

우수저류장치의 표층 상태에 따른 유출저감 효과 분석

최계운¹⁾, ○최종영²⁾, 조준범³⁾

1. 서 론

최근 산업화와 도시화의 급격한 증가는 과거 농지나 유희지로 이용되던 지역을 건물, 주차장 등으로 이용하는 등 토지의 용도를 심하게 변화시키고 있다. 이에 따른 불투수면적의 증가로 인해 유출량이 증가하고 침투유량이 증가하면서 상대적으로 도심지역의 홍수피해는 그 규모와 범위에 있어서 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 이러한 홍수피해를 감소시키기 위해 최근에는 투수성 유출저감시설의 설치를 통해 직접 유출량을 감소시키는 방안이 대두되고 있다.

투수성 유출저감시설은 빗물의 인공함양을 촉진시키는 시설로서 최근 들어 선진국에서 상당히 폭넓게 사용되고 있다. 일본의 경우에는 주로 우수를 활용하고 유출을 감소시키기 위하여 활용되고 있으며, 미국이나 유럽에서도 지하수 함양 증가를 통한 평시 활용성을 증가시키기 위한 목적으로 사용되고 있다. 우리나라의 경우에도 일부 지방자치단체에서 시범사업을 통하여 향후 활용을 위한 연구가 진행되고 있으나 아직까지는 시설 설계에 필요한 기준이나 설치 효과에 대한 연구가 미비한 상태이다.

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 우수저류 실험장치를 통해 피복상태의 변화에 따른 유출량 저감효과를 분석하였고 표층에 블록을 설치할 경우, 공극률의 변화에 따른 유출저감 효과를 분석하였다.

2. 실험장치의 설치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 실험장치는 강우 시 지하에 침투되는 빗물을 저류조에 저장하여 하천에 일정유량을 흘려 보내는 장치로서 인공강우장치, 빗물침투 및 저류장치, 그리고 저류조 등 3부분으로 구성되어 있다. 인공강우장치에 의해서 일정강우강도로 조절된 빗물은 빗물침투 및 저류조에 저장된 후, 연결관을 통해서 1차 저류조에 저류된다. 빗물침투 및 저류조는 1m²의 면적을 갖는 정사각형모양으로 둘레에 폭 5cm의 수로를 두어 실험구역 이외의 지역 내 떨어진 빗물이 실험조 내로 침투하지 못하고 방류될 수 있도록 하였다. 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 저류되도록 하여 방류량 조절을 세밀하게 할 수 있도록 제작되었다.

빗물침투 및 저류조의 최하부에는 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. 그림2는 빗물침투 및 저류조의 재료구성

-
- 1) 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
 - 2) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정
 - 3) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

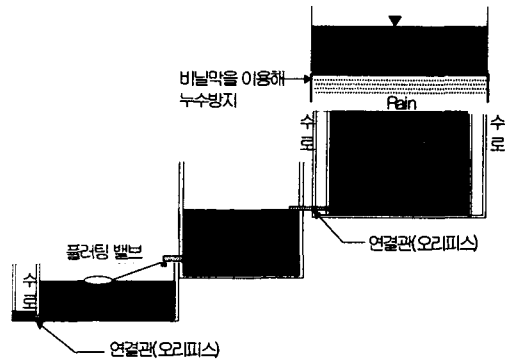


그림 1. 실험장치 개념도

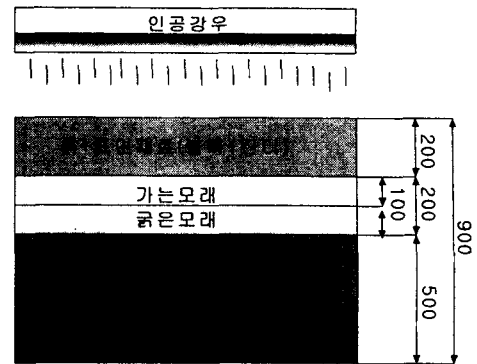


그림 2. 우수침투 및 저류조의 개념도

을 나타내고 있다. 그림 1은 실험장치의 개념도를, 그림2는 우수침투 및 저류조의 개념도를 나타내고 있다.

표1은 빗물침투 및 저류층의 층별 구성 재료의 유효입경, 균등계수, 곡률계수, 공극률, 투수계수를 나타내고 있다. 표층에 사용된 흙은 향후 실험결과를의 사용을 위하여 승기천 제방의 흙을 사용하였다. 승기천 제방 흙은 실트질, 모래, 자갈이 균등하게 섞여있는 양호한 입도분포를 보였으며, 실트질성분이 씻겨나가 유효입경과 투수계수가 큰 값을 보였다. 굵은자갈의 공극률은 투수성유출저감시설 설치기준(행자부, 2001)에 따라 40.8%로 하였다.

표 1. 빗물침투 및 저류층의 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. 블록의 제원


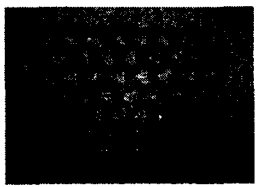
| 블록 | 블록 A | 블록 B |
|--------|---|---|
| 형태 |  |  |
| 재질 | 콘크리트 | PET |
| 치수(mm) | 970×970×220 | 535×350×45 |
| 공극률(%) | 22 | 48 |

표2는 본 실험에서 사용된 블록의 형태와 제원을 보여주고 있다. 블록A는 콘크리트로 제작된 공극률 22%를 갖는 970×970×220mm인 정사각형의 블록으로서 본 실험에서는 1/10의 축소모형으로 실험을 실시하였다. 블록B는 PET로 만들어진 353×350×45mm의 직사각형 망형 블록으로써 48%의 공극률을 갖고있다.

2.2 실험 방법

본 실험에서는 표층의 상태에 따른 유출저감 효과를 분석하기 위해 표층의 상태를 표3에서와 같이 5가지 경우에 대해 유출량과 저류량을 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 3. 빗물저류효과 분석을 위한 실험 조건

| 구 분 | CASE | 측정간격 | 지속시간 | 비 고 |
|--------------|----------|------|------|--------------------------------------|
| 표층피복상태 변화 | 제방 흙 | 10분 | 60 분 | 강우강도 100mm/hr 함수비(16.6%) 경사 0% |
| | 잔디식재 | | | |
| | 블록A+모래 | | | |
| | 블록A+제방 흙 | | | |
| | 블록B+제방 흙 | | | |

3. 실험 결과

3.1 표층재료에 따른 유출저감 효과

실험결과 다음 표4와 같이 표층에 사용된 재료에 따라 잔디, 제방흙, 블록B+제방흙, 블록A+모래, 블록A+제방흙의 순으로 유출량이 적게 나타났다. 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 재료와 형태에 따라 미소한 차이를 보이나 평균 37.5%로, 흙만을 채운 경우보다 약 4.5%가 작게 나타나 앞으로 블록의 불투수 면적이나, 재료 및 형태에 대한 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

표4. 표층재료에 따른 유출량 및 저류량

| 표면재료 | 유출량(m ³) | 침투량(m ³) | 유출률(%) | 침투율(%) |
|---------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| 제방흙 | 0.0569 | 0.0418 | 57.7 | 42.3 |
| 잔디 | 0.0589 | 0.0429 | 57.9 | 42.1 |
| 블록A+제방흙 | 0.0603 | 0.0363 | 62.5 | 37.5 |
| 블록A+모래 | 0.0634 | 0.0364 | 63.6 | 36.4 |
| 블록B+제방흙 | 0.0610 | 0.0386 | 61.2 | 38.8 |

3.2 공극률에 따른 유출저감 효과

표5와 같이 표면재료를 제방흙만으로 했을 경우 유출률은 57.7%, 저류율은 42.3%였고, 공극률이 48%인 블록B를 사용한 경우 유출률은 61.2%, 저류율은 38.8%였다. 공극률이 22%인 블록A를 사용한 경우는 유출률은 63.6%, 저류율은 36.4%가 되었다. 블록을 사용할 경우 블록의 공극률이 26% 증가할 경우 저류율은 2.4%의 증가를 보였고, 블록을 사용하지 않을 경우와 비교해 보면 48%의 공극률에서는 3.5%, 22%의 공극률에서는 5.9%의 저류량의 감소를 보였다. 블록의 안정성과 함께 최대한의 공극률은 갖는 블록의 연구가 필요하다고 생각된다.

표 5. 공극률의 변화에 따른 유출량과 저류량

| 블록 공극률(%) | 유출량(m ³) | 저류량(m ³) | 유출률(%) | 저류율(%) | 강유량(m ³) |
|-----------|----------------------|----------------------|--------|--------|----------------------|
| 100 | 0.0569 | 0.0418 | 57.7 | 42.3 | 0.0987 |
| 48 | 0.0610 | 0.0386 | 61.2 | 38.8 | 0.0996 |
| 22 | 0.0634 | 0.0364 | 63.6 | 36.4 | 0.0998 |

그림3은 공극률에 따른 시간 변화에 따른 침투량의 변화를 나타내고, 그림 4는 공극률에 대한 유출률과의 상관식을 나타내고 있다. 그림 4와 실험식을 통해 표층의 공극률에 대한 유출률을 예측함으로써 효율적인 블록의 제작이나 우수저류장치의 설계가 기대된다.

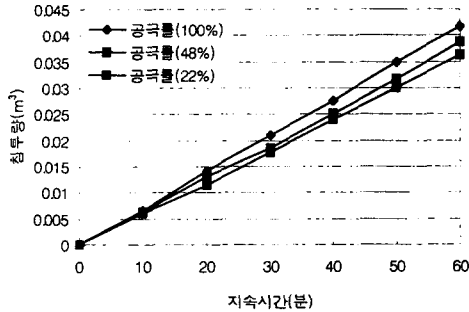


그림 3 공극률에 따른 침투량의 변화

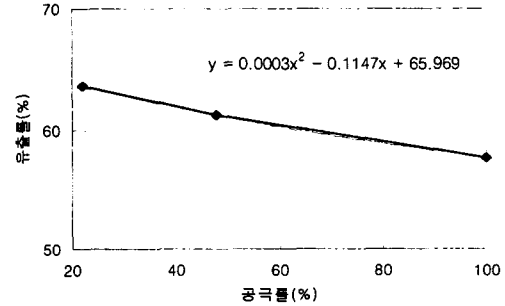


그림 4 공극률에 대한 유출률

4. 결 론

본 연구에서는 침투능의 결정을 위해 우수저류 실험장치를 이용해 실험하였으며, 피복층의 재료와 공극률의 변화를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째로, 지하 우수저류시설 설치 표층의 피복상태 변화에 따라 총유출량 변화가 일어나며, 토양 및 잔디 설치에 비하여 블록을 설치하는 경우 총유출량 저감효과가 15%정도 감소되므로 블록 제작시 지표면 피복두께 등에 대한 고려가 요구된다.

둘째로, 블록을 사용할 경우 블록을 사용하지 않을 경우와 비교해 보면 48%의 공극률에서는 3.5%, 22%의 공극률에서는 5.9%의 저류량의 감소를 보였고, 블록의 설치시 블록의 공극률이 26% 증가할 경우 저류율은 2.4%의 증가를 보였다. 블록의 안정성과 함께 최대한의 공극률은 갖는 블록의 연구가 필요하다.

셋째, 공극률과 유출률의 관계를 나타내는 실험식을 통해 표층의 공극률에 대한 유출률을 예측함으로써 효율적인 블록의 제작이나 우수저류장치의 설계가 기대된다.

감사의 글

본 논문은 환경부(환경기술진흥센터)의 2002년도 차세대 핵심기술개발사업인 “도시관류하천의 유지유량 확보 및 자연정화기술 향상기술”을 위한 연구비로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 국립방재연구소 (2001). 투수성 우수유출저감시설 설치기준 제정.
- 김현수 (2002). ‘인천 도심지역의 우수이용 방안 연구’, pp.2~4
- 배상근 (2000). “우수침투에 의한 지하수 함양과 적용사례”, 한국수자원학회, 기초과제 연구보고서, pp. 311
- 여운광, 이종국, 심재현, 김종수 (2000). “도시 우수유출 저감을 위한 침투형 맨홀의 효과분석”, 대한토목학회 논문집, Vol. 20, No. 6-B, pp.795~800.
- 이도훈 (2000). “미국의 우수침투 적용사례 및 침투시설에 대한 고찰”, 한국수자원학회, 기초과제 연구보고서 pp. 329~342.
- 조원철 (1999). “서울특별시 호우유출 저감시설 시험사업”, 한국수자원학회지, 제 32권 4호, pp. 32~43.
- 최계운 등 (2001). 투수성 유출저감시설 설치기준에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회, 논문집, pp. 1230~1235.