

# 호우사상에 대한 침투통의 우수유출저감효과에 관한 연구

## A Study on Runoff Reducing Efficiency of Infiltration Collector Well Installation for Heavy Rainfall Event

임장혁\*, 연지웅\*\*, 심재현\*\*\*, 송재우\*\*\*\*

Jang Hyuk Im, Ji Woong Yeoun, Jae Hyun Shim, Jai Woo Song

### 요 지

최근 침투형 우수유출저감시설은 물 순환 및 초기우수관리 문제, 치수 목적으로 사용이 증대되고 있으며, 시설 확대를 위한 관련 법규나 기준이 강화되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 호우사상에 대한 침투통의 저감효과를 분석하여 우수유출저감시설로써 적용성과 치수효과를 검증하는데 그 목적이 있으며, 연구방법으로는 실제 호우사상에 대해 침투통의 현장계측을 이용하여 유출 저감율을 측정하고, 수문해석에 의해 저감효과를 분석하였다.

현장계측을 실시한 전주지역의 2005년 8월 2일 호우사상은 290.5mm를 나타냈으며, 이 강우량은 「한국확률강우량도(한국건설기술연구원, 2000)」에 의한 전주관측소 50년 빈도 24시간 확률강우량 287.7mm를 초과하는 값으로 분석되었다. 이 때, 총유출저감율은 약 56%로 측정되었으며, 유역특성이 비슷한 지역에서는 해당 강우량에 대해 유사한 저감효과를 나타낼 것으로 판단된다.

HEC-HMS와 단위침투설계법을 이용하여 수문해석을 실시하였으며, 동일한 호우사상 자료를 적용한 결과, 총유출저감율은 20.64%, 최대 침투유량은 6%의 저감율을 나타냈다. 향후 지속적인 모니터링과 침투유량에 대한 연구가 보완되고 호우사상에 대한 계측자료가 추가로 확보된다면 호우사상에 대한 침투통의 치수효과를 정량화할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심어 :** 호우사상, 침투통, 현장계측, 유출저감, HEC-HMS, 단위침투설계법

## 1. 서 론

최근 침투형 우수유출저감시설은 물 순환 및 초기우수관리 문제, 치수 목적으로 사용이 증대되고 있으며, 시설 확대를 위한 관련 법규나 기준이 강화되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 호우사상에 대한 침투통의 저감효과를 분석하여 우수유출저감시설로써 적용성과 치수효과를 검증하는데 그 목적이 있으며, 연구방법으로는 전주지역에 설치된 모니터링 시스템을 통해 침투형 우수유출저감시설(침투통)의 현장계측을 실시하여 정량적인 침투량을 산정함으로써 침투형 우수유출저감시설(침투통)의 저감효과 범위를 제시하고 성능평가를 수행하였다. 또한 2005년 주요 호우사상에 대해 현장계측을 실시하여 현장계측에 의한 저감효과 범위를 분석하고 수문모형에 의해 검증하였다.

## 2. 현장 모니터링 시스템 개요

### 2.1. 현장 계측 구역의 개요

전주지역의 2005년 발생한 호우사상은 1분 또는 10분 간격으로 관측되는 실시간 모니터링 시스템을 이용하여 계측하였으며 이를 통해 우수유출저감시설의 치수효과를 분석 및 제시 가능한 자료를 수집하였다. 본

\* 정회원.홍익대학교 토목공학과 박사과정.E-mail : scryer@empal.com  
\*\* 정회원.홍익대학교 토목공학과 석사과정.E-mail : najiwoong@hotmail.com  
\*\*\* 정회원.소방방재청 국립방재연구소 토목연구관.E-mail : shim1001@nema.go.kr  
\*\*\*\* 정회원.홍익대학교 토목공학과 교수.E-mail : jwsong@wow.hongik.ac.kr

연구는 우수유출 저감시설 중 침투통의 저감효과를 관측하기 위한 것으로 강우량계를 설치하여 강우를 관측하였다. 또한 전주지역의 유역현황은 그림 1, 2, 3에 나타내었으며 유역특성은 표 1과 같다



그림 1. 전주지역의 위치도

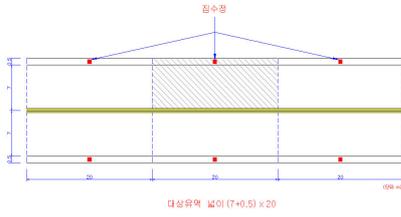


그림 2. 대상유역 평면도



그림 3. 현황사진

표 1. 전주유역의 유역특성

지점	설치위치	유역특성	유하시간	유역면적(m <sup>2</sup> )	비고
전주	전주천변도로 (전주교육대 ~ 남천교)	우수집수정으로서 도로폭은 편도 7m, 우수받이 폭은 0.5m, 집수정간 거리는 20m	약 1~5분 이내로 추정	(7+0.5)×20 = 150	4차선 국도변

주) 유하시간 : 설치지점에서 강우계측 및 유역면적을 고려할 때 강우발생 후 침투통까지의 이동시간

## 2.2. 현장계측 개요

### 2.2.1. 현장계측 및 자료전송방법

현장의 관측자료의 전송방법은 무선이동통신을 이용한 실시간 모니터링 시스템을 이용하여 강우시의 현장자료를 무인자동으로 서버컴퓨터로 전송해주는 계측방법으로서 시간에 따른 강우변화와 수위 변화자료를 실시간으로 획득하였다. 이 실시간 계측자동화 방법은 (주)데이터피씨에스에서 건교부 인증 신기술과 특허인증을 통해 그 신뢰성과 기술력을 인정받은 첨단 계측방법은 그림4에 나타났다.

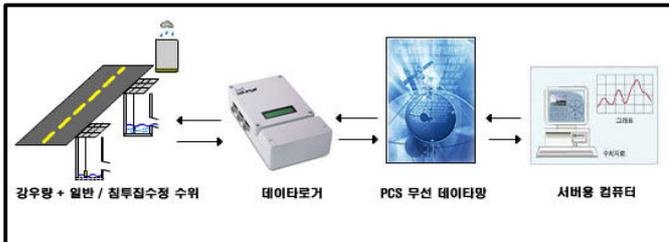


그림 4. 침투통 실시간 모니터링 시스템 개념도

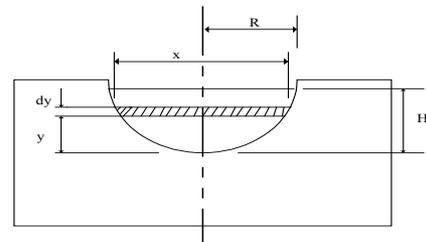


그림 5. 유출량 계산을 위한 원형웨어의 기정

### 2.2.2. 유출량 계산방법

각 집수정에서 배수관을 통해 방류되는 유량을 계산하기 위해서 그림 5와 같이 배수관을 원형웨어로 간주하였고, 다음 식과 같이 월류 유출량을 계산하였다.

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

여기서, R은 배수관의 반경, H는 월류수심, A는 단면적, g는 중력가속도, x는 미소면적 dA의 수평거리, 그리고 y는 원형관저로부터 미소면적 dA까지의 수직거리이다. 식 1은 관측자료 전체에 대한 해석적 계산이

불가능하므로 Matlab을 이용한 수치적 해를 구하여 측정된 각 수위에 따른 유량을 산정하였고 적분된 값의 웨어손실은 고려하지 않았다(c=1). 그리고 전체 유량곡선을 시간에 대해 적분하여 전체 유출량을 산정하였다.

### 3. 주요호우사상에 대한 현장계측 결과

전주지점의 우수유출저감효과 분석결과는 다음 표 2에 나타났다. 표 2에서 유출저감율이 59~96%로 침투통의 유출저감율을 보였다. 평균 유출저감율은 약 83%의 높은 저감율을 보이고 있다. 나머지 총강우량-유출저감량 관계나 총강우량-유출저감율 관계는 이전의 다른 지점의 경향과 비슷하게 총강우량이 증가할수록 유출저감량이 증가하고 유출저감율은 낮아지는 경향을 보이는 것이 타당하나 전주지점의 2005년 발생강우를 분석한 결과 대부분의 강우가 100mm이하의 강우에서는 전체적으로 유출저감율이 높게 나왔다.

표 2. 침투통에 대한 우수유출저감효과 분석결과

지점	강우 발생일 (월.일)	총 강우량 (mm)	지속 시간 (min)	일반시설 유출량 (m <sup>3</sup> )	침투통 유출량 (m <sup>3</sup> )	유출저감량 (m <sup>3</sup> )	유출저감율 (%)	강우 발생일 (월.일)	총 강우량 (mm)	지속 시간 (min)	일반시설 유출량 (m <sup>3</sup> )	침투통 유출량 (m <sup>3</sup> )	유출저감량 (m <sup>3</sup> )	유출저감율 (%)
전주	5.11	10.5	260	1.44	0.15	1.29	89.58	8.9	16.5	100	2.14	0.23	1.92	89.72
	5.17	28.0	430	4.01	0.41	3.60	89.78	8.18	11.5	100	0.96	0.07	0.89	92.71
	6.1	38.5	860	5.49	0.61	4.88	88.89	8.19	22.5	400	3.17	0.54	2.63	82.97
	6.10	60.0	890	8.99	1.30	7.69	85.54	8.21	53.5	820	7.79	1.29	6.50	83.44
	7.1	227.0	1740	30.68	6.42	24.26	79.07	8.24	3.5	80	0.22	0.09	0.13	59.09
	7.3	25.5	580	3.34	0.29	3.06	91.62	8.25	4.0	70	0.23	0.08	0.15	65.22
	7.9	15.5	340	2.06	0.27	1.79	86.89	9.1	13.0	70	1.78	0.07	1.71	96.07
	7.10	41.0	460	5.93	1.25	4.68	78.92	9.18	14.0	170	1.99	0.28	1.71	85.93
	7.13	13.0	100	1.80	0.10	1.71	95.00	9.19	6.5	130	0.65	0.13	0.52	80.00
	7.28	99.5	780	12.97	3.14	9.83	75.79	9.21	31.0	300	4.51	0.58	3.93	87.14
	7.31	36.0	290	4.93	0.59	4.33	87.83	9.21	10.0	190	0.73	0.13	0.59	80.82
8.2	290.5	1080	40.61	17.84	22.77	56.07								

### 4. 현장계측에 의한 우수유출저감효과 분석

본 연구의 현장계측 분석 결과는 대체적으로 총강우량이 증가함에 따라 유출저감량이 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 총강우량이 증가함에 따라 유출저감율은 주목할 만한 경향을 나타내지는 않았으나, 총강우량이 작을수록 유출저감율이 다양한 값을 나타냈다. 이러한 결과는 실제 강우의 시간분포와 강우강도에 따라 유출저감율이 영향을 받는 것으로 판단되었다. 또한, 침투형 우수유출저감시설(침투통)의 성능평가는 유출 및 평균유출저감율을 그림 6과 7에 나타내었으며, 2005년 강우사상에서 가장 큰 총강우량인 290.5mm를 나타낸 전주지역의 8월 2일 강우사상을 이용하여 분석하였다.

전주지역의 2005년 8월 2일 강우사상에 의한 성능평가 결과, 그림 7과 같이 전주지역 2005년 8월 2일 강우사상의 총강우량은 290.5mm로 현장계측 자료 중 최대값을 나타냈다. 이때 전주지역의 총강우량 290.5mm는 강우의 시간적 분포를 고려할 때, 「한국확률강우량도(한국건설기술연구원, 2000)」의 전주 관측소 확률강우량 24시간 50년 빈도 287.7mm를 초과하는 값으로 분석되었다.

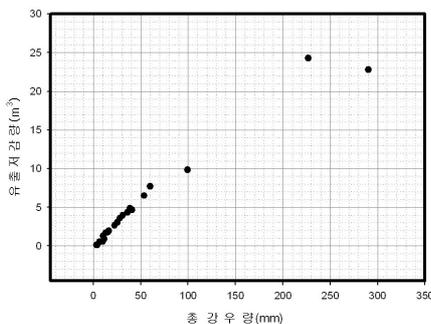


그림 6. 총강우량-유출저감량

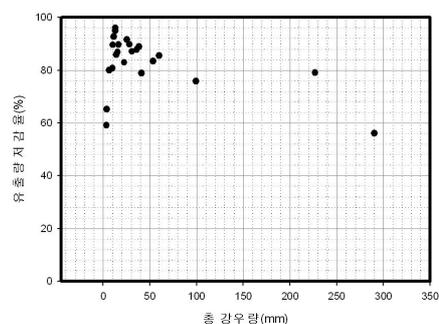


그림 7. 총강우량-유출저감율(%)

이 때, 유출저감율은 약 56%로 예측 되었으며, 유역특성이 비슷한 지역에서는 해당 빈도에서 유사한 유출저감율의 효과가 나타날 것으로 판단되었다. 또한, 향후 고빈도 침투 유출량에 대한 연구 및 통계적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

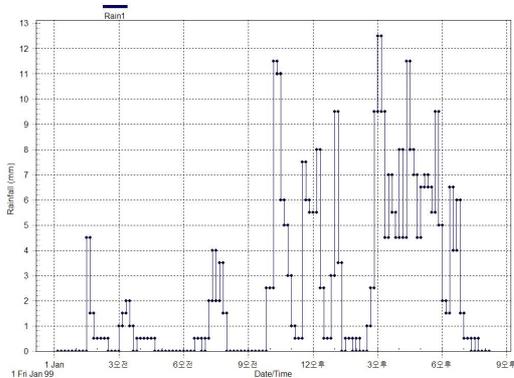


그림 8. 전주지역 2005년 8월 2일 강우사상

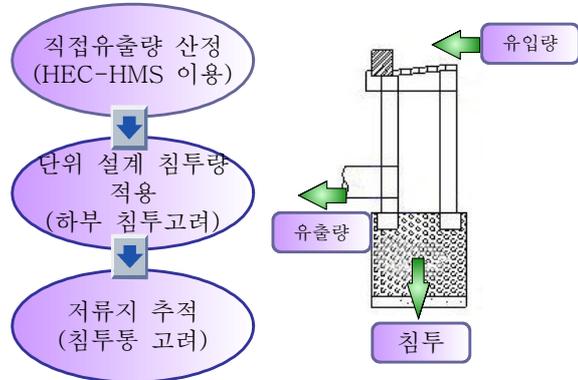


그림 9. 수문해석 모식도

### 5. 수문해석에 의한 현장계측 분석

수문해석에 의한 현장계측 분석은 침투형 우수유출저감시설에 의한 유출량을 미세측 유역에서도 적용할 수 있도록 하기 위해서 수행하였으며, 분석을 수행한 이후에 수문모형과 현장계측의 저감효과를 비교하여 분석하였다.

#### 5.1. 수문해석에 의한 현장계측 분석 방법

수문해석에 의한 현장계측 검증을 위해서 대상 강우 사상은 2005년 8월 2일의 전주 시험유역의 강우를 채택하였다. 채택한 이유는 2005년 지점별 총강우량 중 최대 값을 나타냈으며, 이 때 값은 290.5mm로 「한국 확률강우량도(한국건설기술연구원, 2000)」의 전주관측소 확률강우량의 50년 빈도 24시간 확률강우량 287.7mm를 초과하는 것으로 택지개발 지역의 홍수시 유출량을 모의하기에 적절한 것으로 판단되었기 때문이다. 수문해석시 사용된 수문모형은 HEC-HMS를 적용하였다. HEC-HMS는 비교적 소규모 유역에 적용할 수 있고, 계산범위가 비교적 낮은 단위까지 계산되는 장점이 있다. 또한, 다양한 수문해석, 즉 저류지 및 하도 추적, 기타 여러 가지 수문해석 기법을 적용할 수 있기 때문에 채택하였다. 침투통에 대한 수문해석은 그림 9와 같이 수문해석을 수행하였으며, 자세한 내용은 다음과 같다.

#### 5.2. 수문해석에 의한 현장계측 결과 및 분석

수문해석 및 현장계측에 의한 결과를 다음 표 3에 총 유출량 및 총유출 저감율에 대해 나타냈다.

표 3. 현장계측과 수문해석의 총유출량 비교

구 분		현장계측	수문해석
총유출량	침투통이 없는 경우	40.61m <sup>3</sup>	43.58m <sup>3</sup>
	침투통이 있는 경우	17.84m <sup>3</sup>	34.58m <sup>3</sup>
총유출 저감율		56.07%	20.64%

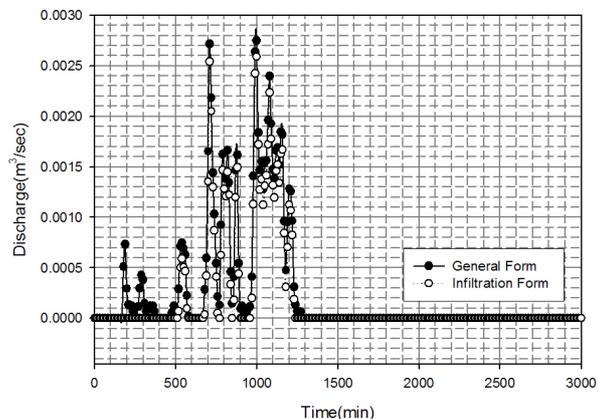


그림 10. 수문해석에 의한 침투통 유무에 따른 수문곡선

표 3에서 현장계측과 수문해석 결과를 비교한 결과 침투통이 없는 경우, 즉 일반 집수정 시설의 총유출량은 40.61m<sup>3</sup>과 43.58m<sup>3</sup>로 유사한 수문해석량을 나타냈으며, 수문해석시에 더 크게 산정되었다. 이러한 결과는 모니터링 유역에 대한 수문모형에 의한 유출량 산정이 정확도 및 적용성을 가지는 것으로 판단되었다.

전주 시험유역의 수문해석 및 현장계측에 의한 총유출량의 저감효과를 분석한 결과, 침투통이 있는 경우에 모니터링에 의한 총유출량 저감율이 약 56%였으며, 수문해석시 약 21%로 나타났다. 이러한 결과는 수문모형 해석시의 침투통 시설에 적용되는 조건, 즉 유역특성, 가정 사항 및 기타 매개변수에 대한 영향으로 판단되었다.

적용된 강우사상은 택지개발시 재해영향평가의 기준이 되는 50년 빈도를 초과하는 것이므로 시험유역과 수문조건이 유사한 경우에 50년 빈도에서도 우수유출저감시설의 저감효과가 가능한 것으로 판단되었다. 또한, 본 연구에서 적용된 수문해석 방법은 침투형 우수유출저감시설의 안정성을 고려할 때, 분석결과가 약 21%로 모니터링에 의한 총유출 저감량 보다 작게 나타났으므로 향후 모니터링 및 수문해석 연구가 진행된다면 재해영향평가에 적용할 수 있는 미계측 유역의 예측기법으로 사용될 수 있을 것으로 판단되었다.

우리나라의 유출특성인 큰 침투 유출량이 발생하는 경우, 침투유출량의 저감도 중요한 인자이므로, 수문해석에 의한 수문곡선을 이용하여 침투유출량의 저감효과를 분석하였다. 다음 그림 10은 수문해석 결과를 침투통이 있는 경우와 없는 경우로 비교하여 도시한 것이다.

수문해석에 의한 침투유출 변화는 그림 10에서와 같이 강우지속기간 전반에 걸쳐 저감효과가 나타났으며, 최대 침투 유출에서 저감율은 약 6%를 나타냈다. 수문해석 결과로만 판단한다면 침투유출량의 저감율은 총유출량 저감율에 비해 적은 것으로 나타났다. 향후 모니터링 및 수문해석 연구가 더 진행된다면 침투유출량의 저감효과를 보다 정확하게 모의할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 6. 결론

본 연구에서 수행된 호우사상에 대한 침투통의 우수유출저감효과에 관한 연구에 대한 결론을 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 현장계측을 실시한 전주지역의 2005년 8월 2일 호우사상은 290.5mm를 나타냈으며, 이 강우량은 「한국확률강우량도(한국건설기술연구원, 2000)」에 의한 전주관측소 50년 빈도 24시간 확률강우량 287.7mm를 초과하는 값으로 분석되었다. 이 때, 총유출저감율은 약 56%로 측정되었으며, 유역특성이 비슷한 지역에서는 해당 강우량에 대해 유사한 저감효과를 나타낼 것으로 판단된다.

2. HEC-HMS와 단위침투설계법을 이용하여 수문해석을 실시하였으며, 동일한 호우사상 자료를 적용한 결과, 총유출저감량은 20.64%, 최대 침투유출은 6%의 저감율을 나타냈다. 향후 지속적인 모니터링과 침투유출에 대한 연구가 보완되고 호우사상에 대한 계측자료가 추가로 확보된다면 호우사상에 대한 침투통의 치수효과를 정량화할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Hydrologic Engineering Center, 2001, Hydrologic Modeling system HEC-HMS, User's Manual.
2. 송재우, 2005, 수리학, 구미서관
3. 서규우, 김남길, 나현우, 이인록, 인터넷 수문관측시스템을 이용한 도시수문 모니터링, 한국수자원학회 학술발표회 발표논문 초록집, pp.235, 2004.
4. 심재현, 이철규, 이종국, 김진영, 침투통의 설치에 따른 치수효과 분석, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.51, 2004.
5. 여운광, 이종국, 심재현, 김중수, 도시 우수유출 저감을 위한 침투형 맨홀의 효과분석, 한국수자원학회 논문집, pp.795-800, 2000.
6. 행정자치부 국립방재연구소, 대표시험유역과 저류·침투시설 운영을 통한 재해저감기법 개선, 2004.