

GIS 자료와 연계한 시나리오별 홍수피해액 분석 Flood Damage Assessment According to the Scenarios Coupled with GIS Data

이근상* · 박진혁**

Lee, Geun Sang · Park, Jin Hyeg

要 旨

우리나라는 홍수피해를 평가하기 위한 방법으로 간편법과 개선법을 사용하다가 현재는 2004년도에 개발된 다차원 홍수피해액 산정기법을 활용하고 있다. 본 연구에서는 GIS 자료를 기초로 다차원 홍수피해액 산정기법을 이용한 댐 하류지역의 홍수피해액 평가기법을 제시하였다. 먼저 배수강제알고리즘에 기초한 횡단측선 레이어에 FLDWAV 모델을 이용한 홍수위 자료를 입력한 후 DEM 자료와의 공간연산 처리를 통해 침수심 격자를 생성하였다. 그리고, 수치지형도에서 추출한 건물 레이어와 토지피복도에서 추출한 농경지 자료를 이용하여 지자체별 건물과 농경지 자산가치를 평가하였다. 또한 건축형태별 건축단가, 도시유형별 가정용품 평가액, 농작물 단가정보, 사업체의 유형 및 재고자산 평가액 자료를 건물, 농경지, 침수심 레이어와 연계하여 항목별로 피해액을 산정하였다. 홍수피해액 분석을 통해, 200년 빈도의 홍수피해액이 100년, 50년, 10년 빈도에 비해 각각 1.19배, 1.30배 그리고 1.96배 높게 나타났다.

핵심용어 : 침수심, 다차원 홍수피해액 산정방법, 공간중첩, FLDWAV

Abstract

A simple and an improved methods for the assessment of flood damage were used in previous studies, and the Multi-Dimensional Flood Damage Assessment (MD-FDA) has been applied since 2004 in Korea. This study evaluated flood damage of dam downstream using considering MD-FDA method based on GIS data. Firstly, flood water level with FLDWAV (Flood Wave routing) model was input into cross section layer based on enforcement drainage algorithm, water depth grid data were created through spatial calculation with DEM data. The value of asset of building and agricultural land according to local government was evaluated using building layer from digital map and agricultural land map from landcover map. Also, itemized flood damage was calculated by unit price to building shape, evaluated value of housewares to urban type, unit cost to crop, tangible and inventory asset of company connected with building, agricultural land, flooding depth layer. Flood damage in rainfall frequency of 200 year showed 1.19, 1.30 and 1.96 times to flood damage in rainfall frequency of 100 year, 50 year and 10 year respectively by flood damage analysis.

Keywords : Flooding Depth, Multi-Dimensional Flood Damage Assessment, Spatial Overlay, Flood Wave routing model

1. 서 론

최근 지구온난화 및 기후변화에 따른 환경 및 생태계의 변화로 여름철 강우강도가 크게 증가하고 있으며, 이로 인한 대규모 홍수피해로 해마다 많은 인명 및 재

산 피해가 급증하고 있다. 이와 같이 매년 반복되는 홍수 재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 재해의 효과적인 관리를 위해서는 사전예측을 위한 과학적인 분석시스템 구축이 필요하다. 대부분의 재해에는 많은 변수와 불확실성이 존재하기 때문에 현재의 정보체계

2011년 10월 25일 접수, 2011년 11월 21일 채택

* 종신회원 · 전주비전대학 지적부동산과 교수(gslee@jvision.ac.kr)

** 정회원 · 한국수자원공사 Kwater연구원 책임연구원(park5103@kwater.ac.kr)

에서는 한계가 있는 것이 사실이다(윤희천 등, 2010). 또한, 재해유형이 복잡하고 다양화 되면서 사전 재해예방 및 복구 관리에 필요한 정보도 상대적으로 방대해지고 있으며, 효율적인 재해관리 및 복구대책 수립을 위해서는 이러한 재해정보들을 신속하고 정확하게 처리하여 재해업무에 활용하는 것이 매우 중요하다.

국내의 경우 홍수피해 저감을 위한 비구조적 대책의 일환으로 홍수지도 및 피난지도 제작 등에 관한 연구와 사업들이 활발히 시행중에 있다. 백형조 등(2006)은 FLUMEN 모형을 평택시 안성천과 통복천 합류지점에 적용하여 하천범람시와 내수침수시를 모의하여 비교·검토 하였으며, 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 있다. 또한 강수만 등(2007)은 진위천 구간에 FLUMEN 모형을 이용하여 1998년에 발생했던 실제 강우사상을 적용하여 침수실적도와 비교한 연구를 수행하였으며, 윤희천 등(2010)은 수치영상지도 기반에 홍수재해 정보지도를 구축하는 연구를 수행하였다.

홍수재해 업무 수행시 가상의 홍수로 인한 범람구역 및 실제 피해지역에 대한 지형공간정보체계(GIS) 기반의 지도제작 외에 홍수범람구역에 대한 인적·물적피해를 정량적으로 산정하는 것은 매우 중요하다. 국내의 경우 치수경제성 평가를 위해 「하천시설기준」에 의한 간편법이 처음 도입되었다(건설부, 1985; 건설교통부, 1993). 이 방법은 농업피해를 산정한 후 다른 피해 항목들을 모두 농업피해에 계수를 곱하여 산정하는 방법으로서, 지나치게 농업피해 위주의 산정으로 편익이 과소 추정되는 단점이 있다. 이를 개선하고자 건설교통부(2001; 2002)는 과거 홍수피해 자료를 이용하여 회귀식을 산정한 개선법을 개발하였으며, 최근에는 주거지역, 농업지역 그리고 산업지역에 대한 물적 피해를 GIS 공간정보와 연계하여 평가할 수 있는 다차원 홍수피해액 산정기법(MD-FDA; Multi Dimensional Flood Damage Analysis)이 개발되었다(건설교통부, 2004a; 2004b).

외국에서도 최근 다양한 홍수피해 산정모형을 개발하였다. 미국은 미육군공병단(USACE)에서 위험도 분석을 고려한 홍수피해산정 모형인 HEC-FDA(Flood Damage Analysis)를 개발하여 사용하며(USACE, 1998), 호주는 침수삼-피해 관계의 개념을 이용하여 주거, 상업, 산업피해와 사회경제 활동, 토지, 비구조물에 대한 피해 등도 고려하고 있다(BTRE, 2002). 또한 일본에서는 자산가치를 조사한 자료와 홍수범람모형을

GIS와 연계한 FDAM(Flood Damage Assessment Methodology)을 개발하였으며(Dutta와 Herath, 1998), 체코에서는 자산정보, 경제적 자료, 수문자료 등을 GIS와 연계한 FAT(Flood Analysis Toolbox)라는 홍수피해 산정모형을 개발한 바 있다(Biza 등, 2001).

MD-FDA 기법을 이용하여 홍수피해액을 평가한 연구에는 이진행 등(2006)과 이충성 등(2006)이 대표적이다. 이진행 등(2006)은 도시지역의 내수배제를 고려하여 산업지역의 유형고정자산과 공공시설물의 피해액을 중심으로 연구를 수행하였으며, 주거지, 가정용품, 농경지, 농작물, 비닐하우스 등의 항목에 대한 검토는 수행하지 않았다. 또한 산업지역 피해 산정시 GIS 상의 산업체 건물이 아닌 행정구역별 산업지역 통계자료를 이용하였다. 또한 이충성 등(2006)은 GIS를 이용한 홍수피해액 산정 연구를 수행하였으며, 수리해석 모델과 DEM 자료를 연계하여 침수심을 계산하였다. 그러나 주거, 농업, 산업체 자산을 평가하기 위해 실제 건물, 피복도 및 산업체 건물을 이용하지 않고 행정구역별 통계자료를 GIS 레이어에 입력하여 분석하는 방법을 채택하였다. 따라서 이진행 등(2006)과 이충성 등(2006)의 연구에서는 주거 및 산업체 건물이 침수위험도가 높은 하천주변에 위치하는 경우와 하천에서 멀리 떨어진 경우에 대한 지역적 차이를 효과적으로 고려할 수 없는 한계가 있는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 이러한 기존연구의 한계를 개선하고자 수치지형도 및 토지피복도를 기초로 MD-FDA 방법을 구현하기 위한 방법론을 개발하였으며, 이를 금강일부 구간에 적용하여 홍수피해액을 평가할 수 있는 연구를 수행하였다. 특히 금강 상류의 용담댐과 대청댐 유역의 빈도 홍수량을 적용하였으며, 댐 방류 효과를 반영하기 위해 용담댐과 대청댐의 댐 운용조건도 함께 반영함으로써 현실적인 홍수 시나리오를 반영하고자 하였다.

2. 홍수피해액 산정방법

2.1 국내 치수경제성 분석 기준

치수경제성 분석기준은 1985년 「하천시설기준」에서 마련된 경제성분석방법을 그대로 적용한 「하천시설기준」(건설교통부, 1993) 이후부터 『수자원개발의 경제성 분석모델 개발-다목적댐 편익산정을 중심으로』 보고서가 나오기 전까지 엄밀한 이론적 검토 없이 그대로 사용되어 왔다. 또한 이후 「하천설계기준」(건설교통부, 2000)이 발간되었지만 내용면에 있어서는 「하천시설기준」(건설교통부, 1993)을 그대로 유지하였다.

건설교통부(현 국토해양부)에서는 『치수사업 경제성 분석 개선방안 연구』(건설교통부, 2001)를 발간하여 개선안을 도출하였고, 「하천설계기준」(건설교통부, 2002)에서 그 내용을 따르고 있다. 그러나, 몇 년 동안의 적용결과 여러 가지 문제점들이 지적되었으며, 보다 타당하고 합리적인 방법론의 필요성이 대두되었다. 이에 따라, 건설교통부(현 국토해양부)에서는 기존 방법론들의 문제점과 외국의 홍수피해액 산정방법론을 검토하여「치수사업 경제성분석 방법 연구」(건설교통부, 2004a)를 발간하고 이를 근간으로 한 「하천설계기준」(건설교통부, 2004b)을 제시하였다. 또한, 한국개발연구원(KDI)의 『수자원(댐)부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)』(한국개발연구원, 2003)에서는 예비타당성조사의 주요 대상사업으로서 다양한 항목의 환경성 검토를 포함하여 여러 측면의 정책적 분석이 요구되는 댐 건설사업에 대한 타당성평가에 그 초점을 두고 있다. 편의항목으로는 용수공급편의, 홍수조절편의, 관개편의, 발전편의, 그리고 기타편의 등 모두 댐건설사업의 타당성 분석에 근본하고 있다.

2.2 다차원 홍수피해액 산정기법

다차원 홍수피해액 산정기법(MD-FDA; Multi-Dimensional Flood Damage Assessment)은 회귀식에 의한 기존 개선법의 문제점을 보완하기 위하여 건설교통부(현 국토해양부)에서 개발한 홍수 피해액 산정방법이다(그림 1).

침수심을 고려한 다차원 홍수피해액 산정방법은 범람지역 내의 피해자산을 산정하여 침수심에 맞는 피해를 곱해서 직접피해를 산정한다. 직접피해액 항목은 크게 인명 피해액, 건물 피해액, 건물내용물 피해액, 농경지 피해액, 농작물 피해액, 사업소 유형·재고자산 피해액, 공공시설 피해액 7가지로 분류된다. 이중 인명 피해액과 공공시설 피해액을 제외한 5가지 피해액은 일반자산에 대한 직접 피해액을 일반자산의 평가액을 근거로 산정한다. 또한 수해 후, 같은 장소에서 다시 생활을 시작하기 위해서 사람들은 가옥이나 가재 등을 재조달하는 경우가 많기 때문에 실제로 사람들이 지출하는 피해액에 가까운 재조달 가격을 근거로 직접적인 피해액을 산정하게 된다.

직접피해 산정의 대상자산은 그림 1과 같이 인간이 생존이나 생활을 하기 위한 거주지나 농업, 제조업 그리고 서비스업 등 경제활동을 영위하기 위하여 축적해 온 동산 및 부동산 등을 그 대상으로 한다. 즉, 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 사업소 유형·재고자산이 이에 해당한다. 이러한 직접피해 산정의 기본 단위로는 홍수지역의 범위가 홍수피해액에 주는 영향을 구체적으로 측정하기 위하여 홍수지역의 범위를 행정구역상의 읍면동 단위로 설정하게 된다. 물론 읍면동 단위보다 더 작은 단위로 지역의 범위를 설정하는 것이 피해액 산정 결과의 정확도를 훨씬 높일 수 있겠으나, 피해액 산정방식의 정확성, 가능성, 편의성, 그리고 단순성 등 산정방식이 가져야 할 바람직한 특성들을 최대한 조

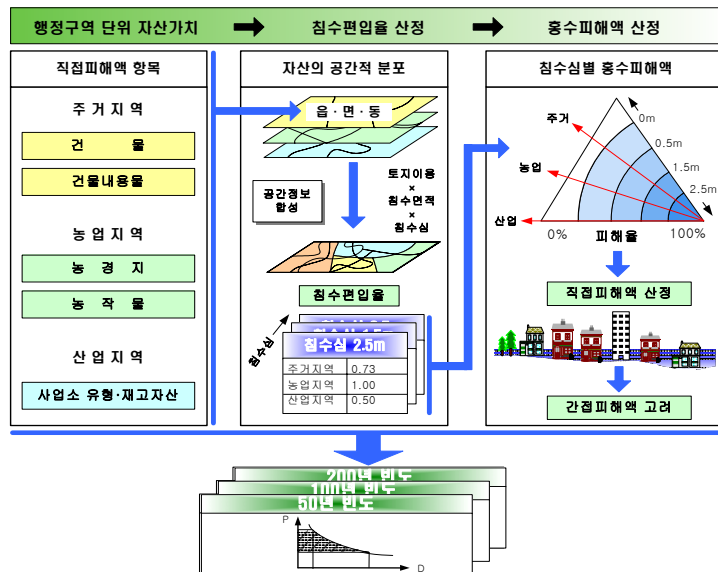


그림 1. 다차원 홍수피해액 산정방법의 개념도

화롭게 만족시켜줄 수 있는 현실적인 단위를 읍면동으로 판단하였다(건설교통부, 2004a).

직접피해액을 구체적으로 산정하기 위해서는 직접피해의 대상자산에 대한 자료, 침수심·피해를 관계, 해당 지역의 침수심 자료 등이 있어야 한다. 그러므로 직접피해액 산정식을 사용하여 실제 홍수 피해액을 산정하기 위해서는, 첫 번째 정보와 두 번째 정보를 사전에 준비하여 위의 산정식을 미리 설정해두고, 실제로 특정한 홍수가 발생하게 되면 세 번째 정보를 이 산정식에 대입함으로써 실제 홍수 피해액을 산정하게 된다.

기존의 홍수피해액 산정방법에서는 피해지역을 대도시, 중소도시, 전원도시, 농촌지역, 산간지역 등으로 특성에 따라 구분하고 특성별 가중치나 속성값들을 침수면적에 곱하는 1차원적인 방법으로 피해액을 계산하였다. 이러한 기존 방법은 최소 구분단위를 시·군·구로 하고 있어서 그 정밀도가 낮을 뿐 아니라 지역의 대표적 특성을 인구라는 하나의 독립변수만으로 구분하고 있어서 실제 피해지역의 자산가치가 올바르게 반영되었다고 할 수 없다. 또한 침수지역에 대한 공간적 정의 없이 수치적으로만 침수면적을 산정하기 때문에 침수심에 대한 고려가 불가능하며, 피해지역 내에서도 토지의 이용형태나 인구밀집도 등에 따라 피해액 산정방법이 달라야 함에도 이를 반영하지 못하는 단점이 있었다. 따라서 이를 보완하기 위해 그림 2와 같이 본 연구에서 채택한 다차원 홍수피해액 산정법에서는 피해지

역의 읍·면·동 단위 행정구역, 침수구역 및 침수심, 토지이용상태 등의 공간정보를 GIS와 연계하여 행정구역 내에서도 침수피해지역의 침수심에 따라 주거지역, 농업지역, 산업지역별로 침수편입율을 산정한다. 침수편입율이란 행정구역 내에서 주거, 산업, 농업 등 지역 특성요소의 총자산가치를 실제 침수된 부분에 대한 자산가치로 환산하기 위해 지역특성요소별로 지리요소인 공간객체들의 위치정보를 침수심별로 중첩하여 전체에 대한 비율로 나타낸 것이다.

3. 연구대상지 및 시나리오 설정

본 연구에서는 다차원 홍수피해액 산정방법을 기초로 하여 홍수피해액을 산정하기 위해 대청댐 하류 구간 중 그림 3과 같이 금강수계 일부 구간을 선정하였다. 대상지역은 대청댐 및 용담댐의 댐운영조건과 수리모델 구간을 고려하여 결정하였다. 시작지점은 금강과 지천의 합류지점 부근인 백마강교로서 행정구역상 충남 부여군 규암면 호암리에 위치하고 있으며 마지막지점은 금강과 석성천의 합류지점으로 행정구역상 충남 부여군 세도면 반조원리에 위치하고 있다. 대상구간의 길이는 약 20km이며, 홍수위 계산을 위한 수리해석 모델인 FLDWAV(Flood Wave routing model) 모델에서

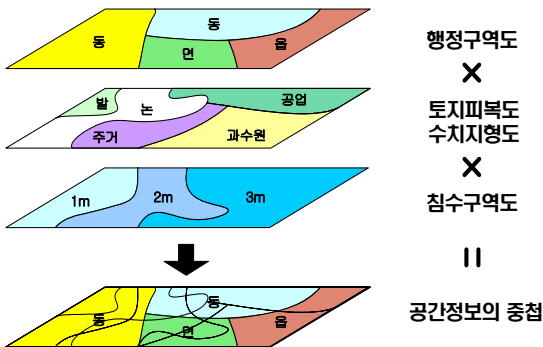


그림 2. 침수편입율 산정을 위한 공간정보의 중첩

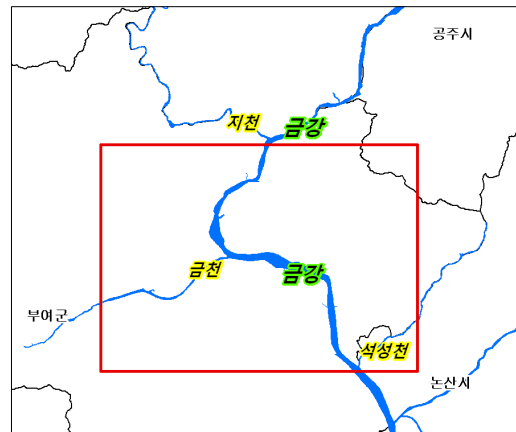


그림 3. 연구대상지

표 1. 시나리오별 강우량 자료

구분		48시간 강우량(mm)			강우패턴		
		용담	대청	하류	용담	대청	하류
시나리오 1	200년	377.3	377	377	히프3	히프2	히프2
시나리오 2	100년	344.1	341	341	히프3	히프2	히프2
시나리오 3	50년	310.8	306	306	히프3	히프2	히프2
시나리오 4	10년	232.0	228	228	히프3	히프2	히프2

표 2. 시나리오별 댐운영 조건

구분	구분	초기수위(EL.m)	운영률	조절율(%)	최대수위(EL.m)	최대방류량(cms)
시나리오 1	용담댐	261.5	rigid	66	265.5	1,450
	대청댐	76.5	rigid	43	79.9	6,000
시나리오 2	용담댐	261.5	rigid	66	265.0	1,300
	대청댐	76.5	rigid	43	79.5	5,100
시나리오 3	용담댐	261.5	rigid	66	264.6	1,160
	대청댐	76.5	rigid	43	79.1	4,230
시나리오 4	용담댐	261.5	rigid	66	263.5	790
	대청댐	76.5	rigid	43	78.3	2,330

해당 지역의 단면번호는 No.175~No.219로 총 45개 구간에 해당된다. 홍수조절효과분석을 위한 시나리오는 표 1과 같이 200년, 100년, 50년 그리고 10년 빈도에 대한 48시간 강우량을 이용하였다. 또한 대상지역에 영향을 주는 상류댐의 운영조건은 용담댐과 대청댐에 대해 표 2와 같은 수위, 운영률 그리고 조절율을 적용하였다.

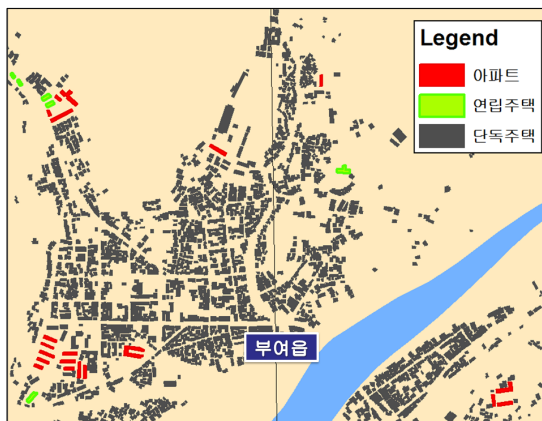
4. 적용 및 결과 분석

4.1 자료 구축

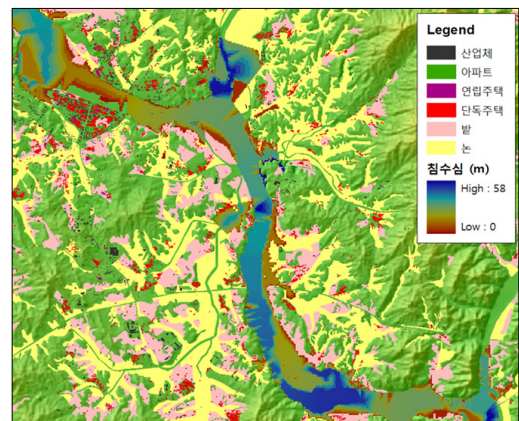
홍수조절에 따른 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 산업체 그리고 이재민 등에 대한 침수경제성을 평가하기 위해서는 다양한 GIS 레이어가 필요하다. 먼저 건물, 건물내용물 그리고 산업체 평가를 위해 1/5,000 수치지형도를 기초로 건물레이어를 추출하였으며, 농경지와 농작물의 평가를 위해 환경부의 중분류 토지피복도를 이용하였다. 또한 침수심 정보를 추출하기 위한 DEM은 유역조사 성과물을 이용하였다. 그림 4(a)는 수치지형도를 이용하여 구축한 건물 레이어로서 침수

시에 따른 피해율을 고려하기 위해 단독주택, 연립주택 그리고 아파트로 구분하였다. 또한 그림 4(b)는 건물, 토지피복도 그리고 DEM 정보를 구축한 사례를 보여 준다.

빈도별 강우 시나리오와 댐운영 조건을 고려하여 FLDWAV 모델을 통해 계산한 하천구간별 홍수위자료를 이용하여 침수심 레이어를 구축하기 위해, 본 연구에서는 이근상 등(2009)이 제시한 배수강제 알고리즘에 기초한 하천횡단측선 레이어 추출기법을 적용하였다. 먼저 하천중심선으로부터 횡단측선별(No.175~No.219) 위치에 대한 법선레이어를 구축한 후 배수강제 알고리즘에 의한 만곡부를 고려한 횡단측선 레이어를 생성하였다. 그리고 하천구간별 모델에서 계산된 최고 수위와 수치지형도에서 추출한 DEM 자료간의 공간연산 처리과정을 수행하여 침수심 레이어를 그림 5와 같이 구축하였으며, 산악지형에 의해 단절되는 지역은 현실적으로 침수되기가 어렵다고 판단하여 해당 지점을 외곽 경계로 지정하였다.



(a) 건물 레이어



(b) 건물, 농경지, DEM

그림 4. GIS DB 구축

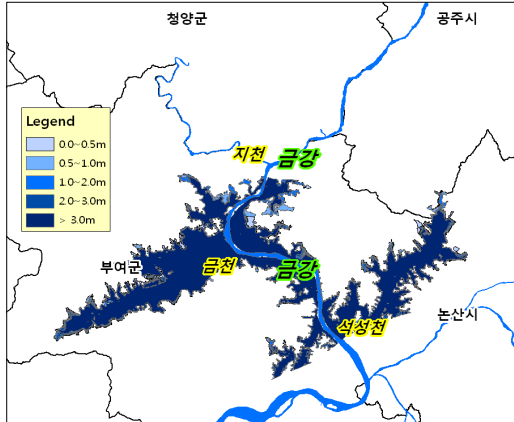


그림 5. DEM과 최고수위에 의한 침수심

4.2 자산가치 평가

건물, 토지피복도, DEM 그리고 하천구간별 최대수위정보를 기초로 홍수피해액을 산정하기 위해서는 각 행정구역별 자산가치를 사전에 평가해야 한다. 대상지를 포함하고 있는 행정구역은 공주시, 논산시 그리고 부여군으로서 대상지내 건물, 산업체, 농경지 분포특성을 GIS 레이어를 통해 분석하였으며, 특히 건물내용물 및 산업체는 통계연보를 통해 얻은 세대수 및 유형/제고자산 정보를 이용하여 계산하였다.

표 3은 건물에 대한 자산가치 평가결과다. 수치지형도상에는 단독주택/연립주택/아파트에 대한 층수정보가 없기 때문에, 본 연구에서는 단독주택은 1층, 연립주택은 5층 그리고 아파트는 15층으로 가정하여 평가하였다. 공주시, 논산시, 부여군의 건물유형별 연면적을 분석한 결과, 단독주택의 연면적이 13,577,085m²로서 연

립주택 982,325m²와 아파트 4,770,690m²에 비해 매우 높은 분포특성을 보였다. 이는 공주시와 논산시가 행정구역상 시의 기능을 수행하지만 농촌지역과 유사한 전원도시의 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 각 행정구역별로 계산한 건물 연면적에 2010년도 기준의 주택유형별 건축단가를 곱하여 자산가치를 평가하였으며, 여기서 주택유형별 건축단가는 다양한 건축형태 중 철근 콘크리트를 기초로 하여, 단독주택은 1,385,000원/m², 연립주택은 853,000원/m² 그리고 아파트는 1,690,000원/m²을 적용하였다.

건물 내용물은 세대수를 기준으로 홍수피해액이 평가되나, 수치지형도에서 추출한 단독주택/연립주택/아파트 레이어에는 세대수 정보가 없기 때문에 통계연보에서 제시된 행정구역별 세대수를 연면적 기준으로 환산하였다. 분석 결과 공주시, 논산시, 부여군의 단위면적(m²)당 세대수는 각각 0.00760, 0.00655, 0.00647로 나타났다. 따라서, 단독주택, 연립주택, 아파트에 대한 침수심별 점유면적이 계산될 경우 단위면적당 세대수 정보를 이용하여 자산가치를 평가할 수 있게 된다. 도시유형별 가정용품 평가액은 대도시 27,402,902(원/세대), 중소도시 22,329,401(원/세대), 전원도시 17,255,900(원/세대), 농촌지역 12,182,399(원/세대) 그리고 산간지역 7,108,898(원/세대)를 적용하게 된다. 이는 1997년도 기준의 도시유형별 가정용품 평가액으로서 2010년도를 기준으로 환산하기 위해 소비자 물가지수 1.322배를 적용하였다. 본 연구에서는 공주시와 논산시의 경우 중소도시 기준인 22,329,401(원/세대)을 적용하였으며, 부여군은 농촌지역인 12,182,399(원/세대)를 적용하였다.

표 3. 행정구역별 건물 자산가치 평가 결과

행정 구역	단독주택			연립주택			아파트		
	면적 (m ²)	연면적 (m ²)	자산가치 (억원)	면적 (m ²)	연면적 (m ²)	자산가치 (억원)	면적 (m ²)	연면적 (m ²)	자산가치 (억원)
공주시	4,535,085	4,535,085	32,780	116,487	582,435	3,297	95,056	1,425,840	8,070
논산시	4,904,898	4,904,898	35,454	49,881	249,405	1,411	183,265	2,748,975	15,559
부여군	4,137,102	4,137,102	29,904	30,097	150,485	852	39,725	595,875	3,373
Σ	13,577,085	13,577,085	98,138	196,465	982,325	5,560	318,046	4,770,690	27,002

표 4. 행정구역별 단위면적당 세대수 평가 결과

행정 구역	단독주택		연립주택		아파트		전체 세대수	세대수 /m ²	연면적 비율			
	연면적 (m ²)	세대수	연면적 (m ²)	세대수	연면적 (m ²)	세대수			연면적 합계	단독 주택	연립 주택	아파트
공주시	4,535,085	34,486	582,435	4,429	1,425,840	10,843	49,758	0.00760	6,543,360	0.693	0.089	0.218
논산시	4,904,898	32,130	249,405	1,634	2,748,975	18,007	51,771	0.00655	7,903,278	0.621	0.032	0.348
부여군	4,137,102	26,781	150,485	974	595,875	3,857	31,612	0.00647	4,883,462	0.847	0.031	0.122

표 5. 행정구역별 농경지 및 농작물 자산가치 평가 결과

행정구역	논(km ²)	밭(km ²)	농경지		농작물	
			매몰(억원)	유실(억원)	논(억원)	밭(억원)
공주시	157	77	1,966	4,841	988	1,334
논산시	200	71	2,276	5,607	1,258	1,230
부여군	198	49	2,075	5,110	1,245	849
Σ	554	197	6,317	15,559	3,491	3,412

표 6. 사업체 1인당 유형 및 재고자산 평가액 (단위 : 천원/인)

산업분류	유형자산	재고자산	산업분류	유형자산	재고자산
농업, 수렵업 및 임업	3,808,093	657,946	운수, 창고 및 통신업	171,253	3,345
어업	315,040	30,620	금융 및 보험업	87,878	8,247
광업	159,501	9,336	부동산, 임대 및 사업서비스업	46,913	5,733
제조업	244,315	41,166	공공행정, 국방 및 사회보장행정	0	0
전기, 가스 및 수도사업	1,309,133	25,920	교육서비스업	93,571	31
건설업	117,904	52,095	보건 및 사회복지사업	53,210	2,276
도·소매 및 소비자용품수리업	42,284	27,245	기타공공, 사회 및 개인서비스업	76,001	818
숙박 및 음식점업	85,972	1,412			

표 5는 농경지 및 농작물에 대한 자산가치 평가 결과이다. 농경지의 매몰과 유실에 대한 자산가치 평가에서는 논과 밭이 모두 모두 1m 이상 침수된 것으로 가정하였으며, 농작물에 대한 자산가치 평가에서도 논과 밭이 모두 1m 이상 침수된 것으로 가정하였다. 또한 농작물에 대한 홍수피해액을 평가하기 위해서는 먼저 농경지별 농작물의 종류를 파악할 수 있는 자료의 확보가 매우 절실하다. 우리나라는 논·밭의 경우 대부분 벼를 재배하고 있으나 밭의 경우에는 매우 다양한 작물들이 분포하고 있고 해마다 그 종류도 변화하고 있어 이를 GIS DB로 구축하고 있지 못하고 있는 실정이다. 또한 각 지역마다 재배되고 있는 밭작물의 종류에 따라 그 피해액의 범위도 큰 차이를 보이는 만큼 향후 국가차원의 농작물 DB화가 필수적으로 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 논과 밭의 농작물 피해액을 산정하기 위해 통계청에서 발표한 2010년도 기준의 농작물 생산비단가를 이용하였다. 이 중 논은 벼를 적용하였으며 밭은 고추를 대표작물로 간주하여 적용하였다.

산업체 건물의 자산가치를 평가하기 위해 행정구역

별 통계연보에 제시된 산업체 관련항목을 조사하여 표 6과 같은 형식으로 정리하는 과정이 선행되어야 한다. 이를 통해 평가된 유형 및 재고자산을 산업체 건물면적으로 나누어 산업체 건물의 단위면적당 유형 및 재고원단위를 계산하였다. 표 6에 제시된 1997년 기준의 1인당 산업체 유형 및 재고자산을 2010년도 기준으로 환산하기 위해 소비자 물가지수 1.322를 적용하였다.

4.3 홍수피해액 산정

홍수피해액 산정을 위해 시나리오별 홍수위자료를 하천구간별로 산정한 후, 각 구간별로 Grid 자료에 해당 수위값을 할당하여 원시 DEM과의 연산처리를 통해 침수심을 계산하였다. 계산된 침수심을 벡터데이터로 변환한 후 건물, 농경지, 산업체 레이어와의 공간중첩을 통해 시나리오별 홍수피해액을 계산하였다.

건물에 대한 홍수피해액을 산정하기 위해 먼저, 단독주택, 연립주택, 아파트 레이어에 코드를 할당한 후 단위면적당 건축형태별 건축단가와 층수를 고려한 연면적을 계산하였다. 건축형태는 대표적으로 철근 콘크리

표 7. 침수심별 건물 피해율(단위 : %)

침수심	0m~0.5m	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m~3.0m	3.0m 이상
단독주택	15	32	64	95	100
아파트	15/층수	32/층수	64/층수	95/층수	100/층수
연립주택	15/층수	32/층수	64/층수	95/층수	100/층수

표 8. 침수심별 건물내용물 피해율(단위 : %)

침수심	0m~0.5m	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m~3.0m	3.0m 이상
피해율	14.5	32.6	50.8	92.8	100

표 9. 침수심별 농경지 피해율 (단위: %)

침수심 피해		1m 이하	1m 이상	비 고
		침수	매물, 유실	
피해내용		침수	매물, 유실	•매물과 유실의 평균값을 사용
농경지	논	0	100	•매물 : 침수면적(m ²)×0.2(m)×4,200원/m ³ •유실 : 침수면적(m ²)×0.3(m)×6,898원/m ³
	밭	0	100	

표 10. 침수심별 농작물 피해율 (단위: %)

침수심 피해		1m 이하					1m 이상	비 고
		침수시간	1일 이하	1~2일	3~4일	5~6일	7일 이상	
농작물	논		14	27	47	77	95	100
	밭		35	51	67	81	95	100

트조에 해당되는 건축단가를 이용하였으며, 침수심별 단독주택, 연립주택, 아파트에 대한 건물피해율을 이용하여 홍수피해액을 산정하였다.

건물내용물에 대한 홍수피해액을 평가하기 위해서는 침수지역내 세대수 정보가 필요하나, 이에 대한 정보 추출이 어렵기 때문에 3의 자산가치 평가에서 미리 계산한 건물의 단위면적당 세대수 정보에 중소도시와 농촌지역의 가정용품 평가액 자료를 침수심별 건물내용물 피해율 자료와 연계하여 계산하였다.

농경지에 대한 홍수피해액은 환경부의 토지피복자료를 기반으로 침수심 1m 이상의 홍수시나리오를 가정하였으며, 「농업재해피해조사보고요령」과 「농어업재난복구비용산정기준단가」에서 제시한 표 9의 기준을 이용하여 계산하였다(<http://www.vegetables.pe.kr>).

농작물에 대한 홍수피해액은 통계청에서 발표한 2010년도 기준의 농작물 생산비 단가를 이용하였다. 농작물의 종류는 논에 대해서는 벼의 단가인 629원/m²

를 적용하였으며, 밭에 대해서는 고추의 단가인 1,732원/m²를 적용하였다. 표 10은 침수심별 농작물 피해율 자료이며, 본 연구에서는 토지피복자료와 침수심 자료를 중첩 분석하여 홍수피해액을 산정하였다.

비닐하우스의 피해액을 평가하기 위해 본 연구에서는 토지피복자료를 기반으로 「농어업재난복구비용산정기준단가」 자료를 이용하였다(<http://www.vegetables.pe.kr>). 비닐하우스 피해액은 크게 시설피해액과 농작물 피해액으로 구분되며, 시설물과 농작물 피해액은 침수심에 관계없이 각각 30,364원/m²과 2,221원/m²을 적용하였다.

산업체의 유형 및 재고자산의 피해액은 유형 및 재고의 자산가치에 산업지역의 침수 편입률과 침수심별 피해율을 고려하여 계산하였다. 표 6에 제시된 사업체 1인당 유형 및 재고자산 평가액을 계산하기 위해, 본 연구에서는 1/5,000 수치지형도의 레이어를 표 6의 산업체 코드에 할당하는 재분류 과정을 수행하였다.

표 11. 침수심별 사업체 유형고정자산·재고자산의 피해율 (단위: %)

침수심 피해율	0m~0.5m	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m~3.0m	3.0m 이상
	유형자산	23.2	45.3	78.9	96.6
재고자산	12.8	26.7	58.6	89.7	100

표 12. 일반자산 피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율(단위: %)

공공시설물 항 목	도로, 교량	하 천	소하천	상하수도	항만시설	어항시설	학 교
	피 해 율	1.38	0.87	0.58	0.18	0.02	0.01
결정계수	0.99	0.47	0.80	0.99	0.40	0.01	0.92

공공시설물 항 목	철 도	수리시설 방 조 제	사 방 입 도	군사시설	소규모시설	기타시설	합 계
	피 해 율	0.23	0.54	0.28	0.42	0.69	0.80
결정계수	0.95	0.73	0.93	0.92	0.91	0.94	

표 13. 시나리오별 홍수피해액 산정 결과 (단위: 백만원)

시나리오	행정구역	건물	건물내용물	농경지	농작물	비닐하우스	산업체	공공시설물	합계
1	공주시	1,529	526	352	278	0	31	3,812	6,528
	논산시	111,299	37,382	16,084	2,374	0	390,496	782,362	1,339,997
	부여군	723,776	132,340	102,980	55,457	3,086	821,266	2,579,984	4,418,889
	합계	836,604	170,248	119,416	58,109	3,086	1,211,793	3,366,158	5,765,414
2	공주시	105	35	263	144	0	0	768	1,315
	논산시	102,185	34,423	15,224	2,124	0	376,218	743,835	1,274,009
	부여군	597,639	109,555	96,634	51,258	2,749	635,707	2,095,439	3,588,981
	합계	699,929	144,013	112,121	53,526	2,749	1,011,925	2,840,042	4,864,305
3	공주시	0	0	213	103	0	0	444	760
	논산시	90,239	29,679	14,624	1,908	0	361,301	698,345	1,196,096
	부여군	538,465	98,396	93,465	49,163	2,148	559,083	1,881,030	3,221,750
	합계	628,704	128,075	108,302	51,174	2,148	920,384	2,579,819	4,418,606
4	공주시	0	0	134	66	0	0	281	481
	논산시	43,502	12,431	10,661	1,724	0	242,480	436,049	746,847
	부여군	365,671	63,558	81,935	43,520	1,426	356,315	1,280,132	2,192,557
	합계	409,173	75,989	92,730	45,310	1,426	598,795	1,716,462	2,939,885

홍수피해액은 주거지역, 농업지역, 산업지역에 대한 일반자산 피해액에 인명/이재민 피해액, 공공시설물 피해액을 더하여 총피해액을 계산한다. 본 연구에서는 인명피해액은 제외하였으며, 공공시설물 피해액은 표 12와 같이 일반자산 피해액에 대한 공공토목시설의 피해액 비율을 사용하여 계산하였다.

표 13은 시나리오별 홍수피해액 산정결과로서, 부여군의 피해가 가장 크게 나타났으며 공주시가 가장 작게 나타났다. 시나리오 1~4에 대해 부여군은 공주시에 비해 각각 677배, 2729배, 4239배 그리고 4558배 높은 홍수피해액 규모를 나타내었으며, 논산시에 비해서는 각각 3.3배, 2.8배, 2.7배 그리고 2.9배로 높게 나타났다. 이는 부여군과 논산시의 침수면적 규모가 공주시에 비해 상대적으로 매우 큰 영향으로 해석된다. 전체 홍수피해액 규모를 볼 때 200년 빈도인 시나리오 1은 100년, 50년, 10년 빈도인 시나리오 2~4에 비해 각각 1.19배, 1.30배 그리고 1.96배 높은 홍수피해액을 나타내었다. 본 연구에서는 제방 붕괴와 같은 극한의 상황을 모의하기 위해, 하천의 홍수해석결과를 기초로 제외지의 수위가 제내지와 동일하다는 가정하에 홍수피해액을 분석하였다. 따라서 분석결과에서는 상대적으로 200년 빈도의 홍수피해액 규모가 10년 빈도에 비해 큰 차이를 보이지 않은 것으로 해석되며, 2차원 홍수해석을 수행할 경우에는 제방 월류에 의한 영향이 10년 빈도에 비해 200년 빈도가 매우 크게 나타날 것이므로 홍수피해액 측면에서는 큰 차이를 보일 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 가상의 홍수 시나리오에 대한 댐 하류 지역의 홍수피해액을 지형공간정보와 연계하여 평가하는 것으로서 금강분류 일부 구간을 선정하여 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 빈도별 강우 시나리오와 댐운영 조건을 고려하여 FLDWAV 모델로 계산한 홍수위 자료를 배수강계 알고리들을 이용하여 추출한 하천구간별 횡단측선 레이어에 입력한 후 수치지형도에서 추출한 DEM 자료와 공간연산 처리를 수행함으로써 다차원홍수피해액산정 기법을 위한 침수심 격자자료를 추출할 수 있었다.

2) 수치지형도에서 추출한 건물 레이어와 토지피복도에서 추출한 농경지 분포특성 자료를 기반으로 지자체별 건물과 농경지 자산가치를 평가하였으며, 건물의 단위면적당 세대수 비율을 사전에 평가함으로서 침수지역에 대한 건물내용물 평가액 산정의 기초자료로 활용할 수 있었다.

3) 단위면적당 건축형태별 건축단가와 침수지역내의 침수심별 건물 피해율을 고려하여 건물에 대한 홍수피해액을 산정하였으며, 도시유형별 가정용품 평가액과 단위면적당 세대수 비율을 침수심별 건물내용물 피해율에 적용하여 건물내용물에 대한 홍수피해액을 평가할 수 있었다.

4) 농경지는 침수심별 농경지 피해율과 논과 밭은 대표작물에 대한 침수심별 피해율을 고려하여 평가하였으며, 사업체의 홍수피해액은 수치지형도상의 레이어

코드를 사업체 1인당 유형 및 재고자산 평가액 기준과 일치한 후 침수심별 피해율을 적용하여 계산할 수 있었다.

5) 홍수피해액 산정결과, 200년 빈도의 홍수피해액이 100년, 50년, 10년 빈도에 비해 각각 1.19배, 1.30배 그리고 1.96배 높게 나타났으며, 지자체 중에서는 침수면적이 넓은 부여군이 매우 높은 홍수피해액을 보였다.

감사의 글

본 연구는 항공우주연구원의 『2011년 위성정보 공공 활용사업』 일환으로 수행되었으며, 홍수시나리오를 제공해 준 한국수자원공사에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강수만, 박민지, 김상호, 김성준, 2007, "홍수범람해석 모형을 이용한 침수피해 저감방안 연구-진위천 하천구간을 대상으로", *대한토목학회논문집*, 제27권 제6B호, pp.815-819.
2. 건설부, 1985, 하천시설기준.
3. 건설교통부, 1993, 하천시설기준.
4. 건설교통부, 2000, 하천설계기준.
5. 건설교통부, 2001, 치수사업 경제성분석 개선방안 연구.
6. 건설교통부, 2002, 하천설계기준.
7. 건설교통부, 2004a, 치수사업 경제성분석 방법 연구.
8. 건설교통부, 2004b, 하천설계기준.
9. 백형조, 이현석, 이용곤, 고덕구, 2006, "내수침수의 영향을 고려한 홍수범람 비교연구", *한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집*, pp.1206-1210.
10. 복정수, 2007, 수치모형을 이용한 교량에 의한 수리학적 특성 연구, 석사학위논문, 충남대학교.
11. 윤희천, 민관식, 김민규, 2010, "지형공간정보를 활용한 수치영상기반의 다목적 재해정보지도 구축", *한국지리정보학회지*, 제13권, 제3호, pp.91-101.
12. 이건행, 최승안, 김형수, 심명필, 2006, "다차원 홍수피해산정방법을 이용한 도시지역의 홍수피해액 산정", *대한토목학회논문집*, 제26권, 제4B호, pp.363-369.
13. 이근상, 유병혁, 이을래, 박진혁, 2009, "하천 만곡부를 고려한 GIS 기반 침수지역 레이어 구축", *한국지리정보학회지*, 제12권, 제1호, pp.1-11.
14. 이충성, 최승안, 심명필, 김형수, 2006, "GIS 기반의 분포형 홍수피해산정 기법", *대한토목학회논문집*, 제26권, 제3B호, pp.301-310.
15. 한국개발연구원, 2003, 수자원(댐)부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제3판).
16. Biza, P., Gimun, V., Christian, H. and Smith, G., 2001, "The Use of a GIS-based Software Tool for Benefit-Cost Analysis of Flood Mitigation Measures in the Czech Republic", DHI Software Conference: DHI Software.
17. BTRE, 2002, "Benefits of flood mitigation in Australia", Bureau of Transport and Regional Economics Report 106.
18. Dutta, D. and Heath, S. 1998, "Methodology for Flood Damage Assessment using GIS and Distributed Hydrologic Model", *Proceedings of International Symposium on Information Technology Tools for Natural Disaster Risk Management*, Bangkok, Thailand, Feb. 1998, pp.109-124.
19. <http://www.vegetables.pe.kr>.
20. USACE, 1998, HEC-FDA : Flood Damage Analysis User's Manual.