

건물 저항계수에 따른 GIS기반의 밀집 시가지 침수모의 -삼척시가지를 중심으로-

Urban Flood Simulation Considering Buildings Resistance Coefficient Based on GIS: Focused on Samcheok City

지 정 환* / 강 상 혁**

Ji, Juong Hwan / Kang, Sang Hyeok

Abstract

The objective of this paper presents the application of an “integrated urban flood modeling-runoff model, urban flood model and sewer system model-” in a highly urbanized area of Samcheok where is seriously inundated in 2002 and 2003. For this, we demonstrate how couple a 1-D hydrodynamic model of the river, a 2-D hydrodynamic model of the overland (surface) flow, and a sewer network model including each boundary conditions. In order to make data file for the model, topographic information like elevation and share rate of buildings are directly extracted from DEM or topographical source data without data exchange to avoid uncertainty errors. Furthermore, the research is to assess the impacts of Manning n and buildings influences to inundated depth by changing its share ratio from 10 % to 30 % in low-land urban area. As a results, we found out that the urban inundated depth was decreased by Manning n but increased by buildings ratio. The calculated results of inundation was similar with observed one in 2002 and 2003 flooding. Furthermore, the area was also inundated under not riverbank break case in 2002 flooding.

Keywords : GIS, urban inundation, Manning n, resistance coefficient. integrated urban flood model

요 지

본 연구의 목적은 2002년과 2003년에 심각한 도시침수 피해를 받은 삼척지역을 대상으로 유역유출모형, 제내지 모형 그리고 하수도 시스템을 통합한 도시범람모형의 개발 및 적용한 것이다. 이를 위해 하도의 1차원 모형, 시가지의 표면류의 2차원 모형, 그리고 하수도 시스템을 상호 연결하는 방안을 제시하였다. 침수모형의 입력자료 구축에 필요한 표고 및 건물의 점유율과 같은 지형정보는 입력자료의 변환과정에서 발생할 수 있는 불확실한 오차를 줄이기 위해 수치 지형자료로부터 데이터의 변환 과정없이 추출하였다. 더 나아가 시가지의 건물 점유율을 10 %에서 30 %까지 변화를 줌으로써 그에 따른 조도계수 및 건물 점유율 적용법이 침수심에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 그 결과 건물 점유율이 증가함에 따라 조도계수법은 침수심이 감소하며 건물 점유율을 고려한 방법은 침수심이 증가하는 경향을 나타내었다. 건물 점유율을 고려한 2002년과 2003년의 침수 모의계산 값은 관측 값과 유사한 값을 얻을 수 있었으며 2002년 제방이 파제되지 않은 경우에도 여전히 침수되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : GIS, 도시침수, 조도계수, 저항계수, 통합침수모형

* 강원대학교 토목환경공학과, 교수

Professor, Dept. of civil and environ. Engineering, Kyungwon Uni., Seongnam 461-701, Korea

** 교신저자, 강원대학교 건설공학부, 겸임교원

Corresponding Author, Lecturer, Kangwon National Uni., Samcheok 245-711, Korea

(e-mail: kang7231@hanmail.net)

1. 서론

일반적으로 시가지 침수는 태풍 또는 강풍에 의한 고조범람이라든가 하천의 제방 붕괴에 의한 홍수범람, 그 밖의 제내지에 내린 우수가 처리되지 않아 범람하는 내수침수로 구분할 수 있다. 우리나라의 대부분 도시는 하천 하류부 저지대 평지에 위치하여 인구와 자산이 집중되어 있으며 더욱이 제내지의 지반고보다 하천수위가 높게 되면 배수가 곤란한 지역이 많아 잠재적으로 내수 범람의 위험성을 가지고 있다. 그러나 시가지 범람과정의 해석은 제외지의 홍수유출 과정과는 달리 건물, 하수도 및 하천경계 조건의 처리 등으로 복잡할 뿐만 아니라 모형구축에 많은 시간을 필요하게 되므로 아직 활발하게 논의되지 않는 실정이다.

기존의 범람에 대한 연구를 보면 이종태 등(2006)은 연도별로 지금까지 국내에서 진행된 각종 침수모형에 대한 적용 사례를 정리한 바 있으며 이정민 등(2008)은 기존의 SWMM5모형이 하수도 배수시스템에서 지상으로 월류 하는 침수상황을 모의계산 할 수 없는 한계를 보완하기 위해 UNET모형을 연계하여 해안면 저지대 침수분석을 수행한 바 있다. 또한 강상혁과 최종인(2008)은 시가지 모형의 구축에 있어 복잡한 자료 생성의 반복성과 이 과정에서 생길 수 있는 에러를 줄이기 위해 GIS 상에서 직접 해석 대상지의 지형정보를 취득하여 코딩하는 2차원 시가지 범람모형을 개발하여 침수 지역에 적용한 바 있다.

국외에 있어서 시가지 침수범람에 대한 연구로는 Takahashi *et al.* (1983)의 연구를 들 수 있는데 이들은 교토시를 대상으로 수리 모형 실험을 통하여 건물군과 같은 장애물 배치 형상, 제방 파제의 유형 등이 시가지 침수심에 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 Sagara *et al.* (2004)은 시가지 하수도 시스템을 고려한 시가지 범람 모형에서 하수도의 우수 배제 용량이 침수심에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 Sanders (2007)는 시가

지의 침수 모형의 유용성에 있어서는 정확하고 신속한 지형정보의 습득이 중요함에 따라 on line 상에서 지형 정보(주로 DEMs)를 직접 취득하여 범람모형에 적용하였다.

이와 같은 시가지 범람 연구의 진전에도 불구하고 도시 지역의 복잡한 특징을 고려하여 시간적·공간적으로 일괄 처리할 수 있는 수치모형은 큰 진전을 보이지 않고 있다(Hosoyamada, 2005; Kawaike and Nakagawa, 2007). 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).

본 연구에서는 먼저 하천 하류단의 경계 유입유량의 산정, 시가지 특징을 고려한 2차원 범람모형 구성, 그리고 하수도 배제시스템을 고려한 유체 흐름의 연속식과 운동방정식을 만족한 GIS 기반의 시가지 범람 통합 모형을 구축하였다. 구축된 통합모형은 2002년과 2003년에 집중호우 발생 시 시가지 침수 피해를 입은 바 있는 삼척시를 대상으로 기존의 조도계수를 이용한 방법과 건물의 점유율을 고려한 방법을 비교하여 건물이 침수에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다.

2. 강우 및 피해현황

본 연구의 대상지역인 삼척 지역은 2002년 및 2003년에 태풍에 따른 집중호우로 심각한 피해를 입은 바 있다. 2002년 태풍은 8월 31일 늦게부터 9월 1일 새벽까지 24시간 동안 시가지에 378 mm, 3시간 최대강우는 148 mm, 그리고 시간 최대강우는 58 mm의 호우를 가져왔으며 2003년도에도 9월 11일부터 12일까지 28시간동안 누적강우량 256 mm, 3시간 최대강우량 81 mm, 시간 최대강우량 31 mm를 기록하여 지역 주민을 고립시키고 개인과 공공시설을 마비시키는 피해를 유발하였다. Figs. 1 and 2는 2002년 태풍 루사 및 2003년 매미로

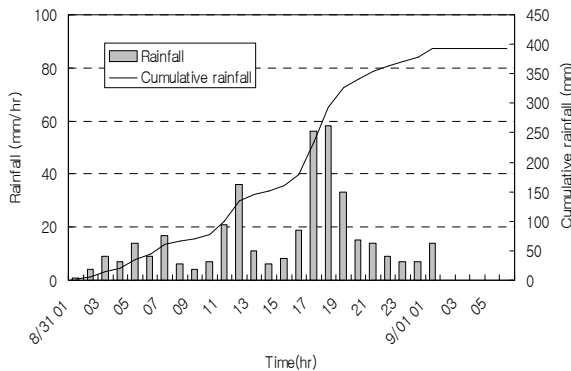


Fig. 1. The Rainfall of 2002 in Study Area

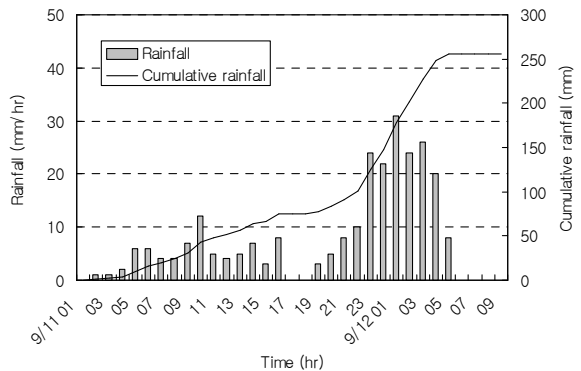


Fig. 2. The Rainfall of 2003 in Study Area



Fig. 3. The Flooding Mark of 2002 in Inundated Area (S1)



Fig. 4. The Flooding Marks of 2002 and 2003 in Inundated Area (S2)



Fig. 5. The Flooding Mark of 2002 in Inundated Area (S3)



Fig. 6. The Flooding Mark of 2003 in Inundated Area (S3)

인한 집중 호우 당시의 강우현황을 나타내고 Figs. 3~6은 당시의 침수 흔적 수심을 기록한 것으로써 이러한 자료는 침수심 계산의 검증에 활용되었다.

3. 통합 시가지 범람모형의 구성

시가지의 범람은 물 순환과정의 일부이나 이를 해석하기 위해서는 유역의 강우 유출에서 제내지 범람 및 우수배제에 이르기까지 통합된 모형을 구축할 필요가 있다. Fig. 7은 통합모형에 필요한 주요 입력자료 및 경계조건의 처리과정을 나타내며 유역의 유출모형, 제내지 범람모형 및 하수도 흐름 모형 등에 적용한 기초 방정식은 다음과 같다.

3.1 유역모형

강우에 따른 유역으로부터의 유출량 해석에는 Kinematic wave법(강상혁, 2009)을 이용하였고 지배방정식은 운동학 파동 모형에 기초를 두고 다음과 같이 계산을 수행하였다.

사면류:

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

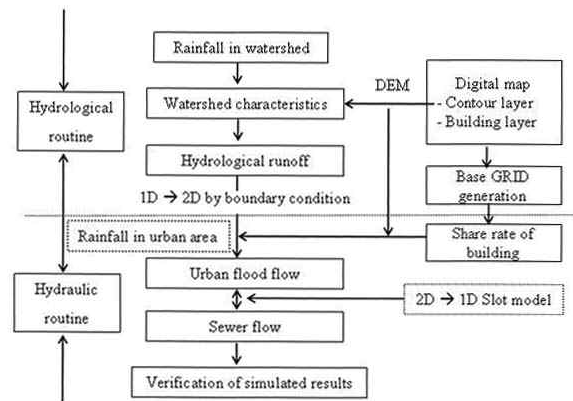


Fig. 7. Description of Integrated Urban Flood Model for the Study Area

$$q' = \alpha h^m \quad (1b)$$

여기서, x 는 일차원공간 좌표, t 은 시간, q' 은 경사면에서 단위폭당 유출량, r_e 는 유효강우, h 수심, α 및 m 은 흐름의 파형에서 결정되는 상수.

하도류:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_s}{B} \quad (2)$$

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 계산하였다.

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 조도계수와와의 관계가 명확하지 않기 때문에 이에 대한 적절성을 평가하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 건물과 같은 구조물의 영향을 고려하기 위해 점유율과 조도계수를 비교, 검토하였다. 도입한 기본 방정식인 연속식 (3)과 운동방정식 (4)는 다음과 같다.

연속식

$$(1-\lambda)\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M^*}{\partial x} + \frac{\partial N^*}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

x방향의 운동방정식

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

y방향의 운동방정식

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

여기서 λ 는 단위 격자당 건물이 차지하는 비율을 나타내는 건물의 점유율, u 와 v 는 각각 x 및 y 방향의 깊이 방향에 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 g 는 중력가속도, n 은 Manning의 조도계수를 나타낸다.

3.3 하수도 배수시스템

하수도 배수는 우수가 도로변 우수받이로 유입되어 우수관을 거쳐 배수펌프장에서 제외지로 배수되므로 하

수도 내 흐름은 다음의 연속 방정식 (5) 및 운동 방정식 (6)과 같은 1차식을 적용하였다(강상혁, 2009; Li *et al.* 2009).

연속방정식

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (5)$$

운동방정식

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} = gA\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2|Q|Q}{R^{4/3}A} \quad (6)$$

여기서, A 는 흐름의 단면적, Q 및 q 는 각각 유량 및 측면유입량, u 는 유속, H 는 수위($H=h+z$), z 은 관로의 표고, 수심 h 는 다음 Eq. (7)과 같이 정의된다.

$$h = \begin{cases} \frac{A}{B}: (A < A_p) \\ B' + \frac{A-A_p}{B_s}: (A > A_p) \end{cases} \quad (7)$$

B 는 관로 폭, A_p 는 관로의 단면적 B' 는 관로 천정의 높이 B_s 는 슬러트(slot)의 폭을 나타낸다. 하수도는 개수로 또는 관수로로써 혼합된 형태로 유하되어 배수펌프장에서 제외지로 배수된다. 그러나 범람인 경우 이를 구분하여 모형화하는 것은 계산상 쉽지 않으므로 Kang (2009)이 제시한 1차원 슬러트 모형을 이용하여 지상과 하수도시스템의 연속성이 성립되도록 하였다.

4. 모형의 적용 및 평가

제방 파제로 인한 제내지로의 하천 침입수는 파제점에 대해 유출량을 혼적수심과 비교하여 산정하였다. 침입수는 하류 지점의 경계치의 수위값으로 주어졌다(강상혁, 2007). 시가지의 범람으로 침수된 대상 영역은 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 시가지는 대부분 표고 10 m내외이며 그 밖의 지역은 낮은 산지로 형성되어 있는 전형적인 분지형 도시이다. 시가지 계산영역의 토지이용은 주택지가 1.7 km², 산림지가 1.1 km²이나 산림지는 경사가 급하고 도로망이 발달되어 강우시 초기손실이 미미하여 강우량이 일시에 유출되는 특징이 있다(삼척시, 2004; 2005). 시가지 남단은 지방 하천인 오십천이 도시 외곽을 통하여 동해로 유입되고 있다. 2002년 및 2003년 태풍에 의한 집중 호우 당시 시가지를 관통하는 구간은 100년 빈도의 홍수위로, 시가지를 벗어난 상류지역은 80년 빈도의 홍수위로 제방고가 설정되었다.

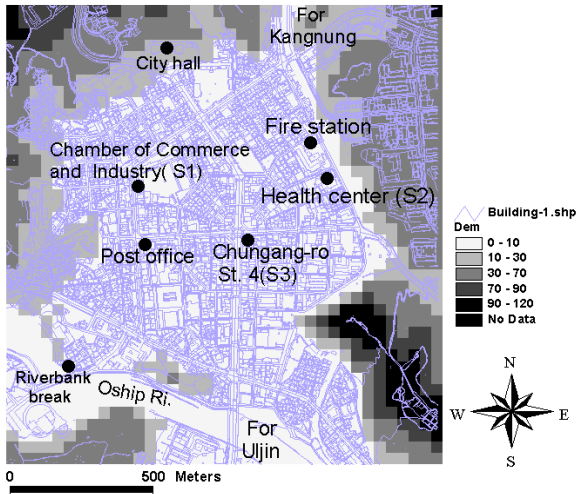


Fig. 8. DEM of Study Area with Contour Lines

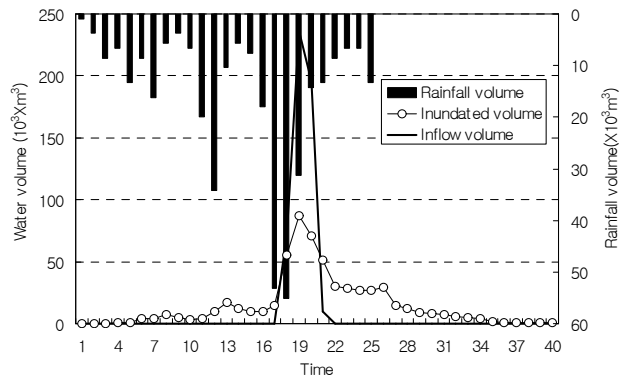


Fig. 9. Hyetograph and Water Volume in Flood Area

4.1 계산조건

제내지에서 범람 흐름을 위한 최소수심은 0.001 m로 하였고 도로변의 우수받이로부터 하수관로에의 유입과 제방 파체에 의한 경계조건의 유입수는 다음의 월류 유량식을 이용하였다. 즉 우수받이의 단위폭당유량 M_0 는 Eq. (8)과 같이 주어졌다(Thang *et al.* 2004).

$$M_0 = \mu_0 h_n \sqrt{g h_n} \quad (8)$$

여기서, 우수받이로부터의 유량계수, $\mu_0 = (2/3)^{3/2}$ 을 이용하였다(Nakagawa *et al.* 2004). 또한 하천으로부터 제내지로의 범람유량 q_0 는 다음 Eq. (9)와 같이 산정하였다.

$$q_0 = \mu h_1 \sqrt{2g h_1} \quad (9)$$

여기서, 제방월류 유량계수, μ 는 0.35가 주어졌으며 $h_1 = H_r - H_0$ (H_r 은 하천수위, H_0 는 제방고)이다. Fig. 9는 계산 영역 내의 시간당 강우량과 하천 침입수를 체계적으로 계산한 결과이며 이 중 하천 침입수는 하천 하류단의 경계값을 수위 값으로 환산하여 시가지에 범람하는 것으로 계산하였다.

4.2 건물의 고려방법에 따른 저항력 평가

시가지의 건물 사이를 범람수가 통과하는 경우 가옥 및 구조물 등에 의한 수체의 단면변화에 의해 수위변화 또는 유량변화가 생긴다. 보다 정확한 침수심을 계산하기 위해서는 시가지 내 가옥군의 영향을 고려한 범람계산이 필요하다. 종래 시가지, 나지 그리고 산림 등의 영역에 적당한 조도 계수 또는 마찰계수를 부여하여 처리

하였다. Xanthopoulos and Koutitas (1976)은 시가지에 조도계수 0.067, 경작지에 0.025, 수목림에 0.040 등의 조도계수를 주어 지표면의 상태에 따른 마찰력에 의한 저항을 이용하여 계산하였으나 토지이용에 따른 조도계수의 산정에 근거가 불분명하다는 한계가 있다. 범람계산을 수행할 경우에는 격자별로 가옥밀도를 점하고 있어 얼마의 마찰계수와 조도계수를 부여하는지가 문제가 된다.

본 연구에서는 일본 토목학회(1982)에서 제시한 조도계수를 이용하는 방법과 단위 격자당 건물의 점유율을 고려하는 방법에 대해 검토한다.

4.2.1 건물점유율의 추출 및 평가

건물 점유율을 이용한 침수심의 계산은 Fig. 10과 같이 각 격자당 건물의 점유율을 고려한 Eqs. (3) and (4)를 이용하였다. 각 격자당 건물의 점유율은 수치지도로부터 건물이 차지하는 비율을 구해야 되는데 이를 추출하기 위해서 건물 속성 자료는 이미지로 변환하였고 이를 다시 지형적인 이미지를 사용하여 정다각형으로 변환하였다. 건물을 추출하기 위해 Arc-info상에서 최소 여과 방법을 사용하였다. 도시지역에서 건물의 존재는 홍수류의 전파를 차단시켜 홍수가 통과하는 면적을 감소시키게 되므로 침수심은 증가하게 된다. Fig. 12는 각 격자당 건물의 점유율 분포현황을 내고 있다.

또한 밀집 시가지인 경우에도 건물 점유율이 30%를 초과하는 경우는 흔하지 않으므로 Table 1과 같이 2002년 범람 침수심을 대상으로 건물의 점유율을 10%(Case 1), 20%(Case 2) 및 30%(Case 3)까지 변화를 주어 건물 점유율과 이에 따른 조도계수의 변화가 침수심에 미치는 영향을 평가하였다. 건물 점유율에 따른 침수심의 변화는 Figs. 13~15와 같다.

Table 1. Comparison on Maximum Inundated Depths in Each Cases of 2002 (unit : m)

Observed points	Observed depth	Case 1 (10 %)		Case 2 (20 %)		Case 3 (30 %)	
		Depth by share ratio	Depth by n	Depth by share ratio	Depth by n	Depth by share ratio	Depth by n
S1	0.92	0.90	1.07	0.99	0.86	1.11	0.85
S2	1.27	1.30	1.50	1.34	1.27	1.45	1.25
S3	1.34	1.27	1.23	1.39	1.24	1.48	1.24

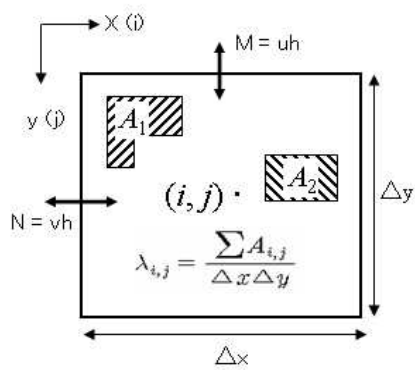


Fig. 10. Description of Buildings Share Ratio

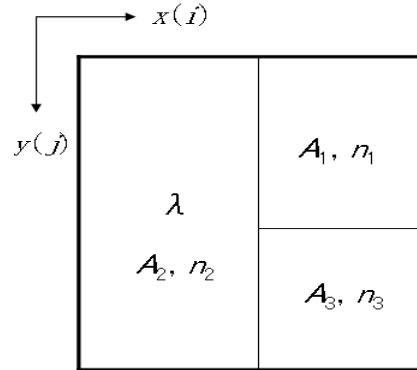


Fig. 11. Description of Manning n in Calculation Area

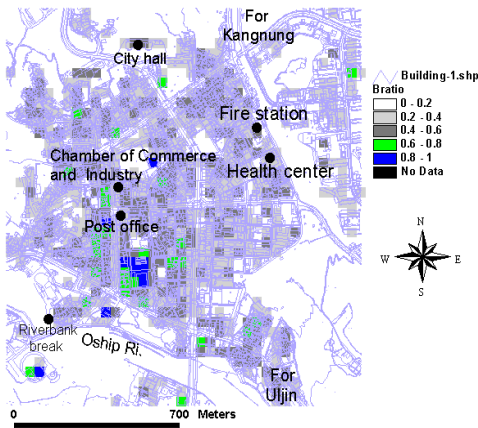


Fig. 12. Distribution of Buildings Share Rate in Calculation Area

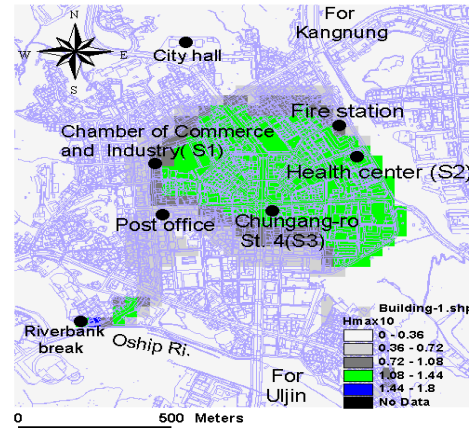


Fig. 13. Maximum Inundated Depth (m) in Case of 10 % Buildings Share Ratio

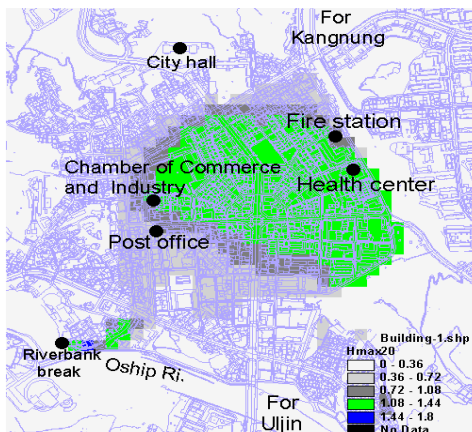


Fig. 14. Maximum Inundated Depth (m) in Case of 20 % Buildings Share Ratio

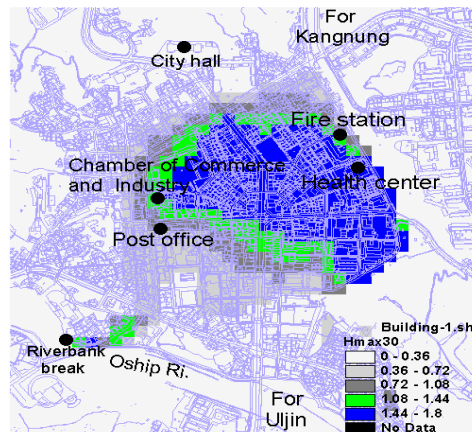


Fig. 15. Maximum Inundated Depth (m) in Case of 30 % Buildings Share Ratio

건물 점유율 변화에 따라 최대 침수범위는 차이가 보이지 않으나 침수심은 점유율이 증가할수록 최대 침수심 또한 기하급수적으로 증가하는 것으로 계산되었다. 이와 같은 침수심의 차이는 건물의 영향이 계산영역에 있어서 범람수의 통과능력을 감소시킨데 기인된 것으로 보인다. 관측값에 대한 건물점유율의 값을 비교해 보면 건물 점유율은 10~20 %에서는 유사한 계산값을 보이거나 30 %에서는 관측값과 큰 차이를 나타내고 있다.

4.2.2 조도 계수에 의한 평가

조도계수를 고려하는 방법은 Fig. 11에 나타난 바와 같이 대상영역을 시가지, 농경지, 산지 등의 토지이용별로 구분하여 적용한 식은 다음과 같다.

$$n^2 = n_0^2 + 0.020 \times \frac{\lambda}{100 - \lambda} \times h^{4/3} \quad (10a)$$

$$n_0^2 = \frac{n_1^2 A_1 + n_2^2 A_2 + n_3^2 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (10b)$$

여기서 n 은 조도계수, λ 는 건물점유율이며, 일본 토목학회(1982)에서 제시한 A_1 은 농경지 면적($n_1=0.060$), A_2 는 정비된 시가지 면적($n_2=0.047$), A_3 ($n_3=0.050$)는 기타 용지의 면적을 나타내며 h 는 흔적수심이다.

상기 Eq. (10)에 의한 건물 점유율에 따른 조도계수의 변화 0.023, 0.014 및 0.01에 대한 침수심의 변화는 Table 1에 정리하였다. 건물 점유율에 따른 조도계수는 평면 도시화를 상징한 실험이고 도시화가 진행되면 도로망이 정비되어 조도 계수는 감소한다는 가정하에 얻은 결과 값이므로 조도계수의 감소와 더불어 침수심 또

한 감소하는 결과를 나타내었다. 조도계수는 0.01~0.014에서 관측값과 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났다.

4.3 2002년 및 2003년 침수계산

본 연구의 대상지는 분지형의 시가지 지형이므로 2002년 및 2003년 발생한 시가지 침수심 계산에 있어 건물의 처리는 조도계수를 이용하는 방법보다 건물의 점유율을 고려하여 모의 계산을 수행하는 것이 타당할 것으로 보인다. 본 시가지 모의 계산 적용지역의 건물점유율은 0.2~0.6의 범위로 평균 점유율은 0.23으로 계산되었다. 이 지역은 2002년 8월의 집중강우와 제방의 펜스 일부가 전도되어 하천수가 유입되어 침수피해가 가중되었으므로 모의계산은 제방이 전도된 경우와 전도되지 않은 경우를 가정하여 침수모의 계산을 수행하였다. 제방이 전도되지 않은 경우를 가정하여 모의계산을 한 결과 Fig. 16에 나타난 바와 같이 시가지 저지대는 0.3~0.6 m가 침수되는 것으로 나타났다. Fig. 17은 2002년 일부 제방이 전도되어 하천수가 시가지로 침입하여 발생한 최대침수심을 ArcGIS 상에서 데이터의 변환과정 없이 직접 프로그램을 코딩하여 모의계산한 결과 시가지 저지대는 1.0 m이상이 침수된 것으로 계산되었다.

Fig. 18은 2003년 태풍 매미에 의한 집중호우로 시가지가 침수된 상황을 재현한 것으로 시가지 저지대는 하천수의 침입이 없음에도 여전히 0.4~0.6 m가 침수되는 것으로 계산되어 이 지역의 주된 침수원인은 내수침수임을 시사하는 것으로 보강된 내수배제 대책이 필요하다. Table 2는 기존에 삼척시에서 조사한 홍수 흔적수심(Figs. 3~6)과 2002년 및 2003년에 발생한 시가지 최대 침수심을 계산한 값을 비교한 것으로 오차는 0.05에서 0.15 cm 정도 차이가 나는 것으로 나타났다.

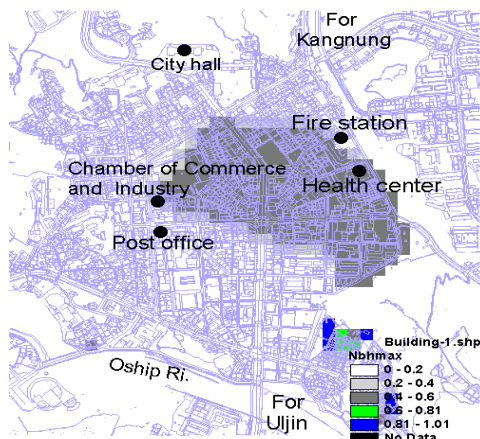


Fig. 16. Maximum Inundated Depth without Riverbank Break in 2002

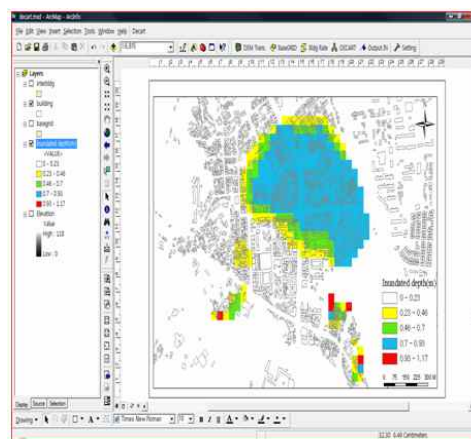


Fig. 17. Maximum Inundated Depth Considering Buildings Share Ratio Based on ArcGIS in 2002

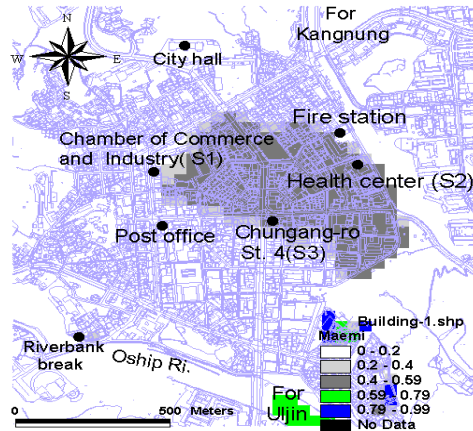


Fig. 18. Maximum Inundated Depth in 2003

Table 2. Maximum Inundated Depth in 2002 and 2003

Observed points	In flooding of 2002			In flooding of 2003		
	Observed	calculated	dh*	Observed	calculated	dh
S1	0.92	1.02	+0.10 (10.8 %) **	0.42	0.30	-0.12 (-28.5 %)
S2	1.27	1.42	+0.15 (11.8 %)	0.55	0.40	-0.15 (-27.2 %)
S3	1.34	1.39	+0.05 (3.7 %)	0.50	0.45	-0.05 (-10.0 %)

* dh is difference between computed and observed peak inundation depths

** () is the error rate of dh

4.4 고찰

2002년 범람 침수심을 대상으로 건물의 점유율을 10%(Case 1), 20%(Case 2) 및 30%(Case 3)까지 변화를 주어 건물 점유율과 이에 따른 조도계수의 변화가 침수심에 미치는 영향을 평가한 결과, 건물 점유율이 증가할수록 침수심 또한 증가하는 것으로 계산되었다. 이는 단위 격자당 건물의 점유율이 홍수과의 전달을 차단함을 적절하게 반영한 것으로 보인다.

그러나 이에 따른 조도계수는 0.023, 0.014 및 0.01로 각각 산정되어 이를 입력하여 침수심을 계산한 결과 침수심은 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다(Table 1참조). 이러한 원인은 조도계수의 산정식은 평지에서 도시화가 진행되면 임야, 농경지 등이 줄어들고 도로와 가로망 등이 정비되어 홍수과의 확산이 용이하게 됨으로써 침수심은 그 만큼 줄어드는 결과를 초래하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구지역과 같이 분지형 도시는 건물 점유율에 의한 침수심 계산방법이 보다 합리적으로 판단된

다. 건물의 홍수 차단효과를 점유율에 의한 방법으로 침수심을 계산한 결과 2002년의 침수심 계산결과와는 3.7~11.8%의 오차율을 보여 관측값보다 다소 높게 계산되었다. 2003년에 대한 계산값은 -10.0~-28.5%의 오차율을 보여 관측값보다 낮게 평가되었다. 이러한 오차의 원인으로는 지하시설물, 건물의 불규칙한 배열, 경계조건에서의 월류량 산정의 오차 등에 기인된 것이라 볼 수 있다. 따라서 이러한 불확실성을 고려할 수 있는 방안 및 실험값이 개발된다면 관측값에 근접한 침수심 모의계산이 될 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 도시 지역의 침수심 계산을 위해 유역 유출모형, 제내지 모형, 그리고 하수도 시스템을 통합한 침수모형을 구축하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 연속방정식과 운동방정식을 보완하여 건물 점유율과 조도계수의 영향을 분석할 수 있는

통합 침수모형을 개발하였다. 통합모형의 적용 결과 건물의 점유율을 고려하는 방법은 홍수과의 확산이 적은 분지형 지역에 적절하며 조도계수를 이용하는 방법은 도로 및 가로망의 발달로 홍수과의 전달이 용이한 지역에 적용하는 것이 바람직함을 시사하였다.

- (2) 본 모형은 2002년 및 2003년 시가지 침수를 경험한 바 있는 삼척시를 대상으로 그 적용성을 검토하였으며 본 모형 구축에 필요한 표고 및 건물의 점유율과 같은 입력자료의 처리는 자료의 변환과정에서 생길 수 있는 에러를 줄이기 위해 ASCII 파일로의 변환과정없이 그대로 GIS 언어를 이용하여 처리하였다.
- (3) 관측값에 대한 건물 점유율 및 조도계수의 값을 비교해 보면 건물 점유율은 10~20 %에서는 유사한 계산 값을 보이나 30 %에서는 관측값과 큰 차이를 나타내고 있다. 이에 따른 조도계수는 0.01~0.014에서 관측값과 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났다.
- (4) 본 연구에서 제시한 시가지 통합 침수 모형은 관측값과 모의 계산값의 오차범위가 미미하므로 향후 적절한 계수값이 도출되어 모형의 신뢰도를 높인다면 최근 개발하고 있는 시가지 침수피해를 줄이기 위한 홍수 예, 경보시스템에 활용가능성을 보이고 있다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 경원대학교 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 강상혁 (2007). “수자원의 경제적 가치를 고려한 유출량의 평가.” **한국GIS학회논문집**, 한국GIS학회, 제15권, 제3호, pp. 291-299.
- 강상혁 (2009). “건물 및 우수배제를 고려한 시가지 범람해석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제29권, 제3B호, pp. 213-219.
- 강상혁, 최종인 (2008). “Tight GIS 결합형 침수모형에 관한 연구.” **2008 대한 토목학회 정기 학술발표회**, 대한토목학회지, pp. 678-681.
- 삼척시 (2004). 삼척시가지 수해상습 침수지역 개선대책 기본계획 보고서
- 삼척시 (2005). 삼척시가지 수해상습지 침수지역 개선대책 실시계획 보고서

이정민, 이상호, 강태욱 (2008). “SWMM5와 UNET 모형을 이용한 신항만 저지대 침수분석-진해시 용원동.” **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제24권, 제4호, pp. 442-451.

이종태, 허성철, 김정희, 한건연 (2006). “제방붕괴조건에 따른 도시하천의 홍수범람특성 및 홍수지도 작성-중랑천 시험 유역을 중심으로-.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 383-394.

일본토목학회(1982). 수리공식집, 하천범람판.

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*, JSCE, Vol. 49, pp. 589-594.

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

Kang, S.H. (2009). “The application of integrated urban inundation model in Republic of Korea.” *Hydrological Processes*, Vol. 23, pp. 1642-1649.

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 countermeasures against them*, pp. 9-18.

Li, W. Chen, Q., and Mao, J. (2009). “Development of 1D and 2D coupled model to simulate urban inundation: An application to Beijing Olympic Vilige.” *Chinese Science Bulletin*, Vol. 54, No. 9, pp. 1613-1621.

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, 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.

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 Ettrich, 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, 303-316.

Xanthopoulos, T.H. and Koutitas, V.H. (1976). "Numerical simulation of a two dimensional flood wave propagation due to dam failure." *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 14, No. 2, pp. 321-330.

논문번호: 09-144	접수: 2009.12.31
수정일자: 2010.01.20/01.28	심사완료: 2010.01.28