

지하 빗물저류시설의 설치에 따른 유출 저감 효과 분석 Reduction Rate of the Total Runoff Volume though Installing a Rainfall Storage Tank in the Sub-Surface

최 계 운* / 최 종 영** / 이 진 원***

Choi, Gye-Woon / Choi, Jong-Young / Li, Jin-Won

Abstract

In this paper, the experiments with installing a rainfall storage tank in the sub-surface were conducted and the reduction rates of the total runoff volume were investigated. The analysis were conducted based upon the variations of the rainfall intensity, surface coverage and surface slope. The reduction rate of the runoff volume was varied from 42.3% to 52.9 % with the soil in the bank of the Seung Gi stream. In the experiments, the rainfall intensities were varied from 40mm/hr to 100mm/hr and the results indicate that the direct runoff reduction can be obtained with the installation of the rainfall storage tank in the sub-surface. The variation of the stored volume in the tank is very large in the mild slope but very small in the steep slope with over 3% slope. With this results, the reduction of the direct runoff volume for the longtime flood is expected with the installation of the rainfall storage tank in the region having the steep slope such as the mountain area.

Keywords : Infiltration, Rainfall storage tank, Runoff reduction, Longtime flood

요 지

본 연구에서는 지하 빗물저류시설 설치에 따른 유출저감 효과를 분석하기 위하여 실험실내 모형 빗물저류장치를 설치하여 강우강도 변화, 표층의 피복상태 변화, 표면경사 변화에 따른 유출량 변화 실험을 실시하였다. 실험결과 대상하천인 승기천의 토양조건하에서 강우강도가 40mm/hr~100mm/hr일 때 총유출량 감소는 42.3~52.9%로 나타났으며, 지하 빗물저류시설을 설치하는 경우 총유출량과 침투유량의 감소를 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 경사변화에 따른 총유출량의 변화는 완만한 경사에서는 매우 크게 나타났으나 3%이상의 급경사에서 침투에 의한 저류량에 변화가 적고, 이는 산지와 같은 급경사지역에 빗물저류시설을 설치하는 경우 장기간의

* 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)

*** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

Senior Researcher, Water Resour. & Enviorn. Engineering, Research Division, KICT, Koyang 411-712, Korea

(E-mail : jwlee@kict.re.kr)

홍수에 대하여 상당한 효과를 나타내는 것으로 나타났다. 따라서, 본 시스템은 하천이나 산지의 급경사에도 큰 효과를 기대할 수 있다.

핵심용어 : 빗물침투, 빗물저류시설, 유출저감, 장기간홍수

1. 서 론

최근 도시화 및 산업화에 따른 불투수면적의 증가로 인해 도시홍수피해가 증가하고 있다. 불투수면적의 증가는 강우시 침투능을 감소시켜 총유출량의 증가와 호우시 홍수도달시간의 단축으로 인한 침투유량 증가의 원인이 되어 도시의 홍수피해와 수자원 확보 및 수질환경 등에 많은 영향을 미치고 있다.

도시화 진행이 점차 가속화되면서 도심 내 침수피해가 증가하고, 최근에는 국지성 호우가 증가함에 따라 유출량 감소와 홍수도달시간 단축을 위한 대책수립이 요구되고 있다. 이와 같은 대책의 일환으로 빗물저류시설의 설치요구가 증가하고 있으며, 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 빗물저류 또는 빗물유출저감시설에 대한 연구와 실제 적용이 활발히 이루어지고 있다. 일본의 경우 빗물저류시설의 설치를 권장하기 위하여 각종 사업이 실시되고 있으며 행정적인 뒷받침뿐만 아니라 정책적인 보조금이 지급되고 있다. 특히, 운동장이나 공원 등에 침투시설을 설치하여 대규모 도시 저류지를 운영하고 있거나, 별도의 빗물을 저류하여 갈수시 사용하는 경우도 있다(최계운동, 2001). 빗물유출 저감시설 보고서(서울특별시, 2000)에 따르면 미국의 경우에 빗물유출저감시설은 홍수피해 방지는 물론 생태공원 등의 부가적인 목적을 함께 추구하고 있으며 이를 위하여 자연적으로 빗물유출저감시설이 유지관리 되도록 고안한 습식저류 등의 이용이 증대되고 있다.

빗물유출저감시설은 유출되는 빗물을 일정시설에 일시적으로 저장하여 홍수가 지난 후 조금씩 하류로 방류하는 저류시설과 빗물이 지표면을 흐르거나 빗물이 배수로를 흐를 때 지하로 스며들게 하는 침투시설로 나눌 수 있다. 이중 침투시설은 침투트렌치, 침투측구, 침투통, 침투지, 투수성포장을 통해 빗물을 침투 및 저류하는 시설로서 빗물의 침투능을 결정하는 인자 즉, 표층의 상태와 경사 그리고 강우강도 등에 따라 저류효과가 상이하게 다르게 된다.

유출저감시설에 대한 국내의 연구는 1990년대 중반에 시작하여 현재까지 활발한 연구가 진행되고 있다. 국립방재연구소는 1998년부터 2001년까지 '빗물유출저감시설 설치기법연구'를 실시했으며 여러 시범사업을

통해서 연구결과를 검증하고 있다(김현수, 2002). 침투시설에 대한 연구를 살펴보면, 윤여진 등(2000)은 쇠석의 공극을 이용한 저류시설의 시공성을 분석하였고, 이재용 등(2001)은 투수성 포장재를 통한 유출저감 효과를 분석하였으며 장복진 등(2002)은 현장자료를 이용한 침투집수정의 유출저감 효과에 관한 연구를 수행하였다.

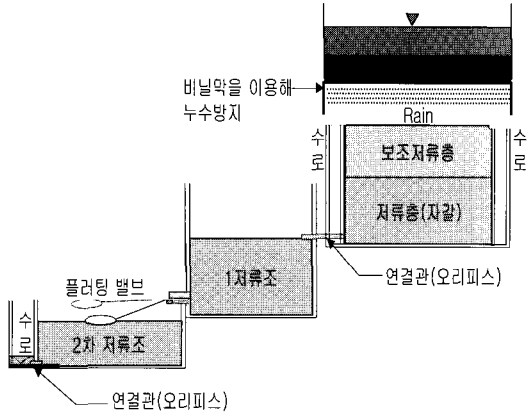
빗물저류시설을 지하에 설치하고 이에 대한 빗물을 적절하게 활용하기 위해서는 설치지점의 선정뿐만 아니라 침투능 효과의 검증, 일정유량의 방류, 저류능력의 판단 등에 대한 종합적 검토가 필요하게 되나 이와 같은 사항들은 실험실 실험을 통하여 검증한 후 현장에 적용하는 것이 바람직하다. 따라서, 본 연구에서는 침투능의 결정을 위해 빗물저류 실험장치를 통해 강우강도의 변화, 피복상태의 변화 및 경사 변화에 따른 유출량 저감효과를 분석하였다.

2. 실험 장치의 설치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 빗물저류시설 설치효과 분석을 위한 실험장치는 강우 시 지하에 침투되는 빗물을 저류조에 저장하여 하천에 일정유량을 흘려 보내는 장치이다. 장치는 인공강우장치, 빗물침투 및 저류장치, 그리고 저류조 등 3부분으로 구성되어 있다. 인공강우장치에 의해서 일정강우강도로 조절된 빗물은 빗물침투 및 저류층에 저장된 후, 연결관을 통해서 1차 저류조에 저류된다. 저류조는 1차와 2차로 나뉘는데, 1차 저류조는 많은 양의 빗물을 저장할 수 있는 저류조의 기능을 갖고 있고, 2차 저류조는 연결된 플러팅 밸브에 의해 일정유량을 방류시키는 보조저류조의 기능을 갖고 있는 동시에 적은 양의 빗물이 저류 되도록 하여 방류량 조절을 세밀하게 할 수 있도록 제작되었다. 이렇게 유지된 2차 저류조의 빗물은 수로의 삼각위어를 통해 하천으로 방류된다. 그림 1의 (a)는 실험장치의 개념도를, (b)는 빗물저류실험장치가 실내에 설치된 모습을 보여주고 있다.

빗물침투 및 저류층은 1m²의 면적을 갖는 정사각형 모양으로 둘레에 폭 5cm의 수로를 두어 실험유역 이외의 지역 내 떨어진 빗물이 실험조 내로 침투하지 못하고 방류될 수 있도록 하였다. 빗물침투 및 저류층의 최

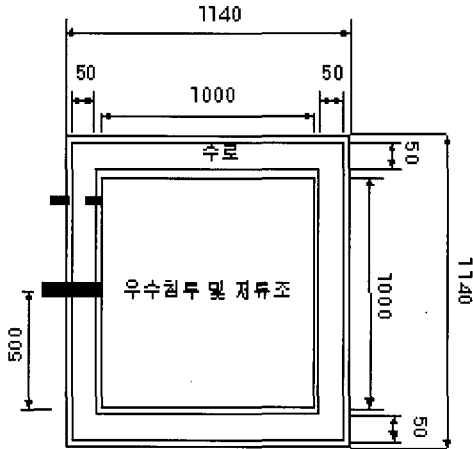


(a) 실험장치 개념도

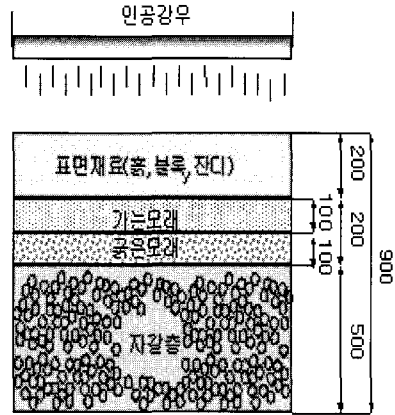


(b) 설치된 모습

그림 1. 빗물저류 실험장치



(a) 빗물침투 및 저류층의 평면도



(b) 빗물침투 및 저류층의 구성

그림 2. 빗물침투 및 저류층의 개념도

하부에는 자갈층을 포설하여 자갈의 공극을 이용해 빗물을 저류할 수 있도록 하였으며, 그 위쪽에는 굵은 모래와 가는 모래층을 두어 빗물의 침투가 용이하도록 하였다. 자갈층 상부에 포설된 모래층은 보조저류층의 역할과 함께 흙이 저류층에 유입되는 것을 방지하며, 필터로서의 역할을 할 수 있도록 하였으며 모래층의 상부 표층은 현장의 흙으로 포설 하였다. 그림 2의 (a)는 빗물침투 및 저류층의 평면도를 보여주고 있으며, (b)는 빗물침투 및 저류조의 재료구성을 나타내고 있다.

표층에 사용된 흙은 향후 실험결과를 사용을 위하여 승기천 제방의 흙을 사용하였다. 승기천 제방흙은 실트

질, 모래, 자갈이 균등하게 섞여있는 양호한 입도분포를 보였으며, 실트질성분이 씻겨나가 유효입경과 투수계수가 큰 값을 보였다. 굵은자갈의 공극률은 투수성유출 저감시설 설치기준(행자부, 2001)에 따라 40.8%로 하였다. 그림 3은 제방흙의 입도분포곡선을 보여주고 있으며, 표 1은 빗물침투 및 저류층의 층별 구성 재료의 유효입경, 균등계수, 곡률계수, 공극률, 투수계수를 나타내고 있다.

2.2 실험 방법

본 실험에서는 빗물의 저류효과 분석을 위하여 강우

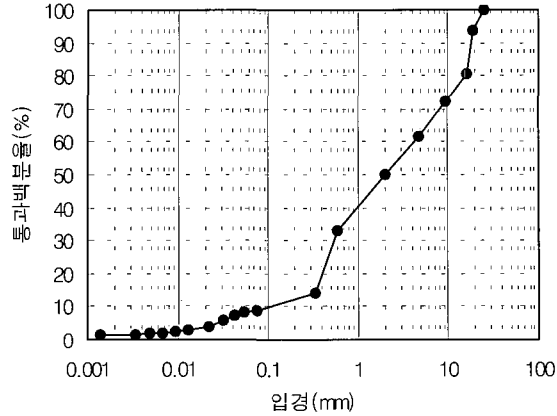


그림 3. 제방흙의 입도분포곡선

표 1. 빗물침투 및 저류조의 층별 구성 재료의 특성

| 구 분 | 유효입경 (mm) | 균등계수 | 곡률계수 | 공극률(%) | 투수계수 (cm/sec) |
|-------------|-----------|------|------|--------|---------------|
| 굵은자갈 (25mm) | 10.69 | 1.7 | 1.2 | 40.8 | - |
| 굵은 모래 | 0.44 | 2.59 | 0.98 | 22.6 | 0.694 |
| 가는모래 | 0.35 | 1.49 | 0.92 | 19.3 | 0.0587 |
| 제방흙 | 0.1 | 41.4 | 0.7 | - | 0.000123 |

표 2. 빗물저류효과 분석을 위한 실험 조건

| 구 분 | CASE | 측정간격 | 지속시간 | 비 고 |
|-----------|-----------|------|------|---|
| 강우강도 변화 | 40 mm/hr | 10분 | 60 분 | 표층에 제방흙만 포설 함수비(16.6%) 경사(0%) |
| | 60 mm/hr | | | |
| | 80 mm/hr | | | |
| | 100 mm/hr | | | |
| 표층피복상태 변화 | 흙 | 10분 | 60 분 | 강우강도 100mm/hr 함수비(16.6%) 경사 0% |
| | 잔디식재 | | | |
| | 블록+모래 | | | |
| 경사 변화 | 0 % | 10분 | 60 분 | 표층에 블록+흙 강우강도 100mm/hr 함수비(16.6%) |
| | 3 % | | | |
| | 5 % | | | |
| | 7 % | | | |

강도의 변화, 표층의 피복상태 변화, 그리고 경사의 변화에 따른 유출량과 침투량을 측정하였다. 실험에 있어 동일조건을 유지하기 위하여 실험을 수행하기 전에 물다짐을 실시하였고, 물다짐 후 실온에서 24시간 건조시켜 평균 함수율 16.6%를 유지하도록 하였다. 측정은 10분간격으로 1시간 동안 실시하였다.

표 2는 각각의 경우에 대한 실험조건을 나타내고 있다. 강우강도는 40mm/hr, 60mm/hr, 80mm/hr, 100mm/hr로 변화시켰으며, 경사가 없는 상태에서 표층에는 제방 흙만 포설하였고 함수비 16.6%에서 실험을 실시하였다. 표층피복상태 변화는 표층에 승기천 현장의 흙만으로 20cm를 포설한 경우, 표층에 잔디를 식재했을 경우, 표층에 블록을 포설한 후 블록안에 모래를 채운 경우, 블록안에 흙을 채운 경우 등 4가지 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 경사를 주었을 경우 표층재료의 유실을 막기 위해 블록을 포설하고 흙을 채웠으며, 함수비 16.6%에서 100mm/hr의 강우강도로 실험을 실시하였다. 잭(jack)을 이용해서 실험장치 한쪽을 들어올려 경사를 변화시켰으며 0%, 3%, 5%, 7% 등 4가지 경사에 대해 실험을 하였다.

표 3. 블록의 제원

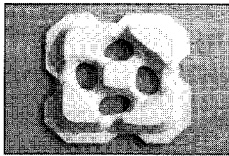
| 형 태 | 제 원 | |
|---|--------|-------------|
| | 재질 | 콘크리트 |
|  | 치수(mm) | 970×970×220 |
| | 공극률(%) | 22 |

표 3은 본 실험에서 사용된 블록의 형태와 제원을

보여주고 있다. 콘크리트로 제작된 공극률 22%를 갖는 970×970×220mm인 정사각형의 블록으로서 본 실험에서는 1/10의 축소모형으로 실험을 실시하였다.

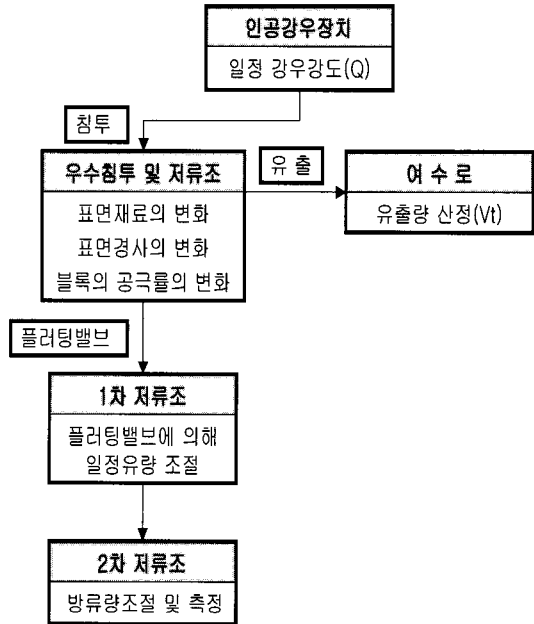
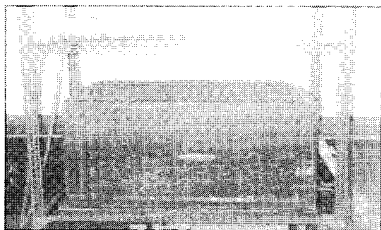


그림 5. 실험 과정

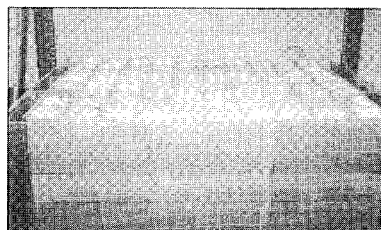
그림 4는 표층피복상태 변화실험의 실험장치 모습이며, 그림(a)는 표층에 잔디를 식재한 경우, 그림(b)는 표층에 블록을 포설한 실험장치의 모습이다.

그림 5는 유출량과 침투량을 산정하는 과정을 나타내고 있다.

발생한 총 강우량은 측정된 강우강도와 실험유역의 면적, 그리고 강우지속시간을 고려하여 식(1)과 같이 산정 될 수 있다.



(a) 표층에 잔디 식재



(b) 표층에 블록 포설

그림 4. 표층피복상태 변화 실험

$$V = C \times I \times A \times T \quad (1)$$

여기서, V : 실험유역에 발생한 총 유입량 (m³)
 C : 단위환산 및 유출계수 (강우강도 및 유량의 단위에 따라 변함)
 I : 강우강도 (mm/hr)
 A : 실험유역의 면적(m²)
 T : 강우 지속시간(hr)

지표면내 유출량은 수로로 유출된 빗물의 수심과 면적으로 식(2)와 같이 산출하였다.

$$V_t = A_t \cdot h_t \quad (2)$$

여기서 V_t : 유출량(m³), A_t : 수로의 면적(m²),
 h_t : 수로의 수심(m)

침투량은 실험유역에서 발생한 총강우량에서 총유출량을 제외하여 식(3)과 같이 산출하였다.

$$F = V - \sum_{t=0} V_t \quad (3)$$

F : 총침투량(m³), V : 총강우량(m³),
 V_t : 유출량(m³)

3. 실험 결과

3.1 강우강도의 변화에 따른 유출량 변화

표 4는 강우강도에 따른 1시간 후의 유출량, 침투량, 유출률, 침투율을 나타내고 있다. 강우강도가 40mm/hr 인 경우 1시간 후의 유출량은 0.0188m³으로 강우량의 47.1%가 유출되었으며 52.9%가 침투되었다. 60mm/hr 인 경우에는 1시간 후의 유출량은 0.0302m³으로 강우량의 50.4%가 유출되었으며 49.6%가 침투되었다. 80 mm/hr인 경우에는 유출량은 0.0439m³이며 강우량의 54.8%가 유출되었고 45.2%가 침투되었다. 100mm/hr인 경우에는 유출량은 0.0569m³이며 강우량의 57.7%가 유출되었고 42.3%가 침투되었다.

강우강도가 증가할수록 빗물저류층에 침투된 총침투량은 증가하였지만 총강우량에 대한 침투율은 감소되었는데, 이는 침투능의 한계가 있기 때문이다.

3.2 표층 피복재료 변화에 따른 유출량 변화

표 5는 표층의 피복재료의 변화에 따른 1시간 후의 유출량, 저류량, 유출률, 침투율을 나타내고 있다. 실험 결과 표층을 현장에서 채취한 흙으로만 포설한 경우는 유출량이 0.0569m³으로 강우량의 57.7%가 유출되었고 42.3%가 침투되었다. 표층에 잔디를 식재한 경우에는 유출량이 0.0589m³으로 강우량의 57.9%가 유출되었고 42.1%가 침투되었다. 표층에 블록을 포설한 후 모래를 채운 경우에는 유출량이 0.0603m³으로 총강우량의 62.5%가 유출되었고 37.5%가 침투되었다. 표층에 블

표 4. 강우강도 변화에 따른 유출저감 실험

| 강우강도(mm/hr) | 유출량(m ³) | 침투량(m ³) | 유출률(%) | 침투율(%) |
|-------------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| 40 | 0.0188 | 0.0212 | 47.1 | 52.9 |
| 60 | 0.0302 | 0.0297 | 50.4 | 49.6 |
| 80 | 0.0439 | 0.0363 | 54.8 | 45.2 |
| 100 | 0.0569 | 0.0418 | 57.7 | 42.3 |

표 5. 표층 피복재료의 변화에 따른 유출저감 실험

| 표면재료 | 유입량(m ³) | 유출량(m ³) | 침투량(m ³) | 유출률(%) | 침투율(%) |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| 흙 | 0.0987 | 0.0569 | 0.0418 | 57.7 | 42.3 |
| 잔디 | 0.1019 | 0.0589 | 0.0429 | 57.9 | 42.1 |
| 블록+모래 | 0.0966 | 0.0603 | 0.0363 | 62.5 | 37.5 |
| 블록+흙 | 0.0998 | 0.0634 | 0.0364 | 63.6 | 36.4 |

록을 포설한 후 흙을 채운 경우에는 유출량이 0.0634m³으로 강우량의 63.6%가 유출되었고 36.4%가 침투되었다.

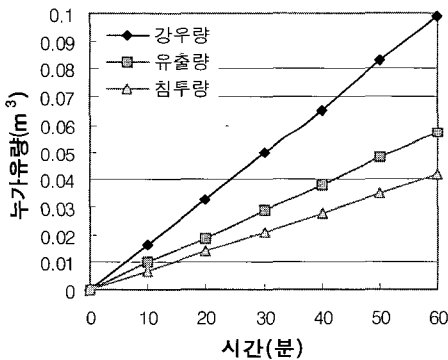
일반적으로 식생 피복은 침투능을 증가시키는 인자로 알려져 있는데, 본 실험에서는 잔디를 식재한 경우가 흙으로만 포설한 경우에 비해 침투율이 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 식생의 뿌리가 완전히 흙에 고착되지 않아 뿌리에 의한 토양공극의 sponging 효과가 적었고 잔디에 의해 투수면적이 적어진 결과라 판단된다. 블록을 포설한 경우의 침투율은 채움 재료에 따라 미소한 차이를 보이나 약 37%로, 표층을 흙만으로 채운 경우보다 약 5%가 작게 나타나 앞으로 블록의 불투수면적이나, 재료 및 형태에 대한 많은 연구가 필요하다고 판단된다. 그림 6은 표층재료에 따른 지속시간별 강우량과 유출량, 침투량과의 관계를 나타낸 그림이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 지하빗물저류시설 설치 이후 표층의 피복상태 변화에 따라 총유출량의 변화가 일어나며, 토양 및 잔디 설치에 비하여 22%의 공극율을 갖는 블록을 설치하는 경우 총유출량 저감효과는 약 5%정도 감소되므로 블록 제작시 지표면 피복두께 등에 대한 고려가 요망된다. 그러나 어느 한계 이하의 강우와 피복두께를 가진 경우 불록하부의 토양(통상의 하천변 등)에 따른 유출률의 변화는 그다지 크지 않다.

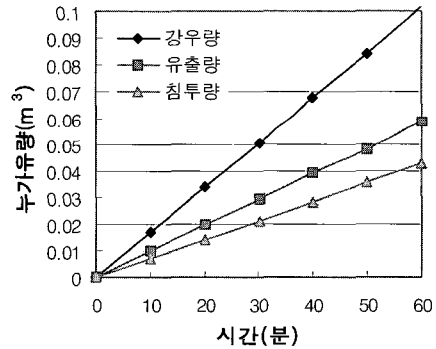
3.2 경사의 변화에 따른 유출 변화

경사를 주었을 경우 표층재료의 유실을 막기 위해 블록을 포설하고 흙을 채웠으며, 함수비 16.6%에서 100mm/hr의 강우강도로 실험을 실시하였다.

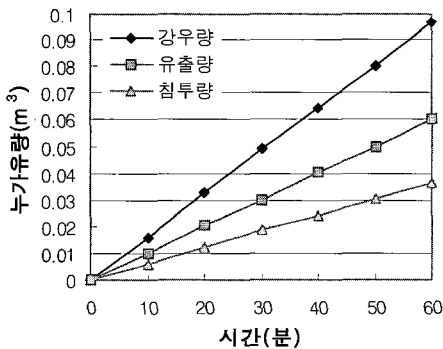
경사가 없는 경우에는 유출량이 0.0634m³으로 유입량의 63.6%가 유출되었고 36.4%가 침투되었다. 경사를 3%로 하였을 경우에는 유출량이 0.0797m³으로 유



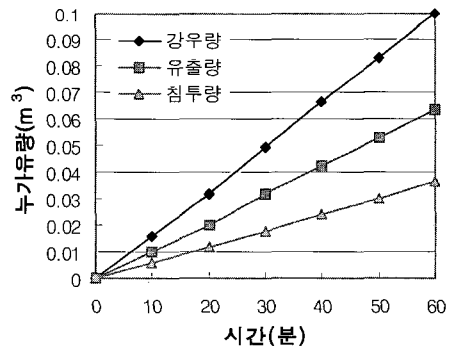
(a) 표층을 흙만으로 채운 경우



(b) 표층에 잔디를 식재한 경우



(d) 블록을 포설하고 모래를 채운 경우

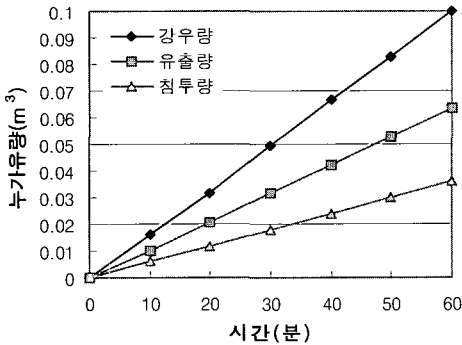


(c) 블록을 포설하고 흙을 채운 경우

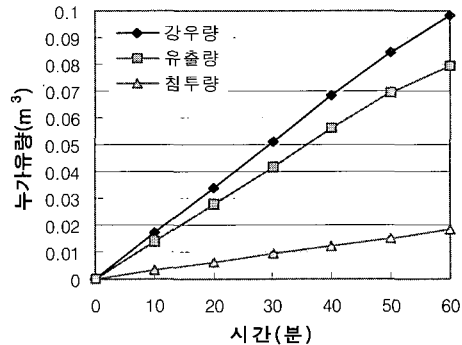
그림 6. 표층 피복재료에 따른 유출저감 실험

표 6. 경사 변화에 따른 유출저감 실험

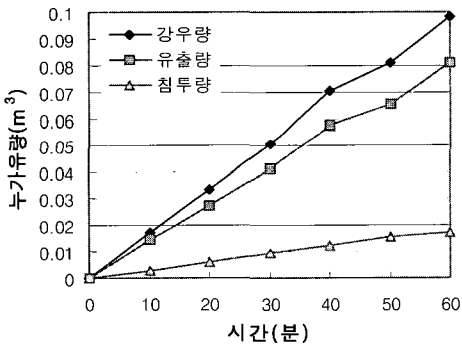
| 경사(%) | 유입량(m ³) | 유출량(m ³) | 침투량(m ³) | 유출률(%) | 침투율(%) |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| 0 | 0.0998 | 0.0634 | 0.0364 | 63.6 | 36.4 |
| 3 | 0.0982 | 0.0797 | 0.0185 | 81.2 | 18.8 |
| 5 | 0.0984 | 0.0813 | 0.0171 | 82.6 | 17.4 |
| 7 | 0.1001 | 0.0827 | 0.0174 | 82.6 | 17.4 |



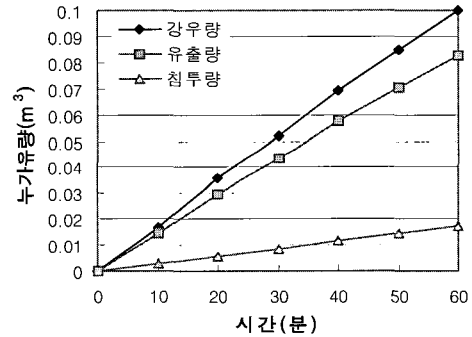
(a) 경사 0%인 경우



(b) 경사 3%인 경우



(c) 경사 5%인 경우



(d) 경사 7%인 경우

그림 7. 경사변화에 따른 유출저감 실험

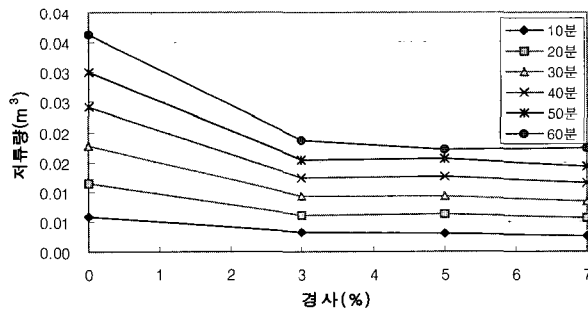


그림 8. 지속시간 및 경사변화에 따른 저류량의 변화

입량의 81.2%가 유출되었고 18.8%가 침투되었다. 경사를 5%로 하였을 경우 유출량이 0.0813m³으로 유입량의 82.6%가 유출되었고 17.4%가 침투되었다. 경사를 7%로 하였을 경우 유출량이 0.0827m³으로 유입량의 82.6%가 유출되었고 17.4%가 침투되었다. 표 6은 경사에 따른 유출량, 침투량, 유출률, 침투율을 나타내고 있으며, 그림 7은 경사변화에 따른 1시간동안의 유출량과 저류량의 변화를 보여주고 있다.

그림 8은 지속시간 및 경사변화에 따른 저류량의 변화를 보여주고 있다. 표층의 경사변화에 따른 총유출량의 변화는 완만한 경사에서는 매우 크게 나타나지만 3%이상의 급경사에서는 적게 나타난다. 이는 산지와 같은 급경사인 경우 빗물저류시설을 설치하는 경우 장기간의 홍수에 대하여 상당한 유출저감 효과를 나타낼 수 있음을 보여준다.

4. 결 론

본 연구는 지하 빗물저류시설 설치에 따른 유출저감 효과를 분석하기 위하여 실험실내 빗물저류실험장치를 설치하여 강우강도 변화, 표면경사 변화, 표층의 피복상태 변화에 따른 유출량 변화 실험을 실시하고 지하저류된 빗물의 일정유량 방류효과 실험을 수행하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째로, 지하 빗물저류시설을 설치하는 경우 홍수시 총유출량과 침투유출량 감소를 통한 침수피해 예방에 크게 기여하며, 저류조에 저류된 빗물을 2단 저류조의 일정유량 조절시스템을 활용하여 일정 방류하여 하천유지유량등으로 활용이 가능하다.

둘째로, 강우강도 변화에 따라 빗물저류시설 표면의 유출량 변화가 크고, 대상하천 유역 내 토양조건하에서 강우강도가 40mm/hr~100mm/hr일 때 총유출량 감소는 42.3%~52.9%로 나타났으며, 강우강도가 클수록 총유출량 감소비율이 적어진다.

셋째로, 지하빗물시설 설치 후 표층의 피복상태 변화에 따라 총유출량 변화가 일어나며, 토양 및 잔디 설치에 비하여 22%의 공극률을 갖는 블록을 설치하는 경우 총유출량 저감효과가 5%정도 감소되므로 블록 제작시 지표면 피복두께 등에 대한 고려가 요구된다. 그러나, 어느 한계 이하의 강우와 피복두께를 가진 통상(모래와 실트의 결합토)의 하천제방과 같은 토양을 가진 경우에 블록을 설치하는 경우 블록 하부의 토양에 따른 유출량의 변화는 크지 않다.

넷째로, 표층의 경사변화에 따른 총유출량의 변화는

완만한 경사에서 매우 크게 나타나지만 3%이상의 급경사에서는 변화가 작게 나타난다. 따라서 하천이나 산지의 급경사지에 빗물침투시설을 설치하는 경우에도 상당한 유출저감 효과를 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부(환경기술진흥센터)의 2002년도 차세대핵심기술개발사업인 “도시관류 하천의 유지유량 확보방안 연구 및 자연정화기술”을 위한 연구비로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 국립방재연구소 (2001). **투수성 빗물유출저감시설 설치기준 제정**.
- 김현수 (2002). **인천 도심지역의 빗물이용 방안 연구**. pp. 2-4
- 배상근 (2000). **빗물침투에 의한 지하수 함양과 적용 사례**. 기초과제 연구보고서, 한국수자원학회, pp. 311-326.
- 서울특별시 (2000). **빗물유출 저감시설 시범사업 검토 연구**.
- 여운광, 이종국, 심재현, 김종수 (2000). “도시 빗물유출 저감을 위한 침투형 맨홀의 효과분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제6-B호, pp. 795-800.
- 윤여진, 아재철, 김재한 (2000). “빗물저류시설의 시공성 분석.” **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 381-384.
- 이도훈 (2000). **미국의 빗물침투 적용사례 및 침투시설에 대한 고찰**. 기초과제 연구보고서, 한국수자원학회, pp. 329-342.
- 이종국 (1999). “빗물유출 저감시설을 통한 치수방제효과와의 실시간 측정기법.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp. 44-48.
- 이재웅, 여운광, 심재현, 강태호 (2001). “투수성 포장재를 통한 유출저감 효과 분석.” **수자원학회지**, 한국수자원학회, 제34권, 제1호, pp. 38-44.
- 조원철 (1999). “서울특별시 호우유출 저감시설 시험사업.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp. 32-43.
- 장복진, 여운광, 이종국 (2002). “현장자료를 이용한 침투집수정의 유출저감 효과에 관한 연구”, **한국수자원학회 학술발표회 논문집(1)**, 한국수자원학회,

pp. 281-286.

최계운 등 (2001). “투수성 유출저감시설 설치기준에
· 관한 연구.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**,

한국수자원학회, pp. 1230-1235.

(논문번호:03-28/접수:2003.03.14/심사완료:2003.05.02)