

건물 높이를 고려한 SWMM 모형의 강우-유출해석 방법 제안

이형택·조은샘·유철상[†]

고려대학교 건축사회환경공학과

A Rainfall-runoff Analysis Method of SWMM Model Considering Building Height

Lee, Hyungtaek·Cho, Eunsam·Yoo, Chulsang[†]

School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea

(Received : 19 October 2017, Revised: 11 November 2017, Accepted: 11 December 2017)

요약

본 연구에서는 기존 도시유역 유출해석을 위해 많이 사용되는 SWMM 모형에 초고층 건물의 영향을 고려하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 건물의 규모 및 높이를 고려하여 빗물이 지표면에 도달하는 시간을 추가로 계산하고, 이를 반영하여 유역폭을 수정하는 방법이다. 본 연구에서 제안한 방법은 Isidoro et al. (2012)의 실험결과를 이용하여 검증하였다. 결과적으로 SWMM 모형으로 모의한 유출수문곡선은 실험자료와 전체적으로 잘 일치하여, 본 연구에서 제안한 방법이 유효함을 확인할 수 있었다. 두 수문곡선에서 모두 모두 건물의 밀도 증가에 따른 침투유량의 감소, 침투시간의 지체 등 유출 반응의 변화가 동일한 것을 확인하였다.

핵심용어 : 초고층 건물, SWMM 모형, 도시유역, 강우유출 해석

Abstract

In this study, the method considering the influence of the high-rise building in urban rainfall-runoff analysis using SWMM was proposed. The method proposed in this study was to calculate the time of reaching the surface of the rainwater considering the size and height of the building, and to modify the basin width to reflect this. In the method proposed in this study, the concentration time considering the size and height of the building is calculated and based on this time the basin width is modified. The proposed method was verified with the experimental result of Isidoro et al. (2012). As a result, the proposed method was found to be valid since the simulated hydrograph was fairly identical to experimental result. In both hydrographs, it was confirmed that the change of the discharge characteristic, such as decrease of peak discharge and lag of peak time, over increasing density of the building was similar each other.

Key words : High-rise building, SWMM, Urban basin, Rainfall-Runoff analysis

1. 서 론

도시화로 인한 불투수면의 증가는 유역내의 침투량을 감소시키며, 결과적으로 유역출구에서의 침투유량을 증가시킨다. 도시 유역 내 설치되는 하수관거 또한 도달시간 단축과 침투유량 증가에 기여하는 것으로 알려져 있다(Yoon, 2007). 결과적으로 자연상태와 비교할 때 재현기간이 짧은 강우사상에 대해서도 홍수피해의 발생 가능성은 높아지게 된다(Yoon, 2007). 최근 발생하고 있는 홍수피해의 유형을 살펴보면 특히 도시화로 인해 발생하는 문제가 많다.

이와 같은 도시화의 문제를 분석하고 평가하기 위한 강우-유출 해석을 국내외로 다양하게 수행한 바 있다(Smith et al.,

2006; Cambez et al., 2008; Choi et al., 2009; Oh et al., 2010; Wei et al., 2012). 도시지역의 유출을 분석하기 위해 사용되고 있는 대표적인 모형으로는 SWMM (Storm Water Management Model), ILLUDAS (Illinois Urban Drainage Area Simulator), RRL (Research Laboratory Method) 등이 있다. 이 중 SWMM 모형은 도시유역의 유출과 유량을 예측하는데 많이 사용되는 모형이라고 할 수 있다.

SWMM 모형을 사용한 국내외 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. Choi et al. (2009)은 조경천 유역의 도시화에 따른 유출변화를 SWMM 모형을 이용하여 분석하였다. Oh et al. (2010)은 SWMM 모형을 이용하여 개발에 따른 급격한 도시화와 산업화로 인한 불투수 면적의 변화에 따른 강우유출특성을 분석하였다. Wei et al. (2012)은 SWMM 모형을 이용한 도시지역의 강우-유출특성 및 민감도를 분석하였다. 국외의 연구동향은 다음과 같다. Smith et al. (2006)은 도시 유역에서 홍수에 의한 침수 구역을 소

[†] To whom correspondence should be addressed.
School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea
E-mail: envchul@korea.ac.kr

유역 별로 분할하여 모의하고 유역별로 배수구역을 결정하는 연구를 수행하였다. Cambez et al. (2008)은 SWMM 모형을 이용하여 유역의 수리학적 분석과 수질 분석을 동시에 수행한 바 있다.

그러나 기존 연구에서 고려한 도시화는 불투수층의 증가로 요약된다. 불투수층의 고려를 통한 도시화의 반영은 도시화 초기 주로 낮은 건물이 위주였던 상황에서는 일면 유효한 측면이 있다. 그러나 최근 급격히 증가하고 있는 초고층 도시에서의 강우-유출 해석이 과거와 동일한지는 의문의 여지가 크다. 이러한 문제는 사실 여러 연구에서 지적된 바 있다(Makhelouf, 2012; Zhan et al., 2013). 예를 들어, Makhelouf (2012)는 초고층 건물이 도시유역의 강수를 포함한 여러 기상 관측 자료의 패턴을 변화시키는 것을 확인하였다. Zhan et al. (2013)은 초고층 건물을 고려한 도시유역의 기상 모의 결과와 고려하지 않은 모의 결과를 비교하고, 초고층 건물을 고려하는 것이 중요하다는 결론을 얻은 바 있다.

본 연구에서는 도시지역 유출해석에 많이 사용되고 있는 SWMM 모형을 이용하여 초고층 도시유역에서의 강우유출 해석을 시도해 보고자 한다. 이를 위해서는 먼저 초고층 건물을 SWMM 모형에 고려할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 개발된 방법론은 기존 Isidoro et al. (2012)의 연구결과를 활용하여 검증할 계획이다. Isidoro et al. (2012)은 몇 가지의 초고층 도시유역 모형을 이용하여 강우-유출 실험을 수행한 바 있다. 이 과정을 통해 검증된 방법론은 초고층 건물의 확대에 따른 유출특성의 변화를 평가하는데, 아울러 유역면적의 규모에 따른 초고층 건물의 상대적 영향을 파악하는데 적용할 수 있을 것이다.

2. 초고층 건물을 고려한 도시유역 유출해석 방법

2.1 초고층 건물로 인한 집중시간의 변화

본 연구에서는 강우가 초고층 건물의 옥상에서 지표까지 도달하는데 걸리는 시간을 소유역의 집중시간 산정에 고려하였다. 먼저, 건물의 영향을 고려하지 않는 경우에는 일반적으로 경험공식을 이용하여 집중시간을 산정한다. 이들 경험공식은 특정한 지역에서 측정된 한정된 자료를 사용하여 개발된 것이므로 적용 조건을 잘 파악하여야 한다. SWMM 모형에서는 도시유역의 집중시간 산정에 식 (1)과 같이 운동파 공식(Kinematic wave formulation)을 사용한다.

$$t_c = \left(\frac{L}{a \cdot i^{m-1}} \right)^{1/m} \quad (1)$$

여기서 t_c 는 집중시간(min) i 는 강우강도(ft/sec)이다. L 은 유역에서 가장 먼 지점에서부터 주유로의 시작점까지의 길이로 정의되지만, SWMM 모형의 적용 시에는 유역에서 가장 먼 지점에서부터 유역 출구까지의 길이(ft)가 사용된다. a 와 m 은 운동파 매개변수로, m 은 5/3을, a 는 Manning 공식을

적용해 식 (2)와 같이 표현된다.

$$a = (1.49/n)S^{1/2} \quad (2)$$

여기서 n 은 조도계수이고 S 는 유역 평균 경사이다.

강우는 건물의 발코니나 옥상 등에 내려 루프 드레인을 통해 우수 수직관으로 들어가 낙하한다. 이때 흘러내리는 속도는 중력가속도를 받아 증가하나, 관 내벽 및 중심부 공기와의 마찰저항도 유속의 제곱에 비례하여 증대하므로 결국 둘 사이의 균형이 잡혀 거의 일정한 속도가 유지되게 된다. 이와 같이 관 내벽 및 공기와의 마찰저항과 평형이 되는 유속을 종단유속(terminal velocity)이라 하며, 주철관에 서는 약 5~12 m/sec이다. 또 수직관에 유입한 후 종국유속에 도달하기까지의 흘러내린 길이를 종단길이(terminal length)라 하며, 관경, 배수량, 관 내벽의 조도계수 등에 따라 다르나 보통 3~6 m 정도이다.

Wyly and Eaton (1952)은 첫째 수직관내의 부분유수가 수륜을 만드는 충분한 유량일 것, 둘째 유입구의 초기속도는 0일 것, 셋째 신품의 주철관 일 것 등을 조건으로 하여 Manning의 공식과 형식을 맞추어 만든 실험식을 제안하였다. Wyly and Eaton (1952)의 식을 간단하게 정리하여 나타내면 식 (3)과 같다.

$$v_t = 16.2 \left(\frac{Q_1}{d_1} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (3)$$

위 식에서 v_t 는 종단속도(m/sec), Q_1 은 관내의 유량($\text{feet}^3 / \text{sec}$), d_1 은 관의 지름(m)이다.

본 연구에서는 위 식을 이용하여 강우의 종단 속도를 산정하고, 초고층 건물의 우수 수직관에서의 낙하시간을 결정하였다. 낙하시간 산정에 필요한 관경은 환경부에서 제안한 허용 최대 지붕면적별 관경값을 이용하였다 (ME, 2015).

2.2 SWMM 모형에서 초고층 건물을 고려하는 방법

SWMM 모형에 초고층 건물을 반영하기 위해서는 초고층 건물에 의한 지표수 흐름의 시간 지체를 고려해 주어야 한다. 지표수 흐름의 시간 지체는 강우가 우수 수직관을 통해 지표면으로 유출되기까지의 시간을 의미한다. SWMM 모형에서 흐름의 시간 지체를 반영할 수 있는 방법은 유역 정보를 수정하는 것이다. 유역정보 중 시간 지체를 고려하기 위해 조정할 수 있는 인자는 조도계수, 유역 경사, 유역폭이다.

조도계수를 이용하는 방법은 건물의 영역에 조도계수 등과 같은 저항계수의 값을 다른 영역에 비해 높게 설정하여 지표수의 흐름을 지체시키는 방법이다. SWMM에서는 입력자료로 평균 조도계수를 사용하기 때문에 건물만 따로 조도계수를 설정할 수 없다. 따라서 건물에 높은 조도계수를 설정하려면 건물 자체로 유역을 설정해야 되기 때문에 자료의 구축에 상당한 시간이 필요하게 되는 단점과 건물의 형상을 정확하게 반영하기 어려운 점이 있다.

유역 경사를 이용하는 방법은 지표수 흐름을 지체시키기 위해 유역의 경사를 낮추어 주는 방법이다. 유역의 경사가 높을수록 유출속도가 빨라지고 경사가 낮을수록 유출속도가 느려진다. 따라서 유역의 경사를 조절하여 지표수 흐름을 지체시킬 수 있다. 실험 논문의 대상유역은 경사가 낮은 경사로 이루어져 있다. 지표수 흐름을 지체시킬 정도로 경사를 더 낮추기엔 경사가 어느 정도 낮은 상태여서 지체시키기 어렵다.

유역폭은 사용자의 주관적인 유역 분할 방법이나 유역폭 산정 방법에 따라 많은 차이를 보인다. 이로 인해 유역폭은 다른 유역 정보보다 쉽게 접근하여 수정할 수 있다. 또한 SWMM 모형의 매뉴얼에서도 다른 유역 인자보다 유역폭의 수정을 통한 유출형태를 조절하는 것을 추천하고 있다 (Huber and Dickinson, 1988). 유역 경사 등은 지형자료 및 다양한 GIS (Geographic Information System) 도구를 이용하여 비교적 객관적으로 산정이 가능하다. 조도계수 등은 실제 유역 답사나 기존의 경험값을 이용하여 추정 가능성이 있다는 면이 있기 때문에 유역폭을 수정하는 방법이 다른 방법보다 주로 이용 된다.

본 연구에서는 이 세 가지 방법 중 유역폭을 수정하는 방법으로 초고층 건물의 영향을 유출해석에 반영하고자 하였다. 유역폭을 수정하는 방법은 다음과 같다. 먼저, 건물을 고려하지 않은 유역의 집중시간과 유역 최원점에서 유역출구까지 거리를 고려하여 유속을 계산한다. 계산된 유속을 유역의 집중시간과 건물에서의 낙하시간을 합한 값에 곱하여 거리를 계산한다. 마지막으로, 계산된 거리를 유역의 면적으로 나누어 유역폭을 산정하였다. 즉, 고층건물을 고려할 경우 유역의 형태는 폭이 작아진 길쭉한 형태로 바뀌게 된다.

3. 적용 및 검증

3.1 Isidoro et al. (2012)의 실험 연구

Isidoro et al. (2012)은 고층 빌딩이 있는 고밀도 도시화

지역을 1:100 크기의 모형으로 제작하고, 그 위에 부착된 강우발생 장치를 이용하여 유출실험을 수행하였다. 모형의 크기는 가로 2 m, 세로 2 m로 면적이 4 m²이다. 모형은 유역출구방향으로 10%, 이에 직각인 방향으로는 양쪽 각 2.5%이다(Fig. 1(a)). 모형의 바닥은 MDF (Medium Density Fibreboard)로 제작하였으며 방수 코팅을 하였다. 유역 내 배수는 지름이 15 mm인 반원형 개수로를 통해 이루어진다. 강우강도는 120 mm/hr이고 강우의 지속시간은 55초이다. 유량 측정은 원통형 저장 장치를 이용하여 1초 간격으로 수행하였다.

Isidoro et al. (2012)의 연구에서 설명하는 건물의 높이는 약 20층이다. 층당 높이 4 m를 고려하여 모형에서는 높이 0.8 m로 제작되었다. 실험에서는 고려한 모든 건물의 높이는 같은 것으로 가정하였다. Fig. 1(b)는 실험 과정에서 고려한 유역과 건물 밀도에 따른 건물의 위치를 나타낸 것이다.

3.2 SWMM 모형을 이용한 유출해석

3.2.1 입력자료 구축

SWMM 모형을 이용한 유출해석에 필요한 입력자료는 유역폭, 유역평균경사, 유역면적, 조도계수 등이 있다. 유역은 똑같은 크기의 총 8개의 소유역으로 분할하였다. 이는 유역의 관로를 기준으로 분할한 것이다. 총 유역 면적은 2 m × 2 m로 4 m² 이고 각 소유역의 면적은 각각 가로 1 m, 세로 0.5 m로 0.5 m² 이다.

유역폭은 소유역에서 관로가 유역의 측면에 위치하고 있기에 유역폭 산정 방법 중 유역의 주 관로가 유역의 측면에 위치했을 경우 유역폭을 산정하는 방법을 사용하였다. 유역폭은 1 m이다. 유역 경사는 Fig. 1(a)에서 확인할 수 있는 것과 같이, 유역의 가로 측 경사는 2.5%, 세로 측 경사는 10.0%이다. 소유역 평균경사의 산정을 위해 Fleming and Hoffer (1979)의 방법을 사용하였다. 최종적으로 산정된 평균 경사는 4.4%이다.

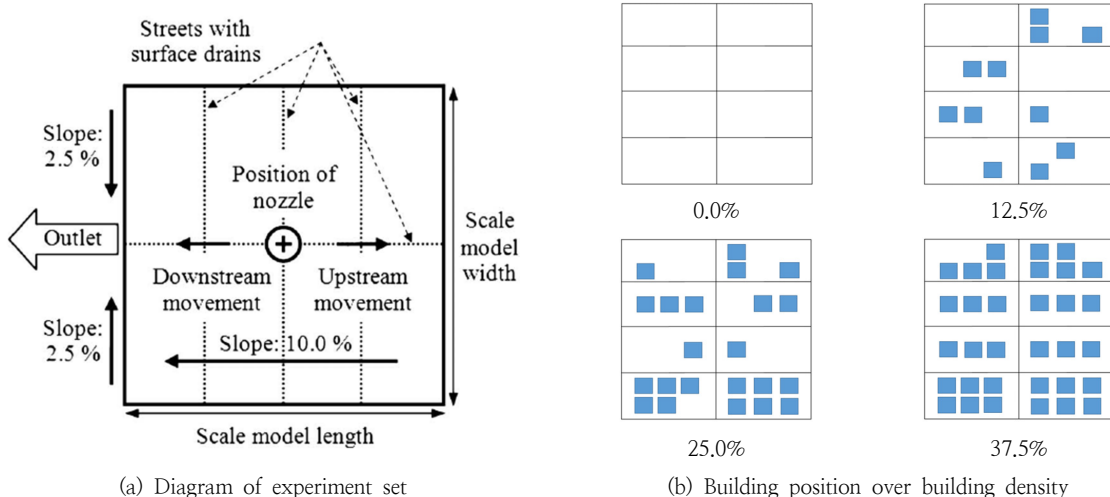


Fig. 1. Experiment set and building position over building density (Isidoro et al., 2012)

침투에 의한 손실량 산정에는 CN 방법을 적용하였다. 대상 유역은 AMC-II 조건으로 가정하여 전체 다 불투수 유역으로 CN 값은 98로 가정하였다. 대상 유역은 실험에서 사용된 MDF에 방수 코팅한 것을 감안하여 전체를 불투수 지역으로 가정하고 조도계수로는 Hjelmfelt (1986)가 제안한 시가화 지역의 조도계수인 0.1과 Vieux (2004)가 제안한 시가화 지역의 조도계수인 0.015를 평균한 값인 0.057로 가정하였다. 불투수 지역 지면지류는 Isidoro et al. (2012)이 실험 유역을 방수 코팅 하였다는 것을 따라 0으로 가정하였다. 강우강도와 지속시간은 실험과 동일하게 조건을 주어 120 mm/hr와 55초로 하였다. 8개의 소유역의 입력자료는 모두 동일하게 입력하였다.

노드와 링크는 Isidoro et al. (2012)에 의해 정리된 내용으로 모의한 실험 장치와 동일하게 입력하였다. 노드의 높이는 유역의 경사가 10%인 것을 감안하여 유역 출구의 높이를 0으로 기준 잡아 0.05 m씩 높아지게 입력하였다. 노드의 최대 깊이는 실험에서 사용한 관의 반지름으로 하였다. 관의 길이는 소유역의 세로 길이인 0.5 m로 하였다. 관의 조도계수는 Isidoro et al. (2012)을 참고하여 유역의 조도계수와 같은 값인 0.057을 모든 관에 균일하게 적용하였다.

3.2.2 초고층 건물을 고려한 입력자료의 변경

각 소유역들의 집중시간은 앞서 설명한 SWMM 모형에서 집중시간을 산정할 때 사용하는 운동파 공식인 식 (1)과 식 (2)을 통해 산정하였다. 가로 1 m, 세로 0.5 m인 직사각형 모양의 소유역에서 지표면 거리 L 은 대각선 길이인 1.118 m로 가정하였다. n 은 0.057 그리고 강우강도로는 논문에서 사용한 120 mm/hr를 사용하였다. 소유역의 집중시간을 계산한 결과 14.89 sec로 산정되었다.

건물의 총 높이는 0.8 m로 가정하였다. 아울러 건물 지붕에 떨어진 강우는 건물 지붕에 흘러 우수 수직관을 통해 낙하하는 것으로 가정하였다. 이들 경로를 따라 이동하는 강우의 이동 시간은 다음과 같이 계산하였다. 먼저, 지붕의 경우 건물이 없을시 지표면에서의 흐름과 같다고 가정하여 고려하지 않았다. 우수 수직관의 경우는 앞서 설명한 바와 같이 우수 수직관을 통해 낙하하는 시간으로, 식 (5)를 이용하여 산정하였다. 이 때 Q_1 은 합리식을 통해 결정하였고, 유출계수는 아스

팔트의 0.9를 사용하였다. 관경은 50 mm로 가정하였다. 결과적으로 낙하속도는 0.27 m/sec로 결정하였으며, 0.8 m 높이의 건물에서의 낙하시간은 2.9 sec로 계산되었다.

본 연구에서는 앞서 산정한 소유역별 집중시간과 건물 지붕에서의 낙하시간을 추가로 고려하여 유역폭의 길이를 다시 산정하였다. 건물의 밀도에 따라 CASE A, B, C, D로 나누는 다음 각 소유역의 수정된 유역폭을 구하여 다음 Table 1로 나타내었다.

3.2.3 유출해석 결과와 실험결과와의 비교 검증

유역폭 수정을 통해 건물을 고려하는 방법을 검증하기 위해서 Isidoro et al. (2012)의 결과와 SWMM 모형의 결과를 비교하였다. Fig. 2의 그래프에서 x-축은 시간(sec)을, y-축은 유출량(m³/sec)을 나타낸다. 두 개의 그래프 중 왼쪽은 실험결과의 그래프이고 오른쪽은 SWMM 모형으로 모의한 그래프이다.

두 그래프를 비교해보면 SWMM 모형을 이용한 유출해석 결과가 실험결과와 매우 유사함을 판단할 수 있다. 건물의 밀도가 높을수록 더 느린 유출반응을 보인다는 점도 동일하게 나타났다. 또한 유출수문곡선의 기울기가 건물의 밀도가 높아짐에 따라 낮아지는 것도 확인 할 수 있었다. 이는 건물의 밀도가 높으면 건물 지붕에 떨어지는 강우가 많아지고, 이에 따라 건물의 영향을 받는 강우 입자 수가 많아지기 때문이다. 유출수문곡선의 꼬리 부분이 길어지는 것도 유역에서의 흐름 경로가 길어지기 때문이다. SWMM 모형의 적용을 통해 얻은 침투유량, 침투유량 발생시간, 총 유출량 그리고 강우총량을 실험결과와 비교하면 다음 Table 2와 같다. Table 2에서 SWMM 모의결과 아래 괄호에 있는 수치는 실험결과에 대한 모의결과의 비율을 백분율로 나타낸 것이다.

Table 2에 나타난 결과를 보면 모의 결과와 실험결과에서 모두 건물밀도가 증가할수록 침투유량이 점점 감소하고, 침투시간은 늘어난다는 것을 확인할 수 있다. 특히, 실험결과와 SWMM 모형 모의결과에서 침투시간은 거의 일치하는 것으로 나타났다. SWMM 모형으로 모의한 수문곡선의 침투유량이 실험결과의 침투유량보다 작은 것은 실험의 관측치가 변동성을 가지고 있어 위로 약간 튀었기 때문으로 판단된다. 총 유출량의 경우에도 두 모형이 유사하게 나타

Table 1. Change of sub-basin width as a result of considering building height and density

Building density		Total area of building (m ²)				Basin width (m)			
		0.0% (CASE A)	12.5% (CASE A)	25.0% (CASE A)	37.5% (CASE A)	0.0% (CASE A)	12.5% (CASE A)	25.0% (CASE A)	37.5% (CASE A)
Sub-basin number	1	0.0000	0.0000	0.0625	0.2500	1.0000	1.0000	0.4898	0.4794
	2	0.0000	0.1875	0.1875	0.3125	1.0000	0.4847	0.4847	0.4726
	3	0.0000	0.1250	0.1875	0.1875	1.0000	0.4881	0.4847	0.4847
	4	0.0000	0.0000	0.1250	0.1875	1.0000	1.0000	0.4881	0.4847
	5	0.0000	0.1250	0.0625	0.1875	1.0000	0.4881	0.4898	0.4847
	6	0.0000	0.0625	0.0625	0.1875	1.0000	0.4898	0.4898	0.4847
	7	0.0000	0.0625	0.3125	0.3750	1.0000	0.4898	0.4726	0.4641
	8	0.0000	0.1250	0.3750	0.3750	1.0000	0.4881	0.4641	0.4641

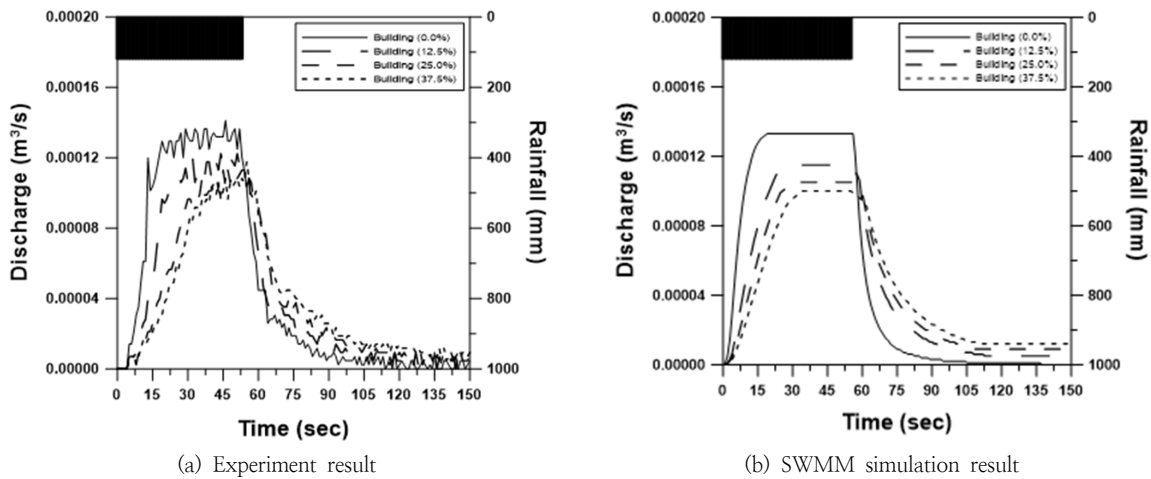


Fig. 2. Comparison of hydrographs from experiment and SWMM simulation

Table 2. Characteristics of hydrographs from experiment and SWMM simulation result

CASE	Experiment result				SWMM simulation result			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Peak discharge ($10^{-3}m^3/s$)	0.141	0.122	0.113	0.118	0.133 (94.3%)	0.115 (94.3%)	0.105 (92.9%)	0.100 (84.7%)
Time of peak discharge (sec)	19	26	31	43	19 (100.0%)	27 (103.8%)	32 (103.2%)	36 (83.7%)
Total discharge amount ($10^{-3}m^3$)	7.30	6.80	6.60	7.00	7.33 (100.4%)	7.33 (107.8%)	7.33 (111.1%)	7.33 (104.7%)
Total rainfall amount ($10^{-3}m^3$)	7.33	7.33	7.33	7.33	7.33 (100.0%)	7.33 (100.0%)	7.33 (100.0%)	7.33 (100.0%)

났으며, SWMM 모형의 모의 결과에서는 물수지(water balance)가 정확히 맞고, 실험결과에서는 관측 오차 등의 원인으로 약간의 차이가 있는 것으로 파악되었다. 전체적으로 실험결과와 SWMM 모의 결과는 매우 유사한 것으로 파악되었으며, 이를 통해 본 연구에서 제안한 초고층 건물을 고려한 유출 모의 방법은 적절한 것으로 판단할 수 있었다.

4. 본 연구의 한계

본 연구에서는 SWMM 모형을 이용하여 초고층 도시구역의 유출해석 방법을 제시하였다. 그 결과는 Isidoro et al. (2012)의 실험결과를 이용하여 검증하였다. 그러나 본 연구에서 도출한 결과는 다음과 같은 한계를 갖는다.

먼저, 대상 지역의 규모효과(scaling effect)를 들 수 있다. 즉, 초고층 건물의 영향은 대상 지역의 규모가 상대적으로 작을 경우에 유효하게 나타날 것으로 추측된다. 그러나 Isidoro et al. (2012)의 실험은 이러한 규모효과를 고려할 수 있는 것이 아니어서 이를 파악하고 검증하는데 한계가 있다. 두 번째는 바람의 영향이다. 본 연구에서 다루고 있는 경우는 바람이 없어 강우가 수직으로 내리는 경우로 한정된다. 바람의 영향으로 강우가 방향성을 갖고 아울러 수직이 아닌 사선 방향으로 내릴 경우 건물 벽면에 도달하게 되는 강우의 고려

가 추가되어야 한다. 이 경우 대상 지역에 내리는 강우 총량 뿐만 아니라 유출경로도 크게 달라질 여지가 있다. 결과적으로 유출 결과가 어느 정도 달라질 것으로 예측된다.

그러나 본 연구의 가장 큰 한계는 실제 관측자료와의 비교가 이루어지지 못한 점이라고 할 수 있다. 현재 국내에는 배수분구의 말단의 빗물펌프장에서 간접적으로 추출 가능한 유출자료가 약간 가용한 상황이다. 빗물펌프장은 그 목적상 하천에 인접하여 설치되는 것이 일반적이다. 문제는 초고층 도시구역이 주요 대도시의 중심부에 위치하고 있어 본 연구와 관련하여 활용할 수 있는 자료가 매우 제한적이라는 점이다. 자료가 가용하다고 하더라도 규모효과나 강우의 방향성 등을 고려할 수 있는 경우는 더더욱 아니다.

결과적으로 본 연구에서 제시한 내용은 초고층 도시구역에서의 집중 관측을 통해 검증되어야 한다. 건물 지붕 및 벽면에서의 강우 관측뿐만 아니라 배수시스템 전반에 대한 관측을 통해 실제 초고층 도시구역에서의 강우-유출 과정이 보다 정교하게 규명될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 SWMM 모형을 이용한 도시 구역의 유출 해석에 초고층 건물을 고려하여야 하는 방법을 제안하였다. 제안

된 방법은 건물의 규모와 이에 따른 낙하시간을 고려하는 방법으로, 최종적으로 소유역의 폭을 조정하는 방법이다. 는 것으로, 제안된 방법은 Isidoro et al. (2012)의 실험결과를 가지고 검증하였다. 그 결과 SWMM 모형으로 모의한 유출수문곡선은 실험자료와 전체적으로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 두 수문곡선 모두에서 모두 건물의 밀도 증가에 따른 유출 반응의 변화가 동일한 것을 확인하였다. 즉, 건물의 밀도가 높을수록 첨두유량은 감소하고, 첨두시간은 길어지는 것으로 확인되었다.

본 연구의 결과는 추후 도시구역 내 녹지 공간과 인공 습지에 확장되어 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 건물의 규모와 밀도를 고려하여 유출해석을 수행한 것과 같은 맥락으로 SWMM 모형을 이용하여 녹지 공간의 규모와 밀도 또한 고려할 수 있을 것이기 때문이다. 아울러 초고층 건물의 지붕 혹은 벽면에 설치될 녹지 공간의 영향 또한 본 연구의 방법론을 통하여 평가할 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 본 연구에서는 높이가 다른 다양한 건물의 고려 방법이 아직 정확히 제시되지 못했고, 아울러 구역의 규모가 더욱 큰 경우 고층건물의 영향이 어떻게 나타날지도 정확히 파악하지 못하였다. 최종적으로 본 연구에서 제시한 방법이 실제 유역에서의 유출해석에 얼마나 기여하게 될지도 파악하지 못하였다. 이를 위해서는 다양한 실제 유역에의 적용이 꼭 필요하나, 아직 충분한 관측자료를 확보하지 못하여 본 연구에서 제시한 방법의 적용성을 파악하지 못한 아쉬움이 있다. 이러한 부분은 추후 연구에서 보완될 수 있도록 할 계획이다.

사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

- Cambez, MJ, Pinho, J and David, LM. (2008) Using SWMM 5 in the continuous modelling of stormwater hydraulics and quality. *Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.
- Choi, J, Lee, J, and Kwon, H. (2009) An analysis of the runoff variation due to urbanization in Cho-kyung stream watershed. *J. of Korean Wetlands Society*, 11(3), pp. 161-169. [Korean Literature]
- Fleming, MD, and Hoffer, RM. (1979) Machine processing of Landsat MSS data and LARS Technical Report 062879. *Laboratory for Applications of Remote Sensing*, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Hjelmfelt, AT. (1986) Estimating peak runoff from field-Size watersheds. *J. of the American Water Resources Association*, 22(2), pp. 267-274.
- Huber, WC, and Dickinson, RE. (1988) *Storm Water Management Model ver.4, part A : User's manual*, EPA-600/3-88/001a, U.S. EPA, Athens, GA.
- Isidoro, JM, de Lima, JL, and Leandro, J. (2012) Influence of wind-driven rain on the rainfall-runoff process for urban areas: Scale model of high-rise buildings. *Urban Water Journal*, 9(3), pp. 199-210.
- Makhelouf, A. (2012) Impact assessment of the construction of tall buildings in a big town on the urban climate and the air pollution. *J. of Environmental Research and Management*, 3(4), pp. 64-74.
- ME (2015) *Guidelines for Establishing the Basic Plan for Sewerage Maintenance*. Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Oh, D, Chung, S, Ryu, I, and Kang, M. (2010) Analysis of rainfall-runoff characteristics on impervious cover changes using SWMM in an urbanized watershed. *J. of Korean Society on Water Quality*, 26(1), pp. 61-70. [Korean Literature]
- Smith, J, Phillips, BC, and Yu, S. (2006) Modelling Overland Flows and Drainage Augmentation in Dubbo, *Floodplain Management Authorities Conference*.
- Vieux, BE. (2004) *Building Parameter Maps for Vflo™*, pp. 43-46.
- Wei, S, Park, J, and Rhee, K. (2012) Analysis of rainfall runoff characteristics and sensitivity using SWMM in urban Area. *J. of Korean Society of Water Science and Technology*, 20(2), pp. 27-37. [Korean Literature]
- Wyly, RS, and Eaton, HN. (1952) *Capacities of plumbing stacks in buildings*. US Dept. of Commerce, National Bureau of Standards.
- Yoon, Y. (2007) *Hydrology Basic and Application*, Cheongmoongak. [Korean Literature]
- Zhan, W, Zhang, Y, Ma, W, Yu, Q, and Chen, L. (2013) Estimating influences of urbanizations on meteorology and air quality of a Central Business District in Shanghai, China. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27(2), pp. 353-365.