



# A<sup>2</sup>/O 공법을 이용한 소규모 하수처리시스템의 몽골 현지 적용에 관한 연구

## Application Study of small-scale sewage treatment system with A<sup>2</sup>/O process in Mongolia

여영기·김영희\*

Yeongki Yeo·Younghee Kim\*

호서대학교 벤처대학원 융합공학과

Department of Convergence Technology Graduate School of Venture Hoseo University

### ABSTRACT

The small-scale sewage treatment system with A<sup>2</sup>/O process was applied to evaluate applicability for Mongolian sewage. It was designed to have 10 m<sup>3</sup>/d flowrate and installed in Ulaanbaatar, Mongolia. During over 6month operation BOD, COD, TN, TP removal efficiency were measured and operation condition was optimized. In addition, MLSS concentration its internal circulation rate and DO were adjusted properly. BOD, COD showed average 88 percent of removal and TN and TP achieved 81 percent and 88 percent removal efficiency, respectively. Maximum influent concentration of BOD, COD, TN and TP was 214 mg/L, 300 mg/L, 24.3 mg/L and 5 mg/L respectively, which were decreased to 4.1 mg/L, 5.6 mg/L, 1.3 mg/L and 0.15 mg/L by the test system. This study show possibility that small-scale sewage treatment system could be a useful system for scattered sewage wastewater treatment.

**Key words:** A<sup>2</sup>/O, Mongolia, sewage, small-scale, TN, TP

**주제어:** A<sup>2</sup>/O, 몽골, 하수, 소규모, 총질소, 총인

## 1. 서 론

인류의 산업화가 진행됨에 따라 인구 증가에 따른 소비활동이 다양하게 나타나고 있으며 국민의 생활수준이 향상됨에 따라 물의 수요증가와 하수발생량의 증가로 인해 안전하고 깨끗한 물공급에 대한 욕구가 증대되고 있다.(Rim, 1999)

국내의 경우 도시의 산업화가 진행되면서 농촌지역의 도시화 또한 급격히 이루어지고 있으며 이에 따른 오염원의 배출이 증가하는 추세를 나타내고 있고 지표수의 오염은 계속적으로 악화됨에 따라 안전한 수

자원확보를 위한 하수처리수의 방류수질이 강화되고 있는 실정이다.(Kim, 2009; Rim, 1999)

생활하수는 탄수화물, 유지, 단백질이 포함된 유기질이 대부분을 차지하고 있으며 이의 성분들이 하천의 오염 증가를 가중시키고 있고(Metcalf and Eddy, 1993) 다양한 처리 공정을 통해 영양물질을 제거하고 공공 수역으로 배출되어지고 있으며, 유입되는 지류로부터 오염부하, 수문학적 특성, 계절적요인등(Park et al., 2014) 여전히 질소 및 인 등의 영양염류의 농도는 증가하고 있어 수계 내 적조 및 부영양화를 발생시키고 있다.(MOE, 2008)

국내의 경우 하수도 보급이 시급한 농촌지역을 살펴보면 도시지역에 비해 하수배제구역이 넓게 분포되어있고 거주인구수가 낮은 특징을 보임에 따라 유입

Received 11 September 2017, revised 25 September 2017, accepted 28 September 2017

\* Corresponding author: Younghee Kim (E-mail: yhkim514@hoseo.edu)

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

하수의 유량 및 농도차가 크게 나타나는 현상을(Lee et al., 2011) 나타내고 있다. 특히, 몽골과 같은 중앙아시아의 개발도상국에서는 이런 현상이 심화되는 추세를 나타내고 있다.

몽골의 생활거주 패턴은 유목형태의 생활방식을 영위하고 있어 하수시설이나 상수시설의 보급률이 현저히 낮은상태로(Kotra, 2008) 이의 해결을 위해서는 거주 생활방식에 적합한 소규모 시설에 대한 요구가 증가되고 있다.

몽골의 주요 상수자원은 Ulaanbaatar시를 북에서 남으로 가로지르는 Tull 강이 대표적이며 영구적으로 이용 가능한 지표수는 없고 50,000 m<sup>3</sup>/day인 지하수 수요량은 2020년까지 사용가능한 자원으로 이용된다.(KEEI, 2009)

특히, Ulaanbaatar시의 수자원 수요량의 98%를 담당하는 Tuul강 하류의 수질은 심각한 수준을 나타내고 있고(Shim, 2015) 방류수BOD기준을 31배나 초과하고 있으며 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N수치도 기준값인 0.5 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N보다 25배 높게 나타내고 있다.(MOE, 2015)

몽골전역에는 103개의 하폐수처리장이 있으며 이중 41개의 처리장이 정상가동되고 있고 27개소는 비정상가동중이며 나머지 35개소 하수처리장은 관할지역의 감독이 부재한 상태로 가동이 중지된 상태로 조사되었으며 특히, Ulaanbaatar시에는 총 4개(CWWTP, Nisekh, Biocombinate WWTP, Nairamdal WWTP)의 하수처리장을 보유하고 있으며(KOICA, 2011), 이중 CWWTP의 하수 처리가동율은 40~50%에 불과하다.(The Export-Import Bank of Korea, 2010)

중앙아시아와 같은 개도국의 물 시장에 진출하기 위해서는 기존에 사용되고 있는 공법으로서 현지사정에 적합한 기술이 필요하고 몽골의 오염배출경로를 고려하여 소규모처리시설에 적합한 공법을 이용하는 것이 바람직하다.

A<sup>2</sup>/O, BAF 공법, 모래여과등의 공법을 검토하고(KEC, 2009) 하폐수 변화에 대응성이 가능하고 현지 여건에 맞는 시스템이 필요하기 때문에 각 개별공정의 모듈화와 시스템화를 추진하여 어느 지역에서나 수질환경 기준을 유지할 수 있는 컴팩트한 소규모 하폐수처리 장치의 개발이 요구되고 있다.(MOE, 2013)

따라서 본 연구에서는 생물학적처리를 이용하여 질소 및 인의제거를 위해 기존A<sup>2</sup>/O공법을 활용하여 유입하수의 오염농도를 가장 안정적으로 처리하기(Choi,

2014) 위해 소규모시설에 적합한 소규모패키지형 시설을 실증베드로 실험하였고 몽골내 하수특성에 맞도록 소규모패키지시설을 현지화하기 위한 최적화된 조건에서 질소, 인, 유기물질등의 오염물질의 제거특성을 관찰하였다.

## 2. 연구재료 및 방법

### 2.1 테스트베드 설치장소 선정

테스트 베드 설치는 Ulaanbaatar시 북쪽 외곽에 위치한 Suhkbaatar구의 Dambadarjaa 공공하수처리장에 설치하였다. Dambadarjaa 공공하수처리장은 58번초등학교 및 몽골의 일반 가정집에서 배출되는 하수를 처리하며 하수처리장 설계용량은 90 m<sup>3</sup>/일로 가동운영중이나 실제로는 30~60 m<sup>3</sup>/일 로 운영되고 있다. 하수처리공정은 생물학적처리(배치식)와 침전조로 구성되어 있으나 최종처리수로 방류되는 주변 소하천의 수질이 매우 악화되어 주변 주민들에 의한 수질개선 요구가 있는 하수처리장이다.

### 2.2 소규모 하수처리 패키지 시스템의 구성 및 운전

소규모 하수처리 패키지 시스템의 기본적인 공법배이스는 Fig. 1과 같이 A<sup>2</sup>/O공법을 활용하여 제작하였으며 혐기조에서 인을 방출하고 무산소조에서는 질산성질소의 탈질반응이 이루어지며 폭기조에서 암모니아성 질소의 질산화 및 인의 흡수가 이루어진다.

폭기조에서 BAF는 반응조 내에 충전되어 있는 여재를 통해 미생물을 포집하여 안정적으로 고농도의 MLSS를 유지함으로써 유입수내 유기물질을 산화분해하고 암모니아성 질소를 질산화 될 수 있도록 하였다. 반응조내에 공기를 순환시켜 미생물의 적정 용존산소농도를 유지시키고 DO농도에 따라 폭기량을 실시간 제어하였다. 전체 반응조의 설계용량 안정적인 유기물 제거 및 질산화를 위하여 계획처리용량은 10 m<sup>3</sup>/일로 하였다.

테스트 베드의 생물 반응조 최적운전을 위하여 안정적 수온을 유지하기 위한 보온작업을 실시하였으며 운전기간동안 생물 반응조의 평균 수온은 17.4°C로 나타났다. 폭기조의 용존산소량은 공기주입장치가 자동으로 공기주입량을 조절하며, 유입수의 오염도에 따라 상황에 맞도록 설정하여 운영하였다.

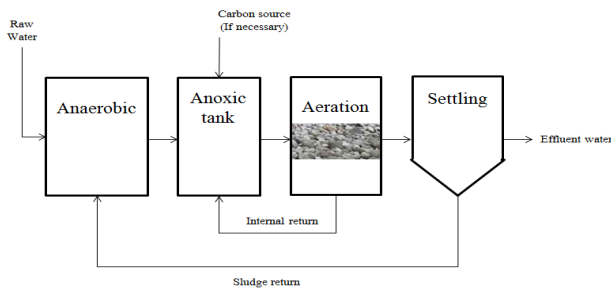


Fig. 1. Process of small-scale sewage treatment package system.

### 2.3 분석방법

몽골 현지에서 A<sup>2</sup>O공법을 이용한 소규모 하수처리 적용에서 원수 및 처리수의 BOD, COD, TN, TP 농도 (mg/L) 및 제거효율을 확인하였다. BOD는 우리나라 수질오염 공정시험법에 의한 5일 BOD 측정방법에 의거하여 측정하였으며 COD, TN, TP의 분석은 Hach 사의 DR890을 이용하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 운전조건

몽골 Ulaanbaatar시의 하수 원수를 대상으로 하는 테스트 베드를 구축하여 6월부터 12월까지 약 180일간 연속운전을 수행하였다. 6월19~7월19일까지 약 40일 동안은 시운전을 수행하였으며, 이후 38일간 안정화기간까지 MLSS를 3,500-4,000 mg/L, 유입유량 7.0 L/min로 유지하여 하루 평균 약 5.7 m<sup>3</sup>을 처리하였다. 활성슬러지는 몽골 하수처리장의 생물 반응조에 있는 호기조의 슬러지를 사용하여 접종하고, 안정화기간중 21일간 슬러지 순응을 통해 생물 반응조를 안정화하고 적응을 하였다. 생물 반응조는 내부반송과 외부반송을 고려하여 MLSS를 평균 3,500 mg/L로 유지하였

으며, 슬러지의 상태를 일정하게 유지하기 위해 하루에 한번 5분간 인발하였다. 전체 생물학적 처리조의 균형은 내부반송의 경우 평균 2Q, 외부반송의 경우 평균 0.5Q를 조절하여 운전하였다.

### 3.1.1 유입수질 및 유량

소규모 하수처리 패키지 시스템의 계획 유입수질 및 목표수질과 하수처리수 수질기준을 Table 1에 나타내었다.(MOE, 2016)

설계용량은 10.0 m<sup>3</sup>/day이며 운전기간동안 평균 처리유량은 5.7 m<sup>3</sup>/day이고 총 처리량은 531.0 m<sup>3</sup>/day이며, 최대 유입유량은 15.6 m<sup>3</sup>/day이다. 운전초기에는 낮은 유량으로 운전하여 시스템 정상화를 유도하였고 순차적으로 유량을 설계유량까지 상승시켰다. 그러나 동절기에 접어들면서 하수발생량이 급격히 감소하여 설계유량에 크게 미치지 못하였으며 Fig. 2과 같이 하수발생량의 일변화가 큰 것으로 나타났다.

### 3.1.2 온도

생물 반응조의 온도는 미생물 활성화를 위해 매우 중요한 인자이다. 일반적으로 폭기조의 온도가 15.0°C이하로 떨어진 경우 미생물 활성이 70% 수준으로 감소하며 12.0°C 이하에서는 50% 이하로 급격하게 감소하는 것으로 알려져 있다.(Lee, 2001) 몽골의 기온은 9월을 기점으로 하여 급격하게 하락하여 10월 이후에는 대부분 영하의 온도를 보이고 있고 동절기에는 영하 20.0~30.0°C까지 하강하기도 한다. 테스트 베드의 생물 반응조 최적운전을 위하여 폭기조내 온도는 15.0°C 이상으로 유지할 수 있도록 보온하였다. Fig. 3와 같이 운전기간동안 생물 반응조의 평균 수온은 17.4°C로 나타났으며 최고 20.0°C, 최저 15.5°C로 나타났다.

Table 1. Wastewater quality of influent.

Item	Plan inflow water quality	Target water quality	Domestic sewage discharge standard (2014)	Mongolia sewage discharge standard (2011)
BOD (mg/L)	110 ~ 250	< 15.0	<5.0	<20.0
COD (mg/L)	110 ~ 250	< 20.0	<20.0	<50.0
TN (mg/L)	25 ~ 80	< 10.0	<20.0	<15.0
TP (mg/L)	3 ~ 10	< 0.5	<0.2	<1.5

pp. 373-381  
pp. 383-388  
pp. 389-395  
pp. 397-407  
pp. 409-414  
pp. 415-419  
pp. 421-430  
pp. 431-440  
pp. 441-445  
pp. 447-457  
pp. 459-469

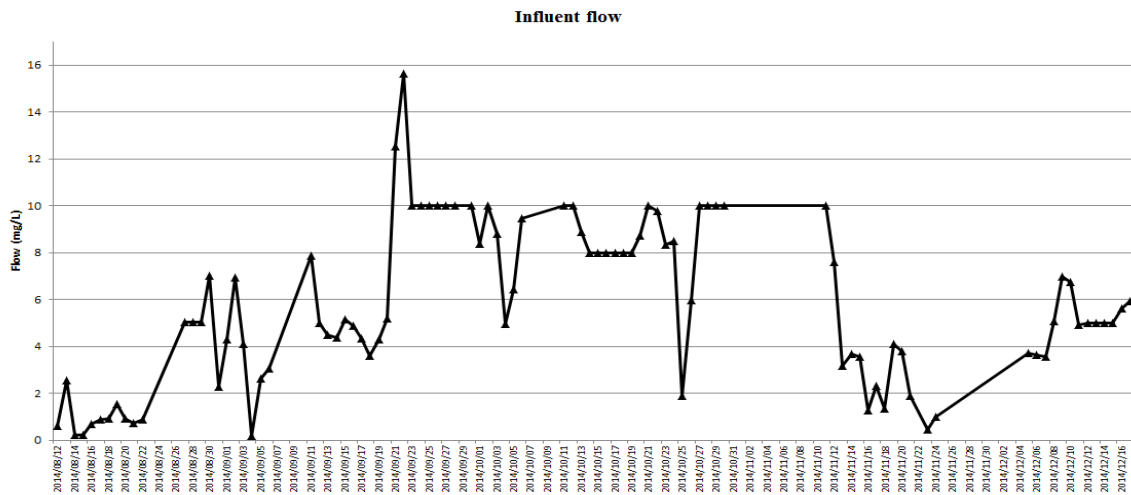


Fig. 2. Influent flow rate of wastewater treatment package.

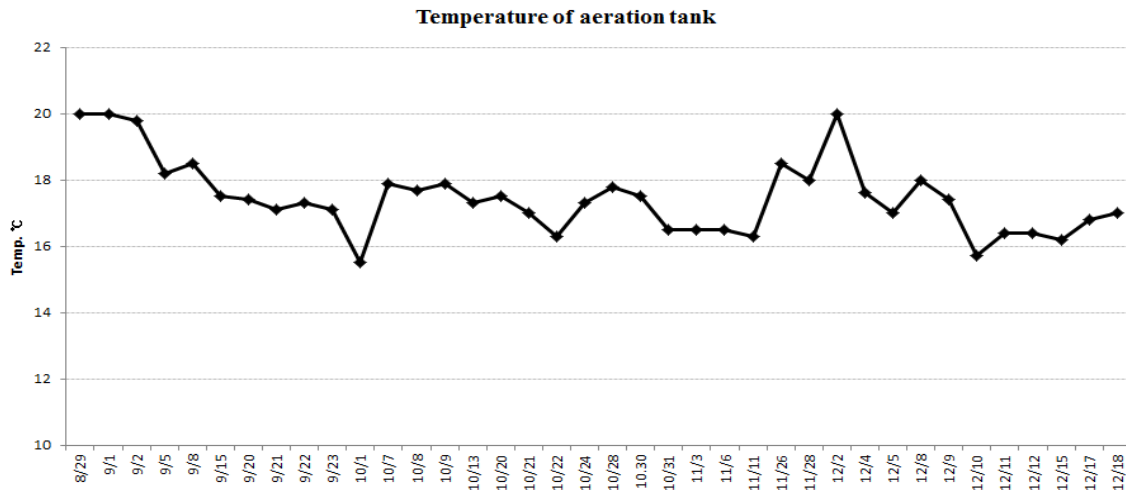


Fig. 3. Operation temperature of aeration tank.

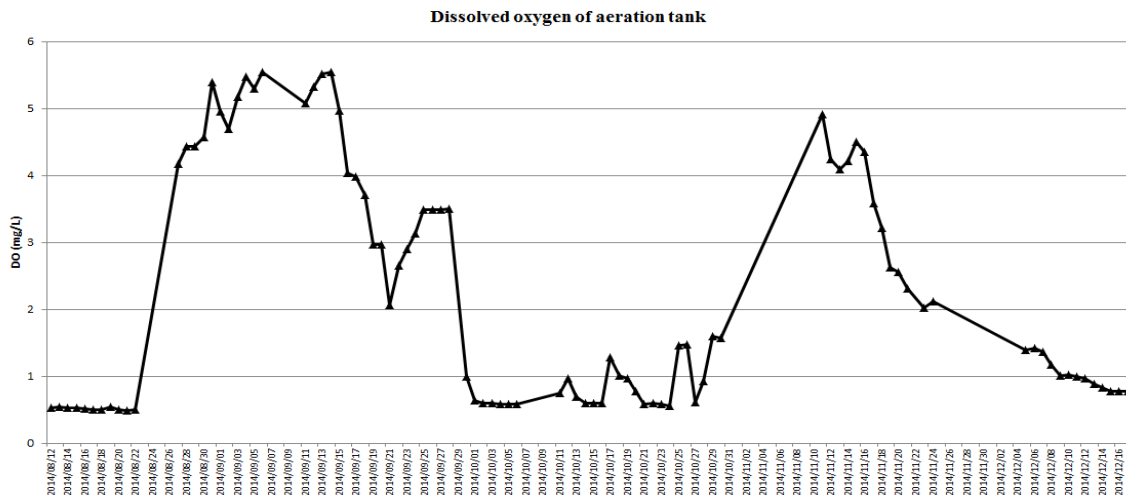


Fig. 4. Concentration of dissolved oxygen.



### 3.1.3 용존산소

폭기조의 폭기량은 용존산소의 농도에 영향을 미치므로, 용존산소의 농도를 3.0 mg/L를 기준으로 하여 폭기의 유무를 결정하고, 이를 통해 질산화가 잘 일어나는지를 모니터링 하였다. 폭기조는 Fig. 4와 같이 운

전초기에는 미생물의 활성화를 위해 과폭기로 운전하였고, 이후에는 침전조의 과다 폭기로 인한 미세 플록 형성 방지를 위하여 2.0~3.0 mg/L의 용존산소로 운전하였다. 혐기조는 혐기성상태에서 미생물의 인의 방출을 도모하기 위하여 용존산소를 0.5 mg/L이하로 운

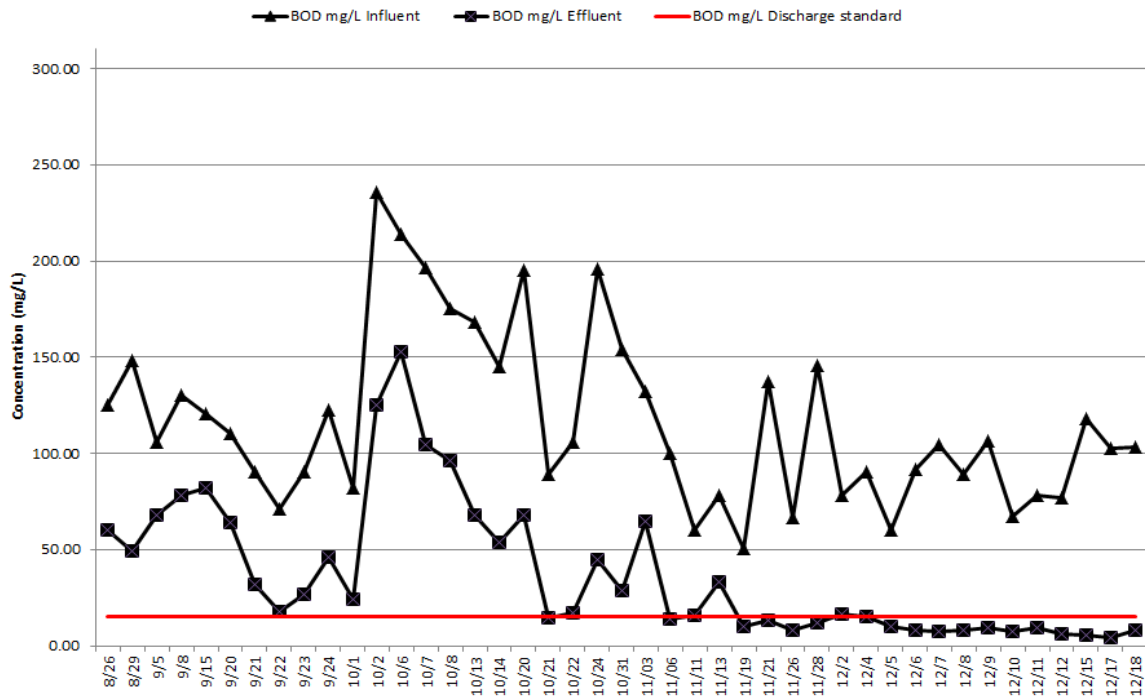


Fig. 5. Concentration of BOD.

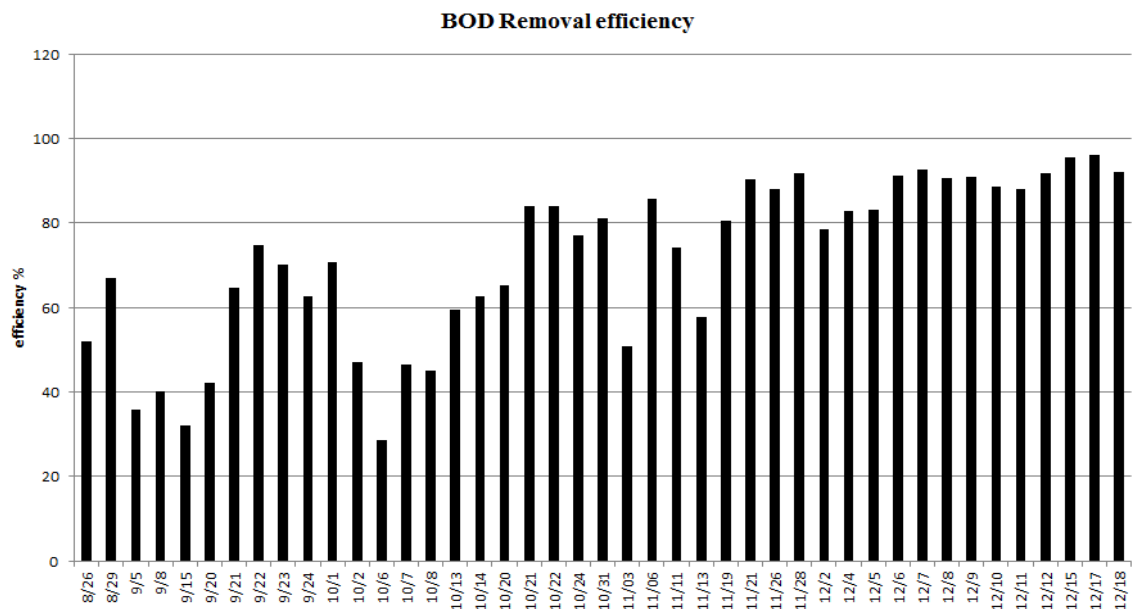


Fig. 6. Removal efficiency of BOD.

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

전하였고 무산소조 역시 무산소 상태에서의 탈질반응을 이끌어 내기위하여 용존산소를 0.5 mg/L이하로 운전하였다.

폭기조의 용존산소량은 설정 값을 기준으로 하여 공기주입장치가 자동으로 공기주입량을 조절하며, 유입수의 오염도에 따라 상황에 맞도록 설정하여 운영하였다. 다만 10월에는 용존산소 측정 센서의 감지불량으로 모니터링 데이터는 1.0 mg/L 정도의 낮은 용

존산소 값을 나타내고 있으나 실제 현장측정에서는 3.0 mg/L을 유지하였다.

### 3.2 운전결과

#### 3.2.1 생물학적산소요구량(BOD)

원수 및 처리수의 생물학적 산소요구량 (BOD, Biochemical Oxygen Demand)의 분석을 통해 본 시스템

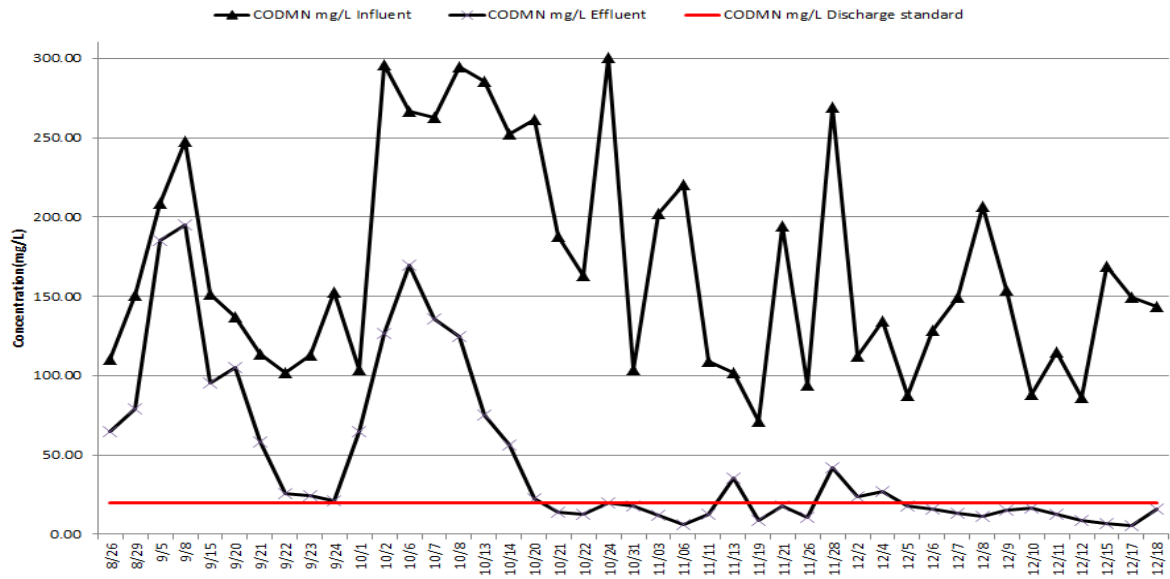


Fig. 7. Concentration of COD.

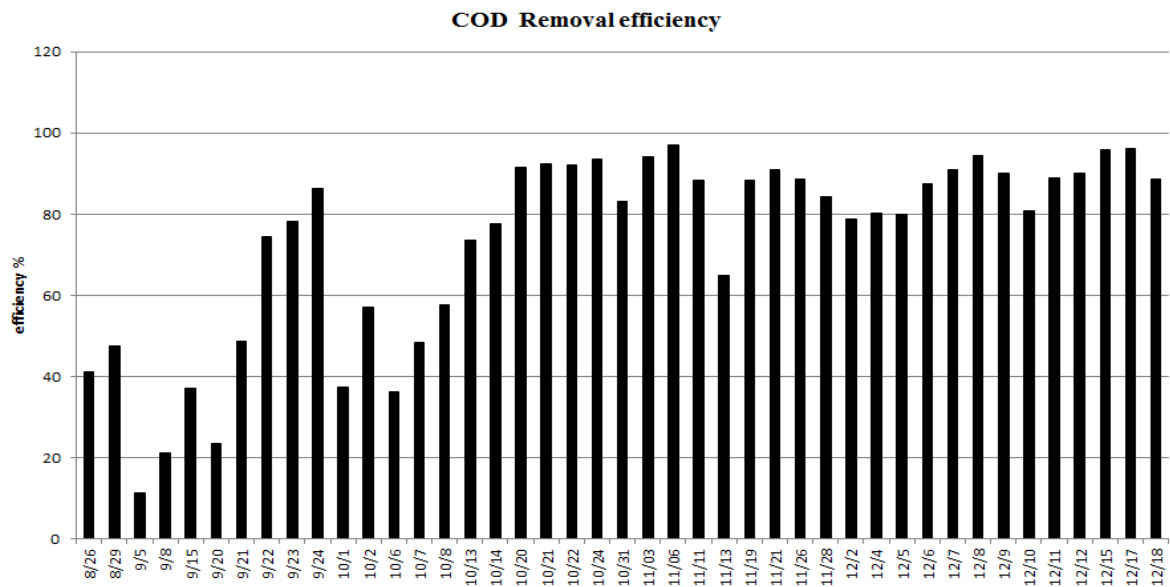


Fig. 8. Removal efficiency of COD.



의 생물학적 유기물 제거효율을 확인하였다. Fig. 5과 같이 유입 원수의 평균 BOD 농도는 119.0 mg/L이며 71.0~214.0 mg/L의 농도범위로 유입되었다. 처리수의 BOD 농도는 생물 반응조의 안정화까지는 처리효율이 만족할 만한 수준에 미치지 못하였으나, 시스템 안정화 이후에는 처리수의 평균 BOD 농도가 11.6 mg/L이었으며 평균 BOD제거율은 Fig. 6과 같

이약 88%의 제거효율을 나타냈다.

### 3.2.2 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand)은 Fig. 7과 같이 테스트베드 운전 기간 동안 유입수의 COD농도는 평균 168.0 mg/L로 나타났으며, 71.0~300.0 mg/L의 농도분포를 보였다. 시스템 안정화 이후 최종 방류수의 COD농도는 평균 15.9 mg/L로서 COD제거효율은 Fig. 8와

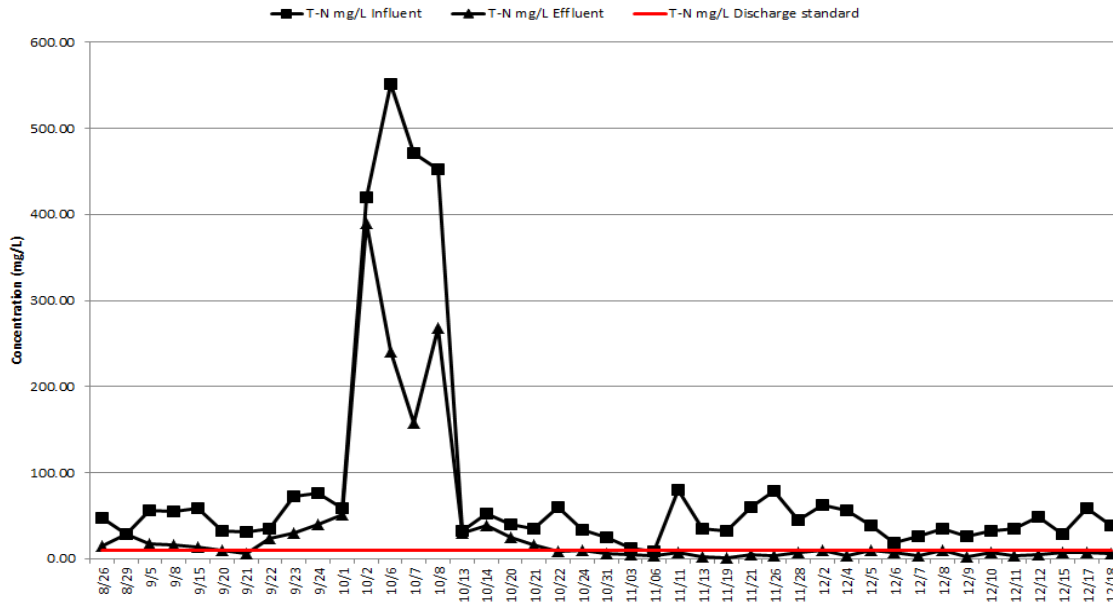


Fig. 9. Concentration of TN.

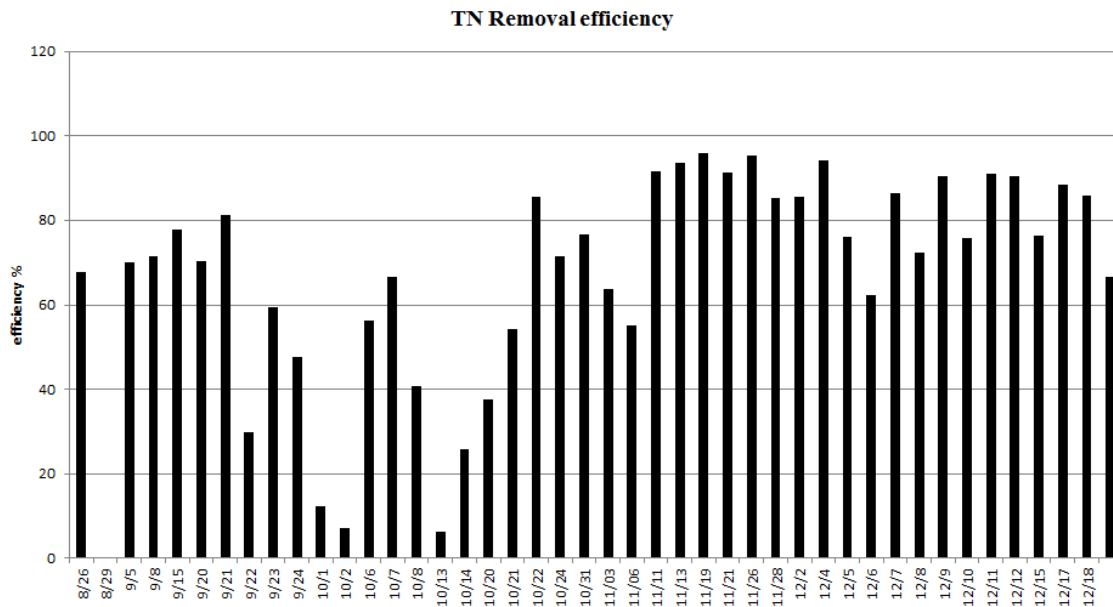


Fig. 10. Removal efficiency of TN.

- pp. 373-381
- pp. 383-388
- pp. 389-395
- pp. 397-407
- pp. 409-414
- pp. 415-419
- pp. 421-430
- pp. 431-440
- pp. 441-445
- pp. 447-457
- pp. 459-469

같이 평균 약 88%, 최대 97%의 제거효율을 보이는 것을 확인하였다. 운전기간중 유입 COD가 간헐적으로 높게 증가하는 경우가 발생하였으며 이는 몽골 Ulaanbaatar시 Dampadarjaa 하수처리장의 하수 유입구 상부에 무단 투기된 쓰레기의 침출수 등이 원인인 것으로 판단된다. 주변 주민들에게 쓰레기 무단투기금지 조치를 하여 유입되는

하수 이외에 쓰레기 침출수의 유입을 억제시켜 유입수 COD의 급격한 농도상승에 대한 부분을 조치하였다.

### 3.2.3 총 질소(TN)

하수처리 패키지 시스템의 질소처리 성능 평가를 위해 총 질소(TN, Total Nitrogen)의 제거효율을 확인하였다. 운

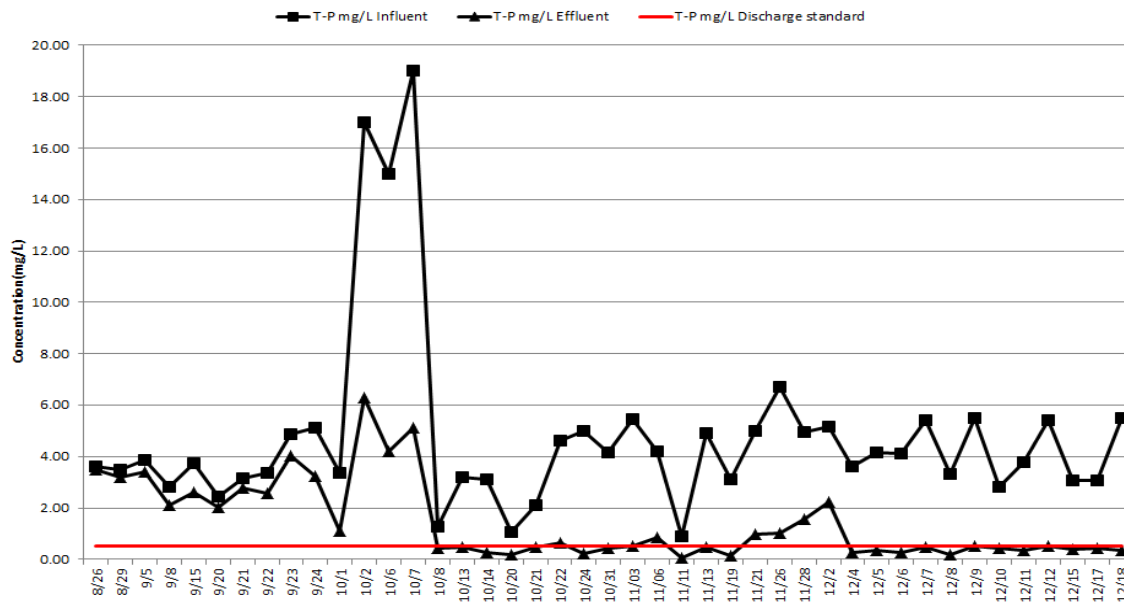


Fig. 11. Concentration of TP.

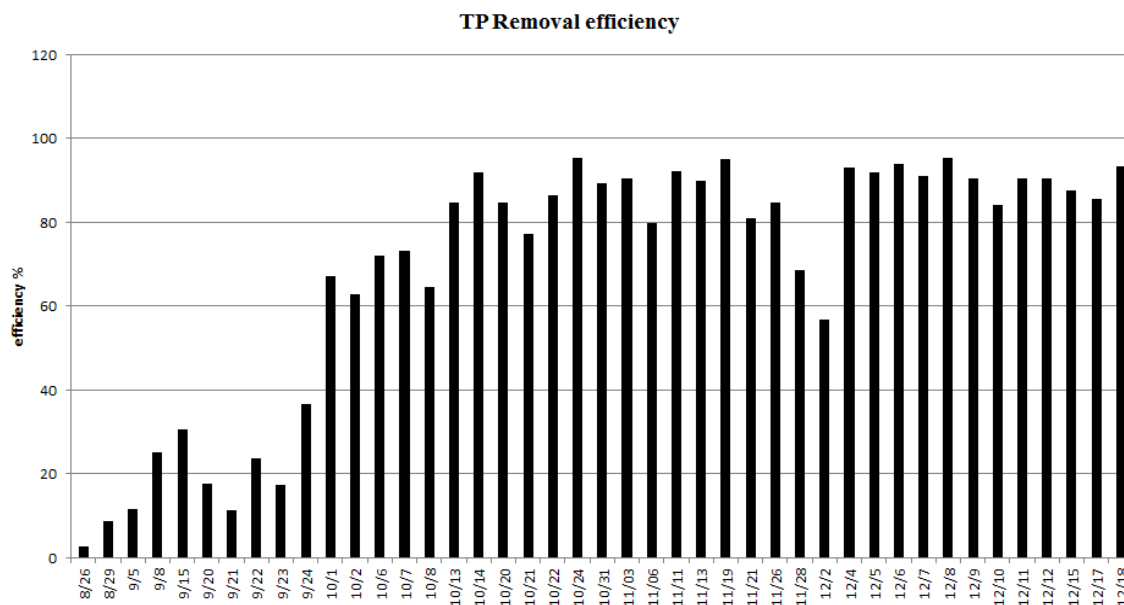


Fig. 12. Removal efficiency of TP.





전기간 동안 유입수의 TN평균 농도는 Fig. 9과 같이 49.6 mg/L로 나타났다. 하수 특성상 대부분이 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)로 존재하기 때문에, 폭기조에서 질산화되고 무산소조로 반응되어 탈질과정을 거쳐 N<sub>2</sub> 가스로 배출되어 전체 TN농도가 낮아진 것으로 판단된다. 최종 처리수의 TN농도는 평균 5.6 mg/L로 총질소의 평균 처리 효율은 Fig. 10과 같이 안정화 이후 82.5%(최대 85.0%)로 나타났다.

### 3.2.4 총 인(TP)

소규모 하수처리 패키지 시스템의 유입수내 TP(Total Phosphorus)농도는 Fig. 11와 같이 평균 3.5 mg/L로 나타났으며, PO<sub>4</sub>-P 농도는 평균 3.3 mg/L로 분석되어 유입하수내 TP의 80% 이상이 PO<sub>4</sub>-P로 존재하는 것으로 분석되었다. 당초 처리공정 전단인 혐기조에서 미생물의 체류시간을 가능한 짧게 유지하여 미생물 체내의 인을 방출하는 기작을 하도록 하고, 방출된 인은 폭기조에서 미생물이 인의 과잉 섭취하게 함으로써 마지막 침전조에서 잉여슬러지 인발을 통하여 인이 제거되는 형태로 운전을 계획하였다. 그러나 몽골의 하수 특성상 충분한 인 제거 효율을 확보하기 어려워 약품투입에 의한 인 제거를 실시하였다. 응집제는 철염을 사용하였으며 폭기조에서 침전조로 유입되는 유입부에 5.0~9.0 mg/L의 철염을 투입함으로써 안정적인 인 제거 효율을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 처리수의 평균 TP농도는 0.45 mg/L로 TP의 평균 처리효율 Fig. 12와 같이 88.0% (최대 95.0%)로 나타났다.

## 4. 결 론

본 연구를 통해서 몽골 현지에서 A<sup>2</sup>/O공법을 이용한 소규모 하수처리 시스템을 약 4개월간(8월~12월) 적용한 결과 다음과 같은 오염물질 제거특성을 알수 있었다.

1) 시스템의 안정화 이후 평균 BOD 제거율은 약 88%이었으며 처리수의 BOD 농도는 약 11.6 mg/L 이었고, COD는 평균 약 88%, 최대 97%의 제거율을 나타내었다. 이 때 처리수의 COD농도는 평균 약 15.9 mg/L 이었다.

2) TN의 제거율은 안정화 이후 평균 약 82.5%이었으며, TP는 평균 약 88%의 제거효율을 나타내었다. 이 때의 TN의 방류수 농도는 평균 약 5.6 mg/L, TP의

방류수 농도는 평균 약 0.45 mg/L를 나타내었다.

3) 몽골 현지 하수처리장 용량이 90 m<sup>3</sup>/일 임을 고려할 때 우리나라 하수처리장 방류수 수질기준 대비 COD, TN, TP는 기준치를 만족하였으나, BOD는 기준치보다 약간 높았다

## References

Choi, S. M. (2014). A Feasibility Study on Advanced Package System for Small Sewage Treatment, pp. 1-8

Kim, G. I. (2009). The Improvement Plans for the Efficient Management of Small-scale Sewage Treatment Facilities in Farming and Fishing Village, pp.1-5.

Korea Energy Economics Institute (KEEI). (2009) A Study of Korea-Mongolia Activation of Energy Cooperation, Korea Energy Economics Institute Policy Research 2009(12), pp. 63-64

Korea Environment Corporation (KEC). (2009) Sewer Maintenance Basic Plan;Public Sewage Treatment Facility Technical Examination, pp.51-74

Korea International Cooperation Agency (KOICA). (2011) Supply of water to Ulaanbaatar City Yalom region in Mongolia Report on the results of the end of water efficiency project, pp.2-5

Korea Trade Investment Promotion Agency (Kotra). (2008) Mongolia and Turkmenistan Environmental Industry Market Research, pp.22-25

Korea Water and Wastewater Association (KWWA). (2011) Sewerage Facility Standard, pp.377-379

Lee, J.H., Song, Y.S., Kim, K.M., Rhu, G.G., Lim, J.H. (2011) A Study On The Efficiency And Maintenance Practices Of Public Small-scale Sewage Treatment Facilities, pp. 7-8

Lee, M. H. (2001). Biological water treatment technology, Environmental Management Research Institute, pp. 65-66

Metcalf., Eddy. (1993). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, McGraw-Hill Higer Education.

Ministry Of Environment (MOE). (2008). Assessment of Public Water Organics and Management Policy Direction Studies, pp.1-15

Ministry Of Environment (MOE). (2013). 2012 Economic Development Experience Modularization Project: Small-scale Sewage System, pp.12-16

Ministry Of Environment (MOE). (2015). Development of

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

- Auto-Controlled Tertiary Wastewater Treatment System using ICT Fusion Technigue, pp.3-5
- Ministry Of Environment (MOE). (2016). 2016 White Of Environment, pp.244-252
- Park, J.H., M, M.J., Lee, H.J., Kim, K.S. (2014). A study on the Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis on the Sumjin River Basin, Journal of the korean Environmental Sciences Society, 30(2), pp.119-120
- Rim, C. S. (1999). Multivariate Analysis of Water Quality Data at 14 Stations in the Geum-River Watershed, Journal of the korean Environmental Sciences Society, 8(3), pp.331-336
- Shim, U. S. (2015). The Cooperation Between Korea and Mongol Over The water Issues, Korea Association of Glbal Culture 6(1), pp.73-97
- The Export-Import Bank of Korea. (2010). Status of Mongolia State and Plan for Advancement, pp.70-72