



분산형 빗물관리시설 적용을 위한 수질정화기능 여재 성능 평가 Performance Evaluation of Soil Media for Water Quality Purification at LID Application

박찬기* · 김춘수** · 김황희** · 유성열*** · 전지홍****,†

Park, Chan Gi · Kim, Chun Soo · Kim, Hwang Hee · Yoo, Sung-Yeol · Jeon, Ji Hong

Abstract

In this study, the water quality purification of new medias which were NPS media, hyugato, mineral stone, charcoal for applying soil media of Integrated Management Practices (IMPs) of Low Impact Development (LID) were evaluated. The influent concentrations of COD, T-N, and T-P were 117.8 mg/L, 17.1 mg/L, and 2.062 mg/L, respectively. The infiltration capacities of NPS media, hyugato, mineral stone, charcoal, and gravel were 7.1×10^{-3} m/s, 7.3×10^{-3} m/s, 7.9×10^{-5} m/s, 6.0×10^{-5} m/s, respectively. All media meet criteria of infiltration capacity as surface soil layer at IMPs which is over 1.0×10^{-5} m/s. Maximum removal rates of COD, T-N, and T-P occurred at Charcoal with 98 % of COD removal rate, NPS with 78 % of T-N removal rate, and hyugato with 75 % of T-P removal rate, respectively. For more high removal efficiency of all water quality item, the mixed media which is 4.5(NPS media) : 1(charcoal) : 4.5 (hyugato) as volume ratio was evaluated. The infiltration capacity of mixed media was 7.9×10^{-5} m/s and met the criteria of infiltration as surface soil layer. The water quality removal efficiencies of mixed media were very high with showing 70 % for COD, 85 % for T-N, and 71 % for T-P. The mixed media could purify the water quality of surface runoff and was recommended to used at the LID site of ground water quality problem.

Keywords: Best Management Practices(BMPs); Low Impact Development (LID); nonpoint source pollution; soil media; water quality purification

1. 서 론

최근 들어 도시화에 따른 유출량과 비점오염부하량 증가를 효율적으로 저감시키기 위한 저영향개발 (Low Impact Development; LID)에 대한 관심이 높아지고 있다. LID는 도시개발에 있어서 콘크리트 등 불투수층을 설치하는 대신 투수층의 비율을 높여 식물을 식재하는 등 침투율을 증가시켜 강우유출수를 저감시키는 기법으로 일반 시민에게 혐오시설이 아닌 자연친화적인 시설로 인식된다. 또한 강우유출수를 발생 후 처리하는 기존의 우수처리시설과 비교하여 LID는 도시에서의 강우유출수 발생 자체를 억제시킨다는 장점을 가지고 있다. LID는 환경적인 측면에서 건전한 물순환 시스템을

회복하고 수목 등의 식물생육기반을 보전하고 회복시킬 수 있다. 개발자 측면에서는 도시경관, 주거환경 개선을 통한 시장가치를 향상시킨다. 지역사회 측면에서는 홍수를 방지하고 우수관리시설 및 비점오염저감시설에 대한 유지관리비용을 저감시킬 수 있는 다양한 장점을 가지고 있다 (LHI, 2012). 2012년에 관계합동부처 (2012)에서 발표된 제2차 비점오염원관리 종합대책에서 처음으로 도시지역의 비점오염관리기법으로 LID 기법의 사용을 제시하고 있다. 한국토지주택공사 토지주택연구원 (LHI)에서는 LID 분산형 빗물관리시설을 위한 구성요소에 대하여 구분하여 정의하였다. 빗물관리시설은 크게 빗물침투시설과 빗물이용시설로 구성되며, 빗물침투시설에는 홈통받이, 침투통, 침투트렌치, 빗물정원, 빗물저류·침투조, 도랑, 침투형 빗물받이 등을 포함한다. 빗물이용시설로는 빗물저장통으로 구분하는 것으로 하였다 (2012). LID 분산형 빗물관리시설은 침투기능이 대부분인 것으로 나타났다.

토지주택공사에서는 아산신도시 2단계 사업지구인 탕정지구 (이하 아산탕정 지구)에 아산탕정 LID 분산식 빗물관리대지 조성공사 시범지구를 설정하였다. 2011년 12월부터 LID 분산형 빗물관리시설을 설치하고, 시범운영구간을 두어 빗물관리시설을 모니터링 하고 있다 (LHI, 2012). 분석결과 침투형 측구시설의 유출저감량은 47.5 %~68.9 % (평균 60 % 이상)를 나타내었으며, 도심형 인공습지의 유출저감량은 46.3

* Department of rural construction engineering, Kongju national university

** Research institute of technology, Nature and Environment Co. Ltd

*** Heungjin construction Co. Ltd.

**** Department of environmental engineering, Andong national university

† Corresponding author

Tel.: +82-54-820-5093 Fax: +82-54-820-6437

E-mail: jhjeon@andong.ac.kr

Received: June 17, 2014

Revised: October 27, 2014

Accepted: November 6, 2014

%~95.4% (평균 75% 이상)을 나타내었다. 식생수로의 경우 유역면적에서 발생하는 빗물 전량이 유입되어 유출이 발생하지 않는 것으로 나타나 100%의 유출량 저감효율을 보였다 (LHI, 2012). Paek and Gil (2013)은 식생수로의 길이가 비점 오염물질 저감효과에 미치는 영향에 대하여 연구를 하였다. 식생수로의 비점오염물질 저감효율은 유기물질에 비해서 영양물질의 저감효율이 더 큰 것으로 나타났으며, 최소 길이를 30m 이상 추천하였다. Choi et al. (2011)은 WEPP 모형을 이용하여 식생수로의 저감효과를 평가하였는데, 10m의 식생수로에 대하여 유출량 및 토양유실량을 각각 9.8%, 14.5% 저감시키는 것으로 모의되었다. Jeon et al. (2010)은 LID 설계 시 분산형빗물저감시설 선정 가이드라인을 제시하였다. 나무식재가 가장 높은 유출량 저감효과를 나타내었으며, 잔디식재시 토양투수율에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 투수성 포장이가 가장 낮은 유출량 저감효과를 나타내는 것으로 나타났다. 따라서, 저영향개발 적용시 침투시설과 식생시설이 유출량을 저감시키는 중요한 요소인 것으로 나타났다. 선행연구결과에 따르면 식생시설이나 침투시설의 침투여재나 식생기반여재는 자체의 저감효율을 극대화함으로써 저감효과를 증진시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다. Lee et al. (2010)은 한국형 비점오염저감시설인 Eco-Bio Filter (EBF)를 개발하여 침투도랑에 대한 오염물질 저감효과를 분석한 결과 영양물질 및 중금속에 대하여 70% 이상의 높은 저감효율을 나타내는 것으로 나타났다. Kwon (2006)은 자연정화 처리시설에 사용되는 식재기반 여재의 조건으로 식물의 뿌리를 지탱하고 식물의 생육을 활발히 할 수 있어야 한다고 하였다. 또한 오염된 물을 여과나 흡착을 통하여 분해할 수 있는 물리화학적 특성을 가지고 있고, 미생물의 부착이나 활성화에 용이한 공간을 제공하여야 한다고 하였다. 그리고 유입수가 외부로 유출되지 않도록 물의 침투 속도가 빨라야 한다고 제시하였다. 그러나 이러한 여러 조건을 모두 만족시킬 수 있는 여재는 극히 드물기 때문에 인공배양토를 사용하기도 한다. 인공배양토는 영양물질이 극히 적고 다공질이며, 비표면적이 커서 접촉 면적이 상대적으로 많아 미생물의 부착이 우수하

여 접촉에 의한 여과와 침전과정에 의해 오수를 정화한다. 또한 다양한 흡착능력이 있어서 질소와 인 등의 영양물질을 흡착하여 서서히 식물에 의하여 흡수될 수 있도록 유도하고, 흡착된 영양물질을 부착미생물에 의하여 분해하는 역할을 할 수 있다 (Kwon, 2006).

본 연구에서는 LID 분산형 빗물관리시설에 적용되는 빗물 침투시설의 기반여재에 적용가능한 다양한 식재기반여재를 개발하고 강우유출수에 대한 침투 및 수질정화기능을 평가함으로써, LID 분산형 빗물관리시설 적용을 위한 최적의 기반여재를 선정하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 사용여재

식재기반여재는 수질정화에 효과가 있는 복합여재 (Mix media), 휴가토 (Hyugato), 활성탄 (Charcoal), 맥반석 (Mineral stone)을 사용하였으며, 대조군으로는 자갈 (Gravel)을 선정하였다 (Fig. 1).

복합여재는 오염수의 처리효율이 높은 것으로 나타난 활성탄과 화산석, 제올라이트 등을 혼합하여 만들었으며, 복합여재의 물리적 특성은 Table 1과 같다. 복합여재의 입도는 입경 8~12 mm로 일부 모래 이하의 입경을 갖고 있는 것도 있었으나, 8~10 mm의 입경을 갖는 것이 75.6%로서 대부분을 차지하고 있다. 다음으로 입경이 10 mm 이상으로 자갈 정도의 입경을 갖는 것도 15.2%를 차지하여 모래 이상의 입경인 2 mm 이상을 갖는 것이 90.8%로 대부분을 차지하고 있다. 복합여재는 중성에 가까운 pH 6.5를 나타내었으며, 양이온치환능력

Table 1 Physical properties of Mix media

Effective diameter	Uniformity coefficient	Coefficient of curvature	Porosity	Specific gravity
8 mm	0.5	0.5	59.5 %	1.8

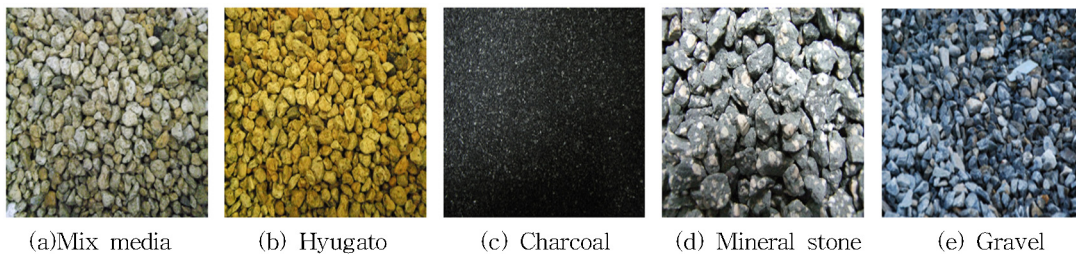


Fig. 1 Types of media

Table 2 Chemical properties of Mix media

pH	EC (mS/cm)	CEC (meq/100 g)	Organic matter contents (%)	Available phosphate (ppm)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)
6.5	0.85	25.15	0.44	25.27	375.3	852.4

Table 3 Physical properties of charcoal

Parameters	Unit	Value
Total surface area(BET)	m ² /g	875
Porosity	%	65.4
Iodine number	mg/g	800
Methylene blue adsorption	g/kg	110
Apparent density	kg/m ³	260
Effective diameter	mm	8
Particle size	-	> 10.0 mm (10 mass-%) < 8.0 mm (5 mass-%)

(CEC)는 25.15 meq/100g, 유기물질 함유량은 0.44 %, 질소와 인의 함량은 각각 375.3 mg/kg, 852.4 mg/kg인 것으로 나타났다 (Table 2).

활성탄은 다공질 구조의 탄소물질로서, 내부 표면이 매우 크고 표면이 소수성이기 때문에 여러 가지 종류의 난분해성 유기 물질, 인 및 색도 등을 흡착 제거할 수 있는 흡착제이다. 본 연구에서 사용된 활성탄의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

휴가토는 보라흙(보라토)이라 불리며, 일본의 미야자키현 등의 키리시마계 화산대에서 생성되는 화산 분출물의 퇴적토 양으로서 외관은 밝은 갈색에서 흰색으로 세분화 되어 있다. 휴가토는 국내에서는 주로 난석으로 사용되고 있으며, 또한 여과재로 사용하기도 한다. 휴가토는 일본산 수입원예용으로 통기, 배수, 보수성이 우수하고 천연석을 특수한 공정을 거쳐 고열 처리하여 제조한 무균용토이다. 약산성 (pH 5~6)을 나타내며 서양란, 동양란, 분재, 관엽식물 등 고급식물 식재용으로 사용되고 있다. 입자는 대립 (10~20 mm), 중립 (5~10 mm), 소립 (2~4 mm)으로 되어 있다.

맥반석의 작용은 다공성에 의한 흡착작용, 무기질을 분리하는 석출작용, 수질을 조절시키는 작용, 수중의 용존산소량을 증가시키는 작용 등이 학계에 보고되어 목욕용수, 화장품용, 약용치약, 식용수, 양어장용, 분재용, 외용약용 원적외선 이용 등의 용도로 사용하기 위하여 국내·외에서 다각도로 진행되고 있거나 연구 중에 있다. 다공성이라는 성질은 맥반석이 갖는 미세랄용출, 물리적 및 화학적 활성흡착작용, 이온교환 등과 깊은 관계가 있다고 한다. 맥반석이 갖고 있는 다공성 성질이 표면적을 크게 하여 분자간 반응에 의하여 고체의 축

Table 4 Sizes of media

Types	Mix media	Hyugato	Charcoal	Mineral stone	Gravel
Size(mm)	8~12	10~15	8~10	10~20	5~13

Table 5 Test method of water quality (Ministry of Environment, 2012)

Test items	Test and analysis method
COD	ES 04315,1
T-N	ES 04363,2
T-P	ES 04362,1

매표면에 흡착원자를 끌어들여 (+)이온과 (-)이온작용에 의하여 석출된 무기질의 용출, 고체의 축매작용에 의한, 물리적 흡착이나 화학적 흡착작용에 기인한 것으로 추정되고 있다 (Cho, 1997). 이러한 맥반석의 흡착 여과기능은 물질을 흡착 또는 여과함으로써 유해물질 제거, 탈색, pH 변화, BOD 변화 등을 가져오기 때문에 음용으로 사용하는 원수를 정수하거나 생활 또는 산업폐수를 일정 수준으로 정화에도 활용할 수 있다 (Jeong, 1997). 실험에 사용된 식재기반여과분포는 대조군 자갈의 입도분포와 비교하여 유사하거나 입도가 큰 것으로 나타나 투수효율 측면에서 자갈에 비해 불리하지 않은 것으로 나타났다 (Table 4).

2. 수질분석

수질분석은 유입수와 유출수의 시료를 채취하여 환경부 (2012)의 환경오염공정시험법 중 수질오염공정시험을 기준으로 하여 COD (산성과망간산칼륨법), T-N (카드뮴 구리환원법), T-P (자외선/가시선 분광법)를 분석하였다 (Table 5).

3. 수질정화 효율 평가

수질정화효율실험을 하기 위하여 이온흡착실험 장치를 제작하였다 (Fig. 2). 한국토지공사의 분산형 빗물관리 시설 설치 해설집 (LHI, 2012)에 따르면 분산형 빗물관리 시설의 대부분이 침투증진을 위해 식생시설 혹은 저류시설 아래에 터파기 후 자갈/쇄석을 깔고 부직포를 덮은 후 모래를 깔고 표토층을 조성하도록 하고 있으며 표토층의 포화 투수계수는 최소 1.0×10^{-5} m/s 이상을 추천하고 있다. 이를 위하여 지름 11 cm, 높이 90cm의 원통형 아크릴 기둥에 80 cm까지 실험재료를 충전하고, 정량펌프를 이용하여 하부에서 상부로 분당 3×10^{-5} m³의 유량으로 총 5.4 L의 실험용액을 공급하였다 (Table 6). 유출수는 Fig 2와 같이 채수통에 자동으로 채수되었으며 채수된 유출수의 수질을 분석함으로써 수질정화 효율



Fig. 2 Picture of device for Water purification efficiency test

Table 6 Experimental design conditions for water purification efficiency

Items	Unit	Design standard	Remark
Discharge	L/day	43,2	3×10^{-5} m ³ /min
Temperature	°C	23 ± 2	
Inflow velocity	m/hr	4.5	

Table 7 Manufacture artificial raw water

Ingredients	Quantity in 40L distilled water (g)
Glucose	9,0
Na ₂ CO ₃	8,48
KCl	0,84
NH ₄ Cl	3,0
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0,84
NaCl	1,5
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0,5
KH ₂ PO ₄	0,53

을 산정하였으며 식(1)과 같다. 유입과 유출의 시료채취의 일련의 과정을 4회 반복하여 수행하였다.

$$Removal\ Efficiency(\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

여기서, removal efficiency는 처리효율(%), C_{in} (mg/L)와 C_{out} (mg/L)는 각각 유입수와 유출수농도이다.

환경부에서 2007년부터 수행하고 있는 환경기초조사사업 “주요비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법연구(2009)”에 따르면 주거지역 (토지이용 중분류) 중 아파트 등 도시 밀집지역의 초기강우유출수 농도는 높을 경우 COD_{Cr} 200

Table 8 Residence time and infiltration capacity

Type	Mix media	Hyugato	Mineral stone	Char-coal	Gravel
Residence time (min)	189	183	167	221	175
Infiltration capacity (10 ⁻⁵ m/s)	7,1	7,3	7,9	6,0	7,6

Table 9 Results of water quality analysis

Type	Measured results (mg/L)		
	COD	T-N	T-P
Influent	117,8	17,1	2,062
Mix media	88,1±2,6 (25 %)	3,8±0,9 (78 %)	1,184±0,4 (43 %)
Hyugato	88,2±3,8 (25 %)	7,9±2,4 (54 %)	0,514±0,1 (75 %)
Mineral stone	99,3±7,7 (16 %)	15,8±2,3 (7 %)	1,827±0,3 (11 %)
Charcoal	2,0±1,4 (98 %)	11,7±3,7 (32 %)	0,869±0,1 (58 %)
Gravel	101,9±2,4 (14 %)	17,0±0,6 (1 %)	1,612±0,3 (22 %)

mg/L, 총질소(T-N)은 최대 20 ~ 40 mg/L, 총인(T-P)은 최대 1.2 mg/L 수준까지 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 질소(N)와 인(P) 이온, COD, T-N, T-P의 농도를 위에서 언급한 주거지역의 강우유출수 수준으로 만들기 위하여 Table 7과 같이 시약을 이용하여 제조한 후 실험을 실시하였다.

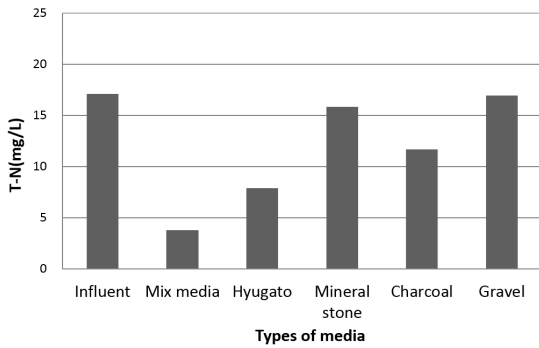
III. 결과 및 고찰

1. 여재별 체류시간 및 투수율

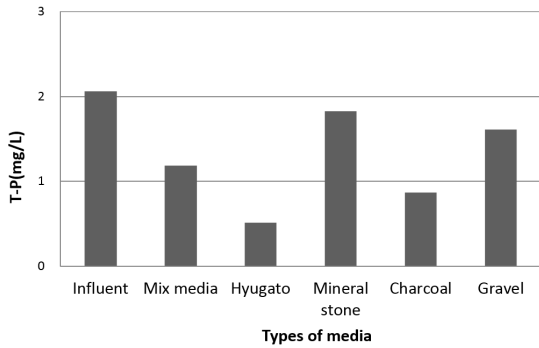
여재별 체류시간 및 포화투수율은 Table 8과 같다. 투수율은 맥반석이 가장 높은 값인 7.9×10^{-5} m/s를 나타내었으며, 다음이 휴가토, 복합여재, 활성탄 순이었다. 대조구인 자갈은 7.6×10^{-5} m/s를 나타내었다. 본 연구에 사용된 여재 모두 한국 토지공사에서 제시한 분산형 빗물관리 시설의 표토층에 필요한 최소 투수율 1.0×10^{-5} m/s 이상을 만족시키는 것으로 나타나 투수율 측면에서 분산형 빗물관리 시설의 기반여재로 사용가능한 것으로 나타났다.

2. 여재별 수질정화 효과

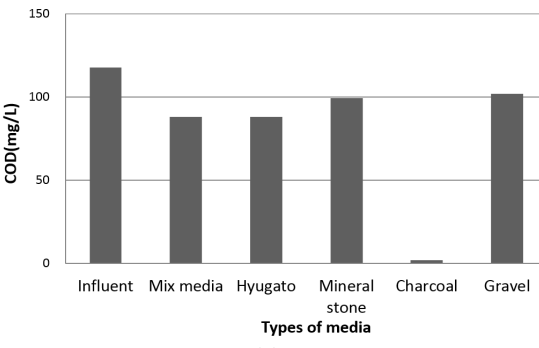
여재별 수질정화효과는 Table 9 및 Fig. 3과 같다. 복합여



(a) T-N



(b) T-P



(c) COD

Fig. 3 Influent and effluent concentration in each media

재에서 총질소 제거 효율 (78%)이 가장 뛰어났으며, 휴가토에서 총인 (75%) 제거 효율이 가장 높게 나타났다. 그리고 활성탄의 경우 COD의 제거효율이 (98%) 우수하였다. 복합여재에서 총질소의 처리효율이 높은 것은 복합여재에 함유되어 있는 음 (-)전하의 제올라이트 표면에 양 (+)전하인 NH_4^+ 의 흡착률이 높게 나타났기 때문으로 판단되며, 휴가토의 경우 물에 뜰 정도의 다공질로써 비표면적이 커서 흡착성이 높은 인에 대한 제거가 높게 나타난 것으로 판단된다. 활성탄은 유기물을 쉽게 흡착함으로써 COD 제거효율이 우수하게 나타난 것으로 판단된다.

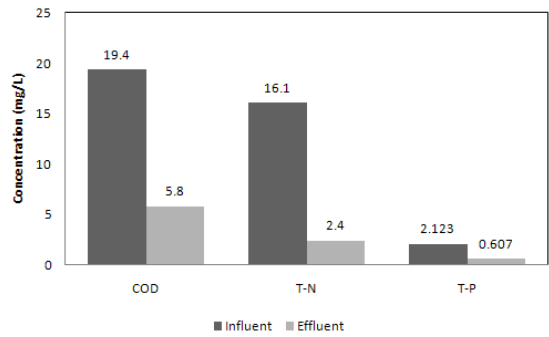


Fig. 4 Influent and effluent concentration of mixed soil

3. 여재혼합토의 수질정화 효과

여재별 수질정화효과 분석 결과 여재에 따라서 수질항목별 정화효과가 다르게 나타났다. 따라서 질소와 인, COD의 처리효과가 높은 휴가토와 복합여재, 활성탄을 4.5 : 4.5 : 1의 비율로 혼합한 혼합토에 대한 추가적인 수질정화효과를 분석하였다.

여재혼합토의 체류시간과 침투율은 178분과 7.5×10^{-5} m/s로 분산형 빗물관리 시설의 표토층으로 사용 가능한 것으로 나타났다. 혼합토의 수질정화효과는 Fig. 4와 같다. 유입수의 COD, T-N, T-P 농도는 각각 19.4 mg/L, 16.1 mg/L, 2.123 mg/L였으며, 혼합토의 유출수는 각각 5.8 mg/L, 2.4 mg/L, 0.6 mg/L를 나타내었다. 처리효율은 COD가 70%, T-N이 85%, T-P가 71%를 나타내어 각 수질항목별 70% 이상의 처리효율을 나타내었다.

이상으로 LID 분산형 빗물관리시설의 기반여재로서 사용 가능한 복합여재, 휴가토, 활성탄, 맥반석, 혼합토(복합여재, 휴가토, 활성탄)에 대한 수질정화효과에 대하여 분석하였다. 여재에 따라서 영양물질과 유기물의 제거 능력은 각각 다르게 나타났다. LID 분산형 빗물관리시설을 설치하고자 하는 지역의 강우유출수의 제거하고자하는 수질항목에 따라서 선택적으로 여재를 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 수질항목별로 일정한 수준의 처리효율을 기대하기 위해서 본 연구에서와 같이 여재혼합토를 사용할 수 있을 것으로 판단된다. LID 분산형 빗물관리시설로 유입된 강우유출수를 가급적 빨리 침투시키는 것이 빗물침투시설 기반여재의 주요한 목적일 수 있으나, 식물이 식재된 경우에는 식물이 성장할 수 있는 적절한 수분함양을 유지하는 것도 분산형 빗물 관리 시설의 중요한 요인인 것으로 보고하고 있다. 주택연구원의 연구결과 나지에 식재된 식물보다 식생도랑에 설치된 식물이 식물생육상태가 우수하다는 연구결과를 나타내었다. 식물의 생장량이 우수한 갈대, 붓꽃, 창포 등의 식물은 토양의 적정수분함량에 민감하기 때문에 적정수준의 수분함량을 포함되어

있는 시설에 적합하며, 식생도량을 포함한 빗물이 일정하게 유지되지 않은 분산형 빗물 관리시설에서는 건조한 토양에서 상대적으로 생장이 우수한 수크령과 역새의 식재를 추천하고 있다. 분산형 빗물관리로 유명한 독일의 물관리협회에서는 빗물침투시설의 적정 투수능 범위를 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ m/s로 제시하였으며, 본 연구에서 사용된 여재와 여재혼합토는 독일 물관리 협회에서 추천하는 투수능의 범위내에 포함되었다(LHI). 또한 독일의 빗물관리 가이드라인에서는 LID 분산형 빗물 시설에 의한 지하수 오염에 대한 우려를 나타내었으며 이를 위해서는 표토층 30 cm를 통과시켜 수질정화작용을 유도하도록 제시하고 있다. 따라서, 지하수위가 낮아 LID 분산형 빗물 시설에 의해 지하수의 오염이 우려될 경우 본 연구에서 제시된 여재에 의해 추가적인 수질정화 효과와 이에 따른 지하수 수질오염 피해방지를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구가 단기간에 의한 칼럼실험인 것을 감안할 때 장기간 운영시의 처리효과에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 LID 분산형 빗물관리시설에 사용가능한 수질정화효과가 있는 여재를 선정하기 위하여 복합여재, 휴가토, 활성탄, 맥반석을 이용하여 수질정화 효과를 평가하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 직경 11 cm, 높이 80 cm까지 여재를 충전시키고 정량펌프를 이용하여 분당 3×10^{-5} m³ 유속 4.5 m/hr의 실험용액을 공급한 결과 6.0×10^{-5} m/s ~ 7.9×10^{-5} m/s 사이의 값을 나타내어 한국토지공사 토지주택연구원에서 제시한 LID 분산형 빗물관리시설 표토층의 추천 침투능 1.0×10^{-5} m/s 이상을 만족하였으며, 독일의 물관리 협회에서 제시한 적정 침투능인 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ m/s를 모두 만족시켜 LID 분산형 빗물관리시설의 표토층의 여재로서 사용이 가능한 것으로 나타났다.
2. 유입수 농도를 COD 117.8 mg/L, T-N 17.1 mg/L, T-P 2.062 mg/L로 하였으며, 복합여재에서 유출수 농도는 COD, T-N, T-P 각각 88.1 mg/L, 3.8 mg/L, 1.184 mg/L로 처리효율이 각각 25 %, 78 %, 43 %로 나타나 다른 여재에 비해서 T-N의 처리효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 휴가토의 유출수 농도는 COD, T-N, T-P 각각 88.2 mg/L, 7.9 mg/L, 0.514 mg/L를 나타내어 처리효율은 각각 25 %, 54 %, 75 %를 나타내어 다른 여재에 비해 T-P의 처리효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 활성탄의 유출수 농도는

COD, T-N, T-P 각각 2.0 mg/L, 11.7 mg/L, 0.869 mg/L를 나타내어 처리효율은 각각 98 %, 32 %, 58 %를 나타내어 다른 여재에 비해 T-P의 처리효율이 가장 높은 것으로 나타났다.

3. 여재에 따라서 수질항목별 최대 수질정화능력이 다르게 나타났다. COD와 T-N, T-P에서 최대의 수질정화능력을 나타낸 복합여재, 휴가토, 활성탄 3가지를 4.5 (복합여재) : 1 (활성탄) : 4.5 (휴가토)의 체적비로 하여 여재혼합토를 새롭게 만들어 동일한 실험을 실시하였다. 혼합토의 투수능은 7.9×10^{-5} m/s로 LID 분산형 빗물관리시설의 표토층의 기준과 독일의 물관리협회에서 제시한 적정 침투능을 모두 만족시켰다. 수질정화효과를 분석한 결과 처리효율은 COD가 70 %, T-N이 85 %, T-P가 71 %를 나타내어 각 수질항목별 70 % 이상의 처리효율 나타났다.
4. 따라서, 본 연구에서 제안된 여재혼합토는 LID 분산형 빗물관리시설의 표토층으로 충분히 활용함으로써 강우유출수의 오염물질 농도를 보다 효율적으로 저감시킴으로써 하천 수질개선에 기여할 것으로 판단된다. LID 분산형 빗물관리 시설은 지하수 오염을 유발시킬 수 있기 때문에 표토층에서의 수질정화작용을 유도하도록 되어 있어 지하수 오염이 우려되는 지역에서의 본 연구에서 제안된 여재혼합토의 적용성이 높을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Cho, H.J. 1997. Adsorption Capability of Zeolite or Quartz Porphyry Containing TiO₂. Sungkyunkwan University.
2. Choi, J., D. Shin, I.J. Kim, and K.J. Lim. 2011. Evaluation of runoff and sediment yields reduction with diversion ditch and vegetated swale using WEPP model. Journal of Korea Water Resources Association 44(11): 863-873.
3. Congruence Government Departments. 2012. The 2nd comprehensive countermeasures of non-point source pollution management. Prime Minster's Office, Ministry of Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries, Ministry of Knowledge Economy, Ministry of Environment, Ministry of Land Transport, and Marine Affairs, National Emergency Management Agency, Rural Development Administration, Korea Forest Service, in Korea.
4. Kwon, T.Y. 2006. Development of Natural Wastewater Treatment System for Decentralized Regions and Rural Communities. Konkuk University.
5. Jeon, J.H., J.J. Kim, D.H. Choi, J.W. Han, T.D. Kim. 2009. Guideline of LID-IMPs selection and the strategy of LID design in apartment complex. Journal of Korean Society on

- Water Quality 25(6):886-895.
6. Jeong, D.S. 1997. Adsorption characteristics of heavy metals in granitoid. Chosun University.
 7. Lee, J., M.C. Maniquiz, S. Lee, L.Kim. 2008. Development of infiltration system for stormwater management from paved area. Journal of Wetlands Research 12(3): 165-175.
 8. LHI. 2012. The guideline of installing decentralized rainwater management facility. 2012-41. Land & Housing Institute, Deajeon, Korea.
 9. Ministry of Environment. 2012. Korean standard methods for examination of water and wastewater, Ministry of Environment, Korea.
 10. Paek, S. K. Gil. 2013. Effects of grass swale lengths on reduction efficiencies of non-point source pollutants. Journal of Wetlands Research 15 (3): 387-396.
 11. Han River Environment Research Center. 2009. Long-term monitoring and control measures of nonpoint source pollution from major land uses(3). Ministry of Environment.