

# 침투 트렌치 시설이 도시유역 물순환에 미치는 영향 평가

## Evaluation of Infiltration Trench Effects on Hydrologic Cycle in a Urbanized Watershed

노성진\*, 김현준\*\*, 장철희\*\*\*

Seong Jin Noh, Hyeon Jun Kim, Cheol Hee Jang

### 요 지

청계천 유역에 침투 트렌치 설치시 영향을 분포형 모형인 WEP 모형을 통하여 평가하였다. 침투 트렌치는 홍수 저감 보다는 물순환 개선에 효과가 있으나, 갈수량 증가량이 대부분 합류식 하수관에 의해 배제되는 것으로 모의되었다. 물순환 개선을 위해서는 침투 트렌치 설치에 앞서 합류식 하수관 시설의 재정비 등 유역내 저류량이 하천으로 이어질 수 있도록 하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 분포형 수문모형, WEP 모형, 격자크기, 모의 시간 간격**

### 1. 서론

도시 개발에 의해 우수의 불투수지역 확대, 하천부지의 축소, 산림 및 우수지의 감소 등이 급속히 진행되어 하천유량의 변화, 지하수위의 저하, 용수의 고갈, 생태계의 파괴 등이 발생되어 왔다. 도시지역은 도시형 수해발생, 갈수시의 급수안전도 저하, 평시 하천유량의 감소, 공공수역의 수질악화, 지하수 오염 등 여러가지 문제에 직면하고 있다(雨水貯留浸透技術協會, 2000).

이러한 문제들은 서울의 경우도 예외는 아니며 청계천 복원 사업과 더불어 그동안 방치되었던 도시유역의 물순환 체계를 정상화시키는 방법 모색이 필요하다. 청계천의 유출특성과 도시화로 인한 지하수위의 저하 등은 복원된 청계천의 수량·수질을 비롯한 하천생태 및 도시미기후의 향상성에 불리하게 작용할 것으로 예상된다. 또한 이러한 복원 사례는 국내·외적으로 매우 드물기 때문에 공사 전은 물론 공사 중·후에도 지속적인 관찰을 통하여 계획의 조정과 유지관리계획 및 앞으로의 발전방향을 검토할 필요성이 있다.

본 연구에서는 분포형 수문모형을 통해 왜곡된 물순환 체계에 대한 대안시설로서 침투 트렌치(Trench)를 모의 적용하였다.

### 2. 대상 유역

청계천은 서울의 서북쪽에 위치한 인왕산과 북한산의 남쪽 기슭, 남산의 북쪽 기슭에서 시작하여 서에서 동으로 서울의 도심부를 흐르는 유로연장 13.75 km, 유역면적 50.96 km<sup>2</sup>의 도시하천이다. 지천으로 성북천과 정릉천을 포함하고 있으며 하상경사는 1/310 ~ 1/510 정도이다. 유역의 평균고도는 El. 70.1 m이며, 유역의 평균 경사는 7% 정도이다. 토양은 사질토 1.0%, 암석 4.0%, 미사질양토 25.3%, 미사질식양토 33.0%, 식양질토 35.9%, 식토 0.9%로 대부분이 양토(Loam)로 이루어져 있으며, 토지이용은 산림지역이 23.2%, 도시지역이 75.9%를 차지하고 있다. 유역내 행정구역은 강북구, 동대문구, 성동구, 성북구, 종로구, 중구의 총

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : [sjnoh@kict.re.kr](mailto:sjnoh@kict.re.kr)

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : [hjkim@kict.re.kr](mailto:hjkim@kict.re.kr)

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : [chjang@kict.re.kr](mailto:chjang@kict.re.kr)

6개구 86개동이고 유역내 인구는 120만명에 달한다(서울특별시, 2004).

청계천 유역내 수위 관측소는 2개소로 그림 1에서 보듯이 청계천과 정릉천 하류부인 제2마장교와 용두교에 각각 설치되어 있으며 우량 및 기상 관측시설은 기상청에서 관리하고 있는 서울 측후소 및 6개의 자동기상관측소(AWS; Automatic Weather System)와 각 지자체(구청 6개소, 동사무소 2개소) 및 빗물펌프장(2개소) 등 12개소의 우량 및 기상 관측소가 있다(과학기술부, 2006).

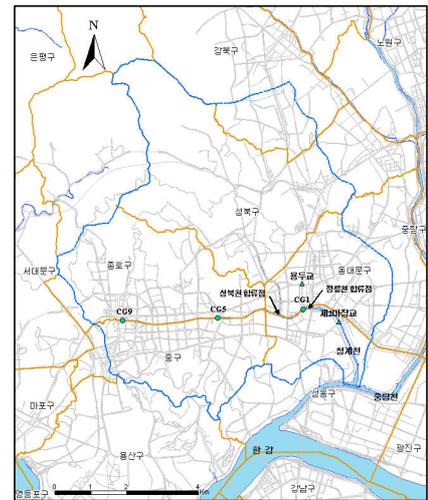


그림 1. 청계천 유역도

### 3. 모형의 개요

#### 3.1 WEP 모형의 개요

WEP 모형은 일본의 토목연구소, 과학기술진흥사업단, Jia 등이 공동으로 개발한 물리적인 기반의 공간 분포형 모형(Physically Based Spatially Distributed)이다. WEP 모형은 격자 기반 모형으로 유역을 평면 격자로 분할하여 각각의 격자를 계산단위로 하며, 연직방향으로 표층, 과도층, 지하대수층으로 나누어진다. 수평방향으로 표면류와 하도류는 각각 1차원 운동과 기법으로 추적되고 지하수 흐름은 각 층간의 함양, 침투, 양수량 등을 고려하여 2차원 해석을 하며, 이때 지표면, 하도와의 물 교환을 고려한다. 토지이용은 크게 수역, 나지-식생역, 불투수역 등의 세가지로 분류되며, 각 요소별로 다시 세부 분할된다. 증발산은 식생 등의 차단을 고려하여 Penman 식으로 계산되며, 침투는 Green-Ampt 모형을 다층 토양에 대해서 적용 가능하도록 수정한 “Generalized Green-Ampt 모형”을 이용하여 계산한다(土木研究所, 2002).

#### 3.2 침투 트렌치의 모형화

침투 트렌치는 그림 2와 같이 굴입한 도랑에 쇠석을 충전하고 침투통과 연결되는 침투관을 설치하여 우수를 도입, 쇠석의 측면과 저면에서 지중으로 침투시키는 시설이다.

WEP 모형에서는 다음과 같은 수식을 통해 침투 트렌치를 모의한다.

$$\partial S_t / \partial t = Q_{in} - Q_{inf} - Q_{ovf}$$

$$S_t = nLWH$$

$$Q_{inf} = K_0 L (aH + b)$$

$$Q_{ovf} = cL (H - H_m)^{3/2}$$

여기서,  $S_t$ 는 침투 트렌치의 저류량이고,  $Q_{in}$ 는 유입량,  $Q_{inf}$ 는 침투량,  $Q_{ovf}$ 는 유출량,  $m$ 은 침투 트렌치내의 공극률,  $L$ 은 침투 트렌치의 길이,  $W$ 는 너비,  $H$ 는 깊이,  $H_m$ 는 최대 설계 깊이,  $K_0$ 는 트렌치 아래 토양의 포화투수계수이고,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 상수이다.



그림 2. 침투 트렌치(예)

WEP 모형에 의하면 침투 트렌치의 설치 기준은 다음과 같다.

- ① 경사도 10% 미만인 지역
- ② 토양이 점토(Clay)가 아닌 지역
- ③ 침투 트렌치의 밀도가 450m/ha를 넘지 않을 것

④ 설치지역 지하수위가 지표면으로부터 2m 이하에 있을 것

## 4. 모형의 적용 및 결과

### 4.1 입력자료 구축

WEP 모형의 입력 자료를 그 특성에 따라 분류하면 대상구역(구역분할, 인구분포 등), 기상 조건, 지표면 조건, 표층토양, 하천, 지하대수층, 인공계 용수, 초기경계 조건 등으로 나눌 수 있다. 청계천 유역을 50 m × 50 m의 격자로 나누고(남북방향 199개, 동서방향 179개), 유역을 15개의 소유역으로 분할하였으며 하천은 물리적 특성(경사, 단면 등)과 관측결과와의 비교지점 등을 고려하여 26개의 세부하천으로 구분하였다. 강우, 풍속, 일조시간, 기온, 상대습도 등 기상 조건에 대한 자료는 1998년부터 2004년까지의 기상청 서울 측후소 자료를 이용하였다. 표층 토양은 미사질식양토(Silty clay loam), 사질양토(Sandy loam), 식양질토(Clay loam), 암석(Rock)의 4가지로 구분하여 공간적 분포자료를 구축하였다. 기타 매개변수는 기존 연구의 결과를 사용하였다(노성진 등 2005).

### 4.2 모형의 적용

#### 4.2.1 모의 조건

표층토양의 초기 함수율과 초기 지하수위 등 초기 계산 시작 조건의 영향을 줄이기 위해 1998년부터 2000년까지의 기간을 모의한 후 2000년 12월 31일 24:00의 조건을 초기조건으로 2001년 1월 1일 01:00에서 2004년 12월 31일 24:00까지 4년간을 모의하였다. 이 중 2001~2002년 자료는 모형의 보정에, 2003~2004년 자료는 검증에 각각 사용하였다.

#### 4.2.2 침투 트렌치 적용가능지역

위의 기준에 따라 청계천 유역에 침투 트렌치가 설치 가능한 지역을 계산하면 그림 3과 같다. 그림에서 침투 트렌치 밀도는 50 m 격자당 설치 가능한 침투 트렌치의 길이를 나타낸다. 모의 결과, 5,858개의 격자에 대해서 총연장 195,712 m의 트렌치가 적용가능한 것으로 모의되었으며, 설치가능한 격자당 평균 길이는 33.4 m였다.

#### 4.2.3 유출 모의 결과

그림 4의 홍수기 유출 수문 곡선에서 보듯이 침투 트렌치 설치시 침투 홍수량 등 홍수 저감 효과는 크지 않은 것으로 나타났으며, 침투홍수량 감소폭은 5%이내였다.

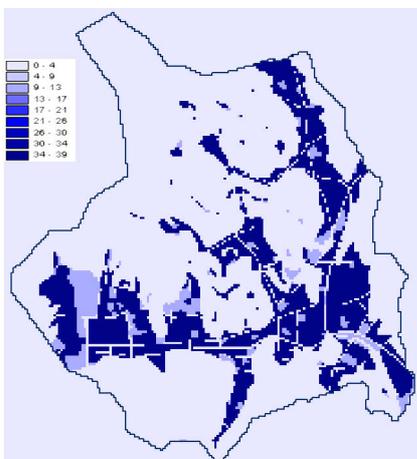


그림 3. 침투 트렌치 적용가능지역 모의결과

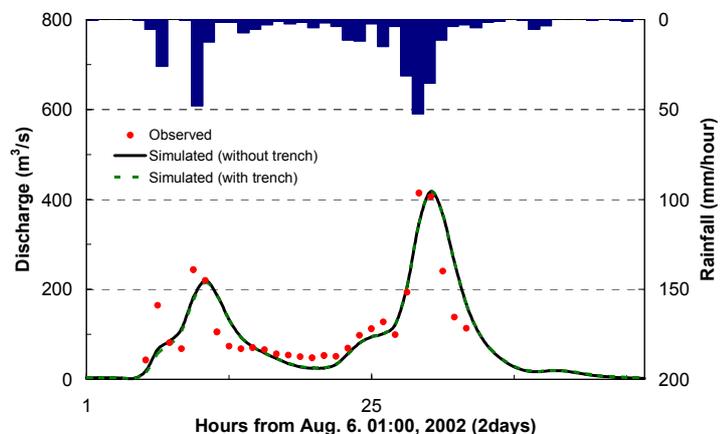


그림 4. 홍수기 유출 수문 곡선

### 4.2.3 물순환 모의 결과

그림 5에서 2002년에 대한 물순환 해석 결과를 살펴보면, 침투 트렌치 설치시 연간 인공 침투량이 73 mm 증가하여, 중간유출 및 지하수 유출이 각각 55 mm, 22 mm 증가하는 것으로 나타났으며, 지표면 유출은 74 mm 감소하였다. 전체적으로 홍수량이 줄고 갈수량이 늘어 일부 물순환 개선 효과가 있으나, 갈수량 증가량이 대부분 합류식 하수관에 의해 배제되어 하천 유량이 오히려 줄어드는 것으로 모의되었다. 이는 침투 트렌치 설치로 인한 물순환 개선을 위해서는 합류식 하수관 시설의 재정비 등 유역내 저류량이 하천으로 이어질 수 있도록 하는 노력이 선행되어야 함을 의미한다.

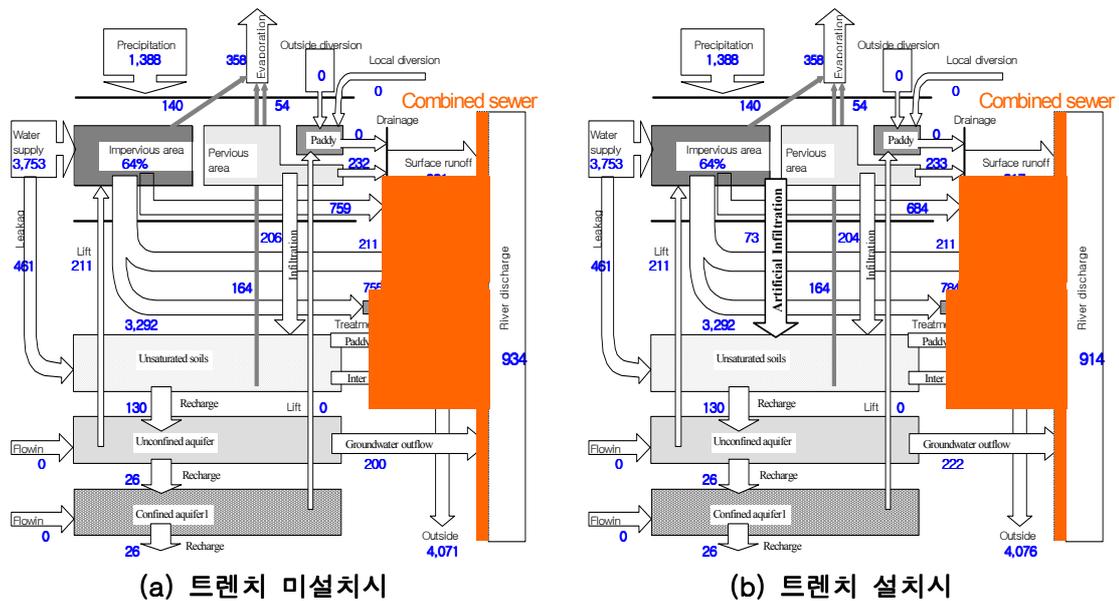


그림 5. 침투 트렌치 설치로 인한 물순환 변화(2002)

## 4. 결론

청계천 유역에 침투 트렌치 설치시 영향을 평가하였다. 침투 트렌치는 홍수 저감 보다는 물순환 개선에 효과가 있으나, 갈수량 증가량이 대부분 합류식 하수관에 의해 배제되는 것으로 모의되었다. 물순환 개선을 위해서는 침투 트렌치 설치에 앞서 합류식 하수관 시설의 재정비 등 유역내 저류량이 하천으로 이어질 수 있도록 하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(과제번호 2-6-2)에 의해 수행되었습니다.

WEP 모형의 적용에 있어서 기술지원을 한 일본 토목연구소와 Jia 박사에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 과학기술부(2006). **수자원의 지속적 확보기술개발사업-청계천 복원공사 모니터링 및 물순환 해석(과제번호 2-6-2)**. 한국건설기술연구원.
- 김현준, 장철희, 노성진, 김동필, 정일문, 홍일표(2004). “청계천 유역의 수문 모니터링 및 물순환 해석.” **청계천 유역 물순환 해석 국제 심포지엄 자료집**, 한국건설기술연구원, pp. 3-22.
- 노성진, 김현준, 장철희 (2005). “청계천 유역에 대한 WEP 모형의 적용.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제 38권, 제 8호, pp. 645-653.
- 서울특별시(2004). **대학과 연계한 하천관리에 대한 연구(최종보고서)**, 서울특별시.
- 雨水貯留浸透技術協會 (2000). 都市域における水循環系の定量化手法-水循環系の再生に向けて-.
- 土木研究所(2002). WEP モデル 解説書. 土木研究所, pp. 3-22.