

Research Paper

기능성 여재를 활용한 부영양화 영양물질 제거의 최적 운전조건 연구

이종준* · 오종민* · 최승종** · 김기중**

경희대학교*, 청호환경개발(주)**

A Study on the Optimal Operating Conditions for Removal of Nutrient Influential Substances Using Functional Media

Jong-Jun Lee* · Jong-Min Oh* · Seung-Jong Choi** · Ki-Jung Kim**

Kyung Hee University*

Cheong-Ho Environment. Development Co. Ltd**

요약: 본 연구의 목적은 기능성 여재를 활용하여 부영양화의 원인 물질인 인(P)과 질소(N)의 제거효율을 향상시킬 수 있는 최적의 운전 조건을 확보하기 위함이다. 본 연구에 사용된 기능성 여재의 주성분이 Si, Al, 및 Fe 이고, 석영(SiO_2), 정장석(KAlSi_3O_8), 할로이사이트($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), 카올린($\text{H}_3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$), 자철석(Fe_3O_4), 버미쿠라이트 등이 함유되어 있다. 여과공정의 최대 효율성을 파악하기 위해 흐름방식, 선속도, 여재두께에 따른 처리효율 실험을 진행하였다. 흐름방식은 상향류 및 하향류 조건의 두 가지 실험을 진행하였고, 선속도는 50 m/day, 100 m/day, 150 m/day, 200 m/day, 250 m/day의 조건, 여재두께는 20 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 80 cm의 조건에서 실험을 진행 하였다. 실험 결과 SS, T-N, T-P 모두 상향류 조건이 하향류 조건보다 높은 제거효율을 보였고, 선속도별 처리 효율은 SS 50 m/day, T-N 150 m/day, T-P 100 m/day에서 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 또한 여재두께에 따른 제거효율 분석 결과 SS, T-N, T-P 모두 60 cm에서 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 최적의 조건은 상향류 조건 및 60cm의 여재 두께를 설정하고 제거 목표 물질에 따라 선속도를 조절하여 처리 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

주요어: 기능성 여재, 부영양화, 인(P), 질소(N), 운전조건

Abstract: The purpose of this study is to ensure optimal operating conditions for improving the removal efficiency of phosphorus (P) and nitrogen (N) that are the causative agents of eutrophication by utilizing functional media. The main ingredients of the functional media used in this study are Si, Al, and Fe, SiO_2 , KAlSi_3O_8 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $\text{H}_3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$, Fe_3O_4 , and berylite. To identify the maximum efficiency of the filtration process, the processing efficiency experiment was carried out

First Author: Jong-Jun Lee, Tel: +82-31-201-2125, E-mail: jjoollee87@naver.com, ORCID: 0000-0002-0099-977X

Corresponding Author: Jong-Min Oh, Tel: +82-31-201-2607, E-mail: jmoh@khu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-1104-5867

Co-Authors: Seung-Jong Choi, Tel: +82-62-526-9640, E-mail: sljong@naver.com, ORCID: 0000-0002-9359-4850

Ki-Jung Kim, Tel: +82-62-526-9640, E-mail: kan0707@naver.com, ORCID: 0000-0002-0593-8896

Received: 1 October, 2019. Revised: 29 October, 2019. Accepted: 18 November, 2019.

according to flow method, velocity, and thickness of residual media. The flow method carried out two experiments, 50 m/day, 100 m/day, 150 m/day, 200 m/day, 250 m/day, and 20 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 80 cm of lead depth. Experiments have shown that SS, T-N, and T-P all showed higher elimination efficiency of the upflow current conditions than the downflow current conditions, and that the processing efficiency of the linearity is the highest at SS 50 m/day, T-N 150 m/day and T-P 100 m/day. In addition, the analysis of the removal efficiency according to the residual thickness showed that SS, T-N, and T-P all showed the highest efficiency at 60 cm. In addition, the analysis of the removal efficiency according to the residual thickness showed that SS, T-N, and T-P all showed the highest efficiency at 60 cm. It is considered desirable to set the top-down flow conditions and residual thickness of 60 cm and adjust the velocity of the line according to the target media for removal.

Keywords : Functional Media, Eutrophication, Phosphorus (P), Nitrogen (N), Operating Conditions

I. 서론

호소의 부영양화란 수계, 특히 정체된 수계중의 영양수준이 높게 되고 질소, 인 등과 같은 조류번식 양분농도가 높아져서 조류 대량으로 증식되어 생태계의 생산과 소비 사이의 균형이 파괴되며, 이와 같이 생산된 수생식물은 유기오염물질로 작용하여 수계의 수질이 악화되는 현상을 말한다. 부영양화 된 호소 생태계에서 인과 질소가 조류발생의 주요 원인물질로 알려져 있다(Bricker 1999). 호소뿐만 아니라 하천 내 녹조발생 등의 환경적 문제가 심각하게 발생하고 있어 국민들의 불안과 불편, 사회적 논란이 반복되고 있는 실정이다. 이에 정부는 핵심 환경문제(유해물질, 환경호르몬, 기상관측 등 10개) 중 하나인 '녹조'를 제어하기 위한 방안으로 점 및 비점오염에서의 영양물질에 초점을 맞춰 국토부, 환경부, 미래창조과학부 등에서 활발한 연구를 진행하고 있다(Multi-server Joint Planning report 2014). 녹조는 부영양화된 호소 또는 유속이 느린 하천에서 녹조류 및 남조류가 크게 증가하여 물빛을 녹색으로 변화시키는 현상을 말한다. 수체의 표면에 녹조가 덮이게 되면 햇빛과 산소가 차단되면서 수중 산소가 부족하게 되고, 심한 냄새를 발생시키기도 하여 어류의 아가미를 덮어 질식사시키는 등 수질의 악화로 인해 수생태계를 파괴시키는 문제를 야기한다. 이로 인해 부영양화가 심화되어 하천 및 호소수의 자정능력이 급격히 저하되고 있는

실정이다 (Shim 2016). 국내에서는 SBR, SBR변법, A₂/O공법 등, 혐기·호기성 처리공정을 적용함으로써, 부영양화의 원인 물질인 인(P)과 질소(N)를 동시에 제거할 수 있는 공법들이 개발, 실용화되었으나 운전성 및 처리효율을 기대하기에는 문제점들이 있었다. 또한 긴급한 경우에는, PAC (polyaluminum chloride)와 같은 화학 응집제를 투여하여 점토의 조류 제거능을 향상시키기도 한다(Sengco and Anderson, 2004). 이렇듯 비점오염원보다 주로 점오염원에 초점을 맞춰 연구 및 사업이 진행되어 왔으나, 호소와 저수지에서의 뚜렷한 수질 개선효과를 볼 수 없었다 (Park 2013). 이에 관계 부처에서는 비점오염원에 대한 대책도 수립하여 시행하고 있다. 비점오염이 수계로 유입되는 것을 방지하기 위한 비점오염 저감시설에는 저류지, 식생수로, 침투도랑, 여과시설 등이 있으며, 가장 널리 이용되어 온 공정은 모래 등 입상 여과재를 이용하는 여과형 처리시설이다. 여과형 비점오염 저감시설은 여과, 흡착 및 미생물 대사 작용에 의해 강우 유출수 내 부유고형물, 총인, 중금속 등에 대해 우수한 제거효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 여과형 시설의 성능에서 가장 중요한 인자는 여재의 특성 및 운전 조건의 최적화이다. 아울러 여재는 황토, 제올라이트, 홍토의 최적 배합 및 소성을 통하여 인을 제거할 수 있는 기능성 여재를 활용해야 최적의 효과를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 기능성 여재를 활용하여

부영양화의 원인 물질인 인(P)과 질소(N)의 제거효율을 향상시킬 수 있는 최적의 운전 조건을 확보하기 위한 것이다.

II. 실험방법

1. 여재 제조

1) 대상여재

본 연구에서 활용된 여재는 혼합, 성형, 건조, 소성의 과정을 거쳤다. 재료는 점토와 황토를 바탕으로 레드머드 굴폐각 등을 혼합하여 성형하였다. 여재의 주 성분은 Si, Al, 및 Fe 등이며 석영(SiO₂), 정장석(KAlSi₃O₈), 할로이사이트(Al₂O₃·2SiO₂), 카올린(H₃Al₂Si₂O₉), 자철석(Fe₃O₄), 버미쿠라이트 등이 함유되어 있다. 그 밖의 화학적 조성성분은 Table 1에 제시하였다.

2) 배합

첨가원료는 슬러지의 성형체를 소성할 경우 불균

질 소성과 조기 용착 현상 발생으로 성형체의 덩어리화가 발생되어 경량의 기능성세라믹 생산율이 크게 낮아지는 문제를 방지하고 소성로내벽 손상 등으로 인하여 연속운전에 방해되지 않게 하기 위함이다. 그리고 슬러지 성형체의 소성산물은 압축강도가 낮기 때문에 적정 첨가원료가 필요하며 그 결과를 바탕으로 최적의 여재를 제조 할 수 있다. 소성특성의 향상을 위해 사용한 부원료는 홍토, 일반점토, 하수슬러지이다. 주로 홍토는 Al₂O₃와 Fe₂O₃의 비율이 각각 23.67%, 35.97%로 일반점토와 하수슬러지보다 높게 나타났고, 일반점토는 SiO₂가 59.07%로 홍토, 하수슬러지보다 높은 화학성분 조성 비율을 보였다. 또한 세라믹 담체의 경량화를 위해 부원료 사용량은 최소화하였다(Table 2).

3) 성형

본 연구에서는 드럼롤러식 성형기와 퍼그밀식 성형기를 사용하였다. 각 성형기의 장단점은 Table 3에 제시하였으며, Figure 1은 세라믹 담체 제조 성형기

Table 1. Chemical Composition result of the Porosity Expanded Ceramic (wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
57.80	22.60	12.25	1.88	0.93	1.21	2.24	1.91
P ₂ O ₅	MnO	ZnO	Cr ₂ O ₃	PbO	ZrO ₃	SO ₃	Etc
0.21	0.09	0.01	0.03	0.02	0.31	0.09	2.21

Table 2. Composition Ratio of Chemical Component

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Red Clay	23.67	35.97	10.09	5.28	2.35	6.90	0.36
General Clay	15.22	8.81	59.07	5.10	3.45	3.63	2.94
Sewage Sludge	14.17	7.18	30.42	2.88	1.33	1.56	1.95

Table 3. Advantages and Disadvantages of Molding Machine

Molding Method	Advantages	Disadvantages
Drum roller type	<ul style="list-style-type: none"> - Mass production is possible - Can be molded even if impurities are present - Simple structure enables emergency response in case of failure 	<ul style="list-style-type: none"> - Insufficient organization - Difficulty adjusting particle size
Pug-mil type	<ul style="list-style-type: none"> - The organization is meticulous. - Easy to adjust particle size - Generally, spherical molding is possible - Ease of continuous operation 	<ul style="list-style-type: none"> - Excess or insufficient moisture - Blockage of soil exits occurs - Only powdery media can be used. - Cleaning work is required after the operation is completed



Figure 1. Molding Machine.

의 사진을 보여주고 있다.

4) 건조 및 소성

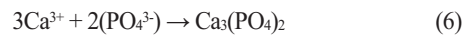
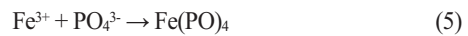
성형된 세라믹 담체의 건조 조건은 50–100℃에서 10–30분 열풍건조, 1시간 송풍건조, 수분 함유율을 13%이하로 건조시켜 100–200℃의 소성로에 투입하고 20–30분 동안 550–750℃까지 승온 후, 750–1,100℃의 온도에서 10–15분간 소성하였다. 다양한 재료를 배합 후 승온 속도, 소성 온도 등을 조정하여 압축강도, 흡수율 등을 실험하여 적정 재료의 배합 조건, 건조 조건 등 소성 조건을 결정하여 소성하였다.

5) 여재의 인 제거 원리

여재의 발포제로써 CaCO_3 , Fe_2O_3 , Graphite를 사용하여 각 발포제를 고온에서 열처리 할 경우에 아래 식 (1)–식 (3)에 제시한 바와 같이 CaCO_3 가 CO_2 분해, Fe_2O_3 는 O_2 의 분해 및 Graphite는 탄소가 산소와 반응하여 생성된 CO_2 가스로부터 기공이 생성되게 된다. 이렇게 기공이 많이 만들어지면 유기물과의 접촉 면적이 넓어져 많은 물질을 제거 할 수 있다.



인의 제거를 위한 수처리에서 사용되는 약품은 석회(Lime, $\text{Ca}(\text{OH})_2$), 고분자응집제(Polymer)등이 주로 사용되고 있으며, 약품에 존재하는 금속이온에 의해 아래의 식 (4)–식 (6)의 원리에 의해 $\text{Al}(\text{PO})_4$, $\text{Fe}(\text{PO})_4$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 형태로 인을 응집 제거 할 수 있다.



여재의 인 제거는 황토, 홍토, 슬러지 등에 있는 무기금속성분인 Al, Fe, Ca에 의해 응집제거 된다. 알루미늄 성분은 수체 내에 존재하는 인, 질소 등 영양염을 제거하여 조류의 성장을 억제하거나 직접적으로 조류와 응집침전을 통해 조류를 제거 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 담체의 인, 질소 등 부영양화 원인물질의 제거효율을 증대시켜 녹조를 저감하는 기능성 세라믹 담체를 사용하였다.

2. 여재 제조

1) 상향류 및 하향류 조건에 따른 제거효율 비교

여과공정의 최대 효율성을 위해서 유입방향 및 물리적 특성 등에 따른 제거효율을 검토해야 한다. 여과공정에 적용되는 흐름 방식은 크게 상향류와 하향류로 구분되며, 본 연구에서는 유입수의 유입 방향을 달리 하였을 때 여재의 처리효율 변화를 조사하고자 하였다.

실험은 유입수의 흐름에 따라 상향류, 하향류 방식의 실험을 통해 순차적으로 진행하였다. 반응조는 원통형으로 총 용적은 31 L, 내경 200 mm, 높이 1,000 mm 아크릴로 제작하였으며, 비중이 1보다 낮은 일부 다공질 여재의 부유를 방지하기 위하여 반응조 내부에 정류벽을 설치하였다. 여재는 반응조의 하부 100 mm 지점부터 500 mm 지점까지 여층두께 400 mm로 충전하였다(Figure 2).

유입수의 수질은 SS항목을 기준으로 비점오염원

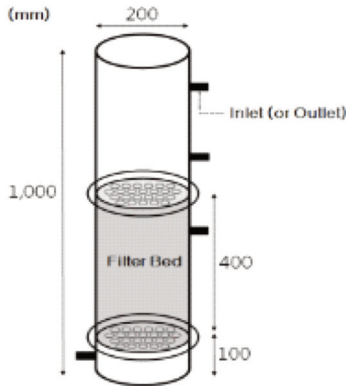


Figure 2. Design of Reactor

에서 나타나는 오염농도를 고려하여 평균 80-120 mg/L 범위로 유지하였고, 여재의 제거효율은 유입수 대비 유출수의 농도 변화를 측정하여 관찰하였다. 수질 측정항목은 SS, T-N, T-P 세 가지 항목이며 각 항목은 수질공정시험기준에 의거하여 분석하였다.

2) 선속도 및 여재 두께에 따른 여재 제거효율 비교

상향류 및 하향류 실험 후 최적의 선속도 조건 선정 및 여재두께 실험을 진행하였다. 반응조는 사각기둥형으로 가로 200 mm, 세로 200 mm, 높이 1,000



Figure 3. Lab Scale Reactor.

mm의 규격의 아크릴로 제작하였으며, 유입수는 용인시에 위치한 대학교 생활하수를 사용하였다. 운전 방식은 상향류 방식으로 실험하였고 2시간 간격으로 채수 및 유입수 대비 유출수의 저감 효율을 검토하였다. 선속도 실험 조건은 50 m/day, 100 m/day, 150 m/day, 200 m/day, 250 m/day로, 선속도 실험 후 여재두께 별 실험 조건은 20 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 80 cm로 설정하였다(Figure 3).

III. 결과 및 고찰

1. 상향류 및 하향류 조건에 따른 제거효율 비교 결과

실험분석 결과 본 여재는 SS, T-N, T-P 항목은 상향류 조건에서 각각 74.3%, 31.3%, 69.7%의 제거효율을 나타냈고, 하향류 조건에서 각각 72.4%, 28.1%, 62.8%의 제거효율을 나타냈다. 세 항목 모두 하향류 조건보다 상향류 조건에서 더 높은 제거효율을 보이는 것으로 나타났다.

또한, 질소의 제거 효율은 상향류 조건에서 31.3%, 하향류 조건에서 28.1%로 SS, T-P 항목에 비해 낮은 처리효율을 보였다. 부영양화의 원인 물질인 T-P와 T-N을 제거하기 위해서는 상향류 조건이 하향류 조건보다 상대적으로 유리한 것으로 보인다(Table 4).

2. 선속도 및 여재두께에 따른 제거효율 비교 결과

상향류 조건에서의 분석 결과 선속도별 실험 제거효율은 50 m/day, 100 m/day, 150 m/day, 200 m/day, 250 m/day에서 각각 SS는 51.0%, 46.6%, 43.1%, 43.8%, 40.5%, T-N은 17.0%, 21.2%, 22.3%, 17.0%, 17.8%로 나타났으며 T-P는 42.9%, 47.3%, 36.5%, 32.7%, 35.6%로 나타났다. 각 항목

Table 4. Removal efficiency according to filtration method

Parameter		SS		T-N		T-P	
		Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)	Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)	Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)
Up ward influ.	Inflow	105	74.3	7.168	31.3	0.833	69.7
	Outflow	27		4.928		0.252	
Down ward efflu.	Inflow	98	72.4	7.844	28.1	0.794	62.8
	Outflow	27		5.638		0.295	

Table 5. Removal efficiency according to filtration Linear velocity

Linear velocity		SS		T-N		T-P	
		Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)	Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)	Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)
50 m/day	Inflow	555	51.0	2.305	17.0	1.023	42.9
	Outflow	272		1.914		0.584	
100 m/day	Inflow	562	46.6	2.524	21.2	1.037	47.3
	Outflow	300		1.988		0.547	
150 m/day	Inflow	580	43.1	2.219	22.3	1.027	36.5
	Outflow	330		1.724		0.652	
200 m/day	Inflow	534	43.8	2.589	17.0	1.061	32.7
	Outflow	300		2.148		0.714	
250 m/day	Inflow	622	40.5	2.614	17.8	1.084	35.6
	Outflow	370		2.149		0.698	

Table 6. Removal efficiency according to filter media depth

Filtration		SS		T-N		T-P	
		Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)	Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)	Ave. Conc. (mg/L)	Remov. Eff. (%)
20 cm	Inflow	534	24.9	2.994	7.2	1.315	18.4
	Outflow	401		2.779		1.073	
40 cm	Inflow	622	31.2	3.169	5.1	1.271	22.9
	Outflow	428		3.006		0.980	
50 cm	Inflow	580	32.8	2.420	20.6	1.260	43.2
	Outflow	390		1.921		0.715	
60 cm	Inflow	555	47.9	2.989	22.6	1.259	50.9
	Outflow	289		2.312		0.618	
80 cm	Inflow	562	43.8	2.752	20.1	1.313	48.1
	Outflow	316		2.197		0.682	

별로 SS 50 m/day, T-N 150 m/day, T-P 100 m/day에서 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다(Table 5).

여재두께에 따른 제거효율 분석 결과 제거효율은 20 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 80 cm에서 각각 SS는 24.9%, 31.2%, 32.8%, 47.9%, 43.8%, T-N은 7.2%, 5.1%, 20.6%, 22.6%, 20.1%로 나타났으며 T-P는 18.4%, 22.9%, 43.2%, 50.9%, 48.1%로 나타났다. 각 항목별로 SS, T-N, T-P 모두 60 cm에서 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다(Table 6).

3. 최적 운전조건 연구에 대한 평가

본 연구를 통해 기능성 여재를 활용한 부영양화 영

향물질 제거의 최적의 조건을 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 실험은 유입방향에 따른 상향류와 하향류 조건, 선속도, 여재 두께에 따라 최적조건을 도출하고 성능평가 실험을 진행하였다. 그 결과 상향류 조건에서 SS, T-N, T-P 각각 74.3%, 31.3%, 69.7%의 제거효율을 보여 상향류 조건이 하향류 조건보다 더 높은 제거효율을 보였다. 선속도별 실험에서는 SS 50 m/day, T-N 150 m/day, T-P 100 m/day에서 각각 51.0%, 22.3%, 47.3%의 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났으며, 여재 두께별 실험에서는 SS, T-N, T-P 각각 47.9%, 22.6%, 50.9%의 제거효율을 보여 SS, T-N, T-P 모두 60 cm에서 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 실험조건 및 제거 목표 물질에 따라 제거 효율이 상이하기 때문에, 각각

의 조건을 선택적으로 활용해야 한다. 따라서 상향류 흐름의 60 cm 두께 여재를 바탕으로 목표 제거 물질에 따라 선속도를 조절하여 처리하는 것이 바람직하다고 판단된다. 본 연구는 부영양화 영양물질인 T-P 제거를 목표로 하므로 상향식, 선속도 T-P 100 m/day, 여재 두께 60cm가 최적의 조건이라고 판단된다. 하지만, T-N의 제거 효율이 미미하여 이에 대한 처리 효율을 높이는 방안을 모색해봐야 할 것이며 본 연구 외, 기능성 여재의 중금속 용출 실험, 인 흡착량 실험 등 추가 실험을 진행한다면 여재의 수명 및 여재교체 주기, 경제성 등을 파악 할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 결과물은 환경부의 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다. [98640]

References

- Bricker BS, Clement GC, Pirhalla ED, Orlando SP, Farrowl RGD. 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries, National Oceanic and atmospheric. Ministry of Environment, Future Bureau of Creativity, Ministry of land, Infrastructure and Transport. 2014. Multi-server Joint Planning report: Safe constant supply from algal bloom.
- Shim JH, Kim SJ, Kang MK, Lee SI. 2016. Evaluation of Magnetite-Loess Composite as a Flocculant for Phosphorus Removal, KSWST Jour WaterTreatment. 24(3): 39-48. [Korean Literature]
- Park, SG, 2013. Evaluation of Filter Media for Water Treatment Use on Slag by Melting MSWI Ash, Doctor's Thesis, Inha University, Korea. [Korean Literature]
- Kim, JA, Kim BJ, Kim TH, Kim WJ, Jang GH, Oh JM. 2016. Evaluation of Removal Efficiency of Pollutants with filter media, KSWST Jour WaterTreatment. 24(1): 27-36. [Korean Literature]
- Kim KY. 2006. A Study on Treatment for Low Concentration Waste Water Using a Polyethylene media. [Korean Literature]
- Kim BJ. 2015. Evaluation of Water Purification Ability Using Vegetation and Filter Media for Purification of the hydrosphere. [Korean Literature]
- Beaulieu SE, Sengco MR, Anderson DM. 2005. Using clay to control harmful algal blooms: deposition and resuspension of clay/algal flocs.
- Lee JH. 2004. Removal of Nitrogen and Phosphorus in Lake Water Using Wood Fiber Mat. Master's Thesis, Kangwon National University. [Korean Literature]
- Kim WI. 1993. A Study on the release and removal of phosphorus from sediments, Master's Thesis. [Korean Literature]
- Nam GS. 2002. Purification Characteristics and Hydraulic Conditions in an Artificial wetland System, KSL 35(5): 285-294. [Korean Literature]
- Kim JS, Lee JY, Kim S.J, Kang MK, Park JT. 2016. Removal of Low Ammonia Nitrogen by using Zeolite Media Applied Biological Regeneration, KSWST Jour WaterTreatment. 24(6): 3-11. [Korean Literature]
- Oh SH. 2016. The Tendency of the N Removal by Anaerobic Ammonia Oxidation Bacteria with or without Packed Media in SBR, KSWST Jour WaterTreatment. 24(2): 71-79. [Korean Literature]