

# 하수관망을 고려한 마산지역의 침수·범람 모델에 관한 연구 Study of Inundation Flow Model Consider of Sewerage System in Masan

박남진<sup>1</sup>, 김명규<sup>2</sup>, 윤종성<sup>3</sup>

Nam Jin Park<sup>1</sup>, Myoung Kyu Kim<sup>2</sup> and Jong Sung Yoon<sup>3</sup>

## 1. 서 론

바다를 끼고 있는 마산지역은 매해 태풍 및 집중호우로 인하여 인명과 재산피해가 발생하고 있다. 특히, 2003년에 9월에 발생한 태풍 ‘매미’는 많은 강우를 수반하였고 게다가 만조시에 발생하여 그 피해는 더욱 컸었다.

매해 발생하는 이러한 재해를 방지하기 위하여 호안개수, 하천 준설, 연속제방 정비 등을 실시하여 외수 범람의 피해를 경감시키고 있다. 하지만 호우에 수반되는 도시지역의 저평지에 있어서 배수와 강우가 불규칙하게 기인한 내수 범람이 문제가 되고 있다. 내수 범람은 제내지의 강우를 하천 등의 제외지로 배수하지 못하고, 제내지에 머무는 것으로 발생한다. 이것은 하천이나 바다로 향하는 우수관의 수위가 집중호우와 태풍으로 인한 하천 및 바다의 수위상승으로 인하여 배수를 할 수 없게 되어서 그렇다고 생각할 수 있다.

우리나라의 하수도 정비 계획은 20년을 주기로 실시하고 있으며 계획우수량의 확률년수는 5~10년으로 하고 있다(환경부, 2008). 하지만 근래의 강우강도는 과거보다 증가추세이고 태풍이나 집중호우로 인하여 도시침수 피해가 발생되고 있는 등, 전국 각지에서 내수 범람이 많이 발생되고 있다. 내수 범람의 대책을 강구하기 위해서는 해저드 램의 작성이나 정비, 하수도 등의 정비가 필요하고 이를 위해서 적절한 우수 배수의 과정을 Model화 하고, 태풍이나 집중호우시 범람수의 거동을 상세하게 파악하는 것이 필요하다.

마산 지역은 바다를 끼고 있고 저평지에 위치하여 내수 범람의 피해가 발생하기 쉬운 지역 중 하나이다. 때문에 이에 대한 재해 대책을 수립할 필요가 있다.

본 연구는 2003년 9월에 발생한 태풍 ‘매미’ 때의 해일고 및 강우강도가 하수관으로 흐르는 과정을 상세하게 재현하는 것으로 하여 실제 침수면적과 계산치의 결과를 비교한다.

## 2. 수치계산

### 2.1 사용 모델

직교좌표계(Cartesian Coordinate System)에서는 불규칙한 흐름이 발생하면 그 흐름의 경계 및 형상을 표현하기가 어려웠다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 유한요소법(Finite Element Method)이나 유한체적법(Finite Volume Method)같은 수치모의기법들이 개발되어 비구조격자체계를 구성하여 더 정확하게 경계 및 형상을 표현할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 도로와 건물 등이 집중되어 있는 도심지역을 대상으로 하고 있기 때문에 불규칙한 흐름을 잘 재현할 수 있는 비구조격자모델을 사용한다.

### 2.2 마산시의 모델화

본 연구에서 2003년 9월 11일 00시부터 2003년 9월 13일 15시까지의 1분 간격의 해일고와 동일시간의 시간당 강우 데이터(기상청, 2003)를 이용하여 계산을 실시하였다. 계산 영역

1 발표자: 인제대학교 토목공학과 석사과정

2 인제대학교 토목공학과 박사과정

3 인제대학교 토목공학과 교수

대상은 Fig.1에 나타내는 마산시이다. 총 4,776개의 격자와 1,022개의 하수도망으로 구성되어 있으며 지상부의 해석격자를 시가지 격자, 도로 격자, 경작지 격자의 4개의 속성으로 분류하고 각각의 격자에 있어서 조도계수는 시가지 격자는 0.043, 도로 격자는 0.025, 경작지 격자는 0.067로 정의하였다. 또, 하수도관거내에서는 조도계수를 0.015로 동일하게 하였고 하수도단면은 직사각형으로 가정하였다(Kawaike and Nakagawa, 2007).

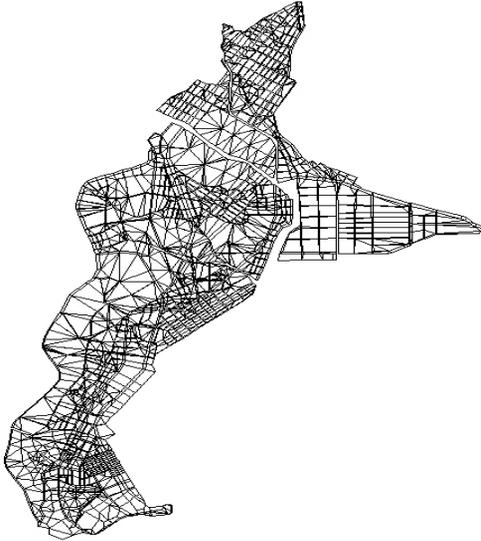


Fig. 1. 수치계산 대상 지역의 격자망도

### 3. 이 론

#### 3.1 지상부 해석

지상의 평면 2차원 해석에는 비구조격자모델을 사용한다(Kawaike et al, 2002).

<연속식>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r_e - q_{sew} + q_{up} \quad (1)$$

<운동량식>

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 M, N : x, y 방향의 유량 플럭스,  $r_e$  : 유효 강우량, h : 수심,  $q_{sew}$  : 지상에서 하수도로 흐르는 우수배수유량,  $q_{up}$  : 하수도의 역류유량, H : 수위, u, v : x, y 방향의 유속, g : 중력가속도, n : Manning 조도계수이다.

지상의 범람해석을 해석하기 위해서는 기본적으로 위의 식을 사용하지만 범람수가 불연속일 때에는 이웃하는 두 격자의 지반고와 수위와의 관계를 결정하여 다음과 같은 식을 사용한다.

<완전월류>

$$M_0 = \mu_1 h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (4)$$

<단락식>

$$M_0 = \mu_2 h_h \sqrt{gh_h} \quad (5)$$

여기서  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  : 유량계수이며 각각 0.35, 0.544로 한다.

#### 3.2 하수도 해석

하수관로의 흐름은 연속식과 운동량식을 이용하여 역학적으로 해석하고 하수도가 관거인 것을 고려하여 Preissman의 슬롯모델을 도입한다(Watanabe et al, 1989). 이 모델은 관로의 정부에 가상의 슬롯을 성립시켜 관로 흐름에 개수로와 같은 기초식을 이용하여 계산하는 방법이다. 하수도의 단면적 계산을 편이하게 하기 위해서 직사각형 단면으로 가정하였다. 하수도의 기초식은 다음과 같다.

<연속식>

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q}{\Delta x} \quad (6)$$

<운동량식>

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} = -gA \frac{\partial H_p}{\partial x} - \frac{gn^2 Q Q}{R^{4/3} A} \quad (7)$$

여기서 A : 단면적, Q : 유량, q : 옆유입 유량,  $\Delta x$  : 하수관 격자길이, u : 유속, R : 경심,  $H_p$  : 수위, h : 수심이지만 수심 h는

$$h = \begin{cases} A/B & : A \leq A_p \\ B' + (A - A_p)/B_s & : A > A_p \end{cases} \quad (8)$$

구한다. 여기서 B : 하수도 단면을 직사각형으로 가정했을 때 관로의 폭,  $B'$  : 관로의 천정고,  $A_p$  : 관로의 단면적,  $B_s$  : 슬롯폭이다.

그리고 하수관중의 흐름을 계산할 때는 하수관의 관저고와 수위와의 관계를 이용하여 다음의 율류공식과 단락식으로 유량을 구한다.

먼저 하수관의 관저고가 수위보다 높은 경우 다음의 단락식으로 유량을 구한다.

<단락식>

$$Q = \mu_2 B h_1 \sqrt{g h_1} \quad (9)$$

다음으로 하수관의 관저고가 수위보다 낮은 경우 다음의 율류공식으로 유량을 구한다.

<율류공식>

$$Q = \mu_1 B h_d \sqrt{2g h_d} \quad (10)$$

여기서 B : 수로폭,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  : 유량계수이며 각각 0.35, 0.544로 한다.

#### 4. 결 과

Fig. 2는 실침수혼적도와 수치계산 Peak치의 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 침수혼적도와 수치계산의 결과가 비교적 잘 일치하지만 약간의 오차가 나는 것을 확인할 수 있는데 이것은 실제 지형의 지반고가 수치계산시 gridding한 지형의 지반고와의 미소한 차이, 그리고 격자 구성시 조도계수의 설정이 난이한 부분 때문이라고 사료된다.

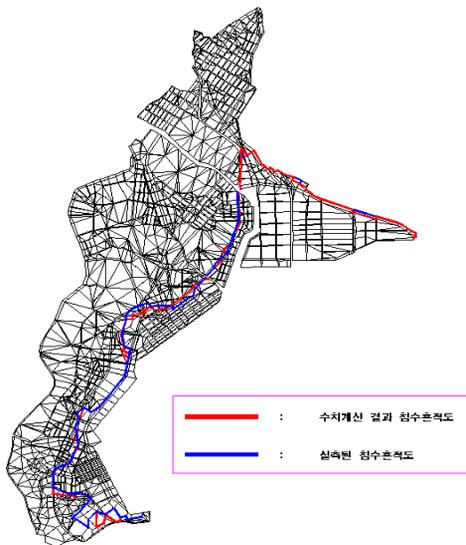


Fig. 2. 수치계산 결과 침수혼적도와 실침수 혼적도와의 비교

#### 5. 결 론

본 연구에서는 하수관거를 고려한 침수, 범람 모델을 구축하여 2003년 9월에 발생한 태풍 ‘매미’ 때 마산시의 침수 피해를 대상으로 하여 수치해석에 의한 재현계산을 실시하였다. 그 결과, 해안선 근처의 지역은 대체적으로 지반고가 낮고 호안시설 및 제방시설 등의 설치가 미흡하여 침수가 일어나기 쉽다는 것을 알 수 가 있었다. 특히 태풍 ‘매미’는 만조시에 발생하여 바다의 수위가 여느 태풍 때보다 더 높아져 그 피해는 더욱 컸다는 것을 알 수 있었고 강우와 하수관거가 범람수에 어느 정도의 영향을 미치는가를 알 수 있었다. 그렇지만 본 연구에서 취급하지 않은 맨홀의 영향이나 격자의 구성시 정확한 지반고를 얻기 위해서는 실측이 필요하고, 좀 더 정밀한 하수관거의 을 얻기 위하여 하수관의 시스템을 자세하게 알 필요가 있다.

#### 참고문헌

기상청. (2003). <http://www.kma.go.kr/>.  
 환경부. (2008). 하수도법  
 Kenji KAWAIKE and Hajime NAKAGAWA. (2007). Flood Disaster in July 2006 in the Matsue City Area and its Numerical Modeling, Proc. of 32nd Congress of IAHR.  
 渡辺政広, 江藤剛治, 室田明. (1989) 取付管の調圧効果を考慮した下水管網内の遷移流計算法. 土木學會論文集, No.411/II-12, pp.81-90.  
 川池健司, 井上和也, 林秀樹, 戸田圭一. (2002). 都市域の氾濫解析モデルの開発. 土木學會論文集, No.698/II-58, pp. 1-10.