

NO-00

물관리연구사업/1615012820



다차원하천관리 연구단  
Multidimensional River Management

## 정량적 홍수위험평가 (K-FRM) 테크니컬 메뉴얼

---

2023. 2

연구기관 : 한국건설기술연구원  
연구책임자 : 김경탁 선임연구위원



## 연구 참여진

---

■ 연구책임자	한국건설기술연구원	김경탁 선임연구위원
---------	-----------	------------

■ 내부연구진	한국건설기술연구원	김길호 수석연구원 최천규 전임연구원 최윤석 연구위원 김주훈 연구위원 홍승진 수석연구원
---------	-----------	-------------------------------------------------------------

---

# 목 차

---

## 제1장 서론 ..... 1

- 1.1 연구배경 및 목적 ..... 1
- 1.2 연구동향 ..... 2
  - 1.2.1 홍수피해잠재능 ..... 2

## 제1장 서론 ..... 1

- 1.1 개발배경 및 국내 현황 ..... 1
  - 1.1.1 간편법 ..... 1
  - 1.1.2 개선법 ..... 3
  - 1.1.3 다차원 홍수피해산정법 (MD-FDA) ..... 4
- 1.2 국외 현황 ..... 7
  - 1.2.1 모델별 주요 특징 ..... 7
  - 1.2.2 모델비교 ..... 11
- 1.3 문제점분석 및 개선방향 ..... 13
  - 1.3.1 기초자료 ..... 13
  - 1.3.2 피해대상 항목 및 피해산정 기준 ..... 14
  - 1.3.3 원단위 ..... 15
  - 1.3.4 침수심-손상률 관계 (손상함수) ..... 15
  - 1.3.5 기타 ..... 15

## 제2장 홍수피해 추정 모델 일반 ..... 17

- 2.1 홍수피해 유형 ..... 17
  - 2.1.1 홍수피해 유형 구분 방식 ..... 17
  - 2.1.2 주요 연구에서의 홍수피해 유형 ..... 18
- 2.2 홍수피해 영향요인 ..... 20
  - 2.2.1 자연적 요인 ..... 20

2.2.2 지역적 요인 .....	21
2.3 홍수피해 추정 전제조건 .....	22
2.4 주요 용어 및 개념 정리 .....	22
2.4.1 현재가와 재구입비(재조달가) .....	22
2.4.2 감가상각 .....	23
2.4.3 내용연수와 사용연수 .....	23
2.4.4 잔존가치 .....	23
2.4.5 손상함수 .....	23
2.4.6 인벤토리 .....	25

### 제3장 개선 모델 (K-FRM) ..... 27

3.1 홍수피해 유형 및 분석체계 .....	27
3.2 건물피해 .....	29
3.2.2 건물 인벤토리 .....	31
3.2.3 건물 자산가치 평가 .....	35
3.2.4 건물 손상함수 .....	38
3.3 차량피해 .....	42
3.3.1 차량피해 개요 .....	42
3.3.2 차량피해 산정 절차 .....	42
3.3.2 차량 인벤토리 .....	43
3.3.3 차량 자산가치 평가 .....	47
3.3.4 차량 손상함수 .....	48
3.4 인적피해 (인명피해 및 이재민피해) .....	52
3.4.1 인명피해 .....	52
3.4.2 이재민피해 .....	56
3.5 농업피해 (농작물, 농경지) .....	58
3.5.1 농작물피해 .....	58
3.5.2 농경지 피해 .....	66
3.6 공공시설 피해 .....	68

## **제4장 적용사례: 원주천댐 건설 타당성재조사 ..... 69**

4.1	예상 침수구역 (기분석 결과) .....	69
4.2	건물피해 .....	71
4.2.1	건물 인벤토리 .....	71
4.2.2	피해건물 추출 .....	72
4.2.3	자산가치 평가 .....	72
4.2.4	건물피해 산정 .....	73
4.3	농업피해 .....	74
4.3.1	농업 인벤토리 .....	74
4.3.2	피해경지 추출 .....	75
4.3.3	피해경지에 대한 투입생산비 및 기대순수익 총량 결정 .....	75
4.3.4	농작물 피해액 산정 .....	76
4.3.5	농경지 피해액 산정 .....	76
4.4	인적피해 (인명, 이재민) .....	78
4.4.1	인구 인벤토리 .....	78
4.4.2	노출위험인구 결정 .....	78
4.4.3	인명 및 이재민 피해액 산정 .....	79
4.5	차량피해 .....	80
4.5.1	차량 인벤토리 .....	80
4.5.2	침수편입률 결정을 위한 중첩분석 .....	80
4.5.3	차량피해액 산정 .....	81
4.6	공공시설 피해 및 종합 .....	82

## **제5장 결론 및 유지관리 방안 ..... 83**

5.1	요약 및 결론 .....	83
5.2	정책 활용방안 및 향후연구 .....	85

## **참고문헌 ..... 87**

## 표 목차

〈표 1.1〉 간편법에서의 홍수피해 추정 방법 요약 .....	2
〈표 1.2〉 침수기간에 따른 농작물 피해율 .....	2
〈표 1.3〉 간편법에서 가옥 피해정도에 따른 피해율 .....	2
〈표 1.4〉 간편법에서 농경지, 공공시설, 기타시설, 간접피해 산정을 위한 피해계수 .....	2
〈표 1.5〉 개선법에서의 침수심-피해액 관계식 .....	3
〈표 1.6〉 개선법에서 기타 피해액 산정 방법 요약 .....	4
〈표 1.7〉 다차원 홍수피해산정법에서 자산가치 분석 및 피해액 추정 방법 .....	6
〈표 1.8〉 일반자산피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율 .....	6
〈표 1.9〉 Hazus-MH Flood Model의 주요 기능 .....	8
〈표 1.10〉 FLEMO 모델에서 오염도와 예방조치에 대한 고려 .....	9
〈표 1.11〉 국외 주요 홍수피해 추정 모델 특징 비교 .....	12
〈표 1.12〉 다차원법에서 자산분포 및 규모를 정의하는 데 사용하는 공간자료 .....	13
〈표 1.13〉 개개인 및 국가 관점에서의 손실 정의 .....	14
〈표 2.1〉 Nascimento 외(2007) 연구에서 홍수피해 유형 .....	18
〈표 2.2〉 Jonkman 외(2008) 연구에서 구분한 홍수피해 유형 .....	19
〈표 2.3〉 Dutta 외(2003) 연구에서의 홍수피해 유형 .....	19
〈표 2.4〉 홍수피해에 영향을 미치는 자연적 요인 .....	21
〈표 2.5〉 현재가 산정방법 및 대상자산 .....	23
〈표 2.6〉 손상함수 개발 방법 .....	25
〈표 3.1〉 K-FRM에서 다루는 홍수피해 유형 .....	27
〈표 3.2〉 건물피해 평가대상 및 피해특징 .....	29
〈표 3.3〉 건물용도(31개 유형) 재분류 .....	34
〈표 3.4〉 건물구조(4개 유형) 재분류 .....	34
〈표 3.5〉 건물구조물 단가 및 내구연한 .....	37

〈표 3.6〉 건물용도별 CSV	38
〈표 3.7〉 건물용도별 출입구 높이	39
〈표 3.8〉 건물구조물 손상함수	40
〈표 3.9〉 건물내용물 손상함수	41
〈표 3.10〉 자동차등록통계에서 제공하는 자료내역	43
〈표 3.11〉 차량유형의 구분	46
〈표 3.12〉 차량유형별 차종비 (2020년 기준)	46
〈표 3.13〉 차량유형 구분 및 대표차량 재구매비 (2020년 기준)	47
〈표 3.14〉 차량유형별 잔존률 (2020년 기준)	48
〈표 3.15〉 차량 손상함수 (3개 대표유형)	51
〈표 3.16〉 인명피해 영향인자	52
〈표 3.17〉 인명피해(사상자) 발생확률	55
〈표 3.18〉 사망자 피해원단위	56
〈표 3.19〉 부상자 피해원단위	56
〈표 3.20〉 사상자 피해원단위	56
〈표 3.21〉 농작물피해 산정기준	59
〈표 3.22〉 2021년 기준 작물별 재배면적	62
〈표 3.23〉 대표작물의 선택	62
〈표 3.24〉 작물별 표준생산비 및 표준순수익 결정 (2020년)	64
〈표 3.25〉 홍수기의 작물별 생육 경과율	65
〈표 3.26〉 작물별 홍수기 평균 투입생산비 및 기대순수익 (2020년)	66
〈표 3.27〉 농작물 손상함수	66
〈표 3.28〉 침수심에 따른 농경지 손상률	67
〈표 3.29〉 공공시설 피해계수 결정 절차	68
〈표 3.30〉 공공시설 피해 비율계수	68
〈표 4.1〉 사업전후 홍수빈도별 예상 침수구역도	69
〈표 4.2〉 피해건물 추출	72
〈표 4.3〉 피해건물 자산가치 평가결과	73
〈표 4.4〉 건물피해액 산정 결과	73

〈표 4.5〉 피해경지 추출 .....	75
〈표 4.6〉 투입생산비 및 기대순수익 총량 .....	76
〈표 4.7〉 농작물피해액 산정 결과 .....	76
〈표 4.8〉 농경지피해액 산정 결과 .....	77
〈표 4.9〉 노출위험인구(PAR) 결정 .....	79
〈표 4.10〉 인명/이재민피해액 산정 결과 .....	79
〈표 4.11〉 원주시 차량현황 및 차량 자산가치 결정 .....	80
〈표 4.12〉 차량피해액 산정 결과 .....	81
〈표 4.13〉 공공시설 피해 비율계수 결정 .....	82
〈표 4.14〉 공공시설 피해액 및 결과 종합 .....	82
〈표 5.1〉 인벤토리 DB 유지관리 사항 .....	85
〈표 5.2〉 피해원단위 및 파라미터 관리 .....	85



## 그림 목차

〈그림 1.1〉 다차원 홍수피해산정법 분석흐름도 .....	5
〈그림 1.2〉 침수편입률 계산 개념 .....	5
〈그림 1.3〉 FLEMOps에서의 손상함수 .....	9
〈그림 1.4〉 DSM에서의 건물 손상함수 .....	10
〈그림 2.1〉 침수심-손상률 관계 예 (상대함수) .....	24
〈그림 2.2〉 침수심-손실액 관계 예 (절대함수) .....	24
〈그림 3.1〉 K-FRM에서의 홍수피해 분석 체계 .....	28
〈그림 3.2〉 건물피해 산정 절차 .....	30
〈그림 3.3〉 건물 인벤토리 구조 .....	31
〈그림 3.4〉 매칭키를 이용한 건물데이터 연계 .....	32
〈그림 3.5〉 차량 홍수피해 산정 절차 .....	43
〈그림 3.6〉 차량 인벤토리 구조 .....	44
〈그림 3.7〉 차량유형별 지면에서 차량내부 카펫까지의 높이 .....	49
〈그림 3.8〉 차량유형별 지면에서 대쉬보드까지의 높이 .....	49
〈그림 3.9〉 차량 손상함수 (7개 유형) .....	50
〈그림 3.10〉 차량 손상함수 (3개 대표유형) .....	50
〈그림 3.11〉 인명피해 산정 절차 .....	53
〈그림 3.12〉 인구 인벤토리 구조 .....	54
〈그림 3.13〉 인명피해 발생확률 분석 절차 .....	55
〈그림 3.14〉 이재민피해 산정 절차 .....	57
〈그림 3.15〉 투입생산비 결정 개념 .....	60
〈그림 3.16〉 기대순수익 결정 개념 .....	60
〈그림 3.17〉 농업피해 분석 절차 .....	61
〈그림 3.18〉 농작물 인벤토리 구조 .....	63

〈그림 4.1〉 원주시 건물 인벤토리 현황 .....	71
〈그림 4.2〉 건물 인벤토리 구축 .....	71
〈그림 4.3〉 피해건물 확인 및 침수심 결정 .....	72
〈그림 4.4〉 농업 인벤토리 구축 .....	74
〈그림 4.5〉 원주시 농업 인벤토리 분포 .....	74
〈그림 4.6〉 피해경지 추출 .....	75
〈그림 4.7〉 원주시 인구 인벤토리 분포 .....	78
〈그림 4.8〉 침수구역 내 편입된 차량 인벤토리 (중첩분석) .....	80

# 제1장

## 서론

### 1.1 개발배경 및 국내 현황

과거부터 현재까지 국내에서 개발되어 사용된 대표적 홍수피해액 추정 기법을 살펴보면, 농업피해를 산정한 뒤 다른 피해항목들을 농작물 피해액에 계수를 곱하여 결정하는 방식인 간편법이 하천시설기준(건설부, 1993)에 처음 언급되어 사용되었다. 이후, 2001년 하천정비사업을 대상으로 한 치수사업 경제성분석 개선방안 연구(건설교통부, 2001)가 수행되었는데, 여기서는 침수면적을 바탕으로 한 개선법을 제안하였다. 이는 하천설계기준(건설교통부, 2002)에 반영되었다. 이후 2004년에는 대상지역의 자산규모 및 공간적 분포와 관련된 각종 통계자료, 공간자료를 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 분석하는 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA, Multi-Dimensional Flood Damage Analysis)이 치수사업 경제성분석 방법 연구(국토해양부, 2004)에서 개발되어, 현 댐설계기준(국토교통부, 2018), 하천설계기준(국토교통부, 2019)을 근간으로 치수사업 편익 산정의 절대적 기준으로 실무에 활용되고 있다.

#### 1.1.1 간편법

과거 간편법이 개발된 시기에는 홍수피해의 상당량이 농업자산에 집중되었으며, 현재와 같은 상세한 추정치는 자료부족으로 인하여 실제로 힘들었다. 그리하여 농작물 피해액을 바탕으로 개별적으로 피해계수를 적용하는 비교적 간편한 방식을 채택하게 된다. 간편법은 그 당시 활발하게 진행된 하천개수사업을 대상으로 개발되었는데, 홍수피해경감기대액으로 정의되는 편익을  $R_p$ 와  $R_i$ 를 개별 추정하여 아래 식과 같이 결정하였다.

$$R' = R_p - R_i \quad (1.1)$$

여기서,  $R_p$ : 사업전 연평균 홍수피해액,  $R_i$ : 사업후 연평균 홍수피해액

우선, 사업전 연평균 홍수피해액( $R_p$ )은 아래 식과 같이 연평균 기준의 인명피해( $P$ ), 농작물피해( $H$ ), 가옥피해( $D$ ), 농경지피해( $S$ ), 공공시설물피해( $F$ ), 기타피해( $T$ ), 그리고 간접피해( $E$ )를 고려하여 산정되며, 각 피해항목에 대한 산정방법은 <표 1.1>과 같다. 특히, 농경지, 공공시설물, 기타, 간접피해는 농작물피해액을 기준으로 피해계수를 적용하여 결정하는 것이 특징이다.

$$R_p = P + H + D + S + F + T + E \quad (1.2)$$

〈표 1.1〉 간편법에서의 홍수피해 추정 방법 요약

항목	산정 방법
인명피해액	$P = \text{침수면적 } 10\text{a당 피해인수} \times \text{범람면적} \times \text{단위피해액}$ - 침수면적 10a당 피해인수: 사망 0.001명, 부상 0.0009명 - 단위피해액: 1인당 국민소득×기대수명(14.0939년), 부상 10% 적용
농작물피해액	$H = \text{과거 최대 홍수규모 침수지역 내 경지면적} \times \text{단위면적(10a)당 수확량} \times \text{농작물 피해율 (표1.2)} \times \text{농작물 단가}$
가옥피해액	$D = \text{과거 최대 홍수규모 침수면적 내 가옥수} \times \text{가옥 피해율(표 1.3)} \times \text{피해지역의 동당 가격}$
농경지피해액	$S = \text{농작물피해액} \times \text{농경지 피해계수(표1.4)}$
공공시설물피해액	$F = \text{농작물피해액} \times \text{공공시설물 피해계수(표1.4)}$
기타피해액	$T = \text{농작물피해액} \times \text{기타 피해계수(표1.4)}$
간접피해액	$E = \text{농작물피해액} \times \text{간접 피해계수(표1.4)}$

〈표 1.2〉 침수기간에 따른 농작물 피해율

침수기간 형태	농작물 피해율(%)				
	8시간-1일	1-2일	3-4일	5-7일	7일 이상
논	14	27	47	77	95
밭	35	51	67	81	95

〈표 1.3〉 간편법에서 가옥 피해정도에 따른 피해율

침수심 형태	0-0.5m (소파)	0.5-1.5m (반파)	1.5-2.5m (전파)	2.5m 이상 (유실)
피해율(%)	14	27	47	77

〈표 1.4〉 간편법에서 농경지, 공공시설, 기타시설, 간접피해 산정을 위한 피해계수

항 목	피해계수(%)										
	서울	부산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
농경지	42.46	82.17	87.75	201.84	213.74	91.59	100.45	58.25	122.91	49.78	89.61
공공시설	599.08	952.06	40.82	214.32	160.27	34.67	51.99	48.93	63.02	36.70	36.04
기타	36.54	227.70	3.84	17.54	1.28	2.55	1.88	17.07	4.37	6.80	26.81
간접	36.08	36.08	3.72	1.82	3.90	3.72	3.72	3.72	3.90	3.72	1.85

사업후 연평균 홍수피해액( $R_i$ )은 아래 식과 같이 농작물 내수피해액( $S$ ), 지역별 내수 피해계수( $r$ ), 농작물의 연평균 현재가치 환산계수( $h$ )를 바탕으로 산정되며, 여기서 농작물 내수피해액은 10a 당 농작물의 내수 침수피해면적, 10a당 수확량, 농작물 단가를 모두 곱하여 산정된다.

$$R_i = S \times (1+r) \times h \quad (1.3)$$

### 1.1.2 개선법

개선법은 인명피해, 이재민피해, 농작물 피해액에 대해서는 간편법에서 사용한 원단위를 활용하고, 건물피해액, 농경지 피해액, 공공시설물 피해액, 기타 피해액은 소방방재청에서 발간하는 재해연보를 근거로 도시유형별 침수면적-피해액 관계식을 설정하여 피해액을 산정하는 방법이다. 여기서는 하천의 범람으로 피해액에 가장 큰 영향을 미치는 요소로서 강우량과 침수면적을 강조하고, 이들에 대한 상관관계는 지역적 특성에 따라 큰 차이를 보이므로 도시규모 및 유형에 따라 대도시(인구 100만명 이상의 광역시급 도시), 중소도시(인구 100만명 미만의 일반시급 도시), 전원도시(인구증가 등으로 인해 군 전체가 시로 승격된 도시), 농촌지역(군급 도시 중 인구 밀도 500명 이상, 임야면적 70% 미만인 도시), 산간지역(농촌 지역 이외의 군급도시) 이렇게 다섯 가지 유형으로 구분하였다. 이렇게 구분된 도시유형을 기준으로 1989~1998년 동안의 재해연보 상의 침수면적(ha)과 피해액(백만원) 자료를 바탕으로 건물피해액, 농경지 피해액, 공공시설물 피해액, 기타피해액 결정을 위한 침수면적-피해액 관계식을 <표 1.5>와 같이 제시하였다.

**<표 1.5> 개선법에서의 침수심-피해액 관계식**

도시유형	변수	상수항	침수면적항	적합도
대도시지역	건물	0.23294	$0.245s^2$	0.63
	농경지	0.09896	$0.288s^2$	0.91
	공공시설	0.52265	$0.149s^2$	0.55
	기타	0.03835	$1.471\sqrt{s}$	0.44
중소도시지역	건물	0.55283	$0.182s^2$	0.52
	농경지	0.63246	$0.150s^2$	0.50
	공공시설	0.85311	$0.060s^2$	0.45
	기타	0.12471	$0.356s^2$	0.54
전원도시지역	건물	0.13849	$0.302s^2$	0.78
	농경지	0.00528	$0.353s^2$	0.80
	공공시설	0.38754	$0.215s^2$	0.51
	기타	0.11562	$0.310s^2$	0.64
농촌지역	건물	0.01164	$0.286s^2$	0.95
	농경지	0.11744	$0.226s^2$	0.84
	공공시설	0.38670	$0.157s^2$	0.63
	기타	0.49185	$0.130s^2$	0.62
산간지역	건물	0.41041	$0.271s^2$	0.72
	농경지	0.64000	$0.165s^2$	0.65
	공공시설	0.67713	$0.148s^2$	0.50
	기타	0.27659	$0.332s^2$	0.72

주) s=침수면적(ha)/도시유형별 평균 침수면적(ha), 평균 침수면적: 대도시(875.3ha), 중소도시(303.0ha), 전원도시(1,001.4ha), 농촌지역(761.2ha), 산간지역(139.6ha)

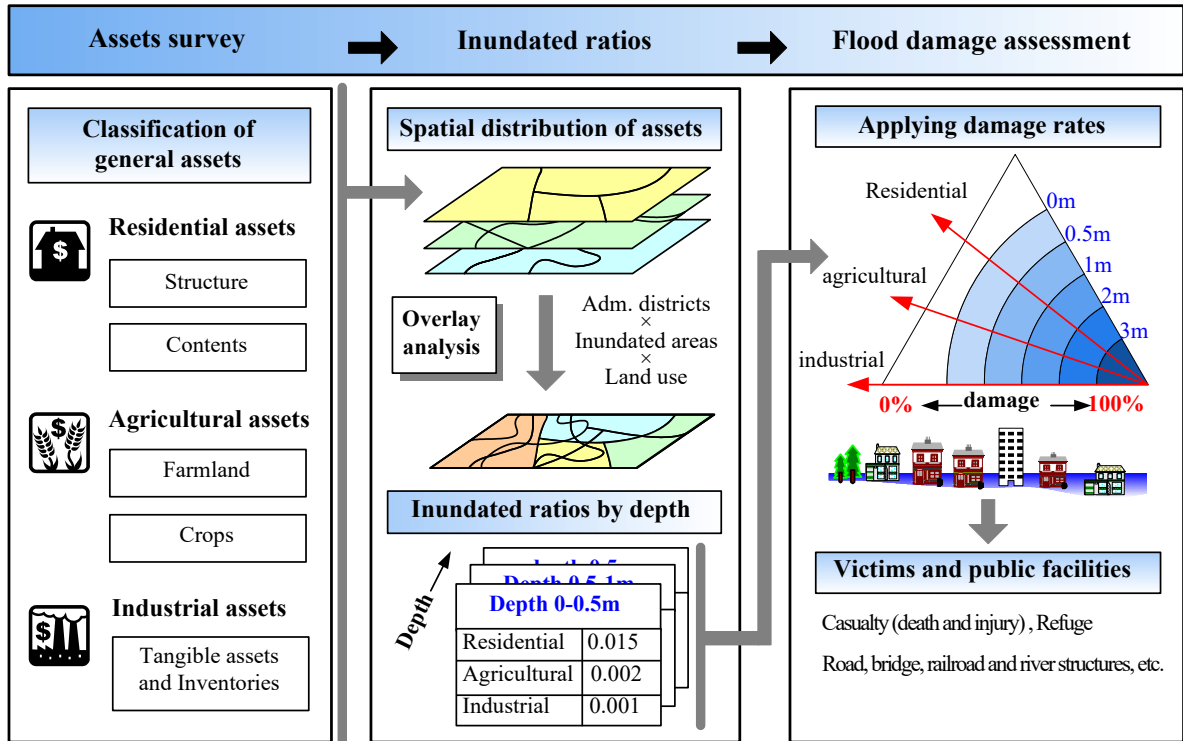
개선법에서는 간편법에서 고려된 바 있는 인명피해액, 이재민피해액, 농작물피해액을 추정하고, 공공시설물 피해액 외 공공시설을 이용하지 못하여 발생하는 손실액(기회비용)을 공공시설물의 간접피해액으로서 고려하였다. 각각의 추정방법을 요약, 정리하면 다음 표와 같다.

〈표 1.6〉 개선법에서 기타 피해액 산정 방법 요약

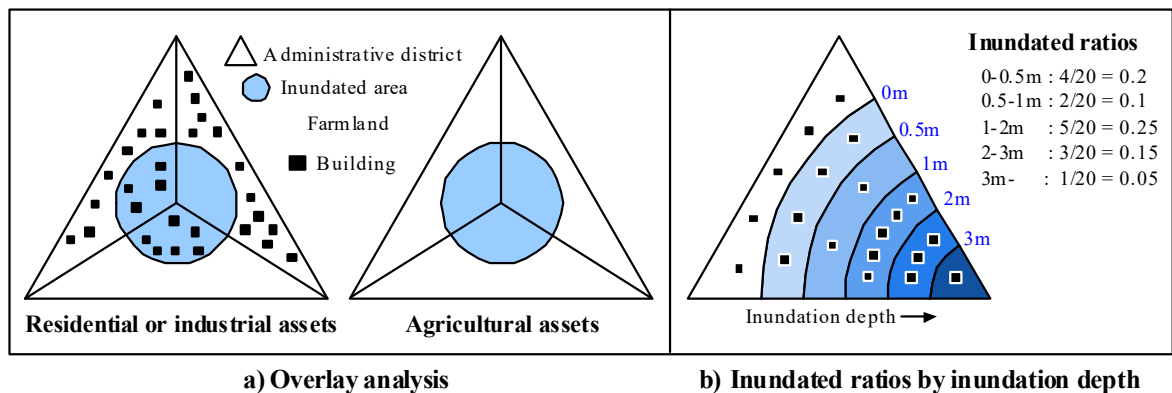
항목	산정 방법
인명 피해액	$\text{인명손실액} = \text{침수면적당 손실 인명수(명/ha)} \times \text{손실 원단위(원/명)} \times \text{침수면적(ha)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- 손실 원단위(1998년 불변가격): 2억 5천만원(사망), 2천만원(부상)</li> <li>- 손실 인명수(사망): 대도시(0.004명/ha), 중소도시(0.004명/ha), 전원도시(0.001명/ha), 농촌지역(0.002명/ha), 산간지역(0.002명/ha)</li> <li>- 손실 인명수(부상): 대도시(0.002명/ha), 중소도시(0.002명/ha), 전원도시(0.001명/ha), 농촌지역(0.001명/ha), 산간지역(0.002명/ha)</li> </ul>
이재민 피해액	$\text{이재민피해액} = \text{침수면적당 발생 이재민(명/ha)} \times \text{대피일수(일)} \times \text{일평균 국민소득(원/명·일)} \times \text{침수면적(ha)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대피일수: 평균 10일</li> <li>- 일평균 국민소득: 2만 7천원(1998년 불변가격)</li> <li>- 이재민수: 대도시(1.85명/ha), 중소도시(1.17명/ha), 전원도시(0.27명/ha), 농촌지역(0.37명/ha), 산간지역(0.98명/ha)</li> </ul>
농작물 피해액	$\text{농작물피해액} = \text{과거 최대 홍수규모 침수지역 내 경지면적} \times \text{단위면적(10a)당 수확량} \times \text{농작물 피해율} \times \text{농작물 단가}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간편법에서의 추정방법을 그대로 이용</li> </ul>
공공시설물 미사용 기회비용	$\text{공공시설물 피해액} = \text{“침수면적-피해액 관계식”에 의한 피해액} \times (1 + \{\text{교통시설의 손실 기회비용률} + \{\text{하천시설물의 손실 기회비용률}\})$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교통시설의 손실 기회비용률 = 0.031</li> <li>- 하천시설물의 손실 기회비용률 = 0.25</li> </ul>

### 1.1.3 다차원 홍수피해산정법 (MD-FDA)

회귀분석 방식인 개선법을 보완하고자 건설교통부(2004)는 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)을 제시하였고, 이는 현재까지 수자원 분야에서 치수경제성분석의 기준으로 사용되고 있다. 이후 2008년 수자원사업의 타당성 분석 개선방안 연구(국토해양부·한국수자원공사, 2008)에서 부분 수정된 내용이 현 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)(KDI, 2009)에 반영되었다. 다차원법에서는 홍수피해 항목으로 크게 일반자산 피해(주거/농업/산업), 인적피해, 공공시설물 피해로 구분하고 있으며, 피해추정을 위해서는 수리·수문결과와 지형공간자료, 각종 통계자료 및 원단위 등이 활용된다. 전반적인 분석절차는 〈그림 1.1〉과 같으며, 다차원법에서 추가적으로 요구되는 개념인 침수편입률(inundated ratio) 결정과정은 〈그림 1.2〉와 같다.



〈그림 1.1〉 다차원 홍수피해산정법 분석흐름도



〈그림 1.2〉 침수편입률 계산 개념

이렇게 계산된 침수편입률은 사전 결정된 행정구역의 자산분석 결과와 곱해져서 실제로 피해를 입은 구역의 자산만을 나타내게 된다. 이때, 침수심 별로 피해의 심도를 나타내는 대상자산에 해당하는 피해율을 적용하여 침수구역 내 자산의 실제 피해액을 계산할 수 있다. 위에서 설명한 MD-FDA에서의 공간분석 과정과 더불어 자산분석 및 피해액 추정 과정을 요약하면 〈표 1.7〉과 같다.

〈표 1.7〉 다차원 홍수피해산정법에서 자산가치 분석 및 피해액 추정 방법

구분	분류	산정 방법
자산 가치 분석	주거자산	$\text{건물자산(원)} = \text{건축형태별 건축단가(원/㎡)} \times \text{건축형태별 평균 연면적(㎡)} \times \text{가구수 (개수)} \times \text{건축 연면적별 가구수비} \times \text{물가보정지수}$ $\text{건물내용물자산(원)} = \text{가정용품평가액(원/세대수)} \times \text{주택형태별 세대수} \times \text{물가보정지수}$
	농업자산	$\text{농작물자산(원)} = \text{단위면적당 농작물생산비(원/ha)} \times \text{농작물작부면적(ha)} \times \text{물가보정지수}$
	산업자산	$\text{산업자산(원)} = \text{광역시도별·산업대분류별 유형자산 및 재고자산의 비율} \times \text{전국단위·전체산업의 유형고정자산 및 재고자산} / \text{광역시도별·산업대분류별 종사자수} \times \text{산업대분류별 종사자수(인)} \times \text{소비자 물가지수}$
피해액 추정	일반자산 피해액	$\text{건물피해액} = \sum \{ \text{건물구조물자산(원)} \times \text{침수편입률} \times \text{피해율} \}$ $\text{건물내용물피해액} = \sum \{ \text{건물내용물자산(원)} \times \text{침수편입률} \times \text{피해율} \}$ $\text{농경지피해액} = \{ \text{매물면적(㎡)} \times 0.1\text{m} \times 2,940\text{원/㎡} \} + \{ \text{유실면적(㎡)} \times 0.2\text{m} \times 5,660\text{원/㎡} \}$ $\text{농작물피해액} = \sum \{ \text{농작물자산(원)} \times \text{침수편입률} \times \text{피해율} \}$ $\text{산업자산피해액} = \sum \{ \text{산업자산(원)} \times \text{침수편입률} \times \text{피해율} \}$
	인적 피해액	$\text{인명피해액} = \sum \{ \text{침수면적당 손실인명수(명/ha)} \times \text{손실원단위(원/명)} \times \text{침수면적(ha)} \}$ $\text{이재민피해액} = \text{주거지역 침수편입률 합계} \times \text{행정구역인원(명)} \times \text{대피일수(일)} \times \text{일평균 국민소득(원/명·일)}$
	공공시설물 피해액	$\text{공공시설물피해액} = \text{일반자산피해액} \times \text{공공시설물 피해계수(표 1.8)}$

주: 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판) 기준으로 요약

〈표 1.8〉 일반자산피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율

시 설	도로	교량	하수도	도시시설	공익	농지	농업용시설	합계
피해율	0.616	0.037	0.004	0.002	0.086	0.291	0.658	1.694

출처: 치수경제조사매뉴얼(일본 건설성 하천국, 2000)



## 1.2 국외 현황

홍수피해를 추정하는 것은 수리·수문학적, 사회·경제학적 요소들이 고려되는 복잡한 과정이며, 모델의 이용 목적에 따라 차별적으로 정의되기도 한다. 예를 들어, 보험산업에서는 재난 시뮬레이션을 통한 빈도와 심도로부터 피보험자에 대한 잠재적 손실(insured damage)을 추정하기 위한 모델(catastrophe model)을 개발하는 반면, 정부기관이나 학계의 경우 사회 전반적인 경제적 손실을 정량적으로 추정하기 위한 모델 개발에 심혈을 기울인다. 본 연구와 같이 공공목적으로 개발된 모델은 위험지구 검토, 토지이용계획 수립, 리스크·취약성 평가, 경제성분석, 투자우선순위 결정, 비용배분 등 다양한 과정에 활용되고 있다.

본 절에서는 기존의 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)과 사용 목적이 유사하고 미국과 유럽권에서 개발된 대표적인 홍수피해 추정 모델인 FLEMO(독일), Damage Scanner(네덜란드), RAM(ICPR), Flemish Model(벨기에), MCM(영국), HAZUS-MH Flood Model(미국), JRC Model(European Commission/HKV)을 중심으로 검토하고, 각각의 특징을 세부 기술항목을 중심으로 비교하였다.

### 1.2.1 모델별 주요 특징

#### 가. Hazus-MH Flood Model

Hazus-MH Flood Model(FEMA, 2012)은 자연재난에 따른 잠재적인 사회·경제적 손실을 추정하기 위한 목적으로 미국 재난관리 종합기구인 연방재난관리청(FEMA)에 의해 개발되었다. 여기서 다루는 자연재난은 홍수, 허리케인, 지진이며, 분석 툴은 현재 ArcGIS Extension 형태로 개발되어 일반 사용자에게까지 제공되고 있다. FEMA에서는 Hazus-MH에서 필요로 하는 인벤토리 DB를 효율적으로 관리, 배포하기 위해 CDMS(Comprehensive Data Management System)를 서비스 중이다(FEMA, 2019). 이러한 Hazus-MH Flood Model은 잠재적인 홍수위험을 공간적으로 평가하거나, 재해경감사업, 재해예방, 대응 및 복구 등 전반적인 재해관리 단계에 사용되고 있다.

Hazus-MH Flood Model에서 다루는 피해목적물은 크게 일반건물, 필수시설, 고위험시설, 수송 및 라이프라인, 농작물, 차량, 인명이며, 이들은 자산 및 피해특성을 고려한 다양한 유형으로 세분화된다. 분석과정은 크게 홍수위해분석(hazard analysis)과 홍수손실평가(loss analysis) 과정으로 구분되는데, 우선 홍수위해분석은 홍수빈도, 표고정보 등의 기초자료로부터 범람해석을 실시하여 침수경계, 침수심 등을 설명하는 침수구역도를 생성하는 과정이다. 여기서는 지형자료로서 DEM을 이용하여 침수해석이 가능하며, 정밀한 분석이 필요한 경우 FIT(Flood Information Tool) 기능을 사용할 수 있다. 다음의 홍수손실평가 단계는 사전에 구축된 인벤토리 DB와 손상함수, 각종 파라미터 등을 정의하고, 홍수위해분석 결과와 연계하여 홍수에 따른 손실을 정량화하는 과정이다. Hazus-MH Flood Model의 방법론을 S/W에서 제공되는 기능적 측면에서 정리하면 <표 1.9>와 같다.

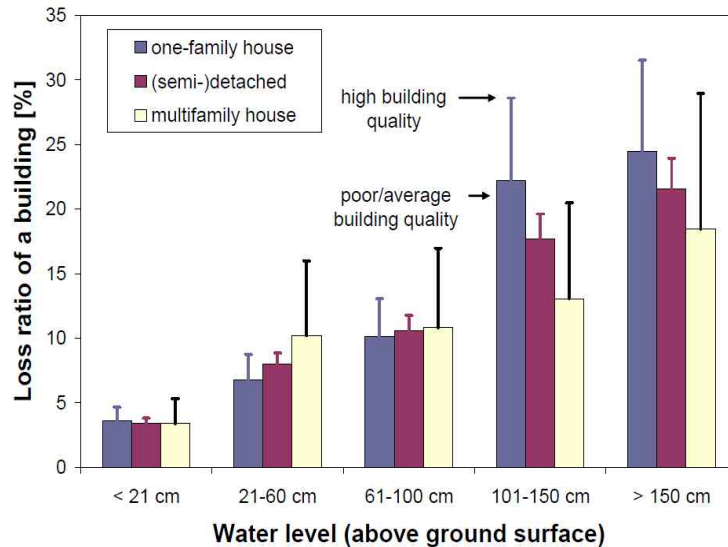
〈표 1.9〉 Hazus-MH Flood Model의 주요 기능

구분	기능 특징	
Hazard	목적	- 침수심, 침수범위를 계산하여 GIS 자료형태의 침수구역도를 생성
	특징	- 범람해석 과정에서는 별도의 유출해석 기능은 없으나, 미국 지질조사국의 빈도-유량 회귀식을 사용하여 각 수계의 침두유량을 산출하고, 이를 실제 관측된 유량으로부터 보정 - 지점별 침두수위를 제내지로 연장, 보간하여 생성
Inventory	목적	- 재난에 노출된 피해대상물의 정보, 분포(위치) 등을 설명하기 위해 사전 정의된 아키텍처 형태로 재설계되어 제공되는 지형공간자료
	특징	- Census block 기준으로 취합된 면자료(aggregation data), 혹은 오브젝트 단위 자료(site-specific data)
Damage	목적	- 재난강도(예: 침수심)에 따른 피해대상물에 대한 취약성 평가
	특징	- 과거 FIA, 미공병단에서 개발된 손상함수를 보정하여 개발된 함수 - 라이브러리 형태로 제공되며, 대표함수와 그 밖의 다양한 함수를 선택적으로 사용 가능 - 모델링, 전문가의견, 과거자료를 기반으로 개발한 사회기반시설의 고장확률과 손상함수
Loss	목적	- 피해대상물별 손실액 계산
	특징	- 건물, 차량, 농작물 등에 대한 손실액, 인명손실(부상자수, 사망자수) 정보 제공 - 홍수 초과확률을 고려한 연평균손실(annual loss) 계산

#### 나. FLEMO Model

FLEMO(Flood Loss Estimation MOdel)는 독일 포츠담에 위치한 지구과학연구센터(German Research Centre for Geoscience)에서 개발된 것으로, 로컬에서 국가단위에 적용되어 독일 내 홍수위험도를 과학적으로 평가하는 데 활용되고 있다(Thieken 외, 2007). FLEMO 모델군은 Rule 기반의 다원적 홍수피해 추정 모델로서, 민간부문에서 주거건물 피해액을 산정하는 FLEMOps와 비주거건물에 대한 건물, 설치장비, 재고자산의 피해액을 산정하기 위한 FLEMOcs로 단계적으로 개발되었다.

FLEMOps에서는 5개 등급의 침수심과 3개의 건물유형, 2개의 건물등급(quality), 3개로 구분한 오염도(contamination), 3개로 구분한 예방조치(precaution) 유형을 기준으로 홍수피해를 산정하며, FLEMOps에서 사용하는 손상함수(침수심-손상률 관계)는 〈그림 1.3〉과 같다. 손상률의 경우 〈표 1.10〉과 같이 침수심 외 오염도와 예방조치를 추가적으로 고려하는 부분은 다른 모델과 차별된다. FLEMOcs 또한, FLEMOps와 비슷한 분석체계를 가지며 5개 등급으로 구분한 침수심, 4개의 섹터, 종사자수를 기준으로 3개 등급으로 구분되는 회사 규모, 3개로 구분한 오염도 및 3개로 구분한 예방조치를 기준으로 홍수피해액을 산정한다.



〈그림 1.3〉 FLEMOps에서의 손상함수

〈표 1.10〉 FLEMO 모델에서 오염도와 예방조치에 대한 고려

		private precaution		
		none	good	very good
Contamination	none	0.92	0.64	0.41
	moderate	1.20	0.86	0.71
	severe	1.58	–	–

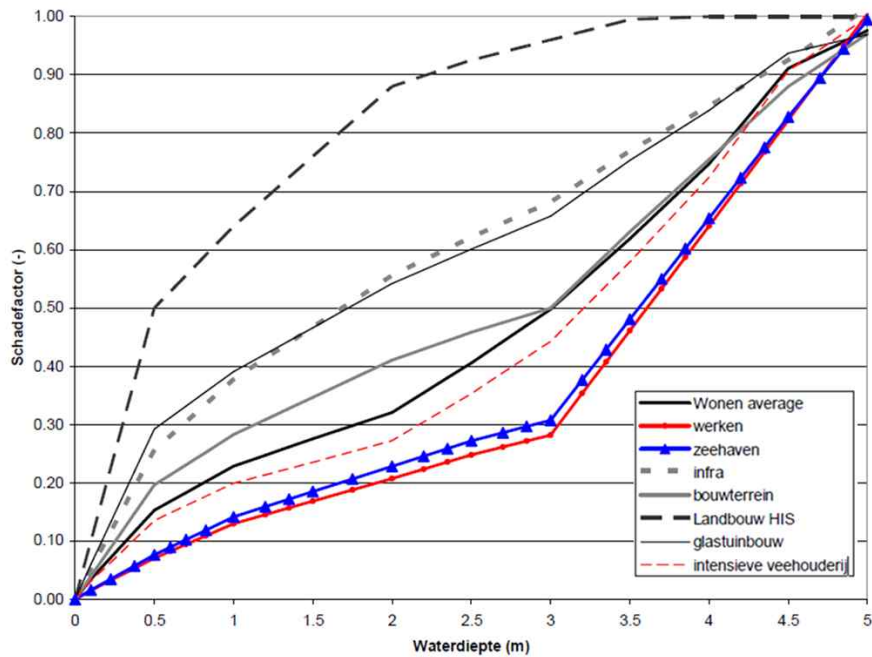
이 모델은 2002, 2005, 2006년에 발생한 독일의 Elbe와 Danube 지역의 경험적 홍수피해자료를 바탕으로 개발되었다. 로컬단위(local level)로 분석할 경우 건물높이를 사용하며, 지역이나 국가단위(meso-level)로 운용하기 위해서는 센서스자료와 토지이용자료를 필요로 한다. 주거 및 산업건물의 자산가치는 해당하는 토지이용 분류에 따라 계산된다.

#### 다. Damage Scanner Model

네덜란드에서 홍수피해를 추정하기 위한 표준 방법은 HIS-SSM 모델이다(Kok 외, 2005). HIS-SSM 모델은 정부기관에서 지역적 혹은 국가전체의 잠재 홍수피해액을 산정 시 이용되며, 홍수방어시설의 경제적 효과를 평가하기 위해 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 HIS-SSM은 독립된 건물, 산업 지구, 사회기반시설들의 세부적인 정보를 과도하게 요구하는 단점이 있어, 보다 간편하게 적용가능한 Damage Scanner Model(이하 DSM)이 개발되었다(Klijn 외, 2007). DSM은 HIS-SSM 모듈에서의 경제적 가치와 피해함수를 기반으로 개발되었지만, 객체단위의 분석이 아닌 집계된 토지이용 자료를 기반으로 하는 점에서 큰 차이가 있다.

DMS에서는 사용되는 손상함수는 상대함수 형태이며, 손실편가를 위해 필요한 자산가치는 토지이용 속성(토지피복도로부터 확인)에 대하여 면적당 최대피해액을 정의하고 있다. 최대피해액은 재건비용(건물), 대체비용(건물내용물)과 시장가격(농업)을 기준으로 하며, 지역간의 차이는 두고 있지 않다. DSM에서 사용하는 〈그림 1.4〉

의 손상함수는 침수심 만을 기준으로 평가하며, 간접피해는 직접피해액에 5%의 값으로 계산된다. 이러한 DSM은 네덜란드의 다양한 기후 및 토지이용에 따른 미래의 홍수위험 추정을 위해 사용되고 있다.



〈그림 1.4〉 DSM에서의 건물 손상함수

#### 라. Flemish Model

Flemish Model은 벨기에 플랜더스 지방 환경관리청에 의해 개발된 홍수피해 산정 모델이다(Vanneuville 외, 2006). Damage Scanner와 유사하게 이 모델은 토지이용자료를 사용하여 지역적, 국가적 스케일 기반의 분석을 위해 설계되었다. 이것은 벨기에 내 홍수에 취약한 지역을 검토하고, 효율적인 홍수방어 투자사업의 경제성분석을 위해 사용되고 있다. 이 모델에서 주거건물 내용물 피해액은 건물피해의 50%로 가정한다. 그리고 간접피해는 산정한 직접피해액을 기준으로 비율(%)로 산정하는데, 농업의 경우 10%, 산업의 경우 40%를 사용한다.

#### 마. Multi-Coloured Mannual

Multi-Coloured Mannual(MCM)은 수자원계획 및 정책을 지원하고 투자사업의 효과를 정량적으로 평가하기 위한 목적으로 영국에서 개발된 홍수피해 산정을 위한 가이드라인이다. 이것을 기초로 Penning-Rowse 외(2010)에서는 추가적인 방법론과 손상함수를 개발, 확장한 바 있다. MCM은 건물(주거, 비주거)의 경우 유럽권에서 개발된 여타 모델과는 대조적으로 대상자산의 직접적인 공간적 위치를 참조하는 객체단위의 자산자료를 사용하며, 영국 파운드 단위의 절대함수 형태의 손실함수를 기반으로 하고 있다. 이 함수는 다양한 형태의 주거, 상업, 공업건물에 대해 What-if 방식에 기반을 둔 전문가 의견(expert opinion)을 토대로 개발되었으며, 물리적 건물의 취약성과 지하실 존재유무를 고려하고 있다. 추가로 도로단절에 따른 피해는 영향을 받은 도로에서 관측된 교통량과 차량유형별 이동시간, 이동비용을 기반으로 분석하고 있다.

## 바. RAM (Rhine Atlas Damage Model)

1995년 Rhine 유역에서 발생한 홍수로 인해 1998년 Action Plan on Floods가 채택되고, Rhine 지역 내 홍수위험 요소를 확인하기 위해 많은 노력이 이루어졌다. 이로부터 홍수위험 저감을 위한 각종 계획 및 정책 수립을 지원하기 위한 목적으로 Rhine Atlas damage Model(RAM)이 개발되었다(ICPR, 2001). RAM은 검토한 국외 모델 가운데 가장 간략한 자산분류체계를 가진다. 토지이용자료(CORINE)에서 5개의 토지이용 속성을 사용하며, 건물을 포함하는 지역은 3개로 재분류하고 있다. 손상함수에서 기준이 되는 최대피해액은 HOWAS 홍수피해 데이터베이스와 전문가 의견을 기반으로 결정되었다(ICPR, 2001). 주거, 산업, 사회기반시설에 대해 RAM은 건물과 건물내용물에 대해 피해액을 평가하고 있으며, 이때 모든 피해액은 감가상각된 가치를 기준으로 하고 있다. 보험자료와의 비교를 통해 ICPR(2001)은 재구매비(대체비용)를 기준으로 평가된 결과는 감가상각된 가치(현재가)를 기준으로 한 경우와 비교할 때 2배 이상 높다고 하며, RAM 또한 MCM과 같이 간접손실은 다루지 않는다.

## 사. JRC Model

유럽위원회 공동연구센터(JRC, European Commission's Joint Research Centre)는 유럽 내 홍수위험 대책 일환으로 범 유럽 피해산정 모델(pan-European damage model)을 개발하였다(Huizinga, 2007). 이 모델은 기후변화 상황에서의 유럽 내 홍수위험에 대한 예측에 주로 활용되었다. JRC 모델은 EU-27 국가에 대한 각기 다른 피해함수와 최대피해액을 사용한다. 자산가치는 CORINE 토지이용자료를 기반으로 하고 피해자산은 5개(주거, 상업, 산업, 도로, 농업)로 구분하고 있다. 모든 그리드 셀에서의 침수심은 가중평균 침수심-피해함수, 최대피해액과 곱하게 되며, 기개발된 9개 국가의 피해함수와 연구자료가 없는 국가에서는 특정자산에 대한 이용 가능한 모든 피해함수의 평균치를 사용한다. JRC 모델은 EU-27 국가(또는 지역)에 사용되며, 국가수준 혹은 NUTS 2 수준(80만에서 3백만명의 인구규모)에서 적용가능하다.

### 1.2.2 모델비교

위에서 소개한 모델은 홍수에 따른 피해액을 산정하기 위한 목적은 같으나, 피해액을 산정하는 접근방식에서 다소 차이가 있다. 모델간의 특징 비교는 기존 연구를 참고하여 적용범위, 국가 내 지역적 차별성, 분석단위, 영향인자, 모델개발에 사용된 자료, 자산가치 평가 방법, 함수형태를 기준으로 검토하였다. 6가지의 비교항목이 가지는 의미는 아래와 같으며, 이를 기준으로 7개의 모델을 비교하면 <표 1.11>과 같다.

- 적용범위: 적용범위(로컬에서 국가전체)에 따라 모델에서 사용하는 자료의 해상도와 자산분류체계 등에서 차별화된다. 국가전체(혹은 공동관리 유역)에 대한 적용을 목적으로 개발된 모델은 토지이용도와 같은 자료수집이 용이한 자료를 통해 자산위치, 분포를 결정한다. 반면, 로컬지역에 대한 적용 목적으로 개발된 모델은 주로 오브젝트(객체) 단위의 고해상도 자료를 사용하므로 국가전체에 적용하는 데 사전 구축된 DB가 없는 경우 많은 시간과 인력이 소요된다.

- 지역적 차별성 고려: 분석과정에서 영토가 넓은 국가인 경우 물가, 인건비 등의 차이를 고려하기 위해 지역 간에 서로 상이한 자산가치 자료, 파라미터 등을 사용하기도 한다.
- 분석단위: 피해추정의 기본단위로 개별 개체(예: 개별 건물에 대한 직접적인 위치정보 활용) 또는 일정 공간(면)에 집계된 자료를 사용하기도 하며, Hazus-MH와 같이 객체자료와 집계자료를 피해대상물 특성에 따라 혼합하여 사용하기도 한다.
- 영향인자(충격 매개변수): 침수심, 침수기간, 유속, 오염도와 같이 손상 및 손실분석에 고려하는 수문학적 영향인자이다.
- 함수개발에 사용된 자료: 손상함수 등 피해모델을 개발하는 데, 과거 홍수사례로부터의 경험적 자료를 사용하였는지 또는 모의된 잠재홍수로부터 가상(what-if)에 의한 판단적 자료를 사용하였는지에 따라 구분된다. 두 가지 방법마다 장단점이 있으며, 두 가지 자료를 혼용하여 개발하기도 한다.
- 자산가치 평가 방법(최대피해액 기준 가격): 객체(object) 또는 토지이용 클래스(land use classes) 당 최대로 발생가능한 피해액을 의미하며, 재구매비(완전대체비용, replacement costs, 예: 신축가격)와 감가상각된 비용(현재가, depreciated costs), 시장평균가를 사용한다.
- 함수형태: 침수심을 비롯한 충격 매개변수에 따른 피해함수의 형태를 의미한다. 이것은 사전에 미리 정의된 최대피해액(maximum damage value)을 기준으로 한 상대적 손상률(relative percentage damage) 또는 침수로 인한 절대적인 금전적 손실액(absolute monetary loss)으로 표현할 수 있다. 절대함수 형태로 접근할 경우 대상자산에 대한 별도의 자산가치에 대한 평가과정은 생략된다.

〈표 1.11〉 국외 주요 홍수피해 추정 모델 특징 비교

모델	개발국가	적용범위	지역적 차별성	분석단위	영향인자	사용자료	자산가치 평가기준	함수형태
HAZUS-MH	미국	지역 지자체 국가전체	고려	면 객체	침수심 유속 침수기간	피해자료 전문가 의견	재구매비 현재가	상대함수
FLEMO	독일	지역 지자체 국가전체	미고려	면	침수심 오염도 예방조치	피해자료	재구매비	상대함수
DSM	네덜란드	도시 지자체	미고려	면	침수심	전문가 의견	재구매비	상대함수
Flemish Model	벨기에	지역 지자체	고려	면	침수심	피해자료	현재가	상대함수
MCM	영국	지역 지자체	미고려	객체	침수심	전문가 의견	현재가	절대함수
RAM	ICPR	지역 지자체	미고려	면	침수심	피해자료 전문가 의견	현재가	상대함수
JRC Model	JRC	지자체 국가전체 유럽권	고려 (GDP)	면	침수심	피해자료 전문가 의견	재구매비 현재가 시장평균가	상대함수

### 1.3 문제점분석 및 개선방향

본 절에서는 현 홍수피해 산정방법인 다차원법에 대하여 그 동안 예비타당성조사, 수자원 기본계획을 비롯한 실무 및 연구과정에서 제기된 주요 문제점들을 분석하고, 개선방향을 제시하고자 한다. 개선방향은 크게 위험지역 내 노출된 자산정보와 관련된 기초자료, 피해대상 항목(피해산정 범위) 및 피해산정 기준, 피해액으로의 금전화(계량화)에 필요한 원단위, 침수심과 손상률(%) 관계를 설명하는 손상함수 등을 중심으로 검토하였다.

#### 1.3.1 기초자료

다차원법은 2004년 개발 당시 가용자료의 한계로 인하여 피해자산의 공간적인 분포, 자산규모 등을 정의하기 위한 기초자료로서 <표 1.12>의 토지피복도(중분류)와 지자체에서 매년 발간하는 통계연보를 사용하고 있다. 우선, 토지피복도의 경우 광역시도별 작성시기가 상이하고 상당히 과거에 제작된 자료라 급격한 도시개발이 이루어진 지역의 경우 토지피복도가 그 지역의 현 상태를 반영한다고 단정하기 어려운 문제가 있다. 또한, 본 연구에서 다루는 모델의 경우 주거건물과 비주거건물에서 상업 및 산업(공장)이 엄격히 구분되어야 하는 데, 토지피복도에서는 이러한 구분을 속성(CODE)을 기준함에 있어 애매모호함이 있으며, 산업자산의 경우 토지피복도에서의 “산업”과 다차원 홍수피해산정법에서 정의하는 “산업”의 의미가 상이하여 침수구역 위치에 따라 과대추정 혹은 과소추정의 원인으로 항상 지적되어 왔다. 최근에 구축되고 있는 토지피복도(세분류) 자료는 기존의 중분류 자료에 비해 상세한 토지이용 구분과 최신화의 장점이 있으나, 마찬가지로 토지피복도 속성과 자산구분을 매칭하기에는 한계가 존재한다.

다음, 통계연보는 해당 지자체에서 자체적으로 발간되는 일반 통계자료로서 읍면동 단위 혹은 지자체 단위의 지자체 일반적인 현황에 대한 정보를 제공하며, 피해산정 과정에는 이를 공간자료인 행정구역도(읍면동)와 연계하여 사용된다. 매년 발간되는 자료이기 때문에 최신화의 장점은 있으나, 지자체 내 혹은 구역 내 극히 제한된 위험지역(침수예상지역)을 대상으로 하는 본 모델의 특성상 분석단위를 읍면동이 아닌 집계구 경계 혹은 개별 객체(object)에 관한 정보를 직접 활용할 필요가 있다. 경우에 따라서 활용가능한 자산 통계자료가 읍면동 혹은 지자체 단위로 제공되는 경우 원자료와 보조자료를 적절히 혼합하는 공간적인 배분(dis-aggregation) 과정도 필요하다.

<표 1.12> 다차원법에서 자산분포 및 규모를 정의하는 데 사용하는 공간자료

	자료 특성	활 용
행정구역도	- 시·군·구 단위의 지방자치단체가 관리하는 읍·면·동 단위까지의 행정동을 나타낸 수치지도	- 통계연보 자료와 연계하여 피해지역의 인문, 사회, 경제 현황을 나타내는 지리적 경계 자료
토지피복도	- Landsat TM 영상을 근간으로 일정한 분류체계로 토지이용을 구분한 1/50,000 축적의 지도로서 전국에 대해 구축되어 있음	- 피해자산의 공간적 분포 정의

최근 공공데이터 개방의 일환으로 다양한 고해상도의 통계자료(예: 인구주택총조사, 도로명주소DB, 건축물대

장 등)가 국가차원에서 서비스되고 있어 이것들의 활용가능 여부를 검토할 필요가 있으며, 기초자료를 검토하는 과정은 다음의 기준을 고려할 필요가 있다. (1) 일반성: 어떠한 유역 혹은 지자체에 사용 가능하도록 전국적으로 구축 가능하여야 한다. (2) 위치정확성: 면자료(polygon data; aggregation data)로 취합된 자료의 경우 되도록 집계구 경계와 작은 면적으로 표현하고, 건물과 같은 객체로 표현가능한 경우 점자료(point data; site-specific data)를 사용하도록 한다. (3) 정보 다양성: 자산가치를 결정하거나 홍수 취약성을 설명하기 위해 필요한 다양한 자산정보를 포함한다. (4) 지속가능성: 사용되는 DB는 지속적으로 갱신되어 최신의 자료로 제공되어야 한다. 한편, 기존 대비 고해상도의 자료를 사용함에 따른 자료구득 및 구축시간의 제한이 있을 경우 주무부처의 사업계획 수립 시 해당 자료를 통한 분석을 포함하는 방안을 검토할 수 있다.

### 1.3.2 피해대상 항목 및 피해산정 기준

홍수를 비롯한 자연재난은 피해지역의 인명과 다양한 유형의 국민재산에 막대한 영향을 끼치며, 피해규모를 화폐단위로 계량화 가능한 모든 항목이 피해산정 과정에 고려되어야 한다. 다차원법은 피해항목으로 일반자산피해(주거: 건물, 건물내용물, 농업: 농작물, 농경지, 산업: 유형고정자산, 재고자산), 인적피해(인명, 이재민), 공공시설물로 구분하고 있으나, 여기서 사유자산에 해당하는 일반자산 피해항목에 차량피해, 기업휴지에 따른 피해, 교통두절 피해 등 조사 성격에 부합하고 피해산정 과정이 명확한 항목에 대해서는 추가할 필요가 있다.

그리고 자산항목별 피해산정 기준을 합리적인 관점에서 재검토할 필요가 있다. 예를 들어, 주거자산의 경우 건물구조물에 대한 피해(건물피해)는 재구매비(완전대체비용, full replacement costs)를 기준으로 하고 있으나, 여러 연구에서 개개인이 아닌 국가 전체적인 관점에서 피해는 재구매비가 아닌 감가상각이 고려된 현재가를 기준으로 하는 것이 바람직하다는 의견이 일반적이다. 영국의 MCM에서는 아래 표와 같이 개개인 측면과 국가 전체적 관점의 차이를 아래 표와 같이 설명하고 있다. 또한, 농작물피해 또한 총 생산비를 기준으로 하고 있으나, 생산비 매물로 인한 기회비용 외 부가가치 혹은 순이익의 감소분을 기준으로 한 사례가 많다.

〈표 1.13〉 개개인 및 국가 관점에서의 손실 정의

	개개인 (조직) 관점	국가 전체적 관점
관점	- 관련된 개별 가구, 조직(사업체) 관점	- 국가 전체적 관점 - 한 개인의 손실은 다른 이의 이득이 될 수 있음
기준가격	- 실제 자금흐름을 활용해 손실을 평가 - 예: 10년 된 TV의 손실은 재구매로 인해 신제품 TV 시장가격의 손실 발생	- 실질적인 기회비용을 산출하기 위해 실제 자금흐름을 수정 - 10년 된 TV의 경우 국가차원에서의 실질 손실은 10년 된 TV임. 즉, TV의 감가된 가치(depreciated value)를 손실로 간주
부가세	- 다른 간접세와 마찬가지로 관련된 개개인이나 가구, 조직에 영향을 미치기 때문에 포함	- 실질 손실이 아닌 경제 내에서의 자금흐름이기 때문에 제외

그리하여 기존 다차원법에서 다루는 피해유형 범위를 재검토하되, 애매모호한 변수로 인해 과소·과대추정의 여지가 없고 명확하게 계량화가 가능한 방법 내에서 검토할 필요가 있다. 피해산정 기준 또한 해당 피해를 실질



적이고 합리적으로 반영하느냐를 따져가며 마련되어야 하며, 이 과정에서 다수의 관련 분야 전문가, 타당성조사 전문가의 인터뷰를 실시하여 합의될 필요가 있다.

### 1.3.3 원단위

다차원법에는 건물신축단가(원/㎡), 농작물생산비단가(원/ha), 종사자1인당 유형자산 및 재고자산, 농경지복구단가 등 피해산정 과정에 여러 원단위를 필요로 한다. 계량화 및 금전화 기준이 되기도 하는 이 원단위는 피해산정 결과에 큰 영향을 미치는 만큼 사업마다 일관성 있게 사용되어야 하나, 그 동안 사업에서는 개발 당시 제시된 상당 과거의 원단위를 단순히 물가지수를 이용하여 보정하여 사용하거나, 아니면 각 사업에서 일회적으로 재산정한 값을 사용해왔다. 다차원법이 개발된 이후 10년 이상의 기간 동안 갱신되지 못하여 최근의 지역특성을 제대로 반영하지 못하는 한계가 있으며, 특히 가정용품 평가액, 일부 농작물 10a당 생산비, 산업분류 별 지역의 유형·재고자산 원단위가 그러하다.

이러한 원단위는 사업마다 최신의 값을 사용하는 것이 바람직하며, 표준화되고 일관적인 사용을 위해 방법론과는 별도로 중앙에서 관리될 필요가 있다. 본 연구로부터의 개선모델 또한 금전화 과정에는 여러 원단위를 반드시 필요로 하며, 우선적으로는 2018년 말 기준으로 최신화하되, 추후의 개정을 위해 원단위 결정 과정 및 자료출처 등을 명확히 하여야 한다. 원단위 유지관리 차원에서 일본 건설성 “치수경제조사메뉴얼”에서는 주기적으로 원단위에 대해서는 재산정하여 발표하고 있어, 1년 혹은 적정 주기로 원단위를 갱신하는 방안을 정책적으로 마련할 필요가 있다.

### 1.3.4 침수심-손상률 관계 (손상함수)

위험지역에 위치한 인명 및 재산은 특정 침수심을 초과하면서 피해가 발생하기 시작하며, 이때부터 손실률은 침수심에 따라 증가되는 형태의 취약성을 가진다. 여기서, 손실률이란 자산가치(건물 현재가, 피해 상한액) 대비 피해액 간의 상대적인 비율(모델에 따라 이를 절대함수로 표현하는 경우도 있음)을 의미하며, 이러한 관계를 설명한 것을 손상함수라 한다. 기존의 다차원법에서는 자산유형별 침수심과 손실률의 관계를 대부분 일본에서 2000년 이전 수해자료를 근간으로 제시된 치수경제조사메뉴얼의 함수를 차용한 것으로, 국내 실정에 적합하지 않고 다양한 자산유형의 침수심-손상률 관계를 설명하는 데 한계가 있다.

### 1.3.5 기타

기존의 주거자산과 산업자산의 애매모호한 구분을 건물로 통합하였고 건물용도를 기준으로 세분화하였다. 주거자산과 산업자산의 공간적 분포(위치), 규모 결정을 위한 기초자료로서 기존의 토지피복도를 사용하지 않고, 도로명주소자료(건물) 혹은 건축물대장과 같은 자료를 사용하여 개별 건물에 대한 정보를 직접 활용하는 방안을 검토하였다. 건물 자산가치 원단위는 건물구조물의 경우 기존의 건물크기(건축면적, 1층 연면적)에 따른 건축단가가 기준을 따르나, 건물내용물은 점차적으로 복잡했던 기존 방식을 탈피하고 직관적으로 이해하기 쉽고 단순화하기 위해 건물구조물 가치 대비 건물내용물 가치의 비율(CSVR)을 사용하기로 한다. CSVR은 HAZUS-MH를 비롯하여 여러 재난손실 모델에서 사용 중인 개념이다.

한편, 한국감정원 건물신축단가표에는 다양한 건물유형에 대한 신축단가가 제시되어 있는데, 본 연구에서 구분한 해당 건물용도의 대표건물을 설정하고 이에 따른 신축단가를 기본비용 외 부대설비 비용을 추가하여 재산정하기로 한다. 대표 농작물은 홍수기에 주로 재배되고 국내에서 활발히 경작되는 농작물을 중심으로 검토하여 재산정할 필요가 있으며, 농작물, 농경지의 공간적 분포를 결정하기 위한 기초자료는 현재까지 기존의 토지피복도를 대체할만한 자료가 없는 지 검토하여야 한다. 농작물피해 산정기준을 재검토하여 새로이 제시하고, 여기에 필요한 원단위를 최신화하기로 한다. 농경지피해는 기존 절차를 그대로 따르되, 원단위의 적정성을 재검토할 필요가 있다.

인적피해(인명, 이재민)에서 인구분포를 설명하기 위한 기초자료는 기존 읍면동 단위에서 집계구 경계를 기준으로 조사된 인구센서스 자료를 활용하기로 한다. 인명피해는 최근의 리스크 평가과정에서 사용되는 PAR(위험노출인구) 개념 도입을 검토하고, 이를 기준으로 한 인명피해확률을 재산정한다. 이 과정에서 기존 방법에서 고려치 않았던 침수깊이와 인구계층(취약계층, 일반계층)을 추가로 고려할 필요가 있다. 마찬가지로 예상 인적손실로부터 피해액으로 금전화하기 위한 기준은 최근의 관련 연구동향을 검토하여 수정되거나 최신화 되어야 한다.

## 제2장

### 홍수피해 추정 모델 일반

#### 2.1 홍수피해 유형

##### 2.1.1 홍수피해 유형 구분 방식

홍수피해를 결정하기 위해서는 우선적으로 홍수에 따른 피해항목과 그 유형이 정의되어야 하며, 대부분 연구에서는 피해항목의 체계를 직접피해와 간접피해, 그리고 유형피해와 무형피해를 기준으로 구분하고 있다. 우선, 직접피해(direct damage)와 간접피해(indirect damage)의 구분은 주로 공간적인 측면과 관계된다. 직접피해는 범람지역(침수구역)에 한정된 피해에 해당하며, 간접피해는 범람지역 밖에서 발생하는 피해를 의미한다(Jonkman 외, 2008). 간접피해란 용어는 침수지역 내에서 시기적으로 재난발생 이후에 발생하는 피해에도 사용되는 경우가 종종 있어 사용상에 혼란이 있다. 이러한 혼란을 피하기 위해 Merz 외(2010)는 공간적, 시간적 기준에 따라 다양한 유형의 피해를 다음과 같이 구분할 것을 제안하고 있다. 여기서 즉각피해와 유발피해와의 구분은 실제로 명확하지 않으며, 분석과정에서 선택된 시간적 기준에 달려있다. 즉각피해가 홍수직후에 관찰되며, 유발피해는 시간적으로 홍수 이후의 피해이다.

##### ○ 공간적 구분

- 직접피해(direct damage): 침수구역 내에서 발생한 피해
- 간접피해(indirect damage): 침수구역 외 지역에서 발생한 피해

##### ○ 시간적 구분

- 즉각피해(instantaneous damage): 홍수발생 즉시 또는 홍수기간 동안
- 유발피해(induced damage): 홍수 이후에 발생된 유도된 피해

위 시공간적인 구분방식을 조합하면 4가지 유형으로 구분할 수 있으며, 이러한 구분은 대상연구에서 분석하고자 하는 요소(피해유형, 피해목적물)에 크게 의존된다.

- 직접적이고 즉각적인 피해 (direct instantaneous damage)
- 직접적이고 유발적인 피해 (direct induced damage)
- 간접적이고 즉각적인 피해 (indirect instantaneous damage)

○ 간접적이고 유발적인 피해 (indirect induced damage)

이러한 피해를 계량화 하는 것은 쉽지 않은 일인데, 특히 피해정도가 금전적인 가치로 표현하기 어려운 무형적인 경우 더 어렵게 한다. 이렇게 피해정도를 화폐단위를 기준으로 측정이 용이한 지 여부에 따라 유형피해(tangible damages)와 무형피해(intangible damages)로 구분할 수 있다. 우선, 유형피해는 시장왜곡과 같은 특수한 문제가 없다면 평균적인 시장가격(market price)을 적용함으로써 용이하게 측정될 수 있는 피해를 말한다. 반면, 무형피해의 경우 대부분 시장가격이 없기 때문에 정확한 화폐적 가치평가가 어려우며, 여기에는 부상과 사망을 포함하는 인명손실, 홍수에 따른 정신적 불안 및 스트레스 등이 포함될 수 있다. 이처럼 유형피해와 무형피해의 구분이 계량화 난이도에 따라 나누어지기 때문에 일부에서는 이를 계량피해와 비계량피해로 구분하기도 한다. 그러나 이는 정확한 용어표현이 아니다. 비록 무형피해를 측정하기 어렵다고 하더라도 계량화가 불가능한 것은 아니며, 많은 연구에서는 시장가격이 아닌 잠재가격(shadow price)을 이용하여 접근하고 있다.

## 2.1.2 주요 연구에서의 홍수피해 유형

앞에서 설명한 홍수피해를 분류하는 기준은 대부분 연구에서 피해항목을 구분하고 정의하는 데 사용되고 있다. 피해가 예상되는 항목에 관해서는 되도록 계량화하여 반영하는 것이 바람직하나, 관련 자료의 부족, 피해 발생의 복합적인 원인, 무형피해 계량화의 어려움 등의 이유로 분석이 쉽지 않은 않다. 그러나 정확한 홍수피해가 예상되는 피해항목에 대해서는 사전에 엄밀히 정의되어야 하며, 이러한 것을 언급한 최근의 주요 연구를 조사하였다. 우선, Nascimento 외(2007)는 브라질의 도시지역을 대상으로 홍수피해액을 추정하였고, 도시지역의 특성 상 농업과 관련된 피해항목을 제외한 나머지 피해항목에 대해 <표 2.1>과 같이 분류하였다.

<표 2.1> Nascimento 외(2007) 연구에서 홍수피해 유형

항목	유형피해		무형피해	
	직접피해	간접피해	직접피해	간접피해
주거	건물피해, 건물내용물피해	청소비용 의료비용	인명손실	스트레스, 장기적 건강위험
상업 및 서비스	건물피해, 건물내용물피해, 상품피해	청소비용, 비영업손실, 실직, DB 손실	인명손실	스트레스, 장기적 건강위험
산업	건물피해, 건물내용물피해, 원자재/상품피해	청소비용, 비영업손실, 실직, DB 손실	인명손실	스트레스, 장기적 건강위험
공공건물 및 서비스	건물피해, 건물내용물피해	청소비용 서비스중단비용 응급비용	인명손실	스트레스, 장기적 건강위험
사회 기반시설	물리적 시설피해	청소비용 서비스중단비용	인명손실	서비스 중단에 따른 불편
문화재	물리적 문화재피해	청소비용 서비스중단비용	인명손실	서비스 중단에 따른 불편

자료: Nascimento, N. et. al. (2007) The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context.

Jonkman 외(2008)는 침수해석 시 수리동역학적 분석을 바탕으로 하며, 침수해석 결과로부터 홍수피해액을 산정하는 통합모형을 제시하고, 이러한 일련의 과정을 네덜란드 South Holland 지역의 홍수피해액을 추정한 바 있다. 추정에 앞서 이 연구에서는 유형·무형피해와 직접·간접피해 체계를 고려하여 <표 2.2>와 같은 피해유형을 구분하였다.

**<표 2.2> Jonkman 외(2008) 연구에서 구분한 홍수피해 유형**

	유형피해	무형피해
직접피해	- 주거자산, 자본자산, 비영업손실(홍수지역 내), 차량, 농경지 및 가축, 도로, 공공시설, 통신시설, 피난 및 구조비용, 수방시설의 재건설 비용, 청소비용	- 사망, 부상, 불편과 정신적 피해, 공공시설과 통신시설의 단절, 문화재 손실, 환경 손실
간접피해	- 홍수지역 외부 회사의 피해, 홍수지역 외부에서의 생산 및 소비패턴의 변화, 피난처	- 사회적 혼란, 정신적 트라우마, 정부에 대한 신뢰도 하락

자료: Jonkman et al.(2007) Intergrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands.

Dutta 외(2003) 연구에서는 분포형 수문모형과 연계하여 홍수피해액을 추정하는 연구를 수행하였는데, 여기서는 각각의 피해항목에 대한 피해액 추정의 수학적 모형을 제시하고 있다. 피해항목은 기본적으로 일본의 치수 경제조사매뉴얼(건설성, 2000)을 바탕으로 하나, 공공시설물피해액의 경우 기존 방법론을 고찰하여 개선하였다. 여기에서의 수학적 피해추정 모형은 <표 2.3>과 같이 도시피해, 농촌피해, 공공시설과 관계되는 피해항목으로 크게 구분하고 있다.

**<표 2.3> Dutta 외(2003) 연구에서의 홍수피해 유형**

도시피해	농촌피해	공공시설 피해
주거/비주거 건물, 구조물/재산, 건물내용물, 건물 외부자산 피해, 응급활동 및 의료비용	농작물피해, 농가피해, 농촌 인프라시설 피해	상하수도시설, 가스 및 전기공급시설, 통신시설, 교통시설, 공공시설의 단절 손실

자료: Dutta 외(2003). A mathematical for flood loss estimation.

## 2.2 홍수피해 영향요인

홍수피해를 결정하는 요인은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 홍수 자체의 특성에 의한 자연적 요인이고, 둘째는 홍수로 부터 영향을 받는 대상인 지역적 요인, 셋째는 비물리적 요인을 들 수 있다. 즉, 자연적으로 발생한 홍수와 해당지역의 지형학적 특성에 따라 홍수피해 규모는 달라질 수 있으며, 동일한 홍수에 대해서 그 대상지역의 인공적 특성에 따라서도 그 피해규모는 달라진다. 예를 들면, 피해대상이 되는 시설이나 인구가 적은 지역과 부동산의 가치가 높고 인구밀도가 높은 지역 간에 동일한 규모의 홍수가 발생하였다 하더라도 피해의 정도는 매우 상이하기 때문이다.

### 2.2.1 자연적 요인

자연적 요인은 재해의 크기와 해당지역의 지형학적 특성의 조합으로 결정되는 데, 이는 침수면적, 침수심, 침수 지속시간, 토사퇴적 등 재난강도와 관련된 외부적인 충격과 관련된 것을 의미한다. 우선, 침수된 지역의 총면적을 의미하는 침수면적은 얼마나 넓은 지역에 홍수의 영향을 받고 있는지를 판단하는 척도이며, 일반적으로 침수면적이 증가할수록 피해액은 증가된다. 한편, 대부분 홍수피해 추정 과정에서는 피해지역(분석지역)을 대부분 침수경계 내 지역으로 한정하고 있다.

침수심은 특정 지역이 홍수로 인해 얼마나 깊이 침수되었는지를 판단하는 인자로서 동일한 지역에 영향을 미치는 홍수라 할지라도 침수심의 크기에 따라 그 피해는 매우 달라질 수 있다. 대부분 피해항목은 침수심이 증가함에 따라 피해액이 증가되는 예민한 특성을 갖기 때문에 피해액 산출 시 침수심-피해액 관계인 손상률(%)을 사전에 정의하고 있다. 반면, 일부 항목에 대해서는 침수심에 따라 피해액의 변동이 거의 없는 비예민한 특성을 갖는 항목이 있으며, 일반적으로 도로, 철도, 상하수도관, 배전시설과 같은 라이프라인 시설, 지하시설 등을 예로 들 수 있다. 침수 지속시간은 피해지역에 침수되는 시간이 얼마나 장기화되는지를 나타내는 인자로, 침수 지속시간이 클수록 피해는 기하급수적으로 가중된다. 직접피해의 경우 침수 지속시간은 농업과 관련된 피해항목에 피해를 매우 가중시키며, 대부분의 간접피해의 경우 피해시간이 장기화될수록 관련 피해액은 지속적으로 누적된다.

홍수피해 지역 별로 침수시간이 짧더라도 그 피해가 상당히 큰 경우가 많다. 이는 홍수시 유량과 더불어 부유사의 농도가 크거나 유목의 발생유무에 따라서 더욱 그러하다. 부유사는 해당 유역이 경험하지 못한 강우강도가 발생할 경우 급격한 산사태와 토사유출이 발생하고, 유역 내 각종 건설사업 등으로 인해 나대지가 많아진 유역 같은 경우는 토사유출이 심하다. 따라서 이러한 유역인자와 강우강도에 대한 피해 가중치가 적절히 반영되어야 할 것이며, 유목의 경우에는 해당하천이 산지하천인지, 농경지하천인지 도시하천인지에 따라 그 차이가 많다. 특히 1996, 1998, 1999년도의 경기 북부지역의 홍수는 점경지역이라는 특수성으로 인해 많은 유목과 토사유출이 홍수와 더불어 유하하여 교량과 용치부에 걸리고 하상을 상승시켜 궁극적으로는 홍수위 상승은 물론 범람까지 발생하여 홍수피해를 더욱 가중시킨 요인으로 작용한 바 있다. 이 밖에 오염정도, 발생시기에 따라서도 홍수피해 규모가 상이하게 나타날 수 있으며, Kreibich 외(2007)에서는 이러한 요인에 따른 홍수피해 영향을 <표 2.4>와 같이 설명하고 있다.

〈표 2.4〉 홍수피해에 영향을 미치는 자연적 요인

영향요인	영 향
침수심	- 침수심이 클수록 건물을 비롯한 자산들의 손상이 증가된다.
유속	- 유속이 빨라질수록 측방압력에 의해 손상을 받을 확률이 커진다. - 높은 유속은 농작물에 직접적인 피해를 끼칠 수 있으며 토양침식을 발생시킬 수 있다.
침수기간	- 침수기간이 길어질수록 작물이 느끼는 산소결핍은 더 크게 되고, 피해가 증가된다.
오염정도	- 오염물질이 포함되거나 흡착되는 것은 청소비용이나 복구비용을 증가시키는 요인이 된다.
침전물	- 쓰레기와 같은 침전물에 의해 손상될 수 있으며, 이를 제거하거나 청소하는 데 비용이 발생된다.
발생시기	- 밤에 발생하는 호우는 예방조치, 경고가 낮에 비해 상대적으로 적기 때문에 피해가 증가할 수 있다.

이러한 자연적 요인들은 시공간적으로 예측이 어려우며, 그 효과에 대한 정량적 정보가 제한되어 있기 때문에 대부분의 모델링 과정에서 무시되거나, 보정계수를 통해 피해규모를 조정하는 수준으로 반영되고 있다. 이것과 관련하여 McBean 외(1988)에서는 해당 연구에서 “홍수피해는 많은 영향요인들이 결합되어 발생하나, 이러한 요소들을 통합하는 간단하고 실용적인 예측 도구를 개발하는 것은 불가능해 보인다.”와 같은 결론을 내린 바 있다. 이러한 이유로 인해 대부분의 홍수피해 모델에서는 자연적 요인과 관련한 인자로서 침수심을 우선적으로 채택하고 있다.

## 2.2.2 지역적 요인

홍수피해 규모를 결정하는 두 번째 요인인 홍수피해 지역의 특성은 그 지역의 자연적인 특성이 아닌 인간 활동에 따른 인공적인 특성을 의미한다. 결국, 도시지역과 같이 인구밀도가 높고 홍수피해의 잠재적인 요소가 많은 경우 홍수피해액은 증가할 수 밖에 없으며, 농촌지역의 경우에는 인구가 적고 주거 및 산업시설밀도가 낮기 때문에 홍수피해액은 작게 나타난다. 이는 도시화·산업화로 인한 대상지역의 특성 변화가 잠재적인 홍수피해액의 증가로 설명할 수 있는 부분이다. 이러한 지역특성이 홍수 피해액의 산정에 구체적으로 반영되는 단계에서는 직접적인 피해대상물의 형태에 따라 되도록 구체적으로 반영하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 동일한 주거의 특성이 강한 지역이라 할지라도, 주거형태에 따른 차이를 반영하고 주거와 관계되는 구체적인 피해, 예를 들면, 주거시설 자체의 피해인지 혹은 주거시설에 포함되어 있는 내용물에 대한 피해인지를 보다 구체적으로 반영할 필요가 있다.

## 2.3 홍수피해 추정 전제조건

홍수로 인한 피해를 금전화 한다는 것은 매우 복잡한 과정이다. 광범위한 의미에서 홍수피해는 정량적, 정성적 피해를 포괄하지만 정량적 피해가 경제적 피해로서 화폐가치로 계량화 할 수 있는 직·간접피해를 의미하는 반면 정성적 피해는 사회적 피해로서 주로 피해지역 주민의 정주안정성과 관련한 정서적 불안과 사회적 갈등가능성 등 계량화하기 힘든 간접피해를 의미한다. 따라서 일반적인 홍수피해산정은 정량적, 경제적, 계량적 피해를 다루게 된다. 일반적인 홍수피해 산정법이 갖추어야 할 조건은 다음과 같이 세 가지를 들 수 있다(이충성 외, 2006).

- ① 피해지역 토지이용 및 자산조사의 정밀성과 정확성: 이는 대상지역의 잠재적 피해의 정도를 나타내는 요소로서 산정된 피해가 지역특성을 잘 설명할 수 있는가를 결정짓는다.
- ② 정확하고 효율적인 침수구역 예측: 이는 경제적 계량화와는 별개의 공학적 요소이지만 피해의 공간적 범위를 결정짓는 결정적 요소로서 산정결과와 신뢰성을 높이기 위하여 필수적인 요소이다.
- ③ 적용대상에 대한 일반성과 산정과정의 편의성: 홍수피해산정은 다양한 치수사업의 타당성 분석에 활용되므로 일반적이고 손쉽게 적용할 수 있어야 한다.

여기서, 첫번째, 두번째 조건은 홍수피해산정의 경제적, 공학적 측면의 정확·정밀성을 강조한 것이다. 반면 셋째 조건은 피해산정이 경제성분석을 전제로 하는 것이므로 일반성과 편의성 등 작업효율을 강조하고 있다. 또한 세 가지 조건 모두 피해지역의 공간적 분포를 반영하기 위한 지리정보시스템(GIS) 활용의 중요성을 내포하고 있다.

## 2.4 주요 용어 및 개념 정리

어느 지역에서 홍수로 인하여 예상되는 경제적 손실은 기본적으로 분석시점에서 해당자산이 가지는 경제적 가치(최대피해액)와 손상함수(침수심-손상률 관계)를 바탕으로 분석되며, 침수구역 내 광범위한 다수의 자산을 일률적으로 분석하기 위해서는 다양한 자산특성 및 위치정보 등을 참조 가능한 공간자료 형태의 인벤토리가 마련되어야 한다. 인벤토리로부터 손실편가로 이어지는 일련의 과정에는 수자원분야에서 다소 낯선 개념들을 필요로 하는데, 본 절에서는 자주 등장하는 주요 용어와 개념을 개선모델 설명에 앞서 정리하기로 한다.

### 2.4.1 현재가와 재구입비(재조달가)

현재가의 일반적인 정의는 피해물과 동일하거나 비슷한 형태의 것을 재구입하는 데 소요되는 금액에서 사용기간 손모 및 경과기간으로 인한 감가공제된 금액을 의미한다. 현재가를 결정하는 방법에는 <표 2.5>와 같이 4가지 방법으로 구분할 수 있다. 재구입비(재조달가, replacement costs)란 현재시점에서 피해자산과 같거나 비슷한 것을 재취득하는데 소요되는 금액(대체비용)을 말한다(한국손해사정사회, 2006).

$$\text{현재가} = \text{재구입비} - \text{감가상각액} \quad (2.1)$$



〈표 2.5〉 현재가 산정방법 및 대상자산

현재가 산정방법	대상자산
① 구입가격	재고자산, 원재료, 부재료, 제품, 반제품, 저장품, 부산물 등
② 구입가격에서 사용기간 감가액을 공제한 가격	항공기, 선박 등
③ 재구입 가격	상품의 시가평가
④ 재구입 가격에서 사용기간 감가액을 공제한 가격	건물, 구축물, 시설, 기계장치, 공구 및 기구, 차량

## 2.4.2 감가상각

현재가는 재구입비를 기준으로 시간경과(사용기간)에 따라 경제적 가치가 하락하는데, 재구입비 대비 감가된 가치의 비율을 감가상각률(%)이라 한다. 여기서, 감가상각액은 아래와 같이 재구입비와 감가상각액률의 곱이며, 이로부터 건물의 현재가를 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\text{감가상각액} = \text{재구입비} \times \text{감가상각률} \quad (2.2)$$

$$\text{현재가} = \text{재구입비} - (\text{재구입비} \times \text{감가상각률}) = \text{재구입비} \times (1 - \text{감가상각률}) \quad (2.3)$$

## 2.4.3 내용연수와 사용연수

내용연수(내구연한)란 고정자산의 사용가능한 기간을 말하며, 이는 물리적 내용연수와 경제적 내용연수로 구분된다. 물리적 내용연수란 정상적인 방법으로 자산을 주기적으로 유지, 관리하여 물리적으로 이용 가능한 기간을 말하고, 경제적 내용연수란 자산의 사용가치 및 교환가치 등을 고려하여 경제적으로 이용 가능한 기간을 의미한다. 통상적으로 물리적 내용연수에 비해 경제적 내용연수가 짧은 것이 보통이다. 그리고 사용연수란 해당자산 취득일로부터 현재시점까지의 경과기간(사용기간)을 의미하며, 이것은 감가상각률을 결정하기 위한 기준 값으로 사용된다.

## 2.4.4 잔존가치

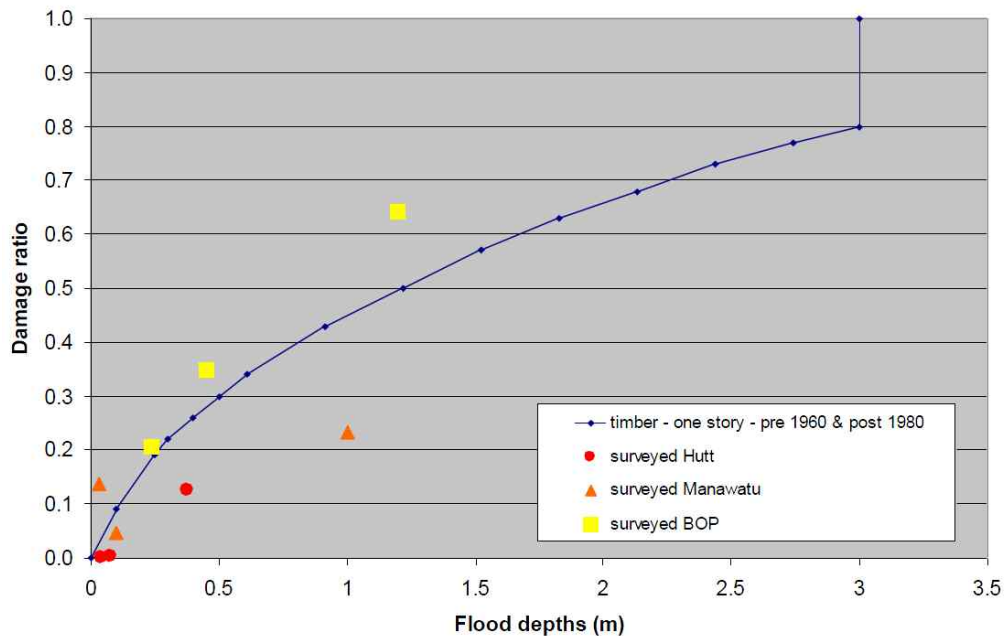
고정자산을 오래 사용하여 경제적 내용연수가 끝났거나 홍수로 인하여 100% 손상이 발생했더라도 일정부분 가치를 가질 수가 있는데, 이를 잔존가치라 한다. 즉, 경제적 내용연수가 다 했더라도 다른 용도로 사용될 수 있어 그 만큼의 잔존가치를 보유하는 것을 말한다. 이 경우 최종적인 잔존가치를 피해액 평가에서 고려하여야 한다. 일반적으로 잔존가치는 아래와 같이 현재가에서 최종잔가율을 곱한 값으로 계산된다.

$$\text{잔존가치} = \text{현재가} \times \text{최종잔가율(잔존률)} \quad (2.4)$$

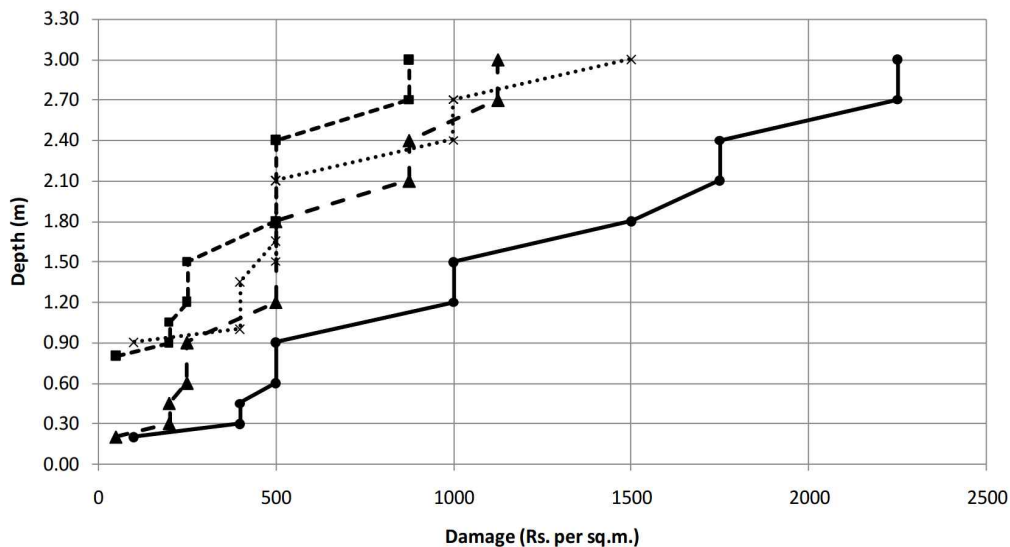
## 2.4.5 손상함수

손상함수란 아래 그림과 같이 자산가치 대비 피해액간의 상대적인 비율을 침수심을 비롯한 재난강도에 따라 정의한 함수를 의미한다. 상대함수 형태의 손상함수가 아닌 아래 그림과 같은 절대함수 형태의 함수는 영국의

MCM, 호주의 Anuflood 등에서 사용된 바 있으나, 유럽이나 미국 등 최근에 개발된 모형의 경우 최대피해액 (피해상한액)을 모수로 한 상대함수 형태의 피해함수를 사용한다. 상대함수를 사용할 경우 표현방식이 단순하고, 여타 손상함수와 비교가능한 일반성을 가질 수 있으며, 인플레이션을 비롯한 시장변화에 따른 보정작업이 용이하다는 장점이 있기 때문이다. 그리고 손상함수는 연속적인 함수형태가 아닌 특정 침수심에 대한 손상률로 표현하는 것이 대부분인데, 이는 손상함수가 어떠한 물리적인 인과관계로 설명되어 함수화할 수 있는 성격이 아니기 때문이다.



〈그림 2.1〉 침수심-손상률 관계 예 (상대함수)



〈그림 2.2〉 침수심-손실액 관계 예 (절대함수)

이와 같은 손상함수를 개발하기 위해 과거 호우피해 발생지역을 대상으로 조사된 데이터를 바탕으로 개발하는 경험법(empirical method)과 “침수심이 건물바닥을 기준으로 2m일 때 어느 정도의 피해를 예상할 수 있는가?”와 같이 원하는 침수심에서의 피해규모를 전문가의견(expert opinion)을 조사하여 종합하는 합성법(synthetic method)이 있다. Hazus-MH Flood Model의 경우 두 방식을 조합하여 손상함수를 개발한 바 있다. 경험법과 합성법에 의한 방법은 <표 2.6>의 장단점을 가진다.

**<표 2.6> 손상함수 개발 방법**

	장 점	단 점
경험법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실제 피해결과를 바탕으로 하기 때문에 신뢰성이 높음</li> <li>- 피해완화와 관계되는 인자를 모델링에서 고려할 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 홍수발생 이후 시간이 지난 뒤의 조사는 피해를 과소평가할 수 있음</li> <li>- 동일한 클래스 내에서 충분한 양의 데이터 확보가 어렵거나 다양한 수심을 만족하는 결과를 얻기 어려울 수 있음 (외삽과정 필요)</li> </ul>
합성법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 침수심에 대한 피해정도를 결정할 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 피해완화조치가 고려되지 않아 과대추정의 위험이 있음</li> <li>- 주관적인 판단에 의존하며, 표준화된 자산을 기준으로 하여 다양한 자산특성을 고려하기 어려움</li> </ul>

## 2.4.6 인벤토리

침수구역 내 노출된 다수의 자산이 가지는 가치를 일률적으로 분석하기 위해서는 위치정보가 참조가능한 지형공간자료 형태이어야 하고, 피해산정에 필수적인 정보들을 선별하여 표준화되어야 한다. 본 연구에서 인벤토리란 사전에 정의된 유형분류 체계 하 필요한 자산정보의 목록을 의미하며, 이는 지형공간자료로 직접 구축되거나, 기초분석 단위를 설명하는 지형공간자료(예: 집계구 경계자료)와 연계된 자료이다. Hazus-MH의 경우 미전역에 대한 피해목적물별 인벤토리를 사전 구축하여 웹형태의 CDMS(Comprehensive Data Management System)을 통해 사용자가 일관된 자료를 사용하도록 지원하고 있다.



## 제3장

### 개선 모델 (K-FRM)

#### 3.1 홍수피해 유형 및 분석체계

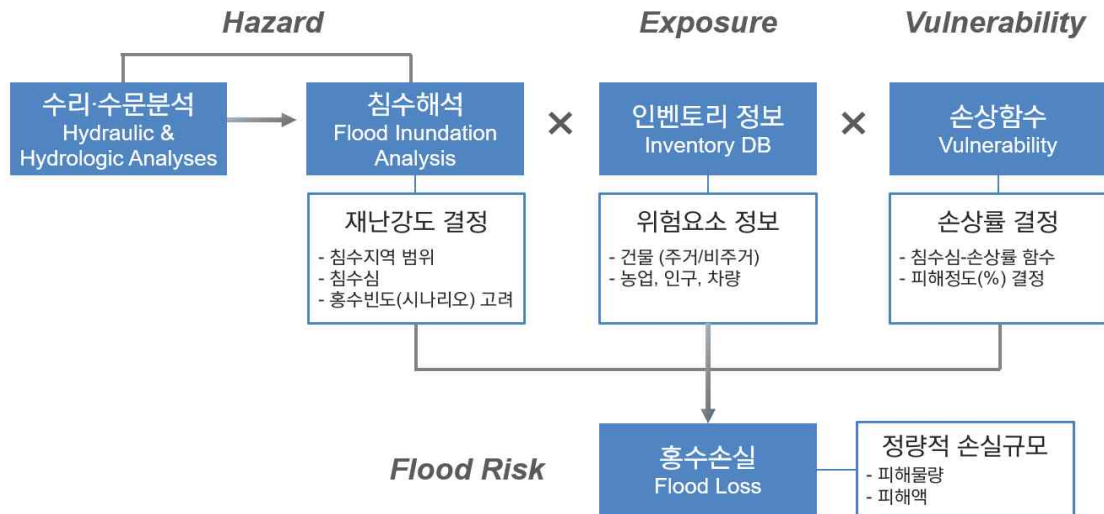
자연재난에 따른 경제적 피해란 원하지 않는 재난으로 인한 경제적 관점에서의 위험이며, 이것을 평가하는 데는 재해지도 작성을 위한 해저드분석, 위험자산의 공간적 분포 및 규모를 설명하는 인벤토리, 재난인자에 따른 취약성을 정의하는 손상함수, 마지막으로 손실로서 계량화하는 과정을 필요로 한다. 본 장에서는 현 기준인 다차원법의 문제점을 개선하고자 <표 3.1>의 건물피해, 차량피해, 농업피해(농작물, 농경지), 인적피해(인명, 이재민), 공공시설 피해를 대상으로 홍수로 인해 예상되는 피해를 추정하기 위한 방법과 요구되는 기술들을 국내 실정을 고려하여 제시하였다.

<표 3.1> K-FRM에서 다루는 홍수피해 유형

구분		피해유형
사유자산 및 인구	건물	건물피해(주거/비주거): 건물구조물피해, 건물내용물피해
	차량	차량피해: 승용, 승합, 화물차량의 피해
	농업	농작물피해: 농작물(대표작물)에 대한 피해 농경지피해: 전답의 매몰 및 유실에 따른 피해
	인적	인명피해: 취약계층 및 일반계층의 부상 및 사망에 따른 피해 이재민피해: 대피인구에 따른 피해
공공시설		공공시설피해: 하천, 도로, 수도, 철도, 수리시설 등의 피해

주: 비주거건물에서 재고자산 피해는 건물내용물 피해에 포함함

K-FRM의 홍수피해 산정 체계는 <그림 3.1>과 같이 해저드 분석, 인벤토리 구축, 취약성 분석, 피해액 추정 단계를 가지며, 국외 모델들과 유사한 구조를 가진다. (1) Hazard(해저드분석): 홍수 시나리오에 따른 침수 구역도(침수범위, 침수심)를 결정한다. (2) Exposure(위험자산 및 인구 데이터 수집): 대상지역에 노출된 피해자산을 사전에 정의된 유형별로 구분된 인벤토리를 구축한다. (3) Vulnerability(취약성분석): 침수심 등의 위험인자로부터 피해자산의 손상정도(손상률; 피해율)(%)를 평가한다. (4) Loss assessment(피해액 추정): 위험자산의 가치(최대피해액)(asset value)와 손상률(혹은 피해확률)로부터 예상 손실액(loss)을 추정한다.



〈그림 3.1〉 K-FRM에서의 홍수피해 분석 체계

## 3.2 건물피해

건물은 피해목적물 가운데 하천주변에서 가장 많이 노출되며, 건물용도, 건물구조, 층수, 연면적(또는 건축면적) 등의 측면에서 다른 피해목적물에 비해 복잡한 특성을 가진다. 건물에서 발생할 수 있는 물리적 피해는 일반적으로 건물구조물 피해, 건물내용물 피해, 재고자산 피해로 구분할 수 있다. 여기서 건물구조물과 건물내용물 피해는 건물용도 구분 없이 발생할 수 있으나, 재고자산 피해는 제조업과 같은 특정용도의 건물에서만 발생한다. Hazus-MH Flood Model (FEMA, 2008)는 산업, 상업, 농업용도의 건물에 한해 재고자산 피해를 고려하고 있다. 물리적 피해 외 유발피해 또는 연관피해(linkage damages)의 성격의 피해로서 이주비용, 비영업손실, 실직(임금손실) 등을 추가로 고려할 수 있다.

본 연구에서는 유발피해 추정 어려움을 고려하여 건물의 물리적 피해인 건물구조물, 건물내용물(재고자산 포함) 피해만을 대상으로 한다. 건물구조물과 건물내용물 구분 기준은 해당 국가에서 건물비용(자산가치)과 관련된 통계자료에 의존되기 때문에 모델 별로 차이는 있다. 본 연구에서는 주거건물과 비주거건물을 중심으로 건물, 건물내용물, 재고자산에 포함되는 건물요소를 <표 3.2>와 같이 정의하였고, 요소별 기존 문헌에서 언급되고 있는 주요 피해특징을 정리하면 다음과 같다.

〈표 3.2〉 건물피해 평가대상 및 피해특징

구분		평가대상	특징
주거 건물	건물	건물구조체, 창호, 배관, 전기·조명, 보일러, 욕실, 싱크대, 도배/장판 등 건물 기초공사에서부터 준공과정에서 투입되는 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대부분 이동이 불가하여 현재위치에서 재해에 그대로 노출됨</li> <li>- 건물이 붕괴되는 경우 100% 손상으로 평가</li> </ul>
	건물 내용물	가구, 책, 전자기기, 카펫 등 가정용품 (가재자산)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가구와 같은 부착물과 부피가 큰 내용물을 제외 하고는 이동이 가능</li> <li>- 완전히 침수가 되더라도 재사용이 가능한 품목 때문에 100% 손상은 불가</li> <li>- Riskcape 모델에서는 건물내용물의 최대 손상을 95%로 판단</li> </ul>
비주거 건물	건물	상업, 산업 등의 비주거건물을 위한 기초공사에서부터 준공까지 투입되는 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대부분 이동이 불가하여 현재위치에서 재해에 그대로 노출됨</li> <li>- 건물이 붕괴되는 경우 100% 손상으로 평가됨</li> </ul>
	건물 내용물	상업, 산업 등의 운영을 위해 건물준공 후 설치한 생산장비 혹은 의자, 조리도구 등의 내용물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 완전히 침수가 되더라도 재사용이 가능한 품목이 있을 수 있음</li> <li>- 섬유 등 수침에 민감한 산업은 낮은 침수심 구간에서 손상이 높게 발생할 수 있음</li> </ul>
	재고 자산	판매물건, 생산활동을 위한 원재료, 생산품 등의 요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 제지, 냉동보관식품 등의 재고자산은 침수심에 상당히 민감</li> <li>- 산업, 상업, 농업용도의 건물에서 재고자산이 발생 (Hazus-MH)</li> </ul>

### 나. 건물피해 산정 기본단위

다차원법에서 건물정보는 지자체 통계연보로부터 읍면동 단위로 취합된 면자료를 사용하고 있다. 여기에 보

조자료로서 토지피복도(중분류)의 속성정보(주거지역, 산업지역)를 활용하여 해당자산의 공간적 위치를 고려하고 있다. 이 과정에는 읍면동 전체 건물정보를 읍면동 경계 내 주거지역으로 분배하는 과정에서 상당한 불확실성을 동반하게 된다. 특히, 자산가치 결정 시 건물층수 결정의 어려움, 산업지역 정의상의 모호함, 자산가치 계산과정의 복잡성 측면에서 문제로 지적되어 왔다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 건물정보는 K-CDMS에서 제공하는 건물 인벤토리(.shp)를 사용하기로 하며, 이 자료는 건물을 점(point) 도형으로 표현한 개별 건물의 고유정보로, 1년 단위로 갱신되어 최신성, 오류검토가 용이한 직관성과 계산 편의성(단순성) 측면에서 장점이 있다.

#### 다. 건물피해 산정 절차

건물피해는 세 가지 기본가정을 토대로 한다. ① 산사태, 댐 붕괴 등이 아닌 일반홍수 상황에 한정한다. ② 건물붕괴와 같은 완파는 고려하지 않는다. ③ 건물피해는 지하층 및 1층에서만 발생된다. 건물피해 산정 절차는 <그림 3.2>와 같다. 건물 인벤토리와 침수구역도 간의 GIS 공간분석을 통해 해당 건물의 침수여부, 침수심(m)을 결정하고, 손상함수(침수심-손상률 관계)로부터 결정한 손상률(%)과 건물구조물/건물내용물 자산가치(원)를 고려하여 피해액이 결정된다. 여기서, 건물유형은 건물용도(31종)와 건물구조(4종)에 따라 구분되고, 이를 기준으로 자산가치와 손상률을 평가하고 있다.

$$\text{건물구조물 피해액(원)} = \text{건물구조물 자산가치(원)} \times \text{손상률(\%)} \quad (3.1)$$

$$\text{건물내용물 피해액(원)} = \text{건물구조물 자산가치(원)} \times \text{CSVR(\%)} \times \text{손상률(\%)} \quad (3.2)$$

자산가치(최대피해액)를 결정하는 데, 건물구조물의 경우 건축면적(1층 연면적) 크기에 따라 신축단가에서 사용연수를 고려해 감가상각된 현재가를 사용하고, 건물내용물의 가치는 건물구조물 가치와 CSVR로부터 계산된다. 손상함수를 설명하는 인자는 건물출입구 높이가 고려된 침수심(건물내부 침수심)이며, 침수깊이에 따라 최대 3m까지의 침수심-손상률 관계를 설명한다.



<그림 3.2> 건물피해 산정 절차



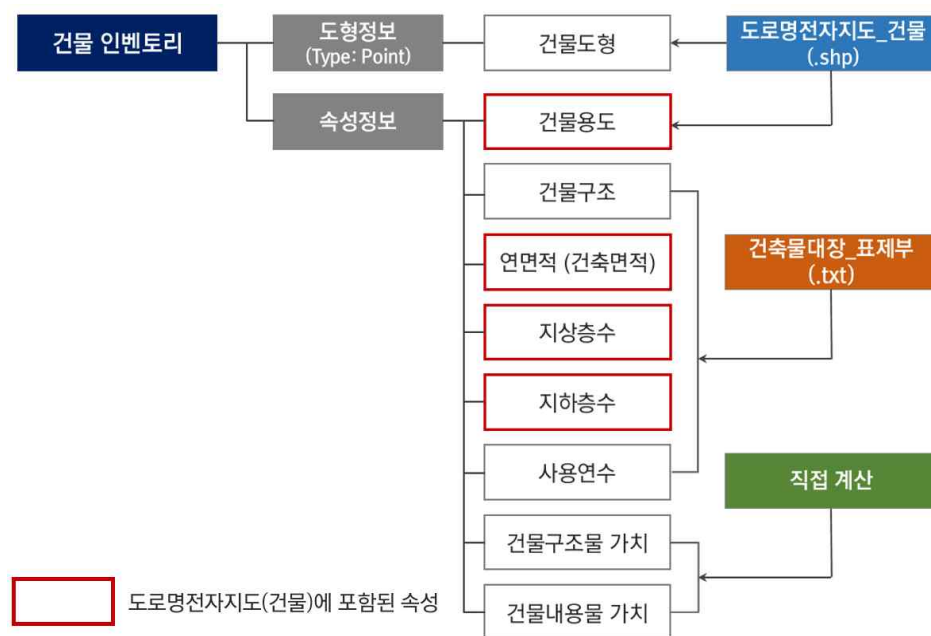
### 3.2.2 건물 인벤토리

#### 가. 기초자료

K-CDMS에서 제공 중인 건물 인벤토리는 건축물대장(표제부)과 도로명주소 전자지도(건물)를 기초로 구축된 자료이다. 건축물대장(표제부)은 건축행정정보시스템(세움터)에서 관리되는 자료로 건축물정보 민간개방시스템(<http://open.eais.go.kr>)에서 제공하며, 적재주기는 1개월이다. 여기에는 건물주소, 건물용도, 건물구조, 사용승인일, 지붕구조, 대지면적, 연면적, 층수(지상, 지하) 등의 정보를 제공하고 있다. 도로명주소전자지도(건물)는 도로명주소 도움센터(<http://www.juso.go.kr>)에서 공간자료(.shp) 형태로 1개월 단위로 갱신되고 있다. 도로명주소 전자지도(건물)에서는 건물용도, 지상층수/지하층수 등의 정보를 제공하고 있다.

#### 나. 건물 인벤토리 구축 방법

위 기초자료를 연계하여 <그림 3.3> 구조의 건물 인벤토리(.shp)를 구축하기 위해서는 각자 식별가능한 고유건물의 매칭키를 필요로 한다. 여기서 매칭키는 <그림 3.4>와 같이 지번주소와 관계되는 19자리의 PNU 코드, 그리고 PNU 코드와 건물명칭 정보를 조합한 매칭키를 단계적으로 사용하였다. 2가지 매칭키가 각자 생성한 뒤, 도형자료가 포함된 도로명전자지도(건물)의 건물 레이어를 base map으로 하여 필요한 속성들을 추출하여 재분류한다. 피해산정에 필요한 속성에는 건물용도, 건물구조, 건축면적, 지상층수, 지하층수, 사용연수(사용승인일로부터 계산)이다.



<그림 3.3> 건물 인벤토리 구조

Field name	SIG_CD	EMD_CD	LI_CD	MNTN_YN	LNBR_MNNM	LNBR_SLNO	BULD_NM_DC
도로명주소 전자지도 (건물)	43111	350	23	0	0656	0000	301동
	PNU CODE						건물명
건축물대장 (표제부)	43111	35023		0	0656	0000	301동
Field name	시군구코드	면적코드	연면적코드	대지구분코드	필지	지	건물명

〈그림 3.4〉 매칭키를 이용한 건물데이터 연계

두 개의 매칭키를 이용하여 1:1 관계인 도로명전자지도(건물)과 건축물대장(표제부)를 연계하고, 나머지 건물 객체를 완성하기까지 절차는 다음과 같다.

#### 1) 도로명전자지도 전처리

- ① 객체구분을 위한 고유키 생성
- ② 폴리곤 면적(단위: m<sup>2</sup>) 계산
- ③ 매칭키 생성: PNU, PNU+건물명
- ④ PNU 기준 독립객체(구분자: 1), 중복객체(구분자: 0) 구분
  - 중복 PNU 객체가 존재하는 경우 중복객체, 고유값인 경우 독립객체
- ⑤ PNU+건물명 기준 독립객체(구분자: 1), 중복객체(구분자: 0) 구분
- ⑥ 구분자 조합
  - 11: 완전독립, PNU기준 연계, PNU건물명 기준 연계 모두 가능
  - 10: 존재할 수 없음
  - 01: PNU건물명 기준 연계 가능
  - 00: 직접 연계불가, 간접적인 방식으로 연계

#### 2) 건축물대장 전처리

- ① 매칭키 생성: PNU, PNU+건물명

- ② PNU 기준 독립객체(구분자: 1), 중복객체(구분자: 0) 구분
- ③ PNU+건물명 기준 독립객체(구분자: 1), 중복객체(구분자: 0) 구분
- ④ 구분자 조합

### 3) 직접연계

- ① “11”객체간 PNU 매칭키를 기준으로 연계
- ② “01”객체간 PNU+건물명 매칭키를 기준으로 연계

### 4) 간접연계 & Null값 처리

- 연계되지 않은 도로명전자지도의 건물객체를 대상
  - ① 건축면적: 도로명전자지도의 폴리곤면적을 그대로 사용
  - ② 지상층수, 지하층수: 도로명전자지도 정보 그대로 입력
  - ③ 건물구조, 건물승인일: 같은 지번의 건물정보 연계
  - ④ Null 값 유무 확인 후 보완

### 다. 건물 인벤토리 표준화

위 건물속성에서 연면적(건축면적), 준공연도, 층수, 자산가치는 양적자료이나, 건물구조와 건물용도는 질적자료로 자료 구축에 있어 그 유형을 재분류하여 표준화할 필요가 있다. 특히, 도로명전자지도(건물)로부터 얻게 되는 건물용도는 원자료에서 분류체계가 지나치게 상세하고, 건축물대장(표제부) 상의 건물구조는 건축법의 잦은 변경으로 인해 건물구조가 제각각이기 때문이다. 본 연구에서는 주거건물의 경우 단독주택, 아파트, 다세대주택으로 구분하고, 비주거건물은 근린생활시설(1종, 2종), 종교시설을 비롯하여 28개로 구분하였다. 도로명전자지도의 속성에 따라 본 연구에서 건물용도 구분기준은 <표 3.3>과 같다.

건물구조는 건축재료, 시공방식, 구조구성 방식, 구조형식 등 다양한 기준에 의해 구분할 수 있으나, Hazus-MH Flood Model을 비롯한 대부분의 재해평가모델에서는 건축구조를 고려 시 대부분 건축 프레임(frame)을 기준으로 하고 있다. 특히, 지진이나 허리케인과 같은 재해에서는 구조적 안정성 판별을 위해 건물에 관한 구조정보를 필요로 한다. 홍수 또한 침수심, 유속 등에 따라 건물붕괴의 위험성을 평가한 몇몇 연구사례는 있으나, 명쾌하게 홍수인자와 건물붕괴의 관계를 결정한 사례는 거의 없다. 건물구조는 그 형태에 따라 시공방법, 시공기간, 비용, 구조적 안정성 등 다양한 측면에서 차이가 발생하며, 본 연구에서는 주거건물에서 건물가치 계산(감가상각 과정 포함)을 계산하기 위한 인자로서 인벤토리 속성에 반영하였다. 건물구조는 (경량)철골조, 철근콘크리트조, 조적조, 목조 이렇게 4가지 형태로 구분하였고, 구분기준은 다음과 같다.

〈표 3.3〉 건물용도(31개 유형) 재분류

건물용도 구분	도로명전자지도(건물)에서의 용도 CODE
단독주택	01001, 01002, 01003, 01004
아파트	02001
연립/다세대주택	02002, 02003, 02004, 02005, 02006, 02007
1종근린생활시설	03001 ~ 03999
2종근린생활시설	04001 ~ 04999
종교시설	05101 ~ 05199
문화및집회시설	05201 ~ 05999
판매시설	06100 ~ 06302, 06309 ~ 06999
운수시설	06303 ~ 06308
의료시설	07101 ~ 07107, 07301 ~ 07999
장례시설	07201
교육연구시설	08001 ~ 08199, 08999
노유자시설	08201 ~ 08500
수련시설	08601 ~ 08799
운동시설	09001 ~ 09999
공공업무시설	10101 ~ 10199
일반업무시설	10201 ~ 10299
숙박시설	11101 ~ 11299
위락시설	12001 ~ 12999
일반공장	13100
공해공장	13200
창고시설	14001, 14002, 14999
위험물저장·처리시설	15001 ~ 15999
자동차관련시설	16001 ~ 16999
동·식물관련시설	17003 ~ 17999
분뇨·쓰레기처리시설	18001 ~ 18999
교정및군사시설	19002 ~ 19003, 19101 ~ 19999
발전시설	19004
방송통신시설	19005 ~ 19008
묘지관련시설	20001 ~ 20999
관광휴게시설	21001 ~ 21999

〈표 3.4〉 건물구조(4개 유형) 재분류

건물구조	건축물대장(표제부)에서의 건물구조 CODE
조적조	10(조적구조), 11(벽돌구조), 12(블록구조), 13(석구조), 19(기타조적구조)
철근콘크리트조	20(콘크리트구조), 21(철근콘크리트구조), 22(프리캐스트콘크리트구조), 29(기타콘크리트구조), 40(철골철근콘크리트구조), 41(철골콘크리트구조), 42(철골철근콘크리트구조), 49(기타철골철근콘크리트구조)
철골조	30(철골구조), 31(일반철골구조), 32(경량철골구조), 33(강파이프구조), 39(기타강구조), 99(기타구조)
목조	50(목구조), 51(일반목구조), 52(통나무구조)

### 3.2.3 건물 자산가치 평가

#### 가. 건물구조물 자산가치

건물구조물의 자산가치를 평가하기 위해서는 두 가지 측면에서 접근할 수 있는 데, 첫 번째는 건물 연면적( $m^2$ )을 기준으로 건물의 실제 총 가치를 산정하거나, 두 번째는 모델에서 설명가능한 침수깊이(최대 침수심)까지의 건물가치를 산정하는 방법이다. 두 가지 모두 최대피해액의 상한을 설정하기 위함인데, 어떠한 방법을 사용할 것인가의 문제는 재난유형과 사용목적에 관계된다. 지진과 같이 건물완파(붕괴)의 가능성이 높은 자연재난에서는 첫 번째 방법으로 접근하는 것이 바람직하며, 홍수에서도 댐붕괴와 같은 시나리오에서 완파(건물붕괴) 모의가 필요한 경우에서도 건물전체의 총 가치가 고려되어야 한다. 그러나 본 연구에서는 댐 붕괴와 같은 극한상황이 아닌 하천 인근이나 저지대에서의 일반 침수에 따른 피해를 대상으로 하며, 그 동안 국내 홍수피해 실적을 살펴보더라도 침수로 인한 건물완파 실적이 극히 적은 점을 고려하여 완파피해는 없다고 가정한다. 이에 침수심과 어느 정도의 유속으로 인한 부분적 손상만을 다룰 때 편리하게 이용가능한 두 번째 접근 방법으로 건물가치를 평가하기로 한다. 이때, 최대 침수심은 건물 1층 내부 바닥을 기준으로 3m로 설정하였다.

이처럼 실질적인 총 건물가치를 결정하기 위해서는 연면적을 참조하여야 하나, 본 연구와 같이 건물 1층 높이(3m)까지 건물가치를 상정하는 경우 1층 연면적과 거의 유사한 값인 건축면적을 사용해도 무방하다. 연면적을 사용하는 경우와 건축면적을 사용하는 경우 건물구조물 가치는 아래 식으로부터 결정할 수 있다.

○ 연면적을 사용하는 경우 (건물층수 = 지상층수 + 지하층수)

$$\text{건물구조물 가치} = (1/\text{건물층수}) \times \text{연면적} \times \text{건물신축가격 원단위} \times (1 - \text{감가상각률}) \quad (3.3)$$

○ 건축면적을 사용하는 경우 (본 연구에서 채택한 방법)

$$\text{건물구조물 가치} = \text{건축면적} \times \text{건물신축가격 원단위} \times (1 - \text{감가상각률}) \quad (3.4)$$

위 식에서 건물구조물의 신축가격 원단위(피해원단위)는 설계도서 및 공사내역서를 기준으로 건축단가를 세부적으로 산출하여 매년 제시하고 있는 한국감정원의 건물신축단가표를 참고하였다. 원단위 결정시 건물등급은 3급(보통) 건물을 기준으로 하고, 단독주택은 건물용도와 건물구조를 동시에 고려하되, 나머지 용도의 건물은 철근콘크리트구조를 기준으로 결정하였다. 결정한 원단위는 건물 표준단가와 부대설비 보정단가의 합이며, 여기서 이윤과 부가세는 이전비용(transfer costs)으로 간주하여 제외하고 해당건물의 공사과정에서 투입완료된 설계비와 감리비도 제외하였다.

$$\begin{aligned} \text{건물신축가격 원단위(원/}m^2\text{)} &= \text{건물표준단가} + \text{부대설비 보정단가} \\ &- (\text{이윤} + \text{부가세} + \text{설계} \cdot \text{감리비}) \end{aligned} \quad (3.5)$$

공공관점에서 손실을 평가하는 과정에는 일반적으로 재구매비(대체비용)가 아닌 사용연수에 따른 자산가치

하락분을 고려한 현재가 개념을 사용하는 데, 이때 사용되는 방법이 감가상각(depreciation)이다. 감가상각이란 건물을 비롯한 고정자산의 사용기간 동안의 가치하락분을 결정하여 그 액수를 고정자산의 원 금액에서 공제하는 것을 말하며, 주로 정액법과 정률법이 사용된다. 내용연한이란 고정자산이 사용될 수 있을 때까지의 연수로서, 해당 자산이 경제성과 효용성을 상실할 때까지의 기간을 의미한다. 여기서는 시간에 따라 일정하게 감가상각 처리하는 간편한 방식인 정액법을 사용하되, 편의상 연 단위를 기준으로 하며, “유형고정자산 내용연수표”(한국감정원, 2013)에서 제시한 건물구조와 건물용도에 따른 내용연한을 사용한다. 이때, 한국감정원(2013)에서 제시한 내용연한에 따라 정액법 개념을 그대로 사용할 경우 사용연수가 내용연한을 초과한 건물에서는 자산가치가 0이 되는 문제가 있다. 이에 여기서는 건물이 노후화되는 경우 보수, 보강 등의 조치로 일정기간 이후에는 일정 수준의 가치가 유지된다고 가정하여 잔존률(%)을 고려하고, 미공병단 홍수피해 산정 모델인 HEC-FDA에서 감가상각 처리하는 데 사용한 잔존률 20%를 기준으로 한다.

#### 나. 건물내용물 자산가치

다차원법에서 주거자산의 건물내용물 자산가치는 1997년 국부통계 자료에 근간한 가정용품 평가액(원/세대수)과 주택형태별 세대수를 바탕으로 결정하고 있으며, 산업자산은 종사자수, 유형자산 및 재고자산 원단위 및 비율 등을 바탕으로 결정하고 있다. 이처럼 건물내용물 자산가치를 산정하는 데는 상당부분 과거의 통계자료를 근거로 하고, 자산가치 규모와 관련된 여러 통계자료를 조합하여 추정하는 방식이라 적용성 측면에서의 문제가 꾸준히 지적되어 왔다. 이에 여기서는 HEC-HMS, Hazus-MH 모델에서 사용되는 CSVR(Content-to-Structure Value Ratios) 개념을 사용하기로 하며, CSVR이란 감가상각이 고려된 건물구조물 대비 감가상각이 고려된 건물내용물(재고자산 포함) 자산가치의 비율(%)을 의미한다. 즉, CSVR로부터 건물내용물 가치는 아래 식으로부터 결정할 수 있다.

$$\text{건물내용물 자산가치(원)} = \text{건물구조물 자산가치(원)} \times \text{CSV}(R)(\%) \quad (3.6)$$

〈표 3.5〉 건물구조물 단가 및 내구연한

건물용도 및 구조			건물구조물 단가 (천원/m <sup>2</sup> )	내용연한 (년)
주거건물	단독주택	조적조	1,228	45
		철근콘크리트조	1,238	40
		철골조	1,150	50
		목조	982	43
	아파트		1,462	50
	다세대주택/연립주택		1,096	50
비주거건물	1종근린생활시설		944	55
	2종근린생활시설		974	55
	종교시설		1,468	55
	문화및집회시설		1,335	55
	판매시설		1,446	50
	운수시설		1,022	55
	의료시설		1,362	55
	장례시설		1,127	50
	교육연구시설		902	55
	노유자시설		1,246	55
	수련시설		902	55
	운동시설		1,401	55
	공공업무시설		1,132	55
	일반업무시설		906	55
	숙박시설		1,177	50
	위락시설		1,177	50
	일반공장		686	45
	공해공장		1,122	45
	창고시설		634	45
	위험물저장처리시설		771	45
	자동차관련시설		482	45
	동물및식물관련시설		370	40
	분뇨쓰레기처리시설		370	45
	교정및군사시설		992	55
	발전시설		1,026	55
	방송통신시설		1,026	55
	묘지관련시설		1,127	40
	관광휴게시설		907	50

자료: 건물신축단가표 (한국부동산원, 2020), 유형고정자산 내용연수표(한국감정원, 2013)

주: 건물구조물 잔존률: 20%(최소)

〈표 3.6〉의 CSVr은 주거건물(3종)의 경우 피해지역 현장조사, 보험 가입자료, 자체 설문조사 결과를 토대로 하였고, 비주거건물(28종)은 2개 대형보험사의 42,000여 개 보험가입자료 자료를 토대로 결정한 값이다.

〈표 3.6〉 건물용도별 CSV

건물용도		CSV(%)
주거건물	단독주택	47.1
	아파트	42.9
	다세대주택/연립주택	30.9
비주거건물	1종근린생활시설	19.9
	2종근린생활시설	30.6
	종교시설	41.2
	문화및집회시설	20.4
	판매시설	89.9
	운수시설	100.0
	의료시설	186.2
	장례시설	100.0
	교육연구시설	40.7
	노유자시설	61.2
	수련시설	100.0
	운동시설	35.5
	공공업무시설	46.6
	일반업무시설	46.6
	숙박시설	18.8
	위락시설	29.2
	일반공장	146.5
	공해공장	219.1
	창고시설	252.4
	위험물저장처리시설	41.4
	자동차관련시설	40.3
	동물및식물관련시설	128.4
	분뇨쓰레기처리시설	232.2
	교정및군사시설	66.7
	발전시설	564.0
	방송통신시설	11.1
	묘지관련시설	100.0
	관광휴게시설	100.0

주: 장례시설과 관광휴게시설은 데이터 부재로 수련시설 값을 사용함

### 3.2.4 건물 손상함수

손상함수를 개발하는 데는 일반적으로 홍수피해 지역 주민들을 대상으로 한 현장조사, 전화 인터뷰 혹은 보험회사의 claim 자료 등의 경험적 피해자료를 활용하거나 전문가 의견(expert-opinion)을 근거로 결정하는 방법이 있다. 손상함수 개발 시 경험적 피해자료를 근거로 개발하는 것이 이상적이나, 전 침수심 구간에 대한 다양한 자료를 구하는 것이 쉽지 않고, 가용자료가 부족할 시 편향된 결과가 나타날 수도 있다. 본 연구에서 건물 손상함수는 국내 과거에 발생한 경험적 홍수피해 조사자료를 중심으로 하고, 보조적으로 전문가 의견을 활용하



여 결정된 손상함수이다.

여기서의 손상함수는 침수심과 손상을 관계를 설명하는 데 있어 건물내부(1층) 바닥을 기준으로 측정한 침수심(m)을 기준으로 하며, 건물외부와 건물내부 바닥 간의 높이차를 “출입구 높이”로 정의한다. 이처럼 건물내부를 기준으로 할 경우 함수개발 과정에서 출입구 높이를 고려하지 않아도 되어 불확실성을 상당히 줄일 수 있지만, 건물용도별 출입구높이가 사전에 정의되어야 한다. 출입구높이는 건물 준공연도, 건물용도 등에 따라 상이할 수 있는데, 피해조사 과정에서 수집된 건물바닥 높이를 종합한 결과는 <표 3.7>과 같다. 결국, 건물내부 침수심은 침수구역도로부터 확인된 건물외부 침수심과 출입구높이 차에 의해 결정된다.

결정된 건물내부 침수심 값이 음(-)의 값을 가질 시 피해가 발생되지 않는다고 판단하며, 양(+)의 값을 가지는 경우 피해건물로 판단하여 <표 3.8>, <표 3.9>의 침수심에 따른 손상을 적용한다.

**<표 3.7> 건물용도별 출입구 높이**

건물용도		출입구 높이 (m)
주거건물	단독주택	0.30
	아파트	0.30
	다세대주택/연립주택	0.25
비주거건물	1종근린생활시설	0.20
	2종근린생활시설	0.20
	종교시설	0.20
	문화및집회시설	0.20
	판매시설	0.20
	운수시설	0.20
	의료시설	0.20
	장례시설	0.20
	교육연구시설	0.20
	노유자시설	0.20
	수련시설	0.20
	운동시설	0.20
	공공업무시설	0.20
	일반업무시설	0.20
	숙박시설	0.20
	위락시설	0.20
	일반공장	-
	공해공장	-
	창고시설	-
	위험물저장처리시설	0.20
	자동차관련시설	0.20
	동물및식물관련시설	0.20
	분뇨쓰레기처리시설	0.20
	교정및군사시설	0.20
	발전시설	0.20
	방송통신시설	0.20
	묘지관련시설	0.20
	관광휴게시설	0.20

〈표 3.8〉 건물구조물 손상합수

침수심(m)		0-0.3	0.3-0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3.0	3.0 -
건물유형	조적조	9.5	14.1	19.2	23.9	31.5	34.9	39.4	45.7	50.0	52.2	52.2
	철근콘크리트조	8.1	11.9	16.5	22.4	27.3	31.1	37.0	40.6	42.9	45.3	45.3
	철골조	13.8	19.9	25.8	30.8	37.1	39.7	42.6	48.0	50.2	53.9	53.9
	목조	8.2	12.7	16.4	22.6	29.5	34.3	40.3	47.0	53.3	58.6	58.6
아파트		4.5	11.3	17.4	23.0	28.1	32.7	39.0	46.4	51.1	53.1	53.8
다세대주택/연립주택		3.7	10.5	16.1	20.9	25.9	30.9	36.6	43.1	47.4	49.6	50.1
1종근린생활시설		0.0	8.0	13.1	17.1	23.3	26.0	29.0	32.9	36.0	69.0	42.3
2종근린생활시설		0.0	8.0	13.1	17.1	23.3	26.0	29.0	32.9	36.0	69.0	42.3
종교시설		3.8	10.2	12.3	18.1	22.0	25.3	32.2	38.2	44.8	47.0	50.9
문화및집회시설		0.0	10.0	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	14.0	14.0	15.0	17.0
판매시설		10.2	20.4	30.8	35.6	38.2	44.5	46.8	50.8	53.2	55.5	56.6
운수시설		0.0	9.0	11.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	30.0	30.0	30.0
의료시설		4.5	8.0	10.0	13.0	15.0	18.0	21.0	22.0	24.0	25.0	25.0
장례시설		2.0	5.0	6.0	8.0	10.0	11.0	14.0	15.0	16.0	18.0	18.0
교육연구시설		4.0	8.0	10.0	14.0	16.0	18.0	21.0	23.0	24.0	24.0	24.0
노유자시설		6.5	12.0	14.0	23.0	25.0	29.0	34.0	36.0	37.0	38.0	38.0
수련시설		4.5	9.0	13.0	17.0	20.0	24.0	28.0	30.0	31.0	31.0	31.0
운동시설		6.1	12.0	15.2	21.4	22.7	25.4	28.1	30.8	31.9	35.0	36.0
공공업무시설		3.0	6.0	7.0	10.0	10.0	12.0	15.0	15.0	17.0	18.0	18.0
일반업무시설		8.5	12.1	22.2	26.4	30.4	34.9	37.3	40.6	42.3	45.7	47.9
숙박시설		4.5	7.8	13.7	19.5	24.5	30.3	32.0	34.5	40.4	42.0	47.0
위락시설		1.0	9.0	11.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	26.0	29.0
일반공장		1.0	9.0	14.0	17.0	22.0	26.0	30.0	32.0	35.0	37.0	39.0
공해공장		1.0	10.0	12.0	15.0	19.0	22.0	26.0	30.0	35.0	39.0	42.0
창고시설		2.5	6.0	8.3	10.7	13.2	16.4	21.4	24.4	29.0	31.0	33.6
위험물저장처리시설		23.5	29.8	34.4	47.0	53.9	59.9	62.6	64.5	67.4	69.0	69.4
자동차관련시설		5.5	9.9	13.6	19.2	22.1	23.9	25.3	27.0	28.7	30.9	32.4
동물및식물관련시설		4.8	13.7	20.9	27.2	33.7	40.2	43.3	46.2	49.1	53.4	59.0
분뇨쓰레기처리시설		17.0	34.0	44.0	52.0	59.0	64.0	68.0	72.0	75.0	76.0	76.0
교정및군사시설		4.0	8.0	11.0	16.0	19.0	23.0	26.0	28.0	30.0	31.0	31.0
발전시설		17.0	34.0	44.0	54.0	60.0	66.0	69.0	75.0	77.0	79.0	79.0
방송통신시설		3.5	9.0	13.0	16.0	20.0	23.0	27.0	29.0	30.0	31.0	31.0
묘지관련시설		0.0	6.0	11.0	15.0	19.0	25.0	30.0	35.0	41.0	46.0	51.0
관광휴게시설		1.0	9.0	11.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	26.0	29.0

주: 1) 위 표에서 침수심 구간 0.3-0.6m는 0.3m 이상 0.6m 미만의 침수심을 의미함.

2) 위 표에서 침수심은 건물 1층 내부의 바닥을 기준으로 한 침수깊이를 의미함.

〈표 3.9〉 건물내용물 손상합수

건물유형 \ 침수심(m)	0-0.3	0.3-0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3.0	3.0 -
단독주택	10.2	20.9	41.8	63.5	76.1	89.4	98.6	99.2	99.4	99.4	99.4
아파트	10.2	20.9	41.8	63.5	76.1	89.4	98.6	99.2	99.4	99.4	99.4
다세대주택/연립주택	10.2	20.9	41.8	63.5	76.1	89.4	98.6	99.2	99.4	99.4	99.4
1종근린생활시설	3.0	16.0	27.0	36.0	49.0	57.0	63.0	69.0	72.0	76.0	80.0
2종근린생활시설	2.0	26.0	42.0	56.0	68.0	78.0	83.0	85.0	87.0	88.0	89.0
종교시설	10.0	52.0	72.0	85.0	92.0	95.0	98.0	99.0	100.0	100.0	100.0
문화및집회시설	10.0	52.0	72.0	85.0	92.0	95.0	98.0	99.0	100.0	100.0	100.0
판매시설	2.0	26.0	42.0	56.0	68.0	78.0	83.0	85.0	87.0	88.0	89.0
운수시설	0.0	60.0	75.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
의료시설	25.0	52.0	69.0	81.0	95.0	98.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0
장례시설	25.5	44.0	65.0	85.0	94.0	98.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0
교육연구시설	6.5	25.8	42.8	57.0	71.5	87.4	97.5	100.0	100.0	100.0	100.0
노유자시설	30.5	54.0	68.0	83.0	91.0	98.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0
수련시설	22.0	47.0	67.0	77.0	88.0	94.0	97.0	98.0	98.0	98.0	98.0
운동시설	13.0	45.0	55.0	64.0	73.0	77.0	80.0	82.0	83.0	85.0	87.0
공공업무시설	24.0	47.0	64.0	78.0	90.0	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0
일반업무시설	0.0	2.0	6.0	10.0	15.0	19.0	24.0	28.0	33.0	38.0	44.0
숙박시설	0.0	11.0	19.0	25.0	29.0	34.0	39.0	44.0	49.0	56.0	65.0
위락시설	13.0	45.0	55.0	64.0	73.0	77.0	80.0	82.0	83.0	85.0	87.0
일반공장	0.0	9.0	23.0	35.0	44.0	52.0	58.0	62.0	65.0	68.0	70.0
공해공장	0.0	15.0	24.0	34.0	41.0	47.0	52.0	57.0	60.0	63.0	64.0
창고시설	0.0	9.0	23.0	35.0	44.0	52.0	58.0	62.0	65.0	68.0	70.0
위험물저장처리시설	2.0	20.0	41.0	51.0	62.0	67.0	71.0	73.0	76.0	78.0	79.0
자동차관련시설	0.0	11.0	17.0	20.0	23.0	25.0	29.0	35.0	42.0	51.0	63.0
동물및식물관련시설	6.0	20.0	43.0	58.0	65.0	66.0	66.0	67.0	70.0	75.0	76.0
분뇨쓰레기처리시설	17.0	34.0	44.0	52.0	59.0	64.0	68.0	72.0	75.0	76.0	76.0
교정및군사시설	22.5	40.0	58.0	70.0	84.0	91.0	95.0	98.0	98.0	98.0	98.0
발전시설	17.0	34.0	44.0	54.0	60.0	66.0	69.0	75.0	77.0	79.0	79.0
방송통신시설	28.0	48.0	62.0	72.0	81.0	87.0	90.0	92.0	93.0	93.0	93.0
묘지관련시설	6.0	20.0	43.0	58.0	65.0	66.0	66.0	67.0	70.0	75.0	76.0
관광휴게시설	13.0	45.0	55.0	64.0	73.0	77.0	80.0	82.0	83.0	85.0	87.0

주: 1) 위 표에서 침수심 구간 0.3-0.6m는 0.3m 이상 0.6m 미만의 침수심을 의미함.

2) 위 표에서 침수심은 건물 1층 내부의 바닥을 기준으로 한 침수깊이를 의미함.

### 3.3 차량피해

#### 3.3.1 차량피해 개요

홍수, 집중호우와 같은 수재해로 인한 차량피해는 2006년에서 2016년까지 총 62,860대로 연평균 6,000대 이상의 차량피해가 발생하고 있다. 단순 차량피해 외 도로구역이 침수되는 경우 운행 중인 차량의 소통에도 어려움이 발생하게 되면서 교통두절로 인한 부차적인 피해도 발생한다. 상황에 따라 차량피해가 상당할 수 있는데 홍수경보가 제때 이루어지지 않거나, 경보를 인지하기 어려운 밤은 특히 그렇다. 건물과 달리 차량은 홍수가 발생하기 전에 충분한 시간을 확보하여 침수 예상지역을 벗어난 지대에 위치할 시 피해를 입지 않을 수도 있다. 이때, 차량을 이동할 수 있는 시간확보가 매우 중요한데 그 이유는 어느 정도의 침수가 발생하게 되면 차량이동이 어렵고 그 과정에서 피해가 발생할 수 있기 때문이다. 차량이 위치한 지역의 용도는 여러 가지인데, 대표적인 지역은 다음과 같다.

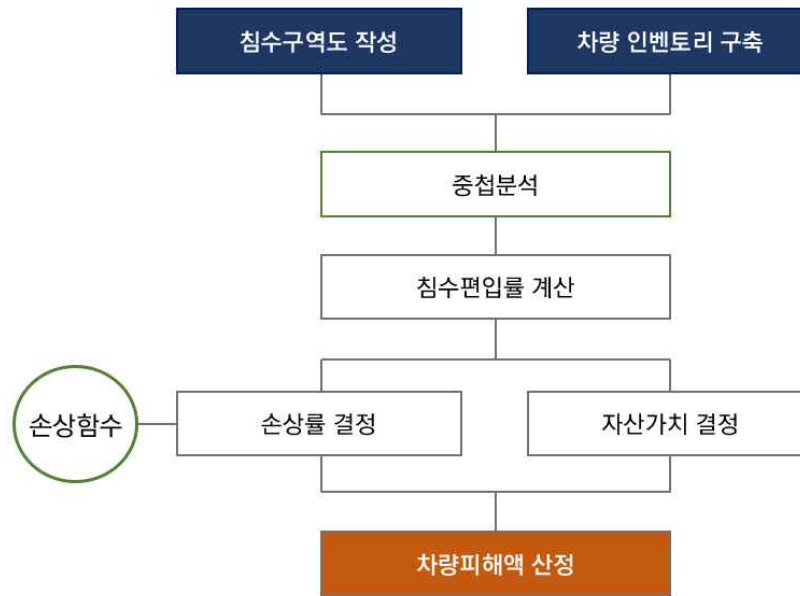
- 주택 내부 또는 인근에 주차한 경우
- 수송시설의 주차장에 있는 경우
- 사업장의 주차시설에 있는 경우
- 영업시설이나 영업 현장에서 사용하는 경우
- 차량 판매/수리시설에서 주차된 경우

#### 3.3.2 차량피해 산정 절차

실제 차량피해는 침수심 뿐만 아니라 침수기간, 유사유입, 유속 등에 따라서 영향을 받을 수 있으나, 여기서는 침수심을 손상률을 정의하는 설명변수로 사용하기로 한다. 차량 인벤토리에는 차량의 위치 및 특성정보가 포함된다. 단, 차량은 건물, 농작물, SOC시설과는 달리 공간적으로 고정되지 않은 이동이 가능한 자산이기 때문에 대상지역에서의 차량분포를 명쾌하게 정의하기가 쉽지 않다. 차량피해를 산정 절차는 아래 그림과 같다. 침수구역도와 차량 인벤토리 지도를 GIS 중첩분석하여 생성되는 폴리곤(면)은 차량피해를 평가하기 위한 분석 기초구역이며, 집계구 내 동일한 침수심(침수심 구간)을 가지는 공간을 의미한다. 여기서의 침수심은 손상함수로부터 손상률을 계산하는 데 사용된다. 차량피해액은 차량 자산가치(현재가)와 침수심에 따른 손상률을 서로 곱하여 산정한다. 여기서, 차량자산의 평가는 차량 재구입비에서 사용연수에 따른 감가 상각된 잔가액을 고려한다. 결국, 특정 구역에서의 차량피해는 아래 식에서의 침수편입률이 반영된 자산가치(현재가)와 해당 구역에서 예상되는 침수심에 따른 손상률을 곱함으로써 결정된다.

$$\text{침수편입률(\%)} = \frac{\text{집계구(i) 내 특정 침수심 구간을 가지는 구역(j)의 면적}}{\text{집계구(i)의 면적}} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} \text{특정 구역(j)에서의 차량피해} &= \text{집계구(i)의 차량유형별 자산가치} \times \text{침수편입률(\%)} \\ &\times \text{손상률(\%)} \end{aligned} \quad (3.8)$$



〈그림 3.5〉 차량 홍수피해 산정 절차

### 3.3.2 차량 인벤토리

#### 가. 차량 인벤토리 구조

지역별 차량대수에 관한 원자료는 국토교통부의 자동차등록통계이며, 이것은 읍면동 단위로 조사, 취합되어 국토교통부 통계누리(<http://stat.molit.go.kr/>) 내 자동차등록현황보고(승인통계)에서 월 단위, 시군구 수준으로 제공되고 있다. 여기서 차량종류(차량용도)별 등록대수 합계에 대한 정보는 시군구 단위로 제공하며, 차량규모, 차량등록연도, 차량연료 등에 대해서는 광역시도 단위까지 제공 중이다.

〈표 3.10〉 자동차등록통계에서 제공하는 자료내역

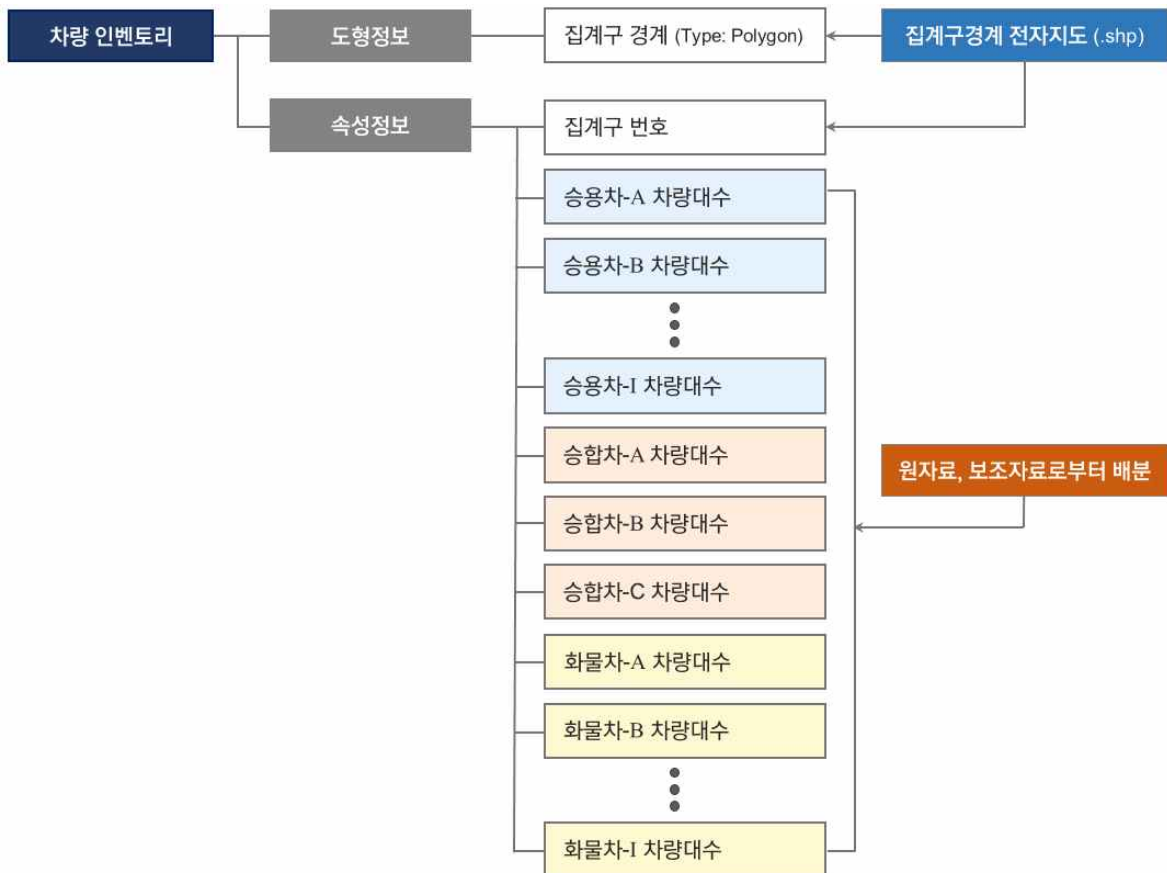
제공정보	제공단위	비 고
자동차등록대수	시군구	- 차종: 승용차, 승합차, 화물차, 특수차 - 차용도: 관용, 자가용, 영업용
성별, 연령별	광역시도	
차종/차량규모	광역시도	- 승용: 승용일반(국산/외산), 승용겸화물, 승용다목적, 승용기타 - 승합: 승합일반, 승합특수 - 화물: 화물일반, 화물덤프, 화물밴, 화물특수용 - 특수: 견인, 구난, 특수작업
연료별	광역시도	- 휘발유, 경유, 엘피지, 등유, 전기, 알코올, 휘발유(유연), 태양열, LNG, 하이브리드, 기타
화물-적재량별	광역시도	
등록연도별	광역시도	
차령별	전국	
차량규모별	광역시도	- 경형, 소형, 중형, 대형

주: 일부 지자체 자동차등록사업소 홈페이지에서는 해당지역 읍면동 단위 등록차량 정보를 제공하고 있음

원자료인 자동차등록통계는 시군구 단위의 차량유형별 등록대수를 제공하며, 이 자료를 전통적인 방식으로 공간적으로 균일하게 배분하는 경우 시가지, 주거지역의 경우 차량밀도가 높으나 농업, 산간지역은 밀도가 매우 낮은 것과 같은 현실적인 차량의 공간밀도를 고려하는 것이 불가능하다. 이에 K-CDMS에서는 원자료인 자동차 등록통계 외 차량의 공간적 분포를 참조 가능한 자료로서 집계구 경계 기준의 인구주택총조사의 “인구수”와 전국사업체조사 자료에서 “종사자수”를 보조자료로 활용하여 공간적으로 불균일한 차량정보를 반영하였다. 즉, 보조자료인 센서스(집계구별 인구수, 종사자수) 자료를 활용하여 집계구 경계 단위의 차량정보를 재생산(배분)하여 아래 그림 구조의 차량 인벤토리를 구축하며, 집계구 단위로의 차량배분은 아래 식과 같이 각 집계구의 인구수와 종사자수의 합계를 기준으로 하였다.

아래 식에서  $P_i$ 는  $i$ 집계구의 인구수,  $L_i$ 는  $i$ 집계구의 종사자수를 의미하며, 이러한 과정으로부터 구축되는 차량 인벤토리는 승합차 9종, 승합차 3종, 화물차 11종으로 구분된 아래 그림의 구조를 가진다.

$$w_i = \frac{P_i + L_i}{\sum_{i=1}^n (P_i + L_i)} \quad (3.9)$$



〈그림 3.6〉 차량 인벤토리 구조

## 나. 차량유형

본 연구에서는 차량유형의 구분을 자동차등록통계에서 제공하는 정보를 고려해 차종, 차량규모(승용차: 배기량, 승합차: 승차인원, 화물차: 적재량 혹은 총 중량)를 기준으로 하였다. 구분기준은 원자료인 자동차등록통계상의 분류체계를 참고하였으며, 승용차, 승합차, 화물차외 견인, 구난, 특수작업 목적의 특수차의 경우 홍수피해에 영향을 받지 않는 차량으로 간주하여 평가대상에서 제외하기로 한다.

우선, 승용차는 10인 이하 운송목적인 차량을 말하며, 자동차등록통계에서는 승용일반형(국산/외산), 승용겸화물형, 승용다목적형, 승용기타형으로 구분하고 있다. 각각의 차종은 배기량(cc)에 따라 다시 구분되는데, 이로부터 차종과 배기량 1000cc, 1500cc, 2000cc를 기준으로 총 9개 유형(승용차-A~승용차-I)을 마련하였다. 자동차관리법상 승합차에는 11인 이상을 운송하거나 내부 특수설비로 승차인원이 10인 이하로 된 차량, 국토교통부령으로 정하는 경형자동차로 승차인원이 10인 이하인 전방조종자동차, 캠핑용자동차 또는 캠핑용 트레일러가 포함된다.

자동차등록통계에서 승합차는 승합일반, 승합특수로 구분하고 있으며, 본 연구에서는 특수목적의 차량인 승합특수형(구급차, 방송차 등)을 제외한 승합일반형만을 평가대상으로 한다. 승합일반형은 승차정원을 기준으로 총 3개의 유형(승합차-A~승합차-C)으로 구분하였다.

화물차란 화물을 운송하기 적합하게 바닥면적 최소 2㎡ 이상인 화물적재 공간을 갖추고, 화물 적재공간의 총 적재화물의 무게가 운전자를 제외한 승객이 승차공간에 모두 탑승했을 때의 승객의 무게보다 많은 자동차를 말한다. 자동차등록통계에서 화물차는 화물일반형, 화물덤프형, 화물밴형, 화물특수용으로 구분하며, 각 차종은 적재량을 기준으로 세분화된다. 본 연구에서는 일반적인 화물차의 유형분류를 그대로 따르되, 규모에 대한 구분은 최대적재량 1톤과 5톤을 기준으로 구분하여 총 11개의 유형(화물차-A~화물차-K)으로 재분류하였다. 본 연구에서 정의된 차량유형의 구분을 정리하면 <표 3.11>과 같다.

## 다. 차종비

차량 인벤토리 구축시 차량대수에 관한 정보는 자동차등록통계에서 시군구 단위의 자료를 구할 수 있으나, 여기에는 승용차, 승합차, 화물차, 특수차에 대한 개괄적인 정보만을 제공하고 있다. 위와 같이 세분화된 차량유형별 차량대수는 광역시도별로 제공하고 있는데, 본 연구에서는 이를 이용하여 차종비(차량유형별 분포비율, %)를 사전 결정한 뒤 차량유형별 차량대수를 간편하게 결정하는 데 활용하고자 한다. 2018년 말 기준으로 광역시도별 차종비를 검토한 결과 지역별 차종비가 확연하게 차이가 나지 않은 점을 고려하여 전국 평균 차종비를 사용하기로 하며, 2020년 기준 차종비는 <표 3.12>와 같다.

〈표 3.11〉 차량유형의 구분

유형	구분		구분기준	차량유형 정의	비고
승용차	승용일반(국산/외산)		1000cc 미만	승용차-A	
			1000~2000cc	승용차-B	
			2000cc 이상	승용차-C	
	승용검화물		2000cc 미만	승용차-D	
			2000cc 이상	승용차-E	
	승용다목적		2000cc 미만	승용차-F	
			2000cc 이상	승용차-G	
	승용기타		2000cc 미만	승용차-H	
			2000cc 이상	승용차-I	
승합차	승합일반		승차정원 15인 이하	승합차-A	
			승차정원 16~35인	승합차-B	
			승차정원 36인 이하	승합차-C	
화물차	화물 일반형	화물픽업		화물차-A	
		화물카고	적재량 1톤 이하	화물차-B	
			적재량 5톤 미만	화물차-C	
			적재량 5톤 이상	화물차-D	
	화물덤프		적재량 1톤 이하	화물차-E	
			적재량 5톤 미만	화물차-F	
			적재량 5톤 이상	화물차-G	
	화물밴		적재량 1톤 이하	화물차-H	
			적재량 5톤 미만	화물차-I	
			적재량 5톤 이상	화물차-J	
	화물특수용			화물차-K	

〈표 3.12〉 차량유형별 차종비 (2020년 기준)

승용차		승합차		화물차	
구분	차종비(%)	구분	차종비(%)	구분	차종비(%)
승용차-A	9.64	승합차-A	80.46	화물차-A	9.21
승용차-B	39.95	승합차-B	3.44	화물차-B	49.44
승용차-C	19.03	승합차-C	16.10	화물차-C	8.33
승용차-D	0.37			화물차-D	4.24
승용차-E	0.02			화물차-E	0.91
승용차-F	16.63			화물차-F	0.41
승용차-G	8.18			화물차-G	0.21
승용차-H	3.41			화물차-H	10.65
승용차-I	2.78			화물차-I	0.12
				화물차-J	0.01
				화물차-K	16.48
합계	100.00		100.00		100.00



### 3.3.3 차량 자산가치 평가

홍수에 따라 예상되는 차량피해 정도를 금전화하기 위해서는 각 차량의 재구매비, 즉 자산가치가 결정되어야 하며, 차량가치는 브랜드, 제조국(국산/외산), 차종, 차량규모, 연료(유종) 등 다양한 요소에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 앞에서 구분한 각각의 차량유형에 대표할 수 있는 차량을 최근 3년 누적판매 자료를 바탕으로 선정하였고, 대표차량의 자산가치를 해당 유형 전체차량의 가치를 대변한다고 가정하였다. 대표차량별 재구매비는 2020년 말 기준 차량 시장가에서 부가세를 제외한 금액을 기준으로 하였고(표 3.13), 재구매비에서 차량 이용에 따른 가치하락분을 고려하기 위하여 차종별 차령 통계자료와 차량시가표준액을 참고로 제시한 잔존률(%)을 사용하였다. 결국, 어느 집계구 내 특정유형의 차량에 대한 총 자산가치는 다음 식으로부터 결정할 수 있으며, 이를 위한 대표차량별 재구매비와 차령비를 고려해 가중평균한 잔존률은 <표 3.14>와 같다.

$$\begin{aligned} \text{특정 차량유형에 대한 차량가치(원)} &= \\ &\text{차량대수(대)} \times \text{차량 재구매비(원)} \times \text{평균 잔존률(\%)} \end{aligned} \quad (3.10)$$

<표 3.13> 차량유형 구분 및 대표차량 재구매비 (2020년 기준)

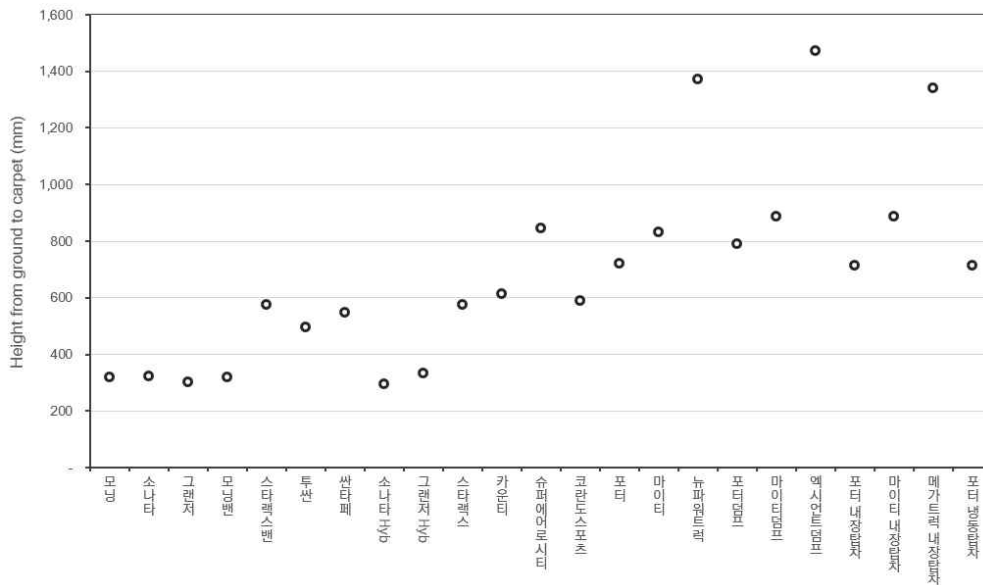
유형	구분		구분기준	차량 유형	대표차량	재구매비 (천원)
승용차	승용일반 (국산/외산)		1000cc 미만	승용차-A	모닝	11,746
			1000~2000cc	승용차-B	아반떼	17,889
			2000cc 이상	승용차-C	그랜저	36,699
	승용경화물		2000cc 미만	승용차-D	모닝밴	10,460
			2000cc 이상	승용차-E	스타렉스	29,869
	승용다목적		2000cc 미만	승용차-F	투싼	24,367
			2000cc 이상	승용차-G	싼타페	30,768
	승용기타		2000cc 미만	승용차-H	니로(하이브리드)	25,793
			2000cc 이상	승용차-I	그랜저(하이브리드)	37,616
승합차	승합일반		승차정원 15인 이하	승합차-A	스타렉스	29,869
			승차정원 16~35인	승합차-B	카운티	68,708
			승차정원 36인 이하	승합차-C	에어로시티	126,636
화물차	화물 일반형	화물픽업		화물차-A	코란도 스포츠	25,495
		화물카고	적재량 1톤 이하	화물차-B	포터	17,303
			적재량 5톤 미만	화물차-C	마이티	47,861
			적재량 5톤 이상	화물차-D	엑시언트	167,299
	화물덤프		적재량 1톤 이하	화물차-E	포터덤프	20,844
			적재량 5톤 미만	화물차-F	마이티덤프	50,710
			적재량 5톤 이상	화물차-G	메가트럭덤프	73,824
	화물밴		적재량 1톤 이하	화물차-H	포터 내장탑차	18,664
			적재량 5톤 미만	화물차-I	마이티 내장탑차	53,491
			적재량 5톤 이상	화물차-J	메가트럭 내장탑차	77,435
	화물특수용			화물차-K	포터 냉동탑차	21,872

〈표 3.14〉 차량유형별 잔존률 (2020년 기준)

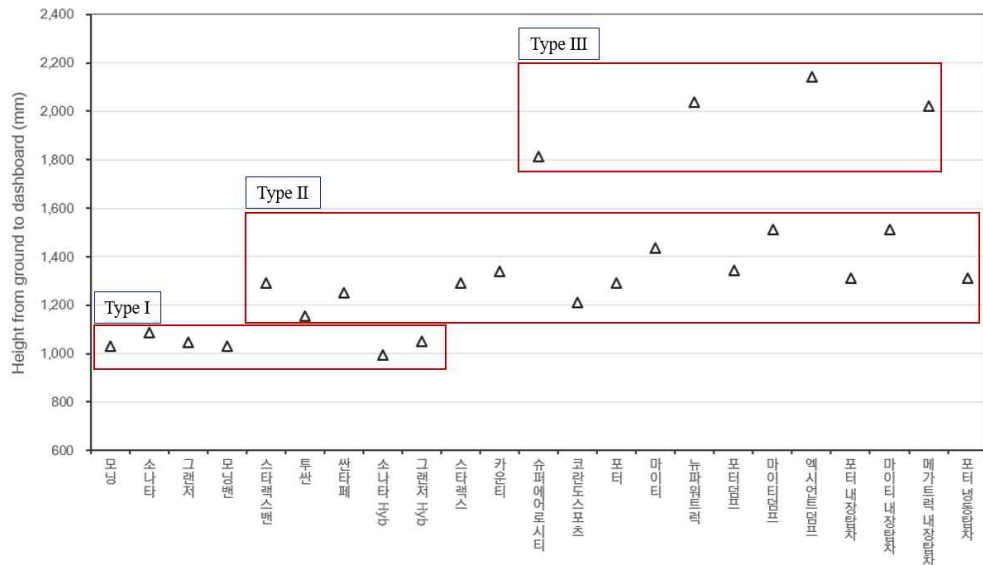
차령	승용차		승합차		화물차	
	차령비(%)	잔존률(%)	차령비(%)	잔존률(%)	차령비(%)	잔존률(%)
15년 이상	9.77	6.70	19.12	6.00	22.71	6.00
14년	2.66	7.90	1.65	7.20	3.76	7.20
13년	3.03	9.40	2.22	8.50	4.10	8.50
12년	3.78	11.20	3.16	10.20	3.76	10.20
11년	3.97	13.20	4.71	12.20	3.00	12.20
10년	5.04	15.70	4.10	14.60	3.90	14.60
9년	4.84	18.60	5.35	17.50	4.50	17.50
8년	4.60	22.10	5.02	20.90	3.51	20.90
7년	6.40	26.20	6.80	25.00	4.57	25.00
6년	6.62	31.10	7.79	29.80	5.72	29.80
5년	7.49	36.80	6.68	35.70	5.97	35.70
4년	5.80	43.70	6.59	42.60	4.70	42.60
3년	7.07	51.80	7.00	51.00	6.33	51.00
2년	7.72	61.40	6.82	60.90	6.19	60.90
1년	9.92	72.50	5.34	72.60	6.78	72.60
1년 이하	11.28	78.60	7.65	79.40	10.48	79.40
평균 잔존률		38.30		31.82		32.05

### 3.3.4 차량 손상함수

건물 손상함수와 마찬가지로 차량 손상함수 개발 또한 과거 홍수피해지역에서 조사된 경험적 자료에 근거한 방법, 전문가의견을 활용한 방법을 고려할 수 있다. 그러나 차량피해 조사대상으로 차주 정보를 구하는 것이 현실적으로 어려워 경험적 자료에 근거한 방법이 아닌 전문가의견을 활용하였다. 한편, 차량은 차고에 따라 일반적으로 30~60cm 이하의 수심에는 차량에 피해가 발생하지 않으나, 침수심이 증가함에 따라 머플러를 통한 물의 유입, 차내 물이 유입되어 차량내부 바닥(카펫), 엔진실 침수, 대시보드 상단까지 잠김에 따라 피해가 가중된다. 특히 엔진실이 침수될 시 전자/컴퓨터 부속과 전기 시스템이 파괴되기 때문에 차량 전체 손실로 간주될 가능성이 높다. Hazus-MH Flood Model에서는 침수심-손상률 관계를 카펫과 대시보드를 기준으로 설명하고 있는데, 이를 참고해 우선 앞에서 결정한 차량유형별 대표차량에 관한 제원정보를 조사하여 차량별 카펫과 대시보드의 높이를 검토하였고, 그 결과는 다음과 같다.



〈그림 3.7〉 차량유형별 지면에서 차량내부 카펫까지의 높이



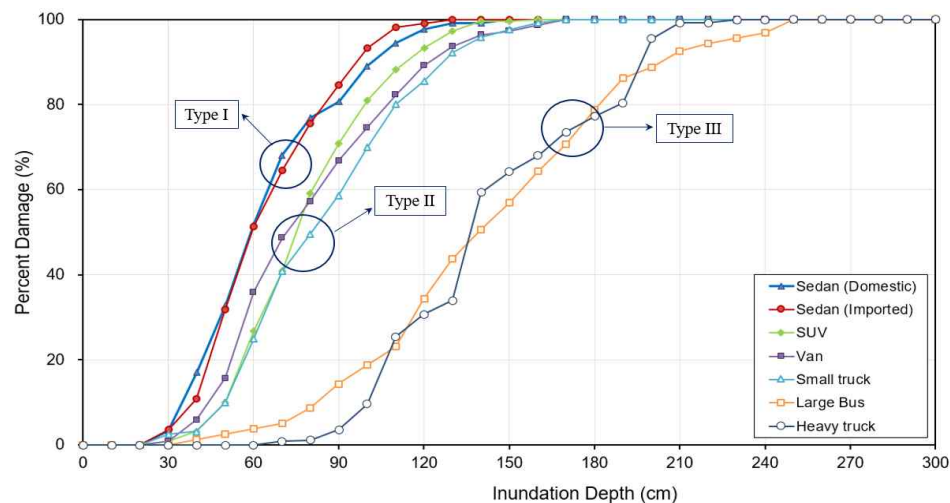
〈그림 3.8〉 차량유형별 지면에서 대쉬보드까지의 높이

차고에서 확인한 차이를 보이는 3개 그룹 내 총 7개 대표차량을 조사대상 차량으로 선택하고, 전문가집단은 2016년 차바 태풍 당시 울산지역 내 침수차량 수리에 참여한 전문가 및 손해사정사 12인으로 구성하였다. 설문은 한 장소에서 전문가들을 모아 동시에 진행하는 방식인 집단조사 형식으로 진행하였고, 조사과정을 요약하면 아래와 같다.

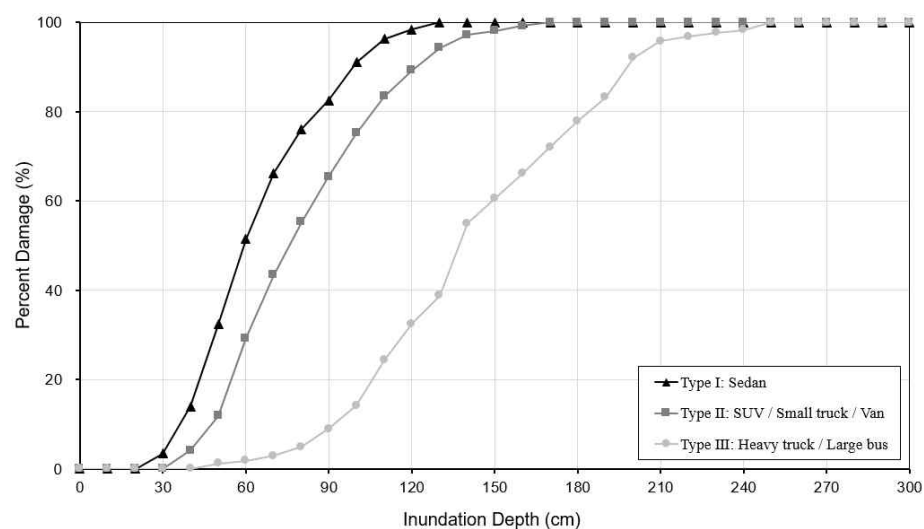
- ① 조사목적, 설문방법, 기본가정, 손상함수, 차량제원 등 설명
- ② 완전 침수상황에서 차량부품(샷시/차체/파워트레인/의장/전장)별 최대손상 및 개인의견(원인, 결과, 수리성 등) 작성

- ③ 개인의견 취합 및 집단 논의 (하나의 공동된 결과를 도출하지는 않음)
- ④ 차량부품별 침수깊이(m)에 따른 손상률(%) 작성
- ⑤ 이상의 과정을 다른 차량유형에 대해서 반복 실시

개별 전문가의견에 대한 종합은 침수심별 최솟값과 최댓값을 가지는 의견을 제외한 나머지를 평균한 값을 사용하였고, 이로부터 7개 조사차량별 침수심-손상률 관계곡선을 나타내면 아래 그림과 같다. 유사한 경향을 보이는 곡선들은 앞서 차고를 기준으로 구분한 것과 유사하게 나타났으며, 이를 기준으로 아래 그림의 3개 차량유형으로 종합하였다. 결과적으로, 모든 차량에서 손상이 시작되는 침수심은 30cm 부터이고, 100% 피해(전손)가 예상되는 깊이는 각각 침수심 Type I의 경우 120cm, Type II의 경우 150cm, Type III의 경우 240cm로 나타났다.



〈그림 3.9〉 차량 손상함수 (7개 유형)



〈그림 3.10〉 차량 손상함수 (3개 대표유형)

손상합수 적용상의 간편성을 위하여 침수심 30cm 간격의 구간을 기준으로 정리하면 <표 3.15>와 같다.

**<표 3.15> 차량 손상합수 (3개 대표유형)**

구분	침수심 구간별 손상률 (%)										
	0-0.3	0.3-0.6	0.6-0.9	0.9-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8	1.8-2.1	2.1-2.4	2.4-2.7	2.7-3.0	3.0-
Type I	0.0	23.2	71.2	93.7	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Type II	0.0	8.0	49.4	79.3	95.8	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Type III	0.0	0.9	3.9	19.2	46.9	69.1	87.7	97.3	100.0	100.0	100.0

주) Type I : 승용차-A, 승용차-B, 승용차-C, 승용차-D, 승용차-H, 승용차-I,

Type II : 승용차-E, 승용차-F, 승용차-G 승합차-A, 승합차-B, 화물차-A, 화물차-B, 화물차-C, 화물차-E, 화물차-F, 화물차-H, 화물차-I

Type III : 승합차-C, 화물차-D, 화물차-G, 화물차-J

### 3.4 인적피해 (인명피해 및 이재민피해)

#### 3.4.1 인명피해

##### 가. 인명피해 개요

홍수에 따른 인명피해(인명손실)를 추정하는 방법은 일반적으로 상정가능한 수준의 홍수재난(natural flood)과 댐 붕괴(dam break) 같은 최악의 시나리오에서의 홍수재난을 구분하여 연구가 진행되고 있다. 비록 이 두 가지 상황에 대한 해석이 시공간적으로 상당한 차이가 있음에도 불구하고 피해를 결정하는 영향인자들은 대체로 유사하며, 주로 언급되는 영향인자는 <표 3.16>과 같다(McClelland, 2000).

<표 3.16> 인명피해 영향인자

영향인자	특징
예경보	대부분의 홍수사상으로 인한 인명피해 발생 중 가장 많은 인명피해가 발생한 사례는 효과적인 경보시스템이 부재한 경우가 많음
주간/야간	많은 사상자를 발생시킨 홍수사상의 경우 주로 야간에 발생하였는데, 야간의 경우 위험경보를 빠른 시간 내에 통보하기 어려움
교육 및 훈련	대피교육, 훈련은 인명손실을 저감할 수 있는 중요한 인자임
피난처 도달가능	인명손실의 규모를 결정하는 중요요소이나, 피난처까지의 도달 가능성은 홍수재난의 규모에 따라 크게 좌우됨
침수심	침수심의 변화는 인명손실 및 피난처의 활용가능성을 판단할 수 있는 주요 인자이며, 침수깊이와 유속 크기에 따라 민감하게 반응함
유속	유속이 상대적으로 빠른 경우 건물붕괴의 위험도가 높아지고, 만일 붕괴되는 경우 많은 사상자가 발생할 수 있음

Flood and Coastal Defence R&D Programme(DEFRA, 2003)에서는 홍수로 인한 인명사고 주된 유형을 홍수로 인해 유속이 빠르거나 수심이 깊어 익사하는 경우, 빠른 유속으로 인해 직접적인 부상을 당할 경우 등으로 언급하면서, 유속이나 수심에 얼마나 노출되었는지가 핵심이라 하였다. 그리고 DEFRA(2003)에서는 위험에의 노출이 범람범위, 홍수터의 위치 등 범람과 관련된 요인에 직접적인 영향을 받고 있으며, 이때의 위험인구(Risk to People)는 인간의 신체적 취약성과 사회적인 요인들에 의해 영향을 받는다고 언급하고 있다. 즉, 홍수로 인한 사망위험이 발생할 수 있는 아래 11가지 조건 중 하나 이상 존재하는 경우 인명사고가 발생할 확률이 증가한다고 할 수 있다.

- 홍수 발생시 유속이 빠른 경우
- 돌발홍수로 인해 홍수가 발생한 경우
- 홍수로 인해 홍수심의 깊이가 큰 경우
- 인구밀도가 높은 지역에 홍수가 발생한 경우 (높은 지대로 이탈이 어려운 경우)
- 사전 홍수 경보가 발생하지 않은 경우 (최소 1시간 전)
- 홍수피해자들이 건강 및 이동상 문제가 있는 경우

- 자연 혹은 인공적인 홍수 방어시설이 과도하게 중첩되어 있거나 붕괴되는 경우
- 홍수방어 시설물이 붕괴될 경우
- 사망, 부상을 일으킬 수 있는 부유물질이 홍수로 인해 발생할 경우
- 홍수 지속기간이 길거나 기후조건이 심각한 경우
- 댐이 붕괴한 경우

#### 나. 인명피해 산정 절차

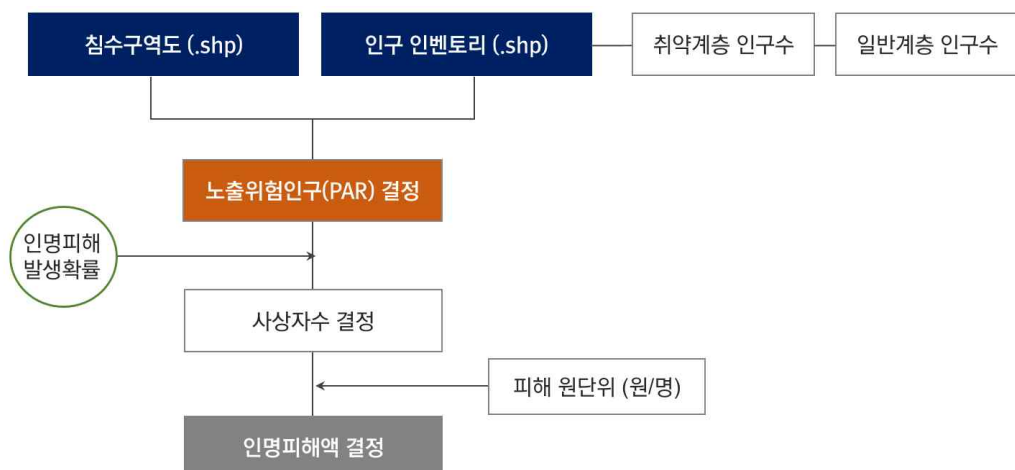
인명피해 산정 절차는 침수구역도(.shp), 인구 인벤토리(.shp) 간의 중첩분석으로부터 결정된 노출위험인구 (PAR, Population At Risk)를 기준으로 한다. 여기서, 노출위험인구란 지리적으로 홍수위험에 노출된 인구를 의미하며, 집계구 내 특정구역에서의 노출위험인구는 아래 식으로부터 계산된다. 인구 인벤토리는 분석지역의 인구분포, 인구계층을 설명하는 자료이며, 침수구역도로 확인되는 침수심은 인명피해 발생확률을 결정하는 데 사용된다. 여기서 침수편입률이란 인구, 차량과 같이 면(polygon)을 기준으로 취합된 정보를 인벤토리로 사용하는 경우 일정 공간 내 자산 혹은 인구를 공간적인 배분하기 위한 개념이며, 아래 식으로부터 결정된다.

$$\text{노출위험인구(일반/취약)} = \text{집계구 내 인구수(일반/취약)} \times \text{침수편입률(\%)} \quad (3.11)$$

$$\text{침수편입률(\%)} = \frac{\text{집계구(i) 내 특정 침수심 구간을 가지는 구역(j)의 면적}}{\text{집계구(i)의 면적}} \quad (3.12)$$

공간분석을 통해 계층별 PAR이 결정되면, 인명피해 발생확률에 따른 사상자수, 이재민피해 발생확률에 따른 이재민수를 산정할 수 있으며, 여기에 피해원단위와 대피기간을 고려해 인명피해와 이재민피해를 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{인명피해액(원)} &= \text{PAR(인)} \times \text{인명피해 발생확률} \times \text{인명피해 원단위(원/인)} \\ &= \text{사상자수(인)} \times \text{인명피해 원단위(원/인)} \end{aligned} \quad (3.13)$$



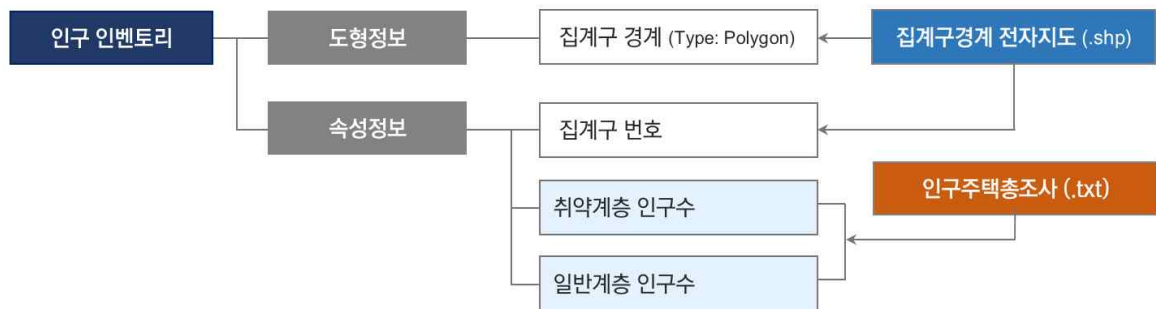
〈그림 3.11〉 인명피해 산정 절차

## 다. 인구 인벤토리

인구 인벤토리는 인명피해와 이재민피해 모두 사용되는 자료이다. 인구통계자료인 “인구주택총조사”는 조사 명에 대한 변화는 있었지만 1949년에 시작하여 5년 단위로 법에 근거하여 조사하고 있으며, 그 동안 민간에 개방되지 않아 국가정책 활용 및 관련 연구에 적극 활용되지 못해왔다. 최근 통계청은 해외 인구센서스를 참조 하여 통계청의 다양한 센서스 정보를 하나로 통합하는 통계지리정보시스템을 구축하였으며, 우리나라의 센서스 공간단위인 집계구 소지역을 단위로 정보를 공개하고 있다. 인구센서스의 경우 성/연령별(5세 구간)의 구분으로 조사되며, 교육정도별, 종교별(2005년 이후), 성/혼인상태별 인구 등을 토대로 조사된다. 여기서, 집계구는 통계 공표의 목적으로 사용되는 지리적 경계이며, 통계조사(인구주택총조사/전국사업체조사) 시마다 집계구 경계가 변동될 수 있다. 매년 변동되는 집계구 경계에 맞추어 집계구별 통계를 재집계하여 공표하도록 되어있으며, 해당 자료는 통계지리정보서비스를 통해 집계구별로 자료를 제공하고 있다

본 연구에서는 인구계층을 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제20조 및 제27”에 의거하여 도시관리계획 시 기초조사로써 반영해야 하는 “도시기후변화 재해취약성 분석”에서 구분하는 기준인 취약계층(5세 이하, 65세 이상), 일반계층(취약계층 외)으로 구분하였다. 한편, 일본 “수해피해지표분석지침”에서는 취약계층을 임산부, 영유아, 고령자(65세 이상), 장애인 등을 포함하여 제시하고 있으며, 미국의 LifeSIM에서는 65세의 고령자를 취약인구로 분류하고 있다.

이상의 인구 기초자료와 계층구분 기준을 토대로 K-CDMS에서 제공되는 인구 인벤토리 DB 구조는 다음 그림과 같으며, 여기서는 집계구번호를 기준으로 집계구경계자료(.shp)와 인구주택총조사 자료(.txt)를 연계하여 구축하였다.



〈그림 3.12〉 인구 인벤토리 구조

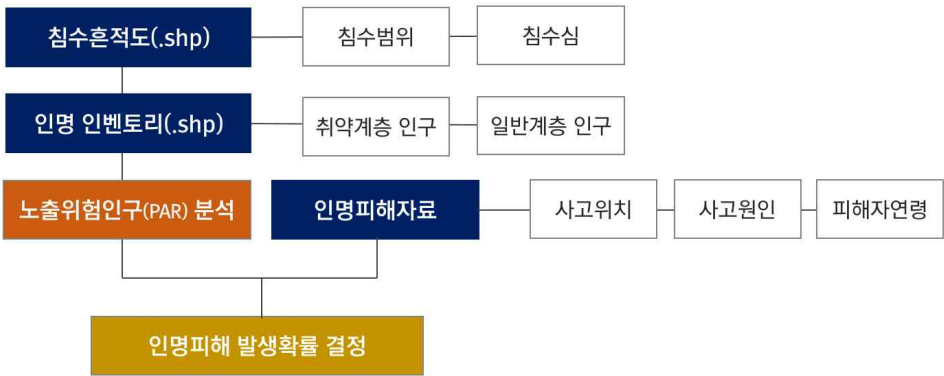
## 라. 인명피해 발생확률

인명피해 발생확률 결정에 필요한 인명피해(사망, 부상, 실종) 실적자료는 행정안전부 재난정보통신과에서 관리하는 국가재난관리시스템(NDMS)으로부터 수집하였다. 해당 자료에는 나이(만), 성별, 사고일시, 사고지역, 피해구분(부상, 사망, 실종), 사고요인(건물붕괴, 침수, 하천급류, 하천범람 등), 재난유형(호우, 태풍, 대설, 강풍, 풍랑) 등에 대한 정보를 포함하고 있다. NDMS에서 수집가능한 자료의 기간은 2007년부터 2016년까지이며, 획득한 호우와 태풍 재난유형에 해당하는 378건 가운데 사망자(실종 포함)는 221명(58%), 부상자는 160명



(42%)으로 조사되었다.

인명피해 발생확률은 아래 그림과 같이 행정안전부의 국가재난관리시스템 내 피해이력과 한국국토정보공사에서 제공받은 침수흔적도를 토대로 침수심 구간과 인구계층을 구분하여 제시하였다. 세부적인 절차는 피해지역의 인구 인벤토리와 침수흔적도를 중첩분석하여 인구계층별 노출위험인구(PAR) 규모를 결정하고, NDMS 자료로부터 확인된 인명피해 발생지점과 침수흔적도 자료를 매칭하여 침수심 정보를 확인하는 과정을 피해사례별로 수행하였다. 이로부터 본 연구에서 결정한 인명피해 발생확률은 <표 3.17>과 같다.



<그림 3.13> 인명피해 발생확률 분석 절차

<표 3.17> 인명피해(사상자) 발생확률

구분	인명피해 발생확률 (명/명)		비고
	침수심 0~1m	침수심 1m 이상	
취약계층	0.00027887	0.00087191	0~4세, 65세 이상
일반계층	0.00011419	0.00039543	5~64세

라. 인명피해 원단위

사망자와 부상자에 대한 인명피해 원단위(원/인)는 “2015년 교통사고비용 추정”(한국교통연구원, 2017) 결과에서 제시한 2015년 기준 비용(PSG 포함)에서 분석 기준연도의 소비자물가지수를 적용하여 보정한 값을 사용한다. 이때, 수해로 인한 인명피해 사고에는 물적 피해비용이 발생하지 않는 점을 고려해 손실생산, 의료비용, 행정비용, 심리적비용(PSG)만을 고려하였다. 그러나 이 항목 가운데 상당한 손해가 유발될 수 있는 교통사고의 특성은 수해와 비교할 때 의료비용에서 차이가 발생할 수 있으며, 수해로 인한 실종자 발생 시에는 수색작업에 따라 상당 행정비용이 지출될 가능성도 있다. 사망자, 부상자 피해원단위에서 종합하는 사상자 원단위(표 3.20)는 과거 수해로 인한 인명사고 통계(사망자 58%, 부상자 42%) 비율을 고려해 가중평균하였다.

〈표 3.18〉 사망자 피해원단위

(단위: 천원/인)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020
생산손실	290,942	293,770	302,391	315,860	331,193	349,135
의료비용	14,090	14,227	14,644	15,297	16,039	16,908
행정비용	862	870	896	936	981	1,034
PGS	286,599	289,385	297,878	311,145	326,249	343,923
사망자 피해원단위	592,493	598,252	615,809	643,237	674,463	711,001
소비자물가지수	94.861	95.783	97.645	99.086	99.466	100

〈표 3.19〉 부상자 피해원단위

(단위: 천원/인)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020
생산손실	17,456	17,626	18,143	18,951	19,871	20,948
의료비용	8,645	8,729	8,985	9,385	9,840	10,374
행정비용	230	232	239	250	262	276
PGS	40,706	41,102	42,308	44,192	46,338	48,848
사망자 피해원단위	67,037	67,688	69,675	72,778	76,311	80,445
소비자물가지수	94.861	95.783	97.645	99.086	99.466	100

〈표 3.20〉 사상자 피해원단위

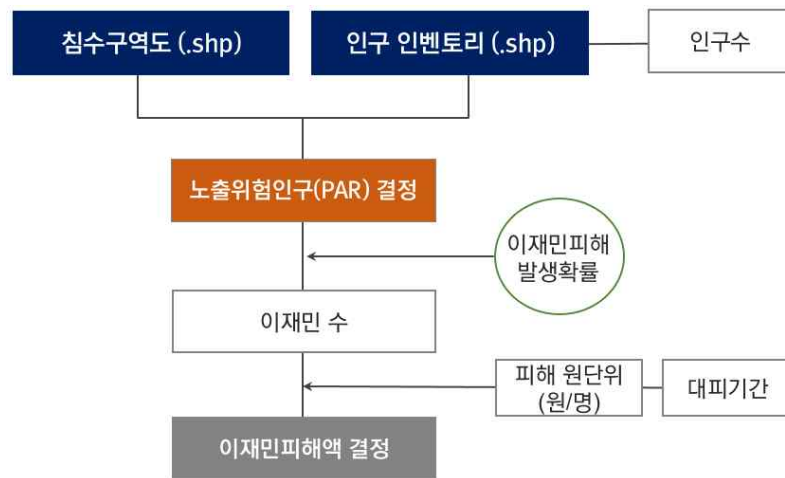
(단위: 천원/인)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020
사상자 피해원단위	410,683	414,675	426,845	445,856	467,500	492,826

### 3.4.2 이재민피해

이재민피해 또한 인명피해에서 사용한 인구 인벤토리를 동일하게 사용하며, 노출위험인구(PAR)에 기반하여 평가한다. 여기서의 이재민피해 발생확률 또한 사후분석의 일환으로 인명피해 발생확률과 동일하게 NDMS의 이재민피해 실적자료와 침수흔적도를 활용하여 분석하였다. 그러나 인명피해 발생확률에서 인구계층과 침수심 구간에 대한 구분은 이재민 성격을 고려하여 고려하지 않았다. 이재민피해 평가절차는 아래와 같으며, 노출위험인구와 인명피해 발생확률로부터 결정된 이재민수에서 대피기간, 피해원단위를 고려하여 인명피해액이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{이재민피해액(원)} &= \text{노출위험인구(인)} \times \text{이재민피해 발생확률} \times \text{대피기간(일)} \\ &\quad \times \text{피해원단위(원/인)} \end{aligned} \quad (3.14)$$



〈그림 3.14〉 이재민피해 산정 절차

여기서, 이재민피해 발생확률은 과거 2007년부터 2016년까지 피해실적 자료(재해연보)로부터 결정하였고, 보고된 대부분의 이재민은 호우와 태풍재해로부터 발생하는 것으로 나타났다. 이 기간 동안 신뢰도가 높은 93건의 이재민 피해사례를 기준으로 이재민피해 발생확률을 분석하였고, 그 결과 노출위험인구 1인당 0.013411명의 확률로 이재민이 발생하는 것으로 분석되었다. 다음, 대피일수는 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)(KDI, 2009)에서 과거 10년간의 재해연보를 참고하여 제시한 10일을 그대로 사용하고, 피해원단위는 국민총소득(GNI)에서 365일로 나눈 값인 일평균 국민소득을 사용한다. 2020년 기준 국민총소득은 평균은 37,621천원이며, 일평균 국민소득으로 계산시 이재민 피해원단위는 103,071원/일이다.

## 3.5 농업피해 (농작물, 농경지)

### 3.5.1 농작물피해

#### 가. 농작물피해 개요

건물, 차량 등과 달리 농작물은 제조된 하나의 생산품, 시설이 아닌 농업 경제활동의 결과물로서 최종적으로 판매를 통해 수익을 창출하는 행위에서 재난으로 인하여 지장을 받게 되는 경제적 피해를 고려하여야 한다. 따라서 그 동안 취급된 물리적 자산과는 달리 비물리적인 자산으로서의 농작물은 다음과 같은 관점에서 신중히 접근할 필요가 있다.

첫째, 농작물 피해 영향을 미치는 인자의 선택이다. 건물과 차량과 같이 단순 침수가 되더라도 물에 취약한 전자제품, 전기시설, 종이류, 목재류 등과 같은 요소에 의해 상당 피해가 발생할 수 있지만, 농작물의 경우 대부분의 작물이 일정 수준의 저항력을 가지고 있다. 그리하여 일정 이상의 침수심에서 물에 접하는 일수(침수기간)를 가장 중요한 영향인자로 간주하고 있다. 침수심, 침수기간 이외 유속이나 토사유입과 같은 이송잡물에 대한 영향인자 또한 상당히 중요하나, 사전분석 단계에서 이를 정량화하기에 한계가 있기 때문에 대부분 이를 무시하거나 간접적으로 고려하고 있다. 이에 우선적으로 침수심과 침수기간에 대한 것을 기본적으로 영향인자로 하되, hazard 분석에서 평가가 어려운 침수기간의 경우 국내 수문환경과 피해사례(과거 농업지역에서 배수되기까지 걸리는 시간 등) 등을 고려하여 사용자의 선택에 의해 반영할 수 있다.

둘째, 농작물 피해 금전화를 위한 산정기준 결정이다. 국외 연구사례의 경우 피해를 결정하는 데 중요한 지표로서 경작에 소요된 생산비, 순수익, 판매액, 부가가치액 등을 사용하고 있다. 이것들은 농업경제수지분석을 바탕으로 한 생산비, 조수입, 경영비, 중간재비 등을 제시하는 국내 농업 통계자료에서 결정할 수 있다. 건물과 차량과 같은 자산에 비해 판매가, 생산비 변동이 심한 농작물은 최근 5년의 농작물생산비, 도매가(판매가)와 관련된 통계자료를 종합하여 결정하여야 하며, 추가적으로 단계적으로 생산비가 투입되는 특징을 고려하여 작부시기별 투입되는 생산비 flow(시기별 투입비율)가 정의되어야 한다.

셋째, 대표작물의 결정이다. 국내에서 재배되는 농작물은 지역별 자연환경에 따라 상당히 차이가 있으며, 그 종류 또한 매우 다양하다. 전 종류의 농작물을 본 모델개발에 반영하기에는 한계가 있기 때문에 생산량이 많거나 작부면적이 큰 작물을 중심으로 대표작물을 사전에 선정할 필요가 있다.

넷째, 농작물 인벤토리 구축방법이다. 실제 국내에서 어떠한 농지에서 어떠한 작물이 생산되는 지에 관한 전국 단위의 지형정보자료는 존재하지 않는다. 다만, 전자지적도와 토지피복도(대분류, 중분류, 세분류), 스마트팜 맵과 같은 자료에서 간접적으로 농업활동이 이루어지고 있는 공간적인 범위를 참조할 수 있다. 농작물 인벤토리에는 이러한 농업활동이 이루어지고 있는 공간에 그 지역에서 생산되는 대표작물에 대한 경작면적에 대한 정보가 구축되어야 하는데, 이는 대표작물에 대한 경작현황 자료를 보조적으로 사용함으로써 보완할 수 있다.

다섯째, 손상함수 개발 방법이다. 손상함수는 앞에서 언급한 침수심, 침수기간과 같은 영향인자에 따른 생산 저감률을 정의하는 것으로, 피해조사 혹은 모의실험 등이 요구되는 가장 까다로운 과정이다. 건물과 같은 피해목적물에 비해 농작물 피해는 피해목적물 소유자를 찾기 어려움으로 인해 직접조사의 어려움으로 있으므로 실험데이터나 국외 연구사례를 활용하거나, 아니면 보험사와 연계된 농작물재해 손해사정사를 비롯한 관련 전문가

들의 의견을 반영할 수 있다.

#### 나. 농작물피해 산정 기준

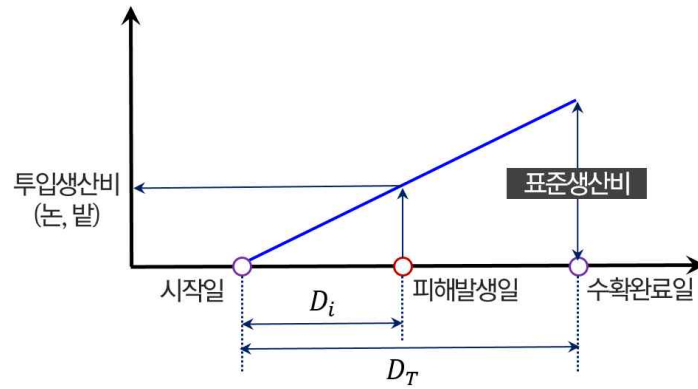
본 연구에서 농작물피해 산정 기준은 “생산비 매몰비용”과 “순수익 손해”의 두 가지 항목을 고려한다. 생산비 매몰비용이란 경작시작부터 피해발생까지 투입된 생산비의 회수불가에 따른 피해이며, 순수익이란 조수입(총수입)에서 생산비를 차감한 것으로, 결국 순수익 손해란 피해발생에 따른 기대 순수익 하락에 따른 피해를 의미한다. 한편, 농작물이 수확되어 온전한 상태로 시장에 판매되는 경우 생산비와 순수익의 합은 조수입과 같지만, 다작이 불가능한 논작물인지 다작이 가능한 밭작물인지에 따라, 그리고 재난발생 시기에 따라 생산비 매몰비용과 순수익 손해가 상이할 수 있기 때문에 여기서는 각각을 구분하여 산정하기로 한다. 이상의 농작물피해 평가 기준을 정리하면 <표 3.21>과 같다.

**<표 3.21> 농작물피해 산정기준**

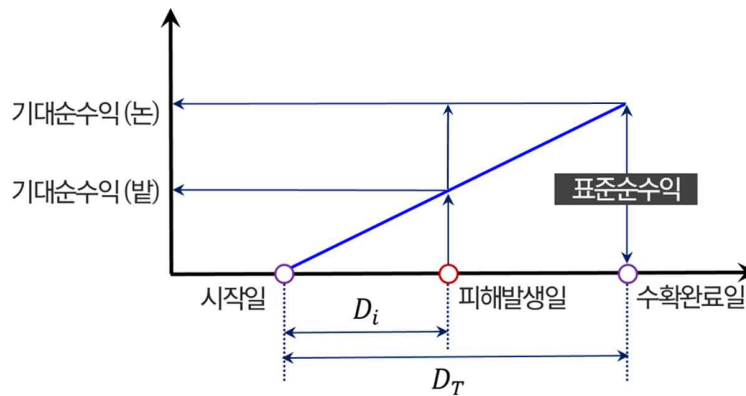
구분	피해항목	산정기준	비고
논작물	생산비 매몰비용	- 표준생산비(원/10a)에서 재배시작일로부터 피해발생일까지 경과일수와 재배시작일로부터 수확기까지의 일수와의 비율(경과율)을 고려한 생산비를 기준으로 평가	다작 불가
	순수익 손해	- 기대순수익 = 표준순수익 (경과율 고려하지 않음)	
밭작물	생산비 매몰비용	- 표준생산비(원/10a)에서 재배시작일로부터 피해발생일까지 경과일수와 재배시작일로부터 수확기까지의 일수와의 비율(경과율)을 고려한 생산비를 기준으로 평가	다작 가능
	순수익 손해	- 표준순수익(원/10a)에서 재배시작일로부터 피해발생일까지 경과일수와 재배시작일로부터 수확기까지의 일수와의 비율(경과율)을 고려한 금액을 기준	

위 표에서 경과율이란 재배시작일(정식일)로부터 수확기까지의 기간 대비 재배시작일로부터 재해발생일까지의 기간의 비율을 의미하며, 이는 재배기간에 따른 생산비 및 순수익에 대한 부분적인 피해를 고려하기 위한 것으로 수식으로 표현하면 다음과 같다. 여기서,  $D_i$ 는 재배시작일로부터 재해발생일까지 기간,  $D_T$ 는 재배시작일로부터 수확기까지의 기간을 의미한다. 위 표에서 정리한 농작물피해 평가기준과 그 개념을 정리하면 다음 그림과 같다.

$$\text{경과율} = D_i / D_T \quad (3.15)$$



〈그림 3.15〉 투입생산비 결정 개념



〈그림 3.16〉 기대순수익 결정 개념

한편, 투입생산비 결정 개념에서 재배기간별 생산비 투입은 일반적으로 재배초기에 묘종 구입비 등 지출로 인하여 상당 생산비가 투입되고 그 뒤 단계적으로 생산비가 투입되는데, 이는 작물에 따라 상이하게 나타난다. 그러나 작물별 재배시기에 따른 생산비 투입 변화를 명쾌하게 정의하기에는 관련 통계자료 및 연구사례가 부족하여 재배시작일과 수확완료일을 경계로 한 선형 증가로 가정한다.

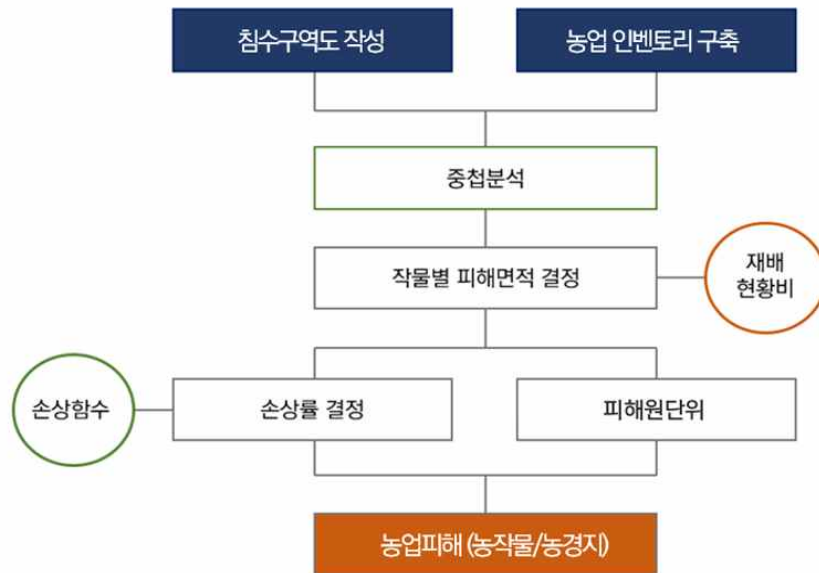
#### 다. 농작물피해 산정 절차

기본적으로 농작물 피해를 산정하는 데 필요한 지형공간자료는 침수구역도와 K-CDMS에서 제공하는 농업 인벤토리이다. 이 두 개 자료를 GIS 중첩분석하여 생성되는 폴리곤(면)은 농작물 피해를 평가하기 위한 분석 기초구역이며, 구역 내 경작이 이루어지면서 동일한 침수심(침수심 구간)를 가지는 공간을 의미한다. 위 과정으로부터 침수범위 내 경작구역을 결정한다. 그리고 침수심(침수심 구간)은 손상함수로부터 작물의 손상정도(손상률)을 계산하는 데 사용된다. 피해가 예상되는 구역에서의 침수심과 예상 침수기간으로부터 해당 작물의 손상률(%)을 손상함수로부터 결정하고, 표준생산비와 표준순수익으로부터 사전 결정된 홍수기 때의 투입생산비(원/ha)와 기대순수익(원/ha)을 피해면적에 반영하여 해당 작물의 피해액을 산정할 수 있다. 이상의 절차를 도식화하면 아래 그림과 같다.

$$\text{생산비매몰비용(원)} = \text{피해면적(ha)} \times \text{투입생산비(원/ha)} \times \text{손상률(\%)} \quad (3.16)$$

$$\text{순수익손해(원)} = \text{피해면적(ha)} \times \text{기대순수익(원/ha)} \times \text{손상률(\%)} \quad (3.17)$$

$$\text{농작물피해액(원)} = \text{생산비매몰비용(원)} + \text{순수익손해(원)} \quad (3.18)$$



〈그림 3.17〉 농업피해 분석 절차

#### 라. 대표작물 선정 및 농작물 인벤토리

본 연구에서 농작물 피해를 산정하는 데 다루는 대표작물은 우선 통계청의 농업면적조사를 기준으로 재배면적이 큰 작물을 위주로 검토하였다. 이 가운데 홍수기(6월에서 9월까지)에 주로 재배되고, 투입생산비와 기대순수익과 같은 원단위를 결정하는 데 필요한 통계자료가 현재 정기적으로 발표되는 작물을 〈표 3.23〉의 과정을 통해 검토하였다. 우선, 농업면적조사 자료 내 작물별 재배면적을 노지 과수를 제외한 시설작물, 노지 채소, 노지 특,약용작물, 노지 식량작물, 기타작물을 기준으로 재배면적이 큰 작물현황과 같다. 다음, 재배면적이 큰 작물에 대해 작형분류를 통한 홍수기 재배유무를 파악하고, 통계자료 제공 유무를 검토하여 최종 10개의 대표작물(딸기, 수박, 가을무, 가을배추, 참깨, 논벼, 옥수수, 콩, 고구마, 약용작물)을 선정하였다.

〈표 3.22〉 2021년 기준 작물별 재배면적

(단위: ha)

구분	재배면적	구분	재배면적	구분	재배면적	구분	재배면적
시설작물	82,810	노지채소	197,238	노지 특,약용 및 기타작물	228,513	노지식량	902,952
수박	9,385	과채류	10,150	들깨	37,406	벼계	732,477
딸기	5,692	수박	2,228	참깨	19,218	논벼	732,070
토마토	6,111	오이	1,113	약용작물	20,777	보리계	35,047
		근채류	22,447			쌀보리	15,865
		가을무	4,930			잡곡계	27,262
		당근	2,976			옥수수	16,145
		엽채류	38,087			두류계	65,267
		가을배추	13,345			콩	54,444
		조미채소	92,768			서류계	42,899
		마늘	21,999			고구마	23,236
		기타채소	33,786			감자계	19,663

자료: 2021년 농업면적조사 (통계청, 2022)

〈표 3.23〉 대표작물의 선택

구분	작물	재배형태	작형분류		홍수기 재배유무	통계자료 제공여부	대표작물 선택
			파종기	수확기			
시설작물	수박	억제재배	7하~8상	11상~12하	△	○	
	딸기	여름정식	5상~5하	8상~11중	○	○	○
	토마토	조숙재배	2상~3상	6중~7하	△	○	
노지채소	과채-수박	억제재배	7하~8상	11상~12하	△	○	○
	과채-오이	억제재배	8상~9중	10중~1하	△	○	
	근채-가을무	노지재배	7중~9상	9상~12중	○	○	○
	근채-당근	가을재배	7상~7하	11상~11하	○	○	
	엽채-가을배추	가을재배	8상~8하	10중~12상	△	○	○
	조미-마늘	보통재배	9하~10하	10상~11하	x	○	
노지 특,약용작물	들깨	노지재배	4중~4하	6중~9하	△	x	
	참깨	2모작	6상~6중	8하~9상	○	○	○
	약용작물	재배기간: 4년	10하~11상	10중~10하	○	○	○
노지식량	벼-논벼	직파재배	4상~5하	10중~11상	○	○	○
	보리-쌀보리	중복부	10상~10하	6하~7하	x	○	
	잡곡-옥수수	노지재배	4상~5상	9중~9하	○	○	○
	두류-콩	2모작	6상~6중	10중	○	○	○
	서류-고구마	노지재배	3중~3하	10상~10중	○	○	○

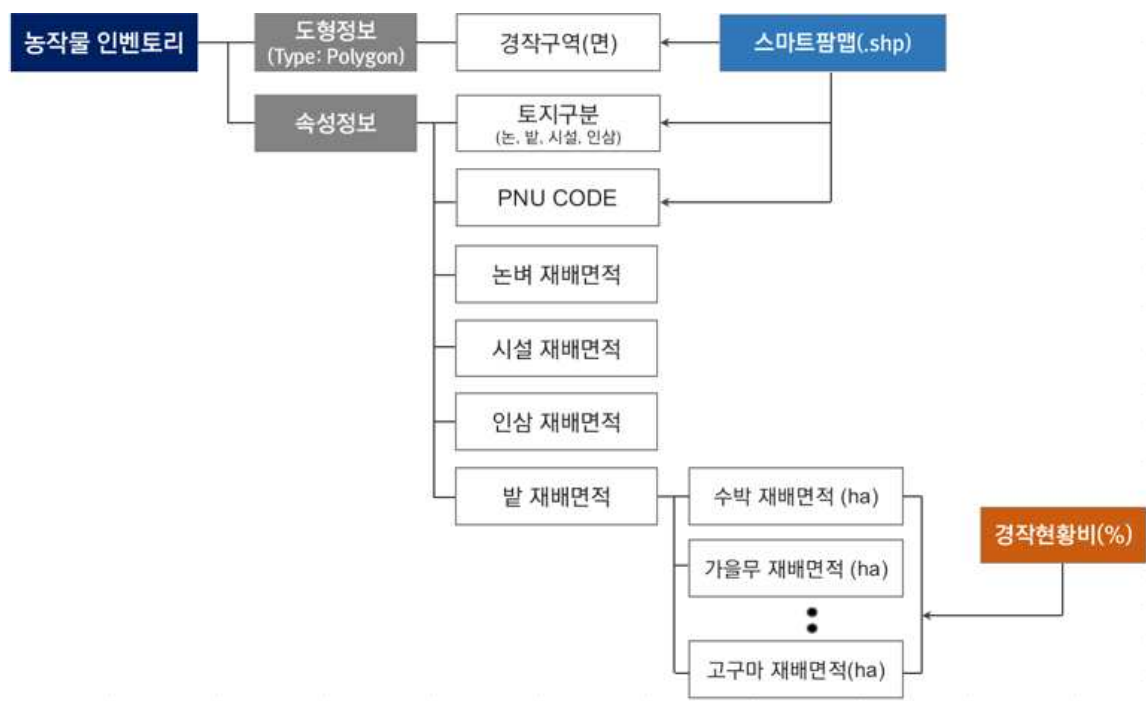
주: 홍수기 재배유무에서 ○는 홍수기에 대부분 재배기간이 포함, △는 홍수기에 재배기간 절반 이하가 포함, x는 홍수기에 재배기간이 거의 포함되지 않음.

자료: 농사로, <http://www.nongsaro.go.kr/>

건물과는 다르게 특정 농경지에서 재배되는 작물은 주기별 혹은 연도에 따라 각기 다른 작물을 재배하는 농업특성 때문에 명쾌하게 정의하는 것은 쉽지 않다. 이러한 이유에서 전국 단위의 작물별 재배현황에 관해 GIS 형태의 자료는 아직까지 제공되지 않고 있다. 최근 농림축산식품부에서 위성영상 및 항공영상을 기반으로 제작된 논, 밭, 시설, 과수, 약용작물, 비경지 지목에 대한 농경지 경계(폴리곤) 정보를 팜맵(농경지 전자지도)을 제



작, 제공하는 데, 여기서는 이 자료를 기초로 구축하여 제공 중인 K-CDMS의 농업 인벤토리를 사용하기로 한다. 농업 인벤토리는 논 경지는 논벼 작물, 시설 경지는 시설딸기, 약용작물 경지는 그대로 약용작물로, 나머지 밭 경지는 위에서 결정한 7개 대표 밭작물이 재배되는 것으로 한다. 7개 밭작물에 대한 재배면적은 지역에 따른 토양, 기후 등의 차이로 상이하게 재배되는 점을 고려하여 광역시도 단위의 재배현황비로부터 결정한다. 이상의 절차로부터 구축되는 농업 인벤토리 구조는 아래 그림과 같다.



〈그림 3.18〉 농작물 인벤토리 구조

마. 농작물 피해원단위

투입생산비와 기대순수익을 결정하는 데 기준이 되는 표준생산비와 표준순수익은 〈표 3.24〉와 같다. 통계청 발표 작목인 벼와 콩의 경우 통계청의 “농축산물생산비조사”를 참고하였고, 나머지 8개 작목은 농촌진흥청의 “농축산물소득자료집”을 참고하였다. 경상가격으로의 보정에는 농가판매가격지수를 사용하였다. 가격평균은 농업 분야에서 통상 ‘올림픽 평균’이라 불리는 방식을 사용하였고, 이는 최고와 최저값을 제외한 3개년의 평균을 구하는 방식이다.

〈표 3.24〉 작물별 표준생산비 및 표준순수익 결정 (2020년) (계속)

(단위: 원/10ha)

작물구분	연도	불변가격(FP)		경상가격(CP)		Deflator ('15=100)
		생산비	순수익	생산비	순수익	
논벼	2016	674,340	181,825	951,560	256,573	88.3
	2017	691,374	283,179	1,009,909	413,647	85.3
	2018	796,416	381,798	886,805	425,130	111.9
	2019	773,205	379,375	799,513	392,283	120.5
	2020	773,658	442,590	773,658	442,590	124.6
	평균			879,293	410,353	
시설 딸기	2016	17,709,787	2,533,084	21,086,734	3,016,099	122.8
	2017	18,409,041	3,248,944	23,579,879	4,161,526	138.8
	2018	20,099,067	3,244,041	21,592,253	3,485,045	145.0
	2019	21,508,716	746,178	25,120,169	871,466	130.1
	2020	23,386,855	-225,104	23,386,855	-225,104	158.8
	평균			22,852,996	2,457,537	
수박 (노지)	2016	2,358,213	1,258,337	2,449,026	1,306,795	127.7
	2017	2,157,394	1,117,393	2,024,222	1,048,418	115.2
	2018	2,796,642	853,374	2,376,009	725,021	99.3
	2019	2,612,185	907,030	2,343,119	813,602	109.3
	2020	2,836,090	1,008,635	2,836,090	1,008,635	130.6
	평균			2,389,385	956,885	
가을무 (노지)	2016	1,651,930	1,477,246	1,820,312	1,627,822	110.6
	2017	1,911,341	573,098	1,887,532	565,959	81.2
	2018	1,900,959	745,356	2,120,929	831,605	98.0
	2019	2,343,480	622,344	3,187,937	846,601	149.1
	2020	1,733,287	613,660	1,733,287	613,660	133.7
	평균			1,942,924	763,956	
가을 배추 (노지)	2016	1,826,210	1,294,571	2,003,605	1,420,324	151.4
	2017	2,028,434	743,770	2,561,030	939,058	101.8
	2018	1,845,427	808,631	2,371,064	1,038,955	126.0
	2019	2,060,745	1,073,273	3,150,583	1,640,880	195.0
	2020	2,086,743	574,608	2,086,743	574,608	179.9
	평균			2,339,612	1,132,779	
참깨 (노지)	2016	1,388,333	-1,537	1,590,714	-1,761	110.7
	2017	1,321,911	-142,943	1,553,871	-168,026	102.0
	2018	1,731,762	-583,317	2,087,676	-703,201	101.2
	2019	1,794,576	-624,169	2,165,614	-753,219	104.2
	2020	1,806,300	-772,694	1,806,300	-772,694	101.5
	평균			1,828,230	-541,482	
옥수수 (노지)	2016	1,323,597	388,416	1,971,440	578,529	96.3
	2017	1,560,182	70,146	1,997,867	89,824	74.6
	2018	1,722,415	-18,682	2,211,943	-23,992	59.9
	2019	1,750,628	-58,521	2,165,293	-72,383	60.6
	2020	1,840,174	-245,491	1,840,174	-245,491	67.4
	평균			2,044,866	-2,183	
콩 (노지)	2016	503,758	110,342	612,509	134,162	126.1
	2017	532,721	260,289	584,621	285,647	82.5
	2018	654,245	186,839	691,268	197,412	80.9
	2019	645,234	221,498	627,733	215,490	90.6
	2020	657,986	151,528	657,986	151,528	100.4
	평균			632,743	188,143	

〈표 3.24〉 작물별 표준생산비 및 표준순수익 결정 (2020년)

작물구분	연도	불변가격(FP)		경상가격(CP)		Deflator ('15=100)
		생산비	순수익	생산비	순수익	
고구마 (노지)	2016	2,200,188	937,754	3,490,542	1,487,723	116.0
	2017	2,131,249	747,426	3,265,329	1,145,146	98.1
	2018	2,429,141	748,486	2,651,488	816,997	108.0
	2019	2,403,703	425,100	3,346,011	591,749	103.2
	2020	2,662,796	793,810	2,662,796	793,810	121.1
	평균			3,091,379	918,651	
약용작물 (노지)	2016	5,711,530	5,011,388	4,543,528	3,986,564	142.6
	2017	6,171,874	4,509,206	5,113,651	3,736,062	152.6
	2018	6,062,434	6,458,482	4,985,807	5,311,521	152.0
	2019	6,247,929	4,135,981	5,204,378	3,445,175	144.8
	2020	5,013,874	4,115,812	5,013,874	4,115,812	143.3
	평균			5,037,777	3,946,146	

주: 1) 통계청 발표 작목인 벼와 콩은 통계청의 “농축산물생산비조사” (소득분석)를 참고하였고, 나머지 8개 작목은 농촌진흥청이 조사하는 『농축산물소득자료집』을 참고하였음.

2) 1기작 기준이며, 재배기간이 4년인 약용작물은 1년 기준으로 환산함.

3) 경상가격으로 보정을 위한 디플레이터는 해당 작물의 농가판매가격지수(2010=100)를 사용함.

위에서 결정한 표준생산비와 표준순수익으로부터 작물별 생육기간에 따른 홍수기(7월~10월) 때의 재배 경과율(%)을 계산하고, 이로부터 홍수기 평균 투입생산비와 기대순수익을 결정하였다. 앞에서 설명한 작물별 평균적인 파종기와 수확기를 기준으로 누적 생육기간과 홍수기 때의 경과율을 월별로 정리하면 〈표 3.25〉와 같다.

〈표 3.25〉 홍수기의 작물별 생육 경과율

구분	작물	홍수기			
		7월	8월	9월	10월
논	논벼	51.7%	69.1%	86.0%	100.0%
시설	시설딸기	58.2%	81.3%	100.0%	0.0%
밭	수박	0.0%	25.4%	50.0%	75.4%
	가을무	0.0%	17.9%	62.7%	100.0%
	가을배추	0.0%	17.3%	48.0%	79.6%
	참깨	62.7%	100.0%	0.0%	0.0%
	옥수수	66.9%	87.0%	100.0%	0.0%
	콩	40.6%	64.8%	88.3%	100.0%
	고구마	65.4%	80.5%	95.1%	100.0%
약용	약용작물	54.0%	56.1%	58.3%	62.5%

작물별 표준생산비, 표준순수익에서 홍수기 월별 생육 경과율과 홍수기 우심피해 발생률(7월: 41%, 8월: 31.3%, 9월: 16.5%, 10월: 11.2%)(행정안전부, 2020)을 고려하여 홍수기 평균 투입생산비, 기대순수익을 아래 표와 같이 결정하였고, 평가 대부분 연단위인 점을 고려하여 홍수기 평균값을 원단위로 사용하기로 한다.

〈표 3.26〉 작물별 홍수기 평균 투입생산비 및 기대순수익 (2020년)

구분	작물	표준생산비	투입생산비 (홍수기평균)	표준순수익	기대순수익 (홍수기평균)
논	논벼	574,746	346,301	410,353	279,924
하우스	시설딸기	18,921,789	12,991,079	2,457,537	1,617,278
밭	수박	2,767,808	1,043,600	956,885	235,824
	가을무	1,813,777	730,925	763,956	207,400
	가을배추	1,979,017	646,210	1,132,779	252,044
	참깨	1,115,082	698,606	0	0
	옥수수	1,217,903	915,404	0	0
	콩	528,732	277,791	188,143	117,962
	고구마	2,167,326	1,577,919	918,651	724,834
약용	약용작물	9,278,419	7,301,989	3,946,146	2,222,602

#### 바. 농작물 손상합수

농작물 손상합수는 침수기간과 침수심을 영향인자로 하며, 일본 건설성 하천국의 “치수경제조사메뉴얼”과 농림부의 “농업재해피해조사요령”을 참고하여 결정한 10개 대표작물에 대한 손상합수는 아래 표와 같다. 농작물 피해 영향인자 가운데 침수심은 침수구역도로 확인이 가능하나, 침수기간은 예비타당성조사를 비롯한 대부분의 실무에서 정량적인 결과를 제시하지는 않고 있다. 이 경우 대상지역에서 과거 발생한 유사 홍수사상에서의 침수기간을 토대로 결정하기로 한다.

〈표 3.27〉 농작물 손상합수

구분	침수심	0.3m 미만				0.3~0.6m				0.6~0.9m 이상				0.9m 이상			
		1 ~ 2	3 ~ 4	5 ~ 6	7 이 상	1 ~ 2	3 ~ 4	5 ~ 6	7 이 상	1 ~ 2	3 ~ 4	5 ~ 6	7 이 상	1 ~ 2	3 ~ 4	5 ~ 6	7 이 상
논	논벼	-	-	-	-	15.0	40.0	86.3	92.5	15.0	40.0	86.3	92.5	25.0	62.5	97.5	100.0
시설	딸기	22.0	30.0	42.0	56.0	31.0	38.0	51.0	100.0	35.5	44.0	57.0	100.0	40.0	50.0	63.0	100.0
인삼	인삼	72.5	100.0	100.0	100.0	97.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	수박	87.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
밭	가을무	36.7	63.3	73.3	77.0	49.3	78.4	100.0	100.0	66.5	99.1	100.0	100.0	83.7	100.0	100.0	100.0
	가을배추	60.0	80.0	100.0	100.0	63.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	참깨	29.7	48.2	67.2	86.2	31.3	64.3	70.1	100.0	50.0	59.9	86.9	100.0	68.8	55.5	100.0	100.0
	옥수수	11.0	30.0	50.0	50.0	27.0	40.0	75.0	88.0	32.5	51.5	85.0	94.0	38.0	63.0	95.0	100.0
	콩	35.5	77.5	77.5	77.5	46.3	83.2	86.1	84.4	54.0	88.8	91.9	89.1	61.7	94.5	97.6	93.7
	고구마	10.0	15.0	55.0	80.0	13.4	18.6	93.2	100.0	18.1	23.5	93.2	100.0	22.8	28.4	93.2	100.0

### 3.5.2 농경지 피해

농경지 피해는 앞의 농작물 피해 산정과정에서 결정된 침수구역 내 경지에서 침수심이 1m 이상인 경우 농

경지 매몰 혹은 유실에 의한 피해를 말한다. 여기서는 농경지 피해액은 책정되는 농경지의 매몰이나 유실에 따른 피해액의 평균값(농경지 피해원단위)을 사용하기로 하며, 원단위는 「자연재난복구비용산정기준」(농림축산식품부고시 제2020-69호, 2020.09.11.)를 기준으로 한다. 이상의 과정을 수식으로 정리하면 아래 식과 같으며, 침수심 1m를 기준으로 한 농경지 손상률은 <표 3.29>와 같다.

$$\begin{aligned} \text{농경지 피해액} &= \text{매몰, 유실로 인한 농경지 피해원단위(원)} \times \text{피해경지 면적(m}^2\text{)} \\ &\times \text{손상률(\%)} \end{aligned} \tag{3.19}$$

**<표 3.28> 침수심에 따른 농경지 손상률**

	침수심 1m 미만	침수심 1m 이상	비 고
농경지 손상률	0%	100%	- 피해원단위는 매몰과 유실 평균값을 사용 - 매몰: 매몰면적(m <sup>2</sup> )×1,658원/m <sup>2</sup> (2020년 기준) - 유실: 유실면적(m <sup>2</sup> )×5,136원/m <sup>2</sup> (2020년 기준)

출처: 농림축산식품부, 「자연재난복구비용산정기준」, 농림축산식품부고시 제2020-69호, 2020.09.11.

### 3.6 공공시설 피해

다차원법에서 사용하는 공공시설 피해계수의 경우 일본 국토건설성의 침수경제조사메뉴얼을 그대로 사용하였는데, 이는 2000년 이전 일본의 수해자료를 토대로 하고 있으므로 국내 실정에 적합하지 않다는 지적이 있었다. 이에 <표 3.30>의 절차를 통해 2006~2020년 재해연보(행정안전부)에서의 주요 피해사례(호우/태풍유형, 건물 침수피해 10동 이상 발생 건)와 침수흔적도를 수집하고, 여기서 86건의 신뢰도 높은 피해사례를 사후분석하여 공공시설 피해 비율계수를 결정하였다. 공공시설 전체 기준 피해 비율계수는 0.865이며, 공공시설 유형별 값은 <표 3.31>과 같다.

$$\text{공공시설 피해액} = \text{사유자산(건물, 차량, 농업) 및 인적피해(원)} \times \text{공공시설 피해 비율계수} \quad (3.20)$$

<표 3.29> 공공시설 피해계수 결정 절차

절차	주요 내용
1) 과거 피해자료 수집, 정리	- 재해연보(행안부): 피해유형별 피해물량, 피해액 정보 - 침수흔적도(LX공사): 침수범위 및 침수심 정보
2) 피해사례 추출	- 일정 규모 이상(건물 10동 이상 침수)의 침수 사례 선택 - 수해와 무관한 피해항목(항만, 어항 등) 제외 - 침수흔적도가 제작되지 않거나 신뢰도가 부족한 피해사례 제외
3) 사유자산 피해액 분석	- 해당 피해사례에서의 사유자산 피해 및 인적피해 시뮬레이션
4) 공공시설물 피해계수 결정	- 피해사례별 사유자산 피해 결과와 공공시설 피해와의 관계분석 - 피해계수 결정

<표 3.30> 공공시설 피해 비율계수

	도로	하천	소하천	수도	철도	수리	소규모	기타	전체
피해 비율계수	0.143	0.202	0.193	0.027	0.008	0.087	0.116	0.089	0.865

## 제4장



### 적용사례: 원주천댐 건설 타당성재조사

원주댐 건설사업은 2016년 12월 타당성재조사 시행 요청에 따라 2017년에 타당성재조사가 실시되었고, 당시 홍수피해 저감효과를 분석하기 위한 방법론으로 “다차원 홍수피해산정법 (MD-FDA)”을 사용하였다. 이 과정에서 산정한 원주댐 건설사업의 연평균피해경감액(연평균편익)은 4,506백만원이며, 총편익은 2015년 기준 경제성장률 미반영시 72,619백만원, 경제성장률 반영시 118,577백만원으로 추정되었다. 본 절에서는 원주천댐 건설 타당성재조사 당시 사용한 홍수빈도별 사업전후 각각의 침수구역도를 사용하고, 2017년을 기준년으로 하여 K-FRM을 적용하였다.

#### 4.1 예상 침수구역 (기분식 결과)







사업전후 홍수빈도별 예상 침수구역도는 <표 4.1>과 같으며, 피해예상 지역은 원주시 내 판부면, 중앙동, 원인동, 개운동, 단구동, 일산동, 우산동, 태장1동, 태장2동, 봉산동, 반곡관설동을 포함한 11개 읍면동이다.

<표 4.1> 사업전후 홍수빈도별 예상 침수구역도 (계속)

홍수빈도	사업 미시행	사업 시행
50년		



〈표 4.1〉 사업전후 홍수빈도별 예상 침수구역도

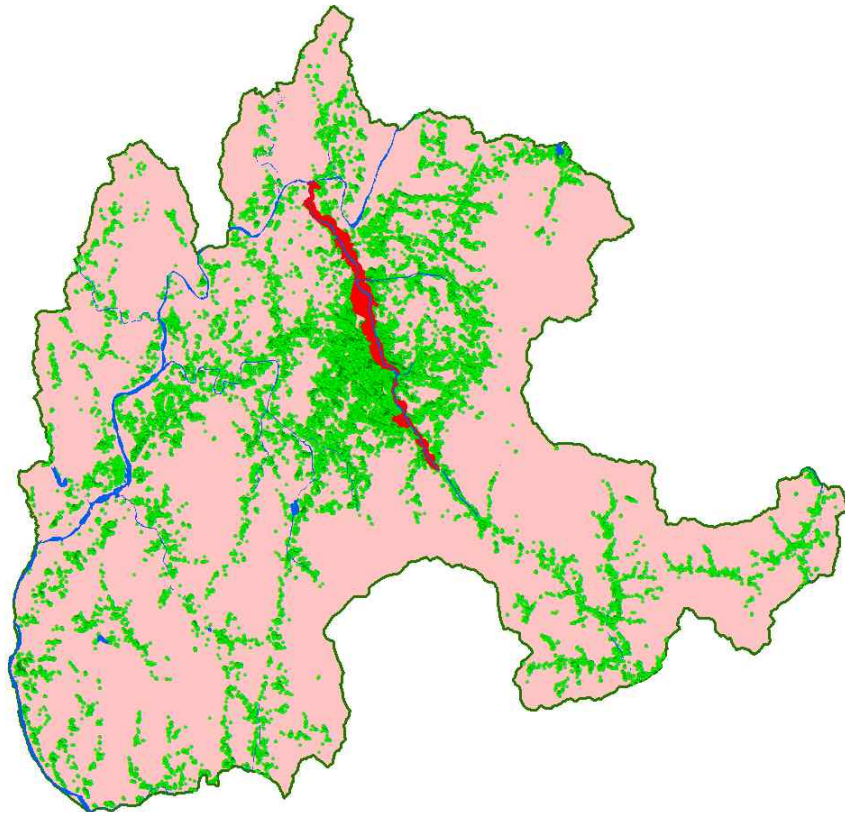
홍수빈도	사업 미시행	사업 시행
80년		
100년		
200년		



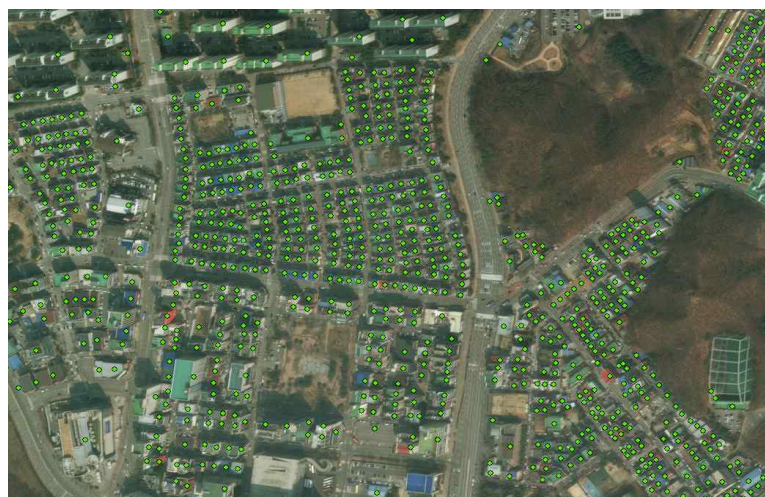
## 4.2 건물피해

### 4.2.1 건물 인벤토리

최고 홍수빈도에서 사업 미시행 시나리오의 침수구역도(최대 침수범위)에 편입된 지자체(시군구)는 원주시이며, K-CDMS에서 제공하는 건물 인벤토리 DB를 사용하였다. <그림 4.2>는 K-FRM 분석에 사용한 건물 인벤토리 현황이며, 건물객체는 총 61,413개이다.



〈그림 4.1〉 원주시 건물 인벤토리 현황



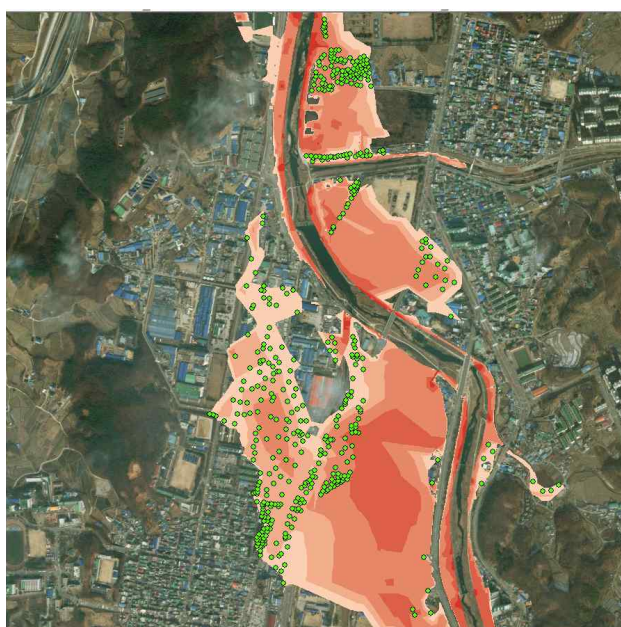
〈그림 4.2〉 건물 인벤토리 구축

## 4.2.2 피해건물 추출

위에서 구축한 건물 인벤토리(.shp)와 침수구역도를 중첩분석하여 해당 건물에서의 침수심을 결정하였다. 이때의 침수심은 건물외부에서 침수심이므로, 건물용도별 출입구 높이가 반영된 실제 피해건물의 물량은 <표 4.2>와 같다.

<표 4.2> 피해건물 추출

홍수빈도	피해건물의 수 (동)			
	50년	80년	100년	200년
사업미시행 (A)	1,537	1,891	2,009	2,416
사업시행 (B)	1,245	1,519	1,634	2,033
사업시행에 따른 무피해건물 (A-B)	292	372	375	383



<그림 4.3> 피해건물 확인 및 침수심 결정

## 4.2.3 자산가치 평가

건물 인벤토리에서 확인되는 건물속성(건물정보)인 건축면적, 건물구조와 건물용도에 따른 재구매비, 건물 사용연수에 따른 잔존률 20% 가정 하 감가상각률을 고려하여 건물구조물 자산가치를 건물 객체별로 평가하였다. 건물내용물 자산가치는 건물구조물 자산가치 결과와 사전 정의된 건물용도별 CSV(%)을 이용하여 평가하였다. 여기서의 자산가치란 건물 1층(건물내부 바닥으로부터 3m까지)을 기준으로 한 자산가치이며, 해당건물이 가지는 최대피해액을 의미한다. 위 과정으로부터 피해건물에 대해 건물구조물과 건물내용물의 자산가치 평가 결과를 정리하면 <표 4.3>과 같다.

〈표 4.3〉 피해건물 자산가치 평가결과

구분		피해건물 (동)	자산가치 평가결과 (백만원)		
			건물구조물	건물내용물	합계
50년	미시행	1,537	136,622	57,119	193,741
	시행	1,245	109,716	46,868	156,584
80년	미시행	1,891	162,917	69,700	232,617
	시행	1,519	134,296	56,497	190,793
100년	미시행	2,009	173,875	75,045	248,920
	시행	1,634	143,235	60,685	203,920
200년	미시행	2,416	205,934	88,404	294,338
	시행	2,033	174,124	76,036	250,160

#### 4.2.4 건물피해 산정

건물별 산정된 건물구조물과 건물내용물의 자산가치에서 출입구 높이를 고려한 건물내부 1층 바닥기준 침수 심으로부터 손실률(%)를 결정하여 피해액을 산정하였다. 기초사 결과와의 비교를 위해 주거자산의 주거건물과 산업자산 의미를 가지는 비주거건물로 구분하여 정리하였다. 건물피해액 산정결과(표 4.4)를 살펴보면, 사업미시행의 경우 50년 빈도에서 26,596백만원, 200년 빈도에서는 53,664백만원으로 나타났고, 사업시행의 경우 50년 빈도에서 20,285백만원, 200년 빈도에서 40,320백만원으로 산정되었다. 주거건물과 비주거건물로 구분하여 살펴보면, 약 1.5배 가량 비주거건물 피해가 높게 산정되었다. 앞에서 제시한 피해건물 자산가치 기준 평균 피해율은 13.0%에서 18.2% 수준으로 나타났으며, 고빈도로 갈수록 피해율이 높은 결과를 보였다.

〈표 4.4〉 건물피해액 산정 결과

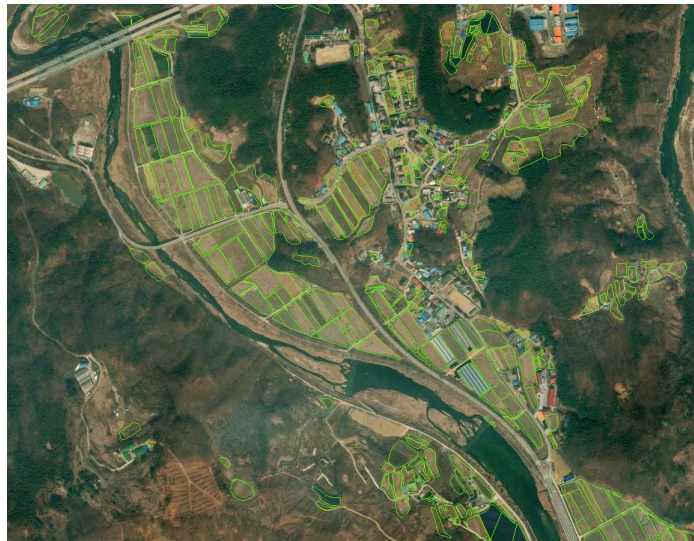
구분		주거건물 피해액 (백만원)			비주거건물 피해액 (백만원)			합계 (백만원)	자산가치 대비 피해율
		건물 구조물	건물 내용물	소계	건물 구조물	건물 내용물	소계		
50년	미시행	4,963	4,444	9,408	7,721	9,467	17,188	26,596	13.7%
	시행	3,956	3,479	7,435	5,699	7,151	12,850	20,285	13.0%
	경감액	1,007	965	1,973	2,022	2,316	4,338	6,311	
80년	미시행	8,233	7,371	15,604	8,553	11,011	19,564	35,168	15.1%
	시행	6,273	5,598	11,871	6,296	8,221	14,517	26,388	13.8%
	경감액	1,960	1,773	3,733	2,257	2,790	5,047	8,780	
100년	미시행	9,050	8,255	17,304	9,924	12,417	22,341	39,645	15.9%
	시행	6,999	6,259	13,258	6,966	9,112	16,078	29,336	14.4%
	경감액	2,051	1,996	4,046	2,958	3,305	6,263	10,309	
200년	미시행	12,081	11,747	23,828	13,161	16,676	29,836	53,664	18.2%
	시행	9,293	8,588	17,882	9,822	12,616	22,438	40,320	16.1%
	경감액	2,788	3,159	5,946	3,339	4,060	7,398	13,344	



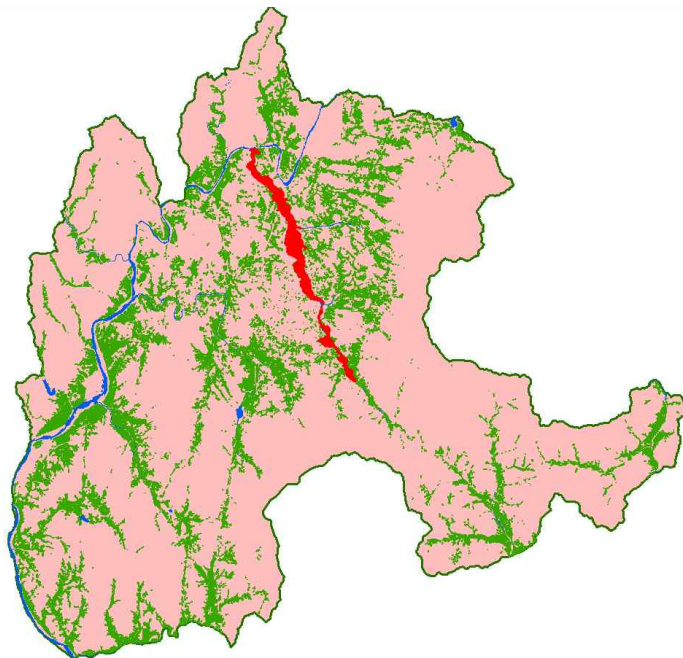
## 4.3 농업피해

### 4.3.1 농업 인벤토리

농업 인벤토리는 농작물피해와 농경지피해를 산정하는 데 활용되며, K-CDMS에서 제공하는 DB를 사용하였다. 인벤토리 기초자료는 농림축산식품부에서 전국에 대해 제작된 스마트팜 맵(농경지 전자지도)이다. 스마트팜 맵(.shp)에는 논, 밭, 시설, 비경지, 과수, 약용 경지 객체에 대한 GIS 정보를 제공한다. K-FRM에서는 과수를 제외한 논, 밭, 시설, 약용 경지 객체를 농경지 인벤토리에 활용하며, 논과 인삼의 경우 논벼와 약용작물이 재배되는 것으로 하고, 시설은 시설딸기, 밭은 본 연구에서 선정한 7개 대표 밭작물이 해당 경지에서 재배되는 것으로 간주한다. 원주시 전체 농경지 분포는 다음과 같으며, 총 경지면적은 76.2km<sup>2</sup>이다.



〈그림 4.4〉 농업 인벤토리 구축



〈그림 4.5〉 원주시 농업 인벤토리 분포

### 4.3.2 피해경지 추출

위에서 구축한 농경지 인벤토리(.shp)와 침수구역도를 중첩분석하여 피해경지를 추출하고 피해경지 면적은 <표 4.5>이다. 건물과는 달리 농경지 도형은 폴리곤 형태이므로 피해경지의 규모는 피해경지 유형별 피해면적이 결정되어야 한다. 이것은 앞에서 설명한 농작물/농경지 피해원단위와 연계된다.

〈표 4.5〉 피해경지 추출

구분	피해경지 면적 (ha)			
	50년	80년	100년	200년
사업미시행 (A)	97.2	104.6	107.3	116.3
사업시행 (B)	90.8	98.3	101.4	110.3
사업시행에 따른 무피해경지 (A-B)	6.5	6.3	5.9	6.0

주: 1ha = 10,000㎡



〈그림 4.6〉 피해경지 추출

### 4.3.3 피해경지에 대한 투입생산비 및 기대순수익 총량 결정

K-FRM에서 정의하는 농작물 피해기준은 생산비 매몰비용과 순수익 손해이다. 여기서 생산비 매몰비용이란 경작시작부터 피해발생까지 투입된 생산비의 회수불가에 따른 피해이며, 순수익 손해란 피해발생에 따른 기대 순수익 하락에 따른 피해를 의미한다. 이는 건물의 자산가치와 같은 성격의 발생가능한 최대피해액을 의미한다. 앞에서 결정한 피해경지 면적에서 농작물 피해원단위를 곱한 투입생산비와 기대순수익 총량은 <표 4.6>과 같다.

〈표 4.6〉 투입생산비 및 기대순수익 총량

구분		피해면적 (ha)					투입생산비 총량 (백만원)	기대순수익 총량 (백만원)	합계 (백만원)
		논	시설	인삼	밭	합계			
50년	미시행	79.5	2.4	0.8	14.5	97.2	747.3	395.4	1,142.7
	시행	74.6	2.2	0.7	13.2	90.8	689.5	365.9	1,055.4
80년	미시행	84.7	2.6	0.9	16.4	104.6	812.2	429.4	1,241.6
	시행	80.4	2.5	0.8	14.6	98.3	761.4	402.4	1,163.8
100년	미시행	86.3	2.7	0.9	17.3	107.3	834.2	441.6	1,275.8
	시행	82.7	2.6	0.9	15.3	101.4	785.3	416.1	1,201.4
200년	미시행	91.9	2.9	1.1	20.4	116.3	912.4	480.8	1,393.2
	시행	88.8	2.7	1.0	17.9	110.3	857.0	455.3	1,312.3

#### 4.3.4 농작물 피해액 산정

위에서 결정한 논, 시설, 인삼, 밭에서 재배되는 10개 작물에 대한 피해면적과 각각의 투입생산비 및 기대순수익 원단위로부터 총량을 결정하고, 해당 경지에서의 침수심을 침수기간-침수심-손상률 관계를 참조하여 작물별 피해액을 산정하였다. 이때, 침수기간은 1~2일로 가정하였다. 홍수빈도별 사업 시행여부에 따라 산정된 피해액 결과는 〈표 4.7〉과 같다.

〈표 4.7〉 농작물피해액 산정 결과

구분		농작물 피해액 (백만원)					총량 대비 피해율
		논벼	시설딸기	인삼	밭작물	합계	
50년	미시행	86.8	142.4	94.3	55.7	379.1	33.2%
	시행	79.8	131.9	84.2	50.5	346.5	32.8%
	경감액	7.0	10.5	10.1	5.2	32.6	
80년	미시행	94.9	157.0	109.5	62.8	424.2	34.2%
	시행	87.6	145.0	98.1	56.5	387.1	33.3%
	경감액	7.3	12.0	11.4	6.3	37.1	
100년	미시행	98.7	160.4	117.2	66.3	442.6	34.7%
	시행	90.8	149.1	105.6	59.3	404.7	33.7%
	경감액	7.9	11.3	11.6	7.0	37.9	
200년	미시행	112.2	178.6	134.3	78.0	503.0	36.1%
	시행	102.9	163.6	125.6	69.2	461.2	35.1%
	경감액	9.3	15	8.7	8.8	41.8	

#### 4.3.5 농경지 피해액 산정

유실이나 매몰로 인한 농경지 피해는 밭과 논 동일하게 침수심 1m를 경계로 피해유무를 판별한다. 위에서의 농작물 피해액 산정과정에서의 피해경지 가운데 침수심 1m 이상의 농경지를 추출하여 농경지 피해면적을 계산하고, 방법론에서 제시한 매몰, 유실에 따른 평균 원단위에서 건설업 GDP 디플레이터를 이용하여 분석 기

준연도로 보정한 값을 이용하여 농경지피해액을 <표 4.9>과 같이 산정하였다.

**<표 4.8> 농경지피해액 산정 결과**

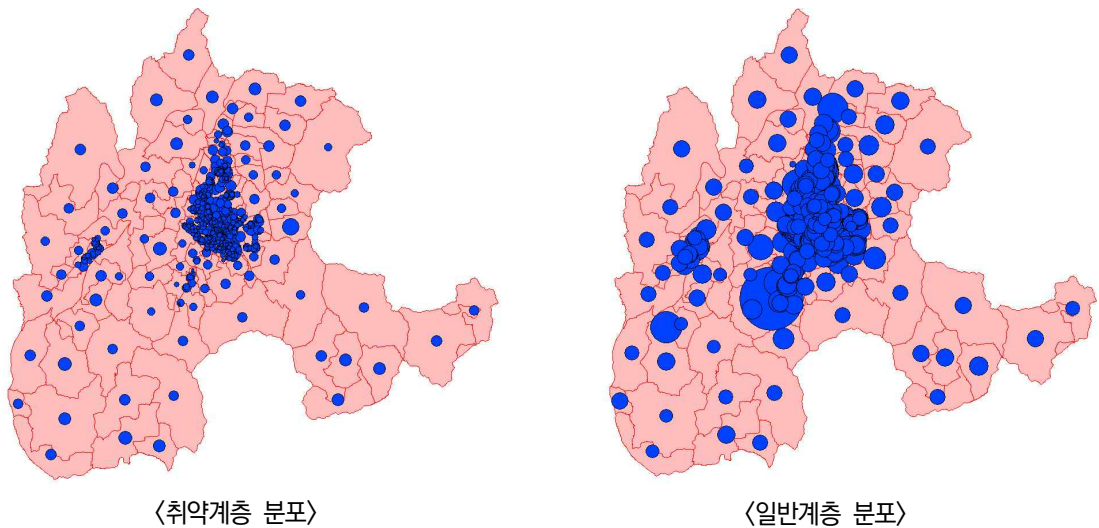
구분		피해농경지 면적 (ha)			농경지피해액 (백만원)		
		논	밭	합계	논	밭	합계
50년	미시행	48.7	8.8	57.5	3,771.0	681.4	4,452.4
	시행	44.8	7.8	52.7	3,469.0	604.0	4,080.7
	경감	3.9	1.0	4.8	302.0	77.4	371.7
80년	미시행	53.1	10.2	63.3	4,111.7	789.8	4,901.5
	시행	49.2	9.1	58.3	3,809.7	704.6	4,514.3
	경감				302.0	85.2	387.2
100년	미시행	55.2	11.0	66.2	4,274.3	851.8	5,126.1
	시행	51.0	9.9	60.9	3,949.1	766.6	4,715.7
	경감				325.2	85.2	410.4
200년	미시행	62.9	13.1	76.0	4,870.5	1,014.4	5,884.9
	시행	57.4	11.9	69.3	4,444.6	921.5	5,366.1
	경감				425.9	92.9	518.8

주) 인삼, 시설 경지는 밭 지목으로 포함

## 4.4 인적피해 (인명, 이재민)

### 4.4.1 인구 인벤토리

K-FRM에서는 인구 인벤토리를 위해 인구총조사(인구센서스) 자료를 사용하며, K-CDMS에서 수집한 원주시 인구 인벤토리의 경우 33만명의 인구가 존재하는 것으로 나타났다. 집계구별 취약계층과 일반계층 인구 분포는 다음 그림과 같다.



〈그림 4.7〉 원주시 인구 인벤토리 분포

### 4.4.2 노출위험인구 결정

침수구역도(.shp), 인구 인벤토리(.shp) 간의 중첩분석하여 노출위험인구(PAR)를 결정하였다. 노출위험인구란 지리적으로 홍수위험에 노출된 인구를 의미하며, 집계구 내 특정구역에서의 노출위험인구는 해당 집계구의 인구와 중첩분석을 통해 결정된 침수면적률을 바탕으로 결정된다. 침수구역도와 인구 인벤토리를 중첩분석한 결과로부터 계산되는 침수면적률과 침수심 1m 미만, 그리고 1m 이상의 침수구역에서의 일반계층과 취약계층의 PAR은 〈표 4.9〉와 같다.



〈표 4.9〉 노출위험인구(PAR) 결정

(단위: 인)

구분		침수심 1m 미만		침수심 1m 이상		PAR 합계
		PAR(취약)	PAR(일반)	PAR(취약)	PAR(일반)	
50년	미시행	1,049	5,033	396	1,414	7,891
	시행	973	4,660	309	1,052	6,995
80년	미시행	1,085	5,065	522	2,021	8,693
	시행	1,037	4,957	397	1,391	7,781
100년	미시행	1,079	4,980	583	2,368	9,009
	시행	1,054	4,991	435	1,591	8,071
200년	미시행	926	4,135	970	4,240	10,271
	시행	1,050	4,769	621	2,559	8,998

#### 4.4.3 인명 및 이재민 피해액 산정

노출위험인구(PAR)와 인명/이재민 피해발생확률을 고려하여 인명피해 규모(사상자수)와 이재민수를 결정하였다. 인명피해액은 결정된 사상자수에서 피해원단위인 405,406천원 (소비자물가지수를 이용하여 환산, 2015년 100, 2017년 102.93)을 적용하였고, 이재민은 대피기간 10일, 분석기준 연도 피해원단위를 사용하였다.

〈표 4.10〉 인명/이재민피해액 산정 결과

구분		피해물량 (인)		인적피해액 (백만원)	
		사상자수	이재민수	인명피해액	이재민피해액
50년	미시행	1.77	1,058	718	969
	시행	1.49	938	604	859
	경감	0.28	120	114	110
80년	미시행	2.14	1,166	866	1,068
	시행	1.75	1,043	710	956
	경감	0.39	123	156	112
100년	미시행	2.31	1,208	938	1,107
	시행	1.87	1,082	759	991
	경감	0.44	126	179	116
200년	미시행	3.25	1,377	1,319	1,262
	시행	2.39	1,207	969	1,105
	경감	0.86	170	350	157

## 4.5 차량피해

### 4.5.1 차량 인벤토리

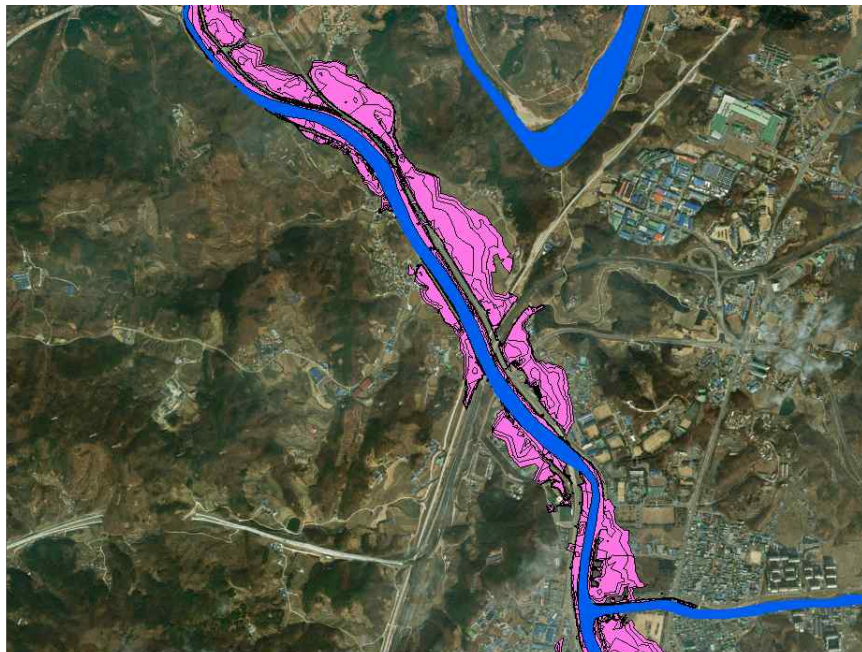
K-FRM에서는 차량 인벤토리를 위한 기초자료로 자동차등록자료를 사용한다. K-CDMS에서 제공하는 원주시 차량 인벤토리를 다운받아 차량피해 산정 과정에 사용하였다. 원주시 총 차량대수는 154,208대이며, 차량유형별 차량대수와 차량가치를 정리하면 아래 표와 같다.

〈표 4.11〉 원주시 차량현황 및 차량 자산가치 결정

읍면동	차량대수 (대)			차량가치 (백만원)		
	세단	승합/경트럭	대형버스/ 대형트럭	세단	승합/경트럭	대형버스/ 대형트럭
총합계	95,334	54,236	4,638	2,099,170	1,274,423	426,299

### 4.5.2 침수편입률 결정을 위한 중첩분석

침수편입률(inundated rate, %)이란 집계구 내 어느 침수심 구간을 가지는 구역의 면적과 해당 집계구의 면적간의 비율을 뜻하며, 침수깊이에 따른 차량 손상성을 하나의 집계구 내에서 차별적으로 정의하기 위해 사용하는 개념이다. 집계구(면)를 기준으로 면 공간 내 취합된 정보를 가지는 차량 인벤토리는 인명 및 이재민피해 분석절차와 마찬가지로 벡터자료 간의 중첩분석을 실시하여 침수편입률을 결정하고, 이를 기준으로 차량가치를 공간적으로 평균 배분하였다.



〈그림 4.8〉 침수구역 내 편입된 차량 인벤토리 (중첩분석)

### 4.5.3 차량피해액 산정

차량 인벤토리와 침수구역도와의 중첩분석 결과로 인하여 생기는 면형태의 구역은 피해액 결정과정의 독립된 분석구역이며, 해당 분석구역이 속한 집계구 전체의 차량자산가치, 침수심 정보로부터 확인된 손상률(%)을 적용하여 피해액을 결정할 수 있다. 위 과정을 홍수빈도별 사업시행 및 미시행에 대해 분석하여 차량피해액을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

〈표 4.12〉 차량피해액 산정 결과

(단위: 백만원)

구분		Type I (세단)	Type II (승합/SUV/경트럭)	Type III (대형트럭/대형버스)	피해액 합계
50년	미시행	37,278	17,480	2,717	57,476
	시행	28,953	13,168	2,063	44,185
	경감	8,325	4,312	654	13,291
80년	미시행	45,435	21,982	3,607	71,024
	시행	36,696	17,202	2,667	56,565
	경감	8,739	4,780	940	14,459
100년	미시행	48,578	23,819	4,026	76,423
	시행	39,433	18,695	2,946	61,075
	경감	9,145	5,124	1,080	15,348
200년	미시행	61,659	32,069	6,275	100,003
	시행	49,463	24,447	4,206	78,116
	경감	12,196	7,622	2,069	21,887

## 4.6 공공시설 피해 및 종합

대상지역 내 철도시설이 없는 점을 고려하여 철도를 제외한 나머지 유형의 피해 비율계수인 0.857를 사용하여 공공시설 피해액을 산정하였다. 공공시설 피해액과 앞에서 산정한 사유자산 피해액을 종합하면 아래 표와 같다.

〈표 4.13〉 공공시설 피해 비율계수 결정

	도로	하천	소하천	수도	철도	수리	소규모	기타	전체
피해 비율계수	0.143	0.202	0.193	0.027	0.008	0.087	0.116	0.089	0.865
반영	0	0	0	0	×	0	0	0	0.857

〈표 4.14〉 공공시설 피해액 및 결과 종합

(단위: 백만원)

구분		50년		80년		100년		200년	
		미시행	시행	미시행	시행	미시행	시행	미시행	시행
건물	주거	9,408	7,435	15,604	11,871	17,304	13,258	23,828	17,882
	비주거	26,596	20,285	35,168	26,388	39,645	29,336	53,664	40,320
농업		4,832	4,427	5,326	4,901	5,569	5,120	6,388	5,827
인적		1,687	1,463	1,934	1,666	2,045	1,750	2,581	2,074
차량		4,452	4,081	4,902	4,514	5,126	4,716	5,885	5,366
공공시설		40,258	32,301	53,934	42,284	59,723	46,432	79,141	61,249
합계		87,233	69,992	116,868	91,624	129,412	100,612	171,487	132,718

## 제5장

### 결론 및 유지관리 방안

#### 5.1 요약 및 결론

그 동안 “다차원 홍수피해산정법”은 치수(홍수조절) 기능을 포함하는 수자원부문 사업의 편익산정 과정에 사용되어 왔고, 예비타당성조사를 비롯한 다양한 기본계획 및 정책 수립, 연구과정에 활용되어 왔다. 이 방법론은 2004년 개발 당시 지리정보체계(GIS)를 기반으로 하여 침수심 인자를 피해산정 과정에 고려할 수 있다는 측면에서 기존의 원단위법, 개선법과 비교할 때 괄목할 만한 발전이었으나, 방법론상의 한계를 태생적으로 가지고 있다. 본 연구는 위에서 설명한 다차원 홍수피해산정법을 사유자산(주거자산, 산업자산, 농업자산, 인명/이재민, 차량)을 중심으로 개선하기 위한 것으로, 그 동안 재기되어 온 이슈와 문제점을 밝히고, 자산정보(인벤토리), 평가기준, 손상함수, 계량화 원단위 등 방법론 전반적인 개선안을 제안하였다.

우선, 자산정보와 관계되는 기초자료 측면에서 다차원 홍수피해산정법의 문제점은 2004년 개발 당시 국가차원에서 제공되어 서비스되는 양질의 자료가 부족하였기 때문에, 보다 정확하고 다양한 자산정보를 포함하는 고해상도의 기초자료로 대체할 필요가 있었다. 본 연구에서는 이를 “인벤토리”라 정의하고, 지형공간자료 형태의 인벤토리 구조를 설계하여 향후 일관성 있는 자산정보를 사용가능한 토대를 마련하였다. 특히, 본 연구에서 사용하는 기초자료는 시간적 측면에서 대부분 매월 혹은 매년 갱신되어 적재되고 있어 대상지역 내 현 자산상태를 보다 정확하게 설명할 수 있다. 위치정확도 측면에서는 건물(주거건물, 비주거건물)과 농업(농작물, 농경지) 자산은 객체(object) 도형의 자료를 사용하여 해당자산의 직접적인 위치를 참조할 수 있으며, 위치적으로 고정되지 않은 인구와 차량은 읍면동이 아닌 집계구(읍면동의 약 1/23 크기) 경계를 기초단위로 하여 분석 해상도를 향상하였다. 그리고 각각의 자산은 기존 방법에서 구분한 분류체계에서 확장하여 세분화하였고, 건물은 31종, 농작물은 10종, 신규 피해자산으로 제시한 차량은 3종으로 구분하였다.

그리고 주거자산, 산업자산, 농업자산, 그리고 인명, 이재민에 대한 피해 평가기준에 대해 재정립하였다. 주거자산과 산업자산은 건물(건축물)로서 통합하고 이를 주거건물, 비주거건물로 구분하여 “산업”이란 용어에서 야기될 수 있는 불분명한 의미를 분석과정에서 배제하였다. 건물피해는 다차원 홍수피해산정법에서는 완전대체비용(재구매비)과 감가상각을 고려한 비용(현재가)에 대해 명확한 기준을 설명하고 있지 못하였는데, 본 연구에서는 이를 완전대체비용에서 사용연한을 고려한 현재가로 통일하였다. 이 기준은 대부분의 자연재난 손실모델에서 사용하고 있다. 농작물은 “투입생산비의 매몰비용에 따른 피해”와 “기대수익의 하락에 따른 피해”로 정의하였다. 인명과 이재민 피해는 홍수 시나리오에 따라 예상가능한 사상자수 혹은 이재민수를 결정한 뒤, 피해원단위를 적

용하며, 차량은 건물과 마찬가지로 차량 잔존가치를 기준으로 피해액을 평가한다.

자연재난 손실모델에서는 재난강도에 따른 자산의 취약성을 손상함수 혹은 취약도함수(fragility curve or vulnerability curve)로 설명하고 있는데, 다차원 홍수피해산정법에서는 대부분 일본 치수경제조사메뉴얼에서 제시한 함수를 사용하고 있다. 농작물의 경우 일본과 자산특성이 유사할 수 있으나, 건물은 건축법, 건축특성, 건축공법, 가재자산 측면에서 상당히 차이가 있기 때문에 되도록 국내 실정의 함수를 사용하는 것이 바람직하다. 이에 본 연구에서는 각 자산유형별 손상함수를 피해조사자료 혹은 전문가의견 등을 활용하여 국내 고유의 함수를 모델에 사용할 수 있도록 노력하였다. 재난강도에 따른 손실률(자산가치 대비 피해액 비율, %) 관계를 설명하는 손상함수는 건물(주거, 비주거), 농업(농작물, 농경지), 차량 자산에 사용되며, 인명과 이재민은 PAR(노출위험인구)를 기준으로 제시한 피해 발생확률을 사용하였다.

예상되는 피해규모를 금전적인 형태로 환산하기 위해서는 화폐단위의 원단위가 요구되는 데, 건물에서 건물구조물 자산가치를 평가하기 위해 건축신축단가(원/m<sup>2</sup>)를 사용하며, 건물내용물 자산가치는 건물구조물 자산가치 대비 건물내용물 자산가치의 비율을 의미하는 CSV<sub>R</sub> 개념을 사용하여 보다 간편하고 직관적인 방법을 제시하였다. CSV<sub>R</sub>을 결정하는 데는 KB손해보험과 현대해상화재보험 내 보험 가입자료를 사용하였다. 농작물은 표준생산비와 표준순수익을 10종의 대표작물에 대해 검토하고, 생육기간을 고려한 홍수기(6~9월) 평균 투입생산비와 기대순수익을 사전 결정하였다. 이때의 투입생산비와 기대순수익은 건물 자산가치의 개념으로 여기서 발생가능한 최대 피해액을 의미한다. 농경지는 다차원 홍수피해산정법의 원단위 그대로 매몰과 유실에 따른 피해원단위를 사용하였다. 인명피해는 한국교통연구원에서 추정한 사상자당 도로교통사고비용(PSG 포함)을 피해 원단위로 사용하였고, 이재민피해에서는 기존 방법론과 같은 일평균 국민소득을 채택하였다.

한편, 기존의 다차원 홍수피해산정법은 자산가치를 평가하는 데 읍면동 혹은 시군구 단위의 면에 대한 취합된 통계자료를 기초로 전체 자산가치를 평가하고 이를 피해지역으로 배분하는 방식이기 때문에 분석과정에서 실제적인 피해물량(예: 피해건물개소, 피해차량대수, 피해경지면적)을 파악하기 어려운 단점이 있다. 그렇기 때문에 분석과정에서 간혹 있을 지도 모를 계산상의 실수나 피드백이 어렵고, 담당자 입장에서도 분석결과를 검토하는데 한계가 있었다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법론은 다루는 피해목적물별 피해물량을 명확히 제시하여 이를 바탕으로 분석결과에 대한 설명력과 직관성을 높였고, 실질적으로 피해가 예상되는 자산규모를 피해물량과 피해액 모두 제시할 수 있다는 측면에서 장점이 있다.

## 5.2 정책 활용방안 및 향후연구

사유자산의 경우 인벤토리 DB 구축에 필요한 기초자료의 적재주기가 월 혹은 연 단위이고, 구축에 필요한 시간, 예산을 고려할 때 갱신주기는 1년 혹은 2년이 적합할 것으로 판단된다. 인벤토리 DB 업데이트 절차는 구축시점 전년 말 기준 원자료 수집, 자료정리 및 연계, 오류검토 및 보완, 그리고 탑재 순이다. 인벤토리 구축에 필요한 원자료와 해당 자료의 적재주기, 사용자료, 소요업무량을 정리하면 다음과 같다.

〈표 5.1〉 인벤토리 DB 유지관리 사항

피해목적물	자료출처			업데이트시 사용자료	소요 업무량
	원자료명	자료형태	적재주기		
건물	건축물대장	.TXT	1개월	해당년 12월	상
	도로명주소전자지도	.SHP	1개월	해당년 12월	
차량	자동차등록통계	.TXT	1개월	해당년 12월	중
	인구/산업총조사	.TXT	5년 (1년)	최신	
	집계구 전자지도	.SHP	1년	최신	
농업 (농작물/농경지)	스마트팜맵	.TXT	비일정	최신	하
	농업면적조사	.TXT	1년	최신	
인구 (인명/이주민)	인구총조사	.TXT	5년 (1년)	최신	중
	집계구 전자지도	.SHP	1년	최신	

피해액 산정 과정에서 필요한 피해계량화 원단위는 특정 기준년도에 대한 물가정보가 반영된 탄력적인 자료이다. 이때 사용되는 기초자료 대부분은 연단위로 공표, 제공하고 있으므로 최소 갱신주기는 1년이며, CSV, 출입구높이와 같은 원단위는 별도 연구결과를 근거로 업데이트가 필요하다. 피해목적물별 피해계량화에 필요한 유지관리 사항을 정리하면 다음과 같다.

〈표 5.2〉 피해원단위 및 파라미터 관리

구분	필요 원단위	업데이트 필요여부	갱신방법	비고
건물	신축단가	○	건축물 신축단가 (한국감정원)	비통계
	CSV	△	보험가입자료 활용 (보험사)	비통계
	출입구높이	△	현장조사자료 활용	비통계
차량	차종비	○	자동차등록통계자료 활용	통계
	차량가액	○	자동차 시장가 (보험사)	비통계
	잔존률	○	자동차등록통계자료 활용	통계
농업	재배현황비	○	농업면적조사	통계
	투입생산비, 기대순수익	△	농축산물생산비조사 농축산물소득자료집	통계

본 연구에서 다루는 재난손실모델은 활용주체에 따라 차별적으로 사용된다. 보험산업에서는 재난 시뮬레이션을 통한 빈도와 심도로부터 피보험자에 대한 잠재적 손실(insured damage)을 추정하기 위한 모델을 개발하는 반면, 정부기관이나 학계의 경우 사회 전반적인 경제적 손실을 정량적으로 추정하기 위한 모델 개발에 심혈을 기울인다. 본 연구와 같이 공공목적으로 개발된 모델은 일반적으로 위험지구 검토, 토지이용계획 수립, 리스크·취약성 평가, 경제성분석, 투자우선순위 결정, 비용배분 등 다양한 과정에 활용되고 있다.

공공 관점의 활용도를 구체적으로 살펴보면, 국가예산 집행의 효율성을 재고하기 위한 목적으로 풍수해저감 사업을 비롯한 치수목적의 사업의 경제성 및 타당성평가 과정에 활용할 수 있다. 현재 행정안전부의 자연재해위험개선지구 관리지침, 국토부의 하천기본계획 수립시 준용되는 하천설계기준, 댐설계기준, 기재부 관리 하에 KDI에서 수행하는 예비타당성조사의 표준지침에 반영될 수 있다. 구조적 대책수립 외 비구조적 대책 수립에도 활용할 수 있는데, 위험지역 피해저감 목적의 예상 피해물량 및 피해액을 참고하여 방재자원 계획 및 확보, 대피계획, 응급대책, 그리고 방재교육 및 훈련과정에 활용할 수 있다. 이처럼 사전 재난손실 예측 정보는 위험지구 내 자산규모, 인명 및 자산피해 등의 다양한 재해정보를 제공함으로써 풍수해 관리 및 대응과정에 활용할 수 있다. 재난손실모델 관점에서는 본 연구에서 대상으로 하는 호우재난을 표준모델로 하여 태풍, 지진, 쓰나미, 산사태, 화산재 등 한국형 재난손실 평가 모델로의 확장에 기여할 것으로 판단된다.



## 참고문헌

1. 건설교통부 (2001) 치수사업 경제성분석 개선방안 연구.
2. 건설교통부 (2002) 하천설계기준.
3. 건설부 (2010) 하천시설기준.
4. 국토교통부 (2019) 댐설계기준.
5. 국토교통부 (2018) 하천설계기준.
6. 국토해양부 (2004) 치수사업 경제성분석 방법 연구.
7. 국토해양부·한국수자원공사 (2008) 수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구
8. 김길호, 김경탁 (2015) 홍수손실 평가를 위한 Hazus-MH 소프트웨어 소개. 한국방재학회지, 15(1), 62-71.
9. 한국감정원 (2018) 2018년 건물신축단가표.
10. 한국감정원 (2013) 유형고정자산 내용연수표.
11. 한국개발연구원 (2009) 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판).
12. 한국교통연구원 (2017) 2015년 교통사고비용 추정.
13. DEFRA (2006). Flood Risks to People. London: Environment Agency and Department for Environment, Food and Rural Affairs.
14. Dutta, D., Herath, S., and Musiake, K. (2003) A mathematical model for flood loss estimation. Journal of hydrology, 277(1-2), 24-49.
15. FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2012) Hazus-MH Flood Technical Manual.
16. FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2019) Hazus Comprehensive Data Management System (CDMS) User Guidance.
17. ICPR (International Commission for the Protection of the Rhine): Rhine-Atlas (2001) ICPR, Koblenz.
18. Jonkman, S.N., Bočkarjova, M., Kok, M., and Bernardini, P. (2008) Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. Ecological economics, 66(1), 77-90.
19. Klijn, F., Baan, P. J. A., De Bruijn, K. M., and Kwadijk, J. (2007) Overstromingsrisico's in Nederland in Een Veranderend Klimaat: Verwachtingen, Schattingen en Berekeningen Voor Het Project Nederland Later, WL delft hydraulics, Delft, Netherlands, Q4290.
20. McClelland, D.M. and Bowles, D.S. (2002) Estimating life loss for dam safety risk assessment —a review and new approach. IWR report 02-R-3.

21. Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., and Thieken, A. (2010) Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(8), 1697-1724.
22. Penning-Rowsell, E.C., and Chatterton, J.B. (1977) *The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques* Saxon House, Farnborough.
23. Penning-Rowsell, E.C., Green, C.H., Thompson, P.M., Coker, A.M., Tunstall, S.M., Richards, C., and Parker, D.J. (1992) *The Economics of Coastal Management: A Manual of Benefit Assessment Techniques*, DEFRA, London.
24. Penning-Rowsell, E., Viavattene, C., Pardoe, J., Chatterton, J., Parker, D., and Morris, J. (2010) *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques*, Flood Hazard Research Centre, Middlesex.
25. Reese, S., and Ramsay, D. (2010) *RiskScape: Flood Fragility Methodology*, Wellington, New Zealand. National Institute of Water and Atmospheric Research, 42.
26. Thieken, A.H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S., and Merz, B. (2008) Development and evaluation of FLEMOps—a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector, *WIT Transaction on Ecology and the Environment*, 118, 315-324.
27. USACE (US Army Corps of Engineers) (2006) *Depth-damage Relationships for Structures, Contents, and Vehicles and Content-to-structure Value Ratios (CSV) in Support of the, Donaldsonville to the Gulf, Louisiana, Feasibility Study*, New Orleans, Louisiana, USA.
28. USACE (US Army Corps of Engineers) (2012) *HEC-FIA flood impact analysis: User's manual*.
29. Vanneuville, W., Maddens, R., Collard, C., Bogaert, P., de Maeyer, P., and Antrop, M. (2006) *Impact op Mens en Economie T.G.V. Overstromingen Bekeken in Het Licht van Wijzigende Hydraulische Conditie, Omgevingsfactoren en Klimatologische Omstandigheden*, Vakgroep Geografie, Universiteit Gent, Gent, Belgium, MIRA/2006/02.
30. 건축물정보 민간개방시스템 (<http://open.eais.go.kr>)
31. 도로명주소 도움센터 (<http://www.juso.go.kr>)
32. 국토교통부 통계누리 (<http://stat.molit.go.kr/>)
33. 통계지리정보서비스 (<https://sgis.kostat.go.kr/>)
34. 国土交通省. (2005). 治水経済調査マニュアル (案).
35. 国土交通省 水管理・国土保全局 (2013), 水害の被害指標分析の手引.