J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 51, No. 1 (2018), pp. 81-88
doi: 10.3741/JKWRA.2018.51.1.81
pISSN 1226-6280
eISSN 2287-6138

A study on simplification of SWMM for prime time of urban flood forecasting -a case study of Daerim basin-

Lee, Jung-Hwan[a] · Kim, Min-Seok[b] · Yuk, Gi-Moon[a] · Moon, Young-Il[a]*

[a]Department of Civil Engineering, University of Seoul
[b]Urban Flood Research Institute, University of Seoul

Paper number: 17-097
Received: 1 November 2017; Revised: 21 November 2017; Accepted: 21 November 2017

Abstract

The rainfall-runoff model made of sewer networks in the urban area is vast and complex, making it unsuitable for real-time urban flood forecasting. Therefore, the rainfall-runoff model is constructed and simplified using the sewer network of Daerim baisn. The network simplification process was composed of 5 steps based on cumulative drainage area and all parameters of SWMM were calculated using weighted area. Also, in order to estimate the optimal simplification range of the sewage network, runoff and flood analysis was carried out by 5 simplification ranges. As a result, the number of nodes, conduits and the simulation time were constantly reduced to 50~90% according to the simplification ranges. The runoff results of simplified models show the same result before the simplification. In the 2D flood analysis, as the simplification range increases by cumulative drainage area, the number of overflow nodes significantly decreased and the positions were changed, but similar flooding pattern was appeared. However, in the case of more than 6 ha cumulative drainage area, some inundation areas could not be occurred because of deleted nodes from upstream. As a result of comparing flood area and flood depth, it was analyzed that the flood result based on simplification range of 1 ha cumulative drainage area is most similar to the analysis result before simplification. It is expected that this study can be used as reliable data suitable for real-time urban flood forecasting by simplifying sewer network considering SWMM parameters.

Keywords: Simplification, SWMM, TUFLOW, Real-time urban flood forecasting

도시홍수예보 골든타임확보를 위한 SWMM유출모형 단순화 연구 -대림배수분구를 중심으로-

이정환[a] · 김민석[b] · 육지문[a] · 문영일[a]*

[a]서울시립대학교 토목공학과, [b]서울시립대학교 도시홍수연구소

요 지

도시지역의 모든 하수관망을 사용하여 구축된 강우-유출모형은 그 규모가 방대하고 복잡하여 실시간 도시홍수예보에 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 상대적으로 도시화가 많이 진행된 서울시의 상습침수지역인 도림천 대림배수분구의 하수관망도를 이용하여 강우-유출모형을 구축하고 이를 단순화하였다. 하수관망 단순화는 노드의 누가유역면적을 단순화의 범위 산정을 위한 기준으로 설정하고 총 5단계의 과정으로 나누었으며 단순화 과정에서 SWMM의 모든 매개변수들을 면적가중치를 적용하여 계산하였다. 또한 하수관망의 적정 단순화 범위를 산정하기 위하여 유출모형에 5가지 단순화 범위를 설정하고 유출분석과 침수분석을 실시하였다. 그 결과, 유출모형의 노드와 관망의 개수 그리고 모의시간 모두 단순화 범위에 따라 50~90%까지 일정하게 감소하였으며 단순화 이전과 동일한 유출량 결과를 나타내었다. 2차원 침수분석의 경우, 누가유역면적별로 단순화의 범위가 커질수록 월류지점의 개수가 크게 감소하고 위치가 바뀌었으나 비슷한 침수양상을 나타내었다. 다만 누가유역면적을 기준으로 6 ha 이상에서는 상류부터 삭제되는 노드에 의해 나타내지 못하는 침수지역이 발생하였다. 2차원 침수면적, 주요침수구간, 침수심 등을 비교·분석한 결과, 누가유역면적을 기준으로 1 ha의 단순화 범위가 단순화 이전의 분석결과와 가장 유사함을 나타내었다. 본 연구는 SWMM 매개변수를 모두 고려한 하수관망 단순화를 실시함으로써 실시간 도시홍수예보를 위한 신속하고 정확한 유출자료 생성에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어: 관망 단순화, SWMM, TUFLOW, 실시간 도시홍수예측

***Corresponding Author.** Tel: +82-2-6490-5600
E-mail: ymoon@uos.ac.kr (Y.-I. Moon)

© 2018 Korea Water Resources Association. All rights reserved.

1. 서 론

최근 기후변화에 따른 국지성 호우가 빈번히 발생하여 도시홍수로 인한 인명 및 재산피해가 크게 증가하고 있는 실정이다. 이러한 반복적인 홍수피해를 방지하기 위해서는 구조적인 대책뿐만 아니라 비구조적인 대책 또한 매우 중요하며 현재 도시홍수의 피해를 예방하기 위한 비구조적 대책 중 대표적인 방법인, 실시간 도시홍수예보에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Bae *et al.*, 2012; Moon *et al.*, 2017). 대부분의 도시홍수피해는 대규모 유역보다는 중소규모에서 더욱 빈번하게 발생한다. 도시홍수예보의 범위는 수위법으로 홍수예보를 실시할 수 없는 중소규모의 하천유역을 의미하며 이러한 지역은 대부분 불투수 지역으로, 도달시간 1~3시간 이내의 매우 짧은 유역특성을 지니고 있다. 따라서 홍수예측을 위한 선행시간이 요구되는 실시간 도시홍수예보에는 신뢰성 높은 유출결과를 나타내는 모형의 모의시간 단축이 중요한 핵심요소이다.

도시지역의 강우-유출모형 구축에는 SWMM (Storm Water Management Model)이 주로 사용되며 정확한 유역 및 관거의 GIS 정보들을 바탕으로 체계적인 하수관망을 구축해야 한다. 그러나 주요 도시지역의 하수관망은 그 규모가 방대하고 배치형태가 복잡하여 빠른 분석이 시행되어져야 하는 실시간 도시홍수예보에는 적합하지 않다. 따라서 관망 단순화를 통한 모의시간 단축이 필수적이다. 관망 단순화에 대한 선행연구로 Jun *et al.* (1994)은 도시유역에 적용되는 유출모형들이 분석유역을 있는 그대로 재현할 수 없으므로, 관망 단순화를 사용하여 관거의 생략, 합성, 접합점의 집약들이 어떠한 수리·수문학적 영향을 가져오는지 분석하였고 Leitao *et al.* (2010)은 1D/1D모델과 1D/2D모델의 하수관망을 구축하여 단순화 관망의 범위가 유출모형의 모의시간과 정확도에 어떤 영향을 미치는지 평가하여 단순화 모형의 실시간 홍수예측 가능성을 고려하였다. Cantone and Schmidt (2009)은 3가지 ILLUDAS, HEC-HMS, InfoSWMM 프로그램을 사용하여 단순화 기법의 효과가 시뮬레이션 패키지에 따라 달라지는 차이점을 분석하였다. 반면 Park *et al.* (2017)은 도시유출모형의 관망 입력자료를 자동 추출하는 프로그램(SS-NET)을 직접 개발하여 단순화된 하수관망을 구축하고 SWMM의 관망 구성 밀도에 따른 도시 침수 범람 해석의 정확성을 평가하였다. Yunhua Zhang and Li (2009)는 연속방정식과 링 에너지 방정식을 이용한 단순화 과정을 개발하고 마이크로 스코프 관망에 적용하여 평가하였고 Fischer *et al.* (2009)은 하수관망의 개념적 모델의 연산속도와 기계적 모델의 정확성을 결합하여 새로운 하수관망 단순화 모델을 개발하였다. 본 연구에서는 매개변수 최적화가 완료된 SWMM 강우-유출모형을 사용하여 모형의 단순화를 실시하였으며 개발된 단순화 알고리즘을 시스템화하여 자동화시켰다. 삭제된 유역의 노드와 관망의 매개변수를 단순화되지 않은 노드와 관망에 적용하여 유역의 모든 매개변수를 합리적으로 고려하였으며 단순화 전·후의 모형에서 동일한 유출결과를 나타내었다. 단순화되어 삭제되는 노드와 관망의 매개변수 값은 누가되어 더해진 유역면적을 기준으로 단순화 되지 않는 기존 노드와 관망의 매개변수 값과 가중 평균하여 보정된다. 또한 단순화 정도에 따라 강우-유출모형을 5가지로 나누어 구축하고 적정 모의시간, 1D/2D모델을 사용한 유출분석, 침수분석을 통해 실시간 도시홍수예측에 적합한 단순화 범위를 산정하였다. 이를 통해 단순화 관망의 유출결과의 신뢰성을 높이고 모의시간을 단축하여 인명 및 재산피해를 최소화하기 위한 골든타임을 확보하여 홍수피해에 취약한 중·소규모 도시하천에서의 예측시스템 구축에 기여하고자 하였다.

2. 분석지점과 강우-유출모형 구축

분석대상지역은 도시화가 많이 진행된 서울시의 하천유역 중에서 최근 침수피해가 빈번히 발생하고 있는 도림천의 대림배수분구로 설정하고 분석을 수행하였다. Fig. 1은 분석대상지역인 도림천 대림분구를 도시하였다. 유출모형의 단순화를 진행하기 위하여 서울시에서 제공한 2015년도 하수관망 GIS자료를 기반으로 SWMM모형을 구축하고 매개변수를 최적화하였다. 대상지역인 도림천 대림분구의 하수관망 개수는 총 2,012개, 총 면적은 334.45 ha이다. 대림분구에는 대림3 빗물펌프장이 위치해 있으며, 유출분석결과의 검증을 위

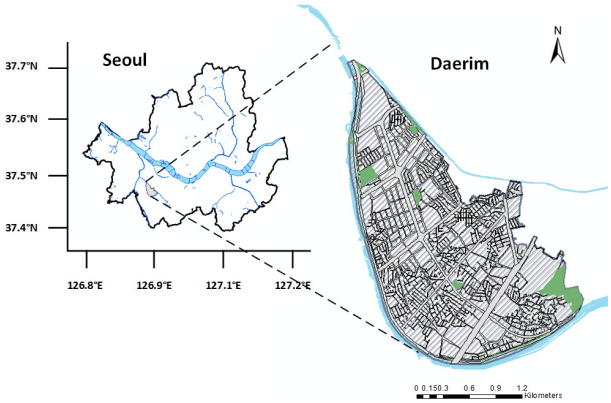


Fig. 1. Location of study area (Daerim basin)

해 2010년 09월 21일 호우사상에서 대림3 빗물펌프장의 펌프장 운영기록을 기반으로 펌프장 유출량을 산정하고, 유출모형의 결과와 비교하여 검증을 실시하였다.

3. 강우-유출모형의 단순화

3.1 하수관망 단순화 알고리즘

하수관망 단순화 기법은 c#언어로 개발하였으며 Window 환경에서 실행 가능하다. 단순화 알고리즘 수행을 위한 입력자료는 유역과 관망의 모든 매개변수를 고려하기 위하여 Subcatchment, Subarea, Infiltration, Conduit 등의 정보를 포함하는 SWMM의 .inp파일을 사용하였으며, 하수관망 단순화 프로그램은 초기조건 설정, 유역면적 연산, 지선간선 연산, 매개변수 연산 그리고 관망생성의 5단계로 구성되어있다 (Table 1).

1단계, 초기조건 설정에서는 단순화 알고리즘의 수행기준을 설정하기 위하여 초기관, 분기관, 합류관, 방류관을 설정하고 관망의 통수단면적을 계산한다. 초기관은 상류 유입관로가 없는 관, 분기관은 두 갈래 이상으로 나누어진 관으로 통수단면적이 제일 큰 관을 주 분기관, 그 외의 관을 부 분기관으로 설정하였으며 만약 통수단면적이 같을 경우 구축된 관망데이터에서 관의 순서가 앞에 있는 것을 주 분기관 나머지를 부 분기관으로 명명하였다. 두 개 이상의 관이 합쳐지는 관을 합류관으로 설정하였으며, 마지막으로 최하류 관로를 방류관으로 지정하였다.

2단계, 유역면적의 연산은 각 노드의 유역면적을 초기관부터 방류관까지 계산한 후 상류부터 차례대로 누가하여 면적값을 계산한다. 따라서 단순화에 따라 삭제되는 노드와 관망과는 별개로 노드의 유역면적의 합은 단순화 범위에 관계없이 모두 동일하다.

3단계, 지선간선 연산은 누가되어 계산된 노드의 면적을 바탕으로 사용자가 일정 면적을 지정하여 지선과 간선을 구분할 수 있도록 시스템화하였다. 지선, 간선의 구분은 사용자가 지정한 면적기준보다 적은 누가유역면적을 가진 노드들을 지선으로 설정하여 연결관들을 단순화하며 면적기준보다 큰 누가유역면적을 가진 노드부터 간선으로 간주하여 실제 관망으로 구성한다. 또한 사용자가 직접 중요관망을 간선으로 지정하여 단순화과정에서 제외시킬 수 있다.

4단계, 매개변수 연산은 단순화로 인해 삭제된 노드와 관들의 SWMM 매개변수들을 모두 고려하기 위하여 노드의 유역면적을 가중치로 산정한 후 지선으로 지정되어 삭제될 상부노드, 관망의 매개변수를 간선으로 지정되어 삭제되지 않는 하부 노드, 그리고 관망의 매개변수에 각각 적용하여 각각 순차적으로 계산해 나간다. Table 2는 단순화 연산과정에서 사용되는 SWMM 매개변수들을 나타내고 있다.

$$P_{avg} = \frac{A_{branch} \times P_{branch} + A_{main} \times P_{main}}{(A_{branch} + A_{main})} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 A_{branch}는 단순화 과정에서 삭제되는 노드의 유역면적, P_{branch}는 지선으로 분류되어 삭제되는 노드와 관망의 매개변수, A_{main}은 단순화 과정 이후 남게 되는 노드의 유역면적, P_{main}은 간선으로 지정되어 남게 되는 노드와 관망의 매개

Table 1. Process of sewer networks simplification

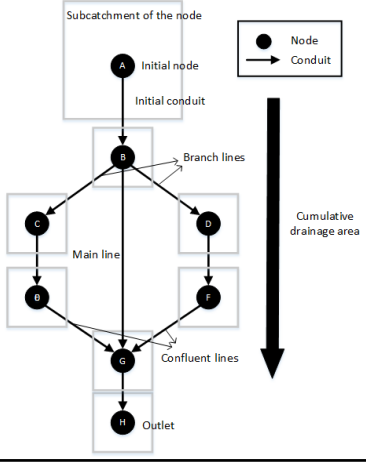
Classification	Details
	1st step Checking of the initial condition
	- Searching of the initial conduit and node - Calculating of the cross sectional area of flow - Checking of the branch conduits and nodes - Checking of the outlet
	2st step Calculating of the drainage area
	- Calculating of the cumulative drainage area of all nodes from upstream point
	3st step Calculating of the branch line and main line
	- User can define the cumulative drainage area to distinguish branch line and main line
	4st step Calculating of the parameter
	- Calculating of the parameters of nodes and conduits to be deleted in simplification process
	5st step Building of the sewer network
	- Building of the simplified sewer network (.inp)

Table 2. SWMM parameters used for sewer network simplification

Classification	Parameter
SUBCATCHMENT	Area
	Imperv
	Slope
SUBAREA	N-Imperv
	N-Perv
	S-Imperv
	S-Perv
INFILTRATION	MaxRate
	MinRate
	Decay
	Drytime
CONDUITS	Roughness

변수, P_{avg}는 노드의 유역면적을 기준으로 매개변수들을 가중평균하여 나타낸 단순화된 노드와 관망의 매개변수 결과를 의미한다.

5단계, SWMM의 매개변수 연산이 완료된 하수관망을 .inp 파일로 구성한다.

3.2 SWMM 유출모형 단순화

개발된 하수관망 단순화 알고리즘을 사용하여 대림분구 SWMM모형의 단순화를 실시하였다. 2010년 09월 21일 호우사상을 사용하여 분석을 진행하였으며, 펌프장의 유출결과와 매개변수 최적화를 진행한 단순화 이전 모형의 유출결과를 비교하여 유출모형의 신뢰성을 검증하고 단순화 이전과 이후의 유출결과를 비교·분석하였다. Fig. 2는 누가유역면적별 단순화를 실시한 강우-유출모형의 결과를 도시하였다. 다양한 누가유역면적을 기준으로 단순화된 모형들의 유출량 결과를 확인하기 위하여 0.5 ha, 1 ha, 3 ha, 6 ha, 12 ha, 총 5가지의 누가유역면적으로 단순화를 실시하였다. 누가유역면적 기준이 커질수록 관거와 노드의 개수는 줄어들지만 매개변수 연산을 통해 각각의 절점이 차지하는 유역면적은 모두 334.45 ha로 동일한 것으로 분석되었으며 삭제된 노드와 관망의 SWMM 매개변수들은 누가된 노드의 유역면적 값을 기준으로 가중 평균되어 단순화된 노드와 관망의 매개변수 값으로 계산되었다.

Fig. 3은 구축된 대림배수분구 유출모형의 신뢰성을 파악하기 위해 대림3 펌프장 운영기록을 기반으로 분석된 유출량

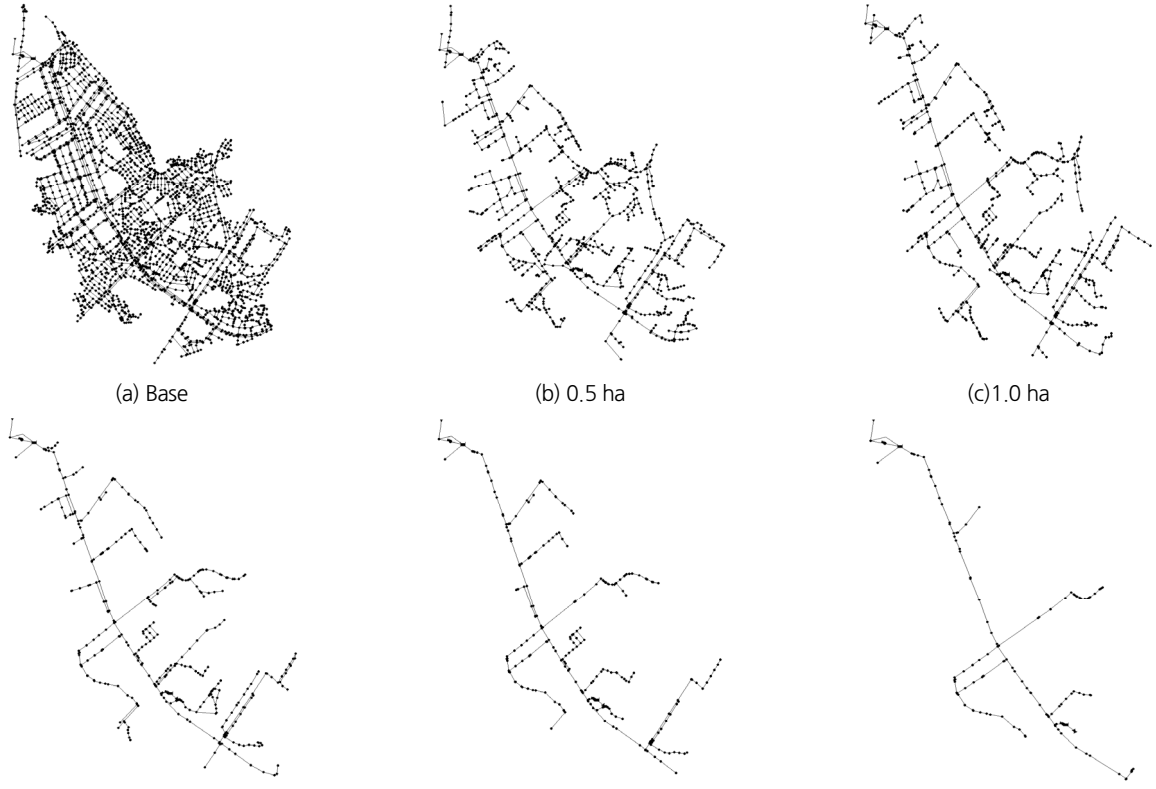


Fig. 2. The simplified results of sewer networks at Daerim basin

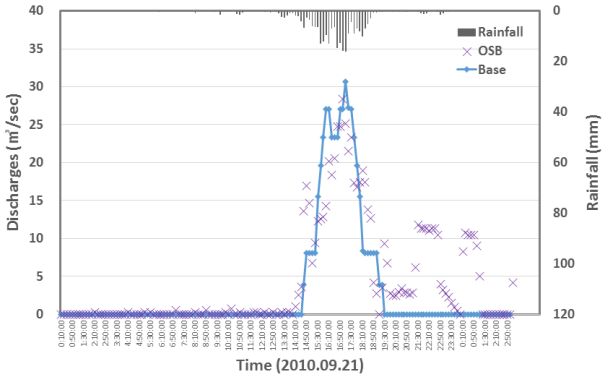


Fig. 3. Comparison analysis between runoff result of non-simplified model and observation

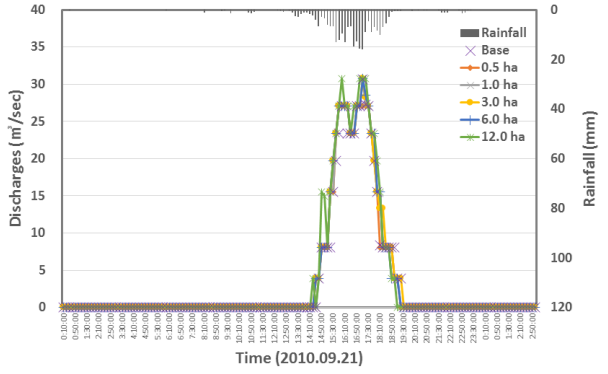


Fig. 4. Comparison analysis between runoff result of non-simplified model and simplified model

과 단순화 이전 SWMM모형의 유출결과를 도시하였으며 Fig. 4는 단순화 이전 모형의 유출결과와 5가지 누가유역면적별로 단순화된 모형의 유출결과를 도시하였다. 분석된 단순화 이전 모형의 유출결과와 관측 값의 결정 계수(Coefficient of determination, COD), NSE (Nash-Sutcliffe efficiency)는 각각 0.688, 0.663으로 분석되어 구성된 모형이 실제 현상을 잘 모사하는 것으로 검토되었으며 단순화 이전 관망과 단순화된 관망의 결정계수는 0.969~0.983, NSE는 0.961~0.984로

Table 3. The hydrological evaluations of simplified models

Classification	COD (Coefficient of Determination)	NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)
0.5 ha	0.983	0.984
1.0 ha	0.982	0.982
3.0 ha	0.981	0.981
6.0 ha	0.977	0.976
12.0 ha	0.969	0.961

거의 동일한 유출결과를 나타내는 것을 확인하였다(Table 3). Table 4는 누가유역면적별로 단순화된 모형의 관망과 노드의 개수 그리고 유출분석결과를 도출하는 시간(Run time)을 정리한 결과이다. 단순화 이전 모형의 전체 노드 개수 1,901개와 관망 개수 2,012개를 기준으로 하여 각 누가유역면적별 단순화에 따른 노드 및 관망 감소 비율을 확인하였다. 누가유역면적 0.5 ha를 기준으로 단순화를 진행하였을 때, 노드 개수와 관망 개수는 각각 930개, 960개로 단순화 이전 관망보다 51.08%, 52.26% 감소하였다. 누가유역면적이 점차 늘어나면서 노드와 관망 개수는 계속 감소하며, 12 ha의 경우에는 노드 개수 128개, 관망 개수 126개로 단순화 이전 관망에 비해 각각 93.27%, 93.69%까지 감소하였다. 이를 통해 누가유역면적별로 관망에 대해 단순화를 진행하였을 때, 노드 개수와 관망 개수는 거의 일정한 비율로 같이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. SWMM의 모의시간은 0.5 ha 기준에서 약 5분의 모의시간이 감소되었으며 12 ha 기준에서는 약 8분의 모의시간 감소로, 단순화 이전 관망대비 96%까지 모의시간이 감소하였다. 모의시간 또한 노드, 관망 개수와 마찬가지로 거의 일정한 비율로 동일하게 감소되는 것으로 분석되었다. 단순화 범위에 따른 관경의 분포는 12 ha에서 600 mm 이하의 관들이 모두 삭제되었으며 1000 mm 미만의 관들은 누가유역면적이 커질수록 큰 폭으로 관망의 개수가 감소하는 것으로 분석되었다(Table 5). 관망과 노드의 개수가 80% 이상 단순화된 6 ha의 관망에서는 600 mm 이하의 관망이 24개나 남아있어 일정길이 이하의

Table 4. Properties of runoff model by simplification levels

Simplification level	Link		Node		Simulation	
	Number	Reduction rate	Number	Reduction rate	Time	Reduction rate
Base	2012	-	1901	-	00:08:11	-
0.5 ha	960	52%	930	51%	00:03:44	54%
1.0 ha	635	68%	618	67%	00:02:17	72%
3.0 ha	374	81%	361	81%	00:01:13	85%
6.0 ha	248	88%	240	87%	00:00:48	90%
12.0 ha	126	94%	128	93%	00:00:21	96%

Table 5. The number of conduits by simplification levels and pipe size

Pipe size (mm) / Simplification level	250~350	350~450	450~600	600~800	800~1,000	1,000~1,500	1,500~2,500	Over 2,500
Base	9	114	306	329	858	271	87	39
0.5 ha	9	114	195	124	327	130	42	20
1.0 ha	5	41	98	90	224	118	40	20
3.0 ha	3	12	32	47	124	99	38	20
6.0 ha	3	3	18	13	73	83	36	20
12.0 ha	0	0	0	2	23	52	30	20

관경을 가진 관망을 무조건적으로 단순화하는 것은 유역과 관망의 특성을 모두 고려하지 못하는 것으로 분석되었다.

3.3 단순화 강우-유출모형의 침수면적 산정

본 연구에서는 하수관망의 적정 단순화 범위를 산정하기 위하여 TUFLOW모형을 사용하여 2차원 침수분석을 실시하고 그 결과를 비교·분석하였다. Fig. 5는 5가지 단순화 범위로 구축한 강우-유출모형에 대한 2차원 침수결과를 나타내고 있다. 서울시에서 제공한 침수흔적도와 2차원 침수분석 결과를 비교하였을 때, 위쪽의 저류지로 지정되어 침수흔적도에서 생략된 부분 외에는 주요 침수지역과 침수양상이 거의 유사한 형태를 띄고 있지만 누가유역면적별 단순화 범위가 커질수록 침수양상이 조금씩 변해가는 것으로 분석되었다. Table 6은 누가유역면적별 TUFLOW모형의 침수면적을 산정한 결과로, 단순화에 따른 침수면적과 단순화 이전 관망의 침수면적을 비교·분석하였다. 누가유역면적 1 ha와 3 ha를 적용한 단순화 관망이 단순화 이전 관망과 가장 유사한 침수면적차이(1.95%, 3.89%)를 보이고 있으며 12 ha에서는 46.61%까지 침수면적이 감소하였다.

TUFLOW를 이용한 2차원 침수분석은 SWMM모형의 1

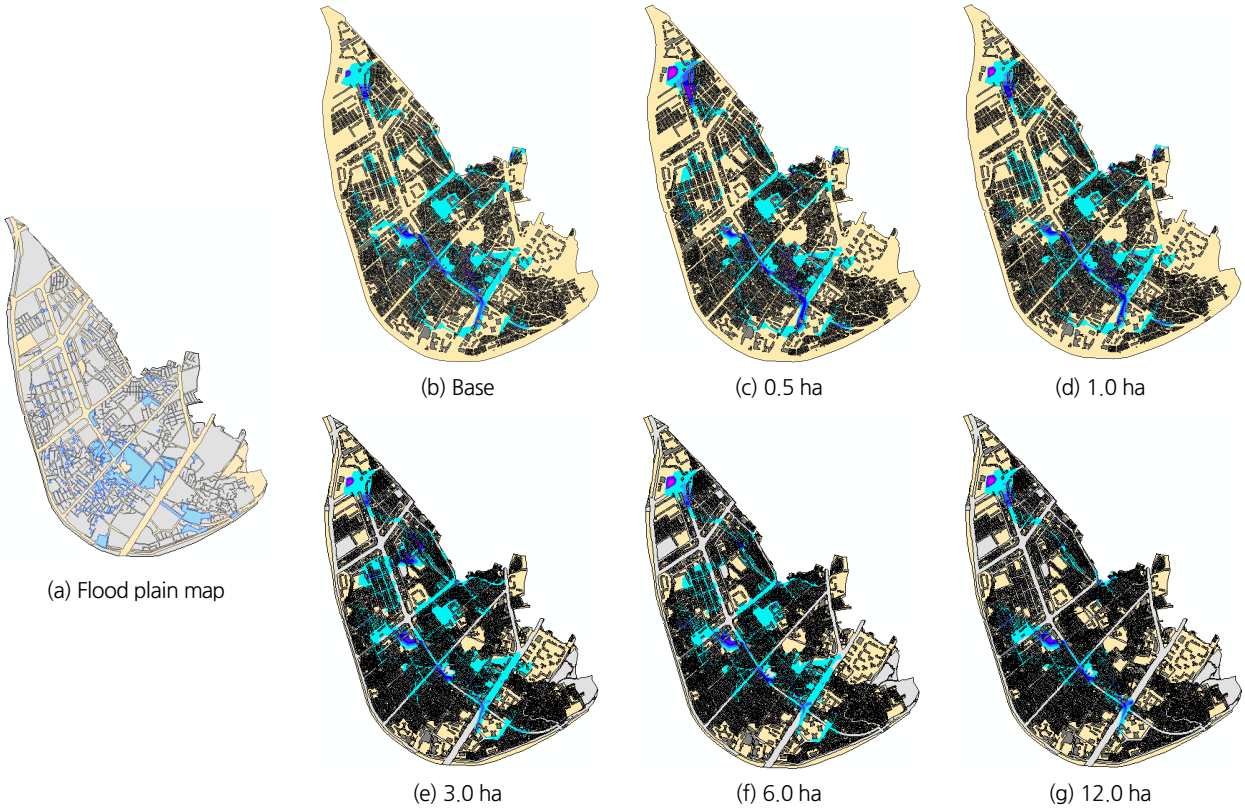


Fig. 5. The simplified results of sewer networks at Daerim basin

Table 6. Results of 2D inundation area by simplification levels

Simplification level	Inundation area	Ratio
Base	1,429,075	-
0.5 ha	1,563,175	9.38%
1.0 ha	1,456,950	1.95%
3.0 ha	1,484,700	3.89%
6.0 ha	1,314,250	- 8.03%
12.0 ha	762,925	- 46.61%

Table 7. The number of overflow nodes by simplification levels

Simplification level	Total node	Overflow node
Base	1,901	168
0.5 ha	930	137
1.0 ha	618	102
3.0 ha	361	66
6.0 ha	240	45
12.0 ha	128	18

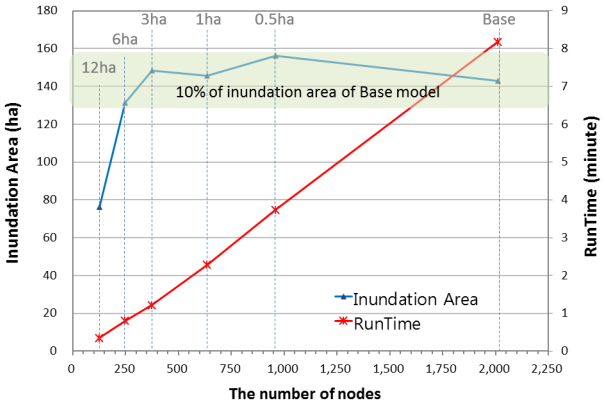


Fig. 6. Relation between the inundation area and runtime by the number of nodes

차원 유출분석결과에서 나타나는 노드의 월류량을 입력자료로 사용하여 침수분석을 진행한다. 월류지점의 위치는 단순화가 진행됨에 따라 삭제된 노드로 인해 그 위치가 계속 변하게 되며 월류지점의 노드 개수, 월류량 또한 다르게 나타나 2차원 침수결과에 영향을 준다(Table 7). 단순화 이전의 월류지점의 개수는 168개 이지만 누가유역면적 12 ha의 단순화 관망에서는 18개까지 감소하였다. 월류지점의 노드위치는 단순화 범위에 따라 각각 다른 곳에 위치해 있으나 비슷한 군집형태를 이루고 있으며 월류지점에 따라 서로 다른 월류량이 발생하여 단순화 이전과 이후에 비슷한 침수지역과 침수량을 나타내는 것으로 분석되었다. 하지만 단순화의 범위가 커질수록 노드가 제일 먼저 삭제되는 상류지역에서는 단순화 이전 관망에서 분석된 침수결과가 나타나지 않았다. 노드의 개수에 따른 2차원 침수면적과 모의시간의 관계에서 노드의 개수가 줄어들수록 일정하게 감소하는 모의시간에 비해 2차원 침수면적은 누가유역면적 6 ha부터 크게 감소하기 시작하며 침수분석의 오차를 10%내외로 허용하였을 때, 3 ha가 모의시간 대비 가장 적절한 단순화 범위로 분석되었다(Fig. 6). 이러한 2차원 침수분석결과들을 종합하여 실시간 도시홍수예보를 위한 적정 단순화 범위를 산정하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 실시간 도시홍수예보를 위한 강우-유출모형의 모의시간 단축으로, 하수관망 단순화 방안을 제시하고 적정 단순화 범위를 산정하기 위하여 2차원 침수분석을 실시하였다. 도시유역 유출분석에 주로 사용되는 SWMM과 TUFLOW를 적용하여 분석을 실시하였으며, 하수관망 단순화를 5가지의 범위로 나누고 유출분석과 침수분석의 결과를 통하여 실시간 도시홍수예보를 위한 적정 단순화 범위를 산정하고자 하였으며, 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 도시유역의 하수관망 자료는 그 개소수가 많을 뿐만 아니라 자료의 구성이 복잡하여 모든 하수관망을 사용하여 구축된 유출모형은 실시간 도시홍수예보에 적합하지 않다. 따라서 관망정보를 단순화하는 최적화 알고리즘이 필요하다. 유역과 관망의 모든 SWMM 매개변수를 고려하여 단순화된 유출모형은 누가유역면적을 기준으로 하는 5가지 단순화 범위에서 모두 동일한 1차원 유출결과를 나타내었다. 단순화의 범위가 커질수록 작은 관경의 관망이 크게 감소하는 추세를 나타내었지만 노드의 개수가 80% 이상 단순화된 6 ha의 관망에서도 많은 수의 600 mm 이하의 관망이 간선으로 지정되어, 일정 길이 이하의 관경을 가진 관망을 무조건적으로 단순화하는 것은 지양해야 한다. 노드와 관망의 개수 그리고 모의시간 모두 단순화 범위에 따라 50~90%까지 감소되어 본 연구에 사용된 단순화 기법이 실시간 도시홍수예보에 적합한 것으로 분석되었다.
2) 하수관망의 적정 단순화 범위를 산정하기 위하여 2차원 침수분석을 실시하였다. 누가유역면적별로 단순화의 범위가 커질수록 월류지점의 개수가 크게 감소하고 위치가 바뀌었으나 비슷한 침수양상을 나타내었다. 다만 누가유역면적을 기준으로 6 ha 이상에서는 상류부터 삭제되는 노드에 의해 나타내지 못하는 침수지역이 크게 발생하여,

과대한 단순화는 단순화 이전 관망과 다른 침수결과를 나타낼 수 있는 것으로 분석되었다. 2차원 침수분석 후 침수면적, 주요침수구간, 침수심 등을 비교·분석한 결과, 누가유역면적을 기준으로 1 ha의 단순화 범위가 단순화 이전의 분석결과와 가장 유사함을 나타내는 것으로 분석되었으며 실시간 도시홍수예보를 위한 입력자료로는 모의시간을 고려하여 3 ha의 단순화가 가장 적절한 것으로 판단되었다. 결과적으로 SWMM의 매개변수들을 모두 고려하여 노드 및 관거의 개수를 약 70~80%정도 단순화하여 관망을 구성하는 것이 가장 적절한 것으로 검토되었다.

하수관망 단순화 방법과 모형구축방안에 대한 연구자들의 서로 다른 주관에 의해 유출분석 결과가 상이하게 나타나고 있어 하수관망 단순화에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서 제시한 누가유역면적을 기준으로 SWMM의 매개변수를 모두 고려한 단순화 방법을 통해 보다 명확한 단순화 기법 연구를 위한 기초자료로 사용되고 실시간 도시홍수예보를 위한 입력자료로 활용되길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ011686022017)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

Bae, D. H., Shim, J. B., and Yoon, S. S. (2012). “Development and assessment of flow nomograph for the real-time flood forecasting in Cheonggye stream.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 11, pp.1107-1119.

Cantone, J. P., and Schmidt, A. R. (2009). “Potential dangers of simplifying combined sewer hydrologic/hydraulic models.” *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.14, No.6, pp.596-605.

Fischer, A., Rouault, P., Kroll, S., Van Assel, H., and Pawlowsky-Reusing, E. (2009). “Possibilities of sewer model simplifications.” *Urban Water Journal*, Vol. 6, No. 6, pp.457-470.

Jun, B. H., Lee, J. T., and Yoon, J. Y. (1994). “Effect of the simplification and composition in sewer networks.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 27, No. 2, pp. 139-146.

Leitão, J. P., Simões, N. E., Maksimović, C., Ferreira, F., Prodanović, D., Matos, J. S., and Sá Marques, A. (2010). “Real-time forecasting urban drainage models: full or simplified networks?” *Water Science & Technology*, Vol. 62, No. 9, pp. 2106-2114.

Moon, Y. L., Choi, J. H., Kim, M. S., and Lee, J. H. (2017). “Flood forecasting system of urban areas in South Korea.” *International Journal of Safety and Security Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 213-220.

Park, J. P., Kang, T. U., and Lee, S. H. (2017). “Evaluation of accuracy depending on pipe network density in urban flood inundation analysis using the SWMM.” *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 1, pp.71-78.

Park, J. P., Lee, S. Y., and Lee, B. J. (2017). “Development of Storm Sewer-Network Extraction Tool (SS-NET) for creating pipe network input data of urban rainfall-runoff model.” *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 1, pp.79-86.

Zhang,Y., and Li, M. (2009). “Water supply network micro-scope hydraulic model simplification technology” *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*, pp.744-758.