KACCC기후변화이슈리포트

극한강우로 인한 경제적 피해: 기후적응형 도시로의 전환 필요

2019년 10월호
(발행처) 한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터 • (발행기관 주소) 세종특별자치시 가름로 232
(집필진) 장훈 국가기후변화센터장, 김윤정 연구원

요 약

☑ 전체 재해 피해액 중 90% 이상은 극한강우에 의해 발생

- 전 지구적으로 1900~2006년 사이 발생한 자연재해 발생률 중 약 90%가 물 관련 재해에 의한 것임
- 미국에서 1980년 이후 피해액 1조를 넘는 재해 중 홍수, 폭풍의 발생 건수는 증가
- 2008~2017년, 우리나라에서 발생한 자연재해 피해액의 총 규모는 약 3조5천억, 그중 호우·태풍으로 발생한 피해액은 약 3조1천억으로 자연재해 피해액의 대부분을 차지

☑ 도시에서의 극한강우는 단위면적당 더 큰 피해액을 유발함

- 도시에서는 인프라 및 인구가 집적되어 다량의 1차 직접적 피해(물적 피해 및 인명 피해)가 증가
- 이는 불투수면적의 증가, 인구 및 건축물 증가, 지하공간의 확대 등 투수 및 배수 면적의 축소에 기인
- 또한, 기반시설의 노후화, 과거 기반시설의 설계기준이 기후변화 극값을 고려하지 못해 배제 능력 부족한 점도 피해액이 증가하는 원인

☑ 극한강우에 대응하여 기후적응형 도시로의 전환 필요

- 국제사회는 홍수·태풍 등 막대한 피해를 야기할 수 있는 기후변화 관련 재해에 대하여 도시 내 회복력(resilience)을 강화하고 기후적응형 도시로 나아갈 것을 촉구

① 기후변화 취약성평가에 기반한 사전예방적 도시계획의 촉구

☞ 기후변화 시나리오를 고려한 유출량 분석결과의 도시계획 반영 도모

☞ 기후변화 적응 개념의 도시계획 전반 적용

② 저영향개발(LID) 기술의 확대적용

☞ 분산형의 자연친화적 빗물관리를 수행

☞ 투수성포장, 식생여과대, 옥상녹화 등을 도입하고 개발 이전의 자연친화적 배수 형태를 도모

③ 인공 인프라의 교체 및 보강

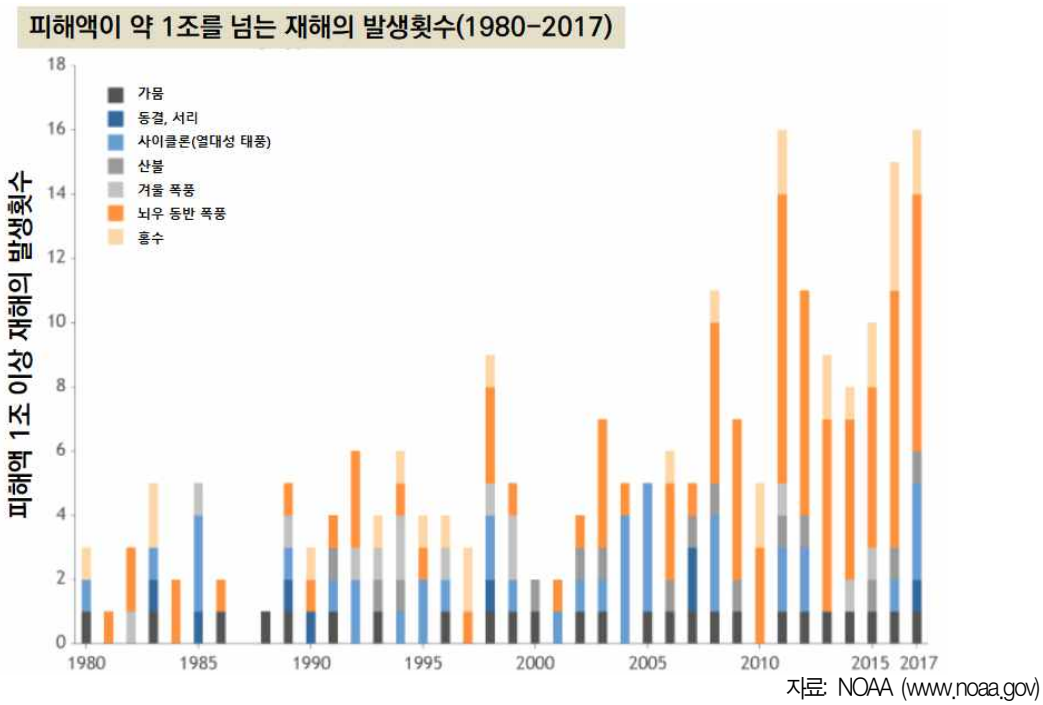
☞ 하수도, 배수로 등 인공 인프라에 대한 설계기준 강화 및 노후 인프라 보강

④ 스마트 물관리 기술의 확대 적용

☞ 사물인터넷, 빅데이터 분석기술 등 스마트 물관리 기술의 도입확대

다량의 재해 피해액은 극한강우 증가와 관련하여 발생

기상·기후 재해 가운데 발생율 및 피해규모가 유독 큰 재해유형 중 하나로 풍해(태풍, 강풍, 풍랑) 및 수해(호우, 홍수)를 들 수 있으며 이는 강우강도(rainfall intensity) 및 극한강우(extreme precipitation) 증가와 밀접한 관련이 있는 이상기후이다. UNESCO(2009)[1]는 전 지구적으로 1900~2006년 사이 발생한 각종 자연재해의 발생률을 분석하였으며 이 중 90% 이상에 해당하는 재해가 물 관련 재해였음을 밝힌 바 있다. 예컨대, 미국은 1980년 이후 꾸준한 재해 발생율의 증가가 있었으며 이 중 홍수, 태풍 등 극한강우와 밀접한 관련이 있는 재해 발생은 전체 자연재해 피해액의 다수를 차지하였음을 살펴볼 수 있다 (NOAA, www.noaa.gov) [그림 1].



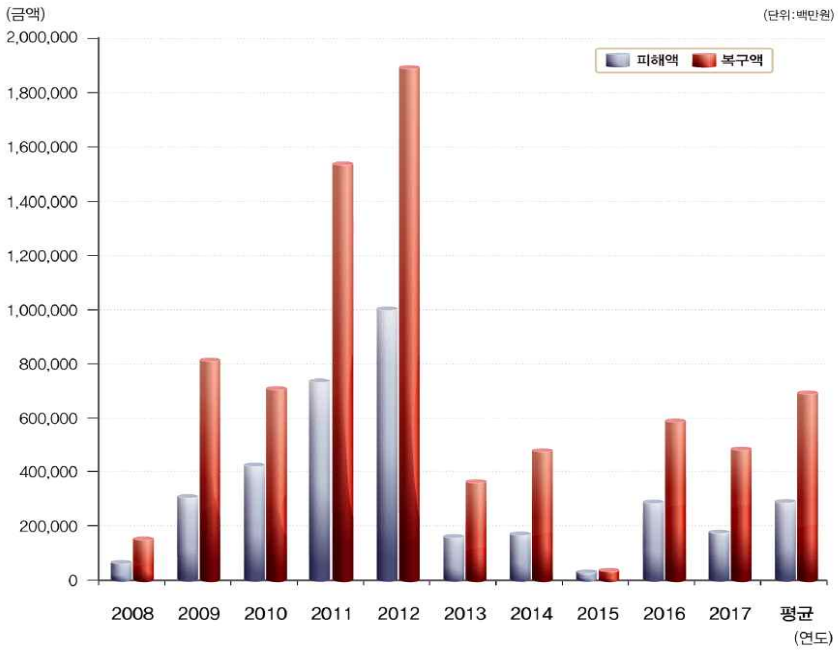
[그림 1] 미국의 1980~2017년 피해액 1조 이상 자연재해 발생동향 (1980년~2017년)

극한강우의 발생은 특히 피해규모가 막대한 대규모의 피해를 야기하여 문제가 된다. 예컨대 미국의 경우, 총 피해액이 약 1조를 넘는 홍수, 태풍이 2000년대에 들어 지속적으로 발생하여 정부차원에서 풍수해보험 규모를 지속적으로 확대하고 있다(Smith A. et al., 2013)[2]. **1조가 넘**

1) UNESCO. 2009. "Global Trends in Water-Related Disaster: an insight for policymakers".
2) Smith, A., and R. Katz, 2013, 「U.S. Billion-dollar Weather and Climate Disasters: Data Sources, Trends, Accuracy and Biases. Natural Hazards」

는 241건에 대한 과거 피해액은 약 1,000조를 육박하는 것으로 보고된 바 있다(NOAA, www.noaa.gov).

그렇다면 우리나라의 피해규모는 어떠한가? 2008~2017년, **약 10년간 우리나라에서 발생한 자연재해 피해액의 총 규모는 피해액 약 3조 5천억, 복구액 약 7조 2천억 원**으로 보고되었다(국민안전처, 2018[3]) [그림 2]. **호우, 태풍, 풍랑·강풍의 경우, 10년간 약 1조 5천억, 1조 6천억, 800억 정도의 피해액이 보고**되었다 (국민안전처, 2018). 그러나 보고 · 신고된 피해액이 아닌 실질 재산상의 피해규모를 집계하면 **실제 피해액의 규모는 이보다 더 클 수 있다**. 즉, 극한강우 관련 재해로 인한 피해액의 규모는 상당하며 선진국의 피해액 산정체계와 보상규모를 따를 경우, 실질 피해액은 이보다도 더 크게 집계될 수 있다.



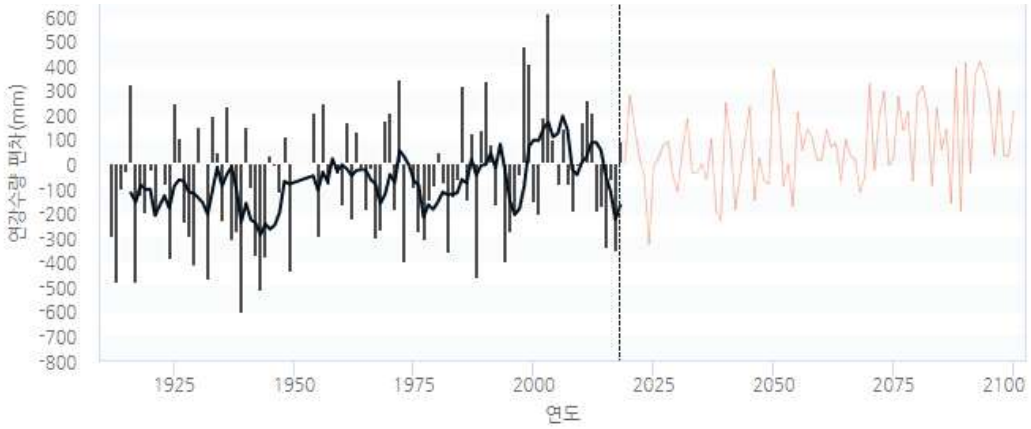
자료: 2017 재해연보에서 발췌
단위: 백만원

[그림 2] 우리나라의 자연재해 피해규모 (재해연보 기준)

한편, 우리나라는 지난 100년간 **강수량이 지속적으로 증가하는 경향**을 보였다. 더불어, 기후변화 전망에 의하면 향후 **기후변화에 의해 강수량의 증가폭이 더욱 상승할 것이라 전망**된다 (기상청, climate.go.kr) [그림 3]. 예컨대, 극한강우에 대해 주요 기상지표로 활용되는 "일 강수량이 80mm이상인 날의 횟수"의 경우, **2021~2030년 대비 2091~2100년에 강수량 극값의 분포가 전국적으로 확산**될 것으로 전망된 바 있다 [그림 4]. 즉 기후변화가 현재 추세로 진행될 경우,

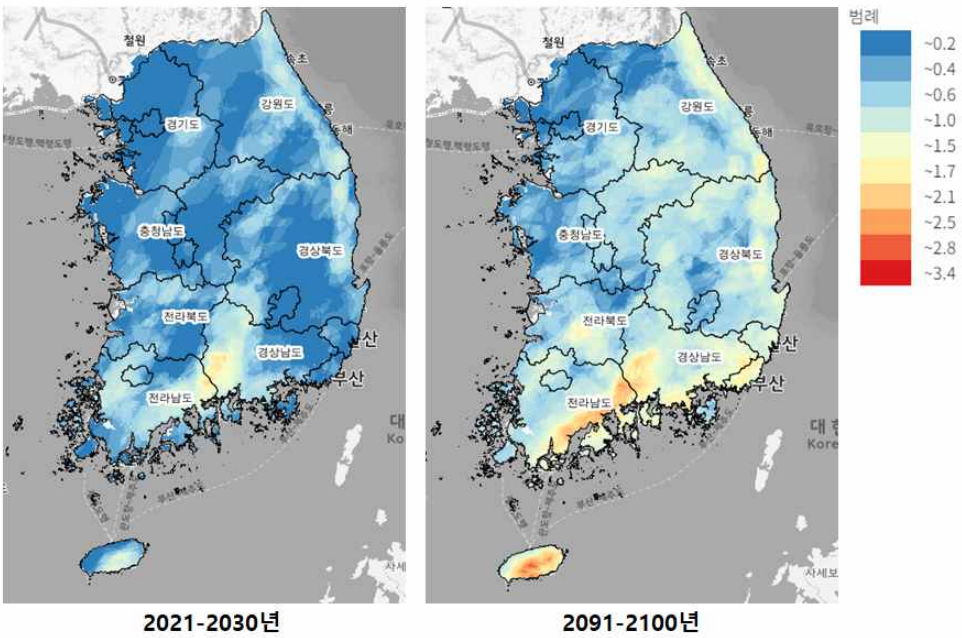
3) 국민안전처, 2018, 「2017 재해연보」, p.8, p. 223

우리나라는 극한강우 관련 재해(홍수 등)의 발생 빈도 및 강도가 점차 증가할 것으로 사료되어 문제가 된다.



자료: 기상청 (climate.go.kr)
주: 과거 관측값 및 미래 연강수량 전망 (RCP8.5 기준)

[그림 3] 과거~미래 우리나라 연강수량 증감추세



자료: 취약성평가도구 (vestap.kei.re.kr)
주: 일강수량이 80mm이상인 날의 횟수

[그림 4] 우리나라의 강수량 극값 분포전망

도시에서 발생한 극한강우는 큰 피해액을 유발

극한강우로 인한 피해는 국토 전반에서 발생하며 농림어업 생산성 저하, 시설 및 인명피해 등 극심한 사회경제·건강 피해를 전국에 걸쳐 유발한다. 이 중 단위면적당 피해액의 경우, 인구 및 인프라가 집적된 시가지 구역에서 클 수 있으며 도시(시가지 공간)[4]의 재해 피해액은 2000년대 들어 증가하고 있는 추세이다. 최근 발생한 침수 피해 역시 주로 불투수면적률이 높은 시가지 공간에서 관측되었다. 2011년 서울은 강남일대 침수피해와 우면산 산사태를 경험하였으며 2014년 부산은 국지적 집중호우로 인한 도시침수 피해를 입었다 (이상혁 외, 2018)[5]. 이어 2017년 청주의 시가지 침수, 2018년 광주도심 침수 등 우리나라는 지속적으로 도시 침수피해를 경험하였다.

도시 내 극한강우 발생은 상당한 규모의 피해액을 야기하였다. 집중호우만 고려하였을 때, 2011년 서울의 신고 피해액 규모는 약 300억 상당에 이르며 2014년 부산의 신고 피해규모는 약 900억에 달하는 등 큰 규모의 직접 피해액이 도시에서 발생하였다[6]. 그러나 우리나라의 이와 같은 피해규모는 타국에 비하면 적은 수준이다. 전 지구적으로 역대 최고 수준의 피해를 야기한 재해는 미국에서 발생한 카트리나, 샌디 등 태풍 발생에 의한 것으로 **최고 보상금액은 연 417조**로 집계되었다[7]. 즉, 홍수, 태풍 등 관련 재해의 발생 빈도·강도가 기후변화로 인해 증가할 경우, 더욱 막대한 도시 인프라 손실, 재정·인명 손실을 초래할 수 있다.

2011년 서울 강남일대 침수현장

자료: 오마이뉴스, 2013.05.15.

2017년 청주 침수현장

자료: 뉴시스, 2017.07.16.

[그림 5] 우리나라의 도시 침수 피해사례

도시에서 피해액이 증가하는 원인은 **불투수면적의 증가, 인구 및 건축물 증가, 지하공간의 확대 등 투수 및 배수 면적의 축소, 인프라의 증가**로 인한 것이라 사료된다. 도시에서는 1차 직접적 피해(물적 피해 및 인명 피해)가 증가하는 현상을 보이며 (최충익, 2003)[8], 이와 같은

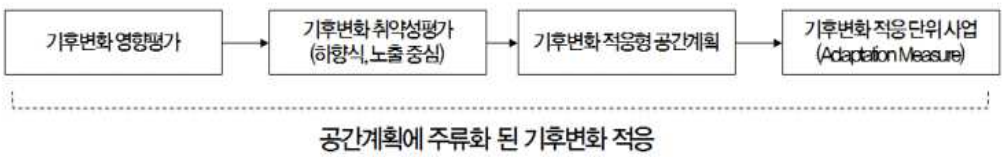
4) 여기서 도시는 국토전역의 시가지 구역을 포괄
5) 이상혁, 강정은, 2018, "도시계획 적용을 위한 도시홍수 취약성 및 리스크 평가" 국토계획 53(5): 185-206.
6) 국민안전처, 2018, 「2017 재해연보」, p.237.
7) FEMA, www.fema.gov.
8) 최충익, 2003, "도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해 취약성에 미치는 영향에 관한 연구 - 경기도를 사례로" 국

1차 피해의 증가는 막대한 경제적 피해액을 유발할 수 있다. 또한, 기반시설의 노후화, 재해의 빈도·강도에 대한 과거 기반시설 설계기준이 기후변화 극값을 고려하지 못한 점 등도 피해액이 증가하는 원인으로 지목할 수 있다. 한국시설안전공단(2017)[9]에 따르면 31년 이상이 경과한 1-2종 시설물이 2010년 1,674개에서 2016년 3,412개로 급증하였음을 제시하였으며 도시 내 기반시설 노후화 비율이 점차 증가할 것을 명시하였다. 더불어, 기존 도시계획은 방재에 대한 고려가 부족하였으며 이에 온도와 강수량에 대한 설계기준이 기후변화 현상을 충분히 반영하지 못하였다고 판단된다. 예컨대, 우리나라는 과거에 극한강우 피해가 주로 하천의 범람, 제방 붕괴[10]로 인해 국토 전반에 걸쳐 발생하였으나 2000년대 이후로는 배수로, 하수도 등과 관련된 시가지공간 내 **배제 능력의 부족**으로 인해 주로 발생[11] 하는 현상을 보였다 (박수진 외, 2018)[12].

극한강우를 고려한 기후적응형 도시로의 전환 방안

최근 국제사회는 홍수·태풍 등 막대한 피해를 야기할 수 있는 기후변화 관련 재해에 대하여 도시 내 회복력(resilience)을 강화하고 **기후적응형 도시**로 나아갈 것을 촉구하고 있다. 여기서 회복력이란 **극한기후, 외부 변화에 대하여 어떤 공간이 창의적이고 예방적이며 사전적으로 대응할 수 있는 역량**을 의미하며 기후적응형 도시란 충분한 회복력을 보유하여 풍해·수해 등 기후변화 현상에 적응할 수 있는 도시를 의미한다[13].

첫째, 기후적응형 도시로 나아가기 위해 임기응변적 공간계획보다는 사전의 기후변화 영향 예측결과를 토대로 사전예방적 공간계획이 필요하다. 구체적으로 홍수, 태풍 등 재해에 적응하기 위해 우선적으로 미래 기후변화에 따른 강수량 극값 전망을 고려하여야 하며 **극값에 대한 시가지별 취약성을 사전 평가**할 필요가 있다. 기존 도시계획과 달리 취약성평가 분석결과를 토대로 하수도 등 방재 인프라의 보강, 투수성 포장·자투리 녹지 등 증가, 배수로 계획정비 등 사전예방적 기후변화 적응계획을 수립해야 한다. 또한, 단위사업의 수행을 통해 적응 대책의 보강을 꾀해야한다.



자료: 김동현 외(2013)에서 발췌

[그림 6] 기후변화 적응형 공간계획의 수립절차

토계획 38(2): 35-48.

9) 한국시설안전공단, 2017, 「시설물통계연보」

10) 외수피해

11) 내수피해

12) 박수진, 박지수, 2018, "서울시 침수피해와 자연·환경적 요인분석" 국토지리학회지 52(2): 297-309.

13) 김동현 외, 2013, 「기후변화 적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구」

한편, 취약성평가와 관련하여 전 지구적으로 극한강우에 대한 유출량 평가기술이 고도화되고 확대되고 있다. 이에 고도화된 유출량 분석결과를 토대로 지역 및 지구단위 공간계획의 수립이 필요하다. 또한, 공간계획에 활용될 수 있는 침수피해 공간정보, 유출량 예측결과의 격자단위 공간정보 등 관련 공간정보의 체계적 구축 및 활용이 필요한 실정이다.

둘째, 구체적 전략으로 도시 물순환의 지속가능성을 도모하는 **"저영향개발(LID; Low Impact Development)"을 기후적응형 공간계획의 일환으로 확대 적용**해야 한다. 저영향개발은 1990년대 초반 미국을 중심으로 시작되었으며 기존의 폐쇄형 배수체계[14]가 아닌 분산형의 자연친화적 빗물관리를 추구한다[15]. 저영향개발은 도시 내 물순환을 장기적으로 해결할 수 있는 지속가능한 해결책으로 제기되어왔다. 본 방식은 우수관, 하수도 등의 인공 인프라뿐만 아니라 옥상녹화, 자투리 녹지, 투수성포장 등 보다 다양한 그린 인프라의 활용을 도모하며 개발 이전의 자연적 수문특성을 도시공간에 구현하는데 주력한다. 저영향개발에 기반한 공간계획은 저수용량, 설계빈도 외 자연지형, 토양, 주변녹지와의 공간적 연계특성 등 보다 다양한 요소를 고려하여야 한다. 우리나라는 2013년 저영향개발에 대한 가이드라인을 발표하였으며[16] 이후 서울특별시, 광주광역시, 세종특별자치시 등 주요 도시에서 저영향개발에 대한 조례를 제·개정하는 등 저영향개발 도입을 위한 노력을 기울이고 있다. 그러나 도시 물순환 이슈에 대한 정책이슈 제기 미비, 관심부족 및 인식저하 등 문제가 존재한다. 지역단위 물순환 정책은 주로 광역시 및 주요도심을 중심으로 수립되었으나, 더 나아가 국토 전반을 대상으로 지역 특성에 맞는 정책 수립을 도모해야만 한다.

기술요소	저류기능	여과기능	침투기능	증발산	생태서식처	지하수함양	심미성	적용성	
								단지	도로
식생체류지(Bioretention)	V	V	V	V	V	V	V	◉	◉
옥상녹화(Greenroof)	V	V		V	V		V	◉	–
나무여과상자(Treeboxfilter)		V	V			V	V	◉	◉
식물재배화분(Planter box)		V	V	V	V	V	V	◉	○
식생수로(Bioswale, Vegetated Swale)	V	V	V	V	V	V	V	◉	◉
식생여과대(Bioslope)		V	V	V	V		V	○	◉
침투도랑(Infiltration trench)	V	V	V	V		V	V	◉	◉
침투통(Dry wells)	V	V	V			V		◉	○
투수성 포장(Porous pavement)		V	V	V		V		◉	○
모래여과장치(Sandfilter)		V	V			V		○	△
빗물통(Rain barrel)	V							◉	–

※ 비점오염저감시설의 설치 및 관리운영매뉴얼(환경부,2008.12), 수질오염총량 관리기술지침(2012.8)에서 구분하고 있는 기술요소의 종류와 일치하지 않는 경우 적용목적에 따라 담당부서와 협의 후 적용하는 것이 바람직함.
(◉: 매우좋음, ○: 좋음, △: 보통, –: 적용어려움)

자료: 환경부(2013)에서 발췌

[그림 7] 저영향개발 기술요소 및 주요 효과

14) 자연배수 방식, 지형 등에 대한 고려가 없는 불투수면적 위주의 공간계획
15) 강정은 외, 2014, 도시 물순환 개선을 위한 도시기본계획과 저영향개발 연계성 분석, 대한토목학회 34(5); 1625-1638.
16) 환경부, 2013, 「저영향개발 기술요소 가이드라인」

셋째, 기후변화를 고려한 인공 인프라의 보강이 필요하다. 신규 인프라의 구축과 관련하여 기존의 100년 빈도 설계에서 점차 증가하는 홍수·태풍의 강도를 고려하여 1,000년 빈도를 고려하는 등 **설계기준을 강화**할 필요가 있다. 또한, **노후 인프라**에 대하여 하수관거 정비 및 교체, 배수체계의 보완 등 시설 보강을 지속적으로 시행해야 한다. 실제 도시 내 침수피해 금액이 증가하는 주요 원인으로 하수관거 등 시설의 노후화가 진행된 점, 기존 설계기준이 기후변화에 의한 기후극값을 고려하지 못한 점을 들 수 있으며 이에 저영향개발과 함께 인공 인프라의 체계적인 보강이 필수적으로 시행되어야 한다.

또한, 물순환 현황과 배제효과를 점검·분석할 수 있도록 **모니터링 기술의 선진화**를 도모할 필요가 있다. 최근 우리나라는 **스마트 물관리기술**을 파주, 세종 등을 대상으로 시범도입하였다 (수자원공사, www.kwater.or.kr). 사물인터넷, 빅데이터 분석기술, 블록체인 등 선진 물관리 기술의 도입을 통해 보다 효과적인 물관리을 지속적으로 확대할 필요가 있다. 결과적으로 기후변화 피해액의 획기적 감소를 위해 도시 내 물순환 기반을 지속적으로 다져야 한다.

자료: www.kwater.or.kr

[그림 8] 스마트 물관리(SWM) 도입현황

결론

극한강우는 국토전반 및 도시에서 기후변화 피해액이 증가하는 주요 원인이다. 우리나라는 물순환 이슈에 주목하여 저영향개발 기법의 적용 독려, 물순환 선도 도시의 구축, 물순환 관련 조례의 제·개정 등을 도모하여 왔으나 이와 같은 노력에도 불구하고 피해규모는 줄어들지 않고 있다. 이에 본 이슈리포트에서는 기후변화 적응을 기반으로 한 도시계획·지역계획의 수행 필요성을 강조하고 기후적응형 공간계획을 도모할 것을 강조하였다. 구체적으로 미래 극한강우를 고려하여 상세한 유출량 분석에 기반한 취약성 평가를 수행할 필요가 있다. 또한, 저영향개발 기법을 적극적으로 적용하여 빗물의 지속가능한 순환을 도모할 필요가 있다. 최근 대두되고 있는 스마트 물관리 기술을 확대적용하고 기존의 시설을 보강하여 물 관련 재해 피해규모를 줄여나가야 한다. 즉, 기후적응형 도시로의 전환 실패는 막대한 피해액을 유발할 것이라 사료되며 이에 따라 우리나라는 효과적인 물순환 체계의 조성을 위한 적응 정책 및 계획 개발에 적극적으로 나서야 한다.