

빗물 및 유출지하수 겸용 Hybrid 침투저류시스템의 물순환율 증진에 관한 연구



허우영

LID워터 대표 / 그린인프라연구소 소장
lidwater01@naver.com

1. 연구목적

기후변화로 인하여 홍수와 갈수기가 혼재되고 있으며 2010년 9월21일 광화문도시홍수사태와 2017년 7월에 발생한 청주 무심천 주변의 침수사태, 그리고 2014년부터 2017년까지 심각한 수준의 가뭄으로 인하여 물 고갈의 피해를 겪고 있다. 강우유출수를 저감을 위한 LID시설은 집중강우가 왔을 때 LID시설과 그 하부의 지반이 포화상태가 되면 투수능이 현저히 떨어져 유출(Run Off)이 발생됨으로써 저지대가 침수되는 현상이 발생한다. 본 연구는 강우 유출수의 저감을 법률적 또는 지자체가 요구하는 수준으로 빗물을 관리하기 위하여 선형LID침투시설과 물순환저류조를 상호 연결하여 강우유출수를 목표량에 도달하면서 또한 유출지하수를 저류조 내부로 유입할 수 있는 부력감쇄장치(CRV:Compressive Re-Life Valve)를 이용하여 갈수기에 빗물을 이용하는 두 가지 기술에 관한 연구이다.

2. 연구의 범위

연구의 범위는 빗물과 유출지하수를 이용하여 도시물순환율을 증대하는 목적이며 실험과 검증을 통하여 목표량 설계에 도달 하도록 성능 설계를 하는데 그 목적이 있다. 2010년 환경부가 수질오염총량관리제에 핵심기술로 적용하고 있는 LID(Low Impact Development)는 자연형 비점오염저감시설이자 대상구역의 강우유출수를 저감하는 기술이며 최근에는 강우패턴이 집중폭우형태로 변하면서 이때 침투시설과 지반이 포화상태가 되면 투수능이 현저히 떨어져 유출(Run Off)이 발생됨으로써 저지대가 침수되는 현상이 발생하게 된다. 본 연구는 빗물관리 목표량에 도달하도록 성능설계를 하여 물순환율을 높이고 유출지하수를 이용하기 위하여 부력저감과 물순환율을 증대하고 침투시설을 통하여 비점오염저감율을 목표치 이상으로 낮추어 빗물을 대체수자원으로 활용하기 위한 목적의 연구이다.

3. 연구방향과 방법

3.1 기관이 설정한 빗물관리 목표량설계에 맞는 빗물관리

빗물관리 목표량의 설정기준에 대한 고찰이 필

요하다고 판단하였다. 각 지자체는 빗물기본계획과 빗물 분담제 등을 통한 지자체 별 빗물관리 목표량 설정하였다. 이에 대한 사례를 살펴본다.

서울시의 빗물관리기본계획에서 빗물관리목표량을 40%로 설정하였으며 30년 강우빈도를 적용했을 때 총강우량기준 1,550mm기준으로 환산하면 약 620mm가 유출되지 않도록 목표량을 설정하였다. 다음으로 세종시에는 LH공사와 행정중심복합건설회사에서 토지이용계획용도별로 22.5~20mm로서 약80Percentile를 적용하였다. K-Water의 경우에는 Eco Delta City 등 신도시 사례에서 20~25mm로서 약80Percentile 내외를 설정하였다. 이외에 축축한 물순환선도도시 사례와 적용기준 등을 참고한다.

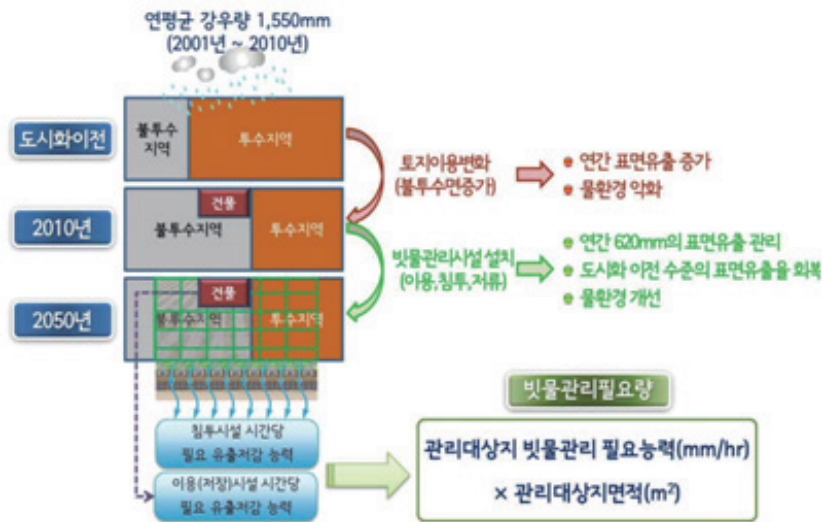
3.2 도시물순환과 물순환율의 증대

도시물순환이라는 큰 의미에서 물순환 회복율의 목표를 달성하는데 있다. 물순환 회복율은(1-물순환 변화율)×100으로 나타낼 수 있으며 이는 증발산 및 침투량과 유출량의 기준과 현황차이를 백분율로 나타낸 공식이다.

물순환 면적률을 활용하여 물순환성을 평가하였다. 물순환 면적률은 환경부에서 제정한 생태면적률에 물관리 시설물의 기능 및 효과를 추가적으로 고려하여 수원시에 처음으로 적용되었던 지표이다. 그 평가지표는 그림2와 같다. 이 물순환 면적률은 대상지역의 지표면 피복특성과 물관리 시설의 설치 여부, 그리고 지하수 이용량을 고려하여 물순환 가중치를 부여하여 계산되며, 가중치 부여는 빗물의 증발과 침투, 이용, 유출저감의 4가지 측면을 고려하여 산정하도록 하였다.

도시지역의 물순환 목표 및 달성방안에 관한 기존 자료조사를 시행하였다. 빗물기본계획 등 개발 대상지 관련 인·허가관청에서 정한 물순환 목표를 기준으로 개발 전·후의 물 순환 상태를 기준으로 개발 후 물순환 변화를 추정하여, 적합한 시설의 종류와 규모를 모의함으로써 얻을 수 있는 효과를 정량화 하는 과정을 의미하며 물순환도시 등에서는 이를 참고하여 적용하고 있다.

이 과정에서 LID침투시설과 저류조를 결합하여 빗물과 관련된 개발지에 생태환경과 잡종수 사용량 등의 실태를 조사하여 공급과 수요에 적합한



출처: 서울특별시 빗물관리 기본계획(P10)

그림 1. 서울시 빗물기본계획에 의한 빗물관리 필요량

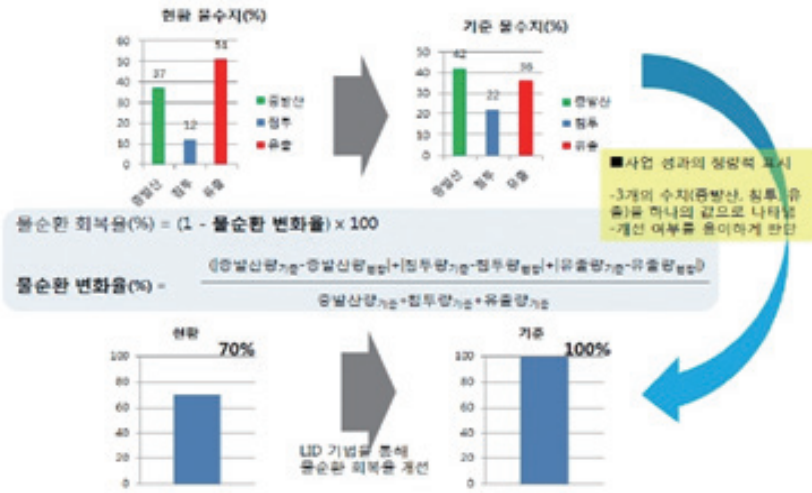


그림 2. 물순환 회복율에 관한 공식과 제도들

물순환계획을 수립하는 것이 합리적이며 타당성을 갖는다. 이에 대한 정량적이고 과학적으로 해결할 수 있는 수단이 물순환 이론모델이라고 할 수 있다. 빗물 총량을 기준으로 물수지를 정량화하는 방법(연간 물수지법)부터, 개발대상지의 물흐름 경로 별로 수량의 시계열 변동을 추정할 수 있는 높은 정밀도를 가진 컴퓨터 모형까지 다양한 모델이 존재하며 인허가에 적용할 수 있을 것이다. 연속형 LID침투시설과 저류시설의 규모결정은 토지용도나 개발지특성에 따라 차이는 있으나 본 연구에서는 법적기준으로 시설용량을 설정하고자 한다. 개발대상지의 물순환율을 구하기 전에 법적으로 규제(인·허가)하고 있는 시설용량을 기준과 물순환율의 상관관계를 찾아내어 실험을 통하여 검증하고자 한다. 이를 위해 법적 기준을 조사하였다.

저류조의 용량결정은 물의 재이용촉진 및 지원에 관한 법률에 의거하여 적용사업장이 기준이므로 사실상 규모가 정해져 있다고 볼 수 있다. 적용대상건축물은 공공청사, 체육 및 운동시설, 학교가 있고 민간개발은 공동주택과 골프장, 대형유통시설 등이 포함되어 있다. 저류조 시설규모는 관련

법률에 의하여 결정되어 있으며 (지붕면적×0.05) 또는 (대지면적×0.02)로 한다. 예를 들어 대지면적인 10,000㎡의 건축물의 Roof면적이 4,000㎡인 경우 저류조 용량은 200ton이 된다. 그리고 빗물 기본계획 또는 빗물분담제 등에 의한 강우 유출저감량 산정한다. 각 시도별로 차이는 있으나 개발대상지의 강우유출량을 35~40%수준으로 규제하며 서울시의 경우 빗물분담제도로써 총강우량의 40%를 유출하지 못하도록 정해져 있다. 빗물이용시설(저류조)와 빗물분담제도가 기준하고 있는 LID시설을 통한 빗물유출저감량은 목표관리량을 합산한 공식을 아래와 같이 도출하였다.

- 빗물관리 필요량 = (지붕면적×0.05) + 총강우량의 40%
= 관리대상지 빗물관리필요능력(mm/hr) × 관리대상지면적(㎡)

4. 실험방법과 시설기준

4.1 적용시설의 종류와 형태, 성능에 대한 적용시설의 기준

본 연구에 적용한 침투시설이란 LID요소기술로서 침투성능 효율이 가장 높은 것으로 평가되고 있는 침투통과 침투관을 연결한 형태 또는 식생수로의 하부에 침투시설을 연결하는 형태를 적용하였다. 이 침투시설의 주변을 둘러싸고 있는 자갈층은 공극율(약30%)이 높고 토양 지반에 빗물이 잘 스며들도록 만든 시설을 포함하며 빗물의 Base Cut효과를 높인다. 도심지에서 도로 및 인도의 침수면의 고농도 오염물질을 분류식 우수받이에서 분류한 후 선형LID시설을 거쳐 Hybrid저류조로 침수되는 물관리 체계를 구축한 것이다. LID시설에서 초기우수를 저감하도록 규정하고 있으나 한국의 기후특성상 동절기에 약8~10회 정도의 염화칼슘(염화나트륨)을 살포함으로써 고농도 초기우

수가 도로변LID시설(나무여과상자, 식생수로, 식생체류지등)에 유입되면 염해가 발생된다. 물순환 Hybrid형 저류조란 지표수와 유출지하수를 겸용으로 저류할 수 있는 기능형 저류조를 의미하며 지표수의 집수량은 물의 재이용촉진 및 지원에 관한 법률에 따라 저류조 규모를 산정하였다. 건축물의 지하실을 조성한 후 부력을 막기 위해 암거등을 통하여 지하수가 한곳으로 집수되면 이것을 펌프장치로 배수하여 부력을 낮추기 위해 배수하는 물을 유출지하수라 한다.

부력저감장치란, 지하수와 저류조간의 수두차에 의하여 발생하는 피압수가 저류조 구조체에 부력을 발생시켜 구조물의 변형 또는 비틀림(Torsion)에 따른 구조물 파괴가 발생시켰다. 이에 부력을 Zero화하며 유출지하수가 자동적으로 저류조 내부로 유입될 수 있도록 장치이다.



그림 3. 부력 및 물순환을 시험을 위한 Test Bed설치도

5. Test Bed시설의 구축

시험을 위하여 2016년 06월 06일, 인천광역시 서구 경서동 310번지 일대에 그림3과 같이Test Bed시설을 구축하였다.

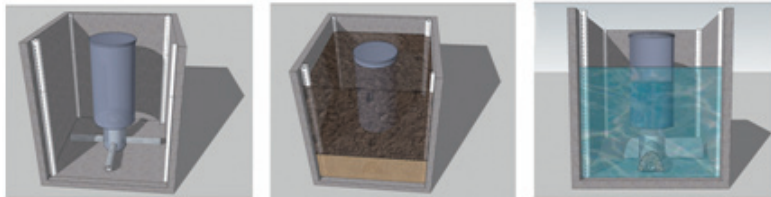


그림 4. 실험토조와 저류조의 설치구상도



그림 5. Pilot 시험체 Mock-Up제작 CRV시험체

6. 실험

6.1 부력시험

저류조내에 그림5와 같은 CRV를 설치하여 부력을 Test한다. 그리고 그림6과 같은 Load Cell을 설치하여 그림7과 같이 두 시험체의 부력을 Test하였다. 좌측 시험체는 CRV미설치, 우측 시험체는 CRV는 설치되어있다.

부력을 측정하는 Load Cell을 이용하여 CRV를 설치한 실험체와 CRV를 설치하지 않은 저류조의 대조구를 실험한바 그림8과 같이 CRV를 설치한 곳은 부력이 Zero 화되는 값이 도출되었다.

6.2 물순환을 시험

양우아파트의 2개의 저류조를 설치하였으며 A는 CRV를 설치한 저류조 이며 B는 CRV가 없는

저류조를 설치하였다. A와 B의 대조구에 대한 물순환율을 측정한바 아래그림과 같다. 좌측그림은 양우APT에 설치된 침투저류조의 물순환율을 나타낸 그래프이며 침투저류소에서 빗물이 토양속으로 침투되어 지하수위를 높여 주며 유출지하수는 다시 CRV를 통하여 저류조 내로 유입되어 물순환율을 높이는 과정을 그래프로 나타낸 것임. 이는 강수량과 지하수 및 저류조의 물순환을 관계를 나타낸 그래프이다.

Water Balance와 공·사적편익을 알아본다. 저류조 내외의 수두차는 부력을 발생시켜 구조물을 불안전하게 하므로 이를 해결하기 수단으로 개발된 것이 CRV이다. 즉, Water Balance를 유지할 수 있도록 피압수의 설계압력(0.018kg)에 도달하면 CRV내의 밸브가 열려 유출지하수가 저류조 내로 One Way Pass되도록 설계하였으며 아래 그



그림 6. Load Cell(부력) 측정기기



그림 7. CRV의 부력을 시험하기 위한 장치

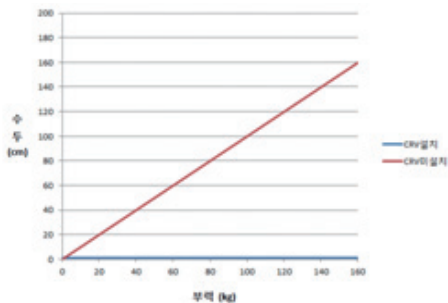


그림 8. Load Cell의 부력시험결과

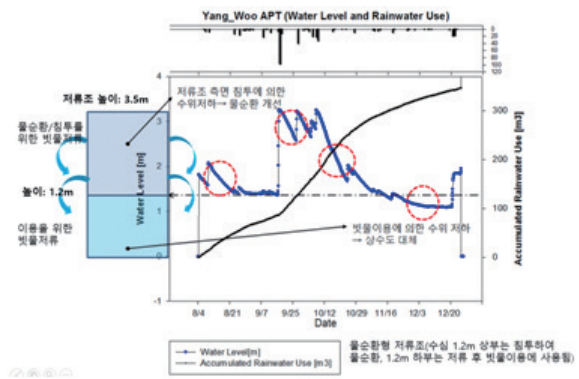


그림 9. 양우APT의 Test Bed 유출지하수와 물순환을 관계그래프

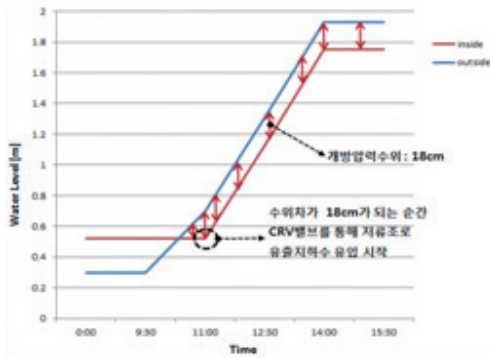


그림 10. CRV의 개방압력에 의한 물순환율 증진

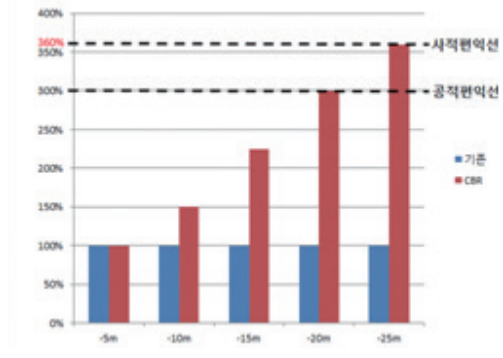


그림 11. 기존저류조와 본기술과의 물순환율 비교

림-10과 11은 물의 공·사적 편익과 물순환율 관계의 그래프를 나타낸 것이다.

저류조를 기준으로 물순환율에 관한 선행연구 사례나 실험 및 연구논문은 없으나 유사 물순환 실험자료서는 저류조 규모를 1로 규정하고 교환율(사용회수)를 물순환율로 정의하였다. 본 연구과제에서는 지붕면의 집수가능 총량을 100으로 했을 때, 증가된 지하수집수량과 지표수 집수량을 합산하여 100으로 나눈 값을 물 순환율로 정의하였다.

이에 대한 근거는 물의 재이용 촉진법에 따라 (지붕면집수면 × 0.05) = A, (건축면적을 제외한 대지집수면적 × 0.02) = B, 그리고 (유출지하수

량) = C라고 할 때, 총 저류량 = (A+B+C)이다. 물순환율 = (A+B+C) / A = 3.6 따라서 물순환율은 360%이다. 공동주택의 사용량기준으로 물공급량을 설계하면 물공급량 설계기준에 따라 세대 내 변기, 세탁용수, 청소용수 상가 내 용수, 조경용수 및 실개천 연못 등의 공급에 필요한 공급량을 산출한다. (안전율 10%를 가산한 결과이다.)

빗물관리필요량은 관리대상지 빗물관리 필요능력(mm/hr) × 관리대상 면적(m²)으로 산출한 값이상이 되어야 함을 뜻한다. 물순환율의 산정하기 위해 공공이 요구하는 빗물저류량 = A, 표면집수량 = B라 한다. 공·사적편익분석과 경제적 가치

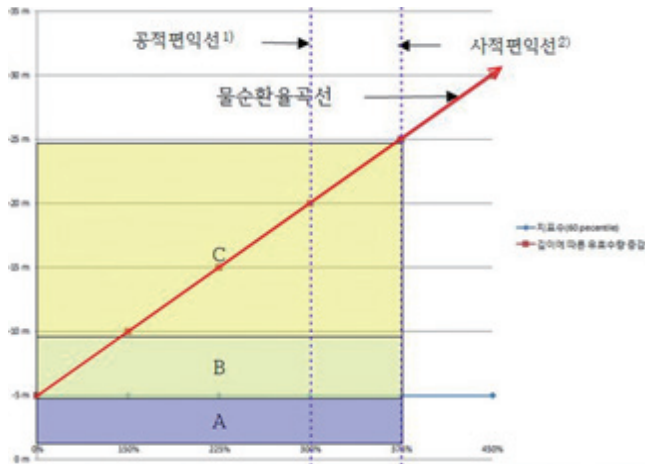


그림 12. 지표수+유출지하수 겸용 Hybrid 침투저류조의 물순환율

표 1. 수질항목 시험결과

SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
76.95	27.20	73.0	71.4	63.64

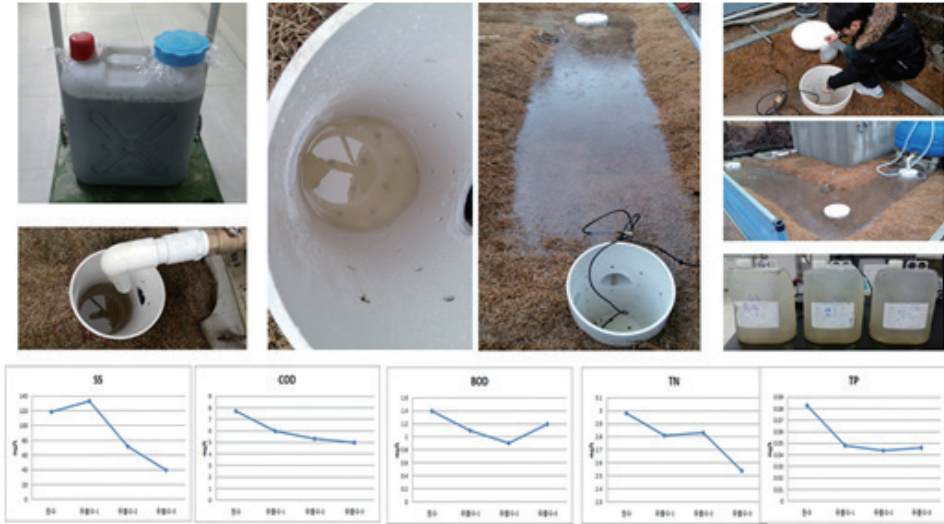


그림 12. 지표수+유출지하수 겸용Hybrid침투저류조의 물순환율

가 높은 지점을 물순환목표로 한다. 위에서 산출된 이론모형을 그래프를 그려보면 아래 그림12와 같다.

- 1)공적편익선 : 빗물관리필요량 등 빗물관리의 공적편익요구를 뜻하며, 서울특별시의 경우 빗물분담제도(조례)에 의해 총강우량의 40%(620mm/hr)에 해당한다.
- 2)사적편익선 : 사용량기준의 물공급량으로 물유효수량을 말한다.

지붕면적집수량을 100%로 기준했을 때, 지표수+지하수물순환율을 약260%를 추가로 증진한다. 그래프 상의 하부보라색 A는 물의재이용촉진법에 의한 저류조 규모이며, B는 지표수유효수량, C는 유출지하수 가용용량이다. A,B,C를 합산한 값이 물순환곡선과 만나는 곳이 물사용의 경제적 사용가치이며 물순환목표율로 본다. 본 실험은 Test Bed시설에서 실험한 Data를 근거로 지하심도5m

에서 유출지하수의 유량이 풍부한 조건일 때 유효량(사용량)을 근거로 작성한 것이다.

6.3 수질시험

- 위탁연구기관 : (재)한국먹는물안전연구원
- 공인시험기관 : (주)대현환경

수질시험 방법으로는 Test Bed시설에 오염수를 식생수로 및 침투시설에 주입하여 모니터링지점에서 샘플링하여 공인기관에서 시험분석을 하였다. 시험 항목은 SS, COD, BOD, T-S, T-P 였으며 그 결과는 표1, 그림13과 같다. 따라서 비점오염저감효과가 있다고 분석할 수 있다

7. 결론

빗물 및 유출지하수 겸용Hybrid침투저류시스템

의 물순환 기술에 관한 연구는 Test Bed시설을 설치하여 공공기관 및 공인인증시험기관에서 부력 및 물순환율과 수질시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

저류조에 CRV를 설치한 시설과 그렇지 않은 시설의 대조구(A, B)을 만들어 Load Cell을 설치하여 부력시험을 한 결과는 CRV를 설치한 대조구 A에서는 부력이 0이 나왔으며, CRV를 설치하지 않은 대조구 B에서는 약160kg의 부력이 발생되었다. 이 시험에서 저류조 내외의 수두차 18cm(개방압력 $0.018\text{kg}/\text{m}^2$)에서 정확하게 CRV내의 Valve가 열려 부력이 0이 된 것을 확인하였다. 빗물과 유출지하수 검용 Hybrid침투·저류조에 CRV를 설치하여 지표수와 유출지하수를 이용한 물순환율을 시험 한 결과는 목표량설계 값인 물순환율 360%에 도달하였다. 또한, 도로에서 발생하는 수준의 오염수를 현장에서 배합하여 침투시설

인 식생수로와 LID침투시설(침투관, 침투통)에 유입했을 때, 침투 및 여과, 침전 및 분해 그리고 자연대사 작용 방식의 물순환성능으로 비점오염저감효과를 얻을 수 있었다. SS는 76.95%, COD는 27.20%, BOD는 73.00%, T-N은 71.40%, 그리고 T-P 63.64% 저감율을 보였다.

본 연구를 통하여 물순환율을 360%까지 높임으로써 빗물의 공·사적 편익과 높은 경제적 가치를 도출하였으며 빗물+유출지하수 검용Hybrid침투저류조의 물순환율의 효과를 검증하였다.

8. 감사의글

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