

우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템 개발

Development of the Sub-soil Storage System for Utilization Urban Instream Flow of Rainfall Runoff

최 계 운* / 최 종 영** / 김 석 봉***

Choi, Gye-Woon / Choi, Jong-Young / Kim, Suk-Bong

Abstract

In this paper, the sub-soil storage system for utilizing urban instream flow of rainfall runoff was developed and examined through experiments. The artificial rainfall facility and sub-soil storage were installed in the experimental area. The effect of the water quality improvement and the storage effect were analyzed through the several experiments. Through the experiments of rainfall intensity variation, which are the rainfall intensity of 20mm/hr, 30mm/hr, 40mm/hr, 50mm/hr was indicated SS concentration can be reduction until 68%. Also, the ration of the storage volume is varied from 42.8%~79.9% based on the rainfall intensity. The reduction rate of the BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P was 30%, 42%, 68%, 39%, 26%. As the result, water quality of runoff and efficient of runoff reduction by the system are much improved. The rainfall runoff with the installation of sub-soil storage could be used for instream flow.

Keywords : Rainfall Runoff, Instream Flow, Sub-soil Storage, Artificial Rainfall Facility

요 지

본 연구에서는 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템을 개발하고 실험을 통하여 적용성을 검토하였다. 이를 위해 5m×5m 크기의 유출면적에 인공강우장치와 지하저류시설을 설치하고, 인공강우 실험과 실제 강우 실험을 통하여 유출수의 수질개선 효과와 저류 효과를 분석하였다. 강우강도를 20mm/hr, 30mm/hr, 40mm/hr, 50mm/hr로 조절하여 인공강우 실험을 실시한 결과, 지하저류시스템에 의한 유출수의 SS농도 저감은 평균 68%로 나타났으며, 저류율은 42.8%~79.9%로 나타났다. 총 3회에 걸친 실제강우 실험에서는 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P의 평균 여과율은 각각 30%, 42%, 68%, 39%, 26%로 나타났다. 본 실험을 통하여 지하저류시스템에 의한 우수유출수의 수질개선과 유출량 저감 효과가 상당히 큰 것으로 나타났으며, 지하저류시설에 저류된 우수유출수는 하천유지용수 등으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 우수유출수, 하천유지유량, 지하저류시설, 인공강우장치

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
Prof., Dept. of Civil & Environ. System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr)

** 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정
Master's Course, Dept. of Civil & Environ. System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(E-mail : hydroot@dreamwiz.com)

*** 육군사관학교 토목공학과 부교수
Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul 139-799, Korea
(E-mail : Kimsukbo@kma.ac.kr)

1. 서 론

90년대 이후 도시화에 따른 인구의 집중으로 지역의 유출특성이 크게 달라졌고, 특히 지표면의 불투수층화로 지하 침투량의 감소와 지중 유출이 감소되고 있다. 이는 도시하천의 건천화라는 현상으로 나타나고 있으며 하천기능의 상실, 하천 생태계 교란, 하천에 대한 주민들의 혐오감 증대 등 많은 문제를 일으키고 있다.

이와 같은 도시하천의 건천화를 방지하기 위하여, 일부 선진국의 경우 빗물을 활용한다든지 또는 하수처리수를 활용하는 등 하천 유지유량을 확보하고 공급하는 방안이 연구되고 있다. 독일의 경우 자연적인 물순환 시스템과 도시의 생태적 기능회복에 초점을 두고 있으며, 국토 면적이 넓어 시설을 외부공간에 개방시키고 있다. 반면에 우리 나라와 비슷한 조건을 가지고 있는 일본의 경우는 빗물의 이용적 측면과 도시 홍수예방, 우수유출량 저감에 초점을 두고 있으며, 도심지의 활용 가능 면적이 부족하여 지하에 매설하고 지상공간을 활용하는 형태도 보이고 있다.

유지유량 확보를 위한 저류시설로는 유출저감시설로 주로 알려져 있는 침투통, 침투트렌치 등을 이용하여 우수를 지하로 침투시켜 지하수 공급량을 늘려 사용하는 방법, 공원 내 연못, 저류지 등 지상의 저류공간을 사용하는 방법 및 지하주차장이나 지하 저류조를 활용하는 방법이 있다. 유출저감 시설은 주로 홍수시 직접 유출을 억제하기 위하여 사용되기 시작하였으나 도시 내 하천의 건천화 원인이 지하수위 저감, 도시 내 불투수층 증가로 인한 침투능부족 등에 기인하는 것으로 알려짐에 따라 침투조를 활용하여 이에 대한 대책으로 침투조의 활용 연구가 점차 증가하고 있다. 즉, 홍수시 침투시설을 통한 지하 침투량을 증가시켜 지하수의 수위 강화를 방지하고 갈수시 용출수 등을 통한 하천내 유지유량 공급이 원활하도록 유도하고 있다.

국내의 경우 우수유출에 관한 연구는 서울시의 우수유출저감시설 기준 연구를 시작으로 1998년부터 2003년까지 국립방재연구소에서 우수유출저감시설 설치기법 및 제도화를 위한 5개년에 걸친 연차별 계획을 수립하고 우수유출 억제시설의 설치기법을 연구하였다. 이에 관련하여 김현수(2002)는 인천침수피해지역에 우수유출저감시설을 적용하여 설치효과를 분석하였으며, 최지용(2002)등은 우수유출저감시설을 통한 도시지역의 비점오염원 및 유출수의 저감방안을 연구하였다. 윤여진(2000)등은 쇄석의 공극을 이용한 저류시설의 시공성을 분석하였고, 이재웅(2001)등은 투수성 포장재를 통한 유출저감 효과를 분석하였다. 장복진(2002)등은 현장자료

를 이용한 침투집수정의 유출저감효과에 관한 연구를 수행하였으며, 최계운(2003)등은 실험을 통하여 지하 빗물시설의 설치에 따른 유출저감 효과를 분석하였다. 또한 박정훈(2002)은 지하저류조 설치에 의한 도시하천의 유지유량 확보방안에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템을 개발하고 실험을 통하여 도시하천유지유량으로 활용에 대한 적용성을 검토하였다. 이를 위해 인천대학교내 5m×5m 크기의 유출면적에 인공강우장치와 지하저류시설을 설치하고, 인공강우 실험과 실제강우 실험을 통하여 유출수의 오염도 저감 효과와 저류 효과를 분석하였으며 일정유량 방류장치를 통한 지하 저류시스템 내 우수를 하천 유지유량으로 활용하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험장치의 설계 및 설치

2.1 지표면 유출시설

현장실험을 위하여 그림 1과 같이 5m×5m 크기의 실험면적을 가진 지표면 유출시설을 설치하고 지하저류장치를 연결하였다. 지면은 약 2%의 경사를 두어 우수유출수가 집수관으로 원형관의 측면을 통하여 용이하게 집수되도록 하고 강우가 유역면적 외 지역, 즉 원형관 상부면에서 직접 유입과 주변 지면에서 튀어서 유입되는 것을 방지하도록 하였다. 그림 2는 지표면 유출시설과 지하저류시설이 설치된 모습이다.

그림 1에서 보는바와 같이 유역 중심으로부터 4방향 측면으로 우수가 유출되도록 경사를 두고 반원형의 측구를 통하여 유입된 물은 초기 유출수의 분리조를 통하여 초기유출수를 분리한 후에 침전조, 여과조, 침투조 등으로 유입되도록 하였다. 지하저류조의 용량을 초과하는 강우가 발생하는 경우 잉여 유입수는 지하수로 유입되도록 하였다. 그림 2는 설치된 실험유역의 전경을 보여주고 있으며, 유역 밖으로부터 바람 등에 의한 유입을 방지하기 위하여 비닐로 유역을 구분하였으며 상부에 인공강우장치를 설치하였다.

그림 3은 인공강우장치의 설치 개념도를 나타내고 있다. 실험유역 위에 노즐 1개당 분사범위를 1m²로 하여 25개의 노즐을 균등하게 배치하였다. 유량계를 통하여 인공강우량을 파악하여 유입부에 연결된 5개의 밸브의 개폐를 조절함으로써 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 노즐은 최대한의 분사범위를 가지면서 바람의 영향을 최대한 적게 받도록 하기 위하여 지상으로부터 80cm 높이에 설치하였다. 표 1은 인공강우장치에 설치된 유량계와 노즐의 제원, 그리고 설치된 모습을 보여주고 있다.

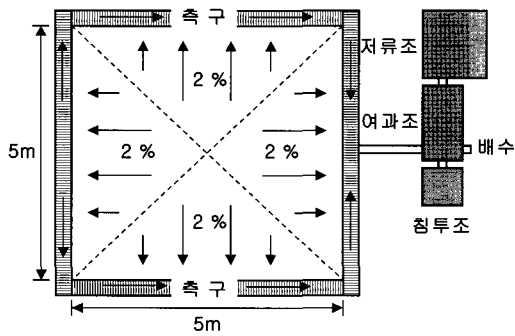


그림 1. 지표면 유출시설 설치 개념도

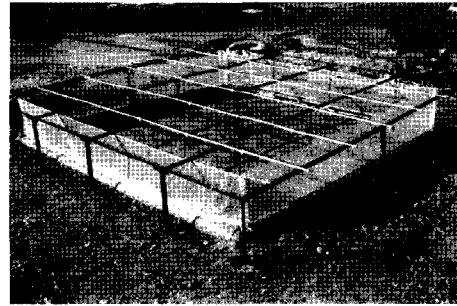


그림 2. 지표면 유출시설의 설치전경

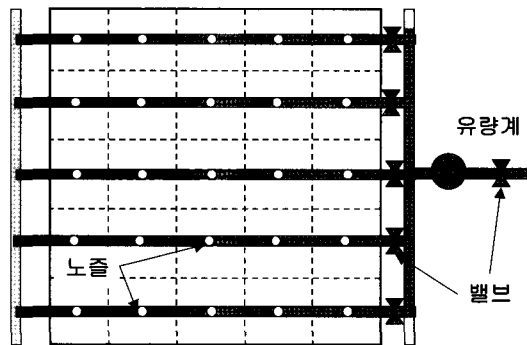


그림 3. 인공강우장치 설치 개념도

표 1. 유량계와 노즐의 제원 및 설치된 모습

제 품	형 태	제 원		설치된 모습
순간 유량계		모델명	CG-1	
		종 류	순간 유량계	
		측정 범위	0.35 ~ 3.5 m ³ /hr	
노즐		모델명	HM-FFW	
		유 량	1.2 ~ 2.7 kg/cm ²	
		분사 각도	120°	

2.2 지하저류시설

그림 4는 본 지하저류시설의 수처리 계통도를 나타내고 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 강우에 의하여 발생된 유출은 크게 초기유출량과 활용가능량으로 구분되고 활용가능량은 다시 처리용량과 초과용량으로 구분된다. 초기유출량은 지표면에 있는 비점오염원을 포함

하는 오염도가 심한 유출량으로 별도의 초기유출분리조를 통하여 지하침투를 유도하고 나머지 유출수는 침전과 여과과정을 거친 후 저류조에 저장되어 사용되게 되며, 설계용량을 초과하는 유출수는 직접 배수가 된다. 침전·여과되어 저류되는 유출수는 사용목적에 따라 일정한 수질을 만족해야 하며 초과되어 배수되는 유출수도 하천의 오염을 막기 위해 일정한 수질을 유지해야 한다.

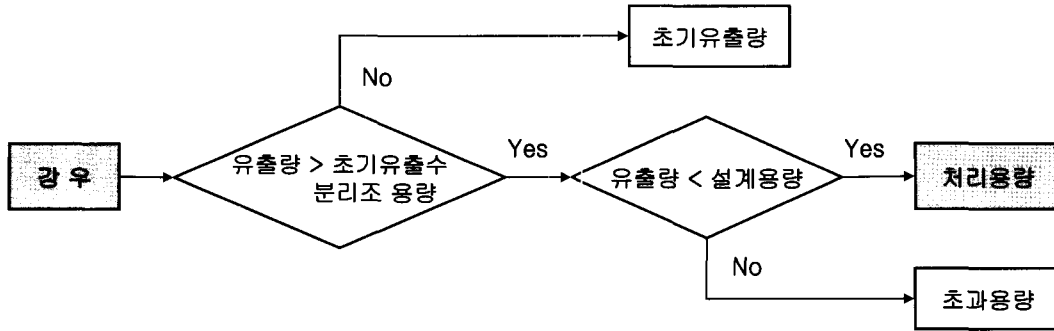


그림 4. 지하저류시설의 수처리 계통도

(단위:mm)

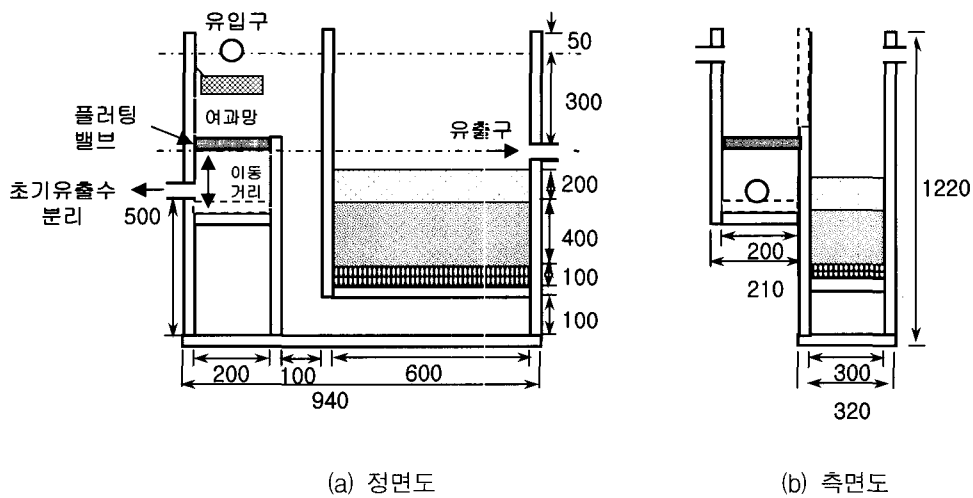


그림 5. 지하저류시스템 구조도

초기유출 분리조는 강우초기의 오염된 유출수를 분리하는 시설이다. 보통 강우초기의 유출수는 오염물질을 많이 포함하고 있으며 이런 오염된 초기유출수가 강우초기에 일시에 배출되는 것을 초기유출(first flush)현상이라고 한다. 따라서 초기유출수를 분리하여 전처리 과정을 거쳐 배출시키거나 침투시키면 우수유출수의 오염부하를 상당히 줄일 수 있다. 본 실험에서는 초기유출수의 유출량을 유역의 최상류지점으로부터 유출된 물이 유출지점까지 도달하는 시간동안에 유출된 양으로 하여 초기유출분리조를 제작하였다.

여과조는 모래층의 여과작용에 의해 유출수에 포함된 오염물질을 제거하는 시설로서 쇄석과 모래층의 2중 구조로 되어 있다. 쇄석층은 10cm의 두께로 모래층을 지지하는 역할을 하며 모래층은 굵은 모래와 가는 모래를 각각 40cm, 20cm로 설치하여 가는 입상의 부유물질과 오염물질을 여과시킬 수 있도록 하였다.

그림 5는 설치된 지하저류시스템의 구조를 보여주고 있다. 강우 초기에 유출된 초기오염물질은 여과망을 통

해 유출수에 포함된 비교적 큰 부유물질(낙엽, 나뭇가지 등)이 제거 된 후, 초기유출수분리조의 용량에 이를 때까지는 유출수가 초기유출분리조로 배출되도록 하였으며, 초기유출분리조 용량을 초과하면서 자동적으로 초기유출분리조로의 배출구가 폐쇄되고 지하저류 시스템내로 유출수가 유입되도록 하였다. 지하저류시스템 내로 들어온 유출수는 침전조를 거치면서 입자가 큰 모래등이 침전·제거되도록 하였으며 이 과정을 거친 후 여과조로 유입되도록 하였다.

지하저류시설은 유역보다 낮은 곳에 설치되어 위치 에너지 차이에 의해서 유입 및 여과과정이 이루어지므로 보통 지하에 매설되게 된다. 본 실험에서는 시료의 채취와 실험과정의 확인이 용이하게 하기 위하여 절토부에 지하저류장치를 설치하고, 강우시 빗물이 직접 실험장치로 들어오지 못하도록 천막을 설치하였다. 그림 6은 지표면 유출시설과 지하저류시설이 설치된 모습이다.



그림 6. 지하저류시설의 설치 모습

3. 인공강우 실험 및 분석

3.1 인공강우 실험

강우강도 변화에 따른 유출수의 오염특성 및 지하저류시설 설치에 따른 오염도 저감효과를 알아보기 위해 강우강도 20mm/hr, 30mm/hr, 40mm/hr, 50mm/hr에 대한 인공강우실험을 실시하였다. 초기유출수가 초기유출 분리조로 분리된 후 10분 간격으로 1시간에 걸쳐 저류량과 수질을 측정하였다. 수질은 여과조로 유입되는 유출수(여과전)와 여과과정을 거친 후, 저류조로 유입되는 여과수(여과후)를 채수하여 SS농도(mg/l)를 비교 분석하였다.

그림 7~10은 인공강우의 강우강도에 따른 유출수 여과 전·후의 SS농도를 나타낸 것이다. 강우강도가 20

mm/hr, 30mm/hr, 40mm/hr, 50mm/hr 일 때의 유출수의 초기 SS농도는 각각 139mg/l, 369mg/l, 850mg/l, 451mg/l이며 초기유출수가 초기유출분리조로 분리된 이후에는 최대 94mg/l, 245mg/l, 449mg/l, 285mg/l로 평균 37.5%가 감소하였다. 이를 통하여 초기유출분리조를 활용하는 경우 오염부하량을 크게 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 여과조를 통과한 유출수의 SS농도는 유입수에 비하여 점차 감소하고 있으며 30분이 지난 후에는 여과후의 농도가 상당히 안정된 상태로 유지하였다.

그림 11은 강우강도에 대한 유출수의 여과 전·후 SS농도와 평균 여과율을 나타내고 있다. 강우강도 20mm/hr~40mm/hr의 변화에 따라 유출수의 여과전 평균 SS농도는 41.4mg/l~202.8mg/l, 여과후의 평균 SS농도는 15.1mg/l~59.5mg/l로 약 63.4%~70.7%의 여과율로서 비교적 높은 여과효율을 보였다. 강우강도가 커

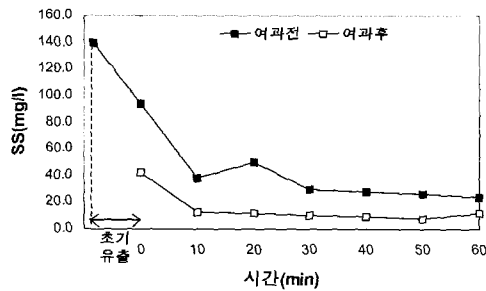


그림 7. 20mm/hr일때의 SS 농도 변화

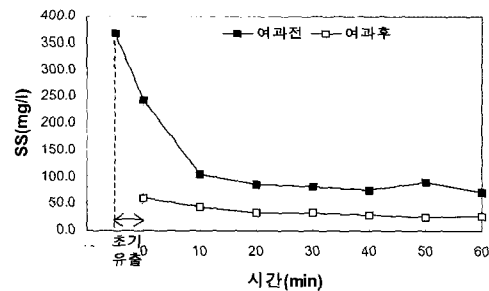


그림 8. 30mm/hr일때의 SS 농도 변화

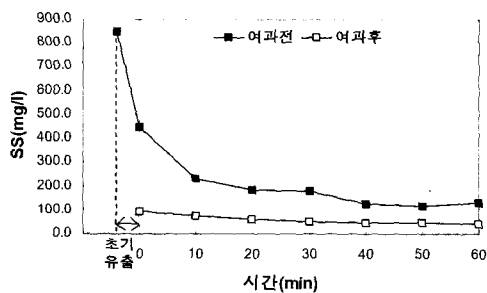


그림 9. 40mm/hr일때의 SS 농도 변화

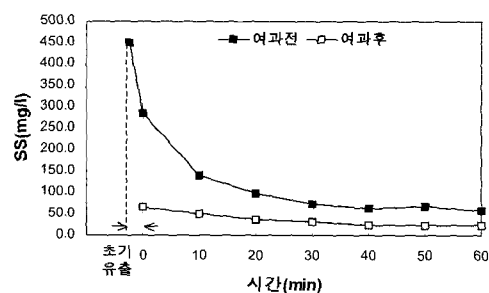


그림 10. 50mm/hr일때의 SS 농도 변화

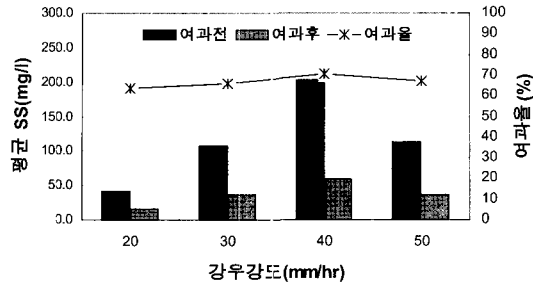


그림 11. 강우강도에 따른 평균 SS와 여과율의 변화

집에 따라 유출수의 SS농도가 커지는 경향을 보였으며, 50mm/hr의 강우강도에서 유출수의 SS농도가 작아진 것은 실험구역에서 토사의 유출량이 더 이상 커지지 않는 반면 강우장치에 의해 공급되는 수량은 많아져 오염부하가 낮아지는 것으로 판단된다.

3.2 유지유량 확보를 위한 저류량 실험

여과된 유출수가 저류조로 저류된 후 일정한 유량으로 하천에 방류되도록 하기 위해 그림 12와 같은 일정유량 방류장치를 설치하였다. 여과조를 통과한 물이 1차 저류조에 저류된 후에 일정유량 배출을 위하여 2차 저류조로 이동하게 된다. 이때 1차 저류조와 2차 저류조 사이에 연결된 플로팅 밸브에 의해 2차 저류조 수위

가 하강 될 때에만 물이 유출되고, 어느 정도 수위가 상승한 후에는 밸브가 자동적으로 닫히면서 유출이 중지되어 아주 작은 수위변화만을 유도하게 되어 배출구를 통하여 일정한 유속을 가진 유량이 배출된다.

1차저류조에 유량을 공급하면서 배출구를 통하여 배출되는 방류량을 측정한 결과, 그림 13에서 보는 것과 같이 약 30분이 지난 후 일정유량이 방류되는 것을 확인할 수 있었다. 이때 초기에 유출량이 적은 것은 유입되는 유량이 적어서 2차 저류조 수위가 플로팅 밸브 폐쇄 수위까지 이르지 못한 상태이며 이는 수문 곡선에서 수위가 상승하는 시기에 해당한다. 또한 방류량은 2차 저류조에의 유출관에 연결된 밸브의 개폐율을 조절함으로써 유출되는 방류량을 조절할 수 있다.

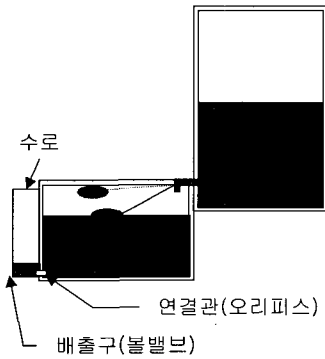


그림 12. 일정유량 방류실험 개념도

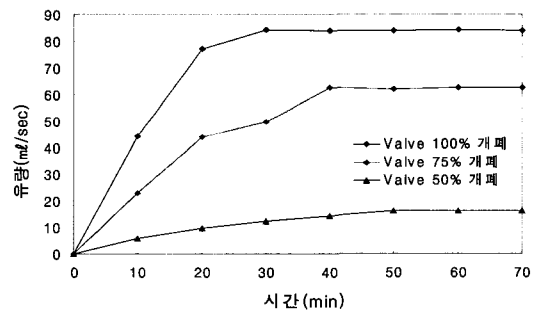


그림 13. 일정유량 방류 실험

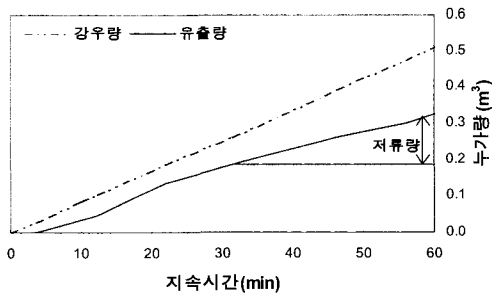


그림 14. 강우강도 20mm/hr - 유출량, 저류량의 관계

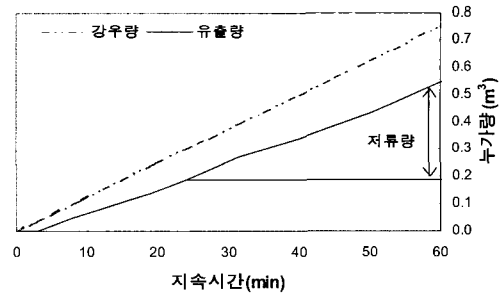


그림 15. 강우강도 30mm/hr - 유출량, 저류량의 관계

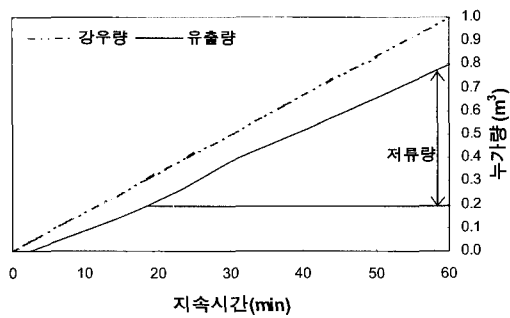


그림 16. 강우강도 40mm/hr - 유출량, 저류량의 관계

강우강도에 따른 유출량과 저류량을 살펴보기 위하여 1시간 동안 인공강우실험을 실시하였으며, 이때 유출은 그림 14~16에서 보이는 바와 같이 강우강도 20mm/hr, 30mm/hr, 40mm/hr일 때 강우 시작 후 약 3.6분, 3분, 2.5분 후 유출이 시작되어 31분, 24분, 18.5분 경과 후 저류가 시작되었다.

본 실험구역에서의 유출율은 그림 17에서 보는 바와 같이 56%~80%로 강우강도가 커질수록 유출율이 커지는 경향을 보였으며 평균 유출율은 약 70%로 나타났다. 지하저류시설로 유입되는 유출수 중 저류조로 유입되는 유량은 하천유지용량 등으로 사용되게 되며 나머지 유량 즉, 초기유출 분리조의 유량과 여과조 내 남아있는 유량은 지하수로 침투된다. 본 실험에서 저류하여 사용할 수 있는 유량은 총 유출량의 42.8%~79.9%로 나타났으며 강우강도가 커질수록 저류율이 커지는 것으로 나타났다. 강우강도 40mm/hr에서 저류율이 약간 감소되는 것은 여과조내 여과능력의 한계때문에 저류조로 유입되는 비율이 감소하기 때문이다. 또한 강우가 설계강우강도를 초과하였을 경우, 초과강우로 인한 유출량은 저류조로 이동이전에 배수설비를 통하여 배수됨으로 저류율은 더욱 감소할 것이다.

4. 실제강우 실험 결과 및 분석

4.1 강우 특성

우수유출수의 특성과 여과장치의 여과효율을 분석하

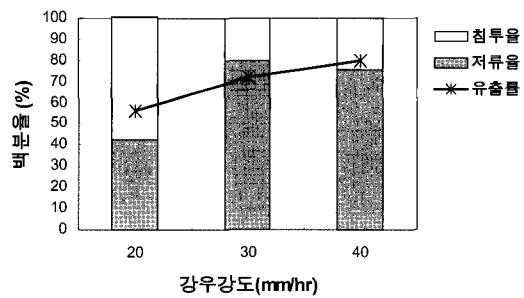


그림 17. 강우강도에 따른 유출량-저류량 관계

기 위해 2003년 10월 1일부터 11월 20일까지 총 10회의 강우 중 여과시설을 통하여 유출수가 발생한 총 3회에 걸쳐 실험을 실시하였다. 강우량은 실험구역 옆에 우량계를 설치하여 측정하였으며 인천기상대의 자료를 참고자료로 이용하였다.

실험기간동안의 강우특성은 표 2와 같다. 본 실험에서는 실험구역에서 인공강우실험을 병행하였으므로 선행건기일수의 산정에 있어서 인공강우실험을 포함하였다.

그림 18~20은 강우사상별 강우강도와 누가우량을 나타내고 있다. 10월 28일 강우는 2시간동안 집중적으로 내린 반면 11월 7일의 강우는 하루동안 지속적으로 비교적 약한 강우강도로 내렸다. 11월 11일의 강우는 9시간동안 지속되었다.

4.2 실험 결과 및 분석

본 실험에서는 강우시 여과조로 유입되는 유출수와 여과조를 통과한 여과수의 평균농도를 측정하여 지하저류시설의 여과효율을 산정하였다. 조사항목은 생화학적 산소요구량(BOD, Biochemical Oxygen Demand), 화학적 산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand), 부유물질(SS, Suspended Solid), 총질소(T-N), 총인(T-P) 수은, 수소이온농도(pH)이었다. 분석방법은 수질공정시험법과 Standard Methods(1995, 19th. Ed.)에서 제시된 방법으로 분석하였으며, 수질항목 및 분석방법은 표 3에 나타내었다.

표 2. 강우사상별 강우 특성

구분	발생일시	강우량 (mm)	지속시간 (hr)	선행건기일수 (day)
1차	2003.10.28. 1시~ 4시	10.4	3	0.5
2차	2003.11.7. 10시~ 11. 8. 10시	21	24	3.6
3차	2003.11.11. 4시~ 13시	15.7	9	0.5

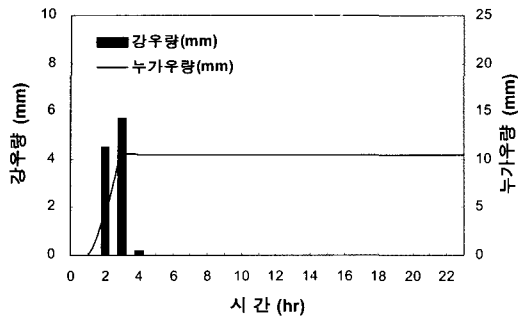


그림 18. 2003.10.28. 강우 사상

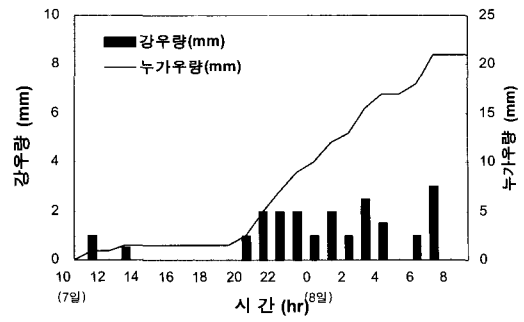


그림 19. 2003.11.7~8. 강우 사상

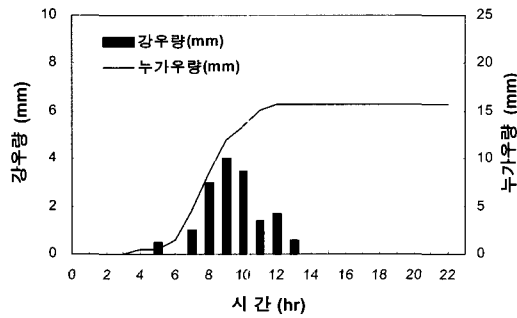


그림 20. 2003.11.11. 강우 사상

표 3. 수질분석항목 및 분석방법

분석 항목	분석 방법
BOD5	윙클러-아지드화나트륨법
COD _{Mn}	과망산칼륨에 의한 방법
SS	Glass fiber filter method
T-N	흡광광도법
T-P	아스크로빈산 환원법
온도	Temperature meter
pH	pH meter

표 4. 유출수와 여과수의 평균 농도

구분	BOD (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	pH	
1차	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
2차	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
3차	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	-

각 강우사상별 유출수와 여과수의 평균농도는 표 4와 같다. 여과조로 유입되는 우수유출수의 평균 BOD, COD_{Mn} 농도는 3.72mg/l, 5.65mg/l 이고, 여과조를 통과하여 여과된 여과수의 평균농도는 2.61mg/l, 3.30mg/l로서 각각 약 30.0%, 41.6%의 여과율을 보였다. 우수유출수의 평균 SS 농도는 188.4mg/l 이고 여과수의 평균 SS 농도는 60.55mg/l로서 약 67.9%의 여과율을 보였다. 우수유출수의 평균 T-N, T-P 농도는 0.099mg/l, 0.077mg/l 이고, 여과수의 평균 T-N, T-P 농도는 0.060mg/l, 0.058mg/l로서 각각 약 38.89%, 25.52%의 여과율을 보였다. 우수유출수의 평균 pH는 7.9이고, 여과수의 평균 pH는 6.9로서 약 알카리성에서 중성의 값을 보였다.

하천유지유량의 수질기준은 평균갈수량 또는 기준갈수량을 유지하는 갈수기에 목표수질과 예측수질의 관계를 이용함으로써 하천 수질이 최악의 상태일 경우를 대상으로 하고 있다(한국수자원공사, 1995). 따라서 본 실험과 같은 토양 조건에서 지하저류시설을 통해서 저류되는 저류수는 우리나라 수질기준(하천) IV등급으로서 하천유지유량으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 우수유출수의 도시하천 유지유량 활용을 위한 지하저류시스템을 개발하고 실험을 통하여 적용성을 검토하였다. 지하저류시설의 설치를 통한 우수유출수의 오염도 제거 및 저류 효과를 분석하기 위하여 인공강우장치 및 지하저류시설을 제작 및 설치하여 실험을 실시하였다. 또한 총 3회의 실제 강우사상에 있어서의 유출수의 특성을 비교함으로써 지하저류시설의 설치 효과를 분석하여 다음과 같은 다섯 가지 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구에서는 우수의 도시하천 유지유량 활용을 위하여 우수유출수를 오염부하가 큰 초기유출량과 오염부하가 감소된 활용가능량으로 구분하고, 활용가능량을 처리하여 도시하천 유지유량으로 활용하기 위한 지하저류시스템을 개발하였다.

둘째, 유출수의 초기 SS농도에 비해 초기유출수가 초기유출분리조로 분리된 이후의 SS농도는 평균 37.5%가 감소하였다. 이를 통하여 초기유출분리조를 활용하는 경우 오염부하량을 크게 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

셋째, 강우강도를 20mm/hr, 30mm/hr, 40mm/hr, 50mm/hr로 조절하여 인공강우 실험을 실시한 결과, 지하저류시스템에 의한 유출수의 SS농도 저감은 평균 68%로써

비점오염의 저감에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다.

넷째, 총 3회에 걸친 실제강우 실험에서는 BOD, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P의 평균 여과율은 각각 30%, 42%, 68%, 39%, 26%로 나타났다. 본 실험과 같은 토양 조건에서 지하저류시설을 통해서 저류되는 저류수는 도시하천 유지유량으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

다섯째, 우기와 건기, 기상이변 등을 고려할 수 있는 보다 다양한 강우조건에서의 지하저류시설 실험은 우수유출수의 활용성을 크게 증가시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부(환경기술진흥센터)의 2003년도 차세대핵심기술개발사업인 "도시관류 하천의 유지유량 확보 및 자연정화기능 향상기술"을 위한 연구비로 수행되었으며 이에 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

- 공정시험방법 (1998), 동화기술, pp.119~204
- 국립방재연구소 (1998), 우수유출 억제시설의 설치기법 연구(I)-지방도로 측구의 침투집수정 설치를 중심으로
- 국립방재연구소 (1999), 우수유출저감시설 설치기법연구(II)-시범구역 개발 및 저감효과 실측을 중심으로
- 국립방재연구소 (2000), 우수유출저감시설 설치기법연구(III)
- 국립방재연구소 (2001), 우수유출저감시설 설치기법연구(IV)
- 국립방재연구소 (2002), 우수유출저감시설 설치기법연구(V)
- 김현수 (2002), 인천 도심지역의 우수이용 방안 연구
- 박정훈 (2002), 지하저류조 설치에 의한 도시하천의 유지유량 확보방안 연구
- 배상근 (2000), "우수침투에 의한 지하수 함양과 적용사례", 한국수자원학회, 기초과제 연구보고서, pp. 311~326
- 서울시정개발연구원 (1995), 우수유출률 저감대책
- 서울시정개발연구원 (1998), 우수유출 저감시설 기준연구-설정 및 연구-
- 윤태훈 (2001), 응용수문학, 청문각, pp.815~816
- 최계운, 최종영, 이진원 (2003) "지하 빗물시설 설치에 따른 유출 저감효과 분석", 한국수자원학회논문집, 제36권, 제3호, pp.455~464

- 최지용, 신창민 (2002), 비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안, **한국환경정책·평가연구원**, pp.5~37
- 한국수자원공사 (1995), **하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용**, pp.187~190
- 한국수자원학회 (2002), **하천설계기준**, pp.271~353
- 日本河川協會(1993), **流域貯留施設等技術基準(案)**
- 市川新, マキシモヴィツケ(1988), **都市域の雨水流出とその抑制**
- 雨水貯留浸透技術協會(1993), **雨水浸貯留施設技術指針(案)**
- 雨水貯留浸透技術協會(1995), **雨水浸透施設技術指針(案) 調査·計劃編**
- 雨水貯留浸透技術協會(2000), **雨水浸透施設技術指針(案) 構造·施工·維持管理編**
- 雨水貯留浸透技術協會(2000), **雨水貯留浸透施設總覽**
- 雨水貯留浸透技術協會(2001), **雨水利用ハンドブック**
- Huber, W.C, and Dickinson, R. E. (1988), *Storm Water Management Model : Users Manual* (Ver. 4.0), E.P.A, pp.59~494.
- Standard Methods (1995), 19th ed., APHA, Washington, DC, pp.4-90~4-113.
- Terzaghi, K, and Peck, R. B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., Wiley, New York.
- (논문번호:04-02/접수:2004.01.15/심사완료:2004.01.31)