

# 도시홍수모델을 이용한 해안지역의 침수재해평가

## Inundating Disaster Assessment in Coastal Areas Using Urban Flood Model

유환희<sup>1)</sup> · 김원석<sup>2)</sup> · 김성삼<sup>3)</sup>

Yoo, Hwan Hee · Kim, Weon Seok · Kim, Seong Sam

### Abstract

In recent years, a large natural disasters have occurred due to worldwide abnormal weather and the amount of damage has been increased more resulting from high density population and a large-sized buildings of the urbanized area. In this study, we estimate the flooded area according to rainfall probability intensity and sea level in Woreong dong, Masan occurred flood damages by typhoon Maemi using SWMM, a dynamic rainfall-runoff simulation model in urban area, and then analyze the damage of flood expected area through connecting with GIS database. In result, we can predict accurately expected area of inundation according to the rainfall intensity and sea level rise through dividing the study area into sub-area and estimating a flooded area and height using SWMM. We provide also the shelter information available for urban planning and flood risk estimation by landuse in expected flood area. Further research for hazard management system construction linked with web or wireless communication technology expects to increase its application.

Keywords : Flood damage, SWMM (Storm Water Management Model), GIS database, Flood hazard map, Disaster management system

### 초 록

최근 세계적인 기상이변으로 대규모의 자연재해가 발생되고 있으며, 도시지역의 인구 과밀화와 시설물의 대형화로 피해규모도 대형화되고 있다. 본 연구에서는 매미 태풍 시 침수피해가 크게 발생하였던 마산시 월영동지역에 대해 도시홍수량을 추정할 수 있는 SWMM모형을 이용하여 빈도강우와 해수위별 침수예상지를 추정하고 이것을 GIS데이터베이스와 연결하여 침수예상피해를 분석하였다. 그 결과, GIS자료를 이용하여 대상지역을 소유역으로 구분하고 홍수추정모형인 SWMM을 이용하여 침수위치와 침수심을 예측함으로써 빈도강우와 해수위 상승에 따른 침수예상지역을 정확하게 예측할 수 있었다. 또한 침수가 예상되는 지역에 대해 건물용도별로 침수위험도를 예측하거나 침수에 따른 대피계획수립에 이용할 수 있는 자료를 제공할 수 있었으며, 향후 웹이나 무선통신기술 등과 연계된 재난관리체계구축에 대한 연구가 이뤄질 경우 활용성이 증대될 것으로 판단된다.

핵심어 : 침수피해, SWMM, GIS데이터베이스, 침수위험도, 재난관리체계

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 빈발하는 국지성 집중호우나 태풍에 의한 호우로 인하여 대규모 홍수피해가 발생하고, 각종 개발사업의 증

가로 인해 도시지역의 배수시스템에 과부하가 발생하여 강우시 배수능력의 한계로 침수현상이 빈번히 발생하고 있다. 또한 자연재해에 의한 인명피해의 50%가 홍수재해가 차지하고 있어서 자연재해 중 홍수는 그 빈도와 규모에서 우리나라에 가장 큰 영향을 주는 재해이다. 2002년

1) 경상대학교 공과대학 건설공학부 도시공학전공 교수, ERDI(E-mail:hhyoo@gnu.ac.kr)  
2) 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정(BK21)(E-mail:one2ne@nate.com)  
3) 연결저자 · 경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정(E-mail:kimss333@netian.com)

태풍 루사로 인한 재산피해는 약 5조 1,500억원 정도였으며, 2003년에 태풍 매미로 인하여 총 4조 7,000억원에 달하는 막대한 재산피해를 입었으며 크고 작은 국지성 집중호우로 재해가 매년 반복되고 있는 실정이다. 그러나 현재 행정부 관할 읍면동 강우기록계는 일부지역을 제외하고는 실시간 관측이 이뤄지지 않아 호우 발생 시 활용이 불가능한 상태이다. 따라서 정부에서는 각종 재난정보를 정부기관들이 하나의 시스템으로 통합돼 재난복구에 이용될 수 있도록 국가재난관리정보시스템(NDMS) 고도화 작업을 본격적으로 추진하고 있으며, 방재기본법을 제정하여 각 지자체에서 자연재해 대처 및 예방에 대한 사업이 주요 사업화가 되었지만 이를 지원할 재해정보시스템의 개발과 보급은 아직 미비한 상태이다. 태풍이나 집중호우 시 침수지역을 예측하기 위해서는 유역유출해석, 하도수리분석, 지형정보시스템 등 여러 분야의 연구가 연계되어야 정량적인 결과를 얻을 수가 있다. 따라서 침수재해 시 제내지의 보호대책을 수립하는데 있어서 침수피해 예측 및 평가를 체계적으로 수행하는 것은 필수적인 사항이다.

도시 침수피해예측을 위한 국외의 연구를 살펴보면 Evans 등(1983)은 영국의 Whitham강에서의 홍수범람을 해석하기 위하여 1차원 유한차분모형을 이용하였고, Hromadka 등(1985)은 저수지의 가상적인 붕괴에 따른 홍수를 적분형 유한차분모형을 이용하여 해석하였다. Syme 등(1994)은 방글라데시의 홍수관리모형을 GIS소프트웨어와 연계하여 해석하였고 Estrela 등(1994)은 스페인의 Jucar강 홍수터에서의 홍수관리를 위해 GRASS 모형과 연계해석을 실시하였다. Tate(1999)는 TIN 모델과 HEC-RAS 모형의 지형자료를 결합하는 방법을 개발하였다. 또한 국내에서는 한국수자원 공사가 소양강댐의 유역을 17개의 소유역으로 구분하고 GRASS를 이용하여 유출모형에 필요한 자료를 구현한 바 있고, 이홍래 등(1999)은 제방월류와 범람홍수해석을 DWOPER 모형을 이용해 수행하였으며, 그 결과를 GIS로 도시하였다. 김양수(2000)는 침수예상지역의 추정방법에 대한 국내외 연구동향을 조사하였고, 이민우(2002)는 진주시 나불천 일대의 침수예상을 위하여 ILLUDAS 모형과 2차원 확산모형을 이용하였다. 또한 최근에는 국립방재연구소에서 홍수피해원인 분석 제도화 방안 연구와 홍수재해지도 작성지침 개발을 목적으로 연구가 활발히 진행중이다. 유환희 등(2004, 2005)과 김성삼 등(2005)은 도시지역 홍수재

해피해에 대한 위험도 평가와 3차원 GIS의 적용에 대한 가능성을 평가하였다.

이러한 동향을 고려하여 본 연구에서는 확률강우강도를 고려한 도시홍수추정 모델을 도입하고 이것을 GIS와 연계시켜 홍수 시 침수가 예상되는 지역을 예측하여 홍수피해에 대비하는 것과 동시에 침수 시 예상되는 피해정보를 분석할 수 있는 정보체계를 구축하였다.

## 1.2 연구방법 및 범위

도시지역에서의 침수는 집중홍수 시 배수용량을 초과하는 경우가 지속될 경우와 매미태풍때와 같이 해안연안지역의 도시에서 바다수위가 상승되어 배수가 용이치 못한 시점에 폭우가 발생할 경우로 생각할 수 있다. 본 연구에서는 2003년 9월 태풍 매미가 상륙하여 피해가 상당히 크게 발생한 마산시 월영동 일대 저지대 침수지역을 연구대상지역으로 선정하여 토지이용도, 하수도관망도, 마산시 수치지형도, DEM자료 등을 사용하여 GIS기반을 구축하고 여기에 도시 강우유출모형인 SWMM을 이용하여 우수관거 해석 및 월류량을 산정하고 이에 따른 침수피해 구역을 분석하였다. 이를 위해 각각의 재해관련 자료와 수치지형도를 이용하여 GIS의 자료기반인 속성자료와 공간자료의 연결과정을 거쳐 데이터베이스를 구축하였다. 도시홍수를 추정하는 모형은 일반적으로 BRRL(British Road Research Laboratory Method), ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator), SWMM등이 있는데, 본 연구에서는 도시유역 및 인위적인 배수체계에 대한 적용뿐만 아니라 소규모 배수유역에서 대규모 배수유역까지의 적용이 가능하고, 각 배수유역에 대한 합성 및 분리와 함께 배수유역 내 각종 수리시설물에 대한 정보를 고려하여 도시지역에 적용할 수 있는 SWMM모형을 선정하였다. 또한 연구 대상지역에 대해 현장조사를 실시하여 현황자료수집과 사진촬영을 하였으며, 토지대장, 건축대장, 토지이용도 등을 함께 구입하여 데이터베이스를 구축하였다.

연구수행방법은 연구 대상 지역의 유역현황 및 우수관망을 조사하여 SWMM모형에 입력하고 배수구역 및 강우특성을 결정하여 해수위상승에 따른 저지대 우수관망 월류량을 계산하였으며, 이를 이용하여 침수구역 예상 및 침수심 산정을 하여 침수 특성을 분석하였다(그림 1).

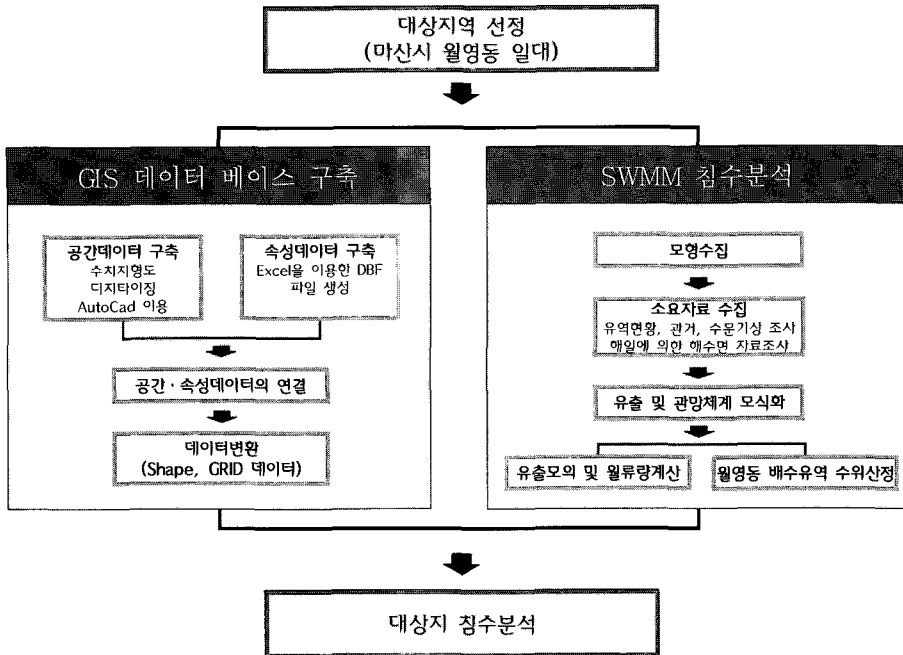


그림 1. 침수분석 흐름도

## 2. 홍수량 산정

### 2.1 강우-유출모형의 선정

도시지역에 대한 강우-유출해석에 이용 가능한 모형은 BRRL, ILLUDAS, SWMM등이 있다. 이 중 BRRL모형은 적용이 간편하다는 이점으로 널리 사용되어지고 있지만 설계자의 주관에 따라 유출량 계산에 큰 차이를 나타낼 수 있다. ILLUDAS 모형은 지표면의 양상과 배수관로의 계통을 고려하므로 BRRL 모형보다는 정확한 계산결과를 기대할 수 있다. 그러나 배수관망이 각종 수리구조물을 포함하고 있는 경우에 정확한 유출량을 산정하는데 어려움이 발생한다. 또한, 관로의 흐름을 등류로 보고 해석함으로써 관로내 수심의 변화와 배수의 영향을 고려할 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 모형들 중 도시구역 및 인위적인 배수체계에 대한 적용만이 아니라 소규모 배수구역에서 대규모 배수구역까지의 적용이 가능하고, 각 배수구역에 대한 합성 및 분리와 함께 배수 구역 내 각종 수리시설물을 고려할 수 있는 SWMM모형을 선정하였다.

### 2.2 SWMM의 개념 및 구성

SWMM은 도시지역의 강우에 의한 홍수량을 분석하기 위하여 1971년에 미국 EPA의 지원 아래 Metcalf & Eddy

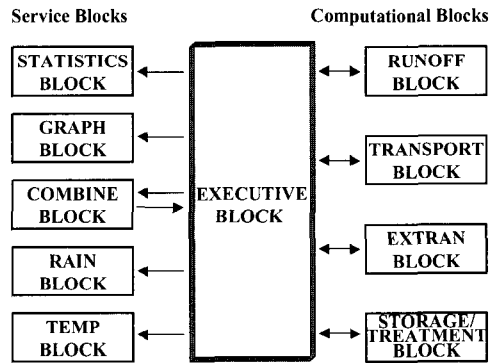


그림 2. SWMM 블록간의 관계

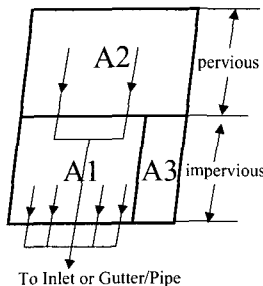
사가 개발한 모형으로서, Florida 대학 및 WRE(Water Resources Engineers)의 공동연구에 의하여 도시지역 하수시스템내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 구성되었다(Huber 등, 1988). SWMM 모형은 다음 그림 2와 같이 4개의 실행블록과 6개의 보조블록들로 구성되어 있으며, 126개의 부 프로그램들을 포함하고 있다.

SWMM은 호우에 의한 유출 유량과 수질을 예측하기 위해 강우주상도, 기상학적 입력자료, 소구역이나 하수관로와 같은 시스템의 특성을 고려하여 실제 호우사상을 모의하도록 되어 있다.

SWMM은 유역특성의 공간적 변화를 반영하기 위하여 전체유역을 소유역으로 분할하며, 이 때 관을 설계하고자 하는 지점 혹은 주요 간선 관거의 합류 지점을 기준으로 하여 소유역을 구분한다. 그리고 각 소유역의 유출을 모의하고, 각 소유역의 유출을 하도/관거 망을 통하여 추적함으로써 전체 유역의 유출을 계산한다. SWMM은 각 소유역을 공간적으로 일체화된 비선형 저수지로 취급하여 수학적으로 표현하고 각 소유역의 유출은 하도/관거 망을 통하여 추적된다. 비선형 저수지 방법에서는 실제유역을 아래 그림 3과 같이 직사각형 모양으로 표현함으로써 실제유역의 모든 기하학적 특성을 몇 개의 매개변수로 표현할 뿐이며 유역의 고유 모양은 가정되지 않는다.

소유역과 관련한 입력 자료들은 소유역의 면적, 유역의 평균경사, 불투수지역의 면적, 하도 및 관망의 길이, 관경 또는 하도의 폭, 하도의 경사 등이 있다. 그리고 투수 및 불투수유역의 Manning계수와 하도 및 관망의 Manning 계수, 지표면 저류, 침투관련 매개변수들, 그리고 유역폭 등이다. SWMM의 증발량 계산은 입력된 월 증발량을 이용하여 부프로그램에서 계산되어지거나, TEMP BLOCK에서 시계열 자료를 사용하여 산정할 수 있다. 이러한 증발량의 계산값은 유출과 침투가 일어나기 전의 손실로서 제거하는 방법을 사용하여 고려한다.

투수지역에 대한 침투량을 모의하는 방법으로는 Green-Ampt 방법을 사용하는데 이 방법은 물리적 개념에 기초한 식들로 구성된 장점이 있다. SWMM 모형에는 12가지 토양 매개변수를 사용하며 본 연구에서는 Green-Ampt 침투식을 적용하여 대상유역의 토양 종류를 반영하였다.



Subarea	Perviousness	Depression Storage
A1	Impervious	Yes
A2	Pervious	Yes
A3	Impervious	No

그림 3. 소유역 세부 영역과 지표면 분류

Green-Ampt 식에서 누가침투체적  $F$ (mm)가 지면 포화 지점의 침투체적  $F_s$ 보다 작은 경우, 실제침투율  $f$ 는 강우 강도  $i$ (mm/sec)와 같다. 이때의  $F_s$ 는 아래 식 (1)과 같다.

$$F_s = \frac{S_u \cdot IMD}{i/K_s - 1}, \quad i > K_s \quad (1)$$

$S_u$ 는 습윤선의 흡인 수두(mm),  $IMD$ 는 초기 수분 부족량(mm/mm),  $K_s$ 는 토양의 포화 수리 전도도(mm/sec)이다. 결국, 침투율은 토양 함수비뿐만 아니라 침투된 물의 체적에 의해 결정된다. 누가침투체적  $F$ (mm)가  $F_s$ 보다 같거나 큰 경우, 실제침투율( $f$ )은 아래 식 (2)의 침투능  $f_p$ (mm/sec)와 같다.

$$f_p = K_s \left( 1 + \frac{S_u \cdot IMD}{F} \right) \quad (2)$$

강우-유출현상의 모의를 위하여 지표면 유출이 발생하는 소유역을 지면저류가 없는 불투수역(A3)과 지면저류가 있는 불투수역(A1), 그리고 지면저류가 있는 투수역(A2)의 세 부분으로 구분한다. 그리고 이들 지표면을 통한 유출량은 유역을 비선형저수지로 가정한 후 연속방정식과 Manning식을 사용하여 계산한다.

지표면 유출이 발생하는 유역에서 초기( $t=0$ )조건은 지표면 저류량이 0이다. 경계조건은 유역의 상류 끝에서 외부유입이 없는 것이다. 상류 유역에서 강우로 인해 발생하는 지표면유출은 수리학적으로 연결된 하류 유역에 유입되며, 다른 유역으로 유출되지 않는다. 지표면 유출에 대한 기본방정식은 유출경사를 유역경사와 같다고 가정하는 운동과 근사법의 비선형 저류방정식이 사용된다. SWMM에서 RUNOFF 블록과 TRANSPORT 블록, EXTRAN 블록은 하도와 관거의 흐름을 모의할 수 있다. RUNOFF 블록은 앞의 지표흐름에 대한 모의에서 사용되었던 비선형 저수지 이론을 하도/관거의 흐름 추적에 사용하고 TRANSPORT 블록의 흐름지배 방정식은 다음의 운동파식으로 구성된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad S_f = S_0 \quad (3)$$

여기서,  $x$ 는 수로/관길이,  $t$ 는 시간,  $S_0$ 는 수로/관경사,  $S_f$ 는 마찰경사,  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 흐름 단면적이다. 위 식의 마찰경사는 Manning 식으로부터 구할 수 있다.

$$S_f = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (4)$$

여기서,  $n$ 은 Manning의 조도계수,  $R$ 은 동수반경이다. 위의 두 식으로부터 다음과 같이 유량을 구할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

위 식에서 흐름 단면적  $A$ 와 동수반경  $R$ 은 수심  $h$ 의 함수이다.

### 3. 결과분석

#### 3.1 대상지 선정 및 배수망 분석

연구 대상 지역은 2003년 태풍 매미 상륙 시 해일과 폭

우에 의해 피해가 크게 발생하였던 마산시 월영동 일대로 선정하였다. 이 지역의 특징은 해안에 접한 지역으로서 매립지가 해안을 따라서 넓게 자리 잡고 있으며 만조 시 바닷물의 수위가 상승하여 작은 홍수에도 바다쪽으로 배수가 잘 되지 않아 침수위험이 높은 곳이다. 일부 우수관의 방류구가 최고 만조위보다 아래에 위치하고 태풍 내습 시 강한 바람에 의한 수면상승과 기압차에 의한 수면 상승 등의 이유로 재해가 발생되고 있다(그림 4).

연구대상 지역에 대해 1/1,000수치지형도를 이용하여 표고자료를 취득하고 TIN을 구성한 후 표고와 경사분석을 실시하였다(그림 5, 6). 매립지의 경우 지반고가 대체적으로 1.9~2.2m로 낮게 나타나고 있으며 우수관 상단

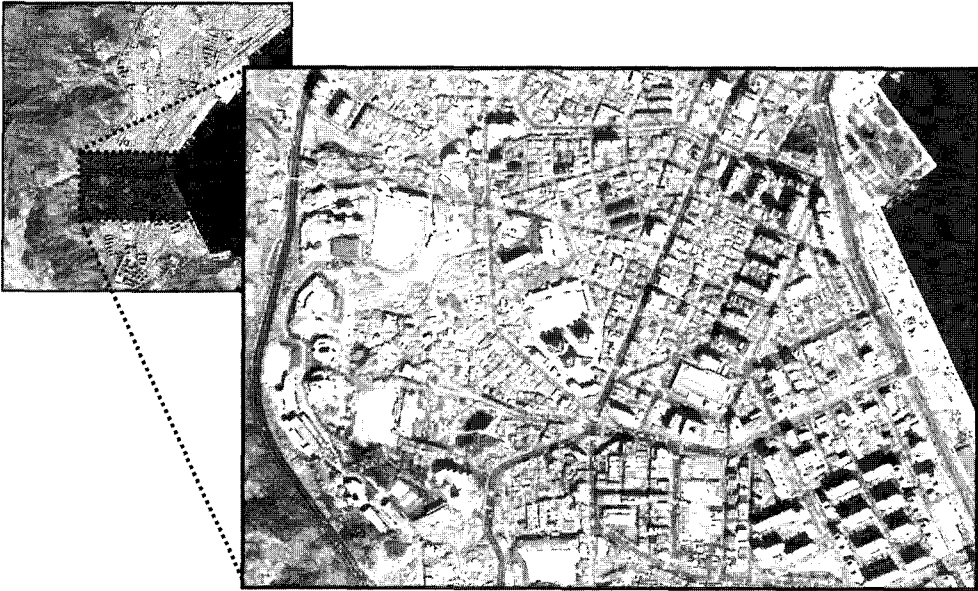


그림 4. 대상지역 IKONOS위성영상



그림 5. 대상지역 표고분석

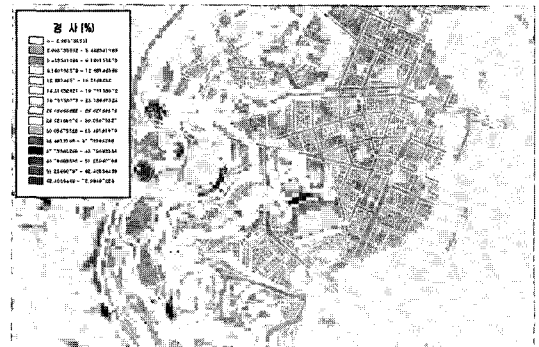


그림 6. 대상지역 경사분석

이 지면으로부터 0.7~1.2m 아래에 위치해 있어서 마산만의 만조 시 우수관이 해수에 잠기는 경우가 발생된다. 경사분포는 매립지를 중심으로 평지로 되어 있으며 내륙으로 들어가면서 일부 경사지가 존재한다.

연구 대상지역내에서 배수특성을 분석하기 위해 그림 7에서와 같이 지형특성과 배수관의 분포를 고려하여 11개의 소유역으로 구분하였으며, 각각의 유역에 대한 면적, 평균경사, 유역폭, 불투수면적, 불투수면적비에 대한 내용은 표 1에 나타내었다.

그림 7과 표 1에서 알 수 있듯이 소유역 1에서 9까지는 시가지지역으로 건물이 많이 분포하고 있어서 불투수면적비가 높게 나타나고 있으며 소유역 10, 11은 임야지역이 많이 분포되어 있는 특징이 있다.

그림 8, 9는 연구 대상지역내에 매설된 배수관망도를 나타낸 것으로서 절점번호와 배관번호를 그림으로 표시하였으며, 표 2는 배수망에 대한 노드번호와 표고, 표고차, 배관길이, 경사 등에 대한 자료를 정리한 것으로서 이들 자료는 도시지역 홍수에 따른 배수특성을 분석하는데

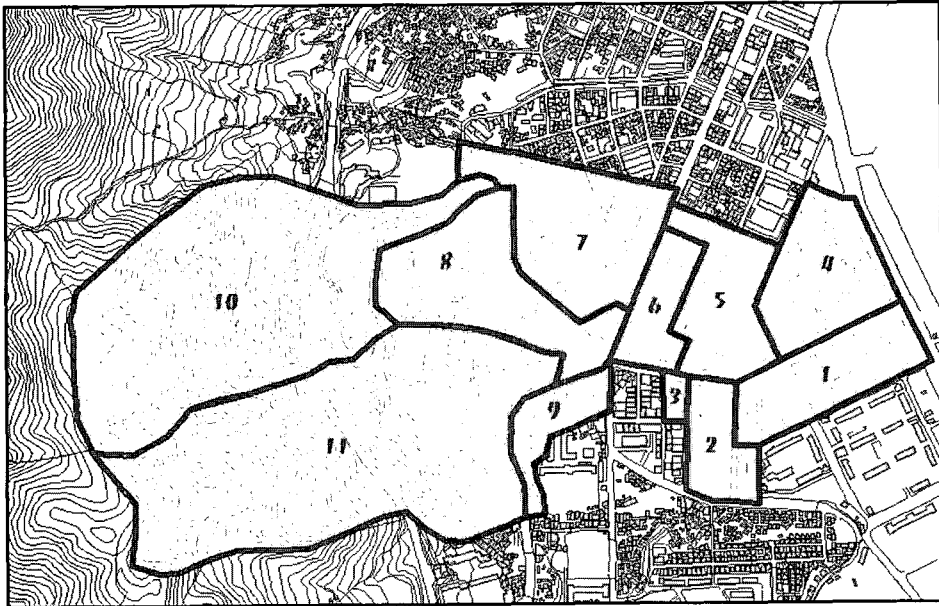


그림 7. 대상유역 배수유역도

표 1. 배수유역별 특성인자 및 불투수면적

배수유역	유역면적(km <sup>2</sup> )	평균경사(%)	유역폭(m)	불투수면적(km <sup>2</sup> )	불투수면적비(%)
1	0.062	0.015	279	0.0558	90
2	0.031	0.009	738	0.0279	90
3	0.007	0.350	212	0.0063	90
4	0.067	0.038	466	0.0603	90
5	0.057	1.130	366	0.0540	95
6	0.030	0.280	199	0.0270	90
7	0.075	5.920	473	0.0710	95
8	0.095	5.890	941	0.0855	90
9	0.028	4.748	225	0.0252	90
10	0.227	11.020	500	0.0568	25
11	0.382	8.340	1595	0.0955	25
계	1.061	-	-	0.5653	-

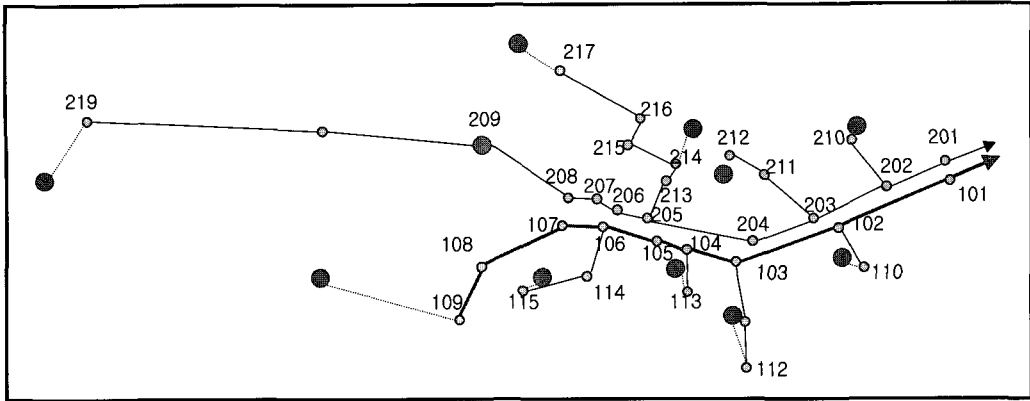


그림 8. 대상유역 절점 모식도

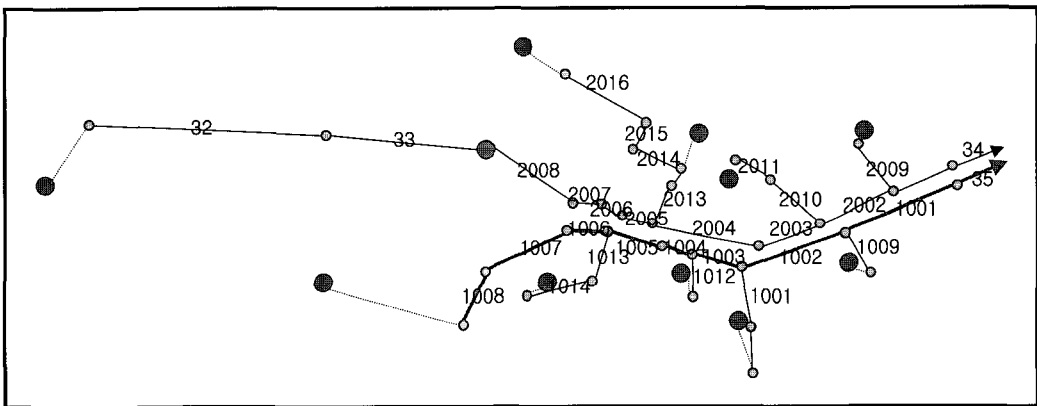


그림 9. 대상유역 관망 모식도

표 2. 대상유역 배수망 구성자료

배관번호	From node	To node	F-node 표고(m)	T-node 표고(m)	표고차(m)	배관길이(m)	경사(%)
35	101	13	-0.16	-1.21	1.05	590	0.0018
1001	102	101	0.15	-0.16	0.31	250	0.0012
1002	110	102	0.50	1.00	0.50	172	0.0029
1003	103	102	0.75	1.00	0.25	109	0.0023
1004	105	104	0.83	0.80	0.03	45	0.0006
1005	106	105	1.39	0.83	0.56	111	0.0050
1006	107	106	2.38	1.39	0.99	35	0.0280
1007	108	107	9.68	2.38	7.30	163	0.0447
1008	109	108	16.83	9.68	7.15	99	0.0071

사용되는 SWMM모듈의 입력자료로 사용된다.

### 3.2 침수량추정에 의한 침수예상지역 분석

대상지역의 소유역 현황자료와 배수망자료를 이용하여 SWMM모듈로 강우빈도별 침수량을 추정하고 이에 따른

침수예상범위를 GIS 데이터베이스에 연계시켜 산정하였다. 빈도별 강우량은 10년, 30년, 100년, 150년 빈도로 구분하였으며 대상지역이 해안지대로서 만조시 해수위가 상승하여 배수에 많은 영향을 주는 지역으로서 해수위 상승에 대한 요소도 함께 고려하였다. 따라서 해수위는 마

산앞 바다의 조위 관측 자료를 참고로 하여 간조의 경우인 -0.4m를 시점으로 하여 만조 시 예상되는 해수위를 0m, 1m, 1.5m, 2.1m로 구분하여 단계적으로 적용하였다. 그림 10은 SWMM모듈을 이용하여 해수위의 변화에 따른 배수관의 월류량을 비교한 것으로서 배수가 가능한 -0.4m, 0m, 1m, 1.5m의 해수위의 경우에는 수위상승에 따라 월류량이 소폭 증가하는데 반해 해수위가 2.1m인

경우 배수관에서 더 이상 바다로 배수가 이루어지지 않아 역류하여 많은 월류량이 발생하였다. 2.1m의 경우에는 가장 작은 강우 빈도인 10년 빈도에서도 월류량이 발생하는 것으로 나타나고 있어서 해수위 영향에 따라 배수에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

표 3은 강우빈도와 해수위를 단계적으로 구분하여 월류량이 발생하는 배수관망의 노드점들을 분석한 결과를 표로 나타낸 것이다. SWMM에 의해 분석된 빈도강우와 해수위에 따른 배수관망 노드점별 월류량을 이용하여 침수예상지역에 대한 분석을 GIS데이터베이스와 연계시켜서 수행하였다. 각각의 빈도강우별, 해수위별 특성 중 강우강도가 큰 100년, 150년 빈도와 해수위가 최저 및 최고인 -0.4m, 2.1m에 대한 침수예상지역을 GIS로 분석한 결과 그림 11~14, 표 4~7과 같다. 여기서 빈도강우를 150년 빈도까지 고려한 것은 최근 강우강도가 매우 높아지고 있는 추세를 반영한 것이며, 해수위도 최고값인 2.1m인 경우를 고려한 것은 매미 태풍시 만조시간과 겹쳐서 최악의 상황에서 태풍이 지나간 사례를 고려한 것이다.

해수위를 간조시간대로 고려하여 -0.4m로 한 경우 100

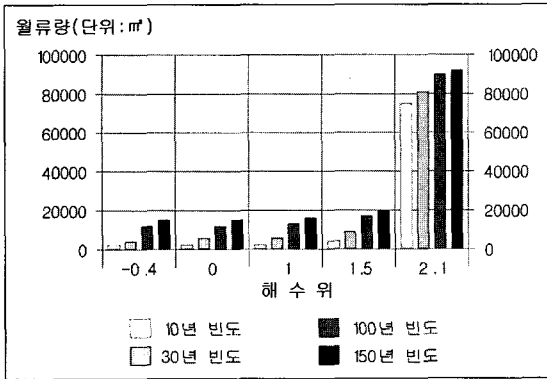


그림 10. 해수위 변화에 따른 빈도별 월류량

표 3. 빈도별 강우량에 따른 월류 노드점 현황

구분	해수위(m)	월류량 발생지점
10년 빈도	-0.4	112, 211, 212, 214
	0	112, 211, 212, 214
	1	112, 210, 211, 212, 214
	1.5	110, 112, 210, 211, 212, 214
	2.1	110, 111, 112, 210, 211, 212, 214
30년 빈도	-0.4	112, 209, 210, 211, 212, 214
	0	110, 112, 209, 210, 211, 212, 214
	1	110, 112, 209, 210, 211, 212, 214
	1.5	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214
	2.1	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214
100년 빈도	-0.4	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	0	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	1	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	1.5	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	2.1	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
150년 빈도	-0.4	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	0	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	1	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	1.5	110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217
	2.1	107, 110, 111, 112, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217



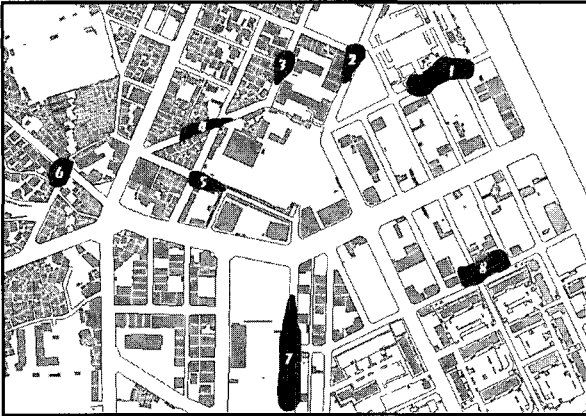


그림 11. 침수예상지역(100년 빈도 강우시 해수위 -0.4m인 경우)

표 4. 예상침수심(100년 빈도 강우시 해수위 -0.4m일 때)

침수지역	침수심(cm)
1	13.96
2	8.65
3	12.49
4	12.23
5	15.51
6	15.40
7	5.70
8	5.75

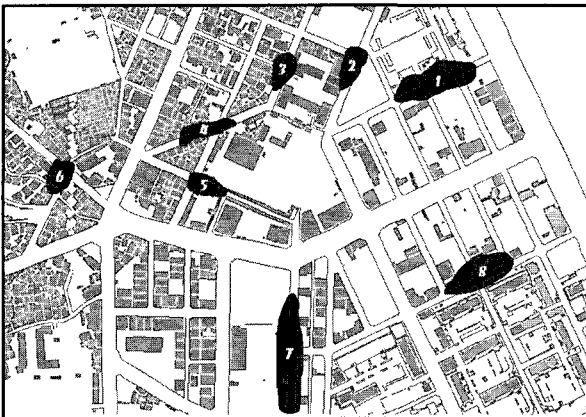


그림 12. 침수예상지역(150년 빈도 강우시 해수위 -0.4m인 경우)

표 5. 예상침수심(150년 빈도 강우시 해수위 -0.4m일 때)

침수지역	침수심(cm)
1	16.63
2	8.98
3	13.30
4	13.71
5	17.11
6	16.32
7	6.40
8	7.10



그림 13. 침수예상지역(100년 빈도 강우시 해수위 2.1m인 경우)

표 6. 예상침수심(100년 빈도 강우시 해수위 2.1m일 때)

침수지역	침수심(cm)
1	21.55
2	23.54
3	18.20
4	17.25
5	20.15
6	25.42
7	17.32
8	11.29
9	29.80



그림 14. 침수예상지역(150년 빈도 강우시 해수위 2.1m인 경우)

표 7. 예상침수심(150년 빈도 강우시 해수위 2.1m일 때)

침수지역	침수심(cm)
1	22.43
2	24.63
3	20.24
4	17.29
5	20.99
6	26.45
7	18.31
8	15.75
9	32.86

년 빈도강우에서는 침수심이 5.75cm~15.51cm, 150년 빈도강우의 경우에는 6.40cm~17.11cm로 나타났다. 또한 해수가 2.1m로 상승한 경우 100년 빈도강우에서는 침수심이 11.29cm~29.80cm, 150년 빈도강우의 경우에는 15.75cm~32.86cm로 나타났다. 침수예상지역도 해수위가 -0.4m인 경우 8개 지역인 것이 해수가 2.1m로 상승하면서 9개 지역으로 증가 하였다. 침수예상면적도 빈도강우 150년으로 할 경우 해수위 -0.4m 일때 20,757.06m<sup>2</sup>, 해수위 2.1m 일때 90,027.29m<sup>2</sup>로서 약 69,270.23m<sup>2</sup>가 증가되었다.

그림 15는 최악의 상황인 150년 빈도 강우, 해수위 2.1m에 의해 침수가 일어날 것으로 예상되는 건물을 3D GIS상에서 보여주는 것이다. 이 지역내 침수 건물의 용도는 주택이 22개소, 음식점이 6개소, 다중이용업소가 4개소, 은행, 유아시설, 세차장, 학원이 각각 1개소로 나타났다.

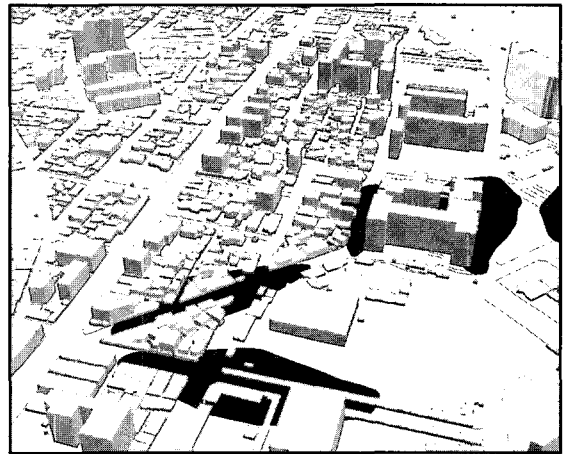


그림 15. 150년 빈도 강우시 해수위 2.1m일때 침수지역

그림 16은 침수예상지역으로 분석된 곳 중에서 주로 사람들이 많이 이용하는 특정 시설물의 사진현황을 나타낸 것이고, 표 8은 토지이용현황을 알기 위해 구축된 데이터베이스에서 건축물대장 현황자료를 요약하여 나타낸 것이다. 이 시설물들은 일반상업지역인 곳에 위치하고 있고, 주구조가 대부분이 철근콘크리트구조로 나타났다. 특히 A, C, D 시설물은 지하층을 이용하고 있기 때문에 안전을 위해 침수발생이 예측될 때 신속한 대피대책이 필요한 것으로 판단된다.

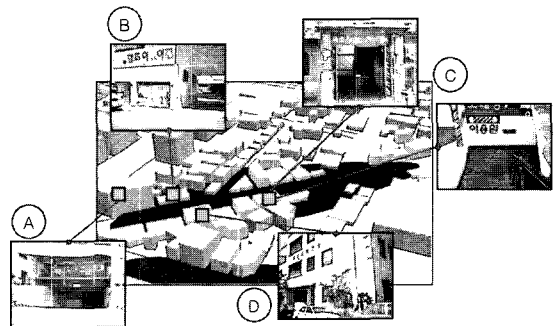


그림 16. 침수발생 예상지역 특정건물 현황

위와 같은 사진현황 및 건축대장현황에 나타나는 층수, 연면적, 건축년도, 주구조, 주용도, 토지이용현황 등을 GIS 상에서 속성정보로 구축함으로써 향후 침수발생이 예측

되는 시설물의 피해액 뿐 만 아니라 피해량 산정을 위한 자료로서 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

표 8. 침수발생 예상지역 특정건물 건축대장 현황

시설물	층수	연면적(m <sup>2</sup> )	건축년도	주구조	주용도	지역
A	지하 1층 지상 4층	722.38	1992	철근콘크리트조, 시멘트벽돌조	근린생활시설, 위락시설, 주택	일반상업지역
B	지상 2층	-	1987	철근콘크리트조 시멘트벽돌조	교육연구및복지시설, 근린생활시설	일반상업지역
C	지하 1층 지상 3층	348.48	1984	철근콘크리트조	근린생활시설	일반상업지역
D	지하 1층 지상 3층	421.15	1989	철근콘크리트조	제1종근린생활시설	일반상업지역

#### 4. 결 론

본 연구에서는 홍수에 의한 침수피해를 분석하기 위해 매미 태풍 시 침수피해가 발생하였던 마산시 월영동 지역에 대해 도시홍수량을 추정할 수 있는 SWMM 모형을 적용하여 빈도강우와 해수위별 침수량을 추정하고 이것을 GIS데이터베이스와 연결하여 침수예상지역을 분석하였고, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, GIS자료를 이용하여 대상지역을 소유역으로 구분하고 배수관망도를 이용하여 노드점을 선정할 후 홍수 추정모형인 SWMM을 이용하여 침수위치와 침수심을 예측함으로써 빈도강우와 해수위 상승에 따른 침수예상지역을 예측할 수 있었다.

둘째, 데이터베이스에 구축된 건축대장 및 토지이용현황자료 등은 침수가 예상되는 지역에 대해 건물용도별로 위험도를 예측하거나 침수에 따른 대피계획수립과 예상되는 피해규모를 산정하는데 중요한 자료로 활용될 수 있으며, 향후 웹이나 무선통신기술 등과 연계된 재난관리 체계로 발전할 경우 활용성이 더욱 증대될 것으로 예측된다.

셋째, 분석지역으로 선정된 마산시 월영동 지역은 해안 지역으로서 강우강도에 의한 침수 가능성과 해수위의 상승이 배수량에 주는 영향을 함께 고려해야하는 특성이 있는 지역으로서 본 연구 결과를 토대로 하여 향후 보다 구체적인 연구에 의한 침수 위험도분석이 요구된다.

#### 참고문헌

김성삼, 박기연, 유환희 (2005), 자연재해저감형 도시재해관리체계 구축, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 215-220.  
김양수 (2000), 홍수재해지도 작성 제도화 및 침수예상지역추정 방법 개발, 국립방재연구소.

김현주, 오금호 (2003), 재난관리를 위한 지역위험도 평가 및 적용에 관한 연구, 정책반영과제, 국립방재연구소.  
유환희, 김성삼, 박기연, 최우석 (2005), 지형공간정보체계에 의한 도시지역 재해위험도 평가, 한국지형공간정보학회논문집, Vol. 13, No. 3, pp. 41-52.  
유환희, 김옥남, 김성삼, 정동기 (2004), 홍수재해관리를 위한 3차원 GIS적용, 한국지형공간정보학회논문집, Vol. XII, No. 1, pp. 21-30.  
이민우 (2002), 도시지역의 홍수재해예측 및 관리시스템 개발, 석사학위 논문집, 경상대학교, pp. 16-22.  
이홍래, 이종원, 김동구 (1999), GIS를 이용한 침수예측시스템과 Mapping, 대한토목학회 논문집, Vol. 1999, No. 3, pp. 365-368.  
한국수자원학회 (1996), 제4회 수공학 워크샵 교재, pp. 97-204.  
한국수자원학회 (2003), 2003년 태풍 매미로 인한 재해특성 및 조사보고서.  
Eric Christopher Tate, M.S.E., Francisco Olivera., PhD and David R. Maidment. (1999), Flood Plain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS, Center for Research in Water Resources.  
Estrela, T. and Quintas, L. (1994), Use of a GIS in the modeling of flows on floodplains, Proc. of Second International Conference on River Flood Hydraulics, March 22-25, York, England, pp. 177-183.  
Evans, E.P. and Lany, P.H. (1983), Mathematical model of overbank spilling and urban flooding, Paper No.G5, Int. Conf. on Hydraulic Aspects of Floods & Flood Control, London, England.  
Hromadka II, T.V. and DeVries, J.J. (1985), A two-dimensional dam-break model of the Orange County Reservoir, International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulic Infrastructures and Water Quality Control, Univ. of Kentucky, pp. 185-193.  
Huber, W.C. and Dickinson, R.E. (1988), Storm Water Management Mode. US Environment Protection Agency.  
Lewis A. Rossman (2005), Storm Water Management Model, EPA.  
Syme, W.J. and Paudyal, G.N. (1994), Bangladesh flood management model, Proc. of Second International Conference on River Flood Hydraulics, March 22-25, York, England, pp. 167-176.  
(접수일 2006. 6. 30, 심사일 2006. 7. 8, 심사완료일 2006. 7. 30)