

## 도시유출모형과 홍수범람모형을 연계한 내수침수 적용성 평가

탁용훈\* · 김재동\*\* · 김영도\*\*\* · 강부식\*\*\*\*

Tak, Yong Hun\*, Kim, Jae Dong\*\*, Kim, Young Do\*\*\*, Kang, Boosik\*\*\*\*

### A Study on Urban Inundation Prediction Using Urban Runoff Model and Flood Inundation Model

#### ABSTRACT

Population and development are concentrated by urbanization. Consequently, the usage of underground area and the riverside area have been increased. By increasing impermeable layer, the urban basin drainage is depending on level of sewer. Flood damage is occurred by shortage of sewer capacity and poor interior drainage at river stage. Many of researches about flood stress the unavailability of connection at the river stage with the internal inundation organically. In this study, flood calculated considering rainfall and combined inland-river. Also, using urban runoff model analyze the overflow of sewer. By using results of SWMM model, using flood inundation analysis model analyzed internal drainage efficiency of drainage system. Applying SWMM model, which results to flood inundation analysis model, analyzes internal drainage efficiency of drainage system under localized heavy rain in a basin of the city. The results of SWMM model show the smoothness of internal drainage can be impossible to achieve because of the influence of the river level and sewer overflow appearing. The main manholes were selected as the manhole of a lot of overflow volume. Overflow reduction scenarios were selected for expansion of sewer conduit and instruction retention pond. Overflow volume reduces to 45% and 33~64% by retention pond instruction and sewer conduit expansion. In addition, the results of simulating of flood inundation analysis model show the flood occurrence by road runoff moving along the road slope. Flooded area reduces to 19.6%, 60.5% in sewer conduit expansion scenarios.

**Key words** : Urban basin, Internal inundation, Flood damage, SWMM, Flood inundation analysis

#### 초록

도시화로 인한 인구집중 및 개발 집중현상으로 하천변 저지대 및 지하공간 사용이 증가하였고, 불투수층이 증가하여 도시유역의 배수체계는 우수관거에 의존하고 있다. 이러한 변화로 인한 우수관거의 저류용량 부족 및 외수위의 영향으로 인한 도심지 역류 현상으로 인한 침수피해가 발생하고 있다. 하지만 기존의 홍수범람에 관한 연구는 대부분 외수범람과 내수침수를 유기적으로 연결하지 못하고 있다. 본 연구에서는 상습침수가 발생하는 도시유역에 대하여 도시유역 유출특성을 고려한 홍수의 정확한 예측을 위해 강우분석 및 외수위를 고려하고, 도시유출모형인 SWMM 모형을 이용하여 우수관거의 월류를 분석하였고, 이 결과를 홍수범람해석 모형과 연계하여 도시유역에서의 집중호우 발생시 침수해석을 실시하여 수방시설물의 홍수배제 효율을 분석하였다. SWMM 모형의 적용결과 외수위영향에 따른 원활한 내수배제가 불가능 한 것으로 나타났다. 관거 월류량이 많아진 것으로 나타났다. 월류된 우수가 지면을 따라 흐를 경우 저지대의 침수가 예상되고, 월류량이 많은 맨홀을 주요 맨홀로 선정하였고, 월류수 저감을 위한 방안으로 주요 맨홀의 인근 지역에 저류지를 설치하는 방안과 각 맨홀들을 연결하는 관거를 확대하는 방안을 설정하였다. 월류 저감 시나리오 적용 결과 저류지 설치시 월류량의 45%, 관거 확대시 33~64%의 저감효과를 보였다. SWMM 모형의 결

\* 인제대학교 대학원 환경공학과 박사과정 (Inje University · takyh87@hotmail.com)

\*\* (주)고려엔지니어링 과장 (Korea Engineering · jdkim@koreaengineer.co.kr)

\*\*\* 중신회원 · 교신저자 · 인제대학교 환경공학과(낙동강유역환경연구센터) 부교수 (Corresponding Author · Inje University · ydkim@inje.ac.kr)

\*\*\*\* 중신회원 · 단국대학교 토목환경공학과 교수 (Dankook University · bskang@dankook.ac.kr)

Received March 6, 2015/ revised April 27, 2015/ accepted March 31, 2016

과를 이용하여 홍수범람해석 모형을 모의한 결과 지표경사와 도로를 따라 맨홀 월류수가 모여 침수현상을 발생시키는 것으로 나타났으며, 관거 확대 적용시 침수면적이 19.6%, 60.5% 줄어든 것으로 나타났다.

**검색어** : 도시유역, 내수침수, 홍수량, SWMM, 홍수범람해석

## 1. 서론

도시화에 따라 하천변 저지대의 개발과, 불투수 지역의 증가는 국지성 집중호우의 발생으로 인해, 동일한 강우에 대하여 증가된 침투유량을 보이며 도달시간이 단축되어 홍수의 위험성이 매우 높다. 도시지역 강우의 흐름은 대부분 표면 흐름이나 우수관거를 통하여 흐르게 된다. 그러므로 도시지역에 있어서 외수의 흐름을 고려한 관망과 내수배제시설의 설계가 필요하며, 도시지역에 있어서 유출현상의 정확한 해석능력은 홍수제어와 이를 위한 배수계통과 수방시설의 설계, 침수위험지역 선정, 홍수시 대피 및 상황대처계획 수립 등에 있어서 매우 중요한 요소이다.

하천변 저지대가 개발되면서 도시지역의 배수능력은 우수관거 말단부와 연결된 하천 외수의 영향을 받기 쉽고, 복잡한 형태를 가진 도시유역 배수관망의 분포에 따라 통수능을 초과하지 않는 소규모의 강우에 의해서도 내수배제의 불량으로 쉽게 침수가 발생할 가능성을 지니고 있다.

우리나라에서는 1980년대 이후 본격적인 도시유출 해석모형에 대한 필요성이 대두되었으며, Choi (1992)은 ILLUDAS 모형을 사용하여 우수지 설계를 연구하였고, Seo (2004)는 도시유역의 유출특성분석을 위해 ILUDAS 모형과 SWMM 모형을 활용하여 도시유출특성을 분석하였다.

하지만 도시유역의 침수를 분석하기 위해서는 관거에서의 통수와 통수능의 부족으로 인한 지표 월류수 모의와 지표로 월류된 우수의 지표면의 도로의 형태 및 경사 등 특성을 고려한 2차원적인 해석이 함께 필요하다. 이를 위한 연구로 Phillips et al. (2005)은 XP-SWMM 모형과 TUFLOW를 이용한 모델링으로 1D, 1D/2D, 2D 결과를 비교하고 도시지역 2차원 침수해석을 하였고, Lee and Yeon (2008)은 XP-SWMM 모형을 이용하여 도시침수 해석시 건물의 영향을 분석하였다.

XP-SWMM은 DTM (Digital Terrain Model)을 구축하여 침수분석을 할 수 있는 기능을 가지고 있다. 그러나 건물 사이의 도로로 물이 범람하는 것을 모의하기에는 부족함이 있다(Kang et al., 2010). 이러한 부족함을 해결하기 위해 Kang et al. (2010)은 SWMM과 FLUMEN (FLUvial Modeling ENgine) 모형을 연계하여 침수상황을 재현하였다.

본 논문에서는 도시지역 침수를 분석하기 위해 SWMM의 관망 해석기능과 범람해석모형인 FLUMEN (FLUvial Modeling ENgine)

을 활용하여 관거에서 월류된 우수의 도로에서 흐름과, 월류수 저감을 위한 저류지 설치 및 관거 확대 시나리오를 적용하여 도시유역의 침수 발생시 내수배제 불량에 의한 영향 예측 적용성을 검토하였다.

## 2. 모형의 개요

본 연구에서는 도시지역의 1차원 관거 해석과 월류된 우수의 지표수 흐름을 해석하기 위하여 SWMM 모형과 FLUMEN 모형을 활용하였다. 먼저 SWMM 모형의 관망해석기능을 활용하여 강우 발생으로 인한 지표수가 관거로 유입되어 관거 내에서 흐름을 통해 맨홀을 통해 다시 월류되는 월류량을 계산하고, 월류량을 범람해석모형인 FLUMEN 모형의 입력자료로 활용하여 도시지역의 도로에서의 흐름을 분석하고자 하였다.

### 2.1 SWMM

SWMM모형은 U.S.EPA에서 개발된 모형으로, 도시유역이나 인위적인 배수계통을 갖는 유역에서 강우사상으로 인해 발생하는 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에 대한 유출량 추적 등 강우-유출 및 하도 추적 모두 가능한 도시유출 모형이다(Huber and Dickinson, 1988). 유출 해석은 비선형 저수 방법, 운동파 방법, Laurenson 비선형 방법, 시간-면적 방법 등 홍수량 자료 산정 방법을 결정하며, 도달시간 등을 산정하여 유출량을 산정한다. 지반에 강우가 도달할 경우 Horton식, GreenAmpt식 그리고 NRCS Curve Number (CN)을 사용하여 침투량을 산정 할 수 있다.

SWMM에서 관거의 물 흐름을 추적하는 방법에는 비선형 저수지 방법과 운동파(kinematic wave) 추적법, 동역학과(dynamic wave) 추적법이 있다. 도로 침수의 상류영향을 모의할 수 있는 방법은 동역학과 추적법이다. 동역학과의 지배방정식은 1차원 점변 부정류의 연속방정식과 운동량방정식이다. SWMM은 링크의 유량 Q를 계산하기 위하여 두 식을 하나로 변형한 식(Eq. (1))을 사용한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V\frac{\partial A}{\partial t} - V^2\frac{\partial A}{\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

여기서, A는 흐름 면적, x는 관이나 수로를 따른 거리, t는 시간, g는 중력가속도, H = z + h는 수두, z는 관거의 바닥 높이, h는

수심,  $S_f$ 는 마찰(에너지) 경사이다.

## 2.2 FLUMEN

본 연구에서는 SWMM 관거모의 결과 지면으로 월류한 우수의 지표면 흐름을 모의하기 위하여 홍수범람해석에서 사용되고 있는 FLUMEN (FLUvial Modeling ENgine) 모형을 적용하여 침수해석을 실시하였다. Beffa (1994)에 의해 개발된 FLUMEN은 불규칙한 격자구조에 대해 적용이 용이하여 하천의 합류점이나 민곡부와 같이 복잡한 지형의 수리 해석에 적합한 모형이다. 또한, FLUMEN은 셀 중심 비구조적 격자망을 토대로 수심적분된 천수방정식을 계산하는 프로그램이며, 마른 지역이 존재하여도 계산할 수 있다. 특히, 다양한 지형에서의 wet/dry 해석이 가능하고, 유한체적법을 사용하기 때문에, 상류 및 사류 상태의 흐름을 모의할 수 있으며, 계산격자를 구분하지 않고 일체화된 침수해석을 실시하고 유체체적의 보존이 가능하다(Beffa, 2004).

FLUMEN 모형은 수심 적분된 비선형 천수방정식을 기본으로 하고 있다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + S = 0 \quad (2)$$

여기서,  $x$ 와  $y$ 는 수평방향,  $t$ 는 시간,  $E$ ,  $G$ 는  $x$ ,  $y$ 축의 플럭스 벡터,  $U$ 는 보존형 변수 벡터( $h, p, q$ )<sup>T</sup>,  $h$ 는 수심,  $p$ 와  $q$ 는  $x$ ,  $y$ 방향의 단위폭당 유량,  $S$ 는 소스벡터이다.

$x$  및  $y$  방향의 플럭스 벡터  $E$ ,  $G$  및 소스벡터는 Eq. (3)과 같다.

$$E = \begin{pmatrix} p \\ \frac{p^2}{h} + \frac{g}{2}h^2 \\ \frac{pq}{h} \end{pmatrix}, G = \begin{pmatrix} q \\ \frac{pq}{h} \\ \frac{p^2}{h} + \frac{g}{2}h^2 \end{pmatrix}, S = \begin{pmatrix} 0 \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{lx}}{\rho} \\ \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{ly}}{\rho} \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서,  $g$ 는 중력가속도,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $z_b$ 는 하상고,  $\tau_b$ 는 바닥 전단응력이다.

FLUMEN 모형은 전체 계산영역에서 불규칙 삼각망을 적용하며, 임의의  $i$ 번째 삼각망에 대하여 Eq. (4)와 같이 유한체적법을 이용한다.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{A_i} \frac{dU}{dt} d\Omega = - \int_{A_i} (E_x + G_y) d\Omega + \int_{A_i} S(U) d\Omega \quad (4)$$

여기서,  $A_i$ 는 삼각형의 면적이다.

FLUMEN 모형에서는 홍수범람과 같은 충격파를 모의하기에 적합한 FDS (flux difference scheme)를 적용하여 안정적인 결과를 얻을 수 있으며, 충격파나 점성흐름의 계산에 있어 기존의 방법들보다 뛰어난 모의를 수행한다(Bae et al., 2005).

## 3. 모형의 적용

### 3.1 대상지역 현황

본 연구의 대상지역은 서울특별시의 신촌지역으로 신촌배수분구 및 창전배수분구 일대이다. 대상지역을 Fig. 1에 나타내었다. 신촌지역은 최근 2010년부터 2012년까지 침수피해가 있었던 지역

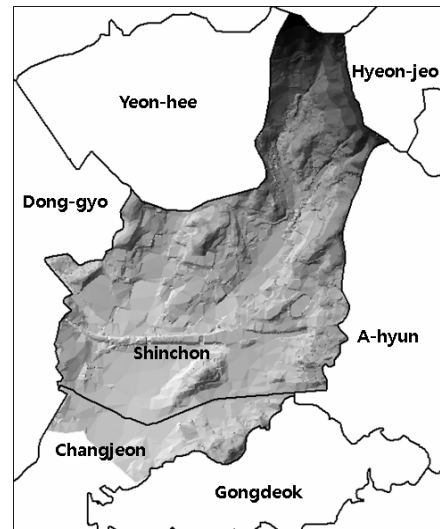


Fig. 1. Shinchon Drainage Area



Fig. 2. Recent Flooded Area

으로, 2010년과 2011년의 호우에 의한 침수구역도는 Fig. 2와 같다.

대상지역은 배수유역 하류부에 위치한 봉원천으로 방류되며, 봉원천은 한강의 제1지류로서 전구간이 복개되어 있다. 봉원천 하구를 기준으로 유역면적은 6.30 km<sup>2</sup>, 하천연장 1.30 km, 유로연장은 3.58 km이며 하폭은 6~35 m, 형상계수는 0.49~0.97으로 유출의 집중성향이 다소 크게 나타날 것으로 예측된다. 하천의



Fig. 3. Storm Sewer of Shinchon

Table 1. Open Channel and Pipe Manning Coefficient of Roughness

Material	Typical Manning roughness coefficient
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides	
- concrete	0.020
- mortared stone	0.023
- riprap	0.033
Natural stream channels	
Clean, straight stream	0.030
Clean, winding stream	0.040
Winding with weeds and pools	0.050
With heavy brush and timber	0.100
Flood Plains	
Pasture	0.035
Field crops	0.040
Light brush and weeds	0.050
Dense brush	0.070
Dense trees	0.100

복개된 부분은 대부분 도로로 이용되고 있으며, 주택이 밀집되어 있고, 학교 및 상가지역으로 구성되어 있다.

대상지역의 면적은 복개된 봉원천 합류점 상류 274 ha이며, 관로는 간선관거(φ 900~φ 1,500) 4,837 m와 BOX관거 3,504 m, 지선관거(φ 300~φ 900) 5,025 m로 구성되어 있다(Fig. 3). 간선관거 및 지선관거의 Manning 조도계수는 Chow et al. (1988)의 연구에 의하면 콘크리트 홉관의 경우 0.012 이지만(Table 1), 관거의 정비상태를 고려하여 0.014로 입력하였다.

봉원천 하류에는 한강의 배수위의 영향으로 인한 역류를 방지하기 위해 봉원빛물펌프장을 설치하여 운영 중 이지만, 신촌지역의 우수가 유입된 봉원천의 배수에는 영향을 주지 않는다.

### 3.2 모형의 적용

신촌지역의 침수분석을 위해 SWMM 모형과 FLUMEN 모형에 적용하였다. SWMM 모형의 ID 관망해석기능을 통해 관거에서의 우수 월류량을 모의하였고, SWMM 모형의 월류량 결과를 범람해석모형인 FLUMEN의 입력자료로 활용하여 침수해석을 실시하였다. FLUMEN 모형 적용 초기에는 지면에 범람된 우수의 양이 없으므로 초기수심은 0 m이다.

강우유출 해석 및 관거의 우수이동 및 맨홀 월류현상을 확인하기 위한 SWMM 모의를 위해 Fig. 3의 서울시 GIS 관망 데이터를 활용하여 신촌지역의 하수관거를 고려한 관망을 구축하였다. SWMM의 관거 유출에 의한 홍수량 산정과 관거 내 우수 거동 모의를 위해 관거 및 맨홀의 제원을 입력하였고 RUNOFF Layer의 홍수량 산정 방법에는 시간-면적법을 선택하였으며, 침투량 산정 방법에는 Horton 방법을 사용하였다. 그리고 수리학적 모의를 위한 Hydraulics Layer에는 관경, 관거길이, 경사, 관저고, 지반고 등 관거의 세부 제원 및 지반으로 월류 될 때 고려되어야 할 정보들을 입력하였다. 또한, 외수의 영향을 고려하기 위해 출구부인 봉원천의 하천정비기 본계획상의 홍수위를 조사하였으며(Table 2), 한강의 배수영향을 고려한 50년 빈도 홍수위를 입력하였다.

모의에 사용한 강우는 2011년 7월 26일~29일 강우 중 27일에 발생한 24시간 호우사상을 사용하였다. 이때의 26일에서 29일사이의 강우로 인해 서울시에서 14,000곳 이상의 침수피해가 있었으며 총 300억 원대의 피해가 발생하였고, 신촌지역이 포함되어있는 서대문구에서 300동 이상의 침수피해가 있었다. Fig. 4는 서대문구 AWS의 2011년 7월 27일 시간단위 강우주상도이며, 이때의 총강

Table 2. Bongwon-Stream Stage by Frequency

River	Station (No.)	Flood stage (EL.m)		
		30yr	50yr	200yr
bongwon-stream	10	11.61	12.37	14.53

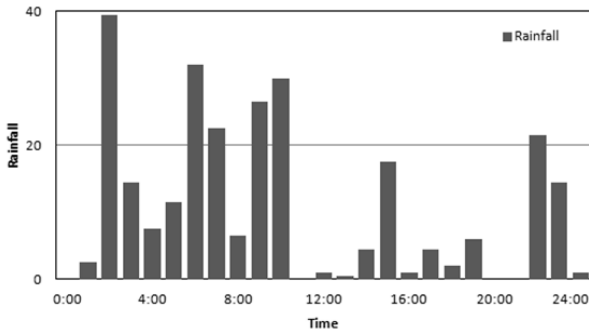


Fig. 4. Rainfall of Simulation (2011. 7. 27.)

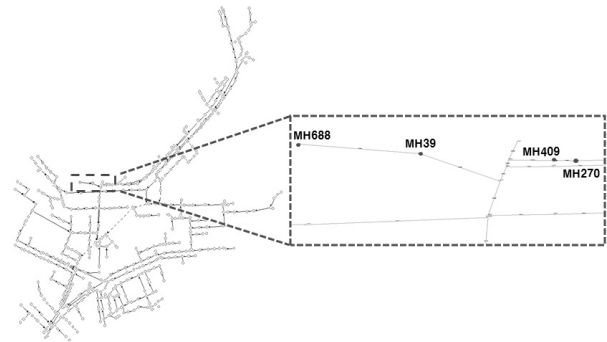


Fig. 5. Manhole Overflow Simulation Result of Shinchon

Table 3. Rainfall of Simulation

Time	Rainfall	Time	Rainfall	Time	Rainfall	Time	Rainfall
0:00	0	6:00	32	12:00	1	18:00	2
1:00	2.5	7:00	22.5	13:00	0.5	19:00	6
2:00	39.5	8:00	6.5	14:00	4.5	20:00	0
3:00	14.5	9:00	26.5	15:00	17.5	21:00	0
4:00	7.5	10:00	30	16:00	1	22:00	21.5
5:00	11.5	11:00	0	17:00	4.5	23:00	14.5

우량은 267.0 mm, 시간 최대 강우량은 39.5 mm이다.

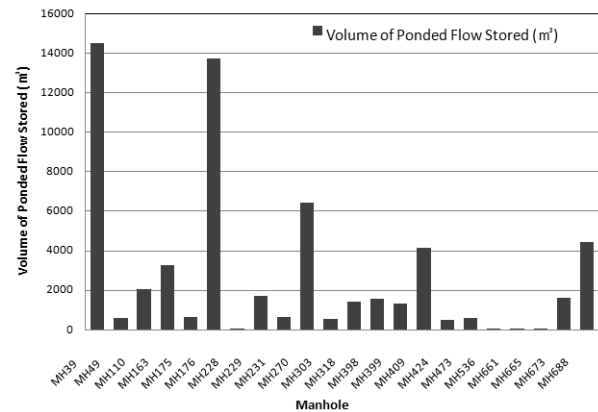


Fig. 6. Overflow Volume of Manhole

## 4. 관거 모의 결과 및 월류 저감 시나리오 분석

### 4.1 SWMM 관망 해석 결과

관거 월류 모의 결과 총 22개의 맨홀에서 월류가 발생하였으며 총 월류량은 59,900 m<sup>3</sup>으로 나타났다(Figs. 5 and 6). 월류가 나타난 맨홀 중 관망도 북쪽에 위치한 연세대 교차로 주변의 맨홀 4곳(Fig. 5, MH688, 39, 270, 409)에서 많은 양의 맨홀 월류가 발생하였고, 4곳의 맨홀을 주요 월류 맨홀으로 선정하였다. 해당 맨홀은 MH688과 MH39, MH270과 MH409를 연결하는 관거에서 우수가 직각으로 하나의 관으로 합류하여 우수의 원활한 배제가 어려울 것으로 판단되고, 월류된 우수가 지표면에서 신촌로터리까지 이어져 있는 도로를 따라 이동할 경우 노면수 집중으로 인한 저지대 침수에 영향을 줄 것으로 판단되어 주요 맨홀로 선정하였다.

### 4.2 관거 월류 저감 시나리오

주요 월류 맨홀로부터의 월류량은 총 29,553 m<sup>3</sup>이며, 월류된 우수의 흐름에 따라 노면수 집중으로 인한 저지대 침수가 예상되어 주요 맨홀의 월류수 저감을 위하여 설정한 시나리오를 Table 4에 나타내었다. 적용한 시나리오는 주요 맨홀에서 배출되는 우수의 양을 줄이기 위한 방안으로 주변 학교 운동장에 저류지를 설치하여 별도의 관거를 만들어 저류지로 우수를 우회, 저류할 경우 월류량

Table 4. Overflow Reduction Scenario

Scenario	Subject
Retention Pond	Installation 8400 m <sup>2</sup> , 4000 m <sup>2</sup> Retention Pond at near Ground
Sewer expansion	Expansion of MH409, 270 Sewer Connection
	Expansion of MH688, 39 Sewer Connection

저감효과를 분석하기 위해 저류지를 설정하는 방안과 맨홀을 연결하는 관거의 용량을 확보하고 원활한 소통을 위하여 관거를 확대하는 방안을 설정하였다.

먼저 저류지 설치 방안의 경우 인접한 관거로 분담되는 우수의 양에 위반되지 않도록 저류지로 연결되는 관의 구배 및 체원을 동일하게 하였고, 저류지의 깊이는 하루 맨홀의 관저고와 동일하게 지정하였다. 저류지는 앞서 선정한 주요 월류 맨홀이 위치한 관거의 상류에 위치한 학교 운동장에 각 관거의 우수를 우회하여 각각 약 8400 m<sup>3</sup>, 4000 m<sup>3</sup>의 설정하였고, Fig. 7에 주요 월류 맨홀의 위치와 가상의 저류지를 선정한 위치를 위성지도와 함께 나타내었다. 관거 확대 방안은 MH688과 MH39를 연결하는 관거와 MH270과 MH409를 연결하는 관거에 대하여 각각의 관거를 1 m로 확대하

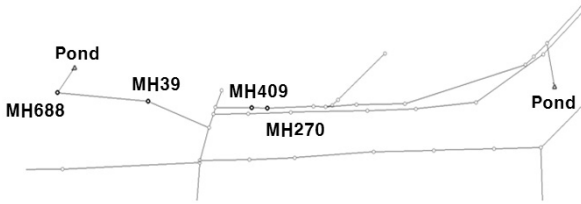
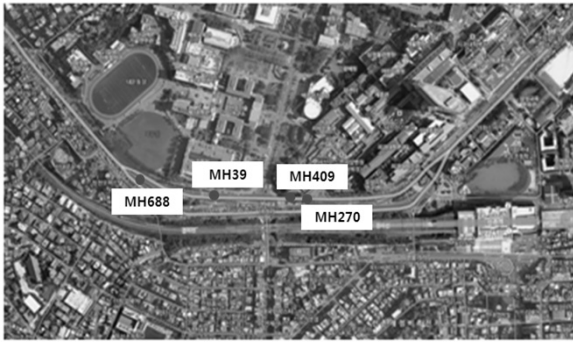


Fig. 7. Retention Pond Installation

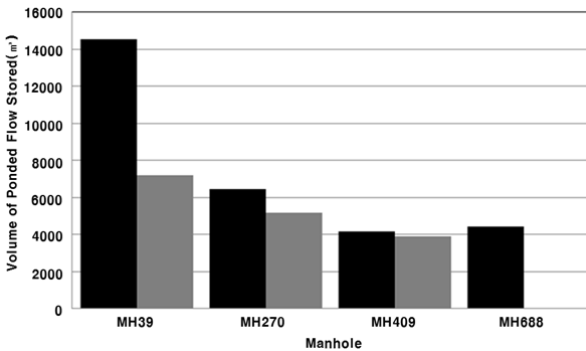


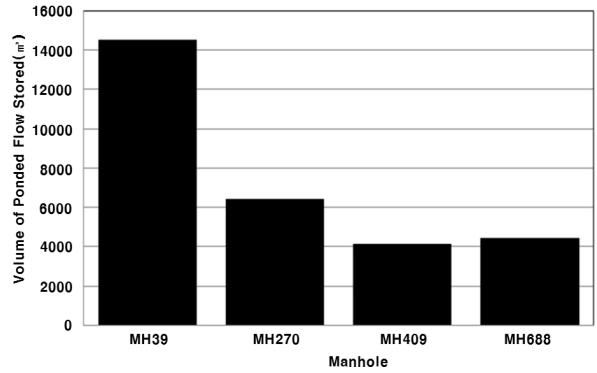
Fig. 8. Overflow Reduction by Retention Pond Instruction

여 배제를 효과적으로 할 수 있도록 설정하였다. 저류지 설치 후 4개의 주요 맨홀에서 총 월류량은 16,293 m<sup>3</sup>으로 약 45% 감소한 것으로 나타났고(Fig. 8), 주요 월류 맨홀을 연결하는 관거를 확대한 경우 각각의 관거를 확대하였을 때 18,980 m<sup>3</sup>, 10,590 m<sup>3</sup>으로 나타났다(Fig. 9).

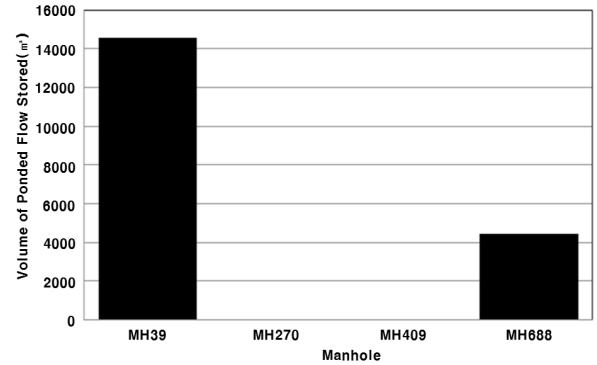
### 4.3 도로망 중심의 FLUMEN 침수모의 적용

SWMM 모형의 관거 월류 모의 결과를 활용하여 지표수의 흐름을 통한 침수모의와 월류저감 시나리오를 적용한 월류수의 저감효과와 침수면적변화를 확인하기 위해 비구조적 격자를 이용하여 마름/젓음 모의가 용이한 FLUMEN 모형에 적용하였다.

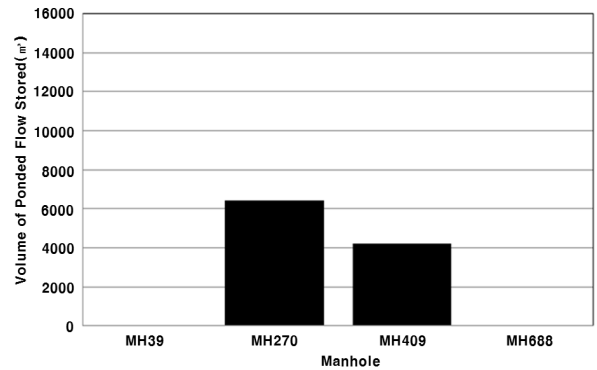
FLUMEN 모형 적용을 위해 신촌지역의 수치지도를 이용하여 지형을 삼각격자망으로 구축하였다(Fig. 10). 이때 맨홀에서 발생한 월류수가 지표면에서 도로를 통해 흘러 집중되는 현상을 확인하



(a) Before Expansion Conduit (29,553 m<sup>3</sup>)



(b) Expansion between MH270, MH409 (18,980 m<sup>3</sup>)



(c) Expansion between MH688 and MH39 (10,590 m<sup>3</sup>)

Fig. 9. Compared Expansion Effects in Sewer Overflow Volume

기 위해 건물을 배제한 도로망 중심의 격자를 구축하였으며, 구축된 지형의 표고분석 결과 SWMM 모의 결과를 통해 선정한 주요 월류 맨홀이 있는 북쪽지역과 동쪽지역이 상대적으로 높게 나타나 비교적 낮은 서쪽지역에서 우수의 집중으로 인한 침수가 예상된다(Fig. 11).

범람모형 적용결과 저감 시나리오를 적용하지 않은 침수면적은 2시 6분 0.927 m<sup>3</sup>, 3시 6분 162.469 m<sup>3</sup>, 4시 6분 699.831 m<sup>3</sup>, 4시 36분 1,030.627 m<sup>3</sup>으로 나타났다(Fig. 12).

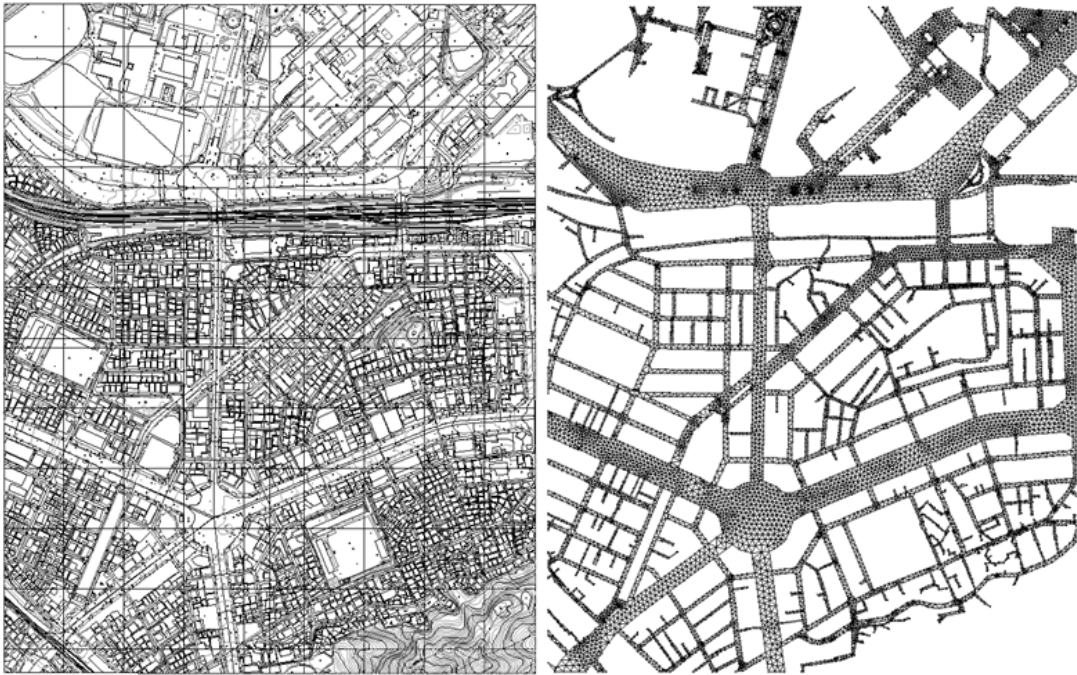


Fig. 10. Construct Triangle Mesh

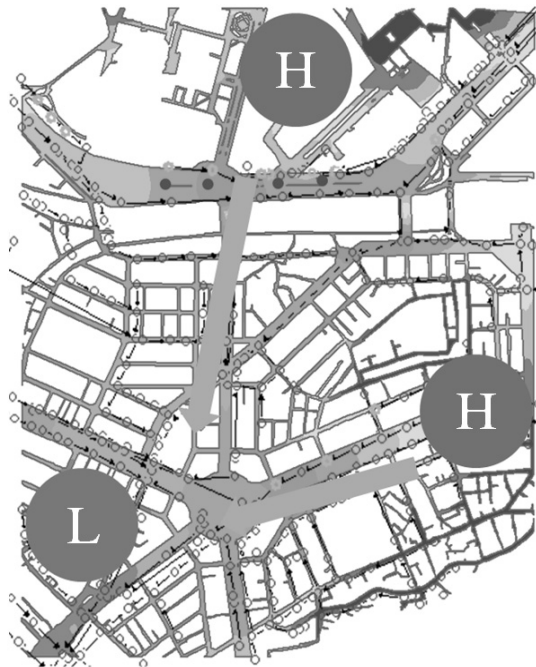


Fig. 11. Road Elevation Analysis

이때 침수면적은 적용된 강우인 2011년 호우시 발생한 침수사상보다 2010년의 침수사상과 비슷한 결과가 나타났는데, 이는 범람해석모형 적용시 주요맨홀로 선정한 4개의 맨홀의 월류량만 고려하였고, FLUMEN 모형이 노면수 흐름만을 고려하여 지면에서 관거로

재유입 되는 현상을 반영하지 못한 결과로 판단된다. 또한, 도로망을 중심으로 침수현상을 고려하여 지면의 경사를 따라 주요 맨홀에서 월류된 우수의 흐름이 시간의 경과에 의해 상대적으로 낮은 서쪽지역으로 흘러 우수의 집중에 의한 침수결과가 나타난 것으로

도시유출모형과 홍수범람모형을 연계한 내수침수 적용성 평가

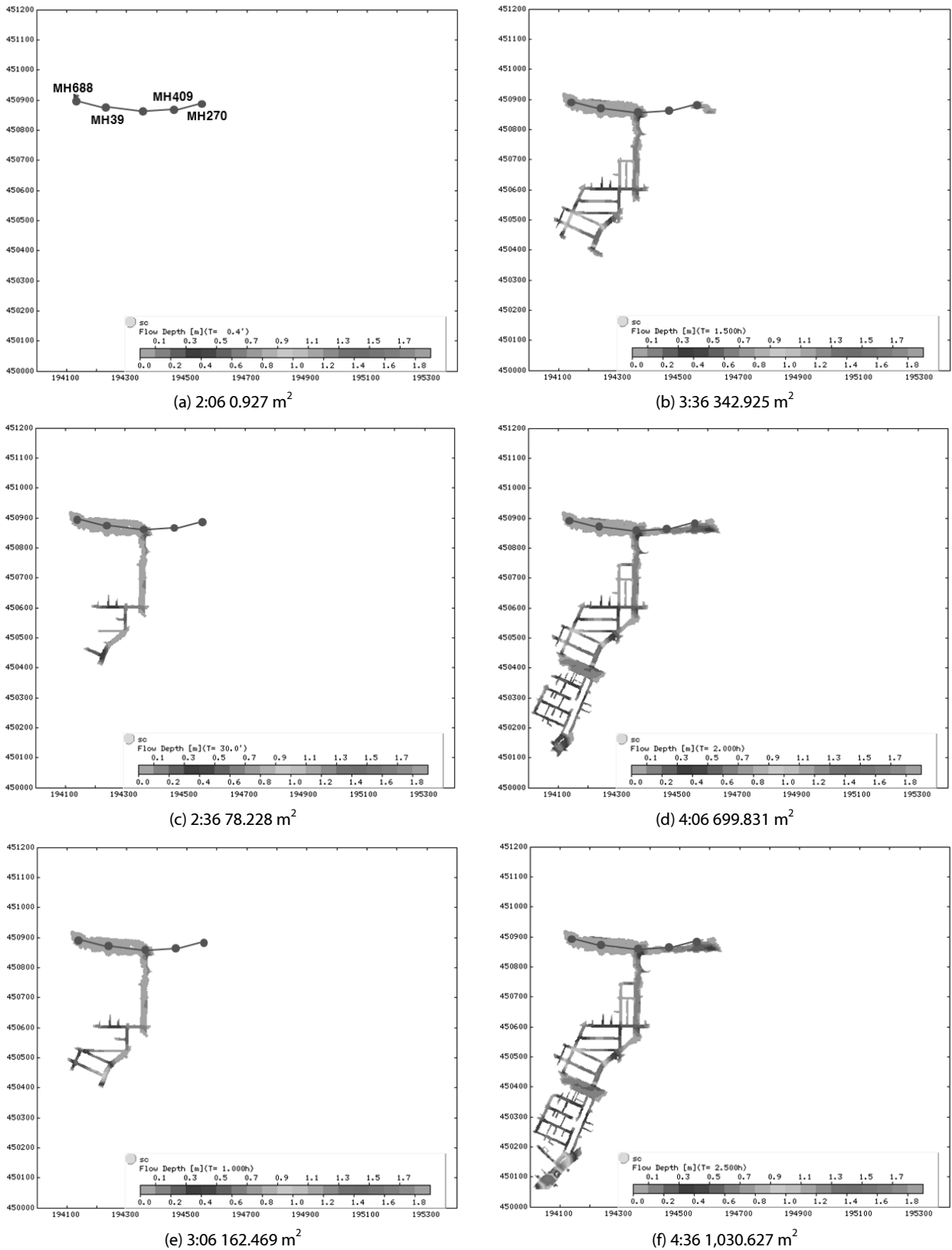
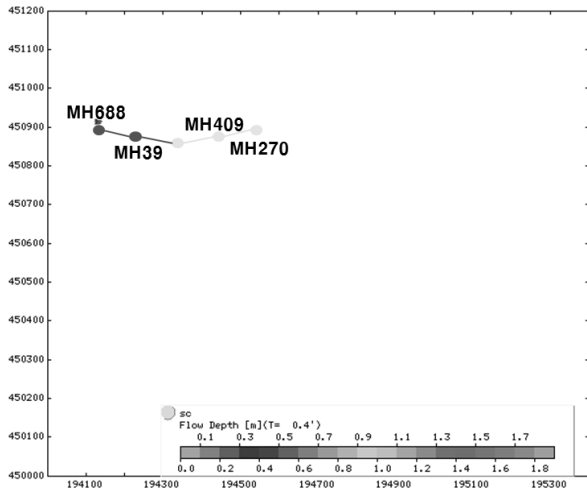
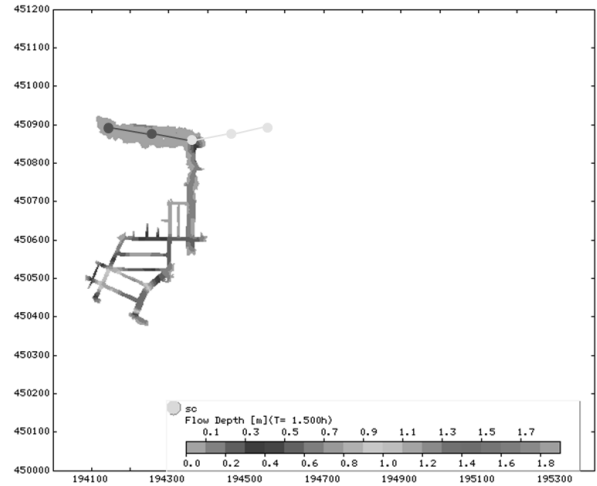


Fig. 12. Overflow Results of Major Manholes (Overflow Manhole [●])

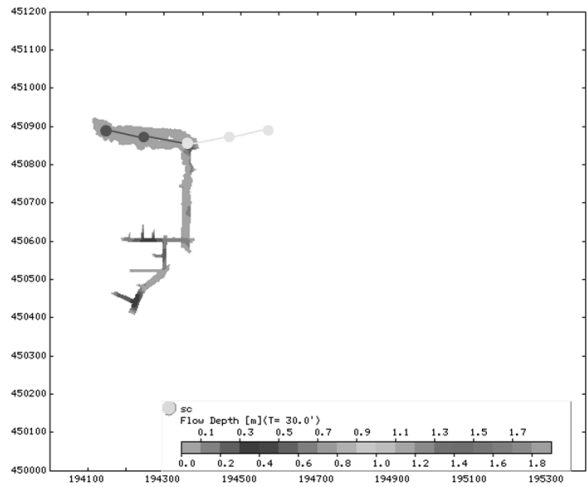




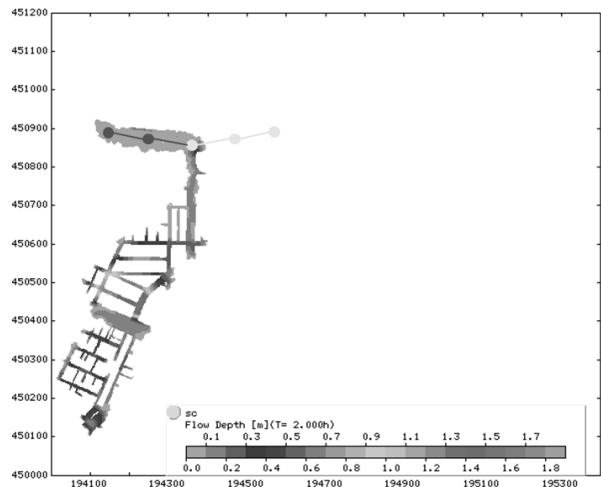
(a) 2:06 0.927 m<sup>2</sup>



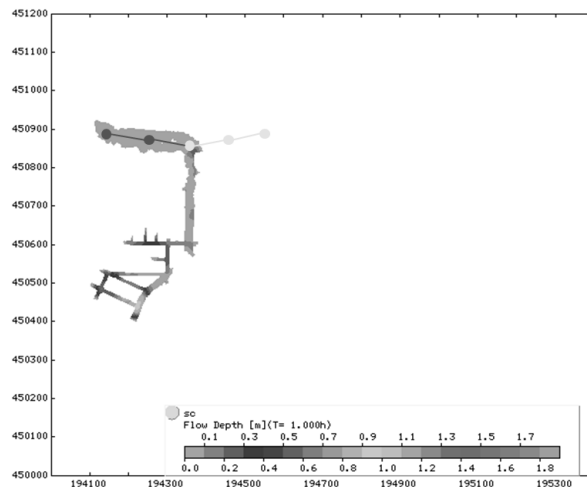
(b) 3:36 339.247 m<sup>2</sup>



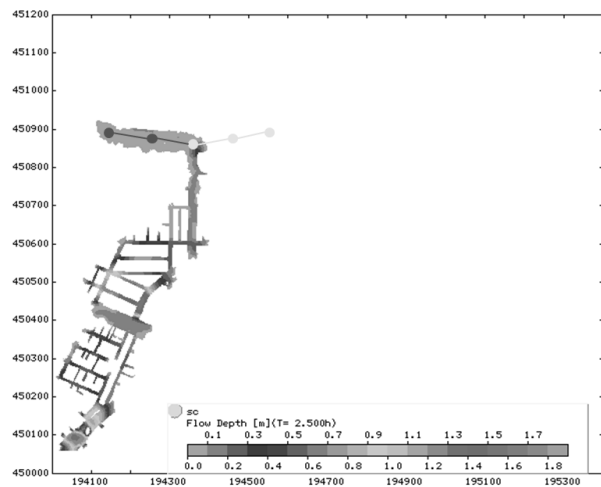
(c) 2:36 78.228 m<sup>2</sup>



(d) 4:06 608.346 m<sup>2</sup>



(e) 3:06 162.469 m<sup>2</sup>



(f) 4:36 828.182 m<sup>2</sup>

Fig. 13. Expansion of MH409, 270 Sewer Connections (Overflow manhole [●])

도시유출모형과 홍수범람모형을 연계한 내수침수 적용성 평가

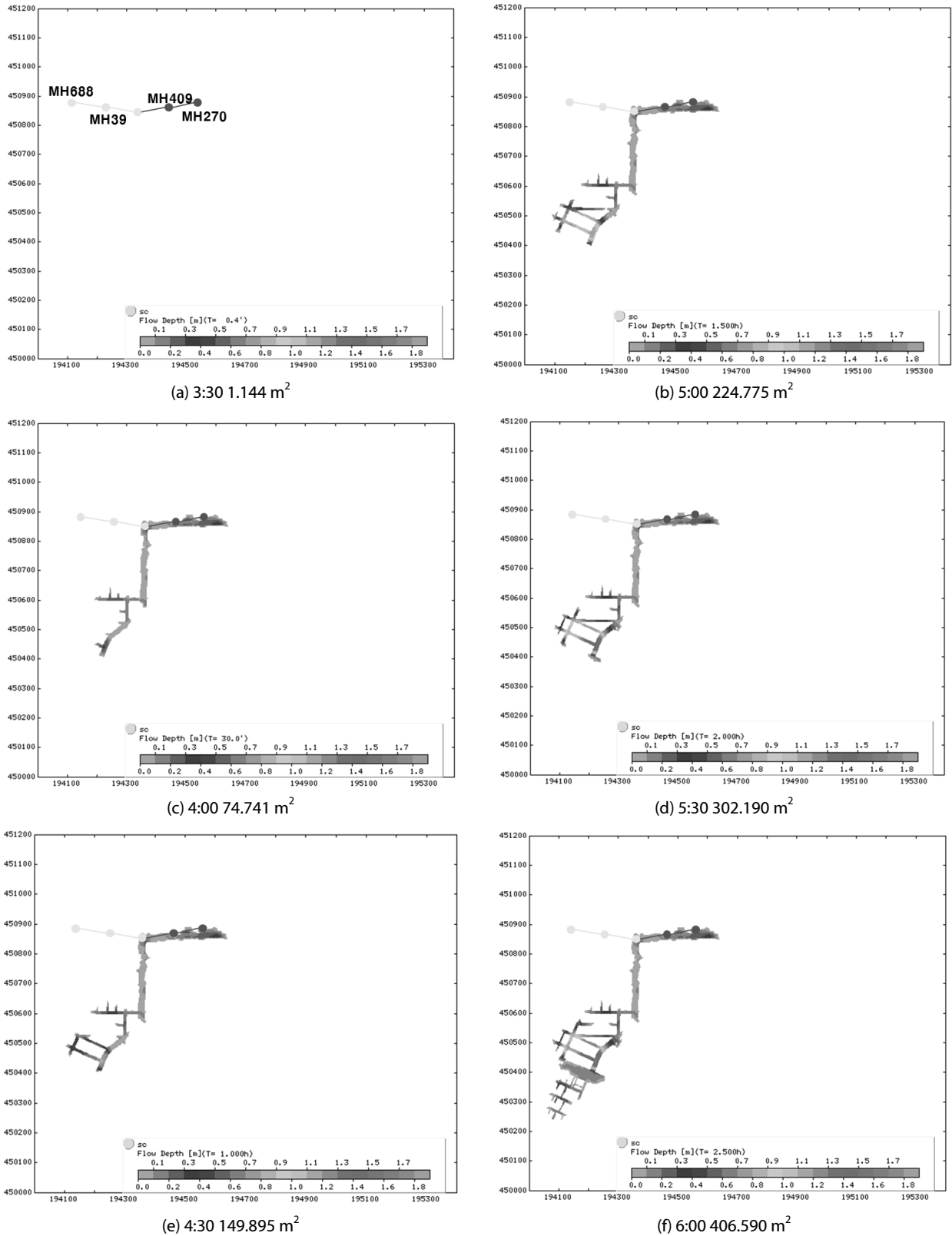


Fig. 14. Expansion of MH688, 39 Sewer Connection (Overflow manhole [●])

Table 5. Flooded area Result of Scenario

Scenario	Original condition	Expansion of MH409, 270 Sewer Connection	Expansion of MH688, 39 Sewer Connection
Flooded area	1,030.627 m <sup>2</sup>	828.182 m <sup>2</sup>	406.590 m <sup>2</sup>

판단된다.

또한, 월류수 저감을 위한 시나리오 중 관거 확대 시나리오에 대하여 FLUMEN 모의를 실시하였다. 관거 확대 시나리오 중 MH409 및 MH270을 연결하는 관거를 확대하였을 경우 2시 6분 0.927 m<sup>3</sup>, 3시 6분 162.469 m<sup>3</sup>로 같았으나, 4시 6분 608.346 m<sup>3</sup>, 4시 36분 828.182 m<sup>3</sup>으로 줄어들었다(Fig. 13). MH688, MH39를 연결하는 관거를 확대하였을 경우 최초 월류가 일어난 시간이 3시 30분으로 약 1시간 24분 가량 늦어졌으며, 3시 30분 1.144 m<sup>3</sup>, 4시 74.741 m<sup>3</sup>, 5시 224.775 m<sup>3</sup>, 6시 406.590 m<sup>3</sup>으로 나타났다(Fig. 14).

두 가지 월류 시나리오에서 월류 발생시간이 달라지는 것은 각각 맨홀으로 우수의 도달시간이 다르고 우수의 집중량이 다르기 때문인 것으로 판단되며, MH688, MH39를 연결하는 관거를 확대하였을 경우 해당 맨홀에서 월류되는 우수의 분출량이 줄어들면서 월류 발생시간과 월류에 의한 침수면적이 더 줄어든 것으로 판단된다.

## 5. 결론

도시유역에서의 침수피해는 인명 및 재산뿐만 아니라 사회기반 시설의 피해 등 생활에 직접적인 영향을 주고 있다. 이러한 피해들은 집중호우 등 홍수량의 배제를 우수관거에 의존하고 있는 도시유역의 배수체계 특성상 관거의 용량 부족 및 외수와 내수의 충돌로 인한 도심지 역류 등 내수배제 불량에 의한 피해는 더욱 빈번히 발생할 것으로 예상되며, 도시에서의 유출특성을 고려한 홍수의 정확한 예측이 필요하다. 본 연구에서는 도시유출모형과 비정형 격자로 구성된 범람해석모형을 사용하여 신촌지역의 집중호우 발생시 홍수배제 효율을 분석하였다.

(1) 도시유출모형인 SWMM모형을 이용한 관거해석 결과 관경이 좁아지는 경우, 다수의 관이 합쳐지는 경우 관거 저류량 부족으로 다수의 맨홀에서 월류가 발생하는 것으로 나타났으며, 월류된 우수의 지표 침수발생 모의를 위해 도시유출 모형인 SWMM 모형의 관거 해석 결과를 범람해석모형인 FLUMEN 모형에 적용하여 침수모의를 실시하였다. 침수면적은 2010년의 침수 사상과 유사하게 나타났으며, 이는 FLUMEN 모형을 도로망 중심으로 적용하였고, 관거로 재유입 되는 현상을 반영하지 못한 결과로 판단된다.

(2) 월류저감 모의를 위해 많은 양의 월류가 발생하고, 월류 발생시 도로를 통해 노면수집중을 일으킬 것으로 예상되는 맨홀을 주요 맨홀으로 선정하여 월류수 저감을 위한 시나리오를 설정하였다. 시나리오는 관거 주변에 8400 m<sup>3</sup>, 4000 m<sup>3</sup>의 저류지를 설치하는 방안과 관거의 저류용량 확보를 위해 주요 맨홀을 연결하는 관거의 관경을 1 m로 확대하는 2가지 방안을 설정하였으며, 저류지 설치의 경우 주요 맨홀에서 월류량은 29,553 m<sup>3</sup>에서 16,293 m<sup>3</sup>으로 약 45%, 관거 확대의 경우 각각 18,980 m<sup>3</sup>, 10,590 m<sup>3</sup>으로 36%, 64% 저감된 것으로 나타났다.

(3) 범람해석모형을 사용하여 관거확대에 의한 노면수 집중현상을 분석한 결과 침수면적은 1,030,627 m<sup>2</sup>으로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 월류수는 지표 경사를 따라 흘러 노면수 집중현상이 나타났다. 월류수 저감을 위한 관거 확대 시나리오 적용시 각각 관거 확대 시나리오별 침수면적은 828,182 m<sup>2</sup>, 406,590 m<sup>2</sup>으로 나타났고, MH688, MH39를 연결하는 관거를 확대하였을 경우 최초 월류가 나타난 시간이 3시 30분으로 약 1시간 24분가량 늦어졌으며, 침수면적이 약 61% 가량 감소되었다. 이는 월류량 저감효과로 저지대로의 노면수의 도달시간이 길어진 것의 영향으로 판단된다.

관거모의를 통한 월류 분출 맨홀에서의 월류량 분석과 범람해석 모형의 결과를 통해 도시유역에서의 모의에 적용할 경우 침수면적 및 침수심 분석에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 범람해석모형을 통한 건물과 도로를 고려한 내수배제 불량에 의한 영향 예측에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구개발사업의 연구비지원(13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

Beffa, C. (1994). *Praktische Lösung der tiefengemittelten Flachwassergerleichenungen*, Communication 133, Laboratory of Hydraulics, ETH Zürich (in Swiss).

Beffa, C. (2004). *FLUMEN User Manual*, Fluvial.ch, Switzerland.

Choi, J. H. (1993). *Analysis of urban runoff models for the design of detention ponds*, Master's Thesis, Kyonggi University (in Korean).

- Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*, McGraw-Hill.
- Huber, W. C. and Dickinson, R. E. (1988). *Stormwater management model, version 4: user's manual Ver. 2.1*, U. S. Army Corps of Engineers.
- Kang, T., Lee, S., Jung, T. and Oh, J. H. (2010). "Inundation analysis of suyong-mangmi lowland area using SWMM and FLUMEN." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, KOSHAM*, Vol. 10, No. 5, pp. 149-158 (in Korean).
- Lee, J. H. and Yeon, K. S. (2008). "Flood inundation analysis using XP-SWMM model in urban area." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, KOSHAM*, Vol. 8, No. 5, pp. 155-161 (in Korean).
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2006). *Bongwon river vasin river master plan report*, Technical Report (in Korean).
- Phillips, B. C., Yu, S., Thompson, G. R. and Silva, N. de. (2005). "1D and 2D modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW." *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark, August 2005, pp. 21-26.
- Seo, K. W. (1991). "Runoff characteristics analysis of urban runoff experiment catchment due to application of urban runoff models." *Journal of Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 24, No. 6B, pp. 521-528 (in Korean).