

건물 및 우수 배제를 고려한 시가지 범람해석

Urban Flood Simulation Considering Building and Sewer Lines

강상혁*

Kang, Sang-Hyeok

Abstract

In densely urban areas, features such as the sewer system, buildings and river banks have an effect on flow dynamics and flood propagation, and will therefore be accounted for in the model set-up. While two-dimensional (2D) flood models of urban areas are at the forefront of current research into flood inundation mechanisms, they are however constrained by inadequate parameters of topography, and insufficient and inaccurate data. In this study, an urban flood model (overland flow, 2D urban flood flow and sewer flow) was combined and applied at Samcheok city which was damaged by inundation in 2002, in order to simulate inundation depth. The influence of buildings and pumping capacity was also analyzed to estimate the inundated depth in the study area. As a result, it was found that urban inundated depth are affected by pumping capacity directly and it increased about 20-30 cm on most of the modeled area with a building share rate of 0.2-0.6 per unit grid

Keywords : *drainage system, building, urban 2D flow, numerical simulation*

요 지

밀집도시에서 하수도, 건물, 제방 등과 같은 형상은 흐름이나 범람류의 전파에 영향을 미치므로 이러한 요소들은 도시지역의 범람 모델을 구축하는데 있어서 고려되어야 할 것이다. 도시지역의 2차원 범람모형은 현재 홍수범람 분야에서 가장 중요하게 적용되고 있지만, 이러한 모형은 지형적인 부정확한 변수 및 부정확하고 불충분한 자료 때문에 매우 제한적인 모델이라 할 수 있다. 본 연구에서는 시가지 침수심을 모의 계산하기 위해 유역 유출 모형, 2차원 시가지 모형 그리고 하수도 모형을 통합하여 2002년 침수피해를 입은 바 있는 삼척지역에 적용하여 건물 및 배수 펌프용량이 침수심에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 그 결과 침수심은 배수용량에 직접적으로 영향을 받으며 또한 0.2-0.6 범위의 건물 점유율에 대한 침수심은 약 20-30 cm가 증가되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 우수 배제시스템, 건물영향, 도시 2차원흐름, 수치모의

1. 서 론

최근 도시 지역에서 1시간 당 50 mm 또는 100 mm를 초과하는 호우가 각지에서 관측되고 있다. 이에 따라 하천 제방의 파괴에 따른 시가지 범람이라든가 내수범람에 따른 침수피해의 위험성이 증가하고 있다. 제내지에서 침수 피해를 유발하는 주요 요인으로써 우수 배제 시설의 배수펌프 기능을 들 수 있다. 배수 시설의 펌프 능력이 그 기능을 충분히 발휘한다면 침수피해를 방지하거나 단기간의 침수로 그 피해를 최소한으로 줄일 수 있으나 하수도의 배수 능력을 상회하는 범람 유량이 발생하면 심각한 침수 피해가 발생하게 된다. 이러한 침수 과정은 하수도 배제시설의 기능 외에 하천 제방 파괴에 의한 하천 범람수의 유입, 제내지에서의 강우 규모, 그리고 시가지의 지형특징 등이 복잡하게 작용하여 발생하므로 그 재현성 및 예측이 쉽지 않다.

이와 같은 배경으로 시가지의 침수 재현성에 대한 연구가

국내외적으로 진행되어 왔다. 국내의 연구로는 기존 범용 소프트웨어와 지리정보시스템을 연계한 연구가 활발하게 수행되고 있으며(이주현 외, 2003; 이창희 외, 2006) 유재홍 등(2005)은 ILLUDAS모형과 외수 침수모형을 연계한 내, 외수 범람 모형을 개발하여 구리시에 적용한 바 있다. 이종태 등(2006)은 연도별로 지금까지 국내에서 진행된 각종 침수모형에 대한 적용 사례를 정리한 바 있다. 더 나아가 강상혁(2008) 등은 수치 모형의 입출력 자료 생성의 반복성과 이 과정에서 생길 수 있는 에러를 줄이기 위해 GIS 상에서 직접 해석 대상지의 지형정보를 취득하여 코딩하는 2차원 시가지 범람모형을 개발하여 침수지역에 적용한 바 있다.

국외의 시가지 범람에 대한 선구적인 연구로는 Takahashi et al.(1983)의 연구를 들 수 있다. 이들은 수리 모형 실험을 통하여 시가지의 장애물 배치 형상, 파제점의 경사 등이 침수심에 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 Sagara et al. (2004)은 지선 하수도 망을 고려한 시가지 모형에서 하

*정회원 · 교신저자 · 한라건설(주) 기술연구소 차장 (E-mail : kang7231@hanmail.net)

수도의 우수 배제 용량을 고려한 침수 해석을 수행하였다. 최근에는 시가지의 침수 모형의 유용성에 있어서는 정확하고 신속한 지형정보의 습득이 중요함에 따라 on line상에서 지형정보(주로 DEMs)를 직접 취득하여 범람모형에 적용하게 이르렀다(Sanders, 2007).

그러나 이와 같은 각종 소프트웨어를 이용한 연구의 진전에도 불구하고 도시 지역에 있어서 경우에 따른 유출, 호우에 의한 내수범람의 프로세스, 그리고 하수도 범람수의 배수과정에 의한 침수현상 등 “도시지역의 제반적인 특징을 고려한 호우범람 현상”을 시간적, 공간적으로 일괄 처리할 수 있는 수치모형은 큰 진전을 보이지 않고 있다(Hosoyamada, 2005; Kawaike와 Nakagawa, 2007). 도시의 범람 수치모의는 하천 홍수 해석과는 달리 건물, 하수도 및 하천경계 조건의 처리 등으로 복잡할 뿐만 아니라 모형구축에 많은 시간을 필요하게 되므로 아직 활발하게 논의되지 않고 있다. 건물의 영향을 고려하기 위해 건물의 밀집도에 따른 조도계수를 적용하여 구조물에 작용하는 유체력을 고려하는 방법이 주로 이용되고 있으나 이 경우 조도계수 산정에 대한 근거가 불분명하다는 한계를 가진다(Inoue *et al.*, 1999; Nakagawa *et al.*, 2004).

이러한 선행연구의 인식으로부터 본 연구에서는 먼저 하천 하류단의 경계 유입유량의 산정, 시가지 특징을 고려한 2차원 범람모형 구성, 그리고 건물의 영향 및 하수도 배제시스템을 고려한 유체 흐름의 연속성과 운동방정식을 만족한 시가지 범람 통합 모형을 구축하였다. 구축된 통합모형은 2002년 태풍 루사에 따른 집중호우 발생 시 시가지 침수 피해를 입은 바 있는 삼척시를 대상으로 시가지 특징을 고려한 침수현상의 재현, 건물 및 하수도 시스템이 침수에 미치는 영향 등을 정량적으로 평가하였다.

2. 유역 및 침수현황

연구 대상지역인 강원도 삼척 지역은 2002년 태풍 루사에



Fig. 1 Inundated situation of study area during the flooding of 2002 (□: outlet of sewer line)



Fig. 2 A field investigation of inundated depth during the flooding at Samcheok City

의해 심각한 피해를 입었다. 태풍은 2002년 8월 31일 늦게부터 9월 1일 새벽까지 24시간 동안 평균 579 mm/day의 호우를 가져와, 3,639채의 가옥 피해와 200 ha의 경작지 범람, 그리고 13명의 인명피해를 유발시켰다. 더욱이 2003년도에 같은 지역에 심각한 피해를 입힌 바 있다. 계속되는 재해는 지역 주민을 고립시키고 개인과 공공시설을 마비시켰고 홍수방어로부터 홍수관리로의 중요성을 인식시키는 계기가 되었다. 연구대상 하천의 최근 평균강우(1987-2003)는 1,350 mm이나 2002년 태풍 루사의 경우 이 평균 강우의 42%가 단 몇 시간만에 집중적으로 내렸다. 그림 1은 2002년 태풍 5호 루사로 인한 집중 호우 당시 삼척시 외곽 지역의 침수현황을 나타내고 그림 2는 시가지가 침수되었을 당시의 침수 흔적 수심을 기록한 한 예로써 이러한 자료는 본 적용모형의 검증에 이용되었다.

3. 모형의 구성

시가지의 하천범람에 따른 도시 내 침수 현상을 재현하기 위해서는 유역으로부터 제방 파제점까지의 유역유출량(하류 경계조건), 제내지의 하천범람 그리고 지상과 하수도 시스템과의 상호 교환 현상을 고려한 모형의 통합화가 필요하다. 본 연구에서는 그림 3에 나타낸 바와 같이 먼저 이들 3개 모형의 통합화를 시도하였으며 나아가 우수 배제시설(배수펌프장)에 따른 영향을 고려하고자 하였다.

3.1 유역모형

강우에 따른 유역으로부터의 유출은 산지 사면류와 하도류로 구성하였다. 지배방정식은 운동학 파동 모형에 기초를 두고 다음과 같이 계산을 수행한다.

사면류:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q'}{\partial x} = r_e \quad (1)$$

$$q' = \alpha h^m \quad (2)$$

여기서, x 는 일차원공간 좌표, t 는 시간; q' 은 경사면에서

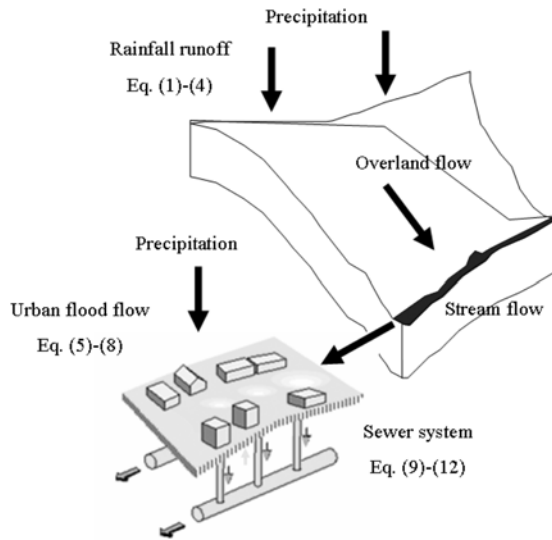


Fig. 3 Concept of integrated urban flood model

단위폭당 유출량, 즉 r_e 는, 유효강우, h , 수심, α 및 m 은 흐름의 파형에서 결정되는 상수로 다음과 같이 구한다.

$$\alpha = \frac{\sqrt{i}}{N}, \quad m = \frac{5}{3} \quad (3)$$

여기서, i 는 사면 구배, N 은 사면의 조도계수

하도류:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_s}{B} \quad (4)$$

여기서, q 는 산간계류의 단위 폭당 유출량, q_s 는 경사면의 단위폭당 측면유입량; B 는 산간계류의 폭으로 하도 경사로부터 측면유입량은 Leap-Frog 방법을 사용한 유한차분에 의해 계산된다.

3.2 제내지 모형

제내지의 홍수 범람 모형을 구성하기 위해서는 건물 및 하수도의 집수구역 등과 같은 경계조건을 모형에 반영할 필요가 있다. 기존의 연구에 있어서 건물의 처리는 조도계수를 크게 하거나 일률적인 값을 부여하는 방법을 취하였다 (Inoue *et al.*, 1999). 그러나 이와 같은 방법은 도시화의 진행과 조도계수와의 관계가 명확하진 않기 때문에 이에 대한 적절성을 평가하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 건물과 같은 구조물의 영향을 고려하기 위해 점유율과 통과율의 파라미터를 도입하였다. 기본 방정식인 연속식과 운동방정식은 다음과 같다.

연속식

$$(1-\lambda) \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M^*}{\partial x} + \frac{\partial N^*}{\partial y} = r_e + \frac{\Sigma k(q_0 \cdot \Delta x)k}{A} - \frac{Q_{out}}{A} \quad (5)$$

x방향의 운동방정식

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (6a)$$

y방향의 운동방정식

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (6b)$$

여기서 λ 는 단위 격자당 건물이 차지하는 비율을 나타내는

건물의 점유율, u 와 v 는 각각 x 및 y 방향의 깊이방향에 대한 평균유속이며, M 은 uh , N 은 vh 로써 x , y 방향의 유량플럭스를 나타낸다. $M^* = \beta M$, $N^* = \beta N$ 으로 보정된 유량 플럭스, β 는 통과율, 즉 $\beta_{i,j} = \sqrt{1 - \lambda_{i,j}}$ 으로 나타낸다. q_0 는 하천으로부터 제내지로의 범람유량으로 다음과 같이 산정한다.

$$q_0 = \mu h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (7)$$

여기서, μ 는 계수로 0.35가 주어졌으며 $h_1 = H_r - H_0$ (H_r 은 하천수위, H_0 는 제방고), k 는 각 격자별로 월류하는 월류계산 지점, A 는 격자면적, Q_{out} 은 각 격자로부터 하수도로 배제되는 우수유량으로 다음과 같이 산정한다. 먼저 임의의 격자 m 에는 지선하수도에의 최대배수능력 Q_m 을 고려하면 Q_m 은 배수간선 하수도의 설계 유량 q_l 를 그 간선에 배수되는 격자의 면적에서 배분하도록 다음과 같이 고려한다.

$$Q_m = \frac{A_m}{K_l} \sum_{k=1} A_k \quad (8)$$

여기서 I 는 격자 m 에 해당하는 간선하수도, K_l 는 간선하수도 I 에 배수하는 격자수, A_k 및 A_m 는 각각 k , m 의 면적이다.

3.3 하수도 배수 시스템

하수도 배수는 우수가 도로면 우수받이로 유입되어 하수도 관을 거쳐 배수펌프장에서 제외지로 배수되는 과정으로 하수도 내 흐름은 다음과 같이 1차식으로 고려하였다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} = gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 |Q| Q}{R^{4/3} A} \quad (10)$$

여기서, A 는 흐름의 단면적 Q 및 q 는 각각 유량 및 측방 유입량, u 는 유속, H 는 수위($H=h+z$), z 는 파이프의 표고, h 는 다음과 같이 정의된다.

$$h = \begin{cases} \frac{A}{B}; (A < A_p) \\ B' + \frac{A - A_p}{B_s}; (A > A_p) \end{cases} \quad (11)$$

B 는 파이프 폭, A_p 는 파이프의 단면적 B' 는 파이프 천정의 높이 B_s 는 슬롯(slot)의 폭. 하수도 배제에 따른 입력자료의 속성은 캐드자료로부터 추출하여 그림 4와 같이 그리드로 변환하여 간선, 지선의 하수도망을 구성하였다.

제내지에서 범람수를 움직이기 위한 최소수심은 0.001 m로 하였고 도로면의 우수받이로부터 하수구에의 유입 등 경계 조건의 유입수는 다음의 월류 유량식을 이용하였다. 즉 단위 폭당유량 M_0 는 식 (12)와 같이 구하였다(Thang *et al.*, 2004).

$$M_0 = \mu h_h \sqrt{gh_h} \quad (12)$$

여기서, $\mu = (2/3)^{3/2}$ 을 이용하였다(Nakagawa *et al.*, 2004).

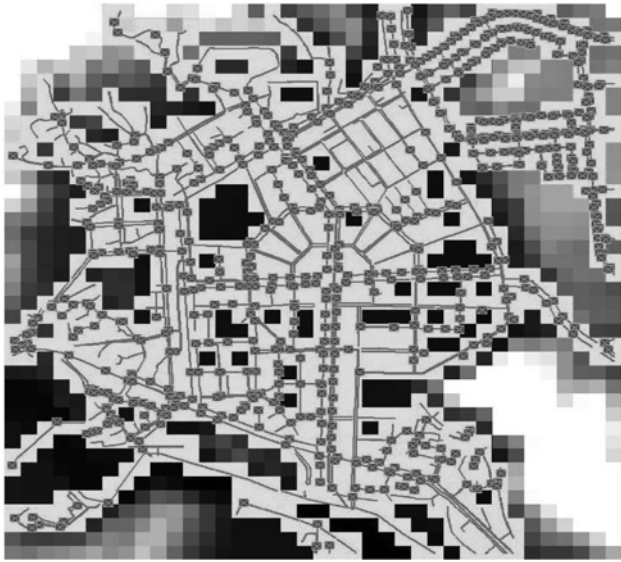




Fig. 4 Sewer lines of the study area in each grid ( : manhole,  : sewerline)

4. 모형의 적용 및 고찰

본 연구의 대상 영역은 그림 5에 나타난 바와 같이 시가지는 대부분 표고 10 m 내외이며 외곽은 낮은 산지로 형성되어 있는 분지형 도시이다. 시가지 남단은 지방 하천인 오십천이 외곽을 통하여 동해로 유입되고 있다. 2002년 태풍 루사에 의한 집중 호우 당시 시가지 일부구간은 100년 빈도의 수위로, 시가지를 벗어난 상류지역은 80년 빈도의 수위로 제방고가 설정되어 있었다.

4.1 계산 조건

본 프로그램에 들어가는 입력 자료들을 시가지 표고 값, 시간당 강우량, 건물의 점유율, 하수도 망 등이고 이 밖에 침수영역, 제방의 유무 등이 계산 영역의 경계 값으로 주어졌다. 입력자료 제어파일은 침수심 계산의 주 프로그램에 들어가는 각종 입력 데이터들과 결과출력을 제어하고 모형의 계산수행을 위한 경계조건 등을 제공하는 과정 등을 일괄적

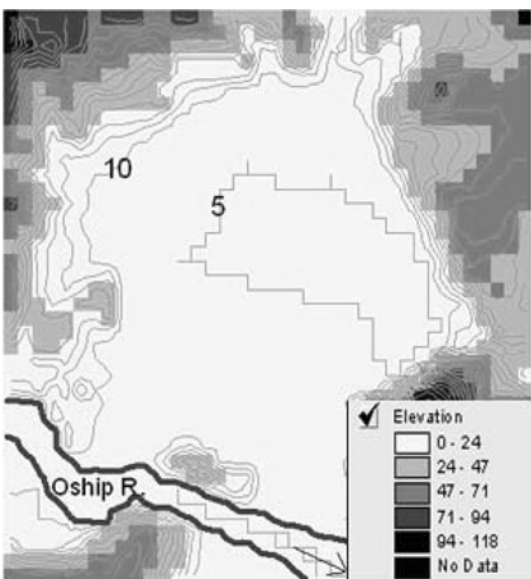


Fig. 5 Elevation in study area with contour lines

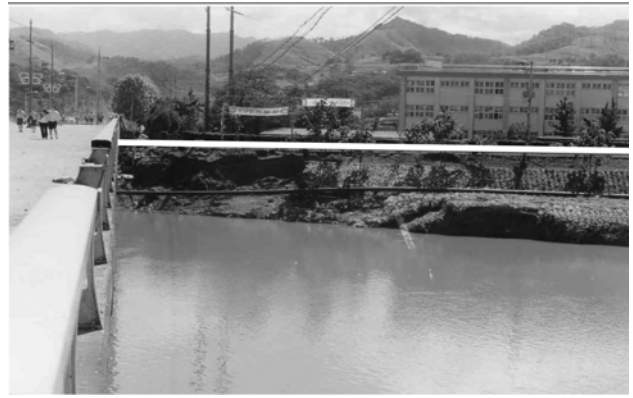


Fig. 6 Historical water stage mark (white line) on 31 August 2002

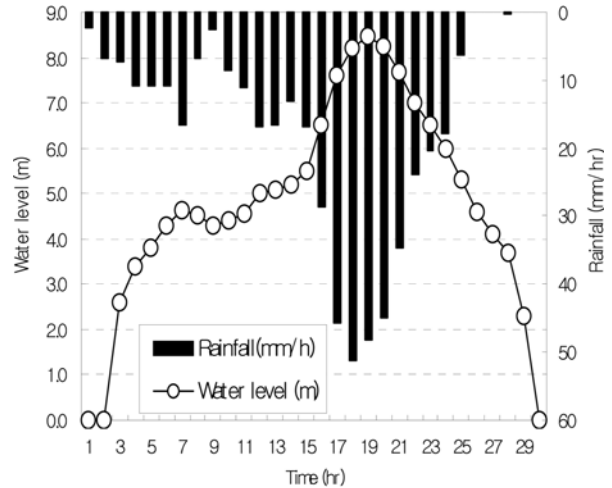


Fig. 7 Water stage hydrograph as boundary condition at bank break point

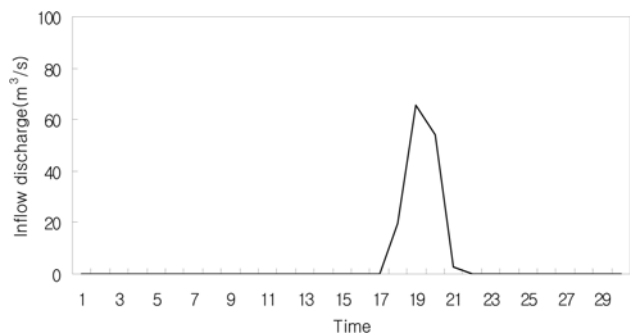


Fig. 8 Inflow discharge at bank break point

으로 처리하게 하는 기능을 가진 데이터파일로 구성하였다. 제방 과제점의 표고 8 m에 대한 경계 조건 수위는 그림 6에 나타난 바와 같이 2002년 8월 31일 태풍 루사 당시 제방 침수 흔적선에 의한 침수위(최종인과 강상혁, 2005)를 참고로 하여 그림 7과 같이 주어졌으며 하천수의 시가지 침입 유량은 그림 8과 같다. 이 당시 배수펌프장이 최대 용량으로 작동되지는 않았지만 침수심 모의 계산에는 설계용량을 참조로 계산하여 실제 가동 시간과 비교하였다. 제내지의 홍수 범람 계산간격은 0.2초로 하였으며 전체 계산 시간은 40시간으로 하였다.

4.2 건물의 처리

시가지 범람에 있어서 홍수파의 전달에 영향을 미치는 주

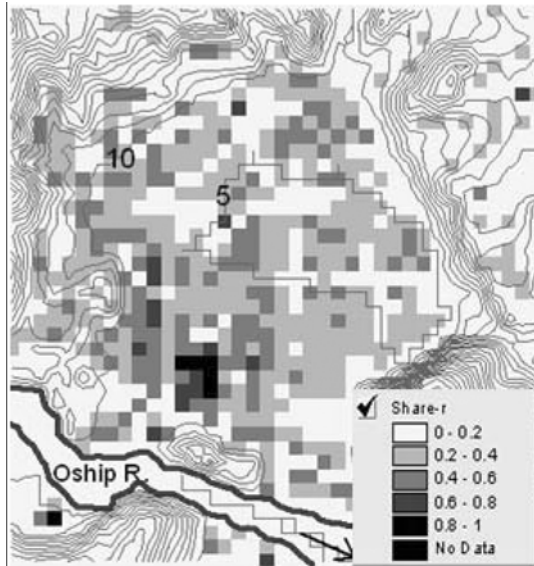


Fig. 9 Distribution of buildings share rate in calculation area

요 요소 중의 하나인 건물의 영향을 고려하기 위한 건물 속성 자료는 이미지로 변화하였고 이는 지형적인 이미지를 사용하여 정다각형으로 변환하였다. 건물을 추출하기 위해 Arc-info상에서 최소 여과 방법을 사용하였다. 도시지역에서 건물의 존재는 홍수류의 전과를 차단시켜 홍수가 통과하는 면적을 감소시키게 되므로 침수심은 증가하게 된다. 그림 9는 식 (5)에 적용된 건물 점유율, λ 의 처리에 따른 각 격자당 건물의 점유를 분포현황을 내고 있다.

4.3 하수도 배수 펌프장의 영향

도시지역에 보급되어 있는 하수도 시스템은 원래 오수 및 우수를 처리하여 배출하는 시설로 범람수를 처리하기 위한 것은 아니다. 그러나 시가지가 범람하는 경우, 범람수가 하수도에 침입하게 되므로 표고가 낮은 저지대라든가 구릉지로 둘러싸인 지역에서는 범람수의 배출을 하수도에 의존할 수 밖에 없다. 이와 같이 범람수 거동을 시간적으로 취급하기 위해서는 하수도의 흐름 해석은 중요하다. 하수도는 개수로 또는 관수로로써 혼합된 형태로 유하되어 배수펌프장에서 제외지로 배수된다. 이와 같이 불규칙한 하수도의 흐

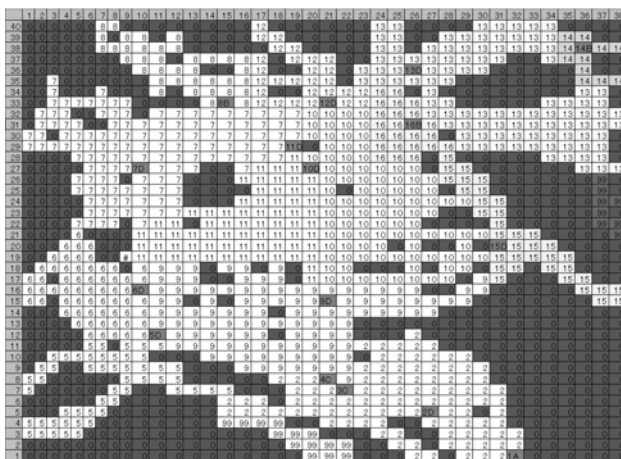


Fig. 10 Segmentation of grid for simulating sewer system (main line 1A-2D-3C-9D-10D-11D-12D-13D-14B, sub-line①3C-15D-16B, sub-line②4C-5D-7D-8B)

름을 해석하기 위해 3.3절에서 언급한 기초식을 응용한 1차원 슬러트 모형을 이용하여 평가하였으며 구체적인 본선 및 지선의 하수도 망은 그림 10에 나타난 바와 같다. 그림 10에 나타난 바와 같이 비 계산영역은 0으로 처리하였고 계산을 원활하게 수행하기 위해 숫자로 배수영역을 구분하였다.

4.4 적용결과 및 분석

그림 11과 12는 시가지 범람모형의 적용에 있어서 건물에 의한 영향을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 침수심을 나타낸 것으로 건물의 영향은 예상보다 크게 나타났다. 본 시가지 모의 계산 적용지역의 건물점유율은 0.2-0.6의 범위로 평균 점유율은 0.31로 계산되었고 건물 점유율의 고려 여부에 따라 침수심의 차이는 전반적으로 20-30 cm의 차이를 보였다. 이는 건물에 의해 유속이 감소되어 상대적으로 침수심이 증가하는 것을 의미한다.

도시범람 수치모의를 적용한 지역은 대부분 주거지로 건물과 개인 주택 그리고 포장된 지역으로 구성되어 있다. 따라서 시가지 지역의 강우에 따른 침투는 극히 일부분이 발생

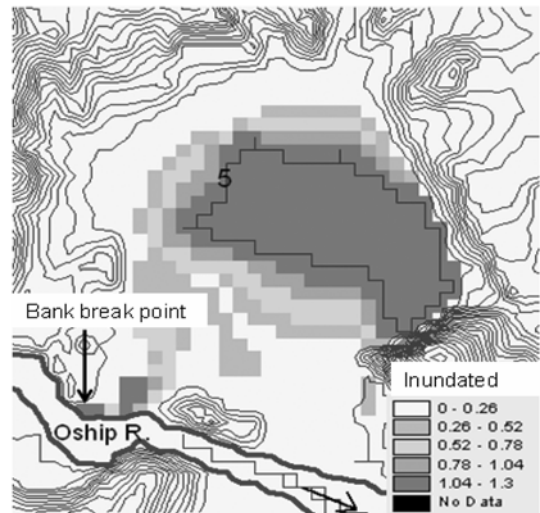


Fig. 11 Maximum inundated depth in the case of no building influence

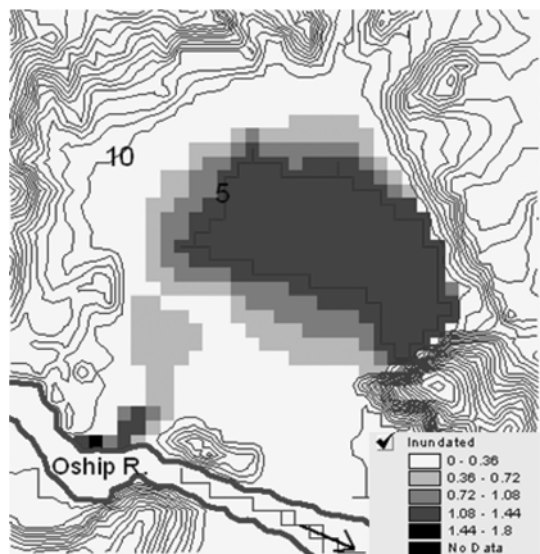


Fig. 12 Maximum inundated depth in the case of building influence

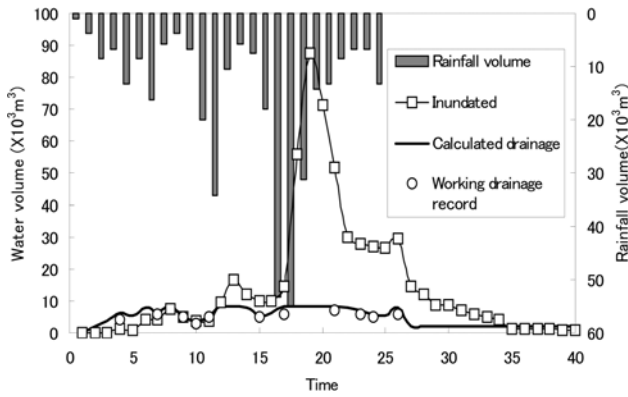


Fig. 13 Water volume on the urban area and pumping station

하는 것으로 하였다(삼척시, 2004).

삼척시의 우수배제 시스템은 50년 홍수빈도의 침투유출량 $50.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 도로 측면의 우수받이를 통하여 지상의 우수가 지선, 간선 하수도 망을 통하여 하천 인접 배수처리장에서 제외지로 처리하도록 설계되어 있다. 그러나 이는 현재 계획 중에 있고 실제 2002년 8월 집중 호우시에는 기존 $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 배수펌프가 가동되었다(삼척시, 2005). 하수도 시스템의 계산에 대한 유효성은 우수배제 펌프장의 가동 기록을 참조하였다. 배수펌프장의 용량이 충분하다면 강우 초기 단계에서 대부분의 우수가 우수 관로로 유입되어 제외지로 배제될 것이다. 반대로 펌프장의 용량이 불충분하다면 유입되는 수량은 제한될 것이다. 비록 배수펌프 용량이 시간당 $8.26 \times 10^3 \text{ m}^3$ 의 최대로 가동되어도 지상의 범람 유량이 그림 13에 나타낸 바와 같이 상대적으로 크므로 펌프장의 기능은 충분히 수행하지 못하게 된다. 이와 같이 배수능력을 초과하는 유량이 지상에 지속적으로 축적되면 침수가 발생하게 된다.

현재 이 지역은 $2,530 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 우수배제 시설이 계획되어 있으며 이를 2002년 8월의 집중강우와 제방의 펜스 일부가 전도되어 하천수가 유입되었다고 가정하여 모의 계산한 결과 그림 14에 나타내는 바와 같이 시가지 저지대는 여전히 침수되는 것으로 나타났다.

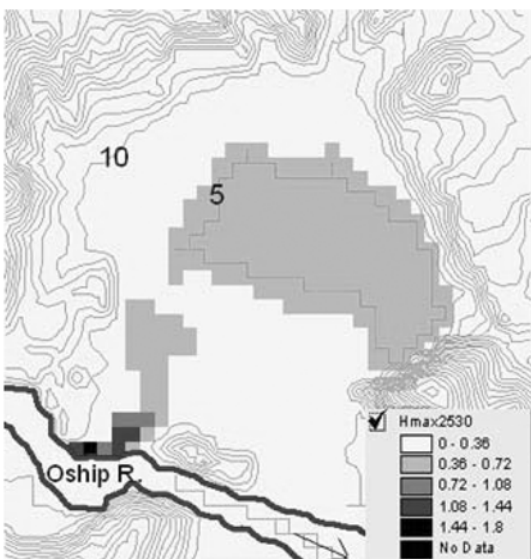


Fig. 14 Simulation result at working pumping station of $2,530 \text{ m}^3/\text{s}$

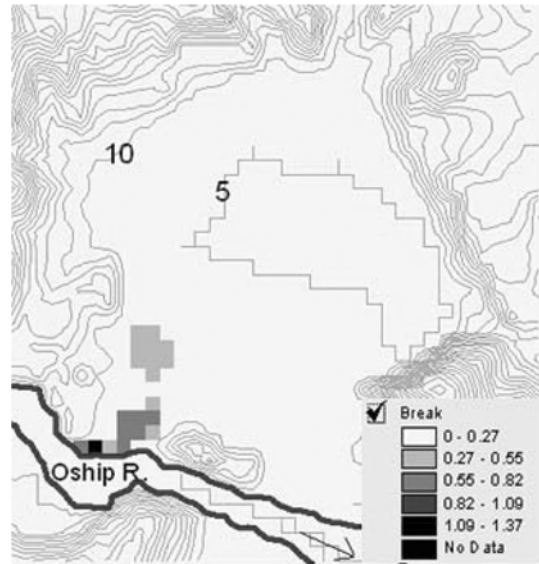


Fig. 15 Inundation depth due to inflow discharge from bank break point

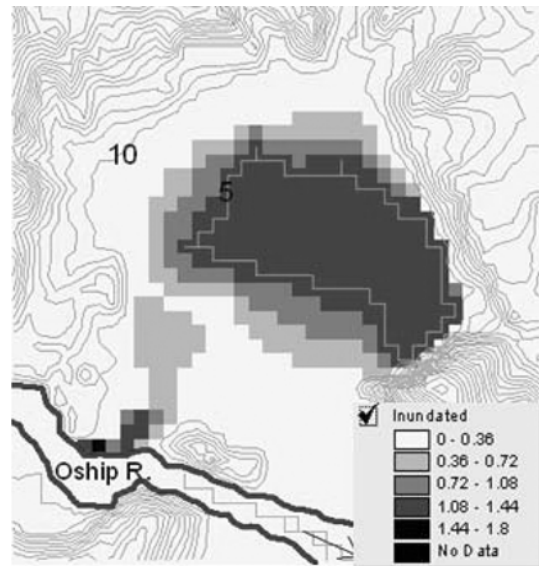


Fig. 16 Simulation of maximum inundated depth in 2002

그림 15는 모형의 재현성을 검토하기 위해 100년 빈도로 설계된 제방 펜스의 일부가 전도되어 하천 범람수가 제내지로 유입될 당시의 범람 과정을 모의 계산한 것이며 그림 16은 기존에 삼척시에서 조사된 홍수 흔적선(그림 2)을 토대로 최대 침수 범위를 비교한 것으로 전반적으로 계산치와 유사한 것으로 나타나 본 모형이 도심지의 홍수 범람에 따른 침수 거동을 유효하게 모의하고 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 건물 밀집지역에서 제방의 파괴에 따른 범람수의 제내지에의 침입을 수치해석에 의해 추적하는 방법을 모형화한 것이다. 모형의 주요 구성은 산지부, 제내지, 하수도 망의 3개 부프로그램으로 이들을 통합회합으로써 범람수의 복잡한 거동을 재현하였다. 유역으로부터 범람수 침입의 경계조건은 kinematic wave법에 의한 수위 값이 주어졌다. 제내지에 있어서의 범람수에 대해서는 2차원 평면류로써 해석하였고 기초식과 계산을 위한 차분식을 유도함과 아

올러 계산상의 경계 조건 등의 설정법에 대해 고찰하였다. 본 시가지 범람 수치모의를 통하여 얻어진 주요 내용 및 문 제점을 정리하면 다음과 같다.

1. 도시지역에서 범람수의 확산에 큰 영향을 미치는 건물의 존재는 주로 조도계수를 이용하여 왔으나 이의 적용에 대한 근거가 미약하므로 본 연구에서는 각각의 격자별로 건물 점유율을 입력함으로써 연속방정식을 만족하도록 하였으며 최대 침수심을 산정한 결과 건물의 평균 점유율 0.31하에서 20-30 cm의 침수심 차이가 발생하였다. 이는 시가지 범람 모의 계산에서 건물의 고려가 필수적임을 의미한다.
2. 현재 계획된 우수배수 펌프장이 그 기능(2,530 m³/min)을 충분히 발휘한다고 보고 동일한 조건을 부여했을 때를 가정하여 모의 계산한 결과 표고가 낮은 저지대는 여전히 침수가 발생하는 것으로 나타났고 만약 파제로 인해 동일 지점으로부터 제내지로의 유입이 없을 경우는 계산 영역 전 지점에 대해 침수가 발생하지 않은 것으로 계산되었다.
3. 시가지 침수심 계산의 경우 주 영향요소는 우수배제 시설의 펌프 용량이라 할 수 있으나 그 밖에 건물의 반영 여부, 제방 파제에 의한 하천 범람수의 유입, 시가지 계산 영역 내의 집중 강우량 등에 의해 침수심이 크게 영향을 받는 것으로 계산되었다.

본 연구에서 제안한 모형으로 홍수, 제내지 범람수의 거동을 추적한 결과 유역유출 및 제내지의 흐름 해석에 타당한 결과를 얻을 수 있었으며 타 유역에 대해서도 적절한 경계 조건을 부여한다면 유효한 해석 값을 얻을 수 있을 것으로 판단한다. 향후 연구로는 침수에 따른 피해평가 등 보다 실질적인 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

본 연구의 일부는 Eco-STAR Project(07-I-3)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

강상혁, 최종인(2008) Tight GIS 결합형 침수모형에 관한 연구. 2008 대한토목학회 정기학술발표회, 대한토목학회, pp. 678-681.

삼척시(2004) 삼척시가지 수해상습 침수지역 개선대책 기본계획 보고서.

삼척시(2005) 삼척시가지 수해상습지 침수지역 개선대책 실시계획 보고서.

유재홍, 김형준, 조용식(2005) 홍수범람 모의를 위한 내외수 연계모형 개발. 한국방재학회 논문집, 한국방재학회, pp. 1-8.

이종태, 허성철, 김정희, 한건연(2006) 제방붕괴조건에 따른 도시

하천의 홍수범람특성 및 홍수지도 작성-중랑천 시험 유역을 중심으로-. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 383-394.

이주현, 최종진, 이희철, 이은태(2003) 고해상도 수치고도 모형을 활용한 홍수범람도의 작성. 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제23권 제6B호, pp. 471-478.

이창희, 한건연, 최규현(2006) SWMM을 연계한 DEM기반의 도시침수해석 모형. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제39권 제5호, pp. 441-452.

최종인, 강상혁(2005) 하천 차수를 고려한 유출량 산정에 관한 연구. 한국방재학회 논문집, 한국방재학회, 제5권 제4호, pp. 17-27.

Hosoyamada, T. (2005) Numerical analysis of flood around residential area in the Niigata heavy rainfall disaster on 13 July, 2004. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 49, pp. 589-594.

Inoue, K., Kawaike, K., and Hayashi, H. (1999) Inundation flow modeling in urban area. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 43, pp. 533-538.

Kawaike, K. and Nakagawa, H. (2007) Recent inundation disasters in Japan and numerical modeling of urban flooding. *International symposium on flood disasters in east Asia and counter-measures against them*, pp. 9-18.

Nakagawa, H., Inoue, K., Ishigaki, T., Toda, K., and Muto, Y. (2003) Inundation by river water flooding in urban cities – experiments using a large scale inundation model and their analysis-. *Annals of DPRI, Kyoto Univ.*, No. 46B, pp. 575-584.

Nakagawa, H., Ishigaki, T., Muto, Y., Baba, Y., Zhang, H., Yagi, H., and Fujimoto, K. (2004) Experiment and calculation of flood water in urban cities. *Annals of DPRI, Kyoto Univ.*, No. 47B, pp. 517-526.

Takahashi, T. and Nakagawa, H. (1983) Behavior of the over land flood flows in the modeled urban area. *Annals of DPRI, Kyoto Univ.*, No. 26B-2, pp. 245-259.

Toda, K., Inoue, K., Murase, S., and Ichikawa, Y. (1999) Modeling of overland flood flow due to heavy rainfall in urban area. *Annals of DPRI, Kyoto Univ.*, No. 42B-2, pp. 355-367.

Sagara, R., Nishikori, T., Inoue, K., and Toda, K. (2004) Inundation flow analysis in urban area considering branch sewer effect. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 48, pp. 589-594.

Sanders, B.F. (2007) Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling, *Advances in Water Resources* Vol. 30, pp. 1831-1843.

Schmitt, T.G., Thomas, M., and Etrich, N. (2004) Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, Vol. 299, pp. 300-311.

Thang, N.K., Inoue, K., Toda, K., and Kawaike, K. (2004) A model for flood inundation analysis in urban area: verification and application, *Annals of DPRI, Kyoto Univ.*, No. 47B, pp. 303-316.

(접수일: 2007.9.17/심사일: 2007.12.11/심사완료일: 2009.3.15)