

유역 침투-저류방식을 이용한 빗물이용시설의 효과 분석

The Analysis of effectiveness of the rainfall harvesting system by using infiltration-storage in the catchment area

최계운¹⁾, 정기일²⁾, 윤용진³⁾, 현지환⁴⁾

요 지

인류의 발전을 주도하였던 수자원은 현대에 이르러 음용수, 공업용수, 농업용수 등의 사용목적 을 가지고 활용되는 한편 하천, 호수 등 자연환경과 어우러져 인간의 삶을 윤택하게 해주는 기능 을 동반하여 다양한 형태로 활용되기에 이르렀다. 그러나, 수요 증가에 따른 개발증가로 수자원 부족량을 점차적으로 저하시키고 있고, 산업의 발전에 부가되는 환경 오염 등의 영향으로 현재 활 용이 가능한 수자원의 양은 점차 줄어들고 있는 추세이다. 직접유출량이 발생하는 포장 면적이 증 가할수록 침투가 가능한 면적이 줄어들어, 강우시 발생하는 다량의 수자원을 활용하지 못하고 하 천으로 방류하게 되므로 점차 수자원 부족 현상이 가시화되고 있는 현 시점에서는 적극적인 활용 대책의 마련이 반드시 필요한 실정이다. 이와 같은 이유로 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 빗물 을 받아 활용할 수 있는 빗물이용시설에 대한 연구와 실제 적용을 통해 수자원의 효율적 활용을 유도하고 있으며, 국내의 경우 1990년대 중반부터 유출저감시설 연구 및 시범지역 적용을 시작으 로 현재 빗물이용시설을 포함하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

빗물이용시설은 활용 면적에 따라서 건물의 옥상면을 통하여 유출되는 빗물을 저류하여 활용 하는 방식과, 일정 면적에 내리는 빗물을 침투-저류하여 활용하는 두 가지의 방식으로 크게 구분 할 수 있다. 본 연구에서는 두 가지 방법 중, 유역 침투-저류 방식을 이용한 빗물이용시설에서의 강우강도에 따른 유출량 및 저류량 변화를 분석하고 아울러 침투-저류 방식을 활용하는 경우, 수 질 변화를 검토하는 실험을 통하여 유역 저류-침투방식을 활용한 빗물이용시설의 적용성 여부를 확인하고자 한다.

핵심용어 : 빗물, 빗물이용시설, 침투, 저류, 인공강우

1. 서 론

-
- 1) 시립인천대학교 토목환경시스템공학과 교수, E-mail :gyewoon@incheon.ac.kr
 - 2) 시립인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정, E-mail : secondguitar@incheon.ac.kr
 - 3) 시립인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정, E-mail : yyj4569@dohwa.co.kr
 - 4) 시립인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정, E-mail : riverp@empal.com

도시화가 이루어진 지역에 강우가 발생하는 경우 대부분의 빗물은 도심지역의 피복 특성에 따라서 지표면을 통한 직접 유출로 인해 하천 등으로 방류되게 된다. 도시 지역에서 직접 유출되는 빗물을 지하에 침투시키는 경우, 포장면적의 증가와 지하수 이용으로 저하되는 지하수위를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 일부의 빗물을 저류시켜 수요가 발생하는 경우에 공급이 가능하도록 활용하는 경우 수자원 확보 및 활용의 측면에서 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 강우가 발생시 운동장, 공원, 녹지 등의 장소에서 유출되는 빗물을 U형 측구를 통하여 수집한 후 침투조와 저류조를 활용하여 유역 내 침투외의 2차 침투를 유도하고 저류된 빗물을 수요가 발생하는 경우 공급이 가능한 시스템을 설치 후 적용성에 대한 연구를 시행하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치의 개요

실험장치는 넓은 면적을 가지는 운동장, 공원, 녹지 등의 장소에서 유출되는 빗물을 U형 측구를 통해 수집한 후 여과조를 거쳐 저류조와 침투조에 각각 일정량을 배분하여 침투조로 유입된 빗물은 지하로 침투시키고 저류조로 유입된 빗물은 우수관거 등의 시설과 연계하여 수요가 발생하는 경우에 활용이 가능하도록 하는 구조이며 그림 1과 같다.

본 실험에서 실험장치를 설치하기 위해 선정된 실험유역의 면적은 5m×5m로 선정하였으며, 실험유역의 특성 파악을 위해서 실시한 투수계수실험과 입도분포실험을 실시하였고, 실험의 결과는 그림 2, 그림 3과 같다. 또한, 현장에서 채취한 시료의 최대건조단위중량은 1.82t/m³로 산정되었으나, 현장조건을 고려하여 들밀도실험을 실시하고 이를 통하여 산정한 건조단위중량인 1.48t/m³을 적용하여 다짐을 실시하고 정수두 투수시험을 실시하였다.

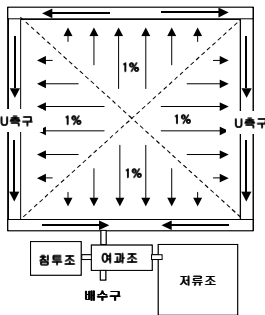


그림 1 배치도

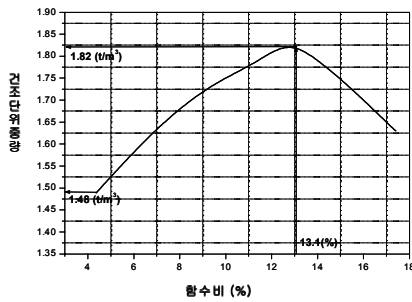


그림 2 실험유역의 다짐곡선

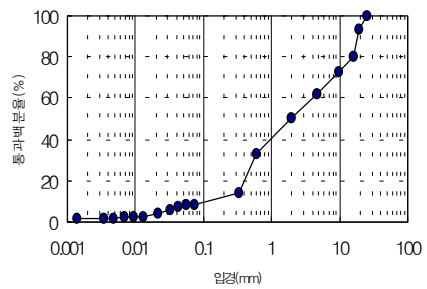


그림 3 실험유역의 입도분포곡선

2.2 실험장치의 세부구성

침투조의 설계시에는 초기 오염 물질이 유입되는 시간을 유역의 최상류 지점으로부터 하류부

까지 도달하는 시간으로 하되, 이 경우 강우도달시간과 같다고 가정하여 1분간의 유입량을 산정하여 적용하였다. 여과조 내 여과층의 단면은 쇠석과 모래층의 2중 구조로 되어 있으며, 쇠석층은 100mm의 두께이고 모래층의 투수계수(k)는 설계기준(100~150m/day)에 따라 150 m/day로 하여 400mm의 두께로 포설하였다. 유입구와 유출구의 차이를 400mm하여 수두차 (Δh)를 두어 그림 4와 같이 모래층의 단면적을 산정하였다. 유입구 부분으로 유입되는 유량은 1단계 여과장에서 측구를 통하여 유입되는 부유물 등의 1차 여과를 행하고, 유입이 진행되면서 침투조로 유량이 배분되며, 유입이 장시간 진행된 경우에는 측벽을 넘어 우측에 위치한 상향여과층을 통과한 빗물이 유출구를 통하여 저류조에 저장되는 형식이다. 또한, 실제 강우를 활용한 실험을 행하기에 앞서 강우가 발생하지 않는 기간의 실험을 위해 인공강우장치를 하단의 그림 5와 같이 설치하였다. 인공강우장치는 노즐 1개의 분사범위를 1m²로 하여 25개의 노즐을 균등배치하고 관에 연결된 5개의 밸브로 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 설치된 노즐은 분사각도를 고려하여 80cm의 높이에 설치하였고, 바람막이를 설치하여 실험시 분사된 유량이 바람에 의해 유역 외부로 손실되는 것을 방지하였다.

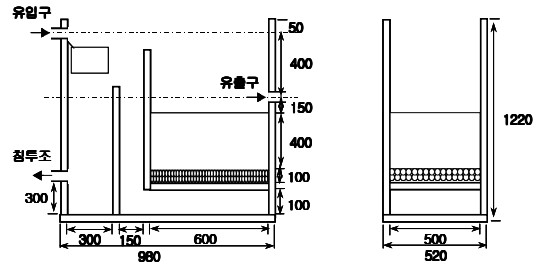


그림 4 여과층의 구성 및 여과조 측면도

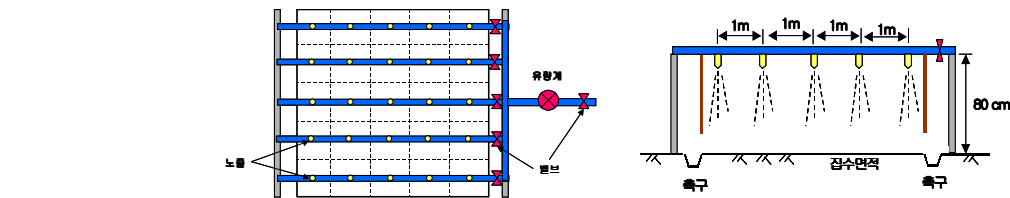


그림 5 인공강우장치의 평면도와 단면도

인공강우장치에 설치된 유량계는 순간유량계 CG-1이며 측정범위는 0.35~3.5m³/hr이다. 노즐은 HM-FFW를 사용하였으며 분사유량은 1.2~2.7kg/cm², 분사각도는 120°이다.

2.3 인공강우실험 및 결과

인공강우를 활용한 실험은 두 가지로 나누어 실험하였다. 그림 6은 강우강도-저류량 실험의 결과로 강우강도에 따른 유출량과 저류량을 살펴보기 위해 20~40mm/hr의 강우강도로 1시간 동안 인공강우를 활용한 실험을 실시한 결과이다. 실험유역에서의 유출율은 56~80%로 강우강도가 커질수록 유출율이 커지는 경향을 보였으며 평균유출율은 약 70 %를

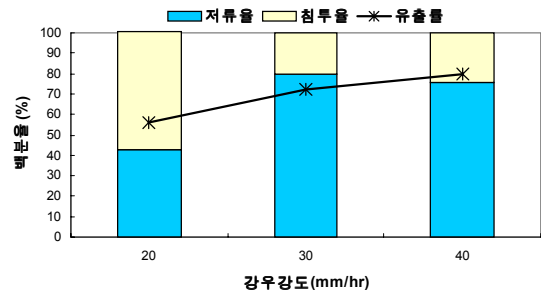


그림 6 유출량-저류량 관계

나타냈다. 저류하여 사용할 수 있는 유량은 총유출량의 42.8~79.9%로 나타났으며 강우강도가 커질수록 저류율이 커지는 것으로 나타났다.

그림 7은 강우강도에 대한 유출수의 여과 전, 후 SS농도와 평균여과율을 나타내고 있다. 강우강도 20~40mm/hr의 변화에 따라 유출수의 여과 전 평균 SS농도는 41.4~202.8mg/l, 여과 후의 평균 SS농도는 15.1~59.5mg/l로 약 63.4~70.7%의 비교적 높은 여과효율을 보였다. 강우강도 증가에 따라 유출수의 SS농도가 커지는 경향을 보였으며, 50 mm/hr의 강우강도에서 유출수의 SS농도가 작아진 것은 실험유역에서 토사의 유출량이 더 이상 커지지 않는 반면 강우장치에 의해 공급되는 수량은 많아져 오염부하가 낮아지기 때문인 것으로 보인다. 초기유출 분리조로 분리되는 유출수의 평균 SS농도는 116.8~649mg/l로 저류조로 유입되는 유출수에 비해 약 2.8~3.2배의 SS오염도를 나타냈다.

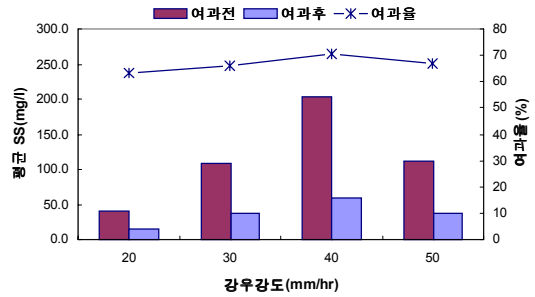


그림 7 강우강도/평균SS-여과율의 변화

2.4 실제강우실험 및 결과

실험은 각각 2003년 10월과 11월에 인천지역에 발생한 실제강우 중에서 실험유역에서 유출이 발생한 경우만을 대상으로 진행하였다. 2003년 10월 1일부터 2003년 11월 20일까지 인천지역에서는 10회의 강우가 발생하였고, 이 중 10월 28일, 11월 7~8일, 11월 11일의 강우에서 실험유역내 유출이 발생하였다. 해당 일자의 시간대별 강우량과 누가우량은 다음과 같다.

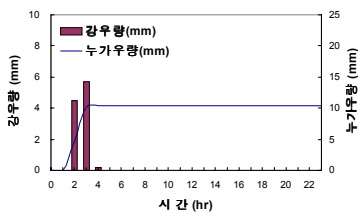


그림 8 10월 28일 강우

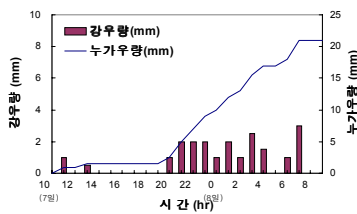


그림 9 11월7~8일 강우

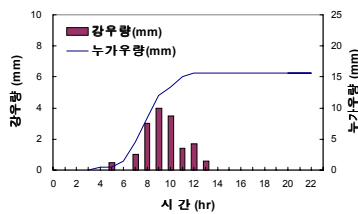


그림 10 11월 11일 강우

위의 그림 8~10에서 알 수 있는 바와 같이, 10월 28일 강우의 경우 2시간에 집중되었고, 11월 7~8일 강우는 2일에 걸쳐 장기간 발생하였으며, 11월 11일 강우는 약 10시간동안 증가와 감소를 보이는 형태를 나타내었다. 실강우를 대상으로 실험을 행하는 경우, 강우강도가 가변적이기 때문에 강우강도에 따라서 유출되는 빗물의 오염원이 변동될 것으로 예상하여 강우강도에 따라 BOD, CODmn, SS, T-N, T-P, pH의 변화를 비교한 결과 하단의 그림 11에서 보는 바와 같이 BOD, CODmn의 경우 강우강도의 변화에 대해 대체로 무관한 형태를 보였고 pH의 경우는 강우 초기에 약알카리성을 나타내었으나 시간이 지나면서 중성화되는 일반적인 패턴을 가지는 것으로 나타났

으며, SS의 경우는 강우강도의 변화에 따라 약간의 시간차를 두고 유사한 변화를 보이는 것을 알 수 있다.

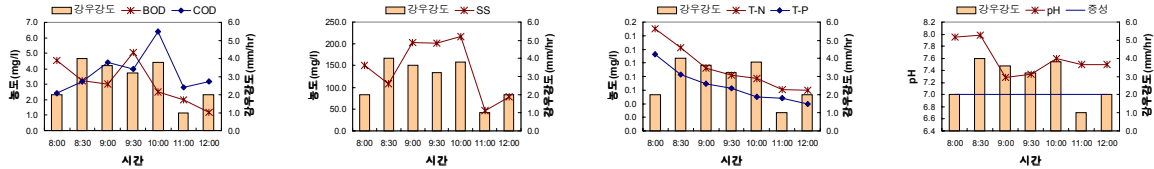


그림 11 강우강도에 따른 수질지표의 변화 (BOD, CODmn, SS, T-N, T-P, pH)

실강우시 실험유역에서 유출된 빗물 중 여과조로 유입되는 빗물과 여과조를 통과한 빗물의 항목별 측정결과는 다음과 같다.

표 1 유출수와 여과수의 평균농도

구 분		BOD(mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	SS(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)	pH
10월 28일	유출수	4.95	5.30	238.5	0.101	0.086	8.0
	여과수	3.27	4.60	67.5	0.066	0.063	6.9
11월 7~8일	유출수	3.29	7.84	183.0	0.098	0.075	8.1
	여과수	2.17	5.48	55.4	0.054	0.050	7.2
11월 11일	유출수	2.93	3.80	143.7	0.097	0.071	7.6
	여과수	1.94	2.00	53.6	0.055	0.052	6.9
평균	유출수	3.72	5.65	188.4	0.099	0.077	7.9
	여과수	2.61	3.30	60.55	0.060	0.058	6.9
평균여과효율(%)		30.0	41.6	67.9	38.9	25.52	-

여과조로 유입되는 빗물의 평균 BOD, CODMn 농도는 3.72mg/ℓ, 5.65mg/ℓ 이고, 여과조를 통과하여 여과된 빗물의 평균 BOD, CODMn 농도는 2.61mg/ℓ, 3.30mg/ℓ로서 각각 약 30.0 %, 41.6%의 여과율을 보였다. 빗물의 평균 SS 농도는 188.4mg/ℓ 이고 여과층을 통과한 빗물의 평균 SS 농도는 60.55mg/ℓ로서 약 67.9 %의 여과율을 보였다. 유입 직후 빗물의 평균 T-N, T-P 농도는 0.099mg/ℓ, 0.077mg/ℓ 이고, 여과 후의 평균 T-N, T-P 농도는 0.060mg/ℓ, 0.058mg/ℓ로서 각각 약 38.89 %, 25.52 %의 여과율을 보였다. pH의 경우 여과조 유입 평균 pH는 7.9이고, 여과조 통과 후의 평균 pH는 6.9로서 약 알카리성에서 중성의 값을 보였다.

3. 결 론

본 연구에서는 일정 면적의 유역에 인공강우와 실제강우가 발생하는 경우 유출되는 빗물을 측구를 통해 수집하고, 일정량을 침투시킴과 동시에 상향 여과층을 통과한 빗물을 저류조에 보관하여 수요가 발생하는 경우 활용 여부에 대해서 실험하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫 번째로, 인공강우를 이용한 강우강도-저류량 실험을 수행한 결과, 유출율의 변화는 56~

80%로 강우강도의 증가에 따라서 유출량도 증가하는 것을 알 수 있었으며, 이와 같은 증가에 따라서 저류 후 사용할 수 있는 수량도 늘어나게 된다. 그러나, 설계강우강도를 초과하는 강우가 발생하는 경우에는 여과층에서 발생하는 손실로 인해 저류율의 감소가 발생하는 것으로 나타났다.

두 번째로, 인공강우를 이용한 강우강도-SS농도 실험에서는, 강우강도의 증가에 따라서 발생하는 SS의 양도 많아지지만, 여과조에 설치한 상향여과장치를 활용하는 경우 유입되는 빗물에 포함된 SS를 63.4~70.7% 여과시킬 수 있는 것으로 나타났다. 상향여과장치의 필터 역할을 하고 있는 쇄석과 모래의 경우 재료 획득이 용이하고, 유지관리상의 경제성이 있는 재료이므로, 설치 대상지역이 운동장, 공원 등으로 SS의 부하가 가장 높을 것으로 보이는 만큼, 실제 적용하는 경우에도 효율을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

세 번째로, 실제 강우에 대한 여과층의 수질 개선 효과 검증 실험에서는 SS의 여과율이 67.9%로 가장 높은 것으로 나타났으며, T-N, T-P의 경우에도 강우 초기에 측정된 값에 비해서 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 실제 강우시 유출된 빗물이 저류조에 저류된 후의 수질은 IV등급으로, 본 연구의 결과를 활용한 장치를 실제 설치 후, 저류된 빗물을 용수로 활용하는 경우에는 공업용수 2급, 농업용수, 하천유지용수로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 논문은 환경부(환경기술진흥원)의 2002년도 차세대 핵심기술개발사업인 “도시관류하천의 유지유량 확보 및 자연정화기술 향상기술”의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 국립방재연구소 (2001), 투수성 우수유출저감시설 설치기준 제정
2. 배상근 (2000), “우수침투에 의한 지하수 함양과 적용사례”, 한국수자원학회, 기초과제 연구보고서, pp. 311.
3. 여운광, 이종국, 심재현, 김중수 (2000), “도시 우수유출 저감을 위한 침투형 맨홀의 효과분석”, 대한토목학회 논문집, Vol. 20, No. 6-B, pp. 795~800.
4. 이도훈 (2000), “미국의 우수침투 적용사례 및 침투시설에 대한 고찰”, 한국수자원학회, 기초과제 연구보고서, pp. 329~342.
5. 조원철 (1999), “서울특별시 호우유출 저감시설 시험사업”, 한국수자원학회지, 제32권 제4호, pp. 32~43.
6. 최계운 등 (2001), “투수성 유출저감시설 설치기준에 관한 연구”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 1230~1235.