

총전탑형 무산소/호기 공정에서 반송비에 따른 유기물 및 질소 제거 특성

선 용 호

상지대학교 환경공학과

(2001년 11월 29일 접수; 2002년 12월 11일 채택)

Characteristics of Organics and Nitrogen Removal with the Recycle Ratio in Anoxic / Oxic Packed Bed Process

Yong-Ho Seon

Dept. of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Manuscript received 29 November, 2001; accepted 11 December, 2002)

This study was focused on the investigation of the characteristics of organics and nitrogen removal with the recycle ratio in anoxic/oxic(A/O) packed bed process that consisted of the anoxic reactor and the aerobic reactor. As increasing the recycle ratio by 0.5, 1.0, 2.0, the COD removal efficiency increased by 94.0%, 98.5%, 98.8% respectively. The aerobic reactor showed the perfect nitrification efficiency by 98.5%, 99.2%, 98.0% respectively. The T-N removal efficiency with the recycle ratio, increased by 56%, 67%, 70% respectively. As increasing the recycle ratio by 0.5, 1.0, 2.0, T-P removal efficiency decreased by 62.1%, 57.4%, 51.3% respectively. The process by releasing the stored phosphorus in the anoxic reactor and uptaking the excess phosphorus in the aerobic reactor, occurred well comparatively when recycle ratio is 0.5. But this process did not occur when the recycle ratio is 1.0 and 2.0. And optimum pH of nitrification was about 6~7 and alkalinity decreased as nitrification rate increased. As increasing the recycle ratio in the anoxic reactor, DO concentration and ORP increased.

Key word : Organics & nitrogen Removal, Recycle ratio, Anoxic/oxic(A/O) packed bed process, COD, T-N, T-P

1. 서 론

인구증가 및 생활수준의 향상으로 생활 오수에 의한 수질오염이 차지하는 비율이 점차적으로 높아지고 있다. 특히 생활오수에는 질소 및 인의 총량이 타 폐수에 비해 상대적으로 높아 이의 처리는 필연적이다. 산업폐수는 일정 규모 이상 사업장의 배출 시설에 대하여 배출허용기준을 적용함으로써 어느 정도 관리가 가능하나, 생활 오수는 하수관거와 처리시설이 완비되어야 방류수역의 수질오염방지가 가능하다¹⁾. 그러나 현재 대부분 합류식 관거로 되어 있고 분류식 관거가 설치되어도 우수관로의 우수

방출 등 관리상의 문제로 하천에 그대로 방류되고 있다. 또한 합류식 관거에서의 대용량의 우수, 지하수 유입으로 하수종말 처리시설의 용량 초과 및 낮은 처리율 등의 시설 및 관리상의 문제로 많은 양이 하천으로 방류되고 있다. 또한 현재 국내에 가동중인 하수처리장은 유기물 제거를 위한 2차 처리만을 목표로 하고 있어, 질소와 인은 처리하지 못한 상태에서 처리수가 하천으로 방류되고 있는 실정이다²⁾. 이렇게 미처리된 영양염류의 수계로의 유입은 하천 및 호소의 부영양화 및 해역에서의 적조발생을 유발시킬 뿐 아니라 상수원을 오염시키고 있다. 이러한 심각한 오염을 해결하기 위해 질소와 인에 대한 법적 규제가 강화되고 있다.

하폐수중에 포함된 질소 및 인을 제거하는 기술로는 Bardenpho공법, A/O공법, Phostrip공법, UCT공법, Phoredox공법, SBR공법, VIP공법 등이 개발

Corresponding Author : Yong-Ho Seon, Dept. of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea
Phone : +82-33-730-0445
E-mail : yhseon@mail.sangji.ac.kr

되어 있다. 그러나 이런 탈질/질산화 공정은 높은 COD/N 비를 가진 폐수에 적합하며 유입수의 COD 농도가 낮은 경우에는 외부탄소원이 요구된다³⁻⁵⁾. 또한 대부분이 현탁 공정으로 균의 유출이 심해 침전조의 설치가 필요하고 특히 증식속도가 느린 질산화 미생물이 반응기 밖으로 유출되어 처리 효율이 낮은 단점이 있다.

본 연구는 그러한 문제점을 개선하기 위해 탈질 반응과 유기물 제거가 이루어지는 토기가 충전된 무산소조와 질산화가 이루어지는 폴리우레탄 담체가 충전된 호기조를 이용하여 반응비 변화에 따른 유기물 제거 및 질소 제거를 살펴보기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료와 장치

본 실험에서 사용한 원수는 SY대학 정화조로 유입되는 학교 오수로 수질은 Table 1과 같으며 반응기는 Fig. 1과 같이 무산소조와 호기조로 구성된 충전탑형 공정으로 투명한 아크릴 수지를 이용하여 제작하였다. 무산소조의 담체는 토기를 사용하였고, 호기조는 폴리우레탄을 사용하였다. 그리고 호기조 바닥에는 산기기를 부착시켜 용존산소농도(DO)를 4.0 mg/L 정도로 유지시켰다. 무산소조와 호기조의 부피는 각각 20 L이다.

2.2. 실험방법

본 실험은 원주 수질환경사업소의 소화슬러지를 이용하여 미생물을 증식 부착시켜 20여 일간 COD_{cr} 측정으로 미생물의 부착 안전성을 확인 후 수리학적 체류시간(HRT)을 22 hr로 유지하면서 반응비를 0.5, 1.0, 2.0으로 변화시켜 정상상태에서의 반응비 변화에 따른 유기물 및 질소의 제거율을 알아보고

자 하였다. 시간에 따른 처리수의 수질을 측정 한 후 이 수치가 일정하게 될 때를 정상상태로 규정하였다.

실험항목 중 DO, pH, ORP는 시료채취 후 바로 측정하였으며 COD_{cr}은 Standard Method⁶⁾에 의하여 중크롬산 칼륨법을 이용하였고 나머지 항목들은 수질오염공정시험방법⁷⁾에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물 제거 특성

COD_{cr}는 수중의 산화 가능한 오염물질이 산화제에 의해 화학적으로 산화하는데 필요한 산소량을 나타낸 것으로 폐수의 유기물 함유도를 측정하기 위한 중요한 척도이다. 따라서 COD 제거 양상에서 유기물의 제거 양상을 알 수 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 반응비를 0.5, 1.0, 2.0으로 변화시켰을 때 COD 제거율은 94.0%, 98.5%, 98.8%로 점차 증가하는 경향을 보였으나, 반응비 1.0과 2.0일 때 COD 제거율의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 Fig. 3의 C/N(COD_{cr}/T-N)비에 따른 COD 제거율에서 보는 것과 같이 반응비 0.5일 때는 C/N는 5.3이었으며, 1.0일 때 13, 2.0일 때 13.5로 반응비가 1.0과 2.0에서 C/N비 차이가 거의 나타나지 않았다.

3.2. 질소 제거 특성

본 공정의 특징은 무산소조를 선단에 설치하여 호기조에서 전송된 혼합액 내의 NO₃⁻-N 및 NO₂⁻-N를 탈질산화 반응에 의해 질소 가스로 변환시켜 대기 중으로 방출시키는데 있다.

Table 1. Characteristics of influent wastewater

Parameters	Range(mg/L)	Average(mg/L)
TEMP.(°C)	23 ~ 25	24
pH	7 ~ 8	7.5
DO	0.4 ~ 0.58	0.5
COD	230 ~ 825	530
T - N	43 ~ 61	52
T - P	2.8 ~ 4.2	3.5
NH ₄ ⁺ - N	8.9 ~ 16	12.4
NO ₃ ⁻ - N	0.1 ~ 0.4	0.2
NO ₂ ⁻ - N	0.01 ~ 0.02	0.015
Alkalinity(as CaCO ₃)	200 ~ 250	225

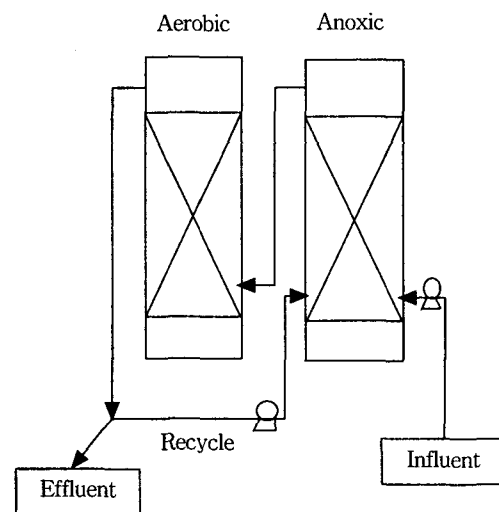


Fig. 1. Schematic diagram of anoxic/oxic packed bed process.

충전탑형 무산소/호기 공정에서 반송비에 따른 유기물 및 질소 제거 특성

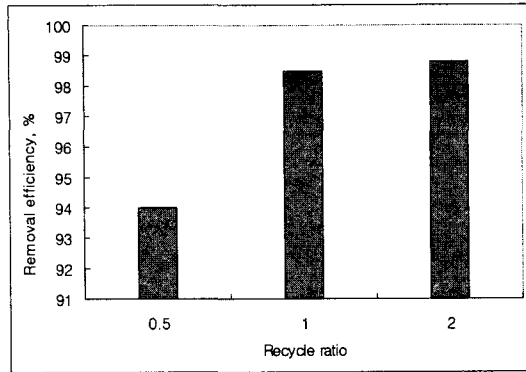


Fig. 2. Effect of recycle ratio on COD removal efficiency.

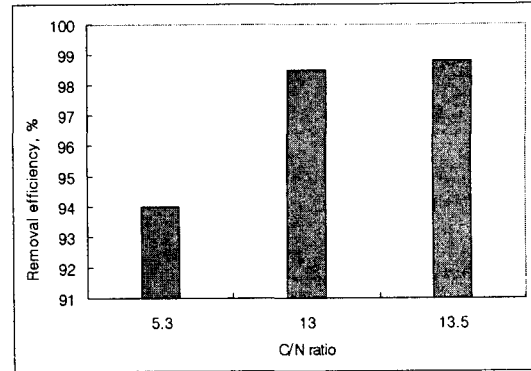


Fig. 3. Effect of C/N ratio on COD removal efficiency.

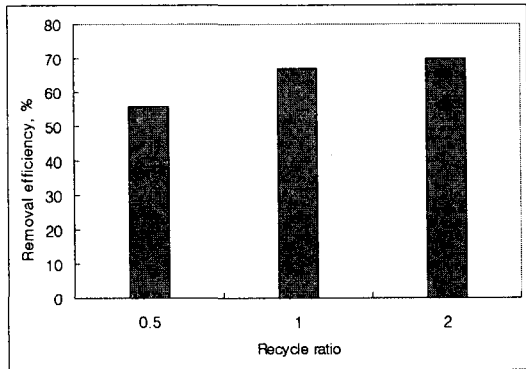


Fig. 4. Effect of recycle ratio on T-N removal efficiency.

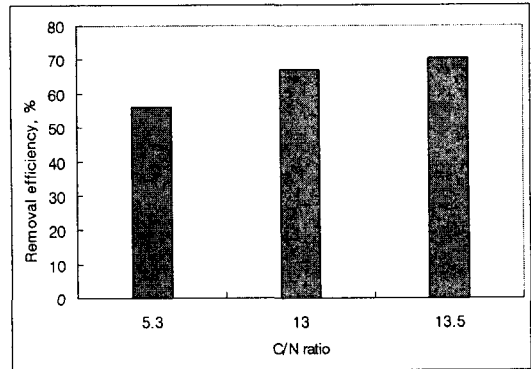


Fig. 5. Effect of C/N ratio on T-N removal efficiency.

운전기간동안 유입수, 유출수 각각의 T-N 평균 농도는 52 mg/L, 18 mg/L로 나타났으며, Fig. 4에서 알 수 있듯이 반송비를 0.5, 1.0, 2.0으로 증가할 때 질소 제거율은 56%, 67%, 70%로 점차 증가하였으며 반송비 2.0일 때 가장 좋은 질소 제거율을 보였다.

Fig. 5에 C/N비에 따른 질소 제거율을 나타내었다. 반송비가 0.5, 1.0, 2.0일 때 C/N비는 5.3, 13, 13.5이었다. Wang¹⁾은 C/N비가 6 이상일 때 탈질화가 원활하게 일어난다고 보고하였다. 반송비 0.5일 때 C/N비가 5.3이므로 질소 제거에는 C/N비의 영향도 다소 받을 것으로 추정되나 이것보다는 반송비의 영향이 더 클 것으로 사료된다.

Fig. 6에 표현한 것처럼 충분한 용존산소의 영향으로 반송비가 0.5, 1.0, 2.0으로 증가함에 따라 호기조에서의 질산화율은 98.5%, 99.2%, 98.0%로 완전한 질산화율을 보였다. 본 실험 범위에서 98% 이상의 질산화율로 유입된 NH_4^+-N 가 NO_3^--N 의 형태로 완전하게 질산화되었기 때문에 NO_2^--N 의 형태로는 미량 존재함을 알 수 있다.

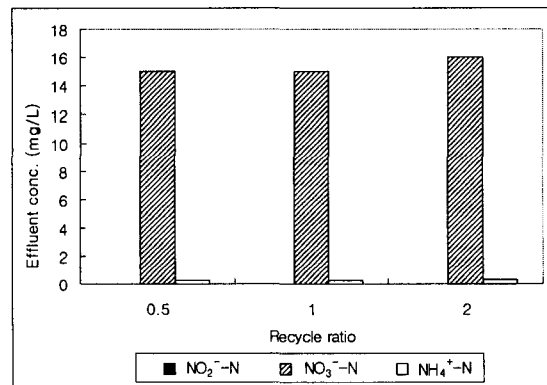


Fig. 6. Variations of NH_4^+-N , NO_2^--N and NO_3^--N in the effluent as a function of recycle ratio.

3.3. 인 제거 특성

인 제거율의 가장 중요한 요소는 원수의 성상이며 특히 VFA (Volatile Fatty Acid)의 존재, 종류 등의 영향이 크다. 이러한 인의 거동은 무산소조나 혐기조에서 VFA의 종류, 반응조 내의 NO_3^--N 의

양에 따라 인의 용출 및 섭취, 용출속도의 변화 등의 현상이 다양한 형태로 나타나는 것으로 알려졌다⁸⁾. 반응비를 0.5, 1.0, 2.0으로 변화시켜 가면서 실험한 결과를 나타낸 것이 Fig. 7이다. 반응비가 0.5, 1.0, 2.0으로 증가함에 따라 T-P 제거율은 62.1%, 57.4%, 51.3%로 감소하였다. 인의 경우 반응비가 낮을수록 용출이 많이 일어났음을 알 수 있다.

반응비가 0.5일 때는 무산소조에서의 인 용출과 호기조에서의 과잉 인 섭취 기작이 비교적 잘 이루어 졌으나 반응비 1.0과 2.0일 때는 인의 용출섭취 기작이 이루어지지 않았다. 이는 다중인산염 대신 다당류 축적이 가능한 G 박테리아가 다중인산염을 축적하는 poly-p 박테리아 보다 성장이 우위를 차지하여 poly-p 박테리아에 의한 인의 용출과 섭취가 저조하기 때문⁹⁾인 것으로 사료된다.

3.4. pH와 Alkalinity의 변화

질산화에 대한 pH의 영향에 대한 많은 연구자들의 연구에 의하면 질산화의 최적 pH 범위가 넓게 분포되어 있는 것으로 보고되었다. 본 실험결과 질

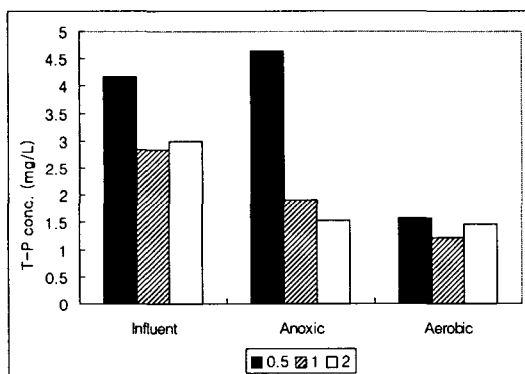


Fig. 7. T-P concentration in each reactor with different recycle ratio.

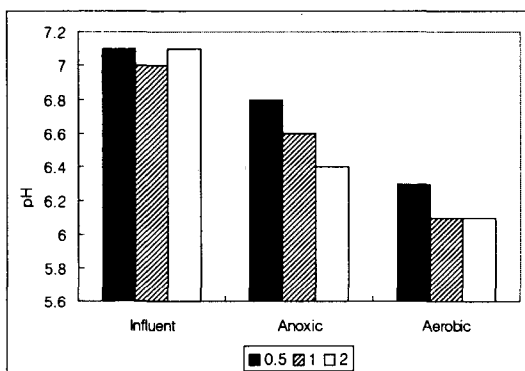


Fig. 8. pH in each reactor with different recycle ratio.

산화에 대한 pH의 영향은 pH 6.4에서 질산화가 가장 효과적으로 이루어짐을 알 수 있다. 질산화에 대한 pH의 영향을 명확하게 규정할 수는 없으며 각 공정의 특성과 사용하는 공법에 따라 pH 영향의 범위가 달라질 수 있으므로 보편적인 pH의 범위를 결정한다는 것은 상당히 깊은 연구를 요구한다¹⁰⁾. 그러나 본 실험 범위에서는 질산화의 적정 pH는 6~7 정도임을 알 수 있다.

무산소 - 호기조 반응기를 이용한 실험에서 pH의 변화를 Fig. 8에 표현하였다. 반응비에 관계없이 무산소조와 호기조에서 질산화가 진행됨으로 인해 pH는 감소하는 경향을 나타냈다.

생물학적 영양염 제거 공정에서 pH는 매우 중요한 인자로서 작용하는데, 질산화 과정에서 pH를 결정하는 요소는 Alkalinity이다. Fig. 9에서 나타낸 Alkalinity의 변화를 보면 무산소조에서 Alkalinity가 감소하고 이어지는 호기조에서도 감소함을 알 수 있다. 이는 호기조 유출수의 순환에 따른 희석이 무산소조에서 이루어지기 때문이고, 호기조에서는 암모니아성 질소 1 mg당 평균 3.7 mg의 Alkalinity가 소모되는 것으로 나타났는데, 이는 이론적인 값인 7.14 mg보다 작은 것으로 호기조 내에서 호기성 탈질 등에 의해 Alkalinity가 보충된 것으로 판단된다²⁾.

3.5. DO와 ORP의 변화

Fig. 10과 Fig. 11에서 살펴보면, 실험기간 중 호기조에서의 DO 농도는 4.3 mg/L ~ 4.58 mg/L이었으며 무산소조에서는 0.66 mg/L ~ 0.71 mg/L이었다. 한편 ORP는 호기조에서 38 mV ~ 70 mV이었으며, 무산소조에서는 -44 mV ~ -9.8 mV이었다. 무산소조에서의 DO 농도, ORP와 질소 제거율과의 상관관계에서는 반응비가 증가함에 따라 DO 농도는 0.66 mg/L에서 0.71 mg/L로, ORP 값은 -44 mV에서

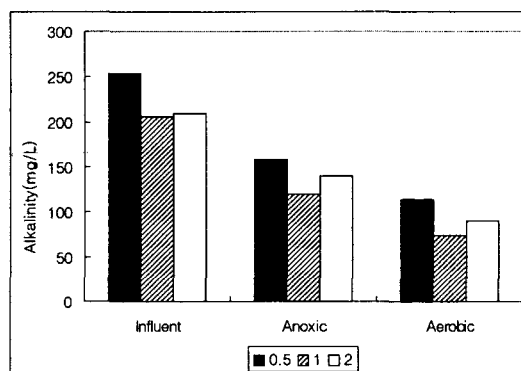


Fig. 9. Alkalinity in each reactor with different recycle ratio.

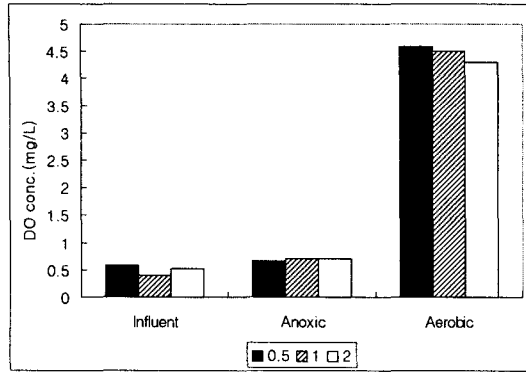


Fig. 10. DO concentrations in each reactor with different recycle ratio.

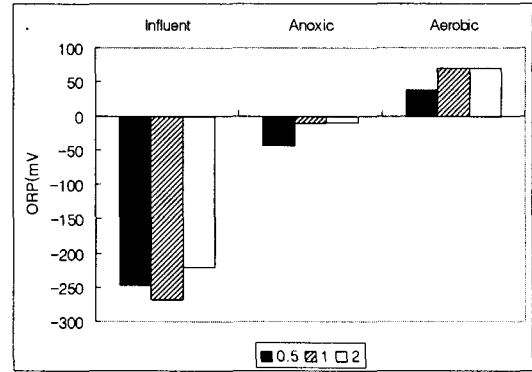


Fig. 11. ORP(mV) in each reactor with different recycle ratio.

-9.8mV로 증가하였으며 질소 제거율은 56%에서 70%로 증가하는 경향을 나타내었다.

무산소조에서는 DO보다 ORP가 질소제거율과 관련이 있는 것으로 나타났으며, 생물학적 영양염 제거공정에서 ORP는 질소 제거에 있어서 반응기의 운전조건을 결정하는데 도움을 주는 인자로 기여할 수 있을 것으로 사료되었다.

4. 결 론

SY대학의 오수를 토기가 충전된 무산소조와 폴리우레탄 담체가 충전된 호기조로 구성된 충전탑형 생물막 A/O공정으로 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수리학적 체류시간(HRT)을 22 hr로 유지한 상태에서 반응비가 0.5, 1.0, 2.0으로 증가함에 따라 COD 제거율은 94.0%, 98.5%, 98.8%이었으며 반응비 1.0과 2.0에서 효율이 거의 같았다.
- 2) T-N의 경우 반응비가 0.5, 1.0, 2.0으로 증가함에 따라 T-N 제거율이 56%, 67%, 70%로 증가하는 경향을 보였으며, 반응비가 0.5일 경우 가장 낮은 T-N 제거율을 보였다.
- 3) T-P의 경우 반응비가 0.5, 1.0, 2.0으로 증가함에 따라 T-P 제거율은 62.1%, 57.4%, 51.3%로 감소하였으며 반응비 0.5일 때 인 용출섭취 기작이 잘 이루어졌으나 반응비 1.0이상에서는 인의 용출섭취 기작이 이루어지지 않았다.
- 4) 본 실험 범위에서 질산화의 적정 pH는 6~7 정도로 나타났으며, Alkalinity는 질산화에 따라 감소한 것으로 나타났다.
- 5) 무산소조에서 반응비가 증가함에 따라 DO 농도는 증가하는 경향을 보였으며, 이에 비례하여 ORP도 증가하는 경향을 보였다. 질소 제거를 위한 적정 ORP는 -9.8mV로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, 2000, 환경백서, 138-144pp.
- 2) 오영기, 오성민, 황연상, 이경수, 박노연, 고광백, 2000, 선단무산소조를 이용한 영양소제거공정(Bio-NET)의 질소·인 제거 특성, 대한환경공학회, 22(1), 121-132.
- 3) 이관용, 범봉수, 조광명, 1999, 생물막 무산소/호기 공법을 이용한 침출수의 질소제거, 대한환경공학회지, 21(10), 1879~1889.
- 4) Cheng, J. and B. Liu, 2001, Nitrification/denitrification in intermittent aeration process for swine wastewater treatment, J. Envir. Engrg., 127(8), 705-711.
- 5) Stuvem, R. and E. Bock, 2001, Nitrification and denitrification as a source for NO and NO₂ production in high-strength wastewater, Wat. Res., 35(8), 1905-1914.
- 6) APHA, AWWA WEF, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., EPS Group, 5-17 & 5-18.
- 7) 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법, 153-234pp.
- 8) 황병호, 1999, 생물막-활성슬러지 공정을 이용한 질소·인 제거, 첨단 환경기술, 7(3), 144-148pp.
- 9) 이규훈, 이종현, 송석룡, 박태주, 1997, 복합생물막 반응기를 이용한 합성폐수처리시 질산화 특성, 대한환경공학회지, 19(12), 1509-1522.
- 10) 김미영, 김인수, 1999, 순산소 생물막(POB) 공정에서 질소 및 유기물 제거에 대한 내부순환율과 용존산소 농도의 영향, 대한환경공학회지, 21(1), 119-130.