

도시홍수피해분석 및 미래도시 홍수 대응 전략



심재현 ▶▶▶
국립방재연구원 방재연구실장
shim1001@korea.kr



최승용 ▶▶▶
국립방재연구원 시설연구사
ecofriend@korea.kr

1. 서론

최근 도시는 근대화와 산업화로 인해 도로, 건물이 증가하고, 토지이용이 변화하고 있다. 이러한 변화 때문에 불투수성이 확대되어 홍수도달시간이 단축되고 유출량이 증가하면서 과거의 물 순환 과정을 급격히 변화시키고 있으며, 기후변화로 인한 대규모 강우 사상 역시 과거와는 다른 양상으로 위험을 가중시키고 있다. 이런 현실을 반영하듯 과거의 외수의 범람에 의한 홍수사상과는 달리 최근의 홍수사상은 내수가 배제되지 못하여 도시의 지상 및 대규모 지하공간이 침수되는 양상으로 변화하고 있다. 1999년 경기 파주시, 2001년 서울 신림동, 2001년 강남고속버스터미널, 2002년 경남 김해시, 2003년 경남 마산시, 2009년 부산시 등이 대표적인 내수침수피해 사례로 기록되고 있으며, 2010년 9월 21일 추석기간의 서울

및 인천지역의 집중호우 피해와 2011년 7월 26일 집중호우로 인한 내수침수는 도심지 배수시스템과 수방 대책에 대한 문제점이 이슈화된 중요한 사건이었다.

본 고에서는 우선, 최근 발생하고 있는 우리나라의 도시형 침수피해의 발생사례 및 원인 등을 분석하고, 앞으로 도시화와 국지성 집중호우에 대비하기 위한 미래도시 홍수 대응 전략을 제시하고자 한다.

2. 도시홍수 재해현황 및 발생요인

2.1 기후변화로 인한 집중호우

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 제4차 보고서에 따르면 1990년 이후 전 세계 평균 기온이 0.74℃ 상승하고, 급세기 말까지 4.4℃ 상승할 것으로 전망하고 있으며, 이로 인해 가뭄, 홍수 등 극한 기상현상이 심화될 것으로 예측하고 있다. 특히 기온이 3℃ 증가하였을 때, 아시아에서만 연간 7백만 명 이상이 홍수피해의 위기에 처할 것으로 전망하고 있다.

이러한 기후변화는 우리나라도 예외는 아니다. 우리나라는 지구 평균기온(0.74℃)의 2배인 1.5℃ 상승하였고, 강우강도도 증가하는 추세를 보이고 있으며, 21세기 말에는 4℃ 기온 상승과 17% 강수량 증가를 예상하고 있다. 최근 10년간(1999~2008년) 우리나라 1일 100mm 이상 집중호우 발생빈도는 385회로, 70~80년대 222회에 비해 약 1.7배 증가였으며, 일

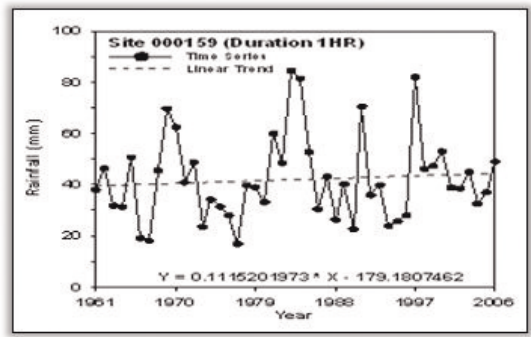
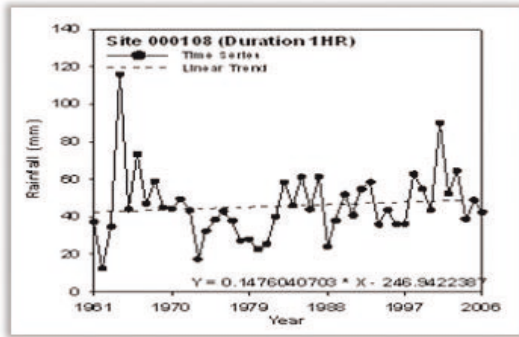


그림 1. 서울시와 부산시의 시우량 변화 추세

표 1. 전국 강우량 변화

종류	1990년대(평균)	2000년대(평균)	비고
집중호우(최대시우량)	94.6mm/hr	97.4mm/hr	↑2.8mm/hr
집중호우(최대일강우량)	355.8mm	415.2mm	↑59.4mm
태풍(최소급)	95hPa	944hPa	태풍 대형화

80mm이상의 집중호우 발생일수가 70년대에 비해 2배 이상 증가하였다. 2011년의 경우 서울의 연평균 강우량은 1,451mm이었으며, 이중 40%에 해당하는 588mm가 7월 26~28일(3일간)에 집중되었다.

2.2 도시환경 변화 및 침수취약성 증가

도시화 및 인구집중 현상이 나타나면서 도시홍수에 대한 취약성 및 피해가 증가하고 있으며, 도시화가 진행되면서 녹지는 감소하고 불투수 지역이 증가하여 도시에서의 유출량 또한 증가하고 있다. 서울시

의 불투수율은 전체면적에 대해 1960년대의 7.8%에서 47.7%로 증가하였으며, 산지 등을 제외한 도시지역의 불투수율은 85% 이상을 나타내고 있다. 이러한 불투수면의 증가로 인하여 2000년대의 홍수기의 지표면 유출량은 1960년대에 비해 4.5배 이상 증가하여 집중호우시에 침수피해에 영향을 주고 있다.

또한 과거 하천위주의 방재대책으로 인해 도시내 수침수는 상대적으로 취약한 것이 현실이고, 전국 재해위험지구 1,210개소 중 70% 이상이 침수위험지구로 특히 침수에 대해 취약하다.

3. 도시홍수 주요피해사례

최근 국지성 집중호우 및 내수배제 불량으로 인하여 도시홍수로 인한 피해는 급격히 증가하였으며, 특

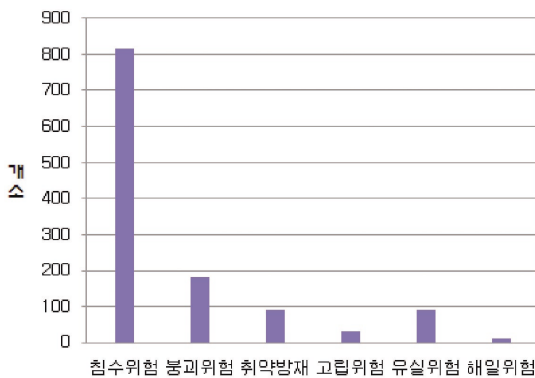


그림 2. 전국재해위험지구 유형별 지정현황

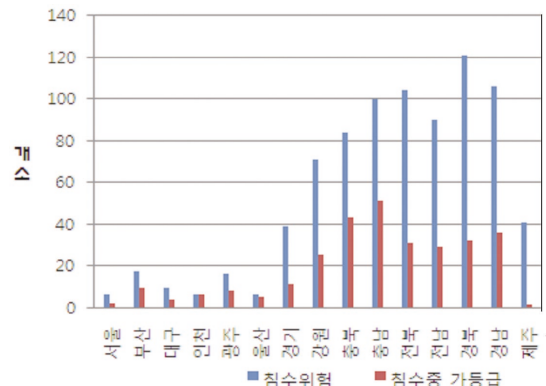


그림 3. 시도별 재해위험지구 중 침수위험지구 현황

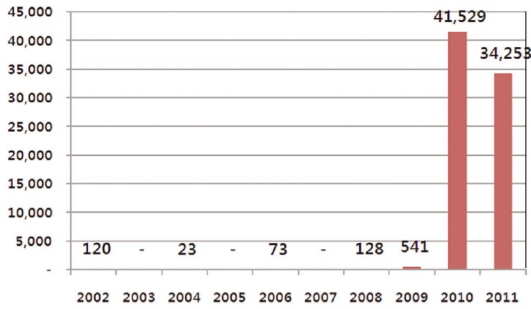


그림 4. 이재민 수(서울시)

히 2010년과 2011년에는 수도권 집중호우로 인해 많은 피해가 발생하였다. 서울시의 최근 10년간('02~'11) 도시홍수로 인한 이재민수를 살펴보면 2000년대 초반과 비교하여 2010년의 경우 약 350배 정도 증가하였고, 침수세대수의 경우에는 2~3배 정도 증가한 것을 알 수 있다.

3.1 과거 주요피해사례(2010년 이전)

2010년 이전의 대표적인 피해사례로는 살펴보면 2001년의 서울시 침수피해와 2009년의 부산시 침수피해를 들 수 있다.

2001년 서울시 침수피해의 주원인은 하수관거의 용량부족과 내수배제불량으로, 2001년 7월 15일 당시 시간당 최대강수량이 100mm로 도시배수시설인 하수관거 설계빈도인 10년에 해당하는 강우강도인 75mm를 30% 이상 초과하는 강우가 발생하였다. 이



그림 6. 신림동 피해현장

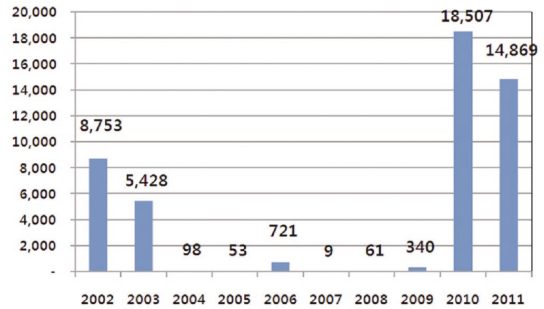


그림 5. 침수세대수(서울시)

로 인한 인명피해는 사망 35명, 부상 104명이었으며, 주택 94,375동이 침수되는 피해가 발생하였다.

2009년 부산시 침수피해의 주원인은 하수관거의 용량부족과 더불어 하천의 범람 등 내외수 침수가 동시에 발생한데에 있었다. 이 당시 시간당 최대강수량은 7월 16일의 90mm였으며, 이로 인한 인명피해는 사망 2명, 부상 3명이 발생하였으며, 주택 1,428동이 침수되는 피해가 발생하였다.

3.2 2010년과 2011년 피해

2010년과 2011년 연속으로 서울, 경기 지역에 집중호우로 인한 침수피해가 발생하였는데, 2010년 추석연휴 기간인 9월 21~22일의 집중호우는 누적 강우량이 강서구 및 강남구가 293mm, 마포구 280mm, 서대문구가 275mm, 양천구 269mm 등 평균 259.5mm의 강우량을 기록하였다. 특히 2010년 9월



그림 7. 센텀시티 침수현장



그림 8. 광화문 지하사가 침수(2010년)

21일 강서·양천 지역의 시간당 최대강수량은 98mm로, 하수관거 설계빈도인 10년을 초과하는 40년 빈도강우로 분석되었다. 인천 부평지역의 경우에는 2010년 9월 21일 시간당 최대강수량이 150mm로 빈도해석 결과가 100년인 기록적인 집중 호우가 발생하였다. 이로 인한 인명피해는 없었으나 108세대의 187명의 이재민이 발생하였고 23,387동의 주택이 침수되어 총 피해액은 428.8억원이었다.

2011년 7월 27일부터 서울을 비롯한 중부지역에 막대한 양의 비가 내리면서 피해가 속출 되었다. 특히 27일 오전 관악구에 시간당 113mm의 기록적인 집중호우가 발생하였으며, 수도권 전철 1호선 오류동역과 분당선 선릉역이 일시적으로 침수되어 운행이 중단되기도 하였다. 특히 2010년에도 수해가 났던 강남역 사거리가 침수되면서 이동통신이 일부 먹통이 시민들이 고립되는 사태가 발생하기도 했다. 이로 인한 침수피해로는 사망 19명과 671명의 이재민이 발생하였으며 14,657동의 주택이 침수되는 등 서울과 경기지역에만 약 7,519억 원의 피해액이 발생하였다.

4. 도시홍수 피해원인

전술한 바와 같이, 오늘날의 도시홍수는 기후변화로 인한 집중호우의 증가로 막대한 인명 피해와 재산상의 손실이 유발되고 있다. 본 절에서는 이러한 도



그림 9. 강남역사거리 침수현장(2011년)

시홍수 피해의 원인에 대해 구조적인 원인과 비구조적인 원인으로 나누어 살펴보고자 한다.

4.1 구조적원인

도시홍수 피해의 구조적 원인은 다음과 같다.

- 하수관거 용량부족 및 설계불량
 - 설계빈도를 초과하는 강우로 인한 하수관거 용량 부족
 - 하천수위상승으로 배수영향 및 역류발생
 - 하수관거 구배불량으로 펌프장 도달전 침수발생
 - 주간선 만관으로 반지하주택 하수역류
 - 하수관거 퇴적으로 인한 통수단면 부족
- 노면수 저지대 유입 및 우수집수능력 부족
 - 노면 우수의 저지대 유입으로 침수발생
 - 기준 초과강우가 하수관거 유입되지 못하고 저지대 유입
 - 집수시설 부족에 따른 노면수 정체
 - 토사 및 유송잡물로 빗물받이 능력 저하
- 배수펌프장 용량부족 및 운영 미숙
 - 설계기준 초과강우로 인한 펌프장 용량 부족
 - 유수지 용량부족
 - 배수펌프장 작동 미숙 및 적정설계 부족
 - 배수펌프장 시설유지관리 미흡
- 지하공간 침수대응 및 방지시설 부족
 - 지상 침수류가 지하철 출입구로 유입

- 출입구 및 주차장 입구 차수판 및 침수방지턱 설치 미비
- 침수유량 배제를 위한 배수설비 부족 및 비상 전원 미흡

4.2 비구조적원인

도시홍수 피해의 비구조적 원인은 다음과 같다.

- 기후 및 사회구조 변화로 인한 침수가중요인 증가
 - 기후변화로 인한 강우량 증가
 - 인구집중 및 도시화로 인한 불투수면적 및 유출량 증가
- 내수침수예측 및 위험도분석을 통한 의사결정 지원 미흡
 - 하천 위주의 정책으로 내수침수 저감대책 미흡
 - 도시지역내 과거침수실적 및 침수위험도 분석 부재
 - 홍수지도, 대피지도 등 비구조적 대책수립 미흡
- 지하공간 침수대응체계 부족
 - 민간 건물 침수대응매뉴얼 및 침수대비 훈련 부재
 - 저지대 대형 지하공간 개발시 방재성 검토 부재
 - 지하공간의 특수성으로 안전불감증 증가
- 관리주체 및 법체계의 분산·관리
 - 하수도법, 하천법, 소하천정비법 등 관리주체 및 법체계의 분산관리로 인한 부처간 연계성 부족

5. 미래도시 홍수 대응전략

최근 기후변화는 일상화되고 있으며 침수피해는 대형화, 다양화되는 특성을 나타내고 있다. 이러한 여건변화에 대응하기 위해 기존의 방재패러다임을 이상기후 대비체제로 전환하는 것을 목표로 본 고에서는 미래도시 홍수 대응전략으로 ①도시방재성능목

표 설정, ②선진형 홍수방어 패러다임, ③도시 지상-지하 통합내수침수해석기술 개발을 제시하고자 한다.

5.1 도시방재성능목표 설정

하수관거의 우수배제능력은 확률년수 10년 기준 강우강도인 75mm/hr로 설계보급 되었으나 최근 도시지역에서 반복적으로 발생하는 도시홍수 피해를 근본적으로 방지하기 위해서는 새로운 개념의 방재대책이 필요하다. 현재 방재시설물의 설계빈도는 각 시설물별로 상이하여 목표 설정이 어려우며, 또한 부처별 시설기준의 제정·관리로 지역별 통합적인 방재성능을 구현하는데 어려움이 있다.

따라서 동일 배수구역내 각 시설물이 통합적 방재성능을 발휘토록하는 목표를 설정하고 개선하기 위해 현행 확률빈도 기준을 방재성능기준으로 전환하는 것이 필요하다. 이러한 노력의 일환으로 현재 소방방재청에서는 지역별 빈도해석 결과 및 가중치를 이용하여 목표강우량 설정(안)을 제시하였으며, 현재 재해위험도 및 재정력 등을 감안하여 자치단체장이 지역별 방재성능 목표를 설정·공표토록 자연재해대책법을 개정 추진중에 있다.

표 2. 방재성능목표 설정 계획

구 분	현재수준	단기계획	중기계획	장기계획
목표달성기간	-	향후 5년	향후 15년	향후 30년
목표강우량 설정(안)	10년	20년(내외)	30년(내외)	100년 내외 및 기왕최대

5.2 선진형 홍수방어 패러다임

과거 20세기 중앙정부 주도형의 홍수방어를 기능과 역할분담이라는 새로운 체제정립을 통해 선진국형으로 전환할 필요가 있다. 우선적으로 기능적인 측면에서 중앙정부와 지방정부의 적극적인 홍수방어 정책이 요구되며, 이를 위해서는 지방정부가 일차적으로 예방부터 현장대응능력 강화에 이르는 일련의 기능을

선진형 홍수방어 패러다임

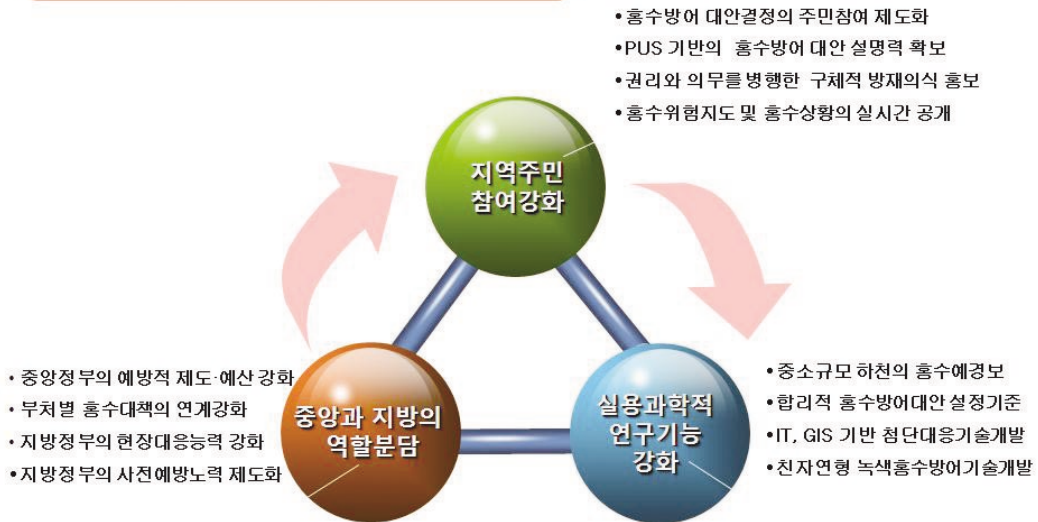


그림 10. 선진형 홍수방어 패러다임

우선적으로 갖추도록 예산과 인력을 확보하여야 한다. 또한 중앙정부는 각 부처에 분산된 업무를 총괄 조정하고 지원하는 기능을 중심으로 지방정부를 지원해주는 방식의 역할분담을 하는 것이 타당하다고 판단된다.

둘째로, 종래의 관에서 주도하던 홍수방어를 위한 각종 대책수립에 주민들의 참여를 제도화할 필요가 있다. 일선 지역의 주민이 각종 유형의 재난과 재해에 대한 주주적인 의식과 방어능력을 확보할 수 있도록 정부가 지원하고 적극적으로 정책결정의 방향을 제시하고 실현하는 방식은 단지 홍수방어에 국한된 논의는 아닐 것이다.

마지막으로 과학적인 기술개발과 합리적인 안정정책 개발, 실천을 위한 연구개발의 기능은 반드시 필요하다고 판단된다. 전문가에 의한 실천적 대안마련과 정책개발은 선진국형 안전관리의 필수요소임을 재확인하여야 하며, 이를 위한 국가연구개발의 지속적 투자와 실효성 확보방안은 지금부터라도 적극적으로 검토되어야 한다.

5.3 도시 지상-지하 통합내수침수해석기술 개발

최근 도시 내배수침수해석모형은 국내외에서 개발되고 있으나 도시내배수흐름 전과정을 통합하지 못하고 있어 방재활용실무 적용에 한계가 있다. 또한 지하공간이 복잡대형화되면서 지상침수류가 지하로 유입되는 피해가 빈번히 발생하고 있고, 지하공간 특성상 인명피해 위험성이 매우 높은 것이 현실이다. 더불어, 현재의 홍수예경보는 대하천 등 외수위주로 개발·운영되고 있으며, 내수침수에 대한 예경보는 체계는 구축되어 있지 않은 것이 현실이다.

이러한 이유로 현재 국립방재연구원에서는 도시 내수침수 대응력 강화 및 피해 최소화를 위해 도시 지상-지하 통합내수침수해석기술 개발에 대한 연구를 올해부터 시작하여 향후 5년간 연구를 수행할 예정이다.

연구 목표로는 지상-지하공간 침수예측기법 통합 및 실용화, 내수침수 재해지도 및 예경보 기술개발, 침수예상지역의 방재대책을 위한 제도적 기반 구축 등이 있다. 앞으로 국립방재연구원은 이러한 도시홍

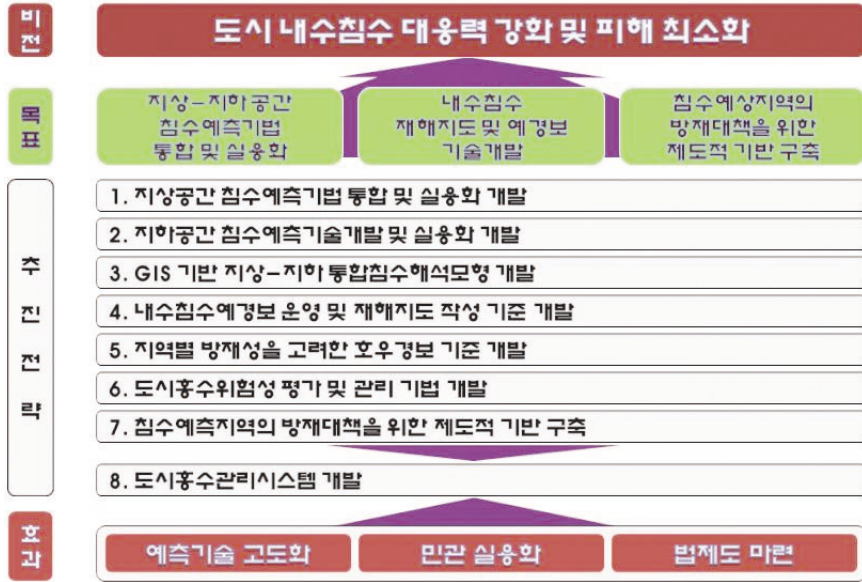


그림 11. 도시 지상 지하 통합내수침수해석기술 개발 추진전략

수에 대한 사전 침수예측과 예·경보 기술 개발과 개발된 성과에 대한 지속적인 고도화를 통해 세계적으로 브랜드화 할 수 있는 기술개발 투자와 체계를 구축해 나갈 예정이다.

6. 결론

최근 우리나라는 2009년 부산, 2010년 서울 및 인천 등 3개 도시지역에 대규모 침수피해가 발생하였으며, 기반시설이 타 지역에 비해 견고한 대도시가 홍수에 안전할 것이라는 생각은 더 많은 위험성을 야기

할 수 있을 것이라고 판단된다.

따라서 이제 외수-내수를 연계한 구조적 대책과 더불어 피해저감을 위한 비구조적 대책이 반드시 병행되어야 한다. 이를 위해 과거 외수중심의 대책으로 인해 상대적으로 취약했던 내수시설기준 및 관리체계를 개선하고 이와 함께 비구조적 대책으로써 인명피해 최소화하는데 필요한 대책들이 수립 및 시행되어야 하한다. 특히, 구조적 기반시설의 재설치가 최근 기후변화로 인한 집중호우피해를 완전히 차단하기에는 한계가 있기 때문에 피해를 사전에 예측하여 정책결정의 도구로 활용하는 비구조적 대책이 함께 강구되어야 할 것으로 판단된다. 🌊

참고문헌

1. 국립방재연구원(2010), 도시 내수침수해석기법의 방재활용 방안, 국립방재연구원
2. 심재현, 이철규(2009), 극한홍수의 상황과 국가차원의 대응방안, 한국수자원학회지 42권 제7호, pp. 30-38.
3. (사)한국물포럼(2012), 제6회 한국물포럼 정책토론회 발표집, (사)한국물포럼
4. 한국지방행정연구원(2011), 한·일 지방자치단체 재난방지대책 연구, 한국지방행정연구원