

## 호소 수질 개선을 위한 인공식물섬 장치 개발 연구

김태훈 · 안태웅 · 정재훈 · 최이송<sup>1</sup> · 오종민<sup>1,2,\*</sup>

(경희대학교 환경응용과학과, <sup>1</sup>경희대 환경연구센터, <sup>2</sup>경희대 환경학 및 환경공학과)

Research on Improvement of Lake Water Quality Using Artificial Floating Island. Kim, Tae-Hoon, Tae-Woong Ahn, Jae-Hoon Jung, I-Song Choi<sup>1</sup> and Jong-Min Oh<sup>1,2,\*</sup> (Environmental Application Science, Kyung Hee University; <sup>1</sup>Department of Environmental Science and Environmental Research Center; <sup>2</sup>Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University)

This is a research on development of water purification equipment called artificial floating island (=AFI) for the stagnant water area which can secure exuberant landscape and water-friendliness. The equipment devised in this study is designed to make up the weakness of conventional AFIs and improves the removal efficiency of pollutants using the mixture of media and plants. The air compressor positioned at the inlet releases air with inflow continuously, the water pump at the outlet sprays as a form of fountain with causing a disturbance on stable water column, then, both of them contribute improvement of water quality over a large area. We applied Bio-stone as a media in this system and performed an experiment of pre-efficiency test, and we concluded that the higher pollutants concentration of inflow, the higher removal efficiency we obtained. At the result of lab-scale experiment, in the case of high-concentration inflow, in the removal efficiency of SS is 62.2%, BOD is 50.2%, COD is 55.1%, T-N is 31.6%, T-P is 38.4%. In addition, to evaluate the field application, we set up the facilities in Sin-gal lake located in Yongin-Si Gyeonggi-Do, and researched on the removal efficiency of outflow relative to the inflow. As a result, SS is 53.5%, BOD is 32.8%, COD is 36.9%, T-N is 22.6%, T-P is 33.2%.

**Key words :** artificial floating island, fountain, media, purification equipment, removal efficiency

### 서 론

현재 우리나라에 조성된 정체성 수역인 저수지 및 댐은 대부분 수질 악화로 인한 문제가 발생되고 있으며, 이로 인하여 용수사용에 제한적인 요인으로 작용하고 있다. 특히 최근에는 인구의 증가와 더불어 여가공간의 확보 및 필요성이 대두 되면서 과거에는 용수의 저장고 역할만을 수행하였던 호소가 관광지로서 또는 생태공간으로서 활

용되고 있고, 이에 따라 경관성 및 친수성 확보가 필요하다. 수질 악화 문제는 이러한 수환경의 이용 요건에 커다란 장애요인으로 작용하고 있다(이, 1997; 최, 2007). 따라서 경관성과 친수성을 고려한 효율적인 수질관리가 필요하며, 외국에서는 자연정화법이 꾸준히 연구되고 있으며, 국내에서도 자연정화법을 이용한 수질관리가 큰 관심을 불러 일으켜 1980년대부터 활발한 연구가 진행되고 있다(최, 2008).

수질오염을 일으키는 오염물질을 호소에 유입되기 전이

\*Corresponding author: Tel: 031) 201-2461, Fax: 031) 203-4589, E-mail: jmoh@khu.ac.kr

나 후에 이들을 정화하여 수질을 개선하는 다양한 방법들이 있다. 그 중 인공식물섬은 호소의 수면에 설치하여 호소로 유입된 오염물질을 호소 자체에서 정화하기 위해 이용된다(양, 2006). 인공식물섬은 현재 국내의 대형 인공호나 저수지에서 수질개선, 수중생태계 복원 및 경관성 향상의 목적으로 인공수초재배섬, 수초뜬섬, 어류산란시설 등의 다양한 명칭으로 설치되고 있다(최, 2007). 이러한 국내의 인공식물섬은 수질 개선보다는 경관성 향상이 주목적이며, 이루어지는 연구 또한 수생식물(천, 2006)이나, 부체의 구조(농어촌진흥공사, 1998)등이 주로이며, 최근에서야 인공식물섬의 수질개선 능력에 대한 연구들이((주)아썸, 2002; 권, 2003)이루어 지고 있지만 단순히 수면위에 부유해있는 상태의 인공식물섬은 수질개선 효율을 산정하는데 어려움이 있어 자료의 양이 적다.

기존의 인공식물섬의 수질정화는 식생에 의존하는 경향이 있다. 따라서 수질개선 효율이 낮은 편이며, 단순히 호소 수면에 고정되어 있기 때문에 호소의 접촉하는 면에서만 수질정화 효과를 할 수 있어 수질 개선 반경이 좁다는 단점을 가지고 있다. 또한 대부분의 인공식물섬의 부체는 대부분 천연재료를 사용하게 되는데, 천연부체는 수체 내에서 장기간 침수되어 있기 때문에 시간의 경과에

따라 부식이 일어날 수 있고 이로 인하여 수체에 오염을 유발하는 한계점을 가지고 있다. 이러한 인공식물섬의 단점을 보완하기 위하여 고정되어 있는 장치에 유동성을 부여하며, 부체들에 의한 오염을 방지할 수 있는 장치를 설계하였고, 장치의 수질 개선 효율을 향상시키기 위해 여재와 수생식물을 혼용하여 사용하는 방법을 고안하였다. 따라서 본 연구에서는 Lab scale 실험을 통하여 인공식물섬에 충전하게 될 Bio stone 여재의 오염물질 저감능력을 평가하고 인공식물섬을 실제 호소에 적용함으로써 여재와 식생을 혼용한 장치에 따른 수질오염물질 제거효율에 대해 연구하였으며, 이에 따라 기존의 인공식물섬의 단점을 보완할 수 있을 것이라 판단된다.

### 재료 및 방법

#### 1. 장치 개요

본 장치는 3m×5m의 크기로 부체들의 재질은 SUS304(스테인리스강)를 사용하여 제작하였고, 유입부(①), 접촉산화부(②), 수중펌프(③) 수생식물부(④), 계류장치(⑤), Air Line(⑥), 접촉메디아부(⑦), 컨트롤박스(⑧), 에어컴

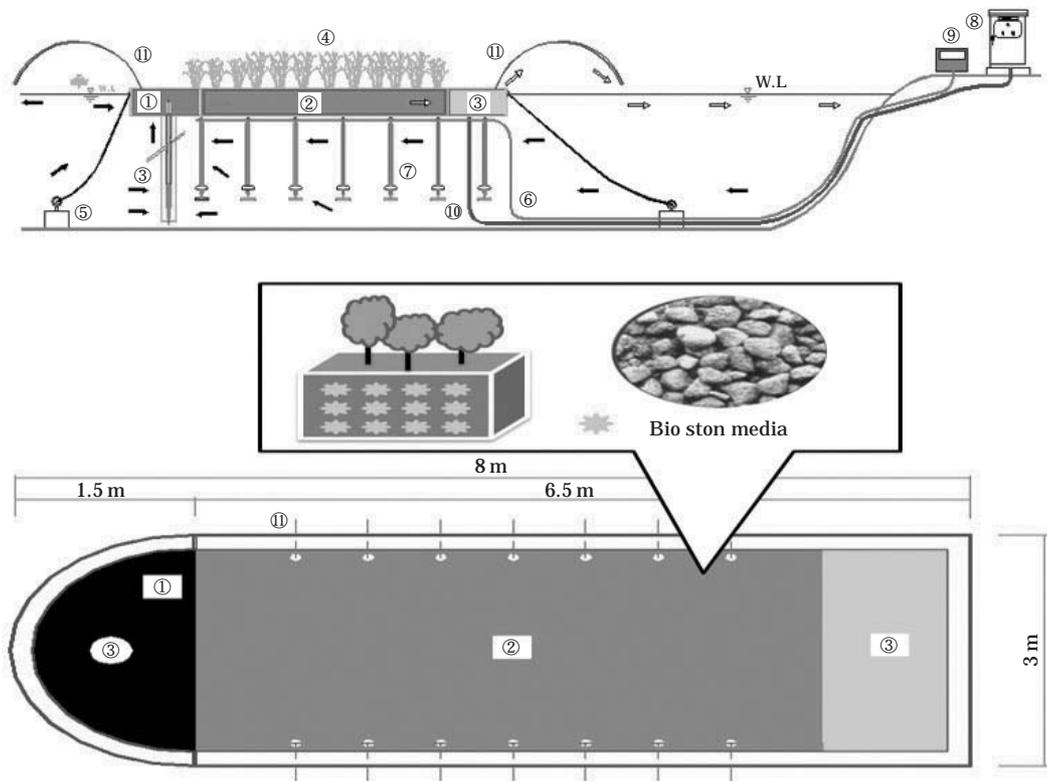


Fig. 1. Schematic representation of Purification equipment.

프레서(⑨), 수중케이בל(⑩) 유출부(⑪)로 구성하였으며, 이를 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에 사용된 인공식물섬 장치의 유입부는 철망구조로 조대입자의 유입을 막아 수질정화부에 대한 오염부하량을 감소시킴으로서 적절한 정화처리가 이루어질 수 있도록 해주며, 또한 조대입자의 유입으로 인하여 발생할 수 있는 시설이나 기기류의 손상 및 파손을 막아줌으로써 시설을 보호 할 수 있다. 또한 유입부에서는 에어컴프레서를 사용한 산소공급으로 지속적인 폭기현상이 일어날 수 있게 하였다.

접촉산화부는 자갈 및 쇄석에 비하여 가볍고, 비표면적이 크며, 공극율이 75% 이상인 Bio stone 여재를 포트식으로 충전 하였다. 부유성을 가지고 있는 Bio stone은 부력에 영향을 주지 않아 인공식물섬에 적합한 여재로 고온(650~850°C)에서 발포 성형한 다공질 세라믹 경량체를 파쇄하여 입자크기를 조정한 인공경량여재로 다공성이며 공극률이 대단히 높다는 점으로, 풍부한 내부공극은 미생물의 부착 서식공간을 제공하여 줌으로써 미생물에 의한 유입수 중 오염물질의 생물분해효과를 높이고, 자체의 공극을 통한 여과작용을 통하여 고액분리하며, 재질인 세라믹은 자체의 표면 하전적 특성으로 인하여 자연계에 존재하는 이온성 오염물질의 저감효과에도 효능을 발휘할 수 있다. 또한 Table 1 및 Table 2에 Bio stone의 물리적 특성 및 화학적 특성을 나타내었다. Bio stone 여재를 인공식물섬에 충전하기 전에는 적용할 호소수에 15일 이상 침지하여 생물막이 형성시킨 후 사용하였다.

수생식물부는 접촉산화부의 상부에 수생식물을 식재하여 식물의 뿌리가 접촉산화부에 닿아 접촉산화부 내의 오염수로부터 영양물질을 흡수하거나 식물뿌리부의 흡착과 여과작용에 의하여 오염물질을 제거하도록 하였다. 계류장치는 홍수나 많은 강우량에 의하여 장치가 유실되지 않게 하기 위하여 장치에 연결하여 수체 하부에 설치했다. 접촉메디아부는 시설의 하단부에 끈상으로 호소수의 심

부 쪽으로 늘어뜨려져 있는 부분으로 항상 물과 접촉하면서 수중의 유기물을 접촉여과, 흡착, 생물분해 작용을 수행하여 수질을 정화한다. 본 장치에서는 시간의 흐름에 따라 생물막 층이 형성되고 표층부에서는 산화분해 작용이 일어나고 심부에서는 환원작용으로 인한 물질의 분해 작용이 수행되어 오염물질이 정화된다. 또한 끈상여재를 촘촘히 설치하여 어류의 산란처로 활용될 수 있게 하였다. 컨트롤 박스는 장치의 운전 시간과 휴지시간 등을 자동으로 관리할 수 있게 하였다.

본 장치에서 정화된 유출수는 수중펌프와 수중케이בל을 통하여 분수형태로 유출되어 진다. 따라서 분수로 인하여 유출수의 공기에 대한 접촉단면을 높여 폭기현상을 일으키기 때문에 호소의 자정작용능력을 향상시키며, 정체성 호소에 인위적인 교란을 주어 넓은 범위의 오염물질을 처리 할 수 있게 된다. 또한 분수를 경관성 및 친수성을 확보 할 수 있게 하였다. 장치의 작동은 컨트롤 박스를 이용하여 기기의 운전 시간과 휴지 시간을 관리하여 유지관리가 용이하다. 본 장치의 부체들은 SUS304 (스테인리스강)를 사용 하였기에 부체들에 의한 수질오염이 없으며, 반영구적으로 사용이 가능하도록 하였다.

2. 연구방법

1) 실내실험

인공식물섬에 사용할 수 있는 여재는 장치의 부력에 영향을 주지 않아야 하는 제약 조건을 가지고 있다. 따라서 부유성을 가지며 인공식물섬의 부력에 영향을 주지 않는 Bio stone 여재를 선정하였다.

다양한 유입수 농도에 대한 Bio stone의 오염물질 제거능력을 확인하기 위하여 Lab scale의 실험을 진행하였다. 부상하는 여재의 특성에 따라 원통형의 상향류식 반응조(4.156 L) 3 SET를 구성하여 실험하였으며, 실험 반응조에 앞서 유입수 농도를 조절하기 위한 저류조를 두었다. 각 목적별 실험을 위한 실험조건 및 방법은 아래의 Table 3

Table 1. Physical characteristics of Bio stone media.

Item	Dry-bulk density (mg L <sup>-1</sup> )	Saturated water-bulk density (mg L <sup>-1</sup> )	Void fraction (%)	Porosity (%)	Coefficient of permeability (cm sec <sup>-1</sup> )	Absorptivity-volume ratio (%)	Absorptivity-weight ratio (%)
Result	0.35	1.13	78.5	66.2	0.26	12.3	32

Table 2. Chemical characteristics of Bio stone media.

Item	pH	Org. C (mg kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	T-N (cmol kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	K (cmol kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol kg <sup>-1</sup> )
Result	9.8	1.0	1.9	0.0	1.0	4.06	0.30	0.05	0.96

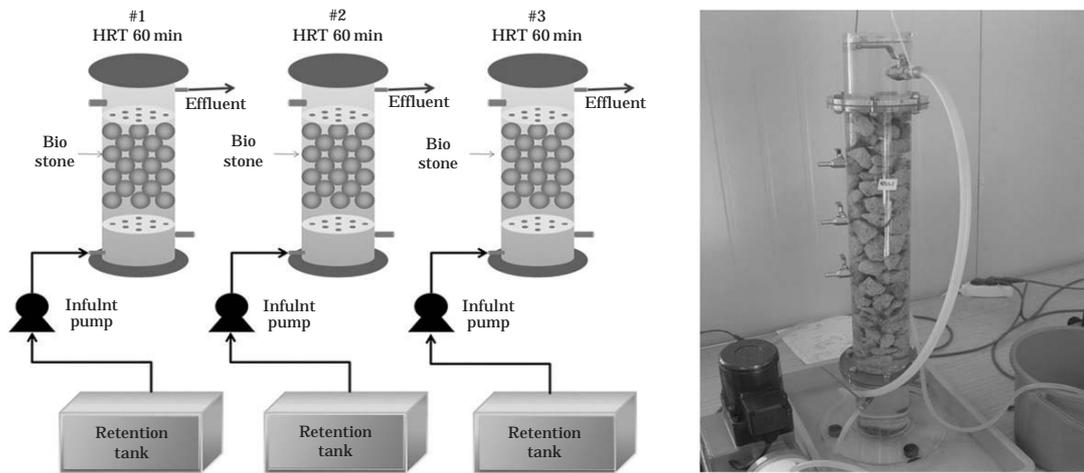


Fig. 2. Water purification equipment with Bio Stone for lab scale.

Table 3. Experiment condition for water purification efficiency of Bio Stone.

Item	Reactor properties	Media packing ratio	Sampling	Influent concentration	Residence time
Evaluation on water purification ability as influent concentration of Bio-stone	4.156 L ( <i>h</i> : 0.75 m, $\Phi$ : 0.10 m)	40%	Influent, effluent	Low, Mid, High Concentration	60 min

및 Fig. 2에 나타내었다.

유입수는 경기도 용인시 신갈호수와 기흥레스피아에서 채취한 오수를 일정 비율로 혼합하여 저농도, 중농도, 고농도로 만들어 사용하였으며, 혼합된 유입수는 정량펌프를 이용하여 반응조 내부로 일정하게 유입되도록 하였다. 각 반응조의 체류시간은 60 min으로 설정하였으며, 반응조에 대한 여재의 충전율은 약 40%로 하였다. Sample은 총 11회에 걸쳐 매 시간 채취하였다.

수질측정은 호소수질을 SS, BOD, COD, T-N, T-P를 선정하여 평가하였으며, 수질에 영향을 미치는 기본인자인 수온, pH 및 수체의 자정작용을 평가할 수 있는 DO 등도 평가항목에 추가하였다. 본 연구에 사용된 시료는 유입수 및 유출수를 채수하였으며, 항목별 실험은 수질오염공정시험법에 준하여 실시하였다.

2) 현장 적용성 연구

여재와 식생을 혼용한 본 장치의 수질개선 효과를 알아보기 위하여 경기도 용인시 신갈호수에 장치를 직접 설치하고 주기적인 모니터링을 통하여 호소의 수질개선 효과에 대해서 조사 하였다. 장치의 가동 시간은 컨트롤 박스를 이용하여 일일 8시간으로 50분 작동 후 10분 휴지로

가동하였으며, 처리용량은 200 LPM으로 가동하였다.

연구의 시작은 장치 설치 후 충전한 여재에서 미생물막이 생성된 후 진행하였으며, 장치에서의 유입수와 유출수를 2009년 4월부터 6월까지 총 14회에 걸쳐 샘플을 채취하였다. 채취한 시료에 대한 수질측정은 현장 조사 시 실험항목은 수온, pH, EC, DO를 측정하고, 실내실험은 SS, BOD, COD, T-N, T-P를 실시하였으며, 수질 공정시험법에 의거하여 분석하였으며, 유입수에 대한 유출수의 오염물질 제거효율을 산정하였다.

결과 및 고찰

1. Bio stone의 수질정화 능력 평가

수온 및 pH, DO 측정결과를 Table 4에 나타내었다. 저농도, 중농도, 고농도에서 각각의 유입수 조건에 따른 유출수의 차이는 적은 것으로 나타났다. 따라서 Bio stone 여재에 의한 수온, pH, DO에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

수질정화용으로 사용 되는 기존의 여재들은 경제성과

**Table 4.** Experiment result of Temp, pH, DO.

Item	Low concentration		Mid concentration		High concentration	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
Temp (°C)	17.2 (16.8~17.4)	18.3 (17.8~18.8)	17.1 (16.8~17.3)	18.4 (18.0~18.7)	17.0 (17.2~16.6)	17.0 (19.0~17.9)
pH	7.81 (7.78~7.85)	7.91 (7.67~8.05)	7.23 (7.19~7.28)	7.43 (7.24~7.74)	7.23 (7.20~7.29)	7.23 (7.13~7.45)
DO (mg L <sup>-1</sup> )	7.0 (6.5~7.5)	7.0 (6.3~8.6)	0.9 (0.6~1.2)	3.6 (2.1~5.4)	0.8 (0.5~1.1)	1.0 (0.3~2.9)

**Table 5.** Pollutant Concentrations in influent water and effluent water.

Item	Low Concentration		Mid Concentration		High Concentration	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
SS (mg L <sup>-1</sup> )	19.7 (18.3~20.6)	9.2 (7.7~10.9)	29.6 (27.6~31.0)	12.4 (10.2~15.2)	49.0 (46.1~52.6)	18.5 (14.0~23.0)
BOD (mg L <sup>-1</sup> )	5.29 (5.06~5.58)	3.19 (2.60~3.54)	11.50 (11.23~11.91)	6.22 (3.75~8.55)	30.17 (28.31~32.17)	15.05 (9.60~21.50)
COD (mg L <sup>-1</sup> )	13.5 (13.0~14.0)	7.7 (6.8~8.8)	22.1 (21.7~22.4)	11.5 (6.4~15.1)	48.2 (45.8~50.0)	21.7 (15.1~28.0)
T-N (mg L <sup>-1</sup> )	11.529 (10.642~12.603)	8.571 (7.332~9.494)	27.143 (25.126~28.354)	19.063 (16.262~21.372)	51.417 (49.326~53.785)	35.196 (29.048~40.984)
T-P (mg L <sup>-1</sup> )	0.067 (0.062~0.072)	0.049 (0.043~0.060)	0.395 (0.392~0.400)	0.259 (0.212~0.314)	1.056 (1.052~1.060)	0.65 (0.550~0.780)

시장성, 활용도를 고려하여 자갈이나 쇠석 등이 주로 이용되었으며, 최근에는 다공성 콘크리트 등이 사용되고 있는 실정이다. 하지만 본 연구에서 제작된 인공식물섬에 사용할 여재의 경제성, 시장성, 활용도 등의 여러 가지 특성 중에 특히 활용도의 특성이 중요할 것으로 판단된다. 기존의 여재들은 부력에 영향을 주기 때문에 본 연구의 실험 장치에 적용할 수 없다. 따라서 부력에 영향을 주지 않는 Bio stone 여재를 적용하여야 하기 때문에 기존에 수질 정화용으로 사용되고 있는 여재들을 본 연구장치에서는 사용할 수 없을 것으로 판단된다.

장(2007)에 의하여 연구된 기능성 여재를 활용한 인공 습지에 의한 수질정화 효과 분석에서는 부유성을 가진 3 가지 여재에 관한 실험이 이루어졌다. 연구에 사용된 여재는 Bio stone, Bio stone-chitosan, 제오라이트를 사용하였으며, Bio stone-chitosan이 가장 높은 수질정화 효과를 보이는 것으로 조사되었다. 하지만 Bio stone-chitosan은 Bio stone의 수질정화 능력을 높이기 위하여 Chitosan을 혼합한 여재이다. Chitosan의 경우 수질정화 능력을 향상시킬 수는 있으나, 경제적인 측면에서 볼 때 비용이 Bio stone 여재 보다 더 많이 들며, 수질정화 과정에서 Chito-

san이 유실될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 시장성 및 경제성, 유지관리 측면에서 고려하면, 호소수의 수질을 정확히는 방안으로서 본 연구에 적용된 Bio stone 여재가 실질적으로 활용 가치가 높을 것으로 판단된다. 또한, Bio stone 여재의 세척주기는 생물막의 과도한 번성에 의해 오염물질의 제거가 되지 않는 기간인 3개월을 기준으로 Bio stone 여재를 세척해 주는 것이 바람직할 것으로 판단된다. Lab scale 실험에서 사용된 Bio stone 여재의 유입수 및 유출수의 범위 및 제거효율을 Table 5 및 Fig. 3에 나타내었다. 저농도, 중농도, 고농도 유입수 조건에 따른 오염물질 제거효율을 조사한 결과, 저농도 유입수 조건일 경우 SS 53.3%, BOD 39.8%, COD 43.0%, T-N 25.6%, T-P 27.0%로 나타났고, 중농도 유입수 조건에서는 SS 58.2%, BOD 46.0%, COD 47.9%, T-N 28.9%, T-P 34.4%로 조사되었다. 고농도 유입수 조건에서의 오염물질 제거효율은 SS 62.2%, BOD 50.2%, COD 55.1%, T-N 31.6%, T-P 38.4%로 조사되었으며, 고농도 조건에서 제거효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 유입수의 농도가 높을수록 오염물질 제거효율이 높고 Bio stone 여재 실험에 사용한 고농도 유입수 조건까지 오염물질 제거가

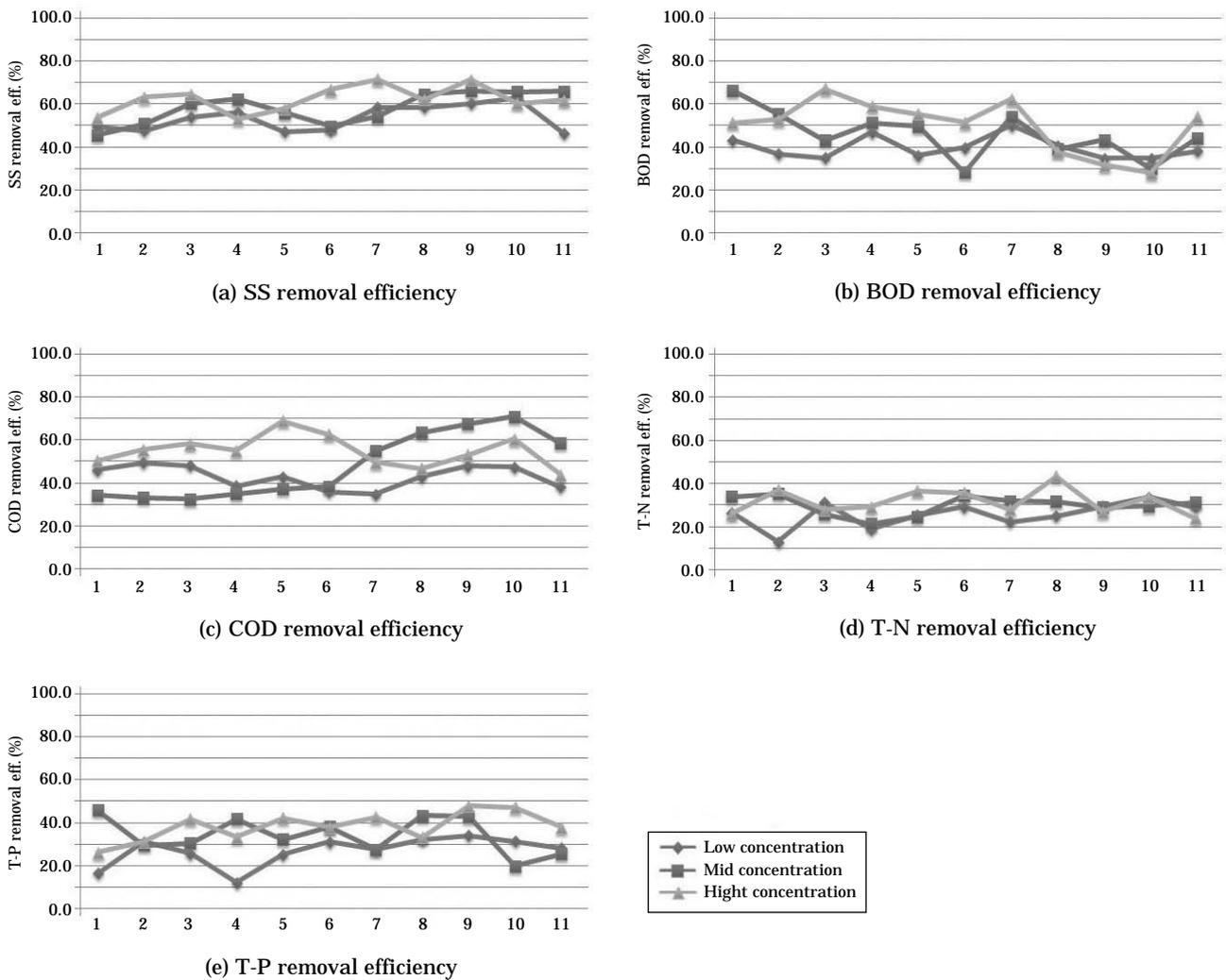


Fig. 3. Temporal variation Pollutant removal efficiency for each water quality component.

가능한 것으로 판단된다. 따라서 인공식물섬에 충전 하였을 때 수질정화 효과를 볼 수 있을 것으로 판단되며, 향후에는 Bio Stone 여재가 처리할 수 있는 오염물질 농도의 한계에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

2. 현장적용성 평가

Table 6은 유입수와 유출수의 수온, pH, EC를 나타내었다. 수온은 유입수 유출수의 평균은 각각 18.9°C, 19.0°C이며, pH는 각각 8.62, 8.73으로 EC는 511  $\mu\text{s cm}^{-1}$ , 509  $\mu\text{s cm}^{-1}$ 로 조사되어 각 항목의 유출수와 유입수의 변화는 없는 것으로 나타났다.

유입수와 유출수에 대한 DO농도는 시간이 지남에 따라 농도가 상승하는 경향을 보였다. 유입수와 유출수의 DO

농도변화는 미미한 것으로 조사되었다. 이는 장치의 유입부로 유입되기 전 에어컴프레서를 이용한 지속적인 산소 공급으로 인하여 DO가 줄어들지 않은 것으로 판단된다.

인공식물섬의 수질개선 효과에 대한 연구는 최근에 들어서 이루어지고 있다. 이는 인공식물섬이 호소 수면에 단순히 부유해 있는 상태이기 때문에 실험에 어려움이 있기 때문이다. 최근에 이루어지고 있는 연구들은 시간에 따른 호소 농도의 변화로 수질개선 효율에 대해 연구하는 실정이다(아섬, 2002). 하지만 본 연구는 유입수와 유출수가 뚜렷하게 구분되기 때문에 수질정화 효율을 정확히 산정 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

경기도 용인시 신갈호수에 장치를 설치하고 장치의 수질개선 효율을 알아보기 위하여 유입수 대비 유출수의 제거효율 조사 하였고, 그 결과를 Table 6 및 Fig. 4에 나타

**Table 6.** Experiment result of Temp, pH, Ec, DO.

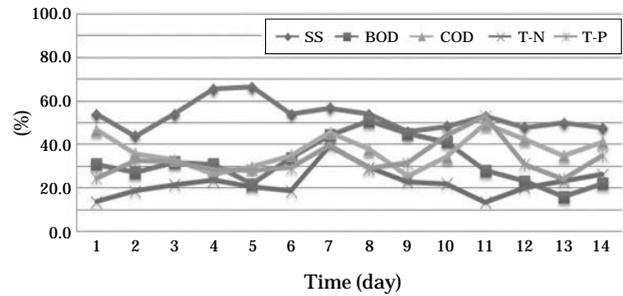
Item	Influent range	Influent average	Effluent range	Effluent average
Temp (°C)	14.4~25.3	18.9	14.5~25.8	19.0
pH	7.75~9.51	8.62	7.92~9.48	8.73
EC ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	431~571	511	410~570	509
DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	8.66~11.91	10.23	8.00~12.21	9.27

**Table 7.** Pollutant Concentrations of inflow and outflow.

Item	Influent range	Influent average	Effluent range	Effluent average	Removal efficiency (%)
SS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	4.0~25.2	12.1	1.60~11.7	5.76	53.5
BOD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	4.2~7.8	5.73	2.83~5.98	3.87	32.8
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	7.2~16	10.57	4.12~9.85	6.59	36.9
T-N ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.783~13.464	7.006	1.41~10.2	5.425	22.6
T-P ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.028~0.132	0.075	0.016~0.085	0.051	33.2

내었다. 조사 결과, 환경변화에 의하여 유출수의 편차가 크게 나타난 것으로 나타났다. SS의 평균 제거효율은 53.5%, BOD는 평균 32.8%, COD는 평균 36.9%, T-N은 평균 22.6%, T-P는 평균 33.2%로 조사되었다. 이는 Bio stone에 대한 Lab scale 실험과 비교하여 현장의 환경적 요인을 고려해 볼 때 현장 SS와 유기물질에 대한 처리효율은 높은 것으로 나타났으며, 영양염류에 대해서는 실험 기간이 짧게이기 때문에 식생이 충분히 자라날 수 있는 하계에는 처리효율이 더 높아질 것으로 판단된다. 신갈호수의 경우 호소 생활환경기준 IV~VI급에 해당된다. 따라서 본 장치는 IV~VI급의 호소에 적용하여 수질개선 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 연구에서는 식생만을 이용하여 인공식물섬의 오염물질 제거효율을 평가하였는데, 이에 대해 본 연구와는 직접적인 비교가 어려울 것으로 판단된다. 그 이유는 기존의 연구에서는 유입수와 유출수가 뚜렷하게 구분되지 않은 상태에서 연구가 이루어졌기 때문이다. 따라서 최근에 이루어진 시간에 따른 호소농도 변화에 따른 오염물질 저감효율과의 간접적인 비교를 통해 본 연구와 비교 및 평가를 실시하였다. (주)아썸 (2002)에 의한 연구에 의하면, 호소 생활환경기준 V~VI 등급의 현장에 적용한 인공식물섬의 오염물질 제거효율 결과, SS 평균 제거효율은 35%, BOD 평균 제거효율은 33%, T-N 평균 제거효율은 22%, T-P 평균 제거효율은 31%로 나타났다. 또한, 권과 박 (2003)은 호소환경기준 VI 등급 연못에 인공식물섬을 설치하고 오염물질 제거효율을 조사하였으며, 그 결과 BOD, T-N, T-P의 제거효율이 각각 33%, 22%, 29%로 나타났으며, Xian-Ning-Li (2010)는 인공식물섬에 식생과 재첩 끈상여재를 혼용한 장치를 고안하였으며, 장치의 T-N,



**Fig. 4.** Pollutant removal efficiency of each unit.

T-P의 평균 제거효율은 26.3%, 32.8%로 조사되어 본 연구 결과와 비교해 볼 때, 오염물질 제거효율은 비슷한 경향을 나타내고 있었으나, 대부분 소규모 호소에서 이루어졌다는 점을 고려해 볼 때, 본 연구 장치의 오염물질 저감효율이 더 높은 것으로 판단된다. 또한 본 연구 장치는 분수를 이용하여 호소의 인위적인 교란을 주는 특징을 가지고 있기 때문에 넓은 범위를 처리 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 수질 정화 효과 및 경관성, 경제성 측면에서 매우 효과적인 것으로 판단되며, 본 연구 장치의 정확한 처리 범위에 대한 연구가 향후에 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한, 기존의 인공식물섬은 식생만을 이용하여 계절적 영향에 따라 수질개선 효율이 큰 차이를 보이는 단점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 인공식물섬의 이러한 단점을 보완하기 위해 Bio stone 여재를 사용하여 계절에 따른 오염물질 저감의 편차를 최소화 시키는데 매우 효과적으로 나타났다. 또한 Bio stone 여재를 충진한 인공식물섬의 자연친화적인 경관성 및 친수성 등의 수질개선 효과를 동시에 볼 수 있을 것으로 사료된다.

## 적 요

현재 인구 증가와 더불어 용수의 저장고로만 쓰이던 호소는 최근 수질개선 문제뿐만 아니라 친수성과 경관성이 요구되고 있다. 따라서 호소의 경관성을 향상 시킬 수 있는 자연정화법인 인공식물섬이 각광 받고 있으나, 낮은 수질개선 효율 등 여러 가지 한계점을 가지고 있다. 따라서 인공식물섬의 단점을 보완하기 위하여 장치를 설계하고 수질개선 효율을 향상시키기 위하여 식생과 여재를 혼용하는 방법을 고안하였으며, 인공식물섬에 충전 될 여재의 오염물질 제거 효율을 알아보기 위한 Lab scale 실험과 여재와 식생을 혼용한 인공식물섬을 현장에 직접 설치하여 현장 적용성을 평가하였다.

1. 기존의 인공식물섬의 경우 시설의 처리면적이 작고 식생만을 이용한 처리 방식이며, 동절기의 경우 식생이 성장하지 못하여 호소의 수질정화 효과에 영향을 미치기 때문에 문제시 되고 있다. 따라서 본 장치는 효율적인 수질개선 효과를 얻기 위해서 여재와 식생을 혼용하여 사용하여 수질개선 효과를 높였고, 유출수를 분수로 분출하기에 경관성과 친수성을 확보할 수 있게 하였다.

2. 고농도 유입수 조건에서의 Bio Stone의 오염물질 제거효율은 SS 62.2%, BOD 50.2%, COD 55.1%, T-N 31.6%, T-P 38.4%로 조사되었다. 유입수의 농도가 높을수록 제거효율이 높은 것으로 나타났다.

3. 본 장치의 현장적용성을 평가하기 위하여 호소 생활환경기준 IV~VI급의 호소에 장치를 설치하고 유입수 대비 유출수의 제거효율 조사 하였고, 그 결과 SS의 평균 제거효율은 53.5%, BOD는 평균 32.8%, COD는 평균 36.9%, T-N은 평균 22.6%, T-P는 평균 33.2%로 조사되었다.

4. 유출수를 분수형태로 분출하기 때문에 폭기현상을 일으켜 자정능력을 향상시킬 수 있으며, 정체성 호소에 인위적인 교란을 주어 넓은 범위의 수질을 개선할 수 있다. 또한 부체들을 SUS304로 제작하여 부체들의 부식에 의한 오염이 없으며 반영구적으로 사용할 수 있다.

## 사 사

본 연구는 레인보우스케이프(주) 및 2009년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

(주)아썸. 2003. 발포성폴리스티렌과 폴리에틸렌폼 재질의 부체

를 이용한 인공식물섬 조성기술. 건설신기술 신기술지정등록서 제360호.

권애랑, 박철휘. 2003. 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구. 대한환경공학회지 **25(4)**: 415-420.

권오병. 1999. 인공식물섬을 설치한 호소의 수질개선 및 생태계 변화에 관한 연구. 한양대학교 석사학위논문.

김용진, 허재규, 남종현, 이인선, 최경숙, 최승익, 안태석. 2007. 파로호에 설치된 인공식물섬 식생기반재의 공극수에서 세균 분포와 체외효소활성도. 미생물학회지 **43(1)**: 40-46.

김형준. 2006. 도시지역 비점원오염물질 저감을 위한 초기우수 처리시설의 여재특성. 단국대학교 박사학위논문.

박선구, 조인기, 권오병, 문정수, 엄한용, 황순진. 2008. 인공식물섬에 의한 조류(Algae) 및 영양염류의 제거. 한국하천호수학회지 **41(S)**: 93-98.

박현진, 권오병, 안태석. 2001. 인공섬을 이용한 소형 저수지의 수질 개선. 환경복원논화 **4(1)**: 90-97.

변명섭. 2007. 수초재배섬에 의한 수환경 개선효과에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문.

신용춘. 2005. 인공식물섬의 영양염류 제거 및 정수식물 생장에 관한 연구. 전남대학교 석사학위논문.

양홍모. 2006. 농업용 저수지에 설치한 인공식물섬에 의한 오염물질 농도의 변화. 환경복원논화 **9(2)**: 23-32.

이광식. 1997. 농업용 저수지의 상수원수 이용관련 수질관리대책. 농공기술 **56**: 35-54.

이은주, 조안나, 권오병, 안태석. 2009. 신규저수지에서 인공식물섬이 동,식물플랑크톤 군집에 미치는 영향. 한국하천호수학회지 **42(1)**: 19-25.

장필규. 2006. 발포유리를 이용한 인공식물섬 개발에 관한 연구. 선문대학교 석사학위논문.

최명재, 변명섭, 박혜경, 전남희, 윤석환, 공동수. 2007. 팔당호 인공 수초재배섬에서 수생식물의 생장 및 영양염류 제거 효율. 한국물환경학회지 **23(3)**: 348-35.

최명재. 2008. 팔당호 인공수초재배섬 수생식물의 생장 특성 및 영양염류 제거에 관한 연구. 서울시립대학교 공학석사학위논문.

최지용, 반양진. 2007. 저수지 비점오염원 저감을 위한 인공습지의 설치효과 및 개선방안. 한국환경정책·평가연구원.

환경부. 2009. 수질공정시험법.

장원근. 2007. 기능성 여재를 활용한 인공습지에 의한 수질 정화효과분석. 경희대학교 석사학위논문.

Li, X.N., H.L. Song, W. Li, X.W. Lu and O. Nishimura. 2010. An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water. *Ecological Engineering* **36**: 382-390.

(Manuscript received 29 March 2010,

Revision accepted 1 June 2010)