

미생물 코팅 담체를 이용한 하수의 질소·인 제거에 관한 연구

김영규 · 조일형*†

용인대학교 환경보건학과, *경기지방공사

A Study on the Removal of Nitrogen and Phosphorus of Municipal Wastewater with Biological Coated Media

Young-Gyu Kim · Il-Hyoung Cho*†

Department of Environmental Public Health, Yong In University

*Gyeonggi Innovation Corporation

(Received November 10, 2005/Accepted January 11, 2006)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the removal of nitrogen and phosphorus in municipal sewage depending on existence of biological coated media in BCM reactor. The reactor with biological coated media is the process combining A_2/O process. The removal efficiencies for COD_{Mn} , BOD_5 , SS, T-N and T-P were 78%, 90.5%, 92.3%, 61.9%, 60.2%, respectively. The specific nitrification rate($mgNH_3-N/gMLSS \cdot d$) of Contact aeration basin was 52.2 and the specific denitrification rate($mgNO_3-N/gMLSS \cdot d$) in anoxic basin was 95.1. Also, phosphorus release($mgPO_4-P/gMLSS \cdot d$) in Anaerobic basin was 71.8 and Phosphorus uptake($mgPO_4-P/gMLSS \cdot d$) in contact aeration was 27.1.

Keywords: BCM(biological coated media), A_2/O process, nitrogen, phosphorus

I. 서 론

국내에서 가동 중인 대부분의 하수처리시설은 표준화 성능슬러지 공법이나 그 변형들이 주종을 이루고 있고 이들의 질소·인 제거효율은 약 20% 이하로서 호소의 부영양화 방지 및 환경규제 강화에 따른 방류수 수질 기준의 만족에 많은 어려움이 있어 고도처리공법의 도입이 불가피하게 되었다. 활성슬러지법의 문제점을 보완하기 위하여 질소·인을 생물학적으로 처리하기 위해 도입된 고도처리공법 중 담체공법은 수처리의 안정성 확보 및 체류시간을 줄일 수 있다는 장점이 있어 활발한 연구가 진행되었다.¹⁻⁵⁾ 이런 공법은 접촉포기조에 질산화미생물이 코팅된 담체를 충전시키므로써 식중 후 초기 질산화 안정화속도가 빠르고 미생물의 증식속도가 느린 동절기 수온 저하시에도 질산화를 높게 유지 가능하다.⁶⁾ 또한 제조과정에서 공극 크기를 변

화시킬 수 있으므로 유입수에 맞는 공극의 담체를 사용할 수 있어 공극폐쇄의 가능성이 적고 부착 및 탈리가 원활한 하수의 유기물 및 질소·인 고도처리 기술로 알려져 있다.⁷⁾

본 연구에서는 고정상 생물학적 코팅 담체를 이용하여 유입수의 변화에 따라 질소와 인의 처리효율, 설계인자와 운전인자에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. BCM 기술원리 및 반응장치

본 실험에 사용된 BCM Process의 공정도는 다음 Fig. 1과 같이 혐기조, 무산소조(I), 무산소조(II), 접촉포기조(I), 접촉포기조(II), 산소저감조로 구성되어 있고 최종침전지에서의 침전슬러지는 유입수와 함께 혐기조로 유입되며 산소저감조에서 무산소조(I)로 내부 반송된다. 일반적인 고도처리 공법인 A_2/O 공법의 공정배열에 접촉포기조 내에 질산화미생물이 코팅된 담체가 충전되어 있고 산소저감조에서 내부반송된다. BCM Process와 A_2/O 공법과의 공정구성 및 주요기술의 원리를 비교하면 다음 Table 1과 같다. 본 연구에서 BCM Process

†Corresponding author : Gwanggyo Techno Valley Project Office, Land Development Team, Gyeonggi Innovation Corporation
Tel: 82-31-220-3186, Fax: 82-31-225-3812
E-mail : choih73@snu.ac.kr

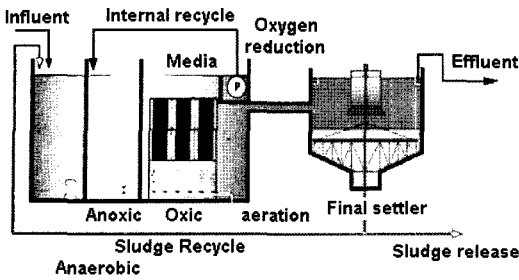


Fig. 1. Schematic of BCM Process.

의 질소제거는 일차적으로 세포합성에 의한 질소제거 외에도 질소를 질산화와 탈질화 과정을 통하여 가스상의 질소로 제거할 수 있는 A₂O 공정배열로 Fig. 1 및 Table 1처럼 구성하였다.

또한 질산화미생물이 코팅된 담체를 접촉포기조에 충전하므로써 증식속도가 느린 Nitrosomonas, Nitrobacter 등의 질산화미생물을 담체에 고정화하여 질소의 처리 효율을 향상시켰으며, 코팅된 부착미생물을 활용하므로써 부하변동에 강하고 동절기 수온저하시에도 높은 질산화 효율을 얻을 수 있도록 하였다. 부착성장 공정의 질산화는 유입수의 TBOD/TKN 비와 여재의 재질, 비표면적, 수리학적 부하 등에 영향을 받으며 여재표면에 형성된 생물막의 양과 산소농도구배, 산소이용율, 기질 이용율 그리고 유입수 고형물이 담체에 부착되어 생물막층에서의 국지적인 혐기화 현상⁸⁾ 등이 주요 영향인자로서 작용하게 된다. 또한 이러한 질산화미생물들은 생장속도가 느려 부유성장 공법으로 운영 중인 기존 처리장에서는 일정시간 이상을 질산화초 체류시간으로 할당하여야 하는 한계가 있으나 BCM Process의 경우 질산화미생물이 코팅된 담체를 이용하게 되면 담체에

코팅된 미생물의 증식과 부착이 동시에 일어나게 되어 체류시간을 단축하여도 양호한 질산화율을 확보할 수가 있다. 즉, 접촉포기조 내에 충전된 담체에 증식속도가 느린 질산화균을 다량 고정화시켜 질산화 효율을 상승시킨다. 위의 반응 외에도 질산화에 영향을 미치는 인자로는 pH, DO, 수온(Temperature, °C), SRT, 독성 물질이 있으며 이러한 영향인자들에 대한 내성도 강하게 된다. 또한 탈질미생물의 경우 유리산소가 존재할 경우 전지수용체로서 산화성 질소보다는 유리산소를 우선적으로 사용하여 탈질율의 저하를 가져오게 된다. 즉, BCM Process는 내부반송수 중의 유리산소를 최소화하기 위해 산소저감조를 두어 내부반송을 하도록 하였다.

2. 고정상 담체

본 연구에 사용된 고정상 담체인 우레탄은 폴리우레탄 재질로서 이소시아네이트 화합물 중 TDI(Toluene Di-Isocyanate), 폴리올 중 폴리에테르 성분을 주성분으로 하고 있어 가수분해성이 없고 산·알칼리에서 내구성이 강해 교체주기가 길다. 담체의 크기는 손실되는 담체를 최소화할 수 있는 330 mm(W)×330 mm (L)의 크기로 구성하였다. 또한 담체의 두께는 유입부하가 클 경우 미생물의 증식량이 많기 때문에 부착미생물량이 증가하여 공극의 폐쇄우려가 있으므로 내부로의 유체 흐름이 용이하고 경제성에 큰 지장을 주지 않는 15 mm로 하였다. 또한 공극이 클 경우 비표면적이 감소하여 동일 부하대비 담체 충전율이 증가하게 된다.

그러므로 유입수에 따라 공극폐쇄 현상이 없는 가장 작은 공극 size를 적용할 수 있도록 제조과정에서 공극 size를 변화시킬 수 있는 담체를 선택하였다. 또한 포천

Table 1. The comparison between A₂O with BCM Process

No	A ₂ O Process	BCM Process	
		Component	The principal of processes
1	Anaerobic	Anaerobic	· Biological Phosphorus release (removal)
2	Anoxic	Anoxic	· The part removal of organic matter and principal of reduction reaction by the denitrification microbes
3	Oxic	Contact Aeration	· The highly accelerated nitrification, removal of organic matter, surplus uptake of Phosphorus, and removal of organic matter by oxidation and synthesis (The nitrification microbes using coated media)
		Media	
4	Internal recycle	Oxygen reduction	· The improvement of denitrification rate in Anoxic basin according to the DO reduction in internal recycle
		Internal recycle	· The generation of nitrogen gas and removal of reduction reaction using denitrification microbes in Anoxic basin
5	Final settler	Final settler	· Solid and liquid separation, Sludge recycle and Sludge release

하수처리장에 설치된 Pilot plant의 경우 공극 size가 3 mm인 담체(20 ppi)를 사용하였고 유입 BOD는 평균 84.7 ppm였다. 장기간(약 150일) 부착 slime의 두께 및

부착미생물량을 측정한 결과 각각 14~20 μm , 1,000~1,500 ppm으로 일정하게 유지되었으며 Figs. 2, 3의 SEM 사진 결과 담체의 폐쇄현상이 일어나지 않았으며 부착 및 탈리가 원활하게 이루어졌다.

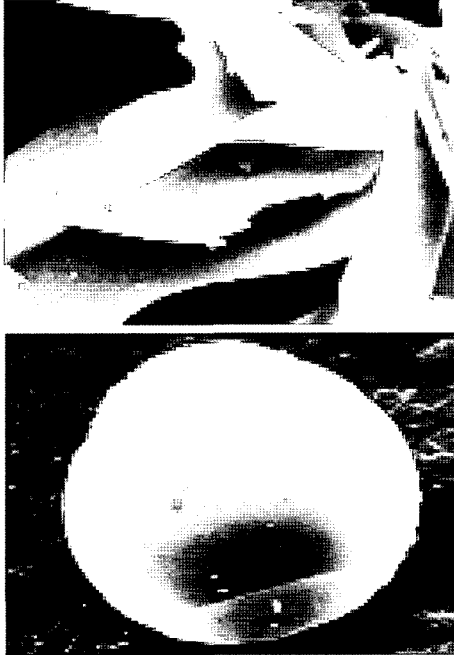


Fig. 2. The SEM analysis on the perlite.

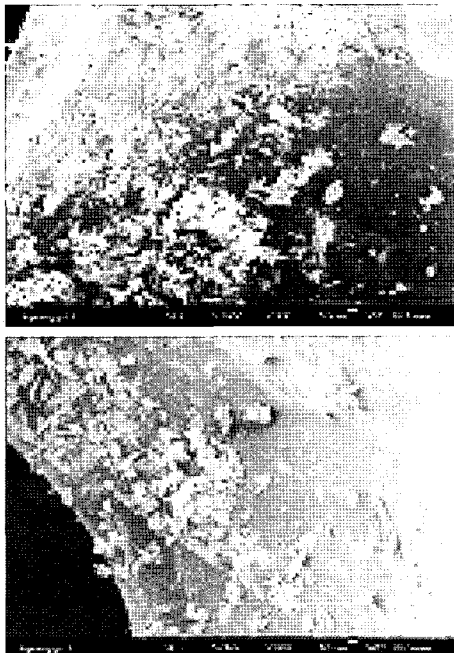


Fig. 3. The SEM analysis on the coated media.

3. 담체의 설치

TBCR-II Process의 접촉포기조에는 폴리우레탄 재질의 고정상 담체가 실험에 의한 적정범위인 약 6%의 충전율로 충전하였으며 0.33 m(W)×0.33 m(H)×0.015 m(T), 0.0016 m³ 규격의 담체가 245 piece로 담체를 고정할 수 있는 고정틀에 담체를 넣어 고정하였다. 또한 공기공급과 물의 흐름에 의한 수류의 원활한 소동을 위하여 공기공급 방향과 물의 흐름방향에 일치하도록 담체를 일렬로 배열하였으며 담체와 담체사이의 간격은 5 cm 이상을 유지하였다.

4. Binder 및 미생물 코팅

배양된 미생물이 담체표면에 쉽게 코팅될 수 있도록 담체표면을 거칠게 하고 표면적을 넓게 하기 위한 단계로 *bio-constarch* 용매에 perlite를 혼합(적정혼합비율은 2.5:100(W/V%))하여 코팅룸에서 담체에 살포하였다. 담체 표면에 펠라이트를 코팅하게 되면 펠라이트에 의해 다음 사진과 같이 담체 표면이 거칠게 되고 이로 인해 표면적이 넓어져 미생물이 담체에 쉽게 부착하게 된다. 펠라이트 및 담체에 펠라이트가 부착된 SEM사진은 다음 Figs. 2, 3과 같다.

펠라이트가 코팅된 담체는 Scale-up된 미생물이 활성화된 침적조에 침적시켜 담체 표면에 미생물을 코팅하며 건조하여 보관하는 단계이다. 자연 상태에서 건조된 담체에 코팅된 미생물은 시간이 경과됨에 따라 사멸한다. 약 30일 경과 후에 사멸율은 20%에 도달하여 급격히 증가하므로 코팅 후 약 20~30일 이내에 현장에 설치한다.

5. 시료채취 및 실험분석

시료채취는 각 공정별 지정된 지점에서 실시함을 원칙으로 하고, 시료의 성상, 유량, 유속 등의 경시변화를 고려하여 대표성 있는 시료 채취를 하며, 특별한 사유가 있을 시에는 현장 여건과 평가 목적을 고려하여 연기 또는 시료채취시기를 조정하였다. 시료채취 시에 유량 및 공정별 운전조건 등을 동시에 조사하였다. 또한 시간에 따른 변화가 없는 경우에는 순간시료채수(Grab sample)를 실시할 수 있으며, 수질 및 유량 등의 변화가 심하다고 판단될 경우에는 적당한 시간 간격(1~2시간)으로 1일 시료를 채취한 후 채취 당시의 유량비에

따라 시료를 혼합하는 혼합시료채취(Composite sample) 방법을 실시할 수 있다. 설계인자와 운전인자를 얻기 위해 각 반응조의 온도, DO은 매일 측정하였으며 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P 등은 일주일에 2회 분석하였으며 분석은 수질오염공정시험방법⁹⁾와 standard method(USA)¹⁰⁾으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유입원수의 특징

본 평가시설에 설치된 모형시설(Pilot Plan)의 하수 처리량의 평균 58.3 m³/day이며, 유입원수의 오염부하량을 보면 Table 2와 같다. 유입수의 오염물질 농도는 BOD₅가 57.2~98.0(평균 84.7)mg/l, COD_{Mn}은 30.2~78.7(평균 48.6)mg/l, T-N은 22.7~34.7(평균 26.82)mg/l, T-P는 2.27~4.19(평균 3.31)mg/l, SS는 40.0~106.0(평균 79.7)mg/l로 유입되었으며, C/N비는 2.12~3.96(평균 3.17), C/P비는 18.64~35.61(평균 25.82), BOD 용적부하는 평균 0.35 kg/m³·day, T-N용적부하는 평균 0.11 kg/m³·day로 조사되었다.

Table 2. The major components of influent concentration

Component	Influent concentration (mg/l)		
	Maximum	Minimum	Average
Temperature (°C)	7.90	21.9	14.14
pH	6.80	7.61	7.41
BOD ₅	57.2	98.0	84.7
COD _{Mn}	30.2	78.7	48.6
SS	40.0	106.0	79.7
T-N	22.7	34.7	26.82
NH ₃ -N	14.3	23.0	18.81
NO ₃ -N	0.61	1.90	1.21
T-P	2.27	4.19	3.31
PO ₄ -P	1.09	2.06	1.55

Table 3. The removal efficiency of each variables in BCM Process

Component	Unit	Influent		Effluent		Removal (%)	
		Range	Average	Range	Average	Range	Average
BOD ₅	mg/l	57.2~98.0	84.7	5.34~11.7	7.96	85.0~94.1	90.5
COD _{Mn}	mg/l	30.2~78.7	48.6	7.13~14.3	10.4	67.4~87.5	78.0
SS	mg/l	40.0~106.0	79.7	4.00~8.0	5.90	82.5~95.7	92.3
T-N	mg/l	22.7~34.7	26.82	7.52~12.9	10.1	44.5~78.3	61.9
T-P	mg/l	2.27~4.19	3.31	0.98~1.68	1.30	44.5~71.9	60.2

2. 오염물질 제거효율

본 평가의 최적의 운영조건을 실시하기 위하여 수리학적체류시간(HRT)는 혐기조 0.87 hr, 무산소조 1.79 hr, 접촉포기조 2.99 hr, 산소저감조 0.16 hr로 반응조 전체 체류시간은 5.81 hr로 고정하여 운전한 결과, BCM 공법으로 운전할 혐기조·무산소조(I)·무산소조(II)·접촉포기조(I)·접촉포기조(II), 산소저감조로 구성된 본 평가시설에서 수온은 7.90~21.9°C, HRT는 5.45~6.14 hr, BOD 용적부하 평균값은 0.35 kg/m³·day, F/M비는 0.124(kgBOD₅/kgMLSS·d)로 운전하였을 때의 오염물질 제거효율을 Table 3에 나타내었다. 오염물질의 평균제거효율은 BOD₅ 85.0~94.1%(평균 90.5), COD_{Mn} 67.4~87.5%(평균 78.0), SS 82.5~95.7%(평균 92.3), T-N 44.5~78.3%(평균 61.9), T-P 44.5~71.9%(평균 60.2)의 제거율을 보이고 있다.

3. 항목별 오염물질 제거효율

평가기간동안 항목별 오염물질 제거효율을 평가한 결과 다음 Fig. 4와 같이 유입수 BOD₅는 57.2~98.0(평균 84.7)mg/l로 유입되고, 처리수 BOD₅는 5.34~11.7(평균 7.96)mg/l로 안정하게 유출되었고, 본 평가시설의 BOD₅ 제거효율은 85.0~94.1(평균 90.5)%로 나타났다. Fig. 4로부터 유입수 농도변화에 상관없이 방류수 농도는 시간경과에 따라 일정한 농도로 나타났으나 제거율은 변동폭은 다소 변화 차이를 보였다. 이는 초기 유입 BOD 농도 변화가 제거율에 영향을 준 것으로 판단된다.

평가기간동안 유입수 COD_{Mn}에 대한 처리효율 변화 결과는 다음 Fig. 5와 같다. COD_{Mn} 농도는 30.2~78.7(평균 48.6)mg/l로 유입되고, 처리수 COD_{Mn}는 7.13~14.3(평균 10.4)mg/l로 본 평가시설의 COD_{Mn} 제거효율은 67.4~87.5(평균 78.0)%로 나타났다. 유입 COD_{Mn} 비교시 유출 COD_{Mn}는 일정하게 유지되었으며 제거율 효율도 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 평가기간동안 유입수의 SS 농도에 대한 SS 처리

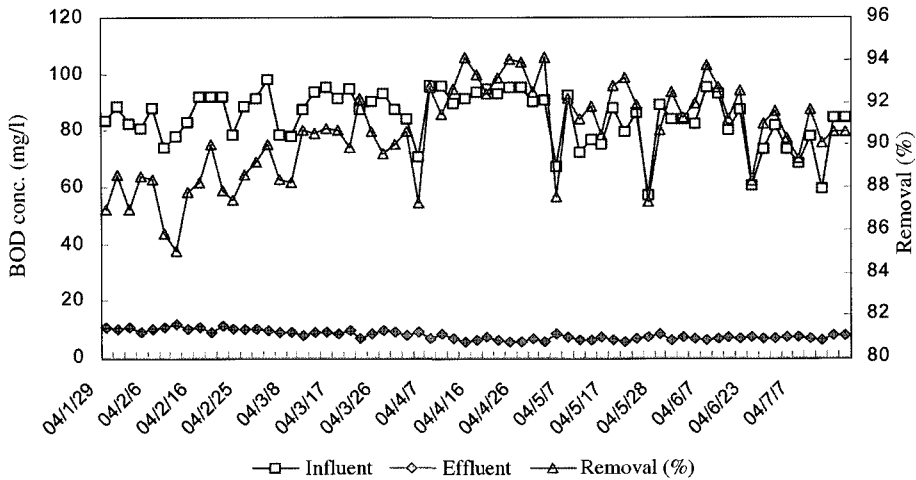


Fig. 4. The change of the removal efficiency (%) for BOD₅ in BCM Process.

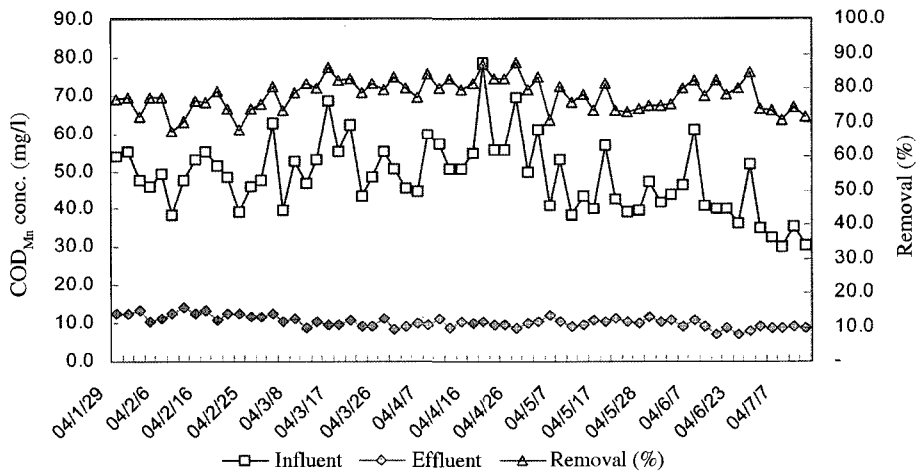


Fig. 5. The change of the removal efficiency (%) for COD_{Mn} in BCM Process.

효율 결과는 Fig. 6과 같다. 초기 SS 농도는 40.0~106.0(평균 79.7)mg/l로 유입되고, 처리수 SS는 4.00~8.0(평균 5.90)mg/l로 본 평가시설의 SS제거효율은 82.5~95.7(평균 92.3)%로 나타났다. Fig. 6에서 유입수의 농도는 동절기보다 하절기에 높아지는 경향이 있고 농도변화 폭이 심하였다.

T-N 유입농도에 대한 처리효율 변화 결과는 Fig. 7과 같다. 유입수의 T-N농도는 22.7~34.7(평균 26.82)mg/l로 유입되었고, C/N비는 2.12~3.96(평균 3.17), T-N용적부하는 0.114 kg/m³·d로 나타났으며, 처리수 T-N는 7.52~12.9(평균 10.1)mg/l로 본 평가시설의 T-N제거효율은 44.5~78.3(평균 61.9)%로 나타났다. T-P 유입농도에 대한 처리효율 변화 결과는 Fig. 8과 같다. 유입수

의 T-P농도는 2.27~4.19(평균 3.31)mg/l로 유입되고, 처리수 T-P는 0.98~1.68(평균 1.30)mg/l로 본 평가시설의 T-P제거효율은 44.5~71.9(평균 60.2)%로 나타났다. T-P의 경우 초기 유입농도변화가 다소 발생하여 그 영향이 처리효율까지 미치는 결과를 확인하였다.

4. 단위공정별 물질거동

유기물질인 BOD₅의 거동의 결과는 Fig. 9와 같다. 유입수 84.7 mg/l, 혐기조 16.8 mg/l, 무산소조 9.33 mg/l, 접촉포기조 7.34 mg/l, 방류수 7.96 mg/l로 나타났으며, COD_{Mn}은 유입수 48.6 mg/l, 혐기조 20.4 mg/l, 무산소조 13.8 mg/l, 접촉포기조 9.67 mg/l, 방류수 10.4 mg/l로 Fig. 9에 제시되었다. 초기 유입수는 BOD

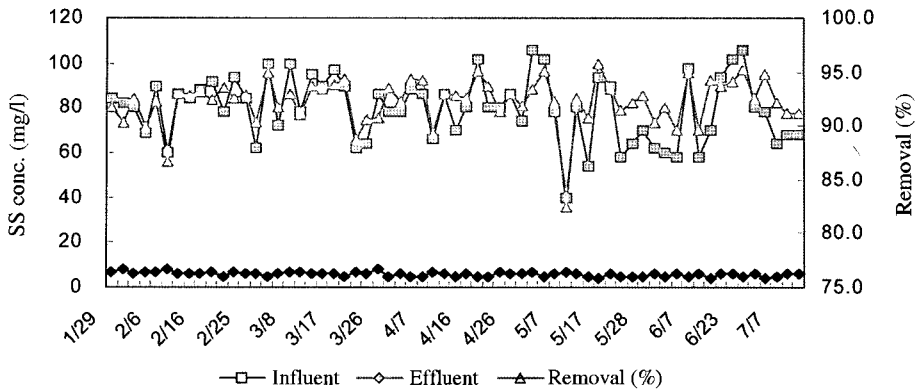


Fig. 6. The change of the removal efficiency (%) for SS in BCM Process.

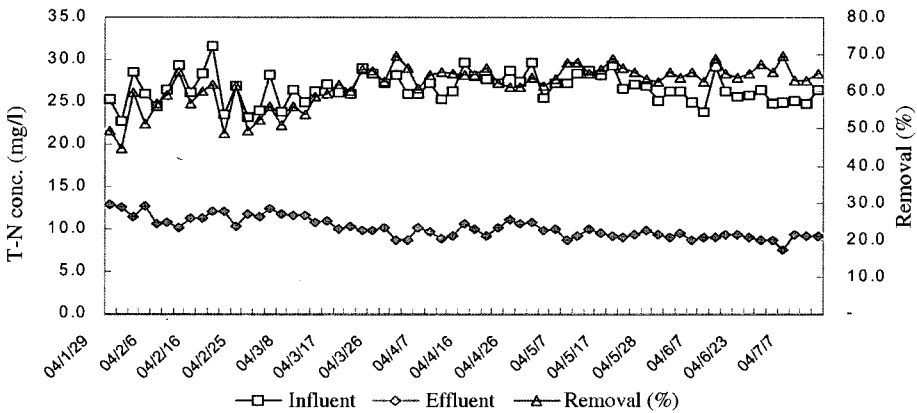


Fig. 7. The change of the removal efficiency (%) for SS in BCM Process.

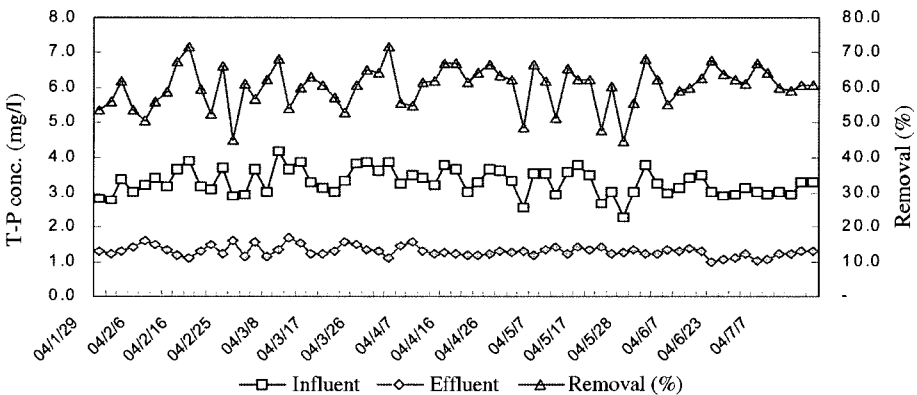


Fig. 8. The change of the removal efficiency (%) for TP in BCM Process.

가 COD_{Mn} 보다 높게 유지되었고 시간 경과 후 BCM Process 거치면서 COD_{Mn} 이 높게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 9로부터 유입수로부터 BOD_5 가 85.0~94.1(90.5)%, COD_{Mn} 이 67.4~87.5(78.0)%로 높은

제거효율을 나타내었는데 이는 무산소조의 체적비 증가로 인해 질산성 질소의 탈질 과정 중의 에너지원으로 유기물질을 소모함으로써 높은 제거율이 나타난 것으로 판단된다. 그러나 탈질미생물의 경우 유리산소가

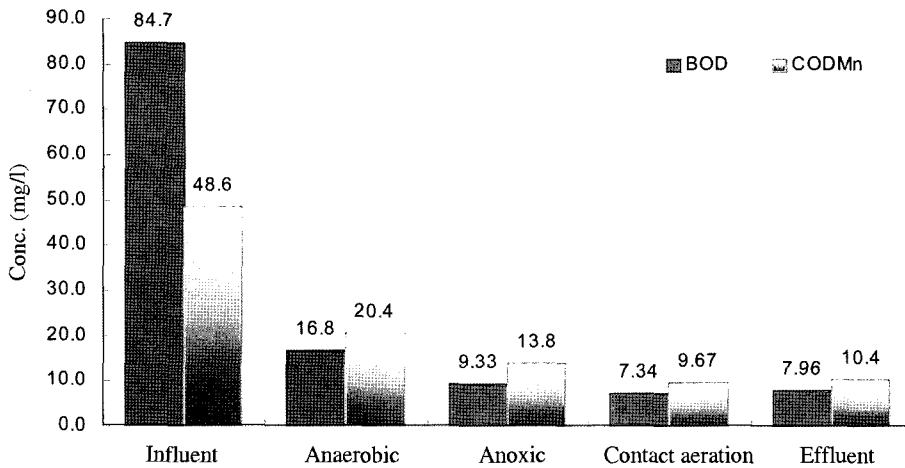


Fig. 9. The change of organic matter (BOD₅, COD_{Mn}) concentration in BCM Process.

존재할 경우 전자수용체로서 산화성 질소보다는 유리 산소를 우선적으로 사용하여 탈질율의 저하를 가져오게 된다.¹¹⁾ 이런 탈질을 저하를 막기 위해 BCM Process는 내부반송수 중의 유리산소를 최소화할 목적으로 산소저감조를 두어 유리산소를 내부반송시켰다.

단위공정별 질소 계열의 거동의 결과는 다음 Fig. 10 과 같다. NH₃-N의 유입수 평균농도는 18.81 mg/l로 접촉폭기조에서 질산화가 일어나서 최종처리수는 1.13 mg/l로 안정하게 처리되었고 NO₃-N의 농도는 NH₃-N의 질산화로 인해 유입수 평균농도가 1.21 mg/l, 무산소조 1.15 mg/l 접촉폭기조에서는 7.26 mg/l로 증가됨을 나타내었다.

Fig. 10의 결과로부터 총 질소는 무산소조 후 완만

하게 감소하는 경향을 보였고 암모니아성 질소는 혐기조 및 무산소조를 거치면서 완만하게 감소하다가 접촉폭기조에서 급격하게 감소하였으며 동시에 질산성 질소(NO₃-N) 역시 접촉폭기조 후 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 접촉폭기조에서 암모니아성 질소(NH₃-N)에서 질산성 질소(NO₃-N)로 질산화(Nitrification)가 다른 조에 비해 높은 질산화 반응이 급격하게 진행됨을 확인하였다. 이는 BCM Process의 질소제거는 일차적으로 세포합성에 의한 질소제거 외에도 질소를 질산화와 탈질화 과정을 통하여 가스상의 질소로 제거할 수 있는 A₂O 공정배열로 구성으로 배열되어 있다. 부착성장 공정의 질산화는 유입수의 TBOD/TKN 비와 여재의 재질, 비표면적, 수리학적 부하 등에

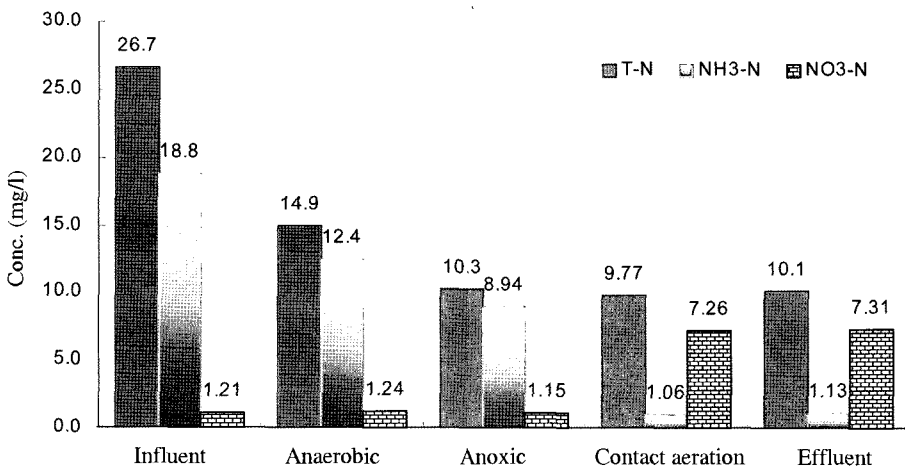


Fig. 10. The change of Nitrogen (T-N, NH₃-N, NO₃-N) concentration in BCM Process.

영향을 받으며 여재표면에 형성된 생물막의 양과 산소 농도구배, 산소이용율, 기질이용율 그리고 유입수 고형물이 담체에 부착되어 생물막층에서의 극지적인 혐기화 현상 등이 주요 영향인자로서 작용한다고 보고하였다.¹²⁾ BCM Process의 경우 질산화미생물이 코팅된 담체를 이용하게 되면 담체에 코팅된 미생물의 증식과 부착이 동시에 일어나게 되어 체류시간을 단축하여도 양호한 질산화를 확보할 수가 있다. 즉, 접촉포기조 내에 충전된 담체에 증식속도가 느린 질산화균을 다량 고정화시켜 질산화 효율을 상승시킨다. 위의 반응 외에도 질산화에 영향을 미치는 인자로는 pH, DO, 수온 (Temperature, °C), SRT, 독성물질이 있으며 이러한 영향인자들에 대한 내성도 강하게 된다.^{13,14)}

Table 4는 질소에 대한 공정인자를 나타낸 것으로 본 평가시설의 접촉포기조에서 질산화량은 620.1 gNH₃-N/d로 나타났으며, 반응조 전체의 비질산화율은 71.1

mgNH₃-N/gMLSS·d을 나타내었다. 또한 무산소조에서의 하루동안 탈질량은 374.9 gNO₃-N/d, 무산소조에서 용적당 비탈질율은 72.5 mgNO₃-N/gMLSS·d으로 나타났다.

Fig. 11은 각 단계에서의 T-P 및 PO₄-P농도 변화를 제시하였다. 유입수의 T-P 평균 농도는 3.31 mg/l로 나타났고, 혐기조는 4.80 mg/l, 접촉포기조 1.25 mg/l, 방류수는 1.30 mg/l로 나타났으며, 유입수 평균 PO₄-P농도는 1.55 mg/l로 나타났고, 혐기조는 3.78 mg/l, 접촉포기조 1.12 mg/l, 방류수는 1.21 mg/l로 나타났고, 혐기조에서 T-P 및 PO₄-P농도가 유입수농도 및 다른 반응조 농도보다 높게 나타나 인의 방출이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 무산소조에서도 외부반송흐름에 의한 희석효과에도 불구하고 그 농도가 유입수 보다 증가하거나 유지하여 인이 계속 방출되고 있음을 나타내었다. 또한 접촉 포기조에서 다량의 인이 섭취(uptake)한 후 방류하는 것을 확인되었다.

Table 5는 질소에 대한 공정인자를 나타낸 것으로 본 평가시설의 혐기조에서 PO₄-P의 용출을 보면 182.5

Table 4. The operation variables on the Nitrogen in BCM Process

Operation factor	Condition	BCM Process
Nitrification rate in contact Aeration basin [gNH ₃ -N/d]		620.1
Nitrification mass [gNH ₃ -N/m ³ ·d]		207.4
Specific nitrification rate [mgNH ₃ -N/gMLSS·d]		71.1
Denitrification mass in Anoxic basin [gNO ₃ -N/d]		374.9
Denitrification mass in Anaerobic basin [gNO ₃ -N/m ³ ·d]		209.4
Specific denitrification rate in Anoxic basin [mgNO ₃ -N/gMLSS·d]		72.5

Table 5. The operation variables on the PO₄-P in BCM Process

Operation factor	Condition	BCM Process
Phosphorus release in Anaerobic basin [gPO ₄ -P/d]		182.5
Phosphorus release per MLSS in Anaerobic basin [mgPO ₄ -P/gMLSS·d]		71.8
Phosphorus uptake in contact aeration [gPO ₄ -P/d]		236.8
Phosphorus uptake per MLSS in contact aeration [mgPO ₄ -P/gMLSS·d]		27.1

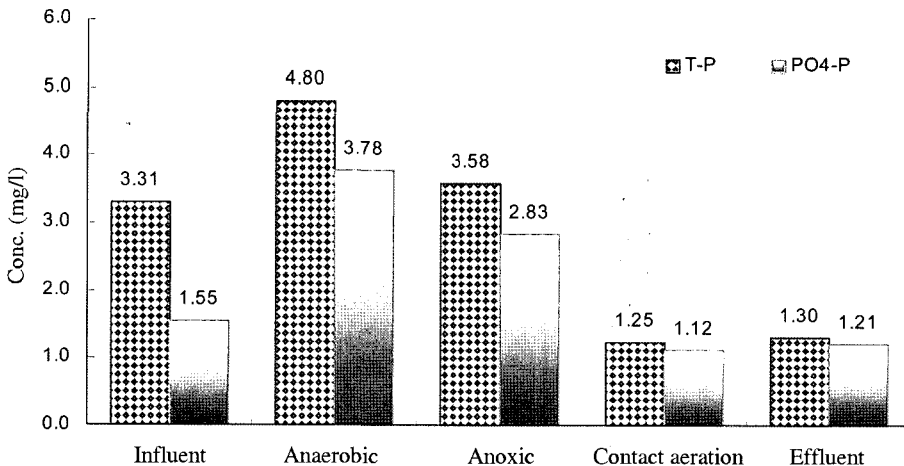


Fig. 11. The change of Phosphorus (T-P, PO₄-P) concentration in BCM Process.

gPO₄-P/d이고, 혐기조에서 MLSS당 용출된 PO₄-P는 71.8 mgPO₄-P/gMLSS·d로 나타났다. 또한 접촉포기조에서 섭취한 PO₄-P량을 보면 236.8 gPO₄-P/d, 접촉포기조에서 MLSS당 섭취된 PO₄-P는 27.1 mgPO₄-P/gMLSS·d로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 혐기조, 무산소조(I), 무산소조(II), 접촉포기조(I), 접촉포기조(II), 산소저감조로 구성된 공정에서 접촉포기조 내에 질산화미생물이 코팅된 담체를 충전하여 하수의 유기물 및 질소·인을 동시에 처리하는 기술로서 그 결과는 다음과 같다.

1) 하수 처리량은 58.3 m³/day이며, 수리학적체류시간(HRT)는 혐기조 0.87 hr, 무산소조 1.79 hr, 접촉포기조 2.99 hr, 산소저감조 0.16 hr으로 반응조 전체 체류시간은 5.81 hr으로 운전하였다.

2) 유입수의 오염물질 농도는 BOD₅가 57.2~98.0(평균 84.7)mg/l, COD_{Mn}은 30.2~78.7(평균 48.6)mg/l, T-N은 22.7~34.7(평균 26.82)mg/l, T-P는 2.27~4.19(평균 3.31)mg/l, SS는 40.0~106.0(평균 79.7)mg/l로 유입되었으며, C/N비는 2.12~3.96(평균 3.17), C/P비는 18.64~35.61(평균 25.82), BOD 용적부하는 평균 0.35 kg/m³·day, T-N용적부하는 평균 0.11 kg/m³·day로 조사되었다.

3) 오염물질의 평균제거효율은 BOD₅ 85.0~94.1%(평균 90.5), COD_{Mn} 67.4~87.5%(평균 78.0), SS 82.5~95.7%(평균 92.3), T-N 44.5~78.3%(평균 61.9), T-P 44.5~71.9%(평균 60.2)의 제거율을 나타냈다.

4) 접촉포기조에서의 질산화량은 618.7(gNH₃-N/d), 비질산화율은 52.2(mgNH₃-N/gMLSS·d), 무산소조 탈질량 374.0(gNO₃-N/d), 무산소조 용적당탈질량 209.0(gNO₃-N/m³·d), 무산소조에서 비탈질을 95.1(mgNO₃-N/gMLSS·d)을 나타내었으며, 혐기조에서 인용출량은 54.4[gPO₄-P/d], 미생물당 용출된 인 43.8[mgPO₄-P/gMLSS·d], 접촉포기조에서 인섭취량은 177.4 [gPO₄-P/d], 미생물당 섭취한 인은 14.9[mgPO₄-P/gMLSS·d]

로 나타났다.

참고문헌

1. (주) 화랑환경 : 유동상 고정상 섬모접촉여재를 이용한 고농도 유기폐수의 처리기술개발. 9-10, 1996.
2. 박태진, 이정민, 송경석, 조일형, 김영규, 정문호 : A₂O 공정에서 섬모상 담체 사용 유무에 따른 하수의 질소·인 제거에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **26**(3), 69-75, 2000.
3. 김영규, 김인배, 양익배 : CNR 공법의 체류시간에 따른 도시하수의 질소제거. 한국환경위생학회지, **26**(3), 98-102, 2000.
4. 김영규, 김인배, 이영준 : 유입수 탄소원으로 이용한 CNR공법의 질소, 인의 제거특성. **27**(3), 81-85, 2001.
5. 김영규, 양익배, 김인배, 이영준 : 섬모상담체를 이용한 혐기, 무산소, 호기공정(CNR공법)의 온도변화에 따른 하수의 질소, 인의 제거특성. 한국환경위생학회지, **27**(1), 2001.
6. 이수구, 조영주, 이명호, 한종욱 : 섬유상 담체를 이용한 생물학적 폐수처리에 관한 연구(I). 대한환경공학회지, **17**(1), 53-63, 1995.
7. 이수구, 임병란, 조창호, 채만병 : 섬유상 담체를 이용한 생물학적 폐수처리에 관한 연구(II). 대한환경공학회지, **17**(10), 941-951, 1995.
8. Magus, C., Ewha, L. and Thomas, W. : A comparison between ethanol and methanol as carbon sources for denitrification. *Wat. Sci. Tech.*, **30**, 83-90, 1994.
9. 최철규 : 수질오염공정시험법주해, 동화기술교역, 2004.
10. Clescerl, L. S., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D. : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 'Amer Public Health Assn', 2001.
11. Hao, X. D. and van Loosdrecht, M. C. M. : A proposed sustainable BNR plant with the emphasis on recovery of COD and phosphate. *Wat. Sci. Tech.*, **48**(1), 77-85, 2003.
12. Gullicks, H. A. and Cleasby, J. L. : Design of Trickling Filter Nitrification Towers. *JWPCF*, **58**(1), 60-67, 1986.
13. Lekang, O. I. and Kleppe, H. : Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media, *Aquacultural Engineering*. **21**, 181-199, 2000.
14. Sen, D. and Randall, C. W. : Performance of fixed film media integrated in the activated sludge reactor to enhance nitrogen removal. *Wat. Sci. Tech.*, **30**(11), 13-24, 1994.