

GIS를 이용한 예상홍수피해액 산정방법 연구

A Study on Estimation of Expected Flood Damage using GIS

최승안* · 이충성* · 김형수** · 심명필***

Choi, Seung An · Yi, Choong Sung · Kim, Hung Soo · Shim, Myung Phil

요 지

최근 기상이변으로 인한 이상홍수가 전국적으로 빈발하게 발생하고 있고 홍수에 의한 인명과 재산피해는 과거와는 비교할 수 없을 정도로 규모가 커지고 있다. 이와 같은 수해 피해를 경감시키기 위한 치수사업의 필요성은 인식하고 있으나 사업타당성을 정확하고 객관적으로 분석할 수 있는 경제성분석 방법이 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 현재 국내에서 사용중인 치수경제성분석의 문제점을 파악하고 선진외국의 사례와 비교분석하여 개선방향을 도출하고 현재의 여건에서 정확성을 높일 수 있는 방법을 검토하고자 한다. 주된내용은 예상피해지역의 일반자산조사(건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 사업체유형·재고자산)를 통하여 100%피해규모를 산정하고, 이 후에 침수심조건에 따라 피해율을 적용하여 예상홍수피해액을 산정한다. 기존의 침수면적-피해액의 회귀분석법과는 달리 각지역(시·군)의 통계연보를 중심으로 피해액을 산정하기 때문에 지역특성을 반영할 수 있으며, 또한 GIS와 연계되어 침수면적뿐만아니라 침수심의 공간적 분포를 검토하여 피해액을 보다 정확하게 산정할 수 있다.

핵심용어 : 경제성분석, 예상홍수피해액, GIS

1. 서 론

인간이 원천적으로 자연재해를 차단하기에는 불가항력적인 요소가 있으나 체계적이고 효율적인 방재활동으로 어느 정도 피해는 줄일 수 있다. 그러나 이러한 재해를 줄이고자 하는 수요는 무한한 반면, 그것을 충족시키기 위한 공급(치수사업)을 실행하기에는 한계가 있기 때문에, 최소의 비용으로 최대의 효과를 발휘하기 위해서 혹은 제한된 비용 중 가장 효과적인 방법을 도출하기 위해 치수사업에 치수경제성분석을 도입해야 한다.

미국은 치수사업의 편익-비용분석에 있어서 수위-피해함수를 가장 중요하게 여기고 있으며, 그것에 중점을 두고 연구하였다. 일본의 경우는 건설성 하천국에서 평성 12년(2000년)에 “치수경제조사메뉴얼(案)”을 발간하였으며, 단위면적당 자산의 단가 및 평가액을 각종 통계자료를 통해 산정한 후, 자산항목마다 침수에 의한 피해율을 산정하고, 예상침수면적과 침수심을 고려하여 산정하였다. 호주에서는 미국이나 일본과 유사하게 주거지역에서 건물과 내용물에 대한 수위-피해곡선을 작성하였으며, 상업과 산업 등에 대해서도 발생빈도별 직접피해액의 곡선을 산정하였다.

우리나라에서는 심순보(1972)가 빈도분석에 의한 홍수피해산정에 관하여 연구하였으며, 심명필 등(1998)은 미국과 일본의 홍수조절편익산정 방법을 소개하고, 기존의 기준에 대한 분석과 문제점을 지적하였다. 건설교통부(2001)는 과거의 피해자료를 통한 회귀분석방법을 이용하여 피해액 산정방법을 개선하였다. 김형수 등(2002)이 ‘간편법’과 ‘개선법’을 이용하여 안성천유역의 신가, 정동지역에서 불확실성을 고려한 치수경제성분석을 실시

* 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 박사과정 · E-mail : g2021534@inhavision.inha.ac.kr

** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 조교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

*** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 교수 · E-mail : shim@inha.ac.kr

하였다. 김창선(2003)은 유역을 기준으로 하여 홍수범람구역내의 산업별 자산액을 조사하고 행정구역별 피해액을 유역으로 전환시킨 후 일본의 사업소 상각 및 재고자산에 대한 피해율을 이용하여 서울지역에 적용하여 직접편익 및 영업정지피해액을 추정하였다.

본 연구에서는 기존에 사용되었던 경제성평가 기법의 문제점을 지적하고 개선방향을 모색하였으며, 이렇게 제시된 개선방향을 바탕으로 예상홍수피해액을 산정하는 방법론을 개발하고, 보다 정확한 방법론 적용을 위하여 GIS를 접목시켜 홍수피해의 공간적 분포까지 고려한 방법론을 연구하였다.

2. 치수경제성분석 기준의 문제점 및 개선방향

2.1 치수경제성분석 기준의 문제점

도시화, 산업화되고 있는 국토환경변화를 반영하지 못하는 기존 간편법(원단위법)의 문제점을 보완하기 위하여 건설교통부에서는 재해연보를 토대로 토지이용에 따른 피해액을 산출할 수 있는 개선법(회귀분석법)을 제시하였으나, 여전히 몇가지 문제점을 안고 있다.

첫째로, 침수면적이 적은 경우에는 상수항의 값이 과다하여 지배적인 인자로 작용함에 따라 편익은 차이가 거의 없고, 비용의 과소에 의하여 경제성 분석결과가 상수항에 지배되고 있다. 둘째로, 개선법에서는 시·군별 홍수피해 평균주기를 산출하고 동일 시·군에 대하여는 동 홍수피해 주기대로 침수피해가 발생하는 것으로 가정하여, 가중치(즉, 홍수주기의 역수)를 곱하여 연평균 피해액을 구하고 있으나, 치수사업의 설계빈도와 관련이 없어 합리성이 미흡한 실정이다. 셋째로, 인구수에 따라 도시를 구분하여 침수면적-피해액 관계식을 구하기 때문에 해당사업지구의 지역특성을 나타내는데 많은 한계를 드러낸다. 넷째로, 침수면적만을 독립변수로 두었기 때문에 침수심과 침수일수를 고려하지 못한다.

2.2 치수경제성분석 기준의 개선방안

회귀식의 상수항과 관련된 문제점의 개선방안은 여러 가지 변수들을 고려하고, 관계식을 좀 더 정확히 나타낼 수 있는 다중 회귀분석방법을 이용함으로써 결정계수를 증가시킬 수 있으며, 구간을 좀더 세분화하여 침수면적-피해액 관계식을 산정한다면 더욱 효과적일 것이다.

침수심을 고려한 피해액 산정방법은 조사대상지역 내의 각각의 주택에 대해 건물의 유형을 분류하고, 침수심에 따른 건물의 피해액과 건물 내부 및 외부에 있는 가정용품들의 피해를 설문조사 등을 통해 각 가구단위로 조사하여 침수심별 피해율이나 관계식을 산정한다.

홍수빈도를 고려한 피해액 산정방법은 유량규모에 대한 예상침수면적을 구하여 피해액을 산정한 후, 임의의 유량규모와 다음 유량규모간의 유량이 발생할 수 있는 연평균 발생확률을 해당 유량에 대한 예상피해액에 곱하여, 계획대상규모까지의 피해경감 기대액을 누계하는 것에 의해 연평균 피해경감 기대액을 산정한다.

3. 다차원 홍수피해액 산정방법

3.1 다차원 홍수피해액 산정방법의 기본틀

<그림 1>과 같이 다차원 홍수피해액 산정방법은 범람지역내의 피해자산을 산정하여 침수심에 맞는 피해율을 곱해서 직접피해를 산정하는 방법이다. 직접피해액 항목은 크게 인명피해액, 건물 피해액, 건물내용물 피해액, 농경지 피해액, 농작물 피해액, 사업소 유형·재고자산 피해액, 공공시설 피해액 7가지로 분류된다. 이중 인명피해액과 공공시설 피해액을 제외한 5가지 피해액은 일반자산에 대한 직접 피해액을 일반자산의 평가액을 근거로 산정하는 것을 기본으로 하였다.

공공시설물은 과거 피해 자료로부터 일반자산 피해액과의 관계를 도출하여 공공토목시설의 피해액·일반자산피해액에 대한 비율을 산정하였다. 간접피해액은 여기서는 제외하였다.

3.2 직접피해 대상자산조사

<표 1>은 다차원 홍수피해액 산정에 지역특성을 반영하는 구체적인 방법을 요약하고 있다. 지역특성은 일차적으로 특정지역이 가지고 있는 주거특성, 농업특성, 산업특성으로 대분류된다.

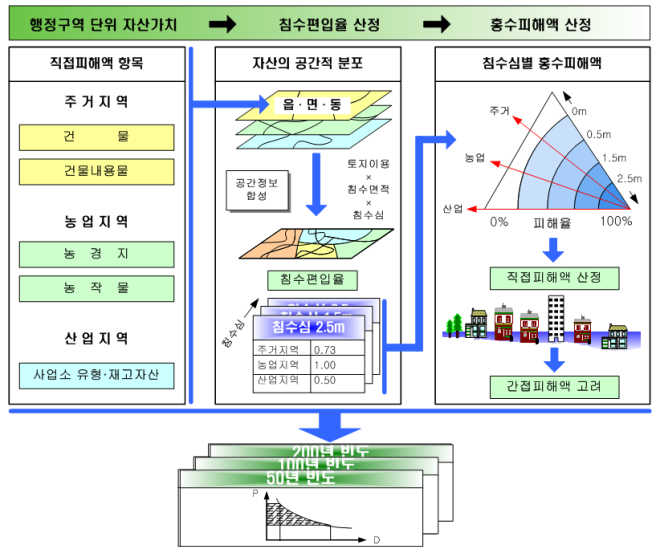


그림 1. 다차원 홍수피해액 산정방법의 개념도

표 1. 직접피해의 대상자산과 피해액 산정방법

지역특성	세분류	자료	산정방법
주거 특성	건물 (동)	① 건축형태별 건축연면적 주택수 ② 건축형태별 건축단가<표 2> ③ 아파트, 연립주택의 층수 ④ 읍면동별 건축형태별 주택수	해당 읍면동의 평균건물연면적에 건축단가를 곱해서 산정(①×②×④ 단,③고려)
	건물내용물 (세대)	① 가정용품 보급률 및 평균가격 ② 지역별 가정용품 평가액<표 3> ③ 읍면동별 세대수	세대수에 1세대당 평가단가를 곱하여 산정 (①×②×③)
농업 특성	농경지	① 매몰,유실에 의한 피해액 ② 읍면동별 전,답 면적	매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정(①×②)
	농작물	① 단위면적당 농작물평가단가 ② 읍면동별 전,답면적 ③ 읍면동별 경작작물의 종류	논면적, 밭면적에 시군구별 단위면적당 농작물 평가단가를 곱하여 농작물자산을 산정(①×② 단,③고려)
사업 특성	유형자산(액)	① 산업분류별 1인종사자수당 사업체 유형·재고 자산액<표 4>	산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형고정자산·재고자산을 산정 (①×②)
	재고자산(액)	② 읍면동별 산업분류별 종사자수	

표 2. 건축형태별 건축단가(원/㎡)

단독주택	아파트	연립주택	다세대주택	비거주용건물내주택
722,822	566,001	566,001	722,822	537,593

표 3. 가정용품 평가액(원/세대)

최소평가액	최대평가액
4,572,147	29,939,652

출처) 국부통계조사보고서

표 4. 산업분류별 사업체 1인당 종사자의 유형자산과 재고자산(천원)

산업분류	유형자산	재고자산	산업분류	유형자산	재고자산
A.농업,수렵업 및 임업	3,808,093	657,946	I.운수,창고및통신업	171,253	3,345
B.어업	315,040	30,620	J.금융및보험업	87,878	8,247
C.광업	159,501	9,336	K.부동산,임대및사업서비스업	46,913	5,733
D.제조업	244,315	41,166	L.공공행정,국방및사회보장행정	0	0
E.전기,가스및수도사업	1,309,133	25,920	M.교육서비스업	93,571	31
F.건설업	117,904	52,095	N.보건및사회복지사업	53,210	2,276
G.도·소매및소비자용품수리업	42,284	27,245	O.기타공공,사회및개인서비스업	76,001	818
H.숙박및음식점업	85,972	1,412			

3.3 직접피해액 산정

주거특성에 따른 건물과 건물내용물의 피해액은 읍면동별 건물 및 건물내용물 자산액에 추정침수심 등에 따르는 피해율을 곱해서 산출하는데 주거의 형태와 무관하여 자산의 피해율은 모두 같다는 가정하에 <표 5>의 건물피해율, <표 6>의 건물내용물피해율에 의하여 산정한다. 현시점에서는 지반구배에 따라 차등적인 피해율을 고려할 수 없으며, 고도분포의 경우 고층주택등에서는 침수피해를 받을 건물을 건물 평균층수 등을 이용해서 보정이 가능하다.

표 5. 침수심별 건물피해율

침수심(m)	0~0.5m	0.5m~1.5m	1.5m~2.5m	2.5m이상
피해율(%)	5.5	40.0	83.0	100.0

주) 하천시설기준, 건교부

표 6. 침수심별 건물내용물피해율

침수심(m)	0~0.5m	0.5m~1.0m	1.5m~2.5m	2.5m 이상
피해율(%)	15	40.0	83.0	100.0

주) 침수심별 피해율은 일본의 계수를 인용하여 산정

농업특성에 따른 농경지와 농작물의 피해액은 홍수피해의 경계선을 침수심 1m로 정하여, 침수심 1m 이하에서는 논이나 밭이 침수되기는 하지만 농경지 침수에 의해서는 피해액은 발생하지 않으나 농작물 피해는 발생하는 것으로 한다. 침수심이 1m 이상인 경우에 농경지 매물 및 유실에 의해서 발생하는 것으로 하고, 그 피해액은 통상적으로 책정되는 농경지의 매물이나 유실에 따른 피해액의 평균값을 사용한다.

표 7. 침수심별 농경지 피해율

침수심		1m 이하	1m 이상	비 고
농경지	논	0%	100%	매물 : 2,940원/㎡ 유실 : 5,660원/㎡
	밭	0%	100%	

주) 자연재해조사 및 복구계획수립 지침 참조

표 8. 침수심별 농작물 피해율

침수심	1m 이하						1m이상
	침수시간	1일이하	1~2	3~4	5~6	7일이상	
농작물	논	14%	27%	47%	77%	95%	100%
	밭	35%	51%	67%	81%	95%	100%

주) 농업재해피해조사보고요령 농작물 피해율 산정기준 참조.

산업특성에 따른 사업체 유형자산·재고자산은 침수심에 따른 사업체 유형고정자산·재고자산액에 <표 9>와 같은 침수심별 피해율을 곱하여 산정한다.

공공시설물의 경우, <표 10>과 같이 공공시설의 피해액에 대한 일반자산피해액에 대한 비율로 산정한다.

표 9. 침수심별 사업체 유형자산·재고자산의 피해율

침수심	0.5m 미만	0.5m~1.0m	1.0m~2.0m	2.0m이상
유형자산	25	50	80	100
재고자산	15	30	60	100

주) 침수심별 피해율은 일본의 계수를 인용하여 산정

표 10. 공공시설의 피해액·일반자산피해액에 대한 비율

시설	도로	교량	하수도	도시 시설	공익	농지	농업용 시설	소계
피해율(%)	61.6	3.7	0.4	0.2	8.6	29.1	65.8	169.4

주) 일본의 피해율 참조

이제까지의 직접피해액 산정방법을 식(1), (2)로 요약해볼 수 있다.

$$\text{일반자산피해액} = \sum_{i=1}^{\text{해당읍면동}} [\text{주거지역피해액}_i (\text{건물, 건물내용물, 침수심}) + \text{농업지역피해액}_i (\text{농경지, 농작물, 침수심}) + \text{산업지역피해액}_i (\text{사업체 유형·재고자산})] \quad (1)$$

$$\text{직접피해액} = \text{일반자산피해액} (1 + \alpha) \quad (2)$$

여기서, α : 공공토목시설물에 대한 일반자산피해액의 비율

4. GIS를 이용한 다차원 홍수피해액 산정방법

4.1 자료 항목의 선정

홍수피해액 산정에서 필요로 하는 GIS자료는 크게 하천자료, 인문·사회·경제 자료, 지리정보 자료로 대별할 수 있다. 따라서 침수구역도, 행정구역도, 토지피복도·토지이용현황도 및 수치지형도가 그 프레임이 될 수 있을 것이다.

표 11. 홍수피해액 산정을 위한 자료 항목 선정

종류	속성항목	비고
침수구역도	·민도별 침수심별 침수구역 ·경계 및 면적	기존자료 및 범람해석 결과
행정구역도	·읍·면·동 경계 및 면적	가장 최근의 읍·면·동
토지피복도	·대분류 항목의 농업지역	토지이용현황도 활용 가능
수치지형도	·대분류 항목의 건물레이어 (code 4)	1/5,000, 1/25,000 수치지형도

4.2 침수편입율의 산정

침수편입율이란 행정구역 내에서 주거, 농업, 산업의 지역특성요소의 총자산가치를 실제 침수된 부분에 대한 자산가치로 환산하기 위해 지역특성요소별로 지리요소인 공간객체들의 위치(position)정보를 침수심별로 중첩하여 전체에 대한 비율로 나타낸 것이다.

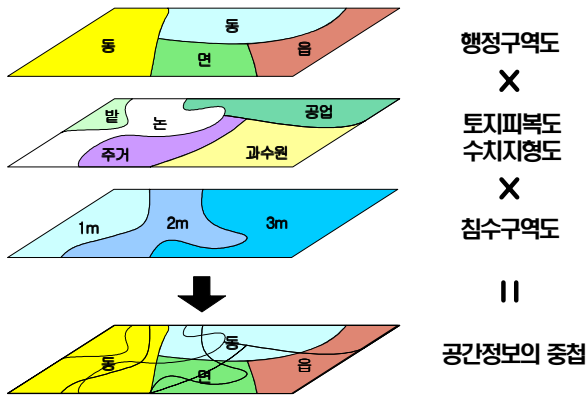


그림 2. 침수편입율 산정을 위한 공간정보 중첩

침수심 0m, 0m-0.5m, 0.5m-1.5m, 1.5m-2.5m, 2.5m이상 일 때 각각 0.3, 0.2, 0.25, 0.1, 0.15으로 산정 된다.

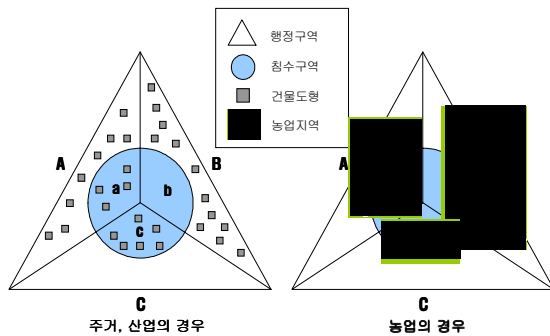


그림 3. 침수편입율 산정을 위한 개념도

따라서, 침수편입율은 <그림 2>와 같이 행정구역별로 산정되며 주거, 산업, 농업의 세 가지 지역특성요소들이 각각 편입되는 침수심별로 산정되고 침수심별 편입율의 합은 언제나 1이 된다.

<그림 3>에서 A동의 주거 또는 산업지역 침수편입율은 침수심이 0일 때 0.67, 0이상일 때 0.33이 된다. B동의 침수편입율은 침수심 0일 때 1, 0이상일 때 0이되고 C동은 그 반대가 된다. 마찬가지로 농업의 경우는 건물도형의 수가 아닌 농업지역의 면적비로서 산정할 수가 있다.

침수심이 <그림 4>와 같이 여러 단계로 구성되어 있을 때의 침수편입율은 <그림 3>의 경우, 침수심 0m, 0m-0.5m, 0.5m-1.5m, 1.5m-2.5m, 2.5m이상 일 때 각각 0.3, 0.2, 0.25, 0.1, 0.15으로 산정 된다.

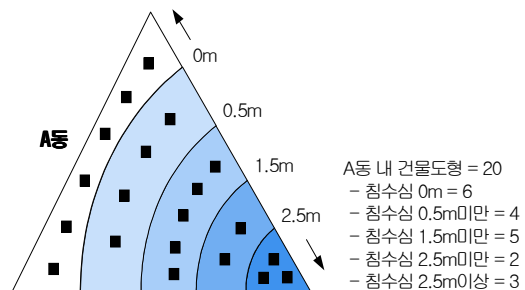


그림 4. 침수심별 침수편입율

4. 결 론

현재 국내에서 사용중인 침수경제성분석은 첫째로, 침수면적이 적은 경우에는 상수항의 값이 경제성 분석결과에 지배인자가 되고 둘째로, 침수사업의 설계빈도를 고려하지 못하며 셋째로, 해당사업지구의 지역특성을 나타내는데 많은 한계가 있으며 넷째로, 침수면적만을 독립변수로 두었기 때문에 침수심과 침수일수를 고려하지 못하는 문제점을 안고 있다.

이러한 문제점은 각각에 대하여 개선방안을 제시하였으나, 재해연보를 기초로한 회귀분석법에는 한계가 있음을 인지하고 다중회귀분석방법을 연구하였다. 주된내용은 예상피해지역의 일반자산조사(건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 사업체유형·재고자산)를 통하여 100%피해규모를 산정하고, 이 후에 침수심조건에 따라 피해율을 적용하여 예상홍수피해액을 산정한다. 기존의 침수면적-피해액의 회귀분석법과는 달리 각지역(시·군)의 통계연보를 중심으로 피해액을 산정하기 때문에 지역특성을 반영할 수 있으며, 또한 GIS와 연계되어 침수면적뿐만 아니라 침수심의 공간적 분포를 고려하여 산정하게 된다. 이러한 방법으로 산정된 예상홍수피해액은 과거의 홍수피해를 근거로 한 행정구역별 평균홍수피해액을 산정했었던 틀을 벗어나 침수가 발생한 지역에 대한 특성을 피해액 산정에 반영함으로써 보다 구체적이고 정확한 예상홍수피해액을 산정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 통계청 (1999). 국부통계조사보고서.
2. 통계청 (2000). 인구주택총조사보고서.
3. 건설교통부 (2001). 침수사업 경제성 분석 개선방안 연구.
4. USACE (1998). HEC-FDA : Flood Damage Analysis User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers.
5. 建設省 河川局 (2000). 침수경제조사 메뉴얼(안).