

현장자료를 이용한 침투집수정의 유출저감 효과에 관한 연구

Field Study on Effects of Runoff Reduction in the Infiltration Collector Well

장복진* / 여운광**

Jang, Bok Jin / Yeo, Woon Kwang

Abstract

In order to investigate the performance of the infiltration collector well and its effect on the runoff reduction, real-time field measurements are carried out. Based on these field data measured at Seongnam, Osan and Cheongju sites, the runoff reduction volumes and the peaks-cut-rate are quantitatively analyzed and compared with the total rainfall amount, the 10min averaged and the 10min maximum rainfall intensity. This results show that the infiltration collector well is very effective to reduce the runoff in urban area, which gives environmentally the positive to supply ground waters. It is also presented that the infiltration collector well is able to reduce up to 70% of the runoff and 40~70% of peaks, compared to a general one.

keywords : real time measurement, field data, infiltration collector well, runoff reduction

요 지

본 연구에서는 우수유출저감시설 중 침투형 집수정의 효과를 규명하기 위하여 성남, 오산, 청주지역에 설치된 시범시설에서 실시간으로 현장계측을 수행하고 이들 자료를 분석하여 그 효과를 정량화하였다. 현장 강우자료와 수위 자료를 토대로 각 지점에 설치된 일반집수정과 침투집수정에서의 강우량에 따른 유출량을 비교하여 유출저감율과 침투유량저감율을 총강우량, 평균10분강우강도, 최대10분강우강도에 따라서 각각 비교 분석하였다. 각 지점의 현장 자료를 통하여 침투집수정의 강우량에 따른 유출량을 일반집수정과 비교한 결과 1개의 침투집수정이 평균 70%의 총유출량저감율과 40~70%의 침투유량 저감효과를 나타내었다.

핵심용어 : 실시간 계측, 현장자료, 침투집수정, 유출저감 효과

* 명지대학교 토목공학과 박사과정, (주)데이타피씨에스 과장
Doctoral Course., Dept. of Civil Engrg., Myong Ji Univ., Yongin-si, 449-728, Korea
** 명지대학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Engrg., Myong Ji Univ., Yongin-si, 449-728, Korea

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. 동시에 상대적으로 자연녹지의 축소에 의한 자연보유력은 감소되어 지역의 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 저류시켜 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.

2. 침투집수정의 구조 및 현장 자료의 수집

2.1 침투집수정의 구조

본 연구에서는 도로의 집수정을 침투형으로 설계하

여 손쉽게 도로상의 우수유출을 저감하는 침투집수정을 사용하였다. 침투집수정은 그림1에서처럼 일반집수정의 밑면에 물이 침투되도록 침투층(모래 10cm 와 사석층 90cm)으로 구성되어 있다. 쇄석층은 30~50mm 직경을 사용하는 것이 일반적이며 정확한 치수를 유지하기 위하여 투수시트를 사용한다. 침투집수정에 대한 시설 규정은 국내에서 아직 정해지진 않았으며 본 연구의 침투집수정 구조는 국립방제연구소에서 제시한 표준 침투집수정을 사용하였다. 배수관거는 바닥으로부터 15cm 가량 위쪽에 관경 250~300mm 정도로 설치되어 강우 발생시 침투되지 않은 우수량을 유출시키게 된다.

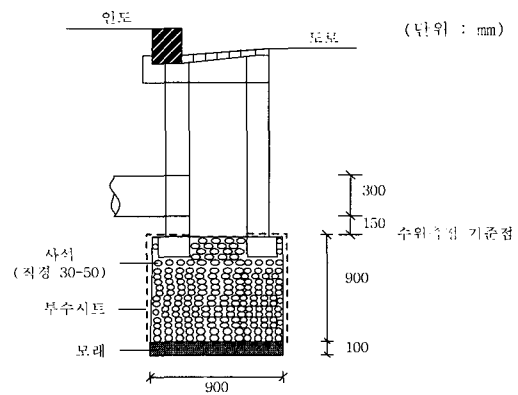


그림1. 침투집수정의 구조

2.2 현장 적용 대상지역의 개요

도로 침투집수정의 설치는 전국적으로 8개 지역에 시범 설치되었으며 이 가운데 도로공사가 완료되어 2001년 우기자료가 수집된 성남, 청주, 오산을 대상지역으로 연구를 수행하였다.

성남지점은 모란-야탑간 도로개설 구간에 설치되었으며 토양은 주로 양호한 사질토로 구성되어 있다. 오산지역은 경기도 오산시 고현동 도로개설공사 구간에 설치되었으며 토양은 대부분 모래와 실트의 혼합토로 구성되어 있었다. 청주지역은 충남 청주시 내덕2동 청주농고 옆 도로 확장공사에 설치되었으며 현장 토양은

표 1. 대상구역의 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

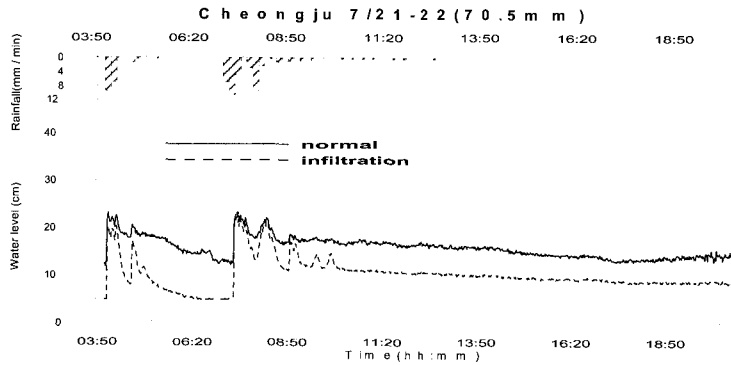


그림 2. 청주지점의 강우에 대한 각 침수정의 수위변화

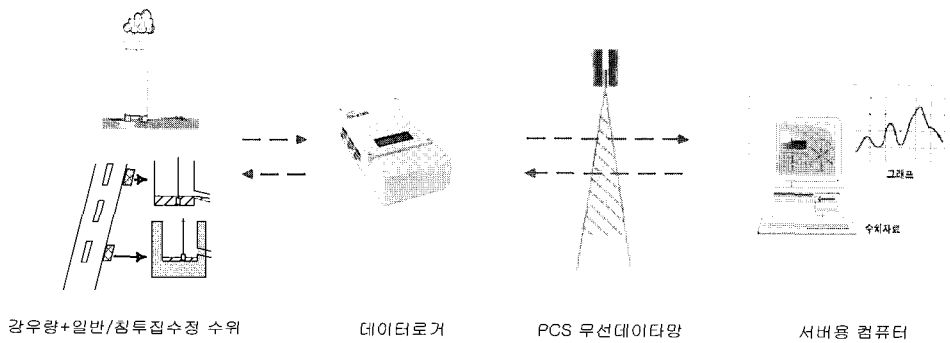


그림 3. 현장 강우 및 침수정 수위 계측 개념도

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). 그림 2는 청주에서 발생한 한 강우사상에 대한 침투 및 일반 침수정의 수위변화를 도시한 것이다. 최초 강우시 침투 침수정의 수위곡선의 기울기(건조상태의 침투능)와 강우 완료 후 침투침수정의 수위변화 곡선의 기울기(습윤상태의 침투능)의 차이를 한눈에 알 수 있다.

2.3 현장 자료의 수집

현장 자료의 수집은 무선이동통신을 이용한 실시간 모니터링 시스템이 사용되었다. 현장계측은 강우가 발생하여 각 침수정에 유출이 발생하였을 경우 강우량계와 침수정내의 압력식 수위계로부터 1분단위로 강우의 변화와 침수정 수위자료를 데이터로거가 저장하게 되며 이 자료는 1시간마다 서버컴퓨터로 전송하게 된다(그림 3).

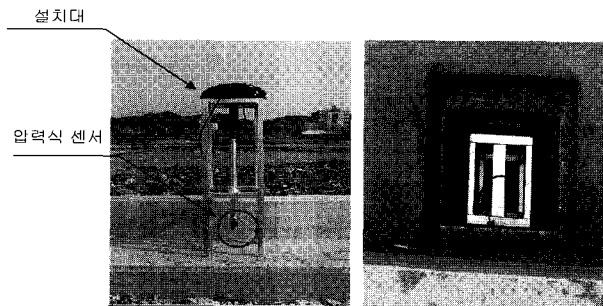


그림 4. 압력식 센서(좌)와 침수정에 설치된 모습(우)

일반 및 침투집수정의 수위자료를 획득하기 위하여 압력식 수위계를 집수정 바닥에 설치하였다. 그림 4는 압력식 수위계의 실제 사진으로서 설치대를 이용하여 집수정의 바닥에 설치된 모습이다.

3. 유출저감효과의 분석

3.1 유출유량 및 유출저감률(침투량)의 산정방법

현장자료는 시간과 강우량, 그리고 침투 및 일반집수정의 수위자료로 구성되었으며 각 수위자료를 집수정내의 배수관거 유출량으로 환산하기 위하여 배수관거를 원형웨어로 간주하여 계산에 적용하였다.

계측된 수위를 이용하여 도로 침투집수정의 효과를 정량화하기 위해서 침투집수정과 일반집수정이 배수관을 통해 유출되는 유량을 산정하였으며, 일반집수정과 침투집수정 각각의 유출량 차이로부터 침투량을 산정하였다.

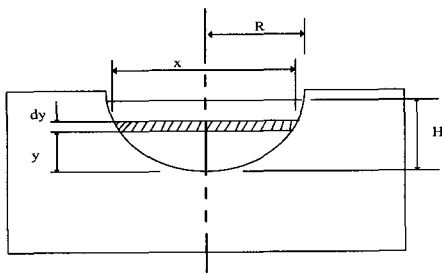


그림 5. 유출량 산정을 위해 가정된 원형 웨어단면

각 집수정에서 배수관을 통해 방류되는 유량을 계산하기 위해서 그림 5와 같이 배수관을 원형웨어로 간주하였고, 다음 식 (1)과 같이 월류 유출량을 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 Q &= \int_A dQ = \int_A V dA = \int_0^H V x dy \\
 &= \int_0^H \sqrt{2g(H-y)} x dy \\
 &= 2\sqrt{2g} \int_0^H \sqrt{H-y} \sqrt{R^2 - (R-y)^2} dy \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서, R은 배수관의 반경, H는 월류수심, A는 단면적, g는 중력가속도, x는 미소면적 dA의 수평거리, 그리고 y는 원형관저로부터 미소면적 dA까지의 수직거리이다. 식 (1)은 해석적 적분이 불가능하므로 수치적분을 위한 소프트웨어를 이용하여 측정된 각 수위에 따른 유량을 산정하였고 적분된 값의 웨어손실은 고려하지 않았다(c=1). 전체유출량은 유량곡선을 시간에 대해 적분하여 산정하였다.

3.2 총 강우량 - 유출량 비교분석

성남과 오산지점의 경우 침투집수정의 유출량은 총 강우량 100mm까지는 현저히 유출저감효과를 나타내다가 그 이상의 호우가 발생하였을 경우에는 그 저감효과가 서서히 감소하여 점점 일반집수정의 유출량에 근접하고 있으며 60mm 이하의 강우에는 침투집수정에서 유출저감효과가 가장 큰 경향을 보였다(그림 6, 7). 평균적인 유출저감율은 각각 73.3%와 75.1%를 나타내었다. 청주에서는 그림 7에서와 같이 2001년 우기에 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. 공통적으로 100mm 이상의 강우가 발생하였을 경우에는 대상 토양이 포화상태에 도달하여 우수유출저감효과(침투량)가 갑자기 적어지는 것으로 판단된다.

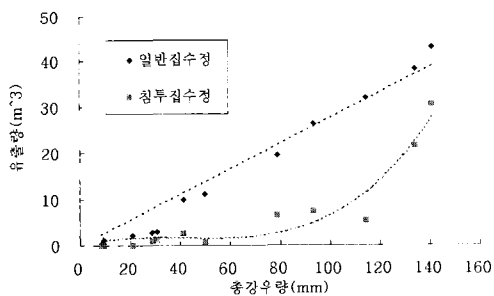


그림 6. 총강우량-유출량(성남)

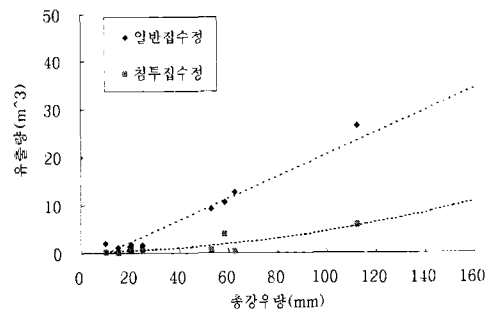


그림 7. 총강우량-유출량(오산)

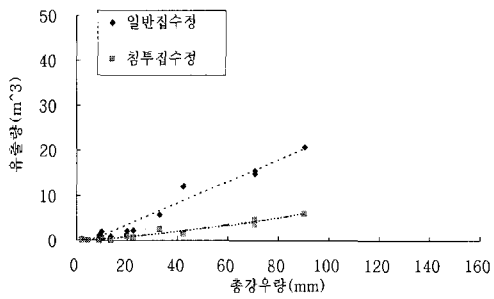


그림 8. 총강우량-유출량(청주)

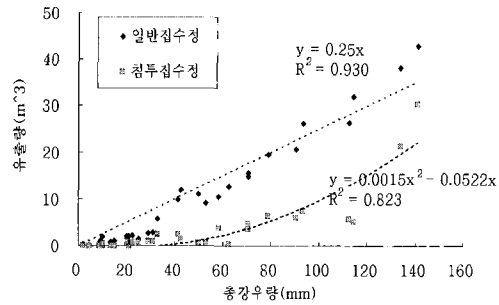


그림 9. 총강우량-유출량(성남, 오산, 청주)

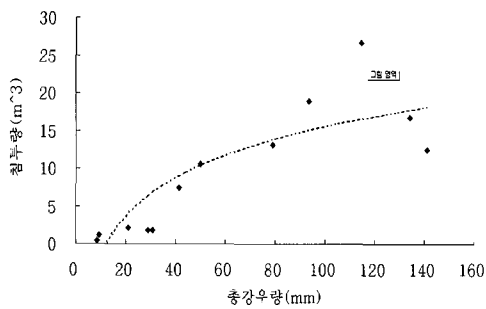


그림 10. 총강우량-침투량(성남)

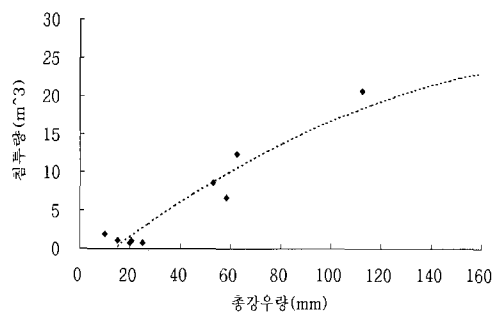


그림 11. 총강우량-침투량(오산)

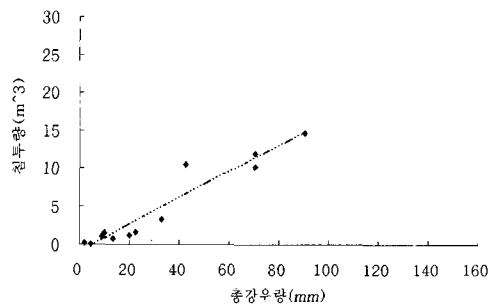


그림 12. 총강우량-침투량(청주)

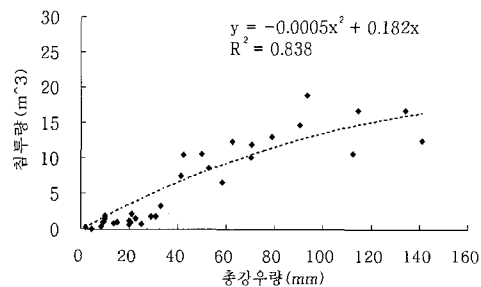


그림 13. 총강우량-침투량(성남, 오산, 청주)

이러한 성남, 오산, 청주 지점의 자료를 하나의 그래프로 표시하여 회귀곡선식을 그려본 결과(그림 9) 일반집수정에서의 유출식은 $y=0.25x$, 침투집수정의 유출식은 $y=0.0015x^2-0.0522x$ 로 계산되었으며 R^2 값은 각각 0.930과 0.823으로 매우 높은 신뢰도를 보이고 있다.

3.3 총 강우량 - 침투량 비교분석

성남과 오산지점의 총강우량에 대한 침투량은 강우가

증가함에 따라 거의 비례적으로 증가하는 경향을 보이며 100mm 이상의 강우에서는 침투의 증가추세가 저하되고 점점 일정한 침투율을 유지하는 경향을 보였다(그림 10, 11). 청주의 강우량-침투량 곡선은 거의 직선적으로 강우량과 침투량이 증가하고 있다(그림 12). 청주지역에서는 2001년 4월부터 8월까지 약 100mm이하의 강우 사상만 발생하여 더 큰 강우에 대한 변화는 알 수 없으나 전체적인 경향은 성남, 오산 지점과 비슷할 것으로 추측된다. 그림 13은 전체적인 경향 파악을 위해 각 지점

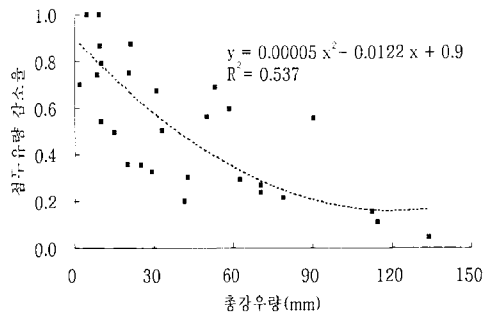


그림 8. 총강우량-침투유량 저감율(성남, 오산, 청주)

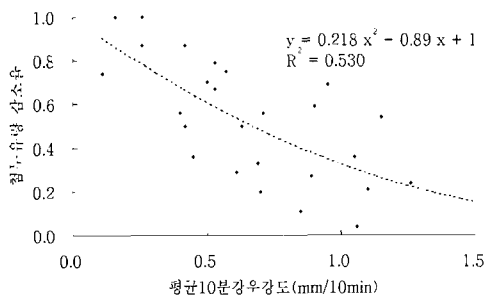


그림 9. 평균10분강우강도-침투유량저감율

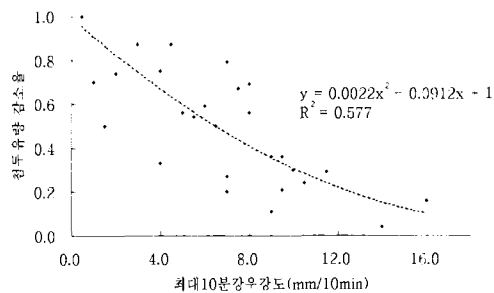


그림 10. 최대10분강우강도-침투유량저감율

의 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.

3.4 침투유량 저감율 비교분석

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 나타났다. 50mm이상의 강우에서 침투집수정 침투유량 저감율은 점차 감소하는 경향을 보였다(그림 14). 평균적인 침투유량 저감율은 각 지점마다 차이는 있었으나 약 40~70%의 침투유량저감율을 보였다. 전체자료의 회귀곡선식은 $y = 0.00005x^2 - 0.0122x + 0.9$ 이며 이

때의 상관계수 R^2 은 0.537이었다.

그림 15, 16은 침투유량저감율을 평균10분강우강도와 최대 10분강우강도에 대해 도시한 것이다. 침투유량저감율은 최대10분강우강도가 증가할수록 감소하는 경향이 있으며 최대10분강우강도에 대한 변화는 8mm/10min이하일 때 50%이상 침투유량 저감율을 보였다. 특히 12mm/10min일 때 25%이하의 낮은 저감율을 나타내어 높은 강우강도의 비가 내릴수록 침투효과가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 평균 10분 강우강도와 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 0.530과 0.577로 나타났다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구는 우수유출 저감시설 중 도로침투집수정의 유출저감 효과를 현장 계측 자료를 이용하여 정량적으로 분석하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 강우사상과 대상지역의 유입조건 및 토질조건 등에 따라 변동은 있었으나 2001년 강우에 대하여

평균적으로 약 70%의 총유출량저감율과 40~70%의 침투유량 저감효과를 나타내었다.

- 2) 총강우량에 따른 유출저감 효과는 총강우량 100mm까지는 현저히 유출저감효과를 나타내다가 그 이상의 호우가 발생하였을 경우에는 그 저감효과가 서서히 감소하게 되는데, 이는 집수경 바닥면의 사석 공극의 포화로 인하여 일시적인 저류효과를 기대할 수 없으며, 순수하게 바닥면 토양의 침투능(5~15 mm/hr)에 의한 저감만이 이루어지며 이는 전체 유출량에 비해 상대적인 양이 적기 때문에 판단된다.
- 3) 총강우량에 따른 침투유량 저감효과는 총강우량이 증가함에 따라 침투유량의 저감율은 점차적으로 감소하는 경향을 보였으며 특히, 100mm 이상의 큰 강우에서는 20%미만의 침투유량 감소를 보였다.
- 4) 평균 10분 강우강도에 따른 침투유량 저감효과는 평균 10분 강우강도가 0.5 mm/10min이하인 경우에 50%이상, 1 mm/10min 이상인 경우 30% 이하의 침투유량 저감율을 나타냈다.
- 5) 최대 10분 강우강도에 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.

결과적으로 침투집수정의 이러한 침투효과는 지하수 함양을 유도하여 지하수위 유지나 하천 건천화 방지효과 등은 물론 도시지역의 넓은 확대설치 후 홍수피해 저감효과가 기대된다. 그러나 도로 침투집수정을 전체 유역으로 확대 설치하기 이전에 우수의 침투로 인한 도로의 침하영향과 지하수질에 대한 영향 등에 대한 연구가 아직 미흡하므로 추가적인 관련연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 활용한 자료는 2001년도 우기시의 자료를 중심으로 활용하였으나 기쁨으로 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 도시의 유출계획 및 도시 홍수 방제계획 등에 활용할 수 있어야 할 것이다.

<감사의 글>

1. 본 논문은 명지대학교 교비과건 연구사업에 의하여 연구되었습니다.
2. 본 논문은 국립방재연구소의 『우수유출 저감시설의 도입』을 위한 전국 시범설치지역의 자료를 이용하였습니다. 국립방재연구소의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 방기성(1999). 중앙정부의 우수유출 저감시설 도입방안. 한국 수자원학회지 Vol. 32. No.4, pp. 26~31.
- 서규우(1998) 도시수문학. 도서출판 엔지니어즈.
- 서울특별시(2000). 우수유출 저감시설 시범사업 검토 연구 보고서.
- 심재현(1999). 우수유출 억제시설 설치에 의한 재해 경감효과. 방재연구, 제1권, 제1호, pp. 33~41.
- 이종국(1999). 우수유출 저감시설을 통한 치수방재효과와 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.
- 행자부 재해복구과(1999). 99 지방도로 정비사업 도로측구 침투집수정 설치설계지침 보고서.
- 행자부 국립방재연구소(1998). 우수유출 저감시설 설치기법연구(I) 보고서.
- 행자부 국립방재연구소(1999). 우수유출 저감시설 설치기법연구(II) 보고서.
- 행자부 국립방재연구소(2000). 우수유출 저감시설의 적용을 위한 시범지역 운영방안 보고서.
- 행자부 국립방재연구소(2001). 투수성 유출저감시설 설치기준 보고서.
- 雨水貯留浸透技術協會(H:1995). 雨水浸透施設技術指針(案) 調査・計劃編.
- Katsuchige MASUKURA(1992). 쓰꾸마 서부공업 단지의 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 評価, 雨水技術資料 Vol 4. pp 63~80.
- Yashyuki NAGASAWA(1991). 住宅・都市 整備

工团내의 雨水 地下浸透工法. 雨水技術資料
Vol 1. pp 74~95
Yoshihara HOSHIDA(1992). 雨水浸透에 관한 実

験的 研究., 雨水技術資料 Vol 4. pp 9~32.

(논문번호:02-70:접수:2002.9.13/심사완료:2002.09.26)