

# 도시화 정도에 따른 유역의 유출특성 변화에 관한 연구

## A Study on the Change of Runoff Characteristics due to the Urbanization

문영일\*/ 윤선권\*\*/ 김종석\*\*\*/ 안재현\*\*\*\*

Moon Young Il, Yoon Sun Kwon, Kim Jong Suk, Ahn Jae Hyun

### 요 지

최근 이상기후와 국지적인 집중호우로 인해 인구와 재산이 밀집해 있는 도시지역에서의 홍수피해가 날로 증가하고 있는 추세이다. 특히 1970년대 이후 무분별한 도시화는 불투수 면적의 증가와 홍수 도달시간의 단축을 초래하여 도시하천에의 과중한 홍수부담을 유발하는 원인이 되었다.

본 연구에서는 도시화가 점차적으로 진행 중인 우이천 유역을 대상으로 강우조건과 불투수 면적 변화에 따른 유출량의 변화특성을 알아보고 분석결과를 제시하고자 한다. 이를 위하여 현재 국내에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 도시유출 모형인 SWMM(Runoff-EXTRAN블록)을 이용하여 우이천 유역에 대해 모의 및 분석하였다. 첨두유출량의 변화는 (첨두유출량/기준첨두유출량)×100(%)로 나타내었으며, 강우 조건으로는 강우지속시간, 강우분포, 강우규모 등을 채택하였다. 또한, 도시화 정도에 따른 유출특성의 변화를 파악하기 위하여 우이천 상류지역 개발에 따른 각 지점별 유출특성과 중·하류 지역의 점차적인 개발에 따른 각 지점별 유출특성의 변화를 분석하였다.

본 연구의 성과는 유역 상류지역과 중·하류지역의 점차적인 개발에 따른 각 지점별 첨두유출량과 첨두도달시간의 변화 특성을 규명하여 유출모형의 적용성 향상 및 도시유역의 효과적인 치수대책 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : 도시화, 불투수면적, 첨두유출량, SWMM**

### 1. 서론

도시화에 따라 도심의 인구가 증가하고 각종 주거지와 시설물이 들어섬으로서 도시의 자연환경은 크게 변화하였고, 도시를 흐르는 하천의 새로운 유출 양상을 불러일으키는 원인이 되었다. 특히 도시화에 따른 지표면의 불투수 면적의 증가는 홍수 도달시간이 단축되는 결과를 초래하고, 지표하의 저류능력을 감소시키며 첨두유출량의 증가와 도달시간의 감소를 야기시켜 도시하천의 과중한 홍수부담능력을 유발하게 된다.

본 연구에서는 도시화가 점차적으로 진행된 우이천 시험유역을 대상으로 설계강우조건과 불투수 면적의 변화를 줌으로써 상류지역과 중·하류지역의 점차적인 개발에 따른 각 지점별 첨두유출량과 도달시간의 변화 특성을 규명하여 유출모형의 적용성 향상과 효과적인 이·치수관리에 기여하고자 한다.

\* 정회원·서울시립대학교 토목공학과 부교수E-mail : ymoon@uos.ac.kr

\*\* 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 석사과정E-mail : skyoon@uos.ac.kr

\*\*\* 정회원·서울시립대학교 토목공학과 박사수료E-mail : jongsuk@uos.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 서경대학교 토목공학과 조교수E-mail : wrr@skuniv.ac.kr

## 2. 적용배수구역 및 강우자료

### 2.1 적용배수 구역

본 연구의 대상하천인 우이천은 준용하천으로 중랑천 제1지류로서 서울시 도봉구, 강북구, 성북구, 노원구 일부를 포함하여 유역면적 28.76km<sup>2</sup>, 유로연장 11.75km이다. 우이천 배수구역은 우이1, 우이2, 수유1, 수유2, 장위, 쌍문2, 창동2, 월계1, 월계2 등 9개 배수분구로 구성되어 있으며, 용도지역별 토지 이용현황을 살펴보면 전체면적은 2,876ha이고 이중 주거, 상업·준공업지역은 1,387.7ha이다.

표 1. 배수구역 현황

배수구역	면적(km <sup>2</sup> )	위치	불투수면적비율(%)	유역경사(%)	토양형	토지이용
우이천	28.76	서울시 도봉구, 강북구, 성북구, 노원구 일부	63.98	13.2	A, B	산지 및 주거·상가 복합지역

\* 「서울 2005 도시생태현황도」(서울시, 2005)



그림 1. 적용 배수분구

그림 2. 유출량 산정지점

그림 3. 불투수면적

### 2.2 강우 자료

본 연구에서는 도시화에 따른 불투수 면적 변화가 매개변수 민감도에 미치는 영향을 알아보고, 설계강우조건에 따른 유역의 유출특성을 분석하기 위하여 모형에 적용하는 강우를 강우규모(30년, 50년, 80년, 100년), 강우지속시간(1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간)으로 구분하였으며, 서울 (108)지점 기상청자료(1961~2005)와 서울지방 통합형 확률강우강도식(서울시, 2001)을 이용하여 강우규모에 대하여 지속시간별 확률강우량을 산정하였다.

우이천 유역의 강우 도달시간은 2.5시간 전후로 나타났고, 임계지속시간의 경우 3시간으로 산정

되었다. 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간의 지속시간에 대하여 강우 규모별, 강우분포를 구성하였고, 다음 표 2는 강우규모와 지속시간에 따른 Huff분포 강우량 최대값을 나타내었다.

**표 2. 강우규모·지속시간별 Huff분포 강우량 최대값** (단위: mm)

지속 시간	Huff분포(강우량 최대값)															
	Huff 1st				Huff 2nd				Huff 3rd				Huff 4th			
	30yr	50yr	80yr	100yr	30yr	50yr	80yr	100yr	30yr	50yr	80yr	100yr	30yr	50yr	80yr	100yr
1hr	36.5	39.9	43.0	44.5	31.4	34.4	37.1	38.3	33.0	36.1	38.9	40.2	30.7	33.6	36.2	37.5
3hr	21.4	23.3	25.0	25.9	17.7	19.2	20.6	21.3	18.4	20.0	21.5	22.2	21.5	23.4	25.1	26.0
6hr	13.9	15.1	16.2	16.7	11.3	12.3	13.2	13.6	11.8	12.8	13.7	14.2	5.7	6.2	6.6	6.8
12hr	8.6	9.4	10.1	10.4	6.7	7.3	7.9	8.1	2.1	2.2	2.4	2.5	2.3	2.6	2.7	2.8
24hr	5.7	6.2	6.7	6.9	2.2	2.4	2.6	2.6	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	2.0	2.0

### 3. 도시화에 따른 홍수 유출 분석

#### 3.1 침투유출 특성분석 방법

도시화에 따른 침투 유출량의 특성분석을 위해 본 연구에서는 우이천 시험 유역에 설계강우 조건에 따라 불투수 면적 비율을 최대 50%에서 최소 -50%까지 10%씩 변화시켜 침투유출량의 변화( $Q_{pr}$ )를 분석하였으며, 유역의 평균유속변화( $V_{pr}$ )또한 위와 같은 방법을 사용하였다.

$$\text{침투유출량의 변화}(Q_{pr}) = \frac{Q_p(\text{침투유출량})}{Q_{po}(\text{기준침투유출량})} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서,  $Q_p$ 는 불투수면적의 변화(-50% ~ 50%)를 적용했을 때의 침투유출량을 의미하고,  $Q_{po}$ 는 불투수 면적 변화(0%)일 때의 기준 침투유출량을 의미한다(Nix(1994), 강태호(1998)).

#### 3.2 도시화에 따른 각 지점별 유출특성 분석

우이천 시험유역에 대하여 각 배수분구별로 불투수면적을 10%씩 증가시켜 각 지점별 침투유출량을 구하고 침투유출량과 침투도달시간의 변화특성을 분석해보았다. 그 결과 도시화가 진행 될수록 상류 유역인 180지점의 침투유출량이  $139.3m^3/s \sim 149.3m^3/s$ 로 점점 증가하는 경향을 보였다. 침투유출량의 변화( $Q_{PR}$ )는 최고 7.18%로 증가하였으며, 침투발생시간 또한 다소 빨라지는 것으로 나타났다. 상대적으로 하류유역으로 갈수록 침투유출량의 변화의 폭이 크게 나타났으며, 침투발생시간 또한 빨라지는 경향을 보였다. 우이천 시험 유역의 하류지역인 540지점의 침투유출량은 도시화에 따라  $401.9m^3/s \sim 445.3m^3/s$ 로 증가하였고, 침투유출량의 변화( $Q_{PR}$ )는 최고 10.79%로 증가하였으며, 침투발생시간 또한 179min ~ 177min으로 다소 빨라지는 것으로 나타났다. 평균유속의 분석결과 2.5 ~ 4.1 m/s 정도로 나타났으며, 평균유속의 변화( $V_{pr}$ )는 도시화가 진행 될수록 최대 5.4%까지 민감하게 반응하였다.

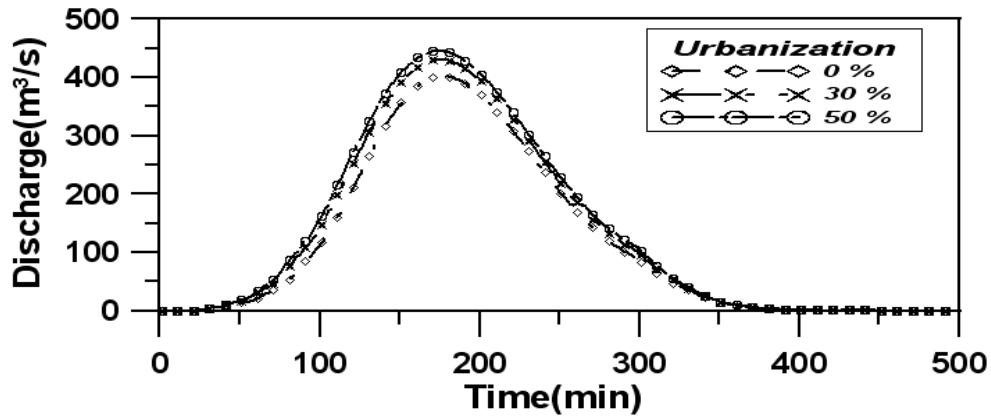


그림 4. 도시화에 따른 홍수수문곡선 비교(Huff2분위, 50년빈도: 540지점)

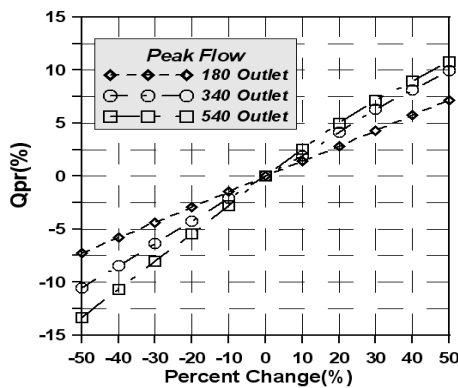


그림 5. 도시화 정도에 따른 상·중·하류 첨두유출량 변화

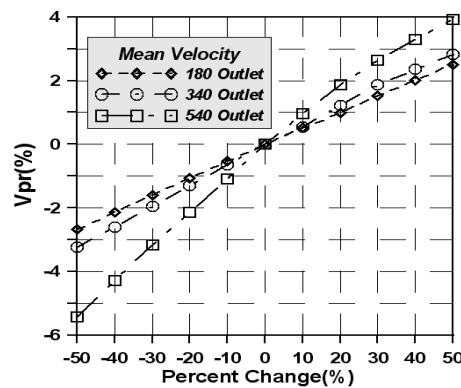


그림 6. 도시화 정도에 따른 상·중·하류 평균유속 변화

#### 4. 도시화정도와 강우조건에 따른 유출특성 변화분석

도시화에 따른 우이천 시험유역의 상·중·하류지점의 점차적인 개발과 불투수면적의 변화, 설계강우조건(강우의 시간분포, 강우지속시간, 재현기간)의 변화가 첨두유출량에 미치는 영향을  $Q_{PR}$ 의 민감도에 따라 분석한 결과, 재현기간 30년과 강우지속 24시간에서 유출의 변화량이 전반적으로 크게 나타났으며, Huff-4분위에서 변화도가 가장 크게 발생하였다.

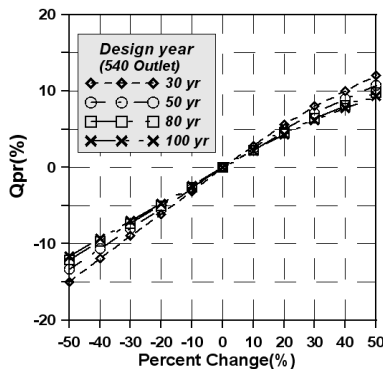


그림 7. 설계빈도별 첨두홍수량의 변화

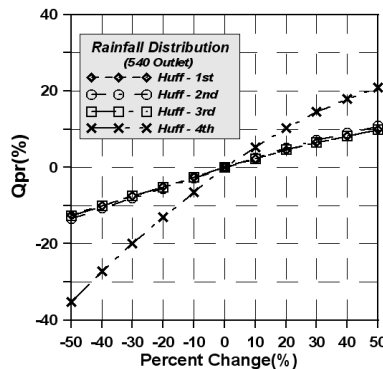


그림 8. 강우의 시간분포별 첨두홍수량의 변화

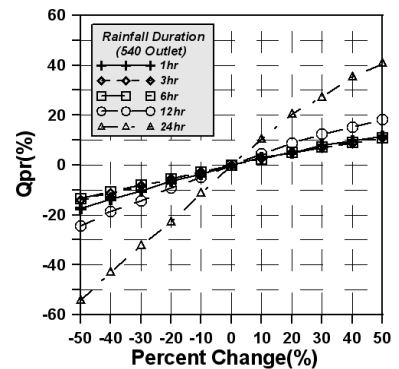


그림 9. 강우지속시간별 첨두홍수량의 변화

표 3. 도시화 정도와 강우조건에 따른 침투유출량의 변화 분석

적용성 평가기준( $Q_{PR}$ )		재현기간				강우지속시간				
		30yr	50yr	80yr	100yr	1hr	3hr	6hr	12hr	24hr
180지점 (상류)	Huff-1	▼	▼	▼	▼, ▽	▲	▼, ▽	▼	▲, ▽	▲, ▽
	Huff-2	▼	▼	▼	▼	▲, △	▼	▼, ▽	▲, △	▲
	Huff-3	▼, ▽	▼, ▽	▼, ▽	▼	▼	▼	▼	▲	▲
	Huff-4	▲, △	▲, △	▲, △	▲, △	▲, ▽	▼, △	▲, △	▲	▲, △
340지점 (중류)	Huff-1	▲, ▽	▼	▼	▼	▲, △	▲, △	▲, ▽	▲, ▽	▲, ▽
	Huff-2	▲	▲	▼	▼	▲, ▽	▲, ▽	▲	▲	▲, △
	Huff-3	▲	▼, ▽	▼, ▽	▼, ▽	▲	▲	▲	▲, △	▲
	Huff-4	▲, △	▲, △	▲, △	▲, △	▲	▲	▲, △	▲	▲
540지점 (하류)	Huff-1	▲, ▽	▼, ▽	▼	▼	▲, ▽	▲	▲, ▽	▲, ▽	▲, ▽
	Huff-2	▲	▲	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▲
	Huff-3	▲	▼	▼, ▽	▼, ▽	▲	▲, ▽	▲	▲, △	▲
	Huff-4	▲, △	▲, △	▲, △	▲, △	▲, △	▲, △	▲, △	▲	▲, △

주) ▲ :  $Q_{PR}$ 의 변화량이  $\pm 10\%$ 이상 / ▼ :  $Q_{PR}$ 의 변화량이  $\pm 10\%$ 미만 / △ : Huff분포 중 변화도가 가장 높음 / ▽ : Huff분포 중 변화도가 가장 낮음

### 5. 결론

본 연구에서는 도시유역 유출량에 가장 큰 민감도를 보여주는 설계강우조건과 불투수면적의 변화를 우이천 시험유역에 달리 적용하여, 도시화 정도에 따른 총유출량과 침투발생시간의 변화특성을 분석하였으며 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 도시화에 따른 불투수면적의 변화와 강우규모, 강우 지속시간, 강우 분포의 변화에 따라 전반적으로 모형의 계산 결과치에 민감하게 영향을 주는 것으로 분석 되었다.
- 2) 도시화가 점점 진행됨에 따라 유역의 지형인자의 변화에 따른 침투홍수량의 변화량을 비교한 결과 7.1~10.8%정도 증가하였고, 침투발생시간이 다소 빨라지는 것으로 나타났다. 또한 상대적으로 하류유역으로 갈수록 침투홍수량의 변화 폭이 크게 나타났으며, 유역평균유속의 변화 또한 크게 나타났다.
- 3) 강우분포형별 침투홍수량의 분석결과 Huff 4분위에서 유출량이 크게 산정되었고, 강우지속시간이 길수록, 설계빈도가 작을수록 도시화에 따른 침투홍수량의 변화는 크게 나타났다.
- 4) 도시유역의 수공구조물 설계시 해당 유역의 특성치의 정확한 파악이 선행 되어야 하며, 유출에 영향을 주는 요소 중 각 소유역의 도시화에 따른 불투수 면적과 배수 계통의 변화, 그리고 선행강수의 영향을 충분히 고려하여 향후 도시유역의 유출특성변화를 예측하여 적절한 설계홍수량의 산정이 필요하리라 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 강태호(1997). 도시배수유역의 유출 특성인자 분석, 대한토목학회 학술발표회논문집, pp.235 ~ 238.
2. 김종석(2004). 도시하천의 범람해석에 관한 연구, 석사학위 논문, 서울시립대학교.
3. 송현섭(2002). 우이천 실험유역에 대한 유출 모형 매개변수 추정, 석사학위 논문, 서울시립대학교.
4. 이종태 외(2004). 강우특성에 따른 ILLUDAS, SWMM 모형의 주요매개변수 민감도 분석, 대한토목학회 정기학술대회, pp.3976 ~ 3979.
5. Huber, W.C et al (1998). Stormwater Management Model Ver.4, Part A: User's Manual, E.P.A.
6. Nix, Stephan J. (1994). Urban Stormwater Modeling and Simulation, Lewis Publishers.