

# 도시설계기법 유출저감 효과분석을 위한 FFC2Q와 XP-SWMM 비교 연구 FFC2Q and XP-SWMM Comparative Study to Analyze Runoff Reduction by Urban Design Techniques

Juil Song<sup>a,\*</sup>, ByoungJae Lee<sup>b,1</sup>, Jaehwan Yoo<sup>c,2</sup>

<sup>a</sup> Korea Disaster Prevention Association, 63-8 Mapo-daero, Mapo-gu, Seoul 121-745, Republic of Korea

<sup>b</sup> Korea Reserch Institute for Human Settlements, 254 Simin-daero, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi, Republic of Korea

<sup>c</sup> Korea Disaster Prevention Association, 63-8 Mapo-daero, Mapo-gu, Seoul 121-745, Republic of Korea

## ABSTRACT

The flood or inundation that occur in high-density city can paralyze urban functions and cause a lot of casualties. In this study, to minimize the damage, the disaster mitigating urban design techniques for the divided basin as disaster occurring point, disaster vulnerable site, urban responding region are applied. First of all, to do this, it is necessary to verify the effectiveness of urban design techniques by simulating them. Therefore, in this paper, the applicability of urban runoff models used in domestic disaster reduction study was investigated to analyze the outflow decrease efficiency of urban design techniques. As the reviewing results, the limitations of the lumped models such as FFC2Q and XP-SWMM are presented.

## KEYWORDS

Urban Design Techniques  
Runoff Reduction  
FFC2Q  
XP-SWMM

인적·물적 자원이 고밀화된 도시에서 발생하는 홍수 또는 침수는 도시의 기능을 마비시키거나 많은 인명피해를 발생시킬 수 있다. 본 연구에서는 유역을 재해발생지점, 재해직접영향권, 재해간접영향권으로 구분하고 각 구역별로 적합한 재해저감 도시설계기법을 적용하여 피해를 최소화하고자 한다. 이를 위해서는 우선적으로 도시설계기법을 적용하여 시뮬레이션하고 정량적으로 효과를 검증할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 국내에서 사용하고 있는 도시유출모형을 활용하여 재해저감 도시설계기법의 효과 분석을 위한 적용성을 검토하였다. 검토결과로써 효과분석을 위한 FFC2Q모형, XP-SWMM과 같은 집중형 모형의 한계점을 제시하였다.

도시설계기법  
유출저감  
FFC2Q  
XP-SWMM

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-70-7880-4640. Fax. 82-3472-8064.  
Email. [jisong@kodipa.or.kr](mailto:jisong@kodipa.or.kr)

1 Tel. 82-31-380-0211. Email. [leebj@krihs.re.kr](mailto:leebj@krihs.re.kr)

2 Tel. 82-70-7880-4658. Email. [jhyoo@kodipa.or.kr](mailto:jhyoo@kodipa.or.kr)

## ARTICLE HISTORY

Received Feb. 16, 2015

Revised Mar. 14, 2015

Accepted Mar. 23, 2015

## 1. 서론

최근 기후변화의 영향으로 국지성 집중호우로 인해 전 세계 곳곳에서 많은 피해가 발생하고 있다. 새로운 기후변화 시나리오에 의하면 향후 우리나라의 강우량은 증가하는 반면 강우일수는 감소할 것으로 전망되어 강우강도는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 특히, 인적·물적 자원이 고도로 집중된 도시에서 발생하는 폭우는 자칫 대형 재해로 이어질 수 있어 도시차원의 폭우대비는 매우 중요하다. 하천, 하수도, 빗물펌프장 등 전통적인 방재대책들은 현재도 그 역할의 중요성이 매우 크지만, 결국 폭우에 의한 피해는 기존의 방재대책의 대응능력을 초과하는 폭우에 의해 발생하게 된다. 따라서 하천, 하수도 등 전통적인 방재시스템과 병행하여 토지이용-기반시설(공원·녹지, 광장, 도로)-단지(주택단지 등)-건축물-시민 등 도시의 모든 구성요소가 연계하여 폭우재해에 함께 대응해가야 할 필요가 있다.

이러한 도시차원의 종합적 방재계획은 도시의 계획단계에서부터 고려될 필요가 있고, 방재계획의 효과에 대한 정량적 분석 또한 필요하지만, 현재로서는 정량적 분석을 위한 모형이 존재하지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 국내·외에서 대표적으로 사용되는 도시유출모형을 활용하여 침수에 의한 도시 내 피해를 저감하기 위한 도시설계기법들의 적용 가능성과 그 효과를 정량적으로 분석할 수 있는지를 검토하고자 하였다. 활용모형으로는 FFC2Q모형<sup>1)</sup>과 XP-SWMM<sup>2)</sup>을 선정하였고, 도시설계기법의 적용성 검토는 가상구역과 실유역에 대하여 각각 수행하였다.

## 2. 도시유출모형의 적용성 검토

### 2.1 침수피해저감 도시설계기법

본 연구에서 도시유출모형의 적용성을 검토하고자하는 도시설계기법은 유역을 제방붕괴, 하수관거 역류지점 및 산사태 발생지점 등과 같은 피해발생지점(Point), 침수지역 및 산사태발생지역 등 재해직접영향권인 재해취약지역(Site), 침수지역 주변의 재해간접영향권인 도시대응지역(Region)으로 구분하고, Point-Site-Region에 따라 차별적으로 적용되는 재해저감 기법들이다. 따라서 토지이용, 기반시설(도로, 학교, 공공청사, 공원, 녹지 등), 건축물을 중심으로 개발입지 및 토지이용규제를 강화, 저류기능 부여, 침투능을 향상시켜 우수유출을 분산·지연시키는 설계기법들이 재해저감 도시설계기법들이라고 할 수 있다. 재해발생지점에서는 주로 기존의 전통적인 방재대책을 중심으로 구조적 대책 마련이 필요하므로 도시유출모형을 활용한 적용성 검토는 수행하지 않았다.

재해취약지역, 도시대응지역에 적용 가능한 도시설계기법들을 정리하면 Table 1과 같다. 도시설계기법들의 효과 분석은 크게 토지이용변화에 따른 지표면 유출해석, 침투 및 저류효과 분석, 침수해석이며, 따라서 이러한 내용을 중심으로 도시유출모형의 적용성을 검토하였다. 검토내용은 개발 억제 및 보전 용도 지정, 중요기반시설 설치 제한 및 건축물 적용 대책을 위한 재해취약지역(Site) 도출 가능성, 토지이용 변화 등에 따른 유출특성 변화 분석 가능성, 도시계획시설의 저류 및 침투능력 제고에 따른 유출특성 변화 분석 가능성, 노면수의 집중을 막기 위한 유출수의 유로 변경 가능성이다.

Table 1. Ideas for considering urban design techniques in runoff models

구분	도시설계기법	적용방안
토지이용	개발 억제 및 보전, 토지이용 전환	지표면 유출해석
	토지이용 전환의 위치 변경	
기반시설	도시 핵심기반시설 설치 제한	침수구역 해석
	도시계획시설, LID기법을 활용한 저류 및 침투	저류 및 침투 해석
	도로 차수판을 활용한 유출경로 변경	흐름방향 변경
건축물	건축물 적용 대책	침수구역 해석

1) FFC2Q모형 : 건설교통부에서 건설핵심기술연구개발사업의 일환으로 구성된 도시홍수재해관리기술연구단(2003~2008)에서는 기존의 국내에 소개된 주요 도시유출모형들(SWMM, ILLUDAS, RRL, STORM 등)과 유럽 일부, 일본 등에서 사용하는 MOUSE모형 등을 비교·분석 및 검토하고, 강우분포, 적정 매개변수 추정방법, 유역분할 등에 관한 문제점을 보완하여 개발된 모형

2) XP-SWMM : 미국 EPA의 SWMM엔진을 기반으로 하는 하수 및 우수 관망 해석 전용 프로그램으로 전 세계에서 가장 많은 사용자를 두고 있으며, 도시유역의 유출량, 침수해석 등을 통해 관거와 저류지 설계, 펌프용량 선정 등과 같은 수량부분과 관거 내부 오염원의 이동과 같은 수질 분석이 가능

## 2.2 적용성 검토를 위한 가상유역 선정

도시유출모형의 도시설계기법 적용성을 검토하기 위해 우선 가상유역을 선정하고 가상유역에 대하여 재해취약지역 도출, 토지이용변화에 따른 유출특성 변화, 지류 및 침투의 영향 등을 검토하였다. 토지이용 변화의 효과를 검토하기 위한 가상유역은 유역면적 0.09km<sup>2</sup>을 갖는 정사각형 형태의 유역과 이 중 25%가 투수지역으로 구성된 case1, 2로 설정하였다. 수문학적 토양군은 실트와 점토를 약간 포함한 모래층 및 자갈층으로 배수가 양호하여 침투율이 가장 커 유출이 가장 작은 A(이재수, 2006)로 가정하였고, 선행토양함수조건은 선행강우로 인하여 토양이 포화상태로 유출율이 높은 AMC III 적용하였으며, 강우량은 100mm가 약 3시간에 걸쳐 내린 경우로 강우의 시간적분포는 Huff 3분위(서울)(국토해양부, 2011)를 적용하였다. Fig. 1(a)는 불투수지역이 100%구성된 case 1, Fig. 1(b)는 유역의 상단 우측이 투수지역으로 구성된 case 2의 유역 형상이다. 동일한 토지이용 비율로 구성되어 있더라도 토지이용의 위치변화에 따른 영향을 검토하기 위하여 case 2와 유역을 구성하는 투수지역의 비율은 동일하지만 위치가 변화된 Fig. 1(c) case 3에 대하여 검토를 수행하였다.

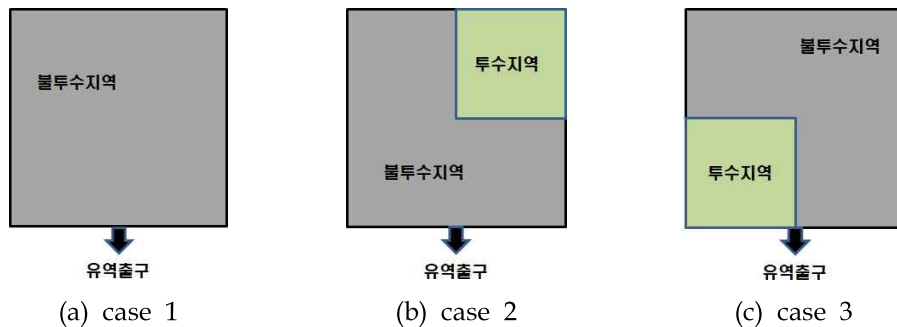


Fig. 1. Ideal basins to examine runoff models

## 2.3 FFC2Q 모의 결과

### (1) 월류발생 지점 도출

case 1, 2, 3에 대하여 유역 출구점과 그 하류에 길이 10 m, 직경 1.0 m의 관거를 가상으로 설치하고 모의를 수행하였다. 모의 결과 Fig. 2와 같이 시간 변화에 따라 약 90분 이후부터 유역출구의 관거에서 초과유량이 발생하였다. 강우발생 약 140분 후에 모든 case에서 최대 초과유량이 나타났다. 따라서 FFC2Q모형은 유출량이 관거의 통수능을 초과하는 경우 시간변화에 따른 초과유량을 산정할 수 있다. 그러나 이러한 초과유량은 관거의 통수능과 비교되는 것으로 맨홀에서의 월류량과는 다른 개념이다. FFC2Q모형은 맨홀 월류량을 계산하는 알고리즘은 개발되어 있지 않다. FFC2Q모형을 통해서 월류가 발생할 것으로 예측되는 맨홀지점은 산정이 가능하나 얼마의 우수가 월류되어 넘쳐날 것인지에 대한 예측에는 어려움이 있다. 또한 FFC2Q모형은 관거흐름을 해석함에 있어 관거 말단에 위치하는 하천의 수위나 조위의 영향을 고려하지 못한다. 하천이나 조위에 의한 배수위 영향을 해석하기 위해서는 동수역학적 해석이 수반되어야 하지만 FFC2Q모형은 이러한 해석방법까지는 개발되어 있지 않다.

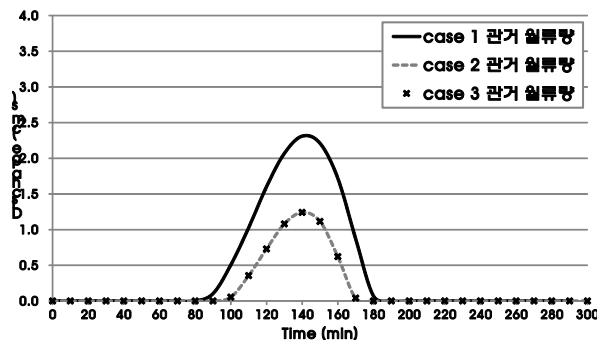


Fig. 2. Comparison of hydrograph depending on ideal basins

또한, FFC2Q모형은 분기관로가 존재하는 경우 해석결과에 큰 오차가 발생한다. Fig. 3과 같은 가상유역(유역면적 0.1km<sup>2</sup>, 불투수지역면적비 100%, 수문학적 토양군 A, 선행토양함수조건 AMC III, 강우량 10mm/hr)에 대하여 FFC2Q모형 적용한 결과 M1에 유입되는 동일한 양의 유량이 분기관로(L2, L3)에 유입되고, 이로 인해 최종 관로(L6)에서는 유역 유출량의 2배의 유출량이 발생하는 것으로 나타났다. 도시기반시설, 건축물 등과 같은 작은 요소를 활용하여 유출을 저감하고자 하는 경우 소유역을 상당히 작은 크기로 분할할 필요가 있고, 이런 경우 분기관로가 상당수 존재하는 지선을 포함하는 대부분의 맨홀이 고려되어야 한다는 점을 감안 할 때 FFC2Q모형을 활용하는 것에는 한계점이 있을 것으로 판단된다.

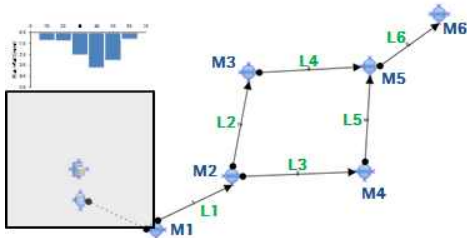


Fig. 3. Ideal diverged pipe network

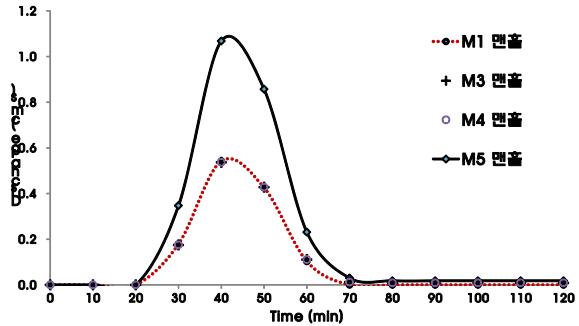


Fig. 4. Inflow into each manhole(FFC2Q)

(2) 토지이용 변화에 따른 유출 해석

가상유역 case 1, 2, 3에 대하여 FFC2Q모형을 활용하여 유출해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다. 불투수지역에서는 침투가 발생하지 않는 것으로 가정하고, 투수지역에서는 Horton의 침투방정식을 사용하였다. 또한 유효우량을 산정하기 위한 지면저류량은 불투수지역의 경우 2.54mm, 투수지역에서는 5.08mm를 적용하였다(허성철, 2007). 유출해석은 시간-면적곡선법, 관거의 흐름은 kinematic wave기법을 통해 수행하였다. case 1의 경우 강우발생으로부터 유출량이 서서히 증가하고, 강우강도가 작아지는 40분 후에는 유출량이 소폭감소하였다가 다시 증가하여 120분 후에 침투유출량이 발생하는 것으로 나타났다. 이때 침투유출량은 약 2.52m<sup>3</sup>/s였다. Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 case 2, 3에 대한 유출량은 동일하게 나타났다. 이는 단일 유역에서 토이이용의 구성이 동일하다면 투수지역의 위치변화와는 무관하게 유출 수문곡선이 동일함을 의미한다. 토지이용의 변화에 따라 투수지역이 증가한 경우 유출량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 FFC2Q의 경우 단일 소유역에서 토지이용의 변화에 대한 효과를 반영할 수 있는 있지만 토지이용, 특히, 투수지역의 위치변화의 영향은 반영하지 못함을 알 수 있다.

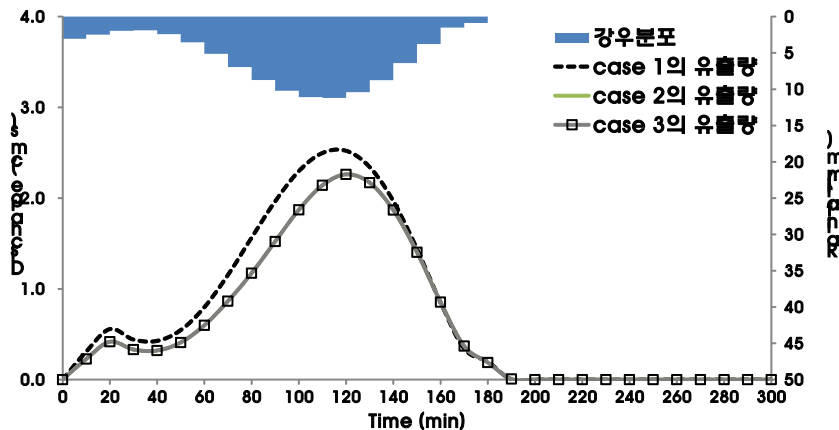


Fig. 5. Comparison of runoff discharge in each case(FFC2Q)

도시설계기법을 활용하여 유역의 유출을 저감하고, 침수가 발생하는 지역에 대해서는 토지이용 변화 대책 등을 강구하여 피해액을 줄이고자 하는 경우 토지이용 변화에 대한 효과자체를 그대로 반영하기에는 FFC2Q모형은 한계점이 있음을 알 수 있다. 따라서 case 2, 3에 대하여 단일 유역으로 가정하지 않고 가상유역을 3개의 소유역으로 분할하여 동일한 강우조건에 대하여 추가적으로 모의를 수행하였다. Fig. 6은 소유역 분할 case 4, 5로 case 2, 3의 유역을 3개의 소유역으로 분할한 것이다.

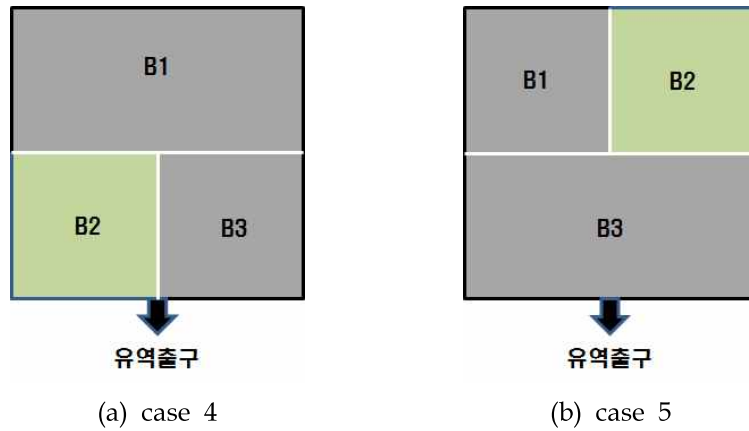


Fig. 6. Divided ideal basins into small watersheds

Fig. 7은 case 4, 5에 대한 FFC2Q모형의 유출해석 결과를 보여준다. 유역을 소유역으로 분할한 경우 단일유역으로 가정하였을 때와는 상이한 유출수문곡선이 나타남을 알 수 있다. 유역출구와 가까운 지점에 투수지역이 존재하는 case 4의 경우 유출량이 서서히 증가하고 B1에서 발생하는 유출량이 유역출구에 도달하는 약 100분 후 유출량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. case 5의 경우에는 case 4와는 반대의 현상이 나타나게 된다. 이때 case 4의 B1 소유역과 case 5의 B3 소유역에서 발생하는 유출량은 맨홀로 이어지는 관거의 통수능보다 크게 나타났다. 따라서 각 유역에서의 유출량은 급격히 증가하게 된다.

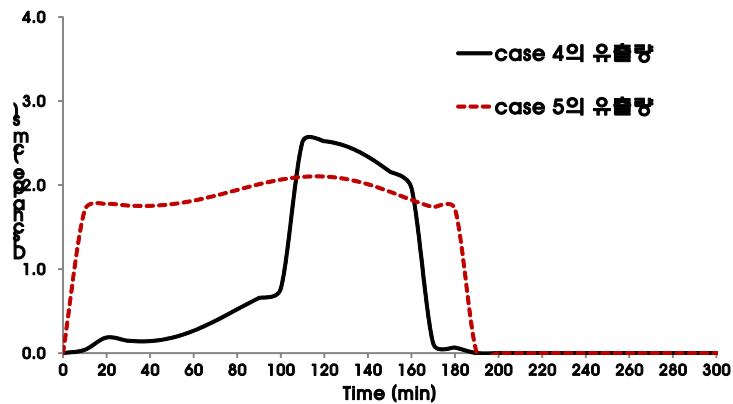


Fig. 7. Comparison of runoff discharge between case 4 and 5

Fig. 8과 Fig. 9는 유역출구와 연결되는 관거에서의 유속을 나타낸 것으로 관거가 만관이 되면서 유속이 일정해지는 것을 보여준다. 그러나 FFC2Q모형은 유역을 세분하여 토지이용 위치변화에 따른 효과 분석은 가능하지만 만관 발생 시 관내유속이 동일하게 가정되어 실제 유출현상을 정확히 반영하지는 못한다. case 5의 경우 상류의 불투수 소유역에서 발생하는 큰 유량 때문에 약 10분 후 만관이 발생하게 되는데, 만관 발생 시 관거 내 유속은 약 3.0m/s 가 되고 이로 인해 유역 출구까지 유출수가 도달하는 시간은 50초에 불과하다.

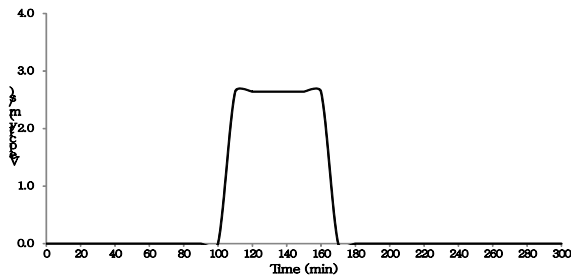


Fig. 8. Velocity in end-pipe of case 4

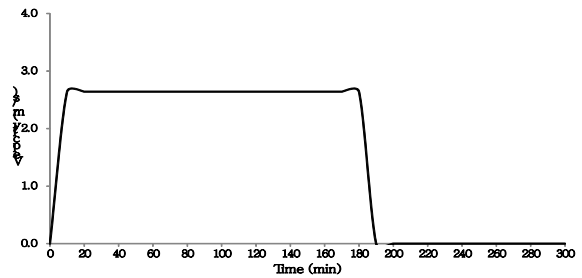


Fig. 9. Velocity in end-pipe of case 5

(3) 저류 해석

FFC2Q모형은 저류지 효과 분석을 위한 기능이 개발되어 있지 않다. 따라서 유효수량 산정 시 지면저류량을 고려하게 되는데 이때의 지면저류량을 저류수심으로 가정하여 case 4, 5에 대하여 모의 수행하였다. 일반적으로 지면저류량은 불투수지역에서는 2.54mm, 투수지역에서는 5.08mm를 사용하지만 저류효과 분석을 위해 본 논문에서는 B2소유역을 공원으로 가정하고 지면저류수심을 30cm로 가정하였다.

Fig. 10은 case 4, 5에 대하여 B2소유역에 저류를 가정하기 전과 후의 유출량의 변화를 비교하여 나타낸 것이다. 저류전 B2소유역에서 발생하는 침투유출량은 약 0.2m<sup>3</sup>/s로 나타났지만 저류후에는 유출량이 없는 것으로 나타났다. 따라서 저류의 효과가 나타난 것으로 여겨질 수 있으나 총 강우량이 100mm/3hr인 상황에서 지면저류량을 300mm로 가정하였기 때문에 실제 유출에 기여하는 강우량이 0mm이므로 유출량이 없는 것으로 나타나게 된다. 이러한 가정은 실제 유역에서 저류지로 유출수가 유입되고, 차츰 저수위가 상승한 후 저류용량 초과시 다시 유출로 이어지는 저류지의 실제 물리적 현상을 반영하는 것에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

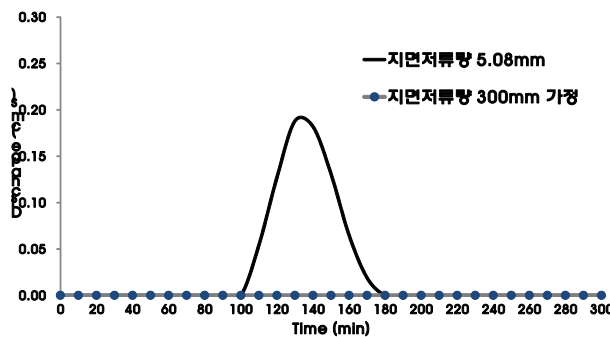


Fig. 10. Runoff discharge from B2 watershed with different depression storage(FFC2Q)

2.4 XP-SWMM 모의 결과

(1) 월류발생 지점 도출

FFC2Q모형의 검토에 적용한 동일한 case 1(Fig. 1(a))에 대하여 XP-SWMM모형을 활용하여 유출해석을 수행하였다. 모의 결과 약 88분 이후부터 월류가 발생하였다. Fig. 11에서 확인할 수 있듯이 case 1에 대한 유출수문곡선 또한 FFC2Q모형의 결과와 유사한 형태를 보였다. XP-SWMM은 하천이나 조위에 의한 배수위 영향을 해석할 수 있도록 개발되었다. 또한 분기되는 관로에 대한 해석 또한 가능하다. Fig. 12의 가상의 분기관로(Fig. 3)를 대상으로 FFC2Q모형에서와 동일하게 XP-SWMM을 이용하여 유출해석을 수행하였다. XP-SWMM 적용결과 유역에서 발생하는 유출량 이 분기관로(L2, L3)로 50%씩 배분되어 유입되었고, 유역의 최하류 관로 L6에서는 L4, L5의 관거의 유량이 다시 더해져서 최초 L1 관로에 유입된 동일한 유량이 유출되었다.

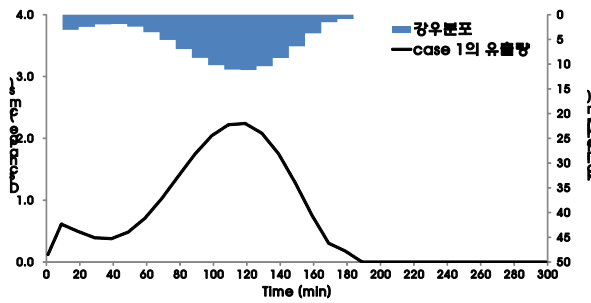


Fig. 11. Runoff discharge of case 1(XP-SWMM)

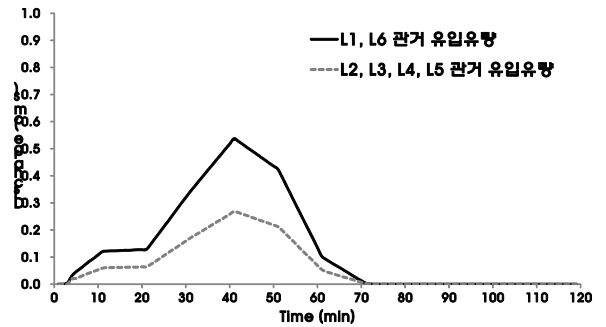


Fig. 12. Inflow into each pipe(XP-SWMM)

(2) 토지이용 변화에 따른 유출 해석

가상유역 case 1, 2, 3에 대하여 XP-SWMM 활용하여 FFC2Q모형에 적용한 동일한 유출해석방법으로 수행한 후 유출량을 Fig. 13과 같이 비교하여 나타냈다. 전체적인 유출수문곡선의 형상은 FFC2Q모형의 결과 비슷하였고, 첨두 유출량 또한 강우발생 120분 후 약 2.2m<sup>3</sup>/s로 큰 차이를 보이지는 않았다. XP-SWMM의 결과에서도 FFC2Q모형의 결과와 동일하게 case 2, 3의 유출수문곡선은 동일하였다. 이는 XP-SWMM 또한 단일 유역 내 토지이용의 비율이 같은 경우 투수지역과 불투수지역의 분포 형태와는 관계없이 동일한 유출해석 결과를 나타냄을 의미한다. 따라서 토지이용 변화에 따른 효과 분석을 위해서는 단일 유역을 소유역으로 분할하여 모의를 수행할 필요가 있다.

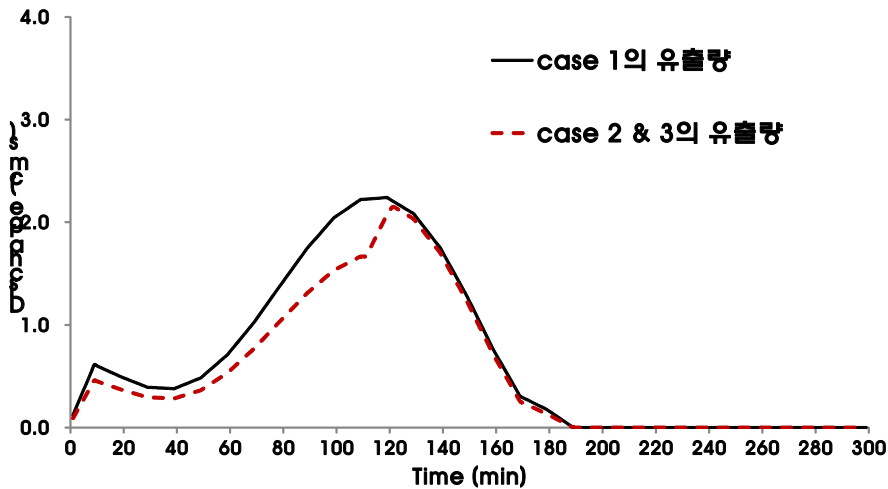


Fig. 13. Comparison of runoff discharge in each case(XP-SWMM)

3개의 소유역으로 분할된 case 4, 5에 대해 동일한 강우조건으로 XP-SWMM을 이용하여 추가 모의하였다. Fig. 14(a)는 case 4, 5에 대한 XP-SWMM의 유출해석 결과를 보여준다. 유역을 소유역으로 분할하여 모의한 결과 XP-SWMM은 단일유역으로 가정하였을 때와 유출수문곡선의 형태가 유사하게 나타났다. 이는 Fig. 14(b)에서 확인할 수 있듯이 만관이 발생하더라도 관거내에 유속은 관거의 상·하류 조건에 의해 수시로 바뀌기 때문이다. 따라서 FFC2Q모형에서와 같이 유출량이 급격히 증가하는 현상은 나타나지 않았고, XP-SWMM이 FFC2Q모형과 비교하여 좀 더 실제 물리적 현상을 잘 반영한 결과라고 할 수 있다. 그러나 소유역으로 분할하더라도 유역내 투수지역의 위치변화에 따른 유출수문곡선의 형태와 크기는 거의 동일하였다.

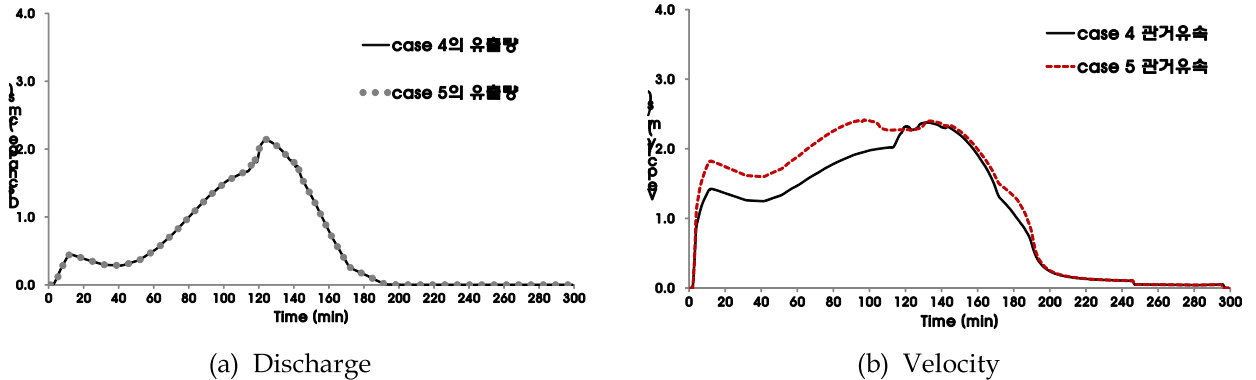


Fig. 14. Comparison of discharge and velocity between case 4 and 5(XP-SWMM)

(3) 저류 해석

XP-SWMM은 저류지 효과 분석을 위한 기능이 개발되어 있고 필요에 의해 저류지를 on-line 또는 off-line으로 설치하고 그에 따른 효과를 분석할 수 있다. case 4, 5에 대하여 B2 소유역을 오리피스 형태의 저류지로 가정하고 분석을 수행하였다. 이때 인버트의 표고는 9.1m이다. Fig. 15는 case 4의 저류지 수위변화를 보여주고 있다. 강우량이 증가함에 따라 저류지내의 수위 또한 지속적으로 증가하고 강우발생 2시간 이후 강우감소와 함께 저류지의 유입량보다 유출량이 커지면서 저수위가 감소하고 강우종료 후 저류지의 수심이 없는 것으로 나타났다. 이러한 저류효과로 인해 B2 소유역에서 발생하는 유출량은 거의 없었다.

저류지가 설치된 case 4의 유역출구점에서의 침투유출량은 1.68m<sup>3</sup>/s로 강우발생 약 2시간 후 발생하는 것으로 나타났다. 저류지 설치전 case 4의 침투유출량은 2.14m<sup>3</sup>/s였던 점을 감안하면 저류지 설치로 인해 약 20%의 침투유출량 저감 효과가 나타나는 결과를 보였다. Fig. 16은 case 4, 5에 대하여 저류지 설치 전과 후의 유출수문곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 저류지의 설치 위치 변경으로 인해 저류지 설치 후의 유출수문곡선은 상이한 결과를 보였다. case 4의 경우 저류지가 유역 상류에 존재하기 때문에 case 5와 비교하여 저류지 효과가 늦게 나타났다. 또한 유역출구점에서 유출에 기여하는 소유역은 강우초기에는 유역의 하류부이다. case 5의 경우 유역하류부에 저류지가 존재하여 강우강도가 큰 시간대에 우수저류로 인해 침투유출량의 감소와 함께 저류효과가 좀 더 이른 시간에 나타났다.

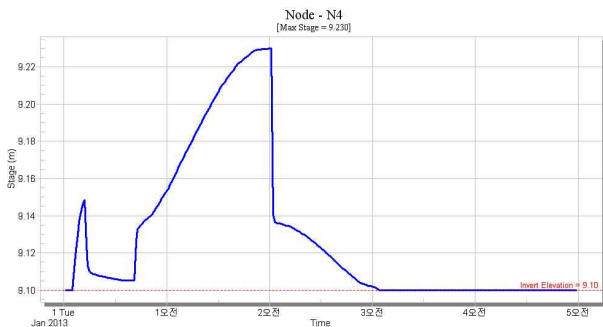


Fig. 15. Water level in B2 watershed as storage in case 4

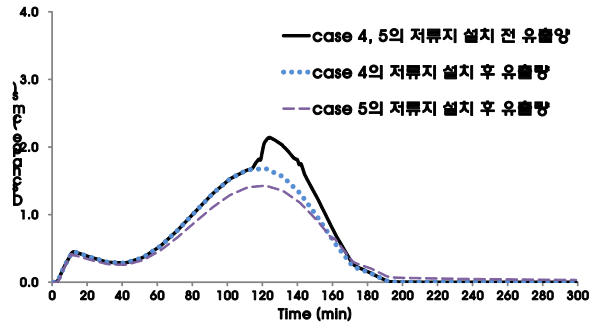


Fig. 16. Runoff discharge by installing storage

3. 실유역에 대한 도시유출모형 적용

3.1 방배4배수분구

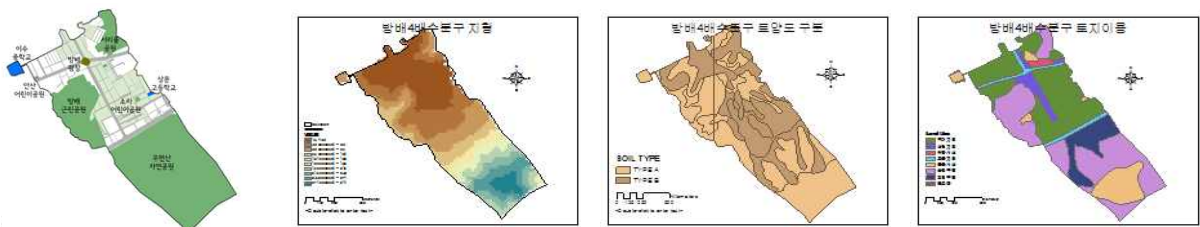
실유역에 대한 FFC2Q모형과 XP-SWMM을 적용하고 해석 결과를 검토하였다. 유출해석을 위한 적용 대상유역은 2001, 2010, 2011년 유역 전역에서 침수피해가 발생하였던 방배4배수분구이다. 방배4배수분구가 속해있는 서초구는



2011년 7월26~28일 약 588mm 강우발생하여 사당지구, 방배로지구, 우면산지구, 강남역지구, 형촌지구 등 침수피해가 발생하였다.

(1) 유역현황

방배4배수분구는 우면산으로부터 유출이 발생하여 방배역을 지나 방배2배수분구로 연결되는 유역으로 유역면적은 약 1.56km<sup>2</sup>, 불투수율은 약 54.4%로 지형은 남동쪽 우면산으로부터 방배역까지 경사가 급격히 낮아지는 형태를 보인다. 방배4배수분구의 수문학적 토양군에서 우면산일대는 주로 TYPE A, 도시화지역은 주로 TYPE B로 이뤄져 있는 것으로 나타났다. TYPE A는 유출이 가장 작은 형태로 침투율이 가장 크고 대부분 실트와 점토를 약간 포함한 모래층 및 자갈층으로 배수 양호한 특징이 있다. TYPE B는 비교적 낮은 유출율, 비교적 높은 침투율, 자갈이 섞인 사질토로 배수가 대체로 양호하다. 방배4배수분구의 토지이용은 산지를 제외하고는 대부분 주거지로 이용되고 있으면, 우면산의 산림은 주로 활엽수림이 대부분을 차지하는 것으로 나타났고, 방배역을 중심으로 일부 상업지역이 발달하였다.



(a) Infrastructures (b) Topography (c) Soil type (d) Land use

Fig. 17. Water drainage area named Bang-bae 4

(2) 강우량

본 논문에서는 국민안전처의 방재성능목표강우량(30년 상당 빈도) 보다 큰 강우량을 적용하여 유역내에 배수시스템 능력을 초과한 상황을 가정하여 모의를 수행하였다. 서울시의 3시간 지속기간 목표강우량은 170mm로 Fig. 18과 같이 서울시 방재성능목표강우량(소방방재청, 2012) 보다 30mm가 더 내린 200mm/3hr을 적용하였다. 강우시간분포는 국토교통부 설계홍수량 산정요령(국토교통부, 2012)에 따라 Huff 3분위, 초과확률 50%이다.

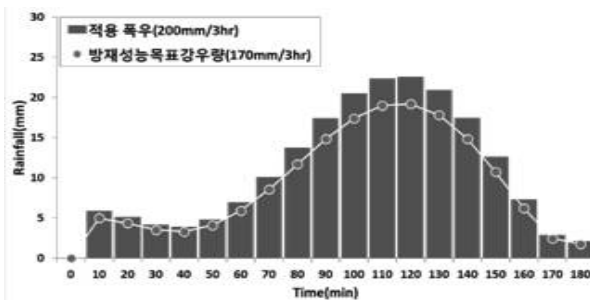
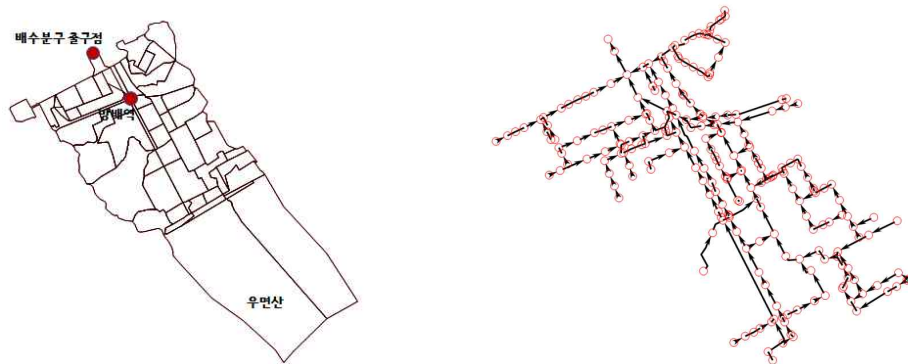


Fig. 18. Applied a distribution of rainfall

(3) 방배4배수분구 모형 구축

FFC2Q모형 모의를 위하여 방배4배수분구를 총 56개의 소유역으로 구분하였고, 우수관망은 간선 뿐만 아니라 지선을 포함한 총 235의 맨홀과 이들 맨홀을 연결하는 239개의 우수관거로 방배4배수분구를 모형화하였다. Fig. 19는 방배4배수분구를 분할한 소유역과 배수관망도이다.



(a) Watersheds (b) Drainage pipe network  
 Fig. 19. Watersheds and drainage pipe network of Bang-bae 4

Table 2. Watersheds specification of Bang-bae 4

소유역 번호	면적 (ha)	불투수율 (%)	유역길이 (m)	CN	소유역 번호	면적 (ha)	불투수율 (%)	유역길이 (m)	CN
1	40.9	29.9	1047.0	39.4	29	2.6	100.0	250.0	79.5
2	23.5	12.1	958.0	40.9	30	1.5	100.0	57.0	83.2
3	0.8	96.4	218.0	83.9	31	0.7	100.0	60.0	83.3
4	0.6	81.1	33.0	70.6	32	1.6	100.0	73.0	84.4
5	0.4	97.3	42.0	84.2	33	0.7	100.0	42.0	78.4
6	2.4	37.1	156.0	44.3	34	3.3	94.1	157.0	80.2
7	1.0	100.0	79.0	83.9	35	3.2	100.0	219.0	82.7
8	0.2	100.0	34.0	85.0	36	0.9	100.0	54.0	83.9
9	0.7	100.0	68.0	85.0	37	1.3	100.0	121.0	79.5
10	0.7	100.0	120.0	85.0	38	2.4	100.0	128.0	85.0
11	0.7	100.0	78.0	85.0	39	0.2	100.0	37.0	80.4
12	2.3	100.0	116.0	84.4	40	0.3	100.0	32.0	83.5
13	1.7	100.0	85.0	83.9	41	0.5	100.0	76.0	82.2
14	10.1	11.3	286.0	31.7	42	2.0	100.0	108.0	80.1
15	4.0	99.9	153.0	82.6	43	1.5	100.0	118.0	78.4
16	3.6	100.0	139.0	85.0	44	1.6	100.0	121.0	84.8
17	1.7	100.0	123.0	84.2	45	0.8	100.0	133.0	85.0
18	0.5	100.0	47.0	84.9	46	0.7	100.0	75.0	85.0
19	1.0	99.0	88.0	84.8	47	0.0	100.0	25.0	85.0
20	1.4	100.0	110.0	85.0	48	0.5	100.0	23.0	85.0
21	3.2	100.0	121.0	82.8	49	1.1	100.0	87.0	84.8
22	2.8	100.0	102.0	78.9	50	2.3	58.5	462.0	66.6
23	1.5	100.0	59.0	42.1	51	0.4	100.0	50.0	83.4
24	5.5	31.2	362.0	44.6	52	1.9	100.0	188.0	78.3
25	5.1	37.2	238.0	80.7	53	0.7	100.0	113.0	82.2
26	0.6	100.0	15.0	81.6	54	1.5	33.0	191.0	63.2
27	1.1	100.0	57.0	78.0	55	2.4	11.4	116.0	53.2
28	0.7	100.0	59.0	80.1	56	0.9	100.0	136.0	85.0

(4) 모의 결과

1) FFC2Q모형 결과

Fig. 20과 같이 분기관로가 존재하지 않는 20번 소유역 1,520번 맨홀과 1,220번 맨홀의 유출량이 합류되어 1,610번 맨홀의 유량이 증가함을 Fig. 21을 통해 확인 할 수 있다. 분기관로가 존재하지 않는 경우에는 각 소유역의 유출량과 관로의 홍수추적을 FFC2Q모형이 잘 모의 한 것으로 검토되었다.

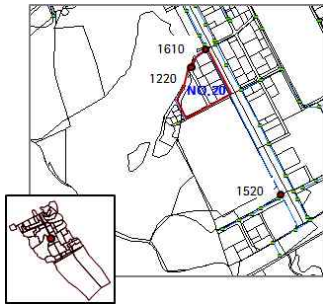


Fig. 20. Location of No.20 watershed

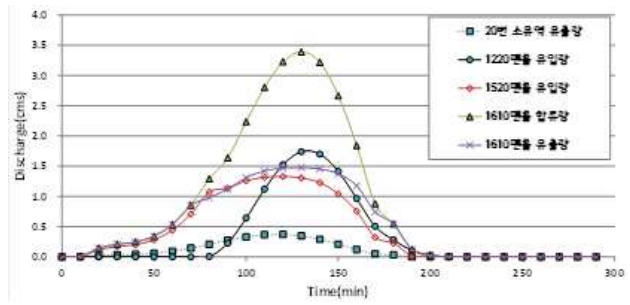


Fig. 21. Runoff discharge from No.20 and surrounding watersheds

20번 소유역의 토지이용은 현재 방배유스센터 등 공공시설(CN=93)로 활용되고 있다. 이러한 공공시설을 공원으로 변경한 경우를 가정(CN=65)하여 모의 한 결과는 Fig. 22와 같다. 공원으로 가정한 경우 침투유출량이 약 0.17 cms정도 감소하는 것으로 나타났다.

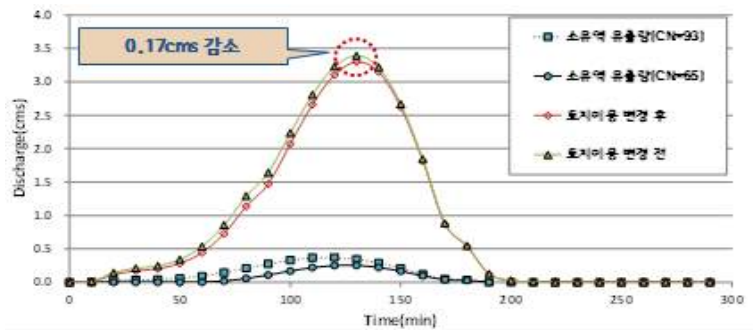


Fig. 22. Runoff discharge from No.20 watershed with different land use

2) XP-SWMM 결과

Fig. 23은 XP-SWMM 모의 결과로써 시간에 따른 맨홀의 침수여부를 보여준다. 강우발생 약 2.3시간 후에 방배4 배수분구 중류부까지 침수가 발생하는 것으로 나타났고 침수가 가장 오랫동안 발생한 지점은 방배중앙로3길과 방배중앙로의 교차로 주변인 것으로 나타났다.

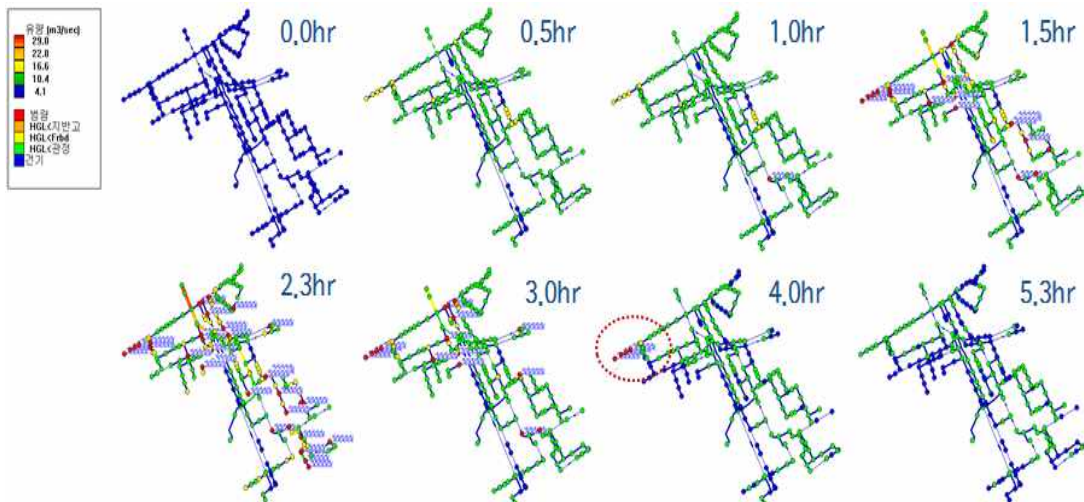


Fig. 23. Overflow manholes as result of simulation

XP-SWMM의 저류분석을 위하여 Fig. 24와 같이 이수중학교 운동장에 저류기능을 부여하고 모의한 결과 침투유출량과 침투유출 발생시간 지체효과를 확인할 수 있었다. 저류량은 하천설계기준·해설(한국수자원학회, 2009)에 제시된 중학교 운동장 저류한계수심 및 저류가능 면적률을 활용하여 가정하였다. 서울 이수중학교 운동장 전체면적의 32%인 약 4.130m<sup>2</sup>의 면적이 약 0.3m를 저류한다고 가정하여 총 저류량 1,240m<sup>3</sup> 적용하였다. 저류기능 부여 결과 Fig. 24와 같이 침투유출량은 약 0.5m<sup>3</sup>/s가 감소하는 것으로 나타났다고 침투유출량 발생시간 또한 약 5분 정도 지체되었다. 또한 Fig. 25와 같이 XP-SWMM을 활용하여 침투구역예측이 가능하였다.

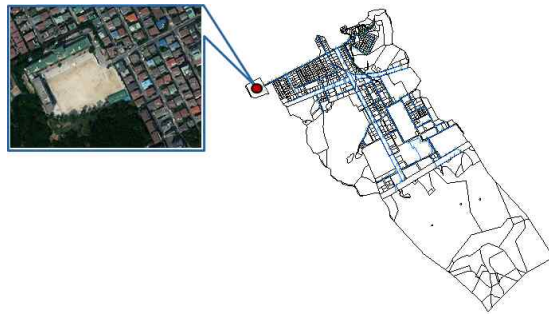


Fig. 24. Location of Isu middle school

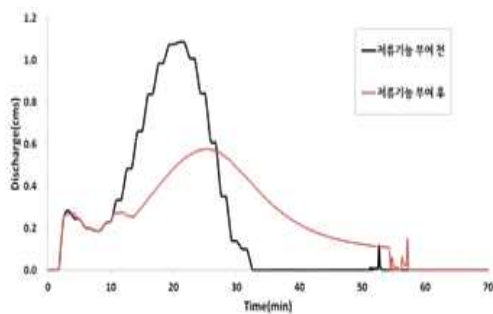


Fig. 25. Runoff discharge with playground as storage

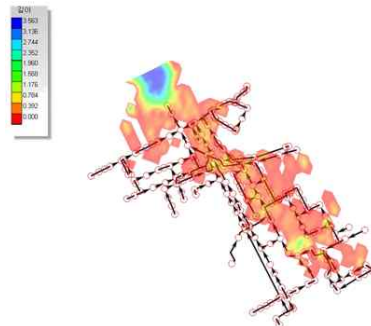


Fig. 26. Inundation of Bang-bae 4

#### 4. 결론

본 논문에서는 도시설계기법을 기존의 도시유출모형(FFC2Q모형, XP-SWMM)에 적용하고 그 효과를 정량적으로 분석할 수 있는 지를 가상유역과 실 유역에 적용하고 결과를 검토하였다. FFC2Q모형은 침투구역 예측이 불가능하였고, 유역에 분기관로가 존재하거나 배수위의 영향을 받는 조건에서는 정확한 유출해석에 어려움이 있었다. 또한 단일유역에서의 토지이용변화에 대한 해석은 가능하지만 토지이용의 위치가 변화하는 경우, 우수관망에 과부하 흐름이 발생하는 경우에는 실제 유출현상을 반영하지 못하였다. 기반시설을 활용한 저류효과는 지표면의 저류량을 증가시켜 개념적인 모의는 가능하였지만 실제 물리적 현상을 분석하는데 한계점이 있었고, 유출수의 유출경로변경을 변경할 수 없었다.

XP-SWMM의 경우 침투구역 예측, 토지이용 변화, 저류지 등 유출경로 변경을 제외하고는 대부분의 도시설계기법의 효과를 분석하기 위한 기능들을 가지고 있는 것으로 검토되었다. 그러나 침투구역을 예측하는 과정에서 침수와 강우가 동시에 해석되지 못하는 단점이 있다. 또한 동일 유역에서 토지이용이 변화하는 경우의 유출특성을 분석하는데 어려움이 있고, 소규모의 다양한 기반시설들을 활용한 저류의 효과 분석을 위해서는 소유역 분할 수를 크게 늘려야하지만 소유역 분할 방법에 따라 유출량의 차이가 발생할 수 있는 문제점이 있었다. 침투해석의 경우 실제 토양의 물성치에 기반한 직접적이고 실시간적인 침투해석이 아닌 경험식에 의한 것으로 매개변수의 산정에 어려움

또한 존재하였다. FFC2Q모형, XP-SWMM과 같은 집중형 모형은 유역전체에 소규모의 다양한 형태로 존재하는 재해저감 도시설계기법들의 효과를 정량적으로 해석하는 것에는 한계점이 있다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국민안전처 자연재해저감기술개발사업단(자연피해예측 및 저감연구개발사업)의 지원으로 수행한 '풍수해 위험도가 반영된 개별 보험요율산정 및 지도개발'[NEMA-자연-2013-62] 과제의 성과입니다.

## References

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2011). 확률강우량도 개선 및 보완 연구.
- National Emergency Management Agency. (2012). 지역별 방재성능목표 설정 기준.
- Jae Soo Lee. (2006), hydrology. Goomibook, seoul.
- Korea Water Resources Association. (2009). 하천설계기준 · 해설.
- Seong Cheol Heo. (2007). Development of Runoff and Water Quality Model Based on the Basin Shape and Water Surface Profile, Ph.D, Kyonggi University.