

EMMC공정을 이용한 수산물 가공공장 폐수처리에서 동력학적 인자 평가와 유출수반송의 영향

정 병 곤[†]

군산대학교 토목환경공학부

Evaluation of Kinetic Constant and Effect of Effluent Recycling in Wastewater Treatment from Fisheries Processing Plant using EMMC Process

Byung Gon Jeong[†]

School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

요 약

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물 능동포획방식의 일종인 EMMC(Entrapped Mixed Microbial Cell)공정을 적용하여 유기물 및 질소제거에 대한 동력학적 인자를 산출하였으며 전체 시스템 운전효율에 유출수 재순환이 미치는 영향을 평가하였다. 동력학적 인자 중 유기물의 세포 전환계수 Y 의 경우 일반적인 활성슬러지 공정에서 보고된 Y 값에 비하여 상당히 낮은 값을 나타내어 활성 슬러지 공정에 비해 슬러지 생성량을 상당히 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 내생호흡 계수 k_e 값 역시 일반적인 활성슬러지법에 있어서의 값과 비교할 때 상당히 낮은 값을 나타내었다. 질산화 미생물의 미생물 전환계수 Y 및 내생호흡계수 k_e , 반포화상수 K_s 값을 일반적인 부유성장형 질산화 반응조에서 구한 값들과 비교하였다 Y 값은 본 연구에서 구한 값과 유사하였으며 내생호흡 계수는 낮았으며 반포화 상수의 경우는 본 연구에서의 값이 훨씬 높은 값을 나타내었다. 이를 통하여 질산화 박테리아에 있어서도 포괄 고정화 공법이 일반적인 부유성장 반응조에 비하여 기질 친화도가 높은 것을 알 수 있었다. 내부 재순환이 전체 반응조 운전효율에 미치는 영향을 평가하기 위하여 내부 순환율을 1.5Q, 2.0Q, 2.5Q, 3.0Q로 변화시켜가며 운전한 결과 내부 순환율 증가는 질산화보다는 탈질화 효율의 증가에 더 큰 영향을 미치며 내부 순환율의 최적화는 anoxic조의 운전효율 증대에 초점을 맞추어야 하는 것으로 나타났다.

Abstract – EMMC(Entrapped Mixed Microbial Cell) process which is a kind of active cell immobilizing method was applied to treat fisheries processing wastewater biologically. Kinetic constants were calculated for organic and nitrogen removal and effect of effluent recycling on system performance was evaluated also. Yield coefficient, Y showed relatively low value compared with Y value obtained from conventional activated sludge process. It means that EMMC process can reduce amount of excess sludge significantly compared with conventional activated sludge process. Endogenous respiration coefficient k_e of EMMC process also showed relatively low value compared with that of conventional activated sludge process. Yield coefficient Y , endogenous respiration coefficient k_e and half saturation constant K_s obtained from EMMC process in terms of nitrification were compared with reported value from literature based on suspended growth nitrification system. The value of Y obtained from this study has no difference compared with values obtained from literature review and k_e of this study was low but K_s of this study was high compared than values obtained from suspended growth nitrification system. To evaluate the effect of internal recycling on system performance, system was operated with internal recycling ratio of 1.5Q, 2.0Q, 2.5Q and 3.0Q. increase of internal recycling ratio effect more greatly on improvement of denitrification efficiency than that of nitrification efficiency. Accordingly, optimization of internal recycling ratio has

[†]Corresponding author: bjeong@kunsan.ac.kr

to be based on improvement of anoxic reactor performance.

keywords: Kinetic constant(동력학적 인자), Effluent recycling(유출수 반송), Fisheries processing plant(수산물 가공공장), Wastewater treatment(폐수처리), EMMC(미생물강제포획방식)

1. 서 론

수산물 가공공장은 그 특성상 대개 연안에 위치하는데 발생하는 폐수는 높은 유기물 농도와 질소와 인과 같은 영양염류를 다량 함유하고 있어 적절하게 처리되지 않은 상태에서 연안에 방류되는 경우 해역의 부영양화나 적조발생의 원인이 되므로 효율적인 오염물질의 제거가 필요한 실정이다. 또한 수산물 가공업은 종류가 매우 다양하므로 수산물 제조공정에서 배출되는 오염물질은 가공업의 종류에 따라 그 성상이 매우 다양하다.

특히 수산물 가공공장 폐수는 세척시 사용되는 바닷물로 인하여 폐수 내에 다량의 염분이 함유되어있고 사용되는 원료가 계절에 따라 달라 폐수조성의 계절적 변동이 크다. 또한 소규모 공장의 경우 일년 중 특정기간 동안만 운영되는 곳도 있는 등 배출양상이 복잡하여 일정한 조건이 유입수 수질 및 유입량이 전제되어야 원활한 처리를 기대할 수 있는 생물학적 폐수처리의 적용은 어려움이 있다.

실제 수산물 가공공장에서 배출되는 폐수는 대부분 활성슬러지법에 의하여 처리되고 있는 것으로 보고되고 있다(백과신[1994]). 그러나 활성슬러지법은 질소 및 인의 제거효율이 낮고 부하변동시 슬러지 침강성이 악화되어 오염물질의 제거효율이 낮아지며(김 등[1985]) 고도의 운전기술과 숙련된 운전인력이 필요할 뿐만 아니라 넓은 부지가 소요되고 동절기에는 반응조의 온도저하로 미생물의 활성이 크게 떨어져 전체적인 처리효율이 저하될 우려가 크다. 또한 수산물 가공공장은 대부분 영세한 규모로 폐수처리를 위한 전문 기술 인력의 부족 및 운전미숙 등으로 인하여 발생하는 여러 가지 문제점 등으로 정상적인 운영을 하지 못하고 있는 곳이 많은 것으로 보고되고 있다(Balslev *et al.*[1990], Nair[1990]). 이러한 운전상의 문제점 외에도 간헐적 운전에 따라 폐수의 발생 및 배출이 간헐적으로 일어나기 때문에 생물학적 처리가 구조적으로 힘들 수 있다. 따라서 수산물 가공공장 폐수처리의 경우 이러한 발생폐수의 특성에 부합하면서도 질소와 인과 같은 영양염류의 제거가 가능한 새로운 형태의 처리공법이 필요하다.

이러한 방법 중의 하나는 박테리아를 gel 내에 강제적으로 고정시켜 처리하는 방법이다. Entrapped Mixed Microbial Cell(EMMC) 공정이라 불리는 이 방법은 폐수처리분야에의 적용은 비교적 새로운 개념이기는 하나 의약품, 식품산업 등에 광범위하게 적용되어져 온 것들로 Yang *et al.*[1988]에 의하여 폐수처리 공정으로 개발되었다. 기존 폐수처리공정의 대안으로 EMMC공정은 몇 가지 장점을 가지고 있는데 예를 들면 고액분리의 문제를 해결할 수 있고 생물 반응조의 크기를 줄일 수 있다는 점 등이다(Yang &

Wang[1990], Lin & Chen[1993]). 그 외에도 EMMC공정은 반응조내 세포체류시간을 증가시킬 수 있고 세포를 저해물질이나 공정인자 변동 등으로부터 보호할 수 있으며 원하는 종류의 미생물을 반응조내 유지시킬 수 있고 슬러지 생성량이 적으며 공정운전 중단시 장시간 미생물을 저장 보관 할 수 있고 또 필요한 때 빠른 기간 내에 원래의 활성으로 회복시킬 수 있는 장점 등이 있다. 기존 생물막 반응조에 비해 이러한 EMMC공정이 갖는 독특한 장점은 처리시설의 운전 및 유지보수가 기존 생물막 공정에 비해 비교적 간단하므로(Yang *et al.*[1997], Yang & Jeong[1997]) 특히 수산물 가공공장과 같은 소규모 처리시설에 적합할 것으로 판단된다.

EMMC공정의 수산물 가공공장 발생폐수 처리장치로의 적용 가능성을 평가하기 위한 처리도 실험은 정 등[2006]에 의하여 수행되어 수리학적 부하와 유기물 및 질소부하 변동에 따른 시스템 처리효율 변화가 보고된바 있다.

본 연구에서는 이에 대한 후속연구로 유기물 및 질소부하 변동 실험 자료를 이용하여 반응조 설계를 위한 동력학적 상수를 도출하였다. 또한 일정 유기물 및 질소부하에서 내부 재순환율을 달리 하여 내부 재순환이 전체 운전효율에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 미생물 순치 및 고정화

도시하수 처리장내 활성 슬러지 공정의 최종침전지로부터 가져온 활성 슬러지를 cellulose triacetate를 고정화 담체로 이용하여 Yang and See[1991]에 의하여 제안된 방법을 사용하여 entrapping시켰다. 즉, Fig. 1에 나타내 놓은바와 같이 원심분리 시킨 미생물세포를 methylene chloride에 용해시킨 cellulose triacetate에 가한 후 이를 다시 혼합시켜 틀에 집어넣은 다음 하루 동안 toluene 용액에 침지하여 경화시켰다. 경화된 gel matrix는 가로 10 mm, 세로 10 mm, 두께 10 mm로 잘라서 수돗물로 씻은 후 반응조에 투입시켜 사용하였다. 원심분리후 활성슬러지의 함수율은 89% 이었으며 TS 농도는 67.76 g/kg, VS함량은 59.46 g/kg이었다.

2.2 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 2에 나타내어 놓은바와 같이 anoxic조 1조와 oxic조 3조로 구성되어 있으며 장치 전단에 저류조를 후단에는 침전조를 두었다. 반응조의 규격은 모두 각각 150 W×150 L×300 H이며 아크릴을 사용하여 제작하였으며, 운전시 유효높이는 250 H 이었다. 따라서 유효용량 기준으로 보면 anoxic조 용량은 5.625 L, oxic조 총 용량은 16.875 L 이다. Anoxic조는

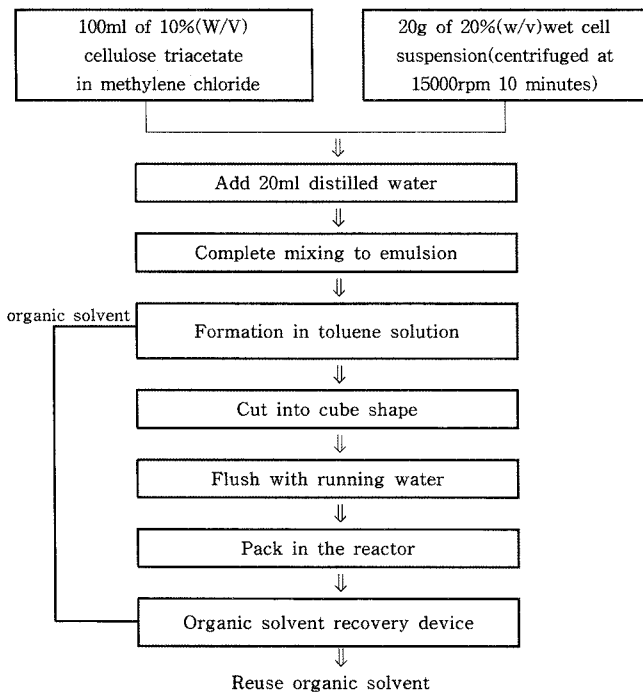


Fig. 1. Entrapped mixed microbial cell techniques.

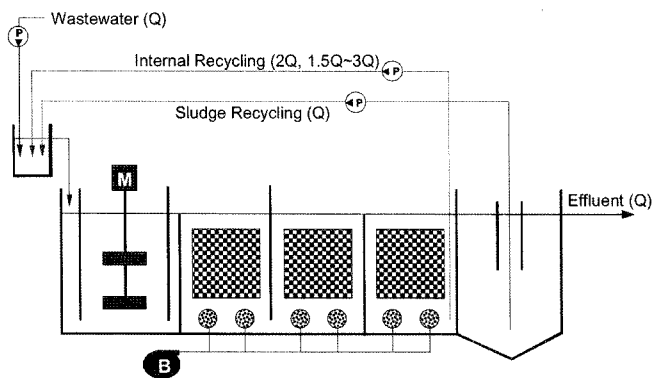


Fig. 2. Schematic diagram of experimental unit.

유입수내의 질소 및 유기물을 제거하기 위하여 부유성장 미생물을 이용하였으며 혼합을 위하여 교반장치를 반응조내에 설치하였

다. Oxid조에는 활성슬러지를 entrapping시킨 gel matrix를 2.55 L 씩 충전 시켰으며 gel matrix의 wash out을 방지하기 위하여 반응조내에 4mesh SUS망(100 W×150 L×170 H)을 설치하였다. Anoxic조 미생물 농도는 약 5,000 mg VS/L 이었고 oxid조는 각 5,610 mg VS/L로 총 16,830 mg VS/L이었다. 반응조 운전은 온도변화에 따른 영향을 배제하기 위하여 20 °C로 유지되는 항온실 내에서 실시하였다.

2.3 운전 및 분석방법

EMMC공정을 사용하여 수산식품 제조공장에서 배출되는 폐수로부터의 유기물 및 질소 제거시 동력학적 인자를 도출하고 내부반송율 변화에 따른 운전효율 등을 평가하기 위하여 실험실규모 반응조를 이용하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 폐수는 부산시내에 소재하는 어묵 및 수산물 가공식품을 제조하는 공장에서 배출되는 폐수로 화학적 응집침전 처리공정으로 처리한 폐수이다. 공장에서 가져온 폐수는 5 L 용량의 저류조에 넣고 미량 유량 조절펌프(Watson Marlow 505S)를 이용하여 주어진 HRT에 맞게 유입시켰으며 탈질을 유도하기 위하여 질산화조 유출수를 혐기성조로 반송시켰으며 침전조에 침전된 슬러지 역시 혐기성조로 반송시켜 혐기와 호기조건에 교대로 노출될 수 있게 유도하였다.

동력학적 인자도출을 위한 실험은 유출수 내부반송은 2Q로 슬러지 내부반송은 Q로 고정한 채 4단계로 유입부하를 증가시키면서 실험하였다. 실험단계별 전체 시스템에 대한 운전조건은 Table 1 과 같으며 각 단계별 실험에 사용된 폐수의 성상은 Table 2 에 나타내어 놓았다. 내부 반송율 변화가 반응조 운전효율에 미치는 영향 평가는 동력학적 인자평가를 위한 실험중 3단계에 적용된 용적부하 조건하에서 내부반송율을 1.5Q, 2.0Q, 2.5Q, 3.0Q로 변화시키면서 실험하였다. 각 반송율별 적용된 용적부하와 수리학적 부하 및 유입수 농도는 Table 3에 나타내어 놓았다.

전체 실험 기간 중 조류나 광합성 박테리아의 성장을 방지하기 위하여 반응조 투명 부분은 알루미늄 호일 등으로 감싸서 운전하였다.

실험이 시작되고 난 후부터 각각의 운전조건에 대한 유출수의 화학적 인자에 대한 분석방법은 Standard Methods(APHA, AWWA,

Table 1. Operating conditions of experiment

	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
Q(L/d)	11.12	15.19	22.24	30.08
HRT(hrs)	48.58	35.56	24.29	17.96
Volumetric COD Loading rate(kg/m ³ /d)	0.65	0.90	1.28	1.75
Volumetric T-N Loading rate(kg/m ³ /d)	0.119	0.160	0.230	0.317

Table 2. Chemical characteristics of influent in each experimental stage

	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
COD(mg/l§)	1,165~1,450(1,309)	1,190~1,460(1,333)	1,080~1,460(1,295)	1,170~1,560(1,311)
T-N(mg/l§)	228~253(242)	216~242(237)	206~256(232)	206~263(237)
NH ₄ ⁺ -N(mg/l§)	201~223(213)	190~213(209)	181~225(205)	197~231(209)
NO ₂ ⁻ -N(mg/l§)	5.24~6.50(5.81)	4.78~6.32(5.84)	4.15~6.78(5.37)	4.21~6.70(5.77)
NO ₃ ²⁻ -N(mg/l§)	15.96~17.71(16.91)	15.12~16.94(16.60)	14.42~17.92(16.27)	14.42~18.41(16.59)

Table 3. Operating conditions and influent concentrations in each recycling ratio

	1.5Q	2.0Q	2.5Q	3.0Q
HRT(hrs)	24.39	24.29	24.39	24.39
Volumetric COD Loading rate(kg/m ³ /d)	1.33	1.28	1.30	1.28
Volumetric T-N Loading rate(kg/m ³ /d)	0.237	0.230	0.237	0.233
COD(mg/l)	1,170~1,560(1,350)	1,080~1,460(1,295)	1,190~1,420(1,326)	1,165~1,450(1,304)
T-N(mg/l)	232~248(241)	206~256(232)	235~248(241)	230~244(237)
NH ₄ ⁺ -N(βmg/l)	202~215(207)	181~225(205)	204~215(208)	204~223(211)
NO ₂ ⁻ -N(mg/l)	4.96~6.25(5.65)	4.15~6.78(5.37)	5.12~6.82(5.98)	5.23~6.32(5.65)
NO ₃ ²⁻ -N(mg/l)	15.89~17.36(16.90)	14.42~17.92(16.27)	15.97~17.25(16.57)	15.75~17.50(16.30)

WPCF[2005])를 기준으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 동력학적 인자

생화학 반응에 대한 기타 동력학적 개념은 Monod식(Monod[1949])을 기초로 하여 Anoxic 반응조 및 oxic 반응조에서 각각 다음 식을 사용 및 유도하였다.

3.1.1 Anoxic 반응조

$$\frac{S_0 - S_1}{X_1 \theta_1} = \frac{k_d}{Y} + \frac{1}{Y \theta_c}$$

$$\frac{X_1 \theta_1}{S_0 - S_1} = \frac{k_d}{k S_1} + \frac{1}{k}$$

여기서, S_0 = 유입수 COD 및 T-N 농도(mg/l)
 S_1 = 유출수 COD 및 T-N 농도(mg/l)
 X_1 = 식중 미생물 농도(mg/l)
 θ_1 = 수리학적 체류시간(HRT; day)
 θ_c = 미생물 체류시간(SRT; day)

3.1.2 Oxic 반응조

$$\frac{S_0 - S_1}{X_1 \theta_1} = \frac{k_d}{Y} + \frac{1}{Y \theta_c} \frac{X_2}{X_1}$$

$$\frac{X_1 \theta_1}{S_0 - S_1} = \frac{K_s}{k S_1} + \frac{1}{k}$$

여기서, S_0 = 유입수 COD 및 NH₄⁺-N 농도(mg/l)
 S_1 = 유출수 COD 및 NH₄⁺-N 농도(mg/l)
 X_1 = 고정화된 미생물 농도(mg/l)
 X_2 = 유출수 VSS 농도(mg/l)
 θ_1 = 수리학적 체류시간(day) = 포괄 고정화 담체 접촉시간

위 식에 기초하여 Y, k_d, k, K_s 값을 graphic method를 이용하여 구하였다. 호기성 반응조에 있어서 암모니아의 제거에 기초한 동력학적 인자는 Fig. 3에서 구하였고 같은 호기성 반응조에서 COD 측면에서 구한 동력학적 인자는 Fig. 4에 나타내어 놓았다. 한편

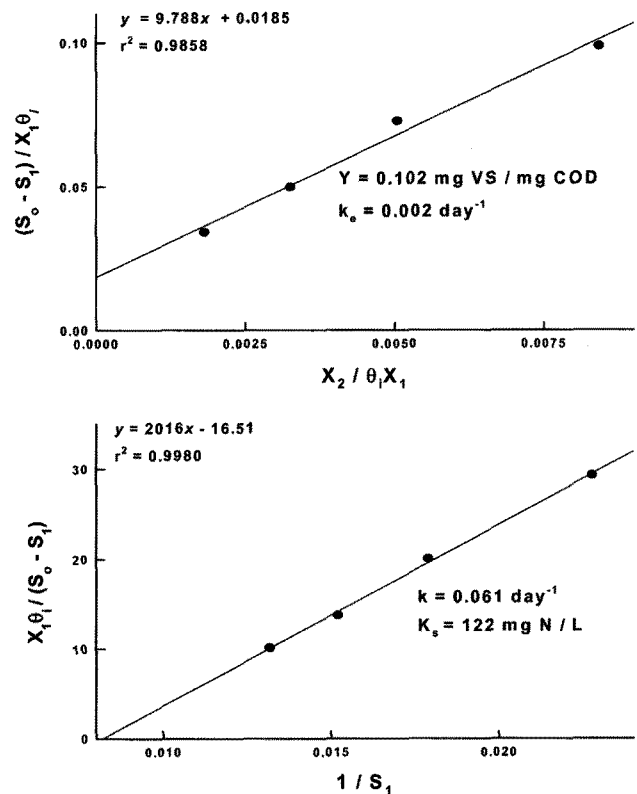


Fig. 3. Determination of kinetic constant using graphical method in oxic reactor in terms of COD.

anoxic 반응조에 있어서 T-N 제거에 관계된 동력학적 상수는 Fig. 5에서 결정하였고 같은 anoxic 반응조에서 COD 제거에 관한 동력학적 인자는 Fig. 6에서 상관관계 식을 이용하여 구하였다. 그럼에서 보듯이 4개 그래프 모두 양호한 상관관계를 나타내었으며 구하여진 일차식의 기울기와 절편을 이용하여 상수들을 구하였다.

이와 같은 방식으로 구한 동력학적 상수들을 각 반응조별로 정리하면 Table 4와 같다.

일반적으로 도시하수 처리를 위한 활성슬러지 공정의 전형적인 동력학적 계수 값은(Metcalf & Eddy[1991]), K_s 는 15~70 mgCOD/l, Y 값은 0.4~0.8 mgVSS/mgBOD₅, k_d 값은 0.025~0.075, k 값은 2~10 이라고 보고되고 있다. Fig. 3에서 보듯이 본 연구에서 구한 동력학적 상수에 있어서 먼저 세포 전환계수 Y 의 경우 mgCOD

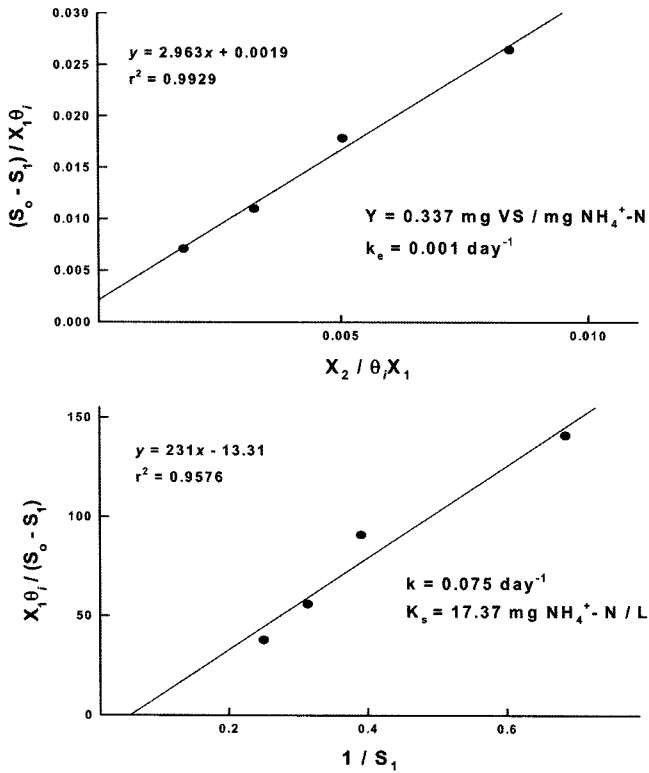


Fig. 4. Determination of kinetic constant using graphical method in oxalic reactor in terms of ammonia nitrogen.

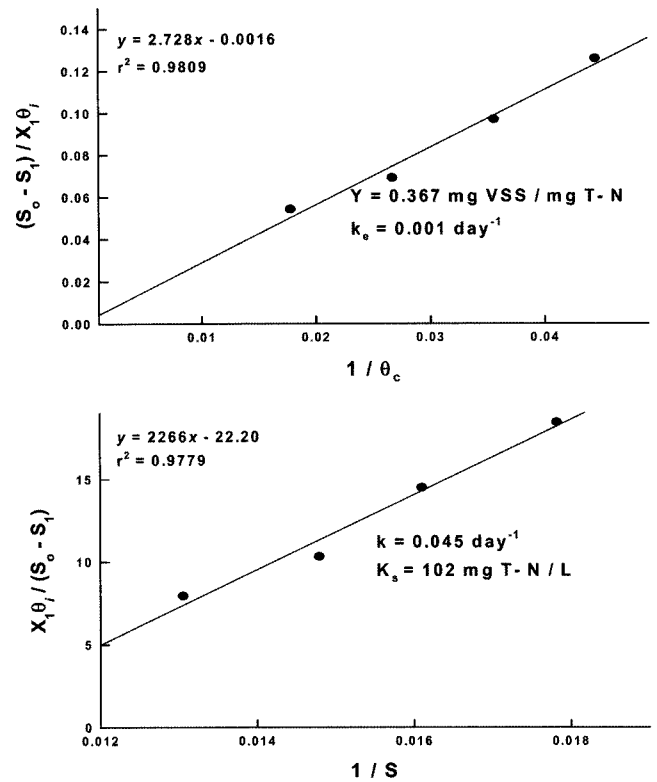


Fig. 6. Determination of kinetic constant using graphical method in anoxic reactor in terms of nitrogen.

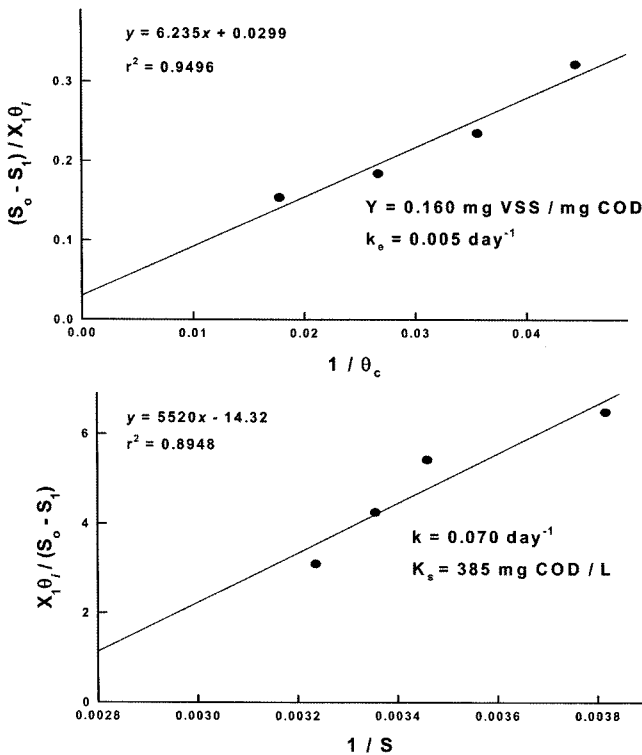


Fig. 5. Determination of kinetic constant using graphical method in anoxic reactor in terms of COD.

당 oxalic조의 경우 0.337 mgVS를 나타내었고 anoxic조의 경우 0.160 mgVSS를 나타내었다. 본 연구에서 폭기를 하는 oxalic조에서 구한

Y값의 경우 VSS항으로 고칠 경우 약 0.25 mgVSS 정도를 나타낼 것으로 판단된다. 이는 일반적인 활성슬러지 공정에서 Y값에 대해서 보고된 값들인 0.35~0.5 gMLSS/gCOD(Hashimoto & Furukawa [1987]), 0.46~0.69 mgVSS/mgCOD(Henze *et al.*[2000])에 비해서도 상당히 낮은 값이며 활성슬러지를 PVA에 포괄 고정화시켜 실험한 Hashimoto & Furukawa[1987] 및 Chen *et al.*[1998]의 실험에서 보고된 값들과 유사한 값이었다. 이와 같이 포괄고정화 공법에서 낮은 Y값을 나타내는 이유는 미생물 세포의 성장이 gel matrix 내부의 한정된 공간내에서만 일어나는 공정상의 특징과 미생물이 gel 외부로 유출되어 나가는 것이 최소화되기 때문에 gel bead 내의 슬러지 일량이 길어지기 때문이며 세포생성을 위한 공간의 감소로 세포생성을 위한 ATP yield가 감소하기 때문이다(Chen *et al.*[1998]). 따라서 미생물 포괄고정화 공법은 활성 슬러지 공정에 비해 슬러지 생성량을 상당히 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 내생호흡 계수 k_e 값 역시 일반적인 활성슬러지법에 있어서의 값인 0.025~0.075(Metcalf & Eddy[1991])와 비교할 때 상당히 낮은 값을 나타내었다.

질산화 미생물의 미생물 전환계수 Y 및 내생호흡계수 k_e , 속도 상수 k와 반포화상수 K_s 값을 나타낸 Fig. 4를 보면 EPA[1993]에 의해 보고된 현탁 질산화 공정에 대한 전형적인 동력학적 계수인 Y , k_e 및 K_s 값이 각각 0.2 mgVSS/mgNH₄⁺-N, 0.05 day⁻¹ 및 1.4 mg/l 인 점을 감안할 때 Y값은 본 연구에서 구한 값과 유사하였으며 내생호흡 계수는 낮았으며 반포화 상수의 경우는 본 연구에서의

Table 4. Kinetic constants in oxic & anoxic reactor

	Y	k_e	k	K_s
Oxic	0.337 mgVS/mg·NH ₄ ⁺ -N	0.001 day ⁻¹	0.075 day ⁻¹	17.4 mgNH ₄ ⁺ -N/l
	0.102 mgVS/mgCOD	0.002 day ⁻¹	0.061 day ⁻¹	122 mgCOD/l
Anoxic	0.367 mgVSS/mgT-N	0.001 day ⁻¹	0.045 day ⁻¹	102mgT-N/l
	0.160 mgVSS/mgCOD	0.005 day ⁻¹	0.070 day ⁻¹	385mgCOD/l

값이 훨씬 높은 값을 나타내었다. 이를 통하여 질산화 박테리아에 있어서도 포괄 고정화 공법이 일반적인 부유성장 반응조에 비하여 기질 친화도가 높은 것을 알 수 있었다. Fig. 5 및 Fig. 6은 anoxic조에 있어서 COD 및 T-N에 대하여 동력학적 인자를 직선 회귀분석을 통하여 구한 것이다. anoxic조의 경우 일반적인 부유 성장 방식으로 운전되고 있는 반응조로 동력학적 계수의 경우 EPA[1993]에서 보고된 값과 유사한 경향을 나타내었다.

3.2 내부반송을 변화가 반응조 운전효율 변화에 미치는 영향

유기물 및 질소를 제거하기 위한 혐기 및 호기공정으로 구성된 다단계 반응조에서 전체 공정의 운전효율에 영향을 주는 중요한 인자중의 하나가 반송을 통한 내부순환이다. 내부순환은 질산화, 탈질 모두에 있어서 중요한데 고농도 질소함유 폐수에 대하여 혐기-호기 결합공정을 사용하여 내부반송이 미치는 영향을 연구한 신 등[2004]의 연구에 의하면 내부반송이 증가할수록 유기물 및 총질소 제거효율은 증가한다고 보고하고 있으며 내부반송 3Q에서 가장 좋은 효율을 얻었다고 보고하고 있다. 또한 RBC 탈질/질산화 조합 시스템의 질산화 실험에서 반송비를 1에서 2 및 3으로 증가시켰을 때 반송비 증가에 따라 질산화율이 증가되었다고 보고(정과박[2003])하고 있다. 배 등[1999]도 반송율을 유입 수량에 대하여 약 8배까지 증가시키며 따라 고농도의 질소를 함유한 유입수의 희석효과에 의하여 탈질율이 약 30% 정도 향상되었다고 보고하고 있다. 충전탑형 무산소/호기 공정에서 반송비에 따른 유기물 및 질소제거 특성을 연구한 선[2002]의 연구에 의하면 수리학적 체류시간을 22 hr로 유지한 채 운전되는 반응조에서 반송비를 0.5, 1.0, 2.0으로 증가시키며 실험해본 결과 COD 제거효율은 반송비 증가에 따라 증가하였으나 반송비 1.0과 2.0에서의 효율이 거의 같았으며 T-N제거효율은 반송비 증가에 따라 56%, 67%,

70%로 각각 증가하였다고 보고하고 있다. 이와 같이 대부분의 연구에서 내부반송의 증가는 시스템의 COD 및 질소제거 효율을 향상시킨다고 보고하고 있으나 반송에 따른 영향은 폐수의 종류, 반응조의 형태 등에 따라 다르므로 실제 폐수의 경우 각각에 대한 특성은 달라질 수 있다.

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물 강제 포획방식인 EMMC공정을 적용하여 내부반송 1Q에서 부하율을 증가시키며 이에 따른 유기물 및 질소의 제거 효율을 평가한 정 [2006]의 연구에 의하면 유출수 T-N농도는 T-N부하 0.23 kg T-N/m³d까지는 공장폐수의 유출수 총질소 농도규제치인 60 mg/l 이하를 유지하였으나 그 이상의 유입부하에서는 유출수 법적 규제치인 60 mg/l를 초과한다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 T-N부하 0.23 kg T-N/m³d에서 내부 반송율을 1.5Q, 2.5Q, 3Q로 증가시키면서 내부반송을 변화가 반응조 운전효율 변화에 미치는 영향을 평가하였다.

내부반송율 1.5Q, 2Q, 2.5Q, 3Q 각각에 대한 anoxic조 유출수와 시스템 유출수 각각의 COD, T-N, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N 농도에 대한 분포 및 평균치를 Table 5에, 전체 시스템에 대한 내부 반송율별 COD 및 T-N부하, anoxic조에 대한 COD 및 T-N부하를 Table 6에 나타내어 놓았다. Fig. 7에 나타내어 놓은바와 같이 유출수 COD와 T-N 제거효율은 COD의 경우에는 내부반송을 1.5Q에서 3Q까지 변화시켜도 큰 차이를 나타내지 못하였으나 T-N의 경우는 내부 반송을 증가에 따라 처리효율도 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 COD 제거효율은 반송비 1.0과 2.0에서 별 차이가 없었으나 T-N 제거효율은 반송비 증가에 따라 비례적으로 증가하였다는 선[2002]의 보고와 일치한다.

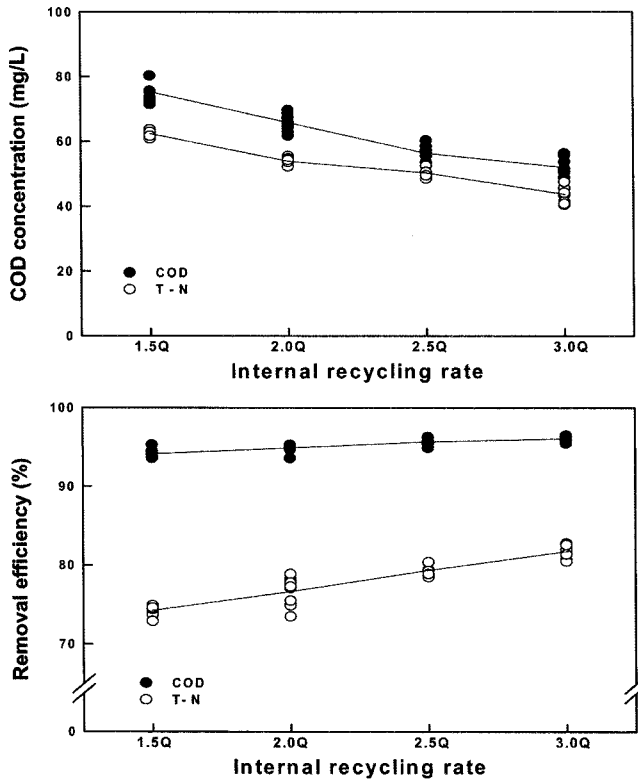
전체 시스템 측면에서 보여준 이러한 경향을 좀 더 자세히 분석하기 위하여 anoxic조에 대한 내부반송을 변화에 따른 영향을

Table 5. Concentration of effluent

Item	Recycling ratio				
		1.5Q	2.0Q	2.5Q	3.0Q
Anoxic effluent	COD(mg/L)	305-375(337)	245-356(298)	235-287(263)	218-253(232)
	T-N(mg/L)	72.7-87.2(78.7)	65.9-69.5(67.6)	53.2-58.6(55.1)	48.9-53.5(51.5)
	NH ₄ -N(mg/L)	63.8-79.5(72.4)	53.4-65.2(60.2)	45.5-49.5(47.1)	40.7-46.8(44.0)
	NO ₂ -N(mg/L)	0.04-0.12(0.07)	0.01-0.09(0.04)	0.01-0.09(0.05)	0.01-0.06(0.04)
	NO ₃ -N(mg/L)	0.18-0.62(0.40)	0.06-0.42(0.23)	0.09-0.30(0.17)	0.05-0.15(0.11)
System effluent	COD(mg/L)	71.5-80.3(74.9)	61.8-69.7(65.8)	52.5-60.3(56.3)	47.6-56.3(52.0)
	T-N(mg/L)	60.9-63.7(62.4)	52.3-54.8(53.9)	48.5-52.5(50.0)	40.5-47.5(43.4)
	NH ₄ -N(mg/L)	3.87-4.42(4.03)	3.12-3.35(3.19)	2.43-2.95(2.59)	1.35-1.74(1.49)
	NO ₂ -N(mg/L)	3.69-4.02(3.89)	2.45-2.92(2.66)	2.11-2.17(2.14)	2.13-2.24(2.17)
	NO ₃ -N(mg/L)	37.50-44.20(40.91)	33.14-36.05(34.68)	33.50-38.40(35.41)	24.5-30.5(27.29)

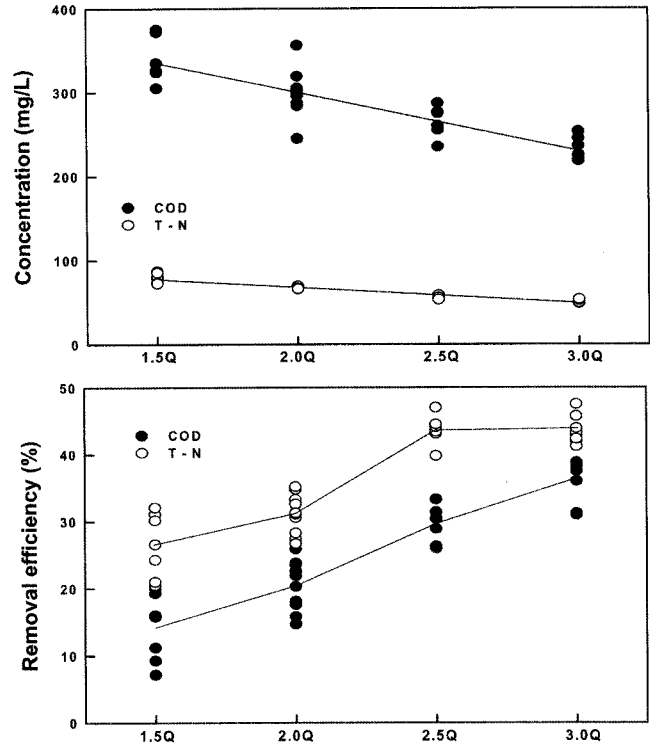
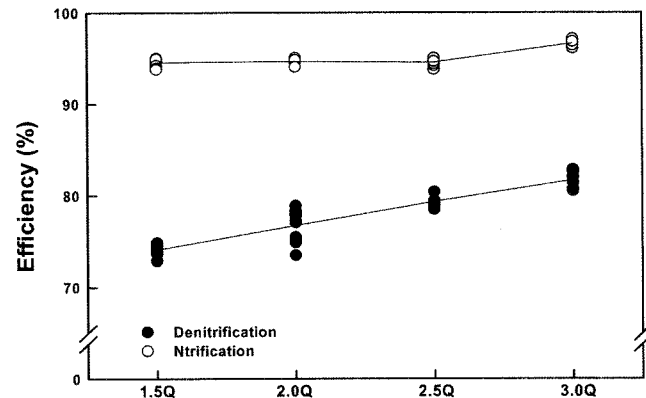
Table 6. COD & T-N removal efficiency and loading rate of anoxic and oxic reactor.

	1.5Q	2.0Q	2.5Q	3.0Q
COD removal efficiency of anoxic reactor(%)	14.1	20.2	29.6	36.4
T-N removal efficiency of anoxic reactor(%)	26.5	31.3	43.6	43.8
COD loading rate of oxic reactor (kg/m ³ ·d)	5.317	4.711	4.144	3.649
T-N loading rate of oxic reactor (kg/m ³ ·d)	1.141	0.953	0.742	0.693

**Fig. 7.** Variation of reactor performance depending on internal recycling rate in view of COD & T-N.

COD와 T-N에 대하여 조사한 결과를 Fig. 8에 나타내어 놓았다.

Anoxic조에 있어서의 COD 및 T-N 제거율 변화는 전체 시스템과는 다른 결과를 가져왔는데 anoxic조의 경우에는 내부반송율 증가에 따라 T-N 변화는 별로 없는데 COD 변화는 크게 나타나 COD의 경우 oxic조에서의 제거능이 뛰어나며 T-N 제거의 경우에는 anoxic조에서의 탈질이 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 한편 시스템 전체에 대하여 내부 반송율에 따른 질산화율과 탈질율 변화를 보면 Fig. 9에서 보다시피 내부반송율 증가는 질산화 보다는 탈질효율의 증가에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 oxic조에서의 질산화의 경우 본 실험에서는 내부반송율에 관계없이 높은 효율을 유지하고 있어 내부반송율 변화와 같은 공정인자의 변화가 전체 시스템의 운전효율에 미치는 영향이 미미한 반면 anoxic조에서 일어나는 탈질은 이러한 운전인자의 변동에 상대적으로 영향을 크게 받기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 시스템의 경우 전체 질소 제거효율의 관건은 anoxic조 운전의 최적화에 있는 것으로 판단된다.

**Fig. 8.** Variation of anoxic reactor performance depending on internal recycling rate in view of COD & T-N.**Fig. 9.** Variation of nitrification and denitrification efficiency depending on internal recycling rate.

4. 결 론

미생물 강제포획방식인 EMMC공정을 적용하여 수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 실시하면서 동력학적 인자를 도출하였으며 유출수 재순환이 반응조 처리효율에 미치는 영향을 조사

해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 세포 전환계수 Y 의 경우 mgCOD당 oxic조의 경우 0.337 mgVS를 나타내었고 anoxic조의 경우 0.160 mgVSS를 나타내어 일반적인 활성슬러지 공정에서 Y 값에 대해서 보고된 값에 비해서 상당히 낮은 값이며 활성 슬러지 공정에 비해 슬러지 생성량을 상당히 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

(2) 내생 호흡 계수 k_d 값 역시 0.001~0.005 day⁻¹을 나타내어 일반적인 활성슬러지법에 있어서의 값과 비교할 때 상당히 낮은 값을 나타내었다.

(3) 질산화 미생물의 미생물 전환계수 Y 및 내생 호흡 계수 k_e , 속도상수 k 와 반포화상수 K_s 값을 일반적인 부유성장형 질산화 반응조에서 구한 값들과 비교해볼 때 Y 값은 본 연구에서 구한 값과 유사하였으며 내생 호흡 계수는 낮았으며 반포화 상수의 경우는 본 연구에서의 값이 훨씬 높은 값을 나타내었다. 이를 통하여 질산화 박테리아에 있어서도 포괄 고정화 공법이 일반적인 부유 성장 반응조에 비하여 기질 친화도가 높은 것을 알 수 있었다.

(4) 내부 재순환이 전체 반응조 운전 효율에 미치는 영향을 평가하기 위하여 내부 순환율을 1.5Q, 2.0Q, 2.5Q, 3.0Q로 변화시켜가며 운전한 결과 내부 순환율 증가는 질산화보다는 탈질화 효율의 증가에 더 큰 영향을 미치며 내부 순환율의 최적화는 anoxic조의 운전 효율 증대에 초점을 맞추어야 하는 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2008년 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] 김영석, 박철휘, 박태주, 1985, "수산물 가공폐수의 생물학적 처리", 대한환경공학회지, 제7권 제2호, 59-66.
- [2] 배우근, 백승천, 민경진, 정진욱, 홍종철, 이원권, 1999, "단축 질소제거공정을 이용한 고농도 질소 함유 폐수처리", 대한환경공학회 99추계학술연구발표회 논문집(I), 광주과학기술원, 149-150.
- [3] 백병천, 신항식, 1994, "연속 회분식 반응조를 이용한 수산물 가공폐수 처리", 대한상하수도 학회지, 제8권 제1호, 18-26.
- [4] 선용호, 2002, "충전탑형 무산소/호기 공정에서 반송비에 따른 유기물 및 질소 제거 특성", 한국환경과학회지 제11권 제12호, 1261-1265.
- [5] 신항식, 서창원, 이상형, 정형석, 임재림, 권중천, 2004, "UMBR (Upflow Multi-layer Bio Reactor)을 이용한 KNR(R) Process에서 유입수의 COD/N비와 내부반송비가 질소제거율에 미치는 영향", 대한환경공학회지, 제26권 제3호, 355-361.
- [6] 정병철, 장수현, 정병곤, 2006, "미생물 강제포획기술을 이용한 수산물 가공공장 폐수처리에서 부하율에 따른 유기물 및 질소의 제거 효율성 평가", 한국해양환경과학회지, 제9권 제1호, 14-20.
- [7] APHA, AWWA, WPCF., 2005, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Ed., American Public Health Association, Washington, D. C.
- [8] Balslev, O. P., Lynggaard, J. A. and Nickelsen, C., 1990, "Pilot scale experiments on anaerobic treatment of wastewater from a fish processing plant", Wat. Sci. Tech., Vol. 22, No. 1/2, 463-474.
- [9] Chen, K. C., Lee, S. C., Chin, S. C. and Houng, J. Y., 1998, "Simultaneous carbon-nitrogen removal in wastewater using phosphorylated PVA-immobilized microorganisms", Enzyme & Microbial. Tech., 23, 311-320.
- [10] Hashimoto, S. and Furukawa, K., 1987, "Immobilization of activated sludge by PVA-boric acid method", Biotech. Bioeng., 15, 52-59.
- [11] Henze, M., Gujer, W., Mino, T. and Loosdrecht, M., 2000, "Activated sludge models", ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA Publishing, London, England, 23-25.
- [12] Lin, Y.-F. and Chen, K.-C., 1993, "Denitrification by immobilized sludge with polyvinyl alcohol gels", Wat. Sci. Tech., 28(7), 159-164.
- [13] Metcalf, Eddy, 1991, Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed., McGraw-Hill.
- [14] Monod, J., 1949, "The growth of bacterial cultures", Annual Review of Microbiology, 3, 371.
- [15] Nair, C., 1990, "Pollution control through water conservation and wastewater reuse in the fish processing industry", Wat. Sci. Tech., Vol. 22, No. 9, 113-121.
- [16] U. S. EPA, 1993, Design Manual; Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010.
- [17] Wang, Y., Huang, X. and Yuan, Q., 2005, "Nitrogen and carbon removals from food processing wastewater by an anoxic/aerobic membrane bioreactor", Process Biochemistry, 40, 1733-1739.
- [18] Yang, P. Y., Cai, T. and Wang, M. L., 1988, "Immobilized mixed microbial cells for wastewater treatment", Biological Wastes, 23(4), 295-312.
- [19] Yang, P. Y. and Wang, M. L., 1990, Entrapment of Microbial Cells for Wastewater Treatment. In Wastewater Treatment by Immobilized Cell, (Edited by Tyagi, R. D. and K. Uemvu), CRC Press, 45-77.
- [20] Yang, P. Y. and See, T. S., 1991, "Packed entrapped mixed microbial cell process for removal of phenol and its compounds", J. Environ. Sci. Health, A26(8), 1491-1521.
- [21] Yang, P. Y., Zhang, Z. Q. and Jeong, B. G., 1997, "Simultaneous removal of carbon and nitrogen using an entrapped mixed microbial cell process", Water Research, Vol.31, No.10, 2617-2625.
- [22] Yang, P. Y. and Jeong, B. G., 1997, "Entrapped mixed microbial cell technology for wastewater treatment and reuse/disposal in Hawaii", Proceedings of the IAWQ Asia-Pacific Regional Conference, Asian Waterqual' 97, May 20-23.

2008년 6월 11일 원고접수

2008년 8월 25일 심사완료

2008년 9월 2일 수정본 채택