BIO-CLOD를 이용한 고도처리공정에서의 영양염류 제거

박완철 · 이미애* · 성일화**†

한국과학기술연구원, *바이오메카(주), **가천대학교 환경에너지공학과

Nutrient Removal in an Advanced Treatment Process using BIO-CLOD

Wan-Cheol Park, Mi-Ae Lee*, and Il-Wha Sung**†

Korea Institute of Science and Technology

*Biomecca Incorporation

**Department of Environmental & Energy Engineering, Gachon University

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to investigate the effect of BIO-CLOD on advanced wastewater treatment for enhanced removal efficiency and meeting the stringent discharge water requirements of wastewater treatment plants.

Methods: Two experimental apparatuses consisting of anaerobic, anoxic and aeration tanks were operated. One included a BIO-CLOD cultivation tank. Organic and nutrient parameters and removal efficiency were analyzed by pH, BOD, CODcr, SS, T-N and T-P.

Results: The average removal efficiencies of BOD, COD and SS from the apparatus with BIO-CLOD tank installation were 95.5%, 88.6% and 92.9%, respectively, and these were higher than the results from the apparatus without BIO-CLOD. The average TP removal efficiency with BIO-CLOD tank marked 56.0%, higher than the 47.3% from the apparatus without one. BIO-CLOD showed a higher performance for TN removal at 49.6%, compared to the result without BIO-CLOD of 34.3%.

Conclusion: By reaction with BIO-CLOD, ammonia removal was effective in the aeration tank, as was phosphorus release in the anaerobic tank. Phosphorus luxury uptake and nitrification in aeration tank proceeded smoothly. The application of BIO-CLOD can improve the decrease of odor and settleability of activated sludge in a wastewater treatment plant, as well as increase the removal efficiency of organic and nutrient materials in water.

Keywords: Advanced treatment, BIO-CLOD, Nutrient removal, Settleability

I. 서 론

2011년 전국 3,363개소 하수처리장에서 처리되는 전체 시설용량은 25,228천톤/일이며, 그 중 생물학적 처리는 7,469천톤/일, 고도처리는 17,759천톤/일으로서 70.4%가 고도처리를 하고 있는 실정이다.^{1,2)} 기본적인 생물학적 고도처리공법은 혐기조에서는 인 방출이 일어나고, 무산소조에서는 질산성질소와 아

질산성질소가 환원되어 질소가스를 생성하는 탈질공정이, 포기조는 유기물산화와 질산화 및 인 제거 공정의 조합으로 구성되어 있다. 그러나, 2012년부터 총인 방류수 수질기준이 강화되면서, 추가적인 인 제거를 위해 물리화학적 공정이 도입되어, 응집제를 투여해야 하는 인 제거 공정이 부가되어 복합공정이 되어가고 있는 실정이다.

다양한 하수처리공법 중에서 바실러스균을 사용하

†Corresponding author: Department of Environmental & Energy Engineering, Gachon University, Seongnam, Gyeonggi, 461-701, Korea, Tel: +82-31-750-4736, Fax: +82-31-750-8839, E-mail: iwsung@gachon.ac.kr

Received: 9 January 2014, Revised: 26 February 2014, Accepted: 30 July 2014

는 B3(Bio-Best-Bacillus)공법은 질소·인 제거 이외에도 높은 유기물제거와 악취제거가 동시에 가능하다는 장점이 있다. 토양이나 식품에 서식하는 바실러스균을 선택적으로 배양하고 우점화시켜 활성슬러지공정과 호기성소화공정에 주입함으로써 유기물 제거효율도 높이고, 악취문제도 해결한 예가 있다.³⁾ 또한 기존의 우점화된 바실러스균을 이용하여 높은 유기물과 영양염류를 포함하는 매립지 내 침출수를 대상으로 처리한 결과, 매우 높은 처리 효과를 보이는 것으로 알려져 있다. 김⁴⁾ 등은 망상형회전식 바실러스 집속장치를 이용한 하수처리에서 유기물과 질소, 인을 대상으로 안정적인 유출수 농도와 높은 슬러지 침강성을 확인할 수 있었으며, 생물막의 혐기성화 단계에서도 악취가 발생하지 않음을 확인하였다.

본 연구에서는 기존의 고도처리공정에 시판되고 있는 BIO-CLOD를 사용하여 포기조내의 활성 미생물과 집속시킴으로써, 유기물 및 영양염류 제거 효율을 증강시키고자 하였다. BIO-CLOD의 주성분은 토양에서 채취한 토양미생물과 부엽토미생물 및 청국장에서 분리한 청국장미생물 등으로부터 바실러스류의 미생물 대사물질로, 여기에 응집효과가 있는 철분 및 규산분을 첨가 가공한 것이다. 성¹¹⁾은 시판되고 있는 미생물제 중의 하나인 매질(Biothrough)를 사용하여 활성 슬러지공정에서 포기조 내부와 외부에 설치하여 실험한 결과, 분리된 반응조에 Biothrough를 추가 설치할 경우, 슬러지 침강성에는 더 효과적이라고 하였고, 박¹⁵⁾은 침전조에서 바실러스균이 세포벽 외부에 점액층의 다당류 망상구조를 이루어, 점액층의 집착력에 의해 슬러지의 침강성을 증대하여 유기물 제거 효율을 높일 수 있다고 하였다.

일반적으로 생물학적 고도처리공정 후단에 주입되는 화학적 응집제는 인 제거에는 탁월한 효과를 주지만 경제적 비용과 알루미늄염의 자연계로의 방출이라는 문제를 갖고 있다. 따라서 기존의 하수처리공정에 친환경적인 BIO-CLOD를 추가하여, 바실러스균과 철분에 의해 활성슬러지와 영양염류의 응집 및 침전효율 향상을 통한 영양염류의 제거효율을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험장치 및 운영

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Operating conditions

Item	HRT (hr)	Capacity (L)
Anaerobic Tank	0.5	0.63
Anoxic Tank	1.5	1.88
BIO-CLOD Tank	0.024	0.03
Aerobic Tank	2.4	3.0
Fixed Media Aerobic Tank	1.2	1.5
Sedimentation Tank	3.4	4.0

Table 2. Characteristics of the municipal wastewater

Parameters	Min. ~ Max.	Average Conc.
pH	7.0 ~ 7.4	7.2
BOD	96 ~ 116	104
COD _{Cr}	176 ~ 209	182
SS	51 ~ 88	70
VSS	28 ~ 48	39
T-P	2.6 ~ 3.7	3.0
PO ₄ ³⁻ -P	0.12 ~ 1.2	0.77
NH ₃ ⁺ -N	13.3 ~ 21.4	15.8
NO ₂ ⁻ -N	0.06 ~ 0.64	0.3
NO ₃ ⁻ -N	0.38 ~ 2.90	1.58
T-N	22.1 ~ 26.8	24.6

Note. *unit : mg/L except for pH

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1에서와 같이 아크릴 재질로 제작된 혐기조, 무산소조, 포기조, 집속포기조, 침전조로 구성되는 기존의 반응조(Non

BIO-CLOD)와, 포기조 전단에 BIO-CLOD 접촉조가 추가된 BIO-CLOD 반응조(BIO-CLOD)를 구성하였다. 처리용량은 30 L/day이었으며, 각 반응조의 크기와 용량은 Table 1에 요약하였다. 접촉포기조에서 혐기조로의 내부순환율은 100%이었으며 슬러지 반송율은 20%, 폐슬러지유량은 약 2% 내외로 운전하였다. 사용된 시료는 경기도 G하수처리장의 저류조에서 채수한 것으로, 시료의 성상은 Table 2와 같다.

2. 분석항목 및 방법

반응장치로의 유입수는 월 3회, 처리수는 주 3회 분석하였고, 항목은 pH(Accumet25, Fisher), BOD(YSI58), COD_{Cr}(Spectronic21, Milton Roy Com.) 및 SS(MOV-112, Sanyo)를 분석하였다. 영양염류 분석을 위해서는 T-P(UV-1601, Shimadzu), T-N(TM2200, Kjeltex) 및 NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P 등의 음이온 분석에는 LC-10AD와 CDD-6A(Shimadzu)를 이용하였으며, 분석방법은 수질오염공정시험법 및 Standard Method¹⁴⁾에 준하여 실험하였다.

3. BIO-CLOD 접촉조

바실러스는 공기 중은 물론 토양, 건초, 먼지 등 자연계에 널리 분포하는 호기성 또는 통성혐기성의 간균으로 보통 그람양성균이다. 환경조건에 따라 내생포자를 형성하고 포자는 열, 방사선 및 화학물질 등에 대하여 강한 내성이 있으며 성분적으로 디피코린산의 칼슘염을 다량으로 함유한다고 알려져 있다. 또한 균체의 크기, 포자의 형태와 균체내에서의 위치, 당의 이용과 생성물, 질산환원의 유무, 고농도의 식염 존재 하에서의 생장 유무 등의 성질에 따라 종으로 분류되기도 하며, 대부분 탄소원으로 당, 아미노산, 유기산 또는 알코올 등의 단순유기 화합물을 이용한다.⁹⁾ 부엽토 등의 토양에서 채취한 토양미생물과 부엽토미생물, 청국장에서 분리한 청국장미생물 등의 바실러스류를 순수분리하고 고형화시켜 미생물덩어리로 만든 BIO-CLOD(M25, Biomeca Inc., Korea) 25 g을 넣은 BIO-CLOD 접촉조의 용량은 0.03 L이며, 원수의 10%가 호기 조건에서 포기조에 유입되도록 하였다. ESEM(Field-Emission Scanning Electron Microscope, Carl Zeiss Model SUPRA 55VP)를 이용하여 형태와 성

Fig. 2. Profile of elements in the BIO-CLOD.

Table 3. Characteristics of BIO-CLOD

Item	Content
C	27.9 wt%
H	1.12 wt%
O	45.4 wt%
N	2.8 wt%
S	2.0 wt%
Al	4.1 wt%
Si	9.7 wt%
Ca	3.6 wt%
Fe	1.6 wt%
P	0.7 wt%
Water content	8.56~12.4 wt%
Loss of ignition	18.9~23.9 %
Total bacterial counts	2.4x10 ⁸ ~1.6x10 ¹¹ cfu/g

분을 분석하였으며, BIO-CLOD의 성분은 Fig. 2와 Table 3과 같다.

III. 결 과

1. BIO-CLOD 적용 여부에 따른 유기물 및 질소, 인 제거 특성

G하수처리장 유입수를 대상으로 BIO-CLOD 접촉조를 설치한 반응조(BIO-CLOD 반응조)와 BIO-CLOD를 설치하지 않은 기존 반응조에 대한 유기물 및 영양염류의 제거효과를 알아보기 위하여 150일 간의 운전 결과를 비교하였다.

BIO-CLOD 적용여부에 대한 두 반응조의 유입수

Fig. 3. Variation of BOD, COD_{Cr} and SS removal efficiency with BIO-CLOD addition.

및 유출수의 BOD, COD_{Cr}, SS의 농도 및 제거효율은 Fig. 3-Fig. 4에 정리하였으며, 질소와 인 제거효율과 유입 및 유출수의 농도는 Fig. 5-Fig. 6에 나타내었다.

두 반응조에 동일하게 유입수가 들어가도록 하였으며, Table 4에 BIO-CLOD 반응조와 기존 반응

Fig. 4. Variation of influent and effluent concentration for BOD, COD_{Cr} and SS with BIO-CLOD addition.

조에서의 유기물 및 영양물질 제거특성을 비교하였다. 유입수 BOD는 평균 104 mg/L로 유지되었지만, BIO-CLOD 반응조에서는 4.7 mg/L로 유출되어 95.5%의 BOD 제거율을 보인 반면, 기존 반응조에서는 11.1 mg/L로 유출되어 BOD 제거율 89.4%로 비교적 낮은 것으로 나타났다. 그러나 COD_{Cr} 제거

Fig. 5. Variation of T-P and T-N removal efficiency with BIO-CLOD addition.

Fig. 6. Variation of influent and effluent concentration for T-N and T-P with BIO-CLOD addition.

Table 4. The characteristics of effluent concentration and removal efficiency of BIO-CLOD and Non BIO-CLOD

Parameters	BIO-CLOD Effluent conc. (mg/L)	Removal (%)	Non BIO-CLOD Effluent conc. (mg/L)	Removal (%)
BOD	1.6~9.6(4.7)	90.8~98.5(95.5)	5.9~16.0(11.1)	84.6~94.3(89.4)
COD _{Cr}	7.2~32(20.7)	82.4~99.0(88.6)	14.0~42.0(29.0)	76.9~92.2(84.2)
SS	1.5~8.5(4.9)	87.8~97.9(92.9)	2.5~11.2(5.9)	84.0~96.4(91.5)
T-P	1.0~1.6(1.3)	46.7~66.7(56.0)	1.1~2.4(11.1)	20.0~63.3(47.3)
T-N	9.7~14.4(12.4)	41.5~60.6(49.6)	12.3~22.5(16.2)	8.5~50.0(34.3)

을과 SS 제거율에서는 그 차이가 미미 하였다.

영양염류에서는 T-P농도로 평균 3.0 mg/L로 유입 되었지만, BIO-CLOD 반응조에서 1.3 mg/L로 처리 되어 T-P 제거율이 56.0%인 반면, 기존 반응조에서는 처리수 T-P농도가 11.1 mg/L로, T-P 제거율은 47.3%이었다.

평균 유입 T-N농도가 24.6 mg/L로, BIO-CLOD 반응조의 처리수 T-N은 12.4 mg/L(제거율 49.6%)이었

으나, 기존 반응조의 처리수 T-N은 16.2 mg/L로, T-N 제거율이 34.3%에 그쳤다.

2. BIO-CLOD 반응조에서 단위공정별 질소, 인 제거효율

BIO-CLOD 반응조에서 각 공정에 따른 질소, 인 농도분포를 Table 5와 Fig. 9에 나타내었다. 포기조에서의 인 제거율은 96%를 보여 혐기조에서 인 방

Fig. 7. Profile of BIO-CLOD scale bar 2 μ m.

Fig. 8. Profile of methyl mercaptane(MMC) concentration in digested sludge.

Table 5. Characteristics of wastewater treatment in BIO-CLOD process

Item	Influent	Anaerobic	Anoxic	Aerobic	Effluent
T-P	3.7	23	27	40	1.6
NH ₄ ⁺ -N	16	14	9.1	2.0	0.8
NO ₃ ⁻ -N	1.5	6.9	8.4	20	13

Note: *unit : mg/L

출과 포기조에서 인의 과잉흡수가 원활히 진행되고 있음을 보여주었다. NH₄⁺-N는 16 mg/L로 유입되어 포기조를 거쳐 유출수는 0.8 mg/L로 95%의 제거율을 보였다. 반면 질산염농도는 1.5 mg/L로 유입되었지만, 포기조에서 질산화로 20 mg/L로 증가하였고, 그 유출수를 내부순환으로 무산소조로 보내져 탈질이 이루어짐으로써 무산조에서 8.4 mg/L로 낮았으나 유출수는 13 mg/L로 다소 높았다.

Fig. 9. Profile of T-P, NH₄⁺-N and NO₃⁻-N concentration in anaerobic, anoxic and aerobic tank.

3. BIO-CLOD의 효과 분석

BIO-CLOD는 비중이 0.764 g/mL으로 가볍고, 영양체 및 포자체의 혼합형태로 증식된 바실러스를 고형화 후 성형한 것이다. BIO-CLOD 접촉조에서 용출 및 증식되면서 활성화된 바실러스와 포기조내의 활성화된 미생물(MLSS)과의 상승작용이 유기물 제거에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, BIO-CLOD 반응조와 기존반응조에서 유기물제거 및 영양염류 제거에 차이가 있었음을 알 수 있었다.

BIO-CLOD의 효과 지속성을 평가하기 위해, Fig. 7과 같이 BIO-CLOD 접촉조에서 150일 운전 후의 BIO-CLOD의 상태를 SEM을 이용하여 분석하였다. 고형화될 때 투입된 일부 바실러스의 영양체가 그대로 굳어진 모습을 확인함으로써 장기간 사용 가능성을 알 수 있었다.

BIO-CLOD는 생물학적 하수처리공정에서 포기조의 활성미생물과 상호작용이 원활하여 질소제거뿐만 아니라 처리장내 악취제거에도 관여하므로 이에 대한 batch test를 하였다. Fig. 8은 일반적인 악취성분인 암모니아, H₂S 및 methyl mercaptane(MMC) 중에서 반응이 빠른 methyl mercaptane을 대상으로 농도 0.184 ppm의 소화슬러지를 이용하여 batch test한 것이다.

BIO-CLOD를 주입한 것과 주입하지 않은 것에서 약 24, 48, 72시간 경과후 시간별로 측정된 것으로 BIO-CLOD를 주입한 경우, 0.0 ppm, 0.004 ppm, 0.004 ppm으로 24시간내에 악취성분이 100% 제거되었으며, BIO-CLOD를 주입하지 않는 곳에서는 0.03 ppm, 0.03 ppm, 0.04 ppm으로 24시간내에 84%

가 제거되었음을 알 수 있으나, 악취제거 효과에 대한 자세한 연구가 필요하다고 본다.

IV. 고 찰

엄³⁾의 바실러스균을 이용한 처리에서 88%의 COD 제거율을 보고하였는데 본 연구에서는 BIO-CLOD 적용여부에 따라, BOD 제거율은 평균 89.4%에서 95.5%, CODcr 제거율은 평균 84.2%에서 88.6%로서 BIO-CLOD 적용에 차이가 나타남으로써 유기물 제거에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다

BOD 제거량에 대한 MLSS 발생량¹⁶⁾은 유입되는 유기물질을 이용하는 미생물의 성장속도로서, 제거되는 유기물질에 대한 호기성 미생물 발생량을 나타내는 것으로 BIO-CLOD 반응조에서는 0.66 kgMLSS/kgBOD·d로 기존 반응조 0.65 kgMLSS/kgBOD·d와 근소한 차이를 보여주고 있다. 이는 또한 포기조내 미생물량의 지표인 MLSS 농도는 BIO-CLOD 반응조에서는 1,462~4,476 mg/L(평균 3,230 mg/L)였고, 기존 반응조에서는 1,165~4,737 mg/L(평균 2,708 mg/L)로서 BIO-CLOD 반응조의 포기조내 MLSS농도를 평균 500 mg/L 정도 높여주지만 과잉으로 생성되지 않았다. 폐기되는 슬러지량에서도 BIO-CLOD 반응조에서는 390~510 mL, 기존 반응조에서는 380~480 mL를 배출시키며 두 반응조를 동일한 조건으로 하기 위해 포기조내 MLSS농도를 유지하였다. 따라서 BIO-CLOD의 역할은 유기물 및 영양염류 제거 이외에도 침전지에서 침강성을 높여주는 역할을 하는 것으로 보인다. 박은 침강성을 높여 줄 수 있는 근거로서 바실러스 균이 분비하는 점액질이 미생물 플러를 응집시켜 침강속도를 높여준다고 하였는데, 본 연구에서도 침강성의 지표인 SVI에서 기존 반응조의 SVI는 73~102로 평균 86였으며, BIO-CLOD 반응조의 SVI는 53~70로 평균 61을 나타내어 BIO-CLOD의 적용으로 침강성이 향상되었음을 알 수 있었다.

성¹¹⁾등은 부식질로 만들어진 매질을 이용한 실험에서 슬러지의 침강율을 높였는데 침강효율을 높인 요인 중의 하나는 BIO-CLOD 성분을 구성하는 성분과 같은 Al, Fe, Ca 등 양이온의 응집력과 BIO-CLOD를 이루고 있는 바실러스가 세포벽 외부로 분비되는 점액층에 의해 침전지에서 침강성을 높여 유출수의 수질을 높여준 것으로 생각된다¹⁵⁾.

T-P의 제거율은 COD/T-P비가 중요한 인자로서 김⁸⁾의 실험에서는 COD/T-P비가 56에서 유출수의 인 제거율이 72%까지 높을 수 있는 것에 비해 김⁴⁾등의 연구에서는 50%였다. 본 연구에서는 COD/T-P비 61이었고, BIO-CLOD 반응조에서는 T-P 제거율이 평균 56.0%이며, 기존 반응조에서는 평균 47.3%이었으며 BIO-CLOD 반응조 유출수의 T-P농도가 1.3 mg/L 이하로 총인 방류수 수질기준(2mg/L, 지역기준)에 적합한 안정적인 처리결과를 보여주었다.

또한 포기조내 MLSS농도에 대한 T-P 제거속도를 보면, 본 연구의 HRT 2.4시간 조건에서 BIO-CLOD 반응조에서 0.27 mgT-P/gMLSS·hr이며, 기존 반응조에서는 0.18 mgT-P/gMLSS·hr로, 저포기 HRT 8시간의 결과인 0.28 mgT-P/gMLSS·hr¹⁰⁾에 상응 될 만큼의 효과가 있음을 나타내고 있다.

반면 T-N 제거율의 경우, BIO-CLOD 반응조에서 평균 49.6%를 기존 반응조에서는 평균 34.3%를 나타낸 것으로 보아 반응조내 BIO-CLOD의 적용이 영양염류 제거효율을 향상시키는데 영향을 미친 것으로 판단된다.

NH₄⁺-N의 경우, BIO-CLOD 반응조에서 96%의 높은 NH₄⁺-N 제거율은 질산화가 잘 이루어지는 것으로 일반적인 공정⁹⁾에서와 유사하였지만, 유출수의 질산염 농도가 상대적으로 높게 나타났다. 이는 질산염이 질소가스로 전환되는 무산소조의 체류시간이 1.5시간으로 짧아 무산소조에서의 탈질기능을 충분히 발휘하기 어려웠던 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 기존의 하수처리공정에 응집제 주입 없이 친환경적으로 BIO-CLOD를 넣은 미생물 접촉조를 설치한 BIO-CLOD 반응조를 운전하여 유기물 및 영양염류의 제거효율을 검토하였으며, 또한 BIO-CLOD가 적용되지 않은 기존 반응조를 동일한 조건에서 운전하여 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. BOD 제거율은 BIO-CLOD 반응조에서 평균 95.5%였으며 기존 반응조에서는 평균 89.4%였고, COD제거율은 BIO-CLOD 반응조에서 평균 88.6%였으며, 기존 반응조에서는 평균 84.2%로서 BIO-CLOD가 유기물 제거에 효과가 있었음을 알 수 있었다.
2. TP 제거율은 BIO-CLOD 반응조에서는 평균

56.0%이었으며, 기존 반응조에서는 평균 47.3%였으며, TN 제거율에서는 BIO-CLOD 반응조에서는 평균 49.6%였고, 기존 반응조에서는 평균 34.3%로서 BIO-CLOD를 적용한 반응조에서 제거율이 향상되었음을 알 수 있었다.

3. BIO-CLOD 반응조의 포기조에서의 인 제거율 및 암모니아 제거율은 95% 이상을 보여주어 혐기조에서 인 방출과 포기조에서의 인의 과잉흡수 및 질산화는 원활히 진행되고 있음을 보여주었다.

4. BIO-CLOD를 이루고 있는 바실러스균의 특성과 양이온성분들의 응집력은 침전지에서의 침강력을 높이는 역할을 하였으며 악취제거에도 관여하였지만 이에 대한 기작과 효과에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

References

1. Ministry of Environment. Environmental statistics yearbook. Available: http://www.webbook.me.go.kr/DLi-File/091/016/5527962-1_2012.pdf [accessed 1 August 2013].
2. Ministry of Environment. Introduction WSSD. Available: http://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=130&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&search-Key=&searchValue=&menuId=10264&orgCd=&condition.code=A5&seq=4671 [accessed 1 August 2013].
3. Eom TK. The study for the advanced efficiency of SBR process using Bacillus sp. *J Kor Soc Water Sci Tech.* 2011; 19(6): 11-19.
4. Kim EH, Cho YJ, Park SJ, Shin KS, Yim SB, Jung JK. Advanced wastewater treatment process using rotating activated bacillus contactor (RABC). *J Kor Soc Water Qual.* 2004; 20(2): 190-195.
5. The Korean Association of Biological Sciences. Iwanami's Dictionary of Biology, 2nd ed. Seoul: The Korean Association of Biological Sciences Press; 2001. p.123.
6. Kim KS, Seo GT, Lee KH, Kim NJ. Comparison of biological phosphorus removal characteristics between A/O and A²/O process. *J Kor Soc Water Qual.* 2002; 18(2): 123-130.
7. Kim KS, Yoo JS, Ahn KH, Ryu M. Monitoring parameters and P removal metabolism of denitrifying-phosphorus removing bacteria under anoxic condition. *J Kor Soc Water Qual.* 2009; 17(1): 31-44.
8. Kim KS, Kim IT. Comparison of phosphorus and nitrogen removal characteristics between A²/O and modified phostrip processes. *J Kor Soc Water Qual.* 2005; 21(6): 664-668.
9. Kim IT, Kim KS. Application of methanotrophs to anoxic/aerobic and aerobic/anoxic process for advanced waste water treatment. *J Kor Soc Water Sci Tech.* 2010; 18(3): 69-77.
10. Eom TK, Han DY. Removal characteristics of organics, nitrogen and phosphorus according to each HRT of sequencing batch reactor using Bacillus sp. *J Kor Soc Water Sci Tech.* 2005; 13(3): 21-29.
11. Sung IW, Choi YS, Park HS, Yu MJ. Sewage treatment by activated sludge process augmented with additive. *J Kor Soc Water Qual.* 1994; 10(1): 31-40.
12. Park JB, Shin KS, Hur HW, Kang H. Comparison of biological nutrient removal efficiencies on the different types of membrane. *J Kor Soc Water Qual.* 2011; 27(3): 322-328.
13. lee SH. Evaluation for the simultaneous removal of organic matters and nutrients by the RBC and tapered aeration processes with of Bacillus sp. for the high strength of dairy wastewater. *J Kor Soc Water Wastewater.* 2010; 24(2): 195-202.
14. Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clescer LS. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st Ed. Washington DC: AHPA Pub Press; 2005. p.2-18.
15. Park HJ. Removal characteristics of total Coliforms in rotating activated Bacillus contactor process [dissertation]. [Seoul]: Hong Ik University; 2003.
16. Reynolds TD, Richards PA. Unit operations and processes in environmental engineering, 2nd ed. Texas: PWS Publishing Company Press; 1996. p.452-458.