

Mattress/Filter 채움재의 공극률에 따른 하천수질 개선효과

Effects of Water Quality Improvement by Porosity of Fill Materials
in Mattress/Filter System

고진석* · 이승윤** · 허창환*** · 지홍기****

Ko, Jin Seok · Lee, Sung Yun · Heo, Chang Hwan · Jee, Hong Kee

Abstract

Water quality improvement in mattress/filter system using porous material like slag from industrial activity and zeolite that has been studied for environment improvement and pollution abatement is very useful in polluted stagnant stream channel. Slag is consisted of CaO, SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. Slag with large specific surface area of porosity has been used such as sludge settling and adsorptive materials. Because slag is porous, it can be used for purification filter. As slag is used as filled materials of mattress/filter system and the system has good advantages for the waste water treatment, water recycling, and the improvement of water quality at the same time and so on. Because zeolite has much advantage of cation exchange, adsorption, catalyst and dehydration characteristics, It is used for environment improvement of livestock farms, treatment of artificial sewage and waste water, improvement of drinking water quality, radioactive waste disposal and radioactive material pollution control. In this study, according to verifying effects of water quality improvement of fill materials by porosity that 38.6%, 45.8% and 49.8% respectively in the stagnant stream channel, water quality monitoring of inflow and outflow was conducted on pH, DO, BOD, COD, SS, T-N and T-P. Mattress/filter system was able to accelerate water quality improvement by biofilter as waste water flows through gap of mattress/filter fill materials and by contact catalysis, absorption, catabolism by biofilm. Mattress/filter system used slag and zeolite forms biofilm easily and accelerates adsorption of organic matter. As a result, mattress/filter system increases water self-purification and accelerates water quality improvement available for stream water clean-up

Keywords : mattress/filter, slag, zeolite, water quality improvement, porosity, biofilm

요 지

산업활동으로 인해서 발생하는 제강슬래그와 최근 선진국에서 환경개선 및 오염방지를 위한 용도로 활용하고자 활발히 연구되고 있는 제올라이트 등의 다공성 재료를 오염된 하천의 정체수역에 설치하여 저비용으로 수질을 개선시킬 수 있는 기법은 폐기물의 재이용 측면과 하천수질개선 측면에서 매우 필요하다. 현재 제철소에서 발생하는 부산물인 제강슬래그의 화학적 성분은 주로 CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 이루어져 있으며, 침전유발물질 및 흡착성물질이 함유되어 있다. 제강슬래그는 다공질 형태의 비표면적을 가지고 있어서 정화용 필터나 흡착제로 이용하기에 좋은 이점을 지니고 있다. 그리고 제올라이트는 양이온 교환특성, 흡착특성, 촉매특성, 탈수 및 재흡수특성 등의 이점을 지니고 있어서 축산농가의 환경개선, 도시의 생활하수의 처리, 공업폐수 처리, 음료수 수질개선, 방사성폐기물 처리 및 방사성 물질의 오염방지 등에 응용되고 있다. 그러므로 제강슬래그나 제올라이트를 Mattress/Filter의 채움재 및 수질정화용 여재로 활용함으로써 수질개선 등 효과를 동시에 얻을 수 있다. 본 연구에서는 제강슬래그와 제올라이트가 정체수역에 설치되는 Mattress/Filter시스템의 채움재로 활용할 때 공극률에 따른 수질개선효과를 파악하기 위하여 공극률을 38.6%인 P1, 45.8%인 P2 및 49.8%인 P3로 변화시켜 각각의 유입수와 유출수의 pH, DO, T-N, T-P 등을 측정하여 비교하였다. 수질개선에 사용된 Mattress/Filter시스템은 오염된 하천수가 Mattress/Filter시스템의 공극사이를 통과하면서 채움재에 형성된 다공질에 의한 여과작용과 생물막에 의한 접촉작용, 흡착작용 및 생물분해작용 등을 촉진시키는 기능을 가지고 있음을 알 수 있었다. 제강슬래그 및 제올라이트를 채움재로 사용한 Mattress/Filter 시스템은 쉽게 생물막을 형성시키고 유기물의 흡착을 촉진시켜 오염물질을 정화하는데 필요한 자정작용의 효과를 증대시키고 수질개선을 촉진시킬 수 있는 자연환경에서 하천정화에 이용될 수 있는 시스템임을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : Mattress/Filter, 제강슬래그, 제올라이트, 수질개선, 공극률, 생물막

*정회원 · 영남대학교 건설환경공학부 박사과정(E-mail: springtime@yumail.ac.kr)

**구주대학교 토목공학과 연구원(E-mail: seungyon@civil.kyushu-u.ac.jp)

***정회원 · 영남대학교 한국환경정책평가연구원 연구원(E-mail: chheo@umail.ac.kr)

****정회원 · 영남대학교 건설환경공학부 교수(E-mail: hkjee@yu.ac.kr)

1. 서 론

산업활동으로 인해서 발생하는 제강슬래그와 최근 선진국에서 환경개선 및 오염방지를 위한 용도로 활용하고자 활발히 연구되고 있는 제올라이트 등의 다공성 폐기물을 오염된 하천의 정제수역에 투입시켜 저비용으로 수질을 개선시킬 수 있는 기법은 폐기물의 재이용 측면과 하천수질개선 측면에서 매우 필요하다. 자연하천에서 하상재료는 오염물질을 제거하는데 매개체 역할을 하게 되는데 하천에서 오염물질은 희석, 확산, 침전, 흡착 등의 물리적 작용과 산화, 환원, 분해, 응집 등의 화학적 작용 및 미생물에 의한 섭취, 산화, 분해 등의 생물학적 작용에 의해 분해된다. 최근 국내에서 오염하천 정비사업이나 자연형 하천정비를 추진할 때 하천에 저류지, 우수지 및 인공습지를 조성하여 오염하천수를 자연생태적으로 정화하는 기법에 관심이 증대되고 있다. 이러한 시점에서 Mattress/Filter의 채움재로 제강슬래그나 제올라이트가 접촉재 역할을 하게 함으로써 부차생물량을 증가시키고 부차생물에 의해 오염물질을 흡착시켜 자연상태의 자정작용을 촉진시킬 수 있다.

오염하천에 제강슬래그를 사용함으로써 주변 환경에 미치는 영향을 분석한 결과 제강슬래그로부터 유출되는 중금속 및 비금속원소의 양은 극히 적었고 하천에 이용될 경우 수중 식물에 의해서 흡수가 이루어져 수질이 개선되는 등 비교적 2차 오염문제가 적은 것으로 나타났다(지흥기 등, 2003). 채움재의 재활용은 경제적 산업적으로 큰 효과가 있을 것으로 판단되고 환경적으로 안정성을 증명하고자 이 분야의 많은 연구가 이루어져 왔으며(한기현, 1998), 특히, 이들 재료가 지니고 있는 물리적·화학적 특성을 이용하여 유기물이나 중금속 등의 제거효과에 대한 연구가 많이 진행되었다(김우호 등, 1998). 하상용 Mattress/Filter 시스템을 Pilot Plant로 대구광역시 지방 2급하천인 범어천에 설치하고 시스템의 Core Filter재료를 자갈, 제강슬래그, 모래 및 투수성 부직포로 달리하여 적용하고 이 때 Core Filter의 재료에 따른 수질개선 효과를 분석하였으며, 이 시스템을 통한 수중 수질개선 Monitoring시스템 운영 및 평가기법을 개발하였다(지흥기 등, 2003, 2004, 2005). 또한 제강슬래그를 이용한 수질정화기술에 대해서도 많은 연구가 이루어졌으며(김태희, 2000; 정동양, 2004), 오염물질의 제거에 탁월한 능력이 있음이 확인되었다. 그리고 하상용 및 호안용 Mattress/Filter 채움재로 제강슬래그를 이용함으로써 제강슬래그의 다공성, 미생물막 형성 등으로 인해서 수질개선의 효과를 볼 수 있었다(배상수 등, 2002; 지흥기 등, 2003).

한편 제올라이트의 수질환경 개선에 대한 연구를 살펴보면, 인공습지의 여재로 활용 가능성을 평가하고 유기물, 인 및 질소 등의 제거효율을 분석한 바 있으며(서정운, 2002), 천연 제올라이트의 수질환경 개선용 기능성 소재로 활용가능성을 살펴보기 위하여 양이온 교환특성과 중금속 흡착특성을 분석하여 그 효용성을 확인하였다(노진환, 2003).

현재 제철소에서 발생하는 제강슬래그의 화학적 성분은 주로 CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 이루어져 있으며, 침전 유발물질 및 흡착성 물질이 공존하고 있다. 그리고 제올라이트의 화학적 성분은 SiO₂, Al₂O₃이 대부분을 차지하고

있고 CaO, MgO, K₂O, Na₂O 및 Fe₂O₃이 소량 포함되어 있다. 이들은 다공질 형태의 비표면적을 가지고 있어서 정화용 필터로 이용하기에 좋은 이점을 지니고 있다. 그러므로 제강슬래그나 제올라이트를 Mattress/Filter 채움재 및 수질정화용 여재로 활용하면 폐기물처리, 자원 재활용 그리고 수질개선의 세 가지 효과를 동시에 얻을 수 있는 방법이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 채움재의 공극률에 따른 수질개선효과를 분석하기 위하여 하천수의 수질정화에 사용할 여재로 제강슬래그와 제올라이트를 Mattress/Filter의 채움재로 이용하고 배수시스템으로는 개거형태의 접촉여과장치를 설치하였으며, 정화여재로서 채움재의 특성 및 적합성을 검토하여 하천수질 개선효과를 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

Mattress/Filter의 채움재의 공극률을 추정하기 위해서 굵은 골재를 입경별로 체가름하여 골재의 단위용적중량, 함수량을 측정하여 공극률을 산정하였다. 표 1에 입경별 공극률을 나타내었으며, No.9를 기준으로 두 가지의 골재를 중량비 1:1로 조합한 실측조합공극률을 나타내었다. 조합공극률의 실측치를 바탕으로 식(1)을 제안한 바 있으며(권혁문 등, 2003), 본 연구에서는 식(1)을 이용하여 조합공극률을 계산할 수 있다.

$$\text{조합공극률(골재중량비 1:1)} = A - \frac{(B-A)^3}{3 \times (b-a)} \quad (1)$$

표 1. 입경별 공극률, 실측조합공극률 및 계산조합공극률

Series	골재치수 (mm)	입경별 공극률	실측조합공극률 (Series 9 기준)	계산조합공극률 (Series 9 기준)
1	3.35~4.00	37.9	32.2	32.5
2	4.00~4.75	38.4	-	34.0
3	4.75~5.60	38.8	35.1	34.8
4	5.60~6.70	39.6	-	36.9
5	6.70~8.00	39.8	37.2	37.2
6	8.00~9.50	41.1	-	40.0
7	9.50~13.20	42.1	41.2	41.5
8	13.20~16.00	43.6	42.8	43.6
9	16.00~19.00	44.2	44.2	44.2

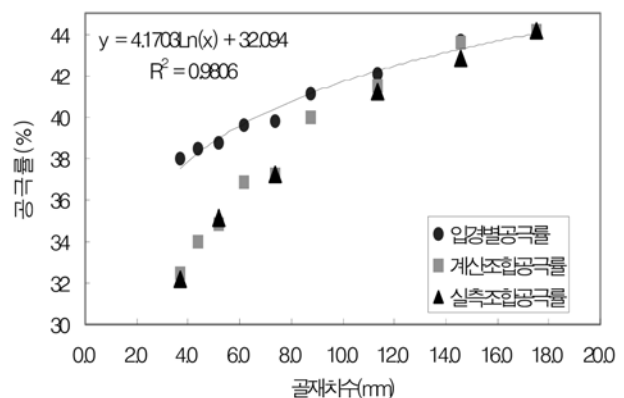


그림 1. 공극률 회귀식

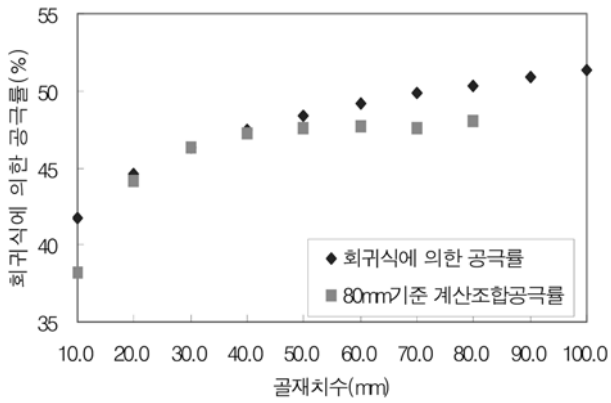


그림 2. 회귀식에 의한 공극률 및 80 mm 골재기준 계산조합공극률

- A : 작은 입경 공극률,
- a : 작은 골재 입경,
- B : 큰 입경 공극률,
- b : 큰 골재 입경

채움재의 입경 10.0, 20.0, ..., 80.0 mm에 대한 공극률을 추정하기 위하여 추세곡선식을 유도하였다(그림 1). 이 추세곡선식에 의한 각각의 입경에 따른 공극률과 식 (1)을 이용하여 입경 80 mm를 기준으로 계산조합공극률을 그림 2에 나타내었다.

본 실험에는 80 mm와 10 mm를 중량비 1:1로 혼합한 P1, 80 mm와 30 mm를 혼합한 P2 및 80 mm와 70 mm를 혼합한 P3인, 세 가지 공극률을 가진 제강슬래그와 제올라이트를 사용 하였으며, 각각의 혼합공극률이 38.6%, 45.8% 및 49.8%로 산정되었다.

2.2 실험장치

본 연구에서는 정화여재의 공극률에 따른 수질변화를 분석하기 위하여 실내실험장치를 표 2와 같은 제원으로 제작하였다. 이 장치의 제원은 L=15.0 m, W=1.0 m(각각 0.5 m), H=0.5 m로 수표면적이 7.5 m²인 실내수로에서 전반부를 막아 저류조를 설치하였으며, 정화여재를 0.3 m가 되도록 수로 내 바닥에 평평하게 포설하였다(그림 3).

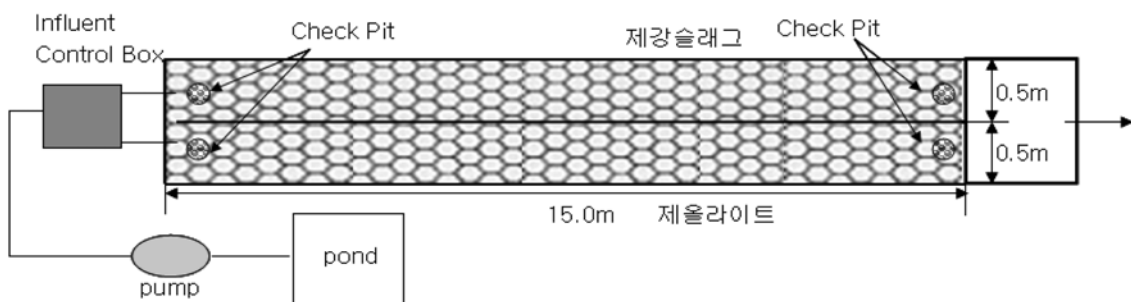
정화여재의 공극률에 따른 수질변화를 조사하기 위하여 제강슬래그와 제올라이트의 공극률이 P1, P2 및 P3가 되게 각각 설치하였으며, 실험수로에서 유입수의 양을 조절할 수 있는 유입수 조절박스를 설치하여 유량은 약 15.0 m³/day로 수리학적 체류시간(HRT, Hydraulic Retention Time)이 1.5 hr이 되도록 하였다. 유입부와 유출부에 Check Pit를 설치하여 수질측정을 쉽게 할 수 있도록 하였으며, 시스템의 수위를 조절할 수 있도록 유출부에 높이 0.3 m가 되는 위어(Weir)를 설치하였다.

2.3 실험방법

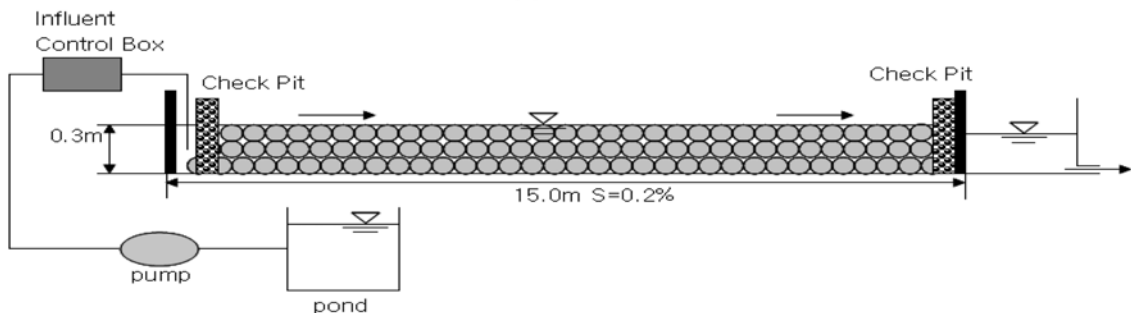
본 연구에서는 영남대학교 캠퍼스내에 있는 삼천지의 원수를 본 Mattress/Filter시스템에 통과시켜 수질개선 효과를 실험하였다. 그리고 Mattress/Filter시스템의 채움재로 제강슬래그와 제올라이트를 활용한 정체수역에서 공극률에 따른 정화특성을 조사하기 위하여 유입수와 유출수의 수질변화를 측정하여 비교하였다. 수질개선을 위한 Mattress/Filter시스템의 기본개념은 하천의 오염된 물이 Mattress/Filter의 공극사이를 통과하면서 채움재에 형성된 생물막이 수질개선과정에서 나타나는 접촉작용, 생물 흡착작용, 생물산화에 의한 분해작용

표 2. 실내실험에 사용된 실험수로의 제원

구분	수로길이 (L, m)	수로폭 (W, m)	수표면적 (A, m ²)	수로높이 (H, m)	여재깊이 (H _m , m)	공극률 (%)	체류시간 (HRT, hr)	유입량 (m ³ /day)	유속 (cm/sec)
실내실험 장치	15.0	1.0 (각각 0.5)	7.5	0.5	0.3	38.6, 45.8, 49.8	1.5	15.0	0.28



(a) 평면도



(b) 측면도

그림 3. 실내실험 장치

표 3. 삼천지에 유입된 원수의 월별 수질실험 자료

날짜	항목	수온 (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
5월1일~5월6일		18.4	8.1	7.2	12.0	22.3	18.9	1.7	0.5
5월9일~5월14일		18.5	8.2	6.9	11.4	24.0	20.8	1.5	0.7
5월17일~5월22일		19.0	8.2	7.0	10.8	24.1	21.5	1.4	0.6

※각각의 수질실험치는 5월 1일부터 6일간 실험한 값의 평균임.

등을 촉진시키도록 하였다.

실내 실험장치에 사용된 유입수는 삼천지에서 채취하여 실험에 사용하였으며, 2005년 5월에 이 곳에서 채취한 원수를 각 정화여재 설치구간의 상류부에 투입하였으며, 공극률을 다르게 한 P1, P2 및 P3의 경우에 대하여 5월 1일~10일, 5월 11일~20일 및 5월 21일~30일로 하여 실험을 수행하였다. 이 때 대표적인 수질은 표 3과 같으며, 이 기간 동안 수질변동의 폭은 매우 작은 것으로 나타났다.

유속이 느린 경우 생물막의 형성은 2일 후부터 시작된다.

따라서 시스템 가동 약 2일 전에 생물막 형성을 유도하기 위하여 삼천지의 유입수를 투입하고 영양염류를 첨가하였다. 이 시스템에서 수질측정은 유입부와 유출부에서 실시하였으며, 그 측정은 2005년 5월1일~5월22일에 걸쳐서 실시하고 공극률에 따른 P1, P2 및 P3의 경우에 대하여 총3회 분석하였다. 각 경우에 실시한 유입부와 유출부의 수질분석은 3회 샘플을 채취하여 측정된 값을 평균하였으며, 1일 간격으로 6일 동안 측정하였다. 분석항목은 온도, pH, DO, BOD, COD, SS, T-N 및 T-P이며, 수질분석은 수질오염공정시험법

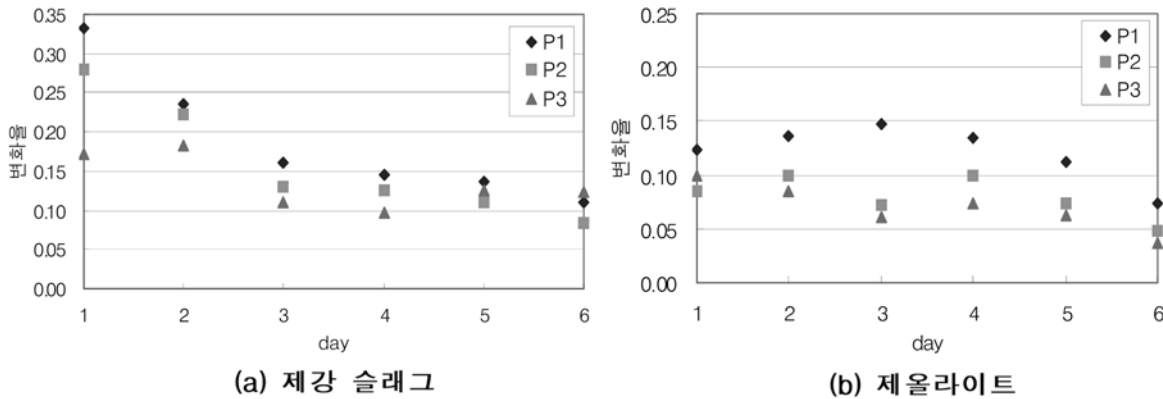


그림 4. pH 변화율

표 4. 유입수와 유출수의 pH 변화

구분			pH					
			1일	2일	3일	4일	5일	6일
제강슬래그	P1	유입수	8.1	8.1	8.1	8.2	8.0	8.2
		유출수	10.8	10.0	9.4	9.4	9.1	9.1
		변화율	0.33	0.23	0.16	0.15	0.14	0.11
	P2	유입수	8.2	8.1	8.4	8.0	8.2	8.3
		유출수	10.5	9.9	9.5	9.0	9.1	9.0
		변화율	0.28	0.22	0.13	0.13	0.11	0.08
	P3	유입수	8.2	8.2	8.2	8.2	8.0	8.1
		유출수	9.6	9.7	9.1	9.0	9.0	9.1
		변화율	0.17	0.18	0.11	0.10	0.13	0.12
제올라이트	P1	유입수	8.1	8.1	8.1	8.2	8	8.2
		유출수	9.1	9.2	9.3	9.3	8.9	8.8
		변화율	0.12	0.14	0.15	0.13	0.11	0.07
	P2	유입수	8.2	8.1	8.4	8.0	8.2	8.3
		유출수	8.9	8.9	9.0	8.8	8.8	8.7
		변화율	0.09	0.10	0.07	0.10	0.07	0.05
	P3	유입수	8.1	8.2	8.3	8.2	8.1	8.1
		유출수	8.9	8.9	8.8	8.8	8.6	8.4
		변화율	0.10	0.09	0.06	0.07	0.06	0.04

에 의하여 실시하였다.

으로 판단된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 pH 특성

유입수를 제강슬래그와 제올라이트 시스템에 통과시킨 후 공극물에 따른 유출수의 pH변화는 표 4와 같았으며, pH의 변화율은 그림 4에 나타내었다. 제강슬래그의 경우 유출수의 pH는 수질측정 3일 후부터는 9.0~9.4사이로 안정하게 변화하였으며, 공극물이 작을수록 pH가 높게 나타났다. 제올라이트의 경우 pH의 증가는 제강슬래그보다 작게 나타났다. 제강슬래그와 제올라이트에서 모두 공극물이 작을수록, 원수와 접촉하는 면적이 많을수록 pH의 변화율이 높게 나타났다. 제강슬래그와 제올라이트 자체에 존재하는 CaO 등의 무기염류가 강알칼리성을 나타내므로 물과 반응하여 pH가 높아진 것으로 판단되며, 본 실험에 사용된 제강슬래그가 제올라이트보다 무기염류의 함유량이 높은 것

3.2 DO 특성

유입수가 제강슬래그와 제올라이트 시스템을 통과한 후 공극물에 따른 유출수의 DO 농도는 표 5와 같았고 농도 변화율은 그림 5와 같이 나타내었다. 제강슬래그의 경우 P1, P2 및 P3에 대한 DO 농도 감소율은 각각 4%, 2% 및 2%로 나타났으며, 제올라이트의 경우 각각 4%, 3% 및 2%로 나타나 공극물이 감소할수록 DO 농도의 감소율이 크게 측정되었다. 그 이유는 채움재의 생물막을 통과하는 과정에서 미생물에 분해작용 때문인 것으로 판단된다.

3.3 BOD 특성

제강슬래그와 제올라이트 시스템에서 공극물에 따른 BOD 농도의 변화는 표 6에 나타내었으며, BOD 농도의 처리효율은 그림 6과 같았다. 여기서, 제강슬래그의 경우 P1, P2 및 P3에 대한 BOD 농도 처리효율은 각각 50%, 47% 및

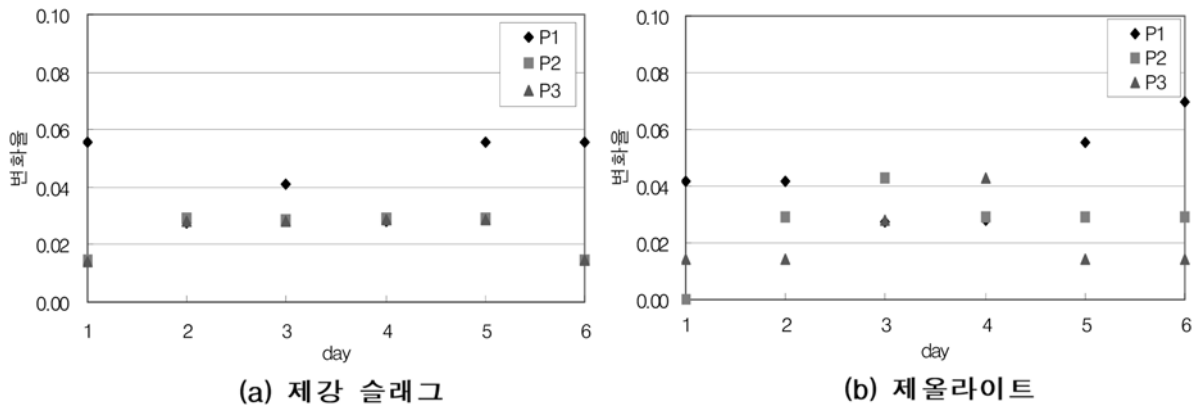


그림 5. DO 농도 변화율

표 5. 유입수와 유출수의 DO 농도변화

구분			농도(mg/L)					
			1일	2일	3일	4일	5일	6일
제강슬래그	P1	유입수	7.2	7.2	7.3	7.1	7.2	7.2
		유출수	6.8	7.0	7.0	6.9	6.8	6.8
		감소율	0.06	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06
	P2	유입수	6.8	6.9	7.0	6.9	6.9	6.8
		유출수	6.7	6.7	6.8	6.7	6.7	6.7
		감소율	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01
	P3	유입수	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	6.9
		유출수	7.0	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8
		감소율	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01
제올라이트	P1	유입수	7.2	7.2	7.3	7.1	7.2	7.2
		유출수	6.9	6.9	7.1	6.9	6.8	6.7
		감소율	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.07
	P2	유입수	6.8	6.9	7.0	6.9	6.9	6.8
		유출수	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6
		감소율	0.00	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
	P3	유입수	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	6.9
		유출수	7.0	7.0	6.9	6.7	6.9	6.8
		감소율	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01

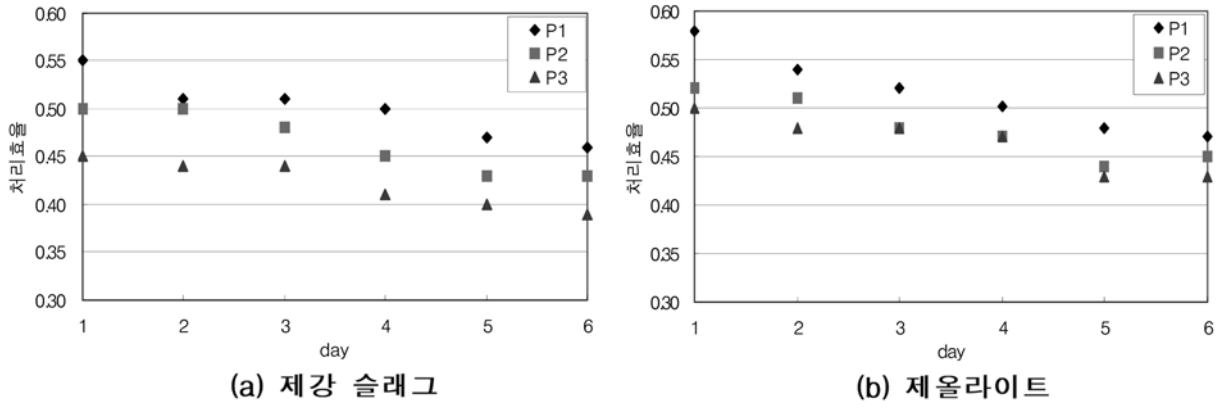


그림 6. BOD 농도 처리효율

표 6. 유입수와 유출수의 BOD 농도변화

구분			농도(mg/L)					
			1일	2일	3일	4일	5일	6일
제강슬래그	P1	유입수	11.8	12.2	12.0	12.1	12.1	12.0
		유출수	5.3	6.0	5.9	6.1	6.4	6.5
		처리효율	0.55	0.51	0.51	0.50	0.47	0.46
	P2	유입수	11.4	11.4	11.3	11.3	11.5	11.4
		유출수	5.7	5.7	5.9	6.2	6.6	6.5
		처리효율	0.50	0.50	0.48	0.45	0.43	0.43
	P3	유입수	10.8	10.8	11.0	10.9	10.8	10.7
		유출수	5.9	6.0	6.2	6.4	6.5	6.5
		처리효율	0.45	0.44	0.44	0.41	0.40	0.39
제올라이트	P1	유입수	11.8	12.2	12.0	12.1	12.1	12.0
		유출수	5.0	5.6	5.8	6.1	6.3	6.4
		처리효율	0.58	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47
	P2	유입수	11.4	11.4	11.3	11.3	11.5	11.4
		유출수	5.5	5.6	5.9	6.0	6.4	6.3
		처리효율	0.52	0.51	0.48	0.47	0.44	0.45
	P3	유입수	10.8	10.8	11.0	10.9	10.8	10.7
		유출수	5.4	5.6	5.7	5.8	6.2	6.1
		처리효율	0.50	0.48	0.48	0.47	0.43	0.43

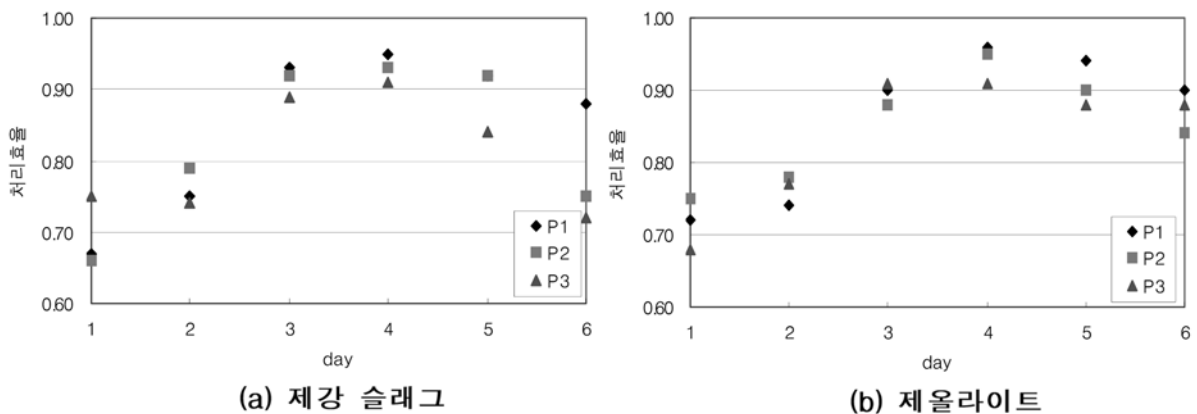


그림 7. COD 농도 처리효율

42%로 나타났으며, 제올라이트의 경우 각각 52%, 48% 및 47%로 나타나 제올라이트의 BOD 농도 처리효율이 약간 높았으며, 공극률이 작을수록 처리효율이 높게 나타났다. 특히

제올라이트의 표면에는 양이온들이 구성되어 있기 때문에 음으로 전하되어 있는 미생물 세포가 제강슬래그보다 더 쉽게 부착되었을 것으로 판단된다.

표 7. 유입수와 유출수의 COD 농도변화

구분			농도(mg/L)					
					1일	2일	3일	4일
제강슬래그	P1	유입수	22.2	22.2	22.3	22.4	22.2	22.3
		유출수	7.3	5.6	1.6	1.1	1.8	2.7
		처리효율	0.67	0.75	0.93	0.95	0.92	0.88
	P2	유입수	23.9	23.9	24.1	24.1	24.0	24.0
		유출수	8.1	5.0	1.9	1.7	1.9	6.0
		처리효율	0.66	0.79	0.92	0.93	0.92	0.75
	P3	유입수	24.0	24.0	24.1	24.1	24.1	24.0
		유출수	6.0	6.2	2.7	2.2	3.9	6.7
		처리효율	0.75	0.74	0.89	0.91	0.84	0.72
제올라이트	P1	유입수	22.2	22.2	22.3	22.4	22.2	22.3
		유출수	6.2	5.8	2.2	0.9	1.3	2.2
		처리효율	0.72	0.74	0.90	0.96	0.94	0.90
	P2	유입수	23.9	23.9	24.1	24.1	24.0	24.0
		유출수	6.0	5.3	2.9	1.2	2.4	3.8
		처리효율	0.75	0.78	0.88	0.95	0.90	0.84
	P3	유입수	24.0	24.0	24.1	24.1	24.1	24.0
		유출수	7.7	5.5	2.2	2.2	2.9	2.9
		처리효율	0.68	0.77	0.91	0.91	0.88	0.88

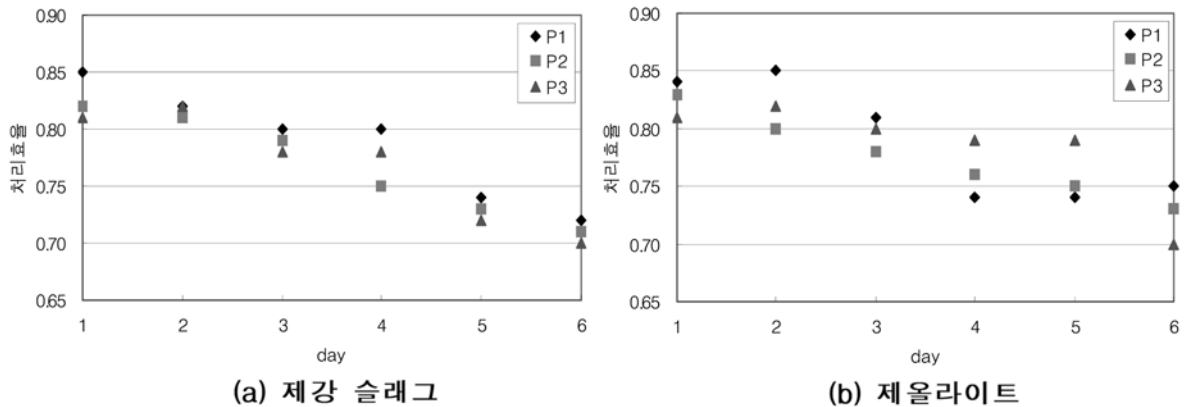


그림 8. SS 농도 처리효율

3.4 COD 특성

한편 표 7은 제강슬래그와 제올라이트 시스템의 유입수와 유출수의 공극률에 따른 COD 농도 변화를 나타낸 것이며, 그림 7은 COD 농도 처리효율을 나타낸 것이다. 제강슬래그의 경우 P1, P2 및 P3에 대한 COD 농도 처리효율은 각각 85%, 83% 및 81%로 나타났으며, 제올라이트의 경우 각각 86%, 85% 및 84%로 나타나 여기서도 마찬가지로 공극률이 작을수록 처리효율이 높게 나타났다. COD 농도의 처리효율은 증가하다가 4일째 되는날 최대가 되었으며, 그 이후로 감소하는 경향을 나타내었다.

3.5 SS 특성

본 실험에서 수행한 시스템에서 공극률에 따른 유입수와 유출수의 SS 농도 변화를 표 8에 나타내었으며, 이 때 SS 농도의 처리효율은 그림 8과 같이 나타내었다. 제강슬래그의 경우 P1, P2 및 P3에 대한 SS 농도 처리효율은 각각

79%, 77% 및 77%로 나타났으며, 제올라이트의 경우 각각 79%, 78% 및 79%로 나타났다. 고형물질과 부유물질은 제강슬래그표면에 형성된 슬러지 층과 여과에 의해서 물리적으로 잘 처리됨을 알 수 있었다. 그러나 시간이 지날수록 처리효율이 떨어지는 현상을 보였는데 입자성 물질이 여과되고 응집되어 시간이 지나면 슬러지가 축적되어 증식되는 문제점이 있는 것으로 판단된다.

3.6 T-N 및 T-P 특성

유입수가 제강슬래그 및 제올라이트 시스템을 통과한 후 공극률에 따른 유출수 T-N 농도의 처리는 표 9에 나타내었으며, 이 때 T-N 농도의 처리효율은 그림 9와 같다. T-N 농도의 처리에 있어서는 제강슬래그의 경우 P1, P2 및 P3에 대한 T-N 농도 처리효율은 각각 88%, 86% 및 82%로 나타났으며, 제올라이트의 경우 각각 90%, 88% 및 88%로 나타났다. 제강슬래그의 경우 공극률에 따른 T-N 농도 처리

표 8. 유입수와 유출수의 SS 농도변화

구분			농도(mg/L)					
			1일	2일	3일	4일	5일	6일
제강슬래그	3월	유입수	18.9	18.9	19	19	18.9	18.8
		유출수	2.8	3.4	3.8	3.8	4.9	5.3
		처리효율	0.85	0.82	0.80	0.80	0.74	0.72
	5월	유입수	20.5	20.6	20.8	21.0	21.0	20.6
		유출수	3.7	3.9	4.4	5.3	5.7	6.0
		처리효율	0.82	0.81	0.79	0.75	0.73	0.71
	8월	유입수	21.6	21.5	21.5	21.4	21.6	21.3
		유출수	4.1	3.9	4.7	4.7	6.0	6.4
		처리효율	0.81	0.82	0.78	0.78	0.72	0.70
제올라이트	3월	유입수	18.9	18.9	19	19	18.9	18.8
		유출수	3.0	2.8	3.6	4.9	4.9	4.7
		처리효율	0.84	0.85	0.81	0.74	0.74	0.75
	5월	유입수	20.5	20.6	20.8	21.0	21.0	20.6
		유출수	3.5	4.1	4.6	5.0	5.3	5.6
		처리효율	0.83	0.80	0.78	0.76	0.75	0.73
	8월	유입수	21.6	21.5	21.5	21.4	21.6	21.3
		유출수	4.1	3.9	4.3	4.5	4.5	6.4
		처리효율	0.81	0.82	0.80	0.79	0.79	0.70

표 9. 유입수와 유출수의 T-N 농도변화

구분			농도(mg/L)					
			1일	2일	3일	4일	5일	6일
제강슬래그	P1	유입수	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6
		유출수	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2
		처리효율	0.85	0.87	0.85	0.88	0.92	0.90
	P2	유입수	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4
		유출수	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
		처리효율	0.86	0.86	0.85	0.90	0.88	0.82
	P3	유입수	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4
		유출수	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
		처리효율	0.84	0.84	0.85	0.84	0.78	0.77
제올라이트	P1	유입수	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6
		유출수	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
		처리효율	0.88	0.90	0.90	0.92	0.92	0.90
	P2	유입수	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4
		유출수	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
		처리효율	0.85	0.86	0.90	0.88	0.87	0.90
	P3	유입수	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4
		유출수	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
		처리효율	0.87	0.88	0.90	0.88	0.88	0.89

효율의 차이가 드러났으며, 제올라이트는 공극률에 따른 차이를 발견할 수 없었다.

한편 T-P 농도의 제거에 있어서 유입수와 시스템을 통과한 유출수의 변화는 표 10과 같았으며, T-P 농도의 처리효율은 그림 10과 같이 나타내었다. 제강슬래그의 경우 P1, P2 및 P3에 대한 T-P 농도 처리효율은 각각 42%, 39% 및 37%로 나타났으며, 제올라이트의 경우 각각 40%, 39%

및 37%로 나타났다. 제강슬래그와 제올라이트에는 P의 처리에 효율적인 흡착능을 보이는 CaO, Fe, SiO₂, MgO 및 Al₂O₃을 많이 함유하고 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

지금까지 실험용 수로에서 Mattress/Filter 시스템에 채움재

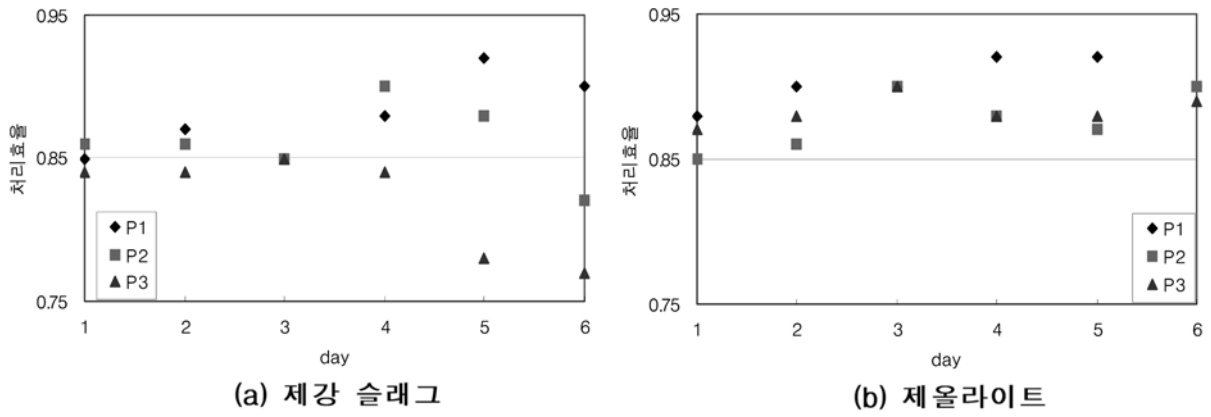


그림 9. T-N 농도 처리효율

표 10. 유입수와 유출수의 T-P 농도변화

구분			농도(mg/L)					
			1일	2일	3일	4일	5일	6일
제강슬래그	3월	유입수	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		유출수	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
		처리효율	0.45	0.48	0.41	0.40	0.38	0.40
	5월	유입수	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
		유출수	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
		처리효율	0.41	0.41	0.43	0.37	0.35	0.37
	8월	유입수	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6
		유출수	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4
		처리효율	0.39	0.40	0.36	0.35	0.34	0.35
페콘크리트	3월	유입수	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
		유출수	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
		처리효율	0.35	0.35	0.37	0.44	0.45	0.42
	5월	유입수	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
		유출수	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
		처리효율	0.40	0.40	0.38	0.40	0.38	0.35
	8월	유입수	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6
		유출수	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
		처리효율	0.38	0.37	0.37	0.40	0.38	0.32

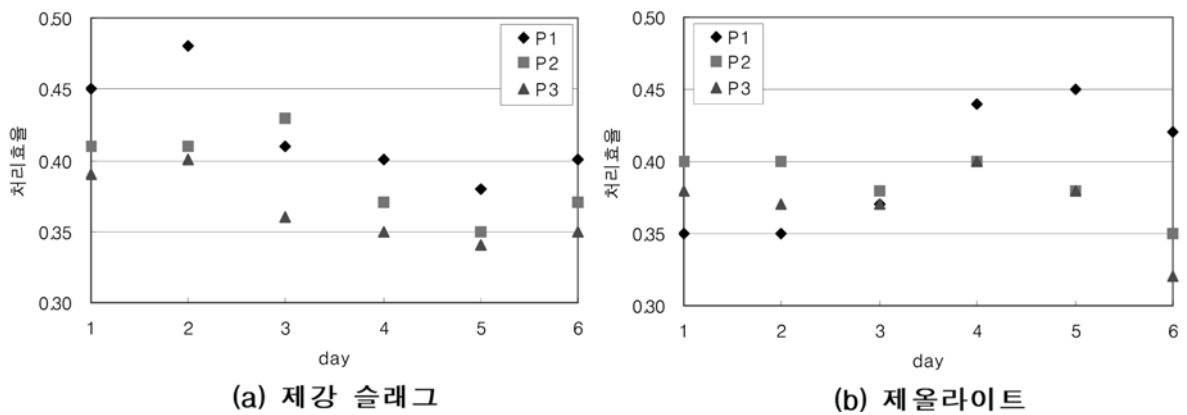


그림 10. T-P 농도 처리효율

로 제강슬래그와 제올라이트를 공급물이 다르게 각각 설치하고 삼천지의 원수를 시스템에 통과시켜 얻어진 처리수(통과수)의 수질을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 제강슬래그와 제올라이트 자체에 존재하는 CaO 등의 무기염류가 알칼리성을 나타내므로 물과 반응하여 pH가 높아졌으며, 형성된 생물막을 통과하는 과정에서 미생물에 의한 분해작용으로 인하여 DO 농도가 감소하였다. 그리

고 BOD 농도의 처리효율은 제올라이트의 경우에서 약간 높게 나타났으며, 제강슬래그와 제올라이트 모두 공극률이 작을수록 처리효율이 높게 나타났다. 그리고 COD 농도의 처리효율은 BOD 농도 처리효율과 마찬가지로 제올라이트가 대체적으로 높게 나타났으며, 공극률이 작을수록 처리효율이 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

2. SS 농도의 변화율은 70% 이상으로 나타났으며, 고형물질과 부유물질은 제강슬래그 표면에 형성된 슬러지 표면층과 여과에 의해서 물리적으로 잘 처리되고 있음을 알 수 있었다. 그러나 시간이 지날수록 처리효율이 떨어지는 현상을 보였다. 그리고 T-N 농도 처리효율에서 제강슬래그의 경우 공극률에 따른 T-N 농도 처리효율의 차이가 제올라이트의 경우보다 약간 크게 나타나고 있었으며, 제올라이트는 공극률에 따른 처리효율의 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다. T-P 농도 처리효율은 제강슬래그와 제올라이트 모두 비슷하게 측정되었으며, 또한 두 가지 경우에서 모두 공극률이 클수록 처리효율이 작게 나타났으며, 제강슬래그와 제올라이트에는 P의 처리에 효율적인 흡착능을 보이는 CaO, Fe, SiO₂, MgO 및 Al₂O₃을 많이 함유하고 있음을 확인할 수 있었다.

3. 본 연구에서 사용된 Mattress/Filter의 정화여재인 제강슬래그와 제올라이트가 다른 여재와는 달리 수질정화 기능뿐만 아니라 다공성과 넓은 비표면적을 가지고 있어 물과 공기의 유동이 유리하게 작용하여 식물의 성장과 원생동물·박테리아가 서식할 수 있는 여건이 효과적으로 형성되고 있음을 알 수 있었으며, 물리적·화학적·생물학적 작용이 촉진되고 있음을 확인할 수 있었다. 그 결과 정체수역에 설치한 Mattress/Filter는 다공질 속에서 쉽게 생물막을 형성시키고 유기물의 흡착을 촉진시켜 오염물질을 정화하는데 필요한 자정작용의 효과를 증대시키고 수질개선을 촉진시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 수행된 정체수역에서의 Mattress/Filter 채움재에 따른 수질개선 효과의 연구결과는 실험수로에서 수행되었는 바, 앞으로 일반 오염된 하천에서의 수질을 개선시키기 위해서는 Mattress/Filter를 실제 하천에 설치하여 채움재의 종류 및 채움재의 공극률에 따른 수질개선 효과를 분석하고 이를 지속적으로 Monitoring 해 볼 필요가 있으며, 또한 본 연구과정에서 나타난 공극의 폐색현상을 해결할 수 있는 연구가 향후 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 환경부 한국환경기술진흥원이 추진하는 2002-2005년도 차세대 혁신환경기술개발사업의 자유공모과제(과제번호:051-041-004) 연구수행결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

고진석, 송시훈, 배상수, 권혁문, 지흥기(2003) Mattress/Filter용 수중슬래그의 2차오염 평가기법. 한국수자원학회 학술발표회 논문개요집, 한국수자원학회, pp. 589-592.

고진석, 이승윤, 허창환, 지흥기(2004) Mattress/Filter에 의한 수중수질개선 Monitoring시스템 평가 기법. 2004년 공동추계 학술발표회 논문개요집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 310-315.

고진석, 이영민, 이승윤, 지흥기(2004) Mattress/Filter에 의한 수질개선 효과분석. 2005년 공동추계 학술발표회 논문개요집. 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 669-672.

고진석, 임기석, 송시훈, 지흥기(2003) Mattress에 의한 수중수질개선 시스템 구축공법 개발. 2003년 공동추계학술발표회 논문개요집, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 225-228.

고진석, 전지영, 허창환, 지흥기(2005) Mattress/Filter를 이용한 수질개선시스템 표준화. 2005 한국습지학회 학술발표회 논문개요집, 한국습지학회, pp. 275-278.

고진석, 최은혁, 지흥기, 이순탁(2004) Mattress/Filter에 의한 수중수질개선 Monitoring시스템 운영 기법. 대한토목학회 학술발표회 논문개요집, 대한토목학회, pp. 4952-4955.

김웅호, 조진규, 허순철(1997). 제강전로슬래그로 고화처리된 하수 슬러지 중금속의 용출특성. 한국물환경학회 논문집 Vol.14 No.3, 한국물환경학회, pp. 315-321.

김태희(2000) 제강슬래그 특성을 이용한 오폐수 처리장치개발. 광호개발(주).

노진환(2003) 천연제올라이트의 수환경 개선용 기능성 소재로의 활용에 관한 연구 (I) 한국광물학회지 Vol. 16 No. 2, 한국광물학회, pp 135-149.

배상수, 이경욱, 지흥기(2002) Mattress/Filter를 이용한 하천수질개선 기법. 2002년 공동추계학술발표회 논문개요집, 대한상하수도·한국 물환경학회, pp. 93-96.

서정운(2002) 제올라이트 칼럼에 의한 인공생활하수처리. 한국환경농학회지 Vol. 21 No. 3, 한국환경농학회지, pp. 178-188.

양홍모(2003) 하천고수부지 수질정화 여과습지의 초기운영단계 질소제거. 한국환경농학회지 논문집 Vol. 22 No.4, 한국환경농학회, pp. 278-283.

정동양(2004) 제강 슬래그를 여재로 사용한 자연정화 하수처리장의 인(P)제거 효과. 한국환경복원녹화학회 논문집 Vol.7 No.2, 한국환경복원녹화학회, pp. 68-74.

진서형(1995) 다공질 여재에 부착한 생물막의 기질 제거특성에 관한 연구. 석사학위논문, 연세대학교.

한기현(1998) 제강슬래그 자원화 기술, 포항산업과학연구원 연구보고서.

Komlos, J. Cunningham, A.B. Warwood, B. and James, G. (1998) Biofilm Barrier Formation and Persistence in Variable Saturated Zones, *Conference on Hazardous Waste Research*.

Kim, T.H. (1997). Biological Wastewater Treatment Properties of Porous Ceramic Filter Media, *Bull.of Ind. Tech. Res. Inst.*, vol. 4, pp. 93-99.

River Restoration Center (1999) Manual of River Restoration Techniques, *Revetting and Supporting River Bank*.

EPA (2000) Manual : Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, *Office of Research and Development*, Cincinnati, Ohio, pp. 930-948.

(접수일:2005.9.14/심사일:2005.10.1/심사완료일:2005.10.1)