

호기성 고율 안정조에서 빛의 조사 기간과 pH가 조류의 영양물질 제거에 미치는 영향

공석기* · 안승구

서울시립대학교 환경공학과 · 중부대학교 환경공학과
(1996년 10월 2일 접수)

Effect on Nutrients Removal of Algae in Aerobic High Rate Pond by Irradiance Period and pH

Surk-Key Kong* and Seung-Koo Ahn

Dept. of Environmental Engineering, Seoul City University

* *Dept. of Environmental Engineering, Joongbu University*

(Manuscript received 2 October 1996)

The pilot plant had been made so as to be an association system from the various items managed to have degrees of efficiency and it have been done to consider the experimental result with irradiance period and pH influence of all major things to treatment function of Waste Stabilization Pond. The results are as following.

The attained results for continuous & cyclic irradiance

1. 24L.-reactor was prior to 12L.-12D.-reactor on oxygen generation & algal production ability.
2. 24L.-reactor was prior to 12L.-12D.-reactor on nutrients removal efficiency.
3. In 24L.-reactor it maintained 5 mg/L~6 mg/L, DO concent. enough to a fish's survival.

The attained results for pH condition

1. Oxygen generation & algal production in pH 4-reactor were higher than those in pH 10-reactor.
2. The acidic condition at pH 4 and alkalic condition at pH 10 did not so much affect an algal growth and nutrients removal.

The attained results for whole

1. In view of the results appeared as [(NH₃-N)+(NO₃-N)] removal efficiency, 89.1%~93.9% and PO₄-P removal efficiency, 34.3%~83.7% & COD removal efficiency, 88.5%~93.9%. It is possible to treat the wastewater with starch and pH which have been known as the difficult problem.
2. At the point of non using methanol to nitrificate NO₃-N, the nutrients removal method by using an algal growth is the most economical method in the whole nutrients removal methods.
3. The nutrients removal method by using an algal growth contributes to natural ecosystem.
4. The nutrients removal method by using an algal growth is excellent in the prevention against the eutrophication.

Key words : Pilot plant, Irradiance period, pH condition, starch wastewater, The most economical method, To contribute to natural ecosystem, Eutrophication

1. 서 론

조류는 자연계에서 가장 큰 수질오염 현상인 부영양화 현상의 발생주체 미생물이고 진핵 세포체로써 빛을 이용하여 탄소동화작용을 하는 미생물이므로 자연계에서 막대하게 생산되는 이러한 조류의 인공적 성장조절이 가능하다면 수질오염중에서 특히 부영양화 현상을 일으키는 영양물질의 제거에서 얻는 효과가 대단히 클것이다.

호기성 고율 안정조 공법의 폐수처리 운용 목적은 조류생산을 최적화함으로써 단백질 수확을최대화하고 이를 통한 용존 유기성 폐수의 분해와 처리에 있다. 현재 전분폐수가 난분해성 용존 유기물 폐수로 알려져 있으며 일반 도시하수에서 약 200 - 500mg/L의 농도로 존재한다. 그러나 조류세포에는 조류의 생산 저장물질로 라멜라 구조의 전분입자가 존재하고 있어 조류가 이들을 세포합성하는 데에 있어 생화학적으로 유리하다는 장점이 있다. 그리고 일반적인 생물학적 탈질산화 프로세스로써 기존의 활성슬러지법과 생물막법 등에서는 탄소원으로 메탄올을 사용하는 예를 보아서도 알 수있듯이 영양물질을 제거함에 있어서 많은 비용이 든다는 단점을 안고 있다.

조류성장의 가장 큰 영향인자는 빛의 세기와 수온, 그리고 NH₃-N, NO₃-N 및 PO₄-P등의 영양물질이다. 이와같이 알려진 조류의 성장특성을 이용하여 국, 내외의 여러 학자들이 조류를 이용한 폐수처리가능성을 모색한 바 있으나 이들은 대부분 현장운전위주의 설명으로써 실험실적 규모의 조류성장 극대화를 통한 안정조의 처리기능을 우선적으로 모색하여 총체적으로 이용함에 미흡하였다.

이런 점들에서 본 연구에서는 그동안 문헌상으로 고율안정조가 최대효율화를 이루도록 조치된 제반 사항들을 하나의 조합체계를 이루도록 pilot plant를 제작하여 이를 호기성 고율 안정조(AHRP, Aerobic High Rate Pond)라 명명하고 이 공법의 처리기능에 크게 영향을 미치는 주요 영향인자중 빛의 조사기간과 pH가 미치는 영향에 대하여 실험적으로 고찰하여 보았다.

2. 실험

2.1 실험의 개요

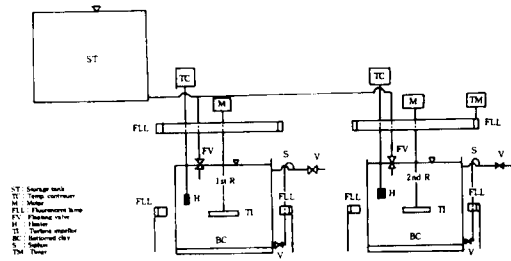


Fig. 1. Schematic diagram of pilot plant.

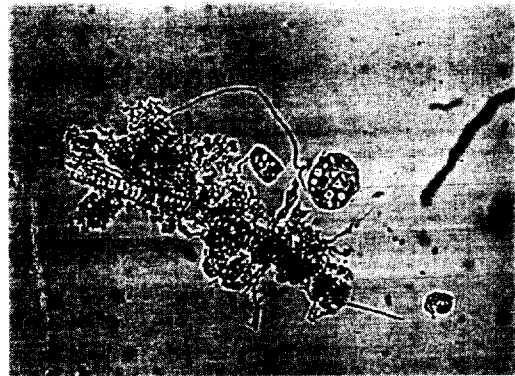


Fig. 2. Algal features after culture.

2.1.1 실험용 파일럿 플랜트 제작

본 연구를 위하여 철제 앵글로 다음 Fig.1과 같은 실험용 pilot plant를 제작하였다.

2.1.2 조류 배양

본 실험을 위하여 Table.1 및 2의 배양조건으로 배양한 결과 Fig.2와 같은 연록색 조류,편모 조류속인 *Lepocinclism textra*와 녹색 조류속인 *Zygnema sterile*이 우점종 조류종으로 나타났다.

2.1.3 바닥 진흙

본 연구를 위하여 금강 하류 퇴적층의 clay를 채취하여 상온에서 건조한 후 분쇄하여 분말로 만들어 사용하였다.

2.1.4 인공합성폐수

실험을 위하여 다음 Table 3과 같은 성분으로 인공합성폐수를 제조하였다.

2.1.5 순응 및 운전

우선 반응조바닥에 제조된 clay를 3cm두께

호기성 고율 안정조에서 빛의 조사시간과 pH가 조류의 영양물질 제거에 미치는 영향

Table 1. Culture conditions of algae biomass

Items	Specifications
Sampling place	An upper stream of Paldang Lake in Han river
Period	1 month
Intensity of illumination on water surface	3000LUX
Water temperature	25°C
Agitation velocity	50rpm

Table 2. Nutrients composition of synthetic culture for Algae cultivation per 64L

Nutrients	Chemicals	Amounts
Macro nutrients	KNO ₃	5.12g (80mg/L)
	K ₂ HPO ₄	0.72g (11.25mg/L)
	KH ₂ PO ₄	0.54g (8.44mg/L)
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	16.00g (250mg/L)
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.99g (15.47mg/L)
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.26g (4.06mg/L)
	NaHCO ₃	10.75g (167.97mg/L)
Micro nutrients	Na ₂ EDTA	3.20g (4.88mg/L)
	MnSO ₄ ·H ₂ O	0.09g (1.41 μg/L)
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	12.80mg (0.2mg/L)
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	5.12mg (0.08mg/L)
	H ₃ BO ₃	0.20mg (3.13 μg/L)
	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₄ ·4H ₂ O	8.32mg (0.13mg/L)
	CoCl ₂ ·6H ₂ O	2.56mg (0.04mg/L)

Table 3. Composition of synthetic wastewater used in this study

Components	Concentration (mg/L)
Starch	300 (300mg COD _{Cr} /L)
(NH ₄) ₂ CO ₃	102.9 (30mg NH ₃ -N/L)
Na ₂ HPO ₄	41.4 (9mg PO ₄ -P/L)
MgSO ₄ ·7H ₂ O	250
CaCl ₂ ·2H ₂ O	15.47
Fe ₂ (SO ₄) ₃	4.06
NaHCO ₃	167.97
Na ₂ EDTA	4.88
MnSO ₄ ·5H ₂ O	1.41 x 10 ⁻³
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.2
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08
H ₃ BO ₃	3.13 x 10 ⁻³
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₄ ·4H ₂ O	0.13
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.04

로 깔아놓고 인공합성폐수 64L를 유입시킨 후 인공배지에 적응된 조류를 0.47mg/m³가 되도록 반응조에 주입하고 바닥 clay와 인공주입한 조류와의 공생작용이 원활할 경우 유출수의 DO, pH가 상승하게되는 순응기간을 탐색하였다.

그리고 반응조 바닥으로부터 23cm위의 중

앙지점에 turbine impellor(10cm,L.×3cm,W.)가 위치하도록 하였고 수면높이가 항상 43cm로 유지되도록 자동수위조절밸브를 설치하였다. 아울러 수표면의 조도가 항상 3000LUX가 되도록 조명기구와 수표면과의 거리를 조절하였고 조사시간의 조건을 주기위해 자동timer를 설치하였으며 pH조건을 주기위해 NaOH와

Table 4. Operation conditions compared

Items	Conditions	Detention time	Remarks
Irradiance period	12L.(lighting period)-12D.(dark period) per day & 24L.(lighting period) per day	10days	Agitation velocity:15rpm.
pH	Acidic pH:4.0 Neutral pH:7 Alkalic pH:10	10days	Agitation velocity:30rpm. Turbidity increased at 45rpm

Table 5. Analytical methods & instrument

Items	Analytical methods & measuring instruments
Temperature	Thermometer
Illumination	Illuminator(Model DM-28.Takemura,Japan)
pH	pH meter(Accument 550)
DO	DO meter(YSI model 51B).Azide modification
COD _{cr}	Standard methods 18th-5220(Open reflux method)
NH ₃ -N	Standard methods 18th-4500(Phenate method)
NO ₃ -N	Brucine method(KSM)
PO ₄ -P	Standard methods 18th-4500(Stannous Chloride method)

Table 6. Light & dark reaction for continuous irradiance & periodical irradiance

irrad. classification	reaction		reaction place
	light	dark	
continuous	light	during light.period	on water surface
	dark	during light.period	under water surface
periodical	light	during light.period	on water surface
	dark	during light.period	under water surface
		during dark period	on water surface & under water surface

H₂SO₄로 반응액의 pH를 조절하였으며 수온이 항상 25℃가 되도록 자동온도조절장치를 설치하였다. 그리고 위의 사항들을 매일 오후 2시에 점검하여 조정하였다.

그리고 유출구에서 유출수를 매일 1L씩 채취한 후 원수유입조의 유입수를 끌고루 혼합, 분산시켜서 반응조로 유입시켰고 채취한 시료는 standard method(American Public Health Association and American Water Works Association and Water Environment Federation, 『Standard Methods』, 1992., pp.1-18 ~ 1-31)에 따라 보 관하였다.

운전조건은 다음 Table 4와 같다.

2.1.6 분석방법

순응기간이 끝난 후, 채취한 시료를 Whatmann GFC filter(φ, 1.2μm)로 여과하여 다음의 Table 5와 같은 방법으로 분석하였다.

3. 실험결과와 분석

3.1 조사기간

본 반응조에서 조사기간이 미치는 영향은 (1) 연속조사와 주기적 조사에 따르는 조류성장의 비교 (2) (1)에 따르는 영양물질 제거비교의 관점에서 행해졌다.

1) 광합성작용

조류성장은 광합성작용의 명반응과 암반응을 통하여 이루어진다. 명반응은 광에너지를 이용

Table 7. Concentration of initial nutrients in reactor

Time(days)	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Total inorganic N	PO ₄ -P	COD
0	23.4	28	2.0	53.4	5.6	
1	17.4/19.0	21.9/17.5	1.5/1.5	40.8/38	9.6/8.9	75.4/69.0

하여 세포핵산대사를 이름으로써 나타나는 ATP합성반응이고 암반응은 명반응을 통하여 생성된 ATP와 NADH 를 이용하여 CO₂를 세포로 동화하는 반응이므로 조류성장의 결과는 명반응을 통한 암반응의 결과로써 암반응은 Chl.-a가 이용할 수있는 빛의 파장범위(680~685nm)와 에서도 이루어 진다.

연속적으로 교반이 이루어지고 있는 본 반응조에서의 연속조사와 주기적 조사에 따르는 명반응과 암반응은 Table 6과같이 나타내어진다.

자연계의 수환경에서 이른바 algal blooming으로 나타나는 조류성장은 광합성작용의 명, 암 반응의 결과인데 특히 조류의 세포증식속도가 다른 미생물의 세포증식속도보다 월등하므로 비롯되는 현상인 바 조류의 세포증식은 동조적 세포분열로써 주로 녹색편모조류, 황갈색편모조류의 능동적 평면, 입체파동운동에 기인한다. 조류성장은 이러한 독특한 조류세포체의 운동에 따라 활발하게 이루어지는 영양물질섭취의 생화학적 1차반응이다.

3.1.1 유입시료의 화학적 변화

최초, 원수조로부터 반응조로 유입된 시료는 용해도와 clay에의 흡착 및 질산화세균에 의한 질산화로 인하여 영양물질의 농도가 현저히 줄어든다. Table 7은 화학적 변화를 거친 유입시료의 영양물질농도이다.

3.1.2 반응액의 발색

12L.-12D.반응조와 24L.반응조내의 용액의 발색이 반응 3, 4일후부터 나타났으며 전자의 것은 회, 검정색으로부터 점차 청색으로 변화하였으며 후자의 것은 연녹색으로부터 점차 진녹색으로 변화하였다.

3.1.3 조류성장과 영양물질 제거

1. 영양물질 제거동력학

$$X_t = K_1 \cdot S \cdot S_m \cdot t + X_0 \quad \text{--①}$$

$$\ln S_t = -K_2 \cdot X_m \cdot t + \ln S_0 \quad \text{--②}$$

t:reaction time except adaptation period, day

X_t:Chl.-a concent.at t, µg/L

X₀:Chl.-a concent.at t=0, µg/L

S_t:N, P concent.at t, mg/L

S₀:N, P concent.at t=0, mg/L

X_m:mean of Chl.-a concent. through biochemical rxn., 1/2(X₀ + X_t), µg/L

S_m:mean of N, P concent. through biochemical rxn., 1/2(S₀ + S_t), mg/L

S:limiting N, P concent., mg/L

K₁:specific increasing velocity of Chl.-a, L/mg · day

K₂:specific removal velocity of N, P, mg/L · day

$$S = 1/t \cdot 2000 \sum_0^t (C_{es} - C_{os}) / (S_{ac} + S_{ao}) \quad \text{--③}$$

S:mean of COD removal rate per algal growth, mg COD/mg Chl.-a/day

t:reaction time except adaptation period, day

C_{es}:COD after t day, mg/L

C_{os}:COD at 1 day, mg/L

S_{ac}:Chl.-a after t day, mg/L

S_{ao}:Chl.-a at 1 day, mg/L

본 반응조에서 순응기이후의 비 조류성장 속도와 비 영양물질 제거 속도는 Monod식을 바탕으로한 ①식과 Michaelis-Menten식을 바탕으로한 ②식 그리고 Kuo식을 바탕으로 한 ③식에 의해 계산된다. 결과는 다음의 Table 8과 같이 나타났다

본 반응조의 시료,(NH₄)₂CO₃는 NH₄⁺-N로 이온화되어 음이온을 띄고있는 clay에 흡착된 채 교반을 통하여 공간적으로 균일하게 분산된다. 그리고 조류세포와의 접촉과정을 거쳐 조류세포핵산대사를 통한 오르토탄산의 산화와 환원에 따르는 이른바 protomotive force에 의해 N이온이 세포막을 통과한 후, 조류세포 합성과정을 거쳐 제거된다. 전 반응기간동안 탈질산화과정을 통하여 생성되는 NO₃-N 역시 조류세

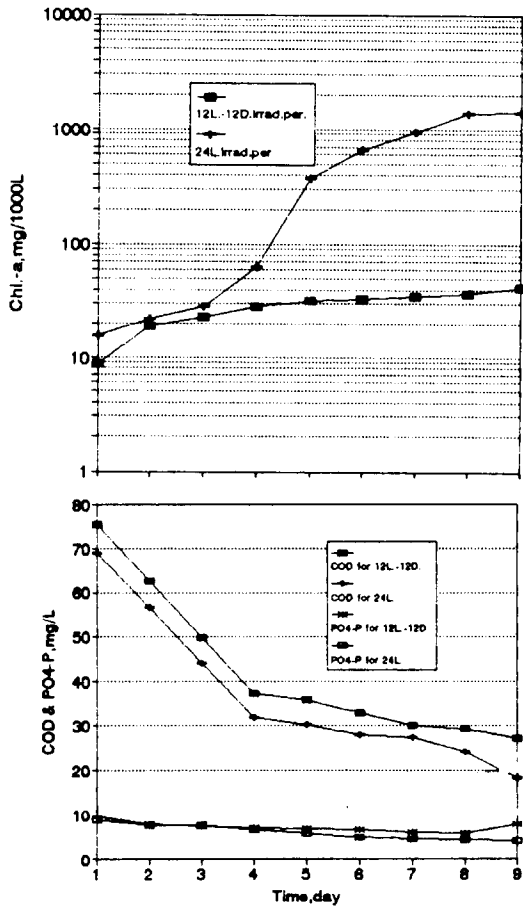


Fig. 3. Trend of algal growth & COD & PO₄-P removal per irradiance period.

포에 의해 흡수되어 제거된다. 시료 Na₂HPO₄는 orthophosphate 형태로서 역시 N과 같은 과정을 거쳐 제거되며 Starch는 가수분해를 통하여 당당류분자로 변하는데 바닥으로부터 분산된 clay에 흡착된 채 일부 침전되어 버리거나 골고루 분산되고 있는 clay의 floc. 속에서 세균세포와 당당류분자와의 접촉 및 흡착, 당당류분자의 세균세포벽 침투, 세균세포로의 합성기작으로 제거된다.

특히, 12L.-12D.반응조에서 반응기 전반에 걸쳐 점성도가 높은 액상고형물질이 출현하였는데 이는 starch의 응고현상에 기인하는 것이다. 그럼에도 불구하고 Chl.-a는 꾸준히 증가하고 있다. 순응기 이후, 본 반응조에서 pH값은 상승하는 것으로 나타나는데 이러한

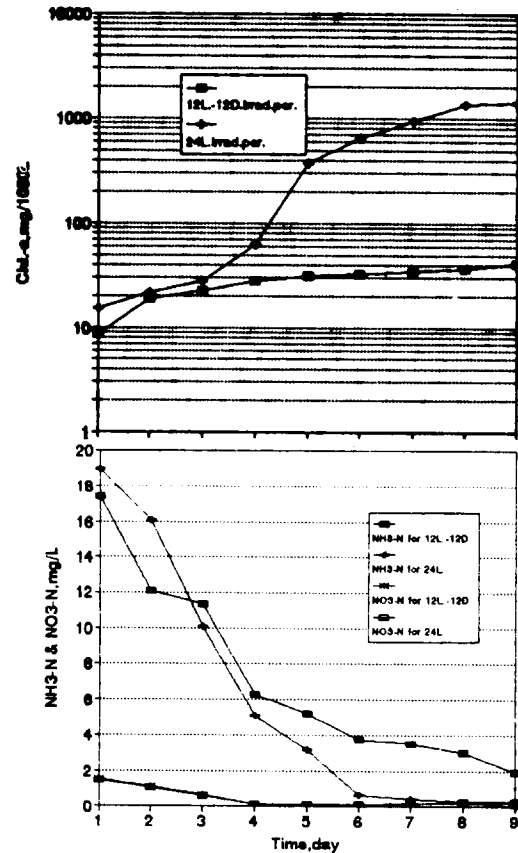


Fig. 4. Trend of algal growth & NH₃-N & NO₃-N removal per irradiance period.

변화는 ①NH₄⁺의 생물학적 산화에 따른 pH값의 저하 ②Starch의 생물학적 산화에서 생성된 CO₂와 반응액중의 CO₂가 Euglena sp.와 Zygnema sp.의 광합성작용에 이용됨에 따른 pH값의 상승에서 ②항이 ①항을 항상 상회하고 있어 pH값이 상승하는 요인에 기인한다.

12L.-12D.반응조의 경우 pH가 완만하게 상승하고 24L.반응조의 경우 pH가 급격히 상승하고 있는데 이는 24L.반응조에서의 조류가 12L.-12D.반응조에서의 조류보다 CO₂를 더욱 활발히 사용하고 있기 때문이다.

순응기 이후, 본 반응조에서의 DO값 역시 상승하고 있는데 이는 전적으로 조류의 광합성 작용에 기인하는데 12L.-12D.반응조의 경우, 반응 6일째부터 DO값이 상승하여 두 반응조의 영양물질 제거비교가 끝나는 시점에서 불과 1.2mg/L에 도달한데 비하여 24L.반응조의 경

호기성 고율 안정조에서 빛의 조사시간과 pH가 조류의 영양물질 제거에 미치는 영향

Table 8. Specific velocity of algal growth & nutrients removal (12L.-12D./24L)

Items	Specific velocity	Unit
Chl.-a	$8.38 \times 10^{-5} / 4.58 \times 10^{-3}$	L/mg day
N	5.93/0.70	day ⁻¹
P	1.48/0.10	day ⁻¹
COD	$6.00 \times 10^{-2} / 4.77 \times 10^{-2}$	mg/ μ g day

Table 9. Specific velocity of nutrients removal with continuous concept

Irrad.per.	q	Unit
12L.-12D.	102.99	mg/mg day
24L.	3.14	mg/mg day

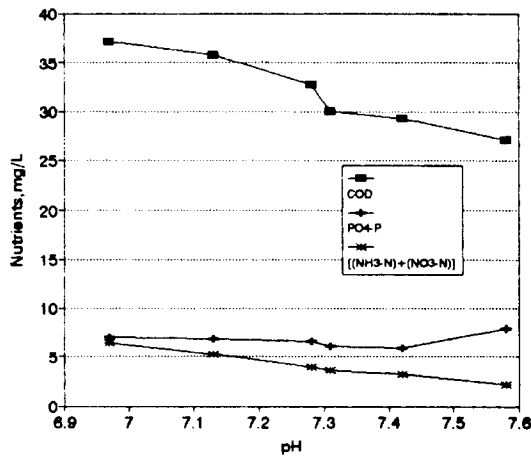


Fig. 5. Nutrients removal on pH variation for 12L.-12D. irradiance period.

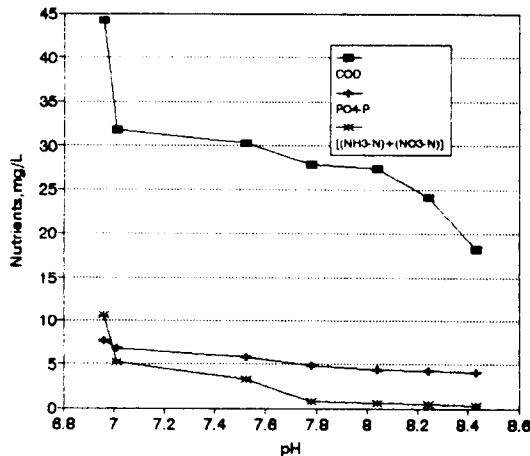


Fig. 6. Nutrients removal on pH variation for 24L. irradiance period.

우, 5.8mg/L에 도달하고 있다.

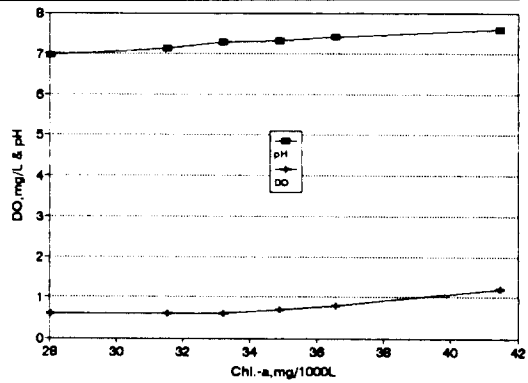


Fig. 7. DO & pH variation on algal growth for 12L.-12D. irradiance period.

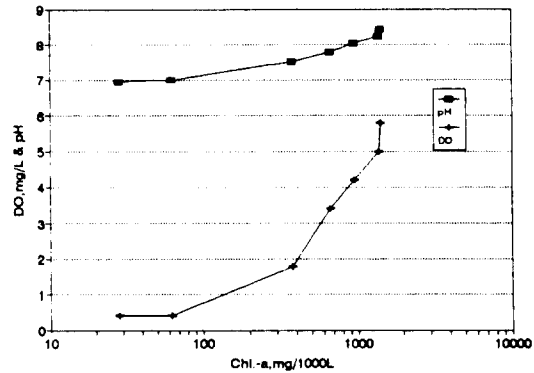


Fig. 8. DO & pH variation on algal growth for 24L. irradiance period.

본 반응조에서 N/P비가 16이하이므로 조류 세포의 성장은 N에 의해 지배되고 조류세포의 성장은 Chl.-a의 농도로 나타낼 수 있으므로 먼저 두 반응조내의 pH와 DO변화를 분석한 후 Chl.-a, NH₃-N, NO₃-N, T-P, COD의 변화를 차례대로 분석하였다. 결과는 Fig.3, Fig.4와 같다.

순응기를 포함한 반응 전기간을 통하여 처리가 종료된 시점에서 반응조에 연속반응개념의 물질수지원리를 적용한 ④식에 따라 계산한 COD의 비제거율은 Table 9와 같다.

$$q = 1000[Q(C_0 - C_e)] / S_a V_c \quad \text{--(4)}$$

Table 10. Result of regression analysis for nutrients removal on pH variation

Irrad.per	Items	Result
12L.-12D.	COD	COD=-17.7354·pH+161.1816,R ² =0.946111
	N	N=-7.10549·pH+55.85483,R ² =0.989208
	P	P=-2.56019·pH+26.00569,R ² =0.895203
24L.	COD	COD=-12.2516·pH+123.5805,R ² =0.784186
	N	N=-5.75674·pH+47.44127,R ² =0.758975
	P	P=-2.23407·pH+22.63785,R ² =0.937092

Table 11. Net specific O₂ production rate & specific O₂ utilization rate in reactor

Reaction time(day)	NOPR(mg O ₂ /mg Chl.-a day)	SOUR(mg O ₂ /mg Chl.-a day)
3	/0	/
4	0/3.73	0/-3.73
5	0/2.42	0/-2.42
6	2.87/0.85	-2.87/-0.85
7	2.74/0.58	-2.74/-0.58
8	9.66/0.57	-9.66/-0.57
Mean	3.05/1.36	-3.05/-1.36

Table 12. Specific velocity of algal growth & nutrients removal Alkaline cond. at pH 10/Acidic cond. at pH 4

Items	Specific velocity	Unit
Chl.-a	1.88*10 ³ /9.85*10 ⁴	L/mg·day
N	6.10/1.25	day ⁻¹
P	0.34/1.39	day ⁻¹
COD	70.74*10 ³ /24.36*10 ³	mg/μg·day

Table 13. Specific velocity of COD with continous concept

pH cond.	q	Unit
Alkalic at pH 10	18.10	mg/mg·day
Acidic at pH 4	12.54	mg/mg day

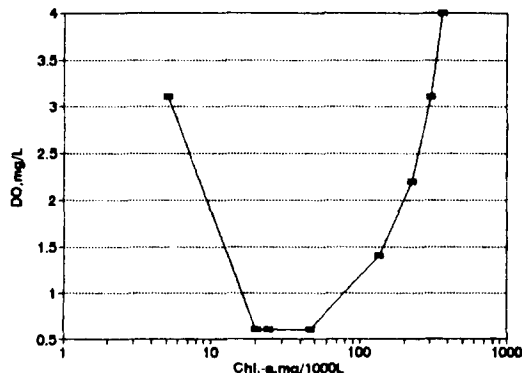


Fig. 9. DO variation on algal growth for Alkaline condition at pH 10.

q:specific removal rate of COD, mg/mg Chl.-a/day

Q:flow rate, L/day

C_o:influent COD concent., mg/L

C_e:effluent COD concent., mg/L

S_a:maximum Chl.-a concent., μg/L

V_c:volume of reactor filled with reaction water, 64L

2. 영양물질 제거와 pH변화

영양물질제거에 따르는 pH변화는 다음 Fig. 5, Fig.6과 같고 이를 regression analysis한 결과는 Table 10과 같다.

3. pH, DO변화와 조류성장

본 반응조의 pH, DO변화와 조류성장은 다음 Fig.7, Fig.8과 같고 순응기이후의 총 비 산소 생산율은 ⑤식에 의해 계산되며 비 산소이용율은 ⑥식에 의해 계산되는데 결과는 Table 11과 같다.

$$DO_p = (1/t) \cdot 1000 \sum_1^t (DO_i - DO_f) / S_a \quad --⑤$$

$$DO_u = (1/t) \cdot 1000 \sum_1^t (DO_i - DO_f) / S_a \quad --⑥$$

DO_p:DO produced, mg/L·day

DO_u:DO utilized, mg/L·day

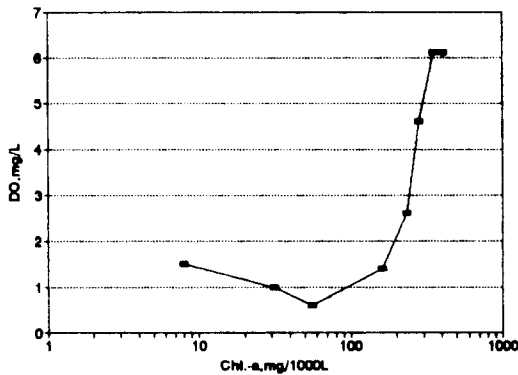


Fig. 10. DO variation on algal growth for Acidic condition at pH 4.

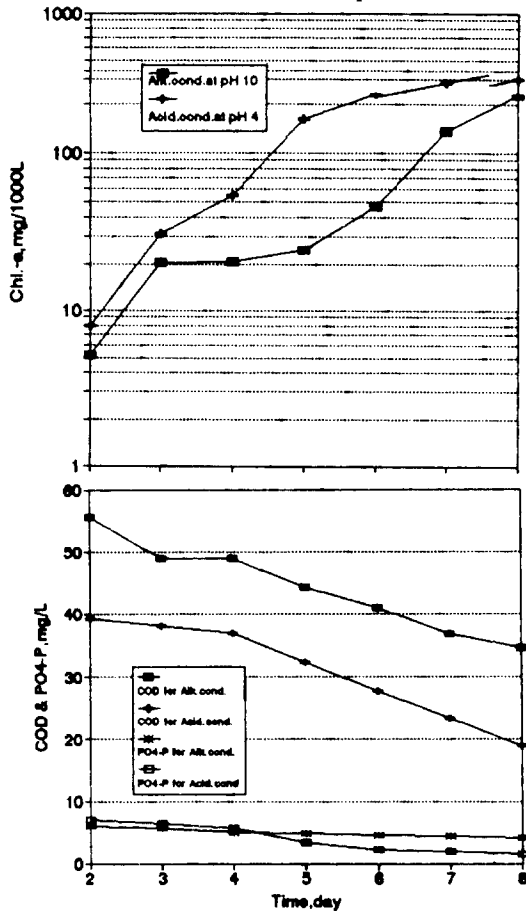


Fig. 11. Trend of algal growth & COD & PO₄-P removal per pH condition.

DO_i:initial DO, mg/L
 DO_f:final DO, mg/L
 S_a:Chl.-a, µg/L

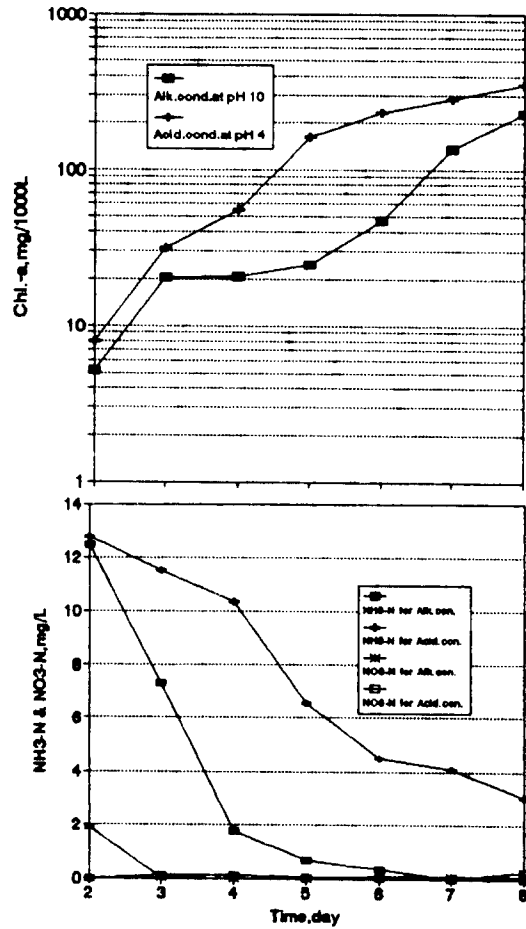


Fig. 12. Trend of algal growth & NH₃-N & NO₃-N removal per pH condition.

3.2 pH 조건

본 반응조에서 pH조건이 미치는 영향은 (1) 영양물질분자의 해리와 (2)조류의 효소촉매작용에 따른 영양물질제거의 관점에서 행해졌다.

1) 영양물질염의 해리변화

일반적으로 영양물질염은 산, 염기성분을 띠고 있으므로 유입수의 pH는 영양물질염의 해리에 커다란 영향을 미친다. 이는 용해평형상태에서 pH변화에 의한 H₃O⁺, OH⁻의 몰농도의 증감이 공통 이온 효과(common ion effect)로써 영양물질염의 일정한 용해도적을 변화시키기 때문이다.

Table 14. Net specific oxygen production rate & specktic oxygen utilization rate in reactor (Alkaline. cond./Acid. cond.)

Rxn. time(day)	NOPR(mg O ₂ /mg Chl. -a' day)	SOUR(mg O ₂ /mg Chl. -a' day)
3	0 /	0 /
4	0 / 4.98	0 / -4.98
5	0 / 5.18	0 / -5.18
6	5.87 / 7.09	-5.87 / -7.09
7	3.49 / 4.28	-3.49 / -4.28
Mean	1.87/ 5.38	-1.87 / -5.38

Table 15. Nutrients removal efficiency in reactor (Unit : %)

Reactor	T-N	T-P	COD
Periodical for 12L. -12D.	92.9	34.3	91.0
Continuous for 24L.	99.0	52.3	93.9
Alkalic at pH 10	99.9	55.1	88.5
Acidic at pH 4	89.1	83.7	93.7

2) 조류의 효소촉매작용변화

적용 pH범위에서 조류의 세포벽과 세포막은 세포주위의 급격한 pH변화에도 불구하고 원형질체의 pH를 항상 중성으로 유지하도록 환경에 순응하며 화학적삼투(chemiosmotic)를 통하여 ATP합성을 수행한다. 그러나 계속적인 유입수의 pH변화는 조류의 효소단백질 분자들의 구성성분인 아미노산의 zwitterions를 해리시켜 효소를 이온상태에 존재하게 하여 각 효소마다 최적활성 pH조건을 갖게 하지만 결국 조류의 효소 단백질의 활성성분을 상실하게 하여 조류의 효소 촉매작용은 정지하게 된다.

3.2.1 반응액의 발색

알칼리조건 반응조와 산성조건 반응조의 발색이 각각 반응일 3, 4일째부터 나타났는데 최초 연녹색으로 부터 점차 진녹색으로 변화하였다. 반응이 진행되는동안 산성조건 반응조의 것이 알칼리 조건의 것보다 짙게 나타났다.

3.2.2 조류성장과 영양물질제거

1. 영양물질 제거동력학

①, ②, ③식에 의하여 계산된 결과가 다음의 Table 12와 같다.

순응기를 포함한 반응 전 기간을 통하여 처리가 종료된 시점에서 반응조에 연속반응개념의 물질수지원리를 적용한 ④식에 따라 계산

한 COD의 비 제거율은 다음의 Table 13과 같다.

2. DO변화와 조류성장

본 반응조의 DO변화와 조류성장은 다음의 Fig.9, Fig.10과 같다.

알칼리조건에서 3일동안의 순응기이후 4일간의 지체적 성장을 나타냈고 이후 급속한 성장을 나타냈다. 산성조건에서는 4일간의 순응기가 지난 후 곧장 급속성장을 나타냈다. 이에 따라 산성조건의 영양물질제거가 알칼리조건의 것보다 높게 나타났으며 COD는 양 반응조에서 동일하게 꾸준히 감소하는 추세를 나타냈다. 그리고 상기의 조류성장특성에 따라 알칼리조건의 DO가 지체적 성장 내내 0.6mg을 나타내다가 반응 10일째가 되어서 4.0mg/L로 나타났으며 산성조건에서는 순응기가 끝난 후 최초 0.6mg/L를 나타내다가 반응 9일째에 6.1mg/L를 나타내었다.

본 실험에서 두 반응조의 N/P비가 16이하로써 조류세포 성장이 N에 의해 지배되므로 우선 두 반응조의 DO변화를 관찰한 후 NH₃-N, NO₃-N, T-P, Chl.-a, COD의 변화를 차례대로 관찰 하였다. 결과는 Fig.11, Fig.12와 같다.

⑤식에 의한 순응기 이후의 총 비 산소생산율(Net specific oxygen production rate, NOPR)과 ⑥식에 의한 비 산소이용율(Specific oxygen utilization rate, SOUR)은 다음의

Table 14와 같다.

4. 고 찰

본 반응조에서 조류의 성장이 조사시간에 따라 크게 차이가 나타나고 있지만 영양물질의 제거가 그다지 크게 차이나지 않고있다. 이 이유를 광합성의 명, 암반응으로 설명할 수 있는데 이는 암반응이 반드시 빛이 없어야만 이루어지는 것이 아니기 때문이다.

반응조에 분산매체로 이용되고있는 clay의 역할은 반응조내에서 dead space가 생성되지 아니하도록 할 뿐만 아니라 분산된 clay입자와 성장하는 조류세포체와 영양물질 입자간의 접촉이 강화되어 공생반응과 조류 응집침전을 촉진시키는 것이다. 이는 24L.반응조에서 반응 10일째부터 침전현상이 발생하는 것으로 나타났다.

반응조에서 특히 발색현상이 강하게 나타났고 Chl.-a농도가 증가할수록 NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P의 농도가 감소하다가 반응 8, 9일을 기점으로 오히려 증가하였는데 이는 하부로부터 영양물질이 용출되는 현상에 기인한다.

그리고 COD가 순응기이후 성장기에 비교적 급격히 감소하는 추세를 나타내고 있는데 이는 시료의 starch가 ①분산매체인 clay와 흡착되어 ②clay에 흡착된 채로 세균과 조류와의 생화학적 공생작용을 함에 있어서 시료의 starch가 조류세포체의 starch로의 합성에 동일한 분자구조를 이루게하는 생화학적 반응의 merit를 제공하고있기 때문인 것으로 사료된다.

pH변화에 따르는 조류성장과 영양물질제거를 염효과와 Michaelis-Menten의 논리로 보면 pH변화는 영양물질제거속도에 그다지 큰 영향을 미치지않는다.이는 본 실험에서 pH 4와 pH 10의 조건에서도 조류성장이 그다지 크게 영향을 받지 않는 것으로 증명되었다.

반응이 종료된 시점에서 NH₃-N의 농도와 NO₃-N농도의 합으로 본 실험에서의 T-N제거효율을 나타낼 수 있고 반응조내의 PO₄-P농도의 변화가 T-P농도의 변화이므로 반응이 종료된 시점의 영양물질제거효율이 Table 15와 같이 나타난다.

5. 결 론

조사시간에 따른 두 반응조의 운전결과로써 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 24 L.반응조가 12L.-12D.반응조보다 산소생산능력이 뛰어났다.
2. 24 L.반응조가 12L.-12D.반응조보다 조류생산능력이 뛰어났다.
3. 전반적으로 24L.반응조가 12L.-12D.반응조보다 영양물질제거능력이 높았다.
4. 24L.반응조는 반응 10일째 부터 조류생체가 침전하면서 유출 Chl.-a의 농도가 감소하고 어류가 생존할 수있는 5~6 mg/L의 DO농도를 유지하였다.

pH조건에 따른 두 반응조의 운전결과로써 얻어진 결론은 다음과 같았다.

1. pH 4의 반응조가 pH 10의 반응조보다 산소생산이 많게 이루어졌다.
2. pH 4의 반응조가 pH 10의 반응조보다 조류생산이 많게 이루어졌다.
3. 순응기가 지난후 pH 4의 반응조에는 비교적 급속한 조류성장이 이루어지고 pH 10의 반응조에는 지체적 성장과 급속한 성장의 구분으로 나타났다.
4. pH 4 반응조는 반응이 종료되는 시점에서 어류가 생존할 수있는 6 mg/L의 DO농도를 유지하였다.
5. pH 4와 pH 10의 산,알칼리조건은 조류 성장과 영양물질제거에 그다지 큰 영향을 미치지 않았다.

그리고 본 연구를 통하여 전체적으로 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 반응조에서 조사시간과 pH조건에서의 고농도 수용성 다당류인 starch폐수가 88.5%이상 처리되고 T-N, T-P, COD가 각각 89.1%~99.9%, 34.3%~83.7%, 88.5%~93.9%의 제거효율을 나타나는 것으로 보아서 그동안 난제로 알려져 있던 전분폐수와 pH폐수의 처리가 호기성 고율안정조공법으로 가능하였다.
2. 호기성 고율안정조공법은 메탄을 사용을 배제하는 질산화프로세스로 질소제거를 이루는 경제적인 프로세스이고 부영양화현상으로 나타나는 수질오염현상의 예방은 물론이고 산소를 생산하므로 자연생태계에 기여하는 가장 생태적인 공법이다.

참 고 문 헌

- 고광백 등 편저, 1996, Metcalf & Eddy 폐수처리 공학, 동화기술출판사, 629pp.
- 김정현, 1994, 수질 관리, 동화기술출판사, 365pp.
- 안승구, 1994, 수처리와 조류학, 서울시립대학교 환경공학과, 6pp
- 유명진 외, 1987, 우리나라 호수의 인, 질소, 투명도 및 Chlorophyll-a 농도에 관한 연구, 서울시립대학교 수도권 연구소, 12, 1~19.
- J.Lukavsky, 1992, The evaluation of AGP & toxicity of water miniaturized growth bioassay, Wat.Res., 26(10), 1400~1413.
- Kuo Feng Tseng et al., 1991, Species control of microalgae in an aquaculture pond, Wat.Res. 25(1), 1431~1437.
- P.Talbot et al., 1991, A comparative study and mathematical modeling of temperature, light & growth of three microalgae potentially useful for wastewater treatment, Wat.Res., 25(4), 465~472.
- Ronald M. Atlas, 1995, Microbial ecology, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 232~233.
- Rosen B.P., 1986, "Recent advances in bacterial ion transport", Ann. Rev. Microbiol., (40), 263~286.
- Ruzena Markosova et al, 1990, Time & vertical distribution of bacterioplankton in a shallow eutrophic reservoir, Wat. Res., 24(9), 1057~1067.
- Walter K. Dodds, 1991, Factors associated with dominance of the filamentous green algae Cladopora Glomerata, Wat. Res., 25(11), 1325~1332.
- W.J. Ingledeew, 1990, Microbiology of extreme environments, Mc Graw - Hill Co., 33~54.