



기본 | 17-23

도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II)

Development of the Urban Flooding Risk Prevention System (II)

이상은 외

도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II)

Development of the Urban Flooding Risk Prevention System(II)

이상은 외

■ 연구진

이상은 국토연구원 책임연구원(연구책임)

이병재 국토연구원 도시방재·수자원연구센터장

이종소 국토연구원 책임연구원

김슬예 국토연구원 연구원

■ 외부연구진

이태삼 경상대학교 교수

송창근 인천대학교 교수

김진현 (주)이에이트 대표이사

■ 연구심의위원

이상준 국토연구원 부원장

김명수 국토연구원 도시연구본부장

이용우 국토연구원 선임연구위원

한우석 국토연구원 책임연구원

황명화 국토연구원 책임연구원



전 세계적으로 물 관련 재해 피해가 지속적으로 증가하고 있다. 기후변화에 따른 집중호우 증가와 도시화로 인한 여건변화로 하천범람, 도시침수, 가뭄, 토사재해 등 물 관련 재해가 우리 사회에 더욱 큰 영향을 줄 것으로 예상하고 있으며, 국내외 많은 연구자들은 이례적인 수준의 재해 발생이 점차 일상화될 수 있음을 경고하고 있다. 우리나라 역시 도심지역에서의 침수피해가 문제로 제기되고 있는 가운데 최근 부산, 인천, 청주 등 대도시 지역에서 도시침수로 인한 많은 피해가 일어나 국민들의 안전하게 살 권리에 큰 위협으로 다가오고 있다.

현 시점에서, 국토, 도시, 건축, 토지이용, 하천, 재난관리 등 각 분야의 법령과 지침이 개선되고 많은 대책수단을 강구할 수 있도록 근거가 마련되고 있다. 하지만 도시화에 의한 개발압력과 도시하천 인근의 저지대 등을 안전한 공간으로 정비할 여유가 없기 때문에 현장의 도시계획 내용이 바뀌지 않는 한 도시침수 문제를 근본적으로 해결할 수 없는 실정이다. 2015년 UN 제69차 총회에서는 다음 15년 동안 정부는 구체적인 목표를 설정하고 재해에 대한 도시의 노출과 취약성을 감소시키는 데에 모든 가용수단을 결집하기도 하였다. 이러한 여건변화를 감안할 때 도시의 잘못된 개발계획에 경고를 주고 때로는 강제할 수 있도록 상당히 높은 수준의 기술기반이 확충되어야 할 것이다.

국가와 지자체의 정책 실무 수요에 맞춰 장래 재해로 인한 도시의 노출과 취약성을 객관적으로 측정하고 개발계획 변화나 방재분야 투자의 중요성을 증명할 수 있도록 위험도 평가기술이 실용화되어야 할 것이며, 평가를 통해 얻은 위험도 정보는 공간중심의 이해와 더불어 대책수단의 근거를 제공함으로써 계획단계의 실무부담을 줄여줘야 할 것이다.

이에 따라 본 연구는 총 3년의 기간에 걸쳐 도시침수 예방대책 지원시스템을 구축하고자 하였다. 도시방재계획에 필요한 실질적인 대책의 의사결정을 수행할 수 있도록 상세한 위험정보를 제공하고, 대책을 시행하기 위한 최적의 위치를 선정하며, 현장의 도시침수 위험원인과 담당자의 실무적 여건을 종합해 대책수립 방향을 안내하는 데 초점을 두고

있으며, 제도적 개선방향 연구 또한 추후 구축할 시스템의 운영·활용에 초점을 두고 있다. 1차년도 연구에는 개념정립 및 방법론을 검증하였으며, 2차년도 연구에는 시스템 구축 및 확대를 진행하였다. 마지막 3차년도 연구는 시스템의 활용 및 제도화를 위해 시범사업을 추진할 계획에 있다.

이러한 측면에서 「도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(Ⅲ)」 연구는 매우 의미 있는 연구라고 할 수 있다. 특히, 지자체의 도시계획 과정에서 도시침수에 대한 방재대책을 보다 적극적으로 강구하는 데 실질적으로 도움을 줄 수 있을 것으로 기대되며, 도시침수에 대한 안전도시를 조성하는 데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

끝으로 본 연구의 연구책임자로 노력을 아끼지 않은 이상은 책임연구원을 비롯하여 연구수행에 최선을 다한 이병재 도시방재수자원연구센터장, 이종소 책임연구원, 김슬예 연구원 그리고 다수의 외부연구진, 자문진, 원내외 심사위원 분들의 노고에 깊은 감사의 뜻을 전한다.

2017년 12월
국토연구원장 김 동 주

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS



본 연구보고서의 주요 내용

- 1 도시침수에 초점을 맞춰 재해예방형 도시계획의 실효성을 강화할 수 있도록 신뢰성 높은 위험정보를 공개하고, 고위험지역 위치, 대책수단 목록 등 의사결정에 필요한 참고자료를 제공하는 시스템 개발 (3차년도 연구 가운데 2차년도 연구)
- 2 광주시, 포천시 등 도시침수 피해가 예상되는 대상지에 대해 다양한 기상·수리·수문 기법을 연계하여 침수해석을 하고, 도시계획적 대책 수립에 필요한 재해특성, 영향권, 노출특성, 취약성 등의 위험정보를 구축하기 위한 방법론을 실증
- 3 시스템에서 제공되는 위험정보를 토대로 영향권 내 고위험지역 범위를 합리적으로 식별하고, 고위험지역의 주요 위험원인을 객관적으로 분석하기 위한 방법론을 제시
- 4 담당자의 수요를 고려해 시스템의 구조와 데이터베이스를 정의하고, 시스템 이용 시나리오에 맞춰 전송될 데이터베이스가 사용자 환경에서 편리하게 표출되도록 S/W의 화면설계를 실시

본 연구보고서의 정책제안

- 1 (단기: 시스템 활용성의 현장검증을 위한 시범사업 실시) 도시침수에 대한 재해예방형 도시계획 수립의 시급성이 높은 지자체를 대상으로 시스템의 유용성을 검토·보완할 수 있도록 3차년도 연구기간 내 시범사업을 실시
- 2 (중기: 시스템 운영과 자문의 제도적 근거 확보) 재해취약성 분석의 검증기관이 정밀 분석기능을 갖춘 시스템을 활용하여 지자체 자문역할을 담당하도록 관련 지침 개정
- 3 (장기: 시스템을 활용한 지자체 도시방재계획의 선진화 도모) 도시침수 예방대책 지원시스템을 매개로 중앙정부, 지자체, 전문연구기관 간의 협력체계를 마련한 뒤 매년 수요조사를 실시하고 지자체 기술자문을 통해 효과적인 방재대책을 제시



1. 연구의 개요

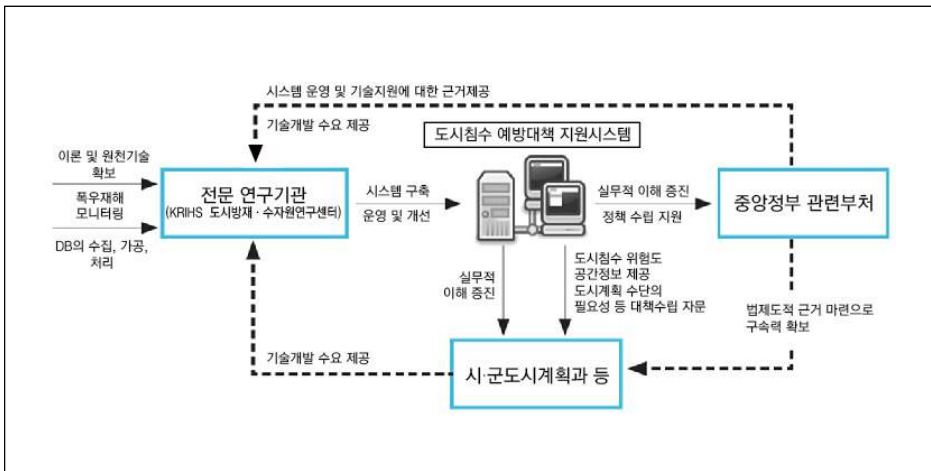
□ 연구의 배경 및 목적

- 재해예방형 도시계획의 실효성 강화를 위해서는 도시계획 담당자가 방재대책이 필요한 곳에 대해 신뢰할만한 정보를 쉽게 얻을 수 있도록 하는 도시침수 예방대책 지원 시스템이 필요

※ 재해예방형 도시계획(국토교통부, 2015): 기후변화 재해에 안전한 도시공간 조성을 위해 도시 내 재해위험의 시·공간적 변화에 따른 재해취약지역 및 주변지역에 대한 도시계획적 대책 등을 종합적으로 고려하여 수립하는 적응전략계획

- 향후 이 시스템을 매개로 중앙정부의 관련부처, 지자체, 전문 연구기관 간의 협력 체계를 마련한 뒤 도시방재계획의 선진화를 모색하는 것이 중요

그림 1 | 재해예방형 도시계획을 강화하기 위한 협력체계



자료: 저자 작성

- 이를 위해, 첫째, 관할지역의 도시침수 위험에 대한 인지수준을 제고하고, 둘째, 신뢰성 높은 위험정보를 기초로 관내 적극적 대책이 필요한 공간범위를 영향권으로 설정해 관리하도록 지원하며, 셋째, 도시계획 측면의 방재대책 의사결정에 필요한 정보를 제공할 수 있도록 시스템을 개발

□ 연구의 범위와 방법

- 본 연구(2차년도)는 도시침수 예방대책 지원시스템 구축을 위한 ‘시스템 구축 및 확대’ 단계로서 다음과 같은 연구를 수행함
- 첫째, 도시침수 위험을 쉽게 이해할 수 있도록 두 가지 종류의 행정구역별 기초자료(하천변 저지대 면적 지표와 자연재해 관리지구 면적 지표)를 개발함
- 둘째, 중부지방을 중심으로 중점관리 대상지역을 8개소 선정하고, 경기도 광주시와 포천시의 대상지에 대해서는 침수해석, 공간분석 등을 통해 상세 위험정보를 파악한 뒤 최종적으로 도시침수의 영향권을 명확히 설정함
- 셋째, 시스템에서 제공하는 위험정보를 이용해 고위험지역 위치와 주요 원인을 합리적으로 도출하기 위한 방법론을 정립하고 실증한 뒤 방재대책 의사결정에 필요한 자료 제시
- 넷째, 시스템의 내용물을 담는 ‘그릇’인 도시침수 예방대책 지원시스템을 3차년도에 본격 구축할 수 있도록 데이터베이스의 대상을 정의하고, 개념설계, 논리설계, 자료처리 등을 실시하며, 향후 사용자 시나리오에 맞춰 시스템 화면을 설계함

2. 행정구역별 도시침수 기초자료 구축

□ 하천변 저지대의 면적 지표

- 침수발생의 지형적 여건을 쉽게 확인할 수 있도록 공간자료 분석과 통계기법을 응용하여 하천변 저지대 면적의 지표를 행정구역별로 산정하는 방법을 제시

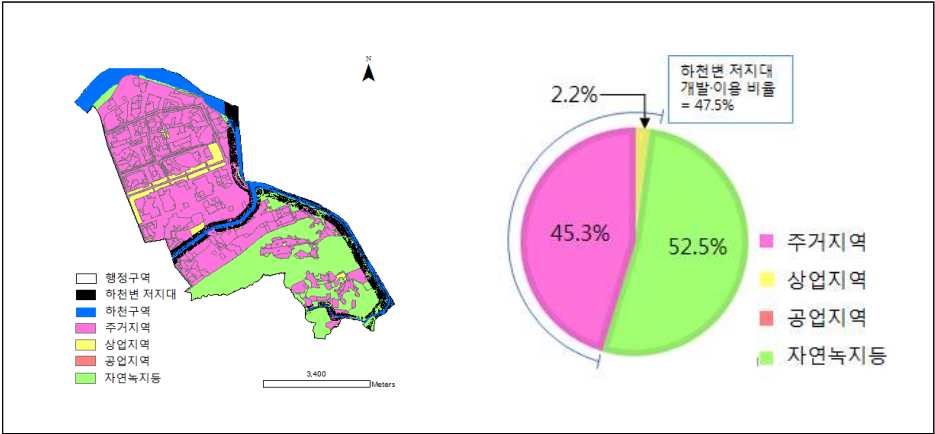
- 지방하천에 초점을 맞춰 시·군·구 단위로 저지대 면적을 분석한 결과, 행정구역 면적 대비 평균 2.9%의 저지대가 있으며, 수도권 일부 지역은 저지대 면적 비율이 상대적으로 높은 수준이나 이용하는 정도는 도시개발 압력에 따라 차이가 큼

그림 2 | 저지대 면적 지표를 구하기 위한 공간자료 분석 결과 : 영평천의 예



자료: 저자 작성

그림 3 | 지방하천의 하천변 저지대 이용방식 : 서울시 강남구의 예

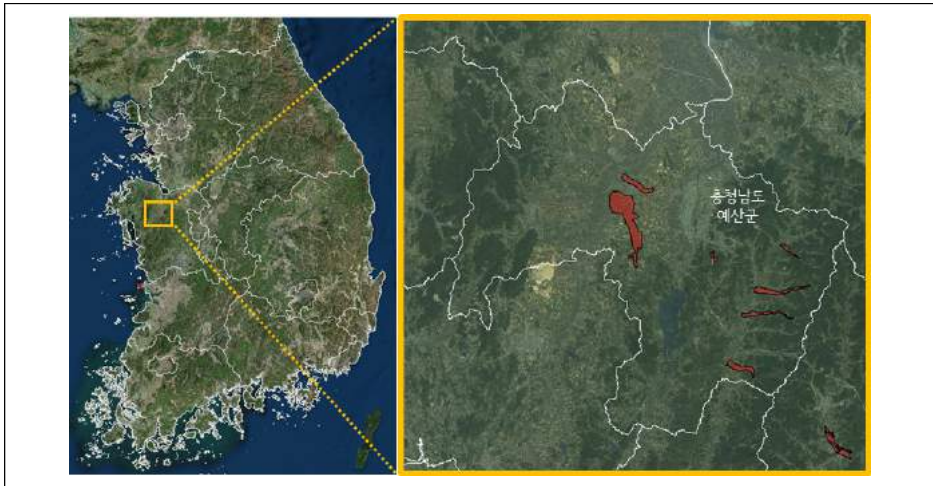


자료: 저자 작성

□ 자연재해 관리지구의 면적 지표

- 해당 지자체에서 도시침수 등에 대한 경계대책 여부를 확인할 수 있도록 기존의 방재지구와 위험개선지구의 공간자료를 수집·가공한 뒤 자연재해 관리지구 면적의 지표를 행정구역별로 산정하는 방법을 제시함

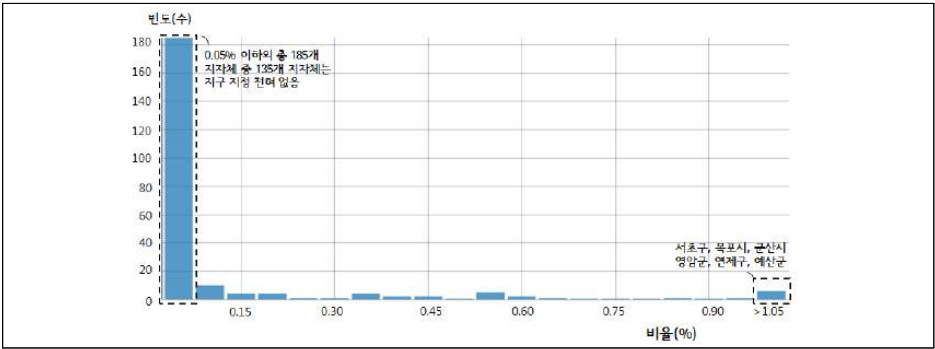
그림 4 | 자연재해 관리지구 면적 지표를 구하기 위한 공간자료 구축 결과: 예산군의 예



자료: 저자 작성

- 자연재해 관리지구 중 대부분은 자연재해대책법에 의한 위험관리개선지구에 해당되며 현재 행정구역 면적 대비 평균 0.1% 가량 관련 지구를 지정해 관리·운영 중에 있는 것으로 분석됨
- 현재 지자체는 침수피해 위험에 맞춰 자연재해 관리지구를 지정·운영하지 않는 것으로 파악되므로 주관부처나 광역자치단체 주도로 객관적인 위험평가 결과에 따라 주기적으로 기초자치단체에 지구지정을 요구하는 등 실행력 강화가 필요함

그림 5 | 기초단체별 행정구역 면적 대비 자연재해 관리지구 면적의 현황



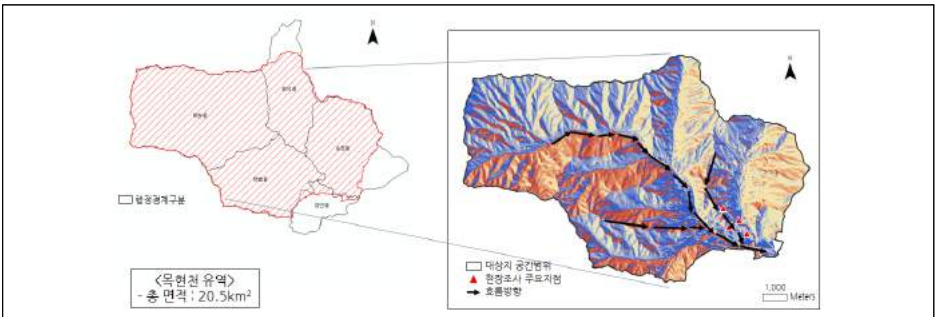
자료: 저자 작성

3. 중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정

□ 대상지역의 공간범위 설정

- 도시침수의 방재대책 수립의 필요성이 높은 중점관리 대상지역을 도출하기 위해 피해액, 피해빈도, 피해유형을 종합적으로 고려해 대상 시·군·구 선별
- 과거이력 등 자료분석과 현장면담 조사를 통해 주요지점을 확인한 뒤 지형분석을 통해 주요지점을 포괄하는 집수구역이 되도록 공간범위를 설정
- 중부지역 중 서울시 관악구, 경기도 광명시, 광주시, 양주시, 포천시, 강원도 인제시, 화천군, 그리고 충청북도 제천시에 소재한 8개 대상지역을 도출함

그림 6 | 대상지역의 공간범위 설정 결과: 광주시 대상지의 예

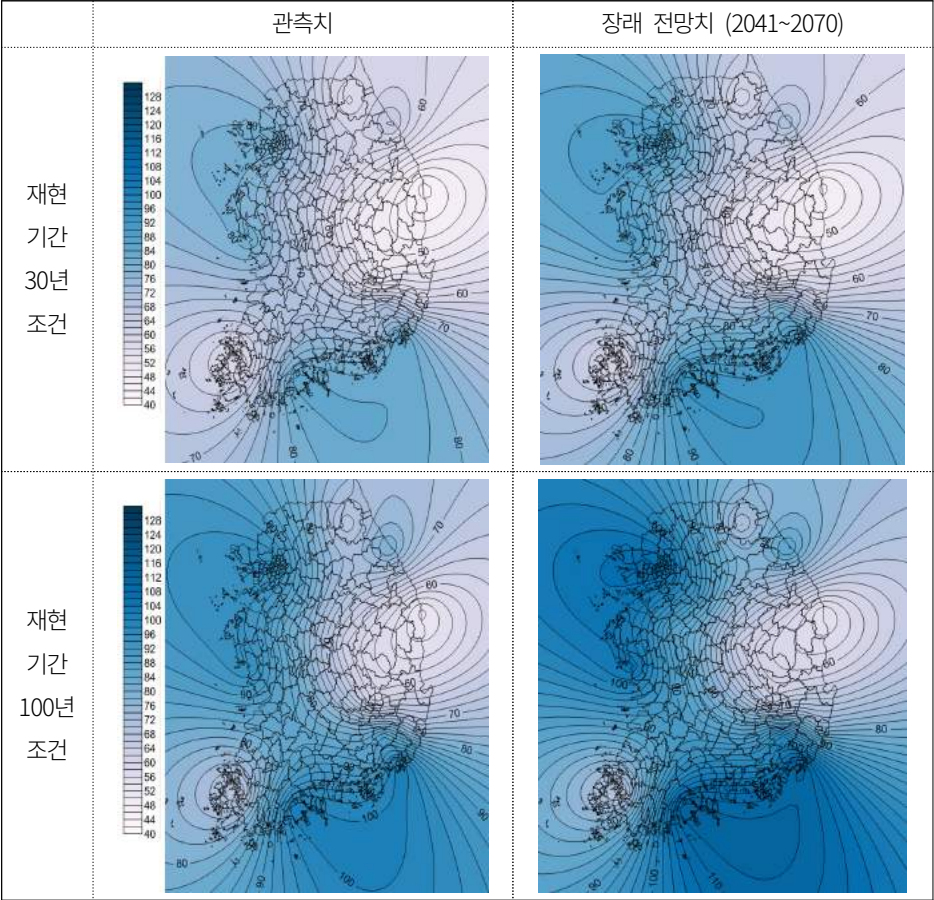


자료: 저자 작성

□ 강우 시나리오 자료 생성

- 기후변화로 인한 장래 단기강우 영향을 고려해 1시간 지속시간, 30년과 100년의 재현기간, 2041년에서 2070년의 중기 미래 등의 조건에서 중점관리 대상지역의 강우 시나리오 자료를 산정함
- 전체적으로 같은 확률 조건이라 하더라도 과거 관측치에 비해 미래 강우강도는 5~13%까지 증가하지만, 공간적인 패턴은 어느 정도 유지될 것으로 전망됨

그림 7 | 강우 시나리오 자료 생산을 위한 GCMs 자료의 시·공간적 상세화 결과

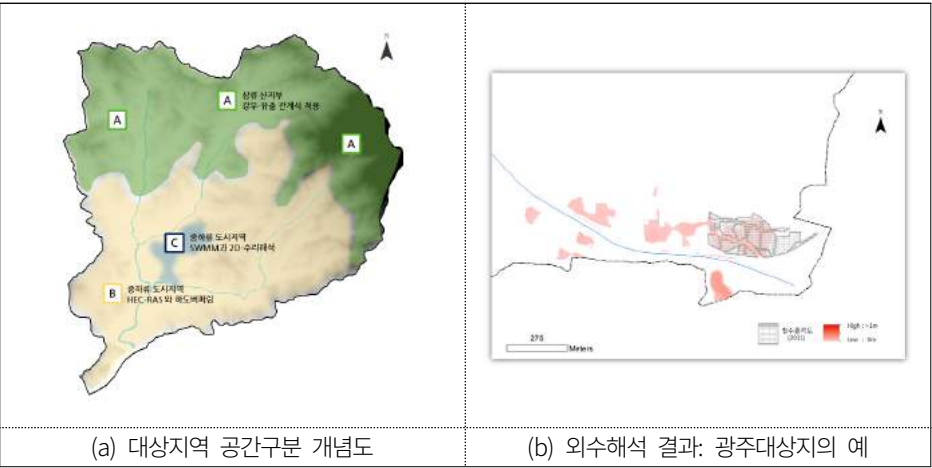


자료: 저자 작성

□ 도시침수 간소화 해석

- 도시계획 영역의 넓은 공간범위를 포괄하고 다양한 대상지에 범용적으로 활용하기 위해 고급기능의 모형 보다는 실무적으로 사용되는 수리·수문모형의 연계와 간소화가 중요
- 정밀한 해석이 필요한 관망밀집지역에 대해서만 2차원 흐름해석 모형을 적용해 노면해석을 실시
- 강우 시나리오 조건에서 대상지역의 하천범람으로 인한 외수와 하수관거 용량부족, 노면 우수적체 등으로 인한 내수를 해석함
- 이 중 외수해석은 중하류 도시지역에 대해 재현기간 100년의 강우 시나리오 조건에서 하천의 잠재적인 수위상승을 HEC-RAS를 통해 모의한 뒤 GIS 툴을 이용해 하도버퍼링 기법으로 침수위와 침수영역을 분석함
- <그림 8(b)>와 같이 외수범람 예상지역과 침수흔적도를 비교한 결과 상당부분이 일치 하는 것으로 나타났으며, 장래 기후변화 영향 등으로 보다 다양한 주거지역과 하천변 저지대 지역에서 침수가 발생할 수 있을 것으로 예상됨

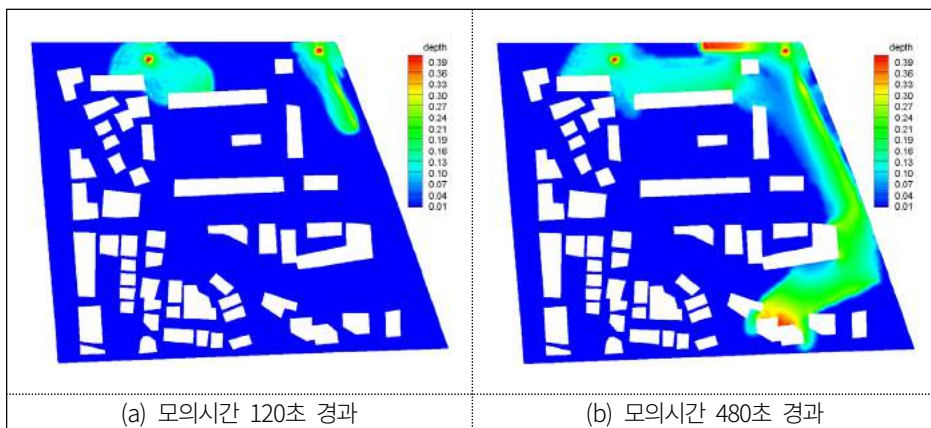
그림 8 | 도시침수 간소화 해석 개념 및 외수해석 결과



자료: 저자 작성

- 내수해석은 중하류 도시지역 내 관망밀집 지역에 대해 재현기간 30년의 강우 시나리오 조건에서 맨홀 월류량을 SWMM를 통해 산출하고, 추가적으로 2차원 흐름해석모의를 실시하여 침수위와 침수영역을 분석함
- <그림 9>와 같이 관망이 적체되는 지점에서 월류가 시작되고 시간이 지남에 따라 지대가 낮은 주거지역 쪽으로 월류수가 흘러 들어가 주거지역에 대한 침수피해가 발생하는 곳을 다수 확인함

그림 9 | 관망밀집지역의 노면해석 결과 : 광주시 대상지의 예



자료: 저자 작성

□ 상세 위험정보 개발

- 도시침수 방재대책에 필요한 정보를 얻기 위해 침수해석 결과를 다양한 공간정보와 중첩하여 재해특성, 영향권, 노출특성 취약성 등 상세 위험정보를 도출
- 재해특성은 100년 재현기간 외수 침수위와 30년 재현기간 내수 침수위를 나타내도록 하고, 영향권은 두 재해특성 주제도를 이용해 4가지 단계로 공간을 구획화함
- 노출특성은 인구노출과 토지이용 노출로, 취약성은 취약 건축물 분포, 보호대상 시설 분포, 도로 분포로 구분하여 제시

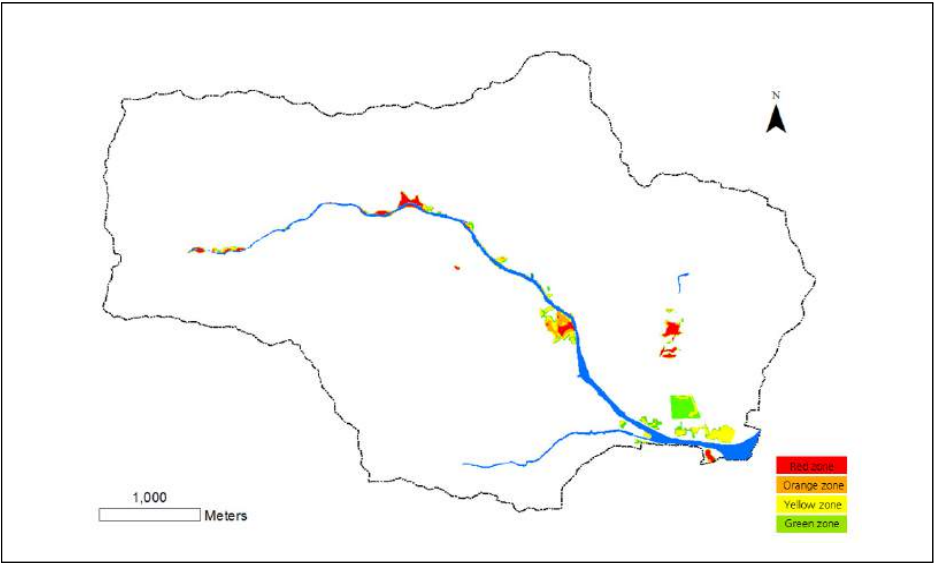
- 침수범위 내 재해특성, 영향권, 노출특성, 취약성 지도를 100m×100m 격자 공간으로 중첩하고 각 격자 공간에 분석한 모든 정보를 통합

표 1 | 도시침수 영향권 설정 기준

영향권 단계	도시침수의 발생특성	방재대책 필요성	영향권 설정 기준
			- (발생가능성) 내수는 재현기간 30년 - (발생가능성) 외수는 재현기간 100년
Red zone	호우 시 매우 심각한 영향이 발생할 수 있는 곳	매우 높음	100cm 초과하는 침수위
Orange zone	호우 시 상당한 영향이 발생할 수 있는 곳	높음	50~100cm 사이의 침수위
Yellow zone	호우 시 주의할 만한 영향이 발생할 수 있는 곳	보통	10~50cm 사이의 침수위
Green zone	호우 시 영향이 크게 우려되지 않는 곳	-	10cm 이하의 침수위

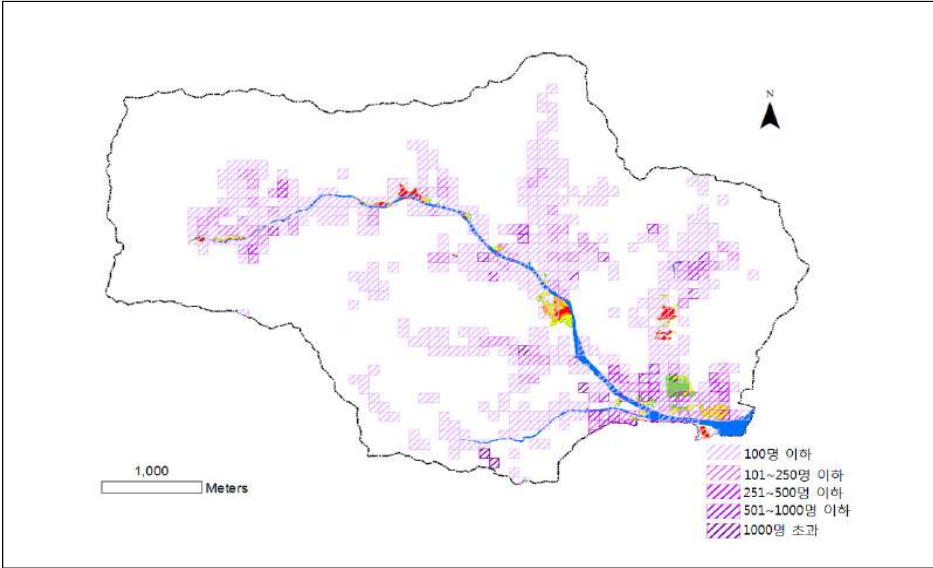
주: 내·외수 각 조건에서 서로 다른 영향권이 선택될 경우, 상위의 영향권을 선택하도록 함
 자료: 저자 작성

그림 10 | 영향권 설정 결과 : 광주시 대상지의 예



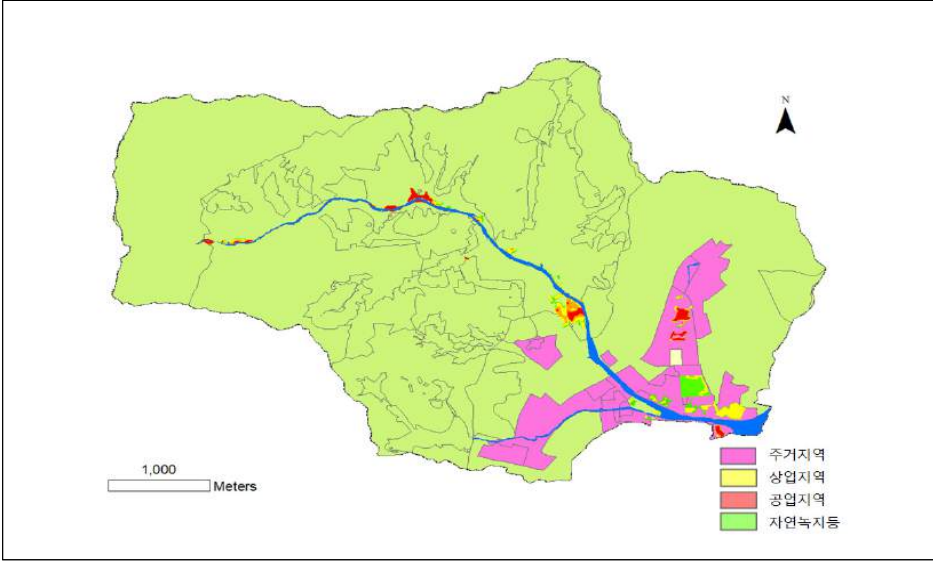
자료: 저자 작성

그림 11 | 거주인구 노출특성 주제도 개발 결과 : 광주시 대상지의 예



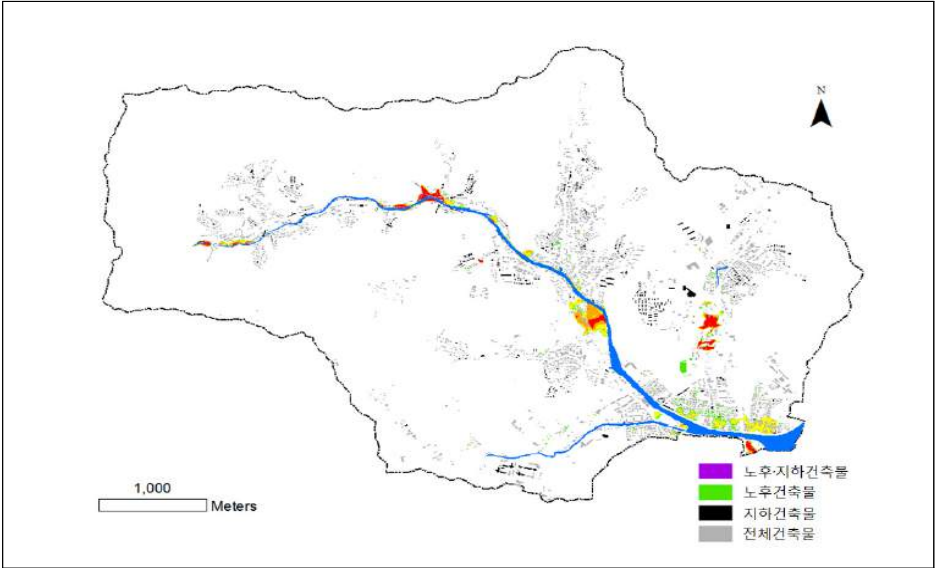
자료: 저자 작성

그림 12 | 토지이용 노출특성 주제도 개발 결과 : 광주시 대상지의 예



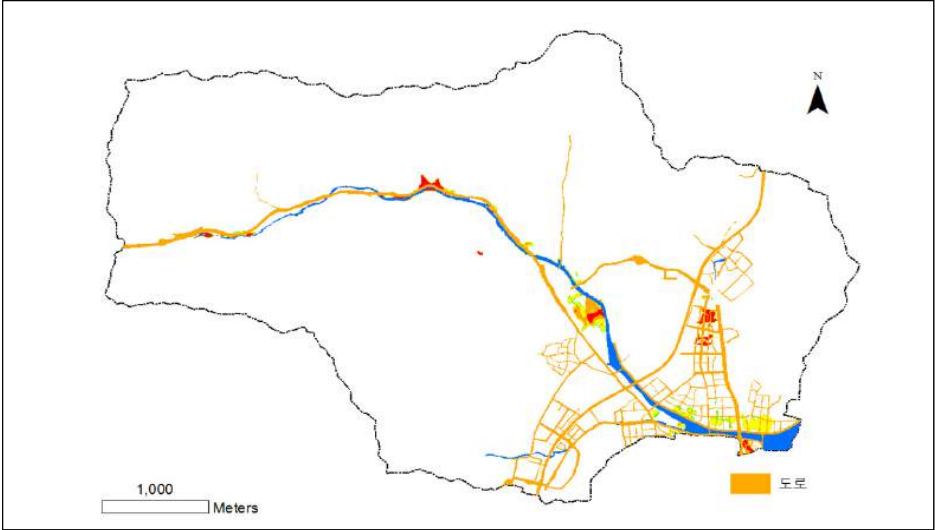
자료: 저자 작성

그림 13 | 건축물 취약성 주제도 개발 결과 : 광주시 대상지의 예



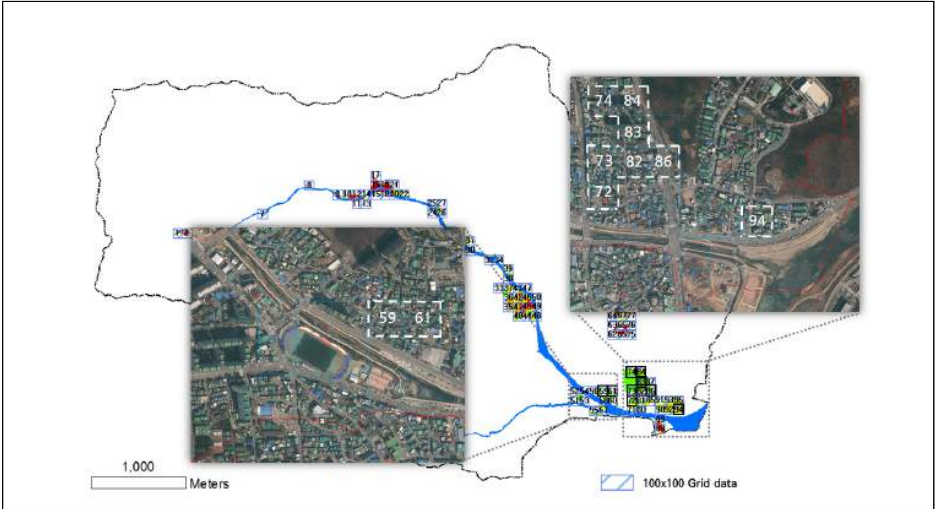
자료: 저자 작성

그림 14 | 도로 취약성 주제도 개발 결과 : 광주시 대상지의 예



자료: 저자 작성

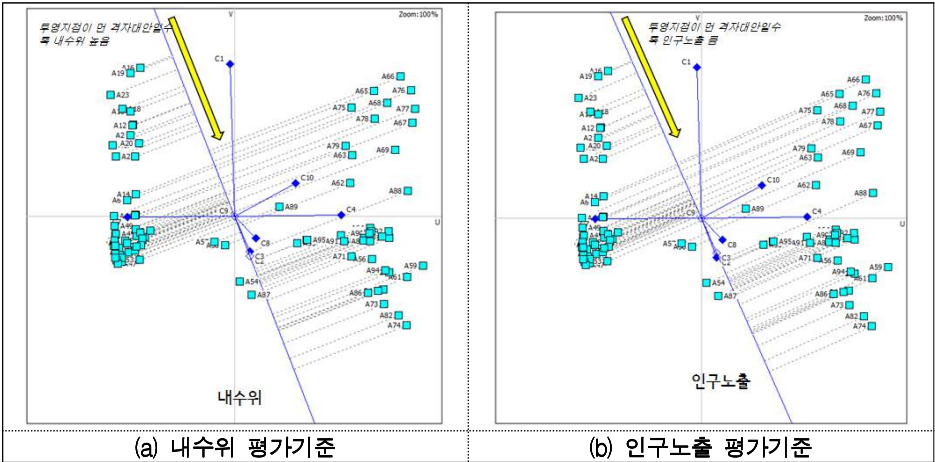
그림 16 | 고위험지역 선정 결과 : 광주시 대상지의 예



자료: 저자 작성

- 아울러 PROMETHEE의 사후해석 기능을 활용해 평가기준의 가중치 값에 포함된 불확실성 영향을 검토하였으며, 선정된 고위험지역의 주요 원인 또한 객관적으로 판단함

그림 17 | 고위험지역 원인분석을 위해 평가기준별로 실시한 GAIA 위상해석 : 광주시 대상지의 예



자료: 저자 작성

□ 방재대책 의사결정을 위한 평가기준 설정

- 재난관리 및 수자원 분야 학술연구와 해외 지침을 종합적으로 검토한 뒤 도시 침수 방재대책 수단을 평가하기 위한 기준을 다음과 같이 10가지로 도출
- 이러한 평가기준을 바탕으로 실무에서 발굴조사한 대책수단의 적합도를 담당자가 직접 자가 평가할 수 있도록 질문서를 개발함

표 2 | 방재대책 의사결정을 위해 도출한 10가지 평가기준

평가분야	세부 평가기준
위험저감효과	① 위원인원에 대한 적절한 대응 여부
비용발생	② 초기 사업비 부담, ③ 유지관리비 부담
사회적 영향	④ 시민 안심제공 효과, ⑤ 시민 주체성 증진 효과
환경적 영향	⑥ 자연생태 영향, ⑦ 경관개선 영향
추진 용이성	⑧ 공간확보의 필요성, ⑨ 수정·변경의 용이함, ⑩ 선행계획이나 기존 시설과의 조화

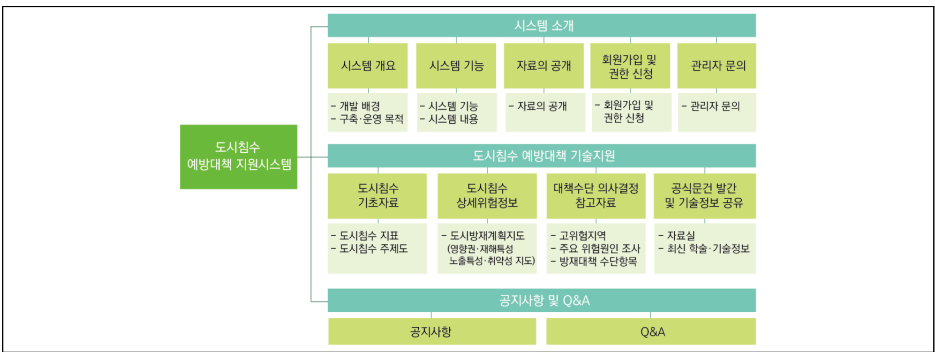
자료: 저자 작성

5. 도시침수 예방대책 지원시스템 구축

□ 데이터베이스 구축대상의 정의 및 설계

- 1차년도에 제시한 시스템 기능에 맞춰 전체 시스템의 구조를 검토하였으며, 데이터베이스 구축 대상을 정의
- 시스템 접근권한을 고려해 테이블 설계, 정규화 과정 등의 논리적 설계를 실시하였으며, 중점관리 대상지역을 중심으로 자료처리를 수행

그림 18 | 전체 시스템의 주요 기능



자료: 저자 작성

표 3 | 데이터베이스 구축대상의 정의 및 양식

구분		자료목록			자료양식	공간범위	
시스템 소개	시스템 개요				hwp, jpg	-	
	시스템 기능				hwp, jpg	-	
	자료의 공개				hwp, jpg	-	
	회원가입 및 권한 신청				hwp, jpg	-	
	관리자 문의				hwp, jpg	-	
도시 침수 예방 대책 기술 지원	기능 ①	도시침수 기초자료	도시침수 지표	피해액 지표	xls, text, jpg	전국	
				피해빈도 지표	xls, text, jpg	전국	
				하천변 저지대 지표	xls, text, jpg	전국	
				자연재해 관리지구 지표	xls, text, jpg	전국	
				미래 확률강우량 지표	xls, text, jpg	전국	
		도시 침수 주제도	도시침수 주제도	하천변 저지대 위치도	shape	대상지	
				자연재해 관리지구 위치도	shape	대상지	
				취약 건축물 위치도	shape	대상지	
				보호대상시설 위치도	shape	대상지	
				침수흔적도	shape	대상지	
				하천망도	shape	대상지	
				도로망도	shape	대상지	
				인구지도	shape	대상지	
				토지이용계획도	shape	대상지	
				고해상도 항공사진	image	전국	
				행정구역도	shape	전국	
	기능 ②	도시침수 상세위험 정보	중점관리 대상지역 경계범위			shape	대상지
			영향권 지도			GeoTIFF, text	대상지
			재해특성 지도			GeoTIFF, text	대상지
			노출특성 지도			shape, text	대상지
			취약성 지도			shape, text	대상지
	기능 ③	대책수단 의사결정 참고자료	고위험지역 위치도			shape, text	대상지
			고위험지역 주요 위험원인 조사			text	대상지
			방재대책 의사결정 참고자료			text, pdf	-
	기능 ④	공식문건 발간 및 기술정보 공유	자료실			pdf	-
			최신 학술·기술정보			-	-
공지사항 및 Q&A	공지사항				-	-	
	Q&A				-	-	

자료: 저자 작성

□ 시스템 화면설계

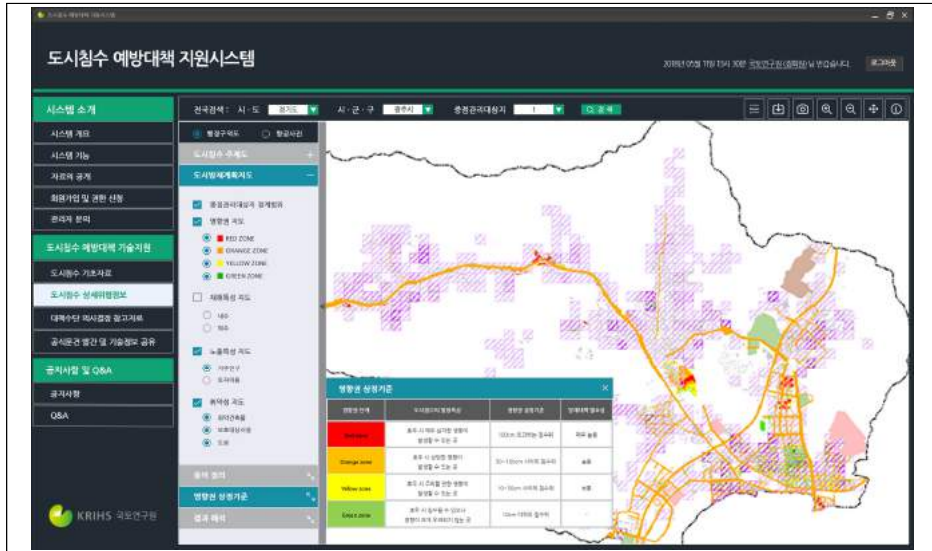
- 시스템 프로그램 개발기간의 단축, 품질향상 등 개발의 효율성을 위해 1차년도에 제시한 시안을 수정·개선하여 시스템 화면설계를 실시함
- 시스템의 다양한 시나리오 가운데 기능 및 활용성을 감안하여 6가지 대표적 사용자 시나리오를 정의하였으며, S/W를 통해 전송될 데이터베이스가 사용자 환경에서 편리하게 표출되도록 함
- 본 시스템이 구축되면 담당자에게 침수위험지역의 객관적인 근거를 제공하고, 종합대책이 필요한 공간범위 설정을 통해 위험원인 및 대책수단의 의사결정 근거를 제공할 수 있을 것으로 예상됨

그림 19 | 전체 시스템의 주요 기능



자료: 저자 작성

그림 20 | 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 상세위험정보 - 설명자료



자료: 저자 작성

6. 결론 및 향후과제

□ 결론

- 도시침수에 대한 피해가 증가되는 상황에서 사전 예방대책의 일환으로 도시계획 측면의 방재대책의 중요성이 제기되고 있음
- 본 연구는 3차년도(2016~2018)에 걸쳐 지자체의 담당자에게 신뢰성 높은 위험정보와 대책수단의 결정에 필요한 다양한 정보를 제공할 수 있도록 도시침수 예방 대책 지원시스템을 구축하는 데에 목적을 두고 있음
- 과거 도시침수 피해가 큰 광주시와 포천시를 대상으로 침수해석을 실시하고, 도시계획적 대책 수립에 필요한 재해특성, 영향권, 노출특성, 취약성 등의 주제도를 제작함으로써 위험정보를 생산하기 위한 방법론의 유용성과 범용성을 실증함

- 시스템에서 제공되는 위험정보를 토대로 고위험지역을 합리적으로 선정하고, 이 고위험지역의 주요 원인을 객관적으로 분석하기 위한 방법론을 제시함
- 위험정보와 대책수단 결정의 참고자료를 담당자의 수요에 맞춰 제공할 수 있도록 데이터베이스를 설계하였으며, 사용자 환경에서 S/W를 통해 데이터베이스가 편리하게 화면에 표출될 수 있도록 함

□ 정책제언

- 도시침수에 대한 재해예방형 도시계획 수립의 시급성이 높은 지자체와 함께 시스템의 유용성에 대해 실무적으로 검토하고 만족도 조사를 통해 기능 개선 등의 보완이 이루어질 수 있도록 3차년도(2018) 시범사업을 추진
- 도시침수 예방대책 지원시스템의 기능은 국토교통부 훈령 제852호로 발표된 ‘도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침’에 근거한 국토연구원의 검증 역할과 직간접적인 관련이 있음
- 도시침수 예방대책 지원시스템 운영과 자문의 안정적인 근거를 확보하는 것이 중요하며, 재해취약성 분석의 검증기관이 정밀 분석기능을 갖춘 시스템의 운영과 시스템을 활용한 지자체 자문역할을 담당하도록 관련 지침 개정이 필요
- 시스템 활용을 통해 재해취약지역의 도시방재대책을 검토하고 재해취약성분석 결과를 검증하여 위험이 높은 지역에 대해서는 위험을 해소하는 데에 효과적인 방재대책을 발굴할 필요가 있음
- 개발될 시스템을 매개로 중앙정부, 지자체, 전문연구기관 간의 협동체계를 구축하고, 전문연구기관은 매년 담당부처와 함께 지자체 수요조사를 실시한 뒤 효과적인 방재대책을 안내할 수 있도록 일상적인 기술자문 필요
- 본 시스템에 축적될 자료를 기술자문 뿐만 아니라 중점관리 대상지역을 주기적으로 평가하고 공식보고서를 발간하는 등 국가차원의 위험도 관리에도 활용

□ 향후 연구과제 (3차년도, 2018)

- ‘행정구역별 도시침수 기초자료 생산’에 있어서는 도시지역 피해 지표, 강우 시나리오 자료, 하천변 저지대 면적 지표, 자연재해 관리지구 면적 지표 등 2차년도까지 확보한 자료를 토대로 시·군·구별 ‘도시침수 위험도 프로파일’ 개발
- ‘중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정’에 있어서는 남부지방 최대 8개소에 대해 중점관리 대상지역 공간범위를 설정하며, 두 지역에 대해서는 지자체와 함께 시범사업을 수행하여 각종 주제도를 개발
- ‘도시계획 측면의 방재대책 수립 지원’에 있어서는 2차년도까지 확보한 자문역량을 결집해 시범사업 대상지에 대해 고위험지역을 선정하고, 위험원인을 분석한 뒤 적절한 저감대책 방향을 제시
- 지자체 담당자와 함께 도시방재대책 수단을 실효성 있게 검토하여 향후 타 지자체에서 활용할 수 있게 사례집을 작성
- ‘도시침수 예방대책 지원시스템의 보급을 위한 전용 S/W 개발’에 대해서는 2차년도까지 설계한 시스템 기능과 시스템 데이터베이스를 기반으로 담당자가 관심 지역의 위험정보에 쉽게 접근하고 방재계획 수립에 직접 활용할 수 있도록 전용 S/W 개발
- ‘시스템 운영·활용 방안 제시’에 있어서는 2차년도에 제시한 법제도 개선방안과 해외 사례를 참고로 관련부처 담당자와 함께 시스템의 향후 운영방법을 논의하고 개선방안을 제안

차례

CONTENTS

발 간 사	i
주요 내용 및 정책제안	iii
요 약	v

제1장 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 범위 및 방법	10
3. 연구 틀 및 주요 개념	13
4. 선행연구 검토 및 차별성	20
5. 연구의 기대효과	25

제2장 행정구역별 도시침수 기초자료 구축

1. 하천변 저지대의 면적 지표	29
2. 자연재해 관리지구의 면적 지표	42

제3장 중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정

1. 대상지역의 공간범위 설정	51
2. 강우 시나리오 자료 생성	70
3. 도시침수 간소화 해석	80
4. 상세 위험정보 개발	91

제4장 도시계획 측면의 방재대책 수립 지원

- 1. 방재대책을 위한 고위험지역 위치 결정 117
- 2. 방재대책 의사결정을 위한 평가기준 설정 160

제5장 도시침수 예방대책 지원시스템 구축

- 1. DB 구축 대상의 정의 169
- 2. DB 설계 및 자료처리 181
- 3. 시스템 화면설계 183

제6장 결론 및 향후과제

- 1. 결론 197
- 2. 정책제언 200
- 3. 향후과제 206

참고문헌 207

SUMMARY 218

부 록 221

표차례

LIST OF TABLES

<표 1-1> 연차별 연구 목표	9
<표 1-2> 도시방재계획 수립에 관한 선행연구	22
<표 1-3> 도시침수 해석기법 및 시스템 구축에 관한 선행연구	23
<표 1-4> 선행연구와 본 연구와의 차별성	24
<표 2-1> 도시의 방재대책을 위한 하천변 저지대 관련 규정	30
<표 2-2> 주요 5개 시·군·구 하천변 저지대 개발·이용 특성 비교	41
<표 2-3> 자연재해 관리를 위한 지구지정 관련 규정	42
<표 2-4> 자연재해 관리지구 면적의 지역적 특성	46
<표 3-1> 서울시 관악구 도시침수 피해이력 조사 결과	54
<표 3-2> 광명시 도시침수 피해이력 조사 결과	55
<표 3-3> 광주시 도시침수 피해이력 조사 결과	55
<표 3-4> 양주시 도시침수 피해이력 조사 결과	56
<표 3-5> 포천시 도시침수 피해이력 조사 결과	56
<표 3-6> 인제군 도시침수 피해이력 조사 결과	57
<표 3-7> 화천군 도시침수 피해이력 조사 결과	57
<표 3-8> 제천시 도시침수 피해이력 조사 결과	58
<표 3-9> 지자체 현장·면담조사를 통한 주요지점 선정 결과	59
<표 3-10> 서울시 관악구 현장조사 사진	60
<표 3-11> 광명시 현장조사 사진	60
<표 3-12> 광주시 현장조사 사진	61
<표 3-13> 양주시 현장조사 사진	61
<표 3-14> 포천시 현장조사 사진	62
<표 3-15> 인제군 현장조사 사진	62
<표 3-16> 화천군 현장조사 사진	62
<표 3-17> 제천시 현장조사 사진	63
<표 3-18> 공간범위 설정을 위한 지형분석 방법	64
<표 3-19> 20개 강우관측지점 정보	72

도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II)

<표 3-20> 20개 관측지점 1시간 지속기간의 확률 강우량	75
<표 3-21> 20개 관측지점 1시간 지속기간의 확률 강우량의 변화	76
<표 3-22> 2차년도 대상지역의 티센가중치	79
<표 3-23> 2차년도 대상지역의 강우 시나리오 자료	79
<표 3-24> 광주시 대상지의 침수면적 분석 결과	93
<표 3-25> 포천시 대상지의 침수면적 분석 결과	95
<표 3-26> 도시침수 영향권 설정 기준	96
<표 4-1> 고위험지역 결정을 위한 세 가지 어려움	117
<표 4-2> 선행연구에서 고위험지역 선정에 사용된 평가기준	127
<표 4-3> 평가기준 선정 결과	128
<표 4-4> 평가기준의 가중치 산정 결과	131
<표 4-5> 고위험지역 선정을 위한 대안의 성과표 : 광주시 대상지역의 예시	135
<표 4-6> 광주시 대상지역의 PROMETHEE 2 적용 결과	141
<표 4-7> 광주시 대상지역 고위험지역의 특징	142
<표 4-8> 포천시 대상지역의 PROMETHEE 2 적용 결과	143
<표 4-9> 포천시 대상지역 고위험지역의 특징	145
<표 4-10> 설문 결과로 도출한 각 평가기준의 가중치 범위	155
<표 4-11> 종합 : 유사 선행연구에서 제시한 방재대책 평가기준	164
<표 4-12> 도시침수 방재대책의 적합도 판단을 위한 질문서	166
<표 5-1> 사용자 회원가입 및 권한 신청 방법과 절차	171
<표 5-2> 사용자 접근권한별 시스템 이용가능 범위	172
<표 5-3> DB 구축 일정 및 양식	180
<표 6-1> 현행 지침 상 정의된 국토연구원 역할	201
<표 6-2> 지침 상 지원시스템의 정의	202
<표 6-3> 시스템의 정보 서비스 제공방식(안)	204
<표 6-4> 시스템의 정보를 활용한 도시방재대책 검토	204

그림차례

LIST OF FIGURES

<그림 1-1> 현 문제의 해결 방향	7
<그림 1-2> 연구 흐름도	15
<그림 1-3> 청주시 흥덕구 복대2동 도시침수 발생	16
<그림 1-4> 중점관리 대상지역과 영향권의 개념도	18
<그림 1-5> 시스템의 수요와 시스템의 기능 간의 관련성	19
<그림 2-1> 2009년 경기도 지역의 수해원인 조사 결과	31
<그림 2-2> 하천변 저지대 위치도 생산 절차	32
<그림 2-3> 중권역별 하폭 추정식 도출 결과의 예시 : 지석천 권역	33
<그림 2-4> 하천변 공간자료 생산의 개념도	34
<그림 2-5> 하천변 저지대 위치도 생산의 개념도	35
<그림 2-6> 하천변 저지대 위치도 생산 결과 : 동두천시 내 신천의 예시	36
<그림 2-7> 하천변 저지대 위치도 생산 결과 : 포천시 내 영평천의 예시	36
<그림 2-8> 기초단체별 지방하천 하천변 저지대 면적 분포	38
<그림 2-9> 전국적으로 지방하천의 하천변 저지대 비율이 높은 기초단체의 위치	38
<그림 2-10> 서울시 강남구 하천변 저지대 이용 현황	39
<그림 2-11> 서울시 송파구 하천변 저지대 이용 현황	39
<그림 2-12> 성남시 하천변 저지대 이용 현황	40
<그림 2-13> 여주시 하천변 저지대 이용 현황	40
<그림 2-14> 이천시 하천변 저지대 이용 현황	40
<그림 2-15> 주요 5개 시·군·구 하천변 저지대 개발·이용 특성 비교	41
<그림 2-16> 자연재해 관리지구 위치도 생산	43
<그림 2-17> 자연재해 관리지구 위치도	45
<그림 2-18> 자연재해 관리지구 DB의 속성	45
<그림 2-19> 기초단체의 자연재해 관리지구 지정면적 분포 현황	47
<그림 3-1> 중점관리 대상지역 선정 절차	51
<그림 3-2> 전체 과업의 대상지 선별 결과	53

<그림 3-3> 서울 관악구 대상지역의 공간범위	66
<그림 3-4> 광명시 대상지역의 공간범위	66
<그림 3-5> 광주시 대상지역의 공간범위	67
<그림 3-6> 양주시 대상지역의 공간범위	67
<그림 3-7> 포천시 대상지역의 공간범위	68
<그림 3-8> 인제군 대상지역의 공간범위	68
<그림 3-9> 화천군 대상지역의 공간범위	69
<그림 3-10> 제천시 대상지역의 공간범위	69
<그림 3-11> 강우 시나리오 자료 생성 및 확대 절차	70
<그림 3-12> 강우관측소 위치도	71
<그림 3-13> RCP8.5 시나리오의 빈도별 · 기간별 추이	78
<그림 3-14> 도시 침수해석 간소화 방법 절차	80
<그림 3-15> 대상지역 공간구분 개념도	81
<그림 3-16> 광주시 목현천의 강우강도-홍수량 관계곡선	82
<그림 3-17> 광주시 대상지의 침수영역 및 침수위 산정	83
<그림 3-18> 광주시 대상지의 침수영역 보정 결과	83
<그림 3-19> 광주시 대상지 외수범람 해석의 결과 및 검증	85
<그림 3-20> 포천시 대상지 외수범람 해석의 결과 및 검증	86
<그림 3-21> 광주시 대상지에 대한 SWMM 구축	88
<그림 3-22> 광주시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 월류량 모의 결과	88
<그림 3-23> 광주시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 노면해석 결과	89
<그림 3-24> 포천시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 월류량 모의 결과	90
<그림 3-25> 포천시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 노면해석 결과	90
<그림 3-26> 광주시 대상지 재해특성 주제도: 외수	92
<그림 3-27> 광주시 대상지 재해특성 주제도: 내수	92
<그림 3-28> 포천시 대상지 재해특성 주제도: 외수	94

그림차례

LIST OF FIGURES

<그림 3-29> 포천시 대상지 재해특성 주제도	95
<그림 3-30> 광주시 대상지의 영향권 설정 결과	97
<그림 3-31> 광주시 대상지의 소행정구역별 영향권 비율	98
<그림 3-32> 포천시 대상지의 영향권 설정 결과	99
<그림 3-33> 포천시 대상지의 소행정구역별 영향권 비율	99
<그림 3-34> 광주시 대상지의 거주인구 노출특성 주제도	101
<그림 3-35> 광주시 대상지의 소행정구역별 거주인구 노출특성 비율	101
<그림 3-36> 광주시 대상지의 토지이용 노출특성 주제도	102
<그림 3-37> 광주시 대상지의 소행정구역별 토지이용 노출특성 비율	102
<그림 3-38> 포천시 대상지의 거주인구 노출특성 주제도	104
<그림 3-39> 포천시 대상지의 소행정구역별 거주인구 노출특성 비율	104
<그림 3-40> 포천시 대상지의 토지이용 노출특성 주제도	105
<그림 3-41> 포천시 대상지의 소행정구역별 토지이용 노출특성 비율	105
<그림 3-42> 광주시 대상지의 건축물 취약성 주제도	108
<그림 3-43> 광주시 대상지의 행정구역별 건축물 취약성 비율	108
<그림 3-44> 광주시 대상지의 도로 취약성 주제도	109
<그림 3-45> 광주시 대상지의 행정구역별 도로 취약성 비율	109
<그림 3-46> 포천시 대상지의 건축물 취약성 주제도	111
<그림 3-47> 포천시 대상지의 행정구역별 건축물 취약성 비율	111
<그림 3-48> 포천시 대상지의 보호대상시설 취약성 주제도	112
<그림 3-49> 포천시 대상지의 행정구역별 보호대상시설 취약성 비율	112
<그림 3-50> 포천시 대상지의 도로 취약성 주제도	113
<그림 3-51> 포천시 대상지의 행정구역별 도로 취약성 비율	113
<그림 4-1> 고위험지역 분석을 위한 전체 방법론 구성	119
<그림 4-2> 고위험지역 위치 결정의 절차	119
<그림 4-3> Visual PROMETHEE 소개 화면	120

<그림 4-4> 다기준의사결정의 격자대안 정의 : 광주시 대상지역	122
<그림 4-5> 다기준의사결정의 격자대안 정의 : 포천시 대상지역	122
<그림 4-6> 참고: 도시침수 위험도 평가를 위한 계층 구조화 결과	129
<그림 4-7> 설문조사 결과를 이용한 가중치 도출 방법	130
<그림 4-8> 고위험지역 선정을 위한 대안의 성과표 : 광주시 대상지역의 예시	134
<그림 4-9> 단일기준 선호도 산정방법	136
<그림 4-10> 대상지역의 선호도 함수 도출	137
<그림 4-11> 전체 선호도 지수 산정방법	138
<그림 4-12> PROMETHEE 1에 의한 비교우위 결정방법	139
<그림 4-13> PROMETHEE 2에 의한 비교우위 결정방법	140
<그림 4-14> 광주시 대상지역의 고위험지역 선정 결과	141
<그림 4-15> 포천시 대상지역의 고위험지역 선정 결과	144
<그림 4-16> GAIA 평면 해석방법 적용의 예시	146
<그림 4-17> GAIA 평가기준 축의 설정 : 광주시 대상지역	147
<그림 4-18> GAIA 위상해석 : 광주시 대상지역	148
<그림 4-19> GAIA 평가기준 축의 설정 : 포천시 대상지역	151
<그림 4-20> GAIA 위상해석 : 포천시 대상지역	152
<그림 4-21> 본 연구에서 민감도 분석의 기본개념	156
<그림 4-22> 민감도 분석 방법 : 광주시 대상지역의 외수위 가중치 조절 예시	157
<그림 5-1> 전체 시스템의 주요 기능	170
<그림 5-2> 「시스템 소개」를 위한 DB구축 프로세스	171
<그림 5-3> 「도시침수 기초자료」를 위한 DB구축 프로세스	174
<그림 5-4> 「도시침수 상세 위험정보」를 위한 DB 구축 프로세스	175
<그림 5-5> 「대책수단 의사결정 참고자료」를 위한 DB 구축 프로세스	176
<그림 5-6> 「공식문건 발간 및 기술정보 공유」를 위한 DB구축 프로세스	177
<그림 5-7> 「공지사항 및 Q&A」를 위한 DB구축 프로세스	178

그림차례

LIST OF FIGURES

<그림 5-8> 도시침수 예방대책 지원시스템의 전체 DB 구성도	179
<그림 5-9> 논리적 설계 - 테이블 간 관계도	181
<그림 5-10> 물리적 설계 - 데이터 저장 테이블(지역 정보)	182
<그림 5-11> 물리적 설계 - 데이터 관리 테이블(지역 제어)	182
<그림 5-12> 사용자 예상 이용 시나리오 예시	184
<그림 5-13> 시스템 접근화면	185
<그림 5-14> 시스템 소개의 화면 구성 - 시스템 개요	187
<그림 5-15> 시스템 소개의 화면 구성 - 회원가입 및 권한 신청	187
<그림 5-16> 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 기초자료 - 도시침수 지표	189
<그림 5-17> 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 기초자료 - 도시침수 주제도	189
<그림 5-18> 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 상세위험정보 - 주제도	190
<그림 5-19> 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 상세위험정보 - 설명자료	191
<그림 5-20> 기술지원의 화면 구성 - 대책수단 의사결정 참고자료 - 고위험지역 위치도 ·	192
<그림 5-21> 기술지원의 화면 구성 - 공식문건 발간 및 기술정보 공유 - 자료실	193
<그림 5-22> 공지사항 및 Q&A 화면 구성 - 공지사항	194
<그림 5-23> 공지사항 및 Q&A 화면 구성 - Q&A	194
<그림 6-1> 시스템을 활용하여 재해예방형 도시계획 제도를 강화하기 위한 정책제언 ····	200
<그림 6-2> 시스템을 활용한 도시방재대책보고서 구성안	205



CHAPTER 1

연구의 개요

- 1. 연구의 배경 및 목적 | 3
- 2. 연구의 범위 및 방법 | 10
- 3. 연구 틀 및 주요 개념 | 13
- 4. 선행연구 검토 및 차별성 | 20
- 5. 연구의 기대효과 | 25

연구의 개요

본 장에서는 도시침수 등 자연재해 관리의 국내외 여건을 토대로 연구의 필요성을 구체적으로 정의하고 있다. 본 연구는 도시방재계획의 실효성을 높이기 위한 기술과 시스템 구축을 목적으로 하며, 연구의 주요개념과 함께 총 3년의 기간 동안의 연구범위와 방법을 단계적으로 설명하고 있다. 또한 본 연구를 통해 기대되는 효과를 정책적인 부분과 학술적인 부분으로 구분하여 제시하였다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구 배경

(1) 자연재해 관리를 위한 국제여건 변화

전 세계적으로 물 관련 재해 피해가 지속적으로 증가됨에 따라, '13년 3월 UN은 최초로 '물과 재난'이라는 특별세션을 개최하였고 그 피해가 인류의 지속가능한 개발을 위협하는 수준에 이르렀다고 선언하였다(ICHARM, 2013). 아울러, 하천범람, 도시침수, 가뭄, 토사재해 등 물 관련 재해는 신기후체제에 들어서 우리 사회에 더욱 큰 영향을 줄 것으로 예상하고 있으며, 국내외 많은 연구자들은 이례적인 수준의 재해 발생이 점차 일상화될 수 있음을 경고하고 있다. 예로써, Hirabayashi 외 (2013)의 연구에서는 기후변화로 인해 2071~2100년 사이의 홍수 유출량 크기를 분석하였는데, 20세기 동안 전 지구 내 많은 지역의 재현기간 100년에 해당되는 유출량이 21세기 후반에 이르면 재현기간 5~50년의 빈도로 발생할 수 있는 등 재해의 보다 일상화를 전망한 바 있다.

재해 발생빈도의 증가 외에도, 급격한 인구증가, 도시지역 공간부족 등의 원인으로 하천변 저지대, 급경사지, 해안가 등 재해에 쉽게 영향을 받게 되는 곳에 주거나 경제 활동의 밀도가 점차 높아지는 경향 또한 나타나고 있다(Lee 외, 2015a). UN DESA(2011)의 세계 도시화 전망 보고서에서도 전 세계 많은 도시가 물 관련 재해에 상당히 노출되어 있으며, 2050년까지 이러한 도시에 인구와 경제활동이 더욱 집중되어 재난위험의 중요한 상승요인이 될 수 있음을 우려하고 있다. 게다가 건축물·기간시설 노후화, 식생감소, 스프롤 현상¹⁾, 환경정비 부족 등 오래된 도시의 특징은 재해 발생 시 취약성을 더하고 있다(Fernandez와 Sanahuja, 2012; Lee 외, 2015b).

이러한 배경에 의해, UN ISDR(2013)은 평상 시 객관적인 위험정보를 토대로 시설 투자, 개발계획 조정 등 사전대책을 마련해 재해가 발생되더라도 대형 재난으로 확대되지 않도록 예방대책(Prevention)의 중요성을 한층 더 강조한 바 있다. 그리고 2015년에 수립한 새로운 전지구적 재난관리체계인 “센다이 강령(Sendai Framework for Action)”에서도 ‘재난위험도에 대한 이해’를 첫째 중점분야로 선정하였다. 여기서는, 국가 또는 지역단위의 예방대책을 지원하고 투자규제의 근거를 마련할 수 있도록 실무적으로 유용한 위험도 평가기술이 시급히 개발되어야 한다는 점이 논의된 바 있다.

(2) 우리나라의 자연재해 관리의 주안점

우리나라의 경우, 태풍과 호우로 인해 발생하는 풍수해가 전체 자연재해 피해의 큰 비중을 차지한다(신상영 외, 2011). 연중 강수량이 짧은 기간에 집중되는 기상학적 요인과 전 국토의 70% 이상이 산지로 구성된 지형적 요인으로 인해 인구와 기반시설이 밀집되어 있는 시가화 지역의 다수가 유역하류에 위치하고 있다. 이로 인해 집중호우 시 이곳의 하천 유출량은 급속히 증가하게 된다. 그 내부를 살펴보면, 인구에 비해 개발가능 공간이 협소해 하천변 저지대를 다수 활용하고 있는데, 높은 범람 가능성과 우수배제의 어려움을 동시에 갖고 있을 뿐만 아니라, 노후지하 건축물, 토지피복 불투수율 증대, 배수시설 용량 부족 등 피해를 가중하는 요인도 다수 내포하고 있는 실정이다.

1) 일반적으로 도시의 급격한 팽창으로 대도시의 교외가 무계획·무질서적으로 발전하는 현상을 의미한다.

그 결과, 재해원인으로서의 ‘집중호우’와 재해발생 장소로서의 ‘도시지역’이 결합한 ‘도시침수’²⁾ 현상은 가장 중요한 자연재해 중 하나로 인식되고 있다.

도시침수로 인해 큰 피해가 계속해서 발생하고 있고 더 이상 사후복구에 의존할 수 없기 때문에 위험을 근본적으로 낮출 수 있도록 사전예방의 중요성이 강조되고 있다 (김종원 외, 2006; 이상은과 김성훈, 2015). 보다 구체적으로는, 도시침수 위험을 사전에 인지하여 개발계획을 수립하고 다양한 방재대책 수단을 공간적으로 통합하는 도시계획적 전략을 중시하게 되었다(심우배, 2011; 이상은과 김성훈, 2015). 특히, 2011~2012 기간 동안 서울을 포함한 수도권 지역의 큰 침수피해를 계기로 중앙정부 차원에서 전문가실무자가 한데 모여 대응방안을 강구하는 가운데 이러한 전략을 집중적으로 논의한 바 있다. 집중호우의 세기가 과거와 다른 확률적 특성을 보이는 상황에서 침수 자체를 차단토록 방재시설이나 유출억제시설에 편향되어 투자하는 것은, 대책으로서의 확실성이 낮으며 평상시 활용도가 낮아 경제성 또한 문제시 된다. 물론 방재 시설 및 유출억제시설에 일정 수준 투자가 계속해서 이뤄져야 하지만, 도시의 개발방식, 이른바, 지구지정, 토지이용, 기반시설, 건축물 규제 등을 함께 고려해 침수가 발생하더라도 주민과 경제활동상의 피해가 허용 가능한 수준을 넘지 않도록 도시계획의 역할을 강화해야 한다는 것이 새로운 전략이 갖는 본래 취지라고 할 수 있다.

이러한 전략을 위해 그동안 정부는 다음 두 방향에서 정책을 추진해오고 있다.³⁾ 첫째, 재난관리 차원에서 수립하는 풍수해저감종합계획을 도시계획과 내용적 연계를 전개해 오고 있다. 이를 위해, 舊 국민안전처는 2011년에 자연재해대책법 제16조제4항을 개정해 시·군에서 도시계획을 수립하거나 변경할 때 풍수해저감종합계획을 반영하게 하였다.⁴⁾ 둘째, 사전에 재해취약성을 분석한 뒤 재해예방형 도시계획을 마련하도록 하였다. 국토교통부는 2015년에 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제20조제2항 및

2) ‘도시침수’란 홍수의 한 종류로서 ‘urban flooding’으로 번역되며, 자세한 내용은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 제3장 용어의 기본개념(p.49)에 제시하였다.

3) 이와 별개로 최근 들어 국토교통부, 행정안전부, 환경부 등 관계부처 협동으로 ‘(가칭)도시침수 예방 특별법’을 제정하기 위한 노력이 진행되고 있다.

4) 이에 따라 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령에서도 각종 도시계획을 수립할 때 풍수해저감종합계획을 충분히 고려하도록 하였고, 현재 재해취약성분석 지침에서도 방재계획 수립 시 이를 면밀하게 분석하도록 개정한 바 있다.

제27조제3항을 개정하여 도시계획 수립 시 기초조사로서 재해 취약성을⁵⁾ 사전에 분석한 뒤 도시계획 내 각종 방재대책 수단을 포함시키도록 유도하고 있다.

(3) 문제의 인식

도시침수와 관련되어 위험을 사전에 낮추기 위해 추진 중인 두 가지 정책은 현재 원활히 진행되고 있다고는 평가하기 힘든 것이 사실이다. 특히, 문채(2012), 옥진아와 류근원(2013) 등의 연구자들은 첫 번째 방향인 재난관리 차원에서 도시계획과 내용적 연계를 추진하는 데 있어서 여러 가지 한계를 지적한 바 있다. 요지는, 사군 안전총괄과 담당자는 풍수해저감대책 수립 시 상습수해지 또는 주요 피해지점을 중심으로 배수펌프장 등 방재시설의 설치 여부를 결정하고 있으나, 도시지역 공간을 매개로 영향권을 설정하거나 개발방식을 규제하고, 주거환경에 대한 실질적인 대책을 마련하는 데 큰 관심을 두고 있지 않다는 것이다. 도시계획 수립 시 과거 침수이력, 위험개산지구 위치, 시설 조성계획 등 일부 정보를 언급하는 것을 제외하면 도시계획에서도 활용성이 높지 않다고 지적되고 있다.⁶⁾

문채(2006), 강양석(2007), 문채(2015), 김슬예 외(2017) 등의 연구자들은 두 번째 방향인 재해취약성을 고려해 도시계획을 마련하는 데에 있어서도 한계가 크다는 점을 지적한 바 있다. 위 연구에는 사군 도시계획 담당자의 방재분야 이해와 관심이 현저히 낮아 도시의 장기구상을 함에 있어서 침수 등 재해위험이 중시되지 않고 있음을 보여주고 있다.⁷⁾ 또한 도시계획 수립의 위탁을 맡는 설계회사에서도 사전 기초조사 중 하나의 '절차'로서 재해취약성 분석을 수행할 뿐 도시계획 내에서 방재지구를 지정하고 현장의 침수위험에 맞춰 토지이용계획, 기반시설 배치, 건축허가 등의 방재대책을 강구하는 노력이 크게 미흡하다는 점을 지적하고 있다.⁸⁾ 오히려, 담당자와 설계회사는 구체적인 방재대책을 수립하는 데 필요한 신뢰성 높은 위험정보를 도시계획 범위에 맞춰 충분히 얻을 수 없다는 문제를 공통적으로 제기하고 있는 실정이다.

5) 재해의 영향을 파악하기 위해 실시하는 재해취약성 분석에는 도시침수와 관련된 폭우 외에도 가뭄, 폭설, 폭염, 강풍, 해수면상승 등 6가지 자연재해를 함께 고려하고 있다.

6) 관련된 자세한 논의는 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 제3장의 설문조사 결과(p. 58)에 제시하였다.

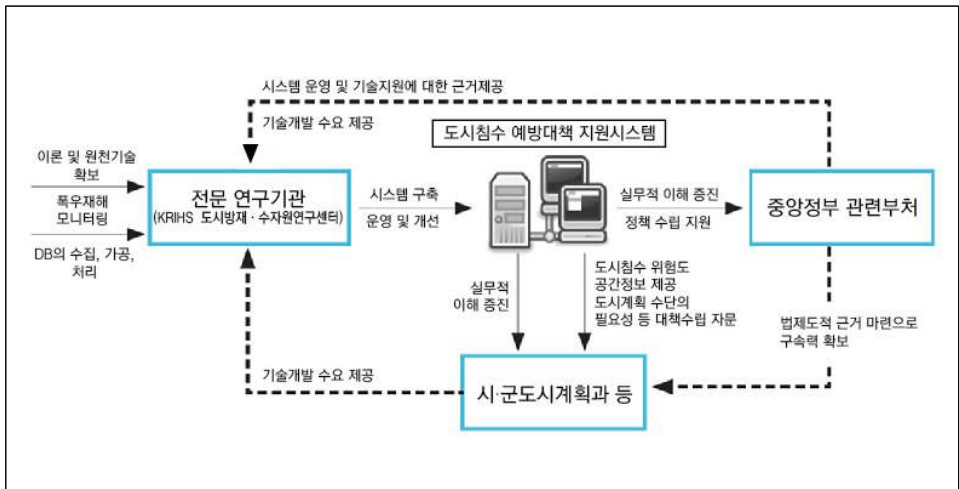
7) 관련된 자세한 논의는 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 제3장의 설문조사 결과(p. 58)에 제시하였다.

8) 자세한 내용은 김슬예 외 (2017)에 3개 시·군의 사례분석 결과(pp. 126)에 제시하였다.

도시침수와 관련된 도시계획적 전략을 위해 지자체 도시계획 담당자의 역할이 핵심 적임에도 불구하고, 현실적으로 중앙의 기술지원 없이 추가 업무를 강제하기 힘든 점 또한 확인되었다.⁹⁾ 대책수립을 위해서는 기상, 수문, 토목, 재난관리, 공간정보 등에 대해 일정 수준 이상의 지식과 도구를 학습해야 함에 반해, 담당자의 주 업무와 관련성이 높지 않아 학습의 동기를 부여하기가 쉽지 않은 것이다. 전문성 축적이 곤란한 상황에서, 과도한 역량강화 프로그램을 실시하는 것 또한 비효과적인 행정력 소비로 이어질 소지가 매우 크다고 판단된다.

현재의 실무적인 여건과 한계를 종합적으로 감안하면, 국가차원에서 사·군 담당자에게 분석부담을 줄여주면서, 방재대책이 꼭 필요한 곳을 중심으로 공신력 있고 계획 수립에 유용한 정보를 제공하고 대책 추진 여부, 대책의 사후 효과 등을 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다. 이를 위해서는 <그림 1-1>과 같이 전문 연구기관의 참여와 자문, 기술기반 확충, 역할분담의 법적 근거 확보 등이 동시에 이뤄져야 할 것이다.¹⁰⁾

그림 1-1 | 현 문제의 해결 방향



자료: 저자 작성

9) 관련된 자세한 내용은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 제3장의 설문조사 결과(p. 58)에 제시하였다.
 10) 이러한 해결 방향에 대해서는 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 제2장의 '2015-2030 샌다이 강령'에 제시된 국제 재난관리 방향(특히 전문기관의 역할)(pp.21-23)에 제시하였다.

2) 연구 목적

(1) 시스템 구축의 목적

본 연구는 지자체의 도시침수에 대한 도시계획적 대책을 강화하기 위해 담당자 이해·관심, 학습 동기부여, 순환보직 및 전문성, 내용 반영의 의무화 등 현장의 여러 가지 실무 문제를 해소할 수 있어야 한다는 배경에서 출발하였다. 이를 위해 담당자의 정보 접근성을 개선하는 것이 가장 중요하다고 인식하였으며, 정부부처와 지자체가 도시침수에 대한 대책수단을 강구하는 데에 방재분야의 전문성을 쉽게 활용할 수 있도록 시스템¹¹⁾ (가칭 ‘도시침수 예방대책 지원시스템’으로 명명)을 구축하기로 하였다.

여러 자연재해 중 도시침수에 국한하며, 재해예방형 도시계획의 필요성이 지자체마다 다른 점을 고려해 선별적으로¹²⁾ 기술지원하는 시스템을 구축하고자 한다. 도시침수 예방대책 지원시스템의 최우선적 수요자로는 도시계획과 관련된 정책·실무 담당자로 정하였으며, 도시방재계획¹³⁾의 실효성을 높일 수 있도록 시스템 개발목표를 다음과 같이 설정하였다.

- 첫째, 관할지역의 도시침수 위험에 대한 인지수준을 제고한다.
- 둘째, 신뢰성 높은 위험정보를 제공해 관할지역 내 도시침수에 대한 적극적 대책이 필요한 공간범위를 영향권으로 설정해 관리하도록 지원한다.
- 셋째, 도시계획 측면의 방재대책의 수단을 의사결정 하는데 필요한 정보를 제공한다.

추가로, 도시계획뿐만 아니라 수해관리, 재난관리 등에 있어서도 범용적으로 이용할 수 있도록 하였으며, 도시방재 분야의 유관업계와 전문가의 수요를 함께 반영해 시스템의 활용성을 높이고 관련 기술의 발전을 지속적으로 유도하고자 한다.

11) 본 연구에서 ‘시스템’이라는 용어는 전문기관에서 구축한 정보의 전달 매개체로서의 기술기반을 의미한다.

12) ‘선별적’이라는 표현을 한 것은 모든 지자체를 대상으로 일정한 수준의 정보를 제공하기 보다는 도시침수 위험이 특별히 높아 기술자문을 의뢰한 지자체에 집중한다는 의미이다. 즉, 특정 지자체를 대상으로 위험이 높은 공간범위를 별도의 중점관리 대상지역으로 식별한 뒤 상세한 위험정보, 영향권 설정, 고위험지역 위치, 방재대책 수립 방향 등을 구체적으로 제시해 도시방재계획의 실효성을 높이려는 취지이다.

13) 우리나라는 독자적인 도시방재계획이 아직 없는 것이 사실이나, 본 연구에서는 도시기본계획 또는 도시관리계획에서 방재대책과 관련된 부문계획을 편의상 도시방재계획이라 명명하기로 한다.

(2) 연차별 목표

도시침수 예방대책 지원시스템은 총 3년에 걸쳐 개발하기로 하였으며, 이를 위해 다음과 같이 개념정립 및 방법론 검증, 시스템 구축 및 확대, 시스템의 활용 및 제도화의 단계에 따라 관련 연구를 통해 수행하기로 하였다.

표 1-1 | 연차별 연구 목표

연 도	1차년도 ('16)	2차년도 ('17)	3차년도 ('18)
단 계	개념정립 및 방법론 검증	시스템 구축 및 확대	시스템의 활용 및 제도화
연구 목표	- 정책동향 조사 - 방법론 제시 - 중점관리 대상지역 선정(2개소) 및 검증 - 시스템 개념 설계 - 시스템 운영·활용을 위한 제도화 방향 - 수요조사·실무활용을 위한 관련부처 및 지자체 협의	- 방법론의 안정화 - 방법론 기술서 개발 - 중점관리 대상지역 분석 확대(최대 8개소)* - 시스템 구축 착수(DB중심) - 실무활용을 위한 관련 부처 및 지자체 협의 착수***	- 중점관리 대상지역 분석 확대(최대 8개소)** - 시스템 기능 고도화 및 자동화 - 실무지원 시범사업 추진 검토*** - 제도적 근거 확보 방안 - 매뉴얼 및 운영계획 수립

주: + 과거 10년간 도시침수 피해가 상대적으로 큰 지역 중에서 서울시 관악구, 경기 광명시, 광주시, 포천시, 양주시, 강원 화천군, 인제군, 충북 제천시 등의 8개소에 대해 중점관리 대상지역의 공간 범위 분석을 완료하고, 이 중에서 광주시, 포천시 등 2개소는 대상지역의 상세 위험 주제도 제작까지 실시해 방법론의 범용성 실증

++ 과거 10년간 도시침수 피해가 상대적으로 큰 지역 중에서 부산광역시, 울산광역시 울주군, 전라남도 화순군, 경상북도 영천시, 경상남도 밀양시, 양산시, 제주특별자치도 등 중점관리 대상지역 8개소에 대해 공간범위를 분석할 예정임

+++ 지자체를 대상으로 방재지구 선정 및 도시방재대책 수립에 있어서 시스템의 기술지원 가능성을 실증적으로 검토할 수 있도록 '17년 3월 이후 국토교통부 도시정책과와 정책업무협의회를 해왔으며 '17년 10월에 지자체를 대상으로 시범사업 수요조사를 실시하였고, 최종적으로 부산광역시와 제주도에 대해 3차년도 시범사업 대상지로 협의 완료됨

자료: 저자 작성

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구 범위

2차년도에는 도시침수 예방대책 지원시스템 구축을 위한 ‘시스템 구축 및 확대’ 단계로서 크게 두 가지 연구를 수행하기로 하였다.

우선, 시스템의 ‘내용물’을 구성하는 도시침수 위험정보를 개발하는 것이며, 본 보고서 제2장에서 제4장까지 해당 연구결과를 정리하였다. 제2장에서는 도시침수 위험을 쉽게 이해할 수 있도록 두 가지 종류의 행정구역별 기초자료를 개발하고자 한다. 1차년도의 피해액, 피해빈도 등의 지표에 이어서, 하천변 저지대와 관련된 지표와 방재지구, 위험개선지구 등 자연재해 관리지구에 대한 지표를 개발제시하기로 하였다. 또한 두 가지 지표를 중심으로 도시방재 측면의 시사점을 검토하기로 하였다. 제3장에서는 중부지방을 중심으로 중점관리 대상지역을 8개소 선정하고, 이 중 일부 대상지에 대해서는 상세 위험정보를 파악하고, 도시침수의 영향권을 설정하기로 하였다. 이를 위해 1차년도에 강우 시나리오 자료 생성기법, 내외수침수 해석기법, 영향권을 포함한 각종 위험도 주제도 제작기법 등을 제안한 바 있다. 1차년도에 제시한 방법론의 안정화를 일부 취한 뒤, 경기도 광주시와 포천시에 대해 위험도 주제도를 개발함으로써 방법론의 범용성을 실증하기로 하였다. 아울러, 제4장에서는 개발된 위험정보를 이용해 도시계획 측면의 방재대책 수립을 지원하기 위한 연구 또한 진행되었다. 다양한 위험정보를 종합하여 고위험지역 위치와 주요 원인을 합리적으로 도출하기 위한 방법론을 정립하고 광주시와 포천시 대상지에 적용해 그 결과의 유용성에 대해 확인하고자 하였다. 또한 사업비용, 저감효과, 주민선호도, 행정부담 등 대책수단 의사결정에 있어서 실무적으로 고려되어야 할 평가기준 또한 추가적으로 검토하기로 하였다.

다음으로는, 시스템의 내용물을 담는 ‘그릇’인 도시침수 예방대책 지원시스템을 구축하고 시스템의 정책적 활용방안을 검토하는 것으로 각각 본 보고서의 제5장과 제6장에 해당한다. 제5장에서는 앞에서 수행한 연구결과를 토대로 DB 구축대상을 정의하

고, DB의 개발을 위한 개념설계, 논리설계, 그리고 자료처리 방식을 다루고자 한다. 또한 향후 사용자 시나리오에 맞춰 시스템 화면설계를 수행함으로써 3차년도의 짧은 기간 내에 시스템을 효과적으로 개발할 수 있도록 하였다. 제6장에서는 본 연구 결과를 요약하면서 시스템 활용과 관련된 다양한 정책제안을 제시하고자 한다.

2) 연구 방법

2차년도의 연구방법은 여덟 가지로 구분된다. 첫째, 문헌조사를 통해 도시침수 고위험지역 위치선정에 필요한 방법론을 검토하고, 방재대책의 의사결정을 위한 평가기준을 도출하고자 한다. 둘째, 통계분석을 통해 하천변 저지대 공간분석을 위한 권역별 하폭 관계식을 도출하고, 사군구 단위로 하천변 저지대 및 자연재해 관리지구와 과거 피해발생 이력 간의 상관성 등을 검토하고자 하였다. 셋째는 기상수문 해석으로서, 기후변화 영향을 고려한 강우 시나리오 자료를 전국적으로 구축하고, 중점관리 대상지역에 대해 도시침수의 다양한 원인을 설명할 수 있도록 수문연계모형¹⁴⁾을 구축하였으며 실무 활용성을 높일 수 있도록 간소화¹⁵⁾ 후 검증을 실시하고자 하였다.

넷째로는 다양한 목적을 위해 공간정보 분석이 수행된다. 지방하천 연접 저지대에 해당되어 수해 발생 가능성이 높은 공간적 범위를 도출하고, 유관기관의 통계자료를 이용해 전국의 방재지구 및 위험개선지구 위치 등에 대한 공간자료를 개발하고자 한다. 또한 과거 도시침수 이력, 현장 조사 결과 등을 종합해 주요 지점을 선정한 뒤 지형분석을 통해 이 지점을 포괄하도록 8개의 중점관리 대상지역 범위를 결정하기로 하였다. 대상지 중 일부에 대해서는 기상수문 해석 결과를 토대로 침수예상도를 제작하고, 영향권을 설정하며 위험도 관련 각종 주제도를 개발하는 데 공간정보 분석이 적용된다.

다섯 번째로는 다기준의사결정 기법의 적용이다. 대상지의 위험도 주제도를 이용해

14) 대상지 공간분할 후 강우-홍수량 관계식, HEC-RAS, SWMM, 2차원흐름해석모형 등을 적용하고자 한다.

15) 내·외수 해석을 위한 분석대상의 간소화, 분석방법의 간소화, 입력자료 수집·구축의 간소화, 결과자료 표출의 간소화 모두 의미한다

고위험지역으로서의 우선순위를 단위 격자별로 분석하고 주요 위험원인을 분석하고자 한다. 여섯 번째는 시스템 설계로서 도시침수 예방대책 지원시스템의 정보 제공기능에 맞춰 DB양식과 속성을 결정하고, 수집된 자료를 처리·변환하여 컬럼, 날짜, 패턴, 관계, 코드 등 정형화하고자 한다. 또한 가상의 사용자를 고려하여 시스템 DB 참조에 대한 순서도를 작성한다.

일곱 번째, 현장조사가 수행되는 데, 중부지방을 대상으로 도시침수 위험이 높은 8 개소에 대해 과거 피해 및 민원 발생지 위치 확인, 현장 주거환경 조사, 대책추진 여부 검토 등을 실시한다. 마지막으로, 자문회의, 업무협의회, 설문조사 등을 통해 다양한 의견을 수렴하기로 하였다. 대상지 공간범위 설정(주요지점 확인)을 위해 해당 시·군·구 및 주민자치센터 담당자의 의견을 청취하며, 고위험지역 선정을 위한 평가기준을 제시하고, 평가기준 간의 가중치 도출하는 데에는 관련된 다양한 분야의 전문가와 자문회의 및 설문조사를 수행하기로 하였다.

3. 연구 틀 및 주요 개념

1) 연구 틀

도시침수 예방대책 지원시스템을 개발하기 위해 3차년도에 걸쳐 <그림 1-2>와 같이 총 5가지 연구가 병렬식으로 수행된다.

(1) 행정구역별 도시침수 기초자료 구축

도시침수 피해여건에 대한 담당자 이해를 돕기 위해 1차년도에는 폭우피해에 대한 통계자료를 이용해 사군구별로 피해빈도와 피해액 지표를 산정하였고, 지역적인 특성을 분석한 바 있다. 2차년도에는 하천변 저지대 및 자연재해 관리지구와 관련하여 사군구별 지표를 산정하기로 하였다. 또한 개발여건, 피해이력 등과 비교하여 방재측면의 시사점을 분석코자 하였다. 1차년도와 2차년도 결과를 종합하여, 3차년도에는 도시침수와 관련된 각종 지표를 손쉽게 이해할 수 있도록 사군구별 위험도 프로파일 등의 시각화 자료를 작성할 것이다.

(2) 중점관리 대상지역의 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정

도시침수의 대책 마련이 시급한 중점관리 대상지역에 대해 신뢰할 수 있는 위험정보를 개발하기 위해 1차년도에는 자료수집 및 처리, 분석기법, 절차 등 방법론의 프로토타입을 제안한 바 있다. 또한 과거 도시침수 피해가 큰 두 지역을 대상으로 재해특성, 영향권, 노출특성, 취약성 등의 상세한 주제도를 제작할 수 있다는 점을 실증하였다. 2차년도에는 일부 방법론의 안정화를 도모하면서, 과거 도시침수 피해가 큰 다수의 중부지역을 대상지로 주제도를 확대 제작한다. 이어서, 3차년도에는 확정된 방법론을 과거 도시침수 피해가 큰 다수의 남부지역, 특히, 시범사업을 추진하기로 논의된 두 지자체에 대해 적용하고, 담당자 의견수렴 등을 거쳐 실무적인 활용성을 높이고자 한다.

(3) 도시계획 측면의 방재대책 수립 지원

1차년도에는 다양한 법령에 걸쳐 명시되어 있는 방재대책을 유형화하였고, 현장의 위험원인에 따라 적절히 선택할 수 있도록 대책수단을 체계화 한 바 있다. 2차년도에는 상세 위험정보를 토대로 고위험지역을 합리적으로 선정하고, 이 고위험지역의 주요 위험원인을 객관적으로 분석하기 위한 방법론을 제시함으로써 상세 위험정보와 도시계획 측면의 방재대책 간의 연결성을 확보하고자 할 것이다. 연구결과를 종합하여, 3차년도에는 시범사업을 수행하면서 대상지에 대해 구체적인 대책수단을 발굴·결정하는 과정과 결과를 제시해 일종의 ‘사례집’을 만들 예정이다. 도시침수에 대한 사전예방이 강조되는 현 상황에서 많은 지자체 담당자가 관련된 방재대책을 마련할 때 좋은 사례(good practice)로 활용될 수 있을 것이다.

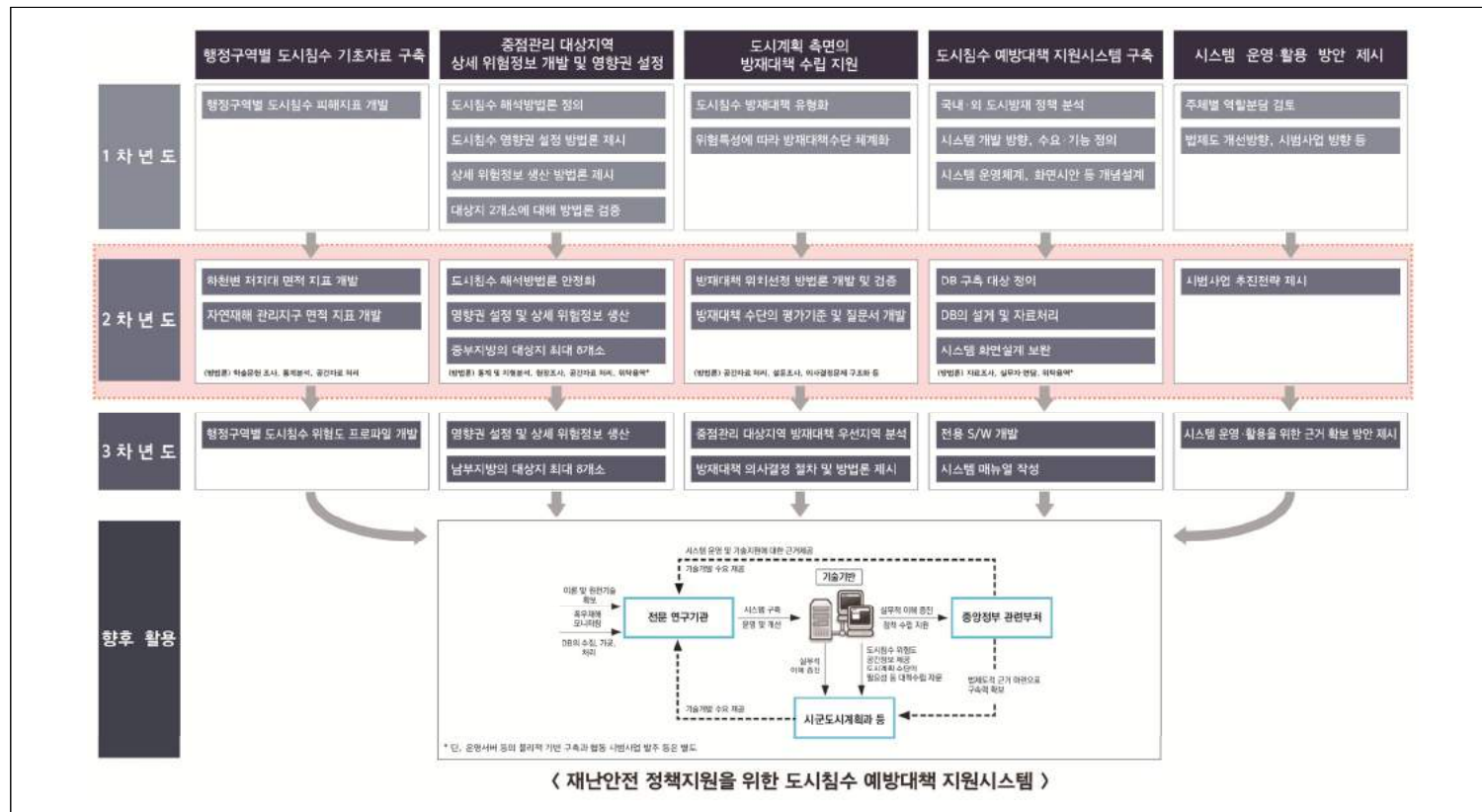
(4) 도시침수 예방대책 지원시스템 구축

시스템 개발에 앞서 1차년도에는 국내외 정책 동향을 조사하였고, 시스템에 대한 현장의 수요를 파악하고 기능을 체계적으로 정의하였으며, 2차년도 이후 시스템 개발을 진행할 수 있도록 개념설계를 완료한 바 있다. 2차년도에는 시스템의 기능을 구현할 수 있도록 DB 설계를 진행하며, 사용자 활용 시나리오에 맞춰 화면설계를 완료하고자 한다. 이어서, 3차년도에는 담당자의 업무에 맞게 효과적으로 DB화된 연구결과를 전달할 수 있도록 전용 S/W를 개발할 예정이다.

(5) 시스템의 운영·활용 방안

1차년도에는 시스템의 운영과 활용을 위한 국가, 지자체, 전문 연구기관 등 주체별 역할에 대해 살펴보고, 이를 위해 법제도 개선방향과 시범사업 추진방향을 개략적으로 제시한 바 있다. 2차년도에는 보다 구체적으로 현행 재해예방형 도시계획 제도를 강화할 수 있도록 시범사업 추진전략과 관련 지침의 개정안을 제시할 것이다. 향후 3차년도에는 2차년도까지 제시된 법제도 개선방안과 사업 추진방안을 중심으로 시스템의 운영·활용을 극대화할 수 있도록 정책적 논의를 유관부처와 함께 진행하고자 한다.

그림 1-2 | 연구 흐름도



자료: 저자 작성

2) 주요 개념¹⁶⁾

(1) 도시침수

집중호우에 의해 발생하는 홍수의 한 종류로서, 발생장소, 원인, 결과에 의해 다음과 같은 특징을 갖는다. 발생장소의 경우 일반적으로 도시지역(urban area), 또는 인공적으로 조성한 공간(built environment)이라 할 수 있다. 발생원인에 있어서는 도시공간 내부문제(즉, 내수)와 도시공간 외부문제(즉, 외수)를 포함한다. 여기서, 내수의 문제란 노면에 내린 강우의 하수관거로의 유입지연과 저지대 적체현상, 관거 이송용량 부족으로 인한 배수 지체현상, 하천수위 증가에 의한 관거 역류현상 등을 의미한다. 외수의 문제란 인근 하천유량이 통수용량을 넘어 발생하는 범람을 의미한다.

발생결과는 범람적체된 유량이 일정기간 인위적인 공간을 침범함으로 인해 토지, 자산, 지하시설물, 도로 등이 물에 잠겨 공사적 재산피해와 주민생활이나 경제활동에 큰 지장을 주게 됨을 말한다. 이러한 특성을 종합할 때 도시침수의 위험(risk)이란 방어능력을 초과하는 강우 조건에서 침수로 발생할 수 있는 잠재적인 피해규모로 정의할 수 있을 것이다.

그림 1-3 | 청주시 흥덕구 복대2동 도시침수 발생



자료: '17.7.16. 현장조사 시 피해주민을 통해 취득

16) 1차년도에 본 연구의 개념을 정립함에 따라 아래는 1차년도의 과업 내용을 발췌·요약(pp.49-54) 하였다.

(2) 중점관리 대상지역

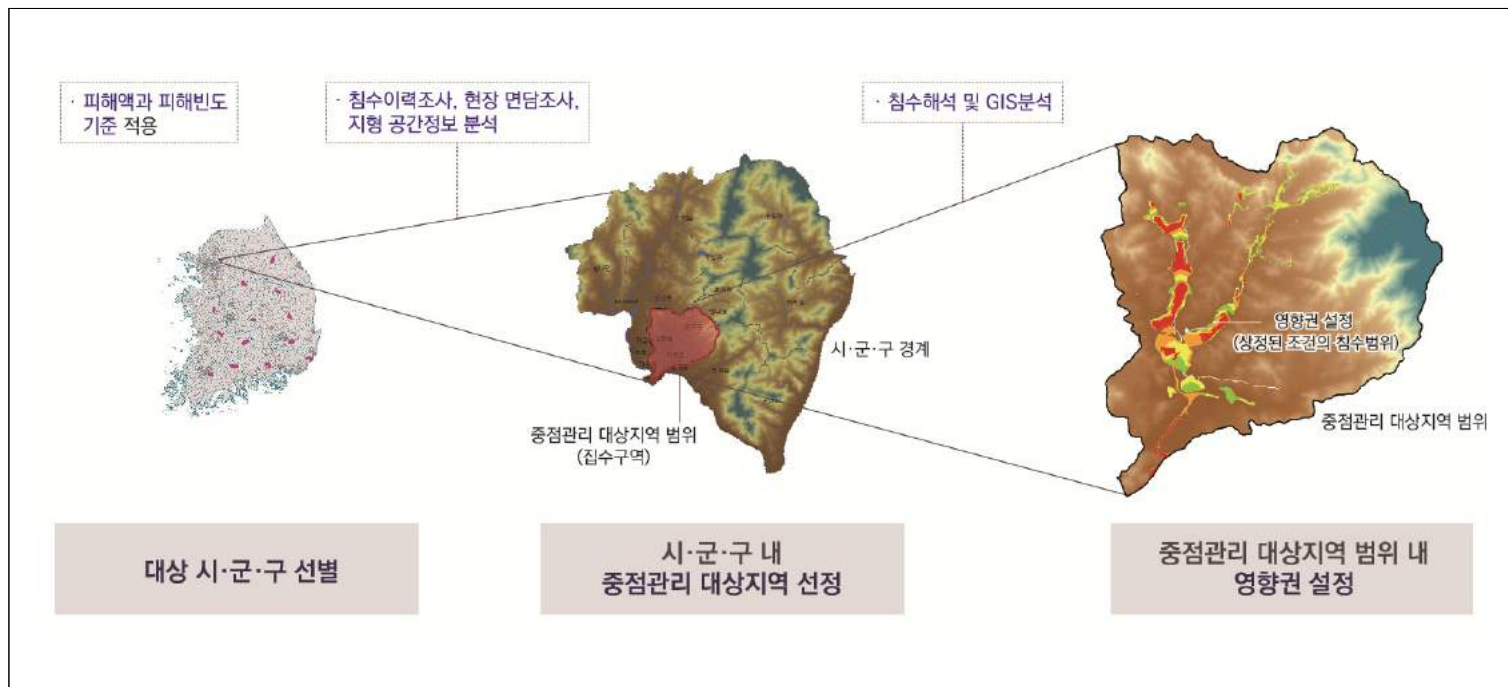
본 연구에서 중점관리 대상지역은 해당 지자체의 행정구역 범위 내에서 방재측면의 실효성 있는 도시계획 수립이 필요한 곳으로 정의된다. 즉, 도시침수 위험이 상대적으로 높아 국가차원에서 위험정보 생산, 도시계획 대책수단 발굴 등의 기술지원을 우선적으로 제공하기 위해 전략적으로 선별된 곳이라 할 수 있다.

1차년도에는 중점관리 대상지역의 선정방식을 다음과 같이 제안한 바 있다. 먼저, 피해액과 피해빈도의 두 가지 지표에 따라 호우로 인한 도시지역 피해여건이 높은 사군구를 1차적으로 선별한 뒤 침수이력조사, 현장 면담조사, 지형 공간정보 분석을 순차적으로 실시하도록 하였다. 일련의 과정을 거쳐, 최종적으로 강우 시 동일한 출구로 물이 배출되는 지형학적 공간범위인 집수구역 단위로 대상지 범위를 설정하도록 제안한 바 있다.

(3) 영향권

중점관리 대상지역에 대해서는 적절하게 도시방재대책을 추진할 수 있도록 침수해석 및 GIS분석을 실시해 도시침수로 인한 영향권(boundary of impact)을 명확하게 설정하도록 제안한 바 있다. 영향권은 영향의 크기와 발생가능성의 두 기준에 따라 구획화된 공간을 의미하는 데, 국제표준, 해외사례 등을 토대로 각각에 대해 다음과 같이 기준을 제시하였다. 즉, 영향의 크기는 침수위를 기준으로 10cm 이하, 10~50cm, 50~100cm, 100cm 초과로 네 단계로 구분한 바 있으며, 영향의 발생가능성은 하천범람 등 외수에 대해서는 재현기간 100년의 조건으로, 관로 우수배제 실패 등의 내수에 대해서는 재현기간 30년의 조건을 기준으로 설정하도록 제안하였다.

그림 1-4 | 중점관리 대상지역과 영향권의 개념도



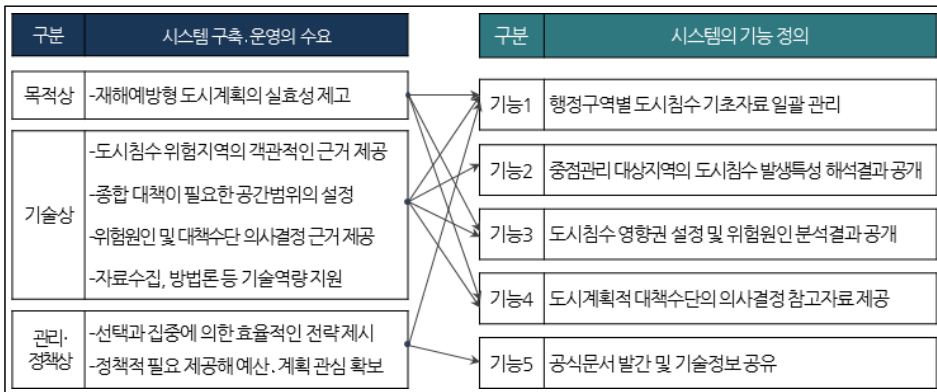
자료: 저자 작성

(4) 도시침수 예방대책 지원시스템

도시침수에 초점을 두고 지자체의 재해예방형 도시계획을 강화하기 위한 자문성격의 기술기반으로서 담당자에게 분석부담을 줄여주면서 의사결정에 필요한 위험정보와 참고자료를 제공할 수 있도록 개발하고 있다. 이러한 기술기반을 확보함으로써 궁극적으로 중앙정부, 지자체, 전문연구기관 간의 협력체계를 마련한 뒤 도시방재정책의 선진화를 도모한다.

1차년도에 실시한 업무협의회에서 도시계획과 관련된 담당자들은 도시침수 예방대책 지원시스템에 대한 다양한 수요를 나타낸 바 있다. 특히, 도시침수 위험지역의 객관적인 근거 제공, 종합대책이 필요한 공간범위의 설정, 위험원인 및 대책수단 의사결정의 근거 제공, 자료수집, 방법론 등 기술역량 지원, 선택과 집중에 의한 효율적인 전략 제시, 상시 정책적 필요를 제공해 예산·계획의 관심 확보 등이 대표적이다. 아울러, 해외에서 운영하는 방재시스템을 조사한 뒤 위의 수요를 충족하기 위해 시스템이 갖추어야 할 기능을 도출한 바 있다. 결론적으로, 시스템은 도시침수 기초자료의 일괄 관리, 중점관리 대상지역에 대한 재해특성 해석결과, 영향권, 위험원인 조사결과 등의 공개, 대책수단 의사결정을 위한 참고자료 제공, 공식문건 발간 및 기술정보 공유를 위한 플랫폼 제공 등의 기능을 갖추어야 하는 것으로 확인되었다.

그림 1-5 | 시스템의 수요와 시스템의 기능 간의 관련성



자료: 저자 작성

4. 선행연구 검토 및 차별성

1) 선행연구 현황

(1) 정책연구

선행연구 중 정책연구는 <표 1-2>와 같이 2000년대 초반 이후 국토연구원 주도로 다수 추진되어 오고 있으며, 주로 선진국 도시방재계획 사례 분석을 토대로 도시계획 수립 시 재해위험을 고려하도록 여러 가지 제도 개선방안을 제시한 바 있다. 정책연구를 통해 제시된 많은 연구는 현재의 도시계획 관련 법령 및 지침 등에 반영되어 있는데, 특히, 하천변 저지대, 급경사지 등 재해취약지역의 피해저감을 위해 방재시설, 유출저감시설, 재난관리대책 등을 강조한 바 있다. 2010년 이후 극심한 풍수해와 기후변화 영향이 우려됨에 따라 지자체의 책임과 역할이 한층 더 강조되었고, 이에 따라 정책연구들은 도시지역 위험을 평가하고 활용가능한 공간적 대책을 마련하도록 재해예방형 도시계획의 도입을 제안한 바 있다.

그럼에도 불구하고 우리나라 도시방재계획을 위한 연구는 아직은 초기 단계로서, 정밀한 재해영향 평가가 아닌, 사회경제적 지표분석을 중심으로 재해에 취약한 지역을 기초조사 한 뒤 모니터링 대상으로서 방재지구 지정의 당위성을 설명하는 데 초점을 두고 있는 것이 특징이다.

(2) 기술개발 및 시스템 구축 연구

2000년 대 중반 이후 도시침수가 큰 도시문제로 대두됨에 따라, 국토교통부와 舊 소방방재청을 중심으로 침수해석 기술을 개발하기 위해 <표 1-3>과 같이 다수의 R&D를 추진한 바 있다. 기상기술(무인강우관측, 극치이론 등), 수문기술(물리적 분포모형, 매개변수 최적화 등), 공간정보기술(원격영상기반 고해상도 지리공간정보 구축) 등의 발전에 힘입어, 국립재난안전연구원, 국토연구원, 한국건설기술연구원 등의 기관

은 국내 기상·수문특성에 맞는 정교한 침수해석 기술의 개발을 시도하였다.

위 연구를 통해 상당한 기술력이 확보되었으나, 과도한 매개변수로 인한 자료수집 및 보정의 어려움, 저지대 침수 위주의 지형학적 해석, 높은 수준의 전산장비 요구 등으로 타 국가 또는 업계의 기술에 비해 실용성이 다소 미흡하다는 지적을 받고 있다. 오히려, 국내 도시침수 특성에 맞는 침수해석을 위해서는 새로운 모형 개발이 아닌, 오랜 기간 신뢰성이 확인되었고 모형구축 및 입력자료 수집이 수월한 SWMM, HEC-RAS 등을 이용하되, 약점을 보완할 수 있도록 모형 간 연계와 간소화가 오히려 강조되고 있는 상황이다(예로서, 조완희 외, 2015).

위의 R&D에는 침수해석기술 개발 외에도 도시침수 관련 시스템 구축 또한 동시에 추진한 바 있다. 특히, 선진국 방재시스템이 가진 기능 가운데, (i) 강우 정보와 연계한 실시간 재해발생 모니터링이나 (ii) 플랫폼을 통해 사용자가 수립한 방재계획을 공유하는 BMP (best management practice)를 운영하는 데 초점을 두고 있다. 이 중 모니터링 시스템은 재난관리 전담부처(행정안전부)나 시·군 담당자 (안전총괄과 등)에게 재해발생을 감시하고 즉각 현장대응을 돕는 데 큰 가능성을 제시한 바 있다. 하지만 도시침수와 관련되어 기 개발된 BMP 시스템은 시·군의 도시계획 담당자의 활용이 저조한 실정이다. 무엇보다 BMP 시스템은 침수해석 결과, 영향권 설정, 위험원인 분석, 공간특성에 맞는 대책수단 등 담당자에게 필요한 정보가 제공되지 않아 실무적으로 활발히 보급·활용된 사례를 찾기 힘들다. 즉, 우리 여건에 맞는 도시방재계획을 위해 상향식 정보공유 플랫폼이 아닌 전문기관 참여를 통한 선별적 기술지원 시스템이 적합하다고 할 수 있으나, 아직 본격적으로 추진되지 않고 있는 것으로 판단되었다.

표 1-2 | 도시방재계획 수립에 관한 선행연구

구 분	연구목적	연구방법	주요연구내용
주 요 선행 연구	•과제명 : 도시방재에 관한 연구 (일본의 사례를 중심으로) •문채 외(2003) •연구목적 : 일본의 방재도시만들기 운영 실태 및 사례분석을 통하여 시사점 도출	•문헌 및 선행연구 조사 •일본 현장조사(나고야) 및 사례분석 •전문가 자문	•우리나라 도시방재 특성 및 도시방재관련 이론정립 •일본의 국토방재체계와 도시방재 •일본의 도시레벨 방재도시만들기 운영실태 •일본의 지구레벨 방재마을만들기 운영실태
	•과제명 : 도시기본계획의 방재 및 안전부문에 관한 연구 (Ⅰ),(Ⅱ) •김현주 외(2004),(2005) •연구목적 : 도시기본계획 수립시 방재 및 안전계획의 작성 방향과 고려사항 제시	•문헌 및 인터넷 조사 •일본(동경도, 오사카부) 현장조사 및 사례분석 •전문가 자문 •연구협의회의	•우리나라 도시방재계획의 실태와 현황에 대한 분석 •일본의 도시방재계획체계에 대한 분석 •우리나라 방재 및 안전계획의 기본방향 설정 •도시기본계획에서 방재 및 안전에 대한 고려 방안
	•과제명 : 재해에 안전한 방재도시계획 수립방안 연구 •심우배 외(2008) •연구목적 : 효율적인 방재도시계획 수립방안과 방재도시계획의 실효성 제고를 위해 부문 계획간 연계방안, 단기 제도개선방안과 중장기 발전방향 제시	•문헌 및 인터넷 조사 •현장조사 •전문가 자문 •전문가 설문조사 •협동연구 •연구협의회의 운영	•재해 및 방재도시계획의 개념 •도시계획 내 방재계획의 현황 및 문제점 •외국 도시계획측면의 방재계획제도 •효율적인 방재도시계획 수립방안 •방재도시계획 실효성 제고를 위한 부문별 계획 연계방안, 제도개선방안
	•과제명 : 기후변화 대응을 위한 적정 하천공간 확보방안 연구 •정주철 외(2009) •연구목적 : 하천법에 근거한 하천구역을 넘어서서 본래 하천공간으로서 기능할 수 있는 지역에 대한 근본적 검토와 종합적 접근방안 제시	•문헌 및 인터넷 조사 •해외사례조사 •전문가 자문 •현장조사 •GIS기법 활용	•낙동강, 영산강 권역을 대상으로 함 •기후변화에 따른 홍수위험에 대한 검토와 월류에 대비한 제방사업과 하천공간 확보에 필요성 강조 •하천공간 확보 방안들 종합적으로 제시하고 공간계획 수립 •재해완화 정책등 관리방안 제시
	•과제명 : 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구 (Ⅰ),(Ⅱ) •심우배 외(2009),(2010) •연구목적 : 기후변화를 고려한 도시 재해위험요소를 분석하여 기후변화 및 재해에 안전한 통합재해대응 도시 구축방향 및 제도개선방안 제시	•문헌 및 인터넷조사 •현장 및 관련 공무원 면담 조사 •전문가 설문조사 •GIS기법 활용 •전문가 자문 •업무협의회의 운영	•기후변화가 도시에 미치는 영향 고찰 •기후변화 대응 재해관리 현황 분석 •외국의 기후변화 대응 재해관리 사례 분석 •기후변화에 안전한 통합재해대응 도시 구축방향 및 정책과제 제시
	•과제명 : 재해취약성 분석, 재해예방형 도시계획 수립 컨설팅 사업 (Ⅰ),(Ⅱ) •국토연구원(2015-2016) •연구목적 : 도시계획 수립 지자체를 대상으로 재해취약성 분석 및 도시계획적 저감대책 설계에 대한 기술지원	•현장조사 •GIS기법 활용 •전문가 자문 •분석결과 및 계획수립 검토 •워크샵 및 설명회 개최	•도시계획을 위해 기초조사가 진행되는 10개 지자체를 대상으로 6가지 자연재해의 취약성에 대한 공간분석 실시 •각 공간 (집계구)의 취약성 등급화 •취약성 등급에 따른 재해예방형 저감대책 제안 및 발굴

자료: 저자 작성

표 1-3 | 도시침수 해석기법 및 시스템 구축에 관한 선행연구

구 분	연구목적	연구방법	주요연구내용
주요 선행연구	•과제명 : 도시홍수 예경보 및 침수예측 기술 •한국건설기술연구원(2007) •연구목적 : 도시지역 홍수 예경보를 위한 기상수문 신기술 기반의 침수해석 모형 및 시스템 구축	•문헌 조사 •국내외 시스템 사례조사 •모형개발 •시스템 개발	•도시홍수 예경보 실용화 기술 개발을 위한 예측모형 적용기술, 단기간 강우 예측 기법 개발 •도시지역 침수해석을 위한 통합 침수해석 모형 (FFC-5) 개발 및 GIS 연계 운영 시스템 구축
	•과제명 : 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전 도시 기술 개발 •국토연구원(2010-2015) •연구목적 : 내수침수 해석모형을 토대로 방재도시계획 기술 및 정보공유 플랫폼 구축	•제도 분석 •침수해석모형개발 •도시설계기술개발 •통합관리시스템 구축	•기후변화 폭우재해 적응 안전도시 시스템 개발 -웹기반 폭우재해 정보공유 플랫폼 •폭우재해저감 도시설계 실무매뉴얼 제공 •폭우재해 저감을 위한 도시설계 실무매뉴얼 제공 •폭우재해 저감을 위한 도시계획 법제도 개선방안 제시
	•과제명 : 도시 지상-지하공간 침수예측모형 고도화 및 통합 연계환경 개발 •국립재난안전연구원(2012-2013) •연구목적 : 도시 지상-지하공간 침수예측모형 고도화, 침수예측모형 통합연계, 시범적용 및 시스템 GUI개발	•대상지 현장조사 •침수예측모형검증 •침수예측모형 GUI 개발	•지상공간 침수예측모형/우수관망모형/지하공간 침수예측모형의 고도화 •도시의 지상-지하공간 침수예측모형 통합 연계 환경 개발 및 시범적용 •도시 지상-지하공간 침수예측모형 GUI 개발
	•과제명 : 도시내수침수 원인분석을 위한 센서기반 모니터링 기법 개발 및 시범 적용 •국립재난안전연구원(2013) •연구목적 : 도시내수침수 특성을 반영한 모니터링 시스템 시범적용 및 실시간 감지 모니터링기법 개발	•현장 조사 •지자체 협의 •모니터링센서조사 •네트워크구성운영방식 조사 및 검토 •시범적용	•도시내수침수 특성을 반영한 모니터링 시스템의 시범적용을 위한 대상지 및 방법 선정 •실시간 내수침수 감지 모니터링 기법 개발 •현장모니터링을 통한 도시내수침수 특성 분석을 위한 시범적용 및 결과 제시
	•과제명 : 도심지 토사재해 예측 3D 시뮬레이션 기술개발 및 통합관리시스템 구축 •도심지 토사재해 통합관리 기술개발 연구단 (2012-2017) •연구목적 : 도시지역 내 토사재해를 예측 및 대응을 위한 토사재해 기술 개발 및 실용화, 통합관리시스템 구축 및 법제도 정비	•법제도 분석 •위험도평가기술 개발 •시범적용 •예방 매뉴얼 작성 •시스템 개발	•자연공간, 지질, 기후 및 식생 환경 데이터의 통합 토사재해 인벤토리 구축 •토사재해 발생 지형공간적 위치 예측 모델 개발 및 검증 •토사재해 발달 경로, 거리, 토사 유동 및 규모 예측모델 개발 및 검증 •3D 시뮬레이션 기법을 이용한 도심지 저감대책 기술 지원 시스템 구축
	•과제명 : 국가수문기상재난안전공동활용시스템 •기상청, 국토지리정보원, 국민안전처 (2013~2020) - 다부처공동사업 •목적 : 일원화된 수문기상 재난안전 관리	•수문기상예측정보시스템 구축 •공간정보 공동활용시스템 구축 •풍수해피해예측시스템 구축	•재난안전 의사결정 및 재난상황에 대한 분석 등 자료 제공을 통해 종합 감시 및 대비 능력 향상을 주목적으로 함 •GIS기반 피해위험도 예측시스템, 재난정보기반 피해예측시스템, 피해예측정보 평가시스템 구축

자료: 저자 작성

2) 선행연구와 본 연구와의 차별성

기존의 정책연구와의 차별성에 있어서, 선행연구는 도시계획 기초조사 단계에서 재해취약성 분석을 실시하고 그 결과를 통해 검토할 수 있는 대책수단을 소개하는 데에 초점을 두고 있다. 이에 반해, 본 연구는 담당자가 도시방재계획에 필요한 실질적인 대책의 의사결정을 수행할 수 있도록 상세한 위험정보를 제공하고, 방재대책이 필요한 위치를 결정하며, 현장의 도시침수 위험원인과 담당자의 실무적 여건을 종합해 대책수립 방향을 안내하는 데 초점을 둔다. 또한 제도적 개선방향 연구 또한 시스템의 운영·활용에 초점을 두고 있는 데, 이는 구축중인 시스템을 매개로 도시방재정책의 선진화를 도모하기 때문이다.

기존의 기술개발 및 시스템 구축 연구와의 차별성에 있어서, 선행연구와는 달리 침수해석을 위해 새로운 모형을 개발하기 보다는 실무 활용성이 높다고 평가되고 있는 보편적인 침수해석 모형을 연계해 단점을 해소하고, 추후 많은 지자체에게 기술지원이 가능하도록 침수해석 기법의 간소화를 도모한다. 또한 시스템에 대해서도 지자체 단위에서 도시침수에 대한 도시계획 측면의 방재대책을 추진하려는 최우선적 목적에 맞춰 담당자의 관할지역에 대한 위험인지 수준을 높이고, 특별히 관리가 필요한 대상지에 대해서는 상세 위험도 정보와 함께 실제 대책을 계획하는 단계에서 크게 도움 되는 참고자료를 제공하는 등 목적 지향적으로 구축하고자 한다.

표 1-4 | 선행연구와 본 연구와의 차별성

구 분	연구목적	연구방법	주요연구내용
본 연구	•과제명: 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 정부 재난안전 정책 지원 시스템 구현 •연구목적: 재해예방형 도시계획 수립 시 도시침수에 대한 저감대책에 있어서 실질적 계획수립을 지원하기 위해, 미래 폭우 시나리오에 맞춰 도시 침수지역 및 영향권을 분석하고 실증적인 도시계획 측면의 방재대책 수단의 설계요령 제공	•문헌 및 인터넷 조사 •자료조사 •현장조사 •전문가 브레인스토밍 •기상수문해석, GIS분석, 위성영상분석 등 공간분석 •다기준의사결정 기법 •시스템 구축 •전문가 자문 •연구협의회 •관련 기관 전문가 협동연구 •관련부처 업무협의	•도시별 침수위험지역에 대한 위험도 프로파일 작성 •도시침수 위험지역 공간구획화를 통한 침수해석 기법의 적용 및 분석 •도시침수에 대한 영향권을 설정해 공간계획의 활용성 제고 •도시침수에 대한 재해특성, 노출특성, 취약성을 고려해 고위험지역을 도출하고, 위험도 프로토타입 작성 •시스템의 개선 및 고도화 •재해예방형 도시계획 수립 지원을 위한 도시정책 및 제도적 근거 확보 방안 제시

자료: 저자 작성

5. 연구의 기대효과

1) 정책적 기대효과

국가차원에서 동 시스템을 구축운영하면서 도시방재 분야의 지자체 역량을 지원한다면 재난관리 업무와 도시계획 업무간에 존재하는 간격을 줄이고 도시침수에 내성을 갖춘 도시를 만드는 데 상당한 기대효과가 예상된다. 총 3년의 연구를 통해 도시침수 대응의 시급성이 높은 최대 18개소의 대상지를 중심으로 중점관리 대상지역을 식별하고 이 중 일부지역을 도시계획에 필요한 상세 위험정보를 제공하고 대책수립방법을 제시할 것이다. 이러한 결과를 토대로, 추후 대상지를 점진적으로 확대하면서 중앙 또는 광역차원에서 선도사업을 실시하고, 중점관리 대상지역의 위험도를 모니터링하며, 지자체의 대책반영 및 이행을 점검하기 위한 수단으로 활용이 가능할 것이다. 시스템에서 중점관리 대상지역에 대한 방재대책 위치, 사업추진방향 등을 제시함으로써 지자체의 재해예방형 도시계획의 추진력을 강화함과 동시에, 불필요한 행정력 및 예산의 소비는 줄이도록 정책방향을 제안할 것이다. 도시계획 담당자와 함께 연구 결과의 유용성에 대해 실무적으로 검토하고, 만족도 조사를 통해 기능을 개선한다면 정책적 자문의 도구로서의 활용도 기대할 수 있다. 또한, 도시침수 예방대책 지원시스템의 기능은 국토교통부 훈령 제852호로 발표된 ‘도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침’에 근거한 검증기관의 역할에 대해 직·간접적으로 관련이 있는데 특히, 지자체가 재해취약성분석 결과를 검증하거나 자문을 할 때 큰 도움을 제공할 수 있을 것이다.

지자체의 도시계획 단계에서의 활용 외에도, 전국범위의 피해이력, 하천변 저지대, 지구지정, 침수흔적도, 강우 시나리오 등 공간자료와 지표표를 취합·가공함으로써 자료원으로서의 활용가치 또한 높을 것으로 판단된다. 전국범위의 해당 자료를 수시 업데이트하면서, 정책자료(위험도 프로파일 정보, 중점관리 대상지역 위치 등), 신기술 동향 정보 등을 정기적으로 발표해 국토교통부, 행정안전부 등 정부 재난안전분야 정책자료로 다양하게 활용할 수 있을 것이다.

2) 학술적 기대효과

우선, 기후변화를 고려한, 신뢰도 높은 강우 시나리오 분석기법을 제시할 수 있다. 도시침수 해석에 필수적인 시간단위 이내의 단기 확률강우량 자료를 생성해야 함과 동시에 장기적인 도시방재계획에 필요한 기후변화 영향을 반영해야 하는 요구를 동시에 충족하고자 한다. 특히, 2차년도에는 기후변화와 단기 강우강도 간의 관련성을 전국범위의 넓은 공간에 대해 확인하고 해석할 수 있도록 방법론을 제시하고자 한다.

아울러, 다양한 도시침수 원인을 규명할 수 있도록 간소화된 침수해석 기법을 제시한다. 본 연구는 새로운 수문해석기법을 개발하지는 않지만, 오랜 기간 신뢰성이 인정되고 실무적으로 활용되고 있는 HEC-RAS, SWMM 등을 연계해 도시계획 공간범위에 맞게 침수예상도를 마련할 수 있도록 프로토타입을 제시하고 도시계획에서의 활용을 실증한다. 특히, 2차년도에는 1차년도에 제시된 방법론의 범용성과 안정성을 개선하고, 월류량의 노면해석 등 후처리 과정을 통해 정확도 향상이 시도된다.

도시침수 방재대책 수립을 위한 합리적인 위치결정과 원인조사 방법론 또한 개발하고자 한다. 도시침수 위험도가 다양한 원인에 의해 구성되기 때문에 방재대책을 위한 위치 선정은 매우 어려운 의사결정을 필요로 한다. 본 연구에서는 다기준의사결정 방법론을 이용해 도시지역 내 고위험지역을 체계적·객관적으로 선정할 수 있도록 평가기준 도출, 비교우위 척도 분석, 원인해석, 불확실성 검증 등의 절차와 방법을 개발하고 그 유용성을 실증할 것이다.



CHAPTER 2

행정구역별 도시침수 기초자료 구축

- 1. 하천변 저지대의 면적 지표 | 29
- 2. 자연재해 관리지구의 면적 지표 | 42

행정구역별 도시침수 기초자료 구축

본 장은 관할 지역의 도시침수 위험을 쉽게 이해할 수 있도록 행정구역 단위의 기초자료를 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 지역의 침수발생의 지형적 여건을 확인할 수 있도록 하천변 저지대 면적에 대한 지표와 도시침수 등에 대한 경계대책 여부를 확인할 수 있도록 자연재해 관리지구¹⁾ 면적에 대한 지표를 시·군·구 단위로 개발하고자 하였다. 또한 개발된 지표를 토지개발방식, 피해이력 등과 비교하여 도시방재대책 차원의 시사점을 도출하고자 하였다.

※ 1차년도 연구내용

1차년도에는 시·군·구 단위로 도시침수의 두 가지 피해지표, 즉, 호우로 인한 도시지역 피해액과 피해빈도 지표를 개발하고 시사점을 검토한 바 있다. 그 결과, 도시지역 1km² 당 연평균 65백만원을 초과할 경우 상대적으로 피해액이 높은 수준에 해당되며, 1km² 당 연평균 0.12회 발생 시 상대적으로 피해빈도가 낮은 것으로 확인되었다. 또한 지역적으로 경기도와 경상남도에 속한 지자체는 이러한 피해여건이 나빠 상대적으로 도시침수 관리가 중요한 것으로 확인되었다.

1. 하천변 저지대의 면적 지표

심재현 외(2006), 강상준과 정주철(2012) 등이 실시한 과거 수해피해 원인조사 결과를 보면, 우리나라의 도시침수 피해는 하천 인근에서 주변 지역보다 상대적으로 지형이 낮은 저지대에 집중되는 경향이 뚜렷하다. 이는 과거 도시공간 부족으로 하천구역을 충분히 확보하지 못하였을 뿐만 아니라, 경사가 완만한 배후지역의 토지도 개발

1) 본 연구에서 '자연재해 관리지구'란 국토계획법에 따라 도시계획에서 지정하는 방재지구와 자연재해대책법에 따라 지정하는 위험개선지구를 통칭하기로 하였다.

하였기 때문이라 할 수 있다(정주철 외, 2009). 따라서 현재에도 도시침수 피해방지를 위해 도시·군관리계획에서 하천변 저지대의 관리를 <표 2-1>과 같이 강조하고 있다.

표 2-1 | 도시의 방재대책을 위한 하천변 저지대 관련 규정

- 6-2-2-2. 수해지진 등 발생가능한 재해에 대비하여 재해에 취약한 지역과 장소를 발견하고 이에 대비하여 다음 사항을 고려한 방재계획을 수립한다.
- (1) 저지대 및 지내력이 적은 지역에는 내수범람 및 침수방지를 위한 배수 및 방수시설을 충분히 설치하고, 취약지대에는 인구가 밀집되지 않도록 토지이용계획을 수립하여야 한다.
 - (2) 저지대는 가급적 자연배수가 되도록 계획하고, 불가피한 경우에는 우수지를 충분히 확보하고 우수지의 기능이 최대한 발휘되도록 계획하여야 한다.
 - (3) 수해상습지역에는 가급적 운동장·공원 등 공공용지를 많이 확보하여 재해로 인한 인명이나 재산의 피해가 최소화되도록 토지이용계획을 수립하여야 한다.
 - (4) 하천이나 강변도로는 장기 강우빈도를 감안하여 계획하고(가능하다면 강우빈도는 100년 주기를 권장), 하천복개시에는 충분한 우수단면을 확보할 수 있도록 계획하여야 한다.
 - (5) 지진·폭발·진동에 의한 건물붕괴 등이 우려되는 지역은 이에 대한 대책을 강구하여야 한다.
 - (6) 화재발생시 그 피해가 주변지역으로 확대될 가능성이 큰 지역에 대하여는 피해가능성을 검토한 후 대책을 마련하여야 한다.

자료: 도시·군관리계획수립 지침('16.12.개정)

그럼에도 불구하고, 하천변 저지대를 기술적으로 정의하기 위한 학술적인 시도나 국가차원에서 관련 공간정보를 구축하기 위한 사업은 본격적으로 추진되지 않고 있던 것으로 판단된다. 하천법에서도 완성제방의 부지 및 제방으로부터 하심측의 토지를 제외지로, 그리고 제방을 포함한 이외 하천주변 지역을 제내지로 정의할 뿐, 제내지의 지형특성을 감안해 별도로 저지대를 구분하고 있지는 않고 있다.²⁾

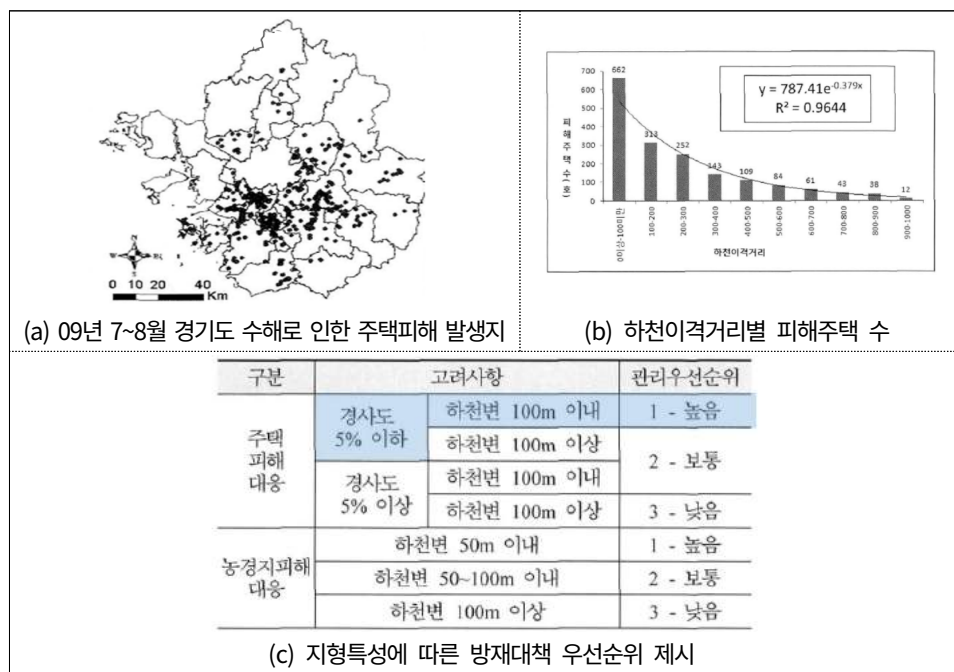
즉, 방재대책 상의 중요성에도 불구하고 하천변 저지대, 특히, 그 위치나 면적에 대한 공식적인 자료가 없을 뿐만 아니라 저지대 지형특성에 대한 연구사례 또한 많지 않은 상황이다. 만일, 하천변 저지대에 대한 공간정보를 전국적으로 구축하여 면적을 관

2) 단지, 하천법 제12조에 의거해 정밀모의를 통해 분석된 계획홍수위 보다 지형고도가 낮고 하천으로부터 일정 거리 이내 하천구역이 아닌 지역을 ‘홍수관리구역’으로 지정할 수 있도록 정하고 있는 것이 사실이다. 하지만 홍수관리구역은 통상 지칭하는 하천변 저지대에 비해 매우 협소한 개념이다. 즉, 홍수관리구역은 비구조적 치수계획의 일환으로, 구조적 대책의 추진가능성, 경제성 등을 종합적으로 고려할 때 “해당구간에는 별도의 방어시설을 설치하기 보다는 연접지역을 가능한 비운다”는 판단에 입각해 지정된 공간이라 할 수 있다. 이에 반해, 하천변 저지대는 특별한 의도나 전략 없이 하천 인근의 내·외수 침수발생이 쉬운 지형특성을 가진 공간을 지칭하는 표현이다.

리할 수 있다면 관심지역의 침수발생 가능성과 방재대책의 필요성을 판단하기에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.

위의 배경에 의해 본 연구에서는 전국차원에서 하천변 저지대 면적에 대한 지표를 측정하기 위한 범용적인 자료와 단순화된 방법을 검토하기로 하였다. 우선, 본 연구에서 ‘하천변 저지대’는 강상준과 정주철(2012)이 2009년 경기도 수해피해조사를 바탕으로 경험적으로 제시한 기준을 참고하여 “하천변으로부터 100m의 이격거리와 경사도 5% 이하에 해당하는 지역”으로 간주하였다. 또한 시범적으로 지방하천에 대한 하천변 저지대에 초점³⁾을 맞춰 <그림 2-2>의 절차에 따라 하천변 저지대의 위치도를 먼저 개발한 뒤, 이를 행정구역별 면적 지표를 산정하는 데 활용하기로 하였다.

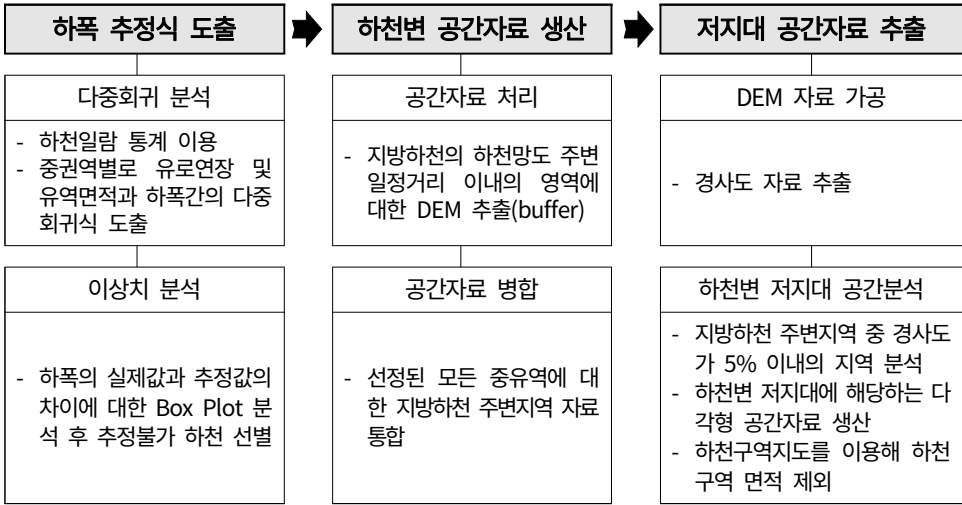
그림 2-1 | 2009년 경기도 지역의 수해원인 조사 결과



자료: 강상준과 정주철 (2012) 재구성

3) 당초 도시침수 예방대책 지원시스템은 중점관리 대상지역의 상세 위험정보를 제공하는 것을 우선적으로 고려해 기능을 설계하였기 때문에 하천변 저지대의 경우 분석의 방법론과 그 가능성을 확인하는 데 한정하였다. 정확도 높은 하천변 저지대에 대한 공간정보 개발은 추후 정부의 정보화 사업의 일환으로 본격적으로 추진할 것을 제안한다.

그림 2-2 | 하천변 저지대 위치도 생산 절차



자료: 저자 작성

1) 하폭 추정식 도출

하천변 저지대의 위치도를 만들기 위해 먼저 하천변으로부터 100m 이격거리까지의 공간범위를 확정해야 하는 데, 이를 위해서는 하천의 중심선에서 하천구역까지의 거리인 하폭을 추정하는 수식이 필요하다.⁴⁾ 이는 하폭 추정이 이뤄져야 여기에서 중심선에서 양방향으로 추정된 하폭의 절반에 100m를 더해 저지대 공간범위까지의 거리를 파악할 수 있기 때문이다. 하폭은 유역의 특성과 관련 있기 때문에 중권역별로 이를⁵⁾ 고려해 하폭 추정식을 도출한 뒤 해당 중권역에 포함된 지방하천에 대해 추정식을 일괄 적용하기로 하였다. 이를 위해, 국토교통부(2013)에서 발간한 전국하천일람을 토대로 포함된 각 중권역별로 지방하천의 유역면적과 유로연장을 독립변수로, 해당 하천의 하폭을 종속변수로 하는 단순 또는 다중 회귀식을 도출하기로 하였다. 회귀식은 선형과

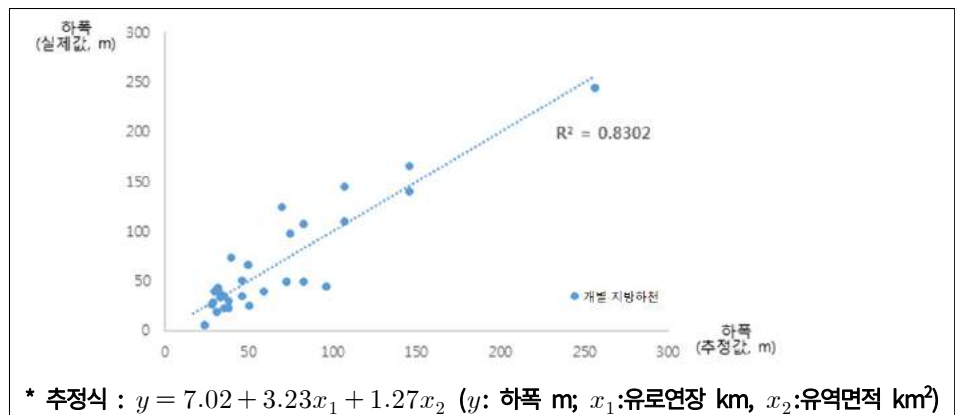
4) 하천변으로부터 100m 이격거리는 하천 중심선에서 저지대 공간범위까지의 거리에서 하천 중심선에서 하천 구역까지의 거리를 제외한 것과 같기 때문이다.

5) 실제 현장에서 하천 설계 시 유역형상을 고려해 하폭을 결정하는 경험식을 통상적으로 사용하고 있으므로 유역면적, 유로연장 등은 하폭 추정에 중요한 독립변수가 될 수 있을 것으로 예상하였다.

역함수의 두가지 형태 중에서 설명력이 높은 것을 선택하였으며, 유의성이 낮거나 다중공선성이 우려될 경우 해당되는 독립변수는 제외하는 방법을 취하였다.

회귀식을 도출한 결과 전체 수계 77개 중권역 중 80% 이상에 대해서는 유역형상으로 하폭을 신뢰성 있게 추정할 수 있음을 알 수 있었다. 예로서 <그림 2-3>은 영산강 수계 중 지석천 권역의 하폭추정 결과를 보여주고 있는데, 유로연장과 유역면적이 모두 하폭추정에 유의하며 하천일람 상의 실제 하폭값과 추정치 간의 결정계수는 약 83% 수준으로 양호하였다. 약 20%에 해당하는 나머지 중권역⁶⁾은 포함된 지방하천 수가 적거나 추정식 오차가 높아 향후 다른 방법을 강구해야 함을 알 수 있었다.⁷⁾

그림 2-3 | 중권역별 하폭 추정식 도출 결과의 예시 : 지석천 권역



자료: 저자 작성

위 방법을 적용할 수 있는 중권역의 지방하천이라고 해도 추정식이 큰 오차를 발생시킬 수 있다면 추가로 확인해 제외하기로 하였다. 이를 위해, 지방하천별로 하폭에 대한 추정식 적용 결과와 본래 하폭값의 잔차가 이상치 수준에 해당되는 지 여부를

6) 즉, 한강 수계 24개 중권역 중 8개, 낙동강 수계 22개 중권역 중 3개, 금강 수계 14개 중권역 중 2개, 섬진강 수계 9개 중권역 중 0개, 영산강 수계 8개 중권역 중 2개. 중권역별 이상치 제거 결과는 <부록 1>에 제시하였다.

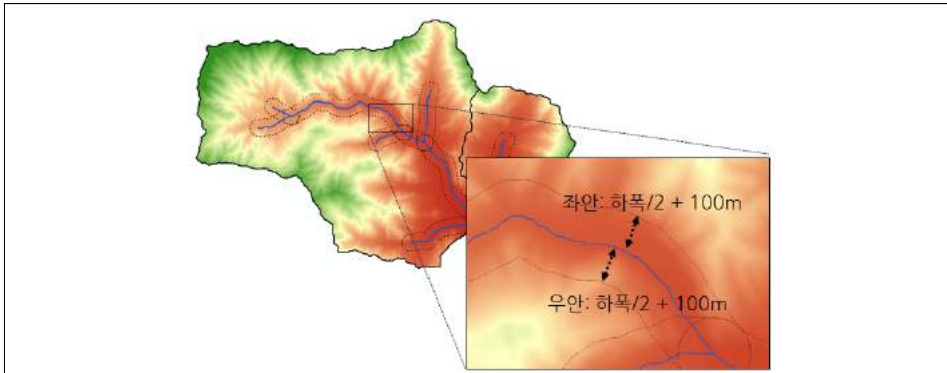
7) 제외된 중권역이 많지 않을 뿐만 아니라, 이 중권역 내 포함된 지방하천 수가 적다. 따라서 향후 전국에 대한 저지대 자료 구축사업이 본격적으로 추진된다면, 제외된 지역에 대해서는 하폭추정에 계획홍수량 자료를 활용해 추계식을 만들거나, 하천구역 공간자료를 이용해 개별적으로 저지대의 공간범위를 설정해 이를 보완할 수 있을 것이다.

Box Plot을 통해 분석하였다. 그 결과, 하폭추정이 가능한 77개 중권역의 2,297개 지방하천 가운데 8%에 해당되는 190개 하천은 오차가 커 추가로 제외하기로 하였다.⁸⁾

2) 하천변 공간자료 생산

각 지방하천별로 필요한 유역 특성치를 계산하고 하폭을 추정된 뒤에는 <그림 2-4>와 같이 하천의 중심선에서 양방향으로 하폭의 1/2에 추가적으로 100m까지의 공간범위를 GIS도구를 이용해 다각형 도형을 추출하였다.⁹⁾ 이어서, 추출된 공간자료는 일괄 자료처리를 위해 전국범위로 병합하였다.¹⁰⁾

그림 2-4 | 하천변 공간자료 생산의 개념도



자료: 저자 작성

3) 하천변 저지대 공간자료 추출

국가수자원종합정보시스템(WAMIS)의 하천구역도를 이용해 앞에서 얻은 다각형 도형에서 하천구역의 면적을 제외하였다.¹¹⁾ 또한 DEM 자료와 하천변 공간자료를 중첩

8) 즉, 한강 수계 609개 하천 중 63개, 낙동강 수계 761개 하천 중 56개, 금강 수계 485개 하천 중 35개 하천, 섬진강 수계 282개 하천 중 20개, 영산강 수계 160개 하천 중 16개. 자세한 중권역별 이상치 제거 결과는 <부록 1>에 제시하였다.

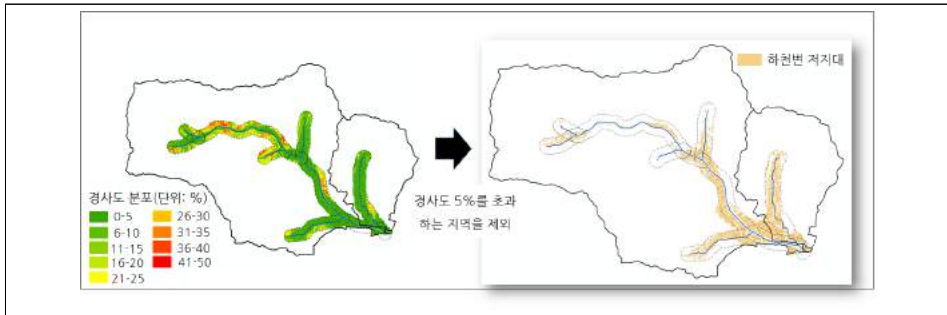
9) ESRI ArcGIS ver.10.2의 'buffer' 적용하였다.

10) ESRI ArcGIS ver.10.2의 'merge' 적용하였다.

11) ESRI ArcGIS ver.10.2의 'Eraser' 적용하였다.

한 뒤 경사도 5% 이상인 지역을 <그림 2-5>와 같이 제외해 하천변 저지대에 해당하는 공간자료만을 확보하였다. 마지막으로, 영상자료, 침수흔적도 등과 비교하면서, 하천변 저지대 위치도의 적정성을 검토하였다.

그림 2-5 | 하천변 저지대 위치도 생산의 개념도



자료: 저자 작성

위치도 개발 결과의 예로서, <그림 2-6>과 <그림 2-7>은 각각 동두천시 내 신천과 포천시 내 영평천의 저지대를 보여주고 있다. 본 연구에서는 과거 사례를 토대로 하천변으로부터 100m 이격거리를 가정하였으나, 실제로 하천변으로부터 침수가 발생할 수 있는 거리는 해당구간의 홍수량, 제방고, 추가 방재시설 존재 여부 등에 따라 달라질 수 있으므로 과거 침수지역을 완벽하게 묘사하기는 매우 힘들다.¹²⁾

그럼에도 불구하고, 실제 침수흔적도와 비교할 때 하천변 저지대 위치도 상에 구분된 두 도시지역은 과거 침수발생 경향이 높다는 점을 알 수 있는데, 이는 값 비싸고 시간이 많이 소요되는 정밀해석을 하지 않더라도 위험지역을 개략적으로 확인하는 데는 좋은 참고자료가 될 수 있음을 잘 보여준다. 특히 도시지역이 연접한 경우 방재측면에서 매우 중요한 정보라 할 수 있는 데, 제방 보축¹³⁾, 상류의 강변 저류지 설치 등의 하천시설 정비사업, 유수지, 펌프장, 토출관 등의 방재시설 설치사업, 그리고 조기경보시설 및 대피로 설계 등의 재난관리대책 추진의 필요성을 판단하는 데 크게 도움을 줄 수 있을 것이다.

12) 추후 홍수량, 제방고 등 요인에 따라 하천변의 적정 거리 조정에 따른 연구를 실시한다면 전국범위로 더욱 신뢰할 수 있는 공간정보를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

13) 제방 보축이란 일반적으로 여유고, 사면경사, 독마루폭 등을 하천설계기준에 맞게 정비하는 공사를 의미한다.

그림 2-6 | 하천변 저지대 위치도 생산 결과 : 동두천시 내 신천의 예시



자료: 저자 작성

그림 2-7 | 하천변 저지대 위치도 생산 결과 : 포천시 내 영평천의 예시



자료: 저자 작성

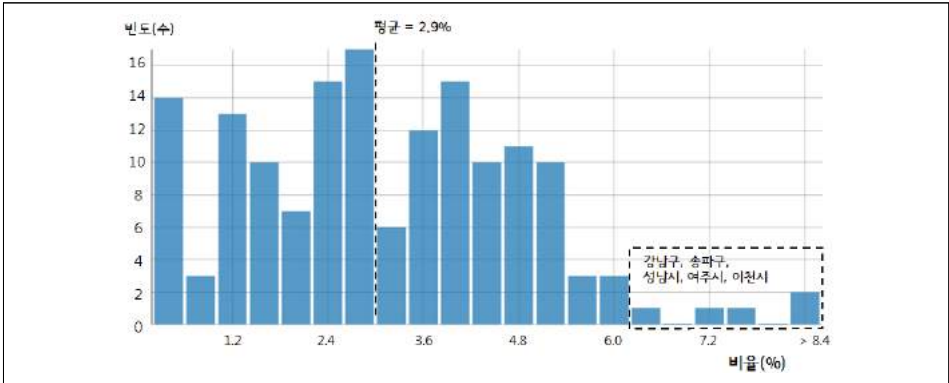
4) 시·군·구 단위의 지표 산정

하천변 저지대 위치도를 이용해 시·군·구 단위로 하천변 저지대의 면적 비율과 저지대 개발·이용 비율의 두 가지 지표를 산정하기로 하였다. 우선, 하천변 저지대 면적 비율(%)은 “해당 지자체의 행정구역 면적 중에서 하천변 저지대에 해당되는 면적”으로 정의하였는데, 이 비율이 높을수록 해당 지자체는 침수 영향이 큰 지형적 요인을 갖고 있다고 판단할 수 있을 것이다. 또한 하천변 저지대 개발·이용 비율(%)은 “해당 지자체의 하천변 저지대 면적 중 주거, 상업, 공업 등의 용도로 토지를 개발·이용하는 면적”으로 정의하였는데, 이 비율이 높을수록 해당 지자체는 침수 영향이 큰 부지를 더 많이 개발하였다고 볼 수 있다.

본 연구에서 분석된 지방하천에 대한 저지대 면적 비율을 시·군·구별로 분석한 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 하폭추정식을 만들 수 없었던 일부 구간을 제외하고, 전국 2,107개의 지방하천이 관통하는 총 154개 기초단체를 기준¹⁴⁾으로 볼 때 총 1,973km²의 하천변 저지대 면적이 분석되었다. 이는 시·군·구 단위로 지방하천에 대한 하천변 저지대를 행정구역 면적 대비 평균 2.9%만큼 지니고 있음을 의미한다. 이러한 면적에 대한 분포를 <그림 2-8>과 같이 확인하였는데, 특히, 서울시 송파구(9.1%), 이천시(8.7%), 서울시 강남구(7.6%), 경기도 성남시(7.0%), 여주시(6.2%) 등 수도권에 위치한 지역은 대표적으로 지방하천의 하천변 저지대 면적이 높은 곳으로 분석되었다.

14) 하천변 저지대 위치도 제작단계에서 약 20%의 중권역에 포함되는 지방하천 자료가 누락되어 있기 때문에 전국 평균이라고는 표현할 수 없으며, 해석에 별도 주의가 필요하다.

그림 2-8 | 기초단체별 지방하천 하천변 저지대 면적 분포



자료: 저자 작성

그림 2-9 | 전국적으로 지방하천의 하천변 저지대 비율이 높은 기초단체의 위치

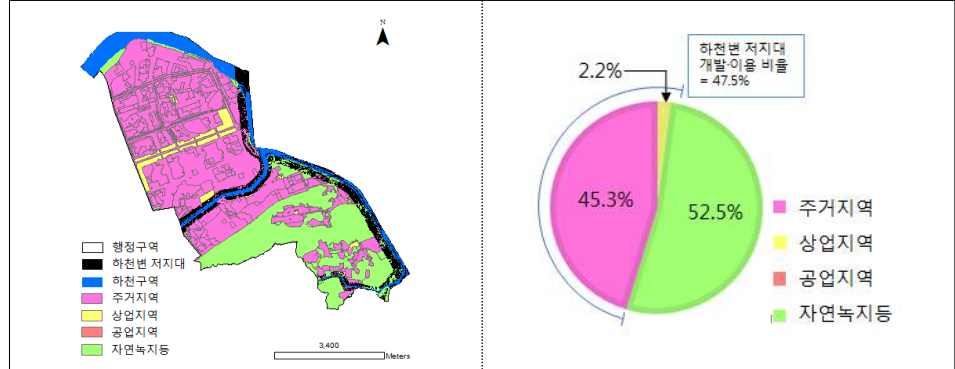


자료: 저자 작성

하천변 저지대 면적 비율 지표만으로는 상대적으로 높은 5개 지자체의 침수위험 여부를 쉽게 판단할 수 없기 때문에 <그림 2-10>~<그림 2-15>와 같이 하천변 저지대의 개발·이용 비율 지표를 함께 살펴보았다. 서울시 강남구는 47.5%를 개발하였으며, 이 가운데 다수는 주거지역으로 활용하고 있음을 알 수 있었다. 또한 서울시 송파구는

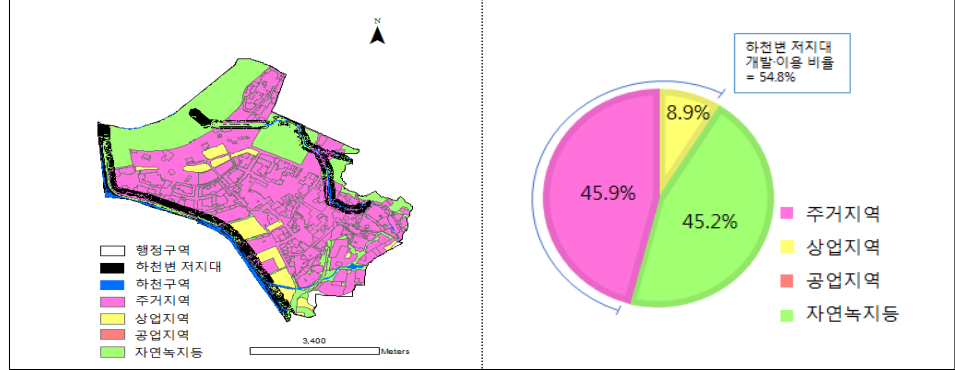
54.8%를, 그리고 성남시는 58.4%를 개발하였으며, 두 기초단체의 저지대는 대부분 주거지역과 상업지역으로 활용하고 있다. 위 세 기초단체와는 달리, 여주시와 이천시 는 지방하천의 저지대 면적이 많지만, 실제로 개발이용은 이 중 1%에 불과하였다. <그림 2-15>가 그 의미를 명확히 보여주고 있는 데, 서울시 송파구, 서울시 강남구, 성남시는 대표적인 개발밀도가 높은 곳으로 하천변 저지대가 많음에도 불구하고 도시 지역 공간부족으로 인해 대부분 활용하고 있는 실정이다. 이에 반해 여주시와 이천시 는 하천변 저지대 면적이 많은 지형적 조건에도 불구하고, 과거 도시계획을 통해 홍수와 도시공간을 구분하는 홍수회피 전략을 잘 실현할 수 있었던 것으로 보인다.

그림 2-10 | 서울시 강남구 하천변 저지대 이용 현황



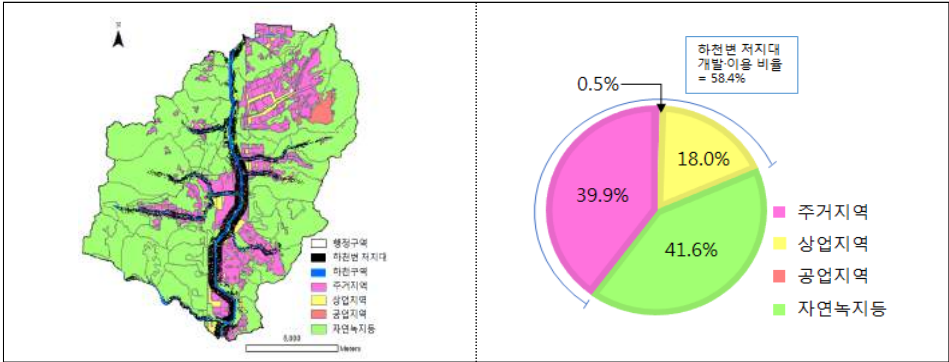
자료: 저자 작성

그림 2-11 | 서울시 송파구 하천변 저지대 이용 현황



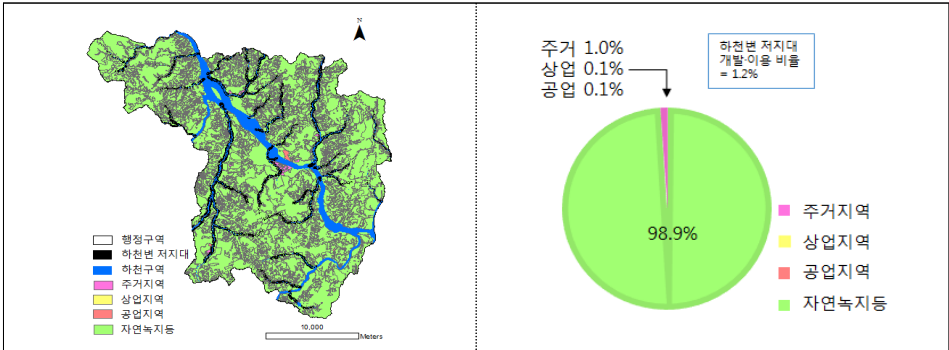
자료: 저자 작성

그림 2-12 | 성남시 하천변 저지대 이용 현황



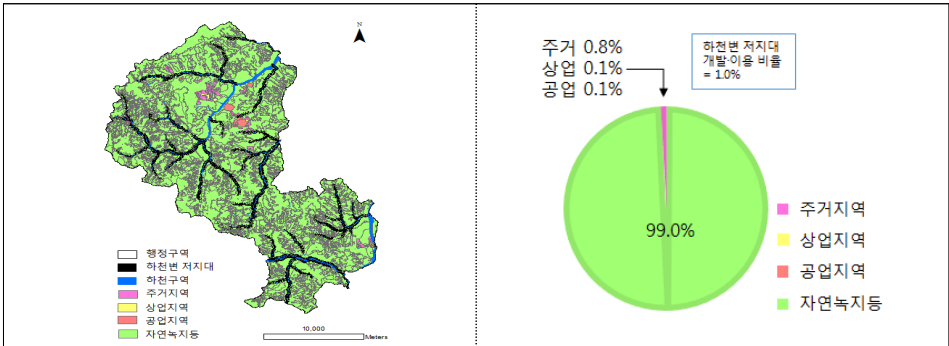
자료: 저자 작성

그림 2-13 | 여주시 하천변 저지대 이용 현황



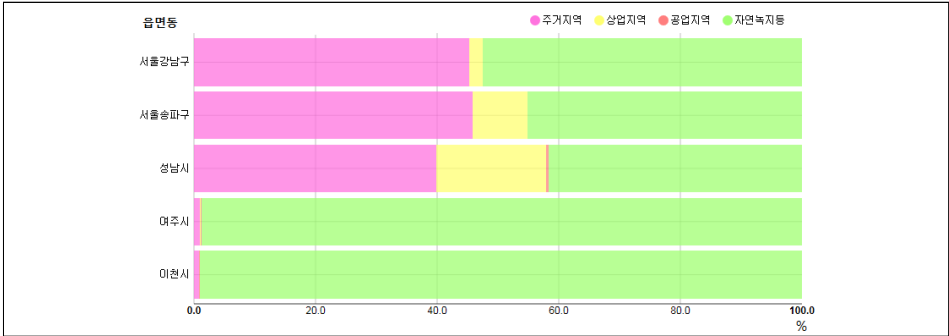
자료: 저자 작성

그림 2-14 | 이천시 하천변 저지대 이용 현황



자료: 저자 작성

그림 2-15 | 주요 5개 시·군·구 하천변 저지대 개발·이용 특성 비교



자료: 저자 작성

표 2-2 | 주요 5개 시·군·구 하천변 저지대 개발·이용 특성 비교

시·군·구	지방하천의 하천변 저지대 총 면적 (m ²)	토지이용 방식 구분 (m ²)			
		주거용	상업/업무용	공업용	녹지 등
서울시 강남구	3,083,538	1,396,290	68,341	0	1,618,907
서울시 송파구	3,067,134	1,408,936	272,772	0	1,385,427
성남시	9,844,066	3,925,631	1,770,245	48,823	4,099,368
여주시	37,615,027	364,528	35,116	27,620	37,187,762
이천시	40,062,743	307,289	11,361	35,670	39,708,424

자료: 저자 작성

본 연구에서 시범적으로 지방하천에 초점을 두고 하천변 저지대 면적 지표를 구축하고자 하였는데, DEM, 하천구역도, 토지이용도 등 쉽게 활용할 수 있는 공간자료를 이용해 먼저 저지대 위치도를 얻은 뒤, 사군구 행정구역별로 저지대 면적 비율과 저지대 이용·개발 비율의 두 지표를 산정할 수 있었다. 지표로부터 지역적 특성을 분석한 결과, 도시공간 제약상황에 따라 침수에 특히 취약한 하천변 저지대가 상당히 개발·이용되고 있는 지역이 있음을 확인할 수 있었다. 개념적으로 어렵지 않기 때문에, 담당자에게 관내 도시침수에 대한 지형적인 위험을 쉽게 판단하는 목적으로 이러한 지표를 당장에 제공할 수 있을 것이다. 향후에는 지표 개발을 넘어, 전국적으로 모든 지방하천에 대한 저지대 위치도를 구축하고, 저지대의 개발·이용 실태에 대한 전수 조사를 실시한 뒤 향후 상세 위험도 평가 및 관리대책 마련을 본격화할 필요가 있다고 판단된다.

2. 자연재해 관리지구의 면적 지표

우리나라는 현재 침수 등 자연재해의 위험을 사전 관리하기 위해 대표적으로 두 가지 지구를 지정운영해오고 있다. 우선, 자연재해대책법 제12조 및 동법 시행령 제8조에 의거해 침수 등의 발생이 우려되는 지역에 예방사업을 하기 위해 ‘자연재해위험개선지구’를 지정하고 있다. 또한 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제37조 및 동법 시행령 제31조에서도 시설개선, 건축제한 등 재해예방을 위한 용도지구로서 ‘방재지구’를 지정하도록 정하고 있다. <표 2-3>과 같이 방재지구는 국토교통부장관도 지정할 수도 있는 특징이 있지만, 두 가지 지구 모두 자치단체장의 결정을 공통적으로 요구한다. 그리고 원칙 상 도시침수 등 재해가 우려될 경우 위의 지구를 지정한 뒤 방재대책을 체계적이고 집중적으로 추진하도록 정하고 있다.

표 2-3 | 자연재해 관리를 위한 지구지정 관련 규정

▶ **자연재해대책법 제12조제1항**

시장·군수·구청장은 상습침수지역, 산사태위험지역 등 **지형적인 여건 등으로 인하여 재해가 발생할 우려가 있는 지역을 자연재해위험개선지구로 지정·고시**하고, 그 결과를 시·도지사를 거쳐 국민안전처장관과 관계 중앙행정기관의 장에게 보고하여야 한다. 이 경우 「토지이용규제 기본법」 제8조제2항에 따라 지형도면을 함께 고시하여야 한다.

▶ **자연재해대책법 시행령 제8조제1항**

법 제12조제1항에 따른 자연재해위험개선지구의 지정기준은 다음 각 호와 같다. 1. **재해 위험 원인에 따라 침수 위험지구, 유실위험지구, 고립위험지구, 취약방재시설지구, 붕괴위험지구, 해일위험지구로 구분하여 지정**하되, 국민안전처장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 정하는 지정 요건을 충족할 것. 다만, 해일위험지구의 지정 기준은 법 제25조의3제1항에 따른다.

▶ **국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제37조제1항**

국토교통부장관, 시·도지사 또는 대도시 시장은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 용도지구의 지정 또는 변경을 도시·군관리계획으로 결정한다. (생략) 5. **방재지구: 풍수해, 산사태, 지반의 붕괴, 그 밖의 재해를 예방하기 위하여 필요한 지구** (생략)

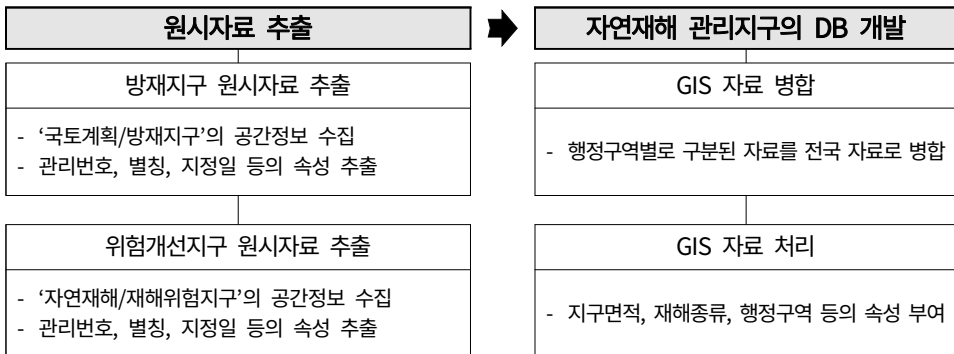
▶ **국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 제31조제2항**

국토교통부장관, 시·도지사 또는 대도시 시장은 법 제37조제2항에 따라 도시·군관리계획결정으로 경관지구·미관지구·고도지구·방재지구·보존지구·시설보호지구·취락지구 및 개발진흥지구를 다음 각 호와 같이 세분하여 지정할 수 있다. (생략) 4. 방재지구; 가. 시가지방재지구: **건축물·인구가 밀집되어 있는 지역으로서 시설 개선 등을 통하여 재해 예방이 필요한 지구**; 나. 자연방재지구: 토지의 이용도가 낮은 해안변, 하천변, 급경사지 주변 등의 지역으로서 **건축 제한 등을 통하여 재해 예방이 필요한 지구** (생략)

자료: 국가정보법령센터(<http://www.law.go.kr>)

어떤 지역에 자연재해 관리지구 존재 여부는 두 가지 측면의 정보를 제공할 수 있다. 우선, 관심을 갖는 지역에 해당되는 지구가 이미 지정되어 있다면, 침수 등에 의한 재해위험이 높음을 판단할 수 있다. 반대로 타 정보¹⁵⁾를 통해 해당지역의 침수위험이 높다는 점을 미리 파악하였다면, 지자체에서 관리지구를 지정해 집중적으로 관리하고 있는 지 여부를 점검할 수도 있을 것이다. 본 연구는 침수가 위험한 만큼 자연재해 관리지구가 지정되어야 한다는 인식 하에, 이를 측정하기 위한 수단으로서 행정구역별 지표를 산정하기로 하였다. 이를 위해 기존의 정보시스템의 자료 구축 현황을 검토한 결과 <그림 2-16>의 두 단계의 절차에 따라 관련 자료를 생산하기로 하였다. 즉, 전국 차원에서 자료를 취합·갱신되고 있는 타 정보시스템으로부터 방재지구와 위험개선지구에 대한 위치도를 확보한 뒤에 본 연구의 목적에 맞게 추출, 속성추가 등 자료를 가공하고, 최종적으로 사군구 단위로 지구 면적에 대한 지표를 산정하기로 하였다.

그림 2-16 | 자연재해 관리지구 위치도 생산



자료: 저자 작성

1) 원시자료 추출

국토교통부에서 운영하는 웹사이트인 국가공간정보포털 오픈마켓(<http://nsdi.go.kr>)을 통해 공개된 방재지구와 위험개선지구의 원시자료를 활용하기로 하였으며, 각 자료는 다음과 같은 특징이 있는 것으로 조사되었다. 우선, 방재지구의 원시자료는 본래

15) 본 시스템은 하천변 저지대, 침수흔적도 등의 여러 주제도를 중첩 분석할 수 있도록 개발될 예정이다.

국토교통부 부동산종합공부시스템¹⁶⁾에서 등록된 것으로 광역단체별로 구분해 GIS형식으로 제공하고 있는 데, 자료열람 시점인 '17년 3월 말 기준으로 전국적으로 18건을 확인하였다. 재해위험개선지구의 원시자료 또한 국토교통부 부동산종합공부시스템에 등록된 것으로 광역단체별로 구분해 GIS형식으로 제공하고 있는 데, 자료열람 시점인 '17년 3월 말 기준으로 전국적으로 988건을 확인할 수 있었다. 국가공간정보포털 오픈마켓은 두 가지 자료 모두 부동산종합공부시스템을 참고하여 매월 자료를 업데이트 해오고 있다.

두 원시자료의 테이블 구조에서 관리번호, 별칭, 지정일 등 속성을 추출하였다. 관리번호는 총 33자리로 구성되어 지정권자, 고시년도, 지구종류에 대한 정보를 담고 있다. 별칭은 지정권자가 추가적으로 표시한 지구의 이름 등의 정보를 담고 있다. 마지막으로 지정일은 방재지구나 위험지구 고시 후 실제 지구로 지정된 날짜를 의미한다.¹⁷⁾

2) 자연재해 관리지구 DB 개발

추출된 속성을 지닌 자료를 모두 병합¹⁸⁾하여 자연재해 관리지구의 위치도를 전국범위를 갖도록 구축하였다. 또한 위치도의 테이블 속성은 <그림 2-18>과 같은 형식을 갖도록 통일하였다. 즉, 각 지구의 면적을 계산¹⁹⁾한 뒤 객체별로 면적에 대한 테이블 속성을 추가하였으며, 원시자료의 관리번호 중 지구종류에 대한 6자리코드(방재지구: UQJ100; 위험개선지구: UPB000~999)를 추출한 뒤 객체별로 재해지구의 종류에 대한 테이블 속성을 추가하였다. 그리고 행정구역도와 중첩시켜 각 자연재해 관리지구의 객체별 위치를 확인²⁰⁾한 뒤 시도, 시·군·구, 읍·면·동 등 행정구역에 대한 테이블 속성 또한 포함시켰다.

16) 지방자치단체가 지적공부 및 부동산종합공부 정보를 전산으로 관리·운영하는 시스템을 말하며, 국토교통부는 부동산종합공부시스템 운영 및 관리규정을 훈령으로 정하고 있다.

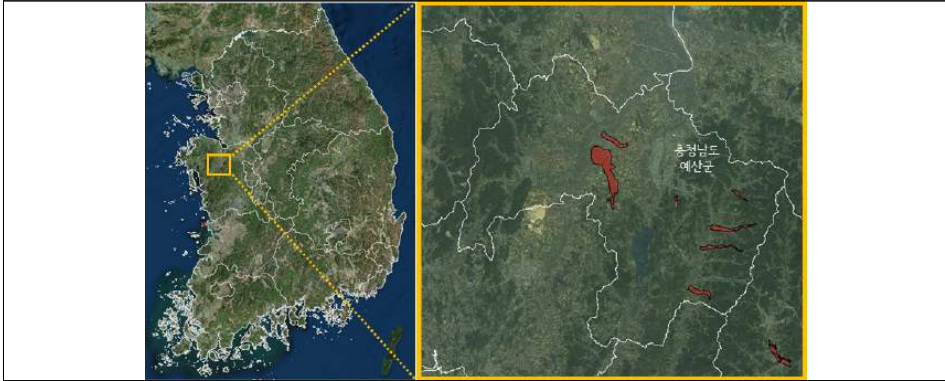
17) 'YYYYMMDD' 형식으로 기입되어 있는데, 지정시기가 오래될수록 지정일 정보가 누락된 경향을 보인다.

18) ESRI ArcGIS ver.10.2의 'merge' 적용하였다.

19) ESRI ArcGIS ver.10.2의 'Calculate Geometry' 기능 사용하였다.

20) ESRI ArcGIS ver.10.2의 'Intersect' 기능 사용하였다.

그림 2-17 | 자연재해 관리지구 위치도



자료: 저자 작성

그림 2-18 | 자연재해 관리지구 DB의 속성

REMARK	NTFDATE	AREA	CODE	CODE_NM	CTP_NM	SIGL_NM	EMD_NM
자연재해위험지구	20151118	105191.515224	UPB200	자연재해위험지구	충청북도	보은군	속린면
신대지구		288908.211508	UPB100	재해위험지구	충청북도	영진군	영진면, 영진읍
		70350.556192	UPB100	재해위험지구	충청북도	옥천군	옥천면
지령도면고지(2011-51호)		31593.656233	UPB200	자연재해위험지구	충청북도	영동군	영동면
지령도면고지(2011-51호)		988194.556223	UPB200	자연재해위험지구	충청북도	영동군	영동면
지령도면고지(2011-51호)		207390.355814	UPB200	자연재해위험지구	충청북도	영동군	영동면
합동지구 (합동위험지구)	20151118	528493.704694	UPB200	자연재해위험지구	충청북도	괴산군	괴산면
인면지구 (합동위험지구)		243493.714437	UPB200	자연재해위험지구	충청북도	괴산군	괴산면
		574893.556047	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		547000.012855	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		1102443.555811	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		67567.102478	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		48803.246339	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		40333.012834	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		8524.782544	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		3300.261628	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		8718.861786	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		62200.345282	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		11522.460025	UPB200	자연재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
	20180831	115450.340622	UPB200	자연재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
	20180831	115450.340622	UPB200	자연재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
	20150401	115450.340622	UPB200	자연재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		24876.782181	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		543012.524240	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		330305.656677	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		885706.579793	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면
		271970.000000	UPB100	재해위험지구	충청남도	완주군	완주면

자료: 저자 작성

3) 시·군·구 단위의 지표 산정

자연재해 관리지구의 위치도를 이용해 시·군·구 단위로 관리지구 지정 면적에 대한 지표를 산정하기로 하였다. 여기서, 관리지구 지정 면적비율(%)은 '각 지자체의 행정 구역 면적 내 방재지구 또는 자연재해위험개선지구로 지정된 면적'으로 정의되며, 이 비율이 높을수록 해당 지자체는 재해의 사전예방을 위해 더 많은 지구를 지정·관리하고 있다고 볼 수 있을 것이다.

전국의 자연재해 관리지구 지정 면적비율을 분석한 결과 다음과 같은 특징을 발견할 수 있었다. 우선, 국토계획법 상의 방재지구와 자연재해대책법 상의 재해위험개선지구는 전국의 행정구역 면적 99,848km² 중 93.5km²만큼 지정되어 있는데, 대부분 자연재해대책법에 의한 위험관리개선지구에 해당되었다. 또한 지자체는 현재 행정구역 면적 대비 평균 0.1% 가량 관련 지구를 지정해 관라운영 중에 있는 것으로 분석되었다.

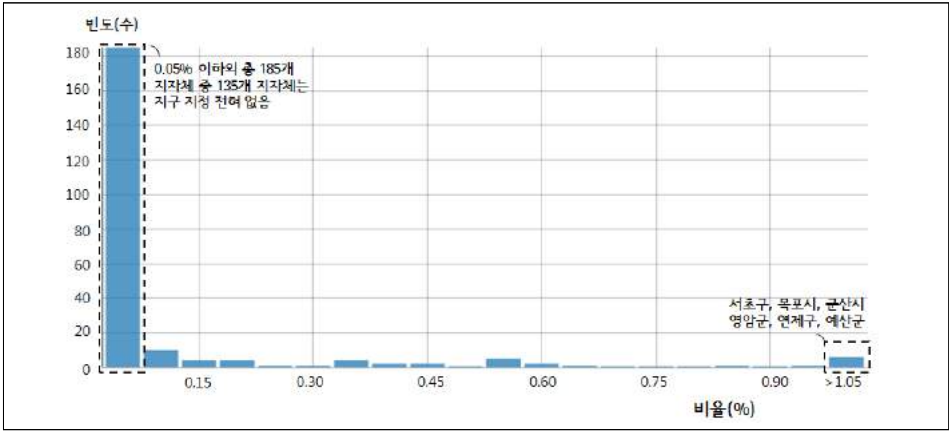
지역적 특성을 보면, 서울특별시 0.77%, 전라북도 0.35%, 전라남도 0.22% 등의 순서로 지구지정이 활발하게 이뤄지고 있는 반면, 대전시, 세종시, 울산시 등은 지구지정이 거의 이뤄지고 있지 않았다. 시군구별로 보면, 서울시 서초구 8.3%, 목포시 4.4%, 군산시 4.2%, 영암군 2.7%, 예산군 2.1%, 부산 연제구 1.1% 등이 행정구역 면적 대비 관리지구 면적이 높은 곳으로 분석되었다. 최근 침수피해를 겪었지만 관련 지구지정이 전혀 없는 지자체도 매우 많은데 이러한 지자체는 총 135개로 전체의 약 60%에 달하고 있다.

표 2-4 | 자연재해 관리지구 면적의 지역적 특성

시 · 도 · 별	관리지구 면적 (km ²)	행정구역 면적 (km ²)	관리지구 지정면적 (%)
전 국	93.5	99,848	0.09
서 울	4.7	605	0.77
부 산	0.5	770	0.06
대 구	0.2	880	0.02
인 천	0.2	1,054	0.02
광 주	0.1	498	0.03
대 전	0	539	0.00
울 산	0.1	1,055	0.01
세 종	0	465	0.00
경 기	2.3	10,156	0.02
강 원	2.6	16,627	0.02
충 북	2.6	7,409	0.03
충 남	14.7	8,196	0.18
전 북	28.4	8,066	0.35
전 남	26.2	12,155	0.22
경 북	6.5	19,017	0.03
경 남	3.8	10,510	0.04
제 주	0.6	1,846	0.03

주:  : 지구지정이 비교적 활발한 지역;  : 지구지정이 잘 이뤄지지 않는 지역
 자료: 저자 작성

그림 2-19 | 기초단체의 자연재해 관리지구 지정면적 분포 현황



자료: 저자 작성

사군구별 자연재해 관리지구 지정 면적비율을 1차년도에 집계한 호우에 대한 도시 지역 연평균 피해액 지표²¹⁾를 이용해 상관성 분석을 실시한 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 전체적으로 상관관계 계수가 0.273에 불과해 피해가 큰 지자체일수록 반드시 관리지구를 더 많이 지정하고 있다고 보기는 힘들었다. 보다 구체적으로 분석하기 위해 호우 피해액 지표를 4분위(높음, 약간 높음, 약간 낮음, 낮음)로 구분한 뒤 피해액 지표값에 따라 자연재해 관리지구의 지정 여부에 대한 χ^2 독립성 검증을 실시하였는데, 가설²²⁾을 기각할 만큼 유의성이 크지 않았다.²³⁾ 따라서 현재 지자체는 침수피해가 크다고 반드시 자연재해 관리지구를 많이 지정·운영하는 것이 아니라는 결론을 얻을 수 있었다. 많은 이유가 있겠지만, 자연재해 관리지구의 지정·운영이 객관적인 침수피해의 이력이나 잠재성에 근거하기 보다는 지역·개발사업이 중요한 기초자치단체장 권한에 따라 결정되기 때문일 수도 있다.²⁴⁾ 이에 따라, 지구지정의 실행력 강화

21) 1차년도에는 2008년에서 2014년까지의 재해연보 자료 등을 이용해 도시면적 1km² 단위면적당 연 평균 피해액과 피해빈도에 대한 지표값을 산정한 바 있다. 자세한 내용은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 101 쪽에서 107쪽까지에 제시되어 있다.

22) “특정 지자체의 호우로 인한 도시지역 연평균 피해액과 지구지정 면적비율은 독립적이다”는 가정하에 검증을 실시하였다.

23) Pearson χ^2 은 0.710, 분할계수는 0.08, 그리고 근사 유의확률은 0.710의 값을 얻을 수 있었다.

를 위해 가급적 주관부처(방재지구의 경우 국토교통부)나 광역단체에서 객관적인 위험평가 결과에 따라 주기적으로 기초단체에 지구지정을 권하고, 기초단체가 검토한 뒤 특별한 이유가 없는 한 이를 수용하게 하는 방식으로 전환될 필요가 있다고 판단되었다.

24) 원인해석을 위해 보다 심층연구가 필요하지만, 자연재해 관리지구는 단순히 해당 지역의 위험 여부가 아닌, 다른 요인, 예를 들어, 자치단체장 의지, 지역여론 또는 향후 개발사업의 필요성 등에 따라 지정 여부가 결정되고 있는 지 의구심이 들었다.

3

CHAPTER

중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정

1. 대상지 공간범위 설정 | 51
2. 강우 시나리오 자료 생성 | 70
3. 도시침수 간소화 해석 | 80
4. 상세 위험정보 개발 | 91

중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정

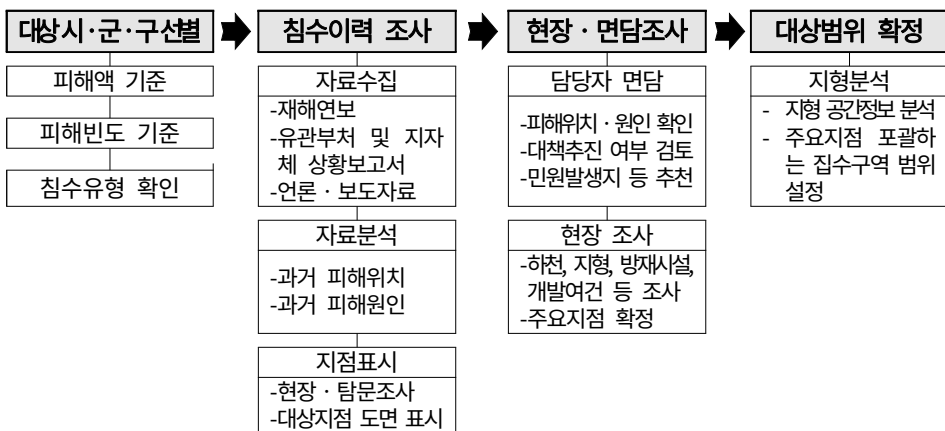
본 장에서는 중점관리 대상지역의 공간범위를 설정하고 방재대책 수립을 지원하기 위해 상세한 위험정보를 개발하고자 한다. 이를 위해 1차년도에서 연구 한계로 파악된 강우 시나리오 자료의 전국범위 확대 해석, 노면수 해석의 정확도 향상 등을 추가로 도모하고 그 결과를 중부 지방의 여러 대상지에 대해 적용해 방법론의 범용성을 확인하고자 하였다.

※ 1차년도 연구내용

상세한 위험정보를 개발하기 위해 대상지역의 공간범위 설정, 강우시나리오 자료 생산, 내·외수 침수해석, 위험도 주제도 생산 등 각각에 대해 프로토타입을 제시하였으며, 남양주와 창원시 대상지에 대해 그 유용성을 실증한 바 있다.

1. 대상지역의 공간범위 설정

그림 3-1 | 중점관리 대상지역 선정 절차



자료: 저자 작성

중점관리 대상지역을 선정하기 위해서 1차년도 연구에서 <그림 3-1>과 같은 절차를 제시한 바 있다. 피해액, 피해빈도, 침수유형을 확인하여 대상 사군구를 우선 선별하고 과거 이력 등의 자료분석과 현장면담 조사를 통해 주요지점을 확정하였다. 최종적으로 지형분석을 통해 주요지점을 포괄하는 집수구역 범위를 도출한 뒤 중점관리 대상 지역을 선정하였다.

1) 대상 시·군·구 선별

1차년도에서 2008~2014 재해연보 자료를 이용해 지자체를 선별하는 기준을 제시한 바 있다. 즉, 호우로 인해 해당 지자체의 공공시설 및 건축물의 연평균 피해액에서 도시지역 면적을 나누어 $65.1\text{백만원}/\text{km}^2/\text{년}$ 을 초과하거나(피해액 지표), 공공시설 및 건축물의 연평균 피해 발생회수에 도시지역 면적을 나누어 $0.12\text{회}/\text{km}^2/\text{년}$ 을 초과(피해빈도 지표)한 지역은 상대적으로 도시침수 피해가 큰 것으로 분석되었다. 하지만 피해액과 피해빈도 지표만으로는 지자체의 도시침수 피해여건을 확인하기에 한계가 있었는데, 이는 도시지역 밖에서 도로, 하천 등의 큰 피해가 발생하여 도시침수 피해양상과 다른 경우가 포함되기 때문이다.¹⁾ 따라서 2차년도에는 두 가지 지표 기준으로 대상 지자체를 선별한 뒤에 추가적으로 재해연보 상의 피해시점에 대한 언론 기사를 검색하여 과거 피해 위치나 피해 유형이 도시침수와 무관한 곳은 제외하기로 하였다.

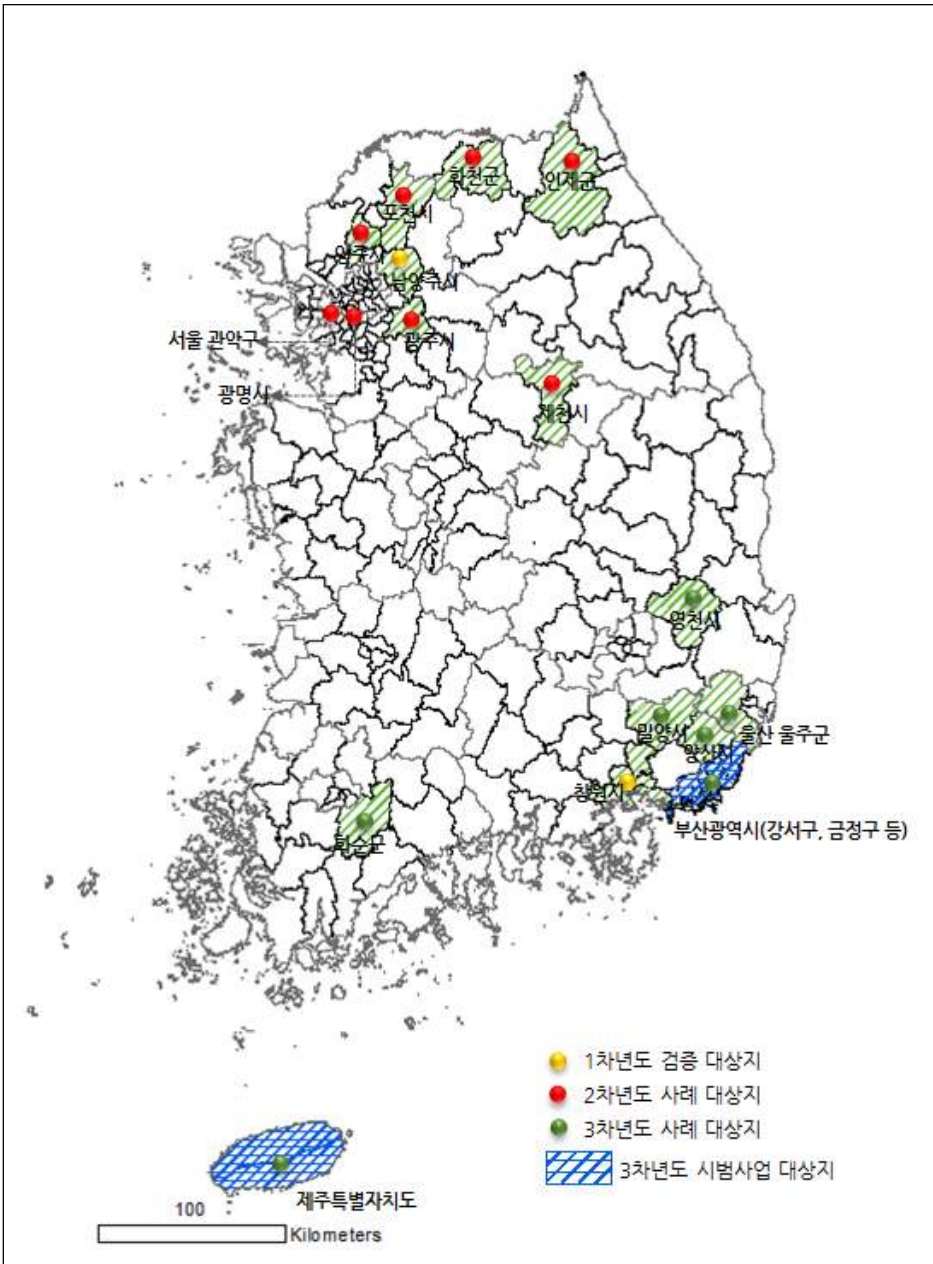
위 방법에 따라 2차년도에 중부지방의 대상 사군구를 선별한 결과는 <그림 3-2>와 같다. 서울특별시 관악구, 경기도 광명시, 경기도 광주시, 경기도 양주시, 경기도 포천시, 강원도 인제시, 강원도 화천군, 그리고 충청북도 제천시²⁾는 모두 피해액 지표 또는 피해빈도 지표를 충족함과 동시에 과거 피해 유형이 도시침수로 확인되었다.³⁾

1) 예를 들어, 2차년도 연구대상지인 중부지역의 경우 구리시, 평창군, 청양군의 세 지자체도 피해액 지표와 피해빈도 지표로 볼 때 피해가 큰 것으로 분석되었으나, 언론보도 기록을 확인한 결과 세 지자체는 과거 농촌지역의 도로와 하천 피해가 큰 것으로 파악되었다.

2) 2차년도 동안 이 8개 지자체의 도시침수 피해여건을 분석하고 중점관리 대상지역을 선정하였으며, 그 중 경기도의 광주시와 포천시 두 지자체에 대해서는 상세 위험정보를 구축하고 방재대책 방향까지 집중적으로 검토하였다.

3) 3차년도에는 남부지역 가운데 위 기준을 만족하는 부산광역시, 울산광역시 울주군, 전라남도 화순군, 경상북도 영천시, 경상남도 밀양시, 양산시, 제주특별자치도 등에 대해 중점관리 대상지역 8개소를 선별하였다.

그림 3-2 | 전체 과업의 대상지 선별 결과



자료: 저자 작성

2) 침수이력 조사

2차년도 연구를 위해 선별된 8개의 지자체에 대해 최근의 침수피해 이력을 조사하였다. 침수피해이력 조사는 국토교통부 침수흔적도, 지자체 재난관리보고서 및 상황보고서, 풍수해저감종합계획 보고서, 대한지적공사의 침수흔적도 등을 종합해 과거 피해발생 위치와 피해원인을 다음과 같이 파악하였다.

〈표 3-1〉과 같이 서울시 관악구는 2001년과 2010년에서 2012년까지 매우 큰 피해를 경험한 바 있는데 특히, 신림동은 집중호우 시 도림천과 봉천천이 합류하는 지역에 관악산 계곡물이 대거 유입되면서 도림천이 범람하기 쉽고, 이로 인해 주변 저지대 주택과 상가 등이 상습적으로 침수되는 것으로 조사되었다.

표 3-1 | 서울시 관악구 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
신림동	'12.06.25	- 구시가지 저지대 침수 - 도림천과 봉천천 합류부의 하천 범람으로 신림동 주변 저지대 주택과 상가 등 일대 지역에 상습적 침수 피해
	'11.06.29	광명성애병원 앞 도로 등 5곳 도로 침수
상도동	'10.09.21	고저차가 심한 지형적 특성으로 집중호우 발생 시 하수관거 통수능 부족으로 침수 피해
조원동	'12.06.25	도림천과 봉천천이 합류로 인한 도림천 하류부 수위상승으로 침수피해

자료: 저자 작성

광명시는 〈표 3-2〉와 같이 2001년, 2010년, 2012년 그리고 2013년에 여름철 피해 기록을 확인할 수 있었으며 아파트 밀집지역인 철산동과 하안동의 경우 내수배제 불량에 의한 피해가 있었던 것으로 조사되었다. 단독주택 밀집지역인 광명동의 경우 목감천에 다수의 배수펌프장을 설치한 이래 직접적인 하천범람으로 피해가 발생하지는 않았지만, 수위상승으로 인한 역류로 인해 하천인근 저지대 침수가 생겨 지하주택 피해가 컸던 것으로 파악되었다.

표 3-2 | 광명시 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
철산동	'10.09.21	◦ 구시가지 저지대 침수
	'11.07.27	◦ 광명성애병원 앞 도로 등 5곳 도로 침수
하안동	'10.09.21	◦ 광명시 종합운동장 주변 단독주택 및 아파트 단지 주변 일대 침수
	'13.08.06	◦ 하수역류로 일대 15가구 침수
광명동	'10.09.21	◦ 목감천 수위 상승 등으로 주변 일대 지역 주택 및 상가동 피해
	'01.07.30	◦ 광명 2~5동 목감천 주변 저지대 위치한 지하주택 170가구 피해

자료: 저자 작성

광주시는 <표 3-3>과 같이 2006년, 2011년 그리고 2013년에 도시침수 피해기록이 확인되며, 특히 송정동일대에 외수위 상승으로 인한 범람과 내수배제 불량에 의한 주택 및 상가 일부가 침수된 것으로 파악되었다.

표 3-3 | 광주시 도시침수 피해이력 조사 결과

구 분	일시	내용
송정동	'13.07.31	◦ 최고 270.5mm의 집중호우 발생 ◦ 상가 및 주택 침수
	'11.07.27	◦ 최고 530mm의 집중호우 발생 ◦ 곤지암천, 경안천 범람으로 송정동 일대 침수 (상가 및 주택 333여가구, 골목길 등)
장지동	'11.07.03	◦ 연립주택(낙원빌라) 앞 도로 약 30m 침수
역동	'11.07.27	◦ 오수가 역류해 일부가구 침수
	'06.07.18	◦ 두산유리 앞 도로 침수
초월읍	'11.08.04	◦ 지월리 일대 침수 (광주하수처리장, 삼육제활센터 등)
	'11.07.27	◦ 곤지암천 범람으로 도로 및 주택 일부 침수
	'06.07.18	◦ 도평리 진입도로와 남초폴장 앞 제방도로 침수
곤지암읍	'13.07.22	◦ 곤지암리 일대 상가 침수, 일부 저지대 침수
	'11.07.30	◦ 아파트단지 침수
도척면	'13.07.22	◦ 도로 침수 발생

자료: 저자 작성

양주시는 <표 3-4>와 같이 2016년, 2010년, 2011년, 그리고 2016년 여름철 피해 기록이 확인되었는 데, 특히, 덕정동과 덕계동 일대에 내수배제 불량으로 인한 저지대 지역의 주택 및 공원일대 침수된 적이 있는 것으로 파악되었다.

표 3-4 | 양주시 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
덕정동	'16.07.05	◦ 덕정사거리 도로 침수
	'06.07.27	◦ 저지대 주택 1채 침수
봉양동	'11.06.29	◦ 하수 역류로 버스 1대 침수
덕계동	'10.09.09	◦ 덕계공원 일대 침수 - 덕계공원 내 배수시설을 설치 시 외부 유입량을 검토하지 않아, 강우량40mm만 초과해도 덕계동 소재 구거 역류 발생
은현면	'11.07.28	◦ 저지대 주택 40채 침수 ◦ 신천이 위험수위까지 차오르고, 빗물이 역류
	'11.07.27	◦ 4,000여㎡ 사업장 침수
회천1동	'06.07.28	◦ 일대 주택 침수

자료: 저자 작성

포천시는 <표 3-5>와 같이 2009년, 2013년 7월의 피해기록이 확인되며, 신읍동 일대를 중심으로 하수관거 역구배 설계와 외수위 상승으로 인해 저지대 지역에 위치한 주택이 침수된 사례가 대표적이라고 할 수 있다.

표 3-5 | 포천시 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
어룡동	'13.07.15	◦ 개성인산농협 주변 도로 침수
동교동	'09.07.09	◦ 일부 하천 제방 145m 유실
영중면	'13.07.16	◦ 성동삼거리 의정부방면 국도 43번 1km 침수
영북면	'13.07.16	◦ 시간당 30mm 국지성 폭우 발생 시 한탄강 수위 상승으로 주변 건축물 침수

자료: 저자 작성

인제군은 <표 3-6>과 같이 2009년, 2011년, 2013년 그리고 2016년 7월의 피해기록이 있는 것으로 확인되며, 특히, 인제읍 일대에서 외수위 상승에 의한 주거지역 침수 피해가 컸던 것으로 나타났다.

표 3-6 | 인제군 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
인제읍	'16.07.07	◦ 고사리 주택 침수피해
	'16.07.07	◦ 덕산리 일대 덕산천 범람 우려로 주민 14명 대피
	'16.07.07	◦ 마을 안길 침수
	'09.07.14	◦ 을지검문소 인근 도로 침수
남면	'11.07.28	◦ 46번 국도 유실
서화면	'13.07.14	◦ 천도리 주택 1채 침수
기린면	'13.07.14	◦ 현리 선인병원 지하실 침수 (시가지 상습 침수지역)
		◦ 31번 국도 침수

자료: 저자 작성

화천군은 <표 3-7>과 같이 2011년과 2013년 7월의 피해기록이 있는 것으로 확인되며, 화천읍 내 저지대 지역에 집중호우로 인한 주택 침수가 발생된 적이 있는 것으로 나타났다.

표 3-7 | 화천군 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
화천읍	'13.07.15	◦ 용호리 소하천 석축 붕괴
		◦ 집중호우로 파로호 뉴시터 진입로 침수
하남면	'11.07.28	◦ 논미리장례식장 앞 국도 5호선 유실

자료: 저자 작성

제천시 2009년부터 2012년까지 여름철에 계속해서 피해가 발생하였는데, <표 3-8>과 같이 장평천 홍수위 상승으로 인해 영천동, 천남동, 화산동, 동현동, 신백동 등 비교적 피해지역이 넓게 분포하는 특징이 있는 것으로 나타났다.

표 3-8 | 제천시 도시침수 피해이력 조사 결과

구분	일시	내용
영천동	'12.07.08	◦ 굴다리 및 인근 도로 침수
	'10.09.22	◦ 지하차도 침수
천남동	'11.08.17	◦ 도로 침수
봉양읍	'11.07.03	◦ 하천 범람으로 인근 국도 5호선 약 50m 침수
	'10.09.22	◦ 안경다리 침수
	'09.07.15	◦ 박달재터널 입구 통로 침수
수산면	'12.09.23	◦ 4대강 옥순봉 지구 생태공원 시설물 침수
송학면	'10.09.22	◦ 송학초등학교 앞 주택 4채 침수
		◦ 포전리 농협주유소 앞 82번 지방도의 옹벽 및 도로 유실

자료: 저자 작성

3) 현장·면담 조사

침수피해 이력조사 결과를 검증하고 피해이력에 누락되었거나 추가 조사가 필요한 지점을 파악하기 위해 지자체 담당자와 함께 현장·면담 조사를 실시하였다. 먼저 사군청과 자치센터를 방문해 담당자와 면담을 실시하면서 피해이력 조사 결과의 타당성 여부를 확인하고, 주요 민원발생지, 사후대책 추진여부 등을 검토하였다. 확인·추가 지점에 대해서는 현장조사를 실시해 하천환경, 지형, 배수방재시설 설치 및 관리 현황, 개발여건⁴⁾ 등을 살펴보고 방재대책이 요구되는 지점을 최종적으로 결정하였다.

2차년도 8개 지자체 각각에 대해 현장·면담 조사를 실시하였으며, 도시침수 피해가 우려되는 지점을 각각 다음 <표 3-9>와 같이 결정하였다. 먼저, 서울시 관악구 담당자와 면담 후 <표 3-10>과 같이 현장조사를 수행하였다. 조원동 신대방역 주변은 하천범람으로 1998년, 2002년, 2011년 등에 걸쳐 침수 및 도로 파손이 자주 있었고 신림동 도림천 주변 또한 하천범람의 위험이 큰 것을 확인하였다.

4) 건축물, 주거환경, 토지이용방식, 중요 계획시설 위치 등을 포함하였다.

표 3-9 | 지자체 현장 · 면담조사를 통한 주요지점 선정 결과

구분	주요지점 위치	특징
서울시 관악구	신림동, 상도동 조원동 일대	◦ 신림동은 도림천과 봉천천이 합류하는 지점을 중심으로 하천이 범람하여 주변 저지대 주택 및 상가 상습적 침수 발생 ◦ 상도동은 도림천 범람으로 신대방역 인근 지역 침수 발생 ◦ 조원동은 도림천 범람으로 주변 도로 및 인근 지하주택 침수 발생
광명시	철산동, 하안동 광명동 일대	◦ 철산동은 하수관거 통수능 부족 및 정비 불량으로 저지대 일부 지역 침수 발생 ◦ 하안동은 종합운동장 주변 단독주택 및 반자하주택 밀집 지역이 상대적으로 지대가 낮아 침수 발생 ◦ 광명동은 목감천 수위 상승으로 주거지 및 반자하 주택 밀집 지역 침수 발생
광주시	송정동 일대	◦ 송정동은 송정소천이 목현천의 하류부에서 합류 후 경안천으로 유입되는 데 외수위 상승과 내수배제 불능으로 일대 주택 및 상가 침수 발생
양주시	덕계동, 덕정동	◦ 덕계동은 덕계공원 및 주거단지 일부 지역에 배수시설 정비 불량과 덕계천 수위상승 등으로 저지대 일부지역 침수 발생 ◦ 덕정동은 덕정역 부근 시장의 배수시설 미비로 인해 침수 발생
포천시	신읍동, 어룡동 일대	◦ 신읍동에 위치한 시청 인근 하수관거의 역구배 설계로 인근 주거지역 일대가 침수된 바 있음 ◦ 어룡동 일대는 어룡천이 포천천과 합류된 이후 하천 수위 상승으로 인근 주거지 및 농경지가 침수되는 것으로 조사됨
인제군	인제읍, 북면 일대	◦ 인제읍은 덕산천 수위 상승으로 주거지 일부 지역 침수 발생 ◦ 북면에서는 북천의 범람으로 인접한 저지대로 침수 발생
화천군	화천읍 일대	◦ 하리 일원은 북한강 수위보다 낮은 저지대로서 하천범람이 크게 우려 ◦ 읍내 지역 또한 관로 시설기준 미달로 우수배제 어려움이 있음
제천시	천남동, 영천동 화산동, 동현동 신백동 일대	◦ 천남동은 장평천 수위 상승으로 시가지로 이어지는 일부 도로 침수 ◦ 영천동은 장평천 수위 상승으로 주거지 및 상업지 일부 지역이 침수되고 우수관로의 미정비로 내수배제 어려움이 있음 ◦ 화산동 역시 장평천의 수위 상승으로 인한 주거지와 일부 도로 침수 발생 ◦ 동현동 및 신백동은 고암천 수위 상승에 따른 내수배제 불량으로 주거지 및 상업지 일부 침수 발생

자료: 저자 작성

표 3-10 | 서울시 관악구 현장조사 사진

위치	현장 전경		
신림동			
상도동			
조원동			

자료: 저자촬영('17.4.7. 현장조사 실시)

광명시 담당자와 면담 후 <표 3-11>와 같이 현장조사를 수행하였다. 이 지역은 목감천 수위 상승으로 인한 주변 지역의 침수 피해가 자주 발생하였고 2013년에는 하수역류로 인해 하안동 일대에 침수 피해가 발생 하였다. 또한 2011년 광명동의 경우 저지대에 위치한 지하주택 170가구가 침수 피해를 입은 사실을 확인할 수 있었다.

표 3-11 | 광명시 현장조사 사진

위치	현장 전경		
철산동			
하안동			
광명동			

자료: 저자촬영('17.4.6. 현장조사 실시)

광주시 담당자 면담에서 송정동, 장지동, 역동, 초월읍, 곤지암읍 등 많은 지역에서 도시침수 피해가 자주 발생하였는데 특히 2011년과 2013년에 송정동 주거밀집지역에 발생한 침수피해가 매우 심각하였음을 확인할 수 있었다. 이 외에도 곤지암천과 경안천의 범람으로 상가 및 주택 333여 가구가 침수되는 등 큰 피해를 확인하였다.

표 3-12 | 광주시 현장조사 사진

위치	현장 전경		
송정동			

자료: 저자촬영('17.1.9. 현장조사 실시)

양주시의 경우 덕정동, 봉양동, 덕계동, 은현면 회천1동에 큰 침수피해가 발생하였는데, 덕계동 공원일대는 배수시설 설치시 외부 유입량의 검토가 이루어지지 않아 강우량이 40mm만 초과해도 덕계동 소재의 구거역류가 발생하는 점을 파악할 수 있었다.

표 3-13 | 양주시 현장조사 사진

위치	현장 전경		
덕정동			
덕계동			

자료: 저자촬영('17.4.14. 현장조사 실시)

포천시는 2013년에 많은 피해가 발생하였는데 면담조사 결과 신읍천과 구읍천이 합류하는 신읍동 일대가 내외수로 인한 피해가 컸던 것으로 파악할 수 있었으며, 이에 따라 <표 3-14>와 같이 현장조사를 실시하였다.

표 3-14 | 포천시 현장조사 사진

위치	현장전경		
신읍동			
어룡동			

자료: 저자촬영('17.1.10. 현장조사 실시)

인제군과 화천군은 타 도시와 달리 도로침수, 제방유실 등에 의해 피해가 컸던 것으로 확인할 수 있었으며, 지역 특성상 내수침수 피해는 크지 않은 것으로 나타났다.

표 3-15 | 인제군 현장조사 사진

위치	현장전경		
인제읍			
북면 (원통리)			

자료: 저자촬영('16.12.12. 현장조사 실시)

표 3-16 | 화천군 현장조사 사진

위치	현장전경		
화천읍			

자료: 저자촬영('16.12.13. 현장조사 실시)

제천시는 장편천 홍수위 상승으로 인해 영천동, 천남동 등 비교적 넓은 지역에 여름철마다 계속 피해가 발생하는 것으로 나타났으며, 주택침수는 많지 않았지만 도로, 지하차도, 터널 등의 침수가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이에 따라 <표 3-17>과 같이 현장조사를 수행하였는데, 대부분 하천 옆에 위치한 도로침수가 크게 우려되었다.

표 3-17 | 제천시 현장조사 사진

위치	현장전경		
천남동			
영천동			
화산동			
동현동			
신백동			

자료: 저자촬영('17.2.23. 현장조사 실시)

4) 대상지역 공간범위 설정

1차년도에서는 수치표고자료와 GIS 도구⁵⁾를 이용해 현장면담조사에서 결정된 주요 지점을 포괄하는 집수구역 경계를 분석한 뒤 중점관리 대상지역의 공간범위를 설정하는 방법을 제시한 바 있다. 요약하면, <표 3-18>에 나타난 바와 같이 수치표고자료로부터 주요지점을 포함하는 지역의 흐름방향을 계산하고 이 흐름방향을 이용하여 흐름누적유량도와 하천차수도를 순차적으로 작성한다. 작성된 하천차수도를 이용해 하천유역도를 생성한 뒤 하천유역도 내에서 주요지점을 포함하는 소유역을 선택해 집수구역의 경계를 확정한다.

표 3-18 | 공간범위 설정을 위한 지형분석 방법

구 분	주요 내용
1단계	수치표고자료로부터 주요지점을 포함하는 지역의 흐름방향도(flow direction) ⁶⁾ 계산
2단계	흐름방향도를 이용해 흐름누적유량도(flow accumulation) ⁷⁾ , 하천차수도(stream order) ⁸⁾ 를 순차적으로 작성
3단계	하천차수도를 이용해 하천유역도(watershed) ⁹⁾ 생성
4단계	하천유역도 내에서 주요지점을 포함하는 소유역을 선택하여 집수구역 경계 확정

자료: 저자 작성

위 지형분석 방법을 통해 8개 지자체에 대한 중점관리 대상지역 공간범위를 도출한 결과는 다음과 같다(<그림 3-3> ~ <그림 3-10>). 서울시 관악구의 대상지역은 도림천의 유역경계로서 신림동, 상도동, 조원동 일대가 포함된 32.0km² 면적을 지니며, 광

5) ESRI ArcGIS ver.10.2의 ‘Hydro tools’를 사용하였다.

6) 흐름방향도는 수치표고자료 표고값을 토대로 주위방향으로 경사도를 분석한 뒤 경사가 가장 급한 방향에 대한 값을 표기한 도면을 의미한다.

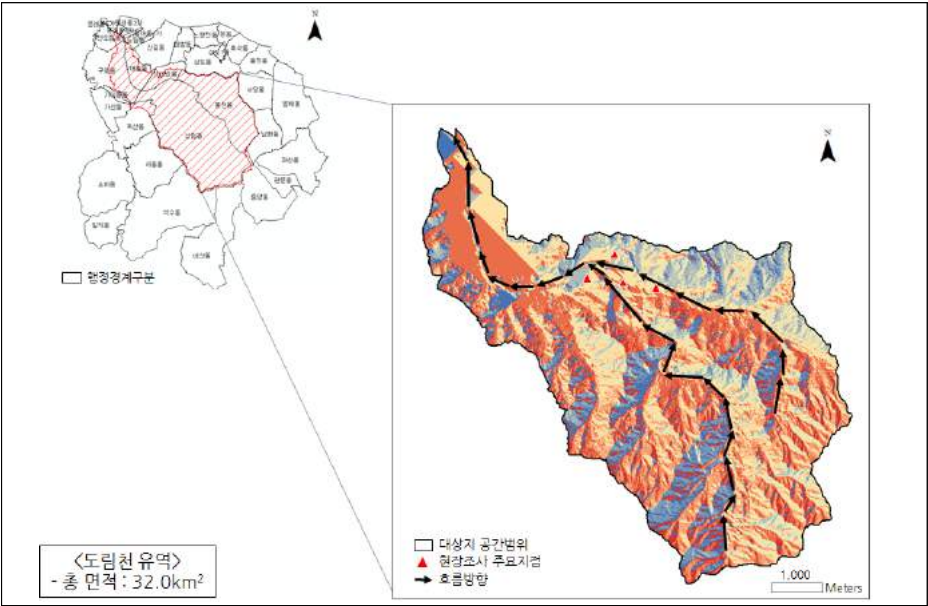
7) 흐름누적유량도는 “유출량은 상류에서 하류로 점차 누적된다”는 개념에 따라 최상류에서 흐름방향도 경로를 따라 기본값을 누적인 도면을 의미한다.

8) 하천차수도는 흐름누적유량도를 가지고 지정한 하천을 구간별로, 즉, 최상류부터 하류까지 기본값을 누적인 도면을 의미한다.

9) 하천유역도는 흐름방향도와 하천차수도를 이용해 산정하는 것으로, 하천의 각 구간별로 집수되는 경계범위, 즉, 소유역을 도출한 뒤 이를 polygon으로 변환한 도면을 의미한다.

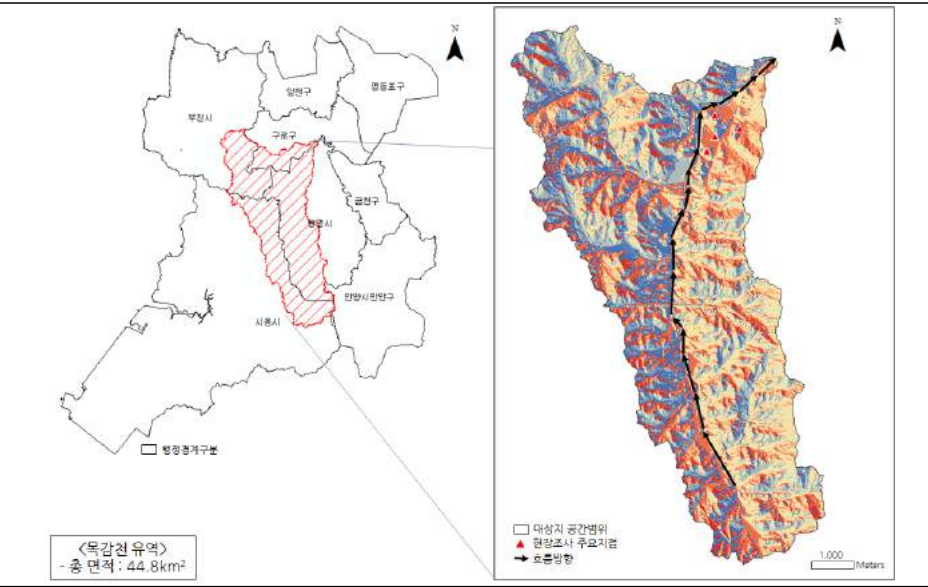
명시의 대상지는 목감천의 유역경계로서 철산동, 하안동, 광명동 일대가 포함된 44.9km² 면적을 갖는 것으로 나타났다. 또한 광주시 대상지역은 목현천의 유역경계로서 송정동 일대가 포함된 20.5km² 면적을, 양주시 대상지역은 청담천의 유역경계로서 덕정동과 덕계동 일대가 포함된 32.5km² 면적을 갖는 것으로 파악되었다. 포천시, 인제시, 화천군, 제천시 등 네 지자체는 매우 넓은 면적이 갖도록 대상지역이 선정되었다. 포천시 대상지역은 포천천의 유역경계로 신읍동과 어룡동 일대가 포함된 162.0km²의 면적을, 인제시 대상지역은 북천의 유역경계로서 인제읍과 북면 일대가 포함된 292.2km²의 면적을 갖는 것으로 파악되었다. 화천군 대상지역은 파포천의 유역경계로서 화천읍 일대가 포함된 117.7km²의 면적을, 그리고 마지막으로 제천시 대상지역은 장평천의 유역경계로서 천남동, 영천동, 화산동, 동현동, 신백동 일대를 포함하는 113.9km²의 넓은 면적을 지니고 있다. 서울시 관악구의 대상지역인 도림천 유역의 경우에는 주거지역의 토지이용이 큰 비중을 차지하고 있으나 도림천 유역을 제외한 7개의 유역은 주거, 상업업무, 공업 지역의 비중보다 자연녹지지역이 더 넓은 비중을 차지하고 있음을 알 수 있었다.

그림 3-3 | 서울 관악구 대상지역의 공간범위



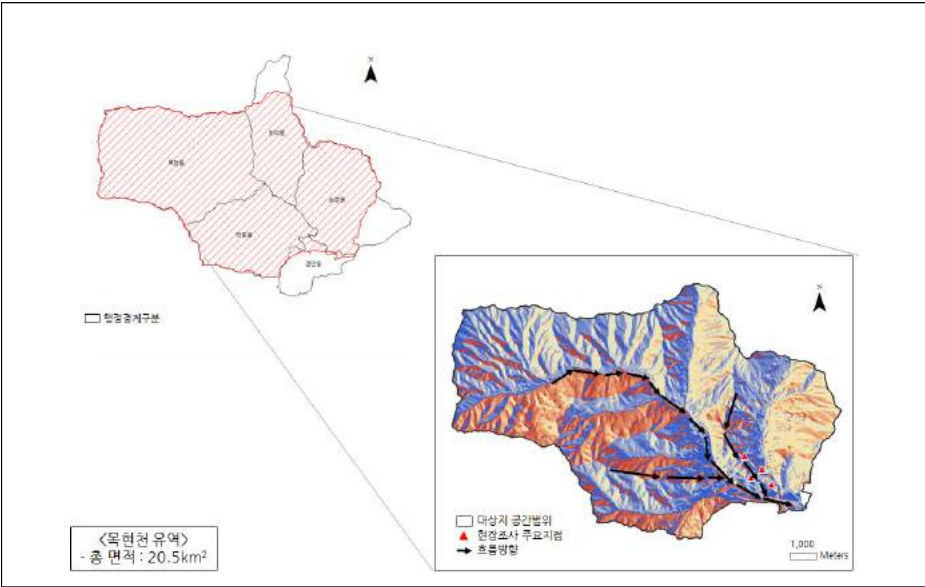
자료: 저자 작성

그림 3-4 | 광명시 대상지역의 공간범위



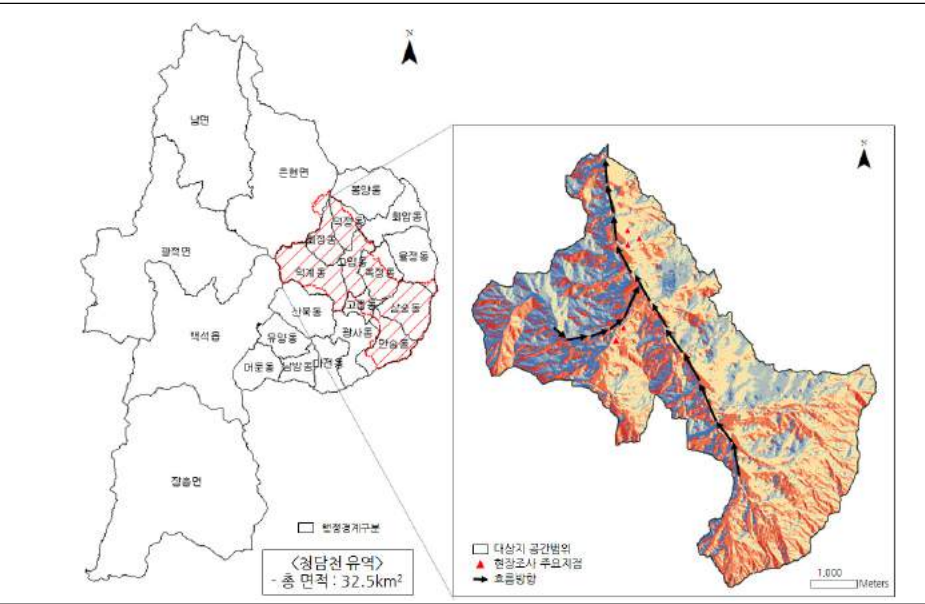
자료: 저자 작성

그림 3-5 | 광주시 대상지역의 공간범위



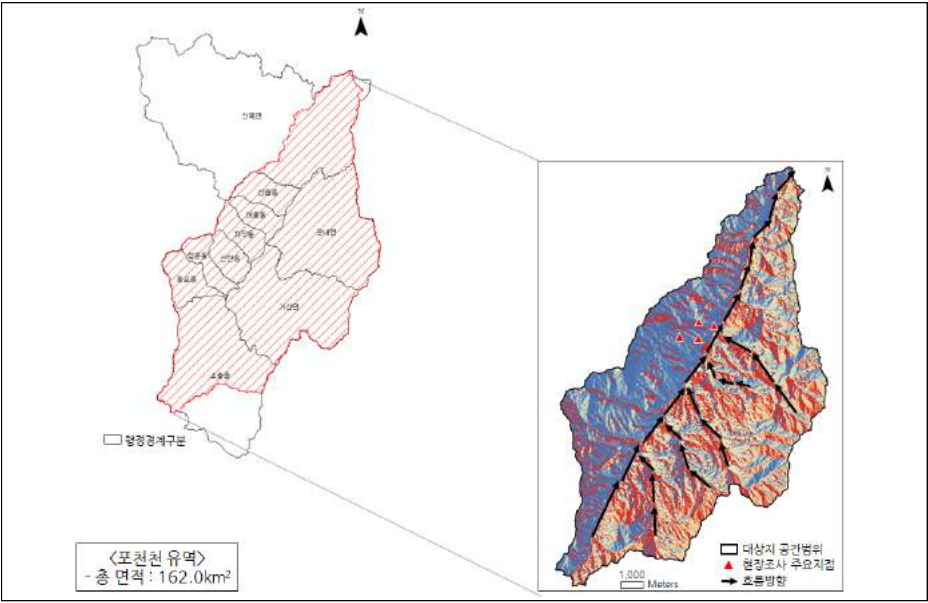
자료: 저자 작성

그림 3-6 | 양주시 대상지역의 공간범위



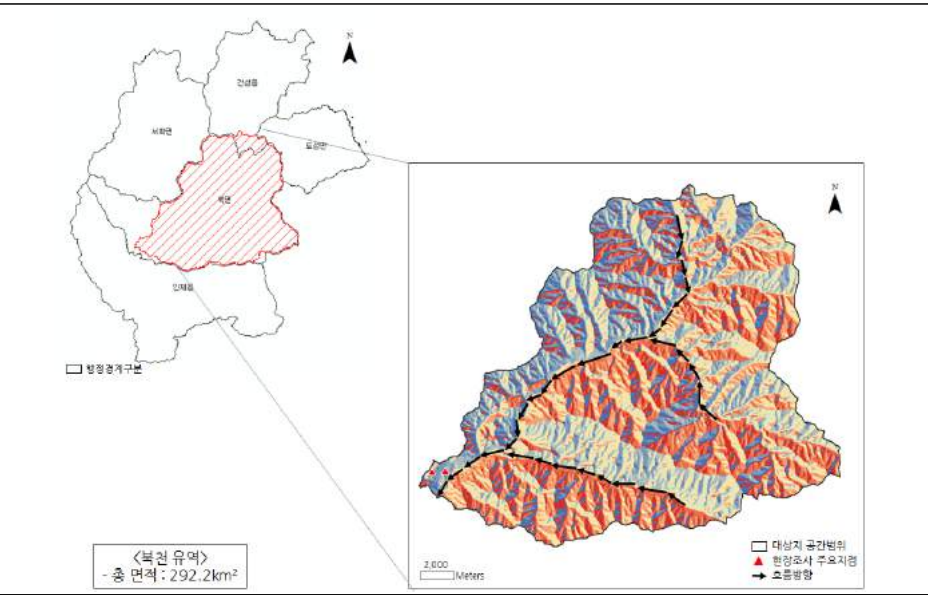
자료: 저자 작성

그림 3-7 | 포천시 대상지역의 공간범위



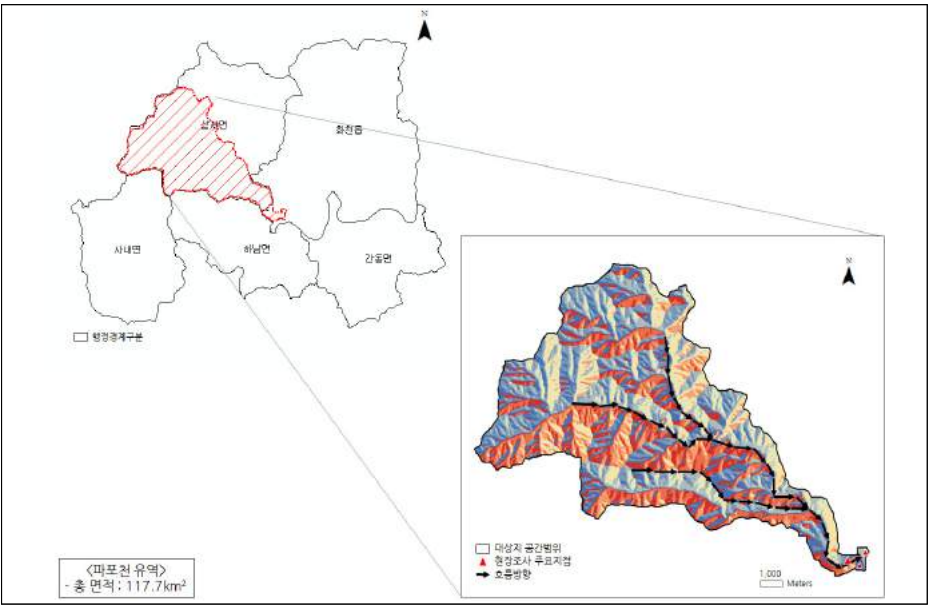
자료: 저자 작성

그림 3-8 | 인제군 대상지역의 공간범위



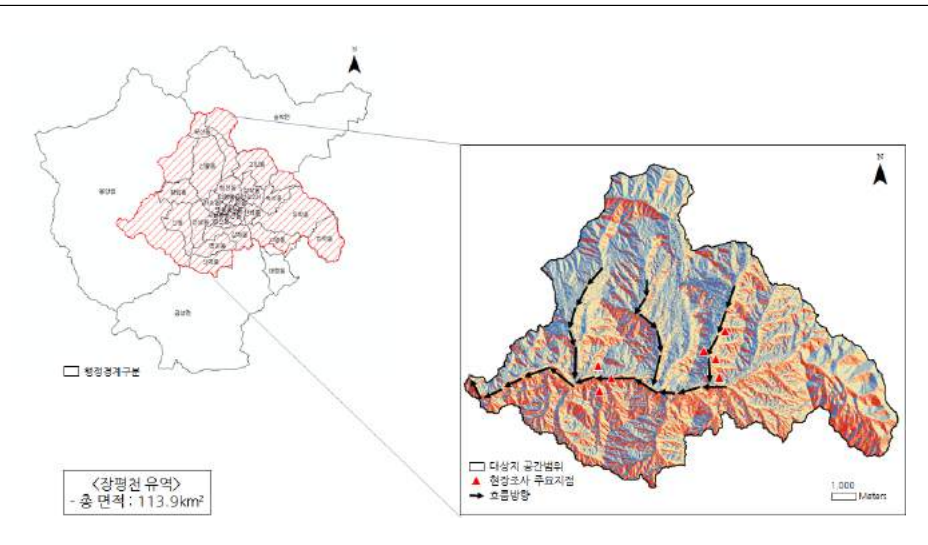
자료: 저자 작성

그림 3-9 | 화천군 대상지역의 공간범위



자료: 저자 작성

그림 3-10 | 제천시 대상지역의 공간범위

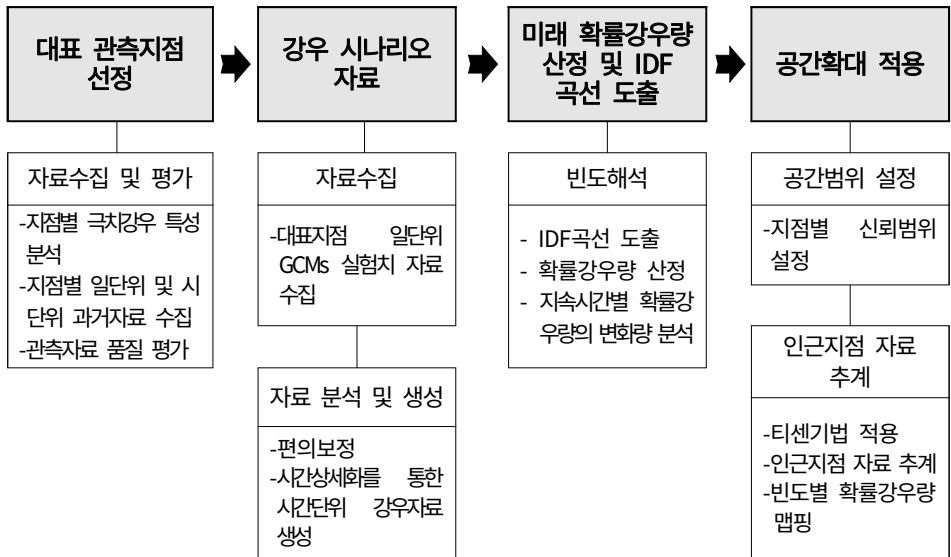


자료: 저자 작성

2. 강우 시나리오 자료 생성

도시침수는 장기간 누적강우 보다는 단기간의 집중강우에 의한 영향을 많이 받는다. 게다가 기후변화가 단기강우 세기 증가의 중요한 원인으로 간주되고 있어 본 연구에서는 기후변화로 인한 장래 단기강우의 영향을 고려해 시나리오 자료를 산정하기로 하였다. 이를 위해 1차년도에 중점관리 대상지역에 대한 강우 시나리오 자료를 생산할 수 있도록 <그림 3-11>의 방법을 제안한 바 있다. 본 2차년도에는 향후 시스템의 활용성을 높이기 위해 선정한 중점관리 대상지역을 넘어, 전국차원에서 사군구 단위로 강우 시나리오 자료를 확보하기로 하였다.

그림 3-11 | 강우 시나리오 자료 생성 및 확대 절차

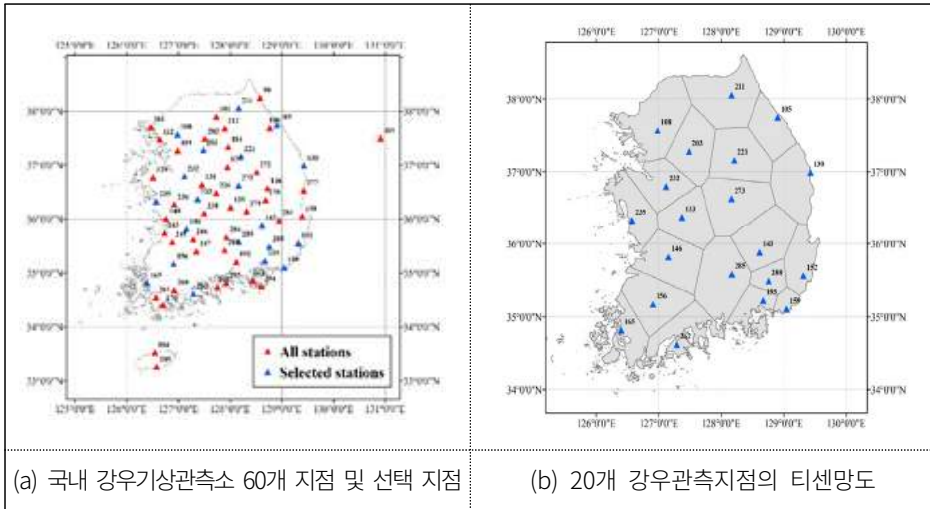


자료: 저자 작성

1) 대표 관측지점 선정

전국적으로 관측기간, 결측치 수준 등의 관측자료 품질을 고려할 때 <그림 3-12(a)>와 같이 전국에 최대 60개 강우관측지점을 활용할 수 있지만, 이 지점 모두에 대해 기후변화 영향을 해석하여 장래 강우 시나리오 자료를 분석하는 데에 상당한 작업량이 발생한다.¹⁰⁾ 따라서 본 연구에서는 <그림 3-12(b)> 및 <표 3-19>와 같이 강우의 공간적 불균질성을 대표하는 20개 지점을 우선 선택하였다.¹¹⁾ 선택한 20개의 강우관측지점에 대한 강우 시나리오 값을 분석하고 관측지점외의 인근 지역은 티센 공간보간 방법을 이용하여 전국 시군구별 값을 추계하기로 하였다.¹²⁾

그림 3-12 | 강우관측소 위치도



자료: 저자 작성

- 10) 보다 자세한 내용에 대해 1차년도 연구보고서(이상은 외, 2016) p.128의 ‘강우 시나리오 자료생성 간소화 방향’에 서술한 바 있다.
- 11) 20개 관측지점을 선택하는 과정에는 강우빈도의 공간변동성을 고려해 위치가 다양하게 분포되어야 되어야 한다는 일반적인 사항 외에도 인근지역이 과거 도시침수의 주요 피해발생지 인지 여부를 종합적으로 고려하였다. 이는, 큰 피해발생지 일수록 강우 시나리오 자료의 정확도가 더 중요하기 때문이다.
- 12) 선택된 20개 강우관측지점의 대표성과 공간확장 가능성을 검증한 결과는 <부록 2>에 제시하였다.

표 3-19 | 20개 강우관측지점 정보

순번	번호	관측소 이름	위도	경도	고도(m)
1	105	강릉	37°45' 05"	128°54' 27"	25.9
2	108	서울	37°34' 17"	126°58' 56"	86
3	130	울진	36°59' 30"	129°25' 46"	49.4
4	133	대전	36°22' 19"	127°22' 19"	68.3
5	143	대구	35°53' 06"	128°37' 08"	57.6
6	146	전주	35°49' 17"	127°09' 17"	53.5
7	152	울산	35°33' 36"	129°19' 12"	34.7
8	155	창원	35°13' 33"	128°40' 21"	46.8
9	156	광주	35°10' 22"	126°54' 29"	70.5
10	159	부산	35°06' 16"	129°02' 55"	69.2
11	165	목포	34°49' 00"	126°23' 52"	37.9
12	203	이천	37°16' 50"	127°29' 03"	77.8
13	211	인제	38°03' 35"	128°10' 01"	198.6
14	221	제천	37°09' 33"	128°12' 39"	263.2
15	232	천안	36°47' 48"	127°07' 06"	24.9
16	235	보령	36°19' 37"	126°34' 26"	15.3
17	262	고흥	34°37' 05"	127°17' 32"	53.3
18	273	문경	36°37' 38"	128°09' 55"	170.4
19	285	합천	35°34' 54"	128°10' 11"	32.7
20	288	밀양	35°29' 29"	128°45' 38"	12.6

자료: 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)

2) 대표 관측지점의 시간단위 강우자료 생성

1차년도에서 강우 시나리오는 확률기준, 목표연도, 기후변화 경로의 세 가지를 고려해 구분하기로 하였다.¹³⁾ 확률기준의 경우 도시배수시설 설계 등 방어목표로 채택하고 있는 재현기간 30년과 재난관리 차원에서 국제적으로 권장되고 있는 재현기간 100년의 두 가지를 고려하였다. 목표연도는 GCMs 실험치의 시간적 범위를 토대로 P₁(2006~2040), P₂(2041~2070) P₃(2071~2100)로 구분하였으며, 이 중 중장기적인 관점에서의 위험 분석의 필요와 장래 전망의 불확실성을 감안해 P₂의 기간을 선정하였다. 기후변화 경로의 경우 IPCC에서 정의하고 있는 RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 가운데 현재 추세로 온실가스 배출이 지속되는 RCP8.5 시나리오를 선택한 바 있다.

강우 시나리오 자료를 생성하는데 원시자료가 되는 GCMs 실험치는 IPCC에서 공인하는 실험치 가운데 총 19가지¹⁴⁾를 활용함으로써 모형 종류에 따른 차이를 최소화하고자 하였다. 일반적으로 GCMs 실험치의 극치값은 실제 관측치에 비해 과소 추정되는 경향을 보이기 때문에 분위사상법(Panofsky and Vrier, 1968)을 활용해 편의를 보정하였다.¹⁵⁾ 이렇게 생성된 기후변화 시나리오에 따른 일단위 강우를 비모수적 시간상세화 기법(Lee와 Jung, 2014)을 사용하여 시간단위의 강우자료로 상세화하였다.¹⁶⁾¹⁷⁾

3) 기후변화를 고려한 미래 확률강우량 산정

국내 주요 강우 관측지점으로 선택된 각 지점에 대해 19개의 GCM자료를 이용하여

13) 자세한 내용은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) p.115의 제4장의 ‘강우 시나리오 자료 생성기법’에 제시하였다.

14) bcc-csm1-1, CanESM2, CCSM4, CNRM-CM5, FGOALS-s2, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, Inmcm4, MIROC5, MIROC-ESM-CHEM, MRI-CGCM3, NorESM1-M, HadGEM2-AO, CESM1-BGC, CMCC-CM, CMCC-CMS, IPSL-CM5B-LR, MPI-ESM-MR

15) 편의보정 결과에 대한 자세한 내용은 <부록 3>에 요약하였다.

16) 시간상세화 과정에서 나타날 수 있는 불확실성을 줄이기 위해 각 지점별로 비매개변수적 시간단위 상세화 기법에 필요한 무작위 추출·연산을 100번씩 수행하였다.

17) 방법론에 대한 자세한 내용은 <부록 4>에 요약하였다.

생성한 결과를 토대로 단일한 시간단위 강우 자료를 도출하였다.¹⁸⁾ 본 연구에서 강우 시나리오 자료는 확률강우량 개념에 따라 지속시간 1시간의 재현기간 30년과 재현기간 100년의 강우강도를 의미한다. 따라서 생성한 시간단위 강우 자료를 이용해 빈도분석을 통해 위 조건의 강우강도 값을 도출해야 한다. 설계홍수량 산정요령(2012)에 따라 확률분포형은 Gumbel 분포형, 매개변수 추정법은 확률가중모멘트(Probability weighted moment method; PWM)을 적용해 20개 지점의 지속시간 1시간과 재현기간 30년 및 100년 빈도의 값을 각각 계산하였다.¹⁹⁾

<표 3-20>은 기간별·지점별로 1시간 지속기간의 확률강우량을 나타내고 있다. 또한 <표 3-21>은 1시간 지속기간 확률강우량의 장래 변화량을 보여주고 있다. 지역별로 정도의 차이는 있지만, 전체적으로 장래 모든 기간에 걸쳐, 그리고 모든 지점에서 관측치보다 강우강도 값이 증가하는 것으로 나타났다.

18) 즉, 각 지점별로 19개의 GCM모형에 걸쳐 100회 모의된 시간상세화 결과를 평균하였다.

19) 방법론에 대한 자세한 내용은 <부록 5>에 요약하였다.

표 3-20 | 20개 관측지점 1시간 지속기간의 확률 강우량 (단위:mm)

지점 번호	관측		RCP8.5					
			P ₁ (2006~2040)		P ₂ (2041~2070)		P ₃ (2071~2100)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
105	67.0	80.9	70.5	85.3	72.0	87.1	75.5	91.2
108	81.1	96.4	82.8	98.2	90.8	108.3	105.0	125.8
130	43.0	51.2	46.1	55.0	45.3	54.0	46.4	55.4
133	69.0	80.5	70.0	81.6	72.8	84.8	75.3	88.1
143	52.3	61.8	52.9	62.3	55.4	65.4	55.9	66.0
146	71.8	85.5	75.6	90.4	76.3	91.1	77.6	92.4
152	61.2	73.4	65.6	78.9	65.3	78.3	66.9	80.0
155	73.1	87.3	74.9	89.3	82.7	99.1	97.8	118.0
156	68.6	81.1	70.4	83.2	73.7	87.2	73.1	86.4
159	84.8	102.1	89.9	109.0	93.5	113.1	97.8	118.1
165	57.5	67.1	59.7	69.8	58.8	68.5	62.0	72.4
203	70.5	83.3	74.0	87.9	79.1	94.1	80.0	95.0
211	57.1	68.0	57.8	68.8	59.9	71.4	59.8	71.0
221	59.8	69.3	61.6	71.8	63.6	74.1	66.6	77.8
232	69.7	83.0	74.7	89.3	73.6	87.6	76.1	90.7
235	81.5	96.3	85.3	100.8	89.0	105.5	90.9	107.3
262	85.4	101.9	92.9	111.5	95.4	114.0	97.8	117.1
273	53.4	62.3	54.7	64.2	54.8	64.0	56.3	65.7
285	68.0	81.0	71.2	85.0	72.1	86.0	73.5	87.4
288	73.0	88.2	78.5	95.3	81.6	98.7	81.4	98.4

주: 30yr과 100yr은 각각 재현기간 30년과 100년 빈도를 의미
 자료: 저자 작성

표 3-21 | 20개 관측지점 1시간 지속기간의 확률 강우량의 변화 (단위:%)

지점 번호	관측치 대비 RCP8.5 변화					
	P ₁ (2006~2040)		P ₂ (2041~2070)		P ₃ (2071~2100)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
105	5.3	5.5	7.5	7.7	12.7	12.8
108	2.1	1.9	12.1	12.3	29.5	30.5
130	7.1	7.4	5.2	5.5	7.9	8.3
133	1.5	1.4	5.5	5.4	9.1	9.5
143	1.1	0.9	5.9	5.9	7.0	6.7
146	5.3	5.7	6.3	6.6	8.1	8.2
152	7.2	7.4	6.8	6.7	9.4	8.9
155	2.4	2.3	13.2	13.5	33.9	35.2
156	2.6	2.6	7.5	7.5	6.6	6.5
159	6.1	6.7	10.3	10.8	15.3	15.7
165	3.8	4.0	2.3	2.0	7.9	7.9
203	5.0	5.5	12.2	13.0	13.5	14.0
211	1.3	1.1	4.9	5.1	4.8	4.4
221	3.1	3.7	6.4	6.9	11.4	12.3
232	7.1	7.6	5.6	5.5	9.2	9.3
235	4.6	4.7	9.2	9.6	11.5	11.5
262	8.8	9.4	11.7	11.8	14.6	14.8
273	2.4	3.0	2.6	2.8	5.4	5.5
285	4.7	4.9	6.0	6.2	8.1	7.9
288	7.6	8.0	11.7	11.9	11.5	11.5

주: 30yr과 100yr은 각각 재현기간 30년과 100년 빈도를 의미
 자료: 저자 작성

4) 강우 시나리오 자료의 공간 확대 적용

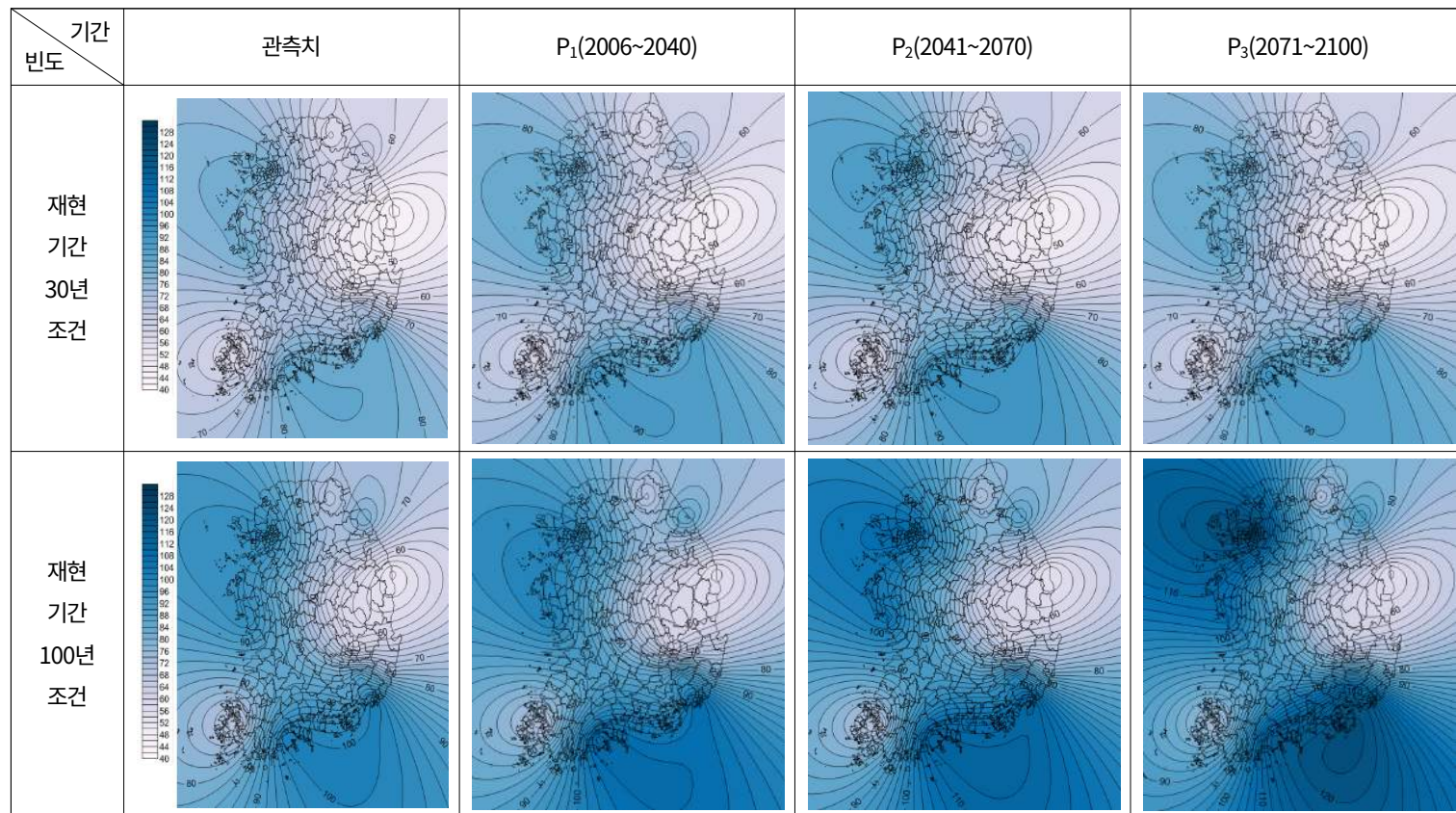
기후변화에 따른 빈도별, 그리고 기간별 확률강우량의 변화 전망을 파악하기 위해 각 지점의 재현기간 30년과 100년 조건에 대해 과거 관측치, P_1 , P_2 , P_3 기간의 1시간 지속기간 확률강우량 값을 공간적으로 연속 분포시켰으며, <그림 3-13>과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 전체적으로 서울과 부산지점 인근에 해당 조건의 강우량이 높으며, 울진과 문경지점은 다른 지점에 비해 낮은 강우량을 나타내었다. 기간별로 볼 때에도 P_1 에서 P_2 , P_3 로 갈수록 1시간 확률강우량이 증가할 것으로 나타났다. 재현기간 30년과 100년을 비교했을 때에도 약간의 강우량 차이가 있을 뿐 비슷한 경향을 보이고 있으며, 과거 강우량의 공간적인 특성이 장래에도 어느 정도 유지될 것으로 판단되었다.

20개의 주요 관측지점의 강우강도 값을 토대로 전국 모든 사군구 단위의 강우 시나리오 자료를 얻기 위해 티센(Thiessen)기법을 적용하였다.²⁰⁾ 이 중 2차년도에 선택된 지자체에 대한 강우 시나리오 자료는 <표 3-23>과 같이 산정되었다.²¹⁾

20) 티센기법은 관측지점에 가까운 면적을 가중치로 하여 유역면적에 대한 강수량을 구하는 방법으로 산악지형의 영향은 고려하지 못하는 단점이 있지만 관측지점의 지배면적을 고려하는 객관성 때문에 널리 사용되고 있는 기법이라 할 수 있다.

21) 전국 시·군·구별 강우 시나리오 결과는 <부록 6>에 제시하였다.

그림 3-13 | RCP8.5 시나리오의 빈도별 · 기간별 추이



자료: 저자 작성

표 3-22 | 2차년도 대상지역의 티센가중치

행정구역	관측소 이름	관측소 번호	티센 가중치	가중치 합
서울 관악구	서울	108	1.00	1.00
광명시	서울	108	1.00	1.00
광주시	이천	203	0.82	1.00
	서울	108	0.18	
양주시	서울	108	1.00	1.00
포천시	서울	108	0.96	1.00
	인제	211	0.04	
인제군	인제	211	1.00	1.00
화천군	인제	211	1.00	1.00
제천시	제천	221	0.85	1.00
	문경	273	0.15	

자료: 저자 작성

표 3-23 | 2차년도 대상지역의 강우 시나리오 자료

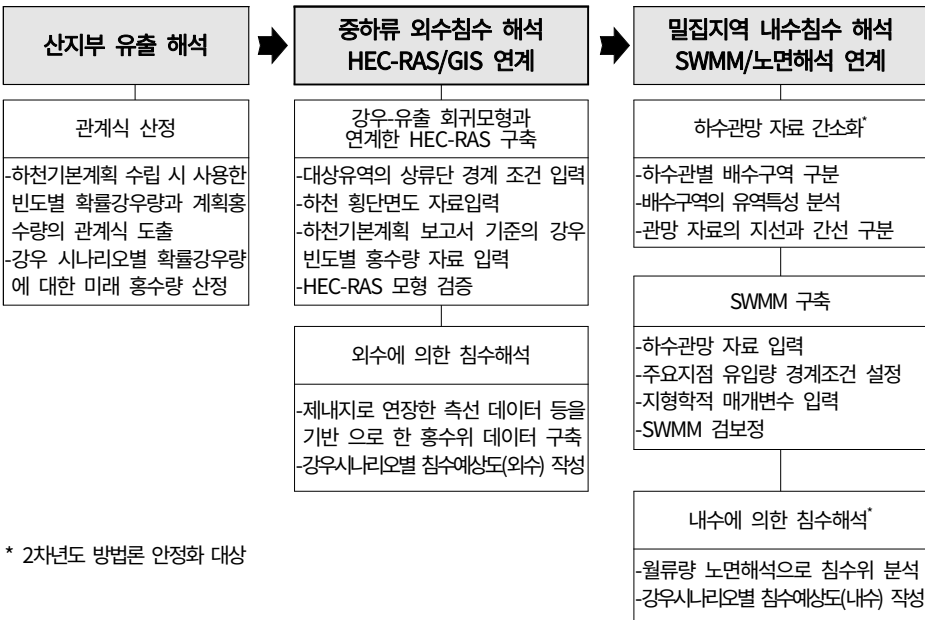
재현기간 행정구역	30yr		100yr	
	(mm/hr)	(%)	(mm/hr)	(%)
서울 관악구	90.8	12.0	108.3	12.3
광명시	90.8	12.0	108.3	12.3
광주시	81.2	12.2	96.7	12.8
양주시	90.8	12.0	108.3	12.3
포천시	89.6	11.8	106.8	12.1
인제군	59.9	4.9	71.4	5.0
화천군	59.9	4.9	71.4	5.0
제천시	62.3	5.8	72.6	6.4

주: 1) 강우 시나리오 자료는 RCP8.5, P2, 지속시간 1시간을 기준으로 함; 2) (%)는 과거 관측치 대비 변화량을 의미함
 자료: 저자 작성

3. 도시침수 간소화 해석

1차년도에서 제시한 대상지역 하천범람으로 인한 외수와 하수관거 용량부족, 노면 우수적체 등으로 인한 내수를 해석하기 위해 <그림 3-14>과 같이 간소화된 방법론을²²⁾ 제시하였다. 이를 위해 <그림 3-15>의 예시와 같이 사전에 지형분석을 실시하는데, 소유역도를 이용해 대상지를 상류 산지부와 중하류 도시지역으로 구분²³⁾하고, 중하류 도시지역 내 내수침수 해석이 필요한 공간을 별도로 구분하기로 하였다.²⁴⁾

그림 3-14 | 도시 침수해석 간소화 방법 절차



* 2차년도 방법론 안정화 대상

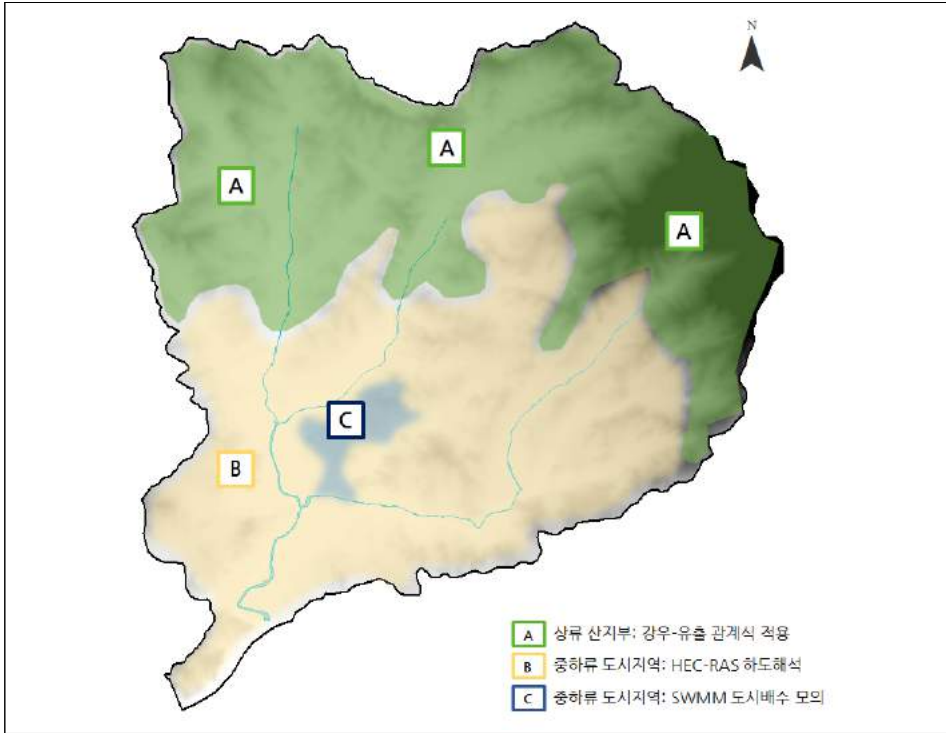
자료: 저자 작성

22) 도시계획적 대책을 마련하는데 필요한 넓은 공간범위를 포괄하기 위해 모형의 간소화 및 연계가 중요하다. 따라서 고급기능의 모형 보다는 범용적으로 사용되는 모형을 연계하여 입력자료 요구수준을 낮추고자 하였으며, 정밀한 해석이 필요한 밀집지역 노면해석에 대해서만 2차원 흐름해석 모형을 적용하였다.

23) 즉, 해석하고자 하는 하천발원지점 외곽의 소유역을 선정함을 의미한다.

24) 즉, 하수관망이 밀집된 곳을 중심으로 소유역 선정을 선정함을 의미한다.

그림 3-15 | 대상지역 공간구분 개념도



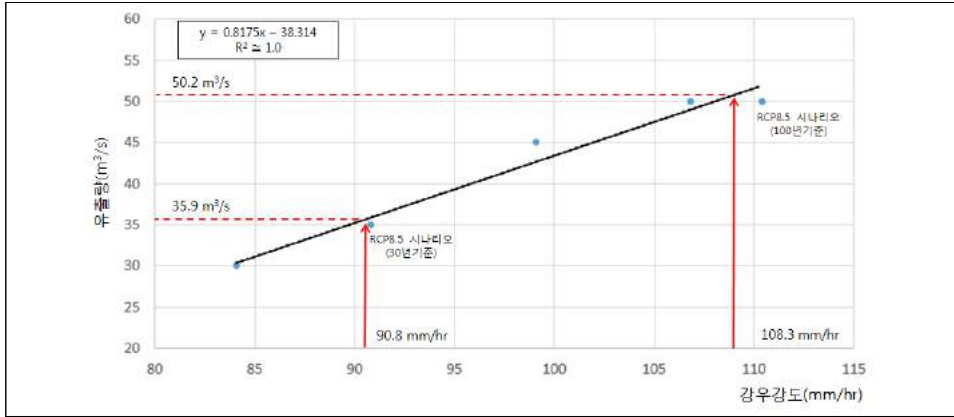
자료: 저자 작성

1) 외곽 산지부 유출 해석

1차년도에서 강우 시나리오 조건에서 대상지 내 상류 산지부로부터 중하류지역 하천으로 유입되는 유량값을 산정하는 데에는 하천기본계획보고서²⁵⁾에 제시되어 있는 산지 하부지점의 강우강도와 홍수량 간의 회귀식을 만들어 활용하기로 하였다. <그림 3-16>는 광주시 대상지의 예로서, 강우 시나리오 자료의 재현기간 30년과 100년 재현기간의 강우강도인 90.8mm/hr와 108.3mm/hr에서 도출된 회귀식을 통해 목현천 상류지점의 홍수량 35.9m³/s와 50.2m³/s를 구할 수 있음을 보여주고 있다.

25) 국토교통부 하천관리지리정보시스템 (<http://www.rimgis.go.kr>)을 통해 수집하였다.

그림 3-16 | 광주시 목현천의 강우강도-홍수량 관계곡선



자료: 저자 작성

2) 중하류 하천범람에 의한 외수 해석

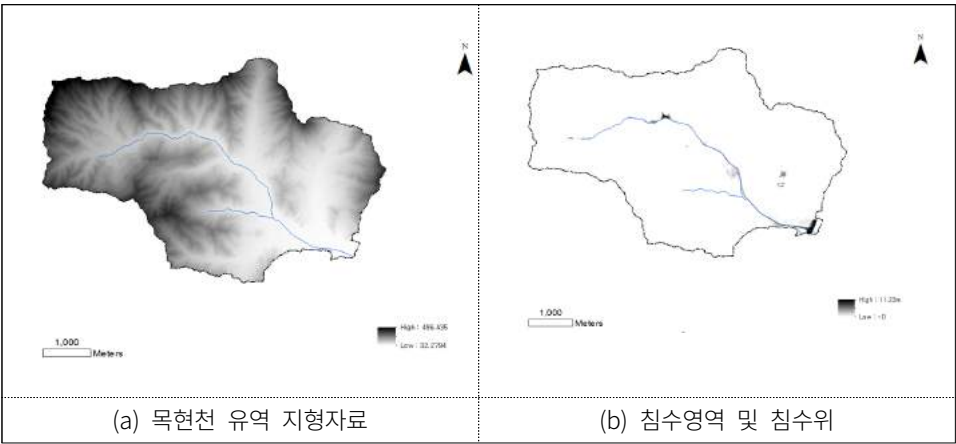
1차년도에 중하류 하천범람에 의한 외수 해석은 US Army Corps of Engineers에서 개발한 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)를 이용하기로 하였으며, 강우 시나리오 조건에서 대상지 내 (소)하천의 잠재적인 수위상승을 모의한 뒤 GIS 툴을 이용해 범람지역을 분석²⁶⁾하기로 하였다.

HEC-RAS를 통해 하천수위를 모의하기 위해 하천기본계획 수립 시 사용한 하천형상, 바닥면고도, 경사도, 조도계수, 제방고 등의 데이터를 수집하여 모형을 구축하였다. 이 모형을 이용해 재현기간별 홍수위 결과를 구한 뒤 결과값을 다시 GIS 툴을 이용해 하도버퍼링²⁷⁾ 기법을 적용하여 최종적으로 <그림 3-17>과 같은 침수영역 및 침수위 결과를 얻을 수 있었다. 이 같은 방법을 적용할 경우 하도부분이 침수영역으로 나타나는 문제가 있기 때문에 위성지도와 하천구역도를 이용하여 보정하여 <그림 3-18>과 같은 결과를 얻을 수 있었다. ²⁸⁾

26) 본 연구에서는 최신 버전인 HEC-RAS 5.0.3을 이용하였으며, HEC-RAS에 대한 기술적인 설명은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016) 130쪽에 제시하였다.

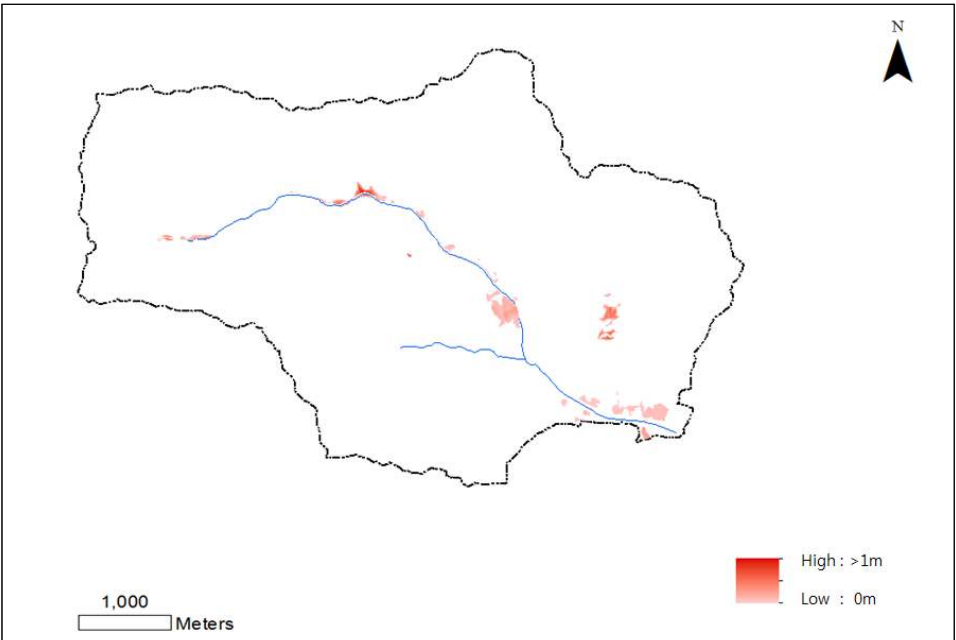
27) 하천측선을 재내지까지 연장하여 홍수위 값을 입력하고, 지형자료와의 차이를 통해 개략적인 침수영역과 침수위를 산정하는 분석기법이라 할 수 있다.

그림 3-17 | 광주시 대상지의 침수영역 및 침수위 산정



자료: 저자 작성

그림 3-18 | 광주시 대상지의 침수영역 보정 결과



자료: 저자 작성

28) 외수침수 해석에 대한 자세한 내용은 <부록 7>에 제시하였다.

(1) 광주시 대상지의 적용 결과 및 검토

광주 대상지인 목현천 유역에 대해 100년 빈도의 강우 시나리오 조건에서 외수로 인한 침수위와 침수영역을 해석한 결과 침수예상도는 <그림 3-19>와 같이 얻을 수 있었다. 비교적 상류지역으로 구분되는 목현동 일대는 약 62,327m²가 침수될 수 있으며, 중류지역인 회덕동과 탄벌동 일대는 각각 31,254m²과 51,221m² 만큼 침수되는 것으로 나타났다. 그리고 목현천 하류지역은 경안천과 인접한 송정동과 경안동 일대에 범람 가능성이 높은 것으로 전망되었는데, 해당 조건에서 송정동과 경안동의 침수 가능면적은 각각 81,526m²과 45,298m²으로 분석되었다.

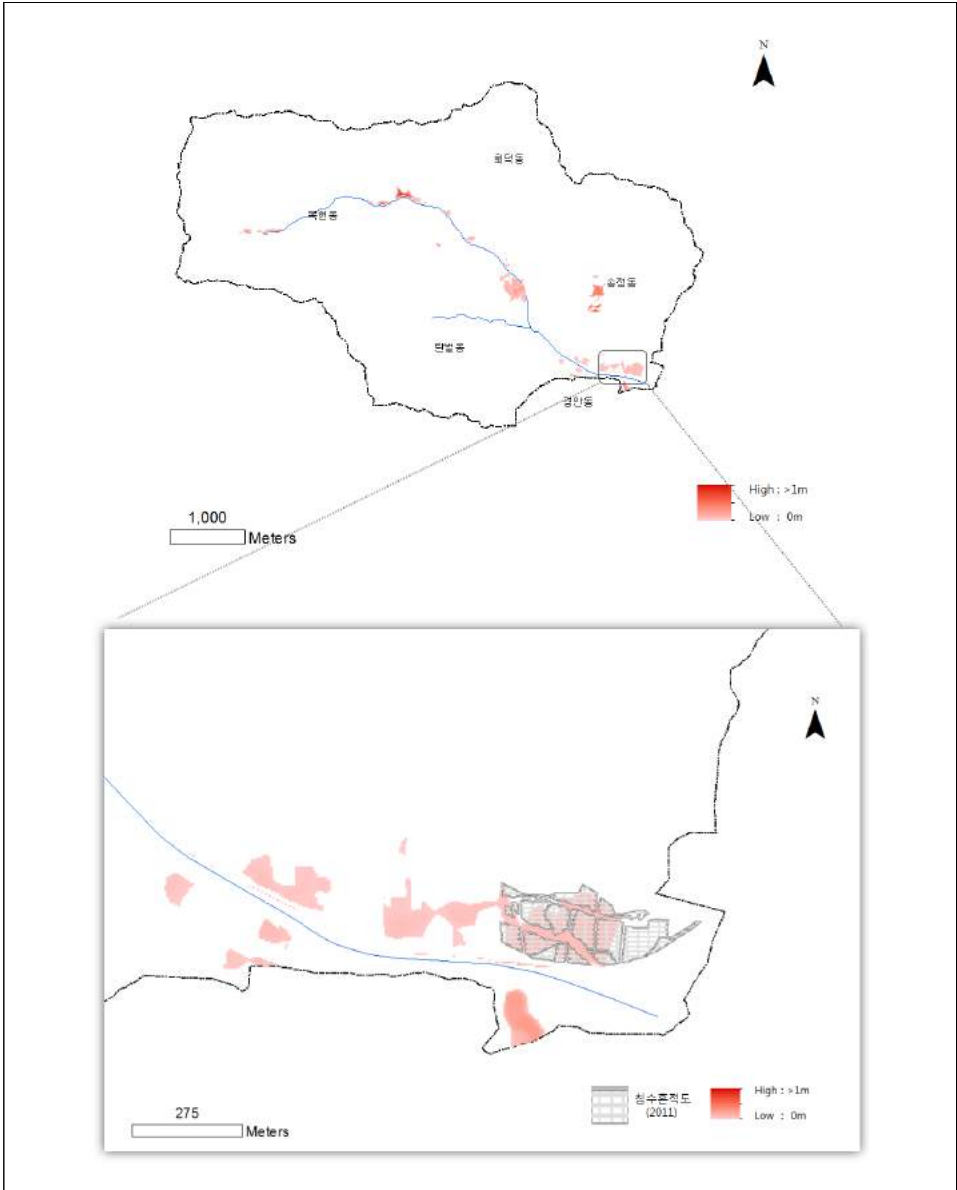
100년 빈도의 강우 시나리오 조건에서 외수범람 예상지역과 2011년 침수흔적도와 비교한 결과를 보면, 목현천의 하류부에서 경안천으로 유입되는 송정동 일대가 공통적으로 침수될 수 있지만, 동시에 과거 피해지역에 비해 다양한 주거지역에 걸쳐 침수가 발생할 수 있다는 가능성을 보여주고 있다.

(2) 포천시 대상지의 적용 결과 및 검토

포천시 대상지인 포천천 유역에 대해 100년 빈도의 강우 시나리오 조건에서 외수로 인한 침수위와 침수영역을 해석한 결과 <그림 3-20>과 같은 침수예상도를 얻을 수 있었다. 동교동, 설운동, 소흘읍은 비교적 상류지역으로 구분되며 해당 조건에서 약 51,669m², 218,448m², 1,198,790m²가 침수가 될 것으로 나타났다. 비교적 중류지역으로 구분되는 가산면, 군내면, 선단동, 신읍동, 어룡동, 자작동은 각각 1,187,580m², 1,036,776m², 384,860m², 376,368m², 870,860m², 481,102m²가 침수될 것으로 예상되었다. 그리고 비교적 하류지역으로 구분되는 신북면과 영중면은 각각 1,351,605m², 5,642m²가 침수될 것으로 나타났는데, 영중면의 경우 행정구역의 일부만 대상지에 포함되어 침수면적이 작게 산정된 것으로 볼 수 있다.

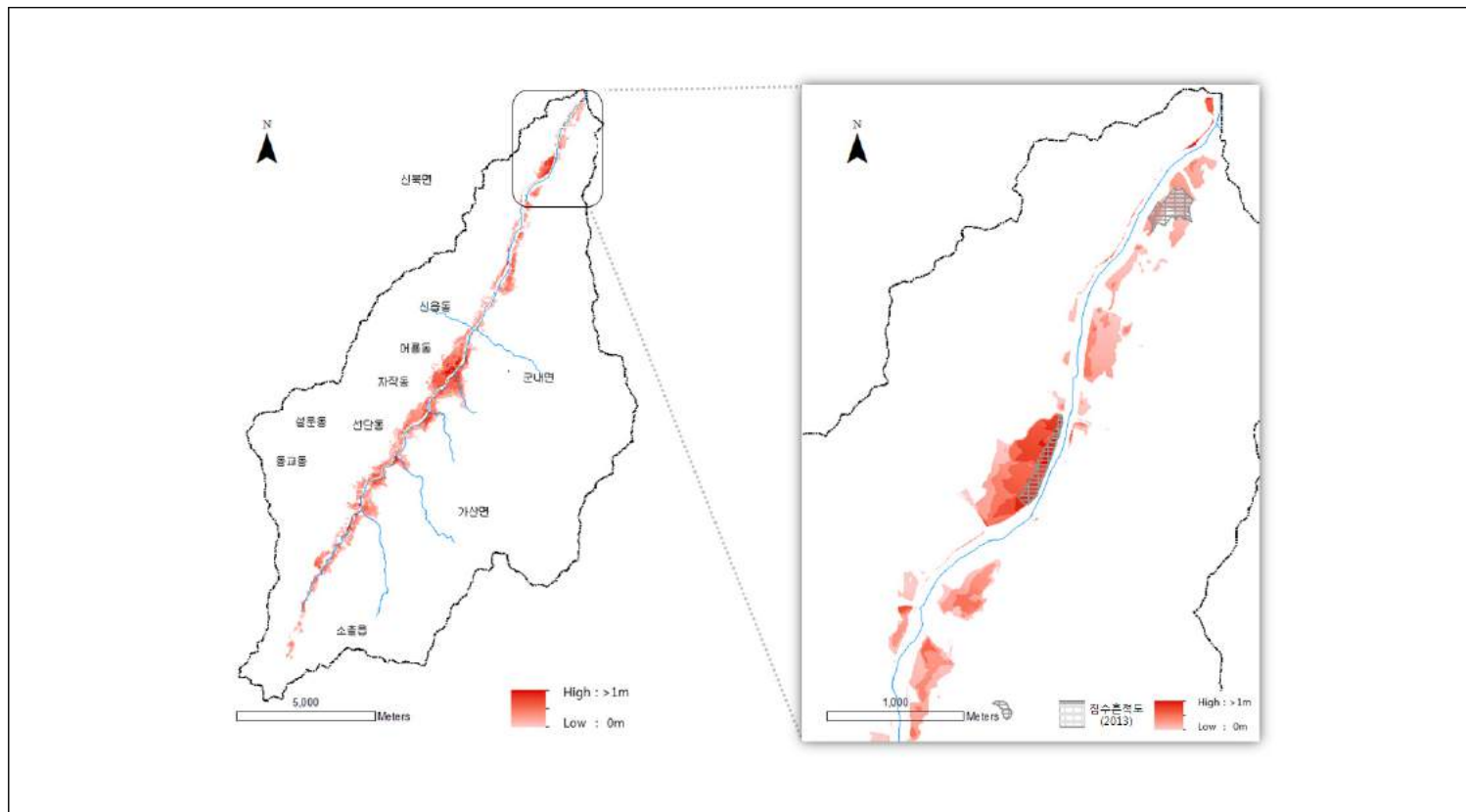
100년 빈도의 강우 시나리오 조건에서 외수범람 예상지역과 2013년 침수흔적도와 비교한 결과를 보면, 포천천의 하류부에서 공통적으로 침수될 수 있는 것으로 나타났다. 또한 과거 피해지역 보다 다양한 지역에, 특히 많은 하천변 저지대 지역이 하천범람의 위험이 높음을 알 수 있다.

그림 3-19 | 광주시 대상지 외수범람 해석의 결과 및 검증



자료: 저자 작성

그림 3-20 | 포천시 대상지 외수범람 해석의 결과 및 검증



자료: 저자 작성

3) 관망 밀집지역의 내수침수 해석

1차년도에 관망 밀집지역의 내수침수 해석은 US Environmental Protection Agency에서 개발한 EPA-SWMM을 이용해 강우 시나리오 조건에서 각 맨홀지점별 월류 발생량을 모의하기로 하였으며, 2차년도에는 새롭게 모의된 월류 발생량을 토대로 2차원 흐름해석모의를 실시하여 침수위와 침수영역을 정확하게 분석하기로 하였다.²⁹⁾ SWMM을 통한 대상지역 내수침수 해석에 앞서 관망 밀집지역의 집수구역, 경사도, 유출곡선 지수 등의 지형분석을 실시하고 하수관망을 구축하였다. 특히, 하수관망의 경우 환경부(2011) 하수도 시설기준에서 제시하고 있는 600mm 이상 직경의 간선을 대상³⁰⁾³¹⁾으로 하수관망을 구축하고 효율적으로 연속성을 묘사할 수 있도록 후처리 작업을 수행하였다. <그림 3-21>은 광주시 대상지를 SWMM으로 구축한 예시를 보여주고 있다. 구축된 모형을 통해 맨홀에서의 월류량을 산정하게 되며, 산정된 월류량을 2차원 흐름해석 모의³²⁾를 통해 침수위와 침수영역을 분석 결과를 얻을 수 있게 된다.³³⁾

광주시 대상지의 검보정된 SWMM 모형³⁴⁾을 재현기간 30년의 강우 시나리오 조건에서 모의한 결과 최대 강우량이 발생하는 40분 이후 <그림 3-22>와 같이 J1-2와 J1-3 지점에 맨홀의 월류가 나타하며, 60분경에 최대 월류량(J1-2: 1.4m³/s, J1-3: 1.2m³/s)에 도달하는 것으로 나타났다. 월류량 결과를 2차원 흐름해석 모형에 적용하여 침수심과 침수영역을 분석한 결과는 <그림 3-23>과 같으며, 관망이 적체되는 송정동의 J1-2와 J1-3 지점의 월류수가 노면을 따라 광주대로로 흘러 들어간 뒤 지대가 낮은 지역으로 전파될 수 있는 것으로 나타났다.

29) 본 연구에서는 최신 버전인 SWMM 5.1을 이용하였으며, SWMM에 대한 기술적인 설명은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016)의 130쪽에 제시하였다.

30) 배수시설의 설계빈도 30년에 해당하는 600mm 이상의 간선을 고려하되, 필요에 따라 관망의 연결을 위해 500~600mm 관거 일부를 포함하기로 하였다.

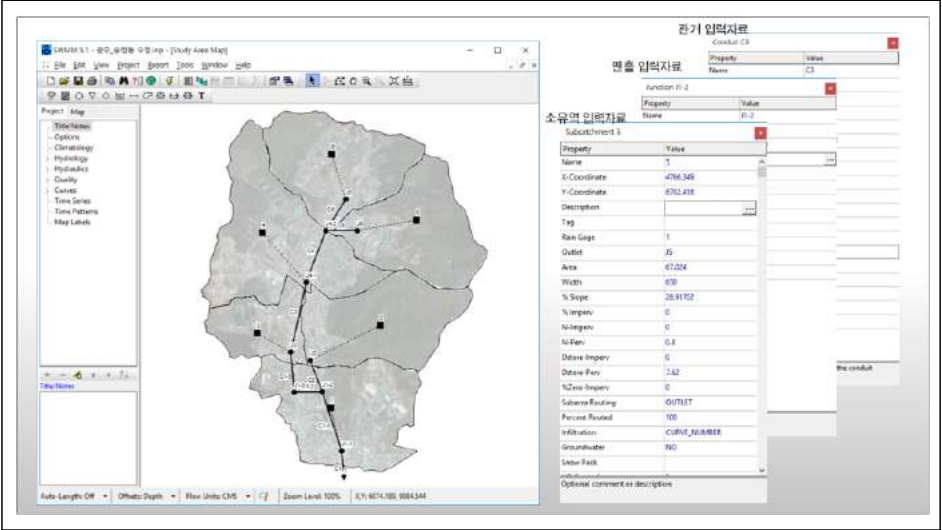
31) 관로의 대표직경은 관로의 연장을 가중치로 하는 가중 평균 관로직경으로 산정하였다.

32) 2차원 흐름해석 모형에 대해서는 <부록 8>에 제시하였다.

33) 내수침수 해석에 대한 자세한 내용은 <부록 9>에 제시하였다.

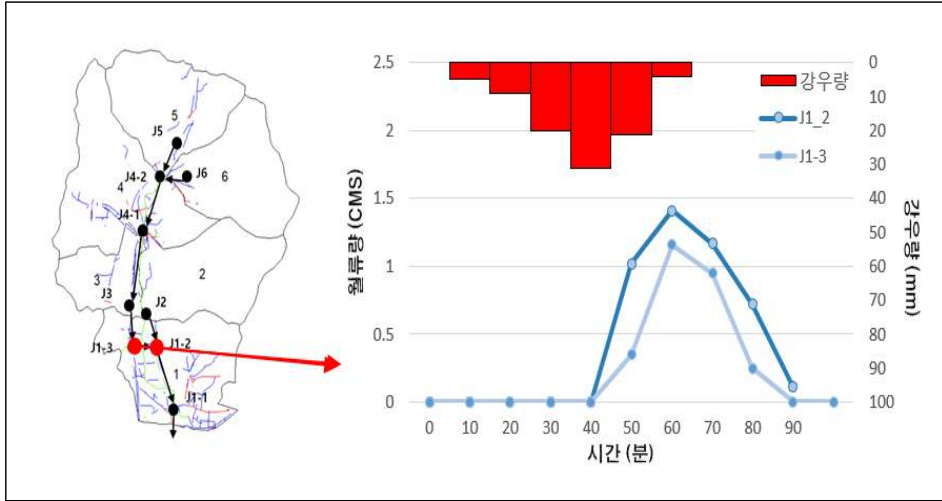
34) 모형의 검보정 방법 및 결과는 <부록 10>에 제시하였다.

그림 3-21 | 광주시 대상지에 대한 SWMM 구축



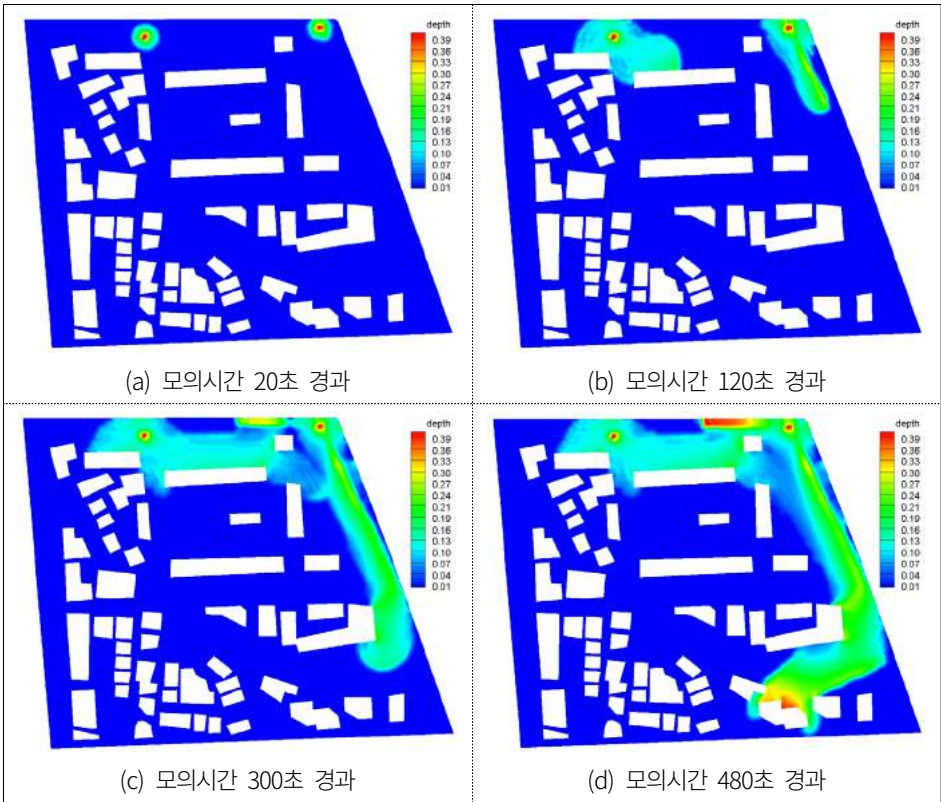
자료: 저자 작성

그림 3-22 | 광주시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 월류량 모의 결과



자료: 저자 작성

그림 3-23 | 광주시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 노면해석 결과

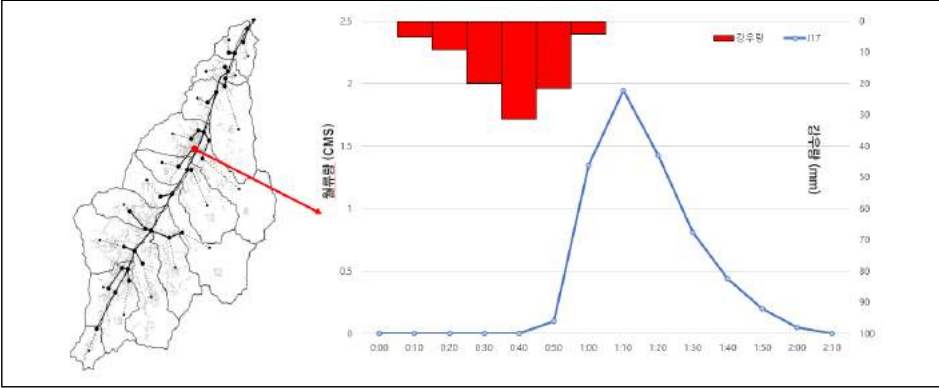


자료: 저자 작성

포천시 대상지에 대해서도 검증된 SWMM 모형을³⁵⁾ 재현기간 30년의 강우 시나리오 조건에서 모의한 결과 최대 강우량이 발생하는 40분 이후 <그림 3-24>와 같이 J17 지점에 맨홀의 월류가 나타나며, 1시간 10분경 최대 월류량(J17: 1.95m³/s)에 도달하는 것으로 나타났다. <그림 3-25>는 이 지점의 월류량을 2차원 흐름해석 모형의 입력값으로 하여 침수심과 침수영역을 분석한 결과를 보여주고 있다. 관망이 적체되는 J17 지점의 월류수가 노면을 따라 중앙로 21번 길을 흘러 들어간 뒤 지대가 낮은 지역으로 전파될 수 있는 것으로 나타났다.

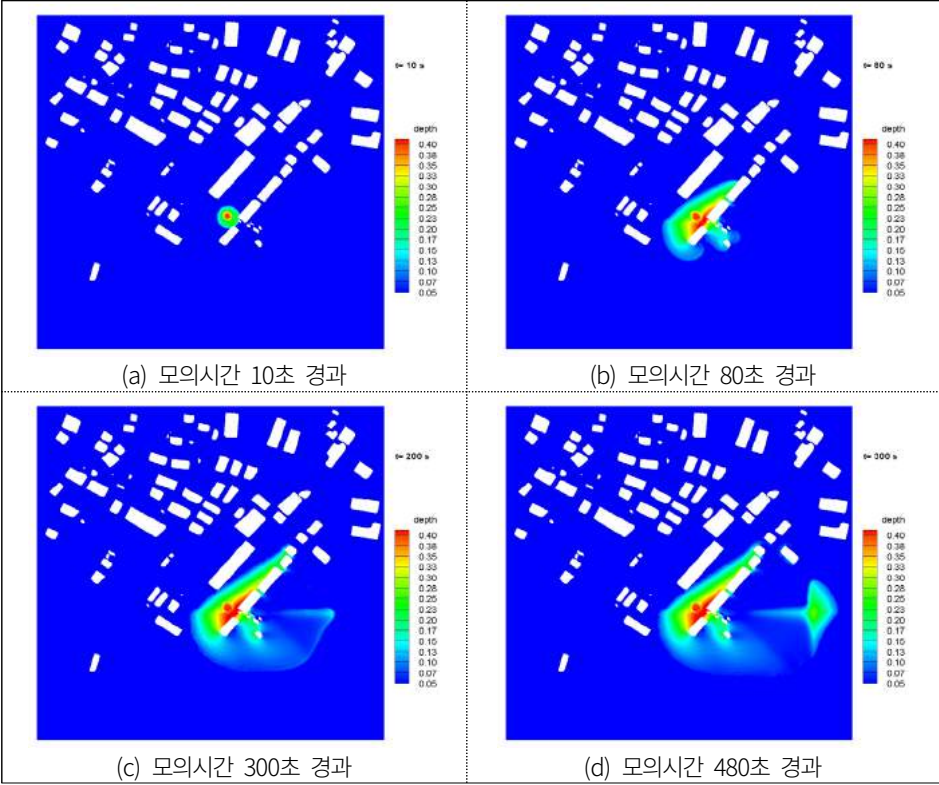
35) 모형의 검보정 방법 및 결과는 <부록 10>에 제시하였다.

그림 3-24 | 포천시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 월류량 모의 결과



자료: 저자 작성

그림 3-25 | 포천시 대상지의 재현기간 30년 강우 시나리오 조건 노면해석 결과



자료: 저자 작성

4. 상세 위험정보 개발

내외수 각각에 대한 침수예상도를 구축한 뒤, 방재대책의 근거를 제공할 수 있도록 GIS 툴을 이용해 재해특성, 영향권 설정, 노출특성 그리고 취약성에 대한 상세 위험정보를 개발하기로 하였다. 1차년도와 마찬가지로 재해특성은 기후변화 영향을 고려하여 100년 재현기간의 외수 침수위와 30년 재현기간의 내수 침수위로, 영향권 설정은 침수위와 재현기간에 따라 4가지 단계로, 노출특성은 인구노출과 토지이용 노출로, 그리고 취약성은 취약 건축물 분포, 보호대상시설분포, 도로 분포로 구분하여 다음과 같이 개발하였다.

1) 재해특성 주제도

(1) 주제도 작성 방법

강우 시나리오 조건에서 구축한 침수예상도를 바탕으로 내외수 각각에 의한 재해특성을 나타내는 주제도를 작성하였다. 재해특성 주제도는 내외수 범람지역과 침수위를 나타내는 지도로써 향후 분석되는 상세 위험정보의 기본이 되는 지도라 할 수 있다. 내수의 경우 일반적인 하수도 시설 용량을 상회하는 재현기간 30년 기준으로 침수위 도면을 제작하였으며, 외수의 경우에는 일반적인 중소하천의 용량을 상회하는 재현기간 100년 기준으로 침수위 도면 제작하였다.

(2) 주제도 작성 결과

광주시 대상지의 재해특성 주제도에서 외수의 경우 <그림 3-26>과 같이 목현천 상류 부분과 중류 만곡부 부분, 그리고 하류의 합류부를 중심으로 범람 가능하며, 내수의 경우 <그림 3-27>와 같이 송정동 135번지 일대에서 범람 가능할 것으로 분석되었다. 또한 송정동316번지 일대(<그림 3-26> 오른쪽 중간부분)는 인근 소하천의 영향을 받아 범람이 가능할 것으로 분석되었다.

<표 3-24>와 같이 외수침수의 경우 목현동 일대는 62,327m², 회덕동 일대는 31,254m², 탄벌동 일대는 51,221m², 송정동 일대는 81,526m², 그리고 경안동 일대

는 45,298m²만큼 침수될 것으로 분석되었고, 내수침수로 인해 송정동 일대는 추가로 58,919m²만큼 더 침수될 수 있는 것으로 분석되었다. 특히 하류의 경안천 합류부 부근은 주거가 집중된 지역임에도 불구하고 넓은 면적에 걸쳐 범람피해가 발생할 것으로 분석되었는데 침수위 자체는 그리 높지 않은 것으로 나타났다.

그림 3-26 | 광주시 대상지 재해특성 주제도: 외수



자료: 저자 작성

그림 3-27 | 광주시 대상지 재해특성 주제도: 내수



자료: 저자 작성

표 3-24 | 광주시 대상지의 침수면적 분석 결과

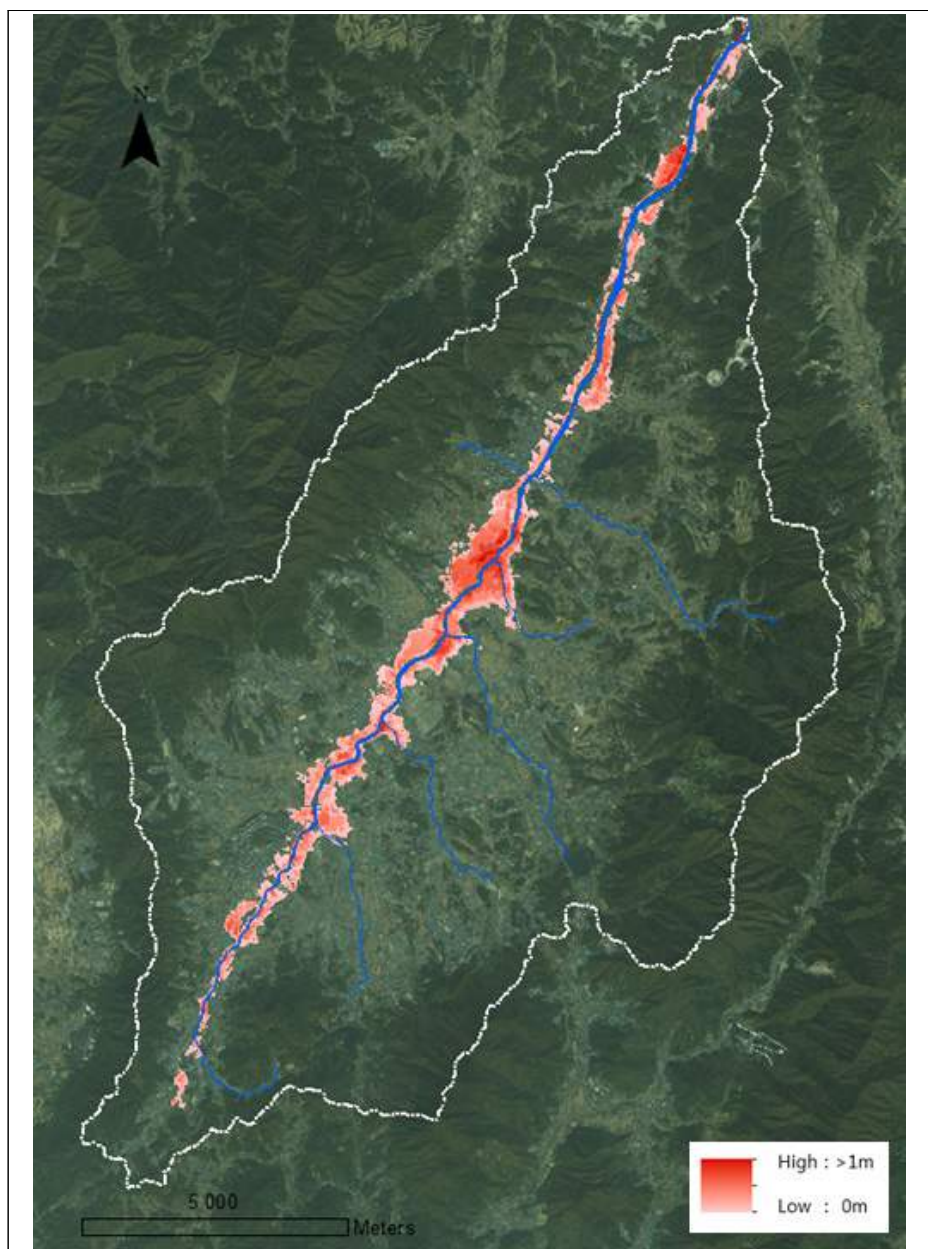
읍면동	외수침수 면적(m ²)	내수침수 면적(m ²)	총합(m ²)	비율(%)
경안동	45,298	0	45,298	13.7
목현동	62,327	0	62,327	18.9
송정동	81,526	58,919	140,445	42.5
탄벌동	51,221	0	51,221	15.5
회덕동	31,254	0	31,254	9.5
합계	271,626	58,919	330,545	100.0

자료: 저자 작성

포천시 대상지의 재해특성 주제도에서 외수의 경우 <그림 3-28>과 같이 하천변 저지대 지역에서 전체적으로 범람 가능하며, 내수의 경우 <그림 3-29>와 같이 신읍동 394번지 일대에서 범람이 가능할 것으로 분석되었다.

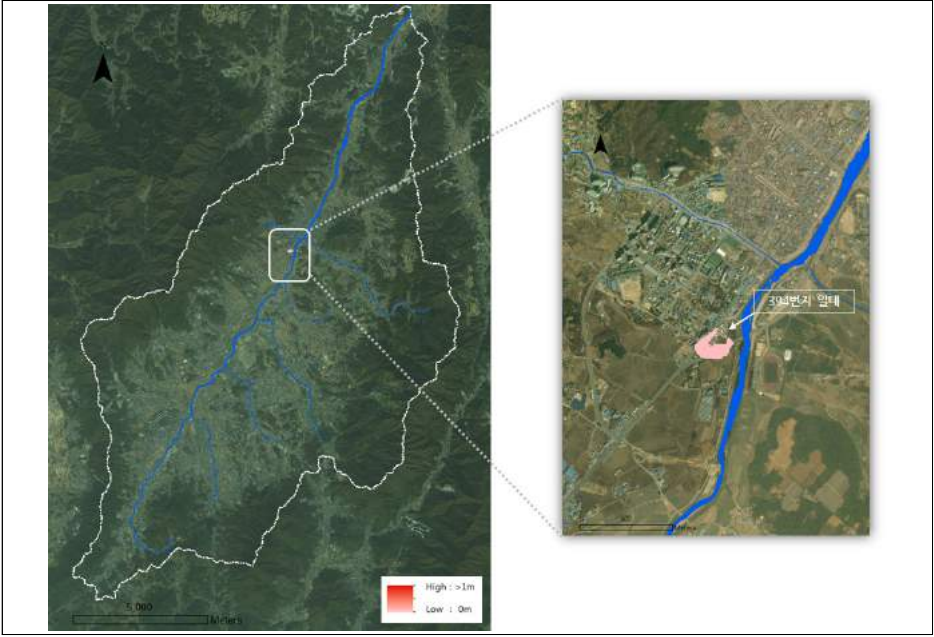
<표 3-25>와 같이 외수침수의 경우 가산면 1,187,580m², 군내면 1,036,776m², 동교동 51,669m², 선단동 384,860m², 설운동 218,448m², 소흘읍 1,198,790m², 신북면 1,351,606m², 신읍동 376,368m², 어룡동 870,860m², 영중면 5,642m², 그리고 자작동의 경우 481,103m² 만큼 침수될 것으로 분석되었다. 포천시 대상지는 외수침수 범위 중 많은 곳이 논과 밭으로 이용되고 있으며, 내수침수의 범위가 외수침수 범위에 포함되는 특징을 확인할 수 있었다.

그림 3-28 | 포천시 대상지 재해특성 주제도: 외수



자료: 저자 작성

그림 3-29 | 포천시 대상지 재해특성 주제도: 내수



자료: 저자 작성

표 3-25 | 포천시 대상지의 침수면적 분석 결과

구 분	외수침수 면적(m ²)	내수침수 면적(m ²)	총합(m ²)	비율(%)
가산면	1,187,580	0	1,187,580	16.6
군내면	1,036,776	0	1,036,776	14.5
동교동	51,669	0	51,669	0.7
선단동	384,860	0	384,860	5.4
설운동	218,448	0	218,448	3.0
소흘읍	1,198,790	0	1,198,790	16.7
신북면	1,351,606	0	1,351,606	18.9
신읍동	376,368	18,490	376,368	5.3
어룡동	870,860	0	870,860	12.2
영중면	5,642	0	5,642	0.1
자작동	481,103	0	481,103	6.7
합계	7,163,704	18,490	7,163,704	100.0

자료: 저자 작성

2) 도시침수 영향권 설정

(1) 주제도 작성 방법

1차년도에 도시침수의 영향권을 설정하기 위해 침수의 영향크기와 발생가능성 측면에서 공간을 구획화 기준을 제시한 바 있는데³⁶⁾, 2차년도에는 영향크기와 관련된 기준을 일부 수정하여 제시하였다. 즉, 당초에는 영향의 크기는 침수위 50cm 이하(성인의 무릎 수준 이내로 크지 않은 영향 가능), 침수위 50~100cm(상당한 영향 가능), 침수위 100cm 초과(성인의 허리 또는 아동의 신장수준을 넘어 매우 심각한 영향 가능)로 구분하기로 하였다. 2차년도에는 일부 수치해석의 오차발생 가능성을 고려하고 영향권이 과도하게 설정되지 않도록 하기 위해 침수위 10cm(경미한 영향)를 추가 고려하기로 하였다. 영향의 발생가능성은 외수에 대해서는 재현기간 100년의 조건을, 관로 우수배제 실패 등의 내수에 대해서는 재현기간 30년의 조건을 고려하기로 하였으며, 최종적인 영향권의 공간 구획화 기준을 <표 3-26>과 같이 마련하였다.

표 3-26 | 도시침수 영향권 설정 기준

영향권 단계	도시침수의 발생특성	방재대책 필요성	영향권 설정 기준
			- (발생가능성) 내수는 재현기간 30년 - (발생가능성) 외수는 재현기간 100년
Red zone	호우 시 매우 심각한 영향이 발생할 수 있는 곳	매우 높음	100cm 초과하는 침수위
Orange zone	호우 시 상당한 영향이 발생할 수 있는 곳	높음	50~100cm 사이의 침수위
Yellow zone	호우 시 주의할 만한 영향이 발생할 수 있는 곳	보통	10~50cm 사이의 침수위
Green zone	호우 시 침수될 수 있으나 영향이 크게 우려되지 않는 곳	-	10cm 이하의 침수위

주: 내·외수 각 조건에서 서로 다른 영향권이 선택될 경우, 상위의 영향권을 선택하도록 함

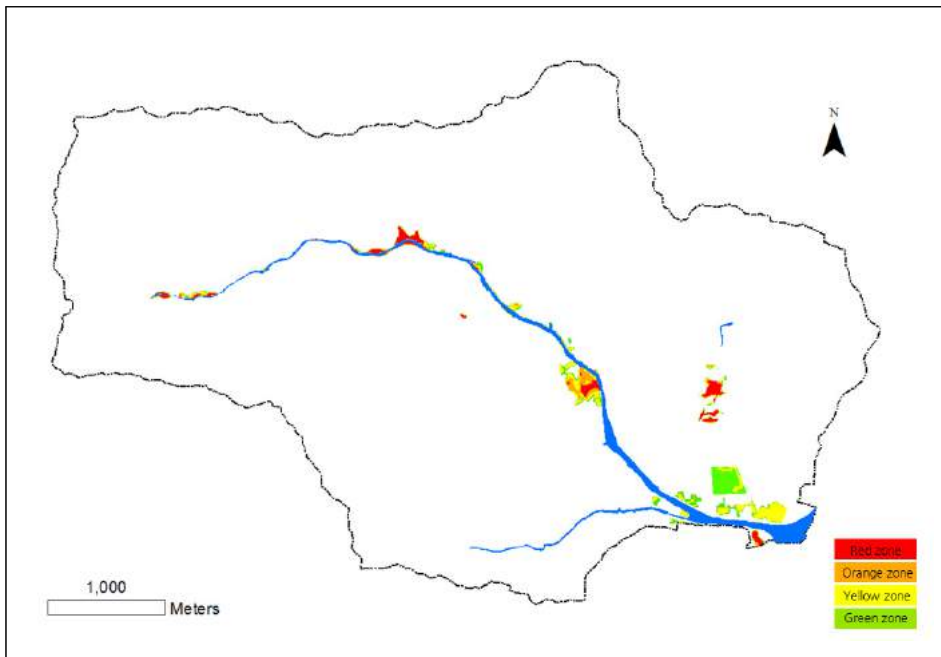
자료: 저자 작성

36) European Commission(2010) 뿐 아니라 국제표준기구(ISO)의 'ISO 31000 Risk management'에서 권장하고 있는 위험도 매트릭스(Risk Matrix) 방법을 참고해 1차년도에 공간 구획화 기준을 제시한 바 있다.

(2) 주제도 작성 결과

광주시 대상지의 영향권 주제도는 <그림 3-30>과 같으며, 호우 시 매우 심각한 영향이 발생할 수 있는 곳으로 분류되는 Red zone은 전체 영향권의 약 21%만큼, 호우 시 상당한 영향이 발생할 수 있는 곳으로 분류되는 Orange zone은 전체 영향권의 약 13%만큼 설정되었다. 호우 시 주의할 만한 영향이 발생할 수 있는 곳으로 분류할 수 있는 Yellow zone은 전체 영향권의 약 35%를 그리고 호우 시 침수될 수 있으나 영향이 크게 우려되지 않는 곳으로 분류할 수 있는 Green zone은 전체 영향권의 약 32%가 되는 것으로 분석되었다. 광주시 대상지 영향권 분석 결과를 자세히 살펴보면 <그림 3-31>과 같이 도시침수에 의해 큰 피해가 우려되는 Red zone과 Orange zone은 목현천 만곡부와 소하천 인근인 목현동과 송정동에 주로 설정되었고, 내수침수로 인한 영향권은 대부분 Yellow zone과 Green zone으로 분류되는 것으로 나타났다.

그림 3-30 | 광주시 대상지의 영향권 설정 결과



자료: 저자 작성

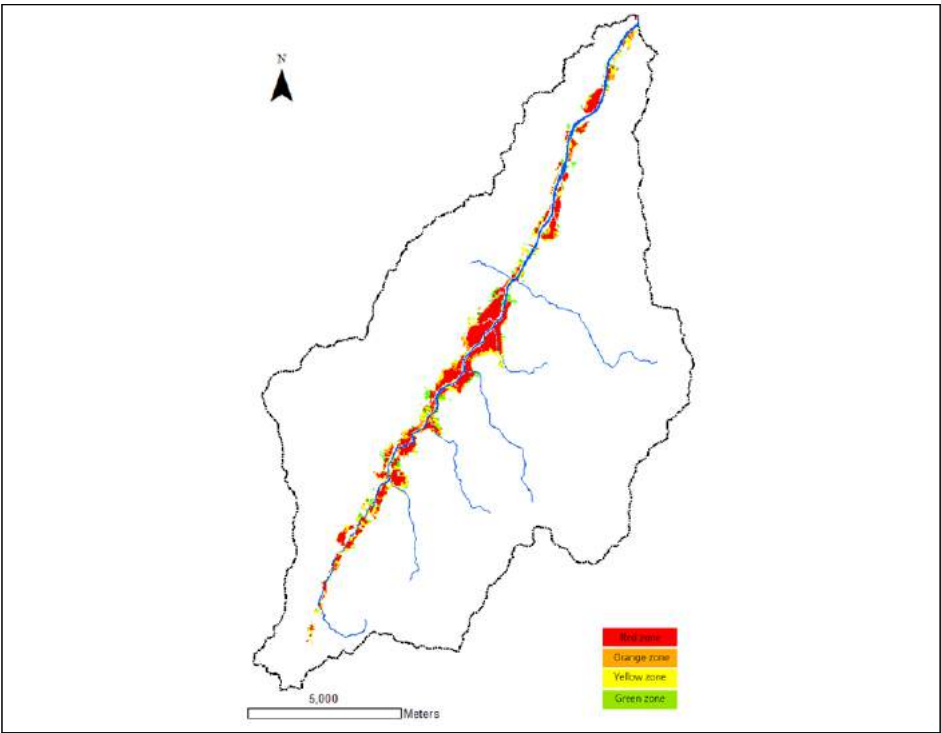
그림 3-31 | 광주시 대상지의 소행정구역별 영향권 비율



자료: 저자 작성

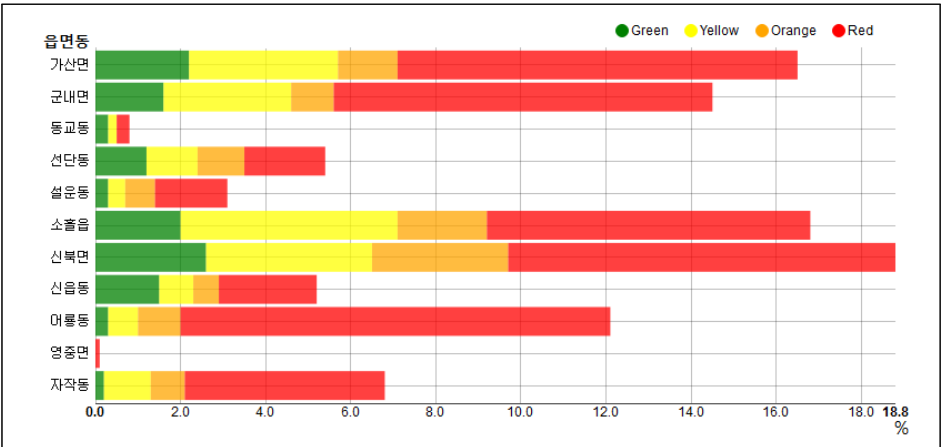
포천시 대상지의 영향권 주제도는 <그림 3-32>와 같으며, 호우시 매우 심각한 영향이 발생할 수 있는 곳으로 분류되는 Red zone은 전체 영향권의 약 56%만큼, 호우시 상당한 영향이 발생할 수 있는 곳으로 분류되는 Orange zone은 전체 영향권의 약 12%만큼 설정되었다. 호우시 주의할 만한 영향이 발생할 수 있는 곳으로 분류할 수 있는 Yellow zone은 전체 영향권의 약 20%를 그리고 호우시 침수될 수 있으나 영향이 크게 우려되지 않는 곳으로 분류할 수 있는 Green zone은 전체 영향권의 약 12%가 되는 것으로 분석되었다. 포천시 대상지 영향권 분석 결과를 자세히 살펴보면 <그림 3-33>과 같이 도시침수 영향권 내에 큰 피해가 우려되는 Red zone과 Orange zone이 비교적 많고, 특히 가산면, 군내면, 신북면, 어룡동에 주로 설정되었다. 하지만 대상지의 위성지도와 비교한 결과 이 지역은 대부분 논밭 지역으로 구성되어 있었다. 또한 내수침수로 인한 영향권은 대부분 Yellow zone과 Green zone으로 분류되는 것으로 내수침수가 비교적 덜 심각한 것으로 해석할 수 있다.

그림 3-32 | 포천시 대상지의 영향권 설정 결과



자료: 저자 작성

그림 3-33 | 포천시 대상지의 소행정구역별 영향권 비율



자료: 저자 작성

3) 노출특성 주제도

(1) 주제도 작성 방법

노출특성은 거주인구 또는 토지이용의 노출로 구분하며 영향권 지도와 각 노출특성과 관련된 공간정보를 중첩하여 작성하였다. 인구 노출특성의 경우 국토지리정보원에서 2015년을 기준으로 조사구축한 100m×100m 격자³⁷⁾의 인구주제도를 활용하였으며, 토지이용 노출특성의 경우 국토교통부의 연속주제도 상의 용도지역도³⁸⁾를 이용하여 작성하였다.

(2) 주제도 작성 결과

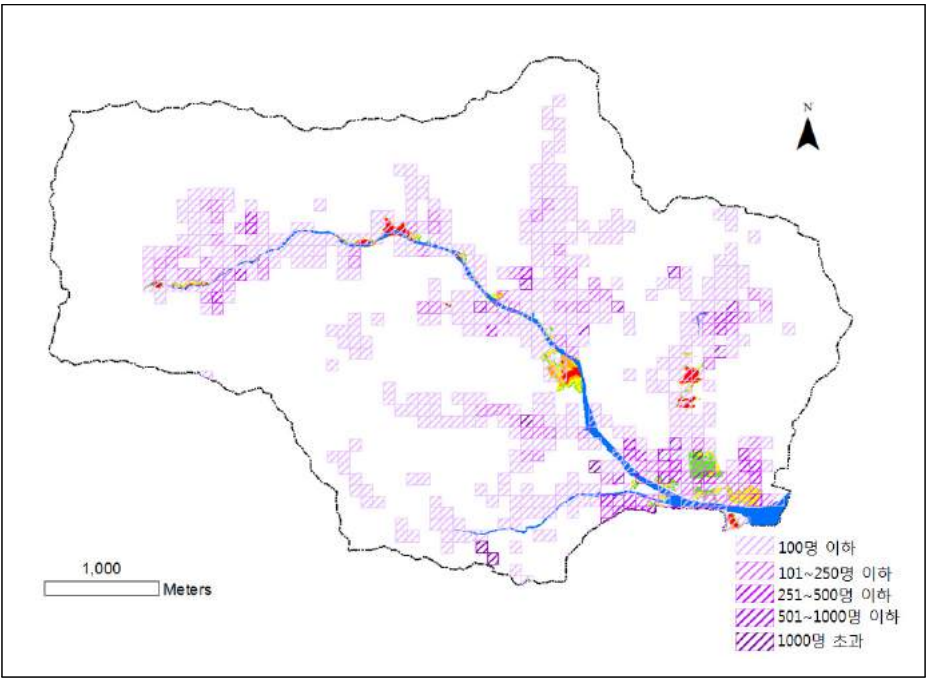
광주시 대상지의 인구는 <그림 3-34>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 대상지 내 도시침수에 의해 노출된 총 인구는 6,748명으로 분석되었다. Red zone Orange zone, Yellow zone, Green zone에 각각 760명, 704명, 4,992명, 292명 거주하는 것으로 나타났는데, Red zone과 Orange zone에도 인구가 다수 분포(1,464명)되어 있는 것을 알 수 있었다. 행정구역별로 보면 송정동 일대가 노출된 전체 인구의 66.7%에 해당하는 4,499명이 거주하고 있었다.

광주시 대상지의 토지이용은 <그림 3-36>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 대상지 내 도시침수에 의해 노출된 총 토지이용 면적은 330,545m²으로 분석되었다. 상업·업무지역이나 공업지역은 전혀 없으며, 주거지역과 녹지지역이 각각 167,832m²과 162,713m²만큼 차지하고 있었다. 이 중에서 하류지역인 송정동은 대상지의 대표적인 주거밀집지역이기 때문에 상대적으로 주거지역에 대한 노출이 큰 것으로 분석되었고 상류와 중류의 목현동, 탄벌동, 회덕동의 경우 현재 주거용도로 활용하고 있지 않아 녹지지역의 노출이 큰 것으로 분석되었다.

37) 본 과업에서 수행한 노출특성, 취약성주제도의 영향권별 분석은 100m×100m 격자 내 최대 침수위를 기준으로 대표 영향권을 설정하여 분석하였다.

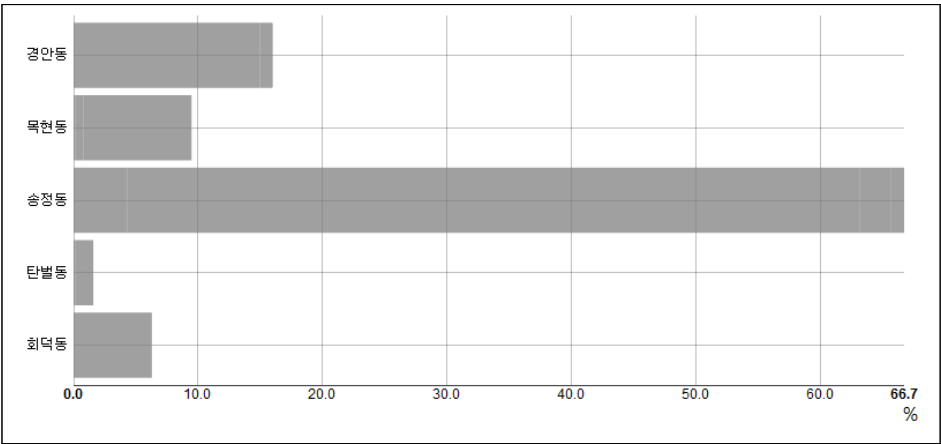
38) 국토계획법 시행령 상 용도지역은 주거지역(제1·2종전용주거지역, 제1·2·3종일반주거지역), 상업지역(중심상업, 일반상업, 근린상업, 유통상업지역), 공업지역(전용공업, 일반공업, 준공업지역), 녹지지역(보전녹지, 생산녹지, 자연녹지지역)으로 세분화 하였다.

그림 3-34 | 광주시 대상지의 거주인구 노출특성 주제도



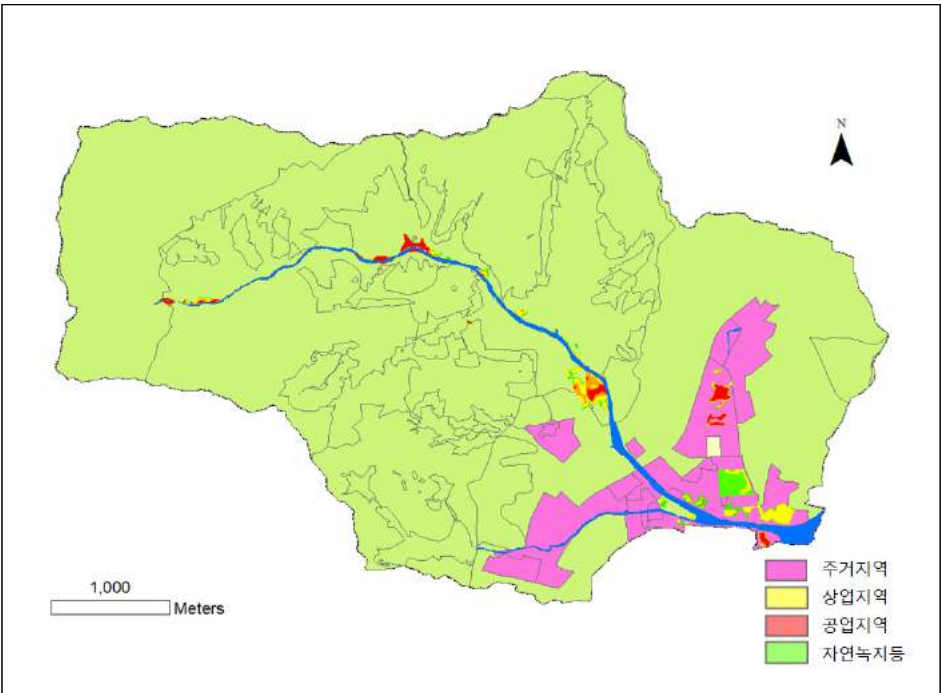
자료: 저자 작성

그림 3-35 | 광주시 대상지의 소행정구역별 거주인구 노출특성 비율



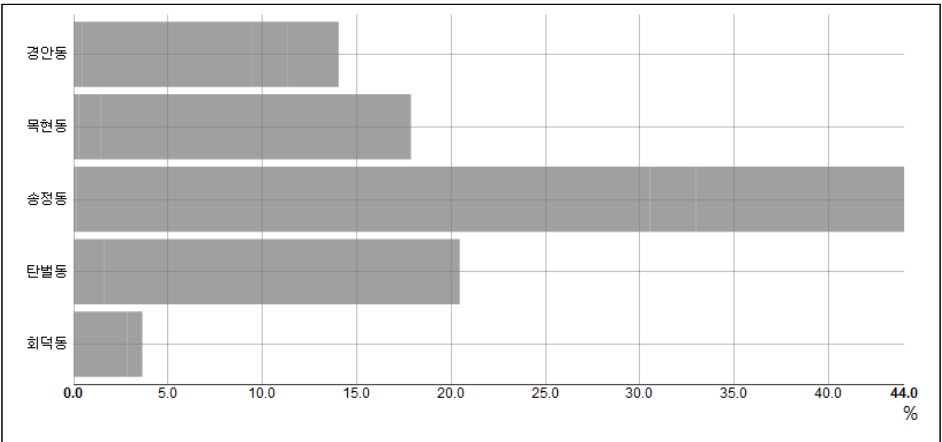
자료: 저자 작성

그림 3-36 | 광주시 대상지의 토지이용 노출특성 주제도



자료: 저자 작성

그림 3-37 | 광주시 대상지의 소행정구역별 토지이용 노출특성 비율

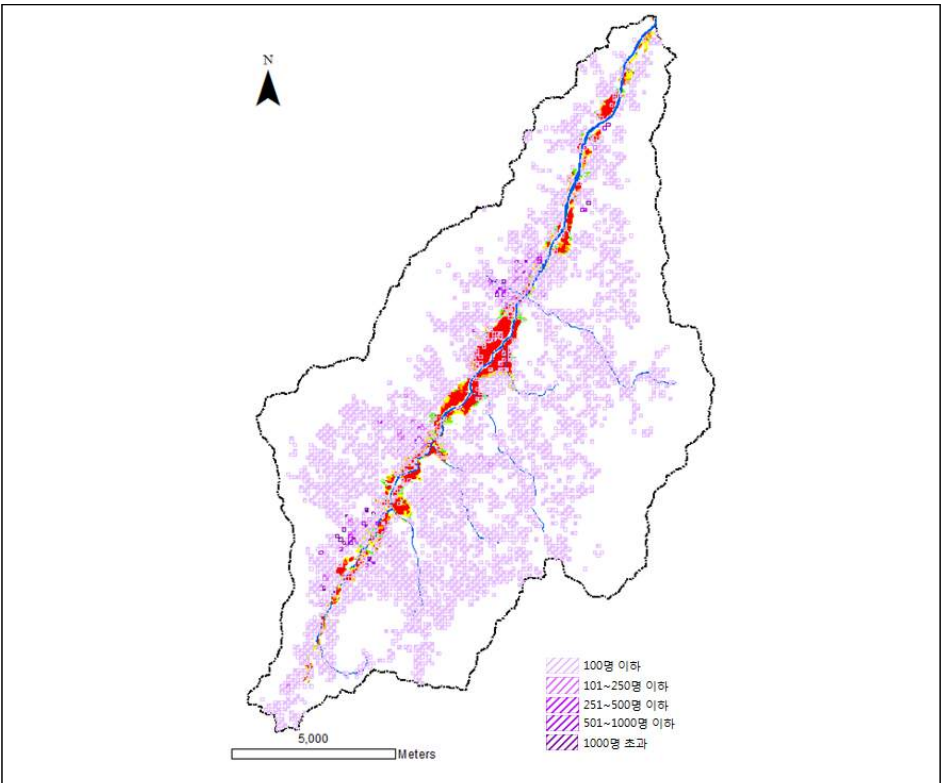


자료: 저자 작성

포천시 대상지의 인구노출 주제도는 <그림 3-38>과 같이 얻을 수 있었는데, 대상지 내 도시침수에 의해 노출된 총 인구는 8,499명으로 분석되었다. Red zone Orange zone, Yellow zone, Green zone에 각각 4,786명, 987명, 1,639명, 1,087명으로 구분되는 데 도시침수 영향이 큰 Red zone에 상당히 많은 인구가 거주하고 있는 점을 알 수 있었다. 행정구역별로 보면 소흘읍과 신북면에 영향권이 주로 설정되어 있지만, 선단동과 신읍동 일대가 인구 밀도가 높기 때문에 노출된 전체 인구의 53.0%에 해당하는 2,237명, 2,266명이 각각 거주하는 것으로 분석되었다.

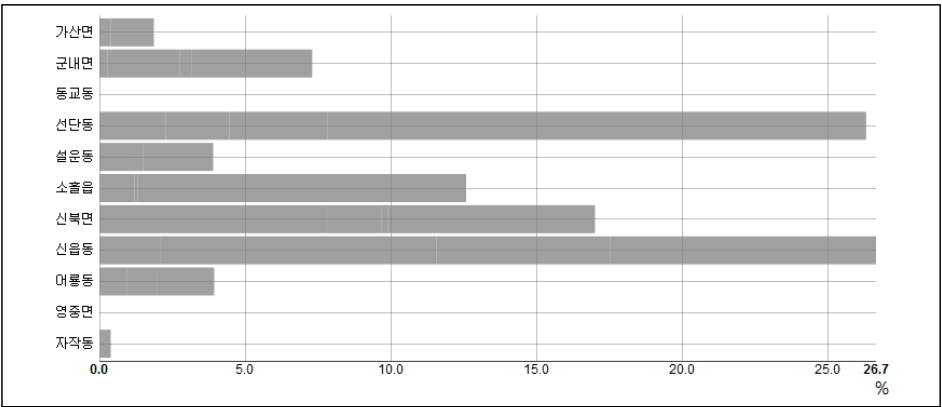
포천시 대상지의 토지이용은 <그림 3-40>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 대상지 내 도시침수에 의해 노출된 총 토지이용 면적은 11,757,208m² 으로 분석되었다. 전체적으로 자연녹지가 큰 비중을 차지하고 있으며, 주거지역과 상업·업무지역은 각각 871,193m²와 178,901m²가 도시침수에 노출되어 있는 것으로 나타났고 공업지역과 자연녹지등의 지역은 각각 20,925m², 8,456,505m²가 도시침수의 영향을 받을 것으로 분석되었다.

그림 3-38 | 포천시 대상지의 거주인구 노출특성 주제도



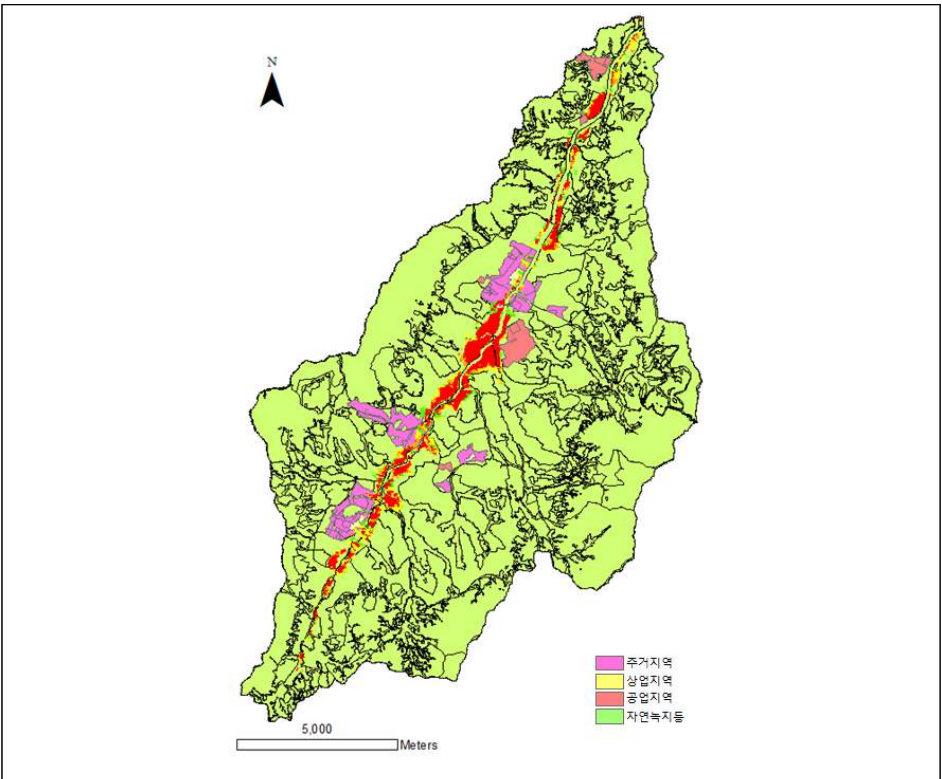
자료: 저자 작성

그림 3-39 | 포천시 대상지의 소행정구역별 거주인구 노출특성 비율



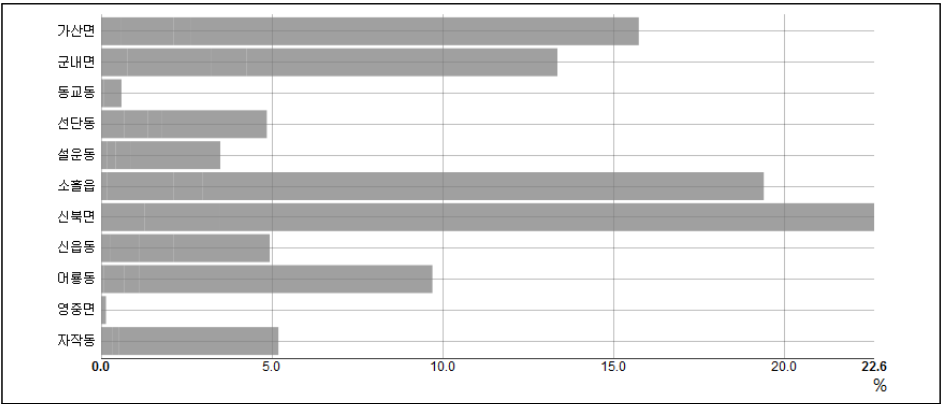
자료: 저자 작성

그림 3-40 | 포천시 대상지의 토지이용 노출특성 주제도



자료: 저자 작성

그림 3-41 | 포천시 대상지의 소행정구역별 토지이용 노출특성 비율



자료: 저자 작성

4) 취약성주제도

(1) 주제도 작성 방법

1차년도에 취약성은 영향권 내 건축물³⁹⁾, 보호대상시설⁴⁰⁾, 도로 등 세 가지 측면의 피해 민감성에 초점을 두기로 하였으며⁴¹⁾, 영향권 지도와 취약성 관련 공간정보를 중첩하여 작성하였다. 건축물 취약성은 노후건축물과 지하건축물의 개수를 의미하고 보호대상시설은 유통공급시설(전기공급시설, 가스공급시설 등), 공공문화체육시설(공공청사, 학교 등) 보건위생시설(종합의료시설 등), 환경기초시설(수질오염방지시설, 폐기물처리시설 등)에 한정하였다. 도로취약성은 포함된 도로 연장으로서 국토교통부 연속주제도 상에서 도로법의 교통시설 분류체계⁴²⁾를 고려하였다.

(2) 주제도 작성 결과

광주시 대상지의 취약건축물은 <그림 3-42>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 영향권 내에 포함된 취약 건축물의 개수는 총 142개로, Red zone, Orange zone, Yellow zone, Green zone에 각각 29개, 8개, 92개, 13개가 위치하는 것으로 분석되었다. 행정구역별로 보면 송정동 일대가 76.8%로 가장 많은 비율을 차지하고 있는데, 그 중에도 Red zone에 위치한 경우도 있어 주거환경개선 등의 별도 대책이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 광주시 대상지의 보호대상시설 취약성을 분석한 결과, 모든 보호대상시설이 영향권 밖에 위치함을 알 수 있었다.

39) 국토교통부 건축물통합정보자료의 건물 승인일자 기준으로 30년 이상 된 건축물을 노후건축물로, 지하층 수 자료를 기준으로 지하건축물로 분류하였다.

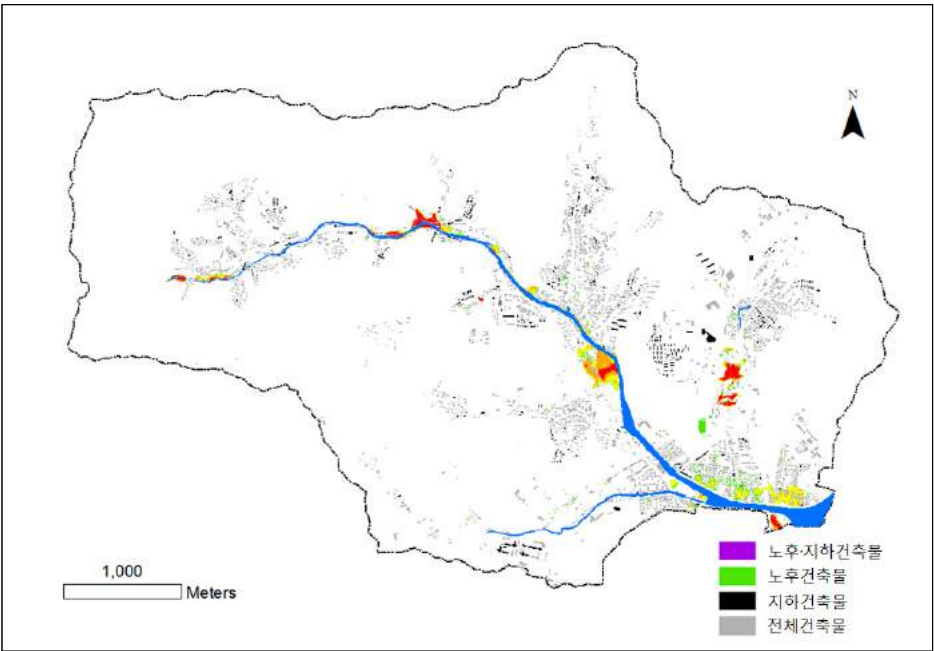
40) 보호대상시설은 기능의 장애가 발생할 때 사회적으로 피해가 확산될 수 있어 특별 대책을 요하는 시설로 정의하며, 1차년도 연구에서 기존 선행연구(국립방재교육연구원, 2010; 서울연구원 외, 2015)를 토대로 선정하였다.

41) 즉, 토지나 인구가 동일한 수준으로 노출되었다고 하더라도, 토지나 인구가 위치한 해당 공간에 노후 또는 지하 건축물이 있는 지, 보호대상시설이 있는 지, 도로밀도가 높은 지에 따라 피해의 민감성이 증가된다는 의미로 해석할 수 있다.

42) 국토교통부 연속주제도에서 도로분포에 대한 정보는 도로법 상 도로 용도구역으로 도로구역, 접도 구역, 입체적도로구역, 도로보전입체구역, 자동차전용도로구역 등과 국토계획법 상 교통시설로 일반도로, 자동차 전용도로, 도로 폭에 따라 분류된 광로·대로·중로·소로, 도시고속도로, 주간선도로 등으로 분류된 공간 정보를 포함하며, 본 연구에서 도시를 관통하는 구간에서 고속도로의 경우 대부분 입체적으로 건설되어 있기 때문에 제외하기로 하였다.

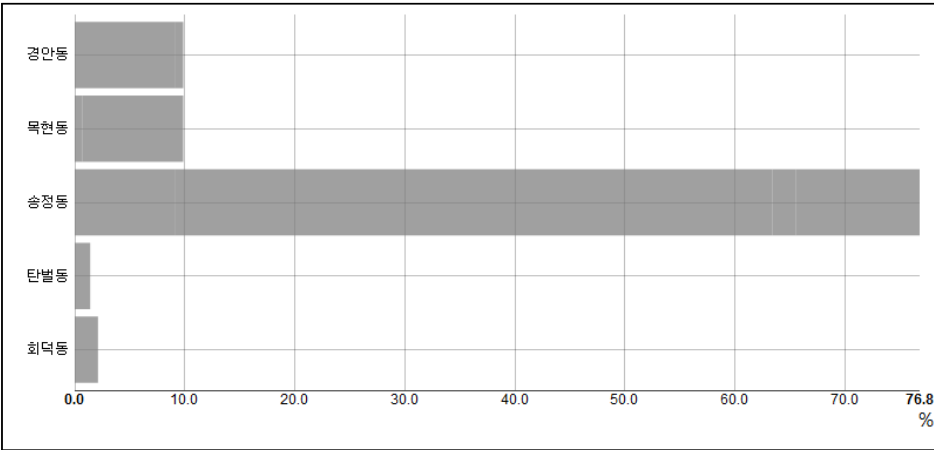
광주시 대상지의 도로는 <그림 3-44>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 영향권에 포함된 도로 연장은 총 14,785m인데, Red zone, Orange zone, Yellow zone, Green zone에 각각 6,904m, 1,654m, 6,031m, 196m가 위치하는 것으로 분석되었다. 행정구역별로 보면, 송정동 일대가 약 58.0%로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 데, 그 중에서도 다수가 Red zone에 위치하고 있어 도로에 대한 별도 침수방지대책이 필요한 것으로 분석되었다.

그림 3-42 | 광주시 대상지의 건축물 취약성 주제도



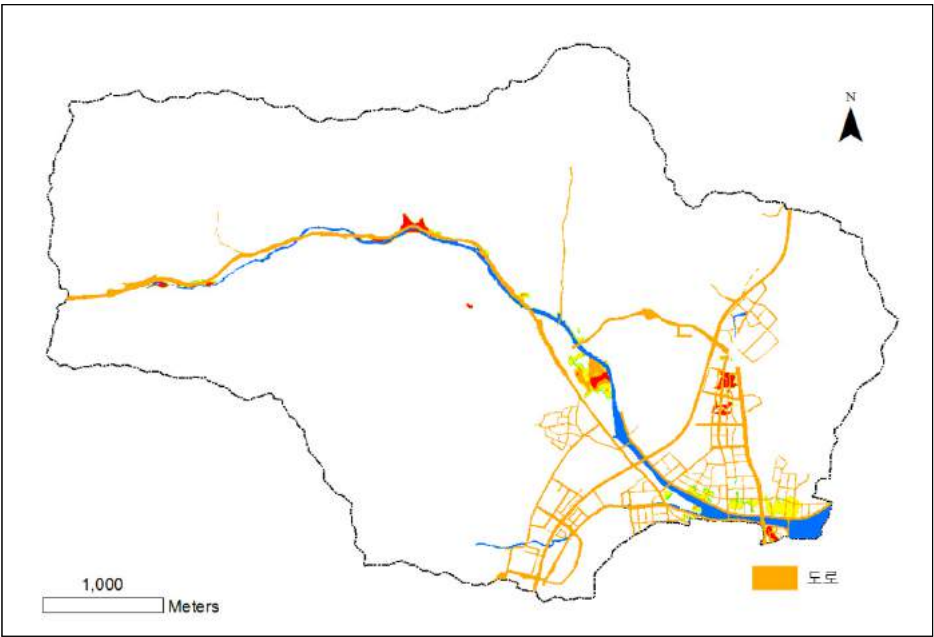
자료: 저자 작성

그림 3-43 | 광주시 대상지의 행정구역별 건축물 취약성 비율



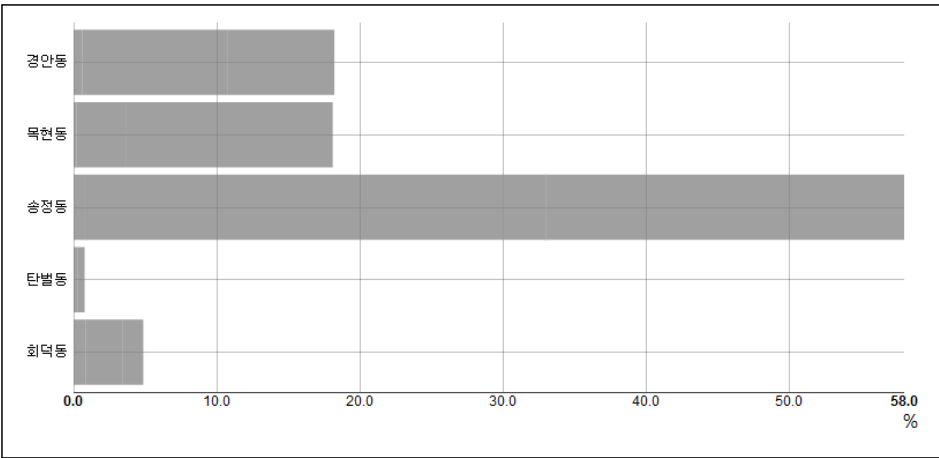
자료: 저자 작성

그림 3-44 | 광주시 대상지의 도로 취약성 주제도



자료: 저자 작성

그림 3-45 | 광주시 대상지의 행정구역별 도로 취약성 비율



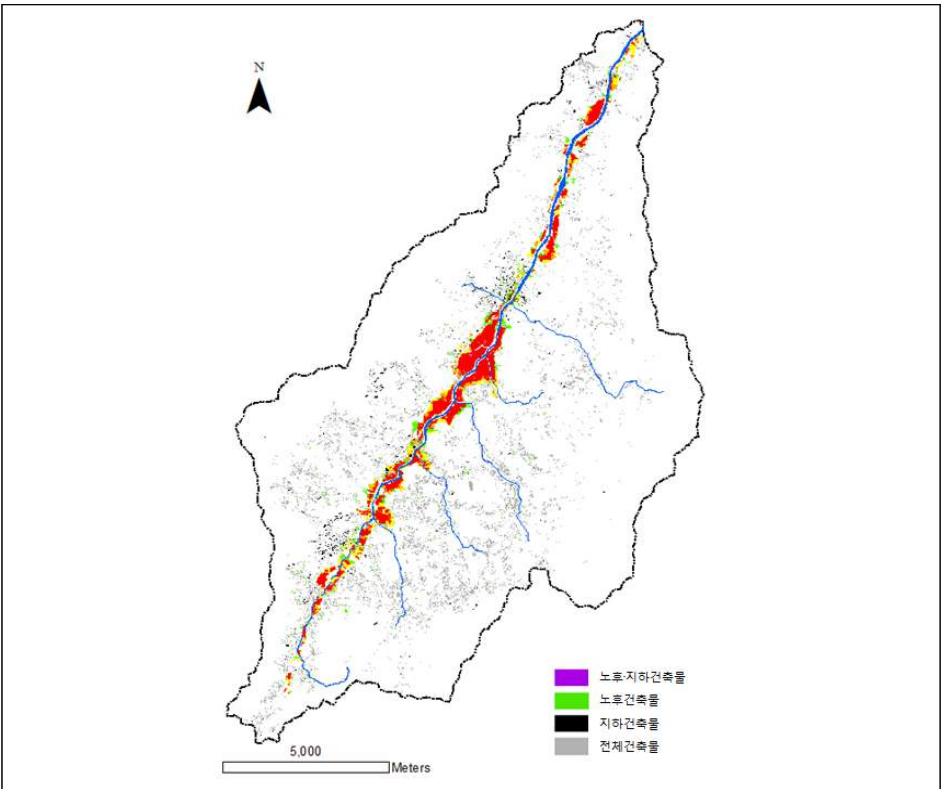
자료: 저자 작성

포천시 대상지의 취약건축물은 <그림 3-46>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 영향권 내에 포함된 취약 건축물의 개수는 총 983개로, Red zone, Orange zone, Yellow zone, Green zone에 각각 569개, 188개, 158개, 68개가 위치하는 것으로 분석 되었다. 행정구역별로 보면 신읍동 일대와 소흘읍 일대가 46.9%, 25.3%로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 데, 그 중 다수가 Red zone과 Orange zone에 위치하고 있어 주거환경개선을 위한 별도 대책이 필요한 것으로 분석되었다.

포천시 대상지의 보호대상시설은 <그림 3-48>에 보이는 바와 같이 분포되어 있으며, 영향권 내에 포함된 보호대상시설은 총 39개로, Red zone, Orange zone, Yellow zone, Green zone에 각각 24개, 5개, 7개, 3개가 위치하는 것으로 분석 되었다. Red zone에는 학교, 경찰서, 하수종말처리시설, 공공청사, 사회복지시설 등이 위치하고 있고, Orange zone에는 공공청사, 학교, 수도공급시설이, Yellow zone은 학교, 하수종말처리시설 그리고 Green zone은 공공청사가 위치하는 것으로 나타났다. 행정구역별로 보면 군내면, 소흘읍, 신북면 일대가 41.0%, 25.6%, 17.9% 로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 데, 그 중에서도 다수가 Red zone과 Orange zone에 있어 보호대상시설 안전을 위한 별도 대책이 필요한 것으로 분석되었다.

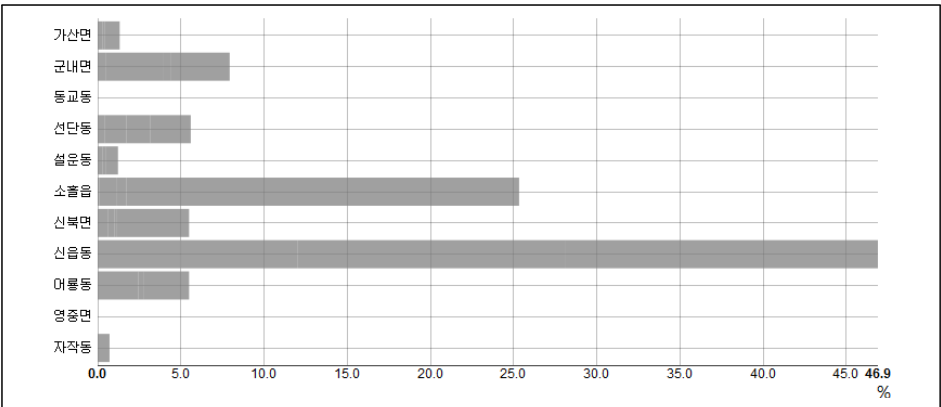
마지막으로 <그림 3-50>는 포천시 대상지의 도로 분포를 나타내고 있으며, 영향권에 포함된 도로 연장은 총 50,736m인데, Red zone, Orange zone, Yellow zone, Green zone에 36,497m, 4,724m, 7,056m, 2,459m 가 각각 위치하는 것으로 분석 되었다. 행정구역별로, 소흘읍, 신북면, 신읍동 일대가 24.8%, 18.0%, 14.4% 로 비교적 높은 비율을 차지하고 있으며, 그 중 다수가 Red zone과 Orange zone에 위치하고 있어 이 지역도 마찬가지로 도로에 대한 침수방지대책이 필요한 것으로 분석되었다.

그림 3-46 | 포천시 대상지의 건축물 취약성 주제도



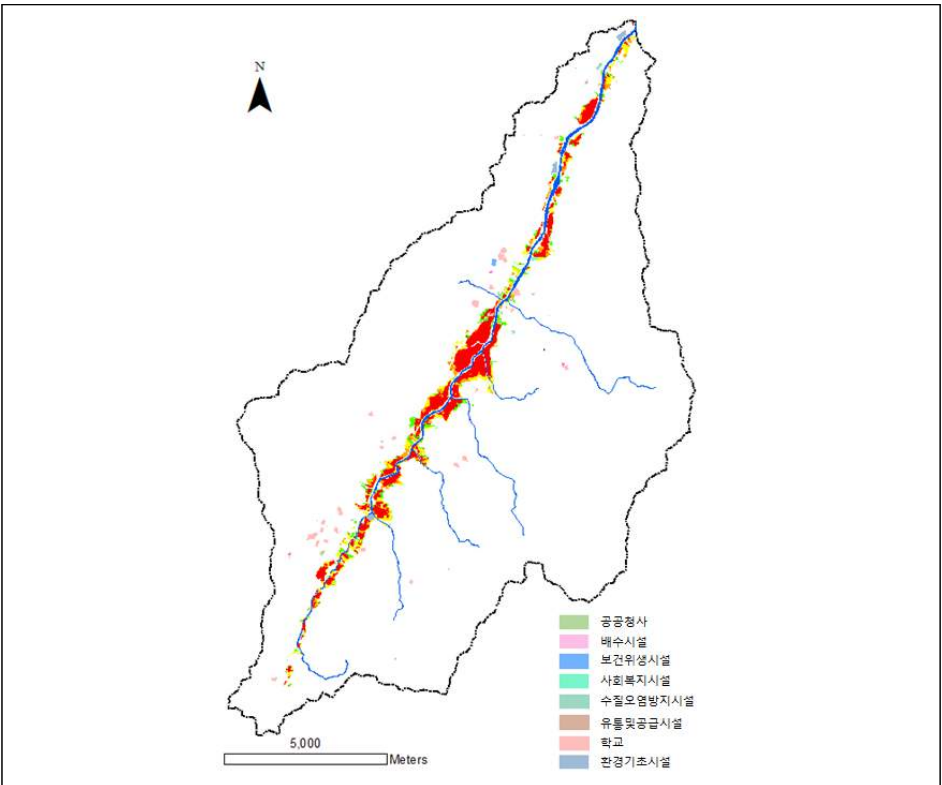
자료: 저자 작성

그림 3-47 | 포천시 대상지의 행정구역별 건축물 취약성 비율



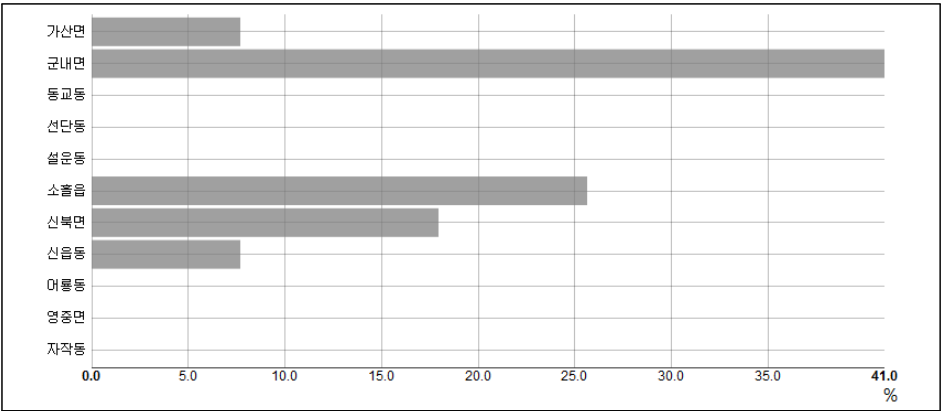
자료: 저자 작성

그림 3-48 | 포천시 대상지의 보호대상시설 취약성 주제도



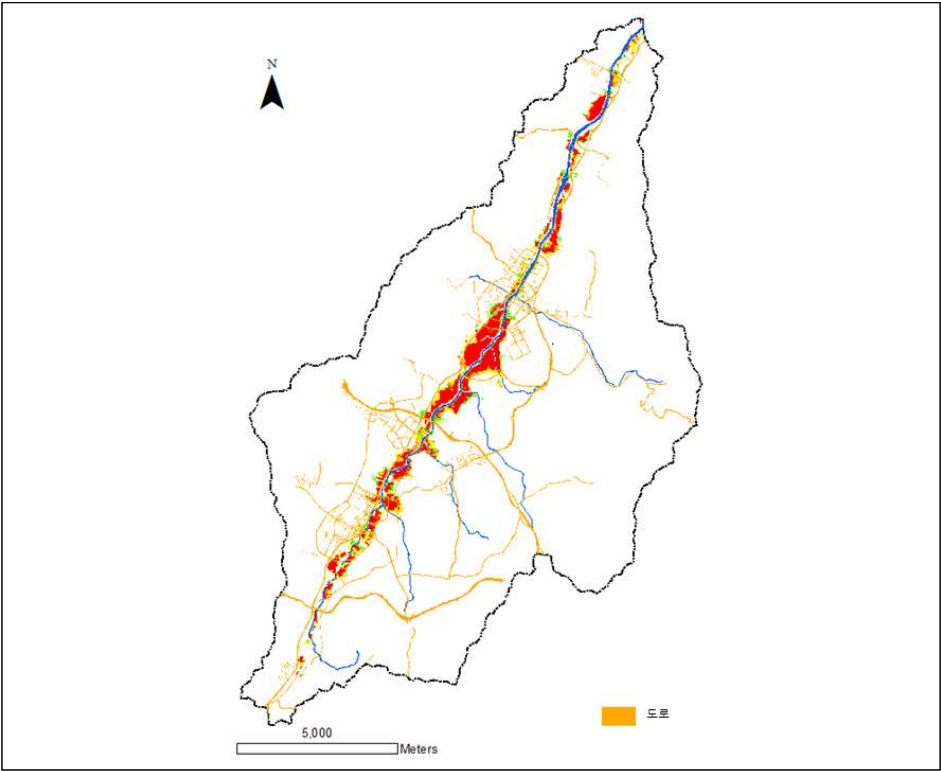
자료: 저자 작성

그림 3-49 | 포천시 대상지의 행정구역별 보호대상시설 취약성 비율



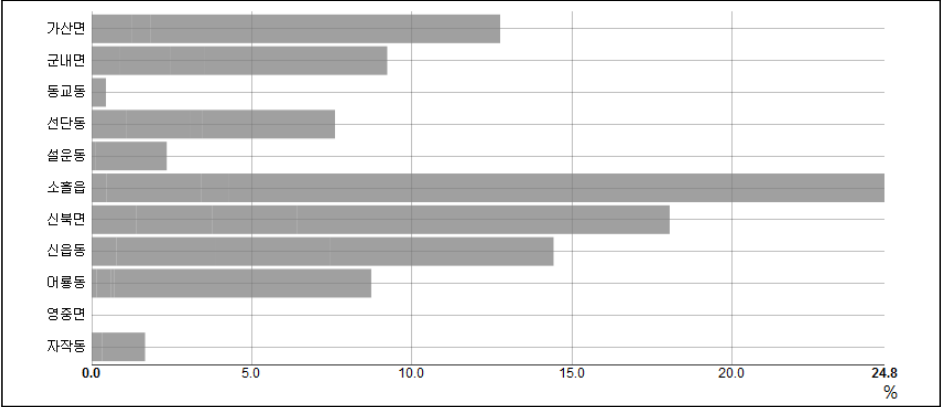
자료: 저자 작성

그림 3-50 | 포천시 대상지의 도로 취약성 주제도



자료: 저자 작성

그림 3-51 | 포천시 대상지의 행정구역별 도로 취약성 비율



자료: 저자 작성

4

CHAPTER

도시계획 측면의 방재대책 수립 지원

1. 방재대책을 위한 고위험지역 위치 결정 | 117

2. 방재대책 의사결정을 위한 평가기준 설정 | 160

도시계획 측면의 방재대책 수립 지원

도시침수 예방대책 지원시스템은 단순히 중점관리 대상지역의 상세 위험정보만을 제공하는 데 그치지보다는, 분석 결과에 맞춰 담당자가 다양한 도시계획 측면의 방재대책 수단을 발굴할 수 있도록 참고자료를 제공하기로 하였다. 이를 위해 상세 위험정보를 토대로 고위험지역을 합리적으로 선정하고 주요 위험원인을 객관적으로 분석하기 위한 방법론을 제시하는 데에 초점을 맞췄으며 대책수단의 결정에 있어서 담당자가 고려해야 할 사항도 추가적으로 검토하였다.

※ 1차년도 연구내용

1차년도에는 다양한 법령에 걸쳐 명시되어 있는 방재대책을 유형화하였다. 방재대책을 크게 세 가지로 분류하였는데, 건축물과 토지이용에 대한 계획적 대책수단, 우수유출저감시설, 내·배수시설, 도로시설에 대한 시설적 대책수단, 그리고 조기 예·경보 시스템, 대피경로 및 대피소, 시설물 안전관리 등의 관리적 대책수단으로 구분하였다. 또한 각 유형에 포함되는 다양한 수단에 대한 기대효과를 명시하여 현장의 위험원인에 따라 적절히 선택할 수 있도록 하였다.

1. 방재대책을 위한 고위험지역 위치 결정

방재대책을 수립하기 위해 가장 우선적으로 대상지역 내 어디가 고위험지역(risk hotspot)에 해당하는지를 합리적으로 파악해야 한다. 하지만 공간단위로 위험을 판단하는 것은 학술적으로 매우 힘든 결정을 필요로 한다. 그것은 <표 4-1>과 같이 공간에 부속된 위험요인이 다양할 뿐만 아니라 각 위험요인의 중요성에 대해 이해관계자마다 다른 가치판단을 갖고 있기 때문이라 할 수 있다.

표 4-1 | 고위험지역 결정을 위한 세 가지 어려움

- ▶ 위험도는 재해특성, 노출특성, 취약성의 각 범주 내에서 다양한 영향요인이 관련됨
- ▶ 이들 영향요인은 단위계가 저마다 달라 직관적으로 비교하기 힘들
- ▶ 이해관계자마다 위험도를 바라보는 시각, 지식, 관심사 등이 서로 다르며, 이는 특정공간의 위험도를 판단하는 결정에 큰 영향을 줌

자료: Fernandez 외 (2016); Kubal 외 (2009); de Brio와 Evers (2016)

고위험지역 위치 결정에 있어서 이 같은 어려움으로 인해 자연스럽게 다기준의사결정 기법(multi-criteria decision-making, MCDM)이 중요한 방법론으로 대두되고 있는 것이 사실이다.¹⁾ 하지만 MCDM의 필요성과 가능성이 선행연구를 통해 꾸준히 제기되고 있음에도 재난관리에 있어서 적용사례는 여전히 충분하지 않으며, 도시침수와 관련해서는 특히나 그 사례가 저조한 것으로 알려져 있다(Kandilioti와 Makropoulos, 2012; de Brio와 Evers, 2016).

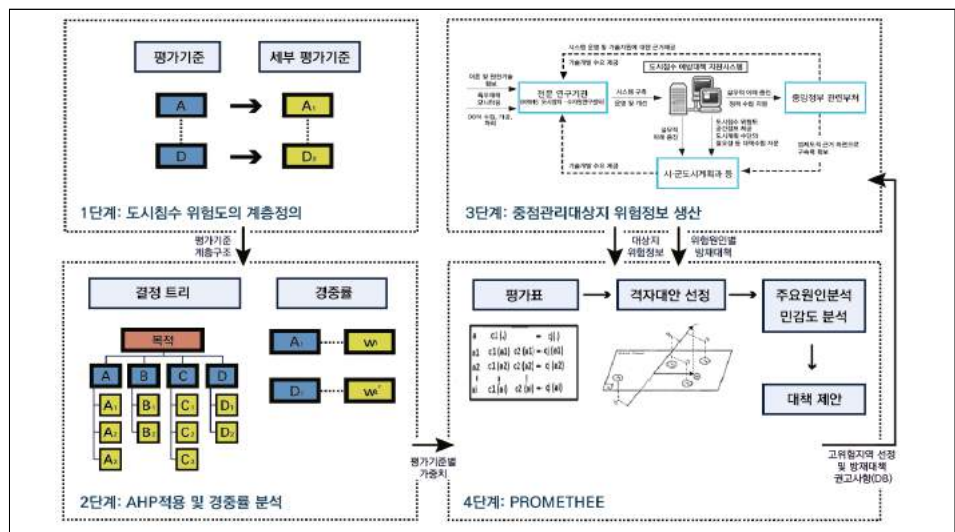
이에 따라 본 2차년도에는 도시침수 예방대책 지원시스템에서 제공할 수 있는 격자단위의 상세 위험정보를 이용해 중점관리 대상지역 내 고위험지역을 합리적으로 결정하도록 MCDM 방법론을 정의하고 그 유용성을 확인하고자 하였다. 방법론의 유용성이 검증될 경우 다음과 같이 활용될 수 있을 것이다. 먼저, 다양한 중점관리 대상지역에 적용해 가면서 대상지역 내 ‘방재대책 우선지역’의 범위를 명확히 설정할 수 있을 것이다. 또한 도시침수 예방대책 지원시스템에서 그 결과를 토대로 방재지구 지정 등의 종합대책이 필요한 곳이라는 점을 알려줌으로써 담당자가 계획 수립단계에서 합리적인 판단을 하도록 유도할 수 있을 것이다.

적용 가능한 다양한 MCDM 방법의 특성을 <부록 11>과 같이 검토하였는데, 그 결과 <그림 4-1>과 같이 쌍대비교 방법인 AHP와 우선순위 방법인 PROMETHEE를 연계하는 방법(이상은 외, 2017)을 활용하기로 하였다. 즉, AHP가 가진 유연성을 활용해 고위험지역 결정 문제를 효과적으로 계층 구조화하고 전문가 그룹 참여의 방식으로 평가기준별 가중치를 도출하기로 하였다. 이어서, 도시침수 예방대책 지원시스템에서 제공하는 위험정보와 AHP를 통해 도출한 평가기준별 가중치를 PROMETHEE에 적용해

1) 특히, 2005년 UN ISDR의 효고행동강령 이후 재해의 사전 예방대책이 정책적으로 강조되면서, 실제 현장의 위험도를 종합적으로 이해하려는 취지에서 이러한 연구의 동기가 마련되었다.

각 공간 대안별로 고위험지역에 대한 비교우위를 검토하고, 위험원인 분석, 민감도 분석 등으로 고위험지역의 특성을 엄밀하게 해석하고자 하였다. 두 기법의 연계를 고려해 도시침수 고위험지역 결정은 <그림 4-2>의 절차를 마련하였다.

그림 4-1 | 고위험지역 분석을 위한 전체 방법론 구성



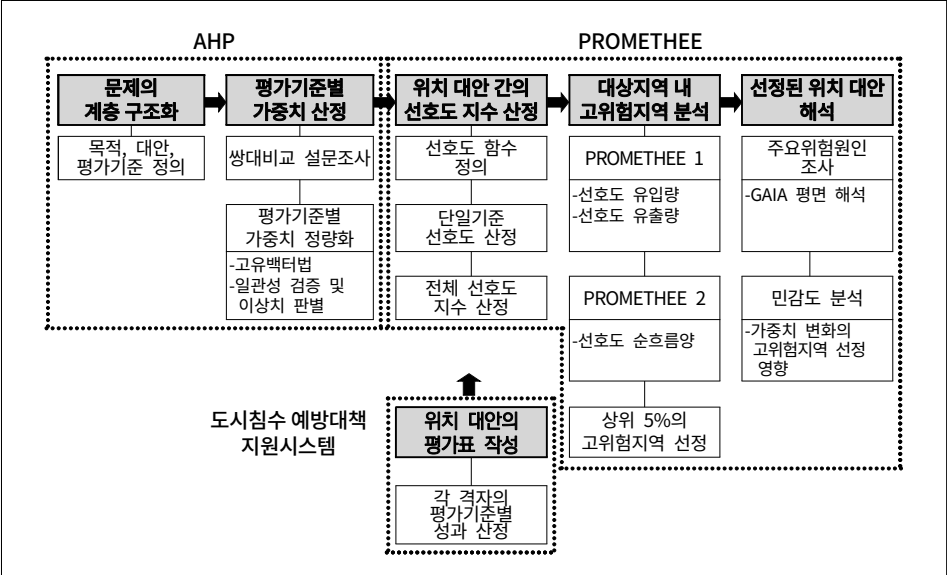
자료: 저자 작성

특히, PROMETHEE를 적용하는 데에는 고위험지역인지에 대해 수많은 위치 대안의 선호도를 비교하고, 선정한 대안의 특성과 민감도를 사후 해석하는 데에 상당한 작업부담이 발생하게 된다.²⁾ 본 연구에서는 연산작업의 부담을 줄이기 위해 브뤼셀 자유대학에서 개발한 PROMETHEE 전용 소프트웨어인 Visual PROMETHEE³⁾를 사용하기로 하였다.

2) 예로서, 포천시 대상지역의 고위험지역 선정하기 위해 10가지 평가기준에 걸쳐 1,196개의 위치 대안을 비교해야 한다.

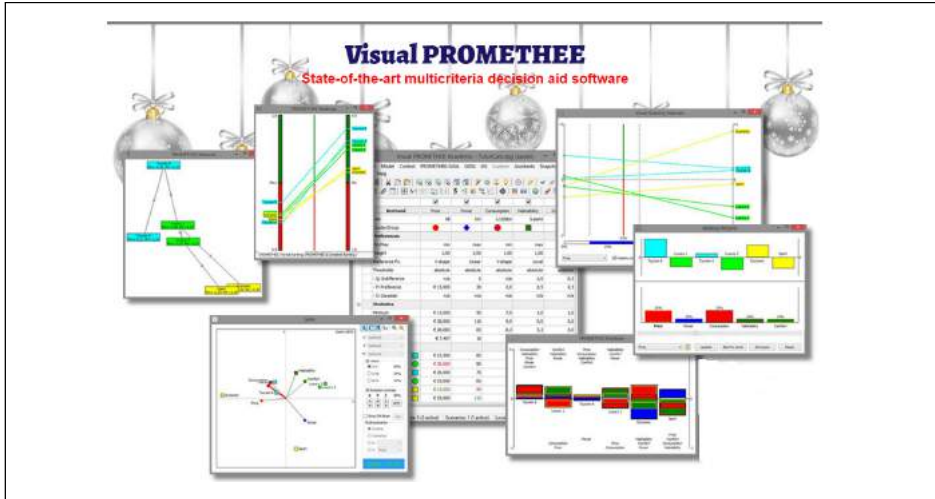
3) 80년대 말부터 PROMETHEE 기법과 관련하여 국제적으로 많은 산학연구가 진행되어 PROMCAL, Decision Lab, Smart Picker Pro 등의 소프트웨어가 개발되어 왔는데, 이 중 Visual PROMETHEE는 브뤼셀 자유대학의 Mareschal 교수 팀에 의해 2011년에 개발된 것으로 대안 선정을 위한 자료처리 능력을 개선하고, GAIA 평면 해석, 민감도 분석 등 다양한 기능을 추가 개발하였기 때문에 본 연구에 크게 유용한 것으로 판단되었다. 본 연구에서 사용한 Visual PROMETHEE는 연구 또는 교육용 보급판으로 '17년 2월에 브뤼셀 자유대학 홈페이지를 통해 사용 문의한 뒤 S/W의 설치파일을 취득하였다.

그림 4-2 | 고위험지역 위치 결정의 절차



자료: 저자 작성

그림 4-3 | Visual PROMETHEE 소개 화면



자료: PROMETHEE METHODS(<http://www.promethee-gaia.net/software.html>)

1) 문제의 계층 구조화

AHP에서는 복잡한 의사결정 문제를 다루기 위해 계층(hierarchy)이라는 개념을 사용해 세부 구성요소로 분해한다. 이 계층은 최상위 단계의 전체 목적(overall objective)과 최하위 단계의 대안(alternatives)을 평가기준(criteria)으로 연결하는 것이다. 또한, 문제가 복잡할 경우 평가기준 아래 세부평가기준을 뒤 계층의 단계를 증가시키는 방법을 취한다.

계층구조에서 전체 목적은 다양하게 정해지는데⁴⁾, 고위험지역 결정에 대한 본 연구의 문제는 ‘선택의 문제’에 해당된다고 볼 수 있다. 위험을 야기하는 다양한 원인 즉, 다양한 평가기준을 종합해 대상지역 내 위험이 높은 공간을 선택하는 문제가 된다. 선택의 문제에서 대안이란 최종 목적 달성을 위해 선택해야 할 대상을 말한다. 대안은 통상 행동이나 수단을 나타내지만, 위험지역을 선정하는 문제와 관련해서는 장소를 구분하는 구체적인 공간범위가 대안이 된다(Meyer 외, 2007).⁵⁾ 도시침수 예방대책 지원시스템에서 격자단위의 위험정보를 제공할 뿐만 아니라, 지구단위계획 수립 등의 활용목적을 고려해 100m×100m 크기의 격자단위로 대안을 구분하기로 하였다. 아울러 대상지역 내 도시침수 영향권에 포함된 격자만을 고려함으로써 불필요한 대안은 사전에 제외해 분석량 감소를 도모하였다.

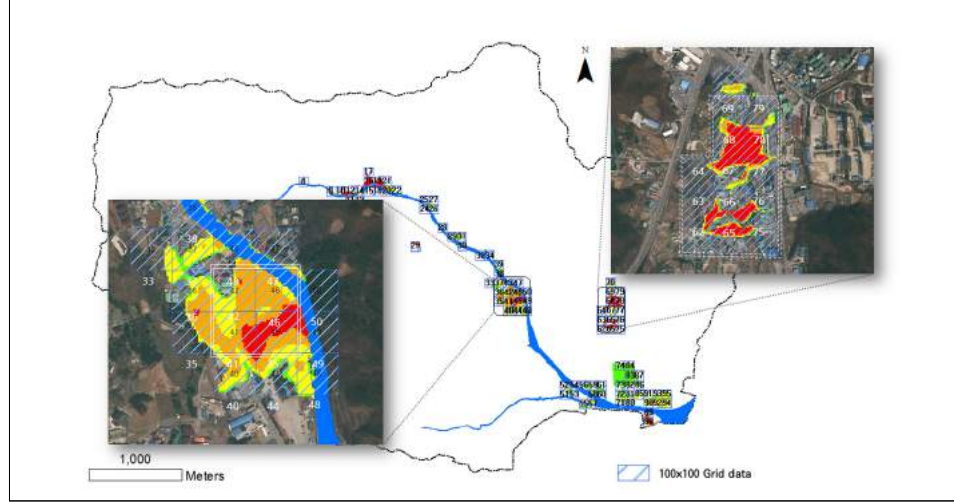
예로서, 분석 대상지역의 경우 영향권 지도를 바탕으로 다음과 같이 격자단위의 위치 대안을 선택하였다. 광주시 대상지역은 아무 정보가 없을 때 대상지역 전체 면적에 걸쳐 총 2,051개 (100m × 100m × 2,051개 ≃ 20.5km²)의 격자를 대안으로 고려해야 하지만, 영향권 지도를 이용하면 <그림 4-4>와 같이 이 중 5%인 95개 격자만을 대안으로 취할 수 있게 된다. 포천시 대상지역의 경우에도 아무 정보가 없을 때 대상지역 전체 면적에 걸쳐 총 16,200개 (100m × 100m × 16,200개 ≃ 162km²)의 격자

4) Roy (1981) 등의 연구자에 의하면 다기준 의사결정 문제에서 목적은 크게 ① 선택의 문제 (여러 대안들 중 단일한 최상의 것 또는 좋은 일부 대안들을 찾는 것), ② 분류의 문제 (여러 대안들을 미리 정의한 범주(category)에 따라 구분하는 것), ③ 순서의 문제 (최상에서 최하로 대안의 순서를 부여하는 것), ④ 설명의 문제 (대안과 그 결과를 설명해 결정문제의 특징을 이해하는 것) 등 네 가지로 구분된다.

5) 이 공간범위는 작게는 GIS 상의 격자(양인태 외, 2006)에서 행정구역(오세민 외, 2015) 또는 유역범위(이정호 외, 2011)로서 향후 활용목적에 따라 결정하게 된다.

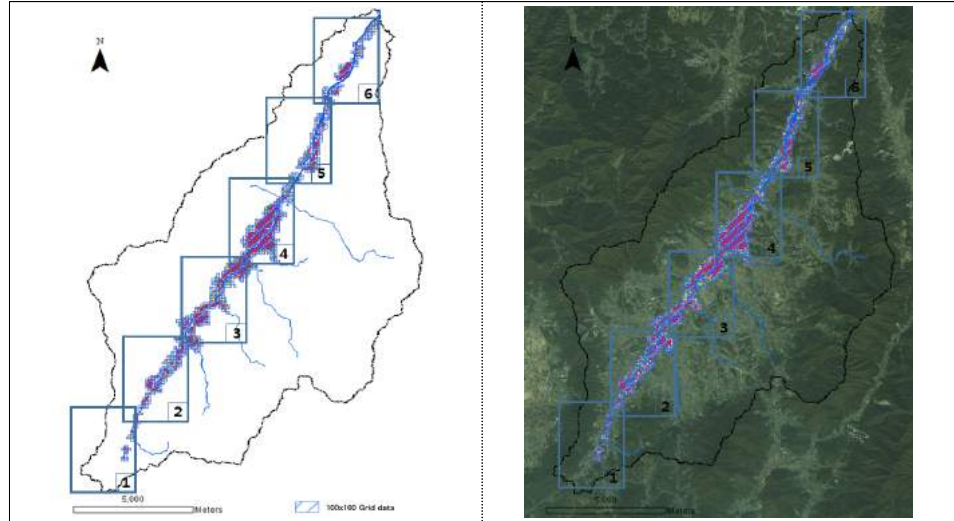
를 대안으로 고려해야 하지만, 영향권 지도를 이용해 <그림 4-5>와 같이 이 중 7%인 1,196개 격자만을 대안으로 취할 수 있었다.

그림 4-4 | 다기준의사결정의 격자대안 정의 : 광주시 대상지역



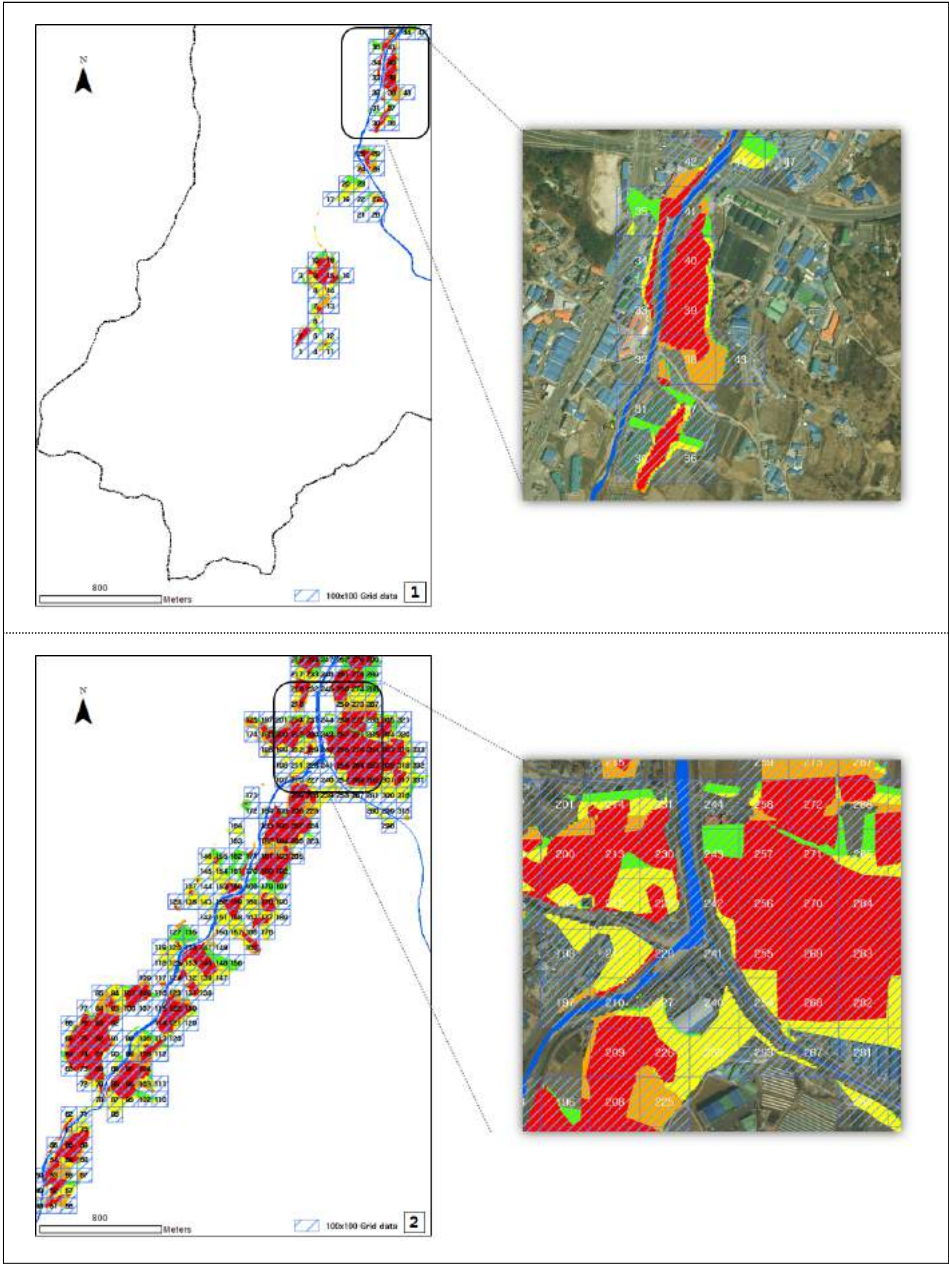
자료: 저자 작성

그림 4-5 | 다기준의사결정의 격자대안 정의 : 포천시 대상지역 (계속)



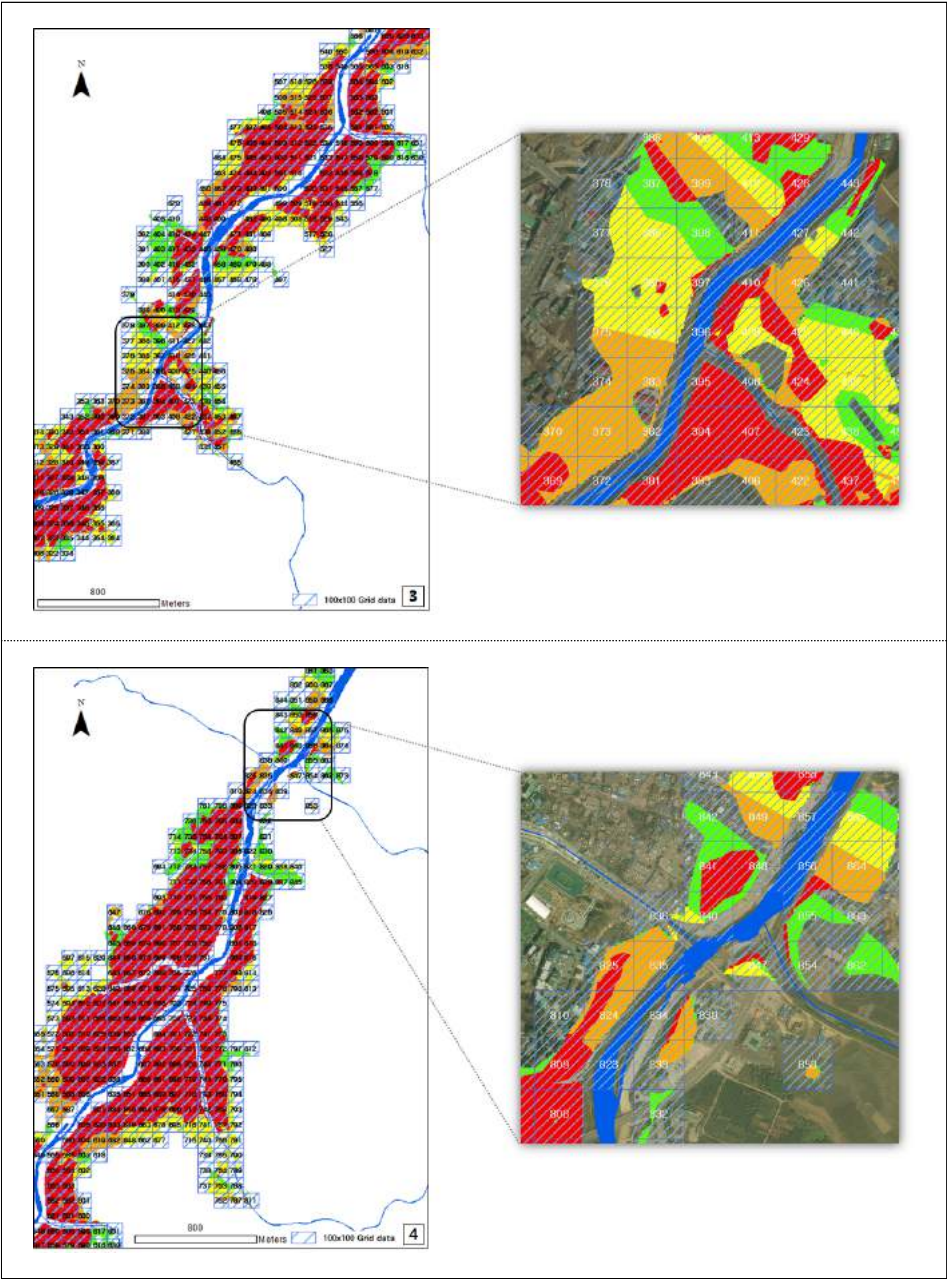
자료: 저자 작성

그림 4-5 | 다기준의사결정의 격자대안 정의 : 포천시 대상지역 (계속)



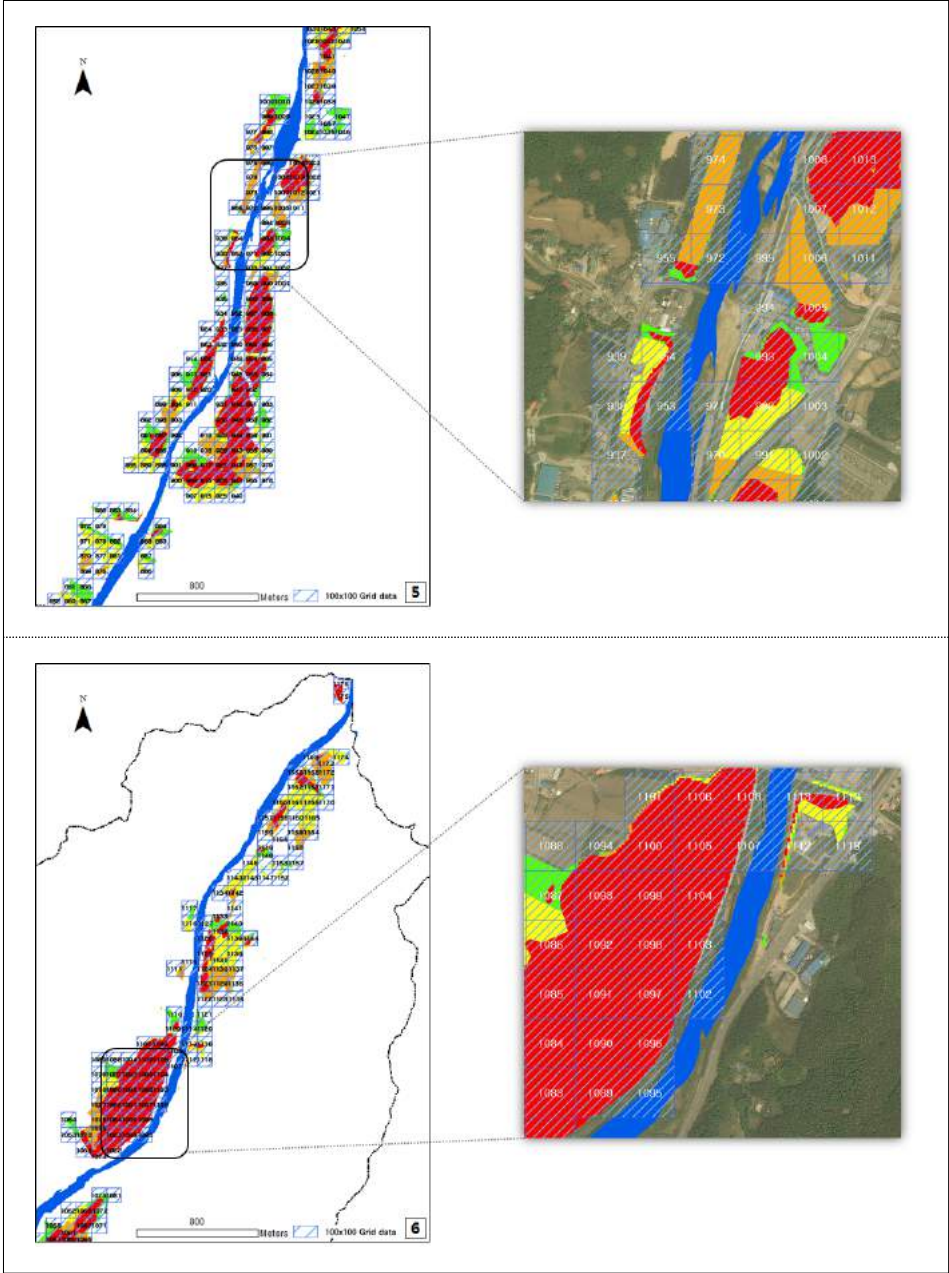
자료: 저자 작성

그림 4-5 | 다기준의사결정의 격자대안 정의: 포천시 대상지역 (계속)



자료: 저자 작성

그림 4-5 | 다기준의사결정의 격자대안 정의: 포천시 대상지역



자료: 저자 작성

평가기준은 대안 선정 시 고려되어야 할 핵심적인 속성(attributes)에 해당된다. 대안 선정과 관련된 별도의 이론이 없는 경우 이해당사자, 의사결정자, 전문가 등에게 질의하고, Delphi 등 의견수렴기술을 통해 귀납적으로 도출하게 된다. 그렇지 않은 경우에는 이론적으로 제시된 개념체계에 맞춰 평가의 완결성, 최소성, 조작성, 분해가능성, 비과잉성, 측정가능성, 목적성 등의 원칙 하에 적절한 대리변수를 선정하는 방식을 취한다.⁶⁾ 선행연구에서 자연재해의 고위험지역 분석 시 사용된 평가기준을 검토한 결과 <표 4-2>와 같은 특징을 확인할 수 있었다. 과거에는 위험도에 대해 이론적으로 합의된 개념이 없었으나 Delphi 등을 이용해 체계적으로 기준을 설정하기 보다는 단순히 문헌연구나 연구자 직관에 따라 위험을 야기하는 중요한 요소를 나열하는 방법을 적용하였다. 최근 들어 위험도의 발생원인에 대해 개념구조의 틀이 UN ISDR (2009)을 중심으로 마련됨에 따라 이를 참고하여 기준을 정의할 수 있으나, 그럼에도 불구하고 여전히 이 개념을 토대로 평가기준을 마련한 사례는 잘 확인되지 않았다.

본 연구에서 도시침수의 고위험지역을 선정하기 위해 UN ISDR의 개념체계에 따라 1단계 평가기준으로 재해특성, 노출특성, 취약성을 선정하기로 하였다.⁷⁾ 재해특성(hazard)은 방어능력을 초과하는 강우조건에서 내·외수에 의해 특정 공간이 위협받는 정도로 정의할 수 있으며, 노출특성(exposure)은 해당 강우조건에서 특정 공간이 침수에 노출된 정도라고 할 수 있다. 취약성(vulnerability)은 기상·수문 현상과 무관하게 피해민감성에 영향을 주는 해당 공간 고유의 특징이라 할 수 있다.

6) Munda (1995), Malczewski (1999), Meyer 외 (2007) 등의 연구자들은 평가기준 선정에 있어서 ① 완결성(complete; 결정문제의 모든 관점을 포괄하도록 기준을 정할 것), ② 최소성(minimal; 가능한 최소한의 기준을 정할 것), ③ 조작성 (operational; 실용적인 측면에서 충분히 의미를 가질 것), ④ 분해가능성(decomposable; 문제의 복잡성을 줄일 수 있도록 그 자체로 구체적이거나 세분화할 수 있을 것), ⑤ 비과잉성 (non-redundancy; 동일한 평가가 중복적으로 이뤄지지 않도록 할 것), ⑥ 측정가능성(measurable; 다양한 단계의 속성에 대해 선호도를 파악하고 이를 척도로 나타낼 수 있을 것), ⑦ 목적성(purposeful; 평가의 의도를 명확히 이해할 수 있도록 할 것) 등의 요소를 고려하도록 기본원칙을 마련하였다. 하지만, Penning-Rowse 외 (2003) 등의 연구자들은 AHP를 통해 가중치를 선정할 경우 쌍대비교를 통한 가중치에서 이미 평가기준간의 중요도가 배분·조정되기 때문에 평가기준의 최소성, 비과잉성 등의 독립성 보다는 모든 관점을 고려할 수 있도록 완결성을 가장 우선시해야 함을 강조한 바 있다.

7) 미리 도시침수 예방대책 지원시스템의 위험도 주제도를 위 개념체계에 따라 마련하였다.

표 4-2 | 선행연구에서 고위험지역 선정에 사용된 평가기준

연구자	평가대상	평가기준 선정 결과	비고
양인태 외(2006)	산사태 취약성	- (지형인자) 경사, 경사방향, 경사모양 - (토질인자) 토질, 배수, 유효토심 - (임상인자) 임상, 경급, 밀도	나열식
Meyer 외(2007)	홍수 위험도	- (사회적 위험도) 연평균 피해액 - (경제적 위험도) 연평균 영향인구, 특정시설 영향 확률 - (환경적 위험도) 침식가능성, 축적가능성, 비오톱 침수	종류 구분
Sinha 외(2008)	홍수 위험도	- 인구밀도, 하천 근접성, 고도, 피복, 농업활동 정도, 지형특성	나열식
채병곤 외(2009)	급경사지 위험도	- 암질, 고도, 사면경사, 공극율, 함수비, 투수계수	나열식
Saxena 외(2009)	연안재해 취약성	- 지리, 지형, 제도, 자연, 사회, 안전시설, 물리, 가계활동, 경제 등 9개 분야의 75개 기준	나열식
Fernandez 외 (2016)	도시침수 취약성	- (인구) 인구구조, 성, 가구인구수 - (건축물) 연식, 층수, 용도, 기능 - (사회경제) 교육수준, 토지소유, 실직률, 문맹률 - (노출객체) 토지이용, 인구밀도, 건물밀도	나열식
Ouma와 Tateishi(2014)	도시침수 위험도	- (물리적 위험) 고도, 경사, 토양, 강우, 하수관망 - (사회경제적 위험) 토지이용방식	종류 구분
Kandilioti와 Makropoulos (2012)	홍수 위험도	- (재해발생) 지형고도, 경사, 우수관로 밀도, 합류관로 밀도, 하천밀도, 토지이용, 하천근접성 - (재해결과) 보존지역 유무, 생태·사회적 중요지역 유무, 인구밀도, 노령층 밀도, 교육률, 경제수준, 합류관로 밀도, 가차노선 밀도, 지가	개념 체계 적용 8)
오세민 외(2015)	폭설 위험도	- (재해특성) 연최대적설량, 폭설빈도 증가율, 확률적설량, 연강파해횟수 - (취약성) 인구, 취약인구, 사업체, 차량, 시가면적, 도로연장, 취약 건물 - (응급대응 및 회복역량) 의료시설, 재정자립도	개념 체계 적용 9)
정건희(2015)	홍수 취약성	- (외부압력) 일최대강수량, 기준강수량 이상 일수, 5일 최대 강우량, 지표유출량, 우기 강우량 - (상태) 저지대 면적, 저지대 주택수, 하천 제방비율, 인구밀도, 총인구수, 도로비율, 최근 홍수피해액, 최근 이재민 수 - (반응) 재정독립율, 인구당 공무원수, 지역 내 총생산, 수자원 공무 원 수, 하천개수를 배수시설 용량, 저수지 홍수방어용량	개념 체계 적용 10)

자료: 저자 작성

8) 해당연구는 위험도를 재해발생과 재해결과의 함수로 보는 전통적인 공학개념을 적용하였다.

9) 해당연구는 위험도가 재해특성, 취약성, 응급대응 및 회복역량에 의해 구성된다는 Granger와 Hayne (2001)의 risk triangle 개념을 활용하였다.

10) 해당 연구는 위험도를 외부압력, 상태, 반응의 결과로 보는 IPCC의 PSR 개념모형을 적용하였다.

1단계 평가기준을 구체화하기 위해 2단계 평가기준을 다음과 같이 선정하였다. 재해 특성은 각 공간에 발생된 내수에 의한 최대 침수위(30년 빈도 기준 적용)와 외수에 의한 최대 침수위(100년 빈도 기준 적용)로 구분하였다. 노출특성은 각 공간 내 도시침수 영향권에 포함된 인구수와 토지면적으로 구분하기로 하였으며, 취약성은 도시침수 발생 시 주민고층이나 경제적 피해를 가중하는 요인에 초점을 두고, 특정 건축물, 보호대상시설, 그리고 도로의 분포를 각각 선정하였다. 2단계 평가기준 중 토지의 노출특성은 동일한 면적이 노출되었다고 해도, 주거, 상업·업무, 공업, 녹지 등 토지용도에 따라 위험정도가 다르기 때문에 3단계 평가기준으로서 토지이용방식별로 노출특성을 한 번 더 구분하였다.

표 4-3 | 평가기준 선정 결과

평가기준	단위	설명
재해특성	-	방어능력을 초과하는 강우조건에서 해당공간이 침수에 의해 위협받는 정도
외수에 의한 최대 침수위	cm	100년 빈도 강우조건 하수범람 모의를 통해 분석된, 해당공간 내 최대 침수위
내수에 의한 최대 침수위	cm	30년 빈도 강우조건 내수침수 모의를 통해 분석된, 해당공간 내 최대 침수위
노출특성	-	방어능력을 초과하는 강우조건에서 해당공간이 침수에 노출된 정도
거주인구 노출	명	해당공간 내 침수 영향권 내 거주하는 총 인구
토지의 노출	-	해당공간 내 침수 영향권 내 포함된 토지면적
주거지역 노출	m ²	해당공간이 주거지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적
상업·업무지역 노출	m ²	해당공간이 상업·업무지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적
공업지역 노출	m ²	해당공간이 공업지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적
녹지지역 노출	m ²	해당공간이 녹지지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적
취약성	-	기상·수문 현상과 무관한, 해당 공간 고유의 피해민감성
취약 건축물 분포	개수	해당공간 내 노후(30년 이상) 또는 지하 건축물의 수
보호대상시설 분포	개수	해당공간 내 전기공급시설, 가스공급설비, 공공청사, 종합의료시설, 수질오염 방지시설, 폐기물처리시설 등의 수 ¹⁾
도로분포	m	해당공간 내 포함된 도로 연장 ²⁾

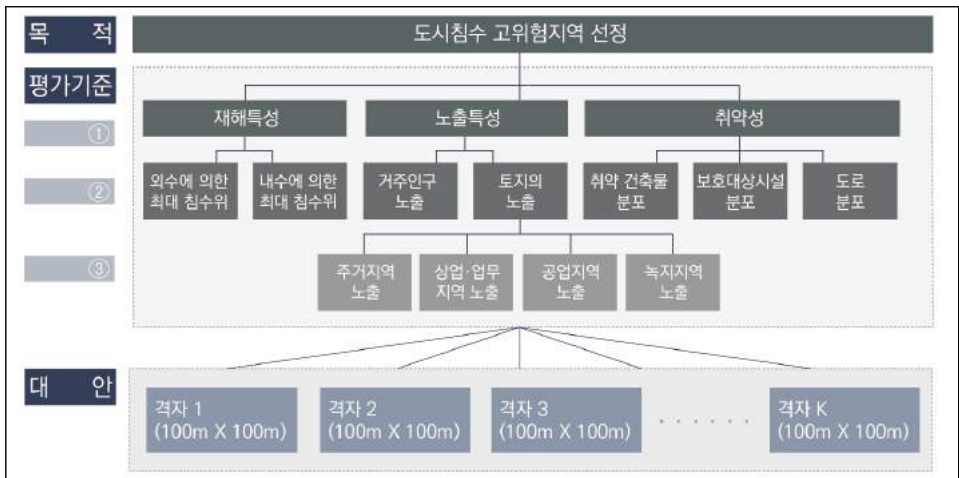
주: 1) 1차년도 연구에서 침수피해에 민감하거나 2차피해의 잠재성이 높은 시설을 선정

2) 국토계획법 상 도로의 사용 및 형태별 구분을 기준으로 한 일반도로, 자동차전용도로, 지하도로 등을 포함

자료: 저자 작성

최종적으로 본 연구의 고위험지역 위치 결정의 문제는 <그림 4-6>과 같이 구조화되었다.

그림 4-6 | 참고: 도시침수 위험도 평가를 위한 계층 구조화 결과



자료: 저자 작성

2) 평가기준별 가중치 산정

평가기준 간의 중요도 비교를 위해 쌍대비교 설문조사를 실시하였다. 우선 토목, 도시계획, 방재 등의 분야별 전문가 자문회의를 개최해 앞에서 제시한 계층구조와 평가기준의 적정성을 검토한 뒤, 회의결과를 반영해 평가기준의 쌍대비교 설문지를 Saaty의 9점 척도에 따라 작성하였다. 이어서, 동일한 분야의 전문가 30인을 선정한 뒤 개인별로 연락을 취해 연구취지, 평가문제의 구조, 설문지 응답방법 등을 설명하고, 이메일을 통해 설문지(<부록 12>) 발송하였다.¹¹⁾

설문응답을 통해 얻은 평가기준 간의 중요도 비교결과로부터 비교행렬을 작성하였으며, <그림 4-7>과 같이 비교행렬의 성분을 두 기준의 가중치 비율로 해석하여¹²⁾ 고유

11) 발송된 설문지 30개 중 최종적으로 28개가 취합되었다.

12) 즉, 전문가가 평가기준 i와 j이 서로 동등하게 중요하다고 판단될 때 1점으로 표현하지만 실제로는 개별 가중치의 비율 $p_j/p_i = p_j/p_i = 1$ 에 의한 결과로 해석할 수 있다. 마찬가지로 평가기준 i가 평가기준 j에

벡터법(eigenvalue method)을 통해 완전해 또는 근사해로 각 평가기준의 가중치를 도출하였다.

그림 4-7 | 설문조사 결과를 이용한 가중치 도출 방법

▶ a_j 는 j 번째 평가기준을, N 은 평가기준의 총 개수를, $P(a_i, a_j)$ 는 a_j 에 비해 a_i 의 상대적 중요도로써 p_i/p_j 을 의미한다고 가정

▶ 설문조사에서 $P(a_i, a_j)$ 에 대한 응답이 완벽히 이뤄졌다면, 비교행렬 A 로부터 평가기준별 가중치 벡터 $\vec{p}$ 를 다음과 같이 도출할 수 있음

$A =$

	a_1	...	a_i	...	a_N
a_1	1	...	$P(a_1, a_i)$	...	$P(a_1, a_N)$
$\vdots$	$\vdots$	1	...	...	...
a_i	$P(a_i, a_1)$	$\vdots$	1	...	$P(a_i, a_N)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	1	...
a_N	$P(a_N, a_1)$	$\vdots$	$P(a_N, a_i)$	$\vdots$	1

$=$

	a_1	...	a_i	...	a_N
a_1	p_1/p_1	...	p_1/p_i	...	p_1/p_N
$\vdots$	$\vdots$	1	...	...	...
a_i	p_i/p_1	$\vdots$	p_i/p_i	...	p_i/p_N
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	1	...
a_N	p_N/p_1	$\vdots$	p_N/p_i	$\vdots$	p_N/p_N

$$A \times \vec{p} = N\vec{p}$$

$$\vec{p} = [p_1, p_2, \dots, p_N]$$

▶ 응답의 일관성이 약간 결여되는 경우에는 교란이론(Saaty, 2003)을 통해 근사해 산정

자료: 저자 작성

이러한 방법은 응답의 일관성이 부족해 비교행렬을 통해 얻은 가중치가 신뢰할 만하지의 판단기준을 필요로 한다. 쌍대비교 행렬의 일관성 조건 충족 여부를 확인하는 데에는 Saaty(1977)가 제시한 일관성 비율(consistency ratio, CR)을 사용하기로 하였다.¹³⁾ 특히, 본 연구에서 정의한 문제의 계층은 비교적 복잡하고 쌍대비교 해야 할 항목이 많아 $CR < 0.2$ 의 기준에 따라 설문지 각각의 일관성을 분석하고 일관성 기준을

비해 절대적으로 중요하다고 판단될 때 9점으로 표현하지만 이를 개별 가중치의 비율이 $p_i/p_j = 1/(p_j/p_i) = 9$ 배의 차로 해석할 수 있다.

13) 일관성 비율 CR은 일관성 지수 CI와 무작위 지수 RI의 비율로서 각각은 다음과 같이 산정된다.
 $CI = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1}$; RI = Saaty(1977)가 무작위 비교행렬에서 구한 CI값
여기서, $\lambda_{\max}$ 는 비교행렬의 최대 고유치값을 의미

충족하는 설문지만으로 평가기준별 가중치를 산정기로 하였다.¹⁴⁾¹⁵⁾ 일관성 비율(CR)을 산정한 뒤 설문의 일관성이 떨어진다고 판단될 때에는 전체 전문가 집단 설문조사 결과로부터 해당 응답 결과를 제외하였다.

비교행렬의 일관성에 문제가 없는 응답자의 가중치를 기하평균(geometric mean)하여 <부록 13>과 같이 집단 가중치값을 각 계층별로 산정(local weights)하였다. 또한 평가기준의 전체 계층구조를 고려해 각 계층의 가중치 값을 전체 가중치(global weights)로 환산해 최종적으로 <표 4-4>와 같이 가중치 표를 도출하였다.

표 4-4 | 평가기준의 가중치 산정 결과

고 위험 지역 선정을 위한 평가 기준	재해특성 [L: 36.42%]	
	외수에 의한 최대 침수위(cm) [L: 45.39%] [G: 16.53%]	
	내수에 의한 최대 침수위(cm) [L: 54.61%] [G: 19.89%]	
	노출특성 [L: 27.30%]	
	거주인구 노출(명) [L: 83.62%] [G: 22.82%]	
	토지의 노출(m ²) [L: 16.38%] [G: 4.47%]	주거지역 노출(m ²) [L: 53.72%] [G: 2.40%]
		상업·업무지역 노출(m ²) [L: 27.71%] [G: 1.24%]
		공업지역 노출(m ²) [L: 14.15%] [G: 0.63%]
		녹지지역 노출(m ²) [L: 4.42%] [G: 0.20%]
	취약성 [L: 36.29%]	
	취약 건축물 분포(개수) [L: 46.47%] [G: 16.86%]	
	보호대상시설 분포(개수) [L: 42.15%] [G: 15.30%]	
	도로분포(m) [L: 11.37%] [G: 4.13%]	

자료: 저자 작성

14) Saaty (1977)는 CR의 0.1 기준을 일관성 기준이라 제시하였는데, 이에 대해서는 이론적인 근거를 두고 있다고 보기 힘들다. 김영문(1998) 또한 일관성 비율을 토대로 0.1 이하의 기준을 적용할 경우 합리적 평가, 0.2 이하일 경우에는 허용할 수 있는 평가로 정의한 바 있으며, 채병곤 외(2009)의 연구에서도 저자는 문제의 계층이 복잡하게 구성되고 쌍대비교 해야 할 항목이 많아 응답자의 일관성 비율을 0.2 이하로 완화하여 적용한 바 있다.

15) 추가적으로 Box Plot의 이상치 판정방법을 이용해 평가기준별로 다른 전문가 응답과 크게 동떨어진 가중치를 부여한 응답자가 있는 지 확인하였고, 이 경우 해당 응답자의 설문 결과를 추가로 제외하였다.

<표 4-4>의 가중치 표를 보면, 설문에 참가한 전문가들은 전반적으로 도시침수의 위험에 있어서 재해특성, 노출특성, 취약성이 비슷한 중요도를 가진다고 판단하고 있다. 순수한 자연 환경적인 요인인 재해특성이 위험을 구성하는 데 필요조건임에도 불구하고, 도시의 개발과 관련된 요인인 취약성에도 동일한 중요도를 부여한 점은 재난 연구¹⁶⁾에서 과거 피해 경험을 토대로 강조해오던 견해와 일치하고 있다.

재해특성 가운데에서는 외수에 의한 침수위에 비해 내수에 의한 침수위를 조금 더 중요시 하고 있음을 알 수 있었다. 이는 도시침수가 인명 손실 보다는 경제적 피해나 주민생활의 불편과 관련 있기 때문에 주로 밀집지역에서 발생하는 내수에 더 큰 중요도를 부여한 것으로 해석되었다.

노출특성에 대해서는 인구노출이 토지이용 노출보다 크게 중요한 것으로 판단하고 있다. 두 가지 노출특성 간의 상관성이 다소 클 것으로 예상됨에도 불구하고 전문가들이 부여한 중요도에는 큰 차이가 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 도시침수의 위험을 판단함에 있어서 단순히 얼마나 방대한 토지가 영향을 받는 지 보다는 얼마나 많은 사람이 영향을 받는 지를 고려하는 것이 더욱 중요하다는 점으로 해석된다. 토지이용의 노출 가운데에서는 주거, 상업업무, 공업, 녹지의 순서로 중요도를 부여하였는데, 전문가들이 단순히 도시침수로 인한 경제적 피해의 크기뿐만 아니라 주민생활의 불편함 또한 크게 고려한 것으로 추측된다.

취약성에 대해서는 공간 내 취약한 건축물과 특정한 보호대상시설의 분포가 비슷한 수준으로 중요하지만, 도로의 경우 상대적으로 낮은 중요도를 부여하였다. 최근 도시침수의 사례를 보면 노후 또는 지하 건축물에 거주한 주민들은 노면수 유입 또는 하수 역류로 인해 개인재산 상의 피해도 크게 발생하였고 일상의 생활로 환원하는 데에도 오랜 시간이 발생하였으므로 전문가들도 이 점을 잘 인식한 것으로 보인다. 전기공급 시설, 가스공급설비, 공공청사, 종합의료시설, 수질오염방지시설, 폐기물처리시설 등의 보호대상시설의 분포에 대해서도 취약 건축물만큼이나 중요하게 판단한 점은 인상

16) 70년대 O'keefe 외(1976)가 재난으로 인한 사망자 분석 결과를 제시한 이후 연구자들은 재난이 재해로 인해 촉발하는 것이지만 재난으로 인한 피해는 취약성과 결부되어 발생하는 것으로 인식하고 있으며, 따라서 자연재난 (natural disaster)이라는 표현을 반대해 왔다.

적인 결과라 할 수 있다. 즉, 침수된 지점에서 당장에 발생하는 1차 피해뿐만 아니라 라이프 라인 중단으로 인한 피해의 파급영향, 지역단위의 구호 및 상황통제, 환경상의 위해 발생 등을 중요시하고 있는 것으로 해석된다. 하지만 전문가들은 도로 분포에 그리 중요도를 부여하지는 않았다. 도로 그 자체가 피해가 크게 발생하는 대상은 아니지만 도로가 침수될 경우 대피, 수송, 구호 등에 차질을 줄 뿐만 아니라, 통행, 이동 등의 불편으로 인해 도시생활에 큰 영향을 줄 수 있다는 점을 감안할 때 과소평가되었을 가능성을 생각할 수 있다. 하지만 도시공간에 비해 도로는 배수기능을 잘 갖추고 있기 때문에 도로 위에서 침수의 지속시간이 상대적으로 짧아 상황통제의 장애와 통행의 영향이 크게 발생되지 않는다고 전문가들이 판단하였을 가능성 또한 있다.

3단계에 걸쳐 마련한 단일 평가기준 중에서는 거주인구 노출, 내수에 의한 최대 침수위, 취약 건축물 분포, 외수에 의한 최대 침수위, 보호대상시설 분포의 순서대로 중요도가 부여되었다. 10가지 평가기준 중 이 5가지 기준만으로 가중치(global weights) 합이 90%를 넘어 각 대안의 도시침수 위험을 판단하는 데 핵심 요인이라 할 수 있다.

3) 입지 대안의 평가표 작성

도시침수 예방대책 지원시스템에서 제공하는 대상지역의 위험정보를 이용해 j번째 평가기준에 대한 k번째 대안(격자)의 성과 $f_j(x_k)$ 를 산정하였다. 예로서, 광주시의 경우 앞에서 도출한 상세 위험정보를 활용해 격자별로 10가지 평가기준에 대한 성과지도를 <그림 4-8>과 같이 만들었으며, 이를 토대로 총 95개의 격자 대안의 성과표를 <표 4-5>와 같이 작성하였다.

134

표 4-5 | 고위험지역 선정을 위한 대안의 성과표 : 광주시 대상지역의 예시

평가 기준 j 격자 대안 k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	353	0	7	0	0	0	10,000	0	0	137
2	353	0	18	0	0	0	10,000	0	0	116
3	128	0	68	0	0	0	10,000	0	0	129
4	164	0	7	0	0	0	10,000	0	0	131
5	184	0	7	0	0	0	10,000	0	0	132
6	247	0	93	0	0	0	10,000	0	0	76
7	111	0	1	0	0	0	10,000	0	0	19
8	146	0	5	0	0	0	10,000	1	0	0
9	247	0	5	0	0	0	10,000	1	0	128
10	353	0	2	0	0	0	10,000	0	0	132
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
93	50	0	190	10,000	0	0	0	3	0	275
94	50	0	372	10,000	0	0	0	3	0	224
95	50	0	147	6,711	0	0	3,289	0	0	237

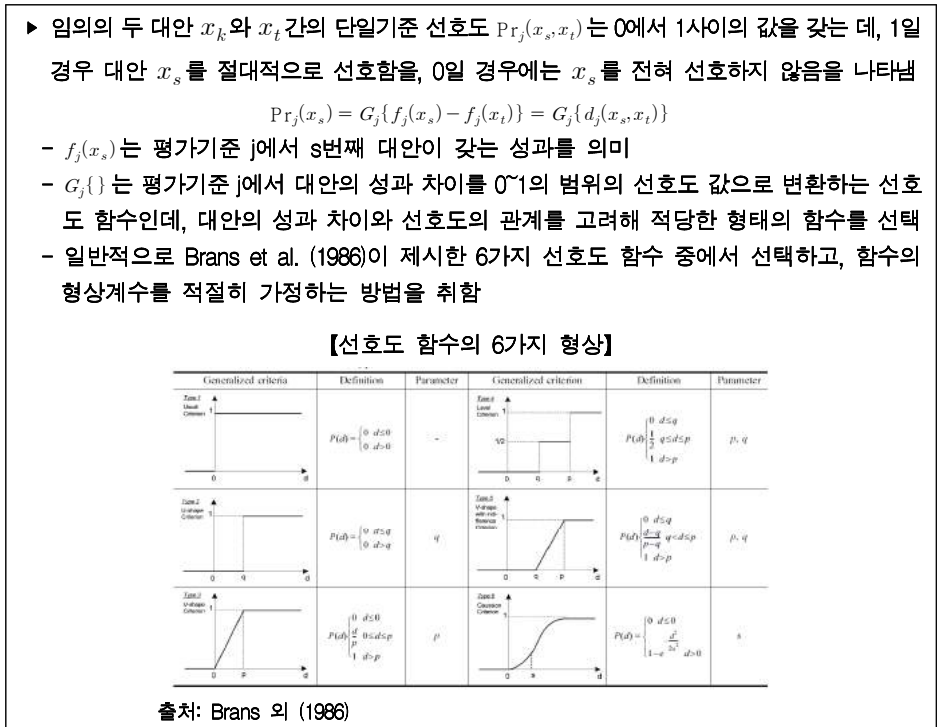
주: 평가기준 j = 1, 2, 3, … 10은 순서대로 해당 격자 내 외수에 의한 최대 침수위(cm), 내수에 의한 최대 침수위(cm), 거주인구 노출(명), 주거지역 노출(km²), 상업·업무지역 노출(km²), 공업지역 노출(km²), 녹지 지역 노출(km²), 취약 건축물 분포(개수), 보호대상시설 분포(개수), 도로 분포(m)를 의미함

자료: 저자 작성

4) 고위험지역 결정 대안 간의 선호도 지수 산정

PROMETHEE는 선호도라는 개념에 근거해 대안 간의 비교우위를 결정하는 방법으로서, 단일 평가기준에서 대안 간의 성과 차이를 <그림 4-9>의 방법으로 선호도(unicriterion preference degree)로 변환해야 한다. 본 연구에서는 대안의 성과 차이를 선호도로 변환하는 데 선형식으로 선호도 크기를 산정하는 선형함수(V-shape with indifference criterion)를 적용하고¹⁷⁾, 이 함수의 역치 기준값 p , q 는 기초통계량 해석방법¹⁸⁾을 통해 산정하였다.

그림 4-9 | 단일기준 선호도 산정방법

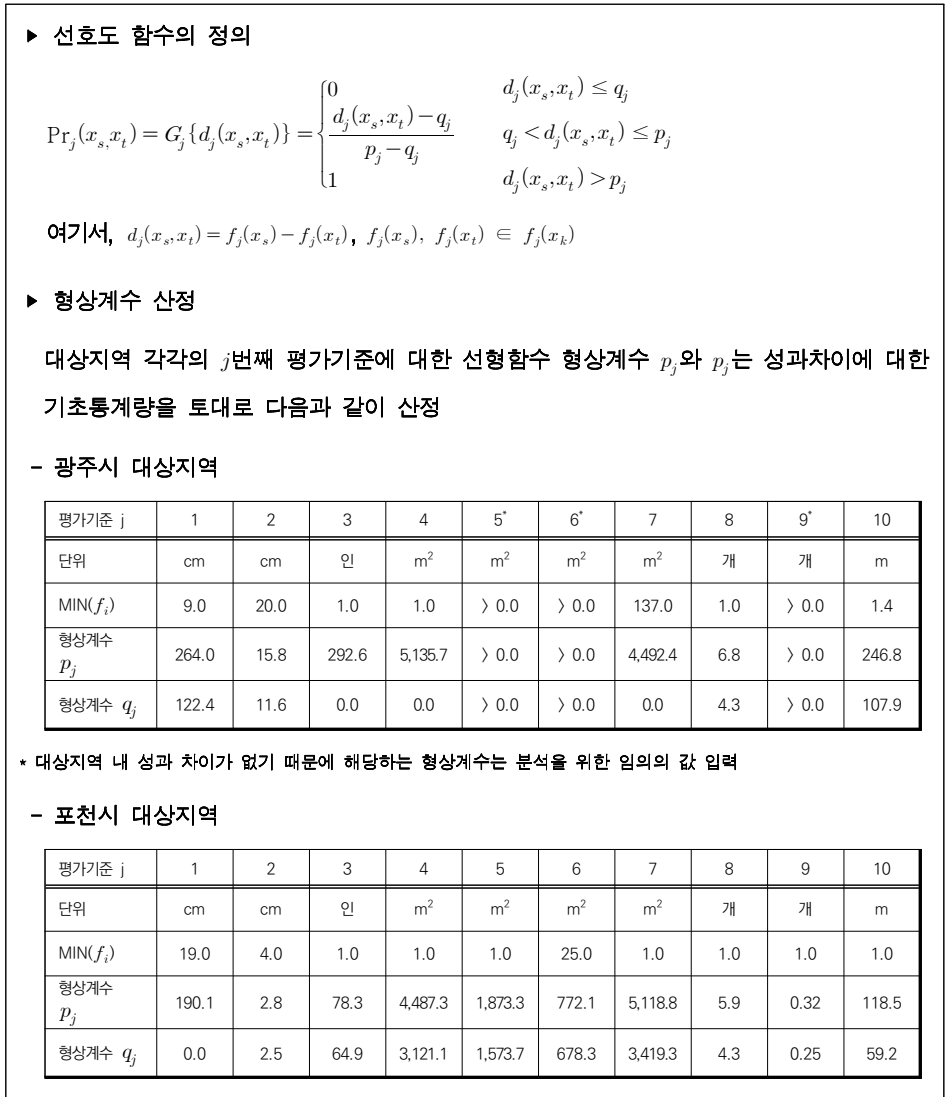


자료: 저자 작성

- 17) 격자 대안 간의 성과 차이에 있어서 변별력을 유의미하게 반영하고, 불연속성 등 불필요한 가정이 필요 없다는 판단으로 선형함수를 일괄적으로 선택하였다.
- 18) 기초통계량 해석방법이란 0보다 큰 가장 작은 두 개의 최소값을 선택한 뒤 이 성과 차이가 갖는 선호도의 값을 먼저 정의한 뒤 성과 차이의 평균값과 표준편차를 고려해 선호도가 최대값이 될 때의 성과 차이를 결정하는 방법으로 본 연구에서는 Visual PROMETHEE의 포함된 해석기능을 활용하였다.

이어서, 선호도 함수를 고려해 대상지역 각각 평가기준별 선호도 값을 <그림 4-10>와 같이 산정하였다. 19)

그림 4-10 | 대상지역의 선호도 함수 도출



자료: 저자 작성

19) 대상지역에 적용한 Visual PROMETHEE의 설정값은 <부록 14>에 제시하였다.

5) 대상지역 내 고위험지역 분석

먼저, PROMETHEE 1에 의해 대안 간의 비교우위를 판별하였다. PROMETHEE 1은 한 대안이 타 대안에 대한 우월함과 열등함을 각각 판단해 비교우위를 판별(partial ranking)하는 방법이며, 임의의 두 대안은 <그림 4-12>와 같이 선호, 무차별, 비교불가의 세 가지 종류의 결정이 가능하다. 여러 격자 대안 가운데, 고위험지역으로서 명백한 비교우위를 보이는 곳이 있는 지에 대해 우선적으로 확인하였다.

그림 4-12 | PROMETHEE 1에 의한 비교우위 결정방법

- ▶ 특정 대안의 타 대안들에 대한 비교우위를 결정하는 데 선호도 유입량 $\varphi^+(x_s)$ 과 선호도 유출량 $\varphi^-(x_s)$ 의 두 가지 지표가 사용됨

$$\varphi^+(x_s) = \frac{1}{M-1} \sum_{x_t \neq x_s} \pi(x_s, x_t); \quad \varphi^-(x_s) = \frac{1}{M-1} \sum_{x_t \neq x_s} \pi(x_t, x_s)$$

- 선호도 유입량은 대안 x_s 가 M-1개의 나머지 대안을 평균적으로 지배하는 정도를 나타내며, 값이 클수록 대안 x_s 가 타 대안에 비해 우월함을 의미
- 선호도 유출량은 대안 x_s 가 M-1개의 나머지 대안에게 평균적으로 지배받는 정도를 나타내며, 값이 클수록 대안 x_s 가 타 대안에 비해 열등함을 의미

- ▶ 판별지표가 두 가지이므로 비교우위에 대한 의사결정은 다음과 같이 세 가지로 구분됨

- 선 호: $x_s P^I x_t$ iff $\begin{cases} \varphi^+(x_s) > \varphi^+(x_t) \text{ 그리고 } \varphi^-(x_s) < \varphi^-(x_t), \text{ 또는} \\ \varphi^+(x_s) = \varphi^+(x_t) \text{ 그리고 } \varphi^-(x_s) < \varphi^-(x_t), \text{ 또는} \\ \varphi^+(x_s) > \varphi^+(x_t) \text{ 그리고 } \varphi^-(x_s) = \varphi^-(x_t) \end{cases}$
- 무 차 별: $x_s I^I x_t$ iff $\varphi^+(x_s) = \varphi^+(x_t)$ 그리고 $\varphi^-(x_s) = \varphi^-(x_t)$
- 비교불가: $x_s P^I x_t$ iff $\begin{cases} \varphi^+(x_s) > \varphi^+(x_t) \text{ 그리고 } \varphi^-(x_s) > \varphi^-(x_t), \text{ 또는} \\ \varphi^+(x_s) < \varphi^+(x_t) \text{ 그리고 } \varphi^-(x_s) < \varphi^-(x_t) \end{cases}$

자료: 저자 작성

대상지역에 선호도 지수 값을 이용해 선호도 흐름량을 산정한 결과, 선호도 유입량과 선호도 유출량 각각에 대해 절대적으로 고위험지역으로서 비교우위를 지닌 곳이 일부 발견되었다. 광주시 대상지역의 경우에는 격자번호 74와 82이, 포천시 대상지역의 경우에는 격자번호 137과 883이 선호도 유입량이 매우 큰 값을 갖고, 선호도 유출량도 비교적 낮아 다른 격자 대안 보다 비교우위가 있음을 알 수 있었다.

다음으로, PROMETHEE 2에 의한 대안 간의 비교우위를 판별하였다. ‘상대적 우월성’에 의해 대안의 비교우위를 강제적으로 판별(full ranking)하는 방법으로서, <그림 4-13>과 같이 선호도 유입량과 선호도 유출량이 서로 달라 PROMETHEE 1에서 비교불가인 경우에도 적용할 수 있다. PROMETHEE 2를 이용해 대상지역 내 상위 10번째 순위(즉, $100\text{m} \times 100\text{m} \times 10\text{개소} = \text{총 } 0.1\text{km}^2 \text{ 면적}$)에 포함되는 고위험지역을 선정하기로 하였다.

그림 4-13 | PROMETHEE 2에 의한 비교우위 결정방법

- ▶ PROMETHEE 1에서는 대안간의 비교불가, 즉, 순위를 결정하지 못하는 상황이 발생되는데, 이 경우 비교우위를 결정하는 데 선호도의 순호름량 $\varphi(x_s)$ 지표가 사용됨

$$\varphi(x_s) = \varphi^+(x_s) - \varphi^-(x_s)$$

- ▶ 비교우위에 대한 의사결정은 다음과 같이 두 가지로 구분됨

- 선 호: $x_s P^H x_t \text{ iff } \varphi(x_s) > \varphi(x_t)$ - 무 차 별: $x_s I^H x_t \text{ iff } \varphi(x_s) = \varphi(x_t)$

자료: 저자 작성

<표 4-6>과 <그림 4-14>는 광주시 대상지역에 대해서 총 95개 격자 가운데 고위험지역 10개소를 분석한 결과를 보여주고 있다. 전반적으로 목현동의 목현천 만곡부는 외수에 의해 3m 이상 침수될 수 있음에도 불구하고 대부분 보존된 토지이기 때문에 노출특성이나 취약성 모두 낮으며 상대적으로 위험이 크지 않은 것으로 분석되었다. 오히려, 고위험지역은 내수 침수의 영향을 크게 받는 송정동 주거밀집지역 외수 침수의 영향을 받는 목현천 하류부, 그리고 별원천과의 합류부 인근 주거지역에 위치하였다. 고위험지역의 침수위는 10~50 cm 수준에 불과하지만 대부분 주거지역 면적으로 활용되어 침수에 노출된 거주인구도 많은 특징도 있었다. 또한 비교적 많은 취약 건축물이 존재하고, 도로밀도 또한 높은 특징이 발견됨에 따라 침수위에 의한 재해특성보다는 노출특성과 취약성이 고위험지역으로 선정된 원인임을 예상할 수 있었다.

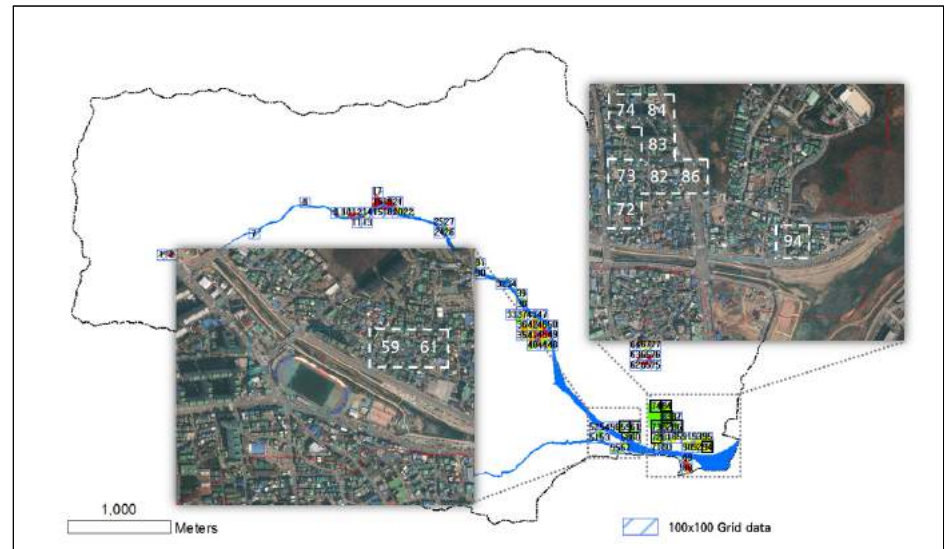
표 4-6 | 광주시 대상지역의 PROMETHEE 2 적용 결과

순서	격자번호 s	선호도 순흐름량 $\varphi(x_s)$	선호도 유입량 $\varphi^+(x_s)$	선호도 유출량 $\varphi^-(x_s)$
1	74	0.3753	0.4439	0.0686
2	82	0.3031	0.3768	0.0736
4	73	0.2433	0.3216	0.0782
3	59	0.2267	0.2916	0.0649
5	61	0.2093	0.2812	0.0720
6	72	0.1453	0.2109	0.0657
9	94	0.1363	0.2108	0.0745
7	86	0.1292	0.2083	0.0791
8	83	0.1292	0.2108	0.0816
10	84	0.1281	0.2144	0.0862
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
93	33	-0.1013	0	0.1013
94	53	-0.1024	0	0.1024
95	27	-0.1053	0	0.1053

주: ■ : 송정동 내 주거밀집지역; ▨ : 목현천 하류부 인근지역; □ : 벌원천 합류부 인근 주거지역

자료: 저자 작성

그림 4-14 | 광주시 대상지역의 고위험지역 선정 결과



자료: 저자 작성

표 4-7 | 광주시 대상지역 고위험지역의 특징

순위	격자 번호	재해특성 (외수 침수위)	재해특성 (내수 침수위)	인구노출	토지노출 (주거)	토지노출 (상업·업무)	토지노출 (공업)	토지노출 (녹지등)	취약성 (건축물)	취약성 (보호대상시설)	취약성 (도로분포)
		m	m		m ²	m ²	m ²	m ²	개수	개수	m
1	74	0	0.43	1,111	10,000	0	0	0	0	0	238
2	82	0	0.43	302	10,000	0	0	0	0	0	222
3	73	0.10	0	292	10,000	0	0	0	13	0	108
4	59	0.50	0	256	10,000	0	0	0	15	0	342
5	61	0.28	0	267	10,000	0	0	0	8	0	268
6	72	0.50	0	207	10,000	0	0	0	22	0	180
7	94	0.50	0	372	10,000	0	0	0	3	0	224
8	86	0	0.29	166	9,053	0	0	947	0	0	183
9	83	0	0.20	128	10,000	0	0	0	0	0	204
10	84	0	0.43	147	6,711	0	0	3,289	0	0	237

자료: 저자 작성

〈표 4-8〉과 〈그림 4-15〉는 포천시 대상지역에 대해서 총 1,176개 격자 가운데 상위 10번째에 해당하는 고위험지역을 분석한 결과를 보여주고 있다. 전반적으로 높은 침수위가 발생할 수 있는 하천 연접지역은 대부분 논과 밭으로 이용되고 있어 상대적으로 위험이 크지 않았다. 고위험지역은 주로 신읍동 인근의 신읍천 및 구읍천과의 합류부 지역으로 나타났으며 소흘읍의 저지대 지역도 일부 포함되었다. 신읍동과 소흘읍의 일부지역은 비교적 높은 침수위가 발생되고 토지가 대부분 주거 또는 상업업무 용도로 활용되고 있으며, 인구밀도도 높기 때문에 재해특성, 노출특성 그리고 취약성의 모든 측면에서 고위험지역이라 판단되었다.

결론적으로, 본 연구에서 두 대상지역에 대해 적용한 결과 AHP와 PROMETHEE를 연계한 방법은 위험원인에 대한 다양한 평가기준의 가치 판단을 체계적으로 정량화하고, 시스템의 분석결과를 토대로 평가기준간의 교호작용을 잘 조율해 고위험지역을 식별하는 데에 유용한 것으로 확인되었다.

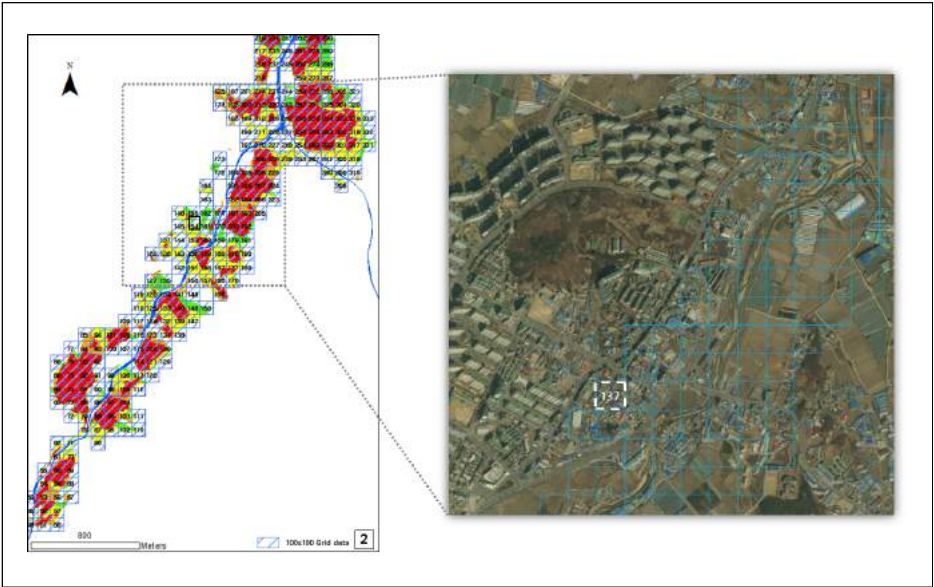
표 4-8 | 포천시 대상지역의 PROMETHEE 2 적용 결과

순서	격자번호 s	선호도 순흐름량 $\varphi(x_s)$	선호도 유입량 $\varphi^+(x_s)$	선호도 유출량 $\varphi^-(x_s)$
1	137	0.3728	0.4274	0.0547
2	883	0.3718	0.4367	0.0649
3	848	0.3499	0.4246	0.0747
4	761	0.3427	0.4185	0.0759
5	878	0.3289	0.4345	0.1056
6	852	0.3261	0.4221	0.0959
7	860	0.3147	0.4114	0.0968
8	851	0.3029	0.4281	0.1252
9	861	0.3010	0.4190	0.1180
10	841	0.3009	0.3700	0.0691
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1174	983	-0.1438	0.0002	-0.1440
1175	1047	-0.1438	0.0002	-0.1440
1176	1080	-0.1438	0.0002	-0.1440

주:  : 소흘읍 인근 저지대;  : 신읍천, 구읍천 합류부 인근 주거지역

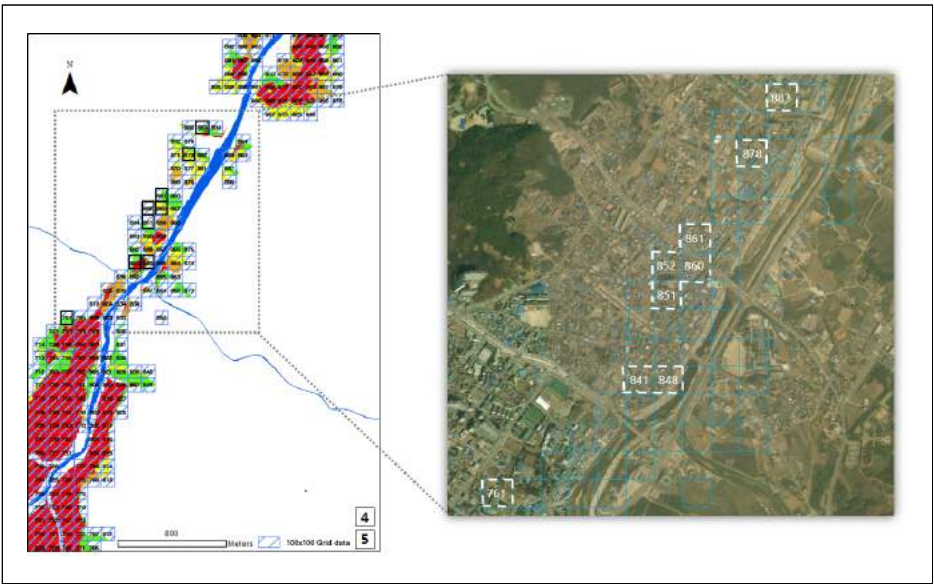
자료: 저자 작성

그림 4-15 | 포천시 대상지역의 고위험지역 선정 결과 (계속)



자료: 저자 작성

그림 4-15 | 포천시 대상지역의 고위험지역 선정 결과



자료: 저자 작성

표 4-9 | 포천시 대상지역 고위험지역의 특징

순위	격자 번호	재해특성 (외수침수위)	재해특성 (내수침수위)	인구노출	토지노출 (주거)	토지노출 (상업·업무)	토지노출 (공업)	토지노출 (녹지등)	취약성 (건축물)	취약성 (보행·대중교통·시설)	취약성 (도로분포)
		m	m	명	m ²	m ²	m ²	m ²	개수	개수	m
1	137	1.44	0.00	81	1,699.7	8,301.6	0.0	0.0	26	0	141
2	883	1.24	0.00	324	10,007.9	0.0	0.0	0.0	13	0	77
3	848	1.05	0.00	111	2,460.6	4,614.9	0.0	2,926.5	21	0	101
4	761	1.05	0.00	135	10,007.9	0.0	0.0	0.0	7	0	85
5	878	0.48	0.00	246	10,007.9	0.0	0.0	0.0	8	0	161
6	852	0.67	0.00	110	0.0	10,000.0	0.0	0.0	22	0	111
7	860	0.67	0.00	82	0.0	10,000.0	0.0	0.0	15	0	163
8	851	0.10	0.00	139	0.0	10,000.0	0.0	0.0	30	0	135
9	861	0.29	0.00	107	0.0	10,000.0	0.0	0.0	13	0	129
10	841	1.05	0.00	48	9,384.0	623.0	0	0	23	1	105

자료: 저자 작성

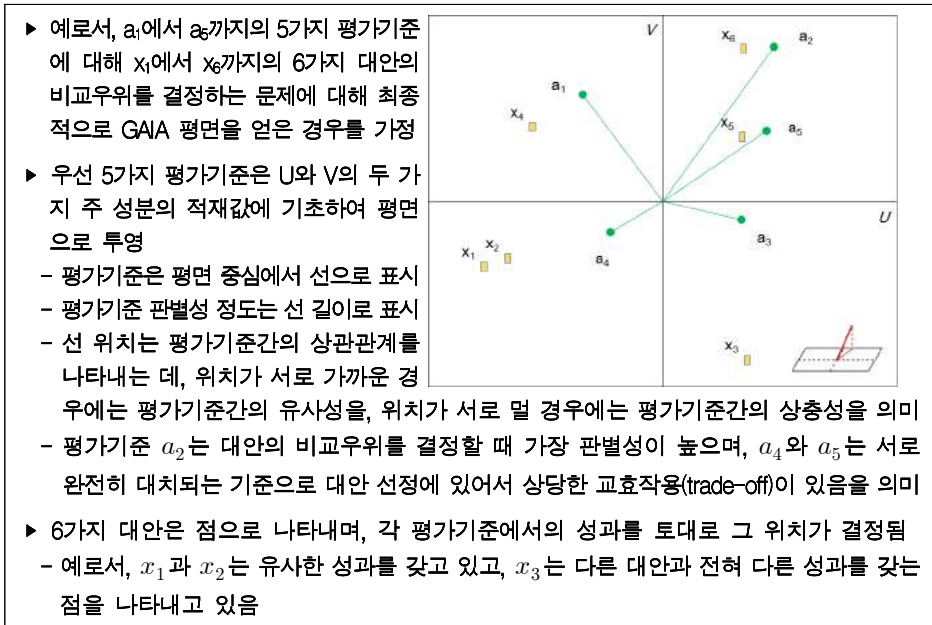
6) 위험지역 선정 결과의 사후 해석

대상지역 내 고위험지역을 선정한 결과에 대해 주요 위험원인 해석과 민감도 분석의 두 가지 측면에서 사후 해석을 실시하였다.

(1) 고위험지역의 주요 위험원인 해석

대안으로 선정된 고위험지역이 “어떤 평가기준과 밀접하게 관련”되어 있는 지, 즉, 주요 위험원인에 대한 해석을 통해 적절한 위험도 저감방향을 도출하고자 하였다. PROMETHEE를 통해 선정한 대안과 평가기준 간의 관련성은 Mareschal과 Brans (1988)에 의해 제안된 GAIA(geometrical analysis for interactive aid) 평면을 통해 위상학적으로 해석이 가능하다. GAIA 평면은 주성분 분석(principal component analysis)을 응용한 것으로 1차와 2차 요인인 U, V축에서 각 대안의 위치를 시각적으로 나타내며, 다음 <그림 4-16>과 같이 비교우위 높은 대안의 특징을 평가기준과의 관계와 결부해 이해하는 데 도움을 제공한다.

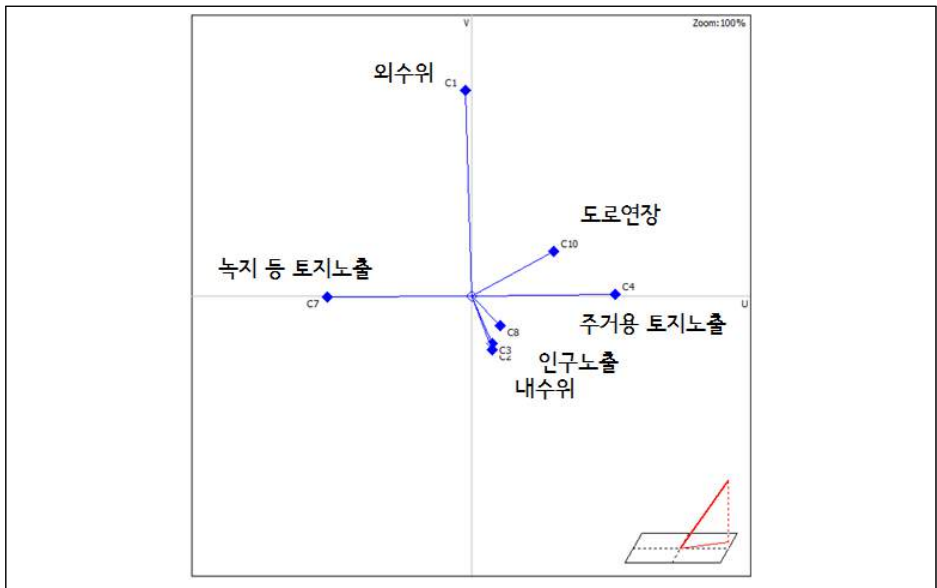
그림 4-16 | GAIA 평면 해석방법 적용의 예시



자료: 저자 작성

광주시 고위험지역의 GAIA 평면 해석을 실시한 결과 다음의 시사점을 확인할 수 있었다. 21)22) 10가지 평가기준 가운데 7가지 평가기준만이 있는 데, 대상지역 내 상업·업무용 토지노출, 공업용 토지노출, 보호대상시설이 전혀 없기 때문에 이 세 가지 평가기준은 고위험지역을 선정하는 데에 사용되지 않기 때문이다. 평가기준에 의해 만들어진 축의 위치를 볼 때 광주시 대상지역은 전반적으로 외수위는 인구노출과 주거용 토지노출과 음의 상관관계가 뚜렷함에 반해, 내수위는 양의 상관관계가 높은 특징을 보였다. 인구노출과 내수위의 두 기준간에 상관관계가 크게 발견되는 데 이는 대상지역 내 인구밀집 지역에 내수로 인한 침수가 크게 발생하기 때문이라 할 수 있다. 또한 외수위 평가기준 축이 매우 긴데, 이는 고위험지역을 선정하는 데에 외수위는 지역 간 편차로 인해 큰 변별력을 갖는다는 점을 보여준다.

그림 4-17 | GAIA 평가기준 축의 설정 : 광주시 대상지역

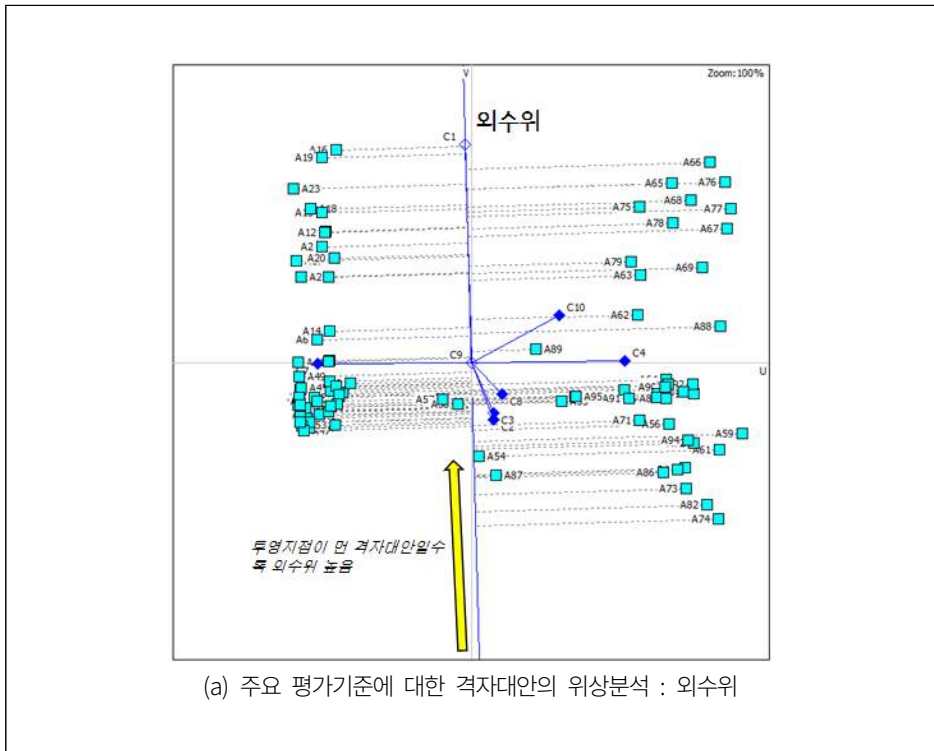


자료: 저자 작성

21) Visual PROMETHEE의 ‘GAIA’ 기능을 활용하였다.
 22) 주성분 분석을 통해 평가기준들이 구성하는 U, V 평면의 안착도(quality)는 78.3% 수준으로 분석되었다.

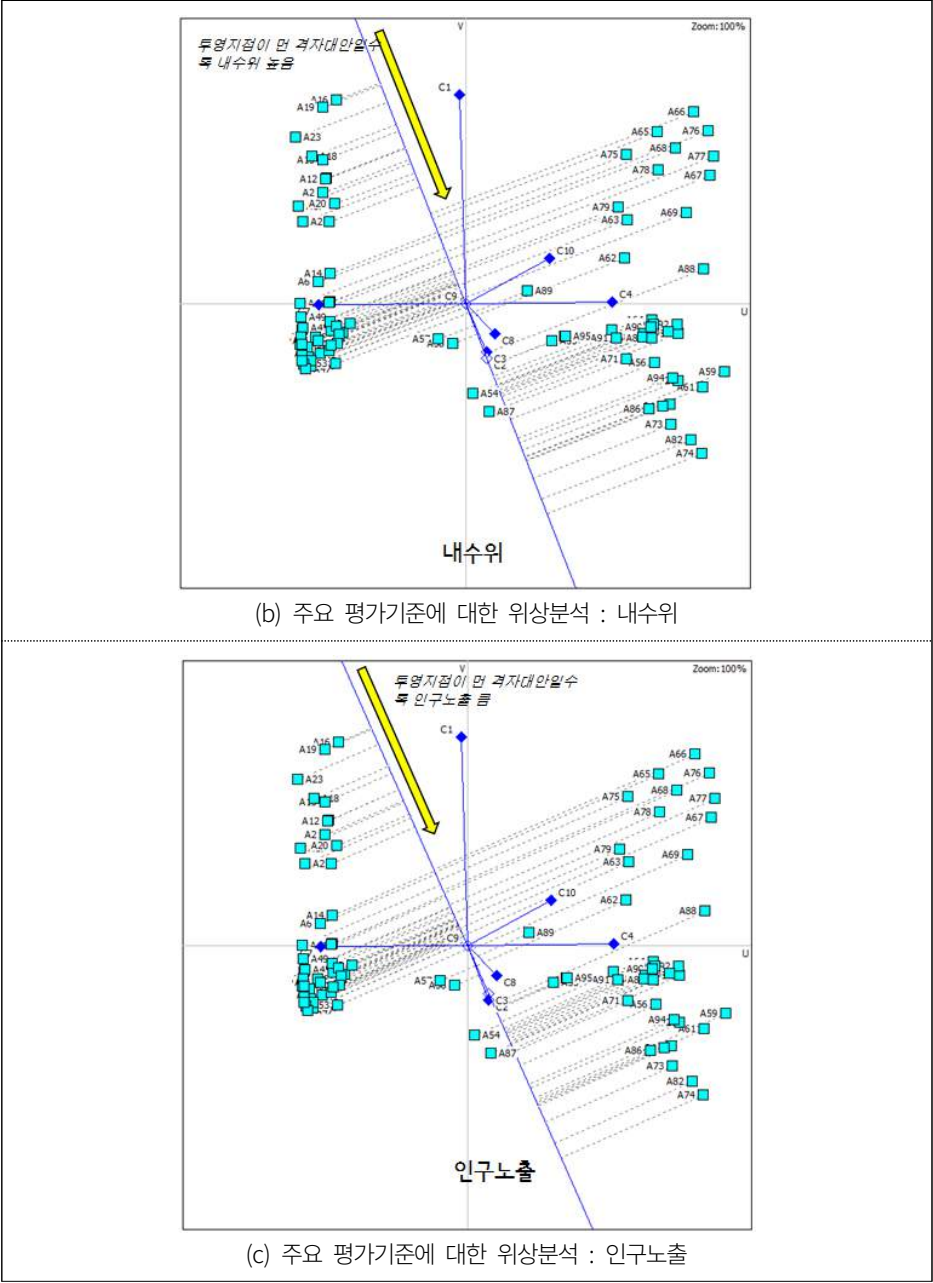
〈그림 4-18〉은 주요 평가기준에 대한 격자대안의 위상분석 과정을 나타내고 있다. 그 결과를 요약하면, 송정동 주거밀집지역(격자번호 : 74, 82, 83, 84, 86)은 내수 침수위, 인구 노출 그리고, 주거지 토지노출이 주요 원인인 것으로 나타났다. 또한 목 현천 하류부 인근 주거지역(격자번호 : 72, 73, 94)에서는 외수 침수위 주거지 토지 노출, 취약 건축물이 주요 원인이며, 벌원천 합류부 인근 주거지역(격자번호 : 59, 61)는 외수 침수위, 인구 노출, 취약 건축물이 주요 원인인 것으로 분석되었다.

그림 4-18 | GAIA 위상해석 : 광주시 대상지역 (계속)



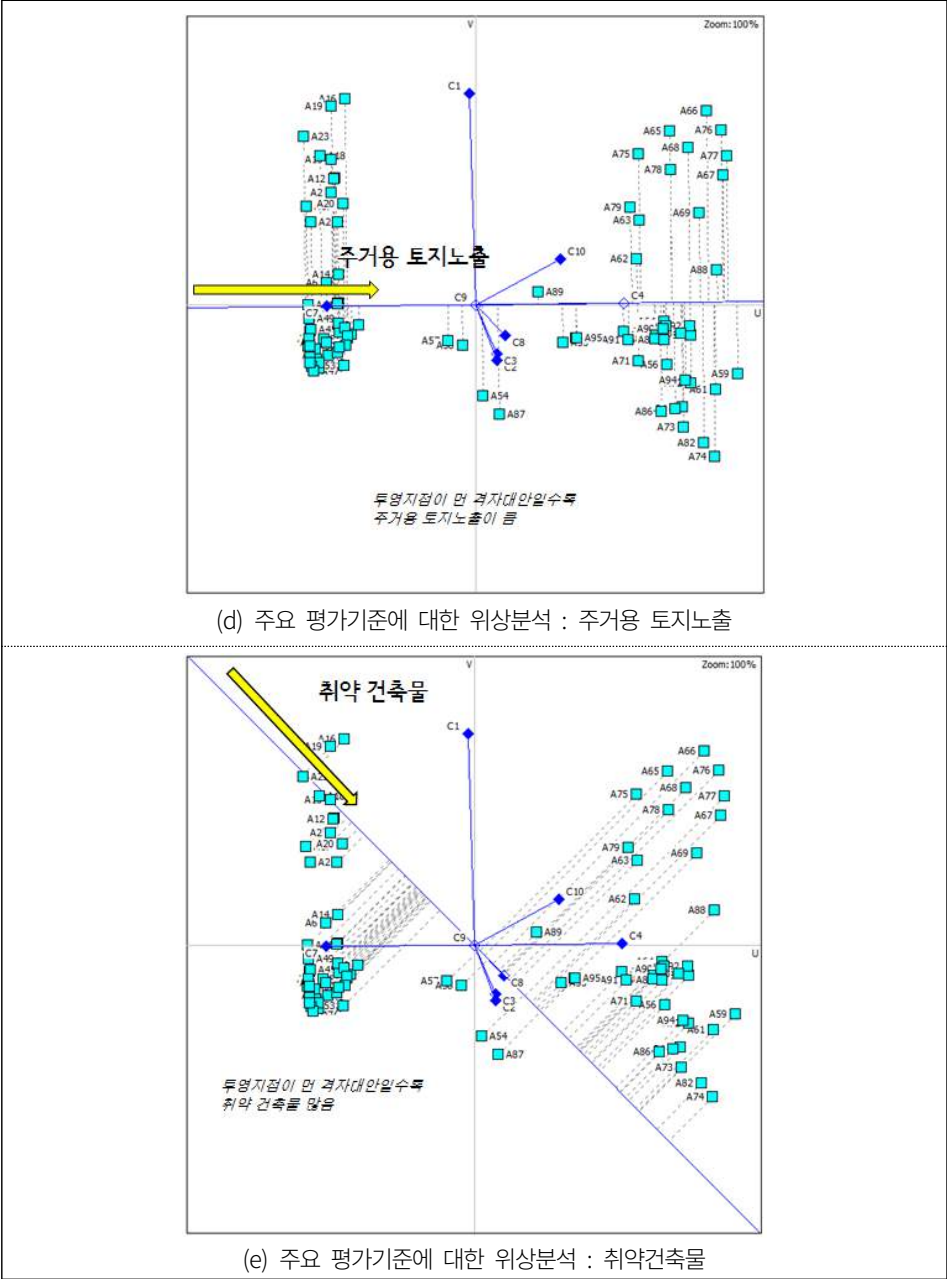
자료: 저자 작성

그림 4-18 | GAIA 위상해석 : 광주시 대상지역 (계속)



자료: 저자 작성

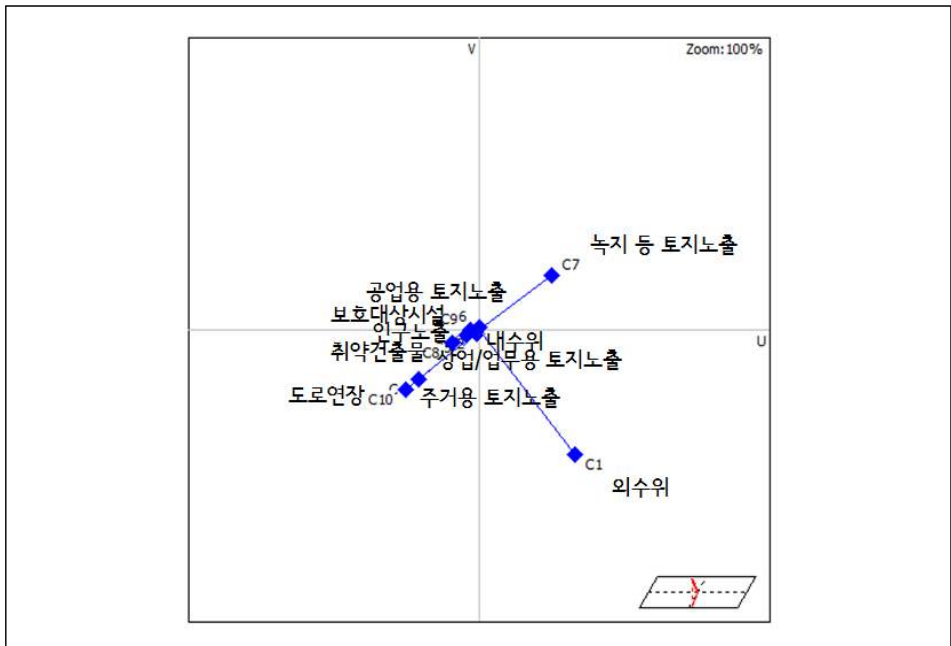
그림 4-18 | GAIA 위상분석 : 광주시 대상지역



자료: 저자 작성

포천시 고위험지역의 GAIA 평면 해석을 실시한 결과 다음의 시사점을 확인할 수 있었다. 23) 평가기준에 의해 만들어지는 축의 위치를 볼 때 포천시 대상지역은 전반적으로 외수위는 인구노출 그리고 주거용 토지노출과 음의 상관관계가 뚜렷함에 반해, 내수위는 양의 상관관계가 높은 특징을 보였다. 도로연장과 주거용 토지노출의 두 기준간에 상관관계가 크게 발견되는 데 대상지역은 주거지역을 중심으로 도로가 집중되어 있기 때문이라 할 수 있다. 또한 상업 및 업무용 토지에 오래된 지하건축물이 많아 상업·업무용 토지노출과 취약 건축물의 두 기준간에도 상관관계가 큰 특징을 보이고 있다. 마찬가지로, 외수위 평가기준의 축이 긴 것은 고위험지역을 선정하는 데에 외수위에 대해 지역간 편차로 큰 변별력을 갖음을 의미한다.

그림 4-19 | GAIA 평가기준 축의 설정 : 포천시 대상지역

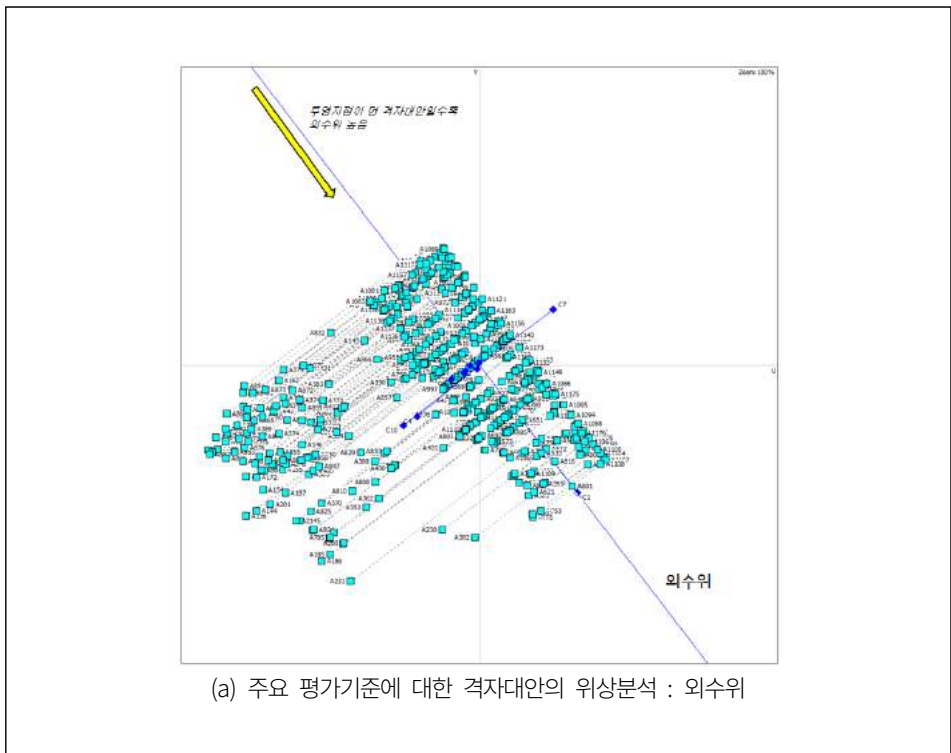


자료: 저자 작성

23) 주성분 분석을 통해 평가기준들이 구성하는 U, V 평면의 안착도(quality)는 65.8% 수준으로 분석되었다.

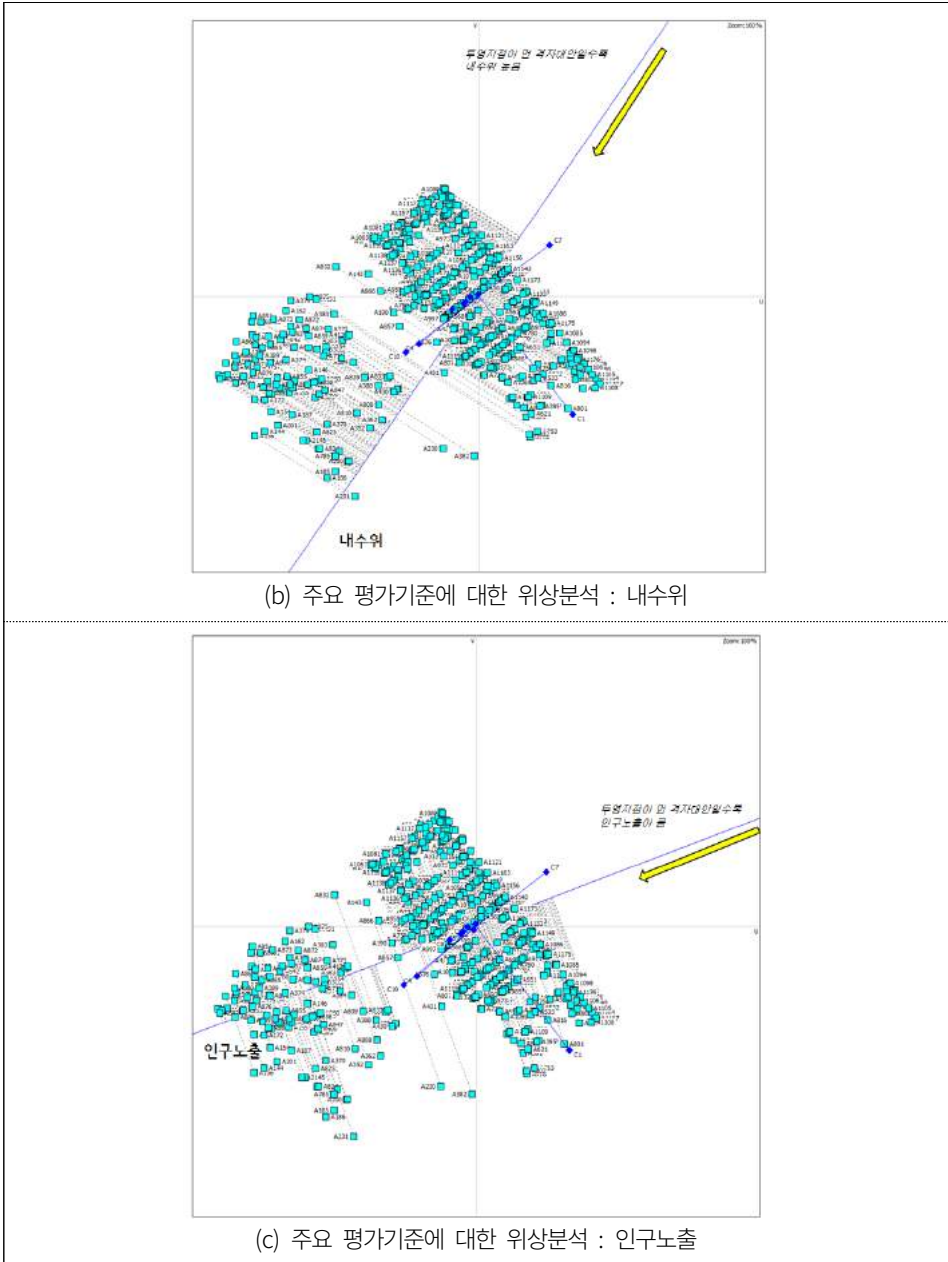
〈그림 4-20〉는 포천시 대상지역에 대한 위험원인 분석 과정을 보여주고 있는 데, 소흘읍 인근 저지대(격자번호 : 137)는 외수 침수위, 상업업무용 토지노출, 취락 건축물가, 신읍동의 신읍천과 구읍천 합류부 일대(격자번호 : 761, 841, 848, 851, 852, 860, 861, 878, 883)는 외수 침수위, 인구노출, 주거용 토지노출, 상업업무용 토지노출이 주요한 위험원인이 됨을 알 수 있었다.

그림 4-20 | GAIA 위상해석: 포천시 대상지역 (계속)



자료: 저자 작성

그림 4-20 | GAIA 위상해석: 포천시 대상지역 (계속)



자료: 저자 작성

(2) 고위험지역의 민감도 분석

민감도 분석을 통해 “고위험지역이 얼마나 강건하게 선정”되어 있는 지, 즉, 의사결정 결과의 ‘강건성(robustness)’을 추가 검토하였다. 특히, 본 연구에서 적용한 평가기준의 가중치는 주관적 판단에 기초하므로 아무리 합리적인 절차에 따라 다양한 전문가를 참여시키더라도 불확실성의 큰 원인을 제공할 수 있다.²⁴⁾ 따라서 최종적인 의사결정에서는 대안 선정 결과가 평가기준의 가중치 값에 얼마나 민감한 지가 중요하게 고려되어야 할 것이다.

고위험지역의 민감도 분석은 다음과 같은 절차에 따라 수행하였다. 첫 번째로 개별 쌍대비교 설문조사에서 전문가들은 각 평가기준에 최소, 그리고 최대로 얼마나 가중치를 부여하였는지를 참고로 하여 가중치 변화의 허용범위를 설정하였다. <표 4-10>은 설문조사에서 전문가들이 각 평가기준에 부여한 가중치의 최소·최대값을 나타내고 있는데, 이 범위에 한정해 민감도 분석을 실시하기로 하였다. 두 번째로 평가기준별로 허용범위 내에서 가중치 값을 변화하면서 높은 선호도 순흐름량 $\varphi(x_s)$ 을 지닌 입지 대안이 어떤 가중치 조건에서 바뀌는 지에 대해 <그림 4-21> 및 <그림 4-22>과 같이 확인하기로 하였다.²⁵⁾

표 4-10 | 설문 결과로 도출한 각 평가기준의 가중치 범위

평가기준 j		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
최소값 (%)	Local	11.1	16.7	66.7	15.9	13.5	9.4	2.9	5.8	18.6	13.4
	Global	4.0	6.1	18.2	0.7	0.6	0.4	0.1	2.1	6.7	0.6
최대값 (%)	Local	83.3	88.9	90.0	65.7	56.1	22.8	7.1	73.1	73.5	86.6
	Global	30.3	32.4	24.6	2.9	2.5	1.0	0.3	26.5	26.7	3.6

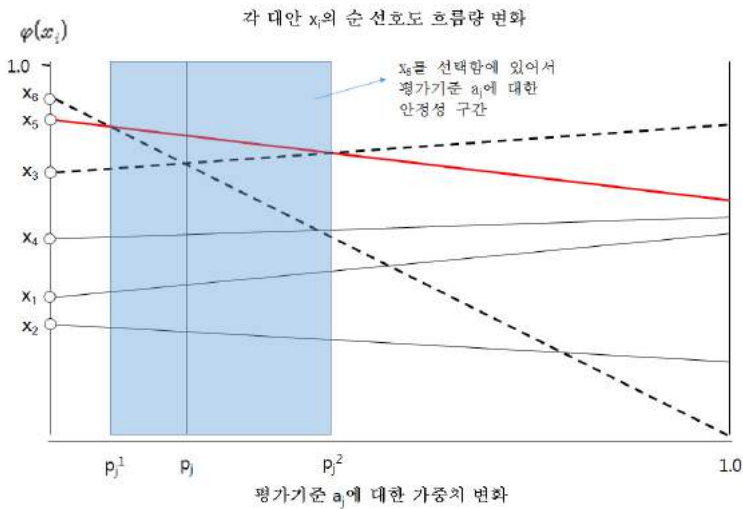
자료: 저자 작성

24) 따라서 de Brio와 Evers (2016) 등의 연구자들은 평가기준의 가중치가 변화할 때 최선의 대안이 어떻게 달라지는 지에 대한 민감도 분석은 모든 MCDM 접근법에 있어서 반드시 필요한 절차로 강조하고 있다.

25) Visual PROMETHEE의 ‘walking weights’ 기능을 활용하였는데, 선택한 평가기준의 가중치를 조절하면 나머지 평가기준의 가중치는 자동으로 비율 조정해 전체 가중치의 합이 1.0이 되도록 하고 있다.

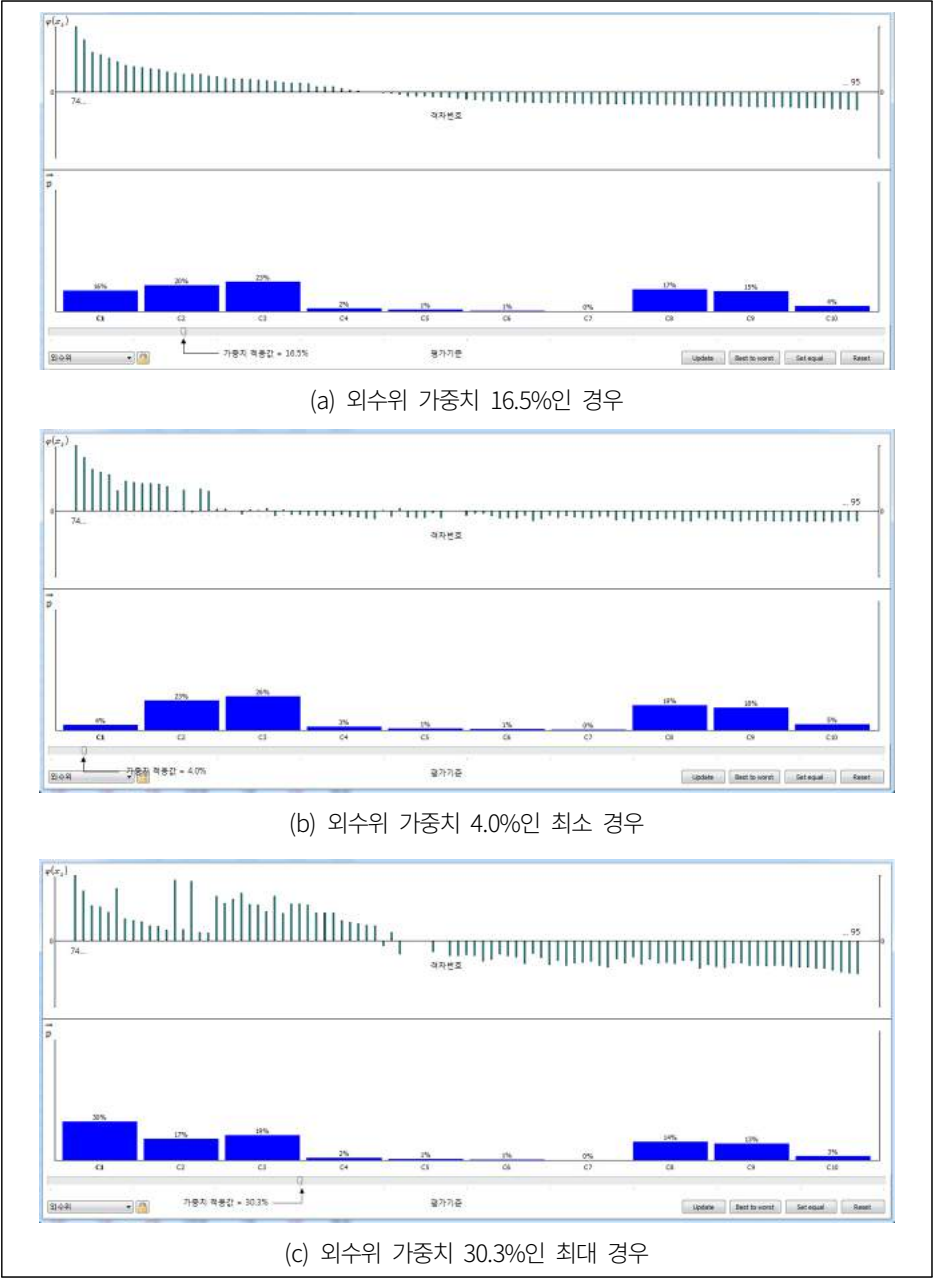
그림 4-21 | 본 연구에서 민감도 분석의 기본개념

- ▶ 예로서, AHP에 의해 평가기준 a_j 의 가중치를 당초 p_j 로 얻었으며, PROMETHEE에 의해 선호도 순흐름량이 가장 높은 대안 x_5 를 선택하는 것이 최선이며, 가중치를 변화시킬 때 각 대안의 선호도 순흐름량이 아래 그림과 같이 변화한다고 가정함
- ▶ 해당 평가기준의 가중치가 p_j^1 보다 작을 경우 x_6 이, 또한 가중치가 p_j^2 보다 클 경우 x_3 가 최선인 것으로 결정이 변화할 수 있음
- ▶ 따라서 최적 대안의 선택은 평가기준 a_j 의 가중치에 영향을 받게 되며, x_5 는 평가기준 a_j 의 가중치가 p_j^1 에서 p_j^2 사이인 경우에 한해 최선이라 할 수 있음
- ▶ 실제로 a_j 의 가중치가 p_j^1 에서 p_j^2 사이를 넘을 수 없다면 x_5 를 선택하는 것은 강건한 결정이라 할 수 있음



자료: 저자 작성

그림 4-22 | 민감도 분석 방법 : 광주시 대상지역의 외수위 가중치 조절 예시



자료: 저자 작성

광주시 대상지역의 경우 평가기준 가중치를 조절한 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 우선, 가중치 값의 변화에도 불구하고 격자 대안들은 고위험지역에 속하거나 고위험지역에 가까워 기존에 선정한 고위험지역 10개소의 강건성이 확인되었다. 특히 격자번호 74와 82는 대부분의 경우 위험이 가장 높은 곳에 속함을 알 수 있었다. 추가적으로, 격자번호 16, 19, 71, 87의 네 곳은 가중치 값이 변할 때 종종 고위험지역에 포함되는 것을 발견하였으며²⁶⁾, 따라서 필요에 따라 미리 선정한 고위험지역 10개소에 추가할 수 있을 것이다.

포천시 대상지역의 경우 평가기준 가중치를 조절한 결과, 격자번호 137의 경우 대부분의 조건에서 위험이 매우 높은 곳에 속하였다. 하지만 격자번호 860, 841, 861의 경우 평가기준의 가중치를 조절할 때 고위험지역으로 보기 힘든 결과가 자주 발생하므로 불확실성에 상대적으로 민감함을 알 수 있었다. 격자번호 784과 785는²⁷⁾ 가중치 값이 변할 때 종종 고위험지역에 포함되므로 미리 선정한 고위험지역 10개소에 추가 고려하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

종합하면, 제한한 민감도 분석 방법은 당초 고위험지역으로 선정한 곳이 가중치 변화에 따라 안정적인지 여부를 쉽게 확인할 수 있어 의사결정에 있어서 불확실성을 극복하는 데에 효과적이라 판단된다.

본 장은 특정지역이 고위험지역인 지 여부에 대해 100m×100m의 격자단위로 식별하는 방법을 제안하였다. 하지만 해당 격자가 고위험지역이라고 해서 여기가 대책수단의 입지와 정확히 일치해야 한다는 것은 아니다. 우선, 대책수단의 종류에 따라, 예를 들어, 건축물 대책의 경우에는 해당위치에 대책이 강구되어야 할 것이다. 그러나 대책수단이 제방의 보강이나 유수지의 설치라면 분석된 고위험지역을 효과적으로 보호할 수 있도록 현장조건에 맞춰 위치를 결정해야 할 것이다. 또한 격자단위는 분석을 위해

26) 격자번호 16과 19는 목현천 상류의 만곡부로 거주인구는 많지 않지만 높은 외수위가 발생할 수 있는 곳이며, 격자번호 71은 송정동 주거밀집지역으로 목현천 외수 영향이 발생할 수 있으며, 격자번호 87은 송정동이 내수침수 영향권 내에 포함된다.

27) 격자번호 784와 785는 신읍천과 구읍천 합류전 지역으로 거주인구는 많지 않지만 내수침수와 외수침수가 발생할 수 있는 곳이며, 841은 신입천과 구읍천 합류부 지역으로 외수침수가 발생할 때 취약건축물과 보호대상시설(포천시청 일부)가 포함된다.

도시공간을 ‘가상으로’ 구분한 것에 지나지 않다는 점 또한 유의해야 할 것이다. 예를 들어, 종합적인 대책을 위해 방재지구의 범위를 결정해야 한다면 격자라는 인위적인 구분방식이 아니라, 도시공간의 용지나 경우에 따라서 필지가 실제로 어떻게 구분되어 있는지를 들여다봐야 할 것이다. 이를 위해 고위험지역으로 선정된 격자가 위치한 곳을 토지이용도와 비교한 뒤 현장조사를 통해 공간범위를 확정하는 작업이 추가적으로 필요하다.

2. 방재대책 의사결정을 위한 평가기준 설정

본 연구에서 도시침수 예방대책 시스템을 통해 방재대책을 자문하려는 취지는 도시 계획에서 방재부문과 관련해 중장기 방향을 구체화하는 데에 있다. 이러한 활용목적을 감안할 때 방재대책의 의사결정은 구체적인 사업설계와 큰 차이가 있음을 인정해야 할 것이다. 즉, 도시계획에는 기본구상 차원에서 방재대책이 필요한 위치가 어디에 있는지, 그리고 해당 위치의 위험을 저감하기 위해 현실적으로 어떤 대책수단들을 향후 검토할 가치가 있는 지에 한정하는 게 바람직하다.²⁸⁾ 이러한 맥락에 따라 1차년도에 방재대책을 결정함에 있어서 도시침수 예방대책 지원시스템을 통해 두 가지 정보를 제공하기로 하였다. 첫째, 대상지역의 침수위험을 저감하기 위해 현장의 위험원인에 부합하는, 올바른 대책수립 방향을 제시하는 것이다. 그리고 둘째는, 실무적인 제약조건을 고려해 대책수단을 현명하게 발굴할 수 있도록 의사결정의 참고자료 제공하는 것이다.

이 중에서 첫 번째에 해당하는 올바른 대책수립 방향을 제시하기 위해 1차년도 동안 자연재해대책법, 국토계획법, 하천법, 건축법 등의 법률과 하위 지침을 중심으로 도시침수와 관련된 방재대책 수단을 조사하였고 위험저감 효과에 따라 대책수단을 <부록 15>와 같이 체계화 한 바 있다. 그 결과는 각 대상지역에 대해 시스템을 통해 얻을 수 있는 고위험지역 위치, 주요 위험원인 등의 정보와 연계해 방재대책의 방향을 선별하는 데에 활용 가능할 것이다. 하지만 대책의 위험원인에 맞는 대책수단을 판단하는 것 외에도, 두 번째에 해당하는 예산, 행정, 주민인식 등 다양한 요인을 고려해 대책수단을 현명하게 선별하는 것 또한 실무현장을 감안할 때 매우 중요하다. 따라서 2차년도에는 도시침수 도시방재계획에서 대책수단을 선별하는 데 실무적으로 고려되어야 할 요소들을 조사한 뒤, 시스템의 사용자가 자체 평가를 수행할 수 있도록 평가기준과 질문서를 개발하기로 하였다.²⁹⁾

2차년도에는 방재대책 수단의 평가기준을 제시하기 위해서 먼저 해외사례 또는 재난

28) 최종적으로 대책수단을 확정하는 것은 도시계획을 넘어서며 향후 도시침수 예방사업을 실행하기 위한 실시 계획 단계나 해당 지역의 규제를 위한 제도설계 단계에서 수행하는 것이 바람직하다.

29) 3차년도에는 지자체와 함께 시범사업을 추진하면서 실제 대상지역의 고위험지역 분석 결과와 개발된 질문서를 이용해 담당자 의견을 수렴하고 현실적으로 적합한 대책수단을 제안할 예정이다.

관리 분야의 학술연구에서 대책수단을 결정할 때 사용된 기존의 평가기준을 포괄적으로 조사하고자 하였다. 그리고 도시침수 방재대책의 특성과 우리나라 지자체 여건을 고려해 조사된 평가기준의 적절성을 검토한 뒤 평가기준의 분류체계를 마련하고자 하였다. 마지막으로 평가기준에 대한 지자체 담당자의 판단을 명확하게 응답받을 수 있도록 평가기준의 측정단위를 정의하고 질문서를 작성하였다.

1) 방재대책의 평가기준에 대한 선행연구 검토

Kenyon(2007)는 공공참여에 기초한 홍수위험관리의 필요성을 강조하면서, 참여자로 하여금 6단계로 이루어진 워크숍을 통해 토론에서 얻어진 지식과 경험을 통해 여러 가지 대안을 평가할 수 있도록 참여형 의사결정 방법론을 제안하였다. 이 연구에서는 대안을 평가하기 위해 4개 분야의 총 11개 기준을 다음과 같이 제시한 바 있다. 첫 번째 홍수관련 분야에서는 범람 해소, 문제해결 또는 단기대책 여부를 검토하도록 하였고, 경제적 분야에서는 비용, 관광자원화 기여, 유지관리, 일자리 및 산업 창출을 중시하였다. 그리고 환경적 분야에서는 자연보호 여부와 사회적 분야에서는 경관개선, 실용성, 안전성, 사회문화적 이슈 해소를 기준으로 고려하였다.

European Investment Bank(2007)에서는 유럽연합의 기준에 맞춰 홍수관리를 위한 가이드라인 제공하고 있다. 이 가이드라인에는 대책수단을 의사결정할 때 경제적 측면을 고려하기 위한 비용편익분석뿐만 아니라 다기준 의사결정 방법을 통해 효과성, 비용, 경제적 영향, 사회적 영향, 환경적 영향 등 5가지 측면을 고려하도록 권장하고 있다. Martin 외(2007)은 도시침수 저감 및 수질개선을 위한 BMPs 성능평가 방법을 개발하여 저류지, 저류조, 지하탱크, 옥상탱크 등에 대한 성능평가에 활용하고 대안별 성과는 정성적 또는 정량적으로 측정하도록 제안한 바 있다. 평가대상으로는, 설계문제, 추진문제, 침수감소, 유출감소, 유량제어, 침투완화, 오염물 차집, 하천수질 보호, 지하수 보호, 라이프스타일 및 환경, 도시경관, 여가 기회, 보건인식 등을 포함해야 함을 강조한 바 있다.

Yazdandoost와 Bozorgy(2008)는 홍수위험관리에 회복력(resilience)과 저항력(resistance)의 개념을 도입하여 지역 차원에서 홍수에 보다 유연하게 대응할 것을 강조하였으며, 회복력과 저항력을 향상시키기 위해 대책수단은 사회경제적 영향, 생태와

경관에 미치는 영향, 예상치 못한 변화에 대한 민감성 등 종합적으로 평가되어야 한다고 주장하였다. 사회경제적 영향에 있어서는 홍수위험, 연간 홍수에 의해 영향을 받는 사람 수, 회복역량, 비용, 경제적 기회, 형평성을 중시하도록 하였고, 생태 및 경관 영향에서는 자연에 대한 영향과 경관수준의 변화를 평가기준으로 삼았다. 그리고 예상치 못한 변화에 대한 민감성에는 장래 변화에 대한 강건성 및 유연성을 중시하였다. Verta와 Marttunen(2010)는 핀란드 코케멘요키강 홍수위험관리를 위해 다기준의사결정 기법을 적용하였는데, 포괄적 관점에서 대책수단을 선별하기 위해 비용, 기술, 법적·정치적 실행가능성, 범람과 피해규모에 대한 기대효과, 경제, 생태계, 문화유산에 미치는 영향, 사회적 영향 등 8가지 기준을 활용하였다.

Ghanbarpour 외(2013)는 이란 북부의 자렘로드강 홍수방어를 위해 제방축조 방식과 수로변경 방식을 달리한 4가지 대안을 제시한 뒤 대책을 선정하기 위한 평가기준을 포괄적으로 설정한 뒤 평가하였다. 여기서 위험적인 측면에서는 침수면적, 수위, 유속, 수력을 고려하였고, 경제적인 측면(비용대비효과)과 환경적인 측면 또한 중시하였다. Banihabib 외(2014)는 이란 북부지역 고간루드강 홍수에 대한 대책으로서 구조적·비구조적 수단을 검토하면서 지역의 사회적·경제적·물리적 측면을 망라할 수 있도록 다양한 평가기준을 제시한 바 있다. 여기에는 연간 기대사망자 수, 회복률, 시스템 개선(graduality), 연간 피해액, 시민안전 체감도, 고용률 기여, 사회의 참여, 경관 보존과 개선, 야생동물 거주지 보호, 수질 보호, 기술적 실행가능성 및 건설 속도 등 총 11개의 평가기준이 제안되었다.

Edjossan-Sossou 외(2014) 또한 방재대책의 의사결정 과정을 돕기 위해 다음과 같이 5개 분야로 구분된 총 11가지 평가기준을 제안한 뒤 뫼르트에모젤 지역의 홍수위험도 관리방향을 검토하였다. 우선 기술적·기능적 효용성에서 재해에 미치는 영향, 구조적 취약성에 미치는 영향, 그리고 해당지역/권역 위험의 발생을 중시하였다. 경제적 지속가능성에서는 연간 총비용, 경제적 취약성에 미치는 영향, 경제적 기회의 창출 또는 박탈을 기준으로 하였다. 사회적 지속가능성에 있어서는 사회적 취약성에 미치는 영향, 사회적 수용성, 형평성 또는 사회통합, 삶의 질을 고려하였고, 환경적 지속가능성에서는 환경적 취약성에 미치는 영향과 환경상의 영향을 중시하였다. 마지막으로 제도적 지속가능성에서는 유연성 또는 가역성, 위험관리 과정에 대한 공공참여, 도시개

발정책과의 일치성, 토지의 조화를 기준으로 채택하였다. Loos와 Rogers(2016)는 지역공동체 차원에서 홍수취약성을 파악하고 대책을 마련할 수 있도록 이해관계자의 참여를 중시하여 의사결정과정을 설계한 바 있다. 대책수단의 다기준 의사결정을 위해 비용, 효과성, 환경영향성, 비용편익, 프로젝트 기간, 사회적·정치적 수용성, 미관 등 7가지 평가기준을 사용할 것을 권장하였다.

Gogate 외(2017)는 개발도상국 도시지역의 우수관리를 목적으로 7가지 저영향개발 기술(Low Impact Development)의 여러 가지 대안을 제시한 뒤 다양한 평가기준에 따라 최적 안을 선정한 바 있다. 기술적 분야에 있어서는 시스템 성능(정량적)과 시스템 적응성 및 유연성, 복잡성(이상 정성적)을 중시하였고, 경제적 분야에서는 연간 유지관리 비용과 초기 비용(이상 정량적)을 중요하게 고려하였다. 또한 환경적 분야에서는 지하수 함양의 영향, 공간 요구수준, 수질 영향(이상 정성적)을, 사회적 분야에서는 미관, 수용성, 지불의사(이상 정성적)을 기준으로 채택하였다.

2) 실무여건을 고려한 방재대책의 평가기준 제시

〈표 4-11〉은 위 선행연구에서 제안한 방재대책 결정 시 평가기준을 요약하고 있는데, 전체적으로 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다. 우선, 선행연구는 주로 유역단위의 홍수에 대한 시설물 대책의 선택에 초점을 두고 있으며, 도시침수의 종합적인 방재 대책 결정에 필요한 평가기준에 대한 논의는 아직 초기단계임을 알 수 있었다. 그리고 다양한 평가기준을 통해 대책을 포괄적으로 평가하는 것은 의사결정의 최종단계에서 대책의 세부수단을 확정하는 데에 사용되기 보다는, 의사결정의 준비단계에서 적절한 대책수립 방향을 정제하는 차원에서 주로 유용하게 사용되고 있음을 알 수 있었다.³⁰⁾ 평가기준에 대한 대책의 효과를 분석할 때에도 대책의 성과를 ‘what if’ 테스트를 통해 정량적으로 산정하기보다는, 경험을 갖춘 전문가 또는 실무자의 정성적인 판단을 확인한 뒤 이를 정량적으로 변환하는 방식을 취하고 있었다. 마지막으로 방재대책의 의사결정 시에는 단순히 위험감소 효과와 비용 외에도 사회·환경 등에 대한 영향과 추진 용이성(feasibility)을 포괄적으로 고려해야 함을 알 수 있었다.

30) 즉, 대책수단을 상세히 설계하기 전 단계에서 다기준평가를 통해 추가 검토가 필요한 수단을 스크린하는 취지라 할 수 있다.

표 4-11 | 종합 : 유사 선행연구에서 제시한 방재대책 평가기준

연구 개요	제시한 평가기준	평가기준의 활용
- Kenyon (2007) - 스코틀랜드 지역 홍수 방재대책 선정	(Flood) 침수감소, 피해저감 (Economic) 비용, 관광, 유지관리, 일자리 및 산업영향 (Environ.) 자연생태 영향 (Social) 경관, 추진용이성, 주민안심, 기타 사회·문화적 영향	- 홍수벽 설치, 건축물 철거, 홍수터 식재, 습지 개발, 경보시설 설치, 저영향 개발기술 설치 등의 대안 결정에 활용 - 각 평가기준에 대한 대안의 성과는 정성적으로 측정 후 1~5점 척도로 변환
- Martin 외 (2007) - 도시침수 저감 및 수질개선을 위한 BMPs 성능평가방법 개발	(Tech.) 설계문제, 추진문제 (Hydr.) 침수감소, 유출감소, 유량제어, 침투완화 (Envi.) 오염물 차집, 하천수질 보호, 지하수 보호 (Soci.) 라이프스타일 및 환경, 도시경관, 여가기회, 보건인식 (Plan.) 계획 일관성, 시설 연계성 (Econ.) 전체 비용감소 효과, 건설비 감소 효과, 운영비 감소 효과, 민간부문 활성화 (O&M) 유지관리문제	- 저류지, 저류조, 지하탱크, 저습지, 다공성 포장, 침투트렌치, 옥상탱크, 배출구덩이 등에 대한 성능평가에 활용 - 대안별 성과는 정성적 또는 정량적으로 측정 (정성적으로 측정된 성과는 1~5점 척도로 변환)
- Yazdandoost와 Bozorgy (2008) - 홍수위험관리에 회복력과 저항력의 개념을 도입	(Soci. Econ.) 홍수위험, 연간홍수에 의해 영향 받는 사람 수 - 회복역량비용, 경제적 기회, 형평성 (Sensi.) 장애 변화에 대한 강건성 및 유연성 (Envi.) 자연에 대한 영향, 경관수준의 변화	회복력과 저항력을 향상시키기 위해 대책수단은 사회경제적 영향, 생태와 경관에 미치는 영향, 예상치 못한 변화에 대한 민감성 등 종합적으로 평가되어야 한다고 주장하며, 이를 위해 다양한 평가기준을 제안함
- 유럽투자은행 (2007) - 홍수위험도관리계획 수립 지침 개발	대책의 “감정(appraisal)”단계에서 검토해야 할 다양한 평가기준으로, (Effectiveness), (Cost), (Economic), (Social impact), (Environmental impact) 제시	- 각 평가기준에 대한 대안의 성과는 정성적으로 측정 후 1~10점 척도로 변환 - 평가 후 BC분석, 공청회, 환경영향평가 등 형식적인 절차를 따르도록 권고
- Verta와 Marttunen (2010) - 핀란드 Kokemäenjoki 유역 홍수위험도관리계획의 대책 평가	전문가 집단의 평가기준으로서, (Cost), (Technical feasibility), (Juridical feasibility), (Political feasibility), (Effects on floods and damages), (Effects on economy), (Effects on ecology), (Societal effects), (Effects on cultural heritages) 등 제시	홍수 위험도 예방, 홍수 예방, 포리시 홍수방어, 휘티넨시 홍수방어, 대비책 등으로 구분된 대책의 비교우위 평가비용기준을 제외하고, 나머지 대안별 성과는 정성적으로 측정
- Ghanbarpour 외 (2013) - 이란 북부 Zaremoud강 홍수 방재대책 선정	(Flood risk) 침수면적, 홍수위 (Environ. impact) 유속, 수력 (Economic impact) 비용	- 제방 축소, 하도 개축, 유로변경, 종합대책 등의 대안 결정에 활용 - 대안별 성과는 시나리오 분석을 통해 정량적으로 측정
- Edjossan-Sossou 외 (2014) - 도시지역 자연재해 위험관리대책에 대한 지속가능성 관점의 평가수단 개발	(Effectiveness) 재해영향, 구조적 취약성 영향, 타지역 위험악화 (Econ. impact) 연간비용, 경제적 취약성 영향, 경제적 기회 창출 및 훼손 (Soci. impact) 사회적 취약성 영향, 사회적 수용성, 평등성/유대감, 삶의 질, 소속감 (Envi. impact) 환경적 취약성 영향, 환경 영향 (Inst. impact) 유연성/가역성, 공공참여, 도시정책의 순응성, 권한범위 적절성	대안별 성과는 정성적으로 측정된 뒤 -4~4점 척도로 변환
- Banihabib와 Laghabdoost-Arani (2014) - 이란 북부 Gorganrood강 홍수 방재대책 선정	(Resiliency) 연간 사망자수, 회복속도, 발전성 (Feasibility) 연간 피해액, 기술적 타당성, 사업추진기간 (Social acceptance) 주민안심, 고용효과, 시민참여증진 (Envir. soundness) 경관 보호 및 개선, 야생서식지 보호, 수질 보호	- 현행조건, 댐용량 증설, 제방 설치, 홍수로 설치, 조기경보시설 설치, 홍수보험 적용, 종합대책 등 결정에 활용 - 대안별 성과는 정성적 또는 정량적으로 측정 (정성적으로 측정된 성과는 1~5점 척도로 변환)
- Loos와 Rogers (2016) - 홍수 방재대책 선정방법 개발	전문가 집단의 평가기준으로, (Cost), (Effectiveness), (Envi. impact), (Cobenefits), (Project lifetime), (Soc. & polit. acceptance), (Aesthetics) 등 제시	- 제방보강, 제방 안정화, 수로 재배치, 수로 자연화 등의 대안 결정에 활용 - 대안별 성과는 정성적으로 측정된 뒤 0에서 1점 척도로 변환
- Gogate 외 (2017) - 고밀지역 도시 물관리를 위한 저영향개발기술 선정방법 개발	(Technical) 성능, 유연성/적응성, 복잡성 (Economic) 초기비용, 유지관리비 (Environ.) 지하수 충전 효과, 소요공간, 수질영향 (Social) 미관, 수용성, 지불능력	- 침투형 우물, 레인가든, 옥상녹화 등의 대안 결정에 활용 - 대안별 성과는 정성적 또는 정량적으로 측정 (정성적으로 측정된 성과는 1~9점 척도로 변환)

자료: 저자 작성

선행연구에 제시된 평가기준을 종합할 때, 실무적 여건을 고려해 도시침수 방재대책을 평가하기 위해 다음의 5분야에 걸쳐 총 10가지 기준이 중요하다는 점을 알 수 있었다.

- (위험저감효과) 위험원인에 대한 적절한 대응 여부
- (비용발생) 초기 사업비 부담, 유지관리비 부담
- (사회적 영향) 시민 안심제공 효과, 시민 주체성 증진 효과³¹⁾
- (환경적 영향) 자연생태 영향, 경관개선 영향³²⁾
- (추진 용이성) 공간확보의 필요성, 수정·변경의 용이함³³⁾, 선행계획이나 기존 시설과의 조화³⁴⁾

아울러 제시된 방재대책 평가기준을 쉽게 활용해 자가평가를 할 수 있도록 <표 4-12>와 같이 질문서를 개발하였다. 우선 시스템을 통해 고위험지역 위치와 위험원인이 제시되면, 1차년도에 유형화한 대책수단의 목록(<부록 15>)를 참고하여 후보군을 발굴할 수 있을 것이다. 다음으로는, 방재대책 실무평가그룹을 구성하고 정보와 인식을 공유한 뒤 질문서를 활용해 대책수단별로 각 평가기준의 적합도를 점수화할 수 있을 것이다. 마지막으로 평가기준별 중요도를 적절히 부여하고 대책수단별 종합적인 적합도를 확인하는 방법을 제안하고자 한다.³⁵⁾

31) 추가적으로 삶의 질 개선 효과도 고려할 수 있을 것이다.

32) 추가적으로 주거환경 개선 효과도 고려할 수 있을 것이다.

33) 중장기 대책의 의사결정에는 불확실성을 극복할 수 있도록 유연성과 가역성의 중요성은 점증되고 있다.

34) 추가적으로 행정처리 부담, 소요 사업기간 등도 고려할 수 있을 것이다.

35) 최종적으로 대책수단을 확정하는 단계가 아니라, 다양한 대책수단 중에서 향후 추가 검토가 필요한 수단을 개략적으로 선별하는 단계라는 점이 매우 중요하다. 이 때 실무에서 쉽게 대책수단의 적합도를 산정할 수 있도록 단순가중치법(simple additive weighting method)을 활용하고, 평가기준의 가중치는 ranking system이나 ratio system 방식을 적용할 수 있다(Rogers, 2001).

$$\cdot i\text{번째 대책수단의 종합 적합도 } V_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}$$

$$\cdot j\text{번째 평가기준 가중치 } w_j = \frac{n - s_j + 1}{\sum_{j=1}^n n - s_j + 1} \text{ (ranking score } s_j \text{ 활용) 또는 } \frac{z_j}{\sum_{j=1}^n z_j} \text{ (ranking ratio } z_j \text{ 활용)}$$

$$\cdot i\text{번째 대책수단의 } j\text{번째 평가기준에서 적합도 점수 } r_{ij}$$

표 4-12 | 도시침수 방재대책의 적합도 판단을 위한 질문서

세부 평가기준	질문	고려사항	적합도 평가점수 r_{ij}					
			(< 부정적)			(긍정적 >)		
위험원인에 대한 적절한 대응 여부	선택하신 대안이 해당지역의 위험원인을 해소하기에 적합합니까?	위험원인의 부합성, 위험저감의 효과 등	매우 부적합 (0점)	부적합 (25점)	보통 (50점)	적합 (75점)	매우 적합 (100점)	
초기 사업비 부담	해당지역에 선택하신 대안을 시행하려면 초기사업비가 크게 필요로 합니까?	공사비, 보상비, 설계비 등	매우 높음 (0점)	높음 (25점)	보통 (50점)	저렴함 (75점)	거의 없음 (100점)	
유지관리비 부담	해당지역에 선택하신 대안을 시행하게 되면, 유지관리비가 크게 발생합니까?	인건비, 유지·보수비, 공공요금 등	매우 높음 (0점)	높음 (25점)	보통 (50점)	저렴함 (75점)	거의 없음 (100점)	
시민에게 안심 제공 효과	해당지역 주민들은 선택하신 대안을 통해 충분히 불안을 해소할 수 있게 됩니까?	지역주민 요구사항	거의 효과 없음 (0점)	효과 부족 (33점)	일부 효과 있음 (67점)	매우 효과적임 (100점)		
시민의 주체성 증진 효과	선택하신 대안을 통해 일반 시민 또는 커뮤니티 단위의 방재역량을 개선시킬 수 있습니까?	방재분야 인식개선, 참여기회 증가 등	정부 의존성 증대 (0점)	변화 없음 (50점)	시민의 주체성 증진 (0점)			
자연생태 영향	해당지역에 선택하신 대안을 시행함으로써 자연생태의 질이 개선될 수 있습니까?	토착 동식물상, 생태보존구역 등	크게 악화 (0점)	악화 (25점)	변화없음 (50점)	개선 (75점)	크게 개선 (100점)	
경관 영향	해당지역에 경관상의 훼손없이 선택하신 대안을 시행할 수 있습니까?	현재 경치, 대안의 심미적 특성 등	크게 악화 (0점)	악화 (25점)	변화없음 (50점)	개선 (75점)	크게 개선 (100점)	
공간확보 필요성	효과적으로 선택하신 대안을 추진하기 위해 필요한 공간은 충분합니까?	토지이용현황, 국공유지 확보 현황 등	매우 높음 (0점)	높음 (25점)	보통 (50점)	낮음 (75점)	공간 불필요 (100점)	
조정 가능성	기후변화, 시민요구 등 여건에 따라 큰 비용 없이 확대, 축소 및 변경의 조정이 가능합니까?	대안의 유연성과 가역성	변경 불가 (0점)	변경 힘들 (25점)	보통 (50점)	변경 쉬움 (75점)	변경 매우 쉬움 (100점)	
선행 계획이나 시설과의 조화	국가나 지역에서 기존에 보유한 방재관련 계획이나 시설에 큰 변화를 필요로 하지 않습니까?	선행계획, 기존시설 등	크게 충돌 (0점)	충돌 발생 (25점)	보통 (50점)	양립 가능 (75점)	상호 보완적 (100점)	

자료: 저자 작성



CHAPTER 5

도시침수 예방대책 지원시스템 구축

- 1. DB 구축 대상의 정의 | 169
- 2. DB 설계 및 자료처리 | 181
- 3. 시스템 화면설계 | 183

도시침수 예방대책 지원시스템 구축

본 장은 연구결과를 종합해 담당자에게 정보 서비스를 제공할 수 있도록 시스템의 구축을 목표로 한다. 3차년도에 시스템을 본격적으로 개발할 수 있도록 DB 구축 대상을 명확히 정의하고, 시스템 기능에 맞추어 DB 설계 및 자료처리를 진행하였으며, 사용자 이용 시나리오를 마련한 뒤 화면설계를 실시하였다.

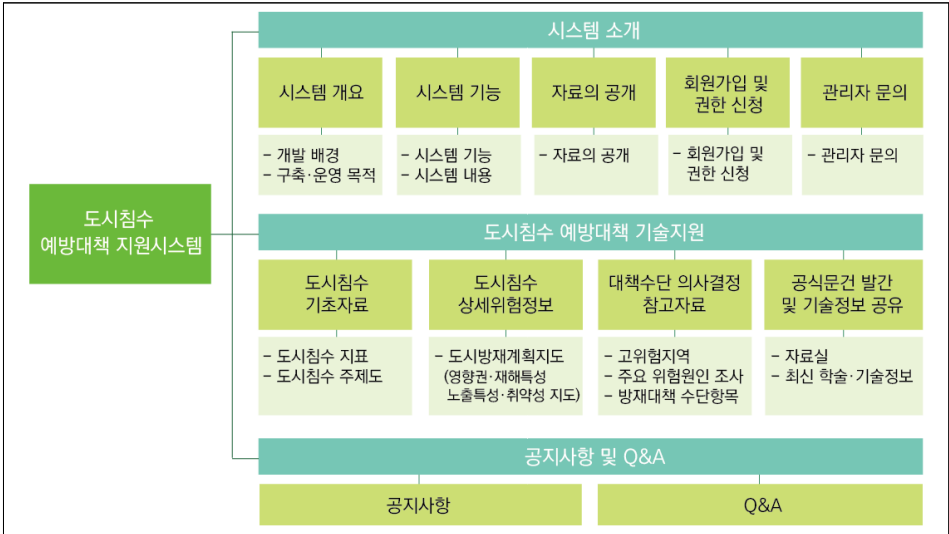
※ 1차년도 연구내용

1차년도에는 업무협의회, 자문회의, 설문조사 등을 실시하여 목적, 기술, 그리고 관리·정책상의 관점에서 시스템 수요를 파악한 뒤, 해외사례조사를 통해 위의 수요를 충족하기 위한 여러 가지 시스템 기능을 도출하였다. 행정구역 내 도시침수 기초자료를 일괄적으로 보여주고, 중점관리 대상지역에 대해서는 침수해석 결과를 공개하기로 하였으며, 대상지역의 영향권을 설정 및 위험원인 분석 결과를 제공하기로 하였다. 또한 도시계획적 대책수단 의사결정에 필요한 참고자료를 제공하기로 하였으며, 시스템을 매개로 하여 공식문서를 발간하고 기술정보를 공유하기로 하였다.

1. DB 구축 대상의 정의

본격적으로 도시침수 예방대책 지원시스템을 구축하기 위해 DB 구축 대상을 정의하였다. 우선 1차년도 검토한 시스템의 기능들(<그림 1-5>)을 효과적으로 구현하기 위해 시스템을 <그림 5-1>과 같이 모듈화하기로 하였다. 즉, 시스템은 크게 ‘시스템 소개’, ‘도시침수 예방대책 기술지원’ 그리고 ‘공지사항 및 Q&A’의 세 가지 모듈로 구성된다. 본 절에서는 모듈별 DB 구성, 자료 형식, 자료 수집방안 등을 살펴보았다.

그림 5-1 | 전체 시스템의 주요 기능



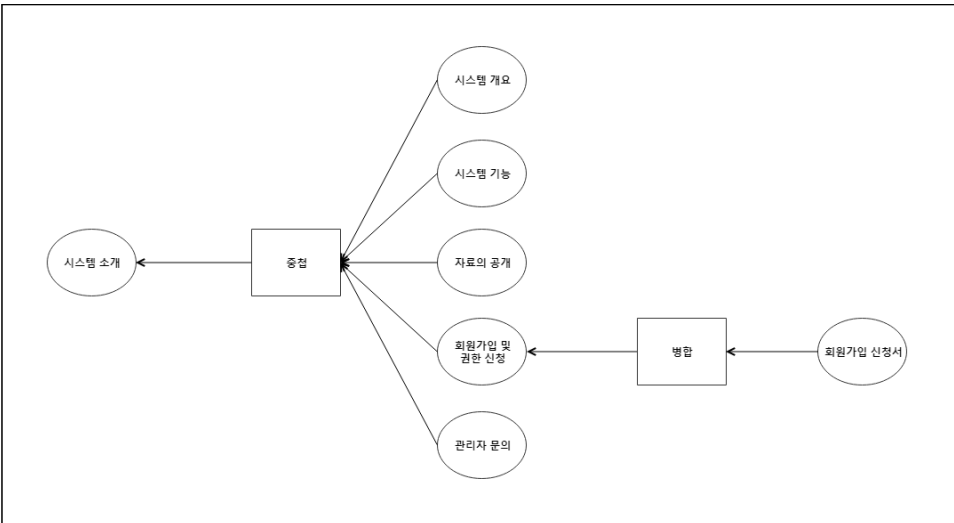
자료: 저자 작성

1) 시스템 소개 모듈

시스템 소개 모듈은 <그림 5-2>의 프로세스에 따라 텍스트(hwp) 및 이미지(jpg) 형식으로 DB를 만든 뒤 시스템의 개요, 기능, 자료공개, 회원가입 및 권한 신청, 관리자 문의 등 총 5가지 정보를 제공하고자 하였다. 1) ‘시스템 개요’에서는 시스템의 개발 배경, 구축·운영 목적 등에 대한 정보 제공하며, ‘시스템 기능’은 시스템의 주요 세부 기능, 활용방법 등에 대한 정보를 제공하기로 하였다. ‘자료의 공개’는 시스템에서 공개·활용되는 DB 종류, 자료원, 자료 출처 등을 명시하기로 하였으며, ‘회원가입 및 권한 신청’은 지원시스템의 회원가입 및 권한 신청에 대한 방법과 절차(<표 5-1>)와 사용자 접근권한별 시스템 이용가능 범위(<표 5-2>)에 대한 정보를 제공하도록 하였다. 회원가입 신청양식에 대해서도 별도의 전자문서(hwp)를 마련하였다.

1) 시스템 소개 정보는 3차년도 지원시스템 개발 단계에서 일부 수정될 예정이다.

그림 5-2 | 「시스템 소개」를 위한 DB구축 프로세스



자료: 저자 작성

표 5-1 | 사용자 회원가입 및 권한 신청 방법과 절차

단계	방법 및 절차
(사전단계)	시스템을 사용하고자 하는 기관, 단체 등은 연구원 또는 센터의 홈페이지를 통해 S/W 다운로드 ²⁾
(1단계)	사용자는 S/W에서 제공된 회원가입 신청서(시스템 기본정보와 함께 ID/PW, 요청권한 등을 기입하는 내용으로 구성)를 작성해 시스템 관리자 전자메일로 제출
(2단계)	시스템 관리자는 해당 기관 또는 단체에게 권한부여의 적정성을 판단한 뒤 공문 또는 전자메일로 승인 여부 통보
(3단계)	사용자는 S/W에 로그인한 뒤 제공된 권한에 맞게 정보 활용

주: 단, 비회원인 경우에도 일부 모듈(시스템 소개, 공지사항 및 Q&A)에 대한 정보 접근 가능

자료: 저자 작성

2) 추후 운영서버를 구축할 때까지 담당자에게 사용자 맞춤형으로 외부저장장치를 제작해 배포하는 방법을 고려

표 5-2 | 사용자 접근권한별 시스템 이용가능 범위

사용자 권한단계		접근권한의 범위
미등록	일반 권한	- 모든 시스템 이용자에게 제공하는 기본적인 권한을 의미 - ‘시스템 소개’, ‘공지사항 및 Q&A’의 두 가지 기능에 대해 서비스 제공
등록	선별 권한	- 특정 지자체 또는 유관 업체를 위한 것으로, 공간적으로 제약을 두고 정보를 접근할 수 있게 권한을 부여 - ‘시스템 소개’, ‘기술지원’ ‘공지사항 및 Q&A’ 모든 기능에 대한 서비스 제공 - ‘기술지원’에서 승인된 지역에 대해서는 모든 정보 접근 가능
	전용 권한	- 시스템 접근의 목적, 기관·단체 성격 등이 시스템 운영 규정에 만족하는 경우에 부여 - ‘시스템 소개’, ‘기술지원’ ‘공지사항 및 Q&A’ 모든 기능에 대한 서비스 제공 - ‘기술지원’의 모든 지역 정보에 접근할 수 있도록 허용
관리자	관리자 권한	- 서비스 접근범위는 ‘전용’ 권한과 동일 - 계정생성, 자료 업데이트, 공지사항 등 시스템의 운영자 기능을 추가로 부여

자료: 저자 작성

2) 도시침수 예방대책 기술지원 모듈

시스템의 핵심 모듈로서 도시방재대책을 강구하는 데 필요한 도시침수 기초자료, 도시침수 상세위험정보, 대책수단 의사결정 참고자료, 공식문건 발간 및 기술정보 공유 등 총 4가지의 정보를 제공한다. 이 모듈은 사용자에게 부여된 접근권한에 따라 정보 서비스를 차별화할 수 있도록 다음과 같이 개발하기로 하였다.

(1) 도시침수 기초자료

도시침수 기초자료는 시·군·구 단위로 관내 도시침수 위험에 대한 기초자료를 제공하기 위한 기능이다. 도시침수 지표와 도시침수 주제도로 구분해 <그림 5-3>과 같이 DB를 구축하고자 하였다. ‘도시침수 지표’는 관내 호우로 인한 도시지역 피해액 및 피해빈도 지표, 하천변 저지대 지표, 자연재해 관리지구 지표, 그리고 확률강우량 지표에 대해서 최근 값, 추세, 순위 등의 정보를 제공하기로 하였다. 이를 위해 각 자료는 참조 테이블(xls), 텍스트(hwp), 이미지(jpg) 형식으로 구축하기로 하였다. 이 중에서 호우로 인한 도시지역 피해액 및 피해빈도 지표는 행정안전부의 재해연보를 토대

로 1차년도에 산정한 결과를 활용하며, 하천변 저지대 지표는 제2장에서 개발한 지방 하천 하천변 위치도를 이용해 산정한 저지대 면적 비율과 개발이용 비율을 활용하되³⁾, 향후에 국가하천이나 소하천에 대해서도 지표를 반영할 수 있도록 참조테이블의 양식을 마련하였다. 자연재해 관리지구 또한 제2장에서 개발한 방재지구와 자연재해위험개선지구 위치도를 이용해 산정한 관리지구 면적 비율을 활용⁴⁾하기로 하였다. 확률강우량 지표는 사군구별로 지속시간 1시간, 재현기간 30년 및 100년에 대한 강우강도를 의미하는 데, 제3장의 연구결과를 활용하기로 하였다.⁵⁾

도시침수 주제도는 담당자의 관내 침수위험에 대한 ‘공간적’인 이해를 높이기 위한 기능으로 관심 있는 위치에 대하여 쉽고 다양한 주제도를 열람할 수 있도록 정보를 제공한다. 자료는 공간정보(shape, image) 형식으로 구축하고자 하였으며, 하천변 저지대 위치도와 자연재해 관리지구 위치도는 제2장에서 자체적으로 개발·가공한 공간자료를 활용하기로 하였다. 취약건축물 위치도와 보호대상시설 위치도는 국토교통부 오픈마켓에 공개된 공간정보를 활용하여 3차년도에 사업대상지에 대해 가공하여 구축할 예정이다.⁶⁾ 또한 공개된 침수흔적도, 하천망도, 도로망도, 인구지도, 토지이용계획도, 행정구역도, 항공사진 등⁷⁾ 도시침수 영향을 예상하는 데 필요한 자료를 동시에 중첩하여 확인할 수 있게 구축하기로 하였다.

3) 자세한 내용은 ‘제3장’의 하천변 저지대 위치도 내용(pp.29-41)에 제시되어 있다.

4) 자세한 내용은 ‘제3장’의 자연재해 관리지구 내용(pp.42-48)에 제시되어 있다.

5) 자세한 내용은 <부록 6>에 제시되어 있다.

6) 자료 가공할 때에는 1차년도에 제시한 취약건축물의 기준(지하 여부 및 연식)과 보호대상시설의 종류를 고려할 예정이다.

7) 각각의 출처는 다음과 같다. 침수흔적도(한국국토정보공사), 하천망도(국토교통부 WAMIS), 도로망도(국토교통부 오픈마켓), 인구지도, 토지이용계획도, 행정구역도, 항공사진(국토지리정보원)

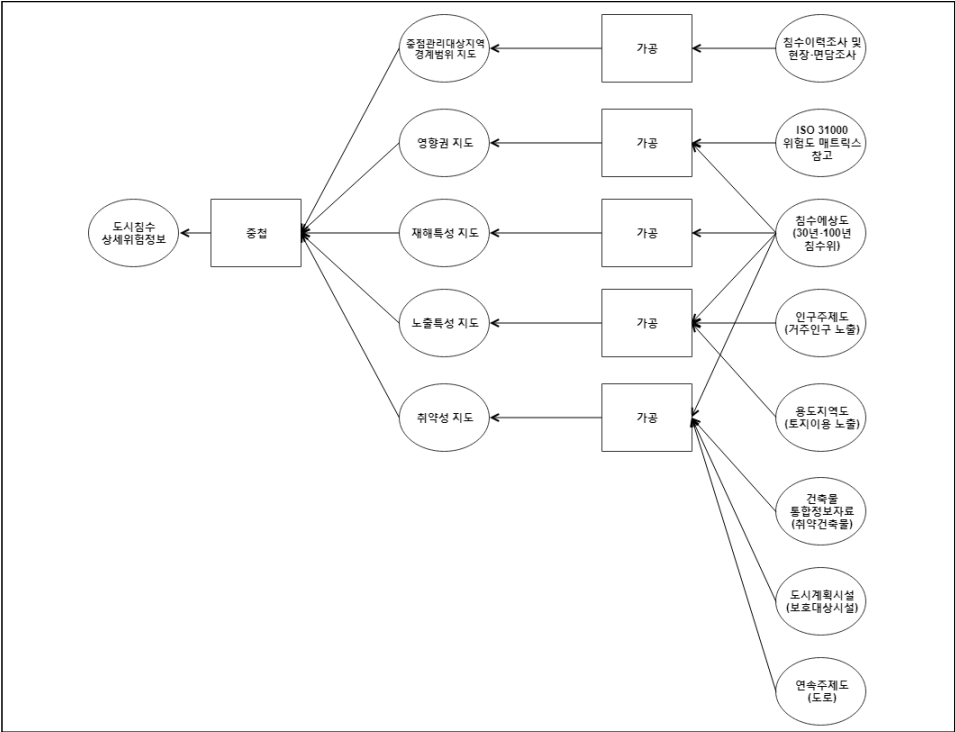
[illegible]

(2) 도시침수 상세 위험정보

174

또한 시각화 등의 목적으로 공개된 침수흔적도, 하천망도, 행정구역도, 항공사진을 가공 없이 활용하기로 하였다. 상세 위험정보에 대한 용어정의, 영향권 상정기준, 결과 해석 등의 설명자료 또한 텍스트(hwp) 형식으로 구축하기로 하였다.

그림 5-4 | 「도시침수 상세 위험정보」를 위한 DB 구축 프로세스



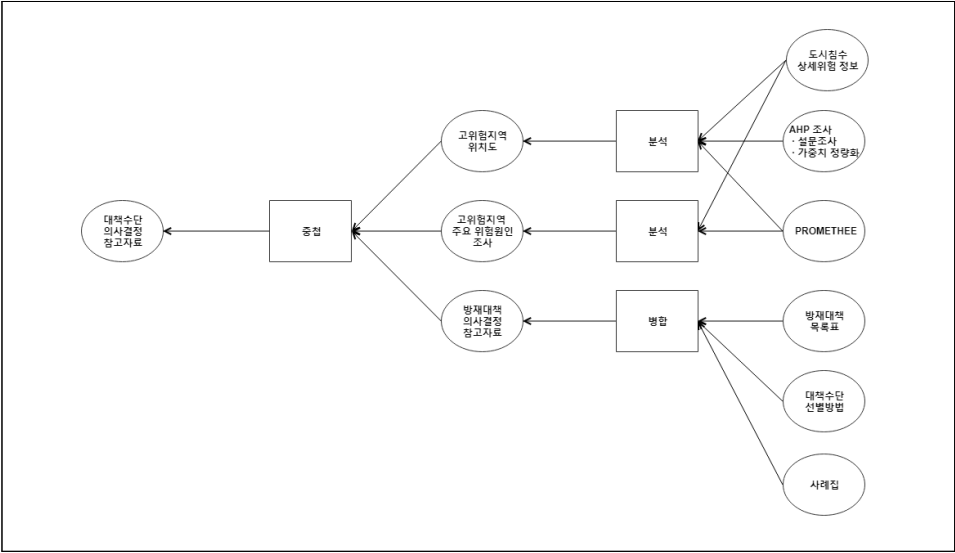
자료: 저자 작성

(3) 대책수단 의사결정 참고자료

대책수단 의사결정 참고자료는 중점관리 대상지역 내 고위험지역 위치뿐만 아니라, 향후 대책수단을 발굴결정에 도움되는 각종 참고자료를 제공하기 위한 기능이다. 이 참고자료에는 고위험지역의 위치도 뿐만 아니라, 주요 위험원인과 대책수단 의사결정 방법에 대한 설명자료가 포함되며, <그림 5-5>의 프로세스에 따라 DB를 구축하고자

하였다. ‘고위험지역 위치도’는 중점관리 대상지역 내 방재대책이 최우선적으로 필요한 위치에 대한 정보를 영향권 지도 위에 격자로 구분해 제공한다. 고위험지역 위치도는 제4장의 방법으로 개발·가공한 자료를 활용하며, 공간정보(shape, GeoTIFF) 형식으로 구축하고자 하였다. ‘주요 위험원인’에 대한 설명자료는 고위험지역으로 선정된 각 격자의 침수발생 원인(내수와 외수로 구분), 주요 위험가중요인(GAIA 위상분석 결과) 등을 요약하여 텍스트(hwp) 형식으로 설명을 제공하기로 하였다. ‘방재대책 의사결정 설명자료’는 방재대책 수단의 발굴결정을 돕기 위해 1차년도에 개발한 도시방재 대책수단의 목록표, 2차년도에 연구한 대책수단 평가기준, 3차년도에 시범사업으로 개발할 사례집 등을 텍스트(hwp)와 문서(pdf) 형식으로 구축하고자 하였다.

그림 5-5 | 「대책수단 의사결정 참고자료」를 위한 DB 구축 프로세스



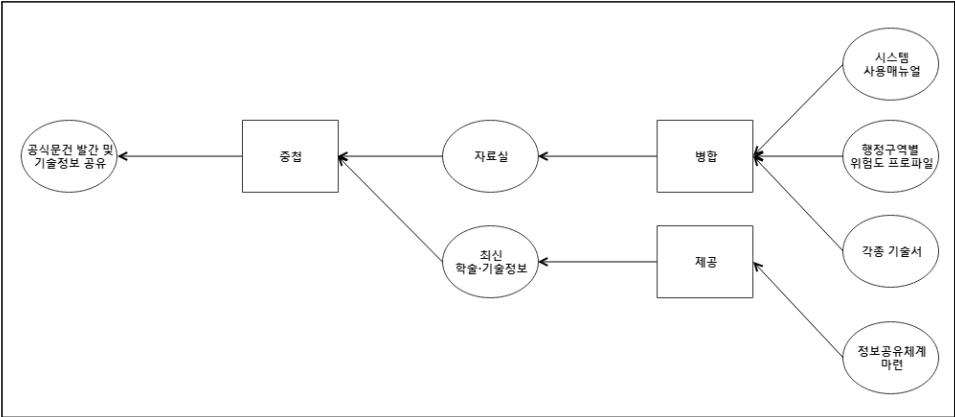
자료: 저자 작성

(4) 공식문건 발간 및 기술정보 공유

공식문건 발간 및 기술정보 공유는 도시침수 예방대책과 관련된 연구결과, 기술개발, 학술연구 등의 정보를 다양한 시스템 사용자와 함께 양방향으로 소통하기 위한 기

능이다. 자료실과 최신 학술·기술정보로 구분해 <그림 5-6>과 같이 DB를 구축하기로 하였다. ‘자료실’은 행정구역별 위험도 프로파일, 각종 기술서(강우 시나리오 자료 개발, 도시침수 해석, 상세 위험도 주제도 개발, 고위험지역 및 원인 분석 등으로 구분), 홍보브로셔, 시스템 사용 매뉴얼 등을 제공할 것이다. 이 가운데 프로파일, 기술서, 매뉴얼은 3차년도에 텍스트(hwp) 및 문서(pdf) 형식으로 구축할 예정이다. ‘최신 학술·기술정보’는 도시침수와 관련된 공식 문건이나 기술정보 등을 제공한다. 과업 이후에 매년 사업결과를 공유하거나, 학술단체, 협회 등 관련기관과 학술연구의 정보공유 체계를 마련하는 목적으로 활용⁸⁾할 것이며, 자료는 문서(pdf) 형태로 구축할 수 있도록 개발할 예정이다.

그림 5-6 | 「공식문건 발간 및 기술정보 공유」를 위한 DB구축 프로세스



자료: 저자 작성

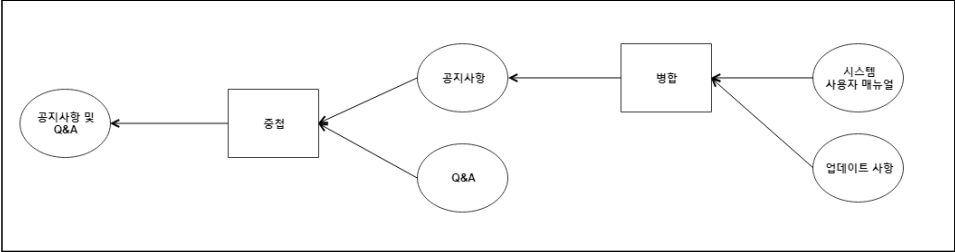
3) 공지사항 및 Q&A 모듈

공지사항 및 Q&A는 시스템 사용자에게 지원시스템의 이용방법을 안내하기 위한 모듈이며 <그림 5-7>의 프로세스로 DB를 구축하기로 하였다. ‘공지사항’에는 시스템 사용 매뉴얼을 상시 게재할 뿐만 아니라 시스템 업데이트 내용에 대해서도 주기적으로

8) 학술·기술정보 등에 대한 DB는 본 과업에서 별도로 구축하지 않는다.

정보를 제공할 수 있도록 하였다. Q&A는 시스템 관련 문의사항 등에 대한 질문과 답변의 창구로서 활용된다. 별도의 DB를 마련할 필요는 없으며 이용자 문의사항에 맞추어 정보를 제공할 예정이다.

그림 5-7 | 「공지사항 및 Q&A」를 위한 DB구축 프로세스



자료: 저자 작성

위의 내용을 종합하면, 도시침수 예방대책 지원시스템 DB 구축에 관한 전체업무 프로세스는 <그림 5-8>과 같으며, 도시침수 예방대책 지원시스템 DB 자료 수집 일정 및 양식에 대해서 <표 5-3>과 같이 정의하였다.

제5장 도시침수 예방대책 지원시스템 구축 · 179

표 5-3 | DB 구축 일정 및 양식

구분		자료목록			자료양식	공급범위	구축일정
시스템 소개			시스템 개요		hwp, jpg	-	2차년도
			시스템 기능		hwp, jpg	-	2차년도
			자료의 공개		hwp, jpg	-	2차년도
			회원가입 및 권한 신청		hwp, jpg	-	2차년도
			관리자 문의		hwp, jpg	-	2차년도
도시 침수 예방 대책 기술 지원	기능 ①	도시 침수 기초자료	도시 침수 지표	피해액 지표	xls, text, jpg	전국	1차년도
				피해빈도 지표	xls, text, jpg	전국	1차년도
				하천변 저지대 지표	xls, text, jpg	전국	2차년도
				자연재해 관리지구 지표	xls, text, jpg	전국	2차년도
				미래 확률강우량 지표	xls, text, jpg	전국	2차년도
		도시 침수 주제도	하천변 저지대 위치도	shape	대상지	2차년도	
			자연재해 관리지구 위치도	shape	대상지	2차년도	
			취약 건축물 위치도	shape	대상지	2차년도	
			보호대상시설 위치도	shape	대상지	2차년도	
			침수흔적도	shape	대상지	(원본활용)	
			하천망도	shape	대상지	(원본활용)	
			도로망도	shape	대상지	(원본활용)	
			인구지도	shape	대상지	(원본활용)	
			토지이용계획도	shape	대상지	(원본활용)	
			고해상도 항공사진	image	전국	(원본활용)	
			행정구역도	shape	전국	(원본활용)	
	기능 ②	도시침수 상세위험 정보	중점관리 대상지역 경계범위	shape	대상지	사업수행 시	
			영향권 지도	GeoTIFF, text	대상지	사업수행 시	
			재해특성 지도	GeoTIFF, text	대상지	사업수행 시	
			노출특성 지도	shape, text	대상지	사업수행 시	
			취약성 지도	shape, text	대상지	사업수행 시	
	기능 ③	대책수단 의사결정 참고자료	고위험지역 위치도	shape, text	대상지	사업수행 시	
			고위험지역 주요 위험원인 조사	text	대상지	사업수행 시	
			방재대책 의사결정 참고자료	text, pdf	-	3차년도	
	기능 ④	공식문건 발간 및 기술정보 공유	자료실	pdf	-	3차년도	
			최신 학술·기술정보	-	-	-	
공지사항 및 Q&A	공지사항				-	-	-
	Q&A				-	-	-

주: * ‘사업수행 시’라는 표현은 지자체 등으로부터 기술지원 의뢰를 받아 협의하여 결정할 기간을 의미하는 것으로, 2~3차년도에는 시스템을 실증하는 차원에서 일부 대상지에 대한 DB를 구축하고자 함(2차년도: 광주시 대상지; 3차년도: 부산시 대상지, 제주도 대상지)

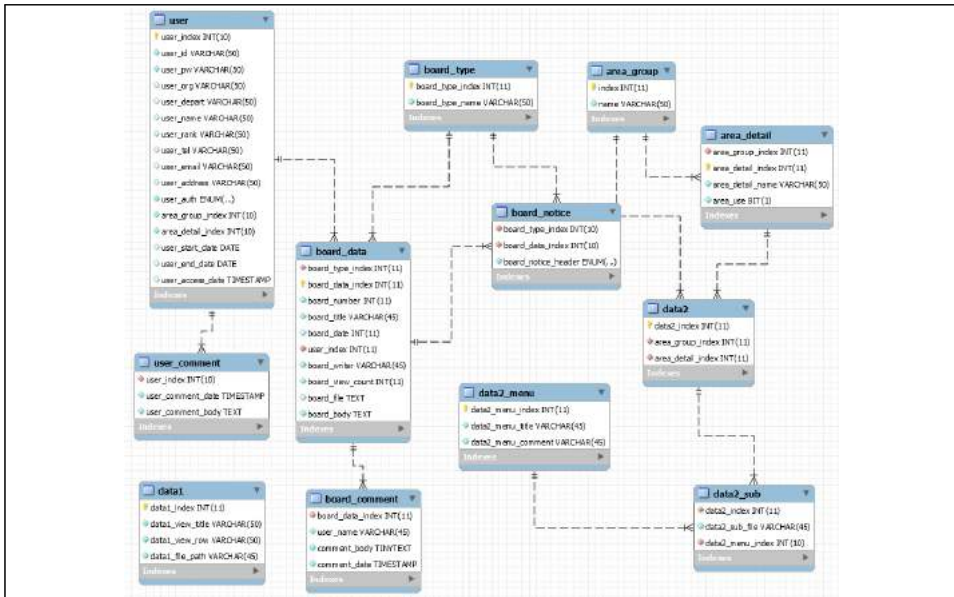
자료: 저자 작성

2. DB 설계 및 자료처리

DB의 설계는 개념적 설계, 논리적 설계, 물리적 설계의 총 3단계로 구분할 수 있다. 개념적 설계는 시스템 사용자의 요구사항을 파악하고 시스템에 구축 가능한 DB의 양식을 결정하는 단계이다. 이는 앞서 실시한 DB 구축 대상의 정의와 동일한 단계로서 시스템 DB의 기본구성, 자료의 형식, 자료수집 방안 등을 이미 결정하였다.

개념적 설계 결과를 바탕으로 DB를 관리하는 테이블 설계와 정규화 과정 등의 논리적 설계를 실시하였다. 먼저 테이블 설계를 통해 관련된 데이터를 분류·정리하였고, 정규화 과정을 통해 중복되는 항목들을 처리함으로써 효율적인 데이터 관리를 도모하였다. <그림 5-9>와 같이 사용자 정보, 사용자 댓글에 대한 정보, 지역 구분 정보, 게시판 유형, 게시물 속성, 지역과 기능 간의 제어 정보 등 각 DB를 관리하는 테이블 간 관계망 구축하였다.

그림 5-9 | 논리적 설계 - 테이블 간 관계도



자료: 저자 작성

이를 바탕으로 시스템 내 DB 구축 기반 마련을 위한 물리적 설계 및 자료처리를 실시하였다. 시스템 내 데이터의 자료형, 길이 값, 항목 순서 등을 설정하는 테이블을 생성하였고 해당 DB의 자료처리를 진행하였다. 특히 본 시스템 경우, 접근 권한에 따라 시스템을 이용하게 되는데, 이는 사용자가 접근권한이 부여된 지역에 한하여 해당 자료를 열람하기 위함이다. 따라서 DB 또한 지역(시·군·구) 단위로 구분하여 구축하였으며, 해당 정보는 지역의 정보를 저장·제어하는 등의 테이블을 통해 관리되도록 하였다(<그림 5-10>~<그림 5-11>).

그림 5-10 | 물리적 설계 - 데이터 저장 테이블(지역 정보)

#	이름	데이터 유형	길이/설정	주요 있음	NULL 허용	0으로 채움	기본값	코멘트	조합	표현식	가상
1	area_group_index	INT	11	☒	☐	☐	기본값 없음	지역 그룹의 인덱스			
2	area_detail_index	INT	11	☒	☐	☐	AUTO_INCREMENT	세부 지역 인덱스			
3	area_detail_name	VARCHAR	50	☐	☐	☐	기본값 없음	세부 지역 이름			
4	area_user	BIT	1	☐	☐	☐	0	해당 지역과 사용 유무			

자료: 저자 작성

그림 5-11 | 물리적 설계 - 데이터 관리 테이블(지역 제어)

#	이름	데이터 유형	길이/설정	주요 있음	NULL 허용	0으로 채움	기본값	코멘트	조합	표현식	가상
1	data2_index	INT	11	☒	☐	☐	AUTO_INCREMENT	인덱스			
2	area_group_index	INT	11	☒	☐	☐	기본값 없음	지역 그룹 인덱스			
3	area_detail_index	INT	11	☒	☐	☐	기본값 없음	세부 지역 인덱스			

자료: 저자 작성

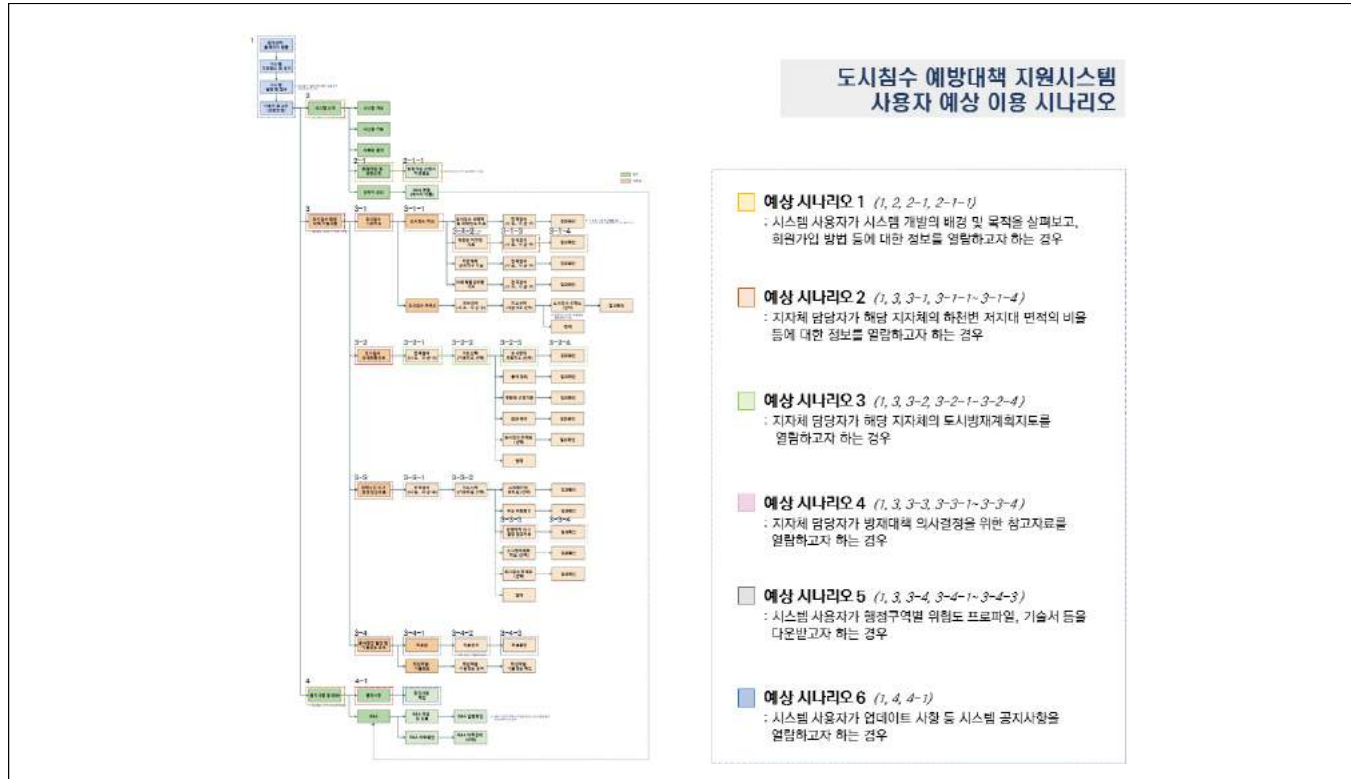
3. 시스템 화면설계

본 절에서는 DB 구축 대상의 정의, DB설계 및 자료처리를 토대로 확정된 정형화 DB의 형태를 고려해 시스템 화면설계를 실시하였다. 3차년도 시스템 프로그램 개발기간의 단축 및 품질향상 등 개발의 효율성을 위한 초기기획에 해당되며, 1차년도에 제시한 시스템 시안을 다음과 같이 수정·개선하였다.⁹⁾

시스템 화면설계를 하기 전에 시스템의 주요 기능별로 대표적인 시스템 이용자의 시나리오를 <그림 5-12>과 같이 작성하였다. 첫 번째 예상 시나리오는 비회원 혹은 정회원의 시스템 사용자가 시스템 개발의 배경 및 목적을 살펴보고, 회원가입 방법에 대한 정보를 열람하고자 하는 경우이다. 두 번째 예상 시나리오는 정회원의 지자체 담당자가 관내 하천변 저지대 면적의 비율, 위치도 등에 대한 정보를 열람하고자 하는 경우이다. 세 번째 예상 시나리오는 정회원의 지자체 담당자가 해당 지자체의 영향권 지도, 재해특성 지도, 노출특성 지도, 취약성 지도 등의 각종 위험도 주제도를 열람하는 경우이며, 네 번째 예상 시나리오는 도시방재 대책수단 목록표, 대책수단 선별방법 등의 방재대책 의사결정을 위한 참고자료를 열람하거나 다운받하고자 하는 경우이다. 다섯 번째 예상 시나리오는 정회원의 사용자가 행정구역별 위험도 프로파일, 기술서 등을 다운받하고자 하는 경우이다. 마지막으로 비회원 혹은 정회원의 시스템 사용자가 업데이트 사항 등 시스템 공지사항을 열람하고자 하는 경우를 여섯 번째 시나리오로 두었다. 위 시나리오를 중심으로 시스템 사용자의 목적 달성에 최대한 편리하도록 다음과 같이 화면을 설계하였다.

9) 화면 디자인, 기능 탭(저장, 캡처, 확대·축소, 이동, 위치정보) 등은 S/W가 개발되는 3차년도에 보완할 예정이다.

그림 5-12 | 사용자 예상 이용 시나리오 예시

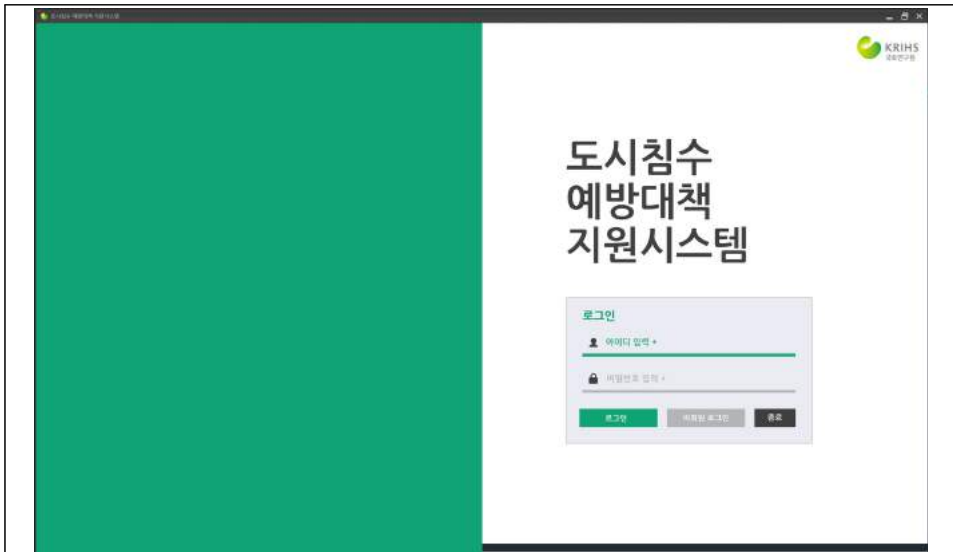


자료: 저자 작성

1) 시스템 초기 접근

시스템의 초기 접근을 위해 화면을 <그림 5-13>과 같이 설계하였다. 사용자 데스크탑에서 국토연구원 도시방재·수자원연구센터 홈페이지를 통해 ‘도시침수 예방대책 지원시스템’을 선택·설치한 뒤 해당 S/W를 설치·실행되도록 계획하였다. S/W가 실행되면 ‘정회원 접근’ 또는 ‘비회원 접근’ 중에서 원하는 경로 선택하도록 하였다. 비회원의 경우, 비회원 로그인을 선택하여 시스템에 접속할 수 있으며 시스템 소개와 공지사항 및 Q&A 모듈의 정보만을 열람할 수 있게 제한하였다. 정회원의 경우, 회원가입 및 권한 신청(<표 5-1>) 절차를 통해 승인받은 ID와 PW를 입력하여 시스템에 접속하게 되며, 부여받은 접근권한에 따라 시스템 내 모든 정보에 대하여 열람이 가능하다.

그림 5-13 | 시스템 접근화면



자료: 저자 작성

사용자 인증단계를 정상적으로 거쳤을 경우, 페이지 우측 상단에 사용자 로그인 시간, 사용자 ID, 접근 권한 등의 정보 표기되며, 로그아웃 시 프로그램을 종료할 수 있도록 구성하였다. 시스템에 접근할 경우 크게 세 가지 정보를 얻도록 하였다. 따라서 기본 메뉴는 ‘시스템 소개’, ‘도시침수 예방대책 기술지원’, ‘공지사항 및 Q&A’으로 구성된다.

2) 시스템 소개

첫 번째 모듈인 ‘시스템 소개’는 앞서 지원시스템의 개발 배경, 구축·운영 목적, 기능, 시스템에서 공개·활용되는 DB의 종류 및 출처, 회원가입 및 권한신청, 관리자 문의 방법 등 다양한 정보를 제공하기로 하였다. 또한 본 모듈은 시스템 정회원, 비회원 모두에게 접근이 가능하도록 구성하였다.

‘시스템 개요’를 선택하면 <그림 5-14>와 같이 화면상에 시스템 개발 배경, 구축·운영 목적 등에 대한 정보를 텍스트 및 개념도 형태로 표출되는데, 이는 앞서 작성한 첫 번째 사용자 예상시나리오와 동일하다. ‘시스템 기능’을 선택할 경우 화면상에 주요 세부기능, 활용방법 등에 대한 정보를 텍스트 및 이미지 형태로 제공하며, ‘자료의 공개’ 화면은 시스템에서 공개·활용되는 DB 종류, 자료원 등에 대한 목록 정보를 텍스트 및 참조테이블 형태로 표출된다. 또한 ‘회원가입 및 권한 신청’을 선택할 경우 회원가입 신청 방법 및 절차, 사용자 접근권한 안내에 대한 정보를 텍스트 및 이미지 형태로 표출하게 되며, 회원가입 및 권한 신청 양식은 전자문서 형태로 내려 받을 수 있도록 <그림 5-15>와 같이 구성하였다. 마지막으로 ‘관리자 문의’ 화면은 두 가지 문의 사항으로 구분하였는데, 우선 회원가입 및 컨설팅 신청 관련 문의사항의 경우, 담당자에게 직접 문의할 수 있도록 담당자명, 소속, 전화번호, 이메일주소 등의 연락처 정보를 텍스트 형태로 표출하였다. 이용 방법, 자료 요청 등의 문의사항의 경우, 공지사항 및 Q&A 게시판 페이지에 문의를 유도하는 정보를 텍스트 형태로 표출하였으며, ‘Q&A 바로가기’ 아이콘을 제공하여 이를 선택해 해당 게시판으로 이동할 수 있도록 구성하였다.

그림 5-14 | 시스템 소개의 화면 구성 - 시스템 개요



자료: 저자 작성

그림 5-15 | 시스템 소개의 화면 구성 - 회원가입 및 권한 신청



자료: 저자 작성

3) 도시침수 예방대책 기술지원

본 시스템의 핵심 모듈인 ‘도시침수 예방대책 기술지원’은 도시침수 기초자료 도시침수 상세위험정보, 대책수단 의사결정 참고자료, 공식문건 발간 및 기술정보 공유에 대한 정보를 제공하기로 하였다. 또한 시스템에 가입한 정회원 및 관리자에게만 페이지가 활성화되며, 정회원의 경우에도 부여된 접근권한에 따라 서비스의 공간 범위가 제한된다. 비회원의 경우 본 페이지가 비활성화된 형태로 표출되도록 구성하였다.

첫 번째 기능인 ‘도시침수 기초자료’는 모든 시·군·구에 대하여 ‘도시침수 지표’와 ‘도시침수 주제도’ 두 가지 정보를 제공하며, 전국검색 기능을 통하여 시·군·구 단위로 도시침수 관련 DB를 조회할 수 있도록 구성하였다. ‘도시침수 지표’를 선택하면 <그림 5-16>와 같이 화면상에 해당지역의 호우 피해액 및 피해빈도 지표, 하천변 저지대 지표, 자연재해 관리지구 지표, 미래 확률강우량의 지표를 참조테이블 텍스트, 이미지 형태¹⁰⁾로 표출되도록 하였다. 화면상에 호우 피해액 및 피해빈도 지표를 기본값으로 출력하였고, 그 외 정보는 페이지 상단에 위치한 지표별 탭을 선택하여 각 지표의 세부내용을 열람할 수 있도록 구성하였다. 이는, 앞서 작성한 두 번째 사용자 예상시나리오 시 표출되는 화면이라 할 수 있다. ‘도시침수 주제도’를 선택할 경우, <그림 5-17>와 같이 기본지도인 행정구역도, 항공사진과 함께 하천변 저지대 위치도, 자연재해 관리지구 위치도, 취약 건축물 위치도, 보호대상시설 위치도, 침수흔적도, 하천망도, 도로망도, 인구지도, 토지이용계획도 등의 다양한 주제도를 공간정보 형태로 표출하였다. 화면상에서 행정구역도를 기본값으로 표출하고, 그 외 다양한 주제도를 중첩 선택하여 열람할 수 있게 하였다. 페이지 우측 상단에 범례, 저장, 캡처, 확대·축소, 이동, 위치정보 등의 탭을 구성함으로써 표출되는 지도의 세부정보를 확인할 수도 있게 설계하였다.

10) ‘도시침수 지표’에 대한 결과는 1~2차년도에 걸쳐 작업을 완료하였으며, 시각화 작업은 3차년도 도시침수 예방대책 지원시스템 개발의 일환으로 수행할 예정이다.

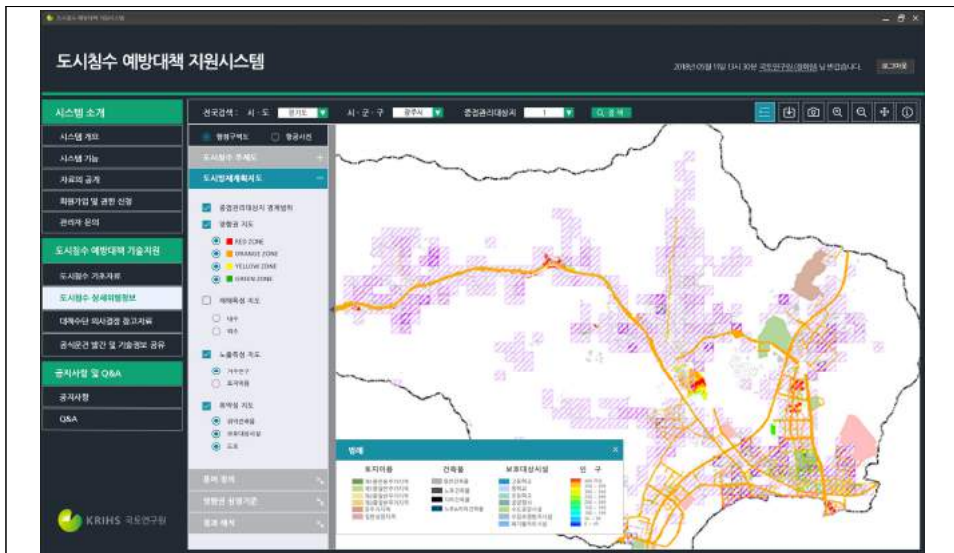
[illegible]

그림 5-17 | 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 기초자료 - 도시침수 주제도



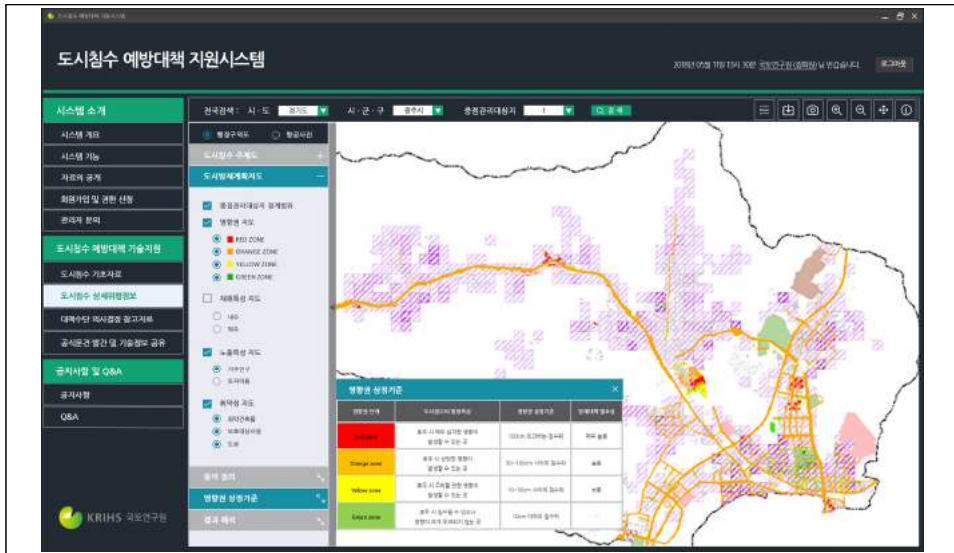
두 번째 기능인 ‘도시침수 상세위험정보’는 해당지역에 대한 상세 위험도 주제도와 설명자료를 제공하며, 전국검색 기능을 통하여 시·군·구 중점관리 대상지역 단위로 관련된 DB를 열람할 수 있도록 <그림 5-18>와 같이 구성하였다. 세 번째 사용자 예상 시나리오를 위한 화면설계라 할 수 있다. ‘도시침수 상세위험정보’는 해당지역의 중점관리 대상 지역 위치도, 영향권 지도(Red zone, Orange zone, Yellow zone, Green zone), 재해 특성 지도(내수, 외수), 노출특성 지도(거주인구, 토지이용), 취약성 지도(취약건축물, 보호대상시설, 도로분포)를 공간정보 형태로 나타낸다. 화면상에서 행정구역도, 도시방재계획지도 전체를 기본값으로 표출하고, 앞서 첫 번째 기능인 도시침수 주제도 자료를 불러와 중첩 선택하여 열람할 수 있도록 구성하였다. 이 또한 페이지 우측 상단에 범례, 저장, 캡처, 확대·축소, 이동, 위치정보 등의 탭을 구성하여 표출되는 지도의 세부정보를 확인할 수 있도록 설계하였다. 또한 <그림 5-19>과 같이 용어정의, 영향권 상정기준, 결과해석 등을 텍스트, 참조테이블 형태의 팝업창으로 표출할 수 있도록 하였다. 이를 통해 사용자가 공간정보에 대한 자세한 설명자료를 얻을 수 있게 하였다.

그림 5-18 | 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 상세위험정보 - 주제도



자료: 저자 작성

그림 5-19 | 기술지원의 화면 구성 - 도시침수 상세위험정보 - 설명자료



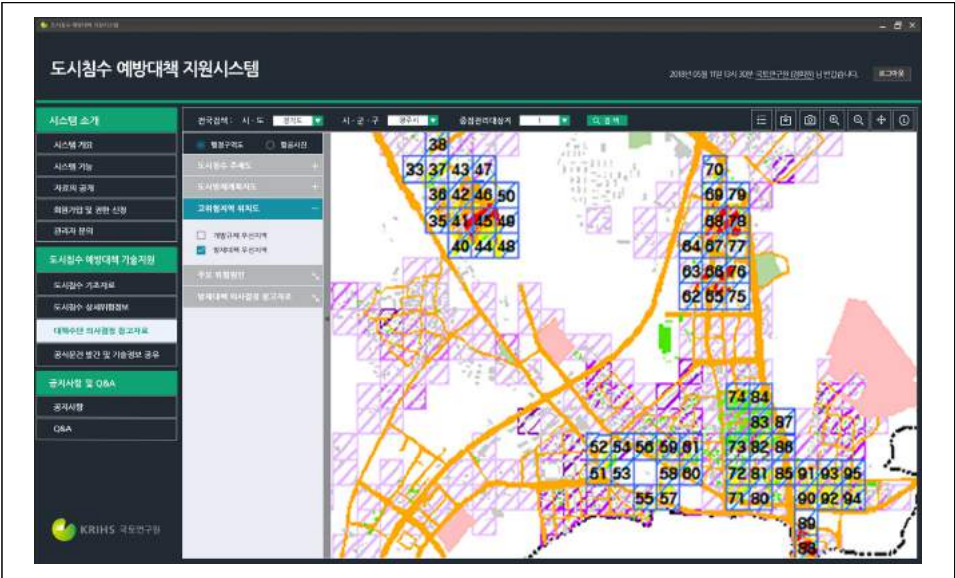
자료: 저자 작성

세 번째 기능인 ‘대책수단 의사결정 참고자료’는 해당 지역에 대한 고위험지역 위치도와 위험원인, 방재대책 의사결정 방법 등의 설명자료를 제공하기로 하였다. 마찬가지로 전국검색 기능을 통하여 시·군·구의 중점관리 대상지역 단위로 도시침수 관련 DB를 조회할 수 있게 구성하였다.

‘고위험지역 위치도’를 선택하면 해당지역의 고위험지역 위치도를 공간정보 형태로 표출하도록 하였다. 화면상에서 영향권 지도와 고위험지역 위치도를 기본값으로 하되, 도시침수 주제도와 기타 상세 위험정보를 중첩하여 열람할 수 있도록 <그림 5-20>과 같이 구성하였다. 이 또한 페이지 우측 상단에 범례, 저장, 캡처, 확대·축소, 이동, 위치정보 등의 탭을 구성하여 표출되는 지도의 세부정보를 확인할 수 있도록 설계하였다. 또한 ‘주요 위험원인’을 선택할 경우, 팝업창을 활성화하여 고위험지역으로 선정된 격자별 위험원인 분석 결과 등을 텍스트, 참조테이블 형태로 표출하여 상세위험정보를 열람할 수 있도록 제공할 것이다. 마지막으로 ‘방재대책 의사결정 참고자료’를 선택하면 도시방재 대책수단 목록표, 대책수단 판단기준, 사례집 등을 텍스트, 참조테이블, 전자문서 형태로 각각 표출하고, 팝업창을 활성화하여 해당 자료를 열람, 다운

로드 할 수 있도록 구성할 것이다. 이는 앞서 작성한 네 번째 사용자 예상시나리오에 부합되는 화면설계라 할 수 있다.

그림 5-20 | 기술지원의 화면 구성 - 대책수단 의사결정 참고자료 - 고위험지역 위치도



자료: 저자 작성

네 번째 기능인 ‘공식문건 발간 및 기술정보 공유’는 도시방재대책이나 시스템과 관련된 ‘자료실’과 ‘최신 학술·기술정보’를 포함하기로 하였다. ‘자료실’을 선택하면 게시판 형태로 해당 정보를 표출하게 되는데, 자료는 행정구역별 위험도 프로파일, 각종 기술서, 홍보브로셔, 시스템 이용 매뉴얼 등의 자료를 텍스트, 전자문서 형태로 표출하여 사용자가 해당 정보를 열람 및 다운로드 할 수 있도록 구성한다. 화면 구성은 <그림 5-21>과 같으며, 앞서 마련한 다섯 번째 사용자 예상시나리오에 부합되는 화면이라 할 수 있다. ‘최신 학술·기술정보’는 과업 이후 매년 도시침수와 관련된 공식문건을 게재하거나, 기술정보 등의 자료를 전자문서 형태로 표출하여 사용자가 해당 정보를 열람·다운로드 할 수 있도록 구성할 예정이다. 과업 종료 이후 관련기관과의 정보공유 방안 등에 대해 논의한 뒤 추진하고자 한다.

그림 5-21 | 기술지원의 화면 구성 - 공식문건 발간 및 기술정보 공유 - 자료실

번호	제목	확장자	제시일	조회수
15	대형수단 피난용량 산정집 2018	관리자	2019.09.01	128
14	대형수단 피난용량 산정집 2017	관리자	2018.08.13	301
13	대형수단 피난용량 산정집 2016	관리자	2019.08.11	288
12	대형수단 피난용량 산정집	관리자	2019.07.22	343
11	관리집의 도시침수 기초자료 4	관리자	2019.07.18	287
10	관리집의 도시침수 기초자료 3	관리자	2019.06.05	252
9	대형수단 피난용량 산정집 2015	관리자	2019.05.19	254
8	대형수단 피난용량 산정집 2014	관리자	2019.05.16	399
7	도시침수 방재취약정보 기술서 2	관리자	2019.03.03	455
6	도시침수 방재취약정보 기술서 1	관리자	2019.02.19	506
5	대형수단 피난용량 산정집	관리자	2019.01.30	573
4	도시침수 기초자료 2	관리자	2019.01.07	605
3	관리집의 도시침수 기초자료 2	관리자	2018.12.29	688
2	관리집의 도시침수 기초자료 1	관리자	2018.12.28	701
1	도시침수 예방대책 지원시스템 사용자 매뉴얼	관리자	2018.12.22	759

자료: 저자 작성

4) 공지사항 및 Q&A

세 번째 모듈인 ‘공지사항 및 Q&A’ 는 시스템의 전반적인 이용과 관련된 안내를 제공하는 기능이며 시스템 정회원, 비회원 모두에게 접근이 가능하도록 구성하였다. ‘공지사항’ 을 선택하면 <그림 5-22>와 같이 화면상에 게시판 형태로 해당 정보를 표출한다. 시스템 관련 지역별 업데이트 사항, 시스템 사용 매뉴얼 등의 정보를 텍스트, 전자문서 형태로 제공하며, 사용자가 해당 정보를 열람, 다운로드 할 수 있도록 구성하였다. 이는 앞서 작성한 여섯 번째 사용자 예상시나리오에 해당한다. 마지막으로, ‘Q&A’ 화면은 시스템 이용 방법, 자료 요청 등 질문사항에 대하여 시스템 사용자가 게시글을 작성하고 관리자¹¹⁾가 답변할 수 있는 형태로 표출하기로 하였다. <그림 5-23>과 같이 화면상에서 1:1 게시판 형태로 표출하며 사용자가 게시글을 작성, 열람 할 수 있도록 구성하였다.

11) 관리자 운영·방안, 관리자 화면설계 등은 프로그램 개발과 3차년도에 수행할 예정이다.

그림 5-22 | 공지사항 및 Q&A 화면 구성 - 공지사항



자료: 저자 작성

그림 5-23 | 공지사항 및 Q&A 화면 구성 - Q&A



자료: 저자 작성

6

CHAPTER

결론 및 향후과제

1. 결론 | 197

2. 정책제언 | 200

3. 향후과제 | 206

결론 및 향후과제

본 장에서는 연구의 주요내용을 요약·정리하고 도시방재대책의 실효성을 위한 여러 가지 정책방안들을 제시하고자 한다. 특히, 두 지자체를 대상으로 시범사업을 수행할 예정인데, 이에 대한 구체적인 계획을 설명하고 시스템의 운영·활용을 위한 제도 개선방안을 제안하였다. 마지막으로, 3차년도에 추진될 연구대상과 범위를 설명하였다.

1. 결론

본 연구는 도시침수에 대한 피해가 증가되는 상황에서 지자체에게 사전예방대책의 추진을 지원하기 위해 수행되었다. 도시침수에 대한 사전예방을 위해서는 도시계획 측면의 방재대책이 필수인데, 이를 위해서는 지자체의 담당자에게 신뢰성 높은 위험정보와 대책수단의 결정에 필요한 다양한 정보가 필요하다. 본 연구는 이러한 정보의 접근성을 높일 수 있도록 도시침수 예방대책 지원시스템이라는 기술기반을 구축하는 데에 목적을 두었으며, 궁극적으로 구축된 시스템을 매개로 국토연구원이 지자체에게 재해 예방형 도시계획 수립의 자문역할을 원활히 수행할 것을 염두하였다.

시스템의 기능 중 담당자에게 관내 도시침수 위험을 쉽게 인지하도록 하기 위해 1차년도에는 호우로 인한 도시지역 피해액과 피해빈도에 대한 사군구 단위의 지표를 산정한 바 있다. 본 2차년도에는 도시침수 발생과 관련된 지형학적 특성을 판단할 수 있도록 하천변 저지대의 면적 지표와 도시침수에 대한 사전경계 수준을 확인할 수 있도록 자연재해 관리지구의 면적 지표를 개발·산정하였다. 하천변 저지대의 면적 지표를 분석한 결과, 수도권에 위치한 지역이 지방하천 저지대 면적이 크게 높는데, 그 중 일부 지자체는 도시공간 부족으로 인해 주거나 상업의 용도로 상당부분 활용하고 있음을 알

수 있었다. 아울러 이에 맞춰 충분한 도시방재대책을 강구하고 있는 지에 대해 향후 점검이 필요할 것으로 판단되었다. 자연재해 위험개선의 면적 지표를 분석한 결과, 지자체는 행정구역 면적 대비 평균 0.1% 가량 관련 지구를 지정해 관리·운영 중에 있음을 알 수 있었다. 이러한 면적이 충분한 지에 대한 깊은 고찰은 논외로 두고, 자연재해 관리지구 면적이 호우로 인한 침수피해 크기와 상관성이 드러나지 않는다는 점은 현 도시방재정책에 큰 시사점을 내포하고 있다. 방재지구 지정과 같은 사전예방 대책의 수립을 지금까지와 같이 단순히 기초단체장에게 맡겨두기 보다는, 주관부처나 광역단체에서 명확한 근거자료와 기준에 따라 기초단체에 권고하고 특별한 사정이 없는 한 이를 수용하게 하는 방식으로 제도의 실행력 강화가 필요하다고 판단되었다.

시스템의 기능 중에는 도시침수 대책 마련이 시급한 중점관리 대상지역에 대해 신뢰할 수 있는 위험정보를 제공하는 것이 핵심이다. 이를 위해 1차년도에 중점관리 대상지역 선정, 강우 시나리오 자료 생산, 내·외수 침수해석, 영향권 설정, 위험도 주제도(재해특성, 노출특성, 취약성) 개발 등의 다양한 방법론을 제안한 바 있다. 본 2차년도에는 방법론의 범용성을 확인하기 위해 중부지역의 8개 지역에 대해 중점관리 대상지역을 선정하였으며, 그 가운데 경기도의 광주시와 포천시에 적용해 상세 위험정보를 실증적으로 구축할 수 있었다. 그 결과를 요약하면, 광주시의 경우 대상지역을 관통하는 목현천의 중상류의 만곡부와 하류의 합류부에서 외수범람이 우려되며, 송정동 주거밀집지역에서 관거배제가 충분히 이뤄지지 않아 내수침수가 발생할 수 있어 영향권이 설정되었다. 특히, 송정동은 침수라는 재해특성 외에도, 토지이용, 거주인구 등의 노출특성이 높고, 내부적으로 취약 건축물이 많아 재해예방형 도시계획의 중요성이 높음을 알 수 있었다. 포천시의 경우 강우 시나리오 조건에서 포천천을 중심으로 많은 지역이 침수될 수 있어 영향권이 매우 넓게 설정되었다. 하지만 영향권에 포함된 지역은 대부분 보전되고 있으며, 실제 주거밀도가 비교적 높은 읍지역과 동지역은 대부분 영향권에 벗어나 있음을 알 수 있었다. 신읍동과 소흘읍의 일부지역은 비교적 침수위도 높고 주거상업업무용도로 활용되는 토지를 포함하고 있어 집중적인 도시방재대책이 필요하다고 판단되었다.

시스템의 기능 중 도시방재대책의 자문을 위해 1차년도에는 도시침수의 위험원인별로 대책수단을 이미 체계화한 바 있다. 2차년도에는 1차년도에 파악한 대책수단을 시스템을 통해 제공되는 상세 위험정보와 연결을 시키는 데에 초점을 두고 연구를 수행하였다. 우선 중점관리 대상지역의 상세 위험정보를 이용해 방재대책이 집중되어야 할 고위험지역을 합리적으로 결정하기 위한 방법을 제시하였다. 이를 위해 시스템에서 제공하는 격자단위의 위험정보에 맞춰 10가지 평가기준을 설정하고, 쌍대비교 방법인 AHP와 우선순위 방법인 PROMETHEE를 연계하여 고위험지역 위치를 결정하도록 하였다. 그 결과 광주시와 포천시의 대상지역에 대해 도시침수 위험이 가장 높은 10개 격자대안을 식별할 수 있었다. 또한 GAIA 평면해석을 통해 고위험지역에 포함된 각 격자대안별로 위험원인을 객관적으로 평가할 수 있었으며, 민감도 분석을 통해 고위험 지역 선정결과와 강건성과 추가 검토 대상지역을 체계적으로 파악할 수 있었다. 방재대책을 발굴·선별하는 과정에서 대책수단의 적합 여부를 판단할 때 필요한 기준을 정리하였으며, 이 기준을 실무적으로 쉽게 활용할 수 있도록 자체 평가 질문서를 개발하였다. 요지는, 방재대책 수단을 결정할 때 단순히 위험원인만을 중시하기보다는 비용 발생, 사회적 영향, 환경적 영향, 추진 용이성 등을 함께 고려해 지혜롭게 대책을 결정해야 함을 강조하였다.

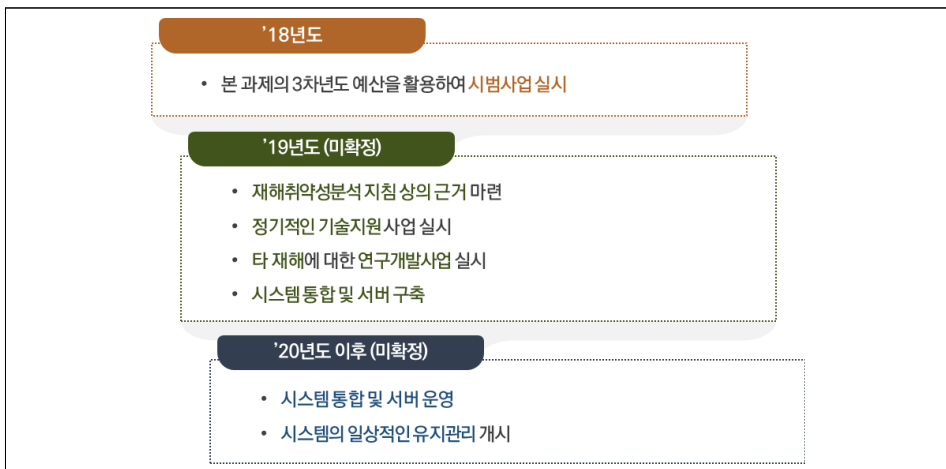
마지막으로, 2차년도에는 도시침수 예방대책 지원시스템 구축을 본격적으로 착수하였다. 1차년도에 실시한 시스템의 운영방식과 기능설계를 토대로, 그리고 ‘담당자가 필요로 하는 정보를 필요에 맞게 제공’할 수 있도록 DB 구축 대상을 정의하였으며 본 연구의 대상지역에 대해 DB 설계와 자료처리를 수행하였다. 또한 사용자 이용 시나리오를 작성한 뒤 시스템의 화면을 설계하였는데, 그 결과는 3차년도에 짧은 기간 동안 관련된 S/W의 개발기간을 단축하고 품질을 향상시키는 데 도움이 될 것이라 판단된다.

본 연구는 도시침수, 재난관리, 도시계획, 시스템 설계 등 많은 분야의 전문성을 융합 또는 집약함으로써 도시침수 해석의 간소화, 방재대책 위치결정, 대책수단 발굴, 법제도적 개선방안 도출, 시스템 구축 등으로 실현되었다. 연구결과를 통해 지자체 담당자가 도시계획을 수립할 때 신뢰성 높은 위험정보와 대책수단 결정에 필요한 정보를 제공·반영하여 한국의 재해예방형 도시계획의 발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 정책제언

본 연구에서 구축하는 시스템은 현 재해예방형 도시계획 제도에서 부여된 국토연구원의 자문역할과 무관하지 않다. 즉, 시스템의 운영과 정보 서비스는 지자체의 도시계획 과정에서 도시침수에 대한 방재대책을 보다 적극적으로 강구하는 데 실질적으로 도움을 줄 수 있어야 할 것이다. 이러한 시스템의 활용을 감안할 때 다음 <그림 6-1>과 같은 정책적 노력이 이뤄져야 할 것이다.

그림 6-1 | 시스템을 활용하여 재해예방형 도시계획 제도를 강화하기 위한 정책제언



자료: 저자 작성

1) 시스템의 실무 활용성의 현장검증을 위한 시범사업 실시

시스템 활용에 대한 제도적인 근거를 마련하기에 앞서 지자체와 함께 시범사업을 추진할 필요가 있다. 특히, 기존에 상습침수가 발생한 지역, 자연재해위험개선지구, 재해취약지역(재해취약성 분석 결과) 등을 중심으로 중점관리 대상지역을 선정한 뒤 이 지역에 대해 위험도를 정확하게 검토하고 방재대책을 발굴하고자 한다. 또한 도시계획 담당자와 함께 연구 결과의 유용성에 대해 실무적으로 검토하고, 만족도 조사를 통해 기능 개선 등의 논의한 뒤 시스템이 더욱 충실한 자문도구가 되도록 노력할 예정이다.

3차년도 시범사업을 위해 미리 2차년도 동안 시범사업 추진계획을 마련한 뒤 수요조사를 실시한 바 있다. 최근 도시침수 피해로 인해 재해예방형 도시계획 수립의 시급성이 높거나 재해취약성 분석이 진행·예정되어 있는 지자체를 대상으로 신청을 받았다.¹⁾ 최근 10년 이내 기록적인 도시침수 피해발생 여부, 침수피해 발생횟수, 공공시설 및 건축 피해의 크기 등을 고려해 최종적으로 부산광역시와 제주특별자치도를 선정하였다. 부산광역시는 2017년도에 재해취약성 분석을 수립하였고 제주특별자치도는 2018년도 재해취약성 분석을 수립할 예정에 있는 것으로 확인되었다. 또한 두 지자체 최근 집중호우로 인한 피해가 수시로 발생하고 있어²⁾ 대상지로 적절한 것으로 확인되었다.

2) 재해예방형 도시계획과 연계한 시스템 운영의 제도적 근거 확보

국토교통부 훈령 제852호로 발표된 ‘도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침’에 근거할 때 국토연구원은 현재 재해취약성분석 검증기관으로 정하고 있다. 이 검증기관의 역할에 대해서는 지침의 ‘제2절 재해취약성분석 정보관리 및 지원체계’에서 검증기관은 (가)재해취약성분석 결과의 검증, (나)재해예방형 도시계획에 대한 자문, (다)교육지원, (라)연구수행 등의 역할이 명시되어 있다. 도시침수 예방대책 지원시스템의 기능은 검증기관의 모든 역할과 직·간접적으로 관련되어 있는데, 특히, 지자체가 재해취약성분석 결과를 검증하거나 재해예방형 도시계획을 자문할 때 크게 도움을 제공할 수 있다. 따라서 본 시스템과 같은 분석기술을 운영할 당위성은 있다고 해석할 수 있다.

표 6-1 | 현행 지침 상 정의된 국토연구원 역할

- | |
|---|
| <p>(1) 재해취약성분석과 관련하여 국토연구원은 다음 각 호의 업무를 수행한다.</p> <p>가. 3-2-5.에 따른 재해취약성분석 결과의 검증</p> <p>나. 분석결과에 따라 마련된 재해저감대책 등 재해예방형 도시계획에 대한 자문</p> <p>다. 4-2-3.에 따른 재해취약성분석 관련 공무원 및 기술인의 교육·지원</p> <p>라. 재해취약성분석 평가기준과 평가방법 발전을 위한 연구의 수행 등</p> <p>(2) 국토교통부장관은 (1) 다호와 라호의 사항을 국토연구원에 의뢰하는 경우 소요되는 비용에 대하여 예산의 범위에서 지원을 할 수 있다.</p> <p>(3) 국토연구원은 효율적인 업무수행을 위해 도시계획·방재·건축·환경·연안·수문 등 관련 분야 전문가로 자문단을 구성하여 운영할 수 있다.</p> |
|---|

자료: 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침(4-2-4. 국토연구원의 역할)

1) 2차년도에 실시한 수요조사에 대한 자세한 내용은 <부록 16>에 제시하였다.

2) 부산광역시와 제주특별자치도의 도시침수 피해여건에 대한 자세한 내용은 <부록 17>에 제시하였다.

그럼에도 불구하고 이는 해석에 불과한 것으로서 아직 국토연구원이 분석기술을 운영 하는 데에 근거는 충분하지가 않다. 보다 명시적으로 4-2-4. (1)에 ‘마’ 호를 신설해 ‘나 호 사항을 위해 정밀 분석기능을 갖춘 재해예방형 도시계획 지원시스템의 운영과 국토교통부장관 또는 지방자치단체장으로부터 의뢰받은 용역의 수행’의 항목을 추가하기를 제안하고자 한다.

한편, 도시침수 예방대책 지원시스템뿐만 아니라 국가 R&D를 통해 첨단기술을 접목 해 여러 가지 시스템이 구축³⁾되고 있지만, 재해예방형 도시계획 제도 내에서 이 시스템 의 위상에 대한 근거가 부재하다. 동 지침의 구조를 볼 때 (4)의 항목을 신설해 ‘4-2-1. 재해취약성분석 전산프로그램’에 대한 지원시스템을 언급하고, 지원시스템의 서비스 범 위를 명시할 필요가 있다. 또한 시스템을 통한 안정적인 자문활동과 유지관리를 위해 (5)와 (6)의 항목을 신설해 최소한의 비용분담 방식도 명시할 필요가 있다.

표 6-2 | 지침 상 지원시스템의 정의

지침 내용	비고
(1) 국토교통부장관은 재해취약성분석의 객관성 및 전문성을 제고하기 위하여 검증기관 등 전문연구 기관으로 하여금 재해취약성분석 수행을 위한 표준프로그램 및 사용자 설명서를 마련하여 시행주 체에게 제공하게 할 수 있다. (2) 국토교통부장관은 (1)에 따라 표준프로그램을 제공하는 기관(이하 “표준프로그램 제공기관”이라 한다)으로 하여금 표준프로그램 외의 전산프로그램이 재해취약성분석의 수행에 적합한지 여부를 인증하게 할 수 있으며, 재해취약성분석 전산 프로그램 인증에 필요한 절차, 방법, 기준 및 인증수 수료 등에 관한 사항은 표준프로그램 제공기관이 국토교통부장관과 협의하여 정한다. (3) 재해취약성분석은 (1)에 따라 개발된 프로그램 또는 인증 받은 프로그램을 사용하여 수행한다.	현행
(4) 국토교통부장관은 검증기관 등 전문연구기관에게 다음의 정보를 제공하는 재해예방형 도시계획 지원시스템(이하 “지원시스템”이라 한다)을 운영하게 할 수 있다. 가. 재해취약지역 내 방재대책이 시급한 곳의 위치와 원인 분석 나. 적절한 방재대책의 종류, 선별방법, 제안사항 등 참고자료 제공 (5) 전문연구기관은 의뢰한 지방자치단체장에게 지원시스템을 활용한 조사·자문·용역 등에 드 는 비용의 전체 또는 일부를 요구할 수 있다. (6) 국토교통부장관은 전문연구기관에게 지원시스템의 유지관리에 드는 비용의 전체 또는 일부를 지급할 수 있다.	신설

자료: 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침(4-2-1. 재해취약성분석 전산프로그램)

3) 예로서, 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원이 지원하여 ‘도심지 토사재해 예측 3D 시뮬레이션 기술개발 및 통합관리시스템 구축’ 사업이 ‘17년 말에 종료될 예정인데, 토사재해에 대한 예방대책 지원시스템이 본 시스템과 유사한 기능으로 구축 완료되고 있다.

3) 시스템을 활용한 지자체 도시방재계획의 선진화 도모

시범사업을 통해 시스템의 실무 적용성 검증하고 제도적 근거를 마련한 뒤에는 매년 규칙적인 절차에 따라 일상적으로 시스템을 활용해 기술자문을 시행해야 할 것이다. 이를 위해서는, 매년 하반기 다음연도의 지원사업을 위한 수요조사를 실시해야 할 것이며, 주관부처인 국토교통부 도시정책과와 함께 도시침수에 의해 큰 피해가 최근 발생하였거나 재해취약성분석이 예정된 지자체를 중심으로 기술지원의 수요를 파악하고 대상을 선별하는 과정이 필요하다. 그리고 매년 말까지 대상 지자체 선별 뿐만 아니라 사업일정, 사업범위, 사업비 등에 대해 확정되어야 할 것이다.

전문연구기관의 의뢰받은 지자체의 재해취약지역을 중심으로 매년 3~4개월 간 고위험지역의 위치, 원인, 방재대책 참고자료 등을 분석한 뒤 그 결과를 쉽게 이용할 수 있도록 <표 6-3>과 같은 방식의 전용 S/W로 제공할 것을 제안한다. 또한 해당 지자체는 제공된 정보를 활용해 <표 6-4>와 같이 재해취약지역의 도시방재대책을 검토하여야 하며, 그 가운데 재해취약성분석 결과를 검증하고 위험이 높은 지역에 대해서는 위험을 해소하는 데에 효과적인 방재대책을 구체적으로 발굴할 것을 제안한다. 특히, 현 도시계획에는 방재와 관련된 구체적인 내용이 결여되어 있는데, 본 시스템을 활용해 <그림 6-2>와 같이 도시방재계획지도와 대책수단을 반영할 수 있을 것으로 기대된다

1차년도에 소개한 해외 선진사례⁴⁾와 같이 중앙정부와 전문연구기관이 협동으로 신뢰성 높은 지원시스템을 운영하는 것 또한 중요하다. 검증기관으로 등록된 전문연구기관은 일정 요건을 충족하는 시스템 전문업체와 함께 관리서버를 구축하고 운영을 개시해야 하며,⁵⁾ 이를 위해서는 서버의 운영 등을 위한 최소한의 예산이⁶⁾ 확보되어야 할 것이다. 또한 향후 산사태, 해일, 폭설, 폭염 등 타 자연재해에 대해서도 기술지원 할

4) 자세한 내용은 1차년도 보고서(이상은 외, 2016)의 '제2장 국내·외 도시침수 위험도 관리 정책 동향'(pp.26-39)에 제시하였다.

5) 향후 지자체 등 사용자 편의를 위해 도시침수 외에도 타 자연재해 예방대책 지원시스템과 통합하여 클라우드 방식으로 전환될 필요가 있으며, 이를 위해 서버 등의 전산장비 확충이 필요하다.

6) 초기에는 서버구축, 관리인력 소요비용 등으로 인해 소프트웨어 유지·보수 대가기준 적용률이 제법 높지만, 향후 시스템 운영이 안정화되고 타 재해에 대한 시스템을 통합할 경우 운영비용 절감이 용이하기 때문에 대가기준 적용률을 지속적으로 인하할 수 있을 것으로 예상된다.

수 있도록 지속적으로 연구개발사업을 추진하고, 동시에 기존의 사업을 통해 구축된 기술기반의 통합도 이뤄져야 할 것이다. 아울러, 지자체의 도시계획에 대한 기술지원 뿐만 아니라, 도시재생 차원에서 기성 시가지를 정비하거나, 신도시 개발을 앞두고 사전에 위험 여부를 검증하거나, 정부의 재해예방사업 대상지 선정 또는 예산 할당 등 다양한 목적으로 활용될 수도 있을 것이다. 따라서 새로운 수요자의 요구사항에 맞춰 시스템의 기능을 추가보완하는 작업도 꾸준히 이뤄져야 할 것이다. 끝으로 본 시스템을 통한 기술자문과 중점관리 대상지역의 주기적 평가 및 공식보고서 등을 활용하여 국가적 차원에서 위험도를 관리할 것을 제안한다.

표 6-3 | 시스템의 정보 서비스 제공방식(안)

■ 계획수립 주체의 요구상황에 따른 온디맨드(on-demand) 방식의 정보 제공 - 재해예방형 도시계획 수립주체의 특성과 권한을 고려해 손쉽게 위험정보를 제공할 수 있도록 사용자 맞춤형 S/W를 제공한 뒤 자신의 필요에 따라 기능을 삭제하거나 기능 추가를 요청할 수 있게 함 ■ 시스템 개발자가 단순한 정보전달이 아닌 컨설팅 역할을 제공할 수 있도록 푸시 서비스(push service)를 추가 제공 - 지자체별 지표 및 그래프에 대한 해설, 도시침수 상세위험 정보(대상지역 경계범위, 영향권 등)에 대한 부가설명, 고위험지역 선정 결과에 대한 해석, 고위험지역의 특성 및 대책수립 방향 권고, 대책수단 의사결정 절차 안내 등 사용자 요청에 따라 전문가 서비스 실시
--

자료: 저자 작성

표 6-4 | 시스템의 정보를 활용한 도시방재대책 검토

■ 도시방재대책 방향 정립 - 시스템의 과거 피해이력, 침수위험 관리지구 위치도, 토지이용계획도, 도로망도, 중점관리 대상지역 등의 정보를 활용해 도시차원의 방재대책 방향 설정 ■ 도시방재대책 수립 - 도시방재계획지도에 포함된 고위험지역(개발규제 우선지역과 방재대책 우선지역으로 구분) 위치, 위험원인 분석결과, 방재대책 방향 등의 자료를 활용해 도시계획 변경안을 마련하고 방재지구 지정대상 후보지 도출 ■ 취약시설 관리방안 마련 - 도시방재계획지도에 포함된 취약 건축물 및 보호대상시설 위치도를 토대로 시설관리자에게 정보를 제공하고 관리기준 강화방안 마련 - 특히, 고위험지역 내 도로, 철도 등 대규모 기반시설이나 학교, 병원, 폐기물처리장 등의 보호대상시설의 설치를 억제하고 부득이하게 설치해야 하는 경우 적절한 재해저감대책을 필수적으로 마련 ■ 사업추진계획 수립 - 도시방재대책과 취약시설 관리방안을 실현하기 위해 효과적인 사업 발굴 - 시스템에 제시된 의사결정 참고자료를 이용해 적절하게 선별

자료: 저자 작성

그림 6-2 | 시스템을 활용한 도시방재대책보고서 구성안

구분	방재대책 구성요소	시스템 활용 방향
1. 목표 및 기본방향	1) 목표 : 자연재해로 인하여 발생하는 피해를 최소화하기 위한 지역 내 적절한 방재계획 목표 설정 2) 기본방향 : 자연재해 예방을 위해 실행가능한 방재계획의 기본방향 설정	
2. 도시방재 대책	1) 기본방향 : 비전, 목표, 전략 제시 2) 재해유형별 여건 및 방재대책 : 홍수, 산사태, 태풍 및 해일 등의 재해와 관련하여 지자체에서 우선적·집중적으로 실행해야 할 재해를 선정한 뒤 각각의 여건 및 대책 수립 ※ 작성 방법 : 국토연구원의 예방대책 지원시스템에서 주기적으로 업데이트하는 정보를 아래와 같이 활용	
※ 재해유형별 여건 및 방재대책 주요 내용		
가. 재해피해 및 취약성 여건 - 피해이력 : 과거 기상·수문특성, 피해위치, 피해이력, 하천변 저지대 지역, 자연재해위험개선지구, 방재지구, 방재시설 등 도시침수와 관련된 일반사항 정리 - 재해취약성 : 행정구역내 주요 재해에 대한 재해취약성 분석 결과를 요약		[재해 피해이력 분석] ◀ 전국 행정구역별 업데이트 된 정보 제공
나. 중점관리 대상지역 선별 - 중앙정부나 지자체에서 해당 재해에 대해 우선적인 대책이 필요하다고 판단되는 지역을 선별·선정 ① 과거 피해이력 분석: 재해취약성분석, 풍수해자감보고서, 재해연보, 침수흔적보고서, 언론매체 조사 등을 통합하여 종합적 분석 ② 현황분석을 결과를 바탕으로 현장·면담조사 실시 ③ 지형 공간정보 분석 등을 종합하여 중점관리 대상지역 공간범위 설정		[중점관리 대상지역 선별] ◀ 중점관리 대상지역 공간범 위 선별·선정 기준 설정 및 결과 제공
다. 도시방재계획지도 작성 - 장래 기후변화 영향 등을 고려해 중점관리 대상지역의 재해지도를 작성하고, 중요한 침수발생 지역 위치 등 공간적 이해를 제고 ① 기후변화를 고려한 강우 시나리오 자료 생성 ② 상정된 조건에서 저지대 배수불량, 하천범람 등으로 인한 침수해석 실시 ③ 상세 위험정보 개발: 재해지도 작성 및 결과 해석, 영향권 설정		[도시방재계획지도 작성] ◀ · 강우 시나리오 자료, 침수해 석 결과 등의 기술서 제공 · 영향권 지도, 재해특성 지도, 노출특성 지도, 취 약성 지도 제공
라. 도시방재대책 추진방향 제시 - 대책수립이 필요한 고위험지역 선정하고 적절한 대책수단을 제시하여 실행계획 작성 ① 방재대책 의사결정을 위한 평가기준 및 대책수단 제시 (대책수단 유형: 계획적·시설적·관리적 대책수단) ② 국가·지자체·지역주민들과 협의 후, 비용, 기대효과, 사업추진 용이성, 주민선호도 등을 고려한 대책수단 확정 ③ 단기·중기·장기 대책수단별 실행계획 작성		[도시방재대책 추진방향 제시] ◀ · 고위험지역을 개발규제 우선지역과 방재대책 우 선지역으로 구분해 위치 도 제공 · 방재대책 의사결정을 위 한 수단 제공 (평가기준, 질문서, 대책수단 목록, 기술서, 사례집 등)

자료: 저자 작성

3. 향후과제

1차년도와 2차년도의 연구결과를 바탕으로 3차년도에는 다음과 같이 연구가 수행될 예정이다(앞에서 제시한 전체 연구 흐름도인 <그림 1-2>를 참고).

‘행정구역별 도시침수 기초자료 생산’에 있어서는 2차년도까지 전국범위로 호우로 인한 도시지역 피해 지표, 강우 시나리오 자료(확률강우량), 하천변 저지대 면적 지표, 자연재해 관리지구 면적 지표 등을 전국범위로 산정한 바 있다. 3차년도에는 이 자료를 시각화한 뒤 각 사군구별로 ‘도시침수 위험도 프로파일’을 마련하고자 한다.

‘중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정’에 있어서는 3차년도에 남부 지방 최대 8개소에 대해 중점관리 대상지역 공간범위를 설정하고자 한다. 특별히, 부산광역시와 제주특별자치도에 대해서는 시범사업을 수행할 예정인데, 과거 피해 및 주요 민원 발생지를 중심으로 중점관리 대상지역을 선정한 뒤 내외수 침수해석을 실시하고 영향권을 설정한 뒤 마찬가지로 재해특성, 노출특성, 취약성에 대한 각종 주제도를 개발할 것이다. ‘도시계획 측면의 방재대책 수립 지원’에 있어서는 2차년도까지 연구를 통해 확보한 자문역량을 시범사업 대상지에 모두 적용하고자 한다. 즉, 부산광역시와 제주특별자치도의 중점관리 대상지역에 방재대책이 시급한 고위험지역을 선별하고, 위험원인을 분석한 뒤 적절한 저감대책방향을 도출할 것이다. 이어서, 지자체 담당자와 함께 다양한 대책수단의 실무적 적합도를 평가한 뒤 최종적으로 도시방재대책 수단(위치와 종류)을 실효성 있게 제시하고자 하며, 고위험지역에 대해 경제적 피해수준 또한 예상해 보고자 한다. 마지막으로, 향후 타 지자체의 도시침수 방재대책 추진 시에도 쉽게 활용할 수 있도록 사례집을 작성할 예정이다.

‘도시침수 예방대책 지원시스템의 보급을 위한 전용 S/W 개발’에 대해서는 과년도에 설계한 시스템 기능과 시스템 DB를 기반으로 담당자가 관심지역의 위험정보에 쉽게 접근하고 방재계획 수립에 직접 활용할 수 있도록 전용 S/W 개발할 예정이다. 또한 시범사업 후 만족도 조사를 수행한 뒤 시스템의 기능을 보완하고 향후 효과적인 서비스 방법에 대해서도 고찰할 예정이다. 마지막으로 ‘시스템 운영·활용 방안 제시’에 있어서는 2차년도에 제시한 법제도 개선방안을 토대로 관련부처 담당자와 본격적인 논의를 추진할 예정이며, 해외 우수사례를 참고하여 시스템의 향후 운영방법에 대한 정책제언을 하고자 한다.



1) 국문자료

- 강상준, 정주철. 2012. 수해지 분포 특성에 관한 연구 : 경기도 사례를 중심으로.
대한토목학회논문집 제32권 제5D호, pp. 507-517.
- 강양석. 2007. 도시기본계획의 방재계획 부문에서 설정되어야 할 지표. 국토계획
제42권 제2호, pp. 17-29.
- 국립방재교육연구원. 2010. 도시공간 및 시설에 대한 안전실태조사 및 방재계획 기준
설정 연구.
- 국립재난안전연구원. 2012-2013. 도시 지상-지하공간 침수예측모형 고도화 및 통합
연계환경 개발.
- 국립재난안전연구원. 2013. 도시내수침수 원인분석을 위한 센서기반 모니터링 기법
개발 및 시범 적용.
- 국토교통부. 2012. 설계홍수량 산정요령.
- 국토교통부. 2013. 전국하천일람.
- 국토교통부. 2015. 2014년도 재해취약성분석, 재해예방형 도시계획 수립 컨설팅. 세종:
국토교통부.
- 국토연구원(주관연구기관). 2010-2015. 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술
개발. 최종보고서. 국토교통부 · 국토교통과학기술진흥원.
- 국토연구원. 2015-2016. 재해취약성 분석, 재해예방형 도시계획 수립 컨설팅 사업.
국토교통부.
- 김슬예, 김미은, 김창현. 이상은. 2017. 실효성 있는 재해예방형 도시계획을 위한
개선방향 고찰. 한한국안전학회지 제32권 제2호, pp. 124-131.

-
- 김영문. 1998. 그룹의사결정에 있어서 AHP의 활용과 이슈에 관한 연구. 한국경영교육 학회지 상교논총 제15권, pp. 215-233.
- 김종원, 김창현, 심우배. 2006. 최근 홍수피해의 실태와 수해 최소화를 위한 정책방향. 국토정책 Brief 100호. '06년 7월 31일자.
- 김현주, 안재찬. 2004. 도시기본계획의 방재 및 안전부문에 관한 연구(I). 국립재난 안전연구원.
- 김현주, 정태호. 2005. 도시기본계획의 방재 및 안전부문에 관한 연구(II). 국립재난 안전연구원.
- 도심지 토사재해 통합관리기술 개발 연구단(주관연구기관). 2012-2017. 도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발. 연차보고서. 국토 교통부·국토교통과학기술진흥원
- 문채, 윤혜철, 조판기. 2003. 도시방재에 관한 연구 - 일본의 사례를 중심으로. 국토 연구원.
- 문채. 2006. 우리나라 방재도시계획의 운영실태에 관한 연구. 국토연구 51(2006년 12월). pp. 151-168.
- 문채. 2012. 도시기본계획과 풍수해저감종합계획의 + 연계방안에 관한 연구. 한국 정책연구 제12권 제3호. pp. 157-176.
- 문채. 2015. 도시기본계획의 방재도시계획 운용실태에 관한 연구 - 경기도를 사례로 -. 한국지역개발학회지 제27권 제5호. pp. 303-329.
- 민병근, 강인준, 박동현, 김병우. 2013. 지형요소와 AHP를 활용한 산사태취약지역 선정. 한국측량학회지 제31권, pp. 431-437.
- 서울연구원, 서경대학교, 동아대학교, (주)제일엔지니어링. 2015. 폭우재해 저감을 위한 도시설계 실무매뉴얼(안). 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술개발. 국토교통부·국토교통과학기술진흥원.
- 신상영, 이석민, 박민규. 2011. 기상이변에 대응한 서울시의 수해방지전략. SDI 정책 리포트 제96호. 서울시정개발연구원.
-

- 심우배, 왕광익, 이범현, 이문원, 문채. 2008. 재해에 안전한 방재도시계획 수립방안 연구. 국토연구원.
- 심우배, 왕광익, 이범현, 차정우, 김학열. 2009. 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(I). 국토연구원.
- 심우배, 김길, 지승희, 김학열 외. 2010. 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축 방안 연구(II). 국토연구원.
- 심우배. 2011. 기후변화에 따른 새로운 도시방재 패러다임과 도시정책방안. ISSUE PAPER 2011-29.
- 심재현, 김지태, 김영복, 강병화. 2006. 우리나라 상습수해지구 해소를 위한 근본대책(Ⅰ). 한국수자원학회논문집 제39권 제6호, pp. 61-65.
- 양인태, 천기선, 박재훈. 2006. GIS와 AHP를 이용한 산사태 취약지 결정 및 유발인자의 영향, 한국지형공간정보학회지 제14권 제1호, pp. 3-12.
- 오세민, 김길호, 정영훈, 김덕환, 김형수. 2015. PROMETHEE 기법을 이용한 폭설 위험도 평가 - 강원도 지역을 중심으로 -. 한국방재학회논문집 제15권 제1호, pp. 87-98.
- 옥진아, 류근원. 2013. 풍수해저감계획과 경기도 도시계획과의 연계방안. 정책연구. 경기개발연구원.
- 이상은, 김성훈. 2015. 물복지 시대의 새로운 수자원 기술 패러다임 - 물확보, 물이용 다양성 확보와 물재난 저감. 물과 미래 48(1). pp. 68-75.
- 이상은, 김창현, 박태선, 김미은, 김슬예. 2016. 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(I). 국토연구원.
- 이상은, 이종소, 김슬예. 2017. 도시침수 고위험지역 선정을 위한 AHP-PROMETHEE 연계. 국토연구 제 94권, pp. 51-64.
- 이정호, 전환돈, 박무중, 정재학. 2011. PROMETHEE와 Entropy 기법을 이용한 돌발 홍수 위험도 평가. 한국방재학회논문집 제11권 제3호, pp. 151-156.
- 정건희. 2015. 대한민국과 태국의 홍수취약성 분석을 위한 대리변수 선정 방법의 비교 및 제언. 한국방재학회논문집 제15권 제1호, pp. 297-304.

정주철, 김익재, 이진희, 홍현정, 지용근, 조성윤, 김호정, 박정일, 김태형. 2009. 기후변화 대응을 위한 적정 하천공간 확보방안 연구. 한국환경정책평가연구원. 조완희, 한건연, 김현식, 김진수. 2015. 내수 및 외수영향을 고려한 침수해석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 18(1), pp. 74-89. 채병곤, 조용찬, 송영석, 서용석. 2009. AHP 분석기법을 이용한 급경사지재해 취약성 평가표 개발. 지질공학 제19권 제1호, pp. 99-108. 환경부. 2011. 하수도 시설기준. 한국건설기술연구원. 2007. 도시홍수 예경보 및 침수예측 기술. 국토교통부.

2) 외국자료

Babic, Z. and N. Plazibat. 1998. Ranking of enterprises based on multicriterial analysis. International Journal of Production Economics 56/57, pp. 29-35. Banihabib, M. E. and A. Laghabdoost-Arani. 2014. Multicriteria Decision-Making for Flood Management Based on Sustainable Development Criteria. International Congress on Environmental Modelling and Software. Paper 16. pp. 1658-1666. Behzadian, M., R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, and M. Aghdas. 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research 200, pp. 198-215. Bilsel, R. U., G. Buyukozkan, and D. Ruan. 2006. A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites. International Journal of Intelligent Systems 21, pp. 1181-1197. Brans, J. P. 1982. L'ingenierie de la decision. Elaboration d'instruments d'aide a la decision. Methode PROMETHEE. In: Nadeau, R., Landry, M. (Eds.), L'aide a la decision: Nature, instruments et perspectives d'avenir, Presses de l'Universite Laval, Quebec, Canada. pp. 183-214.

-
- Brans, J.P. and Vincke, Ph. 1985. A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science* 31(6), pp.647-656.
- Brans, J. P., Ph. Vincke, and B. Mareschal. 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research* 24(2), pp.228-238.
- Brans, J. P. and B. Mareschal. 1994. The PROMCALC and GAIA decision support system for MCDA. *Decision Support Systems* 12, pp.297-310.
- Chung, E. S. and K. S. Lee. 2009. Identification of spatial ranking of hydrological vulnerability using multi-criteria decision making techniques: Case study of Korea. *Water Resources Management* 23, pp.2395-2416.
- de Brito, M. and M. Evers. 2016. Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16, pp.1019-1033.
- Edjossan-Sossou, A. M., O. Deck, M. Al Heib, and T. Verdel. 2014. A decision-support methodology for assessing the sustainability of natural risk management strategies in urban areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences, European Geosciences Union*, 14 (12). pp.3207-3230.
- European Commission. 2010. Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. EU Comission staff working paper. Brussels 21.12.2010 SEC(2010) 1626 final.
- European Investment Bank. 2007. Guide for preparation of flood risk management schemes.
- Fernandez, R. and H. Sanahuja. 2012. Linkages between Population Dynamics, Urbanization Processes and Disaster Risks: a Regional Vision of Latin America. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, United Nations Human Settlements Programme, United Nations Population Fund.

-
- Fernandez, P., S. Mourato, and M. Moreira. 2016. Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal). *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 7(4), pp.1367–1389.
- Ghanbarpour, M. R., S. Salimi, and K. W. Hipel. 2013. A comparative evaluation of flood mitigation alternatives using GIS-based river hydraulics modelling and multicriteria decision analysis. *Journal of Flood Risk Management*. 6(4) pp.319–331.
- Gilliams, S., D. Raymaekers, B. Muys, and J. van Orshoven. 2005. Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation. *Computers and Electronics in Agriculture* 49, pp.142-158.
- Gogate, N. G., P. P. Kalbar, and P. M. Raval. 2017. Assessment of stormwater management options in urban contexts using Multiple Attribute Decision-Making. *Journal of Cleaner Production*. 142. pp.2046–2059.
- Granger, K. and M. Hayne. 2001. Natural hazards and the risks they pose to South-East Queensland, AGSO – Geoscience Australia in Conjunction with the Bureau of Meteorology.
- Guitouni, A. and Martel, J.M. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research* 109, pp. 501-521.
- Hirabayashi, Y., R. Mahendran, S. Koirala, L. Konoshima, D. Yamazaki, S. Watanabe, H. Kim, and S. Kanae. 2013. Global flood risk under climate change, *Nature Climate Change* 3. pp.816–821.
- Ishizaka, A. and Labib, A. 2009. Analytic hierarchy process and expert choice: benefits and limitations. *ORInsight* 22(4), pp.201-220.

-
- International Centre for Water Hazard and Risk Management under the Auspices of UNESCO (ICHARM). 2013. IFI Secretariat summary: United Nations Special Thematic Session on Water & Disasters and Side-Event to the Special Session, International Flood Initiative.
- Kandilioti, G. and C. Makropoulos. 2012. Preliminary flood risk assessment: the case of Athens. *Natural Hazards* 61, pp.441-468.
- Kenyon, W. 2007. Evaluating flood risk management options in Scotland: A participant-led multi-criteria approach. *Ecological Economics*. 64. pp.70-81.
- Kubal, C., D. Haase, V. Meyer, and S. Scheuer. 2009. Integrated urban flood risk assessment - adapting a multicriteria approach to a city. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9, pp.1881-1895.
- Lee, S., T. Okazumi, and Y. Kwak. 2015a. Possibilities and challenges in the development of a global flood disaster risk indicator from the post-2015 UN processes perspective: a preliminary study. *Water Policy* 17. pp.208-227.
- Lee, S., T. Okazumi, and Y. Kwak, and Takeuchi, K. 2015b. Vulnerability proxy selection and risk calculation formula for global flood risk assessment: a preliminary study. *Water Policy* 17. pp.8-25.
- Lee, T., Salas, J.D., and Prairie, J. 2010. An enhanced nonparametric streamflow disaggregation model with genetic algorithm. *Water Resour. Res.*, Vol. 46, W08545.
- Lee, T. and Ouara, T.B.M.J. 2011. Identification of model order and number of neighbors for k-nearest neighbor resampling. *Journal of Hydrology*, Vol. 404, pp. 136-145.
- Lee, T. S. and C. S. Jung. 2014. Nonparametric statistical temporal downscaling of daily precipitation to hourly precipitation and implications

-
- for climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 510. pp. 182–196.
- Loos, J. R. and S. H. Rogers. 2016. Understanding stakeholder preferences for flood adaptation alternatives with natural capital implications. *Ecology and Society* 21(3):32.
- Macharis, C., A. Verbeke, K. de Brucker. 2004. The strategic evaluation of new technologies through multicriteria analysis: the Advisors case. *Research in Transportation Economics* 8, pp.443–462.
- Malczewski, J. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, NY: John Wiley & Sons Inc.
- Mareschal, B. and J. P. Brans. 1988. Geometrical representations for MCDA. The GAIA module. *European Journal of Operational Research* 34(1), pp.69-77.
- Martin., C., Y. Ruper, and M. Legret. 2007. Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*, 181(1), pp.338–349.
- Meyer, V., D. Haase, and S. Scheuer. 2007. GIS-based Multicriteria Analysis as Decision Support in Flood Risk Management. *UFZ-Diskussionspapiere*. No. 6/2007.
- Munda, G. 1995. *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment – Theory and Applications in Ecological Economics*. Heidelberg: Physica Verlag.
- Panofsky, H. A. and G. W. Vier. 1968. Some applications of statistics to Meteorology. The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, 224, p. 1968.
- O’Keefe, P., K. Westgate, and B. Wisner. 1976. Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature* 260. pp.566-567.

-
- Ouma, Y. O. and R. Tateishi. 2014. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water* 6, pp.1515–1545.
- Penning–RowSELL, E., C. Johnson, S. Tunstall, S. Tapsell, J. Morris, J. Chatterton, A. Coker, and C. Green. 2003. The Benefits of Flood and Coastal Defence: Techniques and Data for 2003. Flood Hazard Research Centre.
- Rogers, M. 2001. Engineering Project Appraisal: The Evaluation of Alternative Development Schemes. Blackwell Science Ltd: London. pp.207–211.
- Roy, B. 1981. The optimisation problem formulation: criticism and overstepping. *Journal of the Operational Research Society* 32(6), pp.427-436.
- Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychology* 15, pp.234–281.
- Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. NY: McGraw–Hill Inc.
- Saaty, T. L. 1986. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science* 32(7), pp.841-855.
- Saaty, T. L. 2003. Decision-making with the AHP: Why is the Principal Eigenvector necessary? *European Journal of Operational Research* 145(1), pp.85–91.
- Samant, R., S. Deshpande, and A. Jadhao. 2015. Survey on multi criteria decision making methods. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4(8), pp.7175–7178.
- Saxena, S., V. Geethalakshmi, and A. Lakshmanan. 2013. Development of habitation vulnerability assessment framework for coastal hazards: Cuddalore coast in Tamil Nadu, India – A case study. *Weather and Climate Extremes* 2, pp.48-57.

-
- Sinha, R., G. V. Bapalu, L. K. Singh, and B. Rath. 2008. Flood risk analysis in the Kosi river basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP). *J Indian Soc Remote Sens* 36(4), pp. 335-349.
- Song, C. G., Y. H. Ku, Y. D. Kim, and Y. S. Park. 2016. Stability analysis of riverfront facility on inundated floodplain based on flow characteristic. *Journal of Flood Risk Management*. 9(1). pp. 1-13.
- UN DESA. 2011. *World Urbanization Prospects*.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2009. 2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction. Geneva, UNISDR.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2013. *Synthesis Report: Consultations on a Post-2015 Framework on Disaster Risk Reduction (HFA2)*, Geneva, UNISDR.
- Vaidya, O. S. and S. Kumar. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169, pp. 1-29.
- Verta, O. and M. Marttunen. 2010. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in the evaluation of the flood risk management alternatives - the Kokemäenjoki River Basin case. CIS Working Group F Thematic Workshop "Floods and Economics: appraising, prioritizing and financing flood risk management measures and instruments".
- Yazdandoost, F. and B. Bozorgy. 2008. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*. 161(5) pp. 261-266.
- Wang, J. J. and D. L. Yang. 2007. Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing. *Computers and Operation Research* 34, pp. 3691-3700.

3) 인터넷 자료

국토의 계획 및 이용에 관한 법률. 법률 제13475호. 2015년 8월 11일. 일부개정.

국가법령정보센터. <http://www.law.go.kr/>. '17년 4월 3일자 검색.

국토교통부 국가공간정보포털·오픈마켓. <http://market.nsd.go.kr/>. '17년 5월 17일자 검색.

국토교통부 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>. '17년 5월 23일자 검색.

국토교통부 국토지리정보원. <http://www.ngii.go.kr/>. '17년 2월 8일자 검색.

국토교통부 하천관리지리정보시스템. <http://www.ringis.go.kr/>. '17년 5월 17일자 검색.

기상청. <http://www.kma.go.kr/>. '16년 3월 23일자 검색.

기상청 기상자료개방포털. https://data.kma.go.kr '17년 2월 13일자 검색.

도시·군관리계획 수립지침. 국토교통부훈령 제920호. 2017년 9월 20일. 일부개정.

국가법령정보센터. <http://www.law.go.kr/>. '17년 10월 1일자 검색.

자연재해대책법. 법률 제14480호. 2016년 12월 27일. 타법개정. 국가법령정보센터.
<http://www.law.go.kr/>. '17년 4월 3일자 검색.

지구단위계획수립지침. 국토교통부훈령 제78호. 2016년 12월 8일. 일부개정. 국가법령정보센터. <http://www.law.go.kr/>. '17년 4월 3일자 검색.

LX 한국국토정보공사. <http://www.lx.or.kr/>. '17년 2월 8일자 검색.

PROMETHEE METHODS (브뤼셀자유대학 Mareschal 교수).

<http://www.promethee-gaia.net/software.html>, '17년 2월 2일자 검색.

SUMMARY



Development of the Urban Flooding Risk Prevention System (II)

Lee Sangeun, Lee Byoungjae, Lee Jongso, Kim Seulyea

Key words: Urban Flood, Natural Disaster Management, Prevention, Policy Aid System

As urban flooding is becoming more serious, the national disaster policy calls for expert groups' participation, technical infrastructure, and institutional settings necessary for central and local governments, and other groups to take their own roles with bigger responsibilities. With a focus on technical infrastructure, this 3-year project aims to develop a policy supporting system, which can be used to relieve persons in charge of urban planning in municipalities of technical burdens, and offer the responsibility to necessarily implement the minimum level of disaster prevention measures.

At the 2nd year step of the project, we carried out five studies, as follows.

First, we developed information useful for persons in charge of urban planning to easily recognize risks due to urban flooding within their administrative boundary. We thus calculated and presented two indicators: (1)

the total area of low-lying region near local rivers, which will help them understand geomorphic features related to the occurrence of urban flooding; (2) the total area of the natural hazard management district, which will help them to understand the current degree of precautions to urban flooding.

Second, we attempt to provide more technical and more reliable risk information for the area at high risk due to urban flooding (called a priority management site, PMS). To provide those information, we applied the prototype of risk assessment methods which were proposed at the 1st year step to two municipalities, Gangju and Pocheon. We thus (1) identified the boundary of PMS through selection of municipality, investigation of past damage records, field investigation and interview, and also geo-hydrological data analysis, (2) generated future rainfall scenario data with consideration of climate change impacts on probabilistic characteristics of short-term rainfall, (3) analysed various reasons of urban flooding by using simplified hydraulic methods. Based on the results of hydraulic analyses, moreover, we could develop various risk maps regarding hazard, impact, exposure, and vulnerability. With all results together, we could confirm methodological possibilities in both reliability and practicality.

Third, we newly proposed the method to spatially determine risk hotspots in PMSs in order to help the persons in charge plan and execute urban flood management measures at proper locations. To this end, we (1) set out the evaluation criteria according to gridded risk information which can be acquired from the system, (2) linked a pairwise comparison method, AHP, with a priority rank method, PROMETHEE so that grids with higher priority

could be selected as risk hotspots.

Forth, we initiated the development of urban flooding risk prevention system as a 'vessel' for all project outputs and also for a 'messenger' between system managers and system users. We then defined and designed the DB to be constructed according to the function of the system delineated at the 1st year step. Also, we carried out system design with a focus on display on the user environment.

Fifth, we examined the strategies for improving usability of the system operation. To this end, we proposed to implement the preliminary project together with municipalities at the 3rd year step. Also, we called for the revision of the current manual for disaster prevention urban planning.

부 록

APPENDIX



1. 하천변 저지대 위치도 생산을 위한 하폭 추정식 도출

1) 중권역별 하폭 추정식

(1) 한강수계

중권역명	독립변수(계수)	상수값	R ² (%)	추정식 형태
남한강상류	-	-	4.03	추정불가
평창강	유로연장(1.84)	66.67	80.05	선형
충주댐	-	-	24.50	추정불가
달천	유역면적(0.37)	52.56	79.20	선형
충주댐하류	유로연장(11.50), 유역면적(0.98)	-39.82	93.50	선형
섬강	유로연장(0.90)	8.47	69.77	멱함수
남한강하류	유역면적(0.87)	33.88	68.96	선형
금강산댐	-	-	-	자료수부족
평화의댐	-	-	-	자료수부족
춘천댐	-	-	28.59	추정불가
인북천	유로연장(-0.90), 유역면적(0.85)	33.96	43.80	멱함수
소양강	유로연장(-1.21), 유역면적(0.33)	58.08	84.30	선형
의암댐	유로연장(6.32), 유역면적(-0.11)	18.24	73.60	선형
홍천강	유역면적(0.43)	73.87	90.10	선형
청평댐	유로연장(0.27), 유역면적(0.40)	10.30	69.70	멱함수
경안천	유로연장(1.14), 유역면적(1.10)	17.57	66.90	선형
팔당댐	-	-	-	자료수부족
한강서울	유로연장(4.83), 유역면적(1.17)	5.75	67.50	선형
한강고양	유역면적(1.49)	30.38	74.00	선형
고미탄천	-	-	-	자료수부족
임진강상류	유로연장(2.71), 유역면적(1.39)	41.75	73.00	선형
한탄강	유로연장(5.32), 유역면적(-0.11)	15.05	75.90	선형
임진강하류	유로연장(1.17)	5.10	69.24	멱함수
한강하류	-	-	-	자료수부족

자료: 저자 작성

(2) 낙동강수계

중권역명	독립변수(계수)	상수값	R ² (%)	추정식 형태
안동댐	유역면적(0.49)	5.76	99.83	멱함수
임하댐	유로연장(-0.84), 유역면적(1.21)	6.44	74.00	멱함수
안동댐하류	유로연장(0.62)	15.75	46.86	멱함수
내성천	유역면적(0.24)	72.43	81.40	선형
영강	유로연장(5.23), 유역면적(-0.06)	26.77	98.70	선형
병성천	유로연장(3.08), 유역면적(0.81)	7.96	93.30	선형
낙동상주	-	-	-	자료수부족
위천	유역면적(0.37)	20.56	61.28	멱함수
낙동구미	-	-	-	자료수부족
감천	유로연장(6.13), 유역면적(-0.10)	15.06	46.00	선형
낙동왜관	-	-	20.60	추정불가
금호강	유로연장(1.94), 유역면적(0.49)	41.81	63.60	선형
회천	유로연장(6.95), 유역면적(-0.14)	-12.18	98.40	선형
낙동고령	유로연장(7.23), 유역면적(3.27)	-30.93	58.90	선형
합천댐	유로연장(-3.13), 유역면적(1.13)	42.79	82.80	선형
황강	유로연장(0.81), 유역면적(-0.18)	19.10	29.70	멱함수
낙동창녕	유로연장(1.12), 유역면적(0.72)	21.98	92.10	선형
남강댐	유로연장(1.92), 유역면적(0.23)	17.69	76.90	선형
남강	유로연장(-0.88), 유역면적(2.04)	30.93	53.30	선형
낙동밀양	유로연장(-0.43), 유역면적(0.71)	18.24	44.50	멱함수
밀양강	유역면적(0.42)	44.99	44.86	선형
낙동강하구언	유로연장(2.26), 유역면적(0.86)	26.87	52.20	선형

자료: 저자 작성

(3) 금강수계

중권역명	독립변수(계수)	상수값	R ² (%)	추정식 형태
용담댐	유로연장(-0.45), 유역면적(0.60)	16.48	73.80	멱함수
용담댐하류	-	-	32.30	추정불가
무주남대천	유역면적(0.58)	29.18	87.00	선형
영동천	유로연장(9.54), 유역면적(-0.04)	-13.21	90.50	선형
초강	유로연장(3.23)	39.12	69.20	선형
대청댐상류	-	-	-	자료수부족
보청천	유로연장(-1.03), 유역면적(0.88)	31.70	84.30	멱함수
대청댐	유로연장(-1.78), 유역면적(0.67)	42.80	64.10	선형
갑천	유로연장(4.82), 유역면적(-0.43)	37.75	53.30	선형
대청댐하류	유로연장(17.69), 유역면적(-2.28)	-27.13	90.50	선형
미호천	유로연장(6.90), 유역면적(0.01)	6.64	78.70	선형
금강공주	유로연장(7.03), 유역면적(-0.26)	8.29	64.50	선형
논산천	유로연장(-0.31), 유역면적(2.08)	33.66	91.60	선형
금강하구언	유로연장(0.45), 유역면적(0.19)	11.83	75.50	멱함수

자료: 저자 작성

(4) 섬진강수계

중권역명	독립변수(계수)	상수값	R ² (%)	추정식 형태
섬진강댐	유로연장(-0.46), 유역면적(0.67)	18.58	42.80	멱함수
섬진강댐하류	유로연장(8.05), 유역면적(-0.50)	-1.56	87.90	선형
오수천	유로연장(1.70), 유역면적(0.18)	25.77	84.30	선형
순창	유로연장(-1.16), 유역면적(2.17)	18.73	85.40	선형
요천	유로연장(0.53), 유역면적(0.17)	11.32	46.90	멱함수
섬진곡성	유로연장(11.87), 유역면적(0.45)	-25.54	80.90	선형
주암댐	유로연장(-0.18), 유역면적(0.52)	15.21	69.90	멱함수
보성강	유로연장(-0.19), 유역면적(0.46)	18.92	75.70	멱함수
섬진강하류	유로연장(0.95), 유역면적(0.67)	27.63	66.80	선형

자료: 저자 작성

(5) 영산강수계

중권역명	독립변수(계수)	상수값	R ² (%)	추정식 형태
영산강상류	유로연장(0.27), 유역면적(1.20)	17.65	90.10	선형
황룡강	유로연장(0.35), 유역면적(0.41)	7.00	76.40	멱함수
지석천	유로연장(3.23), 유역면적(1.27)	7.02	83.00	선형
영산강중류	유로연장(3.31), 유역면적(0.31)	11.61	92.10	선형
고막원천	유로연장(4.02), 유역면적(0.52)	4.47	42.50	선형
영산강하류	-	-	33.30	추정불가
영암천	유역면적(4.07)	-1.16	99.78	선형
영산강하구언	-	-	-	자료수부족

자료: 저자 작성

2) 중권역별 이상치 제거 결과

(1) 한강수계

중권역명	적용 가능한 하천 개수	적용 불가능한 지방하천 (개수)
남한강상류	-	-
평창강	28	주천강 (1)
충주댐	-	-
달천	32	달천, 동진천, 요도천, 충주천 (4)
충주댐하류	10	원곡천 (1)
섬강	30	-
남한강하류	98	청미천, 죽산천, 석원천, 제요천, 금곡천, 금당천, 한천, 후포천, 곡수천, 장암천, 송말천, 금사천, 향리천, 흑천, 고송천, 부안천, 용문천, 양근천, 사탄천, 남풍천 (20)
금강산댐	-	-
평화의댐	-	-
춘천댐	-	-
인북천	7	-
소양강	23	우각천, 품걸천 (2)
의암댐	25	금산천, 공지천 (2)
홍천강	34	-
청평댐	34	조종천, 문호천 (2)
경안천	34	경안천, 중대천, 곤지암천, 신촌천 (4)
팔당댐	-	-
한강서울	81	울석천, 왕숙천, 용정천, 탄천, 중랑천, 묵동천, 청계천, 목감천 (8)
한강고양	33	창릉천, 굴포천, 계양천, 봉성포천, 고산천, 장진천, 사포교천, 청룡두천 (8)
고미탄천	-	-
임진강상류	11	-
한탄강	48	한탄강, 화강, 사곡천, 대교천, 신천, 효촌천, 차탄천 (7)
임진강하류	18	사미천, 석장천, 설마천, 갈곡천 (4)
한강하류	-	-

자료: 저자 작성

(2) 낙동강수계

중권역명	적용 가능한 하천 개수	적용 불가능한 지방하천 (개수)
안동댐	21	철암천, 회룡천 (2)
임하댐	38	반변천, 길안천 (2)
안동댐하류	18	-
내성천	25	내성천, 한천, 금곡천, 금천 (4)
영강	11	신북천 (1)
병성천	10	-
낙동상주	-	-
위천	19	곡정천 (1)
낙동구미	-	-
감천	16	아천 (1)
낙동왜관	-	-
금호강	49	자호천, 율하천, 불로천 (3)
회천	21	대가천, 소가천, 내곡천 (3)
낙동고령	15	-
합천댐	47	대산천 (1)
황강	37	-
낙동창녕	31	지혜천, 초곡천, 창녕천 (3)
남강댐	129	보산천, 생초천, 양천, 대현천, 대곡천, 신전천, 신등천, 시천천, 수곡천 (9)
남강	76	니불천, 영천강, 나선천, 향양천, 반성천, 용덕천, 석교천, 광정천, 운곡천, 백야천 (10)
낙동밀양	62	광려천, 영동천, 신천, 주천강, 중앙천, 용성천, 퇴래천, 사촌천, 금곡천 (9)
밀양강	38	동창천, 청도천, 동천, 임천천 (4)
낙동강하구언	42	미전천, 내석천, 대천천 (3)

자료: 저자 작성

(3) 금강수계

중권역명	적용 가능한 하천 개수	적용 불가능한 지방하천 (개수)
용담댐	39	장계천, 통안천, 명천 (3)
용담댐하류	5	-
무주남대천	22	상곡천 (1)
영동천	29	신정천, 금산천, 호탄천, 영동천, 삼봉천 (5)
초강	16	-
대청댐상류	-	-
보청천	10	보청천, 향건천 (2)
대청댐	23	안남천, 용호천 (2)
갑천	29	화산천 (1)
대청댐하류	5	-
미호천	52	백곡천, 초평천, 삼기천, 석화천, 병천천, 월하천, 봉암천 (7)
금강공주	153	제천, 정안천, 두만천, 동혈천, 대룡천, 지천, 금천, 구룡천, 석성천, 응평천, 증산천 (11)
논산천	35	장선천, 왕덕천 (2)
금강하구언	32	도마천 (1)

자료: 저자 작성

(4) 섬진강수계

중권역명	적용 가능한 하천 개수	적용 불가능한 지방하천
섬진강댐	35	세동천, 임실천, 옥녀동천, 추령천 (4)
섬진강댐하류	10	-
오수천	23	울천, 후곡천 (2)
순창	24	경천, 옥과천 (2)
요천	22	요천, 주촌천, 옥률천 (3)
섬진곡성	14	오곡천 (1)
주암댐	52	유정천, 동북천, 내북천 (3)
보성강	20	-
섬진강하류	62	회룡천, 서시천, 천은천, 횡천강, 주교천 (5)

자료: 저자 작성

(5) 영산강수계

중권역명	적용 가능한 하천 개수	적용 불가능한 지방하천 (개수)
영산강상류	25	금성천, 용천, 수북천, 오례천, 풍영정천 (5)
황룡강	27	황룡강, 북하천 (2)
지석천	45	석정천, 덕림천, 노동천, 대촌천 (4)
영산강중류	9	장성천, 봉황천, 만봉천 (3)
고막원천	13	-
영산강하류	15	함평천 (1)
영암천	10	호동천 (1)
영산강하구언	-	-

자료: 저자 작성

2. 강우 시나리오 자료 개발을 위한 관측지점 선정의 적정성 검증

- 선택된 20개 강우관측지점의 대표성과 공간확장 가능성에 대한 검증을 실시함
 - 선택된 20개 강우관측지점을 보면 관측지점 간에 최대 약 60km의 거리¹⁾를 갖기 때문에 이 거리를 다음의 두 가지 검증기준으로 삼기로 함
 - 첫째, 관측지점의 거리를 고려할 때 단일 관측지점이 포괄해야 하는 면적 내 확률강우량의 공간적 불균질성이 과도하지 않은 지 여부를 확인²⁾
 - 둘째, 관측지점 간의 강우추계 가능성, 특히, 관측지점의 거리를 고려할 때 인 근지점의 일단위 강우량을 가지고 해당지점의 연최대 시간강우량을 묘사하는데 오차가 크지 않은 지 여부를 확인³⁾
- 각 강우관측지점의 다양한 재현기간과 지속시간의 확률강우량을 산정한 뒤 지점 간 거리에 따라 확률강우량 오차의 통계량을 <부록그림 2-1>과 같이 산정⁴⁾
 - 약 100km를 넘어서면서 확률강우량 간의 오차가 크게 증가하게 되는 데, 60km이내의 경우 어떤 지점들을 선택해도 오차가 크게 발생하지 않음
 - 따라서 60km 거리를 갖는 지점 간의 공간적 불균질성은 그리 크지 않아 의미있게 티센망도를 구성할 수 있는 것으로 확인됨
- 각 강우관측지점의 연최대 시간강우량을 주위의 다양한 지점에 대한 일단위 강우량을 이용해 추계한 뒤⁵⁾ 실제 관측값과의 오차가 주위 지점의 거리에 따라 증가하는 양상을 <부록그림 2-2>와 같이 분석함⁶⁾

1) 광주관측소(156번)와 합천관측소(285번)가 이에 해당된다.

2) 본 연구에서 강우 시나리오는 확률강우량 기준으로 제시하였다.

3) 단일 관측지점에는 일단위 강우량과 시간단위 강우량 간에 뚜렷한 상관관계가 발견되기 때문이다.

4) 수문·기상자료의 대표적인 검증 통계량

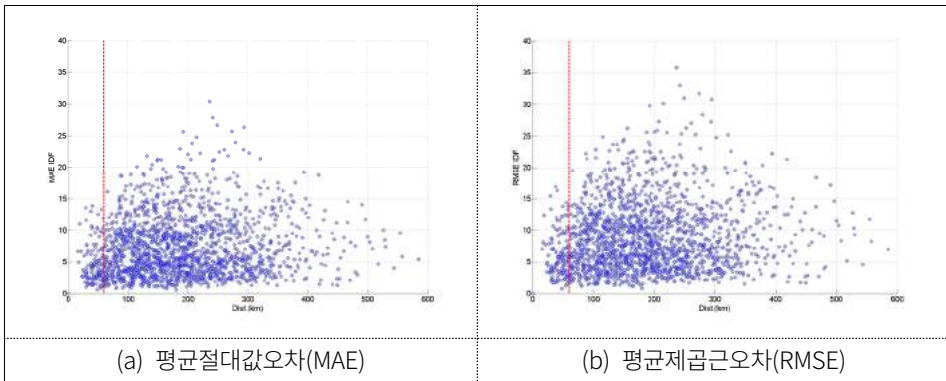
$$MAE(i, j) = \frac{1}{n_f D} \sum_{f=1}^{n_f} \sum_{d=1}^D |P_{d,f}(i) - P_{d,f}(j)|, RMSE(i, j) = \sqrt{\frac{1}{n_f D} \sum_{f=1}^{n_f} \sum_{d=1}^D (P_{d,f}(i) - P_{d,f}(j))^2}$$

여기서 i, j는 i번째 및 j번째 지점을 의미하며 $P_{d,f}(i)$ 는 i지점의 d지속시간 f 재현기간의 확률강우량값을 의미한다.

5) k-nearest neighbor resampling과 유전자알고리즘을 혼합한 방법을 적용(Lee and Jung, 2014)하였다.

- 마찬가지로 60km 이내에서는 큰 오차가 발생하지 않지만, 100km를 넘어서게 되면 오차가 크게 증가됨
- 60km 이내 관측지점 간에는 일단위와 시간단위 강우량 간에 뚜렷한 상관관계가 발견되므로 20개 강우관측지점의 공간확장 가능성을 예상할 수 있음

부록그림 2-1 | 지점별 거리에 따른 확률강우량 간의 오차 검증



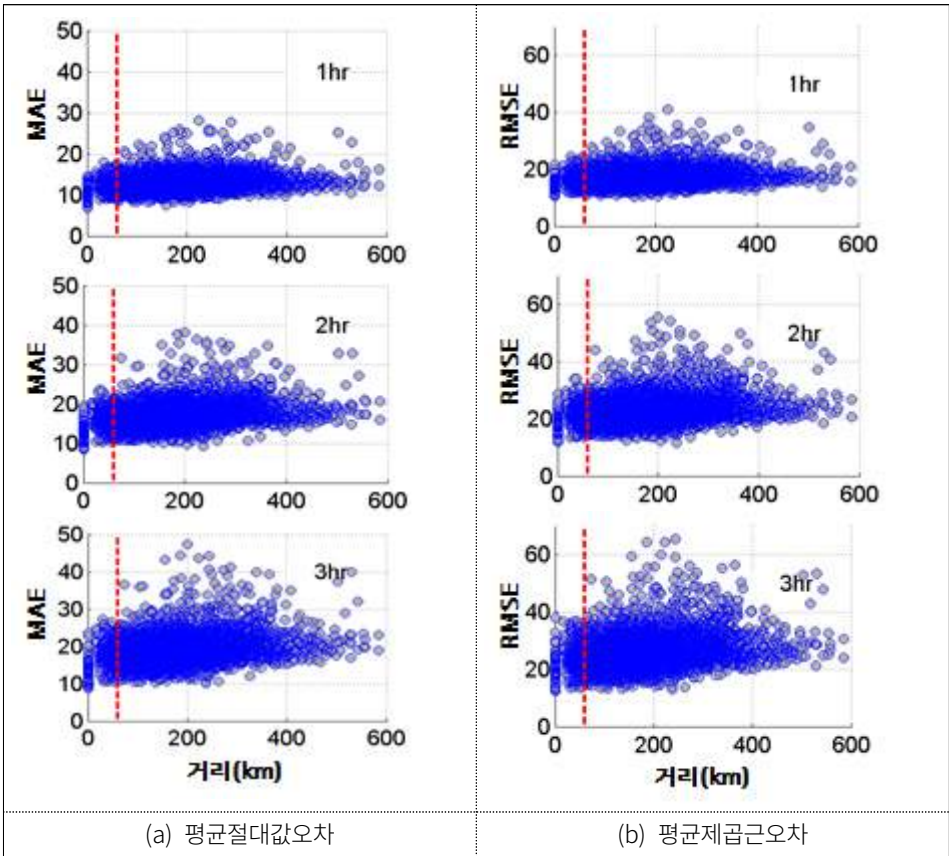
자료: 저자 작성

6) 수문 · 기상자료의 대표적인 검증 통계량

$$MAE(i, j) = \frac{1}{n_f D} \sum_{f=1}^{n_f} \sum_{d=1}^D |P_{d,f}(i) - P_{d,f}(j)|, RMSE(i, j) = \sqrt{\frac{1}{n_f D} \sum_{f=1}^{n_f} \sum_{d=1}^D (P_{d,f}(i) - P_{d,f}(j))^2}$$

여기서 i, j 는 i 번째 및 j 번째 지점을 의미하며 $P_{d,f}(i)$ 는 i 지점의 d 지속시간 f 재현기간의 확률강우량값을 의미한다.

부록그림 2-2 | 지점별 거리에 따른 추계 가능성 검증

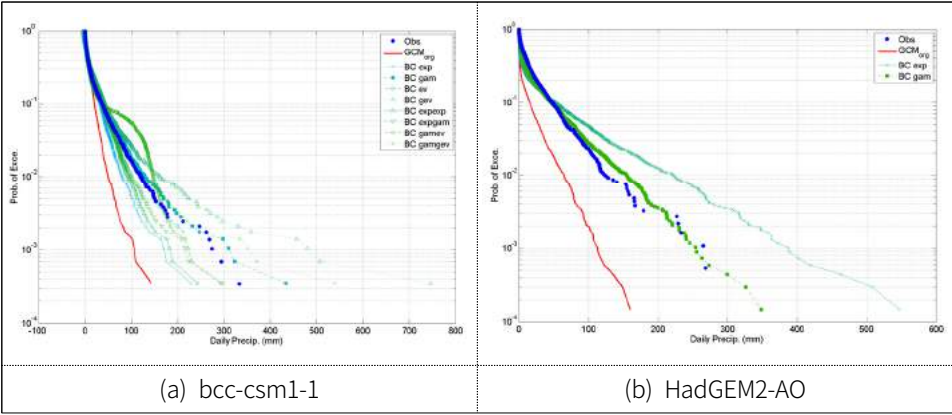


자료: 저자 작성

3. 기후변화 시나리오의 편의보정

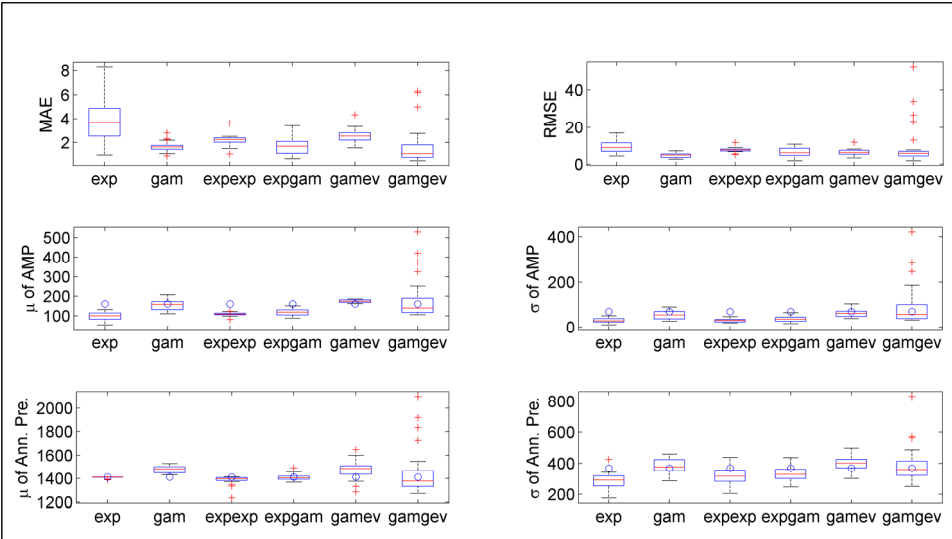
- 추출된 격자의 강우시나리오 자료는 정량적으로 과소추정되어 있음에 따라 기후변화 시나리오 자료를 활용하기 위해서는 관측자료와 기후변화 시나리오의 모의 값 간의 편의보정 절차가 이루어져야 함
- 본 과업에서는 분위사상법을 활용하여 편의보정을 실시하였으며 확률분포형은 아래와 같이 총 8개의 단일 및 혼합분포형을 적용하여 최적의 확률분포형을 선택하였음
 - (1) Exponential (exp)
 - (2) Gamma (gam)
 - (3) Gumbel (ev)
 - (4) GEV (gev)
 - (5) Exponential-Exponential (expexp)
 - (6) Exponential-Gamma (expgam)
 - (7) Gamma-Gumbel (gamev)
 - (8) Gamma-GEV (gamgev)
- 최적의 확률분포형을 결정하기 위해서 관측자료와 가장 유사한 누적분포함수 (Cumulative Distribution Function; CDF)를 보이는 편의보정된 기후변화 시나리오 자료를 활용하였음
- 평균절대오차 (Mean Absolute Error; MAE), 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error; RMSE)결과에서 나타난 바와 같이 편의보정 결과 Gamma 분포형이 관측자료와 정량적으로 가장 유사한 결과가 도출되었음
- 따라서, 본 연구에서는 가장 관측자료 대비 오차가 적게 나타나고 안정적인 값이 생성되는 Gamma 분포형을 이용하여 편의보정을 수행하였음

부록그림 3-1 | GCM모델별 초과확률 비교 분석결과(예, 서울관측소)



자료: 저자 작성

부록그림 3-2 | 연최대강우량 및 연평균강우량의 평균절대오차(MAE), 평균제곱근오차(RMSE) 및 통계량(평균 및 분산) 비교 결과 (동그라미:관측치)



자료: 저자 작성

4. 비매개변수적 시간단위 상세화 기법

- 도시지역의 경우 매우 높은 불투수율로 인해 도달시간이 1시간 이내로 도시홍수유출을 해석하기 위해서는 시간단위 자료의 확보는 필수적임이나 대부분의 기후변화 시나리오자료는 현재 일단위 수준으로 제공되고 있음에 따라 시간단위로 상세화가 이루어져야 함
- 따라서, 다중 일기반 시간상세화 기법을 적용하여 일단위 기후변화 시나리오 자료를 시간단위 기후변화 시나리오 자료로 상세화하였으며 적용된 시간상세화 기법의 방법론은 아래와 같음
- 일 단위 변수를 $Y_i = [y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,n}] = [y_{i,d}]_{d \in \{1,n\}}$, 이에 상응하는 시간단위 변수를 $X_i = [x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m}] = [x_{i,h}]_{h \in \{1,n \times 24\}}$ 라 정의하였음. 여기서, $i = 1, \dots, N$, N 은 자료의 길이, n 은 특정 다중 일의 개수(예, 5일), m 은 특정 다중 일의 시간 개수($n \times 24$ 시간)를 의미함
- 즉, 특정 다중 일의 강수량 Y_t 에 대하여 시간상세화를 하게 되면 $X_t = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,m}]$ 가 됨
- KNNR의 변수 k 는 Lee and Ouarda(2011)에 의해 가장 일반적이며 간단한 선택 방식인 $k = \sqrt{N}$ 로 설정하여 분석을 수행하였음
- 시간상세화를 위해 첫 번째로 상세화하려는 대상 다중 일의 강수 Y_t 와 관측된 다중 일 강수 $y_{i,d} = \sum_{h=1}^m x_{i,h}$ 의 거리(distance)를 계산하고 산정된 거리를 오름차순으로 정리한 후 k 번째까지 최소거리를 가지는 시간지표(index)를 저장하였음

$$D_{i,d} = \sum_{d=1}^n (Y_{t,d} - y_{i,d})^2, i = 1, 2, \dots, N$$

- 두 번째로 결정된 k 개의 시간지표 중 가중확률을 부여하여 랜덤하게 1개를 추출함

$$w_r = \frac{1/r}{\sum_{j=1}^k 1/j}, r = 1, \dots, k$$

- 세 번째로 두 번째에서 선택된 시간지표의 시간단위 값(hourly values)을 할당하였음. 여기서, p 는 선택된 시간지표를 의미함

$$X_p = [x_{p,h}]_{h \in \{1, n \times 24\}}$$

- 일반적으로 GA는 다양한 유전자의 재배열을 통해 새로운 개체를 생산하고 이 중에서 목적함수의 매개변수를 추정하는 방법으로 주로 이용됨
- 하지만 본 과업의 목적은 부모의 유전자를 물려받아 통계학적으로 유사성을 가지는 개체를 생산하는 것이므로 GA의 주요 개념을 적용하였지만, 기존 자료의 통계학적 특성을 유지하는 새로운 개체를 생산해 낸다는 점에서 차이점이 있음
- 따라서, GA의 목적함수 및 제약조건이 생략되며 GA의 혼합과정 이후 우수한 개체를 선택하는 방법은 적용되지 않은 Simple GA를 사용하였고 네 번째로 GA의 혼합과정은 크게 3가지(재생, 교차, 변이)로 분류되며 다음과 같음

- (1) 재생: 위의 첫 번째에서 세 번째까지의 분석절차를 통해 하나의 부가적인 시간지표를 추가로 선택하고 이를 p^* 로 할당

$$X_{p^*} = [x_{p^*,h}]_{h \in \{1, n \times 24\}}$$

- (2) 교차: $x_{p,h}$ 의 각 요소를 다음의 조건식을 통해 $x_{p^*,h}$ 로 교체. 여기서, ε 은 0과 1사이에 균등하게 분포된 난수를 의미함(uniform random number). 여기서 P_c 는 Lee et al. (2010)에서 제시된 값인 0.1을 사용하였음

$$x_{t,h}^* = \begin{cases} x_{p^*,h} & \text{if } \varepsilon < P_c \\ x_{p,h} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (3) 변이: $x_{p,h}$ 의 각 요소를 다음의 조건식을 통해 $x_{\xi,h}$ 로 교체. 여기서 P_m 은 Lee et al. (2010)에서 제시된 값인 0.01을 사용하였음

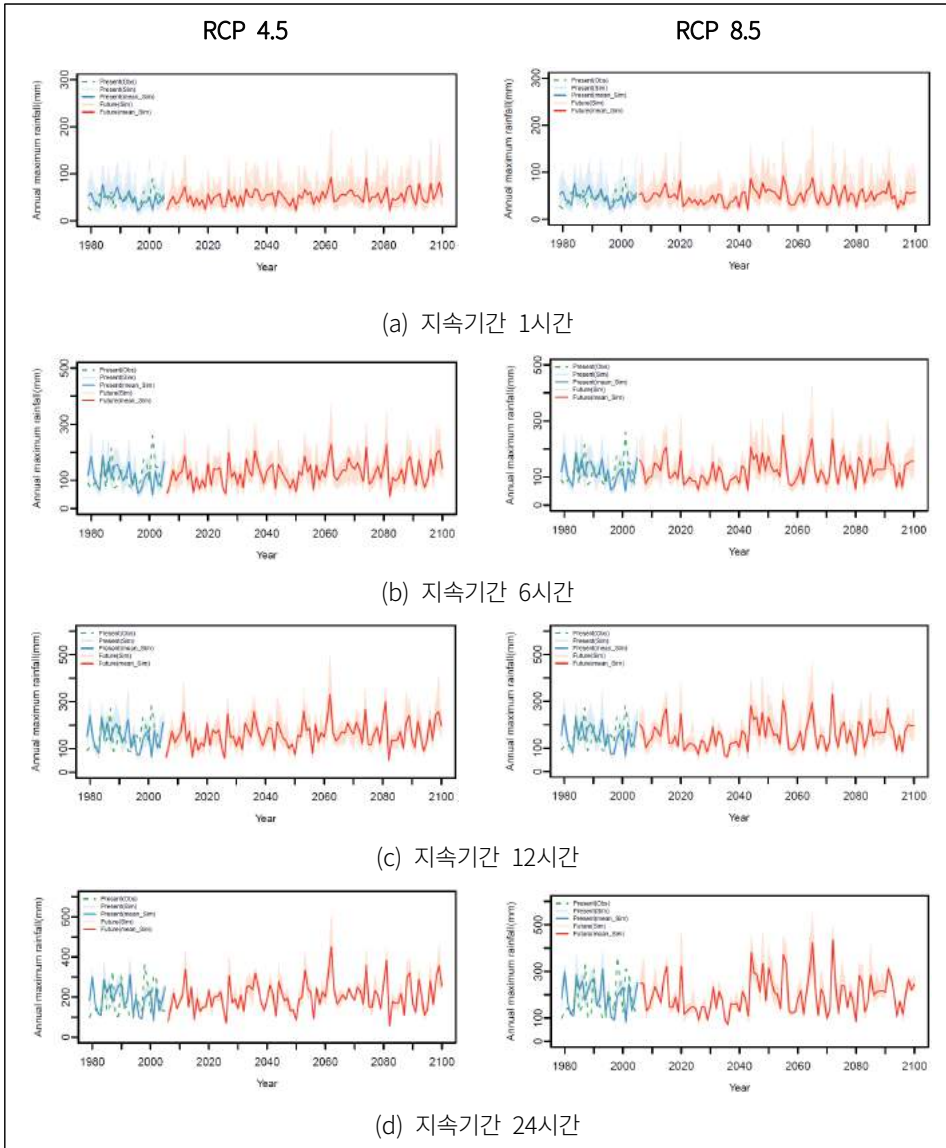
$$x_{t,h}^* = \begin{cases} x_{\xi,h} & \text{if } \varepsilon < P_m \\ x_{p,h} & \text{otherwise} \end{cases}$$

- 다섯 번째로 GA로 혼합된 시간단위 값들을 다음의 합산조건이 보존되도록 조정하고 마지막으로 필요한 자료가 생성될 때까지 첫 번째에서 다섯 번째를 반복

$$x_{t,h} = \frac{x_{t,h}^*}{\sum_{j=1}^{24} x_{t,j}^*} Y_t$$

- 각 GCM별 시간상세화된 결과를 이용하여 지속기간(1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 9시간, 12시간, 15시간, 18시간, 24시간, 48시간)별 연최대강우량을 산정하였음

부록그림 4-1 | 지속기간별 연최대강수량 모의결과 예시 (HadGEM2-AO 모델)



자료: 저자 작성

5. 기후변화를 고려한 방재성능 목표강우량 및 IDF 산정

- 본 과업에서는 미래 목표연도를 단기(2006~2040년, P_1), 중기(2041~2070년 P_2), 장기(2071~2100년 P_3)로 총 3가지로 분류하였음
- 확률강우량을 산정하기 위해 국토교통부(2012) 설계홍수량 산정요령에서 제안한 확률분포형(Gumbel 분포형)과 매개변수 추정법인 확률가중모멘트법(Probability weighted moment; PWM)을 적용하였음
- 기후변화에 따른 미래강우량의 의사결정지원을 위해 19개의 GCM모형과 100개의 모의된 시간상세화 결과를 평균하여 하나의 시간상세화된 기후변화 시나리오 자료를 구축하였음
- 방재성능 목표강우량은 기후변화시나리오의 현재시점(1979~2005년, P_0)의 연최대강우량에 대한 확률강우량(Q_{P_0})과 미래 목표연도의 확률강우량(단기: Q_{P_1} , 중기: Q_{P_2} , 장기: Q_{P_3})의 차이(ΔQ)를 각각 산정하고 이를 기상청관할 관측자료의 연최대강우량으로 산정한 확률강우량(1979~2005년, Q_{obs})에 ΔQ 를 더하는 방법으로 각 목표연도별 방재성능 목표강우량(단기: $\widehat{Q}_{P_1}$, 중기: $\widehat{Q}_{P_2}$, 장기: $\widehat{Q}_{P_3}$)을 산정하였음

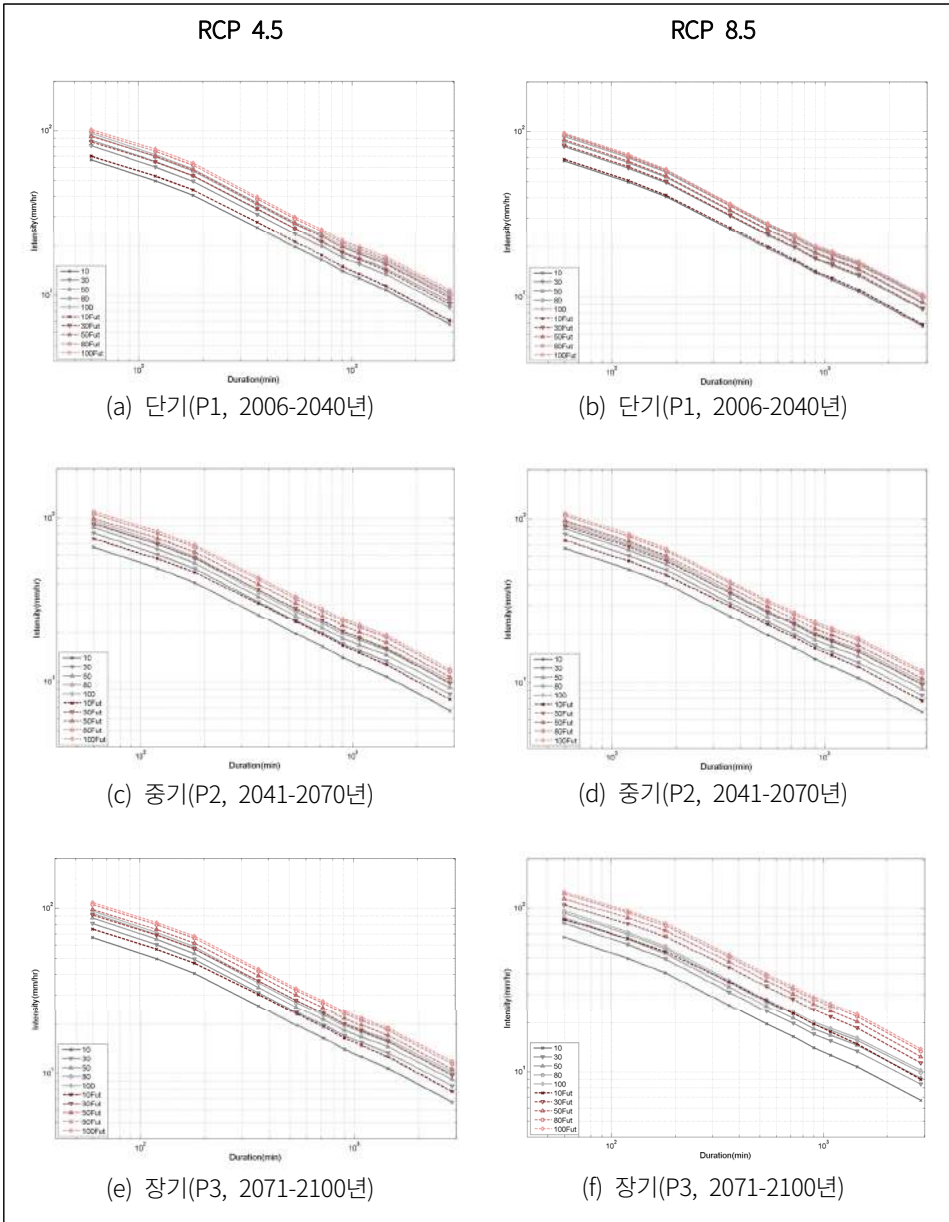
$$(1) \text{ 단기(2040년)의 목표강우량 : } \widehat{Q}_{P_1} = Q_{obs} + \Delta Q_{P_1}$$

$$(2) \text{ 중기(2070년)의 목표강우량 : } \widehat{Q}_{P_2} = Q_{obs} + \Delta Q_{P_2}$$

$$(3) \text{ 장기(2100년)의 목표강우량 : } \widehat{Q}_{P_3} = Q_{obs} + \Delta Q_{P_3}$$

- 관측자료의 확률강우량(Q_{obs})에 ΔQ 를 더하여 산정한 미래 목표연도별 방재성능 목표강우량(단기: $\widehat{Q}_{P_1}$, 중기: $\widehat{Q}_{P_2}$, 장기: $\widehat{Q}_{P_3}$)의 IDF 곡선 작성 결과는 다음과 같음(예, 서울관측소)

부록그림 5-1 | 방재성능 목표강우량의 IDF 곡선 작성결과 (예, 서울지점)



자료: 저자 작성

6. 기후변화에 따른 전국 시·군·구별 1시간 지속기간 확률 강우량

시군구	관측 (mm/hr)		RCP8.5 (mm/hr)		변화량(%)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
서울특별시	81.1	96.4	90.8	108.3	12.0	12.3
부산광역시	82.4	99.2	90.7	109.6	10.0	10.5
대구광역시	53.1	62.8	56.3	66.5	5.9	5.9
인천광역시	75.0	89.1	84.0	100.1	12.0	12.3
광주광역시	68.6	81.2	73.8	87.3	7.4	7.5
대전광역시	69.0	80.5	72.8	84.8	5.5	5.3
울산광역시	61.5	73.8	65.7	78.8	6.8	6.8
가평군	75.4	89.6	83.7	99.8	11.0	11.4
강릉시	67.1	81.0	72.1	87.2	7.5	7.7
강진군	66.6	78.4	70.7	83.3	6.2	6.2
거제시	72.9	87.1	82.5	98.9	13.1	13.5
거창군	68.0	81.0	72.1	86.0	6.0	6.2
경산시	52.3	61.8	55.4	65.4	5.9	5.8
경주시	60.6	72.6	64.6	77.4	6.7	6.6
계룡시	69.1	80.6	72.9	84.9	5.5	5.3
고령군	64.2	76.4	68.1	81.1	6.0	6.1
고성군	57.2	68.1	60.0	71.5	4.9	5.0
고성군 (경남)	73.2	87.4	82.8	99.2	13.1	13.5
고양시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
고창군	68.4	80.8	73.5	86.9	7.4	7.5
고흥군	85.5	102.0	95.5	114.1	11.7	11.9
곡성군	68.7	81.2	73.8	87.3	7.4	7.5
공주시	69.6	81.9	73.5	86.4	5.6	5.5
과천시	81.1	96.4	90.8	108.3	12.0	12.3

자료: 저자 작성

시군구	관측 (mm/hr)		RCP8.5 (mm/hr)		변화량(%)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
광명시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
광양시	84.4	100.7	94.1	112.4	11.5	11.7
광주시	72.5	85.7	81.3	96.7	12.1	12.8
괴산군	53.7	62.7	55.2	64.5	2.8	2.9
구례군	69.2	81.9	74.4	88.1	7.5	7.6
구리시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
구미시	52.8	62.1	55.2	64.9	4.6	4.6
군산시	74.6	88.6	80.0	95.3	7.2	7.5
군위군	52.4	61.9	55.4	65.4	5.8	5.7
군포시	80.6	95.8	90.2	107.6	12.0	12.3
금산군	69.4	81.2	73.3	85.6	5.6	5.5
김제시	71.8	85.5	76.3	91.1	6.3	6.5
김천시	59.0	69.8	62.1	73.5	5.3	5.4
김포시	81.1	96.4	90.8	108.3	12.0	12.3
김해시	77.5	93.3	86.4	104.3	11.5	11.8
나주시	66.3	78.2	70.6	83.3	6.5	6.5
남양주시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
남원시	70.2	83.4	74.8	89.0	6.5	6.7
남해군	81.2	96.9	91.1	108.9	12.2	12.4
논산시	69.4	81.2	73.3	85.7	5.6	5.5
단양군	58.9	68.3	62.3	72.6	5.8	6.3
담양군	68.7	81.2	73.8	87.3	7.4	7.5
당진시	69.7	83.1	73.7	87.7	5.6	5.5
동두천시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
동해시	67.1	81.0	72.1	87.2	7.5	7.7
목포시	57.5	67.1	58.8	68.5	2.3	2.1
무안군	57.5	67.1	58.8	68.5	2.3	2.1

자료: 저자 작성

시군구	관측 (mm/hr)		RCP8.5 (mm/hr)		변화량(%)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
무주군	70.0	83.0	74.2	88.1	6.0	6.2
문경시	53.5	62.4	54.9	64.1	2.6	2.7
밀양시	72.9	88.1	81.5	98.6	11.8	11.9
보령시	81.6	96.4	89.1	105.6	9.2	9.6
보성군	84.2	100.4	93.8	112.0	11.4	11.6
보은군	62.7	73.2	65.5	76.4	4.5	4.4
봉화군	46.1	54.6	48.7	57.7	5.5	5.7
부안군	71.2	84.7	75.8	90.3	6.4	6.7
부여군	79.7	94.0	86.6	102.5	8.7	9.0
부천시	81.1	96.4	90.8	108.3	12.0	12.3
사천시	72.3	86.3	80.9	96.9	12.0	12.3
산청군	68.1	81.1	72.2	86.1	6.0	6.2
삼척시	50.9	61.0	54.1	64.9	6.3	6.4
상주시	53.1	62.0	54.5	63.7	2.6	2.7
서산시	78.2	92.5	84.6	100.4	8.3	8.5
서천군	81.4	96.1	88.8	105.3	9.1	9.5
성남시	80.8	96.1	90.5	107.9	12.0	12.3
성주군	58.3	69.1	61.8	73.3	6.0	6.0
세종 특별자치시	69.3	81.5	73.2	86.0	5.5	5.4
속초시	57.2	68.1	60.0	71.5	4.9	5.0
수원시	80.7	95.9	90.3	107.7	12.0	12.3
순창군	69.6	82.4	74.5	88.4	7.1	7.2
순천시	79.5	94.6	87.7	104.5	10.4	10.5
시흥시	81.1	96.4	90.8	108.3	12.0	12.3
신안군	55.8	65.1	57.0	66.4	2.3	2.1
아산시	69.8	83.1	73.7	87.7	5.6	5.5
안동시	50.7	59.5	52.5	61.7	3.6	3.7

자료: 저자 작성

시군구	관측 (mm/hr)		RCP8.5 (mm/hr)		변화량(%)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
안산시	81.0	96.3	90.7	108.1	12.0	12.3
안성시	70.2	83.2	76.5	91.0	9.0	9.4
안양시	80.6	95.8	90.2	107.6	12.0	12.3
양구군	57.2	68.1	60.0	71.5	4.9	5.0
양산시	71.6	86.2	78.7	95.0	9.9	10.1
양양군	62.1	74.5	66.0	79.3	6.3	6.4
양주시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
양평군	71.3	84.3	80.0	95.1	12.2	12.9
여주시	85.5	102.0	95.5	114.1	11.7	11.9
여주시	70.6	83.4	79.2	94.2	12.2	13.0
연천군	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
영광군	66.9	79.0	71.4	84.4	6.7	6.8
영덕군	43.0	51.2	45.3	54.0	5.4	5.5
영동군	66.4	77.6	69.9	81.4	5.1	5.0
영암군	58.3	68.1	59.9	69.9	2.7	2.5
영양군	43.0	51.3	45.4	54.1	5.3	5.5
영월군	58.7	68.1	62.4	72.8	6.3	6.9
영주시	56.4	65.6	58.9	68.7	4.4	4.8
영천시	52.0	61.5	55.1	65.1	5.9	5.8
예산군	72.1	85.7	76.7	91.2	6.4	6.4
예천군	53.5	62.4	54.9	64.1	2.6	2.7
오산시	71.0	84.0	78.9	93.9	11.2	11.8
옥천군	68.5	79.9	72.2	84.2	5.4	5.3
완도군	75.2	89.2	82.0	97.3	9.1	9.2
완주군	71.7	85.3	76.2	90.9	6.2	6.5
용인시	71.6	84.7	80.3	95.5	12.1	12.8
울진군	43.1	51.3	45.4	54.1	5.3	5.5

자료: 저자 작성

시군구	관측 (mm/hr)		RCP8.5 (mm/hr)		변화량(%)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
원주시	63.2	73.7	68.5	80.4	8.4	9.1
음성군	69.7	82.3	77.8	92.5	11.7	12.4
익령군	68.6	81.8	73.3	87.5	6.8	7.0
익성군	52.9	62.1	55.1	64.7	4.1	4.2
익왕시	81.0	96.2	90.6	108.1	12.0	12.3
의정부시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
이천시	70.6	83.4	79.2	94.2	12.2	13.0
익산시	72.1	85.9	76.7	91.6	6.4	6.6
인제군	57.2	68.1	60.0	71.5	4.9	5.0
임실군	71.8	85.5	76.3	91.1	6.3	6.5
장성군	68.6	81.1	73.7	87.2	7.4	7.5
장수군	71.8	85.5	76.3	91.1	6.3	6.5
장흥군	82.3	98.1	91.4	109.0	11.0	11.2
전주시	71.9	85.6	76.4	91.2	6.3	6.5
정선군	63.5	75.7	68.0	81.3	7.1	7.4
정읍시	71.4	84.9	76.0	90.6	6.4	6.7
제천시	58.9	68.3	62.4	72.7	5.9	6.4
증평군	68.7	81.7	72.5	86.1	5.4	5.4
진도군	55.9	65.3	57.2	66.6	2.3	2.1
진안군	71.9	85.6	76.4	91.2	6.3	6.5
진주시	70.6	84.2	77.4	92.6	9.7	9.9
진천군	69.8	83.1	74.0	88.1	6.0	6.0
창녕군	71.2	85.6	78.3	94.3	10.0	10.1
창원시	73.5	87.9	83.0	99.5	12.9	13.3
천안시	69.8	83.1	73.7	87.7	5.6	5.5
철원군	64.2	76.4	69.0	82.2	7.5	7.7
청도군	66.8	80.3	73.7	88.7	10.3	10.4

자료: 저자 작성

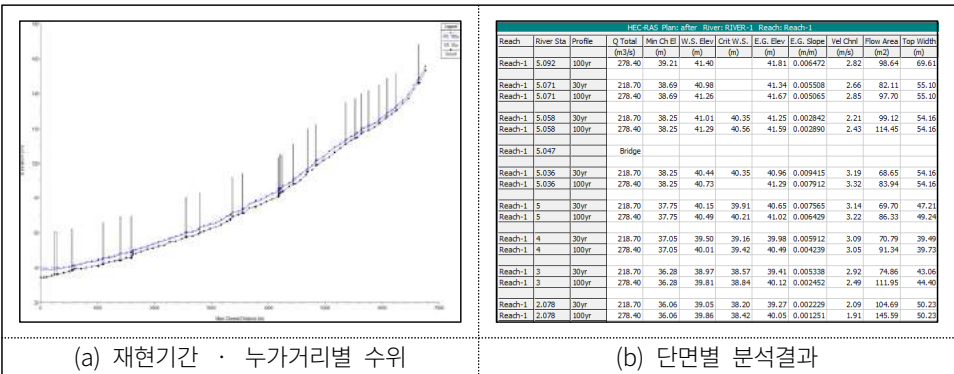
시군구	관측 (mm/hr)		RCP8.5 (mm/hr)		변화량(%)	
	30yr	100yr	30yr	100yr	30yr	100yr
청송군	49.3	58.3	52.1	61.7	5.8	5.7
청양군	79.4	93.7	86.3	102.1	8.6	8.9
청주시	68.2	80.1	71.9	84.3	5.4	5.3
춘천시	59.0	70.1	62.5	74.4	5.9	6.1
충주시	61.7	72.0	66.5	78.0	7.6	8.2
칠곡군	52.2	61.6	55.2	65.2	5.9	5.8
태백시	44.7	53.3	47.2	56.4	5.6	5.7
태안군	81.5	96.4	89.1	105.6	9.2	9.6
통영시	73.1	87.4	82.8	99.2	13.1	13.5
파주시	81.2	96.5	90.9	108.4	12.0	12.3
평창군	63.7	75.7	68.1	81.2	6.9	7.3
평택시	69.8	83.1	73.7	87.7	5.7	5.6
포천시	80.1	95.2	89.5	106.8	11.7	12.1
포항시	57.6	68.7	61.3	73.1	6.4	6.4
하남시	81.0	96.3	90.7	108.1	12.0	12.3
하동군	70.7	84.2	76.0	90.7	7.5	7.6
함안군	73.1	87.3	82.6	99.0	13.0	13.4
함양군	68.2	81.3	72.4	86.3	6.0	6.2
함평군	63.5	74.7	66.9	78.6	5.3	5.3
합천군	68.1	81.1	72.2	86.1	6.0	6.2
해남군	57.5	67.1	58.8	68.5	2.3	2.1
홍성군	81.3	96.0	88.7	105.1	9.1	9.5
홍천군	60.4	72.0	64.5	76.9	6.7	6.9
화성시	75.8	90.1	83.2	99.1	9.7	10.0
화순군	69.1	81.8	74.4	88.0	7.6	7.7
화천군	57.2	68.1	60.0	71.5	4.9	5.0
횡성군	61.1	71.2	65.5	76.7	7.2	7.8

자료: 저자 작성

7. 외수침수 해석을 위한 모형 구축 및 방법

- HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)를 이용해 강우 시나리오 조건에서 대상지 내 (소)하천의 잠재적인 수위상승을 모의한 뒤 GIS 툴을 이용해 범람지역을 분석
- 우선, 하천수위 모의를 위한 HEC-RAS 모형은 다음과 같이 구축함
 - 하천 상류 경계조건으로 강우 시나리오 조건의 홍수량 값 입력
 - 하천의 주요지점 단면 자료로는 하천기본계획 수립 시 구축한 하천형상, 바닥면 고도, 경사도, 조도계수, 제방고 등 Geometric Data를 수집·활용
 - 강우 시나리오 조건에 대한 HEC-RAS 모의를 통해 하천의 누가거리별 잠재적인 하천수위를 <부록그림 7-1>과 같이 산정

부록그림 7-1 | HEC-RAS 모의 결과: 광주시 대상지 목현천의 예시

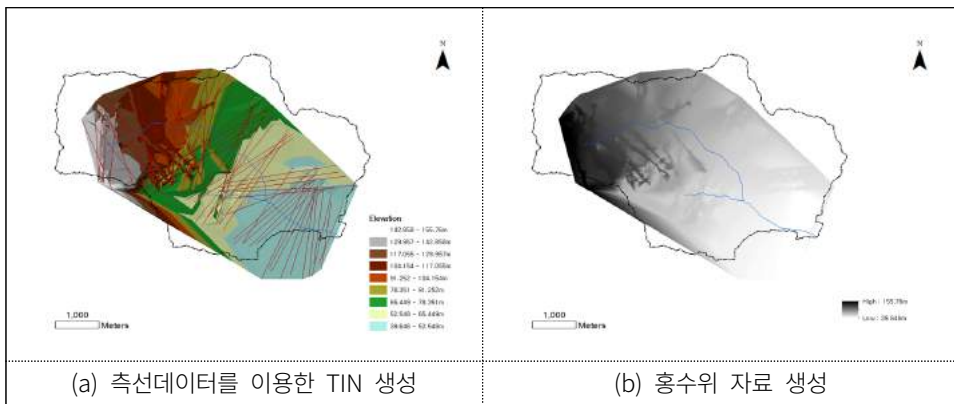


자료: 저자 작성

- 하도버퍼링 기법을 통해 강우 시나리오 조건에서 하천수위 상승으로 인한 침수영역 및 침수위 분석
 - <부록그림 7-2>과 같이 하천기본계획 수립 시 측량한 하천 중심선과 횡단면 타점 자료의 횡단 축선을 제내지 방향으로 외수가 발생할 수 있는 충분한 거리까지 연장

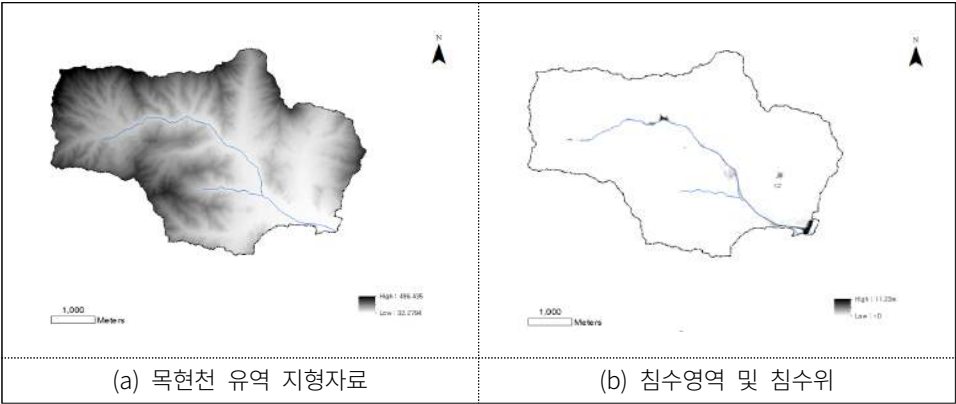
- 횡단 측선데이터에 해당 단면의 HEC-RAS 수위 분석 결과를 입력해 홍수위 데이터 구축한 뒤 <부록그림 7-2(b)>과 같이 지형자료 형태로 변환해 홍수위에 해당하는 격자자료 구축
- <부록그림 7-2(b)>의 홍수위 자료와 <부록그림 7-3(a)>의 지형고도 간의 차이를 Arc-GIS의 Raster calculator를 이용하여 분석한 뒤 <부록그림 7-3(b)>와 같이 침수위를 산정하고 침수영역을 보정함
- 제내지 지역 중 지반고가 낮은 지역과 하도부분은 무조건적으로 침수영역으로 나타나는 문제가 있기 때문에 분석 결과를 위성지도와 하천구역도와 비교해가며 보정하는 작업이 필요함
- 특히, 하천구역, 지반공사로 인한 저고도지역, DEM자체오류, 농업용 소류지 등을 찾아 침수영역으로부터 제외
- 외수침수해석의 최종 결과는 <부록그림 7-4>와 같음

부록그림 7-2 | 홍수위 자료 생성 : 광주시 대상지 목현천의 예시



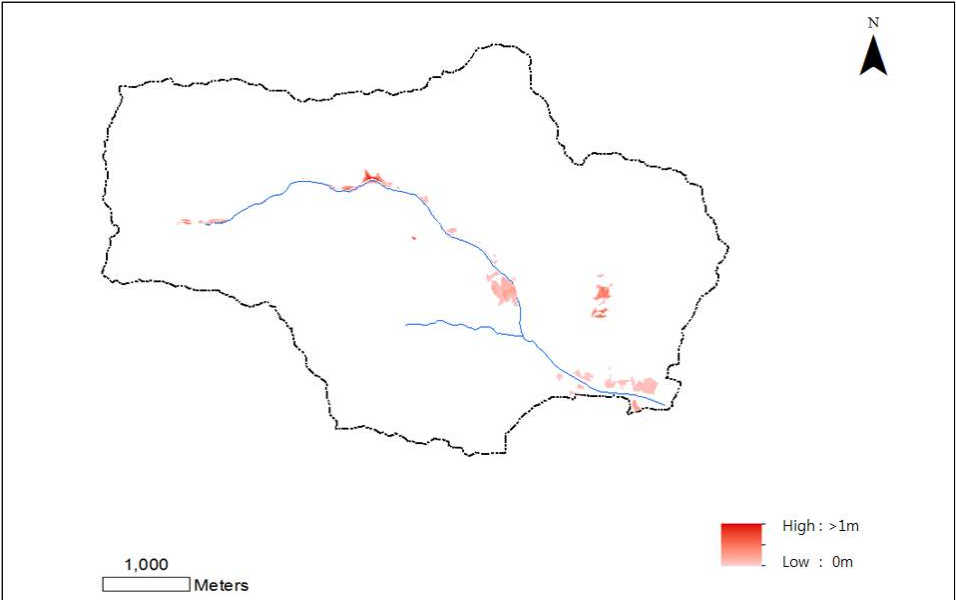
자료: 저자 작성

부록그림 7-3 | 침수영역 및 침수위 산정 : 광주시 대상지 목현천의 예시



자료: 저자 작성

부록그림 7-4 | 침수영역의 보정 결과 : 광주시 대상지 목현천의 예시

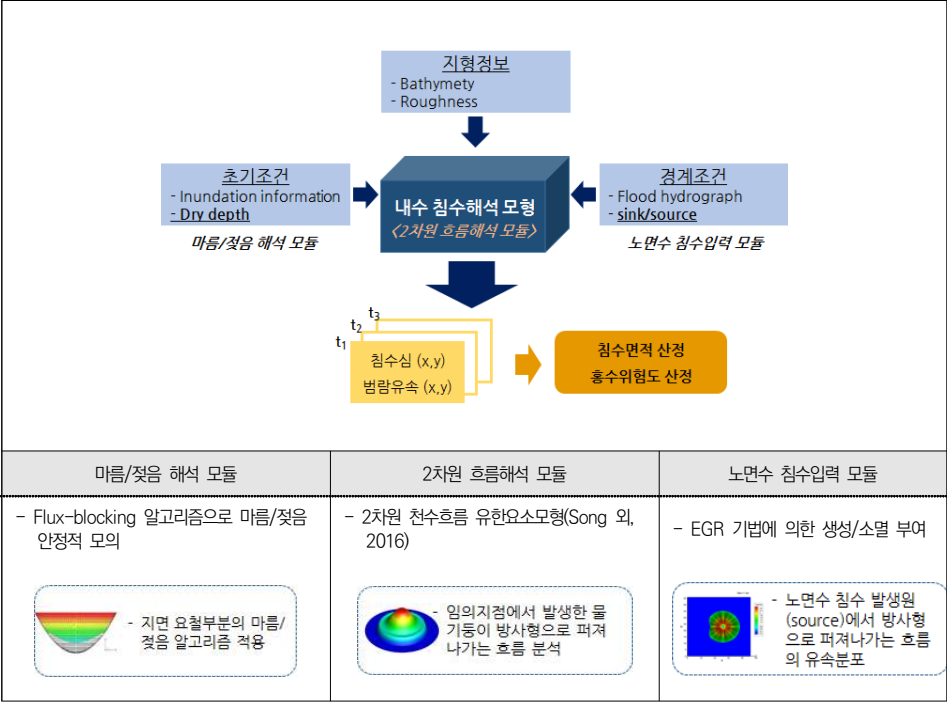


자료: 저자 작성

8. 2차원 흐름해석 모형

- 과학기술부와 과학기술부와 건설교통부가 2001년부터 2011년까지 공동 지원했던 21세기 프런티어 연구개발 사업 중 ‘수자원의 지속적 확보기술개발 사업단’의 연구비 지원으로 초기 버전인 하천흐름해석모형이 2011년 개발됨
- 현재 내수 침수 해석 모듈을 개발 중에 있으며, 중점관리 대상지역의 내수침수를 해석하기 위해서는 모의 대상지의 지형자료, 침수 발생 정보, 수치모의 조건 등을 입력해야함
- 해석엔진을 통해 도출되는 결과는 시간대별 노드에서의 침수위와 2차원 유속벡터이며 이 결과를 통해 침수면적과 홍수위험도를 생산할 수 있음
- 마름/젖음 해석 모듈의 Flux-blocking 알고리즘은 물이 있는 영역(젖음)과 그렇지 않은 영역(마름)을 수치모의 시 동시에 고려할 수 있도록 구분하는 방법임
- 천수흐름해석은 수심에 비해 상대적으로 넓은 하폭을 갖는 하천 및 하구 등에서 표면의 불규칙한 흐름을 해석하기 위해 적용
 - 연직방향의 불규칙한 지표수 흐름해석을 위해 종방향과 횡방향 유속을 수심방향으로 평균해 유속장을 구함
 - Navier-Stokes 방정식에서 유도된 지배방정식에 유속과 수심을 고려한 유한요소법을 적용해 2차원 침수해석의 기본모형으로 활용함
- EGR 기법은 하수관망의 맨홀을 통해 지표면으로 유출되는 유량을 수치모의에서 반영하는 것으로, 임의 지점에서 물이 생성되도록 초기 침수정보(침수위, 평수위 등), 경계조건(수문곡선), 시간변화에 따른 침수위와 유속자료를 통해 침수면적을 산정하는데 활용함

부록그림 8-1 | 노면 적체량 해석을 위해 적용한 모형의 개념도

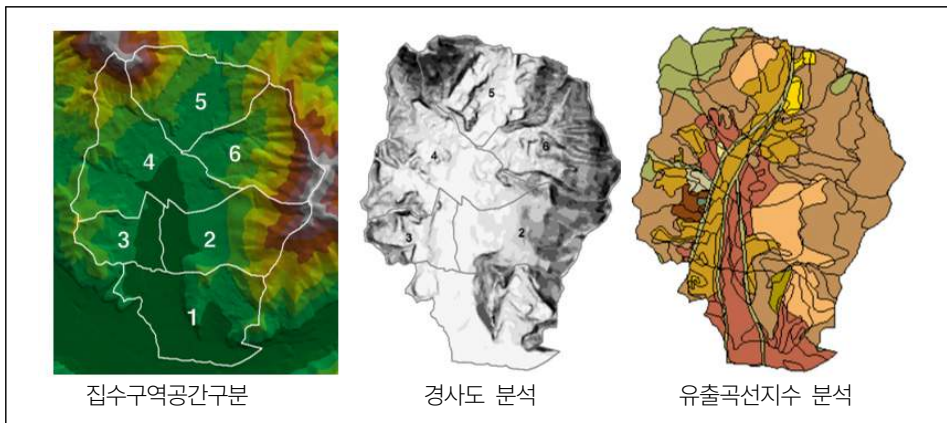


자료: 저자 작성

9. 내수침수 해석을 위한 관망밀집지역의 모형 구축 및 방법

- 먼저 중점관리 대상지역의 내수침수 해석을 위해 지형을 다음과 같이 분석함
 - SWMM의 모의에 필요한 지형학적 매개변수 값을 얻기 위해 하천유역도를 이용하여 관망 밀집지역의 공간을 구분함
 - <부록그림 9-1>과 같이 GIS 분석을 통해 각 공간별로 유출곡선지수, 유로연장, 유역면적, 유역경사 등의 값을 산정

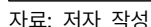
부록그림 9-1 | 관망밀집지역 지형분석 결과: 광주시 대상지



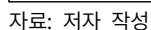
자료: 저자 작성

- SWMM의 또다른 중요한 입력자료는 하수관망인데, 본 연구에서는 관로의 배수특성을 고려해 간소화한 하수관망을 이용함
 - 하수도 시설기준(2011)에서 제시하고 있는 600mm 이상 직경의 간선을 대상으로 하수관망을 구축하고 효율적으로 연속성을 묘사할 수 있도록 후처리 작업을 수행
 - 배수시설의 설계빈도 30년에 해당하는 600mm 이상의 간선을 고려하되, 필요에 따라 관망의 연결을 위해 500~600mm 관거 일부를 포함하며, 관로의 대표직경은 관로의 연장을 가중치로 하는 가중 평균 관로직경으로 산정함
 - 예로써, 광주시 대상지 밀집지역에 설치된 하수관로는 직경이 최소 150mm에서

부록그림 9-2 | 하수관망 간소화 결과 : 광주시 대상지



- 부록그림 9-3 | SWMM 구축 : 광주시 대상지의 예시**

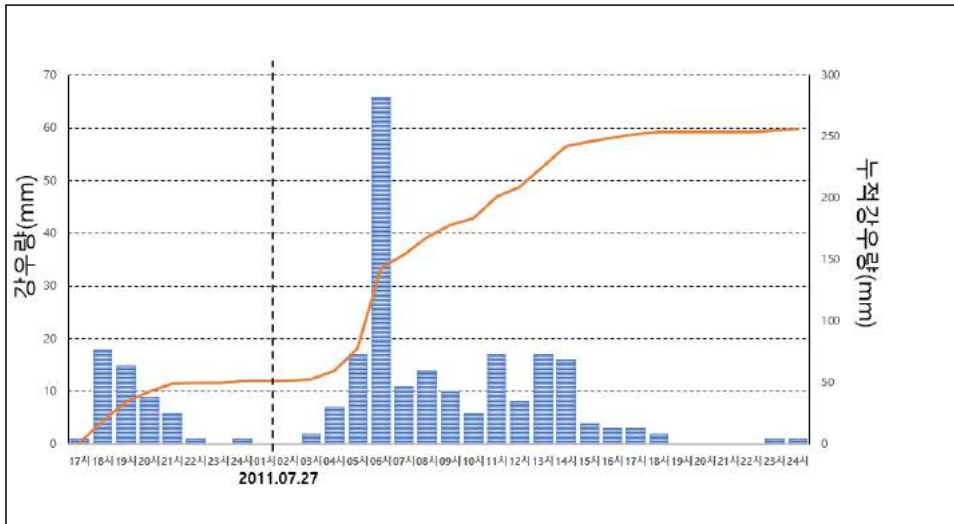


10. SWMM모형을 통한 내수침수해석의 검증

1) 광주시 대상지

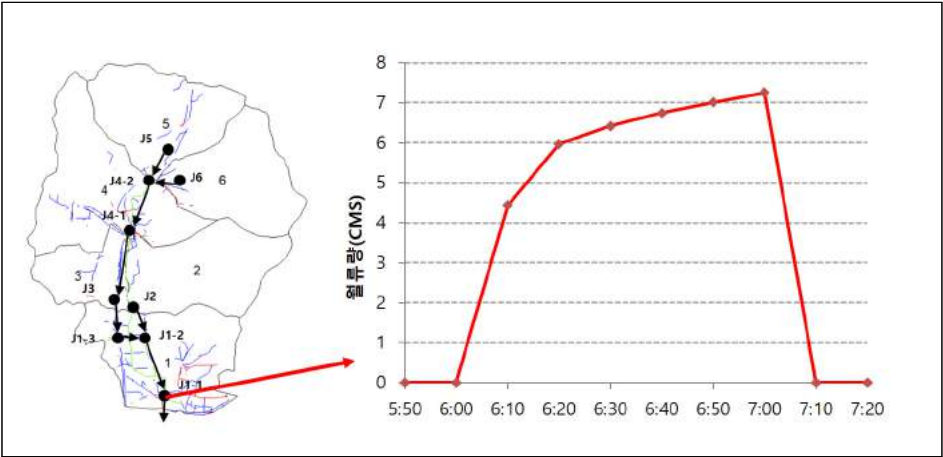
- 광주시 대상지의 SWMM 모형 검증을 위해 실제 내수침수가 발생한 2011년 7월의 강우조건(<부록그림 10-1>)에 대해 모형을 보정해 가면서 맨홀 월류량을 산정
- 산정된 월류량을 입력자료로 하는 2차원 흐름해석 모형에서 최대 침수위 결과와 실제 관측 침수위를 비교하였으며, 두 자료가 최대한 일치하도록 SWMM 모형의 매개변수를 조정
- 매개변수 조정 결과 <부록그림 10-2>과 같이 2011년 7월 27일 J1-1지점에서 06시부터 월류가 발생해 07시에 최대 7m³/s의 월류량이 발생하는 것으로 나타났으며, 이 월류량에 대한 2차원 흐름해석 결과(<부록그림 10-3>)는 당시의 침수흔적도인 <부록그림 10-4>를 잘 설명할 수 있는 것으로 확인

부록그림 10-1 | 광주시 대상지의 2011년 7월 26일에서 27일 사이 기왕홍수사상



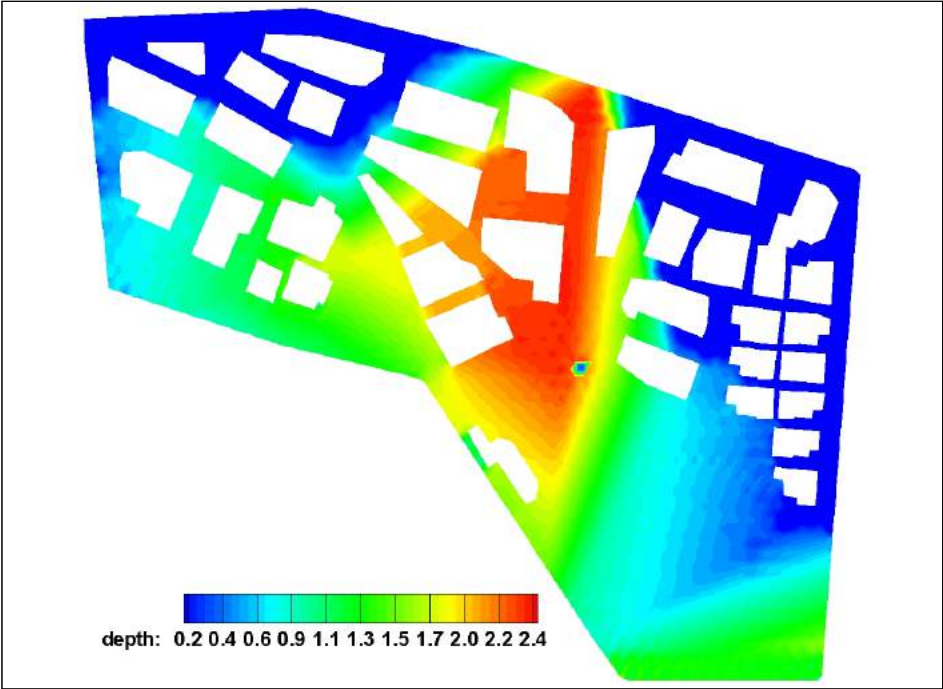
자료: 저자 작성

부록그림 10-2 | 광주시 대상지의 기왕 홍수사상에서 J1-1지점 SWMM 월류량 모의 결과



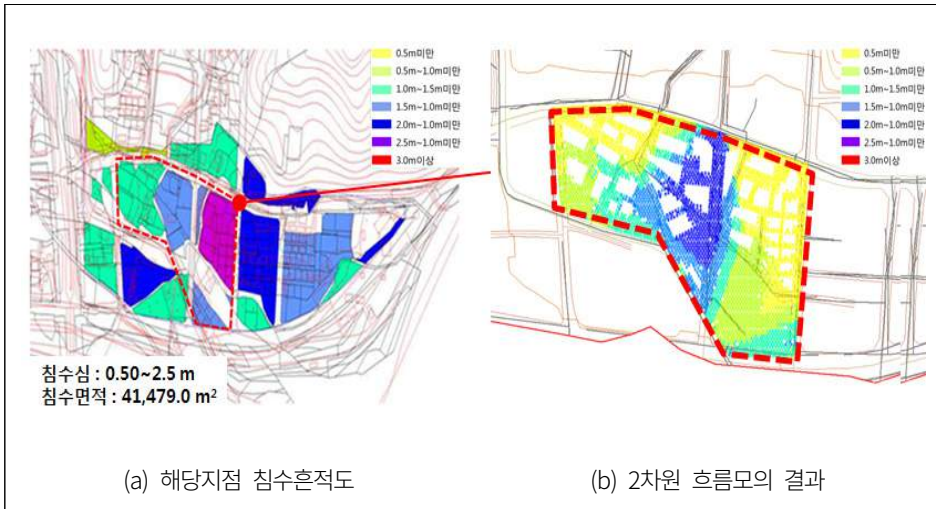
자료: 저자 작성

부록그림 10-3 | 광주시 대상지의 기왕 홍수사상에서 J1-1지점 일대의 침수영역 모의 결과



자료: 저자 작성

부록그림 10-4 | 광주시 대상지의 기왕 홍수사상에서 모형 검증 결과

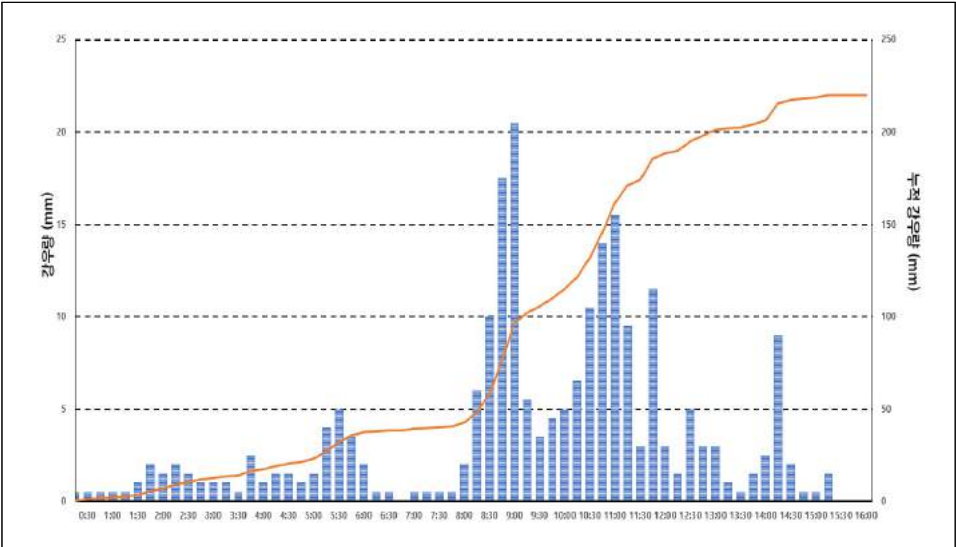


자료: 저자 작성

2) 포천시 대상지

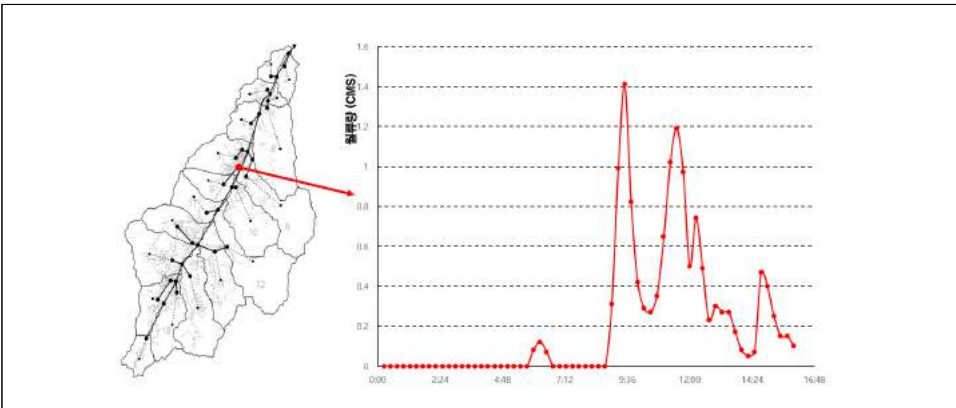
- 광주시 대상지의 SWMM 모형 검증을 위해 실제 내수침수가 발생한 2016년 7월의 강우조건(<부록그림 10-5>)에 대해 모형을 보정해 가면서 맨홀 월류량을 산정
- 산정된 월류량을 입력자료로 하는 2차원 흐름해석 모형에서 최대 침수위 결과와 실제 관측 침수위를 비교하였으며, 두 자료가 최대한 일치하도록 SWMM 모형의 매개변수를 조정
- 매개변수 조정 결과 <부록그림 10-6>과 같이 2016년 7월 5일 J17지점에서 06시부터 월류가 발생해 09시에 최대 7m³/s의 월류량이 발생하는 것으로 나타났으며, 이 월류량에 대한 2차원 흐름해석 결과(<부록그림 10-7>)는 당시의 침수흔적도인 <부록그림 10-8>를 잘 설명할 수 있는 것으로 확인

부록그림 10-5 | 포천시 대상지의 기왕 홍수사상(2016.07.05.)



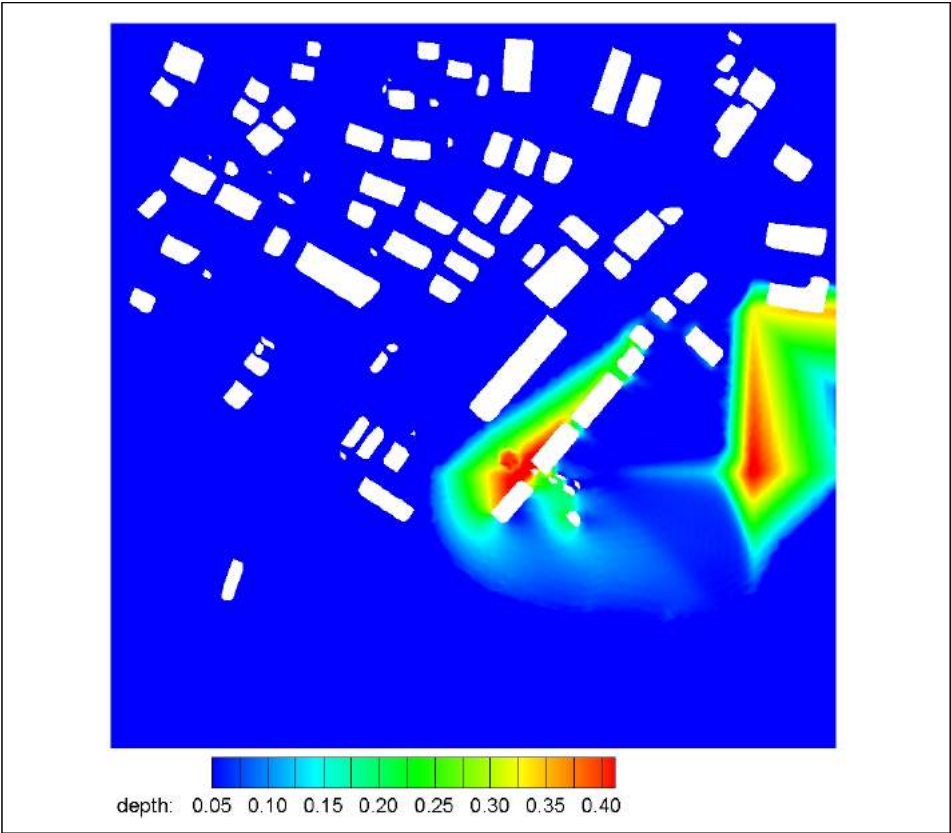
자료: 저자 작성

부록그림 10-6 | 포천시 대상지의 기왕 홍수사상에서 J17지점 SWMM 월류량 모의 결과



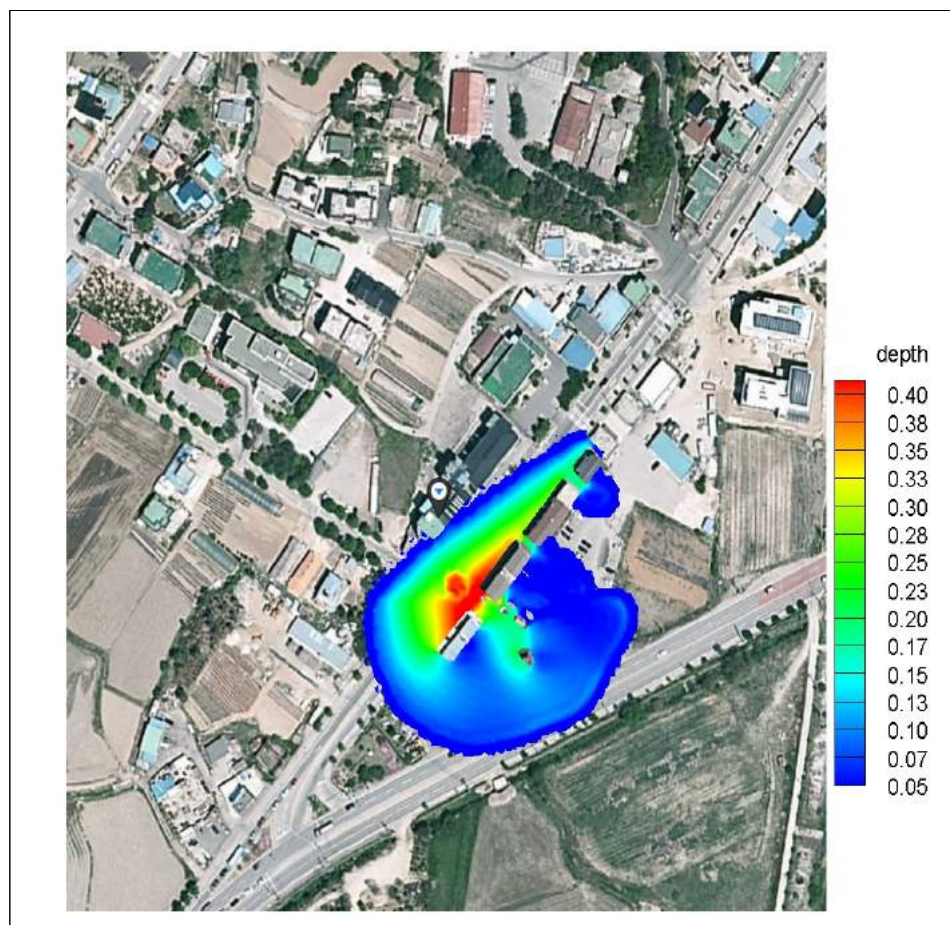
자료: 저자 작성

부록그림 10-7 | 포천시 대상지의 기왕 홍수사상에서 J7지점 일대의 침수영역 모의 결과



자료: 저자 작성

부록그림 10-8 | 포천시 대상지의 기왕 홍수사상에서 2차원 흐름모의 결과



자료: 저자 작성

11. 방재대책 입지 선정을 위한 방법론 선정

- 다양한 MCDM 가운데 방재대책 입지 선정의 문제에 적합한 방법을 선정하기 위해 <부록표 11-1>과 같이 각각의 방법에 대한 특성을 조사함
 - 평가기준에 따른 대안의 성과를 효용 또는 가치로 환산 가능한 경우 다속성 효용가치 함수에 따라 최적해를 구하는 것이 가장 이론적으로 타당함
 - 하지만 평가기준이 다양한 경우 일괄적으로 효용 또는 가치로 환산하는 것은 많은 시간과 노력이 필요할 뿐만 아니라, 너무 많은 가정을 종종 요구함
 - 대안으로서, 관리과학(OR) 분야에서 70년대 이후 평가기준간의 쌍대비교를 통해 주관적인 중요도를 계량한 뒤 대안의 종합점수를 평가하는 방법, 다양한 평가기준에 걸쳐 대안의 우월성을 계량한 뒤 대안의 우선순위를 결정하는 방법, 가상의 이상적인 대안과 유사한 대안을 선택하는 방법 등이 제안됨
- <부록표 11-1>의 방법들 가운데 어떤 방법도 모든 결정 문제에 적용할 수 있을 만큼 완벽하지 않기 때문에 최근 들어서는 해당 문제의 특성에 맞춰 방법론 상의 단점을 보완할 수 있도록 두 가지 이상을 연계하는 방법이 중시되고 있음 (Macharis 외, 2004; Chung과 Lee, 2009; de Brio와 Evers, 2016)
 - 본 연구에서는 도시침수에 대해 활용 가능한 다양한 위험정보를 이용해 대상지 내 고위험지역을 결정하는 데에 쌍대비교 방법인 AHP와 우선순위 방법인 PROMETHEE를 연계해 서로의 단점을 보완하기로 함

부록표 11-1 | 대표적인 MCDM 기법

방법	특징	대표적인 예	기본개념
다속성 효용·가치 함수	- 효용이나 가치함수를 사용해 의사결정자의 선호도를 정의한 뒤 모든 평가기준을 공통된 무차원 척도로 표현 - 한 기준의 낮은 성과가 다른 기준의 우수한 성과로 보완될 수 있다는 점을 가정으로 함 - 이론적인 기초가 잘 정립되어 있지만, 선호도 함수를 도출하는 데 어려움이 있을 뿐만 아니라 많은 시간을 요구함(Schuwirth et al., 2012)	MAUT	일련의 속성이 지닌 효용가치를 서로 비교해 결정
		MAVT	MAUT를 단순화한 방법
쌍대 비교	- 미리 정의된 척적을 이용해, 하나의 기준이 다른 것 보다 얼마나 더 중요한 지에 대한 질문을 토대로 기준 간의 중요도를 정량화하는 방법 - 쌍대비교는 효용함수를 정의하는 것이 불가능할 경우 매우 유용한 방법으로 간주됨 - 개념상의 단순함과 방법론상의 유연함으로 인해 AHP는 MCDM 기법 중에서 가장 많이 활용됨	AHP	쌍대비교 척적에 따라 MCDM 문제를 분석하기 위한 구조화된 기법
		ANP	기준간의 상호의존성을 엄격하게 고려하기 위해 AHP를 확장한 방법
우선 순위	- 우선순위 접근법은 한 가지 기준이 다른 것 보다 우월한 정도(degree of dominance)를 가질 수 있다는 원칙에서 출발함(단 하나의 최적 대안이 존재한다는 의미는 아님) - 우선순위 접근법의 장점은 효용이나 가치함수를 별도로 정의하지 않기 때문에 평가기준간의 복잡한 교호작용(compensation)을 피할 수 있으며, 표준화 절차를 요구하지 않으므로 원자료의 변경이 발생하지 않는다는 점임 - 평가기준의 축적이 매우 다양하고, 단위가 서로 어울리지 않거나 비교 불가능할 경우 다른 MCDM 기법에 비해 비교 우위를 갖는 방법이라 할 수 있음(Linkov 외, 2004)	ELECTRE	일치도와 불일치도 지수를 결정함으로써 대안 간의 우선순위를 따지는 기법
		PROMETHEE	정의된 가중치에 따라 각 대안의 우선순위를 판별할 수 있도록 선호도 유출량을 산정하는 기법
이상치 거리	- 의사결정자의 목적에 최고로 잘 부합하는 가설적인 대안을 정의한 뒤 이 대안의 이상치로부터 거리를 토대로 각 대안을 평가(이상치와 가장 가까운 대안을 선택) - 대안과 평가기준을 무제한으로 고려할 수 있는 점이 장점임	TOPSIS	최고의 대안은 이상적인 대안에 가장 가까운 것이라는 개념에 근거한 기법
		CP	가장 적절한 대안을 선택하기 위해 거리척도를 사용하는 기법
		VIKOR	충돌하는 기준을 가진 문제에서 최적 대안을 결정할 수 있도록 종합함수 사용
기타	- 퍼지이론을 접목하거나 위의 기법을 서로 연계하는 방식도 취하고 있음 - 해당 문제에 맞춰 위의 기법을 수정 또는 확장시키는 방법도 발표되고 있음	SAW	대안별로 각각의 속성에 대한 가중점수를 산정한 뒤 결정하는 방법

주: 약어설명: MAUT (Multi-attribute utility theory), MAVT (Multi-attribute value theory), AHP (Analytical hierarchy process), ANP (analytical network process), MACBETH (measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique), ELECTRE (Elimination et choix traduisant la réalité), PROMETHEE (preference ranking organization method for enrichment of evaluations), ORESTE (Organization, rangement et synthèse de données relationnelles), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution), CP (Compromise programming), VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)

자료: 저자 작성

- AHP는 Saaty (1980, 1986)가 심리학과 수학의 이론을 접목해 개발한 방법으로,
 - ① 복잡한 문제를 목표, 평가기준, 대안의 관계로 계층 구조화하는 방법, ② 비율척도를 통해 평가기준간의 중요도에 대한 판단을 정량화하는 방법, ③ 주관적인 판단에 대한 일관성을 검증하는 방법, ④ 최종 대안을 결정하는 방법⁷⁾ 등을 포괄함
- 쉽게 얻을 수 있는 직관적 또는 합리적인 판단을 이용해 의사결정에 필요한 모든 과정에 대한 방법을 제공하기 때문에 매우 방대한 분야에서 의사결정의 중요한 수단으로 활용됨
- 방재분야에서도 <부록표 11-2>와 같이 쉽게 구할 수 있는 위험정보를 종합해 각 지역 위험도를 특성화하려는 목적으로 적용된 사례가 있음

부록표 11-2 | 방재분야에서 위험도 평가를 위해 AHP기법을 적용한 대표적인 사례

연구자	재해종류	분석지표	실증 대상지
양인태 외 (2006)	산사태	취약성	강원도 남부지역
Sinha 외 (2008)	일반홍수	위험도 지수 (flood risk index)	인도 Kosi강 유역
Saxena 외 (2009)	연안홍수	종합 취약성 지수 (composite vulnerability index)	인도 Cuddalore 지역
민병근 외 (2013)	산사태	산사태 발생 위험등급	부산시 영도구 일대
Ouma와 Tateishi (2014)	도시침수	위험도 지수 (urban flood risk index)	케냐 Eldoret시
정건희 (2015)	일반홍수	홍수 취약성 지수	한국 낙동강 유역 태국 차오프라야 유역
Fernandez 외 (2016)	도시침수	Grid단위의 사회 취약성 (social vulnerability)	포르투갈 Vila Nova de Gaia 시

자료: 저자 작성

- 하지만 AHP가 지닌 결정규칙에 대한 이론적인 한계는 오랜 기간 지적받아 오고 있는 것이 사실임
- 단위계가 저마다 다른 평가기준에 대한 대안의 성과를 효용함수, 선호도 지수 등으로 치환하는 노력 없이, “단순히 성과를 표준화한 뒤 가중 합계”한 뒤 대안의 종합점수를 비교하기 때문에 개념적으로 쉽게 설명하기 힘들

7) 즉, 대안의 평가기준별 성과를 종합해 적합도를 판단하는 방법이다.

- 이러한 가중 합계 방식은 연구자에게 개념적으로 불편함에 그치지 않고, 특정한 대안이나 평가기준을 추가하거나 제외할 때 순위역전현상도 자주 발생하기 때문에 결정규칙의 안정성(stability)에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있음
- 이는 대안 결정에 사용되는 종합점수를 얻는 데 있어서 대안의 평가기준별 성과에 대한 중요한 정보가 손실되기 때문임(Guitouni와 Martel, 1998; Ishizaka와 Labib 2009)
- PROMETHEE는 Brans(1982), Brans와 Vincke(1985), Brans와 Mareschal (1994)에서 제안된 기법으로, 대안의 종합점수를 산정하는 AHP와는 달리, 평가기준별로 한 대안의 타 대안에 대한 상대적인 선호도(preference degree)를 구한 뒤 종합적으로 대안 간의 “비교우위”를 결정하는 방법임
- PROMETHEE이 지닌 결정규칙은 타 MCDM 보다 우수한 것으로 알려져 있는데, 개념적으로 대안의 성과 차이를 선호도로 치환하여 축척이 다른 평가기준 간의 보상(trade-off) 문제의 해결책을 제시하고 있음(Meyer 외, 2007)⁸⁾
- 또한 PROMETHEE의 최종적인 결정규칙은 개별 평가기준에서 대안 간의 성과 차이에 대한 정보를 덜 손실하며, 그 결과 비교우위를 갖는다고 도출된 대안은 타 MCDM 방법에 비해 안정성을 보이는 특징이 있음(Brans 외, 1986; Macharis 외 2004; Gilliams 외 2005; Behzadian 외, 2010)
- 결정규칙에 대한 우수성에도 불구하고, PROMETHEE는 문제의 복잡성이 증가할수록 타 MCDM과의 연계를 필요로 함
- 즉, 의사결정 문제를 다룸에 있어서 결정규칙 이외의 사항(의사결정 문제를 효과적으로 정의하는 방법, 평가기준간의 중요도를 결정하는 방법 등)에 대해서는 구체적인 방법을 정하고 있지 않음⁹⁾

8) 예를 들어, AHP의 경우 대안의 종합점수를 산정하는 과정에서 한 평가기준의 낮은 성과가 축척이 전혀 다른 평가기준의 높은 성과에 의해 “직접적으로” 보상된다.

9) Behzadian 외 (2010)에서 지적한 것처럼, PROMETHEE는 평가기준 간의 계층구조가 불필요하고 평가기준의 수가 과다하지 않는 비교적 단순한 의사결정의 문제를 위해 개발된 것으로, 분석자가 직관적으로 가중치를 부여할 수 있다는 가정이 내포되어 있으며, 이 점은 AHP와 결합해야 할 이유라고 할 수 있다.

- 요약하면, AHP와 PROMETHEE는 방법론상의 단점을 서로 해결해주는 특성이 비교적 명확함(<부록표 11-3>) 참고)
- 그 결과, 많은 연구(Babic와 Plazibat, 1998; Vaidya와 Kumar, 2006; Bilsel 외 2006; Wang과 Yang 2007; Behzadian 외, 2010; Samant 외, 2015)에서 두 기법은 연계로 인해 방법론 상의 시너지가 매우 높음을 강조하고 있음
- 하지만, 이 같은 방법론의 연계를 실제 문제에 적용한 사례는 그리 많지 않으며, 특히, 방재분야의 위험도 평가와 관련해서는 거의 찾아보기 힘들¹⁰⁾

부록표 11-3 | AHP와 PROMETHEE의 장단점 비교

구분	AHP	PROMETHEE
기본개념	· 문제 계층화 후 다양한 평가기준의 중요도를 결정하고, 이를 종합하는 대안의 최종점수 산정	· 각 평가기준별 대안의 우월성을 종합해 대안의 우선순위 결정
장점	· AHP는 복잡한 문제를 핵심적인 구성요소로 분해하여 단순화시킴으로써 결정트리의 형태의 분석 가능한 조작적인 틀을 제공 · 전문가의 판단을 기초로 평가기준 간의 중요도를 부여하는 정량화 수단과 절차를 제공하며, 그룹 판단을 지원함	· 각 평가기준을 표준화하지 않고 단위계를 그대로 활용해 대안을 평가 · 인위적으로 종합점수를 부과하지 않기 때문에 대안의 평가기준별 교호작용(trade-offs between scores on criteria)에 의한 정보 손실이 적음 · 가중치 변화에 따른 민감성을 분석할 수 있는 수단 제공
단점	· 대안의 결정규칙(종합 점수화) · 평가기준의 단위가 서로 상이함에도 불구하고, 대안에 대한 다기준의 성과를 가중평균해 종합점수를 부여하는 방식의 이론적 근거 부족 · 평가기준의 결합으로 정보 손실(기준간의 교호작용을 단순화) 발생	· 문제의 구조화 방법을 제공하지 않아 평가기준이 증가될수록 전체 결정 문제를 이해가 힘들어짐 · 평가기준간의 가중치 결정 방법을 제공하지 않아 분석자 주관에 크게 작용하고, 기준이 많을 경우 가중치의 신뢰성이 크게 저하

자료: Macharis 외 (2004); Samant 외 (2015); de Brio와 Evers(2016)

10) 예외적으로, 오세민 외 (2015)의 연구에서 강원도를 대상으로 시·군 단위의 폭설 위험지역을 분석하기 위해 AHP와 PROMETHEE의 연계기법을 적용하였는데, 13가지 세부평가기준을 종합해 선정된 고위험지역은 실제 피해로 잘 설명됨을 제시하였다.

12. AHP 설문조사지

『도시침수 위험도 평가를 위한 중요도 설문조사』

안녕하십니까?

본 설문조사는 도시침수 고위험지역 선정을 위한 평가기준별 가중치를 체계적으로 결정하기 위한 설문입니다. 본 설문조사에 앞서 1차년도 연구동안 도시침수 위험도의 평가기준을 도출하였으며, '17. 2. 6. 자문회의를 개최하여 설문조사 방법 및 조사서를 보완하였습니다.

부디 바쁘시더라도 설문에 협조하여 주시면 감사하겠습니다.

2017. 2.

조사기관 : 00연구원 00연구본부 00연구센터

담당자 : 연구원 김00 (000-000-000 / se0000@000.00.kr)

■ 응답자 기초정보

성명	소속	전문분야

- 설문조사 전에 설문목적, 평가에 사용되는 각 기준의 의미, 결과 활용방법에 대해 충분한 정보가 제공되었으며, 위험도 평가기준에 대해 동의하십니까? (Yes / No)

0. 사전정보: 도시침수 위험도 개념 구조 정의

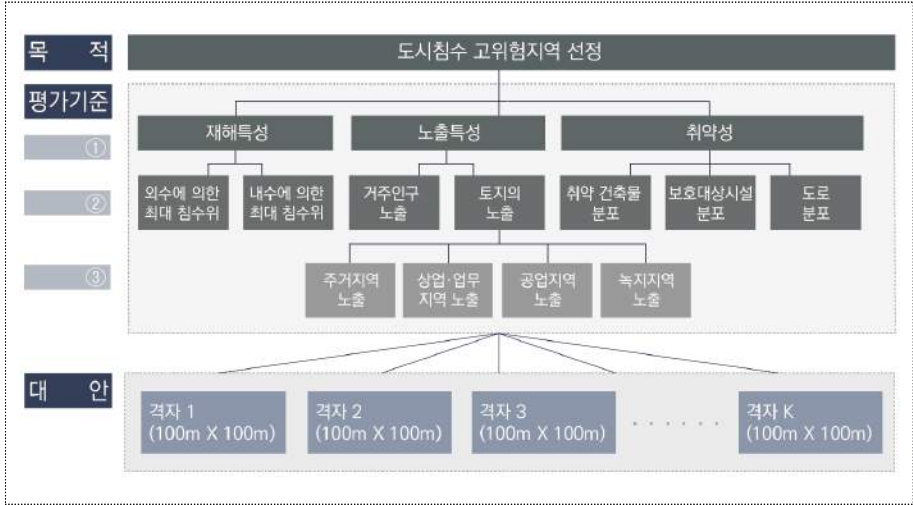
■ 도시침수 위험도의 기본 개념

- UN ISDR(2009)의 포괄적 재난 위험도 개념을 토대로, 1차년도 연구에서 정의한 위험도 개념 적용

- ◎ 위험도(risk): 특정 공간에 침수로 발생할 수 있는 잠재적인 피해규모로서 재해특성, 노출 특성, 취약성에 의해 결정
 - 인명피해보다는 경제적 피해와 주민고충에 초점을 둠
- ◎ 재해특성(hazard): 방어능력을 초과하는 강우조건(30년과 100년 빈도의 2041~2070년 전망치 기준)에서 내·외수에 의해 특정 공간이 위협받는 정도
 - 자연현상에 의해 물리적으로 발생하는 침수위에 초점을 둠
- ◎ 노출특성(exposure): 해당 강우조건에서 특정 공간이 침수에 노출된 정도
 - 침수에 대한 인구 및 토지이용의 영향에 초점을 둠
- ◎ 취약성(vulnerability): 기상·수문 현상과 무관하게, 피해민감성에 영향을 주는 해당 공간 고유의 특징
 - 해당 공간에 포함된 취약한 건축물, 시설, 도로 등의 분포에 초점을 둠

■ 도시침수 위험도의 계층구조

- 위험도 구성요소를 평가기준(criteria)으로 간주
- 도시침수 예방대책 지원시스템이 제공하는 각종 위험정보를 중심으로 세부 평가기준(sub-criteria)을 마련한 뒤 다음과 같이 계층구조를 정의함
 - 위험도 평가의 공간범위: 최근 도시침수 피해가 집중된 지점을 포괄하는 집수구역(피해위치 조사 및 지형분석 방법론은 1차년도 연구에서 제시)
 - 위험도 평가의 공간단위: 최소 수준의 지구단위계획구역에 해당되는 1만^m² (100m×100m) 크기의 격자 단위

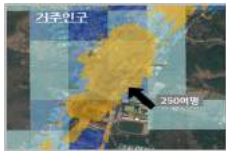
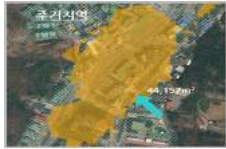


《도시침수 고위험지역 선정을 위한 계층구조》

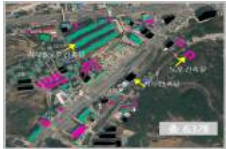
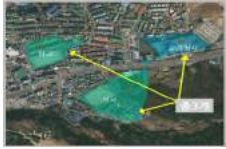
(1) 재해특성의 세부 평가기준

세부 평가기준	설명	예시
A ₁ : 외수에 의한 최대 침수위(단위: cm)	100년 빈도 강우조건 하의 하수범람 모의를 통해 분석된, 해당공간 내 최대 침수위	
A ₂ : 내수에 의한 최대 침수위(단위: cm)	30년 빈도 강우조건 하의 내수침수(역류, 노면침체 등) 모의를 통해 분석된, 해당공간 내 최대 침수위	

(2) 노출특성의 세부 평가기준

세부 평가기준	설명	예시
B ₁ : 거주인구의 노출 (단위: 명)	해당공간 내 침수 영향권에 거주하는 총 인구 ※ 1차년도 연구결과에 따라 영향권은 30년과 100년 빈도 각각의 침수위를 고려해 지정함	
B ₂ : 토지의 노출 (단위: m ²)	해당공간 내 침수 영향권에 포함된 토지면적 ※ 주거지역, 상업·업무지역, 공업지역 또는 녹지지역을 포함	-
B ₂₁ : 주거지역의 노출 (단위: m ²)	해당공간이 주거지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적	
B ₂₂ : 상업·업무지역의 노출(단위: m ²)	해당공간이 상업·업무지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적	
B ₂₃ : 공업지역의 노출 (단위: m ²)	해당공간이 공업지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적	
B ₂₄ : 녹지지역의 노출 (단위: m ²)	해당공간이 녹지지역에 위치할 경우 침수 영향권에 포함된 총 면적	

(3) 취약성의 세부 평가기준

세부 평가기준	설명	예시
C ₁ : 취약 건축물 분포 (단위: 개수)	해당공간 내 노후 ^(30년 이상) 또는 지하 건축물의 수	
C ₂ : 보호대상시설 분포 (단위: 개수)	해당공간 내 전기공급시설, 가스공급설비, 공공청사, 종합의료시설, 수질오염방지시설, 폐기물처리시설 등의 수 ※ 1차년도 연구에서 침수피해에 민감하거나 2차피해 잠재성이 높은 시설을 선정	
C ₃ : 도로분포 (단위: m)	해당공간 내 포함된 도로 연장 ※ 국토계획법 상 도로의 사용 및 형태별 구분을 기준으로 일반도로, 자동차전용도로, 지하도로, 보행자도로를 포함	

I. 1단계 평가기준의 중요도 비교를 위한 문항

1. 도시침수 위험도를 판단하기 위한 평가기준간 상대적 중요도는?

비교대상			재해특성							노출특성							취약성			
			A							B							C			
평가항목	극히 많이 중요			- 동등하게 중요							- 극히 많이 중요							평가항목		
재해특성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	노출특성		
재해특성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	취약성		
노출특성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	취약성		

- ①점 : 동등하게 중요 ③점 : 약간 중요 ⑤점 : 많이 중요
 ⑦점 : 아주 많이 중요 ⑨점 : 극히 많이 중요
 ②, ④, ⑥점 : 각 항목의 중간값 ※ 해당되는 칸에 V표시를 하주세요.

II. 2단계 평가기준의 중요도 비교를 위한 문항

1. 도시침수 재해특성을 판단하기 위한 평가기준간 상대적 중요도는?

비교대상	외수에 의한 최대 침수위(cm)										내수에 의한 최대 침수위(cm)									
	A ₁										A ₂									
평가항목	극히 많이 중요					- 동등하게 중요					- 극히 많이 중요					평가항목				
외수에 의한 최대 침수위(cm)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	내수에 의한 최대 침수위(cm)		

- ①점 : 동등하게 중요 ③점 : 약간 중요 ⑤점 : 많이 중요
 ⑦점 : 아주 많이 중요 ⑨점 : 극히 많이 중요
 ②, ④, ⑥점 : 각 항목의 중간값 ※ 해당되는 칸에 V표시를 하주세요.

2. 도시침수 노출특성을 판단하기 위한 평가기준간 상대적 중요도는?

비교대상	거주인구 노출(명)										토지의 노출(m ²)									
	B ₁										B ₂									
평가항목	극히 많이 중요					-	동등하게 중요					-	극히 많이 중요					평가항목		
거주인구 노출(명)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	토지의 노출(m ²)		

①점 : 동등하게 중요 ③점 : 약간 중요 ⑤점 : 많이 중요
 ⑦점 : 아주 많이 중요 ⑨점 : 극히 많이 중요
 ②, ④, ⑥점 : 각 항목의 중간값 ※ 해당되는 칸에 V표시를 해주세요

3. 도시침수 취약성을 판단하기 위한 평가기준간 상대적 중요도는?

비교대상	취약 건축물 분포(개수)										보호대상시설 분포(개수)										도로 분포(m)									
C ₁										C ₂										C ₃										
평가항목	극히 많이 중요					-	동등하게 중요					-	극히 많이 중요					평가항목												
취약 건축물 분포(개수)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	보호대상시설 분포(개수)												
취약 건축물 분포(개수)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	도로 분포(m)												
보호대상시설 분포(개수)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	도로 분포(m)												

①점 : 동등하게 중요 ③점 : 약간 중요 ⑤점 : 많이 중요
 ⑦점 : 아주 많이 중요 ⑨점 : 극히 많이 중요
 ②, ④, ⑥점 : 각 항목의 중간값 ※ 해당되는 칸에 V표시를 해주세요

Ⅲ. 3단계 평가기준의 중요도 비교를 위한 문항

1. 토지의 노출특성을 판단하기 위한 평가기준간 상대적 중요도는?

비교대상	토지의 노출(m ²)			
	주거지역 노출(m ²)	상업·업무지역 노출(m ²)	공업지역 노출(m ²)	녹지지역 노출(m ²)
	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	B ₂₄

평가항목	극히 많이 중요 - 동등하게 중요 - 극히 많이 중요																평가항목	
주거지역 노출(m ²)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	상업업무지역 노출(m ²)
주거지역 노출(m ²)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	공업지역 노출(m ²)
주거지역 노출(m ²)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	녹지지역 노출(m ²)
상업업무지역 노출(m ²)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	공업지역 노출(m ²)
상업업무지역 노출(m ²)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	녹지지역 노출(m ²)
공업지역 노출(m ²)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	녹지지역 노출(m ²)

①점 : 동등하게 중요

③점 : 약간 중요

⑤점 : 많이 중요

⑦점 : 아주 많이 중요

⑨점 : 극히 많이 중요

②, ④, ⑥점 : 각 항목의 중간값

※ 해당되는 칸에 V표시를 해주세요.

- 바쁘신 중에도 시간을 내어주셔서 대단히 감사드립니다. -

13. AHP 설문조사 결과: 평가기준별 가중치

1) 전문가 집단 가중치

(1) 1단계 평가기준

응답자	고위험지역 선정을 위한 평가기준		
	재해특성	노출특성	취약성
1	0.429	0.429	0.142
2	0.750	0.125	0.125
3	0.637	0.105	0.258
4	0.067	0.218	0.715
5	0.687	0.186	0.127
6	0.625	0.238	0.137
7	0.637	0.105	0.258
8	0.143	0.143	0.714
9	0.090	0.245	0.665
10	0.701	0.097	0.202
11	0.097	0.333	0.570
12	0.200	0.600	0.200
13	0.444	0.444	0.112
14	0.056	0.260	0.684
15	0.731	0.081	0.188
16	0.067	0.272	0.661
17	0.309	0.582	0.109
18	0.731	0.188	0.081
19	0.152	0.218	0.630
20	0.691	0.091	0.218
21	0.429	0.429	0.142
22	0.097	0.202	0.701
기하평균	0.364	0.273	0.363

주: 일관성 부족 5인, 이상치 1인 등 총 6인의 응답 제외
자료: 저자 작성

(2) 2단계 평가기준

① 재해특성

응답자	재해특성	
	외수에 의한 최대 침수위(cm)	내수에 의한 최대 침수위(cm)
1	0.250	0.750
2	0.800	0.200
3	0.500	0.500
4	0.833	0.167
5	0.125	0.875
6	0.167	0.833
7	0.111	0.889
8	0.667	0.333
9	0.500	0.500
10	0.167	0.833
11	0.750	0.250
12	0.750	0.250
13	0.125	0.875
14	0.250	0.750
15	0.167	0.833
16	0.250	0.750
17	0.500	0.500
18	0.750	0.250
19	0.750	0.250
20	0.500	0.500
21	0.143	0.857
22	0.833	0.167
23	0.750	0.250
24	0.833	0.167
25	0.250	0.750
26	0.250	0.750
27	0.250	0.750
28	0.833	0.167
기하평균	0.454	0.546

자료: 저자 작성

② 노출특성

응답자	노출특성	
	거주인구 노출(명)	토지의 노출(m ²)
1	0.800	0.200
2	0.833	0.167
3	0.833	0.167
4	0.875	0.125
5	0.875	0.125
6	0.875	0.125
7	0.875	0.125
8	0.833	0.167
9	0.833	0.167
10	0.800	0.200
11	0.857	0.143
12	0.750	0.250
13	0.833	0.167
14	0.900	0.100
15	0.875	0.125
16	0.800	0.200
17	0.750	0.250
18	0.857	0.143
19	0.889	0.111
20	0.875	0.125
21	0.750	0.250
22	0.667	0.333
23	0.857	0.143
24	0.833	0.167
기하평균	0.836	0.164

주: 이상치 4인의 응답 제외
자료: 저자 작성

③ 취약성

응답자	취약성		
	취약 건축물 분포(개수)	보호대상시설 분포(개수)	도로 분포(m)
1	0.258	0.637	0.105
2	0.263	0.658	0.079
3	0.709	0.212	0.079
4	0.637	0.258	0.105
5	0.731	0.188	0.081
6	0.058	0.735	0.207
7	0.637	0.258	0.105
8	0.455	0.455	0.090
9	0.455	0.455	0.090
10	0.250	0.655	0.095
11	0.455	0.455	0.090
12	0.731	0.188	0.081
13	0.279	0.649	0.072
14	0.167	0.666	0.167
15	0.637	0.258	0.105
16	0.644	0.271	0.085
17	0.279	0.649	0.072
18	0.657	0.196	0.147
19	0.584	0.281	0.135
20	0.687	0.186	0.127
21	0.637	0.258	0.105
22	0.229	0.696	0.075
기하평균	0.465	0.421	0.114

주: 일관성 부족 4인, 이상치 2인 등 총 6인의 응답 제외
자료: 저자 작성

(3) 3단계 평가기준

① 토지의 노출특성

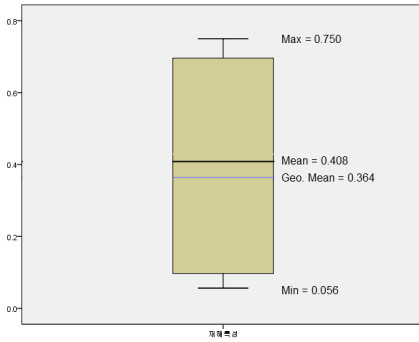
응답자	토지의 노출특성			
	주거지역 노출(m ²)	상업·업무지역 노출(m ²)	공업지역 노출(m ²)	녹지지역 노출(m ²)
1	0.528	0.210	0.210	0.052
2	0.416	0.416	0.130	0.038
3	0.650	0.147	0.147	0.056
4	0.657	0.203	0.094	0.046
5	0.598	0.135	0.228	0.039
6	0.599	0.227	0.113	0.061
7	0.607	0.249	0.102	0.042
8	0.270	0.544	0.145	0.041
9	0.369	0.442	0.156	0.033
10	0.488	0.332	0.145	0.035
11	0.566	0.267	0.127	0.040
12	0.643	0.149	0.149	0.059
13	0.589	0.264	0.118	0.029
14	0.550	0.292	0.122	0.036
15	0.633	0.228	0.104	0.035
16	0.279	0.561	0.123	0.037
17	0.514	0.251	0.164	0.071
18	0.556	0.281	0.109	0.054
19	0.600	0.210	0.152	0.038
20	0.490	0.334	0.145	0.031
기하평균	0.537	0.277	0.142	0.044

주: 일관성 부족 3인, 이상치 5인 등 총 8인의 응답 제외
자료: 저자 작성

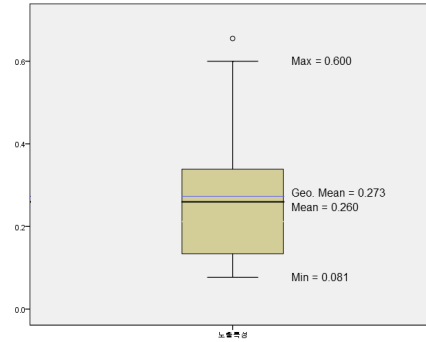
2) 각 평가기준에 대한 응답자별 가중치 범위

(1) 1단계 평가기준

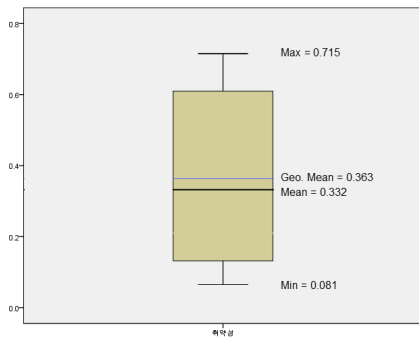
① 재해특성



② 노출특성



③ 취약성

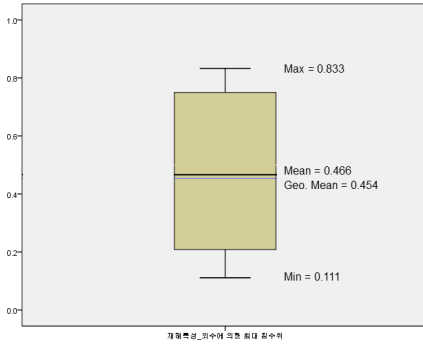


자료: 저자 작성

(2) 2단계 평가기준

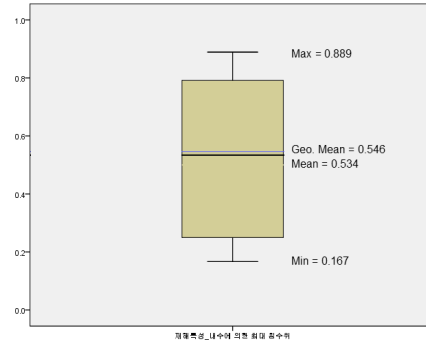
① 재해특성

가. 외수에 의한 침수위



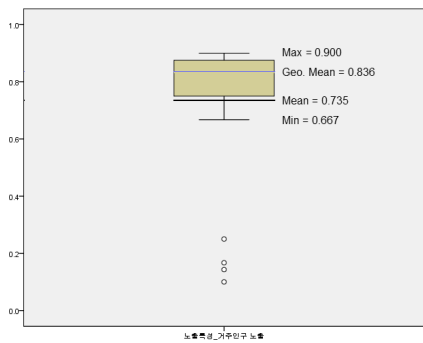
자료: 저자 작성

나. 내수에 의한 침수위



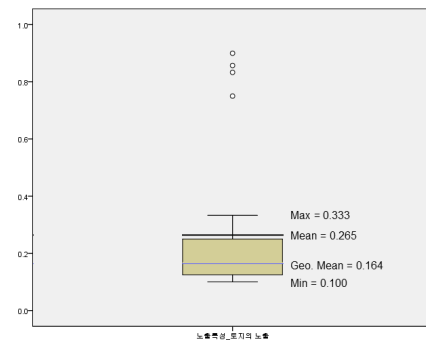
② 노출특성

가. 거주인구 노출



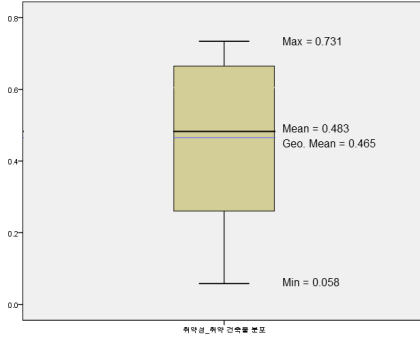
자료: 저자 작성

나. 토지의 노출



③ 취약성

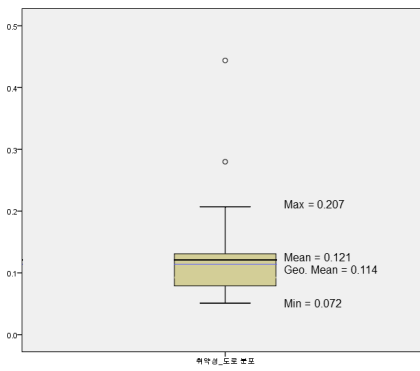
가. 취약건출물 분포



나. 보호대상시설 분포



다. 도로 분포

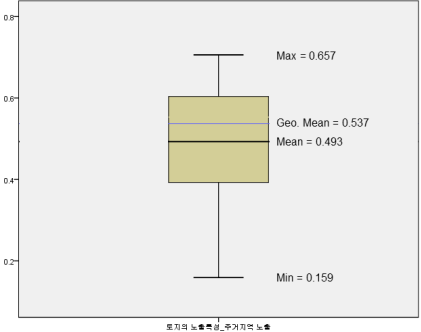


자료: 저자 작성

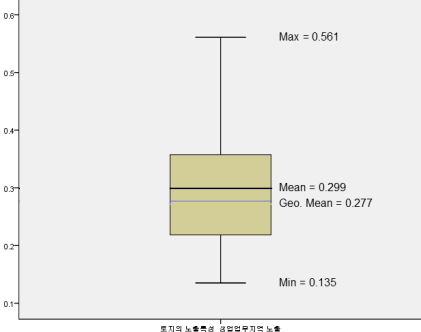
(3) 3단계 평가기준

① 토지의 노출특성

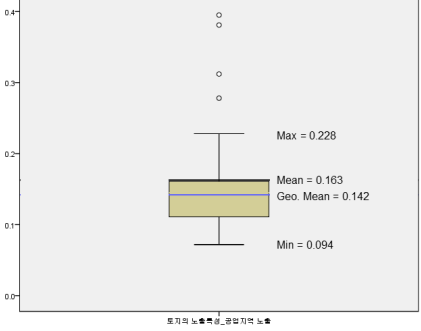
가. 주거지역 노출



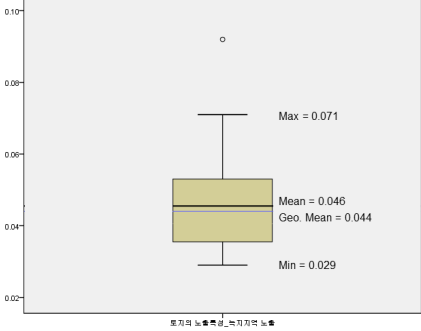
나. 상업·업무지역 노출



다. 공업지역 노출



라. 녹지지역 노출



자료: 저자 작성

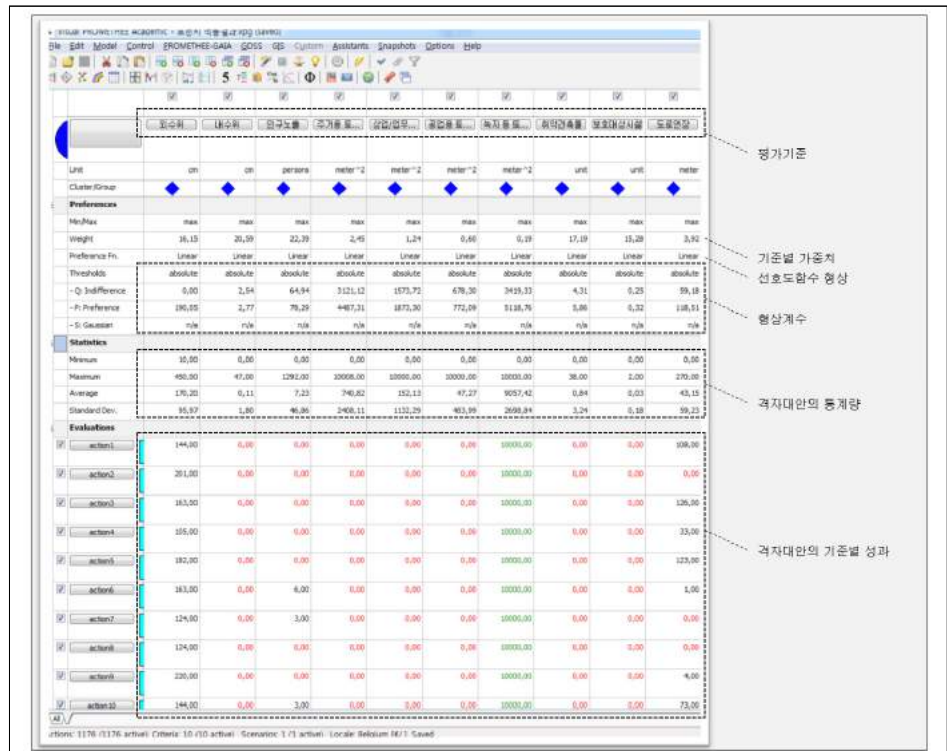
14. Visual PROMETHEE 설정값

1) 광주시 대상지

Unit	cm	cm	persons	meter^2	meter^2	meter^2	meter^2	unit	unit	meter
Cluster/Group										
Preferences										
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	16,39	19,80	22,47	2,55	1,19	0,77	0,82	16,52	15,04	4,46
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q:	122,44	11,64	182,94	0,00	1,00	1,00	0,00	4,33	1,00	107,94
- P: Preference	263,99	15,80	292,64	9214,54	2,00	2,00	9227,67	6,82	2,00	246,79
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics										
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	557,00	43,00	1111,00	10016,00	0,00	0,00	10106,00	22,00	0,00	523,00
Average	147,69	2,18	71,03	4077,89	0,00	0,00	5916,13	1,49	0,00	155,63
Standard Dev.	131,64	8,69	150,04	4587,71	0,00	0,00	4594,31	3,51	0,00	123,70
Evaluations										
action1	274,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	137,00
action2	311,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	116,00
action3	123,00	0,00	68,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	129,00
action4	142,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	131,00
action5	179,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	132,00
action6	217,00	0,00	93,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	76,00
action7	104,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	19,00
action8	123,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	1,00	0,00	0,00
action9	179,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	1,00	0,00	128,00
action10	330,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	10000,00	0,00	0,00	132,00

자료: 저자 작성

2) 포천시 대상지



자료: 저자 작성

15. 1차년도에 제시한 도시침수의 방재대책과 기대효과

부록표 15-1 | 계획적 대책수단(건축물 분야)

세부구분	주요내용	기대효과				
		재 저	해 감	노 저	출 감	취 약 감
단지 · 대지 침수방지	- 대지의 지반고를 침수위 이상으로 높임 - 노면수 유입 차단을 위한 차수시설 설치			○		
건축물 배치	- 빗물유출경로 등 자연 배수체계를 고려한 배치			○		
건축물 용도 제한	- 위험지역을 고려한 건축물의 용도 사전결정 - 침수위 이하 주거용도 제한					○
건축물 규모 제한	- 위험지역 건폐율 · 용적률 제한			○		
건축물 내수화	- 내수성 건축재료 사용					○
건축물 침수방지	- 고상식 건축(piloti)기법 적용 - 침수유입가능 경로 차단 - 건축물 차수시설 및 역류방지시설 설치			○		
건축설비	- 침수위를 고려한 전기·통신·연료·급수·배수·위생 등 건축설비 대책 마련 - 옥상저류, 빗물통 등의 설치					○
건축불허	- 위험지역의 건축불허, 신규개발 억제, 철거·이전			○		

자료: 저자 작성

부록표 15-2 | 계획적 대책수단(토지이용 분야)

세부구분	주요내용	기대효과				
		재 저	해 감	노 저	출 감	취 약 감
용도 · 시설 배치	- 인구 · 교통집중 유발효과가 높은 용도 제한 - 위험지역의 완충 · 이격을 위해 공원, 녹지, 오픈스페이스, 주차장, 운동장 등 시설 배치 - 공공청사, 의료시설, 유해물질보관시설 등 보호대상시설은 안전한 지역에 배치		○		○	○
개발입지 제어	- 저지대 평탄지, 급경사지 등 보전용지로 지정 (개발예정지에서 제외)			○		
토지매수·주민이주	- 공공에 의한 토지 매수, 개발권 매입 - 기성시가지내 소규모 취락지구 이전 검토 - 대체토지 마련			○		
자연환경의 보전 · 활용	- 공간구조 및 토지이용 배치 시 자연 배수체계 고려 - 투수성 및 침식성이 강한 토양의 개발 최소화	○		○		

자료: 저자 작성

부록표 15-3 | 시설적 대책수단

구 분	세부구분		주요내용	기대효과		
				재 저	해 감	노 출 취 약 감
우수유출 저감시설	저류시설 설 치	지역내 저 류	- 지표저류(건물 동간, 지붕·옥상·공원·주차장· 운동장·단지 내 저류·연못 등)	○		
			- 지하저류(주차장, 공원 하부, 저류조 등)	○		
		지역외 저 류	- 전용저류지(덤식, 굴입식)	○		
			- 겸용저류지(연못저류, 지하저류)	○		
	침투시설 설 치	침투형	- 침투통, 침투측구, 침투트렌치, 투수성 포장·보도블럭 등	○		
		우물형	- 건식우물, 습식우물	○		
내·배수 시설	하천정비		- 하도단면 확대 등 통수능 확대, 천변저류지 설치	○		
	배수체계 개선		- 방류구 위치변경, 우·오수 관거 분리, 배수체계 유출경로 고려	○		
	배수능력 제고		- 우수관거 정비·확충, 정기적 준설, 설계빈도 상향, 양·배수장·배수로의 정비·확충	○		
	사면배수	지표수 배수	- 비탈어깨배수, 소단배수구, 비탈끝배수구, 종배수구, 산마루 배수구 등	○		
		지하수 배수	- 지하배수구(암거), 수평배수공, 수직배수공(집수정) 등	○		
	유출잡물유입 방지시설		- 스크린, 유입방지턱, 침사지, 그물망 설치 등	○		
도로 침수·배수 대책	도로부 배수 처리		- 노면배수시설 간격 축소, 선배수시스템 도입 - 주변 녹지대를 활용한 자연배수처리 유도	○		
	시가지 침수전이 방지		- 주변대지 지반고의 확보 - 측면부에 침수방지턱·차수판·배수관거 설치	○		

자료: 저자 작성

부록표 15-4 | 관리적 대책수단

세부구분	주요내용	기대효과		
		재 저	해 감	노 출 취 약 감
시스템 운영	- 조기 예·경보 시스템의 구축 및 운영 - 비상대처계획과 연계한 행동요령 마련			○
대피소 운영	- 주민대피 경로 설정·관리, 취약지역의 대피소 운영 등			○
시설물 관리	- 안전관련 시설물의 점검, 조치, 보수, 보강 등			○

자료: 저자 작성

16. 도시침수 예방대책 지원시스템 활용을 위한 시범사업 수요조사

1) 지자체 기술지원 시범사업 수요조사 추진계획

구분	세부 내용
일정	■ 수요조사 공지(공문 시행) : '17년 9월 30일 ■ 신청서 접수 : '17년 10월 11일 ~ 10월 27일 ■ 수요조사 결과 공지 : '17년 11월 15일까지 국토연구원 홈페이지 게재 ■ 자료 수집 : '17년 12월 중 - 연구진이 대상 지자체에 개별 방문 ■ 사업 수행 : '18년도 동안 수행하되, 각 지자체 일정 등을 고려해 조정 - 1개 지자체에 대해 약 3개월간 분석 소요 예상
사업비	■ 국토연구원의 『도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(III)』 연구사업을 통해 전액 비용 충당
대상 지자체	■ 최근 도시침수 피해가 커 재해예방형 도시계획 수립의 시급성이 높거나 재해취약성 분석이 진행 · 예정되어 있는 총 3~5개 시 · 군 · 구 선정
선정방법	■ 다음의 네 가지 기준의 충족 여부 확인 - 최근 10년 이내 기록적인 도시침수 피해발생 여부 - 최근 10년간 공공 · 건축 피해 크기(도시지역 면적당 연평균 공공 · 건축 피해액) - 최근 10년간 침수피해 발생횟수(도시지역 면적당 연평균 발생횟수) - 추가로, 하천기본계획, 하수관망도, 풍수해저감보고서 등 자료 구비상황 확인
사업내용	■ 기존의 재해취약성 분석 결과를 검증*하고 도시계획에 방재대책 추진방향을 구체적으로 작성하는 데 참고할 수 있도록 도시침수 예방대책 지원시스템을 통해 다음의 네 가지 종류의 정보 서비스 제공 - 도시침수 피해여건 : 기상 · 수문특성, 피해위치, 피해이력, 하천변 저지대 지역 - 중점관리 대상지역 : 과거피해를 토대로 도시침수 관리가 중요한 공간범위 설정 - 도시방재계획지도 : 대상지에 대해 장래 기후변화를 고려해 저지대 배수불량, 하천 범람 등에 의한 침수예상도를 제공하고 영향권을 설정 - 방재대책 추진방향 : 기상 · 수문 · 주거환경 · 기반시설 등 다양한 요소를 종합해 대상지역 내 대책이 시급한 고위험지역 위치를 결정하고, 대책수립 방향에 대한 의견 제공 * 아직 재해취약성 분석이 실시되지 않은 경우 과거피해이력, 담당자 면담, 현장조사, 지형분석 등을 통해 중점관리 대상지역 설정 후 사업의 공간범위를 설정

주: '17년 9월 30일 공문 시행

자료: 저자 작성

2) 배포된 수요조사 신청서 양식

신청기관	기관명		부서명		담당자명	
담당자	직위(직급))		직장전화		e-mail	
재해취약성 분석 여부	☐ 수립 완료 (년도:) ☐ 수립 예정 (년도:) ☐ 수립 중 ☐ 예정 없음					
도시침수 피해발생 이력	() ※ 년도와 위치 등에 대해 개략적으로 서술하시기 바랍니다.					
도시침수 관련 기초정보 보유 현황	(필수) 하천기본계획 전자파일(RAS, CAD)				☐ 유 ☐ 무 ☐ 일부	
					☐ 유 ☐ 무 ☐ 일부	
	(필수) 하수관망도 전자파일(CAD, shp)				☐ 유 ☐ 무 ☐ 일부	
					☐ 유 ☐ 무 ☐ 일부	
(선택) 풍수해저감종합계획 보고서				☐ 기 수립 ☐ 미 수립		
도시침수 예방대책 지원시스템 활용에 대한 시범사업을 신청합니다. 2017. . . . 신청기관명 : 신 청 자 : (인)						

자료: 저자 작성

17. 시범사업 대상지 도시침수 피해이력

1) 부산광역시

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	중구	'09.07.16	• 중구 일대 - 부산지역 시간당 최고 90mm의 호우 - 중앙우체국 주변 침수로 교통 제한
	동구	'17.09.11	• 동구 초량동 - 부산 최고 300mm의 폭우 - 부산국제여객터미널 앞 대로 침수
		'09.07.07	• 동구 범일동 - 부산 최고 289mm의 폭우, 장마전선의 영향 - 지하철도 침수로 차량 고립
	영도구	'17.07.04	• 영도구 남항동 - 최대 227mm의 누적강수량, 태풍 '난마돌' 영향 - 도로 일부 침수 • 영도구 동삼동 - 주택, 차량 침수로 2~50여톤의 배수작업
		'15.05.12	• 영도구 동삼동 - 부산 100mm이상의 폭우, 태풍 '노을'의 간접영향 - 빌라 지하 침수 피해로 6t 가량의 배수작업
		'11.07.27	• 영도구 청학1동 - 27일 새벽과 오전 223mm의 집중호우 - 주민센터 인근 주택, 도로 일부, 학교 앞 도로 침수로 차량통제 - 한진중공업과 남항초등학교 앞 도로 침수로 통제
		'09.07.07	• 영도구 동삼동 - 부산 최고 289mm의 폭우 - 동삼초등학교 뒤쪽 도로, 주택 70여 곳 침수
		'03.09.13	• 영도구 남항동 - 태풍 '매미'의 영향 - 강풍에 밀려온 파도와 해일로 주택 수십 여 가구 침수
	부산진구	'17.09.11	• 진구 전포동 - 부산 전역 최고 300mm이상의 폭우, 진구 191mm의 호우 - 전포동 도로 일부 침수 • 진구 범천동 - 노인정 침수로 노인 2명 고립됐다 구조 - 굴다리 침수로 차량 침수 및 고립
		'17.07.23	• 진구 부전동 - 밤새 최대 73mm의 호우 - 아파트 하수구 범람으로 도로 침수, 인근 주택 침수

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	동래구	'17.09.11	• 동래구 수안동 - 시간당 80mm 이상의 호우, 최대 358mm의 폭우 - 온천천 범람 - 연안교 하부도로 통제, 약국 3곳, 주택 등 침수
		'16.09.12	• 동래구 수안동 - 부산 누적강수량 116.8mm, 태풍 ‘말라카스’의 영향 - 온천천 범람하여 교량 하부도로 통제 - 일부 도로, 농경지 침수피해
		'16.07.02	• 동래구 온천동 - 부산 전역 100mm 안팎의 폭우, 장마전선 북상 - 온천천 교량 하부도로 5시간 동안 차량통제
		'14.09.02	• 동래구 수안동 - 57mm의 강수량 - 온천천 범람으로 교량 하부도로 통제
		'14.08.25	• 동래구 수안동 - 부산지역 시간당 최고 130mm의 폭우 - 한 오피스텔 지하3층~1층까지 침수되어 배수작업 - 주택 240가구, 도로 등 침수 - 온천천 범람으로 교량 하부도로 통행금지 - 지하차도의 침수로 승용차 1대 고립되어 인명피해
		'12.07.15	• 동래구 수안동 - 이틀 간 누적 강수량 250mm, 집중호우로 인한 피해 - 온천천의 범람으로 교량 하부도로 침수
		'11.07.27	• 동래구 온천동 - 부산전역 새벽~오전 사이 223mm의 강수량 - 온천천의 범람으로 세병교, 연안교 하부도로 통제
		'10.07.11	• 동래구 수안동 - 부산 125mm의 강수량, 장마전선의 북상 - 온천천이 범람하여 세병교, 연안교 하부도로 통제
		'09.07.07	• 동래구 온천동 - 부산지역 258mm의 폭우, 18년만의 최대 폭우 - 온천천이 범람하여 세병교, 연안교 하부도로 통제
		'04.08.19	• 동래구 수안동 - 국지성 호우로 새벽에만 63mm의 폭우 - 온천천 범람으로 하천 하부도로 통제
		'99.09.10	• 동래구 수안동 - 시간당 98mm의 폭우 - 온천천 범람으로 연안교 지하차도 통행금지
		'99.08.31	• 동래구 수안동 - 시간당 101.2mm의 폭우 - 온천천 범람으로 연안교 지하차도 등 도로 10여곳 침수

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	동래구	'99.07.30	• 동래구 수안동 - 부산 전역 186.4mm의 누적 강수량 - 온천천 범람으로 연안교 지하차도 통행금지
		'98.08.01	• 동래구 안락2동 - 부산지역 107.3mm의 누적강수량 - 주택 8가구 침수되어 20여명 긴급대피
		'98.04.23	• 동래구 낙민동 - 이틀 간 87mm의 호우 - 온천천 범람으로 하상도로에 주차된 차량 9대 침수
		'97.08.05	• 동래구 온천동 - 이틀 간 166.9mm의 폭우 - 온천천이 범람하여 하부도로 침수되어 통제
		'97.06.26	• 동래구 수안동 - 112.9mm의 평균 강수량 - 온천천 세병교 지하차도 침수되어 차량 통제
		'96.07.16	• 동래구 수안동 - 15일 새벽 44.2mm의 집중호우 - 온천천 범람으로 공영주차장에 주차된 차량 침수
		'95.04.22	• 동래구 일대 - 21일 오후~22일 새벽까지 60.3mm의 폭우 - 안락로터리, 내성로터리 지하도 침수로 차량통행 제한
		'94.05.26	• 동래구 일대 - 113mm의 폭우 - 안락공 지하도로 등 시내 곳곳 침수
	남구	'17.09.11	• 남구 용호동 - 272mm의 폭우 - 대규모 아파트 단지 공사장 흙탕물이 교차로로 유입 - 장생포순환도로 등 도로일부 침수
		'14.09.03	• 남구 대연동 - 부산지역 57mm의 집중호우 - 대남 지하차도 침수로 차량 통제
		'11.07.27	• 남구 대연동 - 시간당 60~70mm의 폭우 - 남구 일대 막대한 피해 발생 (침수 420건 등) - 지하철 2호선 부근 침수로 배수 작업
		'09.07.17	• 남구 대연동 - 대연동 일대 1시간 만에 81.5mm의 폭우 - 일주일만에 폭우 재발생으로 큰 피해 - 대연동 일대의 교차로, 도로, 주택, 상가 등 침수
		'09.07.07	• 남구 대연동 - 대연동 342mm의 역대 하루 평균 강수량 기록 - 대연지하차도 침수로 통행제한, 상가 40여 곳 침수 피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	북구	'17.09.11	- 북구 일대 - 북구 29mm의 강수량 - 북구를 비롯한 주변 일대 침수 피해 8건
		'15.07.23	- 북구 일대 - 북구 일강수량 79mm의 집중호우 - 북구청 인근 지하차도의 침수로 차량 고립 사고 발생
		'14.09.03	- 북구 일대 - 오전~오후3시 30분까지 57mm의 강수량 - 낙동강 수위상승으로 인한 굴다리 침수
		'14.08.25	- 북구 화명동 - 부산지역 시간당 최고 130mm의 폭우 - 지하철 2호선 '화명역' 침수되어 운행 중단 - 북구 구포1동 - 양덕여자중학교 건물 3층이 침수되어 학생 400여명 대피 - 도로, 주택 등의 침수피해
		'12.07.15	- 북구 덕천동 - 부산전역,14~15일 188mm의 누적강수량 - 덕천배수장 일대 도로 침수 - 북구 화명동 - 화명생태공원 내부도로 침수
		'09.07.23	- 북구 구포동 - 시간당 5~60mm의 장대비 - 구포축산물도매시장 침수로 역대 재산 피해
		'06.07.18	- 북구 구포동 - 최대 100mm 이상의 폭우, 장마전선의 영향 - 북구 구포대교지점 홍수주의보 발령
		'04.11.11	- 북구 화명동 - 부산지역 최고 98.5mm의 국지성 집중호우 발생 - 낙동강변도로 1.8km 구간 침수로 도로 통제
		'99.07.29	- 북구 구포동 - 시간당 24.3mm의 호우 - 덕천로터리 일대 도로 침수로 통제
		'98.08.17	- 북구 화명동 - 부산지역 최고 100mm의 호우 - 낙동강 하류수위가 최고 3.5m까지 상승 - 낙동강 둔지 10만평 침수
	해운대구	'17.09.11	- 해운대구 우동 - 시간당 최대 80mm의 폭우, 232mm의 누적강수량 - 올림픽교차로의 하수관거, 모래유입으로 인한 빗물 역류발생 - 해운대구 일대 해변로 등 도로 7여 곳 침수

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	해운대구	'17.09.11	• 해운대구 송정동 - 송정교차로 일대 주택 침수 1건 • 해운대구 중동 - 주택 침수로 시민 1명 고립
		'16.10.05	• 해운대구 우동 - 부산 전역 69~121mm의 강수량 - 태풍 '차바'의 영향과 만조 시기로 해안가 인근 바닷물 범람 - 해안가에 위치한 마린시티 초고층 아파트 침수
		'14.08.25	• 해운대구 반송동 - 부산 전역 오후1시~3시까지 190mm의 강수량 - 영산대 해운대캠퍼스 도로 침수
		'12.08.28	• 해운대구 우동 - 1~20mm의 소량의 강수량, 태풍 '볼라벤'의 영향 - 마린시티 방파제를 넘어 파도로 침수
		'12.07.15	• 해운대구 우동 - 부산지역 200mm 안팎의 호우 - 벡스코 앞 도로 침수로 차량 통행 중단
		'10.08.11	• 해운대구 우동 - 100mm이상 강우 발생, 태풍 '덴무'의 영향 - 해일로 인해 해운대구 해안도로 대형 아파트 공사현장, 주차 차량 50여 대 등 침수
		'09.07.16	• 해운대구 반여동 - 시간당 최고 80mm의 호우 - 원동IC 지하차도 침수되어 통제 • 해운대구 우동 - 호텔 지하주차장 침수
		'05.09.06	• 해운대구 반송2동 - 6일 하루 257mm의 폭우, 태풍 '나비'의 영향 - 주유소 인근 소화전의 범람으로 주차차량 침수
		'99.08.31	• 해운대구 우동 - 오전 4~5시 40mm의 폭우 - 인근 도로 침수로 차량 통행 • 해운대구 송정동 - 주유소 앞 도로 침수로 차량통행 제한
		'99.07.22	• 해운대구 반여1동 - 일일 66.1mm의 강수량 - 도로 일부 침수로 제한
		'94.05.26	• 해운대구 우동 - 부산 113mm의 호우 - 춘천천 침수, 해일로 인한 침수 피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	사하구	'17.09.11	• 사하구 다대동 - 사하구 일대 135mm의 강수량, 시간당 80mm의 폭우 - 도로 침수로 인해 공단 내 차량이 떠내려가는 사고
		'12.07.16	• 사하구 하단동 - 시간당 80.5mm의 집중호우 - 도로 침수로 차량 고립 사고
		'09.07.07	• 사하구 동대신동 - 최대 227mm의 폭우, 태풍 '난마돌' 영향 - 도로 침수로 차량 5대 피해 - 하수구의 역류로 주택 침수 피해
		'99.09.10	• 사하구 하단2동 - 부산지역 98mm의 호우 - 6차선도로 침수로 차량운행 통제
	금정구	'14.08.25	• 금정구 일대 - 금정구 시간당 130mm이상의 호우 - 도로 일부 침수로 차량피해 및 도로 통제 제한, - 지하철 '금사역' 침수로 제한
		'09.07.16	• 금정구 회동동 - 부산전역 시간당 최고 90mm의 폭우, 장마전선의 남하 - 화학회사 일대 하수구 역류 현상으로 침수, 일부 도로 침수 • 금정구 노포동 - 경륜장 부근 도로 일부 침수, 차로 2개 폐쇄
	강서구	'17.09.11	• 강서구 지사동 - 283.5mm의 폭우 - 도로 일부 침수 - 강서구를 포함한 주변 일대 복구, 사상구 등 침수피해 8건 • 강서구 대저동 - 덕두시장 침수
		'16.10.05	• 강서구 대저동 - 40mm 안팎의 강수량, 태풍 '차바'의 영향으로 강풍과 폭우 - 도로 침수로 인해 강서체육공원, 맥도생태공원 인근 도로 통제
		'15.07.23	• 강서구 대저동 - 부산 최대 73mm의 호우 - 강서구 도로 일부 침수
		'14.08.25	• 강서구 대저동 - 시간당 최고 130mm의 폭우 - 공장창고 100여동, 농지 225만 ha 침수 피해, - 주택 200여 곳 침수로 주민 대피
		'12.09.17	• 강서구 대저동 - 시간당 30mm이상의 폭우, 태풍 '산바'의 영향 - 주택, 농경지 침수피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	강서구	'06.07.09	- 강서구 대저동 - 태풍 '에위니아'의 간접 영향 - 농경지, 주택 일부 침수
		'03.09.13	- 강서구 일대 - 태풍 '매미'의 영향 및 낙동강 하부 위치 - 강서구 일대 농경지 침수
		'02.08.12	- 강서구 일대 - 2~40mm의 강수량 - 낙동강 범람으로 주변 침수, 김해평야 1010.5ha 침수 - 강서구 녹산동 - 주택 및 도로 5여 곳의 침수로 차량 통제, 농경지 침수
		'98.10.01	- 강서구 녹산동 - 193mm의 폭우, 태풍 '애니'의 직접적인 영향 - 농경지 등 침수 피해
		'98.08.15	- 강서구 대저동 - 15.8mm의 강수량 - 바닷물 만조시간으로 낙동강 하부에 위치해 피해 발생 - 낙동강 둔치 10만 여평 침수
		'98.06.26	- 강서구 강동동 - 180.9mm의 강수량, 장마전선의 영향 - 농경지 4ha 침수 피해
		'97.06.26	- 강서구 대저동 - 112.9mm의 평균 강수량 - 신덕마을 농경지 수십 ha 침수
	연제구	'17.09.11	- 연제구 연산동 - 시간당 50mm이상의 폭우 - 연제구 온천천 일대 하천 범람으로 도로, 주택 수 십여 채 침수 피해 - 저지대 도로 일부 침수되어 통제, 아파트 내 주차차량 3대 침수, 굴다리 하부도로 침수로 차량 고립 사고
		'12.07.11	- 연제구 일대 - 시간당 29.5mm의 폭우 - 온천천 침수로 하천 변 도로 통제
		'10.08.11	- 연제구 일대 - 76.5mm의 강수량, 태풍 '덴무' 영향 - 교회건물 지하 침수
		'06.06.30	- 연제구 일대 - 70mm의 집중호우 - 온천천 범람으로 세병교 밑 주차차량 침수

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	수영구	'17.09.11	- 수영구 일대 - 부산전역 197mm의 집중호우 - 수영구~연제구 사이의 저지대 도로 침수로 차량통제, 팔도시장 침수 - 수영구 망미동 - 망미초등학교 앞 도로 등 도로 일부 침수
		'13.08.18	- 수영구 광안4동 - 부산전역 최고 200mm의 폭우 - 금련산에서 내려오는 빗물로 유치원 침수
		'11.07.27	- 수영구 남천2동 - 부산 최고 223mm의 강수량 - 교회 지하 침수
		'99.09.10	- 수영구 일대 - 부산지역 98mm의 비, 1시간 동안 40mm의 집중호우 - 수영구 수영로 일대 도로 침수
		'99.07.30	- 수영구 남천동 - 29~30일 오후 3시까지 318.3mm의 폭우 - 민락동 인근 도로 침수로 교통 통제
		'98.06.26	- 수영구 광안동 - 이틀간 238.1mm의 폭우 - 광안리해수욕장 2km의 해변도로 침수로 통제, 시내도로 여러 곳 침수 피해
	사상구	'17.09.11	- 사상구 감전동 - 사상구 174mm의 폭우 - 구청 앞 교차로 및 도로 일부, 새벽시장 등 침수
		'17.07.23	- 사상구 감전동 - 호우주의보로 최대 73mm의 강수량 - 시장 앞 도로 침수로 인한 도로 통제
		'16.07.02	- 사상구 엄궁동 - 부산전역 100mm 이상의 폭우 - 빌라 하수관이 막혀 침수, 건물 지하, 도로 등 침수 피해 - 사상구 모라동 - 빌라 1층 폭우로 침수
		'15.07.22	- 사상구 모라동 - 79mm의 폭우 - 모라 지하차도 침수로 택시 1대 고립
		'11.07.28	- 사상구 감전1동 - 223mm의 강수량 - 도로 10여 곳 침수 피해
		'09.07.16	- 사상구 확장동 - 부산지역 시간당 70mm의 폭우 - 도로, 공장 내부 침수 피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
부산광역시	사상구	'09.07.16	• 사상구 확장동 - 부산지역 시간당 70mm의 폭우 - 도로, 공장 내부 침수 피해
		'04.08.19	• 사상구 감전2동 - 새벽에만 63mm의 폭우 - 감전시장 앞 도로 침수
		'99.07.30	• 사상구 감전1, 2동 - 시간당 최고 24.3mm의 폭우 - 공장 4곳, 새벽시장, 감전IC 등 침수
		'99.07.22	• 사상구 감전동 - 66.1mm의 강수량 - 감전IC~확장동 간 도로 침수
		'97.06.26	• 사상구 감전동 - 전국의 많은 비 - 도로 3km 구간 침수로 교통 통제
	기장군	'17.09.11	• 기장군 장안읍 - 부산전역 197mm의 집중호우 - 기장경찰서 앞 도로 침수
		'14.08.26	• 기장군 장안읍 - 부산지역 시간당 최고 130mm의 폭우 - 주택 50여가구 침수하여 주민들 대피 - 고리원전 부속건물, 빗물유입으로 원전 가동 중단 • 기장군 일광면 - 범람한 하천에 차량이 휩쓸려 인명피해 • 기장군 일대 - 동해남부선 철로 침수로 토사 유실
		'08.08.13	• 기장군 장안읍 - 하루 56.5mm의 폭우 - 50m 구간의 도로 침수로 통제
		'06.07.10	• 기장군 철마면 - 141mm의 강수량, 태풍 '에위니아'의 영향 - 잠수교 침수로 차량통행 금지, 농경지 침수
		'03.09.12	• 기장군 일대 - 태풍 '매미'의 영향 - 해안가 저지대 주택 수 백 가구, 농경지 등 침수피해

자료: 저자 작성

2) 제주특별자치도

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	제주시	한경면	'06.07.09	- 한경면 일대 - 시간당 최고 50mm의 폭우 - 양계장, 주택 18채, 농경지 10ha 등 침수 피해
			'95.07.02	- 한경면 고산리 - 2~3일 이틀 간 최고 180mm의 폭우 - 주택 6채 침수
		한림읍	'17.10.02	- 한림읍 일대 - 제주시, 103mm의 강수량 - 과수원 침수피해 발생
			'11.11.18	- 한림읍 일대 - 오전 6~7시 사이 80mm이상의 집중호우 발생 - 우주전파센터, 가옥 20여 채, 농경지 침수
			'10.06.29	- 한림읍 금악리 - 제주 지역, 시간당 45mm의 폭우 - 금악리 보건소 인근 주택 침수 - 한림읍 대림리 - 대림리사무소 인근지역, 남초등학교 맞은편 주택가, 한림서부교회 등 침수
			'07.09.16	- 한림읍 일대 - 제주지역, 시간당 40mm 이상의 폭우 - 주택 12곳 등 상가 건물 수십 채 침수
			'06.06.30	- 한림읍 일대 - 제주시 지역 최고 129mm의 강수량 - 주택, 도로, 창고 등의 침수 피해
			'04.08.23	- 한림읍 일대 - 오전 9시~오후8시까지 166mm의 강수량 - 주택 30 가구 침수 피해
		애월읍	'12.04.21	- 애월읍 봉성리 - 제주시 최고 86mm의 호우 - 봉성리 일부 도로 침수로 차량 6대 고립, 30명이 구조됨
			'07.09.16	- 제주시 애월읍 - 오전 6시 이후 시간당 30mm이상의 폭우 - 주택, 상가 등 22곳 침수
			'04.08.23	- 애월읍 광지리 - 제주 이틀간 최고 318mm 폭우 - 광지해변 민박 반지하 방, 주택 다수 침수 피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	제주시	애월읍	'03.09.12	• 애월읍 봉성리 - 태풍 '매미'로 제주시 최대 240mm 강우량 - 들불축제장 부근 도로 침수 • 애월읍 수산리 - 주택 일부 침수
		조천읍	'17.10.02	• 조천읍 일대 - 제주시, 최대 103mm의 호우 - 주택, 상가, 과수원 등 10여 곳 침수 신고
			'16.10.06	• 조천읍 선흘리 - 최대 118~161mm의 폭우 - 세계자연유산센터 지하실 폭우로 침수 피해, 2주 간 휴관
			'15.07.12	• 조천읍 교래리 - 태풍 '찬홈'의 영향 - 차량 침수 피해
			'14.08.20	• 조천읍 함덕리 - 20일 오후 6시 기준 62.7mm의 호우 - 주택 침수로 2t 가량의 배수 작업
			'14.07.06	• 조천읍 신흥리 - 제주 전역 시간당 20mm 안팎의 호우 - 주택 침수로 소방당국이 50t의 배수 작업
			'12.09.17	• 조천읍 함덕리 - 500mm 이상의 폭우, 태풍 '산바'의 영향 - 주택과 상가 100여 곳, 주요 하천 수위 상승, 저류지 침수로 복구 작업
			'11.11.06	• 조천읍 대흘리 - 제주시 57.5mm의 강수량 - 하수관이 폭우로 넘쳐 긴급 조치됨
			'11.09.11	• 조천읍 일대 - 시간당 100mm 이상의 폭우 - 주택 침수 및 불어난 물로 인해 차량 3대 고립 후 구조 • 조천읍 대흘리 - 대흘리, 116.5mm의 폭우 - 보건소, 과수원, 비닐하우스 침수
			'07.09.14	• 조천읍 일대 - 시간당 30mm의 폭우 - 주택 5가구가 침수되어 배수지원 받음
			'07.09.05	• 조천읍 선흘리 - 4~5일 이틀 간 307.5mm의 폭우 - 주택 42곳, 농경지 5ha 침수

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	제주시	조천읍	'06.07.10	- 조천읍 일대 - 태풍 '에위니아'의 영향, 최대 124mm의 폭우 - 조천읍 함덕파출소 맞은편 주택가, 북촌리 해동마을 등 저지대 주택 등 건물 6채 침수
			'04.09.11	- 조천읍 일대 - 시간당 30~60mm의 집중호우 - 조천읍사무소 주변, 저지대 주택, 도로 곳곳 등이 침수
			'04.08.19	- 조천읍 일대 - 제주 전역 150~400mm의 폭우, 태풍 '메기'의 영향 - 함덕 해수욕장 입구 9가구, 주택 23가구, 공공시설 2개소 침수 피해
			'02.07.05	- 조천읍 함덕리 - 시간당 최고 40mm의 폭우, 태풍 '라마순' 영향 - 함덕리사무소 주변 저지대 주택 등이 침수
		구좌읍	'17.10.02	- 구좌읍 한동리 - 이틀째 제주시 103.7mm의 강우량 - 한동초등학교 앞 도로 침수
			'17.07.06	- 구좌읍 송당리 - 오전 11시 40분~ 오후 3시까지 13mm의 강수량 - 산간도로 침수
			'16.10.05	- 구좌읍 평대리 - 시간당 100mm이상의 강수량 - 초속 47m의 강풍과 폭우를 동반한 태풍 '차바'의 영향 - 당근밭 침수피해 발생
			'16.07.12	- 구좌읍 종달리 - 일일 최대 132.5mm의 강우량, 제주 전역 국지성 호우 - 인명피해 없는 주택 침수 - 구좌읍 하도리 - 맨홀 역류로 인한 도로 침수
			'14.07.06	- 구좌읍 월정리 - 제주 전역, 100mm이상의 호우, 장마전선의 영향 - 월정리 한 펜션의 침수로 인해 50t의 배수작업
			'12.09.17	- 구좌읍 한동리 - 구좌읍, 최대 192mm의 강우량, 태풍 '산바'의 영향 - 9,000㎡의 당근밭 침수피해
			'07.09.05	- 구좌읍 송당리 - 송당리 일대, 시간당 64mm의 장대비 - 제주전역 사흘간 최고 560mm의 폭우발생 - 도로침수로 차에서 내려 대피하려다 인명피해 발생 - 구좌읍 덕천리 - 양계장 병아리 1만7천마리, 폭우에 휩쓸려 피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	제주시	구좌읍	'04.09.11	• 구좌읍 일대 - 집중호우로 인해 시간당 최고 127mm의 폭우 - 구좌읍 주택 208채 침수 - 수산양식장 7군데가 침수돼 양식종이던 넙치 324만마리 떼죽음 • 구좌읍 김녕리 - 만장굴 내부 전기, 조명시설 침수로 3주간 관람 중단
			'04.08.24	• 구좌읍 평대리 - 이틀간 198mm의 집중호우와 겹쳐 피해 발생 - 주택 3채 침수, 당근밭 등 83ha 침수 피해, 구좌읍사무소 앞 도로 침수
			'03.09.12	• 구좌읍 평대리 - 제주 시간당 264.5mm의 강수량, 태풍 '매미' 영향 - 주택 20여 채 침수 및 파손
			'99.07.01	• 구좌읍 송당리 - 제주전역 집중호우로 인해 111mm의 강수량 - 송당리 일대 국도 도로 침수로 차량 통행 금지
			'97.08.04	• 구좌읍 일대 - 시간당 50mm 이상의 집중호우 , - 해안 저지대 가옥 165채, 2,725ha 농작물지대 침수피해
		추자면	'07.09.18	• 추자면 목리 - 하루 560mm의 강수량, 태풍 '나리' 영향 - 농로 유실 16개소, 재산피해액 14억 7천여만원
		우도면	'11.11.05	• 우도면 일대 - 우도, 147.5mm의 폭우 - 일시적으로 주택 침수 발생
			'99.07.24	• 우도면 조일리 - 제주지역 시간당 30~50mm의 집중호우 발생 - 가옥 10여 채 침수 피해
	서귀포시	대정읍	'16.07.13	• 대정읍 하모리 - 대정읍 일대 134.5mm의 호우, 장마전선의 영향 - 주택 3곳 및 도로 침수피해
			'15.07.12	• 대정읍 일대 - 11~12일 이틀간 115.5mm의 강수량 - 주택 침수 피해 접수
			'15.05.12	• 대정읍 일대 - 200mm이상의 폭우 발생, 태풍 '노을'의 영향 - 도로, 농작물지대, 주택 및 상가 20여 채 침수피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	서귀포시	대정읍	'14.08.20	- 대정읍 일과리 - 제주전역 호우경보로 인해 최대 109.5mm의 강수량 - 주택마당이 침수되어 30t가량의 배수 작업 수행
			'14.07.06	- 대정읍 일대 - 제주 전역, 100mm이상의 호우, 장마전선의 영향 - 대정읍 한 지하단란주점이 침수되어 20t 가량의 배수작업
			'07.10.25	- 대정읍 일대 - 최대 107mm의 국지성 호우 발생 - 저지대 주택 및 상가 30여채, 마늘밭, 비닐하우스 등 침수
			'04.08.23	- 대정읍 일과리 - 최고 318.0mm의 폭우 - 도로 침수
			'03.05.30	- 대정읍 일대 - 호우경보 발효, 최고 146.5mm 이상의 폭우 발생 - 대정읍 일대 저지대, 주택 주변 침수
			'99.07.01	- 대정읍 하모리 - 최고 138.4mm의 폭우, 장마전선의 영향 - 빌라 지하주차장 등 저지대 가옥과 농경지 침수 피해 - 대정읍 일과리 - 도로 침수로 승용차 1대 견인
			'95.07.07	- 대정읍 하모리 - 서귀포시 일대 200mm 이상의 집중호우 - 주택 14채 침수
		안덕면	'16.07.12	- 안덕면 사계리 - 시간당 60mm의 폭우 발생, 장마전선 영향 - 단독주택 20여 채 침수피해
			'16.06.22	- 안덕면 사계리 - 79.0mm의 호우, 장마전선의 영향 - 도로 일부 침수, 소방당국이 30여 톤의 배수 작업수행
			'95.07.07	- 안덕면 일대 - 안덕면 일대 200mm 이상의 집중호우 - 주택 3채 침수
		남원읍	'17.10.02	- 남원읍 위미리 - 305.5mm의 집중호우 발생 - 주택침수 피해
			'17.07.31	- 남원읍 태흥리 - 시간당 최고 101.5mm의 호우 - 주택 침수로 할머니 1명이 고립되어 구조작업

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	서귀포시	남원읍	'04.09.11	- 남원읍 일대 - 제주도 전역 평균 157mm의 호우 - 주택 11채 침수
			'03.09.13	- 남원읍 신례리 - 사흘 간 제주 264.5mm 강수량, 태풍 '매미'의 영향 - 주택 침수 및 파손
			'98.09.30	- 남원읍 태흥리 - 267.4mm의 폭우, 태풍 '야니'의 직접 영향 - 주택 침수 및 비닐하우스 침수로 감귤 500상자 침수로 재산 피해
			'95.07.07	- 남원읍 신성동 - 남원면 일대 200mm 이상의 집중호우 - 주택 2채 침수, 도로 침수로 인한 차량 통제
		표선면	'17.10.02	- 표선면 하천리 - 1~2일 오전 8시 30분까지 299.5mm의 폭우 - 주택 및 차량 침수
			'17.08.25	- 표선면 성읍리 - 시간당 70mm 이상의 폭우 - 도로 침수로 인한 차량 고립으로 인명 구조 작업, 주택 침수 - 표선면 온평리 - 주택 및 식당 침수로 인해 소방당국 150t 정도의 배수 작업
			'17.08.13	- 표선면 일대 - 시간당 95.5mm의 국지성 집중 호우 - 표선면 일부 도로와 농경지 10.4ha 침수피해
			'17.07.31	- 표선면 세화리 - 시간당 80mm의 폭우 - 가마초등학교 침수되어 배수 작업 - 도로 침수로 인한 차량구조 작업 - 표선면 가시리 - 골프장 지하식당 침수
			'17.07.05	- 표선면 성읍리 - 시간당 50mm 이상의 폭우 - 식당 등 건물 침수 피해 5건
			'15.07.12	- 표선면 성읍리 - 서귀포 179mm의 폭우, 태풍 '찬홈'의 영향 - 양돈장 침수 피해
			'12.07.19	- 표선면 일대 - 시간당 50mm의 폭우, 태풍 '카눈'의 영향 - 갑자기 불어날 빗물로 고립된 시민 3명 구조

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	서귀포시	표선면	'06.06.30	- 표선면 일대 - 최고 136.5mm의 호우, 장마전선의 영향 - 표선면 일대 도로, 주택 등 10곳 침수 피해
			'04.09.11	- 표선면 성읍리 - 표선면, 최고 408mm의 강우량 - 기습 폭우로 인한 천미천 범람 - 성읍민속마을 주변 상가와 주택 150여 채가 침수, 평 사유장 피해로 인한 평 15,000여마리 폐사, 향교 2채 파손 - 표선면 표선리 - 양봉시설 145군데 피해
			'99.07.02	- 표선면 성읍1리 - 273mm 등의 장대비 - 주택과 농경지 침수
			'95.07.07	- 표선면 일대 - 표선면 일대 200mm 이상의 집중호우 - 주택 7채 침수
		성산읍	'17.10.02	- 성산을 삼달리 - 277.4mm의 집중호우, 시간당 최고 57.6mm의 폭우 - 도로 침수, 농경지 255ha 침수피해
			'17.07.05	- 성산을 난산리 - 시간당 124.4mm의 강수량 - 차량 3대가 불어난 물에 고립되어 탑승자 6명이 구조됨
			'17.08.25	- 성산을 고성리, 온평리 - 성산을 일대, 시간당 100mm가 넘는 기습폭우 - 농경지, 비닐하우스, 주택, 도로 등 침수 피해 - 성산을 신산리 - 신난천의 범람으로 농경지 침수 피해
			'17.07.26	- 성산을 온평리 - 갑작스런 소나기로 시간당 최고 67mm의 폭우 발생 - 성산 일대 농경지 침수
			'17.07.05	- 성산을 난산리 - 시간당 50mm 이상의 기습 폭우 - 차량 3대 등이 도로 위에 고립되는 사고로 탑승자 구조 - 성산을 온평리 - 경로당, 식당 등 건물 침수 피해 발생
			'16.10.05	- 성산을 삼달리 - 141.7mm의 강수량, 태풍 '차바'의 영향으로 강한 비바람 - 월동무 밭 침수 피해

자료: 저자 작성

행정구역 구분			일시	내용
시도	시군구	읍면동		
제주특별자치도	서귀포시	성산읍	'16.07.13	- 성산을 고성리 - 116.9mm의 국지성 호우 - 고성리 일대 주택, 도로 등의 침수로 2150여 톤 배수작업 - 성산을 시흥리 - 차량 침수로 인한 사고 3건
			'14.08.24	- 성산을 일대 - 128.1mm의 돌풍을 동반한 강수량 - 할인 매장 침수로 긴급 배수작업
			'12.09.17	- 성산을 일대 - 성산 일대는 최고 189.7mm의 강수량 - 성산을 일대 농경지 침수피해 발생
			'12.08.28	- 성산을 성산리 - 시간당 30mm이상의 폭우, 태풍 '볼라벤'의 영향 - 주택 10여 가구 침수, 하수구 역류도 인한 침수
			'07.09.06	- 성산을 일대 - 이틀간 500mm 이상의 폭우 - 1천 ha 이상의 감자, 당근, 콩, 더덕 등의 농경지 피해
			'04.09.11	- 성산을 성읍1리 - 최대 365mm의 게릴라성 폭우 - 성읍민속마을 침수, 당근, 감자 등 농경지 5244ha 침수 - 성산을 고성리 - 상가 61동 침수 - 성산을 수산리 - 사육 중이던 말 1마리, 개 107마리 폐사 피해
			'04.08.24	- 성산을 일대 - 시간당 20~30mm의 폭우 - 더덕밭 25ha, 콩밭 2ha, 밭벼 2ha의 농경지 및 주택 4가구 침수
			'03.07.18	- 성산을 일대 - 최고 260mm 등 집중 호우 - 빌라 지하상가 등 저지대 주택 등 주택 6채, 상가 7채, 기타 6채 등 침수
			'99.07.24	- 성산을 시흥리 - 제주시방 시간당 20~30mm의 집중호우 - 저지대 6가구 침수
			'95.07.07	- 성산을 일대 - 성산면 일대 200mm 이상의 집중호우 - 주택 2채 침수

자료: 저자 작성

도시침수 예방대책 지원시스템

KRIHS DISASTER RISK PREVENTION AID SYSTEM FOR URBAN FLOODING

01 과제개요

■ 과 제 명: 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현 ('16~'18)

■ 연구기관: 국토연구원 도시방재·수자원연구센터

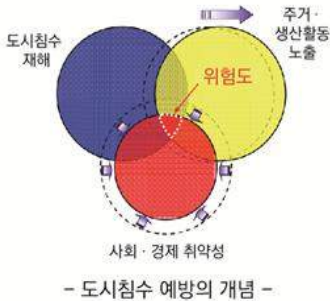
- 위탁기관(1차년도): 경상대학교, (주)이에이트
- 위탁기관(2차년도): 한국수자원학회, 인천대학교, (주)이에이트

■ 연구목적: 도시침수 위험에 대한 상세 공간정보와 도시계획차원의 방재대책 수립 자문 제공을 위한 정책지원 시스템 개발 후 지자체 기술 지원에 활용

- 전국 및 관할지역 내 도시침수의 위험인자 수준 제고
- 관할지역 내 도시침수에 대한 적극적인 대책이 필요한 공간범위를 영향권으로 설정하여 관리하도록 지원
- 도시계획적 방재대책 수단을 의사결정하는데 필요한 정보 제공

■ 연구수행단계

연도	1차년도 ('16)	2차년도 ('17)	3차년도 ('18)
단계	개념정립 및 방법론 검증	시스템 구축 및 확대	시스템 활용 및 제도화



02 시스템 개발 전략

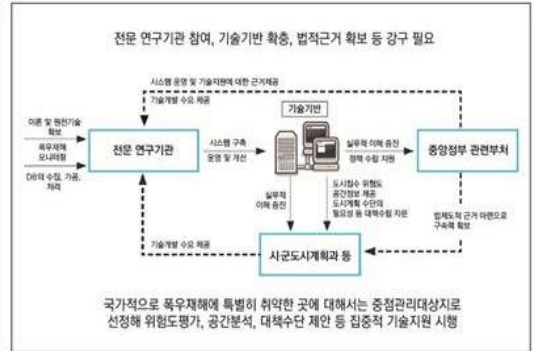
■ 시스템 개발 필요성

: 폭우재해 위험의 심층적 공간분석을 위한 기술기반 도입 필요

- 위험도 평가를 통해 신뢰성 높은 공간정보 제공 및 지역여건에 부합하는 대책 마련 시급
- 지자체 담당자에게 주 업무와의 관련성이 높지 않은 방재분야 기술역량을 과도하게 요구하기 현실적 어려움이 큼

■ 시스템 개발 전략

- 시군 담당자 부담을 줄여주면서, 도시계획 수립 시 반드시 필요한 최소수준의 예방대책에 대해서는 구축력을 제공하는 전략 모색
- 국토연구원의 역량을 토대로, 정부부처와 지자체가 도시침수 예방대책, 특히, 도시계획적 수단을 쉽게 마련토록 시스템 구축 및 운영



- 시스템 개발 전략(안) -

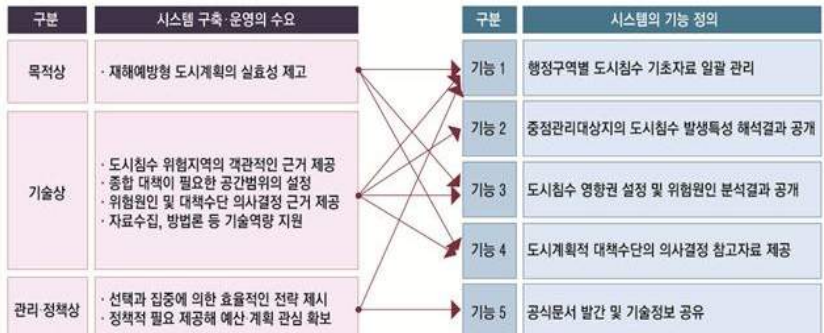
03 시스템 수요·기능 정의

■ 시스템 구축·운영의 수요 파악

- 업무협회의(16년 6월), 자문회의(16년 9월), 설문조사(16년 9월)를 토대로 수요 파악

■ 시스템의 기능 정의

- UNEP/GRID-Geneva의 지구위험도 자료플랫폼, 벨기에 재난역학연구센터의 EM-DAT, 미 연방재난관리청 홍수지도 서비스 센터, 일본 국토교통성의 재해지도 포털 등 해외시스템 운영 사례를 토대로 다음과 같이 5가지 기능으로 정의



- 시스템 수요 및 기능 정의 -

04 중점관리대상지 기술지원 (1)

1 중점관리대상지 공간범위 선정

- (STEP 1) 피해액, 피해빈도 기준을 적용하여 대책마련이 시급한 지자체 1차 선별
- 피해액 기준: 호우로 인해 도시지역 1km² 면적당 연평균 피해액이 65.1백만원을 초과하는 지자체
 - 피해빈도 기준: 호우로 인해 도시지역 1km² 면적당 연평균 피해빈도가 0.12회를 초과하는 지자체
 - 추가로, 선별된 지자체의 언론보도자료 등을 확인한 뒤 과거 피해유형이 도시침수와 무관한 경우 제외

- (STEP 2) 재난통계, 상황보고서, 언론정보 등을 통한 도시침수 기록 조사

S동	2013.07.31.	~ 최고 270mm 집중호우, 상가 및 주택 침수
	2011.07.27.	~ 최고 530mm 집중호우, 330여가구 침수
J동	2011.07.03.	~ 연립주택 앞 도로 30m 침수
I동	2011.07.27.	~ 오수가 역류하여 일부 주택 침수



- (STEP 3) 현장·면담조사를 통한 도시침수 피해발생 가능지역 위치 확정



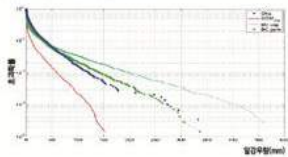
- (STEP 4) 중점관리대상지 범위 설정

- 도시침수 피해발생 가능지역 포괄
- 해당 침수구역의 수문학적 영역 고려

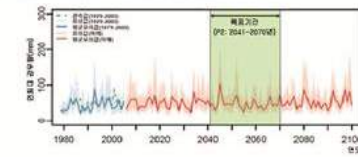
2 기후변화의 폭우 영향평가

- 원자료: 과거 관측치 및 19개 GCM 자료

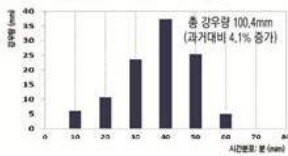
- (STEP 1) 편의량 제거



- (STEP 2) 비모수 통계적 시간재구성 기법



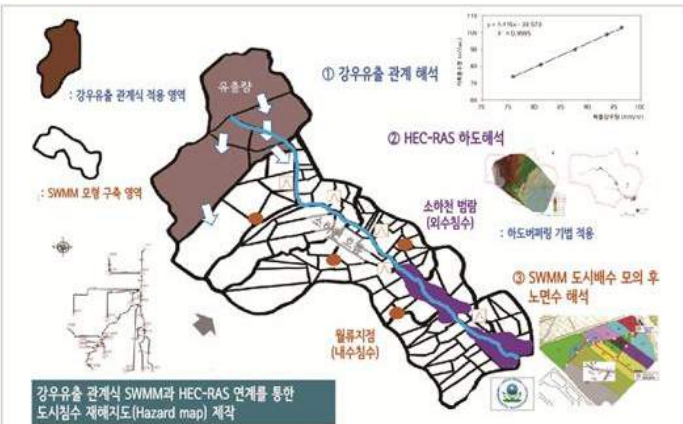
- (STEP 4) 강우 시간분포 자료생성



- (STEP 3) 1시간 지속시간에서 장래 강우강도 변화 전망

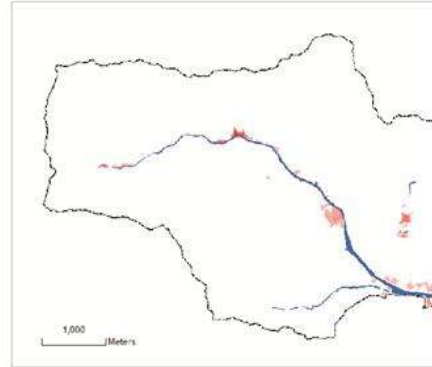
장래 (RCR8.5, P ₁)	확률강우량(mm)	재현기간 30년	재현기간 100년
	과거	81.1	96.4
	강우강도(mm)	90.8	108.3
	변화량(%)	12.1	12.3

3 침수해석

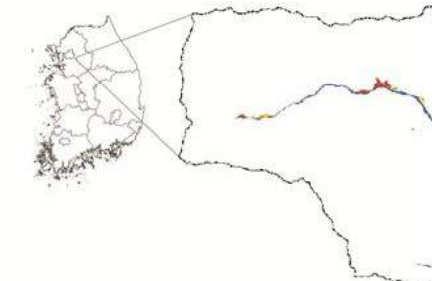


5 상세 위험주제도 작성

- 재해특성 (100년 재현기간)



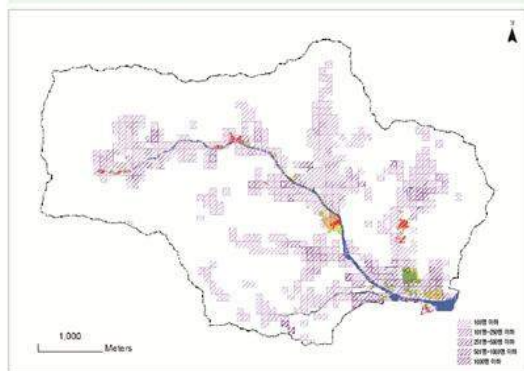
▶ 총 330,545m² 영향



4 영향권 설정

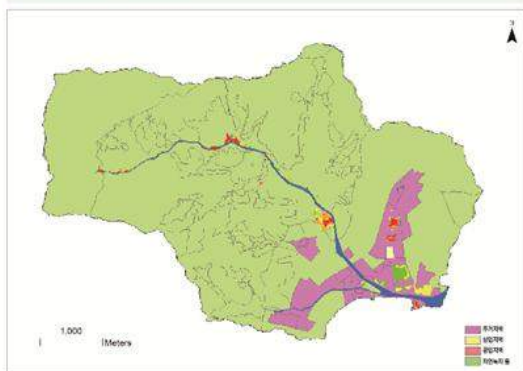


■ 노출특성 (거주인구)



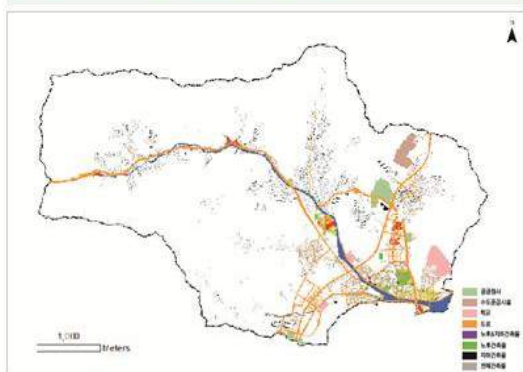
▶ 거주인구 총 6,748명 노출

■ 노출특성 (토지이용)



▶ 주거지역 167,832㎡, 자연녹지지역 162,713㎡ 노출

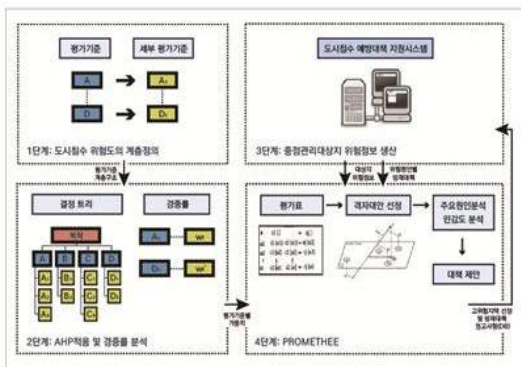
■ 취약성 (취약건축물, 보호대상시설, 도로)



▶ 취약건축물 142개, 도로 14,785m 분포 (보호대상시설은 영향권 밖에 위치)

6 고위험 지역 선정

■ 다기준의사결정 (MCDM) 기법 적용



■ 대상지 내 고위험지역 분석



05 중점관리대상지 기술지원 (2)

1 중점관리대상지 공간범위 선정

1 중점관리대상지 공간범위 선정

(STEP 1) 재난통계, 언론정보 등을 통한 도시침수 기록 조사

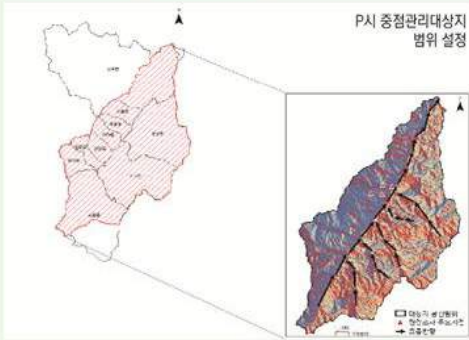
A동	2013.07.15.	- KS인산농협 주변 도로 침수
D동	2009.07.09.	- 일부 하천 제방 145m 유실
U면	2013.07.16.	- SD삼거리 Y방면 국도 43번, 1km 침수
Y면	2013.07.16.	- 시간당 30mm, H강 수위 상승으로 건축물 침수

(STEP 2) 현장·면담조사를 통한 피해발생 가능지역 위치 확정



(STEP 3) 중점관리대상지 범위 설정

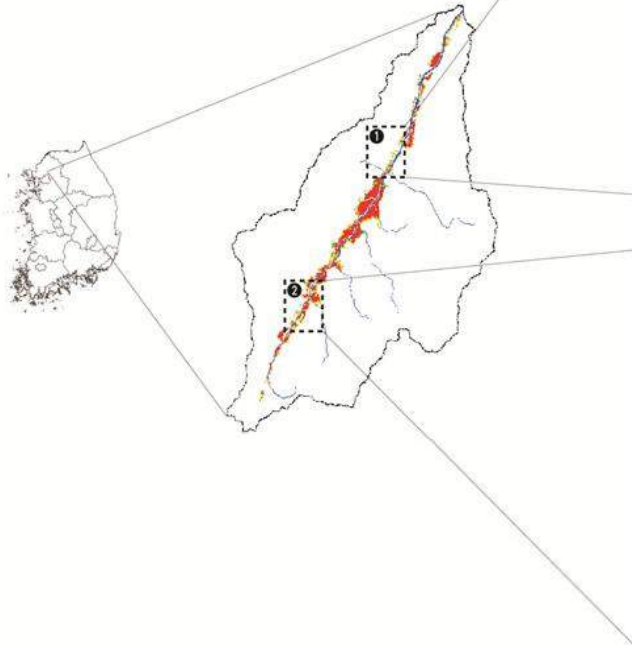
- 도시침수 피해발생 가능지역 포괄
- 해당 침수유역의 수문학적 영역 고려



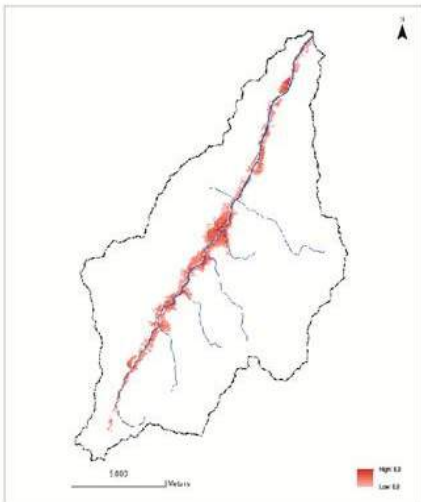
2 기후변화의 폭우 영향평가

2-4: K시의 방법론과 동일

5 상세 위험주제도 작성

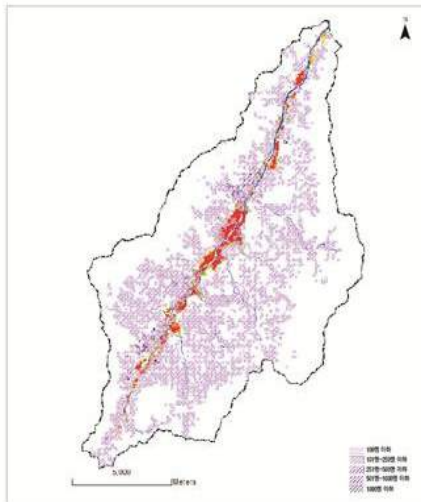


재해특성 (100년 재현기간)



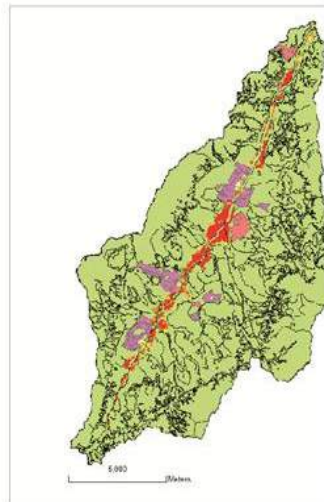
▶ 총 7,163,704㎡ 영향

노출특성 (거주인구)



▶ 거주인구 총 8,499명 노출

노출특성 (토지이용)



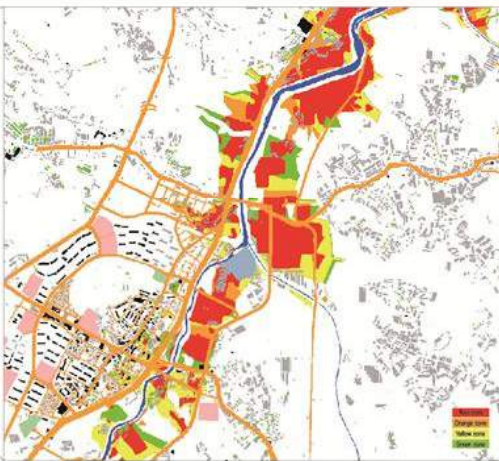
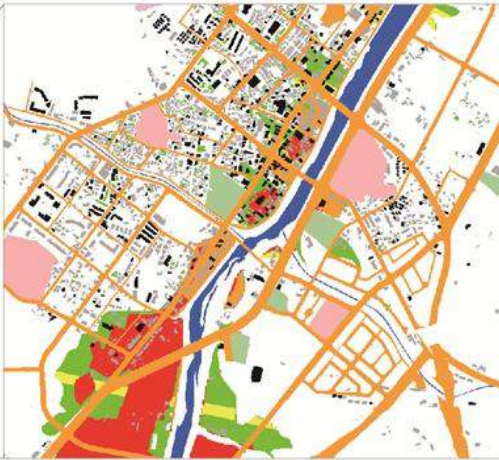
▶ 주거 871,193㎡, 상업 업무 178,901㎡, 공업 20,925㎡ 자연녹

석

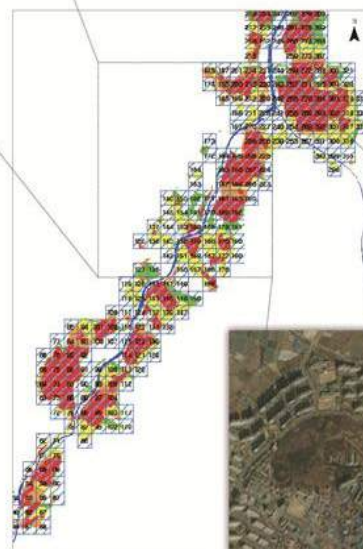
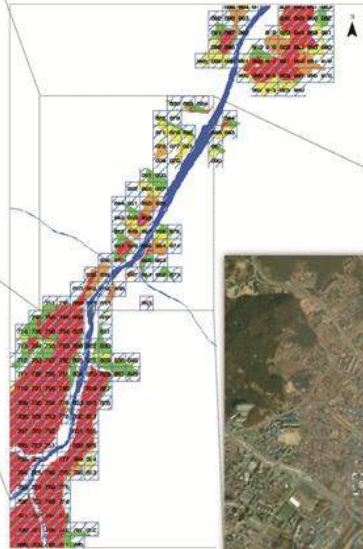
4 영향권 설정

5 상세 위험주제도 작성

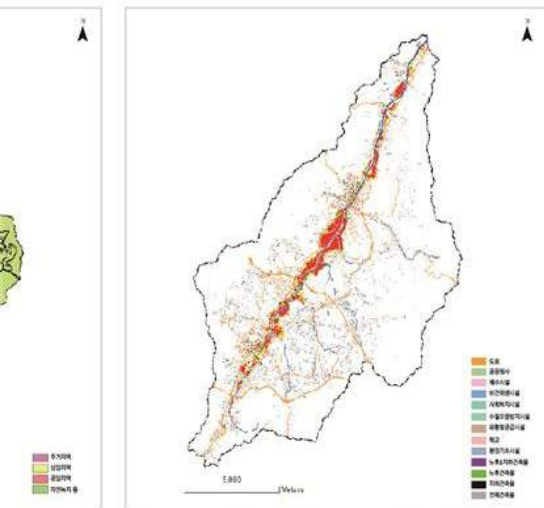
6 고위험 지역 선정



6 고위험 지역 선정



취약성 (취약건축물, 보호대상시설, 도로)



지동 8,456,505㎡

취약건축물 983개, 보호대상시설 39개, 도로 50,736m 분포

영향권 내 적용가능한 도시계획적 대책수단

도시침수 방재대책의 구성

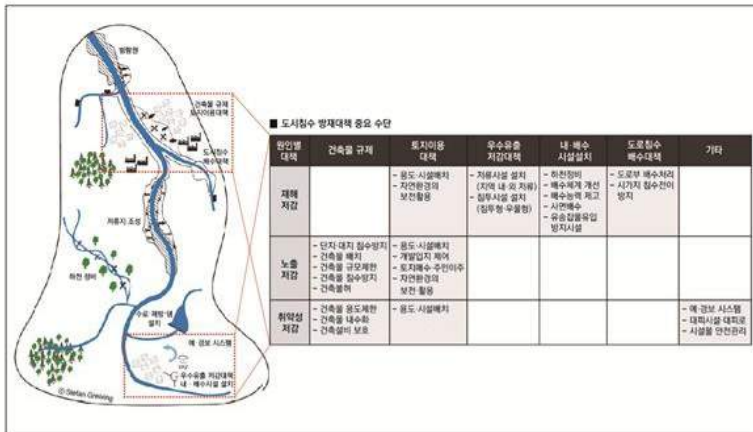
구분	대표적 대책수단
분석적 대책수단	입지유형 분석 침수위험도 분석 평가 침수위험도 분석 평가 침수위험도 분석 평가
계획적 대책수단	방재계획 수립 방재계획 수립 방재계획 수립
시설적 대책수단	우수유출저감 시설설치 내 배수시설 설치 배수시설 설치
관리적 대책수단	예경보 및 대피 시설물 유지관리 시설물 유지관리
제도적 대책수단	지침 기준운영 관련제도 운영 관련제도 운영

도시침수 원인별 대책수단 제한

- 위험 가중원인에 맞춰 계획적 대책수단, 시설적 대책수단, 관리적 대책수단을 체계화

도시계획적 대책수단의 내용적 반영

- 방재지구 지정, 방재계획 시 도시계획적 대책수단을 적절히 반영할 수 있도록 함



사회적 수용성 경제성 행정부담 등 고려

07 시스템의 활용 및 효과

도시침수 관련 영향평가를 위한 지자체 기술 및 자원 부담 최소화

- 공식적인 자료 수집이 용이하고 범용성이 보장된 기술 적극 활용 연계
- 기후변화 폭우시나리오 산정의 실용화, 침수해석기법의 간소화, 위험도 평가기법의 표준화를 통해 신뢰성 높은 결과를 효과적으로 제공

국가적으로 취약한 지역에 대해서는 주민의 안전과 재산피해를 확실히 보호할 수 있도록 중앙-지방-연구기관간 역할 분담 체계 마련

중점관리대상지의 주기적 평가 및 업데이트, 공식보고서 발간 등 활동 병행

2018년 이후 주기적 중점관리대상지 재선정 및 확대 추진, 광역 또는 기초 자치단체 요청 시 추가 기술지원사업 수행의 창구 마련



- 도시침수 예방대책 지원시스템 화면구성 -

기본 17-23

**도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한
재난안전 정책지원 시스템 구현(II)**

연 구 진 이상은, 이병재, 이종소, 김슬예, 이태삼, 송창근, 김진현

발 행 인 김동주

발 행 처 국토연구원

출판등록 제2017-9호

인 쇄 2017년 11월 27일

발 행 2017년 11월 30일

주 소 세종특별자치시 국책연구원로 5

전 화 044-960-0114

팩 스 044-211-4760

가 격 9,000원

ISBN 979-11-5898-274-4

한국연구재단 연구분야 분류코드 B171503

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2017, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.

도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II)

Development of the Urban Flooding Risk
Prevention System (II)



제1장 연구의 개요

제2장 행정구역별 도시침수 기초자료 구축

제3장 중점관리 대상지역 상세 위험정보 개발 및 영향권 설정

제4장 도시계획 측면의 방재대책 수립 지원

제5장 도시침수 예방대책 지원시스템 구축

제6장 결론 및 향후과제



KRIHS 국토연구원

(30147) 세종특별자치시 국책연구원로 5 (반곡동)
TEL (044) 960-0114 FAX (044) 211-4760

