

論 文

호기성 침지여상에 의한 제지폐수처리

Papermill Wastewater Treatment by Indirect Aerated Submerged Biofilter

원 찬 희* · 권 영 호**

Chan-Hee Won, Young-Ho Kwon

Abstract

The purpose of this experimental research was focused to improve the quality of the effluent and the yielded sludge when the papermill wastewater was treated by the indirect aerated submerged biofilter as a second treatment method of papermill wastewater.

Changing the various experimental factors(Nutrient additions or not, HRT, F/M ratio, recirculation ratio, etc) with indirect aerated submerged biofilter, the results obtained are as follows.

1. Because of the microbes concentration could be sustained to 9,000mg/l in submerged biofilter and then the volumetric organic loads could be increased to 2.7kg-BOD/m³/day(that of activated sludge is 0.8kg-BOD/m³/day), the reactor volume can be reduced to one third of the activated sludge treatment.
2. Because of the yield coefficient(Y) and the endogenous decay coefficient(kd) were revealed 0.4 and 0.07/d, the yielded sludge volume was reduced by far compared with that of the activated sludgg process.
3. The concentration of the sloughed sludge in the reactor was 2.62~4.01%, so the thickener could be omitted in the papermill wastewater sludge treatment process.
4. When the operating was conducted at HRT of 4hrs, the treatment efficiencies of BOD and COD were obtained 80% and 70%. Therefore operating time can be reduced to one half of the activated sludge treatment.

1. 서 론

제지공장에서 발생하는 폐수는 제지원료인 목재로부터 나오는 섬유질이나 리그닌을 주성분으로 하고 그 밖에 폐지 등에서 씻겨지는 잉크, 염

료 혹은 각 공정내에서 배출되는 화학약품 등 미생물에 분해불가능한 물질을 다량 포함하고 있다. 그러나 미생물 활동에 필요한 질소나 인 등의 영양염류가 부족하기 때문에 그 처리가 쉽지 않고 특히 섬유질로 이루어진 다량의 SS때문에 처리에 어려움이 많다(신강식, 1988).

국내외에서 사용되는 일반적인 제지폐수의 처리방법은 약품응집에 의해 부유물을 제거한 후

* 전북대학교 농과대학 조교수

** 전북대학교 대학원 박사과정

활성슬러지법에 의해 S-BOD를 처리하는 방법과 산화지에 의한 처리방법으로 대별할 수 있다. 먼저 산화지에 의한 제지폐수처리방법은 저류, 침전, 균등 및 산화 등의 각 단계를 구분없이 단번에 할 수 있는 간편한 잇점이 있는 반면 온도변화에 민감하고 냄새가 지하수의 오염의 우려가 있을 뿐 아니라 넓은 부지면적이 필요하고 BOD 제거에 한계성이 있으므로 잘 이용되지 않고 있다. 그리고 활성슬러지법에 의한 제지폐수처리 방법은 슬러지발생량이 많아 처리비용이 가중되고 약품응집 처리효율이 일정치 않을 경우 포기조 유입수의 SS, pH 및 유기물 부하변동에 의해 혐유성 미생물에 의한 슬러지 팽윤(Sludge Bulking)현상이 초래되어 최종침전지의 고액분리가 어려워지며 그에 따라 유출수질이 저하되고 반송슬러지 농도저하로 포기조내의 미생물 농도가 감소되어 유출수질 악화를 유발하는 연쇄적 결과를 초래하는 등 어려움이 가중된다.

그러나 침지여상법은 반응조에 매디아를 침지시켜 매디아 표면 및 공극에 미생물막이나 floc이 형성되도록 한 후, 여기에 폐수를 접촉시켜 처리하는 방법으로 다음과 같은 일반적인 장점과 단점을 갖고 있다.

먼저 일반적인 장점은 첫째, 반응조내의 미생물 농도를 높일 수 있으며, 용적부하율을 크게 하여 운전할 수 있어서 반응조 용적을 줄일 수 있고, F/M비를 낮게 운영할 수 있어서 자산화율을 크게 하여 잉여슬러지 발생량을 줄일 수 있을 뿐 아니라 슬러지가 상당히 농축되어 고액분리가 용이하다. 둘째는 수온, pH, 유기물 등의 부하변동에 강하다.

본 연구의 목적은 이와같은 침지여상법의 일반적인 장점이 활성슬러지법에 의한 제지폐수처리시 나타나는 문제점 극복에 동용되는지를 실험을 통하여 정성, 정량적으로 규명코자 하는데 있다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구내용

본 연구에서는 활성슬러지 공법에 의해 영양소

가 부족한 제지폐수처리시 야기되는 과도한 슬러지 발생량 및 포기조 유입수의 유기물 부하변동에 의한 Sludge bulking 문제 등이 침지여상법의 일반적인 장점에 의해 극복되는가를 실험을 통해 정성, 정량적으로 규명하는데 중점을 두고 있다. 따라서, 실험실 규모의 호기성 침지여상 실험장치를 제작하고 실제의 제지폐수를 시료로 하여 다음 항목에 대해 연구를 진행하였다.

1. 영양분 P의 영향
2. F/M비 변화에 따른 유출수질 및 슬러지 발생량
3. 유입수 BOD에 따른 유출수질 및 슬러지 발생량
4. 활성슬러지법과 비교

2.2. 연구방법

본 연구를 진행하기 위하여 아크릴로 간접포기식 침지여상 반응조를 제작하고 매디아로서는 수두손실이 적고 비표면적 및 공극률이 크며 수류의 흐름이 균등할 수 있고 미생물의 부착이 양호할 것으로 판단되는 격자식 원통형 Net ring을 반응조에 충전한 뒤 실험을 수행하였다.

실험에 사용된 시료는 인근의 제지공장의 응집침전 상침수를 채취하여 예비실험을 통하여 얻어진 적당한 포기강도 및 순환조건하에서 각각의 reactor에 조절 주입하였다.

이때 reactor내의 biomass, 유출입수의 유량, COD, BOD, 잉여슬러지의 발생량 등을 분석하여 활성슬러지 법에서의 유출수질, 슬러지 발생량 등과 비교하고 운전가능한 COD, BOD 부하변동 한계를 규명하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1. 실험장치

침지여상은 높이 90cm, 내경 7.5cm의 아크릴관으로 제작하여, 여상중간부분에 약 60cm의 높이로 매디아를 충전하였다. 또 매디아가 충전한 부분은 4단으로 분리될 수 있도록 여상분리 장치를 만들었으며, 각단에는 시료채취구를 설치하여 여상높이별 유기물, 산소 및 biomass를 측정할 수 있게 하였다. 여상 저부에는 침전슬러지를

인출할 수 있도록 인출밸브 및 관을 설치하였다 (Fig. 3-1).

침지여상에 충전한 매디아는 폴리프로필렌세 網目狀격자구조의 원통형 net ring(日本프라스 틱(주)제품)을 사용하였으며 규격은 Table 3-1 과 같다.

포기조는 높이 60cm, 내경 4.0cm의 투명아크 릴관으로 제작되었으며, 지부에 산기석을 설치하 이 포기시켰다. 포기조에서 포기된 물은 순환펌 프에 의해 침지여상의 하부에 순환하여 필요한 산소를 공급시켰다.

순환은 masterflex pump(Model No. 7567-50) 를 사용하여 순환수를 강제 순환하였다. 폐수조 의 원폐수 역시 정량펌프에 의해 일정량을 주입 하였다. 또 포기조에 공급되는 공기량 및 침지 여상에 유입되는 순환수량 원폐수량을 측정키

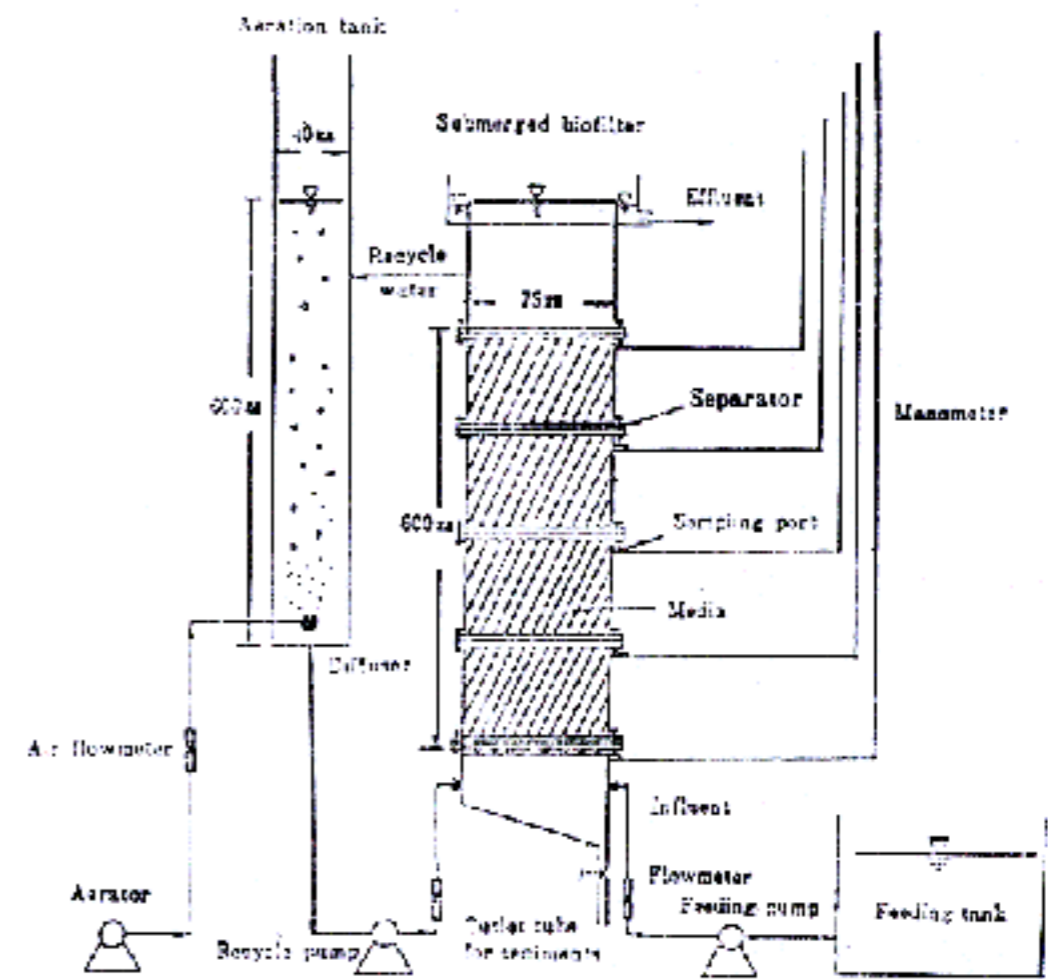


Fig. 3-1. Schematic diagram of submerged biofilter for Experiment

Table 3-1. Characteristics of Net ring as Media

Inside-diameter (mm)	Outside-diameter (mm)	Length (mm)	Density (g/m ³)	Weight (g/particle)	Charging particles (particles/m ³)	charging density (kg/m ³)	Pore Ratio (%)	Specific surface area (m ² /m ³)
21	27	27	0.894	2.5	43,000	107.5	88	206

위해 공기주입 펌프, 순환펌프, 먹이공급펌프 다유에 유량계를 설치하였다.

침지여상법에서는 살수여상법과는 달리 강제적 으로 포기시킬 필요가 있다. 포기방식은 매디아 와 기체의 접촉유무에 따라 직접 포기식과 간접 포기식으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 간 접포기 방식중에서 경제적인 문제가 따르는 순 산소를 이용한 예비포기대신 공기를 이용한 강제 순환 간접포기 침지여상 시스템을 착안하여 소 량의 일정량의 잉여슬러지를 탈리시켜 여상의 폐 쇄를 방지하고 침지여상내의 biomass를 고농도로 일정하게 유지하여, 정상상태로서 운전할 수 있 도록 시도해 보았다.

3.2. 시 료

본 실험에서 사용한 시료는 제지생산 공정에서 배출되는 폐수로 초지폐수가 25%, 탈묵폐수 50%, 백상지 폐수 25%가 포함되어 있으며, 각 제지생산 공정에서 발생된 폐수를 집수조에 유 입, 1차 처리인 화학응집침전 처리된 유출수로서

Table 3-2. Water Quality of Papermill Wastewater

ITEM	CONC.
BOD ₅ (mg/l)	274~522
BOD _u (mg/l)	462~814
COD _{Mn} (mg/l)	204~392
COD _{Cr} (mg/l)	404~712
TOC(mg/l)	308~740
SS(mg/l)	30~70
TKN(mg/l)	20
T-P(mg/l)	1.0
pH	7.4~8.1
Temp.(°C)	27~29

부유물질 농도가 약 30~70mg/l, T-BOD가 300 ~500mg/l를 나타내는 고농도 유기성 폐수이며, 이 폐수의 수질은 Table 3-2에 나타내었다. 폐 수중의 T-P는 1.0mg/l로 적게 나타나 생물학적 처리시 인의 공급이 필요할 것이다.

3.3. 실험방법

먼저 F/M비를 일정하게 하고, 순환비를 일정

하게 유지하여 운전하면서 5~8일 경과후 침지여상의 정상상태가 되면 침지여상 유입수의 COD, 순환수와 유입폐수가 혼합된 여상유입수의 용존산소농도, 유출수의 COD 및 용존산소농도, 침지여상내 biomass 탈리량을 측정한다. 순환비를 변화시켜 다시 정상상태가 되면 상기 항목을 다시 측정하였다.

같은 방법으로 유입수질 및 유기물 부하를 변화시켜 실험을 반복하여 각 경우의 수처리 효율 및 정상적으로 가동할 수 있는 유기물부하 한계를 규명하였다. 한편 탈리된 슬러지는 여상의 하단에 침전하게 되는데 하단에 설치된 침전슬러지인출관으로 인출하여 biomass탈리량(잉여슬러지량)을 정량하였고 유출수의 SS량은 소량이므로 무시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

호기성 침지여상에 의한 제지폐수처리시 처리효율 및 잉여슬러지 발생량 등에 영향을 미치는 영양소(P), 부하율(BOD 용적부하, F/M비), 순환비(Qr/Q), HRT 변화에 따른 유출수질, 처리효율 및 잉여슬러지 발생량 등에 대해 살펴보면 다음과 같다.

4.1. 부하율변화에 따른 유출수질 및 처리효율

BOD 용적부하를 기준으로 BOD부하 변화에 따른 유출수 BOD₅, DO, 슬러지 탈리량을 측정하여 미생물의 증식, 기질제거 및 산소소비에 관한 수학적 해석의 자료로 삼았다.

Fig. 4-1(a)에서 BOD제거율은 용적부하범위 0.88~2.7kg-BOD/m³d에서 영양소 P를 주입할 때가 주입하지 않을 때에 비하여 약 10%정도 더 높게 나타났는데 이는 유입수중의 P의 부족이 원인이며, 따라서 80% 이상의 처리효율을 얻기 위해 영양소 주입시에는 2.7kg-BOD/m³·d까지는 가능하였지만 영양소를 주입하지 않을 때는 0.88 kg-BOD/m³·d 이하로 운전하여야 할 것이다. 부하율 증가에 따라 처리효율이 감소하는 것은 당연한 결과인데 특히 영양소를 공급하지 않는 경우 감소율이 더욱 커지는 것은 영양소가 부족한

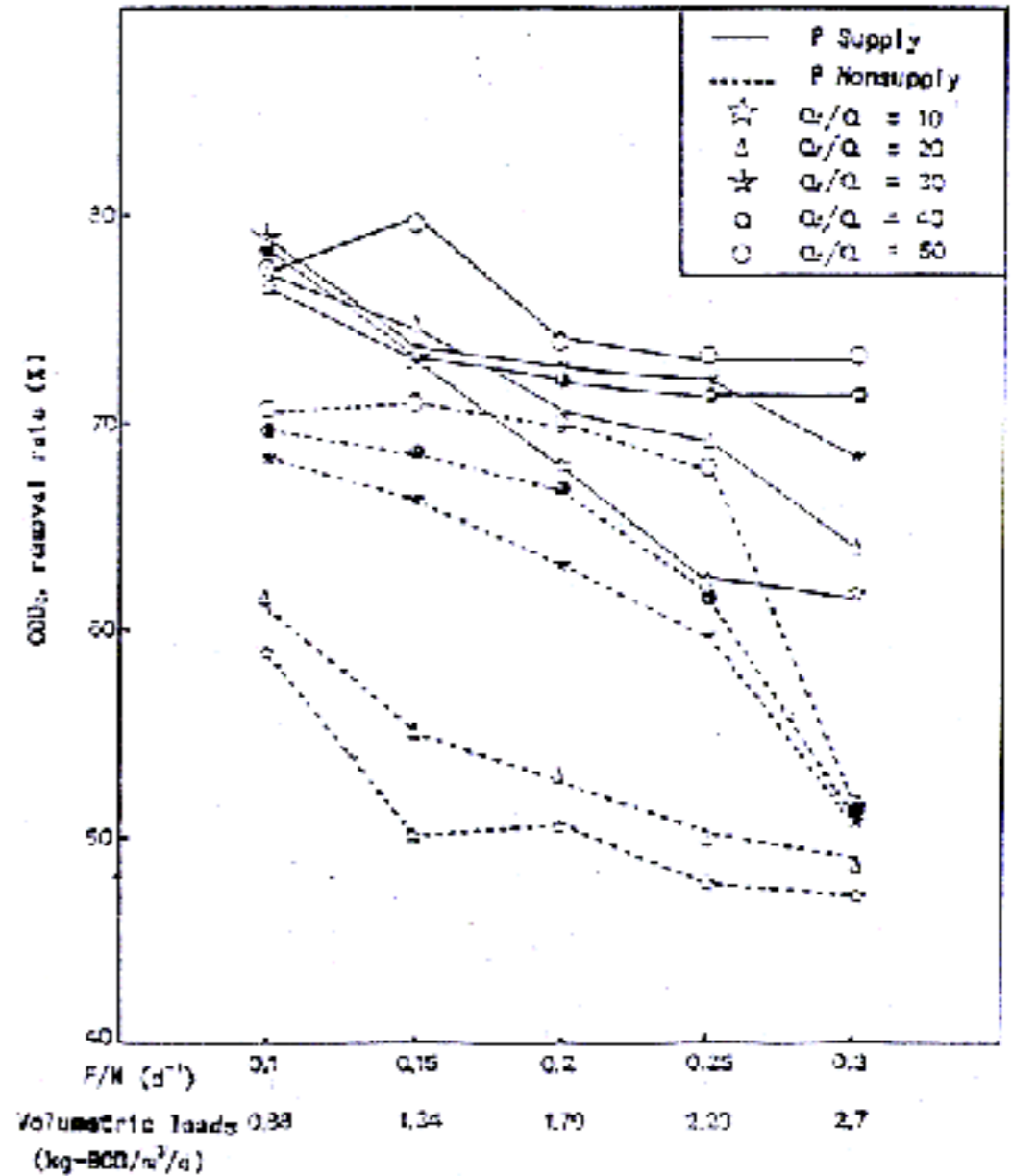


Fig. 4-1(a). BOD removal rate vs. various loads

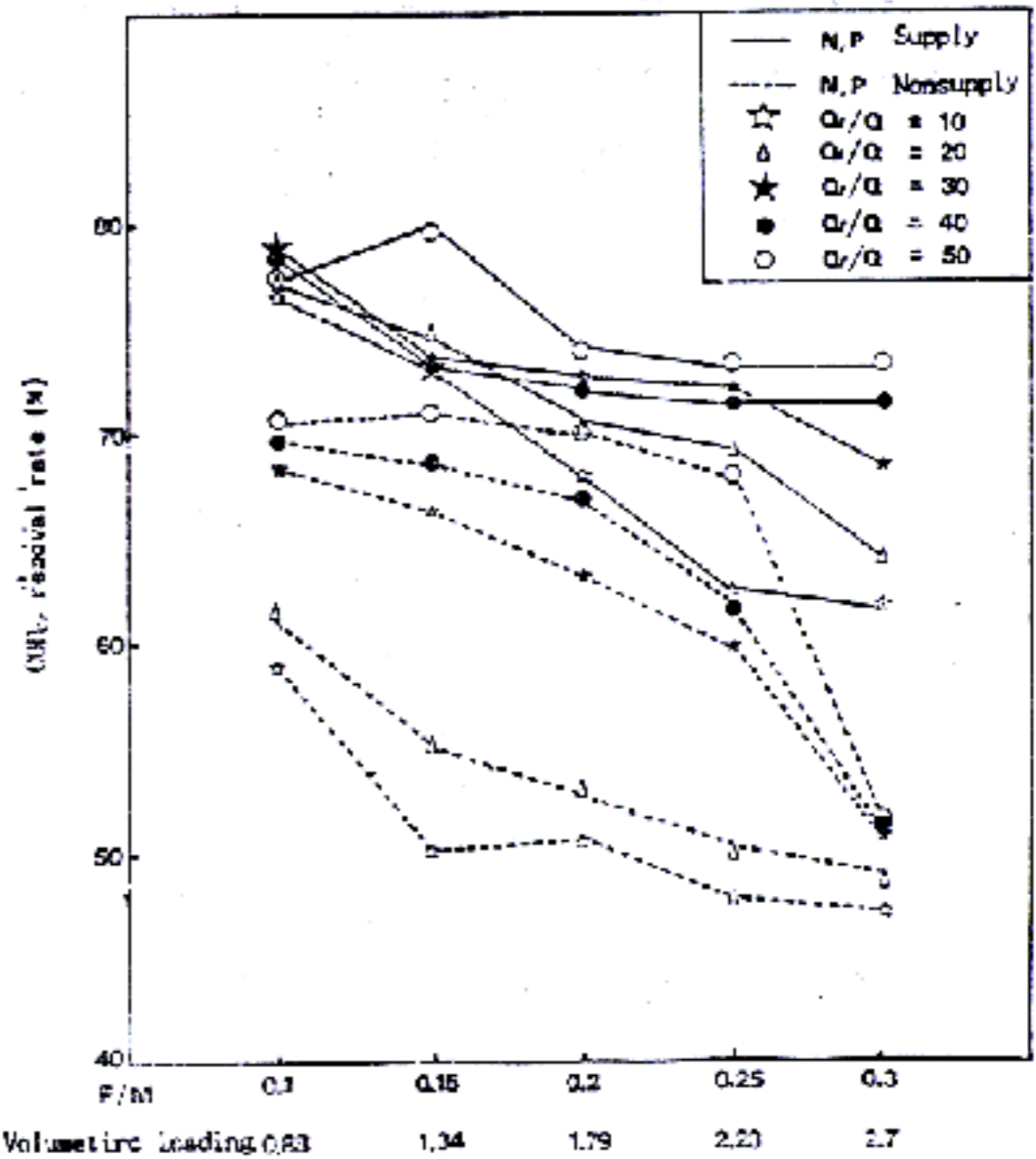


Fig. 4-1(b). COD_{Cr} removal rate vs. various loads

상태에서의 과부하는 미생물의 대사작용을 크게 위축시키기 때문이다.

COD_{Cr}의 경우 제거율이 전반적으로 BOD제거율보다 약 10%정도 낮아 P 주입시 70~80%, P주입치 않을 경우 50~70%의 범위였다(Fig.

4-1(b)). 이것은 유입수의 COD_{Cr} 과 BOD의 차가 유출수의 COD_{Cr} 과 BOD의 차가 거의 비슷한 것으로 나타난 실험결과로 미루어 본 제지폐수 중에는 리그닌 등과 같은 NBDCOD가 많이 포함되어 있기 때문일 것이다.

4.2. 미생물 증식에 따른 잉여슬러지 발생량 및 침전특성

생물학적 폐수처리 공정에서 중요한 인자는 반응조내의 존재하는 미생물의 성장속도이다. 이것은 기질제거속도와 biomass에 좌우되며 Monod식을 기초로 하여 각각의 반응조에 물질수지를 세워 BOD 제거 및 미생물 증식속도식을 정리한 $1/\theta_c = Y(S_0 - S)/\theta X - K_d$ 를 이용하기 위해 $1/\theta_c$ 과 $(S_0 - S)/\theta X$ 의 관계자료를 계산하여 Fig. 4-2에 나타내었다. 영양소 주입시 미생물증식계수 Y의 값은 0.4, 자산화율 계수 K_d 값은 $0.07d^{-1}$ 을 얻었는데, 이 값은 표준활성슬러지 공법에서의 Y값 범위인 0.4~0.8 및 K_d 값의 범위 $0.04 \sim 0.075d^{-1}$ 에 미하여 각각 하한치 및 상한치에 근사한 값이다. 따라서 단위미생물량당의 미생물 증식량은 표준 활성슬러지공법에 비해 크게 줄어든 것이다(Fig. 4-2a).

한편 영양소를 주입하지 않을 때의 Y의 값은 0.26, K_d 값은 $0.04d^{-1}$ 로 나타났는데 이는 침지여상내 미생물이 영양소 결핍으로 인하여 물질대사를 활발히 하고 있지 못함을 보여 주고 있음을 알 수 있다(Fig. 4-2b).

한편 Fig. 4-3은 순환비를 변화시킬때 본 침지여상에서 탈리된 biomass가 침지여상내의 하단에 침전되었을 때의 농도(%)를 나타낸 것이다. 탈리침전된 슬러지 고형물 농도는 2.6~4.01%의 범위이며, 영양소 주입시와 주입하지 않을 때보다 약 0.5%정도 더 컸으며, 순환비를 크게 하면 고형물 농도가 다소 증가하였다. 이는 영양소를 주입하였을 경우가 Y 및 K_d 값이 큰 까닭에 biomass가 강고해지기 때문이라 생각되며 海野 등(1986)의 연구결과와 일치한다. 또한 침지여상내 biomass의 단단한 정도는 실수여상에서의 미생물박처럼 크지 않으나 활성슬러지와 같은 분산상의 미생물플록보다는 크다는 것을 나타내며, 본 침지여상의 biomass 상대는 크고 단단한 플록상 또는 가교(bridging)상으로 관찰되었다. 또 활성슬러지법의 중력식 농축 슬러지의 고형물 농도는 3~6%로 알려져 있어서, 본 침지여상의 탈

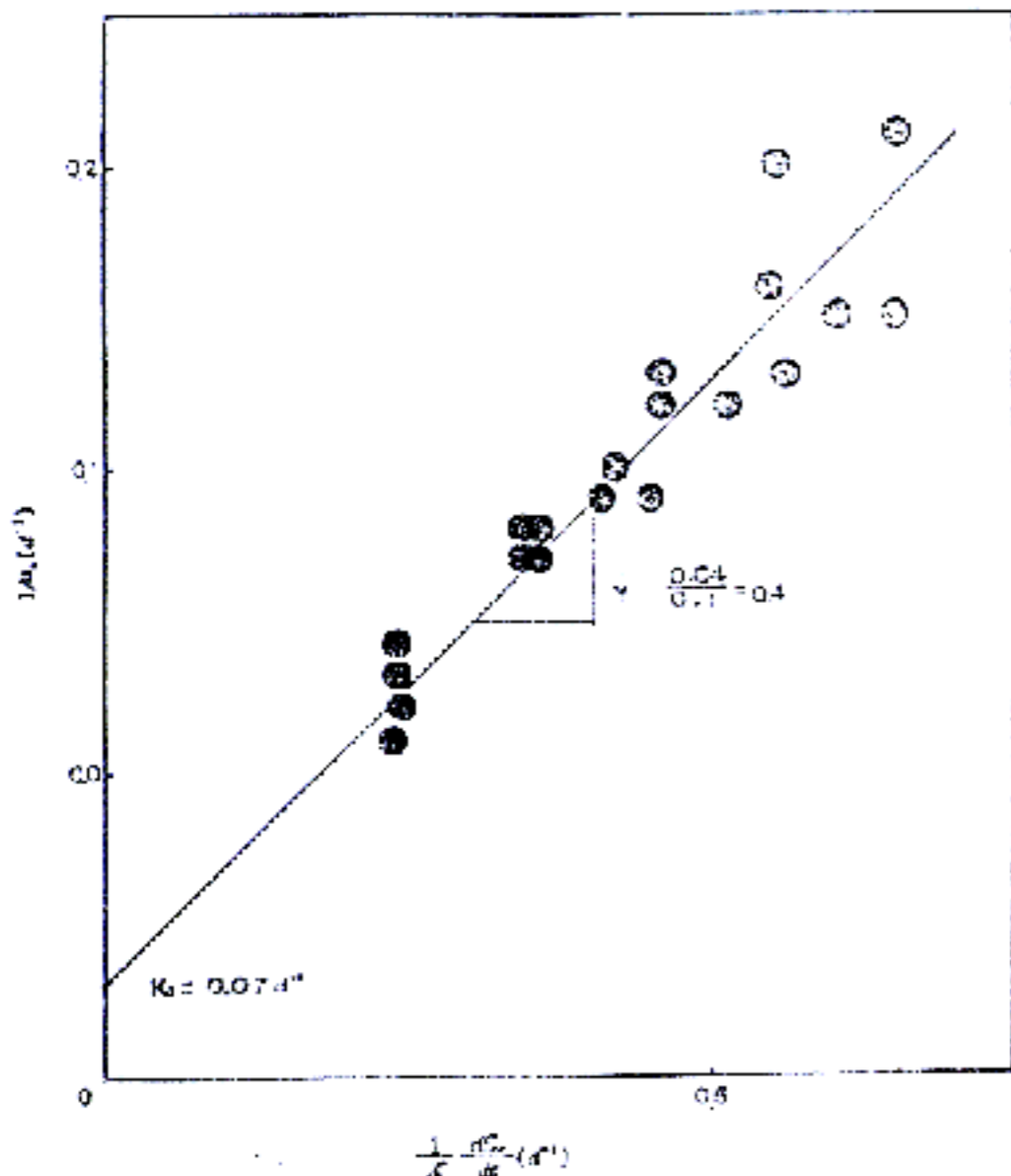


Fig. 4-2(a). Determination of Y and K_d from experimental result (nutrient P supply)

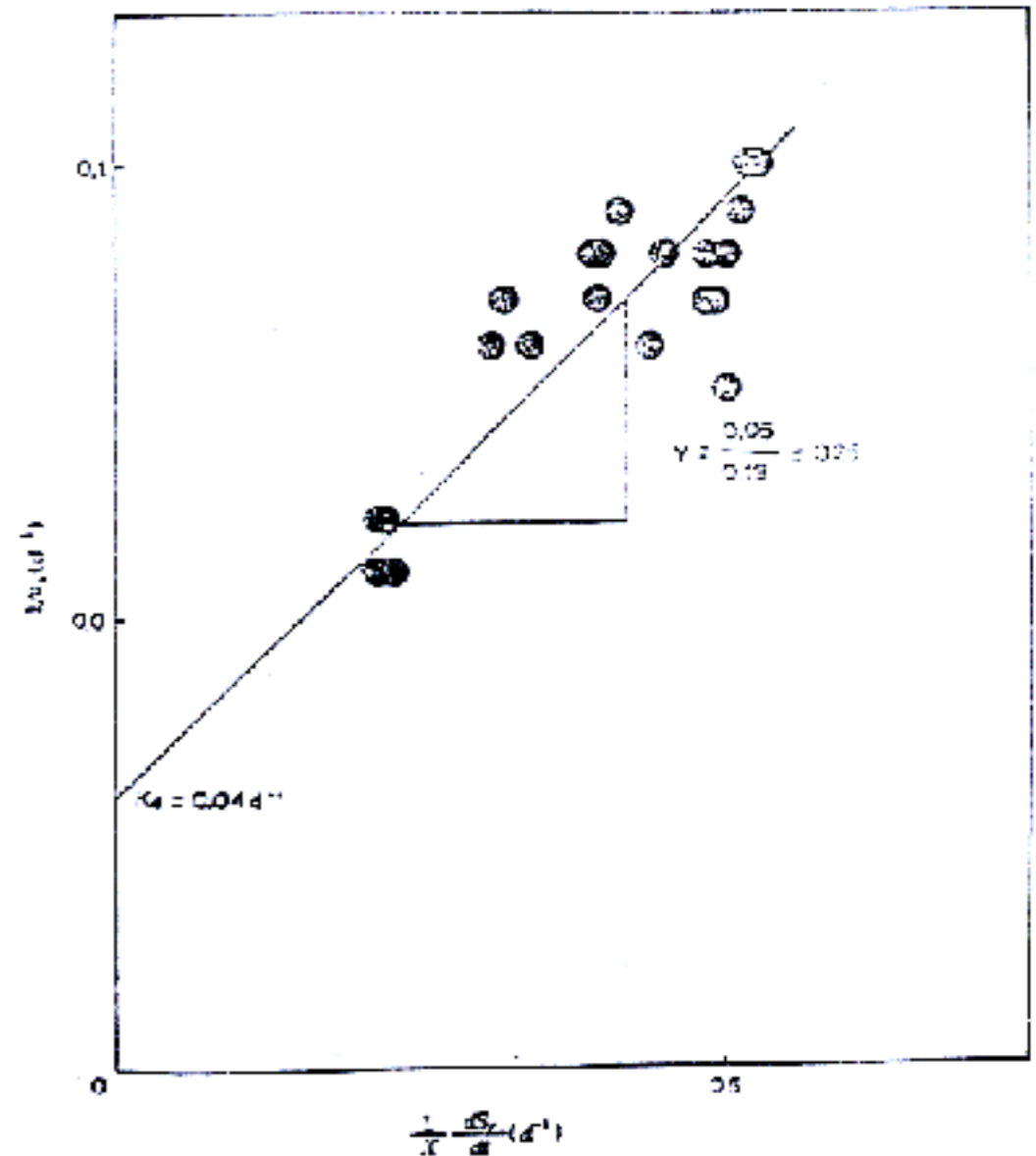


Fig. 4-2(b). Determination of Y and K_d from experimental result (nutrient P nonsupply)

리침전 슬러지 고형물농도와 비슷하였다. 따라서 본 여상에 의한 제지폐수 처리시 탈리 침전 슬러지에 대해서는 별도의 농축시설을 생략할 수 있다고 판단된다.

4.3. 순환비 변화에 따른 유출수질 및 처리 효율

적당한 순환비를 결정하기 위해 순환비를 10~50으로 변화시키면서 유출입수의 BOD₅ 농도, DO농도, COD_{Cr} 농도 등을 측정 한 결과, 순환비

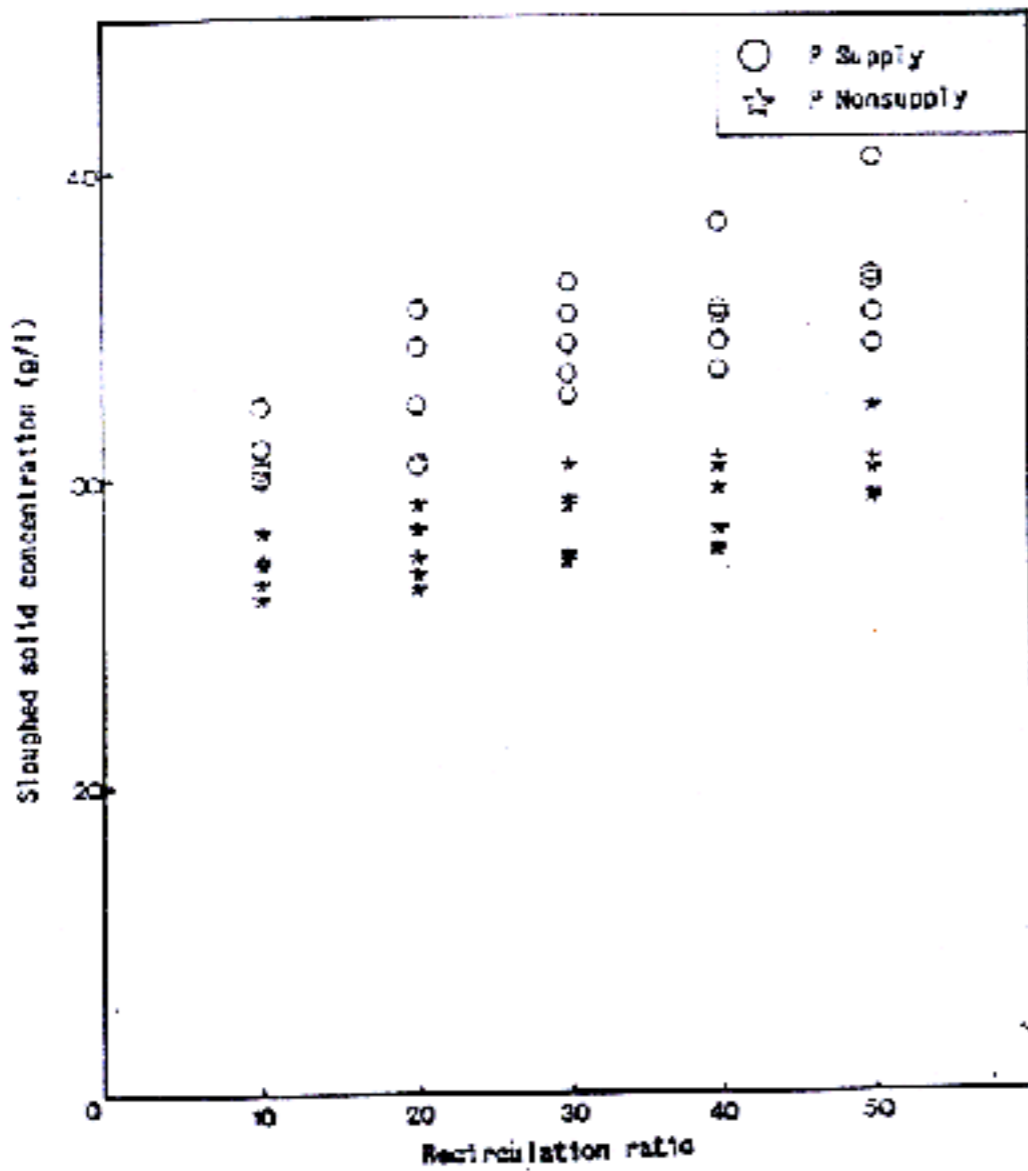


Fig. 4-3. Sloughed solid concentration vs. recirculation ratio

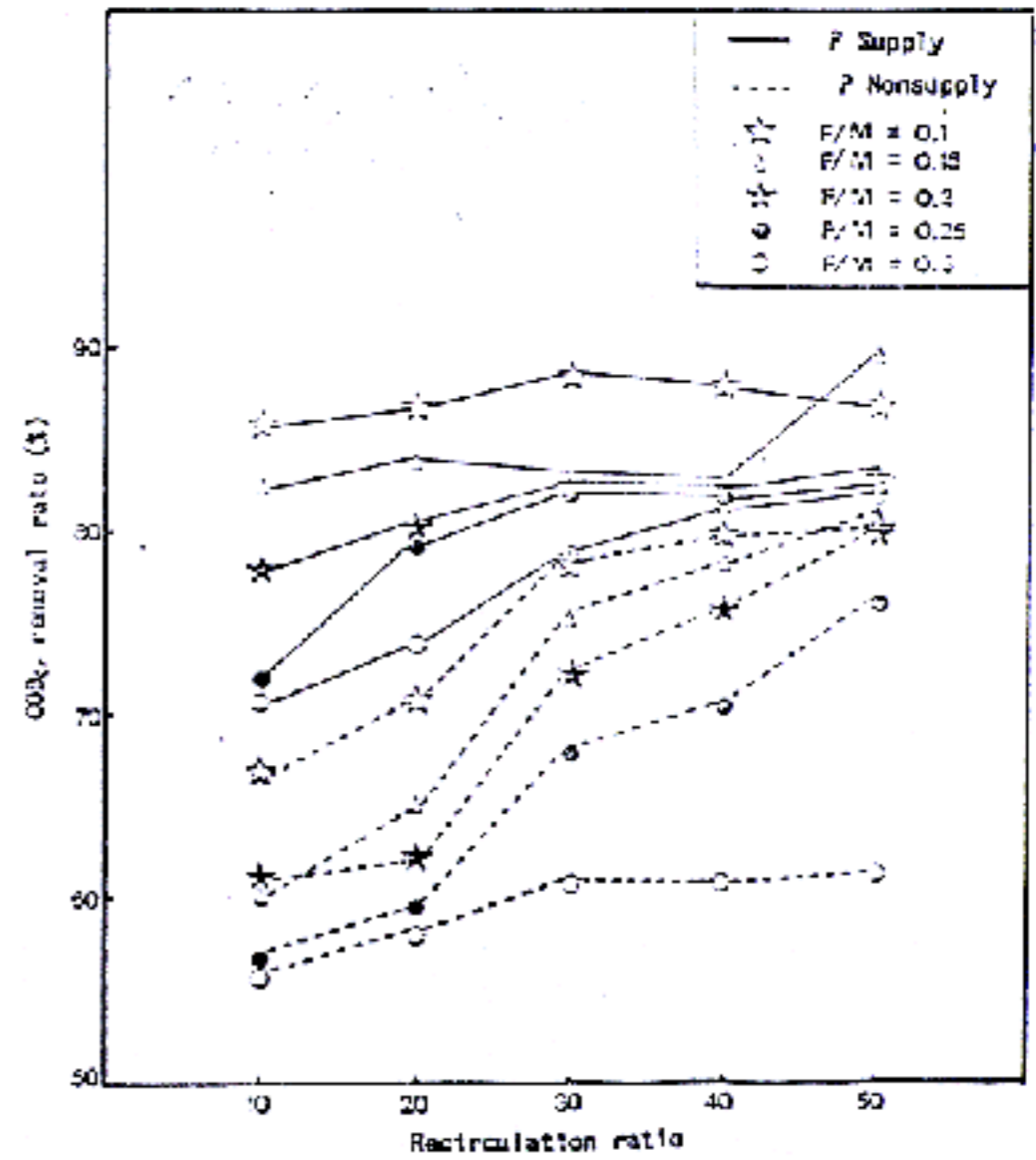


Fig. 4-4(b). COD_{Cr} removal rate vs. recirculation ratio

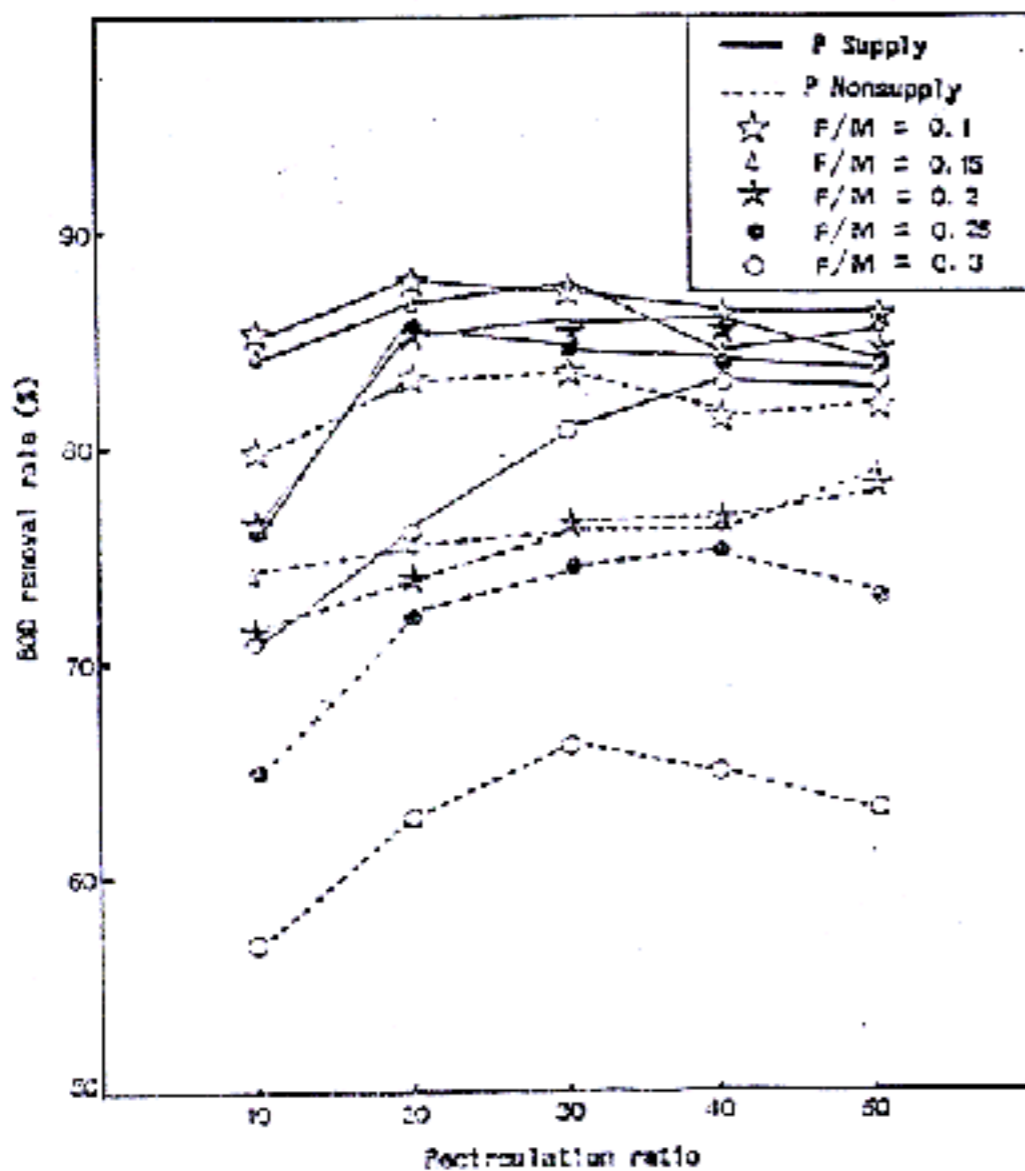


Fig. 4-4(a). BOD removal rate vs. recirculation ratio

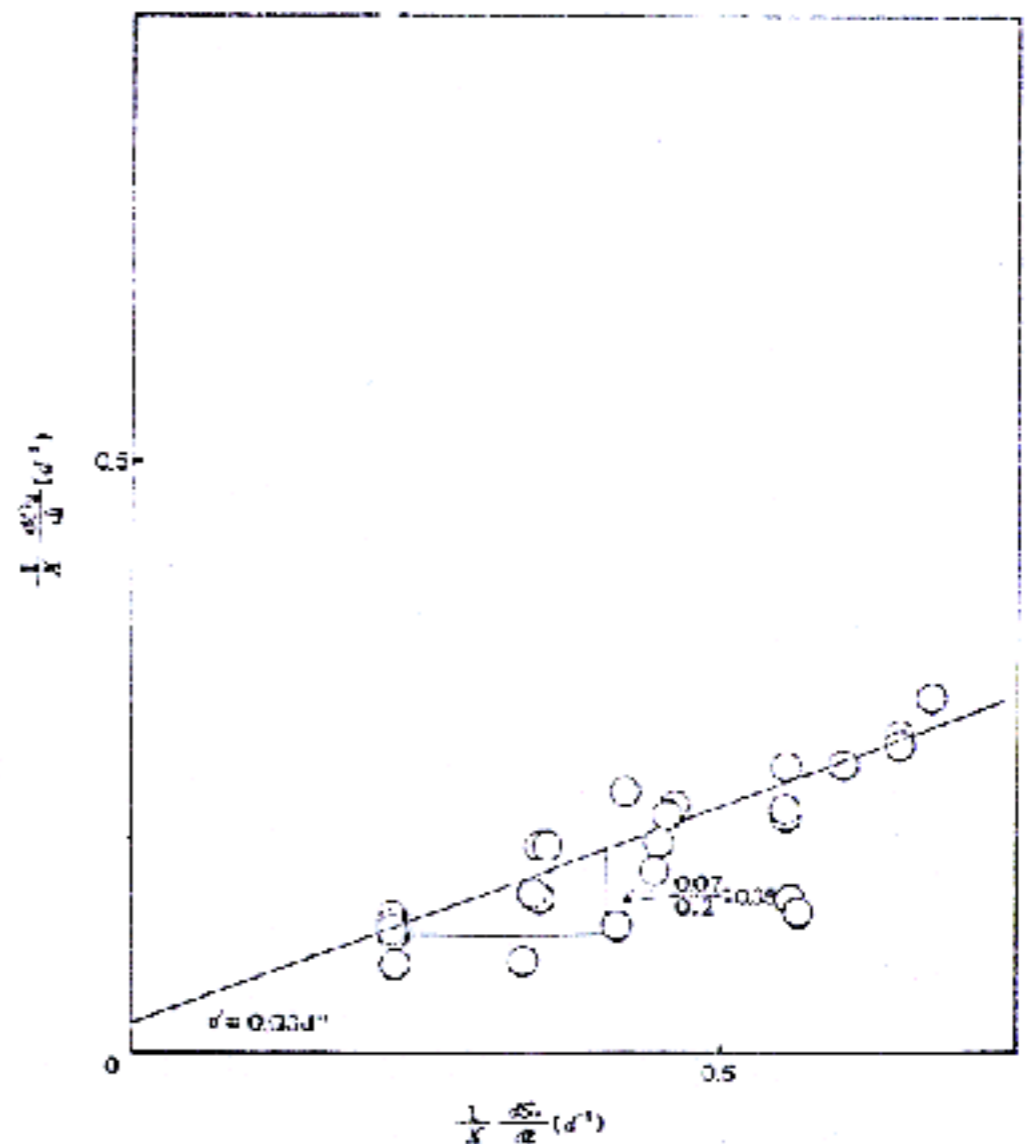


Fig. 4-5(a). Determination of α' and b' from experimental result (nutrient P supply)

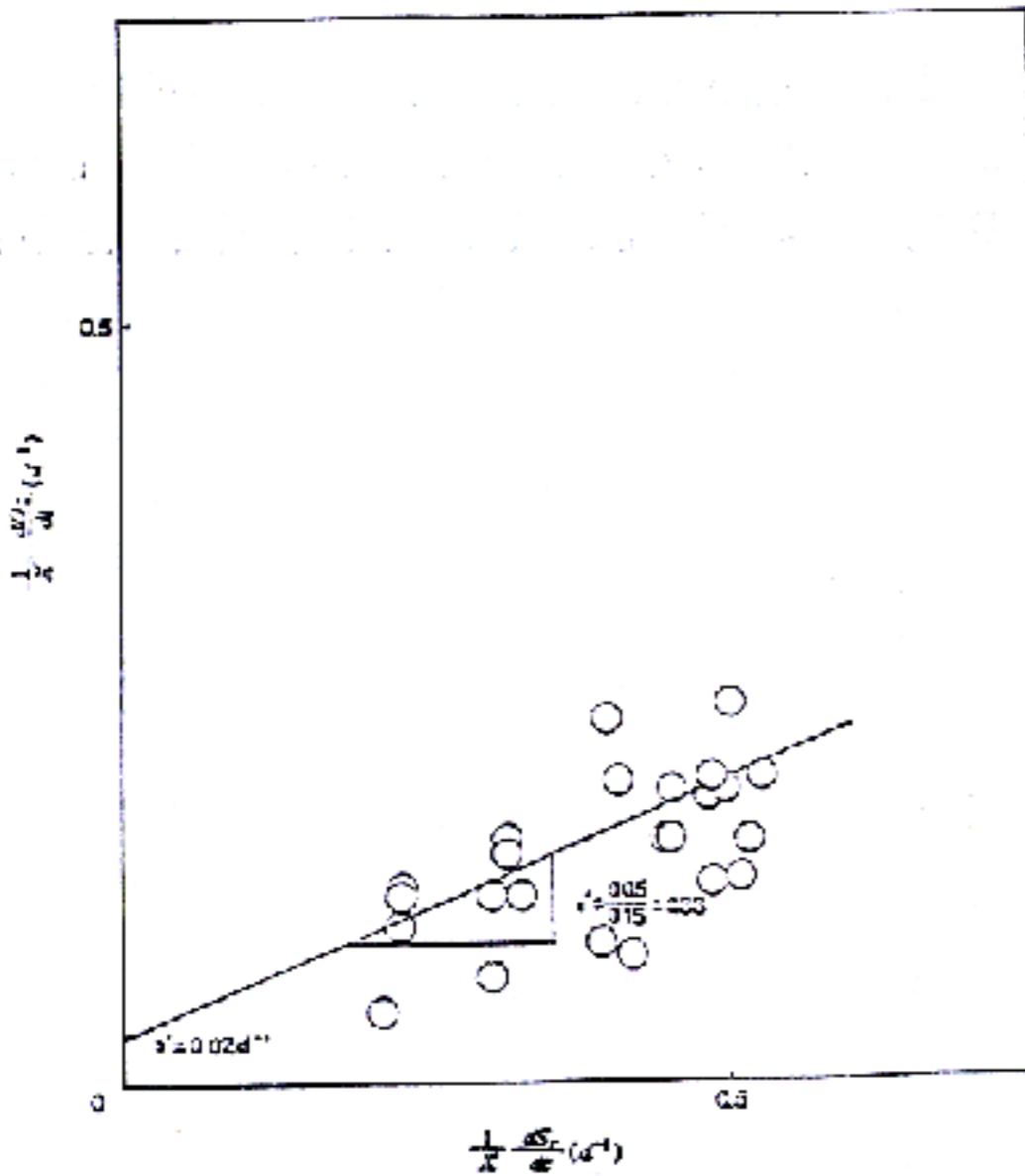


Fig. 4-5(b). Determination of a' and b' from experimental result (nutrient P nonsupply)

에 따른 BOD_5 및 COD_{Cr} 제거율은 Fig. 4-4와 같다. 간접포기방식 침지여상공정에서 요구되는 산소량을 plot하면 Fig. 4-5와 같이 제거된 BOD 중 증식에너지를 공급하기 위한 산소소비율 a' 와 내생 호흡에 의한 산소소비율 b' 를 구할 수 있는데, 영양소 공급 유무에 따라 a' 값은 0.35, 0.33이었으며 b' 값은 각각 0.03, $0.02d^{-1}$ 이었다. 여기서 a' 값은 표준활성슬러지법에서의 a' 값인 0.52 보다 다소 작아 침지여상내의 미생물 활성이 표준활성슬러지법에서의 미생물활성에 비해 크게 떨어지지 않고 있음을 알 수 있다.

4.4. HRT 변화에 따른 유출수질 및 처리 효율

BOD(Fig. 4-6(a))의 경우 영양소 주입시 HRT 4hr 부근에서 처리효율 80% 정도를 나타내고 있으며 HRT가 그 이상 증가하여도 처리효율은 약간밖에 증가하지 않았으며, 영양소를 주입치 않았을 때는 HRT가 10hr까지 증가함에 따라 처리효율이 계속 증가하여 HRT 10hr가 되어야 처리효율이 80%정도에 이르렀음을 나타내고 있는데, 이 역시 영양소 결핍으로 인하여 대사작용

이 느리게 진행되고 있음을 알 수 있다.

한편, COD_{Cr} 의 경우 HRT 5hr에서 P 주입시 70% 내외, P 주입치 않을 경우 65% 내외의 처리효율을 나타내고 있으며 HRT가 더이상 증가하여도 처리효율은 조금씩 밖에 증가하지 않았다(Fig. 4-6(b)).

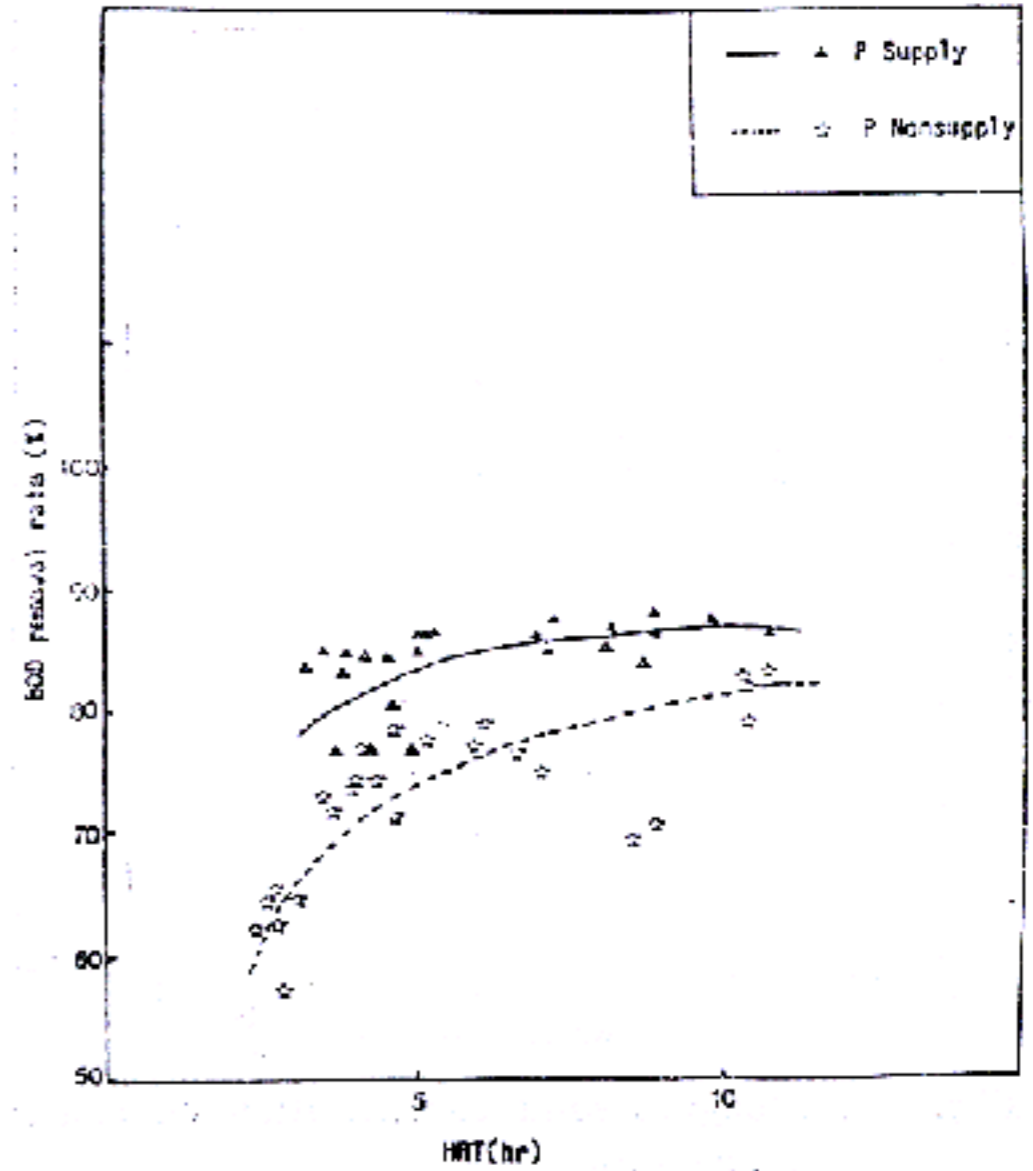


Fig. 4-6(a). BOD removal rate vs. HRT

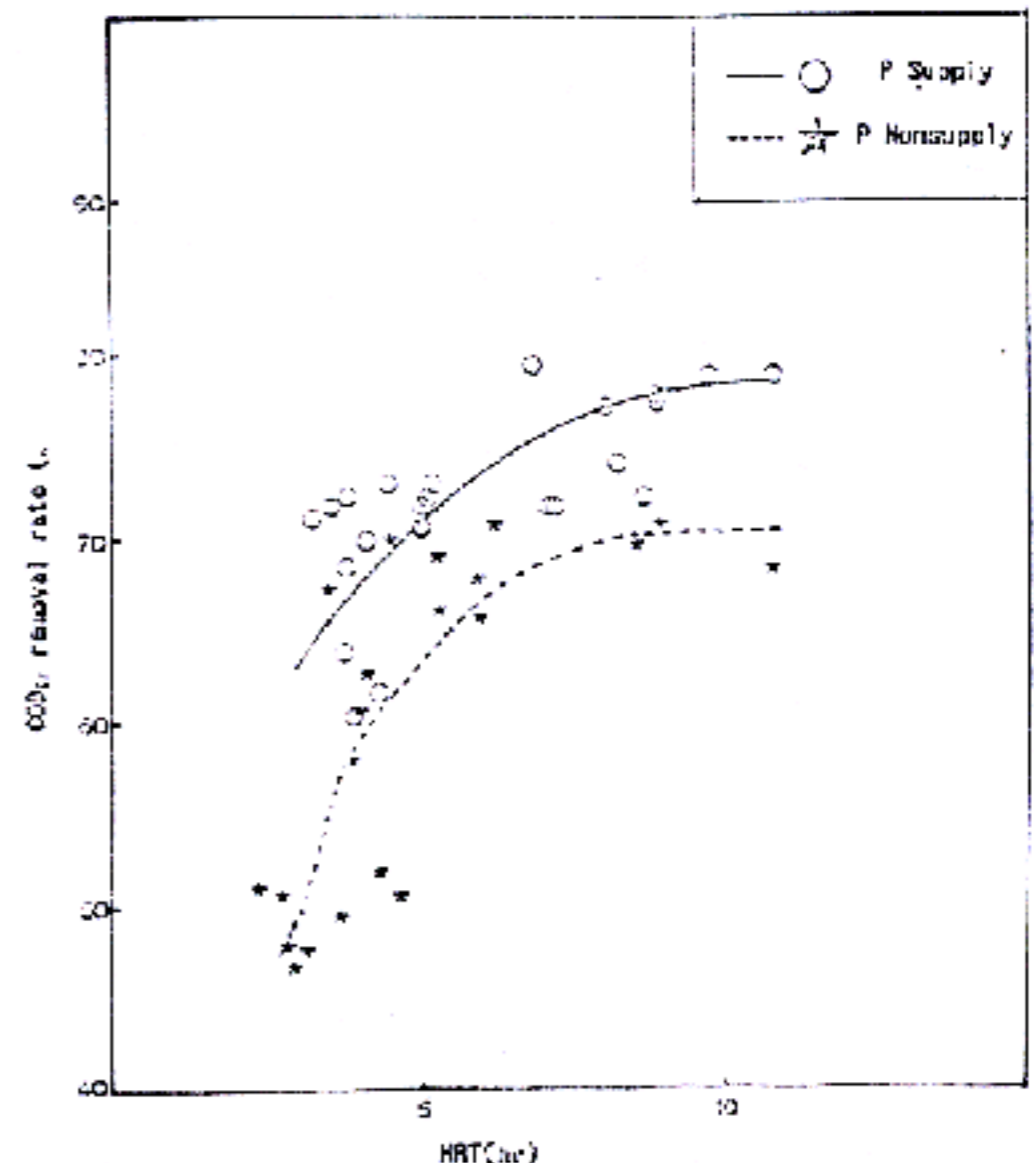


Fig. 4-6(b) COD_{Cr} removal rate vs. HRT

이와 같이 영양소를 주입치 않을 경우 HRT 증가에 따른 BOD와 COD_{Cr}의 증가패턴이 상이한데, COD_{Cr}의 경우 약 5시간 정도의 HRT으로도 생물학적으로 분해 가능한 COD(BDCOD)는 거의 분해되고 더 이상의 BDCOD가 존재치 않고 있음을 나타내고 있다.

5. 결 론

간접포기식 침지여상을 이용하여 영향인자를 변화시키면서 제지폐수의 1차 응집침전 유출수를 처리하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 침지여상내 미생물농도를 약 9,000mg/l 정도로 유지시킬 수 있어 영양소 주입시 80% 이상의 BOD 제거율을 얻기 위한 용적부하율을 2.7 kg-BOD/m³·d까지도 운전이 가능하여 표준활성슬러지법에서 운전가능한 최대용적부하율인 0.8 kg-BOD/m³·d를 훨씬 증가하여 반응조 용적을 1/3로 줄일 수 있다.

2. 영양소 주입시 본 침지여상의 미생물증식계수(Y)는 0.4, 자산화계수(Kd)는 0.07d⁻¹을 얻어 표준활성슬러지법에서의 Y 값 범위 0.4~0.8 및 Kd 값 범위 0.04~0.075d⁻¹에 비하여 각각 하한치 및 상한치에 근사한 값으로 나타나 잉여슬러지 발생량이 표준활성슬러지법에 비해 크게 줄어든 것이다.

3. 본 침지여상하단에 탈리침전된 잉여슬러지 농도는 2.62~4.01% 정도로 활성슬러지법의 중력식 농축슬러지농도 3~6%와 비슷하여 본 침지여상에 의한 제지폐수처리시 잉여슬러지에 대한 농축시설을 생략할 수 있다.

4. 제지폐수처리시 본 침지여상에서는 HRT 4hr에서 BOD 80%, COD 70%의 처리율을 얻을 수 있어 처리시간을 표준활성슬러지법보다 1/2 이상 감소시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 강연승외 2인, 1986, 이중기포탑에서의 기체 체류량과 물질전달계수, 화학공학, 24(5), 371-379.

2. 김환기, 1988, 전주제지(주) 폐수처리장의 운영진단평가, 전북대학교 부설 공업기술연구소.

3. 나덕관, 1986, 표면포기장치에 의한 고농도 활성슬러지법에 관한 연구, 전북대학교 대학원, 박사학위논문.

4. 남친현외 1인, 침지형 생물막 반응조에 의한 부하변동에서의 기질제거에 관한 연구, 환경위생공학회지, 13(2), 83-90.

5. 신강식, 1988, 제지폐수의 생물학적 처리에 관한 연구, 전북대학교 환경대학교, 석사학위논문.

6. 양상현, 김환기, 1982, 기계식 포기장치 모형의 포기특성에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 2(1), 33-44.

7. 유재근외 4인, 제지폐수의 효율적인 처리를 위한 실험적 연구, 국립환경연구소보, 6, 215-221.

8. 조광명외 2인, 충전상 고정미생물막 공법에 의한 산성 및 알칼리성 폐수의 처리, 대한 환경공학회지, 9(2), 17-22.

9. 조광명, 1974, 연속적인 흐름상태에서의 여과막 활성오니법에 의한 하수처리, 대한 환경공학회지, 22(2), 105-113.

10. 최의소, 1974, 고정층을 이용한 활성슬러지 공법, 대한환경공학회지, 22(4), 65-71.

11. 福井 譚, ハイオリアクタ-微生物化學反應器, 산업도서, 36-38, 83-91, 162-184, 227-259.

12. 北尾高嶺外 3人, 1986, 高負荷上向流方式浸漬ろ床に關實驗的研究(第2報), 用水と廢水, 28(3), 275-280.

13. 井出哲夫, 1980, 水處理工學, 技報堂出版株式會社.

14. 海野瑩外 2人, 1986, 好氣性附着生物膜の形成過程, 水質汚濁研究, 9(10), 643-651.

15. Bach, 1947, Water wks. and Sewage, 84, 389.

16. Bjorn Rusten, 1984, WasteWater treatment with aerated Surmerged biological filter, JWPCF, 56(5), 424-431.

17. Dupit A.J.E.J., 1863, Studes theretiques et

- pratiques sur le mouvement des eaux,
18. Eckenfelder W.W., 1961, Trickle filter design and performance, *Journal of Sanitary Engineering Division ASCE*, 87(4), 33-45.
 19. Eckenfelder W.W. and O'conner, 1961, *Biological waste treatment*, Pergamon.
 20. Eckenfelder, W.W. Ur, 1980, *Principles of water quality managment*, CBI publishing company Inc.,
 21. K. Kato, Y. Sekikawa, 1979, Fixed Media Activated Sludge process for Industrial Waste Treatment", *Proc. 22nd, Indu. Waste Confe. purdueuniv.* 129, 926.
 22. Eugen S., 1952, Fixed flow through packed Cloumn", *Chem Eng. process*, 48(2), 89-94.
 23. Hoehn R.C. and Ray A.D., 1973, Effect of thickness on bacterial film, *JWPCF*, 45, 2308.
 24. K. Mlee, H.D. Stensel, 1986, Aeration and Substrate Utilization in a Sparged packed-bed Biofilm Reactor, *JWPCF*, 58(11),
 25. Kornegay, B.H. and J.F. Andrewa, 1968, Kinetics of fixed-film biological reactor, *JWPCF*, 40(2), 460-468.
 26. Kozeney, 1927, UberKapillare Leitung des wassers in boden, *Sitzungber alad. Wiss. Abt., III2*, Vol. 136, 276.
 27. Larsen, DH. and Dimmick, R.L., 1964, *Jour. Bact.* 88, 1380.
 28. M. Tolaney, 1971, A Fixed Media complete mixing Activated Sludge System, MS Thesis, Univ. of Kansas, 2-34.
 29. Perry, L. McCarty, 1972, Nitrofication with submerged filters, *JWPCF*, 44(11), 2086-2102
 30. W.J. Hatcher Jr., Packed beds and fluidization, *American Institute of chemical Engineers, Modula Instruction series*, 37-40.
 31. Young, J.C. et al., 1975, Packed-bed reactor for Secondary effluency BOD and ammonia removal, *JWPCF*, 47(1), 46-56.