

# 여재를 이용한 인공습지 유출수 추가처리

함 중 화\*<sup>+</sup> / 김 형 중\* / 김 영 경\*\*

## Further Treatment of Constructed Wetland Effluent using Filter Materials

Haam, Jong Hwa\*<sup>+</sup> / Kim, Hyung Joong\* / Kim, Yeong Kyung\*\*

**요약** : 본 연구는 인공습지 유출수를 추가처리하기 위해 다양한 재료를 이용한 추가처리시설의 적용가능성을 분석하였다. 석문담수호 유입부에 설치된 인공습지 중 무식재구, 갈대식재구, 부들식재구의 하단 배수로(폭 0.3m, 수심 0.35 m)에 각각 제강슬래그, 활성탄, 굴폐각을 이용해 1.0 m 길이로 추가처리시설을 설치하였으며, 각 후처리시설별로 유입유량을 다르게 적용하였다(제강슬래그 63 m<sup>3</sup>/day; 활성탄 19 m<sup>3</sup>/day; 굴폐각 81 m<sup>3</sup>/day). 제강슬래그, 활성탄, 굴폐각의 COD 처리율은 각각 6 %, 24 %, 1 %로 나타났으며, 제거량은 32, 30, 5 g/day로 나타나, 모든 추가처리시설에서 유기물제거에 효과적인 것으로 나타났다. T-N과 T-P의 제거효율은 활성탄에서 24 %와 4 %로 효과적이었으나, 제강슬래그 및 굴폐각에서는 효과가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 추가처리시설을 상대적으로 영양물질제거에 효과적인 인공습지와 연계하여 운영할 경우 영양물질 및 유기물을 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 인공습지, 추가처리, 제강슬래그, 굴폐각

**Abstract** : Further treatment facility using various filter materials was evaluated to treat effluent of constructed wetland. Further treatment facility was installed with 1m length in outlet of 3 constructed wetland (unplanted constructed; reed bed constructed wetland; cattail bed constructed wetland) using 3 filter materials (slag, activated carbon, oyster shell). Flow rate of three further treatment facility was 63 m<sup>3</sup>/day (slag), 19 m<sup>3</sup>/day (activated carbon), and 81 m<sup>3</sup>/day (Oyster shell). COD removal rate of slag, activated carbon, and oyster shell was 6 %, 24 %, 1 %, and removal mass was 32 g/day, 30 g/day, and 5 g/day, respectively. All of further treatment facility was effective to removal organic materials. T-N and T-P removal rate of activated carbon was 24 % and 4 %, and slag and oyster shell was not effective to remove T-N and T-P. Overall, further treatment facility was effective to remove organic mater, constructed wetland combined with further treatment facility can remove nutrient and organic matters effectively.

**Keywords** : Constructed wetland, further treatment, slag, oyster shell

### 1. 서 론

비점오염대책으로 많이 검토되고 있는 인공습지는 조건에 따라 다양한 물리, 화학, 생물학적 작용을 이용하여 독립적인 또는 복합적인 과정을 통하여 수질을 개선한다. 인공습지 유출수의 수질은 시기적으로 다양하게 변하며, 특정 시기에는

유출수 농도가 높게 나타났다(Kadlec and Knight, 1996; 함 등, 2004). 일시적으로 높은 농도의 습지 유출수가 저수지나 담수호로 유입될 경우 부영양화의 우려를 갖게 된다. 이처럼 인공습지의 처리효율이 충분히 높지 않을 경우 습지 유출수를 추가처리할 필요성이 있다(함 등, 2005; Reed et al., 1995).

<sup>+</sup> Corresponding author : drhaam@ekr.or.kr

\* 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원 · 공학박사

\*\* 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원 · 이학석사

습지 유출수의 영양염류 중에서 인 성분의 유출을 억제하기 위한 방안 중 하나로 칼슘(Ca), 철(Fe) 그리고 알루미늄(Al)과 같은 성분들을 이용해 수용성 인을 흡착 또는 침전시키는 방법이 있다. 이렇게 화학적인 처리제를 사용한 방법은 적용분야가 광범위하고 사용이 용이하며, 그 효과가 우수하여 약 20년 전부터 연구되기 시작하여 최근에는 일반화되어 있다. 특히 칼슘(Ca), 철(Fe) 그리고 알루미늄(Al)과 같은 재료들을 시중에서 구입하여 사용하는 것은 경제적으로 한계가 있다. 따라서 일반적으로 석탄재, 슬래그, 폐석고 그리고 굴폐각 등의 산업부산물을 활용하는 방안들에 대해서 많은 연구들이 수행되어왔다(한국농촌공사, 2008). 이들 산업부산물은 칼슘(Ca), 철(Fe) 그리고 알루미늄(Al)과 같은 성분을 많이 함유하고 있으며, 해안 주변에 야적되거나 공유수면에 무단 투기되어 연안여장의 오염, 고유수면 관리상의 지장, 자연경관 훼손, 및 보건위생상의 문제 등과 같은 환경문제를 초래하고 있다(이 등, 2006; 조 등, 2004). 따라서 습지 유출수내 인 저감을 위해 이러한 산업부산물들을 활용한다면 수질관리와 폐기물 재활용으로 인한 환경오염방지라는 경제적으로 유용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

제강슬래그는 석회, 이산화규소, 산화철 등이 주성분이며 이들 성분은 대개 지각 또는 천연암석을 구성하는 것으로 골재의 형상은 천연암석과 비슷하다. 제강슬래그를 이용하는 연구는 주로 연안 환경을 포함한 수권 환경 내에서 퇴적물 오염 개선에 제강슬래그를 이용하려는 연구로 일본과 호주 등지에서 이미 실용화 단계에 있다. 일본에서는 주로 오염이 심화된 폐쇄성 내만역의 퇴적물 상부에 제강슬래그를 복토함으로써 해저 퇴적물에 농축된 황화수소나 인산염의 용출을 억제하여 적조 발생을 방지하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 호주, 뉴질랜드 등에서는 주로 인공습지(CWS; Constructed Wetland System)와 강, 하천의 저층 복토재나 기반재로 제강슬래그를 이용함으로써 인 제거 효과를 노리는 응용 연구와 맹

그로브 숲의 복원을 위해 제강슬래그를 부착 기질로 활용하려는 시도가 진행 중에 있다. 국내에서도 최근에는 일부 하수처리 등에의 이용이 검토되고 있다(이 등, 2006; 조 등, 2004).

굴폐각의 주요 성분은 탄산칼슘으로 비료, 양계용 사료로 사용되고 있다. 또한 제철의 응용점 강화, 탈황불순물 제거에 이용될 수 있고 카바이트 제조, 유리 제조시 응용점 강화, 기포나 불순물 제거에 이용될 수 있으며 폐수 정화시 불순물 제거나 산성 중화에도 이용될 수 있다. 굴폐각은 다공질체로 비표면적이 커 중금속과 유기물에 대한 높은 흡착성이 기대되고 미생물이 쉽게 부착하여 성장할 수 있는 특성을 가지고 있어 중금속 흡착제나 여과제로 활용 가능성이 크다. 일부 연구자들은 굴폐각을 이용해 인을 제거하는 연구를 수행하기도 하였다.

활성탄은 목재, 코코넛 껍질, 갈탄, pitch 등의 재료를 탄화시킨 후 뜨거운 공기나 증기로 활성화시켜 제조한다. 그러므로 활성탄의 구조는 미세공이 잘 발달되고 무수한 미세 공간의 통로로 연결되어 넓은 내부표면적을 갖는 무정형 탄소의 집합체로 여러 종류의 난분해성 유기 물질, 인 및 색도 등을 흡착 제거할 수 있는 흡착제이다. 이러한 특성 때문에 활성탄은 각종 산업분야 및 환경 분야 등에서 탈색, 탈취, 정제, 회수 분리, 포집 등의 목적으로 광범위하게 사용되고 있다(강과 서, 2006; 남 등, 1999).

본 연구에서는 습지유출수를 추가처리할 목적으로 흡착 및 여과 기능을 갖는 추가처리시설을 인공습지 유출구에 설치하여 수처리 효율을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 여재

시험에 사용된 제강슬래그는 광양제철소에서 공급 받았으며, 원소 함량 및 용출시험결과는 표 1과 같다. 제강슬래그의 주요성분은 Ca>Fe>Al>

Mg>Mn>K>Na 순으로 많았으며, 중금속은 비교적 적은 양이 포함되어 있는 것으로 분석되었다. 용출시험결과 모든 항목에서 용출시험 기준 및 해역 수질 기준보다 낮게 나타나 여재로 사용하기에 안전한 것으로 나타났다. 사용한 제강슬래그의 평균 입경은 약 6 mm였다. 굴폐각의 화학조성은 표 2와 같으며, 약 94%가 CaCO<sub>3</sub>로 구성되어 있다. 굴폐각은 물에 씻어 건조된 것을 파쇄하여 지름 7±2 mm 크기로 만들어 사용하였다. 활성탄은 일반적으로 많이 사용하는 입경 5 mm 크기의 것을 사용하였다.

## 2.2 추가처리시설

시험대상 습지는 석문담수호 유입부에 설치된

인공습지 중 1번 시험포의 무식재구, 갈대식재구, 부들식재구에서 실시하였으며, 각 처리구 면적은 910 m<sup>2</sup>(13 m×70 m)이다. 인공습지 유출수에 대한 추가처리 효과를 검토하고자 배수로에 추가처리시설을 설치하였다. 준비된 재료는 1 mm 이하의 망목을 갖는 15 cm×30 cm의 그물망에 넣어 여재를 제작하였다. 제작된 여재를 이용해 그림 1과 같이 1번 시험포 하단의 배수로(폭 0.3 m, 수심 0.35 m)에 1.0 m길이로 추가처리시설을 설치하였으며, 설치 후 모습은 그림 2와 같다.

추가처리시설은 2008년 9월 8일 설치하였으며, 설치 후 1일 ~ 51일 되는 2008년 10월 29일까지 수질조사를 하였다. 각 시설별로 유입된 유량은 표 3과 같다. 실험 시작일 부터 약 8일이 되는

표 1. 제강슬래그 원소 함량 및 용출시험 결과

원소	Mn	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na
함량 (mg/kg)	888	34,913	83,803	122,570	16,098	488	345
원소	Cu	Pb	Cd	Ni	Zn	Cr	Hg
함량 (mg/kg)	15.7	34.3	2.9	20.6	22.4	24.2	ND
구 분	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr <sup>6+</sup>	CN
용출시험 기준 (mg/kg)	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5	1
용출시험 농도 (mg/kg)	<0.005	<0.01	<0.002	<0.0005	<0.002	<0.005	<0.005
해역 수질 기준 (mg/kg)	0.01	0.02	0.05	0.0005	0.01	0.05	0.01

표 2. 굴폐각의 화학조성

구 분	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub>	Cl as NaCl	Na <sub>2</sub> O	1g loss(550℃)
구성비 (%)	93.88	0.48	0.88	1.40	0.32	0.27	0.46	1.60

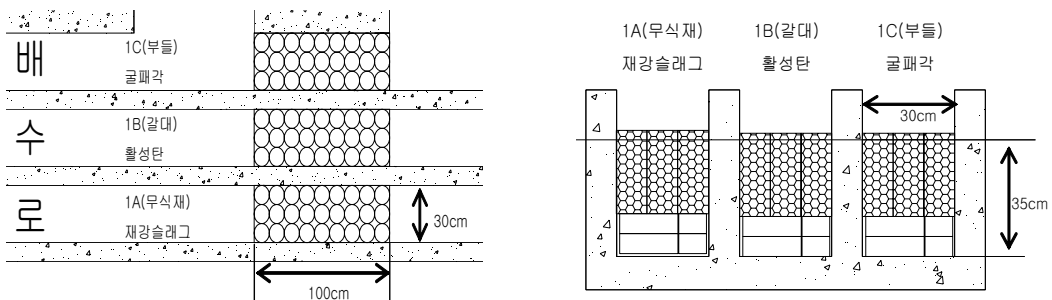


그림 1. 추가처리시설 횡단도



그림 2. 추가처리시설 설치 모습

표 3. 추가처리시설별 유입유량

구 분	1일 (‘08.9.9)	2일 (‘08.9.10)	4일 (‘08.9.12)	8일 (‘08.9.16)	16일 (‘08.9.24)	32일 (‘08.10.10)	37일 (‘08.10.15)	51일 (08.10.29)	평균(비율)
제강슬래그 (m <sup>3</sup> /day)	59	99	91	75	43	38	31	67	63 (39%)
활성탄 (m <sup>3</sup> /day)	10	18	18	12	40	20	12	18	19 (11%)
굴폐각 (m <sup>3</sup> /day)	32	54	54	50	83	175	105	92	81 (50%)

시간까지 제강슬래그 추가처리시설로 50% 이상의 유량이 유입되다가 그 후부터 유입유량이 감소하기 시작하였으며, 감소된 유량만큼 굴폐각 추가처리시설로 유입되는 유량이 증가하였다. 각 추가처리시설로 유입된 유량은 전체 유량의 39%가 제강슬래그 시설로, 11%가 활성탄 시설로, 50%가 굴폐각 시설로 유입되었다. 이처럼 각 추가처리시설로 유입되는 유량이 다른 것은 1번 시험포의 유입구로 유입된 물은 분배수로를 거쳐 각 인공습지(무식재구, 갈대식재구, 부들식재구)로 분배되어 유입되는데, 이 분배수로는 잘 운영되지 않아 불균일하게 유량이 유입된 것으로 판단된다. 각 추가처리시설에서 여재가 설치되지 않았을 경우 추가처리시설별 체류시간은 제강슬래그 110

초, 활성탄 380초, 굴폐각 95초로 나타났으며, 제강슬래그, 활성탄, 굴폐각 여재를 설치할 경우 공극비를 고려한 체류시간은 설치되지 않았을 때의 약 30% 이하일 것으로 추정된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 여재별 추가처리 효율

2008년 9월 8일부터 2008년 10월 29일까지 운영된 추가처리시설의 유입수 농도, 유출수 농도 및 처리율은 표 4와 같다. 모든 추가처리시설에서 COD에 대해서는 약간의 수질개선을 보인 반면, 질소와 인의 경우 유입유량이 가장 적었던 활성탄을 이용한 추가처리시설에서만 수질이 개선되었다.

표 4. 2008년 추가처리시설 처리 효율

	제강슬래그			활성탄			굴폐각		
	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
유입수 농도 (mg/L)	9.0	0.47	0.097	7.8	0.35	0.112	7.2	0.39	0.085
유출수 농도 (mg/L)	8.3	0.47	0.109	6.0	0.27	0.107	7.1	0.42	0.087
처리율 (%)	6	0	-12	24	24	4	1	-6	-3

표 5. 2008년 추가처리시설 제거량

	제강슬래그			활성탄			굴폐각		
	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
유입 부하량 (g/day)	550.1	30.2	6.38	149.5	7.1	2.21	541.8	31.0	6.50
유출 부하량 (g/day)	518.2	30.8	7.13	119.7	5.6	2.11	537.0	33.1	6.72
처리량 (g/day)	31.9	-0.6	-0.75	29.8	1.5	0.10	4.8	-2.1	-0.22

활성탄을 이용한 처리구에서만 질소와 인의 정화 효과를 얻은 것이 다른 처리구에 비해 적은 유량이 유입되었기 때문인지 아니면 활성탄이 타 재료에 비해 질소 및 인 제거에 큰 효과가 있기 때문인지에 대해서는 본 연구 결과만을 이용해 결론 내리기는 어렵다. 향후 동일한 인공습지 유출수를 이용해 여재별 동일한 유량을 적용하는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 활성탄을 이용한 추가처리시설을 설치한 곳에서 갈대습지의 유출수가 약 2분 동안 체류하면서 COD와 T-N이 평균 약 24 % 처리되었고, T-P도 평균 약 4 %의 정화효과가 있는 것으로 나타났다.

추가처리시설별 오염물질 제거량을 산정한 결과는 표 5와 같다. COD의 처리율은 활성탄 추가처리시설(24 %)이 제강슬래그 추가처리시설(6 %)보다 훨씬 높게 나타난 반면, 제거량은 제강슬래그 추가처리시설(31.9 g/day)이 활성탄 추가처리시설(29.8 g/day)보다 약간 높게 나타났다. 이는 제강슬래그 추가처리시설이 처리율은 낮았지만, 유량이 약 3배 이상 많이 공급되어 제거량이 더 많은 것으로 나타났다. COD를 제외하고는 T-N 및 T-P 모두 추가처리시설에 의한 오염물질 제거량이 매우 적은 것으로 나타났다. 이를 통해 추가처리시설이 인공습지 유출수의 COD를 추가처리하는데 효과적임을 알 수 있다.

갈습을 많이 포함하고 있어 인 제거에 효과적일 것으로 기대했던 굴폐각은 전체적으로 수처리 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 다른 연구자들은 굴폐각을 1 mm 이하로 파쇄하거나, 550℃

에서 회화시켜 분말을 만들어 고농도 저유량의 하폐수처리에 이용해 정화효과를 얻을 수 있던 반면, 본 연구에서는 건조된 굴폐각을 파쇄하여 지름 7±2 mm 크기로 만들어 사용하였는데, 입자가 너무 크고 유입유량이 너무 많아 정화효과가 낮게 나타난 것으로 생각된다. 그러므로 고유량 저농도의 습지 유출수를 굴폐각을 이용해 추가처리하는 것은 큰 효과가 없을 것으로 판단되며, 입자를 1 mm이하로 작게 파쇄하여 저유량 저농도에서 이용할 경우 일부 효과를 얻을 수 있으나, 적용성이 좋지 않을 것으로 판단된다.

추가처리시설은 당초 인을 추가처리할 목적으로 철분 및 칼슘을 많이 포함하는 재료를 선정하여 설치하였으나, 전체적으로 인보다는 유기물 제거에 더 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구에 이용된 여재를 이용할 경우 흡착작용보다는 여재에 부착된 미생물에 의해 유기물과 질소가 처리되는 것으로 나타났다. 특히, 습지 유출수에는 상대적으로 유기질소가 높은 비율을 차지하여, 추가처리시설을 통과하면서 여과침전되어 질소와 유기물이 동시에 처리된 것으로 판단된다.

제강슬래그의 경우 COD가 일부 제거되어 정화 효과를 얻었지만, 활성탄에 비해서는 낮은 값을 나타냈다. 일부는 재료 자체의 차이에 의한 결과이기도 하지만, 일부는 제강슬래그 추가처리시설에 많은 유량이 유입된 반면, 제강슬래그 입경이 작고 습지 유출수에 포함된 식물사체 및 부착조류와 같은 입자상물질에 의해 입자간의 공극이 막혀 대부분의 유입수가 제강슬래그 여재를 월류하여

여재 상단으로 흐르면서 처리율이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 유입유량이 적었던 활성탄의 경우 전체 길이의 2/3까지만 물이 월류한 후 여재 내부의 공극으로 물이 흐른 반면, 제강슬래그와 굴폐각은 전 구간에 걸쳐 습지 유출수가 월류하였다. 습지 유출수가 월류하는 문제를 해결하기 위해서는 유입유량을 줄이거나 사용된 여재의 입경을 증가시켜야 한다. 습지 유출수를 처리할 경우 유입유량을 활성탄 추가처리시설에 적합한 유량만큼 줄이는 방법은 좋지 않을 것으로 생각되며, 이보다는 입자의 크기를 증가시키는 것이 좋을 것이라 판단된다. 제강슬래그의 경우 입자의 크기를 증가시키더라도 내부에 충분한 공극이 존재하여 습지처리수 내의 유기물 및 영양물질을 제거하는데 효과가 있을 것으로 생각되지만, 굴폐각의 경우 입경을 크게 할 경우 습지 유출수가 월류하지는 않지만 정화효과는 없을 것으로 판단된다.

### 3.2 조합형 인공습지 시스템 처리효율

인공습지와 추가처리시설을 조합한 전체 시스템의 수질 변화는 그림 3과 같다. COD의 경우 무식재인공습지를 통과하면서 농도가 증가하였으나,

제강슬래그를 이용해 추가처리한 결과 6%의 수질이 개선되어 무식재인공습지-제강슬래그 시스템의 전체 처리효율은 유입수보다 약간 높은 -3%를 나타냈다. 갈대인공습지-활성탄 시스템에서 갈대인공습지를 거치면서 약간의 수질개선을 보인 반면, 활성탄여재를 이용한 추가시설을 통과하면서 수질이 크게 개선되었다. 갈대인공습지-활성탄 시스템에서 인공습지보다 활성탄 여재가 COD 제거에 더 큰 역할을 하였다. 부들인공습지-굴폐각 시스템에서 부들인공습지 및 굴폐각 추가처리시설 모두 COD의 수질개선 효과가 나타났다.

활성탄 여재를 이용한 추가처리시설에서 T-N이 추가처리되어 갈대인공습지-활성탄 시스템의 처리효율이 약 4% 증가 하였다. 다른 조합형 인공습지 시스템에서는 추가처리시설에 의한 T-N의 수질개선은 크게 나타나지 않았다. T-P의 경우 갈대인공습지-활성탄 시스템에서 활성탄을 이용한 추가처리시설에 의해 약간의 수질개선을 보인 반면, 나머지 시스템에서는 추가처리시설을 거치면서 농도가 약간 높아졌다. 그러나 추가처리시설에 의한 수질변화는 전체 시스템에 큰 영향을 주지는 않는 것으로 나타났다.

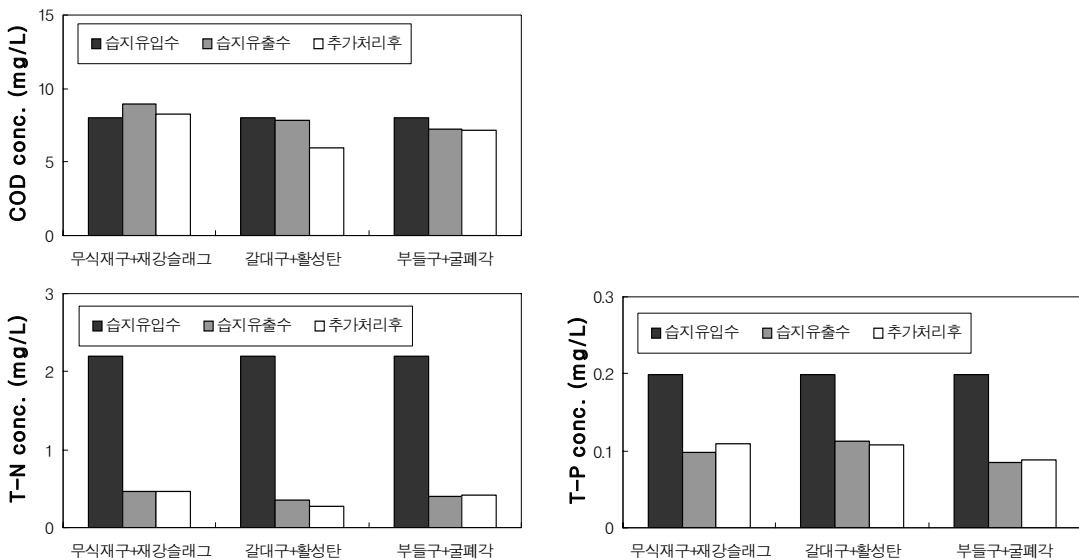


그림 3. 조합형 인공습지 시스템별 농도변화

표 6. 조합형 인공습지시스템 정화효율

구 분	정화효율(%)		
	COD	T-N	T-P
무식재 + 제강슬래그 시스템	-3	79	45
갈대 + 활성탄 시스템	26	88	46
부들 + 굴폐각 시스템	11	81	56

인공습지와 추가처리시설을 결합한 전체 조합형 인공습지시스템의 정화효율은 표 6과 같다. 인공습지 유출수를 추가처리하기 위해 조합형 인공습지 시스템을 도입한 결과 COD정화효율은 갈대인공습지-활성탄 시스템이 26 %, 부들인공습지-굴폐각 시스템이 11 %의 정화효율을 보였다. 또한 갈대인공습지에서 84 %였던 T-N의 처리율이 배수로에 활성탄을 이용한 추가처리시설을 설치하여 추가처리한 결과 전체 T-N의 처리율이 88 %로 향상되었다. 부들인공습지-굴폐각 시스템의 T-P 정화효율은 56 %로 3가지 조합형 인공습지 시스템중 제일 높게 나타났다.

이상의 결과로부터 습지 유출수를 추가처리할 목적으로 제강슬래그, 활성탄 및 굴폐각을 이용할 경우 인공습지와 달리 유기물제거에 큰 효과가 나타났다. 여재 중 활성탄이 제일 효과적인 것으로 나타났으며, 굴폐각은 본 연구에서와 같이 큰 입경의 여재를 저농도·고유량에 적용할 경우 정화효과가 매우 낮은 것으로 나타났다. 제강슬래그의 경우 유기물과 질소에 대해 낮은 처리효율을 나타냈지만, 입경을 증가시키고 여재설치 구간을 길게 하고, 유량을 줄일 경우 충분히 추가처리시설로서 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 활성탄의 경우 처리율이 제일 높게 나타났으나, 저농도·고유량인 습지 유출수를 추가처리할 목적으로 현장에 설치할 경우 경제성 분석이 필요할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 인공습지 유출수를 추가처리할

목적으로 제강슬래그, 활성탄, 굴폐각 여재를 이용한 추가처리시설을 설치 후 얻은 결과를 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 활성탄을 이용한 추가처리시설에서 갈대습지의 유출수가 추가처리시설을 통과하면서 COD와 T-N이 평균 24 % 처리되었고, T-P도 평균 4 % 처리되었다.
2. 활성탄을 이용한 추가처리시설에 비해 3배 이상 많은 유량이 유입되었던 제강슬래그와 굴폐각을 이용한 추가처리시설에서는 COD가 각각 6 %, 1 % 처리되었고, T-P는 각각 -12 %, -3 %로 수질이 악화되었다.
3. 고농도·저유량에서 높은 인 처리효율을 얻었던 기존연구와 달리, 저농도·고유량에서는 대부분의 여재에서 인 처리효율이 낮거나 오히려 유출수의 농도가 높아지는 결과가 나타났다.
4. 활성탄을 이용한 추가처리시설 이외에는 모두 유량이 많이 유입되어 여재 사이로 물이 흐르지 못하고 대부분 여재위로 월류하여 상대적으로 낮은 처리효율을 나타냈다.
5. 인공습지와 추가시설을 연계한 전체 시스템에서 처리효율은 COD의 경우 활성탄 및 제강슬래그를 이용한 추가처리시설에서 인공습지에서보다 더 높은 수질개선효과를 얻을 수 있었으나, T-N과 T-P의 경우 모든 추가처리시설에서 추가처리시설에 의한 수질개선효과는 인공습지에 비해 매우 낮았다.
6. 추가처리시설별 COD 제거량을 산정한 결과 처리효율과 반대로 제강슬래그 (32 g/day)에서 활성탄 (30 g/day)보다 높은 제거량을

나타냈다.

- 7. 이상의 결과로부터 추가처리시설을 이용해 습지유출수를 추가처리할 경우 유기물 추가 처리에 큰 효과가 있으며, 인공습지와 추가 처리시설을 연계 적용할 경우 영양물질과 유기물질을 동시에 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

강준원, 서정범. (2006) 활성탄의 인 흡착 특성에 관한 동력학적 연구, 대한상하수도학회·한국물 환경학회 학술발표회 논문집, pp. 128-134.

남범식, 이영호, 조무환. (1999) 회전생물활성탄 (RBAC) 공정을 이용한 질소인의 동시 제거, 한국생물공학회지, Vol 14(5), pp. 606-610.

이방희, 문병현, 조인철. (2006) 굴 폐각과 제올라이트를 이용한 P 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거, 한국환경 분석학회지, Vol. 9(1), pp. 55-62.

조준형, 조정원, 이용원, 임택준. (2004) 굴폐각을 이용한 제지폐수 처리, 종이펄프기술, Vol. 36(4), pp. 60-66.

한국농촌공사. (2008) 담수호 수질개선시험조사 및 실용화 보고서.

함종화, 윤춘경, 구원석, 김형철, 신현범. (2004) 인공습지를 이용한 하구담수호 유입하천수 수질개선 현장실험 결과 분석, 한국농공학회지, Vol. 46(5), pp. 141-153.

함종화, 윤춘경, 구원석, 김형철, 신현범. (2005) 자유수면형 인공습지에 의한 저농도 고유량의 하천수질개선 효과 분석, 한국농공학회지, Vol. 47(1), pp. 79-91.

Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996) Treatment Wetlands, Lewis publisher, New York, pp. 415-442.

Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J. (1995) Natural Systems for Waste Management(2nd ed.), McGraw-Hill, New York, pp. 173-284.

- 논문접수일 : 09년 03월 13일
- 심사의뢰일 : 09년 03월 31일
- 심사완료일 : 09년 06월 26일