



침전조 상등액과 유입하수의 유량대비에 따른 하수 내 질소 화합물 제거특성

박상민[†], 박진희^{*}

서울산업대학교 환경공학과[†], 서라벌대학교 친환경농업기술과^{*}

(2005년 12월 5일 접수, 2005년 12월 19일 채택)

Removal Characteristic of Nitrogenous Compounds According to the Combination of Feeding Ratio between the Supernatant of Precipitation Tank and Raw Domestic Wastewater

Sang Min Park[†], Jin Hee Park^{*}

Dept. of Environment Engineering Seoul National University of Technology[†], Dept. of Environment Friendly Agricultural Technolony Sorabol Collage^{*}

ABSTRACT

This study was done to improve the effectiveness of nitrification and denitrification using the aeration-anoxic combination method using CFSTR(continuous-flow stirred-tank reactor) attached with an anoxic reactor filled with a media. In order to calculate the concentration of nitric acid within the aeration tank proportional to the anoxic rate within the reactor, supernatant within the inflow and precipitation tanks were influxed into the anoxic reactor. The rate of nitrogen removal was calculated using the concentration of inflow and flow of returned supernatant. From the results of this experiment, the carbon source needed in the anoxic reactor came from the inflow so that anoxification was achieved completely using the inflow source without the introduction of an external carbon source. However, as the ratio of nitric acid becomes large in inflow and nitric acid flow, the carbon source within the input source decreases so that the concentration of carbon source is important.

Keyword: aeration-anoxic combination, Carbon source, retention time, Flow Rate comparison

초 록

본 연구에서는 CFSTR(Continuous-flow Stirred-Tank Reactor) 형식의 반응조에 담체가 채워진 호기-혐기조합 공법에 따른 질산화 및 탈질화에 관한 효율의 증대와 유입수 및 침전조 상등액의 유량대비를 조절 하므로써 질소제거의 효율 증대에 관한 방법을 모색하고자 하였다. 탈질조 내의 탈질효율에 비례하여

[†]Corresponding author (minybbong@hanmail.net)

포기 반응조 내의 질산성 질소 농도를 산출하고자 유입수와 침전조 내에서의 상등액을 탈질조로 반송하여 유입하고 유입수와 반송되는 침전조 상등액 유입의 유량대비를 통하여 최종적으로 반응조에 대한 질소제거의 효율을 파악하고자 하였다. 적절한 유량대비를 이용하였을 때 탈질조 내의 필요한 탄소원의 공급이 유입수로 통해 이루어지는 것으로 판단되어지며, 외부탄소원의 주입 없이 유입수 만으로도 완벽하게 탈질이 이루어지는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 유입수와 침전조 상등액의 유량대비에서 침전조 상등액의 유량비가 커지면 커질수록 유입수내의 탄소원의 유입이 줄어들기 때문에 이에 대한 탄소원의 농도에 대한 산정이 중요하다고 생각된다.

핵심용어 : 호기-혐기조합, 탄소원, 체류시간, 유량대비

1. 서론

최근 몇 년간의 심각한 환경오염으로 인하여 많은 국민들의 환경에 대한 관심이 높아지고 있고, 그로 인해 폐쇄성 수역에서 자주 일어나는 부영양화의 원인물질 중 질소와 인에 대한 규제가 더욱 강화되었다. 각종 하·폐수의 배출허용기준과 방류수 수질기준에서의 현재 질소는 20mg/l, 인은 2mg/l의 범위내로 규제하여 방류시키고 있다^{1,2)}. 따라서 하·폐수에 포함되어 있는 질소·인의 규제가 엄격하게 적용이 되면서 이에 대한 처리기술에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 하수고도처리 공정에서는 활성슬러지 공법의 일환으로 혐·호기성 처리공정을 적용함으로써 질소·인을 동시에 제거 할 수 있는 공법의 개발, 실용화되어 많이 이용되어지고 있으나, 반응조내의 MLSS(Mixed Liquid Suspend Soil)농도유지의 어려움, 미생물의 침강성을 높이기 위해 과포기 등으로 인한 운전관리의 어려움과 처리효율 및 경제적인 문제점이 대두되고 있다. 이러한 많은 문제점의 개선방안으로 높은 처리효율 및 경제성이 높은 다공성 담체 (Porosity Media)를 이용하였다^{3,4)}. 담체를 이용한 하수처리는 기존의 넓은 소오부지, 과포기로 인한 경제적 손실, 비효율적인 처리에 비해 높은농도의 MLSS의 유지와 슬러지 팽화현상을 방지 할 수 있는 고효율의 처리능력을 지니고 있다. 또한, 최종 침전지가 필요 없으며, 담체에 부착하여 성장한 미생물들은 역세를 통하여 배출되고 유입원수와 혼합하여 처리할 수 있는 특징을 가

지고 있다. 담체를 이용한 생물학적 처리공법은 효과적인 질소화합물의 제거효율 증대를 가져올 수 있을 것이다^{5,6,7,8)}.

따라서 본 실험에서는 생물막의 특징을 이용하여 호기-혐기조합공법의 도입과 폐유리의 재활용으로 만든 다공성 담체를 이용하여, 질산화 및 탈질의 효율 증대와 유입수와 반송 침전조 상등액의 유량대비를 통해 질소제거의 효율증대에 대해 알아보고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용한 호기-혐기조합 실험장치는 [Fig. 1]에 나타냈다. 반응조는 두께 5mm의 투명 아크릴로 제작된 반응조를 사용하였으며, 포기반응조는 가로240.5mm×세로165mm×높이300mm 총 부피 12.13 l 로, 탈질조는 원기둥으로써 지름 60mm×높이520mm로써 총 부피 1.47 l 로 설계 제작하였고, 각각의 반응조의 유효용적은 질산화조 10.2 l 와 탈질화조에는 1.2 l 로 유리섬유로 된 Media를 충전하여 운전하였다. 포기조의 유입폐수는 3.87ml/min로 체류시간은 24시간이고, 탈질조의 유입유량은 3.3ml/min으로 실제 체류시간은 8시간으로 하여 실험하였다. 최종유출량은 유입량과 동일하게 설정하였다. 또한 포기 반응조내의 원활한 산소공급을 위해 산기기는 반응조 양쪽에 각각 배치하여 공기 공급을 해주었다. 그리고 포기조 내의 MLSS농도는 1800~2200mg/L이고 슬러지

반송은 100%, 포기조내의 DO는 5L/min으로 하였으며, pH는 약 7.8로 유지하였다.

2.2 실험방법

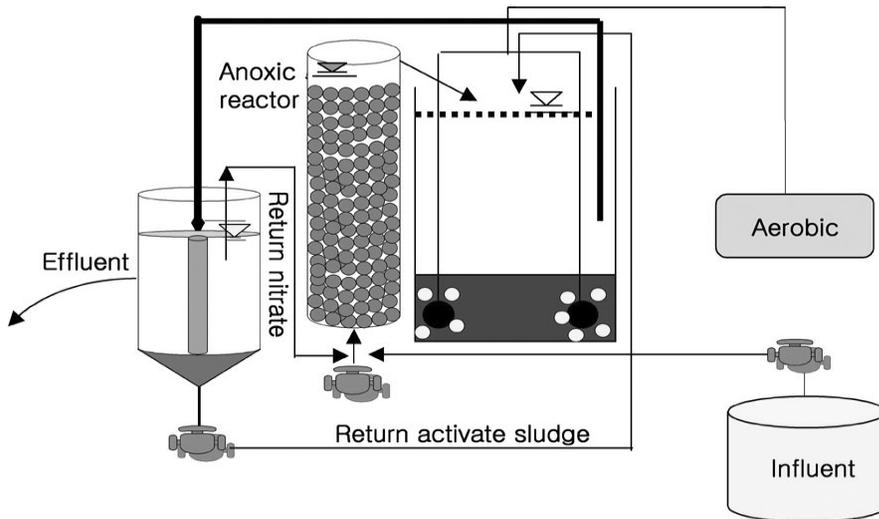
[Table 1]은 실험에 사용된 유입수의 성상으로 유입수는 경기도 U하수처리장에서 일차침전지를 거쳐 포기조로 유입되는 하수를 이용하였다.

2.3 분석방법

유입수, 반응조 및 유출수의 대해서는 [Table

2와 같이 분석하였다. T-N은 고압멸균기 (Autoclave)를 이용하여 전처리를 하였고, NH_4^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N 와 반응조내의 MLSS의 농도는 수질공정시험법(1997)¹⁰⁾에 준하여 분석하였다. 여기서 BOD는 20℃에서 5일간의 BOD를 측정하였고, COD는 Standard Methods(1999)¹¹⁾에 측정하였다.

반응조내의 DO, pH, 온도는 sensor(YSI, HANNA)를 이용, 측정하였다.



[Fig.1] Schematic diagram of the transformation aeration-anoxic process.

[Table1] The characteristics of the Domestic Wastewater

(unit: mg/ℓ)

	Min - Max	Average
COD _{Cr}	80-180	130
BOD	40-80	60
SS	17-25	21
NH_4^+	19-35	27
NO_2^-	0-0.04	0.02
NO_3^-	0.3-0.6	0.45
T-N	24-37	30.5
T-P	2.1-3.2	2.65

[Table2] Analytical Items and Methods

Item	Analytical Methods
DO	Electrode Methods(YSI 550 USA)
TCOD _{cr}	Titrimetric Method(Open Reflux Method)
TBOD	Winker Azide Modification Method(20℃, 5day)
TSS	Gravimetric Method(Dry oven, 105℃)
T-N	Spectrophotometric Method(K2S2O8, 220nm)
NH ₄ ⁺ -N	Spectrophotometric Method(Indo-Phenol, 630nm)
NO ₂ ⁻ -N	Spectrophotometric Method(Diazo, 540nm)
NO ₃ ⁻ -N	Spectrophotometric Method(Brucine, 410nm)

3. 결과 및 고찰

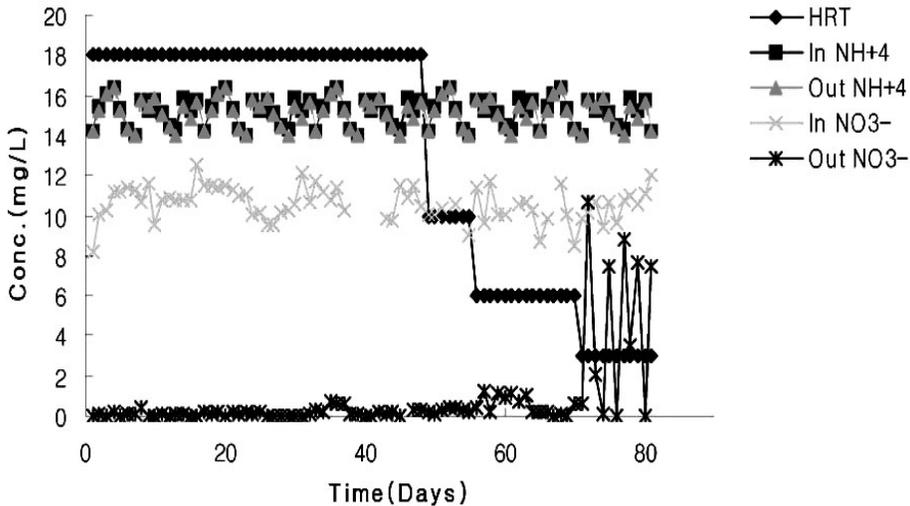
3.1 체류시간에 따른 암모니아 및 질산성 질소의 제거효율

먼저 암모니아의 제거율을 살펴보면 [Fig. 2]에서 나타나듯이 유입암모니아와 유출 암모니아의 차이가 거의 없을 정도로 제거효율이 낮다. 그 이유는 탈질 반응조내의 상태가 완전 혐기화가 되어 용존산소가 없어 암모니아가 산화되지 못하고 배출된다고 생각된다. 한편 질산성 질소는 암모니아가 완전히 산화한 후 생성되는 물질로써, 초기 유

입수는 합성폐수를 사용하여 농도는 5mg/L부터 20 mg/L까지 변화를 주었으며, 체류시간은 18, 10, 8, 3hr의 변화를 주어 실험을 하였다. 체류시간 18~6hr까지는 95%이상의 제거효율을 보이고 있으나, 6hr 이후에는 제거효율이 급격하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

3.2 변형 호기-혐기조합공법

위에서 실행된 실험을 통하여 반응조를 호기-혐기공정을 설계하여 혐기·무산소조를 탈질 반응조로 대신하여, 탈질반응을 살펴보고, 포기 반응조내



[Fig. 2] Removal of nitrate according to various retention time of the anoxic column.

의 암모니아의 산화를 살펴보았다. 포기 반응조로 유입되는 유입수는 [Fig. 3]에서 나타나듯이 암모니아의 산화가 효율이 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 그에 비해 탈질 반응조내로 유입되는 질산성 질소의 제거효율은 선 실험에 비해 낮게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 탄소원의 부족과 컬럼 반응조내에 포기 반응조에서의 산소 침투하여 탈질 효율의 방해를 주었기 때문이라고 생각된다.

따라서 이에 대한 방안으로 탈질반응조와 포기반응조를 각각 단독으로 설치하고, 탄소원의 보충은 유입수와 침전조 상등액의 동시유입으로 하여 탄소원을 보충하는 방법을 생각하였다.

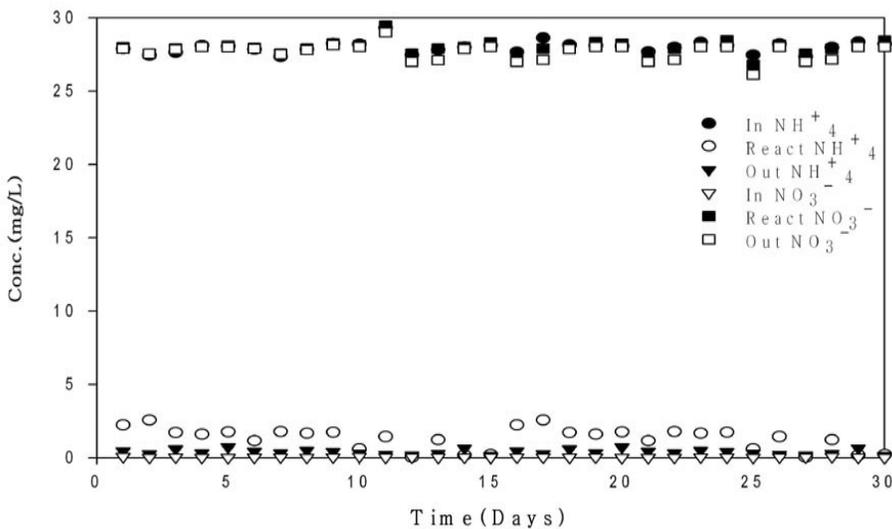
3.3 유량대비를 통한 질소제거효율

단독 유입시의 문제점과 한 반응조 내에서 나타나는 문제점을 보완하기 위해 유입수와 반송 침전조 상등액의 유량대비를 통하여 컬럼 반응조로 유입하였으며, 유량대비는 각각 유입수와 침전조 상등액 비를 2:1, 1:1, 1:2로 하여 유입하여 탈질의 효율과 암모니아의 산화에 대해 살펴보았다.

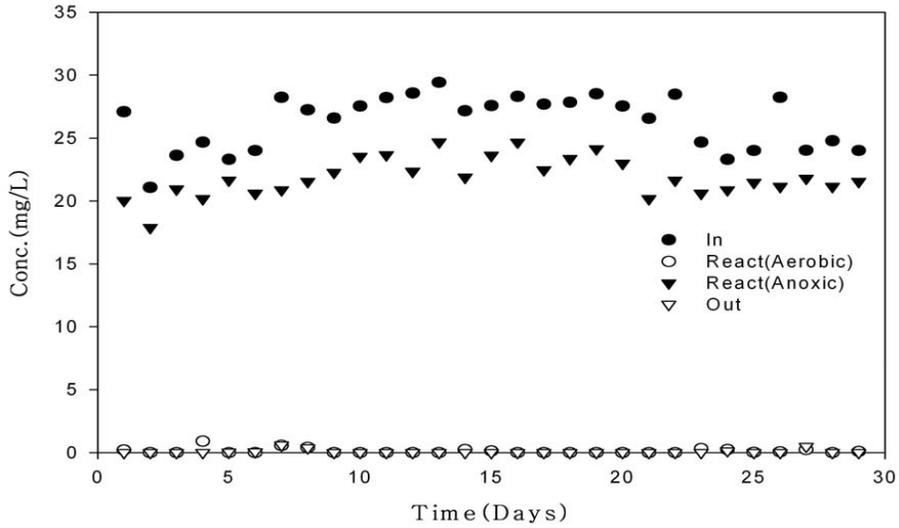
유입되는 유기물은 포기조 및 컬럼반응조 내의 탈질에 필요한 탄소원으로 이용되어 거의 완벽하게 제거가 이루어졌으며, [Fig. 4]에서 보시다시피 암모니아의 산화 역시 완벽하게 일어나는 것을

볼 수 있다. 질소제거효율은 앞선 실험에 비해 30%정도의 효율을 보이고 있는데, 이는 앞선 실험에 비교하여 볼 때 유입수와 침전조 상등액의 질산성 질소의 동시 유입으로 인한 유량대비를 통해 암모니아의 농도가 질산성 질소에 의해 희석되어 암모니아의 농도가 희석되어 1/3정도 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다.

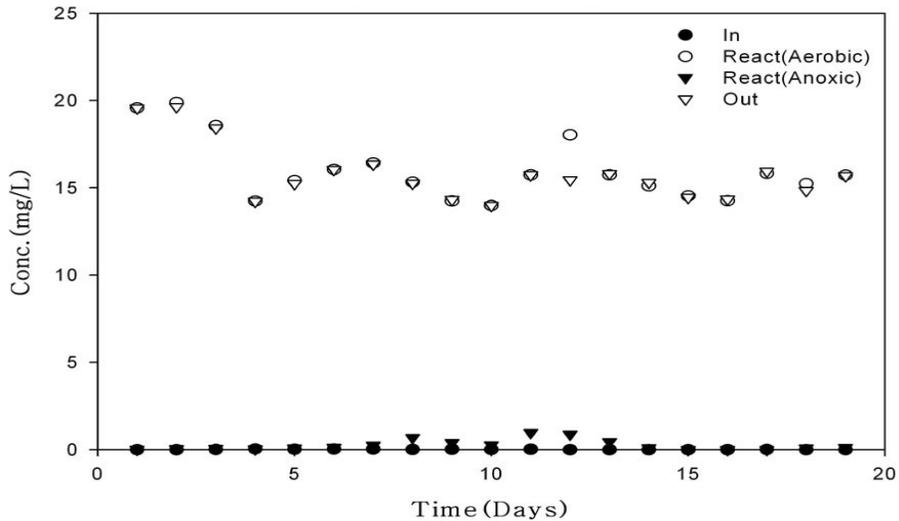
이와 마찬가지로 유량대비 1:1에서도 [Fig. 5]에서와 같이 질소제거 효율이 점차 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 질소제거효율 향상의 가장 큰 이유는 반송되는 침전조 상등액의 유량비에 크게 좌우된다고 생각하여 반송 침전조 상등액의 유량대비를 높여 1:2의 실험을 한 결과 [Fig. 6]에서 나타나듯이 질소제거 효율이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 포기 반응조 내의 완벽한 암모니아의 산화와 컬럼 반응조 내의 완벽한 탈질이 이루어진다고 판단된다. 따라서 컬럼반응조의 유입되는 질산성 질소의 탈질 범위를 만족하는 농도 범위 내에서는 유입되는 유입수 대비 침전조 상등액이 클수록 전체적으로 탈질효율이 좋아지는 것을 알 수 있었으며, 이는 유입되는 질산성 질소는 컬럼반응조에서 완전하게 탈질되고 원수의 암모니아는 침전조 상등액으로 희석되는 효과가 있기 때문이다.



[Fig.3] Ammonia oxidation and nitrate reduction at the aeration tank.



[Fig. 4] Variation of nitrogen concentration in the reaction tank : The ratio of the flow rate between return and input line was 2:1



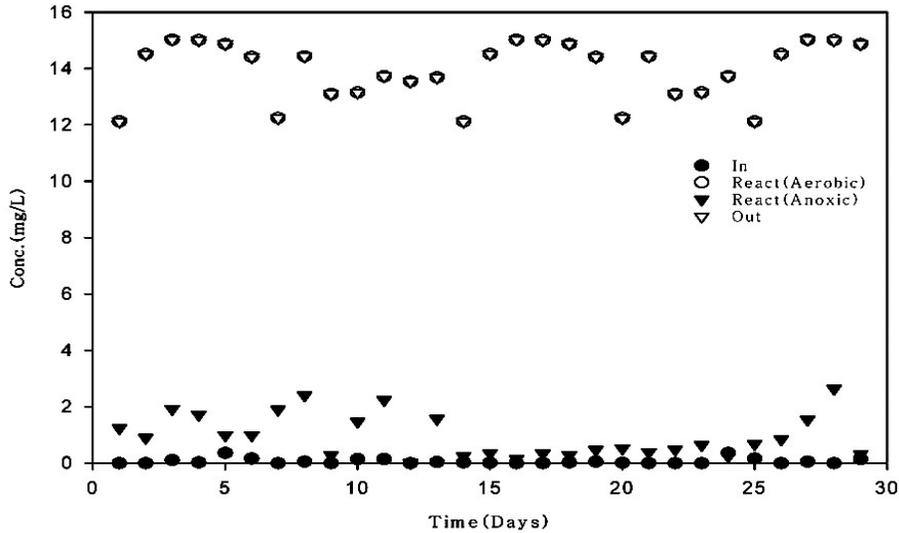
[Fig. 5] Variation of nitrogen concentration in the reaction tank : The ratio of the flow rate between return and input line was 1:1

4. 결론

본 연구에서는 담체를 이용한 호기외 혐기가 조합된 고도처리공법을 이용하여 실험을 하였다. 담체가 충전된 탈질반응조를 통해 탈질효율의 극대화

시킴과 동시에 유입수와 질산 상등액의 유량대비를 통하여 질소제거 효율증대가 가능하다고 판단된다. 본 연구의 결과를 통하여 다음과 결론을 얻었다.

1) 담체를 충전 시킨 탈질 반응조 내에서의 탈질



[Fig. 6] Variation of nitrogen concentration in the reaction tank : The ratio of the flow rate between return and input line was 1:2.

효율은 체류시간 6~18hr에서 95%이상의 효율을 보였으나, 체류시간이 짧으면 탈질효율이 떨어지는 것을 알 수 있었고, 반응조의 효율성 및 경제성을 고려하였을 때 체류시간이 6시간이 가장 좋다고 판단된다.

- 2) 담체가 충전된 탈질 반응조와 함께 부착된 포기 반응조는 질산화는 잘 이루어졌으나, 담체가 충전된 탈질 반응조 내에서는 완벽한 혐기성조가 되지 아니하고 포기조 내의 산소가 반응조 내로 투입이 되어 혐기 반응조의 방해를 주어 탈질효율이 떨어진다. 따라서 탈질 반응조를 분리하여 부착시켜 혐기 반응조의 탈질효율을 높이는 것이 중요하다고 생각되고, 탈질효율의 필요한 탄소원의 공급을 위해 유입수와 질산성 질소의 유입을 함께 유입하여 탈질에 필요한 탄소원의 공급을 충분히 확보하는 것이 중요하다고 하겠다.
- 3) 탈질 반응조의 독립적으로 부착시킨 결과 탈질률은 95%이상 나타났으며, 탈질에 필요한 탄소원의 공급을 위해 유입수와 동시에 유입하여 침전조 상등액의 질산성 질소는 탈질 반응조에서 완벽한 탈질이 되어, 그에 따른 유기물과 암

모니아의 농도는 탈질반응조 내에서 2:1로 희석이 되어 포기반응조 내의 질산성 질소의 농도는 1/3로 줄어드는 것을 확인하였다.

- 4) 유입수와 질산성 질소의 1:1 유입 역시 탈질 반응조 내에서의 1:1희석이 되어 포기 반응조 내의 질산성 질소 농도가 1/2로 줄어들었고 1:2의 유입수와 질산성 질소의 대비는 60%정도의 제거효율을 보여주고 있다. 질소 제거효율은 질산성 질소의 유입을 유입수에 대비하여 높여 줄 경우 질소제거율이 높아질 것이라고 판단되어진다.

참고문헌

1. Hoepker. E. C and Schroeder E. D., "The Effect of Loading Rate on Batch Activated Sludge Effluent Quality," J. WPCF., 51, pp. 264~273 (1979).
2. 고헌백 외 6명 "廢水處理工學" 신광문화사 (1999).
3. 이종호, 조광명. "교차 간헐 폭기식 부직포 여과막 생물반응조를 이용한 하수의 유기물 및

- 질소 제거.” 대한환경공학회지 26(2). pp. 184~190 (2004).
4. 이태경, 박재구, 한기봉. “세라믹 담체를 이용한 고정생물막 공정에서의 동시 질산화 및 탈질화”. 대한환경공학회지 24(6). pp. 1105~1115 (2002).
 5. 서홍규 “다공성 담체를 이용한 하수고도처리 반응기 개발에 관한 연구” 국민대학교 대학원 (2003).
 6. 이수철. “단일 생물막 반응기의 질산화와 탈질화의 특성에 관한 연구” (2000).
 7. 환경부 고시. 이수철. “단일 생물막 반응기의 질산화와 탈질화의 특성에 관한 연구” (2000).
 8. 환경부 고시 제 96-32 수질환경오염공정시험법 (1996).
 9. APWA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. (1999). 