

# 침투 트렌치를 고려한 SWMM의 수정

## A Modification of SWMM to Simulate Infiltration Trench

이 정 민\*, 이 상 호\*\*, 박 재 현\*\*\*, 이 길 성\*\*\*\*  
Jung Min Lee, Sang Ho Lee, Jae Hyeon Park, Kil Seong Lee

### 요 지

도시화 면적이 증가하면 불투수 면적이 증가하고 그에 따라 도시 하천의 평상시 유출이 감소한다. 도시 유역의 평상시 수량을 회복시키는 방법으로는 침투 증진시설(투수성 포장, 침투 트렌치, 침투 측구 등)의 설치, 하수의 고도처리 후 방류, 저수지에 의한 유황 개선, 지하철 용출수 활용 등이 있다. 우리나라의 경우에 일부 도시하천의 수량 감소가 심각한 상황에 이르고 있으며 이를 해결하고자 하는 노력이 최근에 나타나고 있다. 수량을 회복하려면 유량 평가를 위한 현장조사, 수량회복 계획, 재원의 반영, 수량회복 시설의 설치 및 관리의 순서로 단계별 사업이 수행되어야 한다. 계획 단계의 과업에서 필요한 사항은 여러 가지 수량 회복 방법의 영향을 정량 평가하는 것이다. 이에 핵심이 되는 것은 수량 회복 요소를 포함하거나 추가한 수문순환 평가 도구이다.

본 연구는 기존의 수문 모형을 수정하여 침투 트렌치 모의기능을 갖도록 하는 것과, 이를 가지고 침투 트렌치의 수량 회복 효과를 분석하는 것이다. 침투 트렌치를 모의하도록 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 수정하였으며, 수정된 SWMM으로 학의천 배수유역 중 특정 소유역을 대상으로 하여 시험수행을 실시하였다. 학의천 배수유역 중 9번 소유역을 대상으로 도시 연속유출모의를 수행하여 침투 트렌치의 효과를 분석하였다. 9번 소유역의 경우 산지가 거의 80 %이며, 불투수율과 현지어건, 도로상황을 고려할 때 길이 100 m 규격의 트렌치 약 10 ~ 20개 정도가 설치 가능한 것으로 검토되었다. 그러나 현실성을 감안하여 시험수행에서는 10개의 트렌치를 설치하여 그 효과를 분석하였다. 9번 소유역 145번 지점의 유황을 분석한 결과 저수량( $Q_{275}$ )은  $0.0177 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서  $0.0190 \text{ m}^3/\text{s}$ 로, 갈수량( $Q_{355}$ )은  $0.0176 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서  $0.0189 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 약 7 %가 증가하는 것으로 분석되었다. 결과로부터 침투 트렌치는 저수량 및 갈수량을 증가시키는 보조수단이 될 수 있다.

**핵심용어 :** 침투 트렌치, 학의천, SWMM(Storm Water Management Model)

### 1. 서 론

도시화 면적이 증가하면 불투수 면적이 증가하고 그에 따라 도시 하천의 평상시 유출이 감소한다. 도시 유역의 평상시 수량을 회복시키는 방법으로는 침투 증진시설(투수성 포장, 침투 트렌치, 침투 측구 등)의 설치, 하수의 고도처리 후 방류, 저수지에 의한 유황 개선, 지하철 용출수 활용 등이 있다. 우리나라의 경우에 일부 도시하천의 수량 감소가 심각한 상황에 이르고 있으며 이를 해결하고자 하는 노력이 최근에 나타나고 있다. 수량을 회복하려면 유량 평가를 위한 현장조사, 수량회복 계획, 재원의 반영, 수량회복 시설의 설치 및 관리의 순서로 단계별 사업이 수행되어야 한다. 계획 단계의 과업에서 필요한 사항은 여러 가지 수량 회복 방법의 영향을 정량적으로 평가하는 것이다. 이에 핵심이 되는 것은 수량 회복 요소를 포함하거나 추가한 수

\* 정회원·부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정·E-mail : [andrew4502@magicn.com](mailto:andrew4502@magicn.com)  
\*\* 정회원·부경대학교 공과대학 건설공학부 부교수·E-mail : [peterlee@pknu.ac.kr](mailto:peterlee@pknu.ac.kr)  
\*\*\* 정회원·인제대학교 공과대학 토목공학과 조교수·E-mail : [jh-park@inje.ac.kr](mailto:jh-park@inje.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원·서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 교수·E-mail : [kilselee@snu.ac.kr](mailto:kilselee@snu.ac.kr)

문순환 평가 도구이다. 본 연구는 기존의 수문 모형을 수정하여 침투 트렌치 모의기능을 갖도록 하는 것과 이를 가지고 침투 트렌치의 수량 회복 효과를 분석하는 것이다.

## 2. 연구 내용

### 2.1 침투 트렌치의 개요 및 구조

침투 트렌치는 강우가 쇄석의 공극에 찬 후 인근의 토양으로 침투될 수 있도록 쇄석으로 채워진 트렌치이다. 굴착한 도랑에 쇄석을 충전하고 그 중심에 침투통(집수통)과 연결되는 유공관을 설치하여 우수를 통하게 하며, 쇄석의 측면 및 저면으로부터 강우를 지중으로 침투시키는 구조를 가지고 있다. 침투 트렌치는 침투시설의 대표적인 것으로서 침투 및 저류 기능 이외에 우수의 통수능도 가지고 있기 때문에 하수관거의 대체시설로 활용할 수 있다. 그림 1은 침투 트렌치의 구조를 나타낸다.

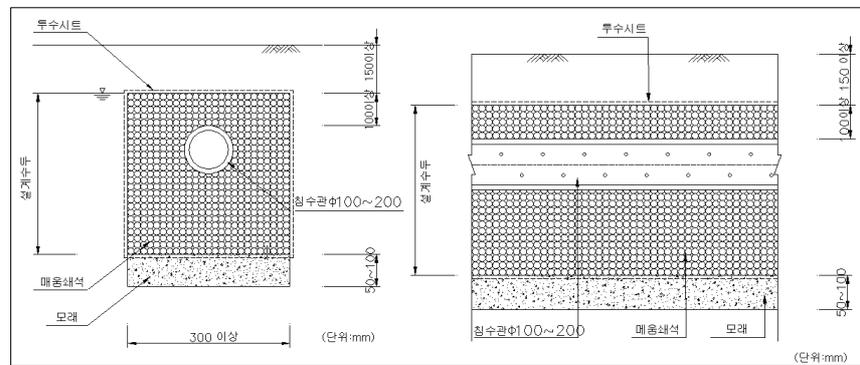


그림 1. 침투 트렌치의 구조

### 2.2 침투 트렌치를 고려한 SWMM의 수정

침투 트렌치를 고려한 SWMM 4.4H 모형의 수정을 위해 먼저 현재까지 진행된 연구와 문헌을 조사하였다. 현재까지 침투 트렌치를 고려할 수 있도록 SWMM을 수정한 사례는 없으나, Jia 등(2001)에 의해 개발된 WEP 모형과 Smith(2004)가 개발한 MIDUSS 모형의 경우 트렌치의 수문학적 영향을 고려할 수 있도록 각 모형 내 트렌치 모의 모듈을 가지고 있다. 본 연구에서는 이 두 가지 모형 중 MIDUSS 모형이 가지고 있는 침투 트렌치 모듈의 기본 이론과 방법을 이용하여 SWMM 모형을 수정하였다. MIDUSS 모형에서 고려하고 있는 침투 트렌치의 기본이론 및 방법은 다음과 같다.

MIDUSS 모형은 유입량을 통하여 지하로 빠져나가는 침투량을 Exfiltration으로 표현하고 있으며 이러한 트렌치를 Exfiltration 트렌치로 명명하고 있다. 그림 2는 MIDUSS 모형 내 Exfiltration 트렌치의 전형적인 모습이다.

MIDUSS 모형에서는 저수지 추적방법 중 수정 Puls법을 이용하고 있으며, 수정 Puls법과의 한 가지 차이점인 Exfiltration되는 X를 고려할 수 있도록 다음과 같은 방법을 사용하고 있다. MIDUSS 모형에서 침투 트렌치의 단면은 그림 3과 같이 가정하고 있다. 즉, 침투 트렌치는 사다리꼴 모양의 단면이고, 높이 H와 상부 수면 폭 T, 그와 대칭되는 바닥 폭 B로 이루어져 있다. 지하수위는 수평으로 깊이 P만큼 아래에 위치하고 있다. 만약 트렌치 내의 공극에 의한 수심을 트렌치 벽면의 습윤전선 y로 표현한다면  $\alpha y$ 로 나타낼 수 있으며, 여기서  $\alpha$ 는 식 1과 같이 주어진다.

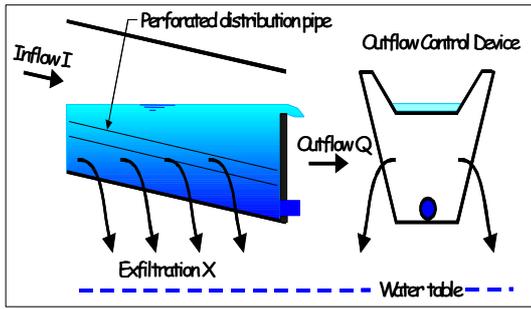


그림 2. 전형적인 Exfiltration 트렌치

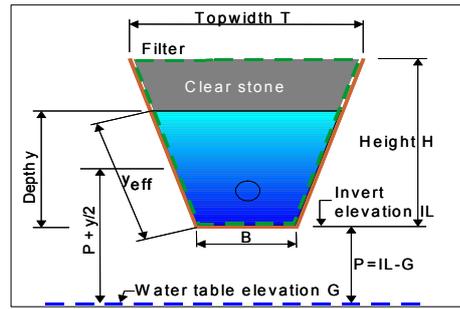


그림 3. 침투 트렌치 횡단면 개념도

$$\alpha = \sqrt{1 + \left(\frac{T-B}{2H}\right)^2} \quad (1)$$

트렌치의 단위 길이당 Exfiltration되는 양  $X$ 는 다음 식 2로 추정할 수 있다.

$$dX = (2\alpha y + \beta B)KS_f \quad (2)$$

여기서,  $S_f$  : 마찰경사,  $\frac{IL-G+y/2}{IL-G} = 1 + \frac{y/2}{IL-G}$

$K$  : 토양의 투수계수

$\beta$  : 트렌치 바닥의 개폐여부에 따라 결정되는 상수로 1 또는 0의 값을 가진다.

본 연구에서 침투 트렌치를 고려할 수 있도록 SWMM을 수정한 내용은 다음과 같다. 그림 4에서 보는 바와 같이 배수구역에서 트렌치를 설치하게 되면 트렌치로 유입되는 트렌치 배수구역이 생기게 된다. 그리고 트렌치 배수구역의 유출량은 트렌치 유입구로 유입되며 침투 트렌치 효과를 거쳐 다음 관로나 수로를 빠져나가게 된다. 따라서 SWMM 모델 내 RUNOFF 블록에 MIDUSS 모형의 침투 트렌치 모듈을 고려하여 저수지 추적방법 중 수정 Puls법을 이용하여 모형을 수정하였다. 수정에 관련된 부프로그램은 RUNOFF 블록 내 HYDRO, WSHED, OVRIND, GROUND 부프로그램이다. 그리고 Exfiltration 되는  $X$ 를 고려할 수 있도록 침투량 계산 부프로그램을 작성하였으며, 계산된 침투량은 RUNOFF 블록 내 GROUND 부프로그램으로 더해질 수 있도록 수정하였다.

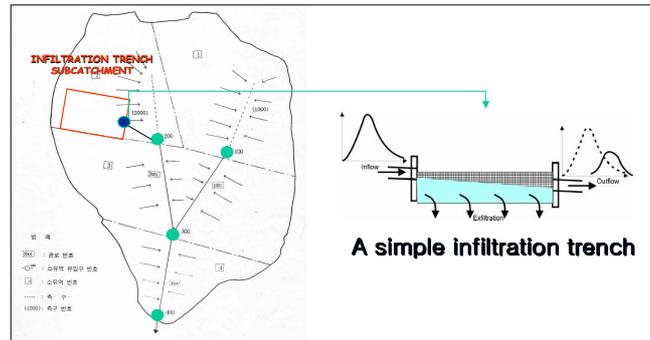


그림 4. 침투트렌치를 고려한 SWMM 수정

### 2.3 수정된 SWMM에 의한 침투 트렌치의 효과분석

수정된 SWMM을 안양천 상류 학의천 배수구역 중 9번 소유역에 시범 수행하였다(그림 5). 침투 트렌치의 규격 및 제원과 침투 트렌치 모의에 관련된 변수, 침투 트렌치 수위-저류량, 수위-방류량 관계는

MIDUSS 모형에서 사용하고 있는 기본값을 사용하였다. 침투 트렌치의 경우 1.0 ha당 최대 설치 가능길이는 450 m 정도이다(조원철 등, 2000).

9번 소유역의 경우 산지가 거의 80 %이며 불투수율과 현지여건, 도로상황을 고려할 때 길이 100 m 규격의 트렌치를 약 10 ~ 20개 정도 설치할 수 있는 것으로 검토되었다. 그러나 현실성을 감안하여 시범수행에서는 10개의 트렌치를 설치하여 그 효과를 분석하였다. 트렌치 설치가 건기 하천유출량과 우수유출에 어떤 영향을 미치는지 트렌치 효과를 거친 145번 절점(그림 5)을 대상으로 연속유출모의를 수행하였다. 먼저 2001년 9월 1일부터 2004년 8월 30일까지 3년 동안 시간단위로 연속유출모의를 수행하여 145번 절점에서 유출을 분석하였다(그림 6). 침투 트렌치의 효과분석은 트렌치를 시공한 경우와 트렌치를 시공하지 않은 경우로 나누어 수행하였다. 그림 7과 그림 8은 침투 트렌치 모의를 수행한 연속유출모의 결과 중 비교적 작은 호우사상과 큰 호우사상의 두 가지를 나타낸 것이다. 비교적 작은 호우사상 I에서 침투 트렌치를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우와 비교하여 홍수기에는 0.020 m<sup>3</sup>/s ~ 1.067 m<sup>3</sup>/s의 유출량 감소를 보였고, 건기에는 약 0.0018 m<sup>3</sup>/s의 유출량 증가를 볼 수 있다. 비교적 큰 호우사상 II에서는 트렌치를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우와 비교하여 홍수기에는 0.073 m<sup>3</sup>/s ~ 1.217 m<sup>3</sup>/s의 유출량 감소를 보였고, 건기에는 0.0018 m<sup>3</sup>/s의 유출량 증가를 볼 수 있다. 트렌치의 규격과 트렌치 설치 개수, 저류량을 고려할 때 작은 호우사상의 경우 침투유량의 감소효과를 볼 수 있으나 트렌치 저류량을 넘어서는 호우의 경우 침투유량에 대한 감소효과는 비교적 작은 것을 알 수 있다. 그러나 호우의 상승부에서 우수유출 저감효과를 확연히 볼 수 있으며, 건기의 침투 트렌치에 의한 평상시 유출량이 증가하는 것을 알 수 있다(그림 7의 A, 그림 8의 A').

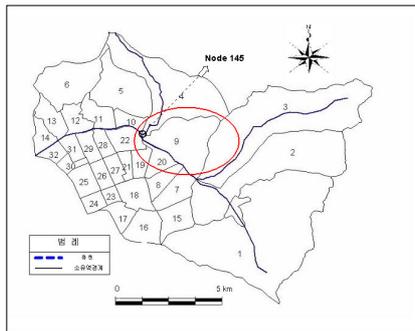


그림 5. 침투 트렌치 시범수행 소유역

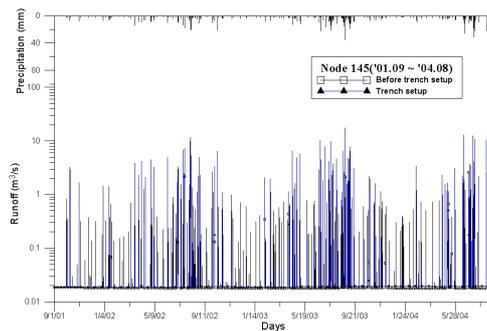


그림 6. 9번 소유역 침투 트렌치 효과분석 (145번 지점)

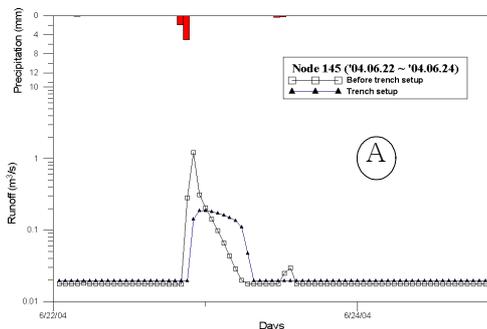


그림 7. 9번 소유역 트렌치 효과분석 (145번 지점 호우사상 I)

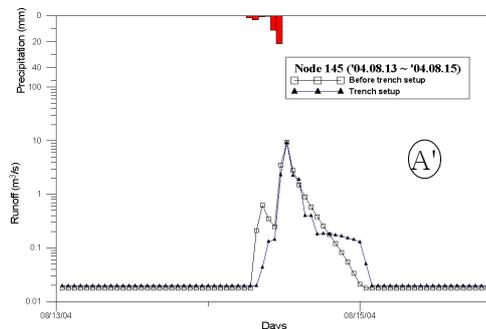


그림 8. 9번 소유역 트렌치 효과분석 (145번 지점 호우사상 II)

9번 소유역에 대한 트렌치 시공효과를 객관적으로 파악하기 위해 145번 지점을 대상으로 트렌치 시공을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 유황 곡선(flow-duration curve)을 작성하였으며 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량을 비교하여 나타내었다(그림 9 및 표 1). 유황곡선은 기 수행한 연속유출모의를 일(日)단

위로 산정하여 작성하였다. 9번 소유역 145번 지점의 유황을 분석한 결과 저수량( $Q_{275}$ )은  $0.0177 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서  $0.0190 \text{ m}^3/\text{s}$ 로, 갈수량( $Q_{355}$ )은  $0.0176 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서  $0.0189 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 각각 약 7 %가 증가하였다.

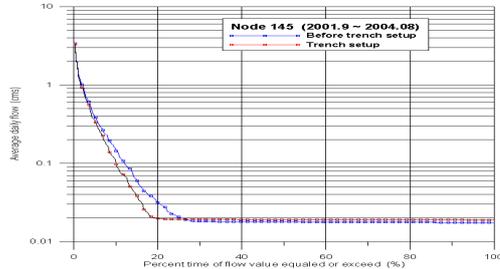


그림 9. 유황곡선의 비교 (9번 소유역)

표 1. 하천유지유량의 비교(9번 소유역)

비교유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	노드 145번 지점(9번 소유역)	
	트렌치 설치 전 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	트렌치 설치 후 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
풍수량( $Q_{95}$ )	0.0199	0.0193
평수량( $Q_{185}$ )	0.0179	0.0191
저수량( $Q_{275}$ )	0.0177	0.0190
갈수량( $Q_{355}$ )	0.0176	0.0189

### 3. 결론

침투 트렌치를 고려할 수 있도록 SWMM을 수정하였으며 이를 사용하여 학의천 내 9번 소유역에 대하여 시범수행을 실시하였다. 모의 결과 침투 트렌치를 고려한 경우 저수량과 갈수량이 약 7 % 증가하였다.

현재 침투 트렌치를 고려하여 수정된 SWMM 모형의 사용은 제한적이다. 침투 트렌치의 제원 및 입력자료를 코드 내부에서 수행하고 있으며, 수정사항 이외에 COMMON문에 의한 기타변수의 공유 및 배열에 관계하여 현재 계속적인 수정을 하고 있다. 그리고 안양천 상류 학의천 전체유역에 침투 트렌치를 시공할 경우를 가정한 시범 수행에 있어서도 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 학의천 전체 소유역에 대한 사전조사가 필요하다.

현재 WEP 모형과 MIDUSS 모형은 침투 트렌치 모의를 수행할 수 있다. 그러나 WEP 모형의 경우 정해진 트렌치 규격에 대해서만 모의를 수행할 수 있으며, MIDUSS 모형의 경우 연속유출모의를 수행할 수 없는 단점이 있다. 비록 현재까지 수정 개발된 트렌치 사양 SWMM은 모의 및 입력이 제한적이지만 WEP 모형과 MIDUSS 모형이 가지는 한계를 극복할 수 있을 것으로 사료된다. 차후 추가적인 수정이 완료된 후 MIDUSS모형 및 현재 진행 중인 침투트렌치 실험결과와 비교하여 수정된 SWMM의 검증을 수행하고자 한다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단(과제번호: 1-7-2)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 깊은 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 조원철 등(2000). 우수유출 저감시설 시범사업 검토연구. 연구보고서, 서울특별시.
2. James, W., Huber, W.C., Dickinson, R.E., Pitt, R.E., James, W.R.C., Roesner, L.A., and Aldrich, J.A. (2003). *User's guide to SWMM*. CHI, Guelph, Ontario, pp. 289-351.
3. Jia, Y., Guangheng, N., Yoshihisa, K., and Tadashi, S. (2001). "Development of WEP model and its application to an urban watershed." *Hydrological Processes (J)*, Vol. 15, pp. 2175-2194.
4. Smith, A.A. (2004). *MIDUSS : Reference Manual Version 2*. Alan A. Smith Inc.