

치수경제성 분석의 응용 (II)



심 명 필 |

인하대학교 환경토목공학부 교수
shim@inha.ac.kr

Contents...

1. 치수사업과 경제성분석
2. 치수경제성분석 방법과 국내기준의 변천흐름
3. 치수경제성 분석
 - 3.1 비용과 편익의 흐름
 - 3.2 편익-비용분석의 평가지표
 - 3.3 연평균피해경감액의 산정절차
 - 3.4 치수경제성분석 범위와 절차
4. 다차원 홍수피해산정법(다차원법)
 - 4.1 행정구역별 대상자산조사
 - 4.2 침수편입을 산정
 - 4.3 침수피해액 산정
 - 4.4 총피해액 산정
5. 다차원법의 적용사례

3.4 치수경제성분석 범위와 절차

미국은 치수사업의 목표에 따라 편익과 비용의 범위를 정한다. 일반적으로 치수편익에는 범람감소편익, 집약적강화편익, 자산이용고도화편익 등 크게 세 가지를 고려하고 있다. 범람감소편익에는 홍수조절로 인해 직접 보호되는 대상물건의 피해감소, 홍수로 인한 소득손실, 홍수에 대비하기 위해 필요한 비상계획을 마련하는데 소요되는 비용 등을 포함하고 있다. 특히, 미국의 경

우 우리나라나 일본과 같이 기준연도의 홍수피해만으로 하는 것이 아니라, 치수사업의 전체기간에 걸친 토지이용의 변화(잠재적인 토지이용 평가)와 미래의 홍수피해(범람지역의 활동상황 예측)를 추정하여 고려해줌으로써 좀 더 정확한 편익을 산정하기도 한다.

미국에서 홍수예측 및 대책과 관련된 대표적인 기관으로는 연방재난관리청(FEMA)과 미육군공병단(USACE)을 들 수 있다. FEMA는 홍수피해 산정에 HAZUS-MH, GIS, 전자홍수지도, 레이저항공측량(LIDAR), 인공위성 등 첨단기술을 활용하고 있다. 미육군 공병단에서는 치수대책 수립을 위한 기초 연구를 위해 행정구역별로 홍수피해 규모와 산정방법 개발을 주도하고 있다. 연방재난관리청의 행정적 역할과 함께 기술적 역할을 담당하고 개발하는 기관이 바로 미육군공병단이라 할 수 있다.

HEC-FDA는 미육군공병단에서 개발된 치수경제성분석 모형으로서 위험도분석방법을 사용하여 홍수 조절편익을 계산하고 평가한다. HEC-RAS 또는 HEC-2와 연계하여 예측된 침수예상구역의 수리 및 수문학적 자료를 DB화 하여 이를 HEC-FDA에 대한 자료로 변환을 한다. HEC-FDA의 홍수피해산정 절차는 다음의 3단계로 이루어진다.

- 1단계 : 피해지역 선정과 분석연도 등의 환경설정
- 2단계 : 수리수문학적 분석을 통한 침수구역 설정
- 3단계 : 경제학적 분석을 통한 수위-피해함수를 작성한 후 연간피해액 산정

일본은 건설성 하천국에서 기존의 '치수경제조사요강'의 방법을 보완·발전시켜서, 2000년에 「치수경제조사매뉴얼(案)」을 발간하였다. 하천정비계획 등에 하천·댐 사업의 재평가 및 신규사업 채택시 평가 등에 있어서, 치수시설정비의 투자계획과 치수시설정비에

의해 야기되는 편익을 시계열적으로 취급하고, 매년 건설비와 유지관리비 및 연평균 피해경감기대액 등을 현재가치화해서 총비용과 총편익을 산정하고 있다.

홍수범람에 의한 직접·간접피해 중 현 단계에서 경제적으로 평가 가능한 피해항목을 편익으로서 평가하며, 기본적으로 현재 자산이 장래에도 변하지 않는 것으로 가정하여 피해액을 산정한다. 단, 장래의 범람구역의 자산신장은 구체적 또는 합리적으로 설정할 수 있는 경우에는 그것을 포함해서 자산과 피해액을 산정해도 좋은 것으로 하고 있다. 자산데이터 조사는 범람구역의 자산 및 세대수, 사업자수 등을 기초 수량(水量)을 원칙으로 하여 범람시물레이션의 계산에서 격자단위로 산정한다. 지역별 격자통계 등을 근거로 범람시물레이션 계산격자(250m을 원칙)마다 기초수량을 조사한다. 홍수범람에 따른 간접피해로서 현 단계에서 경제평가가 가능한 피해항목으로 영업정지손실, 가정 및 사업소의 응급대책비용 등에 대해 객관성과 합리성이 있는 방법에 따라 피해액을 산정하고 있다.

호주도 침수심-피해 관계의 개념을 이용하여 직접 피해액을 산정하고 있다. 홍수피해 항목은 인간의 생활과 가정, 사업소, 상업시설 등이다. 또한 사회, 경제활동과 관련된 피해, 토지가치, 비구조물에 대한 피해 등도 고려한다(BTRE, 2002). 간접피해도 거론하고 있으나 정확한 산정방법이 없는 상황이며, 직접 피해에 대한 비율로 산정할 것을 제시하고 있다. 직접피해에 대한 간접피해비율은 주거 0.1, 상업 0.5, 산업 0.7로 제시하고 있다.

체코는 FAT(Flood Analysis Toolbox)라는 홍수피해산정모형을 개발해 사용하고 있다. FAT는 기술적 자료를 비전문가들도 활용할 수 있도록 보다 쉽게 이해할 수 있는 자료의 형태로 변형시키도록 설계되었다. FAT의 입력자료는 자산정보, 경제적 자료, 수문자료의 세부분으로 구성되는데 이러한 기초자료의 특성은 홍수피해의 발생장소에 따라 천차만별이기 때문에 FAT가 중점을 둔 것은 홍수피해산정의 가장 어려운 부분인 피해함수곡선과 기준의 유도이고, 이를 통해 경제성 분석지표를 이용한 결과분석도 포함하고

있다(Biza et. al., 2001).

이 같은 외국의 홍수피해산정방법은 크게 세 가지 점으로 요약될 수 있다. 첫째는 홍수피해산정시 가장 기본이 되는 것으로 피해지역 자산의 정확한 조사이다. 이는 국가별 상황에 따라 조사항목이 약간씩 차이가 있으나 대개는 인명 및 주거 등 생활과 관련된 항목, 농업항목, 산업과 관련된 항목 등이다. 둘째는 최대한의 기술을 활용하여 홍수에 의한 침수예측을 실시한다. 피해산정의 정확도 및 정밀도를 높이기 위하여 지리정보시스템(GIS)과 침수예측을 위한 수리모형을 연계활용하고 있다. 셋째는 피해함수 유도를 통한 일반화 과정이다. 앞의 예에서 각국은 홍수피해가 발생한 대표지역을 선정하여 자세한 피해조사를 실시하고 이를 바탕으로 피해산정법의 근간을 이룰 수 있도록 피해함수를 유도하고 있다.

우리나라가 그동안 이들 외국에 비해 미흡한 점은 피해함수인데 그 이유는 홍수피해 대표지역 설정을 통한 심층적 사후 분석체계가 잘 갖추어져 있지 않으며, 그나마 이루어진 것들도 피해 원인조사에만 치중하고 피해산정을 위한 조사·분석은 상대적으로 간과되었기 때문이다. 최근 들어 국내에서도 피해예상지역의 자산조사와 지역특성을 피해액 산정에 반영한 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA, 一名 다차원법)을 실무적으로 사용하고 있다. 다차원법(多次元法)은 『치수사업 경제성분석 방법연구(건설교통부, 2004)』에서 제시한 방법으로서 피해예상지역의 자산조사에 의한 원단위법의 형태를 취하고 있으며, 기존의 통계분석에 의한 회귀모형에 비해 보다 구체적이고 정확한 예상홍수피해액을 산정할 수 있다.

일반적인 공공사업의 경제성분석에서 편익은 항목별로 직접 수혜자나 이용자의 예상수치를 고려하여 구할 수 있을 것이다. 그러나 치수사업의 편익은 피해경감액에 해당 홍수가 발생할 확률을 곱하여 기대치(연평균피해경감기대액)를 구하여야 한다. 치수를 포함한 방재사업은 재해의 발생확률을 고려한다는 점이 일반적인 공공사업과는 분석방법에서 차이가 있다고 할 수 있다.

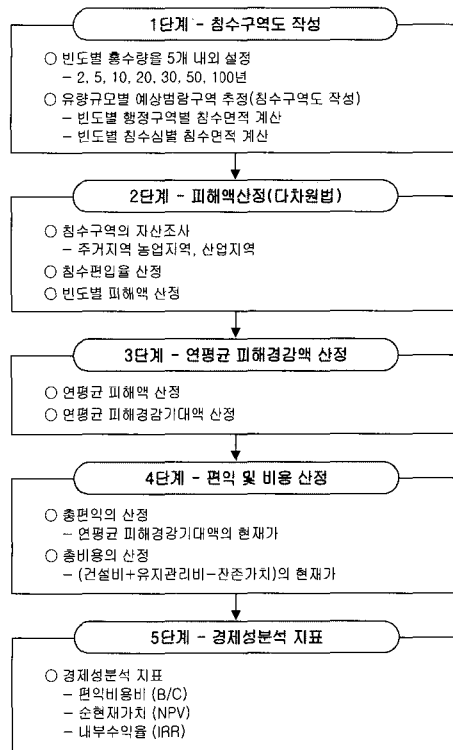


그림 4. 침수경제성분석 적용절차

그림 4는 침수경제성분석의 일반적인 절차를 단계별로 구분하여 나타내고 있다. 1단계에서는 2년, 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 100년 등의 홍수빈도에 대한 침수구역도를 각각 작성하며, 대상 홍수를 몇 개로 하느냐 하는 기준은 요구되는 분석의 정도와 최대 대상빈도에 따라 결정하도록 한다. 2단계에서 다차원법에 의해 산정된 피해액을 이용하여 3단계에서 연평균피해경감액을 계산하고, 4단계에서는 산정된 총편익 및 총비용을 이용하여 5단계에서는 경제성분석 지표를 계산하여 경제성분석을 실시한다.

4. 다차원 홍수피해산정법(다차원법)

다차원법(MD-FDA)은 범람지역내의 피해자산을 산정하여 침수심에 해당하는 피해율을 곱해서 직접피해를 산정하는 방법이다. 다차원법은 실질적인 자산

피해를 계산한다는 면에서 정확도가 높고 많은 이점이 있으며, 다루어야 할 자료가 많고 계산상으로 복잡한 면이 따르나 절차는 간단한 편이다. 그림 5는 다차원법의 개념도를 나타내고 있다.

직접피해 산정의 기본단위로는 홍수피해액에 주는 영향을 구체적으로 측정하기 위하여 행정구역상의 읍면동(邑面洞) 단위로 설정하고 있다. 직접피해액을 구체적으로 산정하기 위해서는 ① 직접피해의 대상자산에 대한 자료, ② 침수심-피해를 관계, ③ 해당지역의 침수심 자료 등이 있어야 한다. 실제 홍수피해액을 산정하기 위해서는, ①, ② 정보를 사전에 준비하여 설정해두고, 실제로 특정한 홍수가 발생하게 되면 ③ 정보를 구하여 실제 홍수피해액을 산정하게 된다.

4.1 행정구역별 대상자산조사

표 1은 지역특성을 반영하는 구체적인 자산산정방

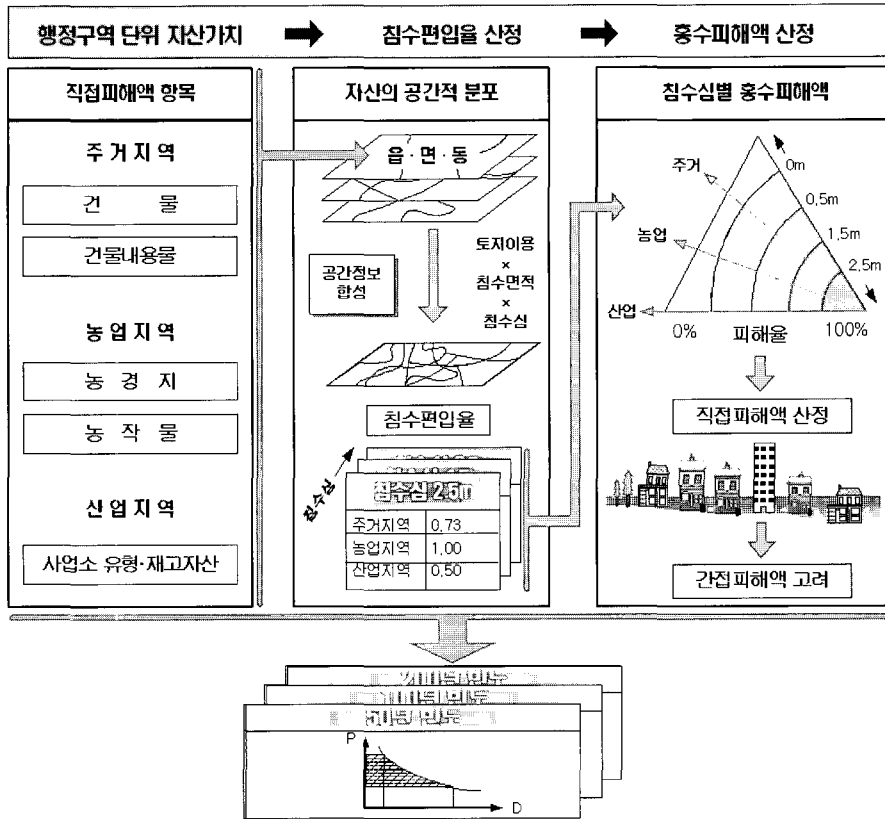


그림 5. 다차원 홍수피해액 산정방법의 개념도

표 1. 직접피해 대상자산과 피해액 산정방법

지역 특성	분 류	자 료	산 정 방 법
주거 특성	건물	① 건축형태별 건축연면적 주택수	해당 읍면동의 평균건물연면적에 건축단가를 곱해서 산정 (①×②×④, ③은 고려사항)
		② 건축형태별 건축단가	
③ 아파트, 연립주택의 층수			
④ 읍면동별 건축형태별 주택수			
	건물 내용물	① 가정용품 보급률 및 평균가격 ② 지역별 가정용품 평가액 ③ 읍면동별 세대수	세대수에 1세대당 평가단가를 곱하여 산정 (②×③, ①은 고려사항)
농업 특성	농경지	① 매몰, 유실에 의한 피해액	매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정(①×②)
		② 읍면동별 전,답 면적	
	농작물	① 단위면적당 농작물평가단가	논면적, 밭면적에 시군구별 단위면적당 농작물평가 단가를 곱하여 농작물자산을 산정 (①×②, ③은 고려사항)
② 읍면동별 전,답면적			
		③ 읍면동별 경작작물의 종류	
산업 특성	유형자산	① 산업분류별 1인종사자수당 사업체 유형·재고자산액 ② 읍면동별 산업분류별 종사자수	산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형고정자산·재고자산을 산정 (①×②)
	재고자산		

법을 나타내고 있다. 지역특성은 일차적으로 특정지역이 가지고 있는 주거특성, 농업특성, 산업특성으로 대분류된다. 대부분의 자료는 시군통계연보나 인터넷을 통하여 얻을 수가 있다.

(1) 주거지역 자산조사

주거지역의 자산조사는 크게 건물자산과 건물내용물자산으로 구분하여 조사한다. 건물자산가치는 건물대상을 주거건축물에 국한하여 가치를 산정하였기 때문에, 사업소 건물이 평가되지 않아 과소평가 될 우려가 있으나 산업지역의 유형고정자산항목에 사업체에 대한 건물부분이 포함되어 있다.

여기서, 건축형태별 연면적은 해당 읍면동의 시군통계연보를 근거로 평수별 가구수에 관한 자료를 바탕으로 산정하며, 시군통계연보에 이와 관련된 통계자료가 없을 경우 전국 평균자료를 이용하여 산정할 수 있다. 가장 최근에 조사된 건축형태별 평수별 가구수는 2000년 기준이다. 단위면적별 건축형태별 건축단가는 한국감정원 「건물신축단가표」(2000)를 기준으로 하고, 시군구별 별도의 건축단가자료가 있을 경우 그 자료를 사용할 수 있다. 건물자산가치를 사업평가기준년에 맞추어 산정하기 위해 경제통계에 있어서 금액으로 표시된 통계량에서 물가상승에 의한

명목적 증가분을 제거하기 위하여 기준년 건설업 디플레이터(deflator) 보정지수를 이용한다(표 2 참조).

건물내용물 자산가치의 가정용품평가액은 국부통계조사보고서(통계청, 1999)에 나와 있는 가정용품 보급률 및 평균가격으로부터 항목별 보급률과 평균가격을 곱하고 전체를 합한다. 1997년말 가구당 가정용품평가액의 최소치는 4,572,147원, 최대치는 29,939,652원으로 추정되었다. 세대수는 해당년 시군통계연보의 읍면동 자료를 이용하고 소비자 물가지수를 고려하여야 한다.

(2) 농업지역 자산조사

농업지역의 자산조사는 각각의 읍면동 단위에 주어진 전이나 답으로 구체화되고, 전답의 면적이나 해당 농작물로 측정된다. 전국의 읍면동의 전답의 경지면적과 농작물은 각 지역의 시군통계연보로부터 과거 몇 년간의 자료를 수집할 수 있다. 농경지는 침수가 발생하여도 어느 침수심까지는 피해가 발생하지 않으며, 매몰이나 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정한다. 농작물의 경우는 논면적, 발면적에 시군구별 단위면적당 농작물 평가단가를 곱하고 소비자물가지수를 고려하여야 한다.

표 2. 년도별 건설업 Deflator 보정지수

년 도	2000년기준	1997년 기준
1997	94.32	100.00
1998	98.79	104.74
1999	98.11	104.02
2000	100.00	106.02
2001	103.39	109.61
2002	107.94	114.44
2003	116.80	123.83
2004	124.29	131.77

주 1) 각 부문별 지수는 2004년도 단가로 환산을 위한 상대지수임. 2000년 개정기준 자료를 이용.

주 2) 건설업 Deflator 지수는 지출 GDP항목 중 건설투자항목을 이용.

출처) KOSIS > 주제별 검색(KOSIS) > 국민계정·지역내총생산 및 지출·국부 > 국민계정(20005년 기준) > 국내총생산 > 지출항목별 국내총생산에 대한 지출

※ 「치수사업 경제성분석 방법 연구」(건설교통부, 2004)에서는 건설업 Deflator 보정지수를 2003년까지 제시가 되었으며, 이중 2003년 값을 112.36에서 123.83으로 정정하였음. 이와 관련하여 건설업 Deflator 보정지수 산정방법은 <http://water21.inha.ac.kr> 참조.

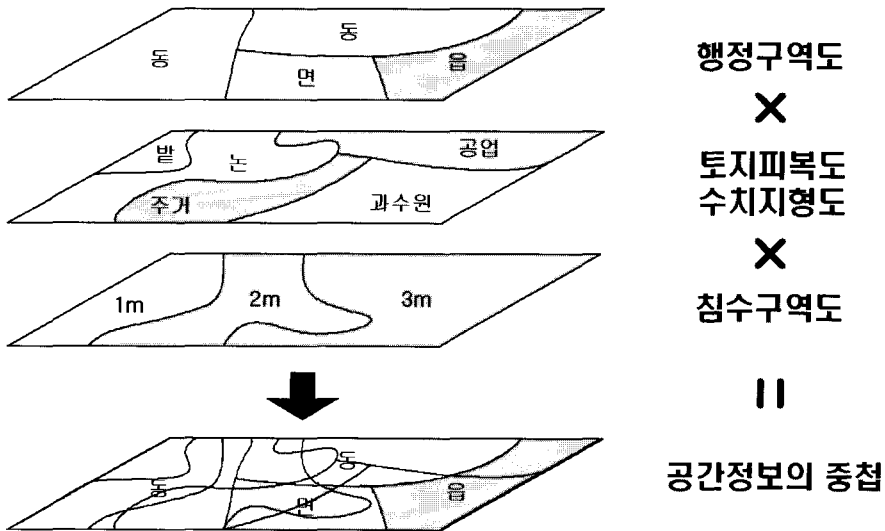


그림 6. 침수편입을 산정을 위한 공간정보의 중첩

(3) 산업지역 자산조사

산업지역의 자산조사는 산업대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형고정자산·재고자산을 산정한다. 산업분류별 사업체 1인당 유형자산 및 재고자산 평가액은 “국부통계조사 보고서(통계청, 1999)”에서 제시한 산업별 사업체 유형고정자산 및 재고자산을 산업분류별 종사자수로 나누어 산정하고, 지역별 편차를 감안하여 시도별 자료를 사용하도록 한다. 기초수량이 되는 사업체별 종사자수는 해당 연도 시군통계연보의 읍면동 자료를 이용할 수 있다.

4.2 침수편입을 산정

다차원법에서는 피해지역의 읍면동 단위 행정구역, 침수구역 및 침수심, 토지이용상태 등의 공간정보를 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 행정구역 내에서도 침수피해지역의 침수심에 따라 주거지역, 농업지역, 산업지역별로 침수편입율을 산정한다. 그림 6에서 나타낸 바와 같이 침수편입율이란 행정구역 내에서 주거, 산업, 농업 등 지역특성요소의 총자산가치를 실제 침수된 부분에 대한 자산가치로 환산하기 위해 지역특성요소별로 지리요소인 공간객체들의 위

치정보를 침수심별로 중첩하여 전체에 대한 비율로 나타낸 것이다. 주거 또는 산업지역 침수편입율은 침수심에 따른 건물도형의 수, 농업지역은 면적비로서 산정할 수가 있다.

4.3 침수피해액 산정

침수피해액을 산정하기 위해서는 항목별 자산액에 침수편입율과 침수피해율을 곱하여 피해액을 산출한다(하천설계기준·해설, 2005). 단, 공공시설물 등 피해에 관해서는 직접적인 산정이 곤란하기 때문에 일반자산 피해액과의 관계에서 구한다.

(1) 주거특성과 침수심에 따른 피해액

건물피해액은 등지반고 지구별 건물자산액과 건물내용물 자산액에 추정 침수심 등에 따르는 피해율을 곱해서 산출하며, 주거의 형태와 무관하여 자산의 피해율은 모두 같다는 가정 하에 별도의 건물피해율표에 의하여 산정한다(참고: 침수사업 경제성분석 방법 연구, 건설교통부, 2004 ; 하천설계기준·해설, 한국수자원학회, 2005). 다음 식 (6)은 예로서 건물피해액의 산정식을 보여주고 있다.

$$\begin{aligned} \text{건물피해액} &= \text{건물자산가치(원)} & (6) \\ &\times \text{주거지역침수편입율} \\ &\times \text{침수심별건물침수피해율} \end{aligned}$$

고층주택(아파트, 연립주택) 등에서는 그 건물이 위치하는 수심이 전가구수가 피해를 받게 된다. 그러면 피해를 과다 평가할 가능성이 있기 때문에 침수피해를 받은 건물자산을 건물평균계수(평균 침수) 등을 이용해서 보정하는 것이 바람직하다. 일반적으로 침수심은 기껏해야 낮은 높이이기 때문에 3층 이상 부분을 무시할 수 있다. 조사수준과 지역상황에 따라서는 건물 지하공간의 이용도와 시설물을 고려하여 보다 세부적으로 건물유형을 구분하거나 침수편입율을 산정할 수 있으나, 이러한 분석은 전체적인 조사수준의 정확도에 맞추어서 필요성 여부를 판단해서 결정해야 할 것이다. 지하공간의 이용도와 시설물을 파악할 수 있는 자료가 있다면 건물피해율에 의하여 산정할 수 있다.

건물내용물 피해액은 등지반고 지구별 건물내용물 자산액에 추정 침수심 등에 따르는 피해율을 곱해서 산출하는데 주거의 형태와 무관하여 자산의 피해율은 모두 같다는 가정 하에 건물내용물 피해율표에 의하여 산정한다.

(2) 농업특성과 침수심에 따른 피해액

논과 밭의 홍수심에 따른 피해는 동일한 기준을 적용한다. 그리고 홍수피해의 경계선을 침수심 1m로 정한다. 침수심 1m 이하에서는 논이나 밭이 침수되기는 하지만 농경지 침수에 의해서는 피해액은 발생

하지 않으나, 농작물 피해는 발생한다. 침수심이 1m 이상인 경우에 농경지 매물 및 유실에 의해서 발생하는 것으로 하고, 그 피해액은 통상적으로 책정되는 농경지의 매물이나 유실에 따른 피해액의 평균값을 사용한다.

(3) 산업특성과 침수심에 따른 피해액

주어진 읍면동의 산업특성에 대한 침수심에 따른 피해는 유형자산의 피해, 재고자산의 피해 두 가지 형태로 구분한다. 사업체 유형고정자산·재고자산액의 피해율에 따라 산정한다.

4.4 총피해액 산정

앞에서 산정한 주거지역, 농업지역 및 산업지역에 대한 일반자산 피해액에 인명·이재민 피해액, 공공시설물 피해액을 더하여 식 (7)과 같이 총피해액을 계산한다. 인명피해액은 인명·이재민 피해손실 추정방법을 사용하며 공공시설물 피해액은 일반자산 피해액에 대한 공공토목시설의 피해액 비율(α)을 사용한다. 표 3은 재해연보 피해자료를 분석하여 일반자산피해액에 대한 공공시설물 피해액의 비율을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} \text{직업피해액} &= (1+\alpha)\text{일반자산 피해액} & (7) \\ &+ \text{인명 피해액} \end{aligned}$$

그러나 재해연보에 조사된 일반자산 피해액은 그 신뢰성에 의문이 제기되고 있는 상황이므로 추후 보

표 3. 일반자산 피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율(한국)

공공시설물 항목	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	0.03
공공시설물 항목	철 도	수리시설	사 방 방 조 제	군사시설 임 도	소규모시설	기타시설	합 계
피 해 율	0.23	0.54	0.28	0.42	0.69	0.80	6.01

주) 『재해연보』(행정자치부, 2002)를 기준으로 일반자산피해액과 공공시설물의 비율 산정. 단, 농작물피해액 제외.

표 4. 일반자산 피해액에 대한 공공토목시설의 피해액의 비율(일본)

시 설	도 로	교 량	하수도	도시시설	공 익	농 지	농업용 시설	합 계
피해율	0.616	0.037	0.004	0.002	0.086	0.291	0.658	1.694

출처) 일본건설성 하천국(2000), "지수경제조사메뉴얼"

다 자세한 연구가 수행된 뒤에 사용할 수 있을 것이다. 표 4는 일본의 예를 나타내고 있으며, 일반자산피해액과 공공시설물 항목이 약간은 다르나, 우리나라

보다 공공시설물부분에서 낮은 피해를 보이고 있다. 현재는 일본의 비율을 제한적으로 사용하는 것을 제안하고자 한다.

(다음호에 계속)