

GIS 기반 FLUMEN 모형을 이용한 남대천 홍수범람 모의실험

The Simulation of Flood Inundation of Namdae Stream with GIS-based FLUMEN model

이 근 상* 최 연 응**

Geun Sang Lee Yun Woong Choi

요 약 본 연구에서는 무주남대천 일부구간을 대상으로 GIS 공간정보와 FLUMEN 모형을 이용하여 빈도별 홍수범람을 모의하였다. 홍수범람해석을 위한 지형을 생성을 위해 수치지형도와 하천구간의 실제 지형을 표현하는 중형단축량 자료를 기반으로 GIS 공간보간법을 이용하여 불규칙삼각망을 구축하였으며, 극한의 홍수피해 시나리오를 고려하기 위해 제방 붕괴에 따른 홍수범람을 실시하였다. 분석결과, 좌안은 넓은 농경지의 영향으로 우안에 비해 50년, 100년, 200년 빈도에서의 침수면적이 각각 3.13배, 3.69배, 4.17배 높게 나타났으며, 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수지역에서는 각각 1.00배, 2.15배, 3.34배로 나타났다. 좌안의 제방 붕괴시 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수면적을 분석한 결과, 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 263%와 473%로 크게 증가하였다. 또한 우안 파제시에는 1.0m 이상의 침수면적이 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 123%와 142% 증가한 것으로 분석되었으며, 특히 3.0~3.5m의 침수면적은 각각 263%와 489%로 크게 증가한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제시된 홍수범람도는 토지이용계획 및 치수대책 수립을 위한 중요한 의사결정 자료가 될 것으로 기대된다.

키워드 : 홍수범람, 공간보간, FLUMEN, 침수

Abstract This study simulated flood inundation each frequency rainfall using GIS spatial information and FLUMEN model for part of Muju-Namdae Stream. To create geomorphology for the analysis of flood inundation, Triangle Irregular Network(TIN) was constructed using GIS spatial interpolation method based on digital topographic map and river profile data, unique data source to represent real topography of the river areas. And also flood inundation was operated according to the levee collapse to consider extremely flood damage scenarios. As the analysis of result, the inundation area in the left levee collapse showed more high as 3.13, 3.69, and 4.17 times comparing with one of right levee for 50, 100, and 200 year frequency rainfall and showed 1.00, 2.15, and 3.34 times comparing with one of right levee in the inundation depth with over 1.0 meter, which can cause casualties. As the analysis of inundation area of the inundation depth with over 1.0 meter, which can cause casualties in left levee collapse, it increased more high as 263% and 473% when 50 year frequency change into 100 and 200 year frequency. Also As the analysis of inundation area of the inundation depth with over 1.0 meter in right levee collapse, it increased high as 123% and 142% when 50 year frequency change into 100 and 200 year frequency. Especially, the inundation area of the inundation depth with 3.0~3.5m showed more high as 263% and 489% when 50 year frequency change into 100 and 200 year frequency. It is expected that flood inundation map of this paper could be important decision making data to establish land use planning and water treatment measures.

Keywords : Flood Inundation, Spatial Interpolation, FLUvial Modeling Engine, Water Treatment

* 본 논문은 2010년 항공우주연구원의 "위성정보 활용지원 운영사업" 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** 전주비전대학 지적부동산과 전임강사 gslee@jvision.ac.kr

조선이공대학 토목건설과 전임강사 ywchoi@chosun-c.ac.kr(교신저자)

1. 서론

매년 발생하는 홍수는 많은 인명과 재산피해를 발생시키게 되며, 이로 인해 상습적인 침수피해를 겪고 있는 지역에서는 엄청난 경제적 손실과 더불어 여름철 집중호우시 심리적인 불안감을 함께 안고 살아가고 있는게 현실이다(김민혁, 2005). 강우 발생에 따른 침수상황을 예측하기 위한 다양한 모델들이 개발되고 있으며, HEC-RAS와 같은 1차원 수리해석 모델을 비롯하여 제방유햄류 및 파제를 고려한 제내지의 침수확산 등을 모의할 수 있는 FLUMEN(FLUvial Modeling Engine)과 같은 2차원 모델도 있다(Horritt와 Bates, 2002). 특히 최근에는 GIS 공간정보인 DEM(Digital Elevation Model)과 하천내 횡단측량성과물을 연계한 정밀지형자료를 홍수범람모의에 활용함으로써 보다 정확한 침수해석이 가능해지고 있다(Jian 등, 2009).

홍수범람 모의와 관련된 국내외 연구는 다음과 같다. 먼저 홍수범람 모의 과정에서 발생하는 불확실성에 대한 연구로서, Horrirt(2006)는 LISFLOOD-FP 모델을 이용하여 홍수범람 모의를 수행하는 과정에서 발생하는 불확실성에 대한 연구를 수행하였으며, Pappenberger 등(2005)은 HEC-RAS 프로그램에서 효과적으로 조도계수를 산정하는 과정에서 발생하는 불확실성을 평가하였다. GIS 기반의 도시지역내 홍수범람모의 연구로서, Chen과 Hill(2007)은 도시지역내 침수위험도를 모델링하는데 DEM 해상도가 미치는 영향을 평가하였으며, Jian 등(2009)은 GIS 기반의 도시홍수범람모델인 GUFIM(GIS-based urban flood inundation model)을 이용하여 도시지역내 대학 캠퍼스의 침수범람 상황을 모의하였다. 또한 Horrirt와 Bates(2001)은 흐름해석을 모의시 GIS 격자자료의 공간해상도에 따른 영향특성을 해석하였으며, Brett(2007)는 항공레이저측량기술인 LiDAR(Light Detection And Ranging)로부터 얻어진 정밀 DEM과 온라인 상으로 제공되는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) DEM을 이용하여 홍수범람 모의를 수행함으로써 홍수범람해석시 온라인을 통해 쉽게 활용이 가능한 STRM DEM의 활용 가능성을 모의한 바 있다. 아울러, Horrirt(2000)와 Schumann 등(2007)은 위성레이더 영상을 이용하여 2차원 홍수범람해석 모델을 보정하거나 침수경계 영역을 해석한 바 있다. 국

내 연구로서, 복정수(2007)는 낙동강 지류인 감천 본류구간에 HEC-RAS와 FLUMEN 모형을 적용하여 하천내 교량에 의한 수위 및 유속분포 비교 및 이에 의한 홍수범람의 영향을 모의한 바 있으며, 백형조 등(2006)은 FLUMEN 모형을 평택시 안성천과 통복천 합류지점에 적용하여 하천범람시와 내수 침수시를 모의하여 비교·검토 하였다. 또한 배용훈 등(2005)은 구리시를 대상으로 FLUMEN 모형을 이용하여 불연속 흐름과 이동경계조건에 대하여 모형의 정확성을 검증하였으며, 강수만 등(2007)은 진위천 구간에 FLUMEN 모형을 이용하여 1998년에 발생했던 실제 강우사상을 적용하여 침수실적도와 비교한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 홍수범람 모의를 위해, 전라북도 무주군 무주읍 일원의 남대천을 연구대상지로 선정하였으며, GIS 지형자료를 기반으로 FLUMEN 모형을 구동하였다. FLUMEN 모형은 2차원 침수해석을 수행할 수 있으며, 제방 파괴에 따른 홍수범람을 모의하기 위해 지형자료가 필수적으로 요구된다. FLUMEN 모형은 수심 적분된 비선형 천수방정식을 이용하므로 모의하는데 많은 시간이 소요되며, 특히 지형메쉬를 구성하는 작업자의 숙련도에 따라 발산(divergence)이 결정되어 프로그램이 정지되는 문제가 발생하므로 지형의 기복을 효과적으로 표현하는 GIS 공간분석기법을 활용하는 것이 매우 중요하다. 제내지의 지형자료는 국토지리정보원의 수치지형도를 기반으로 구축이 가능하나, 제외지의 지형은 200m 혹은 500m 정도로 취득되는 하천정비기본계획상의 횡단측량성과물이 제약적으로 이용된다. 본 연구에서는 제외지의 지형을 효과적으로 생성하기 위해 GIS 기반의 선형보간법을 이용하였으며, 50년, 100년, 200년 빈도별 좌우안의 제방 붕괴에 따른 홍수범람 상황을 모의하였다. 모의한 결과는 GIS 레이어로 변환하였으며 공간중첩 기능을 이용하여 침수심별 분포특성 분석하였으며, 강우빈도에 따른 침수심별 침수면적의 변화 양상을 함께 평가하였다.

2. FLUMEN 모형

2차원 수치해석 모형인 FLUMEN 모형은 스위스의 Beffa가 개발한 모형으로, 격자형 및 불규칙 삼각망에 대해서도 적용이 가능하다. FLUMEN은 천

수방정식(Shallow Water Equation)을 지배방정식으로 사용하며, 유한체적법을 채택하고 있어 하천의 합류부 또는 만곡부와 같이 수리학적으로 복잡한 수리해석에도 적용이 가능하다. 또한 상류(sub-critical flow) 뿐만 아니라 사류(supercritical flow)에서도 적용이 가능하며, 보, 압거, 교량과 수문을 고려한 모의도 가능하다. FLUMEN은 하도에 대해 이동경계 모의가 가능하여 wet/dry 모든 조건에서 모의를 수행할 수 있다. 또한 리눅스의 X-window 상에서 GUI(Graphic User Interface)를 지원함으로써 지형자료의 수정 및 생성이 가능하며, 모형 수행 각 단계별 또는 완료 후의 수심, 유량 및 유속벡터 등의 도시가 가능하다(김훈, 2004; 정대진, 2007). FLUMEN 모형은 불규칙삼각망을 사용하여 수치해석 계산을 위한 영역을 구축하며, 유한체적법을 적용하여 지배방정식을 적분형으로 나타내고 면적분에 대한 발산(divergence) 정리를 이용하여 경계체적을 따라 선적분으로 변환한다. 이러한 선적분 형태는 중앙점 사각형 규칙(midpoint quadrature rule)로 근사화될 수 있으며, 수치물리량은 모서리의 중앙점에서 계산된다(Beffa, 2004).

유한체적법을 이용하여 격자경계를 출입하는 물리량 항들을 처리하는 방법에는 중앙차분법과 풍상차분법이 있다. 중앙차분법은 풍상차분법에 비해 간단하고 2차 정확도를 가지는 장점이 있다(정대진, 2007). 그러나 중앙차분법으로 계산시 이웃한 점의 산술평균을 취하게 되면 홍수 및 짝수 격자간의 분

리현상에 의해 발생하는 부진동(spurious oscillation)이 발생하게 된다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 물리량 계산시 상류에 가중치를 부여하는 물리차분 분할기법(FDS : Flux Difference Splitting Scheme)이 활용된다(Beffa, 2004).

2차원 비선형 천수방정식의 해를 구하기 위하여 양해법과 음해법의 시간 이산화 기법을 이용할 수 있다. 양해법은 시간 종속 방정식의 수치 시간 적분 과정에서 (n)시간 단계의 유동 값을 이용하여 (n+1)시간 단계의 값들을 예측하는 방법으로서, 계산이 간단하고 계산량이 적은 장점이 있다. 음해법은 양해법에 비해 시간간격을 보다 크게 할 수 있어 컴퓨터에 데이터가 저장되는 CPU 시간을 절약할 수 있다. 그러나 수심이 깊지 않은 지표면 흐름을 모의하는 경우 컴퓨터의 계산시간 절약은 중요한 사항이 되지 않는다(윤석화, 2006; Beffa, 2004).

3. 연구대상지 및 지형자료 구축

3.1 연구대상지

본 연구에서는 홍수범람 모의를 위해 전라북도 무주군 무주읍을 관통하는 남대천을 선정하였다. 남대천 유역은 동경 127°37'00" ~ 127°55'00", 북위 35°50'00" ~ 36°05'00" 사이에 위치하고 있으며, 유역면적은 464.22km²이고, 유로연장은 53.30 km이다. 남대천의 상류부는 대체로 하상경사가 급하여 유속이 빠르고 산지 협곡부를 만곡하는 형상을 하

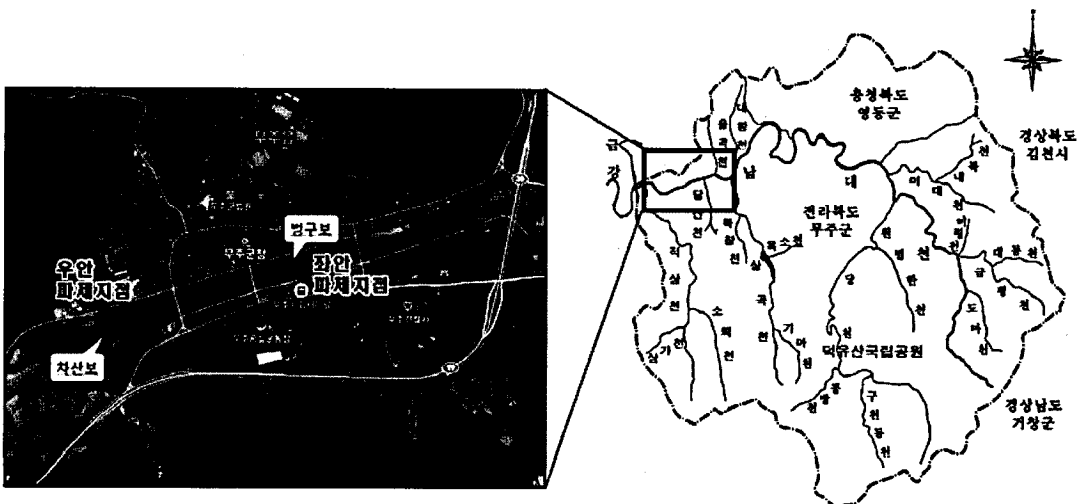


그림 1. 연구대상지

고 있으며, 중하류부는 하천변에 농경지와 주거지가 분포하고 있어 하상경사가 비교적 완만하고 하폭도 넓은 형상을 가지고 있다. 또한, 하류부는 하도정비가 완료된 무주읍내 도심지를 관통하고 있으며 하폭이 넓고 유량이 풍부한 하천이다. 홍수범람 모의를 위한 구간으로는 2001년 하천정비기본계획에서 측량한 No. 12~No. 24 범위로서, 도심지 구간인 무주읍을 관통하고 2001년도 무주읍 수해복구공사를 통해 제방 양안이 잘 정비되어 있다. 또한 하도내에는 무주교와 남대천교를 비롯하여 차산보, 병구보, 하리보가 위치하고 있다.

3.2 지형자료 구축

FLUMEN 모형에서 발산에 의한 프로그램 중단 오류를 최소화하기 위해서는 제내지와 제외지의 지형을 효과적으로 연계하여 구축하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 제내지의 지형을 구축하기 위해 1/5,000 수치지형도의 등고선자료를 이용하였으며, 제외지는 하천정비기본계획에서 제시된 하천횡단측량자료를 이용하였다.

하천횡단측량 자료는 그림 2와 같이 약 200m 간격으로 측선이 결정되며, 각 측선에는 약 10~20m 간격으로 표고점을 관측하게 된다. 따라서, 제외지의 지형 생성시 기존의 공간보간 알고리즘을 이용할 경우 그림 3과 같이 측선에 위치하고 있는 측점들의 간격이 측선에 비해 매우 조밀하기 때문에 측선을 중심으로 지형이 보간되는 문제가 발생한다(이근상 등, 2002; 이근상 등, 2003). 하천구간별 추정측선주변에서 연속적인 하천흐름을 반영하는 지형생성이 어렵게 되어 그림 4(a)와 같이 하천측선 지점에서 실제 흐름과 다른 형태의 흐름이 생성되는 문제가 발생하게 된다. 이러한 제외지의 지형메쉬 자료는 FLUMEN 모형의 발산을 유발하는 중요한 오류로 작용하게 된다. 본 연구에서는 이러한 기존의 공간추정 알고리즘의 문제를 보완하기 위해, 하천측선간의 측점들에 대해 선형보간을 수행하여 좌안부터 순서대로 ID를 부여한 후 같은 ID를 갖는 측선간의 점들에 대해 2차로 선형보간 수행하였다. 그 결과 그림 4(b)와 같이 하천측선 주변에서 하천의 흐름방향이 실제와 동일하게 생성되었으며, 만곡부에서 하천의 바깥쪽 부분에 최심하상선이 생성되는 특성이 잘 반영되고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 시범하천에 적용한 이중선형보간법을 대상지

에 적용하여 하도내의 지형을 생성한 후, 1/5,000 수치지형도를 이용하여 구축한 제내지의 지형과 연결하였다. 최종 지형자료는 그림 5와 같이 불규칙삼각망(TIN) 형태로 제작하였으며, 생성된 불규칙삼각망의 구간길이, 노드수 그리고 삼각망수는 각각 2.3km, 22,347개 그리고 38,358개이다.

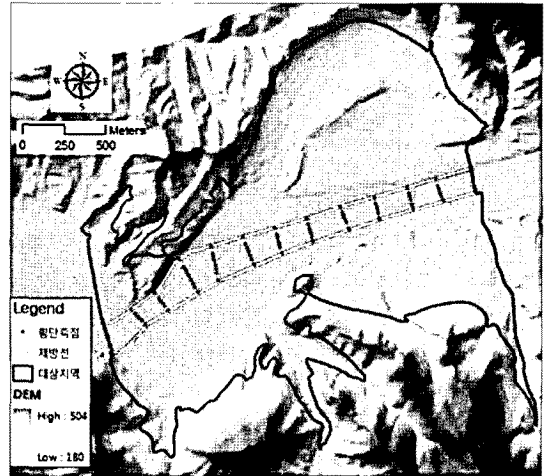


그림 2. DEM(제내지)과 하천횡단측점(제외지) 자료

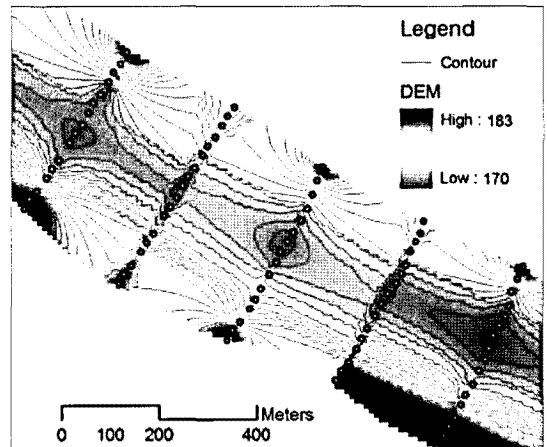


그림 3. 역거리가중치를 이용한 하천지형 생성

4. 빈도별 홍수범람 모의

4.1 상하류단 입력조건

대상하천 구간내 홍수범람 상황을 모의하기 위해서는 상류단의 빈도별 홍수량과 하류단의 홍수위 자료가 필요하다. 본 연구에서는 홍수범람모의를 위해

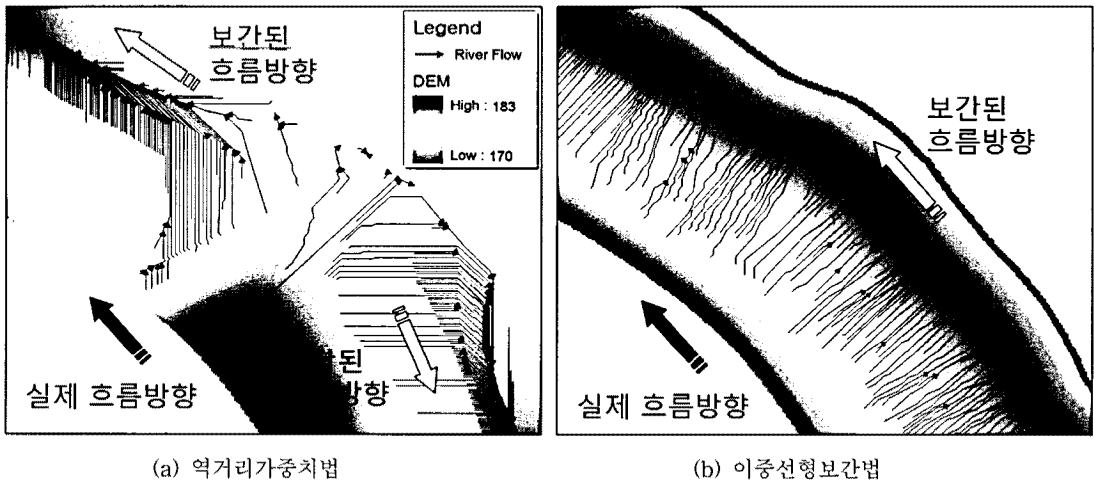


그림 4. 보간법에 따른 흐름방향 및 최심하상선의 비교

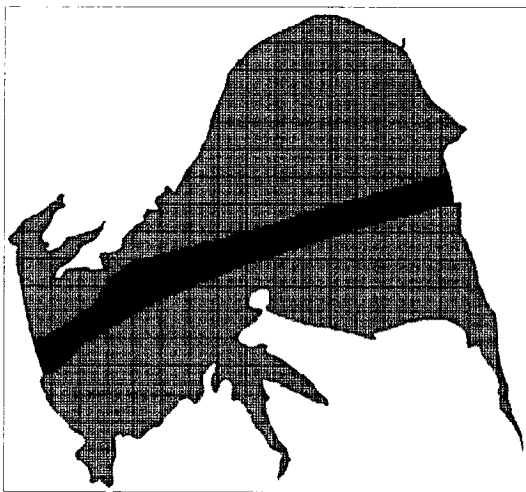


그림 5. 불규칙삼각망 구축

고려해야 되는 상하류단 입력조건 생성을 위해 2001년 무주남대천 하천정비기본계획보고서(진라북도 무주군, 2001)에 제시된 내용을 활용하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

상류단의 빈도별 홍수량을 산정하는 방법으로는 크게 수위관측소 지점에서의 수위-유량 관계를 이용하는 방법과 미계측 유역에 있어서 단위도법 또는 일반 공식에 의하여 산정하는 방법이 있다. 해당 하천내 홍수시 유량측정 자료가 없는 관계로 확률강우량에 의한 홍수유출 해석방법을 이용하여 홍수량을 결정하였다. 먼저, 남대천 유역에 영향을 미치는 무주, 적상, 안성장, 영동, 웅양관측소를 대상으

로 과거에 실측된 자료를 이용하여 통계적인 해석 방법에 의한 확률강우량을 산정하였다. 홍수량 산정은 50년, 100년, 200년 빈도에 대해서 수행하였으며, 유역추적법, Nakayasu 종합단위도법, SCS 단위도법, Kajiyama 공식을 적용하여 홍수량을 계산한 후 이들 값을 상호 비교하여 홍수량 산정지점별 빈도별 홍수량을 결정하였다.

Kajiyama 공식을 이용한 홍수량은 과거의 제한적 범위의 홍수기록을 이용하여 개발된 식으로 개발된 시점부터 70년이 지난 현재로서는 객관적인 값으로서 의미를 찾기 어렵고, Nakayasu법 및 SCS 단위도법은 유역별 홍수기록 수집을 통해서 유도·작성된 것으로 유역면적이나 특성에 관계없이 사용될 수 있는 장점이 있는 반면에 홍수기록에 의한 보완·검증 없이는 유역별 특성이나 의미있는 차이를 나타낼 수 없는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 유역의 유출특성을 비교적 잘 반영하면서 홍수량 산정결과가 다른 방법들에 비해 비교적 크게 산정되어 최근 빈번히 발생하는 국지성 집중호우 등에 의한 치수 안전측면까지도 효과적으로 고려할 수 있는 유역추적법을 홍수량 산정방법으로 선정하였다. 본 연구 대상구간의 상류단 경계조건인 당산천 합류후 지점(ND3)에 대한 빈도별 홍수량은 표 1과 같다.

FLUMEN 모의시 하류단 조건으로 입력되는 빈도별 홍수위는 개수전·후로 구분하여 표준축차계산법(Standard Step Method)에 의하여 계산하였으

표 1. 대상구간의 상류단 경계조건

산 정 지점명	지점 부호	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	홍수량 산정방법	빈도별 홍수량 (m/s)		
					50년	100년	200년
당상천 합류후	ND3	395.61	48.46	유역추적법	1,717	1,925	2,132
				Nakayasu	1,533	1,719	1,905
				SCS	1,617	1,811	2,011
				Kajiyama	1,805	1,883	1,961

표 2. 대상구간의 하류단 경계조건

측점 (No. 7)	누가거리 (m)	개수전			개수후		
		50년	100년	200년	50년	100년	200년
12	2,400	181.05	181.70	181.95	181.44	181.70	181.95

며, 본 연구에서는 표 2와 같이 2001년 측점 7번에 대한 개수후의 빈도별 홍수위 자료를 이용하였다 (전라북도 무주군, 2001).

4.2 빈도별 홍수범람 모의

본 연구에서는 빈도별 제방 월류에 따른 홍수범람모의를 수행하였으나 200년 빈도에서 그림 6과 같이 우안측 하류쪽으로 약 0.9m의 최대 침수심이 발생한 것으로 모의되었으며 침수면적은 2,031m²로 나타났다. 따라서 제방 월류에 의한 대상구간내 침수피해는 크지 않은 것으로 분석되었으며, 본 연구에서는 극한 홍수시의 침수피해 상황을 반영하기 위해 제방 붕괴에 의한 홍수범람을 모의하였다.

해가 우려되는 지역이다. 특히 보는 홍수시 다량의 홍수량을 일시에 저감시키는 기능을 하게 되며 이로 인해 보 직상류의 제방부분이 많은 수압을 받게 되어 일시에 제방이 붕괴되는 주요한 파제지점이 될 수 있다. 따라서, 이러한 위험구간에 대한 제방 파제 시나리오별 홍수범람도를 구축하는 것은 재해 업무 관리상 매우 중요하다. 대상지내 우안은 주로 도심지로 구성되어 있고 대부분의 지형이 제방보다 높은 곳에 위치하고 있어 파제로 인한 침수피해 우려가 비교적 낮을 것으로 예상되었다. 다만 대상하천의 하류측에 위치하고 있는 보 주변이 상류측 보 주변의 지형보다는 낮게 분포하고 있어 본 연구에서는 하천정비기본계획상의 차산보(No. 17)를 파제 지점으로 선정하였다. 또한 좌안은 주로 농경지로 구성되어 있고 대부분의 지형이 제방보다 낮은 곳에 위치하고 있어 홍수로 인한 침수피해가 크게 우려된다. 따라서, 상류측 보인 병구보(No. 22+81)를 파제지점으로 선정하여 파제로 인한 좌안 주변의 침수지역을 전반적으로 해석하였다(그림 1).

홍수범람 모의는 50년, 100년, 200년 빈도별 상류단의 홍수량과 하류단의 홍수위 자료를 이용하여 제방 붕괴에 따른 홍수범람 모의를 수행하였으며, 그림 7, 8과 같이 0.4m 간격으로 침수심도를 작성하였다.

좌안의 제방 붕괴시 50년, 100년, 200년 빈도에서의 침수면적은 각각 160621m², 221186m², 278462m²로 나타났으며 우안의 제방 붕괴시에는 각각 51,273

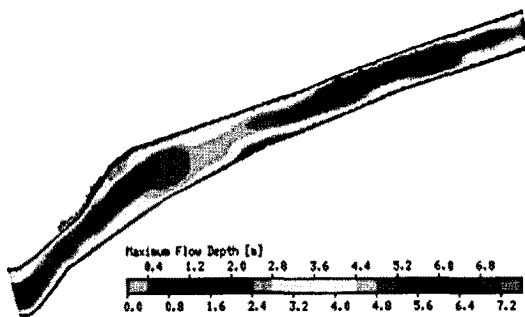
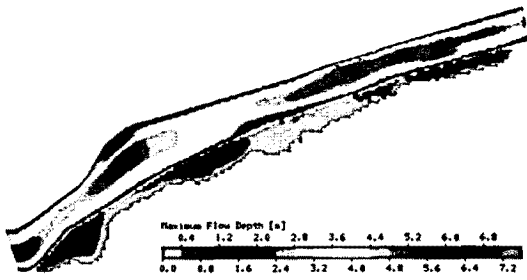
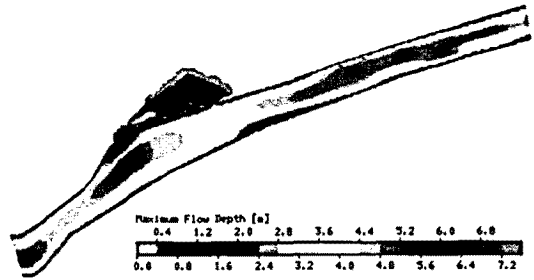


그림 6. 제방월류시 침수심도(200년 빈도)

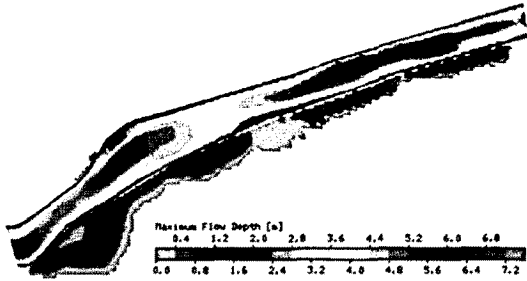
남대천에는 보와 교량 등의 하천수리구조물들이 많이 분포하고 있어 홍수시에 유송잡물에 의한 파



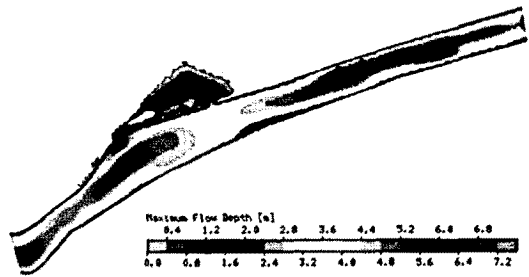
(a) 50년 빈도



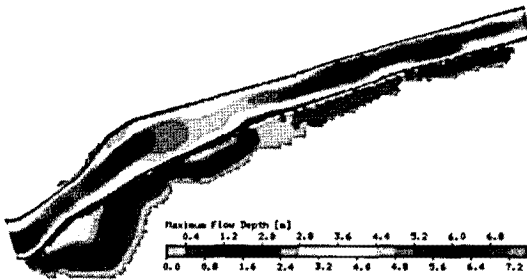
(a) 50년 빈도



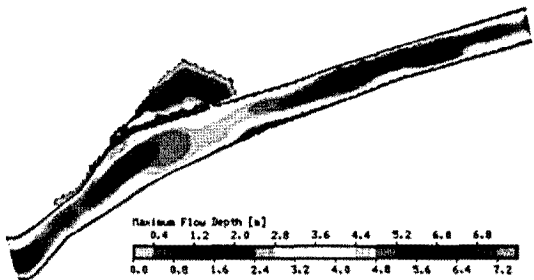
(b) 100년 빈도



(b) 100년 빈도



(c) 200년 빈도



(c) 200년 빈도

그림 7. 좌안 파제시 침수심도

그림 8. 우안 파제시 침수심도

m², 59,863m², 66,822m²로서 좌안측의 완경사 농경지의 영향으로 침수면적이 크게 나타난 것으로 해석된다. 그림 9는 좌우안 파제시 빈도별 침수면적을 침수심별로 그래프로 나타낸 것이다. 먼저 좌안 파제시에는 0.0~0.5m 침수구간의 면적이 50년 빈도에 비해 100년과 200년 빈도에서 감소한 것으로 나타났으며, 상대적으로 0.5~1.0m의 침수구간에서는 크게 증가한 것으로 나타났다. 이것은 50년 빈도에서 100년 빈도로 홍수량이 증가시 좌안에 위치하고 있는 농경지가 0.5~1.0m 침수구간에 대해 취약성을 가지고 있음을 의미한다. 또한 홍수로 인해 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수구간에 대

한 면적을 분석한 결과, 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 263%(= 69,016m² / 26,168m² × 100%)와 473%(= 123,900m² / 26,168m² × 100%)로 크게 증가한 것으로 분석되었다.

우안 파제시에는 모든 침수구간에서 빈도가 커질수록 침수면적이 증가한 것으로 나타났으며, 좌안의 분석결과와 다르게 0.0~0.5m 침수구간의 면적이 비교적 크게 나타났다. 또한 홍수로 인해 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수구간에 대한 면적을 분석한 결과, 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 123%

표 3. 침수심별 침수면적 분석결과

침수심 (m)	좌안파제 (㎡)			우안파제 (㎡)		
	50년	100년	200년	50년	100년	200년
0.0~0.5	105,062	98,659	89,424	14,504	16,501	18,084
0.5~1.0	29,391	53,511	65,138	10,592	11,230	11,657
1.0~1.5	21,360	31,243	42,504	9,217	9,822	9,823
1.5~2.0	4,552	20,478	32,684	7,949	8,697	8,772
2.0~2.5	216	12,221	22,172	5,986	7,617	7,993
3.0~3.5	35	5,048	16,120	1,397	3,685	6,835
3.5~4.0	5	25	10,359	1,077	1,205	1,953
4.0~4.5	0	1	61	493	851	1,141
4.5~5.0	0	0	0	58	255	564
Σ	160,621	221,186	278,462	51,273	59,863	66,822

(= 32,132㎡ / 26,177㎡ × 100%)와 142%(= 37,081㎡ / 26,177㎡ × 100%)로 증가하였다. 특히 3.0~3.5m 침수구간에서 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 263%(=3,685㎡ / 1,397㎡ × 100%)와 489%(= 6,835㎡ / 1,397㎡ × 100%)로 크게 증가하였다.

좌안은 넓은 농경지가 위치하고 있어 우안에 비해 50년, 100년, 200년 빈도에서의 침수면적이 각각 3.13배, 3.69배, 4.17배 높게 나타났으나, 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수심 지역에 대해서는 각각 1.00배, 2.15배, 3.34배로 50년 빈도에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 200년 빈도에서 가장 큰 차이를 나타내었다. 이것은 좌안지역에서의 침수

심 1.0m 이하의 점유비율이 50년, 100년, 200년 빈도에서 각각 83.7%, 68.8%, 55.5%로서 50년 빈도에서 가장 높은 비율을 차지하고 있기 때문에 해석되며, 특히 경사가 매우 완만한 좌안지역의 농경지 영향으로 침수심 0.5~1.0m 범위에서 가장 높은 침수면적 변화를 나타내었다.

5. 종합 및 결론

본 연구에서는 2차원 홍수범람모형인 FLUMEN 모형을 이용하여 무주 남대천 일원의 빈도별 홍수범람 해석을 수행하였다. 먼저 FLUMEN 모형의 지형 입력자료를 생성하기 위해 1/5,000 수치지형도와

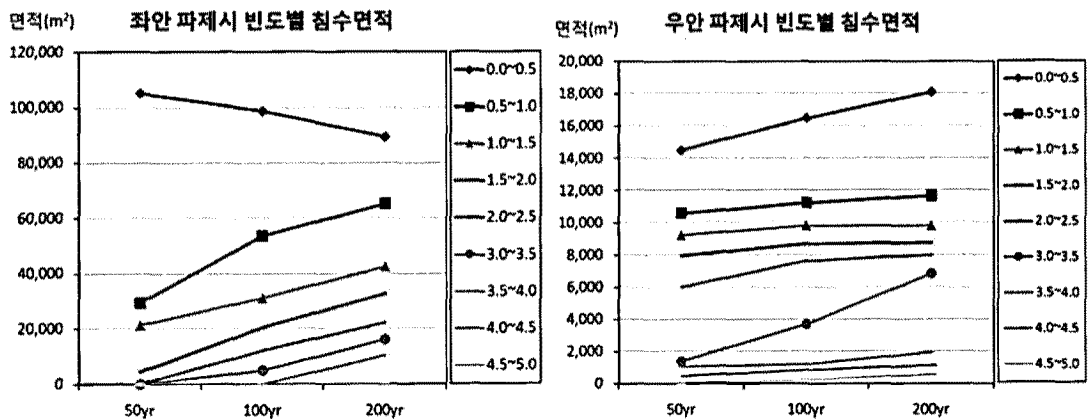


그림 9. 파제시 빈도별 침수면적

하천중획단 측량자료를 기반으로 GIS 공간보간법을 이용하였으며, 특히 제외지의 하천지형을 효과적으로 반영하기 위해 선형보간을 수행하여 FLUMEN 모형 수행시 발산의 요인을 최소화하였다. 모형의 구동을 위한 상류단의 경계조건은 유역추적법을 이용하여 당산천 합류후 지점(ND3)에 대한 50년, 100년, 200년 빈도의 홍수량을 산정하였으며, 하류단 경계조건은 표준축차계산법에 의한 측점 No. 7의 개수후 홍수위 자료를 이용하였다. 모의된 결과는 GIS 레이어로 변환하였으며 공간중첩 기능을 이용하여 침수심별 분포특성 분석하였으며, 강우빈도에 따른 침수심별 침수면적의 변화 양상을 함께 평가하였다.

먼저 제방월류에 따른 홍수범람 모의 결과에서는 200년 빈도에서 우안측 하류쪽으로 약 0.9m의 최대 침수심이 발생하였으며 침수면적은 2,031m²로 나타났다. 따라서 제방 월류에 의한 대상구간내 침수피해는 크지 않은 것으로 분석되어 제방 붕괴에 의한 홍수범람 모의를 수행하였다. 분석결과, 좌안의 제방 붕괴에 따른 50년, 100년, 200년 빈도의 침수면적은 대규모로 위치하고 있는 완경사의 농경지 영향으로 우안에 비해 각각 3.13배, 3.69배, 4.17배 높게 나타났다. 또한 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수심 지역에 대해서는 각각 1.00배, 2.15배, 3.34배로서 50년 빈도에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 100년과 200 빈도에서는 높은 값을 나타내었다.

좌안 파제시 0.0~0.5m 침수구간의 면적이 50년 빈도에 비해 100년과 200년 빈도에서 감소한 것으로 나타났으며, 상대적으로 0.5~1.0m의 침수구간에서는 면적이 크게 증가한 것으로 분석되었다. 이것은 50년 빈도에서 100년 빈도로 홍수량이 증가시 좌안에 위치하고 있는 농경지가 0.5~1.0m 침수구간에 대해 취약성을 가지고 있음을 의미한다. 또한 홍수로 인해 인명피해가 발생할 수 있는 1.0m 이상의 침수구간 대한 면적을 분석한 결과, 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 263%와 473%로 크게 증가한 것으로 분석되었다.

우안 파제시에는 모든 침수구간에서 빈도가 커질수록 침수면적이 증가한 것으로 나타났으며, 1.0m 이상의 침수구간에 대한 면적을 분석한 결과, 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시

침수면적이 각각 123%와 142%로 증가하였다. 특히 3.0~3.5m 침수구간에서 홍수량이 50년 빈도에서 100년과 200년 빈도로 증가시 침수면적이 각각 263%와 489%로 크게 증가하였으며, 따라서 이 침수구간에 영향을 받는 지역에 대한 집중적인 치수 대책 마련이 필요할 것이다. 본 연구에서 제시된 침수구간별 면적은 대상지역의 지형경사 및 토지이용 항목과 밀접한 관계가 있으며, 향후 지자체 토지이용계획 및 치수방재대책 수립을 위한 중요한 의사결정자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 강수만, 박민지, 김상호, 김성준, 2007, "홍수범람 해석모형을 이용한 침수피해 저감방안 연구-진위천 하천구간을 대상으로", 대한토목학회논문집, 제27권 제6B호, pp.815-819.
- [2] 김민석, 2005, 황구지천 인접지역의 홍수지도 작성을 위한 범람모의에 관한 연구, 석사학위논문, 한경대학교.
- [3] 김훈, 2004, 지역빈도 강우자료와 HEC-RAS를 이용한 농지침수지역 추정, 박사학위논문, 서울대학교.
- [4] 배용훈, 고덕구, 조용식, 2005, "FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람모의", 한국수자원학회논문집, 제38권 제5호, pp.355-364.
- [5] 복정수, 2007, 수치모형을 이용한 교량에 의한 수리학적 특성 연구, 석사학위논문, 충남대학교.
- [6] 백형조, 이현석, 이용곤, 고덕구, 2006, 내수침수의 영향을 고려한 홍수범람 비교연구, 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집, pp.1206-1210.
- [7] 윤석화, 2006, FLUMEN 모형에 의한 군장지구 단지 개발에 따른 홍수범람 분석, 석사학위논문, 충남대학교.
- [8] 이근상, 전형섭, 임승현, 조기성, 2002, "GIS 기반 Voronoi Diagram을 이용한 하천인식 DEM 생성에 관한 연구", 한국 GIS 학회지, 제10권, 제3호, pp.439-453.
- [9] 이근상, 채효석, 조기성, 2003, "DEM 표준오차를 고려한 TIN 구축의 효용성 분석에 관한 연구", 한국 GIS 학회지, 제11권, 제1호, pp.23-31.
- [10] 전라북도 무주군, 2001, 남대천 하천정비 기본계획.

- [11] 정대진, 2007, FLUMEN 모형에 의한 갑천과 유등천 합류부 흐름특성 분석, 석사학위논문, 충남대학교.
- [12] Beffa, C., 2004, FLUMEN User Manual, <http://fluvial.ch>.
- [13] Brett F. Sanders., 2007, "Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling", Advances in Water Resources, Vol.30, pp.1831-1843.
- [14] Chen, J. and Hill, A. A., 2007, "Modeling urban flood hazards: just how much does DEM resolution matter", Applied Geography Conference, Vol.30, pp.372-379.
- [15] Horritt, M. S., 2000, "Calibration of a 2-dimensional finite element flood flow model using satellite radar imagery", Water Resources Research, Vol.36, No.11, pp.3279-3291.
- [16] Horritt, M. S. and Bates, P. D., 2001, "Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow", Journal of Hydrology, Vol.253, pp.239-249.
- [17] Horritt, M. S. and Bates, P. D., 2002, "Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation", Journal of Hydrology, Vol.268, pp.87-99.
- [18] Horritt, M. S., 2006, "A methodology for the validation of uncertainty flood inundation models", Journal of Hydrology, Vol.326, pp.153-165.
- [19] Jian Chen, Arleen A. Hill, and Lensyl D. Urbano, 2009, "A GIS-based model for urban flood inundation", Journal of Hydrology, Vol.373, pp.184-192.
- [20] Pappenberger, F., Beven K., Horritt, M. S., and Blazkova S., 2005, "Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations", Journal of Hydrology, Vol.302, pp.46-69.
- [21] Schumann, G., Matgen, P., Hoffmann, L., Hostache, R., Pappenberger, F., and Pfister, L., 2007, "Deriving distributed roughness values from satellite radar data for flood inundation modelling", Journal of Hydrology, Vol.344, pp.96-111.

논문접수 : 2010.04.06

수정일 : 2010.05.31

심사완료 : 2010.06.01



이근상

1999년 전북대학교 대학원 토목공학과 공학석사

2003년 전북대학교 대학원 토목공학과 공학박사

2003.4월~2009.8월 한국수자원공사

Kwaer연구원 책임연구원

2009.9월~현재 전주비전대학 지직부동산과 전임강사



최연웅

2001년 전북대학교 대학원 공학박사 공학석사

2005년 전북대학교 대학원 공학박사

2010.3월~현재 조선이공대학 토목건설과 전임강사