

현장자료를 이용한 침투집수정의 유출저감 효과에 관한 연구

장복진¹⁾ 여운광²⁾ 이종국³⁾

1. 서론

도시화의 진행은 도시구역의 수리·수문의 양상변화를 가져왔으며 결과적으로 불투수면적의 증가와 배수시설의 발달로 인한 급격한 유출변화를 초래하였다. 즉, 전체적으로 표면조도계수를 감소시키고 침투율을 급격히 감소시켜 우수와 생활/산업 용수의 유출이 급격히 증대하였고 하수관거의 확충과 자연수로의 정비로 인해 유출의 진행속도가 빠르게 되었다. 결과적으로 도시화로 인하여 홍수도달시간이 짧아지고 침투유량이 증가되었다(Wanielista와 Yousef, 1992). 동시에 상대적으로 자연녹지의 축소에 의한 자연보유력은 감소되어 구역의 홍수방어능력이 떨어지게 될 뿐 아니라 우기에 유출이 집중되는 특성으로 도시유출의 변화에 의한 홍수위험의 가능성은 더욱 크다고 할 수 있다.

최근 이러한 수리·수문학적인 조건의 악화로 인한 홍수피해를 절감하고 도시하천의 건천화 방지를 위한 지하수 확보 등 도시수문시설에 대한 연구에 관심이 커지고 있다. 우수유출 저감시설은 이러한 노력의 하나로 우수를 인공적으로 지하에 침투시키거나 저류 시켜 하천이나 저지대로의 유출을 최대한 억제하려는 시설이다. 이러한 우수유출 저감시설은 선진 외국의 경우 보편화 단계에 이르고 있으나 국내에서는 최근 그 도입의 필요성이 제기됨에 따라 시설별 실험과 수치모형 등을 적용하여 법적, 제도적 장치를 마련하기 위한 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 성남, 오산, 청주에 시범적으로 설치된 침투형 우수유출 저감시설에 강우 및 수위자료 모니터링 시스템을 운영하고 그 결과로 얻은 실측자료를 이용하여 실제강우사상에 대한 유출량, 침투량 및 침투유량 등을 비교 검토하여 침투집수정의 우수유출저감효과를 분석하였다.

1) (주)데이타피씨에스 대리, 명지대학교 토목공학과 박사과정

2) 명지대학교 토목공학과 교수

3) (주)데이타피씨에스 대표이사

2. 대상지역과 현장자료의 수집

2.1 현장 적용 대상지역의 개요

도로 침투집수정의 시범설치 장소 중 2001년 우기에 자료수집이 원활하게 수행된 성남, 청주, 오산을 대상지역으로 연구를 수행하였다.

성남지점의 토양은 주로 양호한 사질토로 구성되어 있으며 오산지점의 토양은 대부분 모래와 실트의 혼합토로 구성되어 있다. 청주지점은 토양은 약간 실트질이 많은 모래/실트 혼합토로 구성되어 있다. 각 대상지역의 획득된 수위자료로부터 최초강우시의 침투능을 건조상태로 보고 최종강우 후의 침투능을 습윤상태로 가정하여 침투능을 구하여 보았다(표 1).

표 1 대상지역의 토질

지 점	토 질	침투능(mm/hr)	
		건조상태	습윤상태
성 남	· 사질토	40	15
오 산	· 모래/실트 혼합토	38	8
청 주	· 실트가 많은 모래/실트 혼합토	17	5

2.2 현장 자료의 수집

현장 자료의 수집은 무선이동통신을 이용한 실시간 모니터링 시스템이 사용되었다. 현장에 강우가 발생하여 각 집수정에 유출이 발생하였을 경우 강우량계와 집수정내의 압력식 수위계로부터 1분단위로 강우의 변화와 집수정 수위자료를 데이터로거가 저장하게 되며 이 자료는 1시간마다 PCS 무선데이터를 이용하여 서버컴퓨터로 전송하게 된다(그림 1).

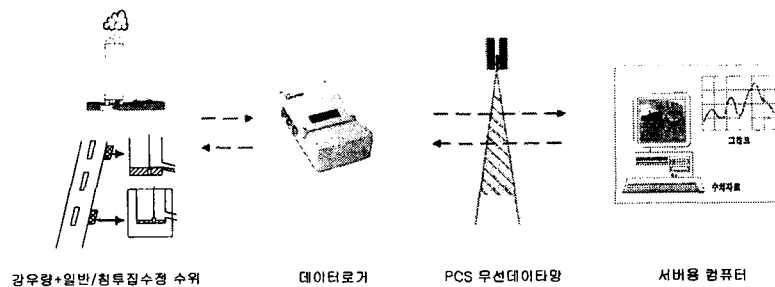


그림 1 현장 강우 및 집수정 수위 계측 개념도

침투집수정과 일반집수정의 유출량을 비교하기 위해서는 각 집수정의 수위자료를 획득하여야 하며 압력식 수위계를 집수정 바닥에 설치하여 수위자료를 계측하였다. 그림 2는 압력식 수위계의

실제 사진으로서 설치대를 이용하여 집수정의 바닥에 설치된 모습이다.

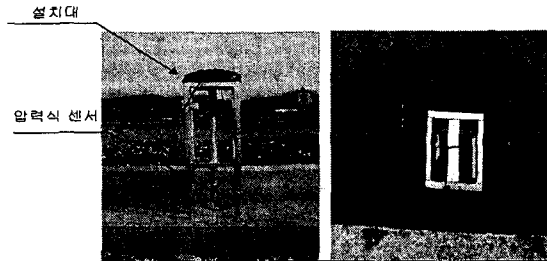


그림 2 압력식 센서(좌)와 집수정에 설치된 모습(우)

3. 유출저감효과의 분석

3.1 총 강우량 - 총 유출량 비교분석

성남과 오산지점의 경우 침투집수정의 유출량은 총강우량 100mm까지는 현저히 유출저감효과를 나타내다가 그 이상의 호우가 발생하였을 경우에는 그 저감효과가 서서히 감소하여 점점 일반집수정의 유출량에 근접하고 있다. 60mm 이하의 강우에는 침투집수정에서 유출의 저감효과가 가장 큰 경향을 보였다. 성남과 오산지점에 설치한 침투집수정의 평균적인 유출저감율은 각각 73.3%와 75.1%를 나타내었다. 청주에서는 2001년에 대부분 100mm이하의 비교적 적은 강우가 발생하였는데 일반집수정과 침투집수정의 강우량에 대한 유출량의 저감율은 약 73.4%로 나타났으며 100mm 이상의 강우에서도 성남, 오산과 비슷한 경향을 보일 것으로 예상되었다.

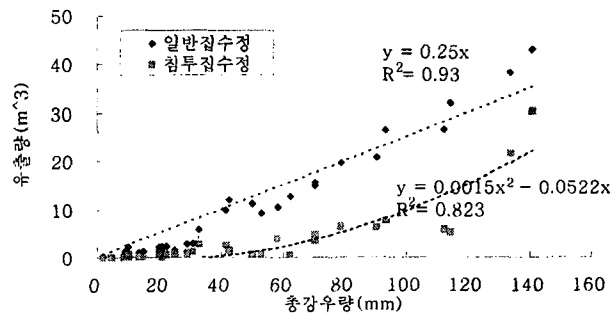


그림 3 총강우량에 대한 유출량 변화(성남, 오산, 청주)

성남, 오산, 청주 지점의 자료를 하나의 그래프로 표시하여 회귀곡선식을 그려본 결과(그림 3)

일반집수정에서 $y=0.25x$, 침투집수정에서 $y=0.0015x^2-0.0522x$ 로 계산되었으며 R^2 값은 각각 0.930과 0.823으로 매우 높은 신뢰도를 보이고 있다.

3.2 총 강우량 - 침투량 비교분석

성남과 오산지점의 총강우량에 대한 침투량은 강우가 증가함에 따라 거의 비례적으로 증가하는 경향을 보이며 100mm 이상의 강우에서는 더 이상 침투의 증가추세는 보이지 않고 일정한 침투율을 유지하는 경향을 보였다. 청주의 강우량-침투량 곡선은 거의 직선적으로 강우량과 침투량이 증가하고 있다. 청주지역에서는 2001년 4월부터 8월까지 약 100mm이하의 강우사상만 발생하여 더 큰 강우에 대한 변화는 알 수 없으나 전체적인 경향은 성남, 오산 지점과 비슷할 것으로 추측된다. 그림 4는 전체적인 경향파악을 위해 각 지점의 침투량을 함께 도시한 것이다. 총강우량에 대한 침투량의 회귀곡선식은 $y=-0.0005x^2+0.182x$ 이었으며 R^2 은 0.838로 비교적 각 지점의 자료가 비슷한 경향을 보이고 있다.

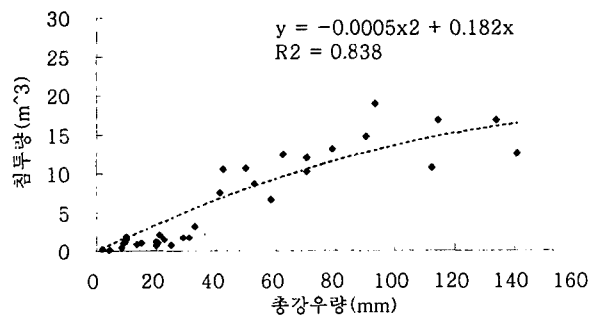


그림 4 총강우량에 대한 침투량 변화(성남, 오산, 청주)

3.3 총강우량 - 침투유량 비교분석

여기서 침투유량은 각 집수정에서 유출량 중 최대의 값을 말하며 침투집수정의 침투유량 저감율을 조사하기 위하여 각 지점의 강우사상에 대한 침투유량을 비교하였다. 일반적인 도로집수정은 총강우량이 증가함에 따라 침투유량도 비례하여 증가하지만 침투유량 저감율은 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 전체적인 경향을 살펴보면 50mm 이하의 비교적 적은 양의 강우에서는 침투집수정의 침투유량 저감율은 대부분 0.5이상으로 높게 나타났으며 50mm이상의 강우에서 침투집수정 침투유량 저감율은 점차 감소하는 경향을 보였다(그림 5). 평균적인 침투유량 저감율은 각 지점마다 차이는 있었으나 약 40~70%의 침투유량저감율을 보였다. 전체자료의 회귀곡선식은 $y=0.00005x^2-0.0122x+0.9$ 이며 이때의 상관계수 R^2 은 0.537이었다.

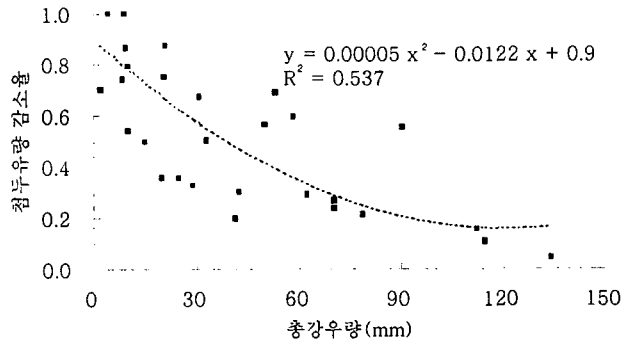


그림 5 총강우량에 대한 침투유량의 변화

그림 6, 7은 침투유량저감율을 평균10분강우강도와 최대 10분강우강도에 대해 도시한 것이다. 침투유량 저감율은 최대10분강우강도가 증가할수록 감소하는 경향이 있으며 최대10분강우강도에 대한 변화는 8mm/10min이하일 때 50%이상 침투유량 저감율을 보였다. 특히 12mm/10min 일 때 25%이하의 낮은 저감율을 기록해 높은 강우강도의 비가 내릴수록 침투효과는 줄어드는 것을 알 수 있었다. 평균10분강우강도와 최대10분강우강도에 대한 침투유량 감소율의 회귀곡선식은 각각 $y = 0.218x^2 - 0.89x + 1$, $y = 0.0022x^2 - 0.0912x + 1$ 이고, 상관계수 R^2 은 0.53과 0.577로 나타났다.

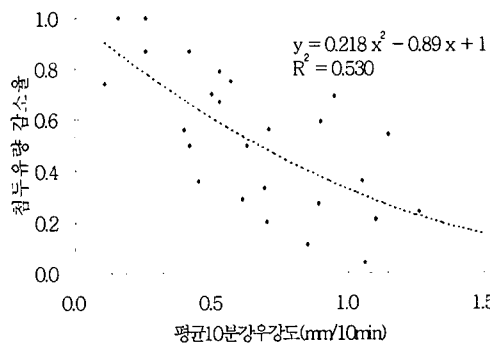


그림 6 평균10분강우강도에 대한 침투유량의 변화

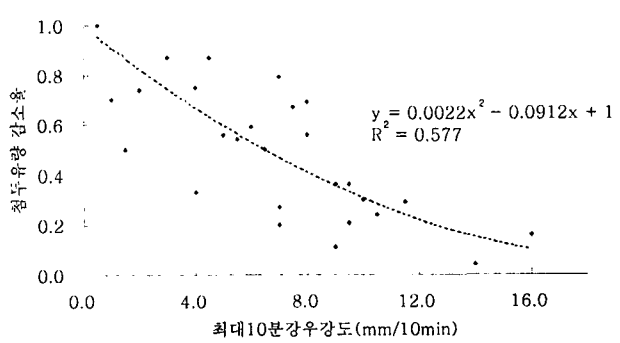


그림 7 최대10분강우강도에 대한 침투유량의 변화

4. 결론

본 연구는 우수유출 저감시설 중에서 도로침투집수정의 유출저감 효과를 현장 계측 자료를 이용하여 정량적으로 분석한 결과는 다음과 같다.

- 강우사상과 대상지역의 유입조건 및 토질조건 등에 따라 약간의 변동은 있었으나 평균적으로 약 70%의 총유출량저감율과 40~70%의 침투유량 저감효과를 나타내었다.
- 총강우량에 따른 유출저감 효과는 총강우량 100mm까지는 현저히 유출저감효과를 나타내다가 그 이상의 호우가 발생하였을 경우에 저감효과가 서서히 감소하게 되는데, 이는 집수정 바닥면의 사석 공극의 포화로 인하여 저류효과를 기대할 수 없으며, 순수하게 바닥면 토양의 침투능(5~15 mm/hr)에 의한 저감만이 이루어지기 때문에 전체 유출량에 비해 상대적인 양이 적기 때문으로 판단된다.
- 총강우량에 따른 침투유량 저감효과의 경향은 총강우량이 증가함에 따라 침투유량의 저감율은 점차적으로 감소하는 경향을 보였으며 특히, 100mm 이상의 큰 강우에서는 20%미만의 침투유량 감소를 보였다.
- 최대10분강우강도에 대한 침투유량 저감율의 변화는 8mm/10min이하일 때 50%이상의 높은 침투유량 저감율을 보였으며 12mm/10min 일 때 25%이하의 낮은 저감율을 기록해 높은 강우강도의 강우가 발생할수록 침투효과는 줄어드는 경향을 보였다.

본 연구에서 활용한 자료는 2001년도 우기시의 자료를 중심으로 활용하였으나 가뭄으로 인하여 획득자료가 많지 않아 통계적 분석에 높은 신뢰도를 확보하지 못한 것이 아쉽다. 향후 지속적으로 분석자료를 확보하여 연구의 신뢰도를 높이고 기타 우수유출 저감시설에 대한 효과분석 연구를 병행하여 각 시설별 유출저감에 대한 효과를 정량적으로 제시하는 연구가 수행되어 지역의 유출계획 및 도시홍수 방재계획 등에 활용할 수 있도록 할 예정이다.

5. 참고 문헌

- 방기성, 1999, 중앙정부의 우수유출 저감시설 도입방안, 한국 수자원학회지 Vol. 32. No.4, pp. 26~31
- 서울특별시, 2000, 우수유출 저감시설 시범사업 검토연구 보고서
- 심재현, 1999, 우수유출 억제시설 설치에 의한 재해경감효과, 방재연구, 제1권, 제1호, pp. 33~41
- 이종국, 1999, 우수유출 저감시설을 통한 치수방재효과의 실시간 측정기법, 한국 수자원학회지 Vol. 32. No.4, pp. 44~48
- 조원철, 1999, 서울특별시 호우유출 저감시설 시험사업, 한국 수자원학회지 Vol. 32. No.4, pp. 32~43
- 雨水貯留浸透技術協會(日), 1995, 雨水浸透施設技術指針(案) 調査・計劃編
- Katsuchige MASUKURA, 1992, 쓰꾸바 서부공업단지의 浸透施設의 流出抑制效果, 雨水技術資料 Vol 3. pp 26~39
- Koichi YAMAMOTO, 1992, 浸透形 雨水低減施設에 대한 浸透能力 評價, 雨水技術資料 Vol 4. pp 63~80
- Masaru MORITA, 1992, 都市에서의 表層浸透能의 測定에 관하여, 雨水技術資料 Vol 4. pp 33~48
- Yashyuki NAGASAWA, 1991, 住宅・都市 整備工團内の 雨水 地下浸透公법, 雨水技術資料 Vol 1. pp 74~95