

生物学的 流動層을 利用한 合成廢水の 窒酸化 反応

鄭遇喆* · 金煥起* · 李福烈**

*全北大学校 工科大学

**群山開放大学

(1986년 2월 4일 접수, 1986년 7월 1일 채택)

Nitrification of Synthetic Wastewater using Biological Fluidized Bed

Woo Chul Jung*, Hwan Gi Kim** and Bok Yul Lee***

*Dept. of Chem. Eng., Chonbuk National Univ.

**Dept. of Civil Eng., Chonbuk National Univ.

***Dept. of Indus. Chem., Kunsan Open Univ.

(Received 4 February 1986; accepted 1 July 1986)

요 약

본 연구는 폐하수중에 포함된 질소성분 제거에 관한 기초연구로서 주로 질산화 반응에 관한 것이다. 실험에 사용한 시료는 정화조 유출수와 유사한 합성폐수를 사용하였고 질산화 반응이 단계적으로 일어날것을 고려하여 4 단계 생물학적 유동층 반응기(Biological Fluidized Bed Reactor)를 고안하였으며 이 반응기를 이용하여 질산화 반응의 가능성을 검토하였다.

그 결과 질산화 반응은 후기단계에서 88~97%의 NH_4^+-N 이 제거됨으로써 본 4 단계 생물학적 유동층 반응기는 질산화 반응에 매우 합리적이었다.

또한 유동층 반응기내의 유체 흐름형태는 적정 순환비가 30 정도로서 완전 혼합류로 고려된다. 질산화 반응의 속도론적 해석으로 유기물 제거속도는 질산화 반응속도의 3 배로 나타났으며 동시에 산소에 의한 미생물 생성의 Kinetics도 검토하였다.

Abstract—A basic study is done on the biological nitrification for the removal of nitrogenous components from synthetic wastewater. The composition of synthetic wastewater is similar to a typical septic tank effluent containing a considerable amount of nitrogenous compounds. As nitrification process is supposed to be step reactions, 4 Biological Fluidized Bed Reactors are prepared. Thus the feasibility of this nitrogen treatment is discussed as follows.

The results obtained shows that as the nitrification process proceeded, 88 to 97% of the NH_4^+-N was removed in the latter stages.

Thus the 4 stage Fluidized Bed Reactors proved to be very good in nitrification. The flow pattern resulted

in the complete mixing in each stage when the recycle ratio was about 30. The kinetic analysis of the nitrification reaction showed that the organic removal rate was faster than the nitrification rate by three times, and the kinetics of microorganism formation by oxygen is discussed also.

1. 서 론

최근 급속한 산업화로 인한 경제생활의 향상으로 국민생활 정도가 점차 높아져가고 생활방식의 현대화에 따른 재래식 便所의 水洗化 경향이 증가됨에 따라 수세식 변소의 정화조 유출수량도 비례적으로 증가되고 있는 실정이다. 이러한 정화조 유출수는 질소성분을 상당량 함유하고 있는바 수질오염에 미치는 영향은 대단하다.

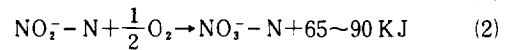
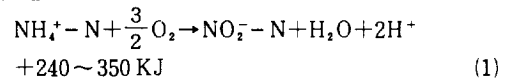
질소성분이 하천이나 湖沼에 유입되면 富營養化를 일으키는 원인물질[1]로서 조류의 성장을 촉진하여 물을 오염시키는 중요한 원인이 되며 수중에서 암모니아 형태로 존재하는 질소성분은 질산화 반응을 일으키는 동안에 상당량의 산소를 요구함으로써 수중 용존산소를 고갈[2]시키고, 유리 암모니아는 水生 生物에 유독성을 일으키는등 수질오염에 심각한 영향을 끼치고 있다. 이러한 질소성분 제거를 위하여 유동층 반응기를 도입했는데 이것에 관하여는 1950년대초[3]에 생물학적 유동층 공법이 폐수처리 공정으로 채택된 이래로 1970년대 중반에 영국 Manchester, WRC[4]에서 질소제거에 생물학적 유동층을 적용하기 시작하여 질산화에 관해서 생물학적 유동층 공정이 매우 효과적이라고 알려져 있다. 저자들은 생물학적 유동층을 이용한 유동층적 해석[5], 분뇨처리[6], 주정폐수 처리에 관한 연구[7]에 이어서 본 연구에서는 정화조 유출수와 유사한 합성폐수를 조제하여 시료로 사용하였고 시료에 함유된 질소성분을 제거하기 위하여 질산화 반응이 단계적인 반응임을 고려하여 4 단계 생물학적 유동층 반응기를 이용하였다. 이 반응기내의 질산화 반응에 주로 영향을 미치는 인자는 온도, DO, pH, 알칼리도등이 있는데 이들의 적정 반응 조건하에서 NH_4^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N , TKN 및 BVS 등의 변화에 의한 질산화 반응의 영향을 검토하였다.

한편 반응기의 유동층적 특성을 糾明하기 위하여 생물학적 유동층의 흐름형태를 고찰하였으며, 각 단계별 적정 순환비와 질산화 반응 관계, 이들의

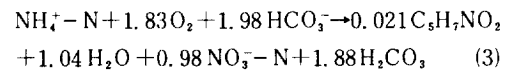
속도론적 해석 그리고 유동층 반응기에서 산소에 의한 미생물 성장에 대하여 연구하였다.

2. 연구의 배경

질산화 반응은 암모니아성 질소를 기질로 하여 아질산성 질소를 거쳐 질산성 질소까지 단계적으로 변화되는 것으로 생각되고 그 주반응 기구는 다음과 같다.



암모니아 酸化反應은 생화학적으로 볼때 Hydro-amine (H_2NOH)과 같은 불안정한 중간물질을 포함하는 복잡한 반응[8]으로서 산소는 에너지 기질로서 관여할 뿐만 아니라 전자전달이 일어나는 동안에 전자 수용체 역할을 한다. 이러한 산화반응에서 생성되는 에너지는 세포합성에 사용되며 중요한 미생물의 생성반응은 다음과 같다.



이때 亞窒酸化 미생물(Nitrosomonas)은 0.158 gr. BVS/gr. NH_4^+-N , 窒酸化 미생물(Nitrobacter)은 0.02 gr. BVS/gr. NO_2^--N 이 생성되며, 폐수처리 공정에서 (3)식은 반응에 영향을 주는 인자들에 대하여 강조하고 있다.

특히 NH_4^+-N 산화량에 비해 세포 합성량은 대단히 적게 나타나며, 질산화 반응에서 산소가 중요한 역할을 하는데, 1 gr. NH_4^+-N 제거에 산소가 4.2 gr 요구되고, 질산화 반응중 생성된 H^+ ion에 대하여는 알칼리도가 필요한데 1 gr. NH_4^+-N 산화에 7.14 gr.의 알칼리도가 요구된다.

한편 본 연구에서 도입한 생물학적 유동층이란 고농도의 미생물이 부착된 유동층으로 폐수중 유기물질[9]과 일부 질소등의 무기물질을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 폐수처리 공정이다.

이러한 공정을 이용하여 질소제거 연구의 일환으

로서 정화조 유출수중 암모니아성 질소에 대한 질산화 반응의 가능성을 糾明하고자 한다.

3. 실험장치 및 실험방법

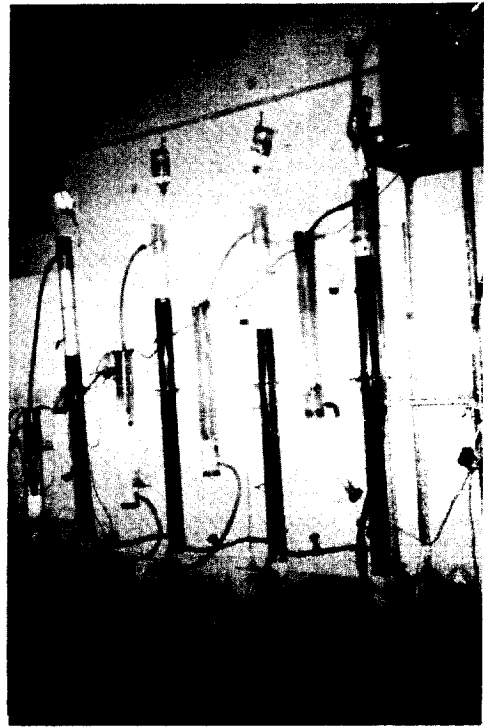
3-1. 실험장치

본 연구에서 사용한 반응기는 각각 높이가 180cm, 직경이 8 cm, 두께가 5 mm인 아크릴製 원통형관 4 개를 직렬식으로 연결하여 반응기로 사용하였으며 각 반응기의 포기조 위치를 다르게 설치하여 자연 流下 방식으로 각 단계를 통과하도록 하였다.

따라서 처음 반응기의 유출수는 다음 반응기의 포기조의 유입수로 연결되고, 매디아는 미생물이 부착하여 서식할 수 있으며 표면적을 크게 제공할 수 있는 가는 모래로서 직경이 0.4~0.6mm이다 (Fig. 1, Phot. 1).

3-2. 실험방법

본 연구에서 사용한 생물학적 유동층 반응기는 최근에 개발되고 있는 Upflow reactor [10]로서 固-液 접촉공정과 포기공정으로 구분하고 이 두공



Phot.1. Photograph of the Biological Fluidized Bed Reactors.

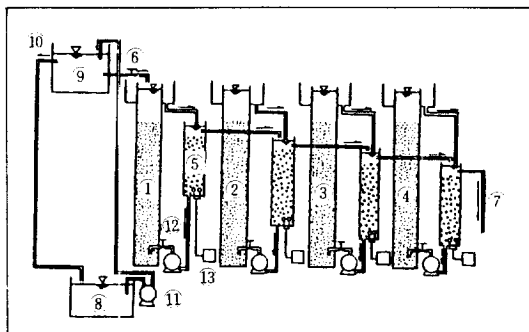


Fig.1. Schematic diagram of 4 stage continuous fluidized bed reactor.

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
10. Overflow from feed tank
11. Feed pump
12. Recycle pump
13. Air diffuser

정을 펌프로 연결하였다. 유동층 반응기를 가동할 때 殖種用 미생물은 전주시 위생 처리장의 반응슬러지를 합성폐수로 馴養시켜 사용하였으며 반응기에는 모래 1.2l 정도를 채우고 포기수를 넣은 다음 馴養된 슬러지 2l 정도를 반응기에 서서히 공급하면서 운전하였다.

시료는 합성폐수 탱크에서 조제한 후, 상부탱크의 液位를 일정하게 유지하기 위하여 순환펌프를 순환시키면서 0.9~4.8l/hr의 유속으로 포기조에 이송시켰다. 포기조에서는 700l/hr 속도로 공기 포화시킨후, 반응기로 送入되면서 30~35 정도의 순환비 (순환유량/유입수량)를 유지하여 질산화 반응을 수행하였다. 이와같이 하여 15일 정도 지나면 정상상태에 도달하는데 유입폐수의 유속을 변화시키면서 반응공정을 실험하였으며 그의 실험조건은 질산화 미생물의 성장조건에 알맞도록 하였다.

또한 분석은 모두 18개 항목으로 반응기의 성능, 반응속도등을 고찰하기 위한 것으로 분석은 주 3회 실시하였으며 분석방법, 분석내용 및 사용한 분석

Table 1. Analytical method.

Item	Analytical method	Ref No.	Discriptions
pH			pH meter
BOD ₅	Std. dilution method	11	Sample → 5 days incubation → DO detec.
COD _{cr}	Titrimetic method	11	Sample → reflux 2 hr (K ₂ Cr ₂ O ₇ + H ₂ SO ₄) → Fe ⁺⁺ titration (Ferroin indicator)
Alkalinity	Titrimetric-method	11	Sample → titr. with Std 0.1 N H ₂ SO ₄ (mixed bromocresol green methyl red indicator)
TOC			SYBRON Photo Chem. TOC Analyzer
NH ₄ ⁺ -N	Colorimetric methods	11	Sample → distil. (pH=9.5) → nessler → Spectrophotometer (λ=425 nm)
NO ₂ ⁻ -N	"	11	Sample → purpleazodye (pH 2.0-2.3) (by NED) → Spectrophotometer (543)
NO ₃ ⁻ -N	U. V. Spectrophoto method	11	Sample → calibration curve → spectrophotometer (220 nm)
TKN	Kjeldahl method	11	Sample → digestion (H ₂ SO ₄ , HgO), K ₂ SO ₄ → distillation, distillate → titrate (with Std H ₂ SO ₄ solution)
BVS		12	Sample → Weighting - 550°C, 30分 → Weighting
DO	Probe	11	YSI-56 DO monitor

기기는 Table 1 과 같다.

3 - 3. 실험에 사용한 재료

시료는 탄소 및 질소원으로서 펩톤, 肉액기스 및 요소를 주로 하고, 미생물 성장에 필요한 영양염류는 화학약품을 적당한 농도로 조제한 합성폐수로서 그 조성은 Table 2 와 같다.

이와같은 합성폐수를 택하게 된 것은 정화조 유출수의 농도가 일정치 못할 것으로 예상되기 때문

Table 2. Composition of liquid feed.

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

이다. 그래서 실제 본 대학의 실험실 주변에서 학교 정화조 유출수의 대표시료로서 본 대학폐수를,

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

Parameters	Effluent 1	Effluent 2	Effluent 3	Mean	Synthetic waste water
BOD ₅	35	103	60	66	131
COD _{cr}	90	148	182	140	142
COD _{mn}	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 ₄ ⁺ -N	42.4	98.8	57.8	66	53
NO ₂ ⁻ -N	0	0	0	0	0
NO ₃ ⁻ -N	0	0	0	0	0.01
TKN	47.6	119	54.6	74	72

All units: mg/l except pH

1. Septic tank effluent from college of Engineering of C. N. U.
2. Septic tank effluent from main building of Chonbuk National University
3. Septic tank effluent from Woo Suk building

Table 4. The characteristics of support media (fine sand).

Specific gravity	2.65 g/cm ³
Diameter	0.42 - 0.6 mm
Sphericity (ϕ_s)	0.861
Specific surface [21]	81 cm ² /cm ³
Voidage (ϵ_{mf})	0.42

가정 정화조 유출수의 대표시료로서 15층 종합빌딩(友石빌딩)의 폐수를 채취하여 분석한 결과를 시료로 조제한 합성폐수의 조성과 비교하여 Table 3에 나타내었다. 합성폐수는 Table 3에서와 같이 정화조 유출수의 주요 인자가 비슷하도록 조제하여 사용했다. 한편 유동층 매디아는 모래로서 특성은 Table 4와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 순환비와 질산화반응

질산화 반응공정에 연속식 4단계 생물학적 유동층 반응기를 이용한 실험결과는 Table 5와 같다.

처리된 유출수를 재순환하는 이유는 반응기내에

서 유체의 유동성을 부여하고 미생물, 산소 및 기질을 충분히 혼합시켜주며 동시에 반응기내의 용존 산소 농도를 높임으로서 결과적으로 처리효율을 향상시키기 위함이다. 그런데 본 실험에 사용한 반응기와 같은 유동층에서는 비교적 높은 순환비가 요구되는데 여기서 순환비(C)란 순환유량을 유입폐수량으로 나눈값을 의미한다.

따라서 본 연구에서 사용한 반응기에서의 적합한 유동상태를 유지하려면 유동층의 유효속도(superficial velocity) 범위는 12~35 cm/min으로서 Shieh[13] 등의 Pilot plant 운전값 18~40 cm/min과 비슷하였다. 그래서 본 연구에서는 이러한 유효속도에 요구되는 적정순환비(C)를 구하기 위하여 C=10~50 범위에서 질산화 반응율과 순환비 관계를 조사하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 의하면 질산화 반응율은 1, 2단계에서 순환비 증가에 대하여 큰 변화를 나타내지 않고 그 효율도 낮으나, 3, 4단계에서 효율이 높고 전체적으로 90% 이상의 변화율을 나타냄으로써 질산화 반응은 단계적으로 일어나고 있음을 보여주고 있으며 이때 적정 순환비는 30 정도이다. 이와 같이 질산화 반응이 주로 후기단계에서 이루어지고 있는 이유는 초기단계에서는 유기물 제거에 관여하는 Heterotrophs의 작용에 의하여 질산화

Table 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 ₄ ⁺ -N (mg/l)	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	TKN (mg/l)
1	19	51.2	10.6	30	7.2	6.0	3.0	6,030	5	0.16	41.2	6.2
2	24	40.3	8.5	29	7.5	5.8	4.2	6,270	18	0.12	40.5	17
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	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	0.34	38	14.2
9	71	14.3	3.0	26	8.4	4.5	8.3	5,430	20.6	0.38	31	28
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
12	98	9.8	2.1	22	8.5	3.2	14	8,560	22.3	0.02	23.6	21

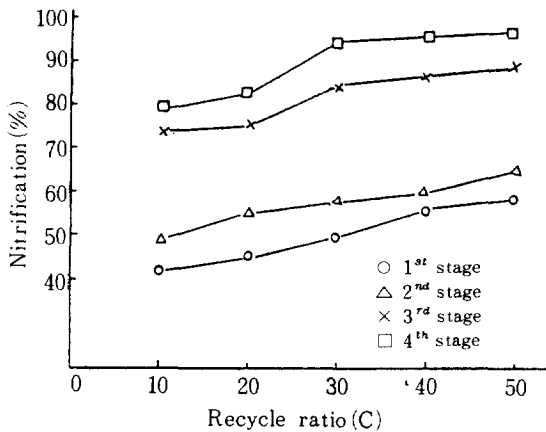


Fig. 2. Relationship between recycle ratio and nitrification in 4 stages.

반응이 짧은 시간동안만 행해지는 반면, 무기물인 암모니아 제거는 Autotrophs에 의하여 처리되므로 장시간이 요구되기 때문에 판단된다.

4-2. 유동층내의 유체흐름

유동층내의 유체 흐름형태가 완전 혼합류인지 플러그류인지를 고찰하기 위하여 시료의 부하별, 단계별의 질소성분 농도변화 결과를 Table 6에 나타내었으며, 마지막 네번째 단계에서 반응이 완전히 일어나므로 이 반응기의 높이에 대한 반응관계를 Table 7에 나타내었다.

이 결과로 질산화 반응공정에서 암모니아성 질소는 전단계를 통과하는 동안 점점 감소하며, 아질산성 질소의 생성은 일정하게 증가하고, 네번째 반응기에서의 변화양상도 전자의 경우와 비슷한 결과를 얻게됨으로써 이론적으로는 플러그류로 생각할 수

Table 6. Results on the flow pattern in reactors.

Date	flow rate (ml/min)	NH ₄ ⁺ -N (mg/l)				NO ₂ ⁻ -N (mg/l)			
		1 st	2 nd	3 rd	4 th	1 st	2 nd	3 rd	4 th
8/16	15	51.3	41.2	30.7	14.6	2.3	9.2	18.4	46
8/23	30	50.8	38	29.7	4.6	2.2	8.6	21	45
9/5	30	52	40.4	23.7	1.8	2.7	11.	23	49.6
9/12	40	51	39.3	24.2	9.2	1.8	9.6	17.2	39.5
9/28	50	53	43	28.3	17.9	1.7	7.3	14.7	35.4
10/5	50	52	46.1	32.3	26.9	1.3	6.1	14.7	30

Table 7. Results on the nitrification in 4th stage reactor.

Date	Flow rate (ml/min)	NH ₄ ⁺ -N (mg/l) at bed height			NO ₂ ⁻ -N (mg/l) at bed height		
		30cm	50cm	80cm	30cm	50cm	80cm
8/23	30	15.4	14	13	33.7	34.4	35.7
8/24	30	20	18	14.6	37.8	38.2	40
8/27	40	16.8	15.2	14.6	33	32.4	40
8/28	50	31.2	29.2	26.8	24.2	24.8	26.6

있으나, 플러그류로 간주할 경우 이론적 해석이 용이하지 않고 공장규모로써 비교할 때는 양자가 큰 차이가 없는 것으로 보고 [14] 되어 있으므로, 동력학적 계산에서는 완전 혼합류로 해석하였다. 특히 시료의 순환비를 30 이상으로 유지시킴으로써 이 가정의 타당성을 부여시켰다.

4-3. 유동층 반응기에서 산소와 미생물 생성

산소전달 이론으로 Michaelis 등 [15]은 세포주위에서 산소분자 섭취는 주로 세포표면의 산소의 수에 좌우된다는 효소동력학 이론을 제시한 바 있다.

또한 Monod [16]는 미생물 성장과 기질이용의 실질적 관계를 제시하고 Lawrence [17]는 이를 수식화하여 다음과 같이 나타내었다.

$$\left(\frac{\Delta X}{\Delta t}\right)_{\text{reactor}} = Y \left(\frac{\Delta S}{\Delta t}\right) - bX_a + \frac{Q}{V_t}(x_t - x_0) \quad (4)$$

여기서 정상상태하에서는 $\frac{\Delta X}{\Delta t} = 0$ 이므로 식 (4)는

$$Y \left(\frac{\Delta S}{\Delta t}\right) - bX_a = \frac{Q}{V_t} x_0 \text{가 된다. 따라서 } \Delta X / \Delta t \text{ 값은}$$

실제로 $Q/V_t \times x_0$ 에 해당된다.

반응기내에서 전자 수용체인 산소는 반응기를 통과하는 동안 대단히 빠르게 소모되며 그 속도는 Table 8에서 0.01~0.03 mg/l·sec로서 Eckenfelder [18] 등이 제시한 실험값 0.0046~0.022보다 큰 값을 나타내어 유동층 반응기의 우수성을 나타내고 있다.

유동층 공정에서 요구되는 산소량을 계산하기 위하여

$$\frac{\Delta O_2}{\Delta t} = a' \frac{\Delta S}{\Delta t} - b' X_a \quad (5)$$

Table 8. Tabulation of experimental results.

Date	Feed rate (l/day)	X _a (g)	$\Delta s/\Delta t$ (g/day)	$\frac{\Delta s/\Delta t}{X_a}$ perday	$\Delta x/\Delta t$ (g/day)	$\frac{\Delta x/\Delta t}{X_a}$ perday	$\Delta O_2/\Delta t$ (g/day)	$\frac{\Delta O_2/\Delta t}{X_a}$ perday	$\frac{\Delta O_2}{\Delta t}$ (mg/l·sec)
'85. 8/ 3	42	47.5	8.4	0.16	4.1	0.085	0.8	0.016	0.01
8/10	65	30	13	0.43	6.6	0.21	1.6	0.052	0.0196
8/16	80	64	16	0.25	8.0	0.12	1.69	0.0304	0.0212
8/22	86	64.8	16.3	0.26	8.3	0.13	2.04	0.032	0.0228
8/31	86	62	17.3	0.28	8.3	0.14	2.08	0.0344	0.0240
9/5	66	65	13.2	0.23	6.6	0.1	1.6	0.024	0.0163
9/11	82	65	14.4	0.22	7.2	0.11	1.68	0.0256	0.022
9/20	96	64.4	19.2	0.29	10	0.16	2.4	0.0376	0.03

식 (5)에서의 $\frac{\Delta O_2}{\Delta t}/X_a$ 와 $\frac{\Delta S}{\Delta t}/X_a$ 의 관계자료를 Fig. 3에 도시하였다.

여기서 a' , b' 값을 구할 수 있으며 그 값은 각각 0.146, 0.07로서 Butts등[19]의 유동층 연구에서 얻은 값 0.17, 0.07과 비슷한 값이었다. 여기서 $\frac{\Delta O_2}{\Delta t}$

값은 반응기에서 하루동안 소모한 산소량을 뜻한다.

생물학적 처리공정에서 중요한 인자는 반응기내에 존재하는 미생물의 성장속도인데 이것은 기질 제거 속도와 BVS에 좌우되며 (4)식을 이용하기 위해

$\frac{\Delta X}{\Delta t}/X_a$ 와 $\frac{dS}{dt}/X_a$ 의 관계자료를 Fig.4에 도시하였다.

여기서 $Y=0.475$, $b=0.05$ 의 값을 얻을 수 있는데 Lawrence 등[17]은 각각 0.37, 0.03의 값을 얻었다. 이상에서 사용한 자료는 Table 8과 같다.여

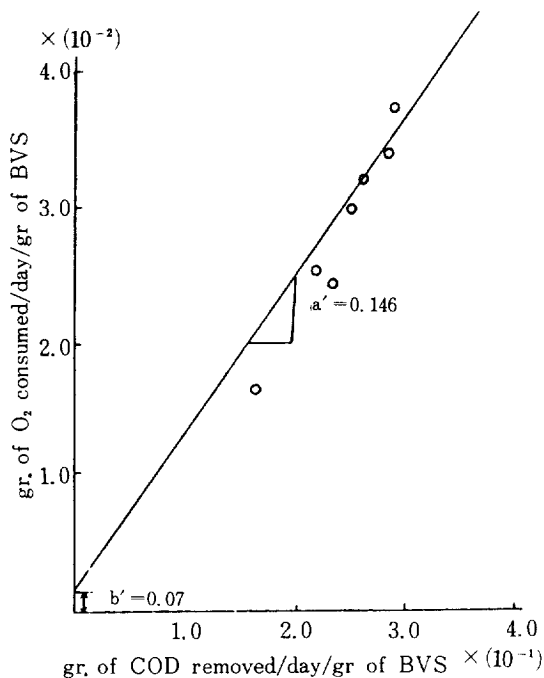


Fig. 3. Determination of oxygen utilization coefficient.

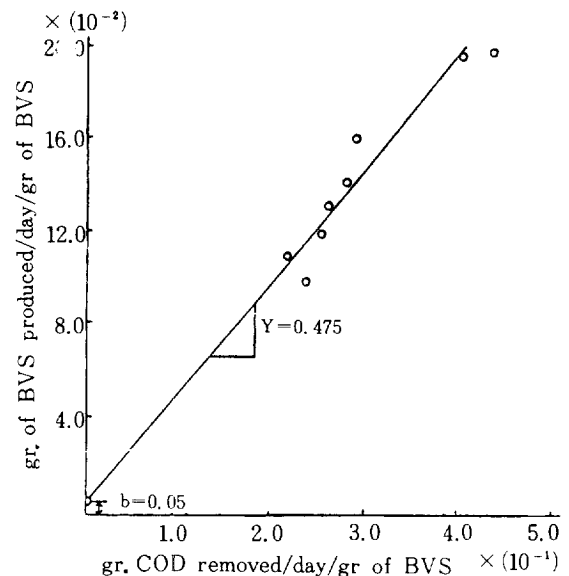


Fig. 4. Determination of cell yield coefficient and endogenous respiration rate.

기서 Table 8에 나타낸 $\frac{\Delta S}{\Delta t}$, $\frac{\Delta X}{\Delta t}$ 는 각각 1일동안의 처리된 기질양(유기탄소+질소) 및 1일동안의 미생물 생성량을 뜻한다.

4-4. 미생물에 의한 탄화수소 제거속도와 질산화 반응속도

생물학적 유동층에 의한 탄화수소 제거속도(K_1)와 질산화 반응속도(K_2)에 관한 물질수지 모델은 Fig. 5와 같다.

일반적으로 유기물 제거속도식은 일차반응에 따르므로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = K_1 \times S_t : \text{mass balance (Kinetics)} \quad (6)$$

$$Q_{s0} - Q_{se} = K_1 \times V_r S_e : \text{perfect mixing reaction equation} \quad (7)$$

$$\frac{Q}{V_r} (S_0 - S_e) = K_1 \times S_e$$

$$Q/V_r = td : \text{resistance time} \quad (8)$$

$$\frac{S_e}{S_0} = 1/(1 + K_1 \times td)$$

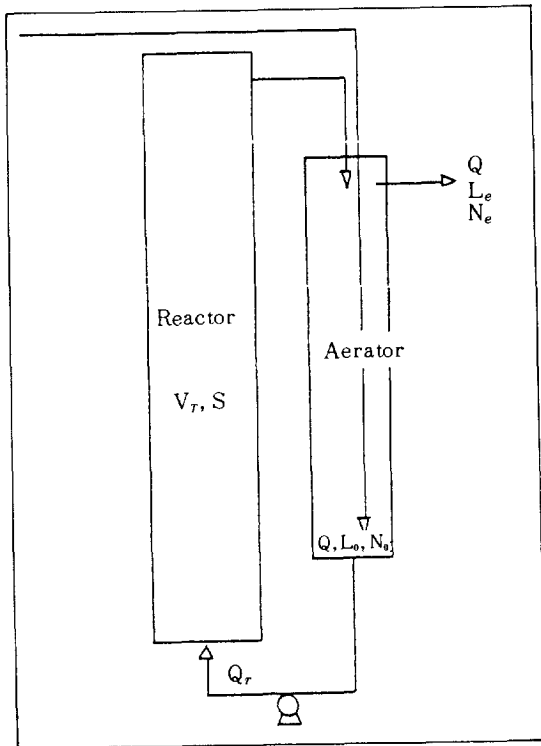


Fig. 5. Material balance of BFB process.

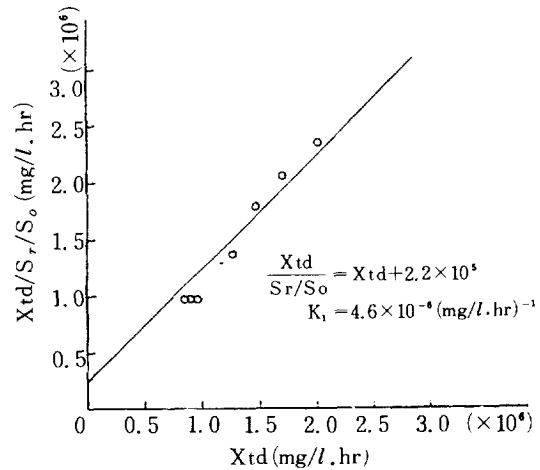


Fig. 6. Performance of TOC removal by BFB.

$$S_0 - S_e = S_r$$

$$S_r/S_0 = K_1 \times td/(1 + K_1 \times td) \quad (9)$$

이 식은 Eckenfelder[18]가 완전 혼합 연속계를 가정하여 얻은 정화 이론식과 같다.

식(9)를 변형하면

$$X_{td}/S_r/S_0 = \frac{1}{K_1} + X_{td} \quad (10)$$

식(10)에서 X_{td} 와 $X_{td}/S_r/S_0$ 의 관계를 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있으며 여기서 유기물 제거속도 상수(K_1)를 구할 수 있으며 Fig. 6에서 $K_1 = 4.6 \times 10^{-6}$ (mg/l.hr)⁻¹이다. 같은 방법으로 질산화 반응관계도 식(7)과 같은 1차반응 기구에 따르므로 탄화수소 제거 이론식과 같은 방법으로 전개하여 정리하면,

$$N_r/N_0 = K_2 \times td/(1 + K_2 \times td) \quad (11)$$

$$X_{td}/N_r/N_0 = \frac{1}{K_2} + X_{td} \quad (12)$$

식(12)에서 $X_{td}/N_r/N_0$ 와 X_{td} 의 관계를 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 질산화 반응속도 상수(K_2)를 구할 수 있으며 Fig. 7에서 $K_2 = 1.56 \times 10^{-6}$ (mg/l.hr)⁻¹이다.

위 K_1 , K_2 값을 비교하면 유기물 제거속도가 질산화 반응속도보다 약 3배정도 큰 것을 알 수 있다. 그리고 橋本 등[20]의 활성 슬러지 연구에서 얻은 값 3.65배보다 낮은 값으로 나타났는데 이 뜻은 활성 슬러지법보다 생물학적 유동층에 의한 질산화 미생물의 성장이 우수하다는 의미이다.

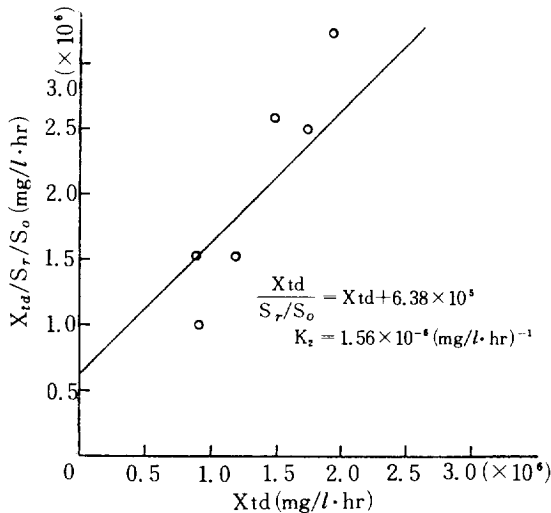


Fig. 7. Performance of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal by BFB.

5. 결 론

생물학적 유동층 반응기를 이용한 합성페수의 질산화 반응을 연구하기 위하여 연속식 4단계 생물학적 유동층 반응기를 고안하고 이를 이용하여 정화조 유출수중 질소성분 제거연구의 일환으로 질산화 반응을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 질산화 반응은 단계적으로 일어나는 것으로 밝혀지고 생물학적 유동층을 연속식 공정으로 채택함으로써 그 처리가 가능하였다.

2. 모래를 미디어로 한 유동층의 유효속도는 12~35 cm/min 였다.

3. 4 단계 생물학적 유동층 반응기에서 질산화 반응은 1, 2 단계에서는 적게 일어나는 반면, 3, 4 단계에서는 88~97%가 이루어졌다.

4. 질산화 반응율은 순환비 30 부근에서 90% 이상이었으며 이때 반응기내의 흐름형태는 완전 혼합류로 가정하였다.

5. 유동층 반응기내의 미생물과 산소전달 관계에서 다음과 같은 동력학 계수를 얻으므로써 재래식 공정보다 우수함을 보여주었다.

산소 소모속도 = 0.01~0.03 mg/l·sec

$Y = 0.475$

$b = 0.05$

$a' = 0.146$

$b' = 0.07$

6. 유기물 제거속도와 질산화 반응속도의 비는 약 3 : 1이었다.

감 사

본 연구는 1985년도 한국과학재단의 지원에 의하여 연구되었으며 당재단의 연구비 지원에 감사드립니다.

NOMENCLATURE

- a' : Oxygen utilization coefficient, mass of oxygen utilized per mass of substrate removed, MM^{-1}
- b : microorganism decay coefficient, T^{-1}
- b' : endogenous oxygen utilization coefficient, T^{-1}
- $\Delta\text{O}_2/\Delta t$: change in oxygen concentration per day, MT^{-1}
- $\Delta S/\Delta t$: rate of microbial substrate utilization per unit of reactor, $\text{ML}^{-3} \text{T}^{-1}$
- $\Delta X/\Delta t$: net growth rate of microorganisms per unit volume of reactor, $\text{ML}^{-3} \text{T}^{-1}$
- E : enzyme concentration, ML^{-3}
- E_0 : initial enzyme concentration, ML^{-3}
- E_s : enzyme-substrate complex concentration, ML^{-3}
- k : substrate utilization rate, T^{-1}
- k_1 : reaction rate constant, $(\text{ML}^{-3} \text{T}^{-1})^{-1}$
- k_2 : reaction rate constant, $(\text{ML}^{-3} \text{T}^{-1})^{-1}$
- K_m : Michaelis constant, ML^{-3}
- L : TOC concentration, ML^{-3}
- S_0 : TOC concentration, ML^{-3} [4-(7)-(13)]
- S_e : TOC concentration in effluent, ML^{-3} [4-(7)-(13)]
- S_r : TOC concentration removed, ML^{-3} [4-(7)-(13)]
- dS/dt : TOC removal rate, $\text{ML}^{-3} \text{T}^{-1}$
- S : substrate concentration (organic and nitrogenous substance), ML^{-3}
- t_d : detention time
- V_t : tank volume Total reactor volume, L^3
- N_0 : $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration produced (mg/l), ML^{-1}
- N_r : $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration removed (mg/

1), ML^{-1}

Q : volume of influent (ml/day), L^3T^{-1}

X_a : average volatile solids concentration, ML^{-3}

x_i : microorganism concentration in influent, ML^{-3}

x_o : microorganism concentration in effluent, ML^{-3}

Y : growth yield coefficient, MM^{-1}

REFERENCES

1. Sutton, P.M., et al.: *J. of WPCF*, **47** (11) (1975).
2. Bansal, M.K.: *J. of WPCF*, **48** (10) (1976).
3. Miller, D.G.: "Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Waste water", WRC, pp. 35 (1980).
4. Jeris J.S., et al.: *J. of WPCF*, **46**, pp. 2118-2128 (1974).
5. 정우철, 김환기, 이복열: 대한환경공학회지, 5 권, 2 호 (1983).
6. 김환기, 이영동: 대한토목학회지, 3 권, 2 호 (1983).
7. 정우철, 김환기, 이복열: 한국화학공학회지, 23 권, 6 호 (1985).
8. Painter, E.A.: *Prog. Wat. Tech.*, **8** (4/5) pp. 3-29 (1977).
9. Jeris, J.S., et al.: *J. of WPCF*, **49**(5). 816 (1977).
10. Nutt. S.G., et al.: *J. of WPCF*, **56**(7) (1984).
11. APHA-AWWA-WPCF: "Standatd Methods for Examination of water and waster water," APHA-AWWA-WPCF, 15th ed., (1981).
12. Cooper P.F. (editor): Glossary of terma, BFB treatment of water and waste water, WRC (1981).
13. Shieh, W.K.: *J. of WPCF*, **53** (11) (1981).
14. Barnes, D. and Bliss, P. J.: "Biological Control of Nitrogen in Waster water Treatment", E. & F. N. SPON, pp. 25 (1983).
15. Mahler, H. and Cordes, E.: "Biological Chemistry", New York, Harper and Row (1971).
16. Monod, J.: *Annals Institute Pasteur*, **79** (1950).
17. Lawrence, A.W. and McCarty, P.L.: *J. of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, **96** (SA3) (1970).
18. Eckenfelder, W.W. and Connor, D.J. O.: "Biological Wastewater Treatment", Pergamon Press (1961).
19. Butts, J. E., et al.: "Processings 32nd Purdue Industrial waste Conference" (1977).
20. 橋本 獎, 古川憲治: 하수도협회지, **14** (152) (1977).