

식생섬에 의한 중수처리 효과 검증과 적용에 관한 연구

권동민¹⁾ · 권순효¹⁾ · 구본학²⁾

¹⁾ 상명대학교 대학원 · ²⁾ 상명대학교

A Study on Application and Verification of Heavy Water Treatment Effects Using Plant Cultivation (Vegetation) on Floating Island

Kwon, Dong Min¹⁾ · Kwon, Soon Hyo¹⁾ and Koo, Bon Hak²⁾

¹⁾ Graduate School of Sang Myung University, ²⁾ Sang Myung University.

ABSTRACT

This study was conducted with the aim of doing experiment on the effect of water purification by using an artificially built plant island, which is one of the eco-techniques, and aquatic plants as a plan for the reuse of water for obtaining water resources, thereby analyzing the removed quantity, and applying the experimental results to the reuse of water. As a result of doing experiments, this study obtained a good measured value of BOD (biochemical oxygen demand) 4.7mg/L, and COD (chemical oxygen demand) 7.2mg/L below the heavy water standard of BOD 10mg/L and COD 20mg/L, respectively. The chromaticity showed 89.2% removal efficiency, but final treated wastewater was found to show chromaticity 58 degrees exceeding chromaticity 20 degrees which are the water quality standard of the reuse of water. The results revealed that T-N produced 27% removal efficiency on an average while T-P produced 38% removal efficiency on an average, showing that the removal effect of N & P wasn't big. According to the currently enforced 「Water Quality Standard of Heavy Water by Use」, the use of water for sprinkling and landscaping was found to be available.

Accordingly, this study suggested a nature-friendly, economically-efficient, and eco-technological water treatment technique which will make it possible to overcome the limit of the existing physio-chemical water treatment technology, reduce the costs for maintenance and facilities, and also

First author : Kwon, Dong Min, Graduate School of Sang Myung University,

Tel : +82-10-9556-3289, E-mail : derealmadrid@naver.com

Corresponding author : Koo, Bon Hak, Sang Myung University,

Tel : +82-10-3412-1471, E-mail : ecoculture@smu.ac.kr

Received : 13 September, 2012. **Revised** : 4 December, 2012. **Accepted** : 17 December, 2012.

reduce the limit of space restraint for installation of facilities.

Key Words : *Water treatment, water quality, eco-friendly, artificial wetland, floating island.*

I. 서 론

우리나라는 1960년대 이후 급속한 산업화와 도시화에 따른 공업용수 및 생활용수의 수요가 급격히 늘어나게 되면서 생활하수, 축산폐수, 공업폐수 등 무절제한 방류로 인한 수질오염을 가속화시켰으며, 용수의 수요 및 공급의 불균형을 초래하였다. 현재 수자원 문제를 해결하는 것은 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 중요한 과제로 나타나고 있다. 이에 우리나라는 용수수요로 인한 물 부족 문제를 해결하고 하천으로 유입되는 오염물질의 양을 감소시키며, 수자원보호에 기여할 수 있는 방안으로 물 재이용 시스템이 도입되었다. 물 재이용은 빗물, 오수(汚水), 하수처리수 및 폐수처리수를 물 재이용시설을 이용하여 처리하고, 그 처리된 물을 생활, 공업, 농업, 조경, 하천 유지 등의 용도로 이용하는 것을 말한다. 최근 물 재이용과 관련된 연구사례는 다양하게 제시되고 있으나 유지관리비가 고가인 물리, 화학적 공법이 대부분이다. 그 중 부지가 부족한 건물 내에 적합한 방법으로 막분리를 이용함으로써 부지를 줄일 수 있고 생물학적 처리를 하기 때문에 안정적인 수질을 얻을 수 있는 MBR(membrane bioreactor)¹⁾ 공법이 가장 최적의 방법으로 개발되고 있다. 그러나 MBR 공정은 생물막 여과 공정으로 처리효율이 높고 패키지가 가능하며 최적기술로 평가되고 있지만 제조사마다 차이가 있고 유지관리 측면에서 연구개발이 필요한 실정이다(Jang, 2009). 이에 공학의 힘을 빌려 자연생태계에 대한 정화효과를 높이고 환경을 회복하는

방법으로 생태공학(Ecoengineering) 기술의 도입되었다. 생물을 이용하여 수질을 개선하는 기술은 생물의 관점에서 본다면 이들 생물의 최적 성장조건을 조절하고 관리함으로써 오염물질을 제거할 수 있으므로, 공학적 기술에 비해 경제적이고 장기적이며 친환경적 효과를 기대할 수 있다. 생물을 이용하는 수질개선 분야에서 부레옥잠, 갈대, 생이가래, 줄, 꽃창포, 부들, 미나리 등과 같은 다양한 수생관속식물들이 외국에서 뿐만 아니라 최근 국내에서도 다양하게 연구되어 왔으며(Kong etc 1996; Kim etc 1997; Ahn · Kong 1995), 처리 환경과 식물의 종류에 따라 어느 정도의 수질개선 능력이 있음이 보고되었다.

국내에서 진행된 수생식물을 이용한 수처리 연구는 80년대 중반부터 활발히 연구되었으며 부레옥잠이나 물옥잠 등 부엽식물을 이용하여 주로 도시하수, 공단폐수, 축산폐수를 처리하기 위한 공법으로 개발되었다(Kim etc, 1997). 김용규 등(2001)은 인공섬에 식생을 도입하기 위한 기초 연구로 천연섬과 코이어매트의 사용으로 경제적 효과와 식물생육의 우수함을 나타냈으며, 식생섬에서 생육된 수생식물과 수변에서 생육된 수생식물의 줄기부 성장량을 비교했을 때, 식생섬에서 생육된 식물의 줄기부가 보다 성장량이 우수한 것으로 나타났다. 권오병(2007)의 연구에 의하면 인공식물섬(floating islands) 설치 후 모니터링 한 결과, BOD 7.6~61.5%, T-N 27.3~68.6%, T-P 12.9~73.3%의 제거율을 나타내었고 Chl.-a는 15.4~66.6%의 제거율을 나타내었다. 양홍모(2006)는 농업용 저수지 등에서 오염물질의 농도 변화를 분석하여 식생섬의 오염원 제거에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구는 식생섬의 수처리 능력을 통해 최적의 오염물질 제거효과를 살펴보기 위해, 기존의

1) MBR(Membrane BioReactor) : 분리막 생물반응조 공법으로 여러 개의 Membrane막에 미생물이 부착되어 유기물을 제거하고 용존부유물질을 제거함에 있어 뛰어난 기능을 가진 반응기.

물리·화학적 수처리 방법인 MBR 공법에 자연친화적 생태공법인 인공식생섬을 도입하였다. 따라서 기존의 오염물질을 제거하기 위한 방법인 활성탄, RO(Reverse osmosis, 역삼투막), 염소소독, 오존소독, MBR 등의 기술 한계를 극복하고자 설비비용이 저렴하고 설치에 대한 공간제약의 한계를 줄이며 유지비용의 절감을 위한 자연친화적이면서 경제성 있는 생태공학적인 수처리 기술을 제안하고 식생섬과 같은 자연친화적인 기술이 중수처리에 적용될 수 있는지 연구하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

식생섬 구조체는 1.5m * 4.5m * 0.5m 규격의 실험수조에 코코넛하이버로 제작된 미디어(1.5m * 4.5m * 0.1m)와 부력체, 네트론을 결합하여 사용되었다. 이는 식물이 수면위에 떠서 생육하도록 지지해주고 오염물질을 분해하는 미생물들의 부착률이 우수하여 제거효과가 높은 특징을 가진다. 본 실험에 사용한 수생식물 종은 권오병(2007), 박병훈(2000)의 연구를 바탕으로 오염물질 제거율이 가장 우수한 달뿌리풀, 뿌리접촉여재 역할이 우수한 노랑꽃창포, 영양염류와 유기물질 제거효율이 뛰어난 갈대로 선정하였다.

2. 실험 방법

본 실험은 2008년 10월부터 2009년 9까지 경기도 용인시 동백지구 내에서 진행되었으며 장치 구성은 정화조-유량조정조-MBR-저류조-폭기조(2시간)-침강조(2시간)-지하흐름습지(4시간)순의 처리공정(체류시간)으로 구성하였다(Figure 1, Figure 2).

3. 측정 및 분석방법

본 실험은 각 반응조별로 BOD, COD, 잔류염소, T-N, T-P, 색도 총 6가지 항목을 Standard Method 및 수질오염공정시험법에 준하여 오염물

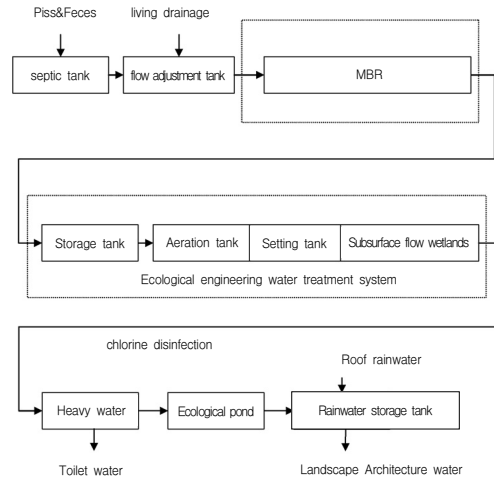


Figure 1. Experimental process.

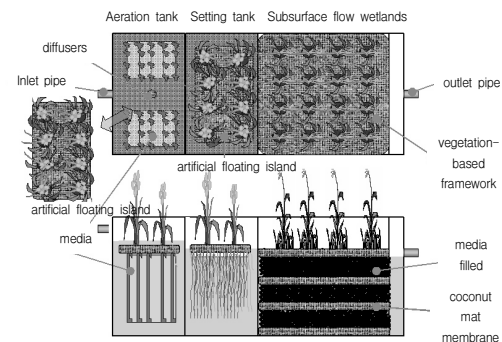


Figure 2. Experimental device configuration. (Aeration tank-Setting tank-Subsurface flow wetlands)

질의 농도와 제거효과를 분석하였다(Table 1).

III. 결과 및 고찰

1. 반응조별 BOD 측정

Test초기부터 6월 25일까지 약 8개월간 최종 처리수의 BOD 농도는 대부분 물 재이용할 수 없는 수치인 10ppm 이상의 농도를 나타냈으나, 이후 7월 2일부터는 10ppm이하의 BOD농도를 보이며 물재이용 가능한 수치를 나타냈다(Figure 3).

Test초기 수생식물의 뿌리성장기간이 오래 걸리고 오수발생량이 적은 관계로 적정처리유량이 확보되지 않았으며 BOD농도는 약 30~250ppm

Table 1. Experimental measurement methods.

Division	Method of measurement	model
DO/BOD	DO meter	YSI(model 58)
COD	Potassium permanganate	-
T-N	Absorption spectrophotometry	optizen 3220UV
T-P	Ascorvic acid reduction method	optizen 3220UV
Residual chlorine	Iodometric titration	-
Chromaticity	Seoul Health & Environment Research Institute	-

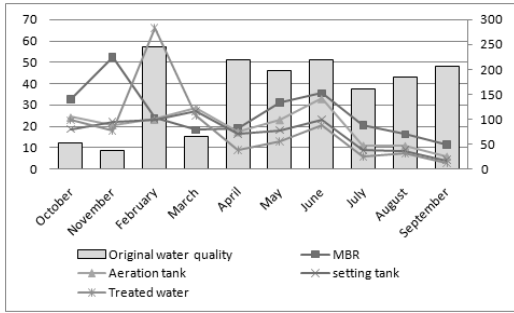


Figure 3. BOD measurement results by date.

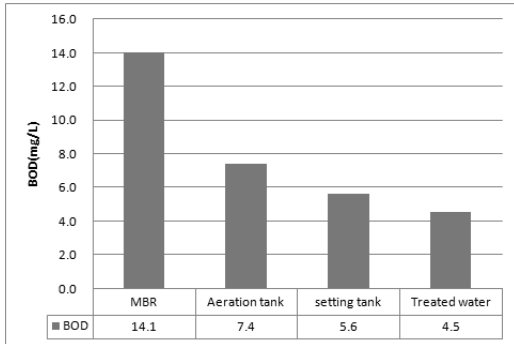


Figure 4. BOD removal efficiency by reactor.

까지 변동폭이 크고 대부분 낮은 농도로 유입되었다.

또한 7월 21일에 브로와를 교체하였고 송풍량을 8L/min에서 40L/min으로 증가시킨 결과, 폭기조 내부에서 DO농도가 기존 0~1ppm에서 6~7ppm까지 증가하였으며, 최종처리효율도 양호해졌다. 이는 미디어에 미생물이 다량 부착되었으며 식물섬 및 지하흐름습지에도 미생물이 활성화되어 제거효율이 현격히 증가하였다. 즉, 폭기조

에서 지속적인 호기성 미생물의 화학적 반응에 필요한 산소를 공급하고 강제교반에 의해 용존산소량(DO)농도가 증가하여 반응조의 농도가 균등화된 것으로 보인다.

따라서 지속적으로 이상의 조건을 유지시킨다면 미생물의 최적 서식조건이 조성되어 양호한 제거효율을 나타낼 것으로 판단된다.

실험이 안정화된 7월에서 9월까지의 결과, 반응조별 BOD 제거효율은 MBR공정에서 가장 효율이 높았으나, BOD농도가 물 재이용 가능한 수질기준인 10ppm이하로 보인 것은 7.4ppm으로 폭기조에서 낮아졌음을 알 수 있다(Figure 4).

2. 반응조별 COD 측정

Test초기 MBR처리수의 농도는 약 20~40ppm으로 변동폭이 크게 유입되었으며 불안정한 처리효율을 나타냈다. 시간이 경과될수록 처리효율은 안정화되었고 7월에서 9월까지의 측정결과, 물

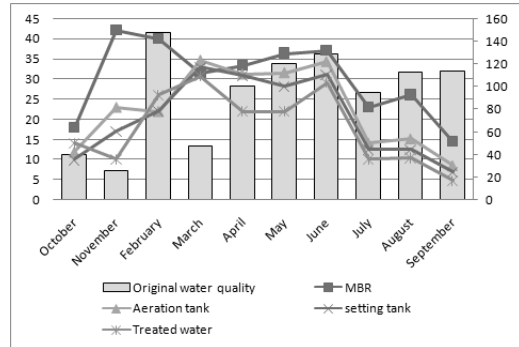


Figure 5. COD measurement results by date.

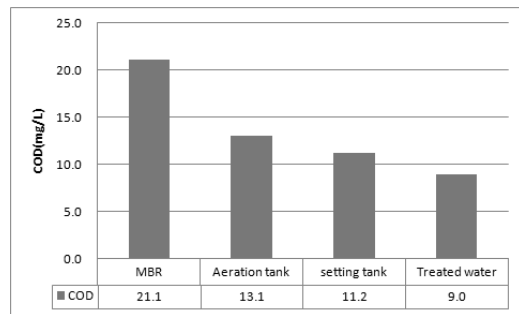


Figure 6. COD removal efficiency by reactor.

재이용 가능한 수치인 20ppm이하의 수치 10ppm의 양호한 처리효과를 나타냈다(Figure 5, Figure 6).

COD도 BOD와 마찬가지로 7월 21일 브로와를 교체함으로 송풍량을 증가시켰고 그 결과, 폭기조 내부의 DO농도가 증가하여 최종 처리효율도 양호하게 나타난 것으로 판단된다.

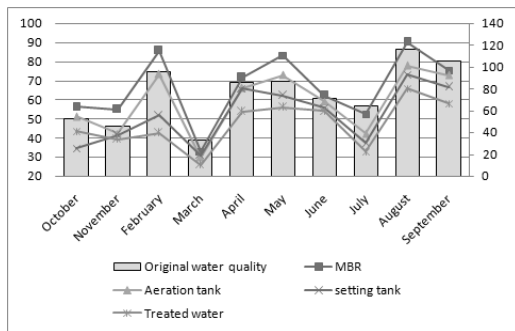


Figure 7. T-N measurement results by date.

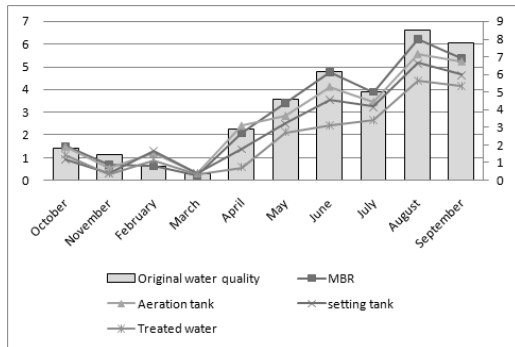


Figure 8. T-P measurement results by date.

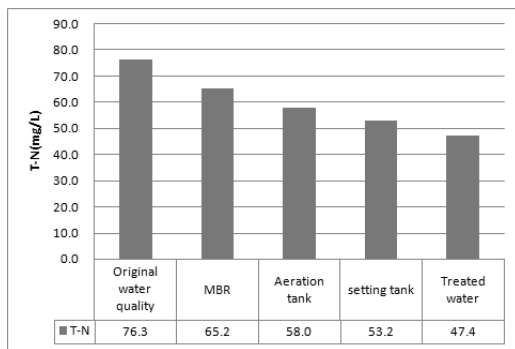


Figure 9. T-N removal efficiency by reactor.

3. 반응조별 T-N, T-P 측정

정화식물의 에너지원이 되는 영양염류 속 N, P의 흡수 및 제거에 관한 효율을 보고자 각 반응조별 총인과 총질소의 제거율을 측정하였다(Figure 7, Figure 8). 측정 결과, T-N은 평균 27%로, T-P는 평균 38%로 원수대비 MBR처리 공정에서 N, P의 제거효과가 크지 않음을 알 수 있었다(Figure 9, Figure 10). T-N, T-P가 제거되기 위해서는 탈질미생물에 의한 반응과 충분한 체류시간이 주어져야하나 실험기간 중 안정적이지 못한 운전관리 및 유입유량의 변동이 큰 원인인 것으로 판단된다.

4. 반응조별 잔류염소 측정

염소소독조의 고체염소(원형 지름 10cm, 두께 3cm, 질량 15g-90%)는 2009년 2월부터 9월까지 15개가 소모되었으며 지속적으로 주입되지 못하였다. 본 실험에서 잔류염소를 주입해야했던 이유는 녹조가 번식하기 시작하면서 녹조 제어 및 염

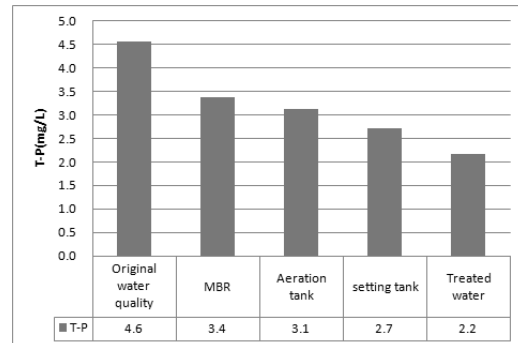


Figure 10. T-P removal efficiency by reactor.

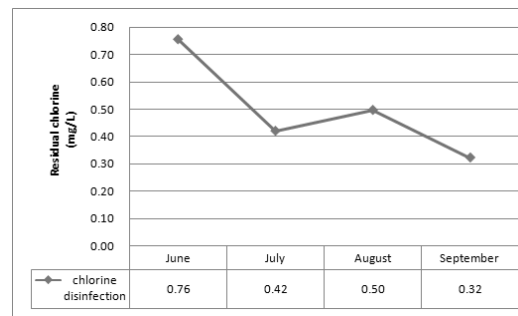


Figure 11. Residual chlorine removal efficiency by date.



Figure 12. Chromaticity change by reactor.
(Original water quality-MBR-Aeration tank-Setting tank-Treated water-Electrolysis treated water)

Table 2. Chromaticity removal efficiency by reactor.

Division	Flow control tank	MBR treated water	Final treated water
Chromaticity	537	121	58
Removal rates	-	77.5%	89.2%

* Chromaticity 1 degree = Platinum 1ppm solution.

소가 가진 표백효과에 의한 색도 향상, 소독처리를 위해서이다. 녹조발생 억제 후 잔류염소의 농도 측정 결과, 염소소독조의 잔류염소 농도는 평균 0.5ppm으로 양호한 수준을 보였다(Figure 11).

5. 반응조별 색도 측정

오수에 함유되어있는 색도를 생물학적으로 처리한 제거효율은 실험이 안정화되면서 색도처리 효과가 육안으로 확인되었다. 이를 검증하기 위해 서울시보건환경연구원에 색도분석을 의뢰한 결과, 원수대비 최종처리수에서 89.2%가 제거된 것으로 나타났다(Figure 12, Table 2). 색도제거효과를 높이기 위해 별도의 물리화학적 처리법을 적용하였으며 1단계 대안으로 염소소독조를 설치하고 고체염소를 주입한 결과, 양호한 색도 제거효과를 나타냈으나, 고체염소의 소모량이 많고 체류시간이 길어야한다는 단점을 보였다. 2단계 대안으로 활성탄 흡착조를 설치하였으나, 조류(Algae)가 과다 번식하여 단 시간 내에 폐색되는 현상을 보였다. 3단계 대안으로 전기분해장치를 적용하였고 이는 상당한 색도 제거효과를 나타내었으나, 운영관리 및 경제적 문제점을 가지고 있

는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구 결과, 초기 반응조 이전 전·후와 녹조 대량발생 시기 이후에 각 반응조의 유기물 농도가 높아짐에 따라 실험 중반부터 전체적인 반응이 안정화되었고 후반부로 갈수록 최종처리수가 점차 안정적인 수치를 나타냈다. 또한 최종 2달간 처리수의 BOD, COD 평균 수치는 BOD 4.7mg/L, COD 7.2mg/L로 측정되었으며, 물 재이용에 관한 처리수 농도 규제 모델인 중수도 수질기준 BOD 10mg/L이하, COD 20mg/L 이하의 양호한 수준을 나타냈다.

T-N, T-P의 경우, 체류시간의 한계에 의해 제거효율은 미미했지만 물을 재이용함에 있어 문제되지 않았다. 색도는 89.2%로의 제거효율을 보였으나 최종처리수는 물 재이용 수질기준인 20도 이상인 58도로 측정되었다.

현재 「중수도의 용도별 수질기준」에 의하면 수세식 화장실용수, 살수용수, 조경용수, 세차·청소용수로 구분된다. 제한하는 수질기준의 경우 BOD 10mg/L, COD 20mg/L, 색도는 20도를 넘지 않을 것, 잔류염소의 잔존, 외관상 이용자가 불쾌하지 아니할 것, 불쾌한 냄새가 나지 않을 것, 탁도는 2NTU를 넘지 아니할 것, pH의 경우 5.8~8.5이다. 이중 특정적으로 조경용수는 잔류염소에 대한 제한을 두고 있지 않으며, 살수용수와 조경용수는 색도에 대한 제한을 두지 않고 있다.

따라서 본 실험을 통해 유출되는 최종처리수는 살수용수와 조경용수로서 사용이 가능하다. 비록 오염원수의 농도가 매우 높을 경우, 생태공학적 수처리 기술만으로 체류시간을 대폭 확대하거나 본 실험과 같이 전처리를 위한 다른 처리공정이 병합되어 사용되어야 한다.

본 실험에서 유일하게 유지관리에 필요한 것은 식재된 식물이다. 식물은 뿌리를 통해 영양염류인 질소와 인 등을 흡수하여 성장하면서 줄기에 저장

되어진다. 식물별로 각각 다르지만 일정한 길이가 되면 하단을 베어내 다시 식물이 자랄 수 있는 여건을 마련해주어야 한다. 그리고 다년생 이긴 하지만 3~4년에 한번씩 식물을 보식해 주어야 한다.

기존 기계식 수질 처리 기술들은 설치비용과 부지면적, 유지관리비용이 생태공학적 수처리 공정보다 매우 높다. 특히, 본 실험에서 사용된 MBR공정의 경우, 기술적인 우수함으로 유럽 및 미국 등에서 최근 비점오염제거 및 중수도 설비에 많이 설치되고 있지만(Lee, 2009) 주요 소재인 Membrane막은 고가의 자재이기 때문에 설치비용과 유지관리에 있어 여타 물리·화학적 공법에 비해 많은 비용을 소모하게 된다. 현재 기술은 생태공학적 수처리 공정을 병합하여 사용하지만 추후 질소와 인 제거 및 적정 체류시간 설정 등과 같은 문제점에 관하여 보완한다면 생태공학적 수처리 공정도 단일공법으로 물 재이용에 활용할 수 있을 것이라고 판단된다. 또한 인공식물섬을 기반으로 활용하는 방법뿐만 아니라 다른 생태적·친환경적 소재나 기술을 도입하여 설치 및 유지관리에 있어서 경제적 효율이 높은 기술을 지속적으로 연구해야할 필요가 있다고 판단된다.

인 용 문 헌

- Kwon. 2007. Study on the Improvement of Aquatic Ecosystem by Vegetated Artificial Floating Island. Kangwon University Ph.D. dissertation. (in Korean with English summary)
- Kim, Koo, Ahn. 2001. A Study on the Growth Characteristics of Riparian Plants on the Artificial Floating Islands. The Korea Society of Environmental Restoration Technology. 4(4) : 25-35. (in Korean with English summary)
- Park. 2000. Analyse of water purification techniques and their applicability in lakes and reservoirs using a water quality model. Seoul University Ph.D. dissertation. (in Korean with English summary)
- Ahn, Kong. 1995. study on the removal strategy of water pollutant using salvinia natans. The Korean Society of Environmental Engineers. 17(6) : 593-603. (in Korean with English summary)
- Yang. 2006. Changes in Pollutant Concentrations by Artificial Floating Island Installed in Reservoir for Irrigation. The Korea Society of Environmental Restoration Technology. 9(2) : 23-32. (in Korean with English summary)
- Jang. 2009. The Development of External Negative Pressure Membrane Bioreactor (ENP MBR) for domestic wastewater reuse. Korea University Master's thesis. (in Korean with English summary)
- Kim, Jung, Na, Lee. 1997. Isolation and Immobilization of Sulfate Reducing Bacteria from Anaerobic Sludge. The Korean Society of Environmental Engineers. 19(1) : 61-72. (in Korean with English summary)
- Jo. 2010. water-energy technology development; The Development of Technology for use natural energy Eco-engineering water treatment system. Samsung C&T Corporation final report. Co., Ltd. Assum. (in Korean)
- Kong, Cheon, Yoo. 1996. Lake Water Quality Amelioration and Reuse of Harvested Matters Using Aquatic Macrophytes and Benthic Algae. Konkuk University Institute for Environmental studies. (in Korean with English summary)
- Lee. 2009. Membrane Bioreactor Technology. The Konetic (Korea Environmental Information Center) report. (in Korean)