

홍수범람해석모형을 이용한 침수피해 저감방안 연구

- 진위천 하천구간을 대상으로 -

A Study on the Mitigation of Inundation Damage Using Flood

Inundation Analysis Model FLUMEN

- For the Part of Jinwicheon Reach -

강수만*.박민지**김상호***김성준****

Kang, Su-Man-Park, Min-Ji-Kim, Sang-Ho-Kim, Seong-Joon

요 지

최근 기록적인 집중호우와 태풍으로 인해 홍수의 피해가 점점 증가하고 있다. FLUMEN과 같은 홍수범람 해석 모형을 이용한 비구조적인 홍수대책들은 홍수 피해를 확실히 경감시켜줄 수 있다. 본 연구에서는 FLUMEN 모형의 적용성을 검토하여 홍수피해 저감방안을 제시하였다. 천수방정식을 지배방정식으로 하고 유한체적법에 기반을 둔 이 모형을 대상유역으로 진위천 구간을 선정하여 적용하였다. 1998년 8월 7일~9일에 발생했던 실제 강우사상으로 적용성을 검토하였으며, 침수실적도와 모의범람면적을 비교하였을 때 미미한 차이를 보였다. 적용성 검증 후, 빈도별 홍수범람 모의를 실시하였으며, 200년 빈도의 홍수량에 대하여 2가지 경감대책(제방의 보축, 상류 유입부 천변저류지)에 대하여 범람모의 하였다.

핵심용어 : FLUMEN, 홍수범람, 홍수피해 경감대책, 제방의 보축, 천변저류지, 홍수피해

1. 서 론

홍수는 기상의 조건과 지형의 특수조건이 복합되어 언제라도 발생할 가능성이 있는 것이다. 최근 들어 태풍과 이상기후 (엘리뇨, 라니냐) 등의 현상으로 그 시기와 크기 등을 예측하기 힘든 계릴라성 집중호우가 발생하여 인명과 재산피해에 가장 큰 영향을 주고 있다. 특히 2006년 태풍 에워니아와 집중호우로 인해 강원도 홍천, 평창 일대와 본 논문의 연구지역인 안성천 일대의 피해액은 잠정 집계만으로 1조 8,000억 원에 이르며 복구비용은 3조원에 이른다. 하지만 이러한 홍수의 규모와 발생시각을 사전에 예측할 수 있다면 같은 규모의 홍수가 발생 할지라도 사전준비와 예방활동, 재해취약지구의 보강, 나아가 다목적 댐과 하구언 등의 적절한 조작에 의하여 홍수피해를 최소화 할 수 있을 것이다. 다시 말하면, 비구조물적인 대책인 홍수지도, 홍수보험만으로 홍수피해를 줄인다는 것은 한계가 있기 때문에, 구조적인 대책과 비구조적인 대책이 상호보완 되는 합리적이고 효율적인 새로운 대책이 제시되어져야 할 것이다.

홍수범람 모의와 관련된 국내 연구를 살펴보면 한건연 등(1995)이 일산제의 제방붕괴에 관한 수치모의를 실시한 바 있으며, 한건연 등(1997)은 댐 및 하천제방에 대한 위험도 평가모형을 개발하여 이를 실제 유역에 적용하여 해석하였다. FLUMEN과 관련하여 최근 연구된 논문에는 김훈 등(2004)이 지역빈도 강우자료와 HEC-RAS를 이용한 농지침수 지역추정에 관한 연구를 하였으며, 배용훈 등(2005)은 FLUMEN 모형의 적용·타당성의 검증을 위해, 원형섬에서의 고립파에 처오름 해석을 통하여 검증 후, 실제 지형에서의 홍수범람을 모의하였다.

홍수범람 모의와 관련된 대부분의 논문들은 주로 연구 대상지역의 홍수범람 모의, 그 피해액의 추정, 그

* 정회원 · 건국대학교 지역건설환경공학과 석사과정 · E-mail : cetop98@konkuk.ac.kr

** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : iamg@konkuk.ac.kr

*** 정회원 · 건국대학교 지역건설환경공학과 박사과정 · E-mail : sanghok@konkuk.ac.kr

**** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 부교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

리고 위험도 평가를 주된 목적으로 하고 있다. 본 논문에서는 홍수범람해석모형을 이용하여 모의하고 그 피해를 경감시킬 수 있는 대책을 제시하고자 한다.

홍수범람상황을 파악하기 위해 우리나라 홍수지도제작에 많이 이용되는 홍수범람분석 모형인 FLUMEN (FLUvial Modelling ENgine)을 사용하여, 안성천 유역에서 홍수 피해가 빈번히 발생하는 진위천 구간을 대상으로 피해가 심각했던 1998년에 대하여 홍수 범람 분석을 실시함으로써 그 모형의 적용성을 검토하였다. 빈도별 홍수량(100, 200, 500년)에 대한 각종 홍수발생 시나리오를 적용, 가상 범람해석을 실시하여, 침수범위, 침수심 등의 범람해석결과를 토대로 가상피해범위를 파악하고자 하였다. 또한 구조적인 대책 방안으로 제방고의 보축과 천변저류지에 의한 홍수량 감소 방안을 제시하고 범람 면적의 변화 양상을 모의하였다.

2. 연구지역 및 자료

2.1 연구지역의 개요

한강 권역의 안성천 수계에 속하며, 안성천의 제 1지류인 진위천은 국가하천, 지방 2급 하천으로 나누어져 있으며, 유역면적은 737.7 km², 유로 연장은 50 km, 하천연장은 18 km이다. 적용 구간은 황구지천과 진위천 구간의 합류점으로부터 동연교 수위관측 지점까지의 하천구간으로 북위 37°1'2" ~ 37°5'27"와 126°59'58" ~ 126°59'51"에 위치하며, 유역면적은 12.11 km², 하천 연장은 4.85 km이다. 본 범람해석을 실시하는 구간은 대상유역 면적의 약 62%가 농경지 지역으로 좌·우안이 대부분 농경지이며, 제내지의 일부구간이 농가 및 소규모 주거지역으로 조성되어 있다(Fig. 1).

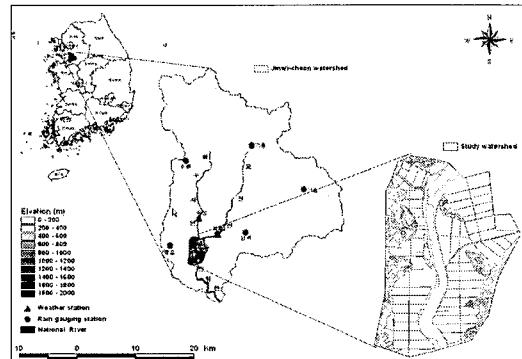


Fig. 1. The study area

2.2 경계자료 및 지형자료 구축

FLUMEN 모형은 경계조건으로 상류 경계조건으로 유량자료와 하류 경계조건의 수위자료를 필요로 한다. 따라서 강우-유출해석에 의한 홍수량 추정을 위한 수문모형으로는 HEC-HMS를 선정하였다. HEC-HMS를 이용하여 홍수량을 추정하기 위해 먼저 GIS 표준 소프트웨어를 이용하여 NGIS, RIMGIS로부터 DEM을 생성하고 토지이용도, 토양도를 구축한 후, 이를 HEC-GeoHMS에 입력하여 지형처리, 유역수문처리, 수문변수를 추정하고 강우에 의한 유역의 홍수량을 계산한다. 모형의 적용성 검토를 위한 1998년에 관측된 집중강우의 8월 7일부터 8월 9일까지 상류부 경계조건 자료는 실제 강우량을 적용 HEC-HMS로 대상유역의 유입부 유량자료를 구축하였으며, 수위자료는 같은 기간에 대하여 하류경계지점의 동연교 수위관측소 자료를 사용하였다.

FLUMEN 모형에서 사용되는 수치해석 mesh는 불규칙삼각망(TIN : Triangular Irregular Network) 형태이다. Mesh 작성은 위해서 1:5,000의 수치지도를 이용하였으며, 하천구간은 RIMGIS와 「안성천수계 하천 정비기본계획, 2002.12, 건교부」의 지형평면도 및 종횡단 측량 자료를 이용하였다. 대상지역에서 작성된 삼각망의 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Constructed mesh of the study area

하천	범람해석면적 (km ²)	Point	Triangles	최대요소면적(m ²)
진위천	12.11	10,646	21,119	9,959.95

3. 홍수 범람 모형 FLUMEN의 적용성 검토

FLUMEN 모형을 이용한 실제 지형에서의 홍수범람 모의를 하는데 있어 본 모형이 적합한 모형인지를 확인하기 위해 본 연구에서는 실제적으로 가장 큰 피해를 입은 강우 기간에 대하여 모형을 모의하여 침수실

적도와 비교함으로써 그 적용성을 검토하였다. 과거 1995년 이후 안성천 수계에서 막대한 피해를 발생시킨 주요 홍수 중 그 피해액이 가장 큰 1998년에 대하여 FLUMEN 모형을 이용하여 범람해석을 실시하고, 1998년의 침수실적도와 비교·분석하였다. 1998년도의 WAMIS에 있는 침수 흔적도와 FLUMEN 모형의 범람 모의의 결과는 Table. 2에 나타내었다. 침수흔적도의 범람 면적은 5.27 km²이며, FLUMEN 모형의 범람 면적은 5.09 km²으로 0.16 km²의 미미한 차이를 나타내므로, 본 연구에서 적용한 FLUMEN 모형은 홍수범람 모의에 적합한 모형으로 판단된다.

Table 2. The flood inundation results of FLUMEN simulation

모의년도		1998년	
구분	침수흔적도	FLUMEN 모형	
침수면적	5.27 km ²	5.09 km ²	

4. 시나리오별 홍수범람 모의

빈도규모 시나리오는 대상지역에 적용되는 홍수사상의 빈도로서 표현할 수 있으며 홍수사상의 규모를 나타내기 위한 목적으로 작성한다. 강우의 빈도는 국가하천인 진위천 구간의 계획빈도가 100년임을 고려하여, 100년, 200년, 500년 빈도의 홍수량을 적용하여, FLUMEN 범람 모의를 하였다. FLUMEN 모형은 수심, 수위, 바닥마찰, 속도벡터, 비에너지 및 Froude 수 등과 같은 다양한 결과를 얻을 수 있으며, 모형의 구동 중 수심, 수위, 유속벡터, 하상고와 같은 모의 결과를 실시간으로 확인할 수 있고, 잠시 구동을 중단하고 원하는 결과를 저장 할 수 있다. FLUMEN 모형을 이용한 진위천 유역의 홍수범람모의 침수심 결과를 홍수 빈도별로 Fig. 4에 도시하였으며, 최대침수심과 침수면적은 Table 3과 같다.

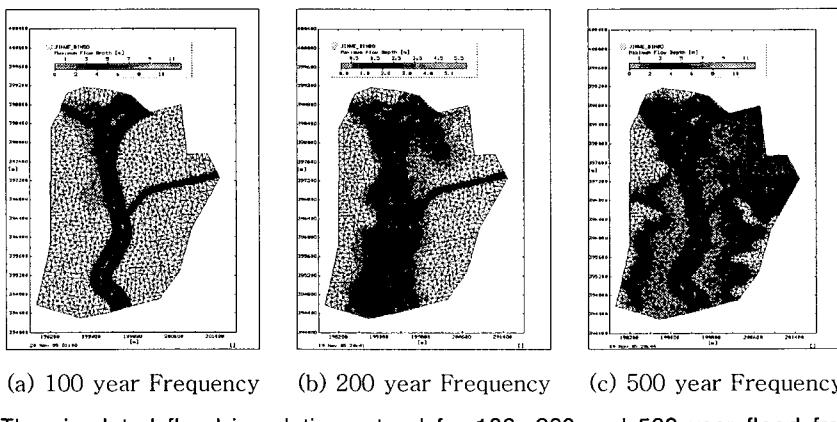


Fig. 4. The simulated flood inundation extend for 100, 200 and 500 year flood frequencies

범람모의를 실시한 결과 100년 빈도의 경우, 범람의 원인은 제 1지류인 천천의 범람으로 인하여 주로 침수가 되었으며, 침수면적은 약 0.78 km²로 모의되었다. 또한 200년 빈도의 경우, 침수구역이 약 4.23 km², 최대 침수심은 4.27 m로 측정되었으며, 500년 빈도의 홍수에 의한 침수구역은 약 8.65 km², 최대 침수심은 6.12 m로 측정되었다. 500년 빈도의 홍수 범람시 200년 빈도의 홍수범람 보다 범람 면적이 약 100% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

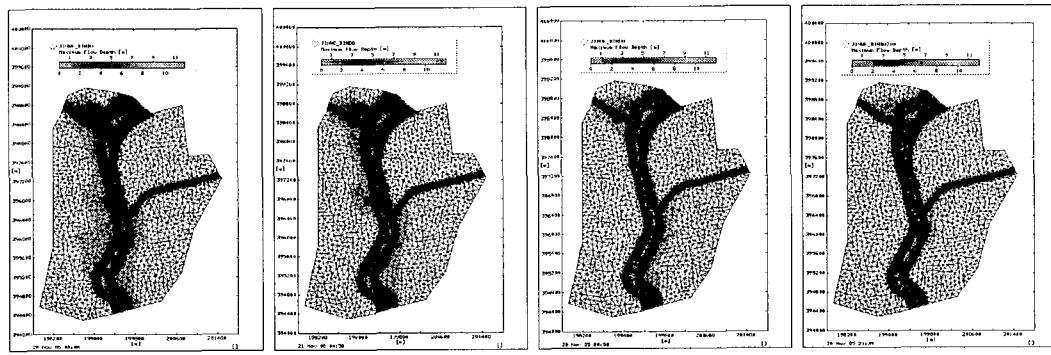
Table 3. Results of simulated flood inundation by flood frequency

	침수 면적 (km ²)	최대 침수심 (m)
100년 빈도	0.780	2.71
200년 빈도	4.298	4.27
500년 빈도	8.649	6.12

5. 범람 저감 대책 방안

5.1 제방고의 증축에 의한 수로단면적의 증가 방안

빈도별 시나리오에서 범람 모의했던 200년 빈도의 모의 결과를 가지고 유입되는 홍수량을 고정해 두고, 제방의 전체적인 표고점을 올려 제방을 보축한 것처럼 가정하여 범람 분석을 실시하였다. 200년 빈도홍수량을 대상으로 하여 제방고를 25 cm ~ 100 cm 까지 변화시켜, 범람 면적의 변화 양상을 분석하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같으며, 최대침수심과 침수면적에 대한 결과는 Table 4에 정리하였다.



(a) Levee extension(+25cm) (b) Levee extension(+50cm) (c) Levee extension(+75cm) (d)Levee extension(+100cm)

Fig. 5. The simulated results by levee elevation (from 25 cm to 100 cm)

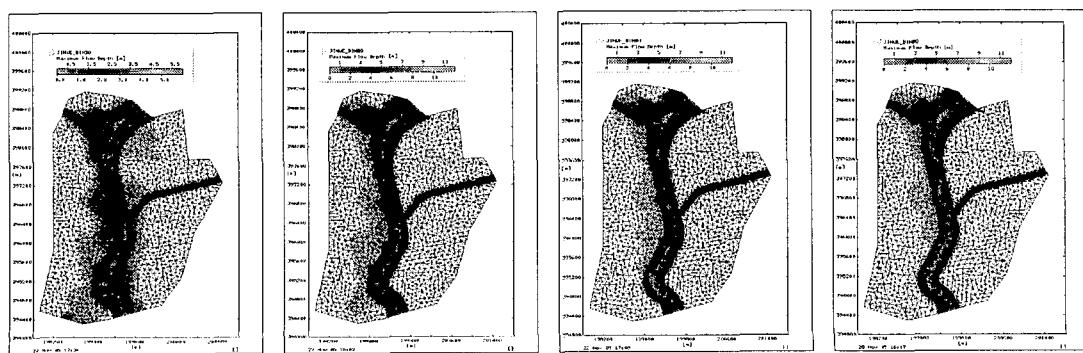
Table 4. The simulated results by levee elevation (25 cm to 100 cm)

	침수 면적 (km^2)	최대 침수심 (m)
200년 빈도	4.30	4.27
제방 25 cm 보축	1.80	3.77
제방 50 cm 보축	1.16	3.62
제방 75 cm 보축	0.69	2.64
제방 100 cm 보축	0.32	2.19

보축전의 침수면적은 약 4.30 km^2 였으며, 제방 25 cm 보축 결과 침수면적은 1.803 km^2 으로 크게 감소하였으며, 제방 100 cm 보축 결과 침수면적은 약 0.321 km^2 로 침수가 거의 발생하지 않았다.

5.2 천변저류지에 의한 홍수량 감소 방안

천변저류지를 상류에 설치하는 것으로 가정하고 이때의 수문곡선의 Peak flow의 100 CMS ~ 250 CMS 까지의 4가지 조건으로 설정하고 모형을 이용하여 범람 분석을 실시하였다. FLUMEN 범람모의 결과는 Fig. 7에 도시하였다. 최대 침수심과 침수면적의 결과는 Table 5에 정리하였다.



(a) Peak flow -100 CMS (b) Peak flow -150 CMS (c) Peak flow -200 CMS (d) Peak flow -250 CMS

Fig. 7. The simulated results by decrease of peak flow at the upstream boundary

Table 5. The simulated results by constructing riverside storage area in the upstream area of the reach

	침수 면적 (km^2)	최대 침수심 (m)
Peak flow -100 CMS	3.79	3.20
Peak flow -150 CMS	2.11	2.88
Peak flow -200 CMS	1.63	2.72
Peak flow -250 CMS	0.97	2.32

200년 빈도의 홍수량이 발생 하였을 때 침수면적은 약 4.30 km^2 였으며, Peak flow -100 CMS 감소 결과 침수면적은 2.11 km^2 으로 감소하였으며, Peak flow -200 CMS를 감소 시켰을 경우에는, 침수면적 1.63 km^2 , 최대 침수심은 2.72 m 까지 감소하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 홍수범람분석 모형인 FLUMEN 모형을 이용하여 전위천 하천 구간에 관한 홍수범람해석을 모의하였다. FLUMEN의 적용 가능성을 검증하기 위해 1998년의 실제 강우사상에 대해 HEC-HMS 모형으로 유출량을 산정하여 FLUMEN의 유입량 경계조건으로 사용하였으며, TIN 지형자료 구축 모의하여 침수 실적도와 비교하였다. 침수실적도와 범람 모의 결과는 침수면적이 0.16 km^2 의 미미한 차이를 보였다. 따라서 본 연구의 홍수모의에 적합하다고 판단하고 빈도별 시나리오(100년, 200년, 500년)를 적용하여 범람 분석을 실시하였다. 또한 침수피해를 줄일 수 있는 저감방안으로 하천제방의 보축과 연구 대상지역의 상류에 천변 저류지를 상류에 설치하는 것으로 가정하여 그에 따른 유입량 감소방안을 제시하였다.

빈도별 시나리오 범람모의 결과는 다음과 같다. 200년 빈도 홍수량의 경우, 침수면적은 약 4.23 km^2 , 최대 침수심은 4.27 m 로 측정되었으며, 500년 빈도 홍수량에 의한 침수면적은 약 8.65 km^2 , 최대 침수심은 6.12 m 로 모의 되었다. 본 연구 대상 지역인 전위천 좌우안 제내지는 모두 농경지이며, 500년 빈도의 홍수범람이 발생할 때에는 농경지의 대부분이 침수됨을 알 수 있다. 500년 빈도의 홍수 범람 시 200년 빈도의 홍수범람 보다 범람 면적이 약 100% 정도 증가하는 것으로 모의 되었다.

본 연구의 빈도별 범람 모의와 저감 방안의 모의 결과에 대하여 정확도를 높이려면 보다 정밀한 제내지·제외지의 표고자료의 적용, 하천단면의 보간, 하도내외의 적절한 조도계수의 산정, 내수 침수모형과의 연계, 마지막으로 조밀한 불규칙 삼각망의 작성이 필요하다. 위와 같은 조건이 고려된다면, 홍수예·경보, 홍수방재계획의 수립, 토지이용계획, 홍수지도 제작 등과 같은 분야의 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

감 사 의 글

이 논문은 농림부의 「RS 및 GIS를 기반으로 한 농촌지역 홍수재해 평가 및 예측시스템 개발」 과업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- 김 훈(2004). 지역빈도 강우자료와 HEC-RAS를 이용한 농지침수지역 추정. 박사학위 논문, 서울대학교 대학원.
- 배용훈, 고덕구, 조용식(2005). FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람모의. 한국수자원학회, 제38권, 제5호, pp. 355-364.
- 심순보, 김주훈, 임광섭, 오덕근(2003). GIS를 이용한 홍수범람 분석. 한국지리정보학회, 제6권, 제1호, pp. 132-142.
- 이홍래, 한건연, 김상호, 최현상(1998) 하천 홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발(I):GIS와의 연계해석. 한국수자원학회, 제31권, 제4호, pp. 415-427.
- 정수은, 조효섭, 양동윤, 정관수(2000) GIS를 이용한 영산강 중류의 홍수범람도 작성 연구. 한국수자원학회, 학술발표회 논문집(II), pp. 1044-1049.
- 한건연, 박재홍(1995) 도시하천에서의 홍수범람도 작성을 위한 2차원 모형의 개발. 한국수자원학회, 제28권, 제6호, pp. 119-131.
- 한건연, 이종석, 김상호(1997) 땅 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발:II, 적용 예. 한국수자원학회, 제30권, 제6호, pp. 675-686.