), 1953~1965, 1981.
- 7) E. t. Brummeler, L. W. Hulshoff Pol, J. Dolfing, G. Lettinga, and A. J. B. Zehnder: Methanogenesis in an upflow anaerobic sludge blanket reactor at pH 6 on an acetate-propionic mixture, *Appl. Environ. Microbiol.* 1472~1477, 1985.
- 8) L. W. Hulshoff Pol, W. J. de Zeeuw, C. T. M. Velzeboer, and G. Lettinga: Granulation in UASB-reactors, *Water Sci. Technol.*, **15**, 291~305, 1983.
- 9) 日本工業規格: 工業用水試験法 JIS 0102, 1981.
- 10) 稻森悠平, 佐野亮一, 國安克彦, 岡田光正, 須藤隆一: 嫌氣性プロセスを組みこんだ生活排水の處理, 用水と廢水, **24**(9), 1017~1029, 1982.
- 11) 橋本 獎, 藤田正憲, 曲際水, 張 傑, 山崎 晃: 嫌氣循環ろ床の淨化機能の正常状態に関する研究, 水處理技術, **26**(11), 1~14, 1985.
- 12) 橋本 獎, 曲際水, 張 傑: 嫌氣循環ろ床の淨化機能に及ぼす循環の影響に関する研究, 用水と廢水, **27**(12), 14~21, 1985.
- 13) 中川秀樹: 嫌氣性固定床による有機性排水の處理, 用水廢水, **25**, 65~72, 1983.