

WRF 예측강우를 활용한 홍수 및 침수예측에 관한 연구

A Study on the Flood and Inundation Prediction using Forecasted Rainfall of the WRF Model

윤성심*, 트란안푸응**, 배덕효***
Seong-Sim Yoon, Tran Anh Phuong, Deok-Hyug Bae

요 지

최근 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐 등 지구환경 변화에 따른 기후변화의 영향으로 지구상의 많은 지역에서 집중호우가 발생하고 있으며 우리나라도 예외 없이 매년 되풀이되고 있다. 이로 인해 발생하는 홍수피해를 경감하기 위해서 홍수조절용 다목적 댐 건설과 같은 구조적 대책과 홍수를 사전에 예측할 수 있는 홍수예경보 시스템 구축과 같은 비구조적 대책의 마련이 필요하다. 일반적인 홍수예경보 시스템은 강우 관측치를 강우-유출 모형 및 수리해석 모형의 입력 자료로 하여 홍수량 및 홍수위를 계산하고 그 결과를 이용하여 운영된다. 그러나 집중호우와 같은 악기상 조건에서는 관측강우자료를 이용한 유출해석 결과로 홍수예경보 시스템을 운영 할 경우 예방·대응시간의 부족으로 인해 방재 효율성이 떨어지게 된다. 따라서 미래에 발생할 강우를 사전에 예측하고, 이를 효율적으로 유출 모형과 연계하여 홍수발생 이전에 홍수발생 가능성을 예측할 수 있는 홍수 모의시스템을 구축하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 중규모 수치예보모형인 WRF 모형(Weather Research and Forecasting model)으로 모의된 2007년 태풍 '나리' 사상의 예측강우를 이용하여 유역평균강우를 산정하였으며, 산정된 예측강우를 도시유역유출모형인 SWMM과 2차원 침수모의가 가능하도록 개선한 CASC2D 모형에 활용하여 침수현상을 모의하였다. 실제 침수흔적과 모의된 결과의 비교를 통해 예측강우를 이용한 침수예측 및 홍수예보의 가능성을 평가한 결과, 과소추정된 예측강우의 영향으로 인해 모의된 침수심이 실제보다 작게 발생하였으나 침수발생 위치는 대체적으로 정확하게 모의하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : WRF, 예측강우, SWMM, CASC2D, 침수모의, 홍수예측

1. 서론

최근 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐 등 지구환경 변화에 따른 기후변화의 영향으로 지구상의 많은 지역에서 집중호우가 발생하고 있으며 우리나라도 예외 없이 매년 되풀이되고 있다. 대표적인 사례로 '90년 남한강 대홍수와 '96, '98년 경기북부 지역의 대홍수가 있다. 특히 2007년 9월 15일~17일의 제주도에 발생한 홍수(태풍 '나리')는 1일 최대 542mm의 집중호우와 최대 초속 50m가 넘는 강풍으로 인하여 13명의 사망자와 1,300억원의 손실을 초래하였다. 일반적으로 이와 같은 피해를 경감하기 위해서 홍수조절용 다목적 댐 건설과 같은 구조적 대책과 홍수를 사전에 예측할 수 있는 홍수예경보 시스템 구축과 같은 비구조적 대책의 마련이 필요하다. 일반적인 홍수예경보 시

* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 박사수료 · E-mail : lapisis@hanmail.net
** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 · E-mail : anhphuongah@yahoo.com
*** 정회원 · 세종대학교 물자원연구소 · 토목환경공학과 교수 · E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

스텝은 강우 관측치를 강우-유출 모형 및 수리 해석 모형의 입력 자료로 하여 홍수량 및 홍수위를 계산하고 그 결과를 이용하여 운영된다. 그러나 집중호우와 같은 악기상 조건에서는 관측강우 자료를 이용한 유출해석 결과로 홍수예정보 시스템을 운영 할 경우 예방·대응시간의 부족으로 인해 방재 효율성이 떨어지게 된다. 따라서 미래에 발생할 강우를 사전에 예측하고, 이를 효율적으로 유출 모형과 연계하여 홍수발생 이전에 홍수발생 가능성을 예측할 수 있는 홍수모의시스템을 구축하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 중규모 수치예보모형인 WRF 모형(Weather Research and Forecasting model)으로 모의된 2007년 태풍 '나리' 사상의 예측강우를 이용하여 유역평균강우를 산정하였으며, 산정된 예측강우를 도시유역유출모형인 SWMM과 2차원 침수모의가 가능하도록 개선한 CASC2D 모형에 활용하여 침수현상을 모의하였다. 또한 실제 침수흔적과 모의된 결과의 비교를 통해 예측강우를 이용한 침수예측 및 홍수예보의 가능성을 평가하였다.

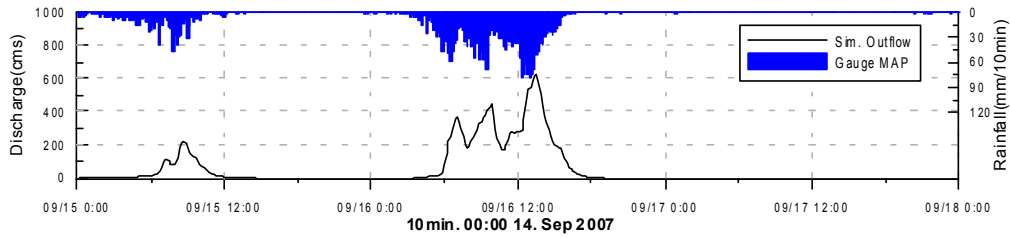
2. WRF 예측강우

수치예보모형(Numerical Weather Prediction Model)은 바람, 기온 등과 같은 기상요소의 시간흐름에 따른 변화양상을 예측한다. 일반적으로 수치예보는 먼저 대기 공간을 일정한 크기의 상자로 나누고 여기에 현재의 관측된 기상요소를 정해진 형태로 바꿔서 입력하여 컴퓨터로 지구를 둘러싸고 있는 대기의 운동을 지배하는 물리적 법칙을 수치적으로 계산하여 앞으로의 날씨가 어떻게 변화하는지 알려준다. 최근 국내에서 차세대 기상수치모형으로 사용되는 WRF는 기존의 수치모형인 MM5에 비하여 고해상도로(100m 격자 간격) 기상변수를 계산해 낼 수 있는 기상수치모형이다. WRF 모형은 NCAR/MMM과 NOAA/FSL에서 제작하였으며 이상화한 수치모의(대류, 경압파, squall line), 자료동화 연구, 매개변수화(parameterization) 연구, 예보 연구 등에서 사용되고 있다. WRF 모형을 구성하는 요소는 WPS(WRF Preprocessing System)라는 전처리 과정과 WRF_3DVAR, ARW solver(initialization program과 Numerical integration program), graphics tool로 구성되어 있다(과학기술부, 2006).

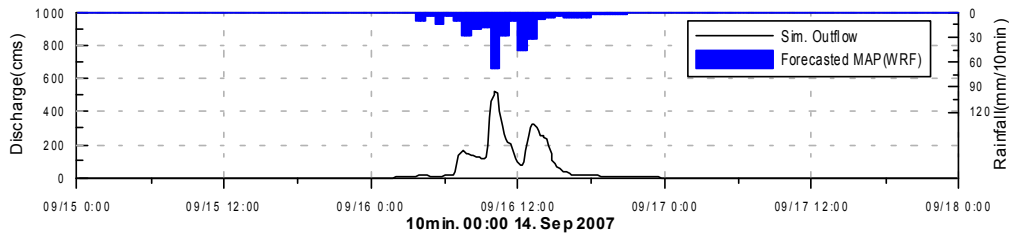
본 연구에서는 홍수모의 시스템의 입력자료로 다음 표 1과 같은 조건으로 모의된 태풍 '나리' 사상의 예측강우를 사용하였으며, 제주도 유역내 AWS(Automatic Weather Stations) 관측강우와 WRF 예측강우의 MAP 산정결과는 다음 그림 1과 같다.

표 1. 나리 사례를 위한 WRF 실험 수행 조건

Domain	1 (fixed)	2(fixed)	3(fixed)
Horizontal Resolution	32km	8km	2km
No. of Grid points	191 x 171	361 x 361	449 x 525
Vertical Layer	32		
Micro physics	WSM6		
PBL	YSU		
Cumulus parameterization	KF		X
LSM	Noah		
Bogussing	O / X		
Time	Start	2007-09-14-12:00:00	
	End	2007-09-16-12:00:00	
Initial conditions	NCEP FNL		



(a) AWS 관측 유역평균강우량



(b) WRF 예측 유역평균강우량

그림 1. 제주도 한천 유역의 유역평균강우량

3. 도시홍수 및 침수모의를 위한 홍수모의 모형 개선 및 적용

3.1 모형의 개선

본 연구에서는 배수관망의 홍수량 해석을 위해서 SWMM(Storm Water Management Model)을 선정하였으며, 지표면 해석에는 CASC2D를 이용하였다. SWMM은 배수관망의 하도추적 및 해석에, CASC2D는 지표면 흐름해석 모의에 관한 일반적인 모형으로 사용되어 왔으며 두 모형의 이론의 정확도와 실행가능성은 이미 검증되었다. 침수예측을 목적으로 한 경우, SWMM은 배수관망의 용량이 초과되어 유출이 발생할 경우 침수영역을 제공하지 못하지만 매 시간별 월류량을 제공하며, 제공된 결과는 지표면 흐름해석 모형의 입력자료로 사용될 수 있다. CASC2D 모형의 결과는 시계열 유출량과 수심이 전체 각 격자에서 산출되며, 월류량 정보를 바탕으로 시간별 침수지도 를 쉽게 결정할 수 있다. 두 모형 모두 물리적 모형이며, 각 모형의 매개변수는 유역 특성들과 연계된 정보를 이용하여 얻을 수 있다(Phuong, 2010).

본 연구에서는 도시홍수 및 침수모의를 위해 2차원 침수모의가 가능하도록 CASC2D 모형을 다음과 같이 개선하였다.

(i) 입력 서브루틴의 개선

강우계 관측강우를 활용하는 대신 격자정보를 CASC2D 입력을 활용할 수 있도록 입력 서브루틴을 수정하였다. 이를 통해 월류량의 흐름을 모의할 때 월류가 발생한 맨홀의 위치를 포함한 격자를 입력자료로 활용할 수 있다.

(ii) 불투수율의 개선

기존의 CASC2D 버전은 불투수율을 고려하지 못하므로 불투수 지역이 큰 부분을 차지하는 도시유역에 적용할 때 모형의 정확도는 감소된다. 이를 고려하여 각 격자별로 불투수 지역의 비율을 포함하고 있는 래스터 자료를 추가할 수 있도록 개선하였다.

(iii) 지배방정식의 개선식

SWMM 월류량의 지표면 흐름해석을 모의할 수 있도록 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된 지배방정식을 수정하였다. 배수관망시스템으로부터의 월류량 영향과 질량보존 및 운동량보존을 고려하면서 운동량 방정식을 다음 식 (1)과 식 (2)로 수정하였다.

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{qu}{hg} = S_{0x} - S_{fx} \tag{1}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{qv}{hg} = S_{0y} - S_{fy} \tag{2}$$

여기서, h는 지표수의 깊이, u와 v는 x, y 방향의 유출율(m²/s), P_e는 초과강우량, S_{0y}와 S_{fy}는 y 방향의 바닥 및 마찰경사, S_{0x}와 S_{fx}는 x 방향의 바닥 및 마찰경사, q는 식 (3)을 통해 계산된 단위 월류량(m/s)이다.

$$q = \frac{Q_{surcharge}}{W^2} \tag{3}$$

여기서, Q_{surcharge}는 해당 격자 셀에서의 월류량이고, W는 격자 크기이다.

(iv) 월류량 재유입을 고려하기 위한 추가항

CASC2D를 지표류 추적에 적용할 때, CASC2D는 지표유출량이 다시 배수관망으로 맨홀을 통해서 들어가는 재유입현상을 해석하지 못하는 문제가 발생한다. 일반적 현상의 경우 월류가 발생된 맨홀의 수위가 감소하거나 월류가 더 이상 발생하지 않게 되면 지표유출량은 맨홀로 재유입된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 월류가 특정맨홀에서 더 이상 발생하지 않을 때, 지표류가 가상 웨어를 통해 맨홀로 유입되는 것을 가정하였다.

가상웨어의 사용을 통해서, 지표유출에서 맨홀로 들어가는 유출량은 식 (4)로 계산된다.

$$Q_{weir} = CLH^{3/2} \tag{4}$$

여기서, Q_{weir}은 지표에서 배수관망으로 들어가는 유량이다. C는 웨어 상수이며, L은 웨어 폭으로 여기서는 맨홀의 둘레와 같다. H는 지표면 유량 깊이이다.

3.2 모형의 구축 및 적용

SWMM과 CASC2D의 결합을 통해 수행되는 제주도 한천유역에서의 침수모의 절차는 그림 2와 같다. AWS 관측강우와 WRF 예측강우를 입력자료로 처리하고 대상유역을 지형정보, 맨홀 위치, 배수관망 정보를 고려하여 다수의 소배수구역으로 분할한다. SWMM 모형의 RUNOFF 모듈을 통해서 강우로 인한 각 소유역별 유역유출량을 산정한다. 이 단계의 결과

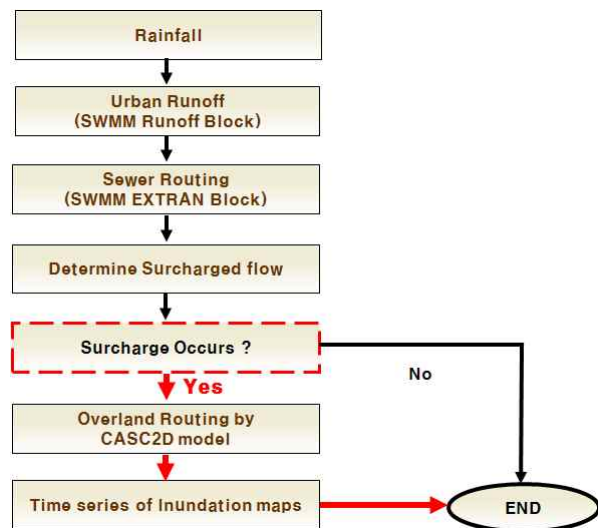


그림 2. 도시홍수 및 침수모의 절차

는 다시 EXTRAN 모듈의 입력자료로 사용된다. SWMM의 EXTRAN 모듈은 RUNOFF 모듈에서 얻은 유량자료를 입력으로 받으며, Saint-Venant 방정식의 해를 구하여 하수관망내 유출의 이동을 모의한다. 이 단계에서 월류가 발생하면 월류량은 배수관망 내 전 지점의 맨홀에서 매시간별로 모의된다. 수정된 CASC2D는 월류량의 지표류 흐름을 추적하여 지표면 상의 침수를 모의하기 위해 적용되었다. 다음 그림 3은 실제 태풍 ‘나리’로 인해 발생한 한천 지역의 실제 최대 침수심을 나타낸 것이며, 그림 4와 그림 5는 관측강우 및 예측강우를 입력으로 하여 SWMM과 CASC2D를 통해 모의된 침수심이다. 비교결과, 과소추정된 예측강우의 영향으로 모의된 침수심이 실제보다 작게 발생하였으나 침수발생 위치는 대체적으로 정확하게 모의하는 것으로 나타났다.

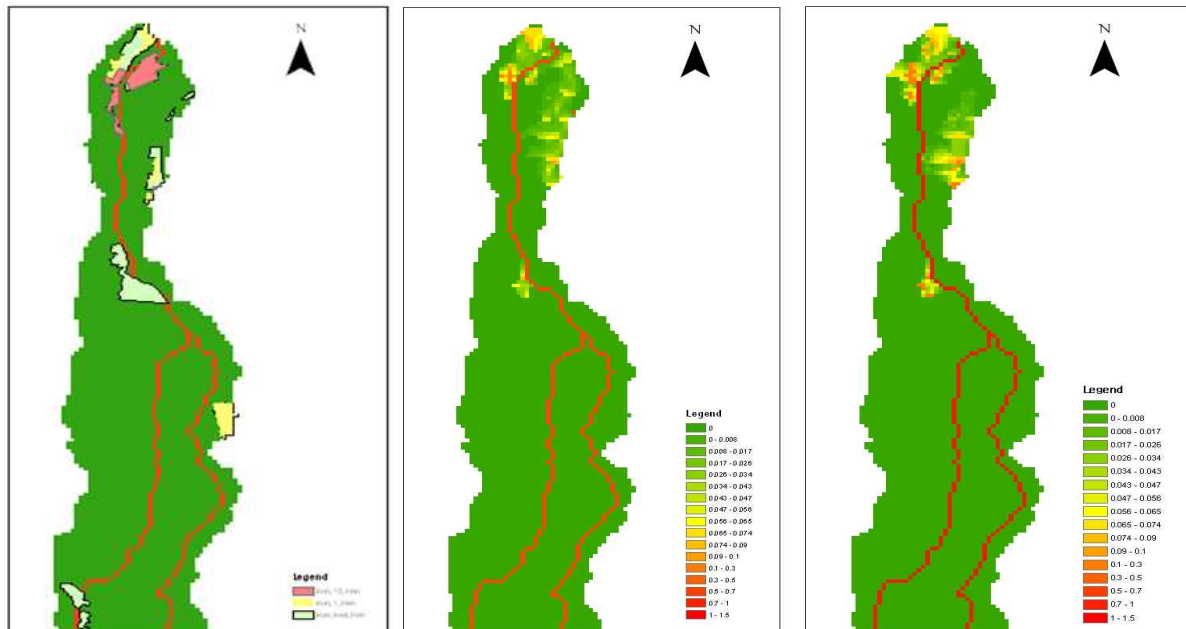


그림 3. 실제 최대 침수심 그림 4. 관측강우로 모의된 침수심 그림 5. 예측강우로 모의된 침수심

4. 결론

본 연구에서는 WRF로 모의된 2007년 태풍 ‘나리’ 사상의 예측강우를 이용하여 제주도 한천 지역의 유역평균강우량을 산정하고 실제 관측강우 결과와 비교하였다. 또한 예측강우를 도시유역유출모형인 SWMM과 2차원 침수모의가 가능하도록 개선한 CASC2D 모형에 활용하여 침수현상을 모의하였다. 그 결과, 과소추정된 예측강우의 영향으로 모의된 침수심이 실제보다 작게 발생하였으나 침수발생 위치는 대체적으로 정확하게 모의하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Phuong, T. A.(2010). *Coupling of hydrologic model and radar data for and inundation prediction. Master dissertation.* Sejong University, Seoul, Korea, pp. 34-37.
- 과학기술부(2006). GPS 기상자료를 이용한 한반도 상세 강수량 예보법 개발, 최종보고서.