



홍수와 더불어 살기

Living with Flood



1. 홍수위험

우리는 주변의 여러 가지 위험에 노출되어 있으며 이로부터 위험에 놓이게 된다. 즉 경제가 주는 위험, 건강에 관한 위험 및 자연이 주는 위험으로부터 위험을 받고 있는 것이다. 이런 위험은 우리들의 재산, 건강, 환경을 빼앗아가는 공통점이 있지만 사회적으로 위험을 관리하는 방법론에는 큰 차이가 있다. 자연이 인간에 주는 위험에는 지진, 해일, 홍수, 가뭄 등이 있으며 이 중에서 가장 빈발하며 큰 피해를 주는 것이 홍수이다. 홍수는 “평시에는 물이 없는 땅인 곳이 일시적으로 물로 덮이는 현상”이라고 정의할 수 있다. 홍수위험은 “홍수발생확률과 잠재피해의 조합”이라고 정의할 수 있다. 지금까지 우리는 홍수를 막기 위하여 댐을 건설하고, 제방을 쌓고 방수로 설치하는 등 구조물에 의존하여 홍수를 방어하려고 하였다. 그러나 최근들어 홍수가 빈발하고 이로

인한 피해가 급증하는 것은 큰 비가 내릴 경우 빗물이 머물고 가는 자연의 물길을 막아 그 곳에 거주하는 인구가 크게 늘었기 때문이다. 우리나라보다 큰 홍수 피해를 당해본 외국의 여러 나라를 중심으로 홍수에 대처하는 새로운 패러다임이 눈길을 끌고 있다. 원래는 “자연환경이 허용하는 범위 내에서 살기(Living within environmental limits)”가 기본 개념이다. 그러나 홍수는 인간의 힘으로 완벽하게 막을 수 없기 때문에 “홍수위험과 더불어 살기(Living with flood risk)”로

변화되었다. 즉 홍수위험에 노출된 지역에서는 홍수위험을 관리하면서 지속가능한 삶을 영위하는 “홍수와 더불어 살기(Living with flood)”로 개념이 정립되고 있다.

홍수위험(flood risk)은 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 홍수위험도(flood hazard), 노출도(exposure) 및 취약도(vulnerability)의 함수로 결정된다. 홍수위험을 효율적으로 관리하기 위해서는 홍수위험을 평가하고 이에 대한 교육·홍보를 통하여 민관협력 체계를 구축하여야

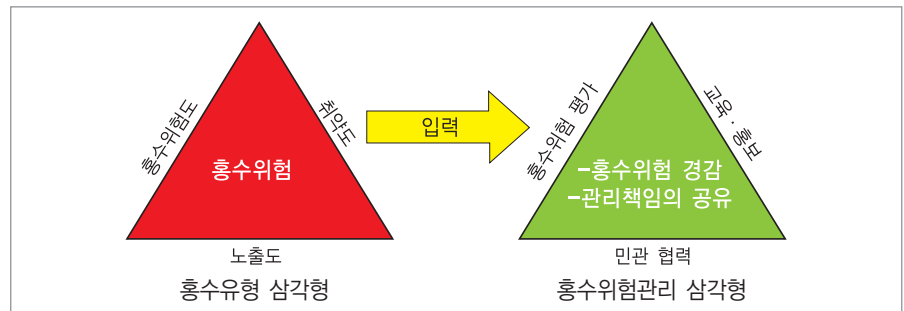


그림 1. 홍수위험 및 홍수위험관리에 대한 삼각형

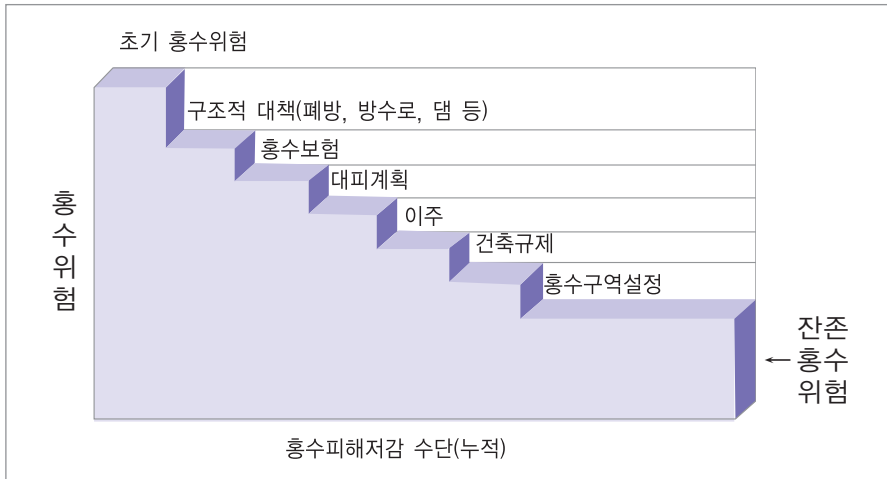


그림 2. 잔존 홍수위험

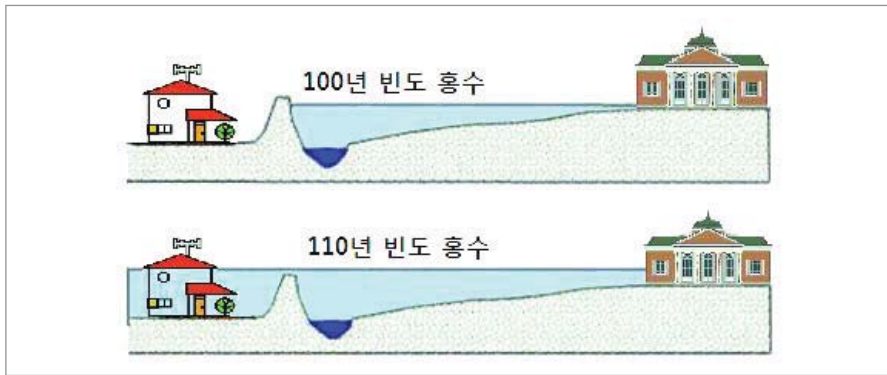


그림 3. 잔존 홍수위험의 예

| 이상기후 조짐 | 20세기(관측) | 21세기 말(예측) |
|------------|----------|------------|
| 집중호우 증가? | 가능 | 매우 가능 |
| 수일간 집중호우? | 가능 | 매우 가능 |
| 가뭄 빈발? | 가능성 적음 | 매우 가능 |
| 태풍발생 증가? | 가능성 적음 | 가능 |
| 태풍강도 증가? | 가능성 적음 | 가능 |
| 엘니뇨 현상 증가? | 가능 | 가능 |

표 1. 이상기후 출현 가능성

한다. 그림 2에 보인 바와 같이 홍수위험은 여러 가지 구조물 및 비구조물 대책에서 의해서 줄어들지만 인간의 힘으로는 막을 수 없는 위험이 남기 마련이다. 이를 잔존 홍수위험(residual flood risk)이라 한다. 그림 3에 보인 바와 같이 100년 빈

도 홍수위험에 잘 보호된다 하더라도 110년 빈도의 홍수위험에는 전혀 보호될 수 없음을 알 수 있다.

더욱이 우리는 기후변화에 의한 새로운 위협에 노출되어 있다. '정부간기후변화 협의체(IPCC)'에 의하면 표 1에 보인 바

와 같이 홍수의 빈도와 강도가 심화될 것으로 예상되고 있다. 우리나라 기상청이 관측한 강우양상 변화를 살펴보면 1920년 대비 최근 20년 동안 강수량은 7% 증가, 강수 일수는 14% 감소, 강우강도는 18% 증가한 것으로 나타났다. 이에 따라 연 강수량은 약한 상승, 강수일수는 감소, 강수강도는 증가(집중호우 빈도 증가)하는 추세를 보일 것이며, 강수량과 기온과의 상관관계가 증가할 것으로 전망하고 있다. 이는 향후 기후변화에 따라 홍수위험도(flood hazard)가 증가할 것이며, 홍수에 노출되는 정도와 홍수방어 체계의 취약성에 따라 다소 차이는 있겠지만 홍수위험은 상당히 증가할 것이다.

그러면 증가된 홍수위험에 어떻게 대처할 것인가? 먼저 미국의 제방정책의 변화를 통해 구조물 대책의 한계를 살펴보고, 최근 발생한 큰 홍수로 인하여 고통을 받은 바 있는 메콩델타 지역의 베트남, 네덜란드, 영국 및 미국의 홍수위험관리 대책에 대하여 조명해 보고자 한다.

2. 구조물 대책의 한계 - 제방에 대하여

그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 미국은 일찍이 개척시대부터 하천변의 비옥한 토지를 이용하기 위하여 제방을 축조하였다. 이는 홍수에 대한 도전이라고 볼 수 있다. 그러나 이러한 도전은 실패로 이어졌다. 그림 5에 보인 바와 같이 하천변의 여러 도시들의 홍수가 끊이지 않고 발생하였다.

이에 따라 미국 정부는 홍수를 더욱 강력하게 방어하기 위하여 법을 제정하였다. 1928년에는 미시시피 하류지역(Lower Mississippi Valley)에 대한 홍

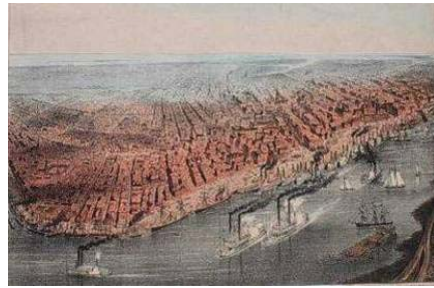


그림 4. 개척시대의 제방 축조



(a) Johnstown



(b) Greenville



(c) Pittsburg

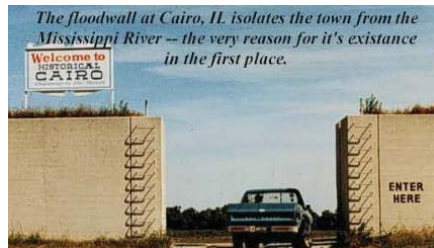


(d) Lowell

그림 5. 하천변 도시의 홍수 빈발



(a) 미시시피강의 제방



(b) 미시시피강의 홍수벽



(c) 제방 높이의 변천

그림 6. 미시시피강의 제방 보강

수조절법(Flood Control Act), 1936년에는 전국에 대한 홍수조절법을 제정한 바 있다. 이어 1986년에는 수자원개발법((Water Resources Development Act) 제정을 통하여 연방과 주간의 홍수위험에 대한 책임을 공유하였다. 이에 따라 1936년 이후 그림 6에 보인 바와 같이 500년 빈도 이상의 제방을 축조하게 된다.

그러나 이 또한 절반의 성공이었다. 제방, 주운수로 및 다목적 댐 건설을 통하여 어느 정도 홍수위험을 경감시켰지만, 하천변의 환경변화를 겪게 되었고 더욱이 잠재적 홍수피해(flood damage potential)가 커져 홍수위험이 더욱 증가한 것이다. 1993년에 미시시피강의 제방 월류 및 붕괴로 유래 없이 큰 홍수피해가 발생하였다. 피해액은 당시 가치로 150억 달러에 이르며 침수면적은 남한의 면적에 맞먹는 80,000 km² 정도였다. 백안관은 1993년~1994년에 걸친 홍수터 검토(White House Floodplain Review)를 통해 1) 높은 수준의 영구 제방에 의해 보호된다고 하더라도 잔존 홍수피해 우려가 있으며, 2) 인구집중 지역은 표준사업홍수량(SPF; Standard Project Flood, PMP의 약 50%) 이상으로 보호되어야 하며, 3) 제방의 위치 및 안전도가 아직까지 미확인되고 있으므로 문제라는 것은 발표한 바 있다. 그러나 12년 후인 2005년 허리케인 카트리나(Katrina)로 인하여 또 다시 미시시피강의 제방이 월류 및 붕괴하여 사상 최대의 홍수피해가 발생하였다. 피해액은 2008년 기준 가치로 896억 원에 이르며 뉴올리언즈의 80%가 침수되었고, 사망자가 1,836명, 실종자가 705명, 대피인원이 100만 명으로 집계되었다.

두 번의 큰 홍수는 미국의 홍수 정책에

큰 변화를 가져 왔다. 주홍수터관리자협회(ASFPM; Association of State FloodPlain Managers, <http://www.flood.org>)는 제방을 “양날을 가진 칼”에 비유하고 있다. 이 협회는 제방에 의해서 보호되는 지역에도 항상 잔존 홍수피해가 존재함을 경고하고 있다. 미연방재난관리청(FEMA; Federal Emergency Management Agency)은 500년 빈도 이상 또는 표준사업홍수량까지 보호하지 못하는 제방은 국가홍수보험제도 상의 제방으로 인정하지 않을 뿐만 아니라, 신뢰할 수 있는 제방에 의해 보호되는 지역에서도 홍수보험 가입을 의무화하는 조치를 취한 바 있다. 주홍수터관리자협회, 미연방재난관리청 및 미공병단(USACE; United States Army Corps of Engineers) 모두 제방 관련 홍수위험도와 홍수위험에 대한 공공의 이해 및 인식을 제고하기 위하여 적극적 홍보가 필요하다고 주장하고 있다.

미국의 제방 역사로부터 제방의 문제점은 새로운 사실이 아니며 제방의 문제점을 해결하기 위해서는 새로운 홍수위험관리 접근법이 필요함을 알 수 있다. 제방은 홍수위험 저감수단의 최저선(bottom line)이며, 제방에 의해 보호되는 지역에서도 잔존 홍수위험이 상존함을 알 수 있다.

3. ‘홍수와 더불어 살기’ 사례

3.1. 유럽연합

유럽연합(EU; European Union)은 “홍수위험 평가 및 관리에 대한 훈령(Directive 2007/60/EC)”을 제정한 바 있다. 이 훈령에서는 홍수의 예방, 방어 및 대비에 대하여 다루고 있으며, 특히 하천에 공간을 돌려주어 홍수터를 유지·복



그림 7. 1993년 미시시피강 대홍수



그림 8. 2005년 미시시피강 대홍수

원시킴으로써 홍수를 예방하고 피해를 경감시키는 것에 중점을 두고 있다. 이를 위하여 실무적으로 홍수위험도(flood hazard) 및 홍수위험(flood risk) 지도 제작을 추천하고 있다.

홍수위험도 지도는 저빈도(극치사상), 중빈도(100년 정도) 및 고빈도 홍수 시나리오에 대하여 작성하는 것을 권장하고 있다. 홍수위험도 지도에는 침수 규모, 수심 또는 수위 및 유속 등 흐름 특성이 포함되어야 한다. 홍수위험 지도는 잠재적으로 영향을 받는 거주자 수, 경제활동의 유형, 홍수로 인한 오염사고 가능성 및 유사(流砂) 및 부유물 이송에 대한 사항이 포함되어야 한다. 홍수위험관리 계획은 비용-편익, 침수범위, 홍수흐름 경로, 홍수저류 공간(홍수터) 등 고려하여 토양관리, 공간계획, 토지이용, 자연보전대책,

주운에 대한 계획이 포함되어야 한다. 홍수위험관리의 구성 요소는 예방, 방어, 대비, 응급대응 및 복구 및 교훈 등 5가지이다. 1) 예방 요소에는 반드시 장래 개발계획이 포함되어야 하며 토지이용 및 경작·조림 관행의 개선 사항도 포함되어야 한다. 2) 방어 요소에는 구조물 대책 및 비구조물 대책이 망라되어야 한다. 3) 대비 요소에는 시민행동지침과 홍보 및 교육이 포함되어야 한다. 4) 응급대응 요소에는 응급대응계획 수립이 포함되어야 한다. 5) 복구 및 교훈 요소에는 신속성을 고려하여 사회적·경제적 영향 경감에 대한 내용이 포함되어야 한다.

홍수위험관리의 흐름도는 그림 9에 보인 바와 같다. 이로부터 홍수발생 시 홍수피해가 대처능력 이내에서 발생하면 단순히 홍수사상(flood event)에 불과하지만,

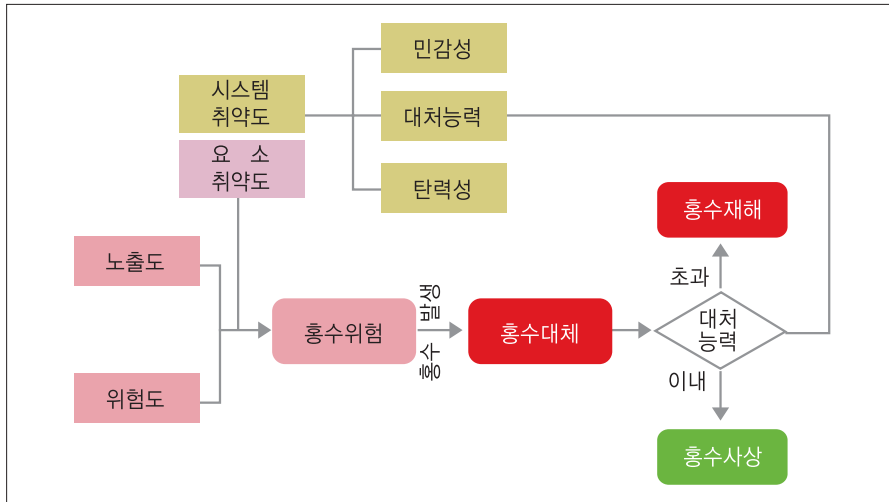


그림 9. 홍수위험관리의 흐름도

대처능력을 초과하면 홍수재해로 판단한다. 홍수피해를 줄이기 위해서는 대처 능력을 향상시켜야 한다. 이 때 대처능력을 향상시키기 위하여 구조물 대책과 비구조물 대책을 병행해야 하지만, 가능한 한 비구조물 대책을 우선 고려해야 하고 친환경적인 대책을 수립하는 것이 중요하다.

3.2. 메콩델타 지역의 베트남

메콩(Mekong)강은 길이가 4,800 km, 유역면적이 800,000 km²이며, 세계에서 2번째로 생태다양성이 높다. 메콩강은 6 개 국가(중국, 미얀마, 라오스, 태국, 캄보디아, 베트남)를 흐르는 국제하천으로 95 개 민족, 6천만명이 분류 및 지류에서 삶을 영위하고 있다. 영양분이 풍부한 유사 공급, 어류 알 및 치어의 이동, 내륙 어업, 하상청소 효과, 홍수 후 수질개선, 용수 확보, 생태계 다양성 등 홍수의 순효과를 이용하기 위하여 베트남 정부는 1970년대부터 메콩델타 지역으로 이주를 추진하였다. 그러나 홍수피해가 빈발하기 때문에 1996년부터 홍수피해를 경감하기 위한 “홍수와 더불어 살기” 정책을 추진하였다. 그

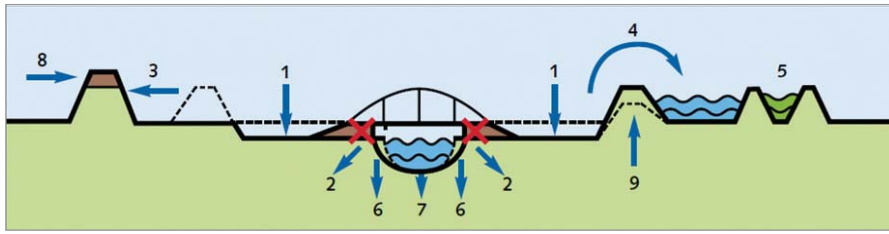
일환으로 홍수터 거주자 이주대책을 실시함으로써 이주단지를 1,000개 이상 조성하여 200,000여 가구를 이주시켰다. 또한 홍수를 대비하여 가옥을 승상하거나, 홍수에 적합한 경작 및 어업으로 전환하는 등 비구조물 대책을 추진하고 있다. 이러한 대책은 홍수관리 및 경감 프로그램(Flood Management and Mitigation Programme)을 통해 종합적으로 추진되고 있다. 이 프로그램의 주요 내용은 조기 홍수경보의 접근 및 전파, 지역사회의 인식 증진 및 복원력 강화, 아동 및 여성 활동의 필요성 강조 및 참여 유도, 다국간 비상재난관리 협조체계 구축 등이 있다. 아울러 홍수 대비 프로그램 (Flood Preparedness Programs)을 추진하여 홍수위험경감을 위한 지자체의 홍수대비 능력 배양 및 개발을 도모하고 있다.

3.3. 네덜란드

라인강의 최하류에 위치한 네덜란드는 지난 1990년대에 2차례나 큰 홍수를 겪었다. 1993과 1995년에 발생한 홍수로 인하여 제방붕괴 가능성까지 제기된 바

있다. 실제로 제방붕괴가 발생하지는 않았지만 이 두 번의 홍수는 네덜란드의 홍수방어 능력을 제고시켜야 한다는 경고로 받아들여졌다. 1995년 홍수 이후 수립된 “주요하천삼각주계획(Major Rivers Delta Plan)”은 제방강화가 최우선적으로 제안되었다. 그러나 홍수안전도를 확보하기 위해서는 제방강화 이외의 다른 대책이 필요하다는 점이 제기되었다. 기후변화와 지반침하로 인하여 제방 증고와 강화로만은 홍수를 방어하기 어려워진 것이다. 특히 네덜란드는 겨울철에 홍수기를 맞게 되는데 이는 내륙 배후지의 더 많은 융설과 강우가 라인강으로 몰려들기 때문이고 이로 인하여 하천수위가 더욱 상승하게 되었다. 이에 대한 새롭고 다양한 대책 수립이 필요한 시점된 것이다. 2000년 12월 네덜란드 정부는 기존 대책과는 전혀 다른 “Room for the River” 정책을 수립하게 된다. 제방을 높이는 대책 대신에 하천에 좀 더 많은 공간을 확보해 돌려주는 정책을 결정하게 된다. 이와 같은 새로운 접근 방법은 2가지 목적을 달성하기 위한 것이다. 1번째는 하천에 더 많은 홍수소통 공간을 확보함으로써 홍수안전도를 높이는 것이고, 2번째는 확보된 하천 공간의 질을 높이는 것이다.

네덜란드 하천은 예견된 기후변화로 인한 극대홍수량에 견딜 것을 전제로 한다. 대규모의 홍수대책 없이는 네덜란드의 치수안전도는 받아들이기 어려울 정도로 급격히 떨어질 것이다. 최근까지도 제방증고가 표준적인 정책이었다. 하지만, 더 이상의 제방증고는 어려움에 봉착할 것이다. 인구밀도가 계속 증가하고 있고 이에 따라 경제적 잠재력과 경제·사회의 취약성도 증가하고 있다. 따라서 증가될 홍수위에 대처하기 위한 새로운 접근법이 강



1 : 홍수터 굴착, 2 : 지장물 제거, 3 : 제방후퇴, 4 : 저류지, 5 : 방수로, 6 : 수제 표고 낮춤, 7 : 하상준설, 8 : 제방증고, 9 : 제방보강

그림 10. "Room for the River" 사업의 여러 가지 치수대책



(a) 사업 중

(b) 사업 후

그림 11. 아른헴(Arnhem)시의 제방후퇴 및 홍수터 굴착

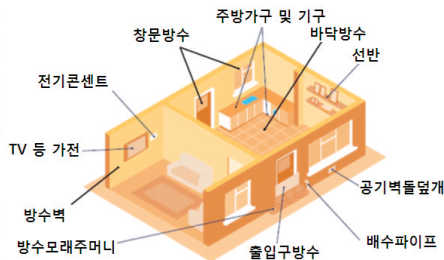


그림 12. 개인 및 소규모 사업장의 홍수방어 참여

구되었다. 즉, 재래적인 제방 보강 및增高 대신에 그림 10에 보인 바와 같이 하천으로부터 빼앗은 공간을 하천에 되돌려 주는 방법을 택하게 된 것이다. 제방을 제

내지 측으로 후퇴시켜 하천의 횡단면을 넓히거나 홍수터 표고를 낮추는 등의 공간 대책을 통해 홍수위를 확실히 낮출 수 있다. 대표적인 제방후퇴 및 홍수터 굴착

사업은 그림 11에 보인 바와 같다.

3.4. 영국

2004년 영국 과학기술부는 미래홍수에 측(Foresight Future Flooding)이라는 보고서를 발표한 바 있다. 이 보고서에는 기후변화에 의한 홍수위험이 다루어지고 있으며 이에 대한 대응방안이 제시되어 있다. 이에 따른 새로운 홍수위험관리 전략이 "Making Space for Water"라고 명명되었다. 즉, 물에게 공간을 제공함으로써 홍수가 유발시키는 인적·경제적 역효과를 관리하고 환경적·사회적 이익을 추구하자는 것이다. 이 전략은 매우 통합적인 것으로 홍수위험의 설정, 평가 및 관리를 지속가능한 개발과 연계시키고 있다. 이 전략의 골자는 1) 자연환경이 허용하는 범위 내에서 살기, 2) 강하고 건강하고 정의로운 사회구현, 3) 지속가능한 경제활동, 4) 올바른 거버넌스 증진, 5) 책임있는 적절한 과학의 활용이다.

"Making Space for Water"의 주요 사업으로 '통합도시배수관리' 및 '지속가능한 홍수터 토지이용 최적화(FLAWS: Floodplain Land-use Optimising Workable Sustainability)' 등을 예로 들 수 있다. 특히 '지속가능한 홍수터 토지이용 최적화' 사업에서는 기후변화로 인하여 증가하는 홍수위험에 적응하는 사회를 만들기 위하여 개인 및 소규모 사업장의 자발적 참여를 유도하고 있다. 그림 12는 이에 대한 한 예를 보인 것이다.

3.5. 미국

1920년대에는 로스앤젤레스 지역 내린 강우의 5%만이 하천을 통해 바다로 유출되었으나 오늘날에는 불투수층과 하수망의 증가로 인해 무려 50%가 바다로 유출



(a) 빗물정원



(b) 옥상녹화



(c) 빗물저장통



(d) 침투촉진



(e) 침투촉진



(f) 침투촉진



(g) 침투촉진

그림 13. 녹색기반시설의 예

되고 있다. 또한 도시지역 물수요의 80%가 외부 유역으로부터 비싼 가격으로 공급되고 있는 실정이다. 도시화는 물순환을 크게 왜곡시켜 홍수와 가뭄 문제를 심화시켰다. 물순환을 바로 잡아 홍수와 용수 문제를 해결하기 위한 대책이 바로 녹색기반시설(Green Infrastructure)이다.

자연상태의 토지에 비가 내리면 많은 양이 땅 속으로 침투하거나, 증발이나 식물에 의해 대기로 돌아간다. 땅속으로 침투하지 않은 빗물은 지표면, 하수망, 하천

을 통해 유출된다. 주차장, 도로 및 지붕 등의 불투수성 포장은 물순환을 크게 왜곡시켰다. 땅으로 침투하는 빗물이 줄어들수록 큰 홍수가 발생할 수 있으며 지표면의 많은 오염물이 쉽게 하천으로 유입된다. 녹색기반시설은 침투와 증발을 촉진시키고 유출을 저감시켜 자연상태의 물순환을 재현함으로써 자연적인 물의 균형을 보전·복원하는 것이다. 이를 구현할 방법으로 감속(Slow It Down), 분산(Spread It Out), 침투(Soak It In) 기법

을 활용한다. 유출저감시설에는 그림 13에 보인 바와 같이 빗물정원(rain gardens), 옥상녹화(green roofs), 빗물저장통(rain barrels) 및 침투시설(infiltration facility) 등이 있다.

녹색기반시설은 환경적, 사회적, 경제적 이익을 가져다 줄 수 있다. 환경적 이익으로 1) 홍수경감, 2) 수질개선, 3) 생태서식처 증진, 4) 도시지역의 열섬현상 완화, 5) 대기질 향상, 6) 지구온난화 완화, 7) 지하수 함양 등을 들 수 있다. 사회적 이익으로는 1) 공간보전 증진, 2) 환경미화, 3) 교통소음 저감, 4) 시민사회 활성화 등을 들 수 있다. 경제적 이익으로는 1) 경관관리 비용저감, 2) 지하수 함양을 통한 수자원 확보, 3) 지역간 물이동 축소, 4) 에너지 절약 등을 들 수 있다.

4. 결론

“홍수는 하늘의 이치이다. 그러나 홍수피해는 인간의 활동에 의해서 만들어진다.” 이 말은 1966년 열린 89차 미의회 의 ‘홍수피해관리에 관한 연방프로그램’ 분과의 의사록에 기록된 것이다. 홍수피해가 발생하지 않는 지역에 사는 것이 가장 안전하겠지만 이는 현실적으로 불가능하다. 제방, 댐, 방수로 등은 홍수를 막아주는 가장 기초적인 구조물이다. 이와 같은 구조물에만 의존하는 기존 치수정책에서 벗어나 홍수보험, 대피, 이주, 건축규제, 홍수구역설정 등 비구조물 대책을 포괄하여 치수정책을 홍수방어에서 홍수위험관리로 전환하는 것이 필요하다. 홍수위험관리 정책이 바로 “홍수와 더불어 살기”다. 이 때 사회·경제·환경의 지속가능성과 생태계의 영향도 반드시 고려해야 한다. 🌍