

식생수로와 침투시설(침투관, 침투통)을 결합한 선형LID시설을 이용한 강우유출량 저감 및 비점오염저감 효율에 관한 연구



허우영
LID워터 대표 / 그린인프라연구소 소장
lidwater01@naver.com

1. 서론

1.1 연구배경

최근 기후변화로 인하여 이에 대한 기후대응기술정책으로서 정부(환경부)는 LID(Low Impact Development) 요소 기술을 도입(2010년) 하여 비점오염 저감과 환경영향평가 등 도시물 관리 핵심기술로 적용하고 있다. 도시설계 시 빗물을 도시 밖으로 신속해 배수하는 전통적인 물 관리 체계에 익숙해 있으나 LID 기술이 도입된 이후로 발생원(On Site)에서 분산식 빗물관리 방법으로 빗물의 침투와 증발산을 증대시켜 강우 유출량을 저감하는 기술을 확산해나가고 있다. 본 연구는 연속 강우가 왔을 때, 침투시설이 포화상태가 됨으로써 유출이 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 식생수로와 선형 LID 시설을 결합하여 강우 유출량과 비점오염량을 효과적으로 저감하기 위한 연구에 관한 것이다.

1.2 연구목적

본 연구는 연속형 LID 시설 시스템을 이용하여 강우 유출량 및 비점오염 저감효과에 관한 연구이다. LID 시설의 가장 큰 문제점은 집중강우가 연속적으로 왔을 때 LID 시설과 그 하부의 지반이 포화상태가 됨으로써 투수는 이 현저히 떨어져 빗물이 지표면으로 유출(Run Off)이 발생됨으로써 LID 시설의 한계점에 다다르게 된다는 것이다. 따라서 연속 강우에 가장 효율적으로 대응할 수 있도록 개발한 식생수로와 선형 LID 침투시설을 이용하여 강우 유출 저감효과와 비점오염 저감효과를 측정하고 이를 표준화된 LID 설계 지표로 삼기 위한 것이다.

1.3 연구 및 실험방법

식생수로와 그 하부에 침투시설(침투관, 침투통)을 결합한 선형LID시설의 Test Bed를 설치하여 목표강우는 20 mm/h로 정하였다. 수문분석시 사용한 강우자료는 2016년 7월 29일 일 강수량 21.5 mm를 적용하였다. 수질실험은 본 연구시설의 Test Bed시설에 오염수를 만들어서 본 실험시설에 유입시키고 침투통①, ②, ③지점에서 수질시료를 채취하여 공인실험기관에서 실시하였다.

또한, 강우유출량 실험으로 EPA-SWMM-5.1

모델을 이용하여 강우유출효과를 도출하였다. 오염수를 강우사상의 연속강우와 같은 패턴으로 약1시간에 걸쳐 4m³ 전량을 본 연구시설에 유입하였으며 이를 LID시설의 단위면적으로 환산하면 시간당 20.8mm·h의 강우사상에 해당된다.

LID시설의 집수면적 8.0m×1.2m=9.6m², 오염수 총유입량 2m³, 총유입시간 2시간으로 강우량을 환산하여보면 4m³÷9.6m²÷2h = 20.8mm·h 이다. 원형지와 선형LID침투시스템의 강우유출저감 및 수질실험 결과를 분석하여 본 시설의 효과를 검증하였다.

2. 연구의 내용

2.1 시설형태

본 연구는 LID시설 중 도로변의 완충녹지 등에

가장 많이 이용되는 식생수로와 식생수로를 통하여 집수된 빗물이 땅속으로 쉽게 침투되도록 만든 침투관과 침투통, 그리고 이를 둘러싸고 있는 자갈층에서 지중으로 빗물을 가장 쉽게 확산할 수 있도록 만든 선형형태의 LID시설시스템에 관한 연구이다. 시설형태는 아래 그림1, 그림2, 그림3, 그림4와 같다.

위 (그림1~4)를 결합하여 연속형 LID침투시설 시스템을 구성한 모형도는 그림5와 같다.

2.2 LID의 각 요소기술별 효율에 관한 모델링

2.2.1 식생수로의 수질처리 단위설계용량계산과 물순환 개선 모델링

단위설계용량(WQv) $V = Vf \times n + 10^{-2} \times k \times Tf \times Ai \geq WQv = 1.4 \text{ m}^3$ 에서 Vf = 침투시설의 체적 = 1.7 m³, 충전재의 공극율 n = 0.3~0.35, 하부토양침투속도 k = 150mm/h, 유입시간(2h기

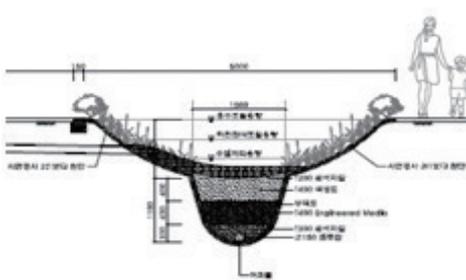


그림 1. 식생수로 단면



그림 2. 침투관의 단면



그림 3. 침투관의 입면

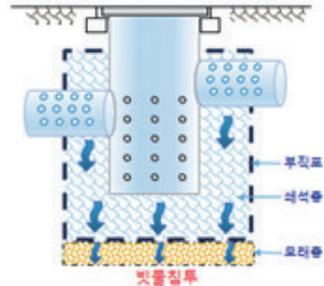


그림 4. 침투통의 입면

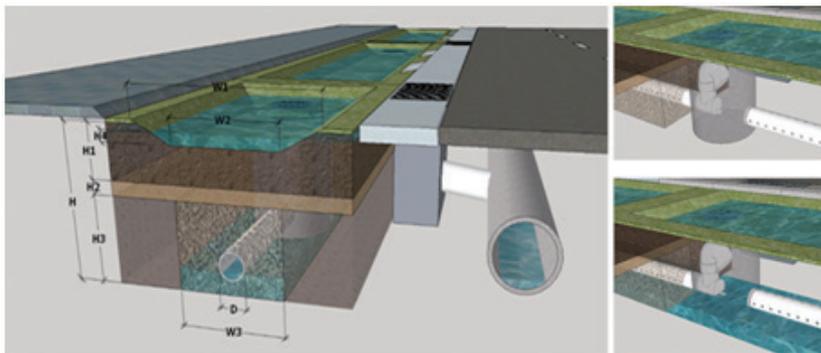


그림 5. 연속형 LID침투시스템 모형도

준) = 2h, 침투면적 $A_i = 2.9 \text{ m}^2$ 를 적용하였다. 최근10년 연속강우 수문모의(STORM모형)를 조건으로 물순환 개선효과를 분석한 결과는 그림6과 같다.

비점오염이 저감되는 효과를 분석한 결과는 표1과 같다.

2.2.2 침투통의 수질처리용량 및 물순환개선 모델링
단위설계용량(WQv) $V = V_f \times n + 10^{-2} \times k \times T_f \times A_i \geq WQ_v = 1.2 \text{ m}^3$ 에서 V_f = 침투시설의 체적 = 1.4 m^3 , 충전재의 공극율 $n = 0.25 \sim 0.35$, 하부토양침투속도 $k = 150 \text{ mm/h}$, 유입시간(2h기준) = 2h, 침투면적 $A_i = 2.4 \text{ m}^2$ 을 적용하였다. 최근10년 연속강우 수문모의(STORM모형)를 조건으로 물순환 개선효과를 분석한 결과는 그림7과 같다.

비점오염이 저감되는 효과를 분석한 결과는 표2과 같다.

2.2.3 침투관의 수질처리용량 및 물순환개선 모델링

단위설계용량(WQv) $V = V_f \times n + 10^{-2} \times$

$k \times T_f \times A_i \geq WQ_v = 0.7 \text{ m}^3$ 에서 V_f = 침투시설의 체적 = 1.4 m^3 , 충전재의 공극율 $n = 0.25 \sim 0.35$, 하부토양침투속도 $k = 150 \text{ mm/h}$, 유입시간(2h기준) = 2h, 침투면적 $A_i = 2.4 \text{ m}^2$ 을 적용하였다. 최근10년 연속강우 수문모의(STORM모형)를 조건으로 물순환 개선효과를 분석한 결과는 그림8과 같다.

비점오염이 저감되는 효과를 분석한 결과는 표3과 같다.

2.3 LID침투시설의 Test Bed설치

시험을 위하여 인천광역시 서구 경서동 310번지 일대에 그림9와 같이 Test Bed시설을 구축하였다.

2.4 수질실험

비점오염저감율을 확인하기 위하여 위 시설의 오염수저장조의 침투통1~3에서 시료를 샘플링하여 공인실험기관에서 실험을 진행하였다. 수질실험과정과 그 결과는 그림10과 같다.

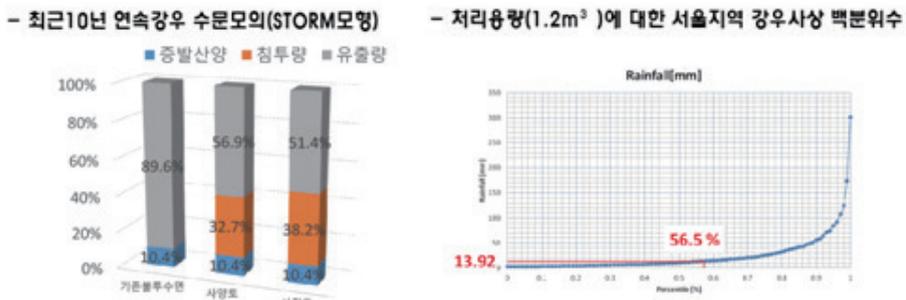


그림 6. 식생수로의 물순환 개선과 처리용량

표 1. 비점오염 저감효율

항목	TSS	BOD	T-N	T-P	중금속
삭감율	60~65%	38~56%	48~58%	51~56%	Zn=35~48% Pb=35~48%

- 최근10년 연속강우 수문모의(STORM모형) - 처리용량(1.2m³)에 대한 서울지역 강우사상 백분위수

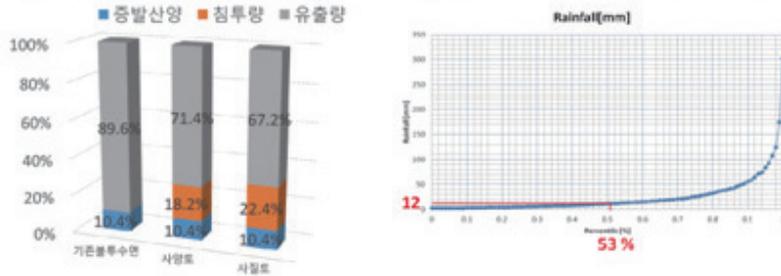


그림 7. 침투통의 물순환 개선과 처리용량

표 2. 비점오염저감효율

항목	TSS	BOD	T-N	T-P	중금속
삭감율	55~68%	42~58%	50~58%	53~61%	Zn=35~75% Pb=35~75%

- 최근10년 연속강우 수문모의(STORM모형) - 처리용량(1.2m³)에 대한 서울지역 강우사상 백분위수

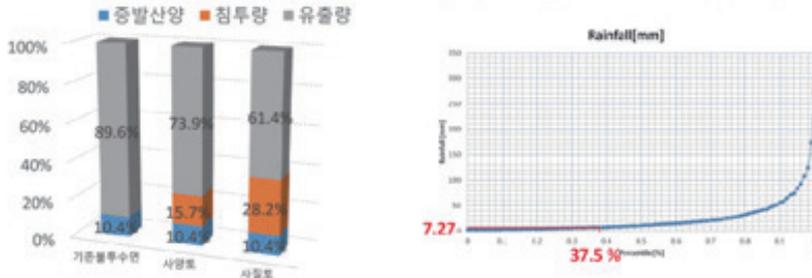


그림 8. 침투관의 물순환 개선과 처리용량

표 3. 비점오염저감율

항목	TSS	BOD	T-N	T-P	중금속
삭감율	84%	41~55%	49~56%	51~60%	Zn=45~65% Pb=45~65%



그림 9. LID침투시설 Test Bed설치 사진

2.5 강우유출모델링

EPA-SWMM-5.1강우유출모델로서 모델링 한 바 그림11과 같다.

3. 결론

본 연구시설에 Test Bed를 설치하여 목표강우량 20mm/h를 설계하여 실험을 한 결과 약 20.8mm/h 까지 유출저감효과를 얻을 수 있음으로 본 선형LID침투시설은 목표설계 값을 만족한 것으로 평가된다. 비점오염물질을 채집하여 오염수를 만들어서 본 시설에 일정시간대에 유입하여 각 침투통에서 수질조사를 한바 다음과 같은 성과를 도출하였다. 비점오염삭감효율은 4회로 나누어 실험하였으며 그 결과는 초기 대비 종기의 수질실험결과이다. 각 항목별로 SS는 76.95%, COD는 27.20%, BOD는 73.00%, T-N은 71.40%, T-P는 63.64%의 저감율을 보였다.

또한, 목표관리 강우 20mm 조건으로 강우유출모델을 분석한바 원형지의 Peak수문곡선 0.43CMS에서 선형LID침투시설을 설치함으로써 0.22CMS로 Peak Flow를 줄일 수 있었다. 강우발생 후 LID시설을 통과하면서 약2간 후 Peak Flow가 높아졌다가 원상회복이 되는 유출저감 형태를 보이고 있다. 본 연구특징은 선형LID침투시스템이 자연지반 접촉면이 매우 넓어 침투능의 확산효과를 가져옴으로써 지표수와 1m이하의 중간유출수를 매우 효율적으로 집수 및 침투할 수 있는 LID침투시설로 평가된다.

본 침투시설은 약 20.8mm · h 의 강우에 대응할 수 있는 침투기술로서 기존의 점형 LID시설(약 4mm초기우수처리설계능력)보다 약5.2배 높은 침투능을 발휘할 수 있었으며 미국의 선행사례와 같이 분류식 우수관거 대체제로서 사용이 가능한 것으로 판단되며 별도의 Test Bed실증연구 등 공학적 검증단계를 거쳐 도시설계에 적용할 수 있을 것으로 본다. 선형LID침투시설등을 이용하여 우수관거의 단면을 약30%를 줄여온 미국의 선행사

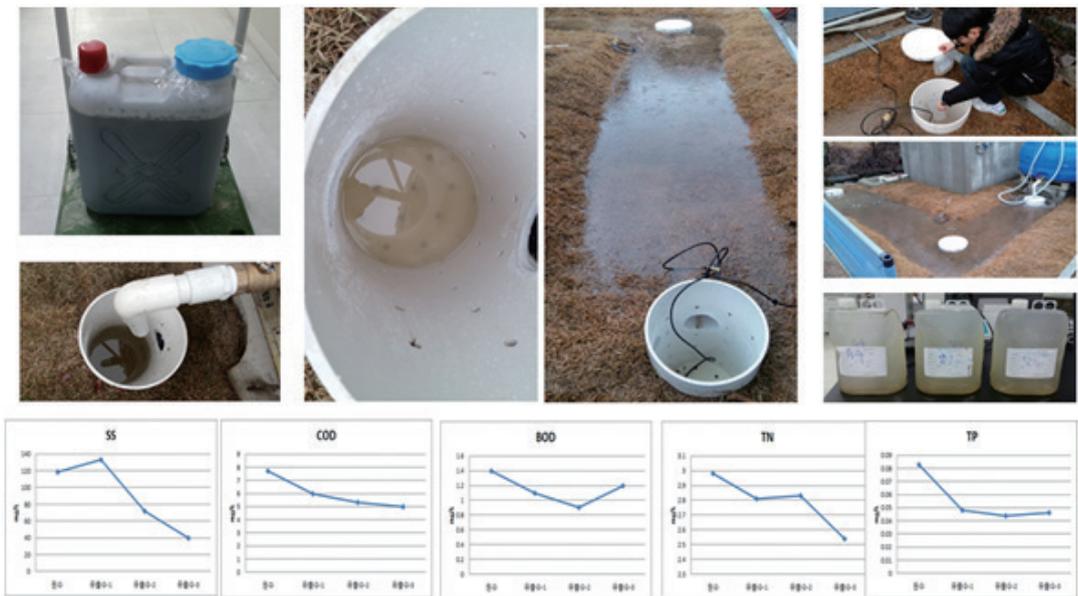


그림 10. 수질실험사진과 수질실험결과 그래프

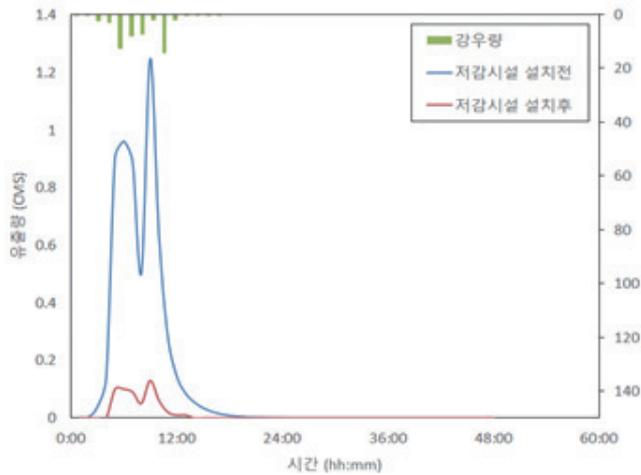


그림 11. 53.1mm 강우 시 저감시설 설치 전후 간의 강우유출량 효과비교

레와 같이 본 기술은 한국의 강우사상과 수문학적 토양형에 적합한 빗물관리최적화(BMPs)기술개발의 기초자료로 활용하여 기존의 우수관거 대체재로서 사용할 수 있기를 기대한다.

4. 감사의글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 17TBIP-C111750-02). 연구지원에 감사드립니다.