

## 1. 시작하는 말

기상연구소(2004)는 우리나라 기상관측소 14개 지점을 대상으로 강우특성을 분석한 결과, 강우량이 0.1mm 이상이 되는 강수일수는 감소한 반면, 일강수량이 80mm에 달하는 호우일수는 증가추세를 보인다고 하였다. 근래 우리는 짧은 시간에 강우가 집중되는 현상이나 국지성·돌발성 특성을 지닌 강우의 빈번한 출현을 경험하면서 강우패턴이나 그 특성의 변화와 더불어 지형이나 토지이용 현황 등 지역적 특성에 따라 피해양상과 크기가 다르게 나타남을 인지하게 되었다. 여기서, 토지이용상태는 물순환에 큰 영향을 미치게 되는데 자연상태와 달리, 도시화가 이루어진 지역은 불투수면적의 증가로 강우발생시 유출량이 증가하게 된다. 특히, 하수관거

논단

1

River & Culture



김보경 | 노아솔루션  
기술연구소 대리  
(winnerbk@noaa.co.kr)



장대원 | 노아솔루션  
기술연구소 과장  
(hydrojdw@noaa.co.kr)



양동민 | 노아솔루션  
기술연구소 소장  
(ydm@noaa.co.kr)

### 도시지역에서의 홍수피해 저감효과를 위한 대책 적용

# 일본 동경도(Tokyo) 사례를 중심으로

와 자연수로 정비 등으로 홍수도달시간이 짧아지고 침투유출량은 증가한다(Wanielista와 Yousef, 1993)는 점을 감안할 때, 도시지역에서 홍수로 인한 위험도가 매우 높게 나타날 것임을 알 수 있다. 현재, 우리나라는 1960년대 경제개발이 추진되면서 당시 도시화율<sup>1)</sup> 28%에서 1970년대에는 50%를 넘었고 1990년에는 80%를 상회하였으며 지난 해 90.5%를 넘는 상태(현대경제연구원, 2010)로 도시화를 고려한 도시지역에서의 홍수피해를 최소화할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 이에 대하여 지역특성을 고려하여 선택적 홍수방어를 위한 연구(김병식과 장대원, 2009)가 진행되었고 2009년 7월 집중호우가 도시지역에 피해를 유발한 사례를 들어 홍수피해 저감을 위한 연구(정창삼, 2009; 윤선권과 문영일, 2009) 등 국내 실정을 고려한 연구가 진행된 바 있다.

도시지역에서 발생하는 홍수를 관리하고 그 피해를 최소화하기 위한 노력과 방안에 대한 마련은 해외에서도 진행된

고 있다. 일본 수도인 동경도에서는 도시의 지역적 특성을 고려하여 홍수로 인한 피해저감을 위하여 치수대책을 계획하여 적용하고 있다. 이들은 과거부터 현재까지 발생하였던 홍수피해 사례와 도시화에 따른 지역적 특성을 파악, 분석하고 홍수발생시 그 상황에 따라 대응하는 방안이나 복구에 집중하기 보다는 적절한 완화(mitigation)와 적응(adaptation)하는 방식을 채택함으로써 언제 강우가 집중되더라도 침수로 인한 인명 및 재산피해가 발생하지 않도록 노력하고 있다. 본 고에서는 한국건설교통기술평가원(2007)의 보고서 내용을 기초로 일본 수도인 동경도의 하천관련 자료를 참고하여 치수대책 적용사례와 그 성과를 소개하고자 한다.

1) 도시화율이란 전국 인구에 대한 도시지역 내 거주인구의 비율로 정의하는데, 이는 주택난, 교통난, 환경악화, 지역공동체 파괴 등과 같이 경제·환경·사회적으로 부정적인 문제를 초래하는 근본 원인을 제거하는 지표로 이용된다.

## 2. 일본 동경도의 도시화 및 도시홍수에 대한 치수대책

자연유역과 달리 도시화가 진행된 유역에서는 지표면 유출이 중간 및 지하수 유출보다 크게 나타난다. <표 1>은 일본에서 도시화로 인한 저류 및 유출 변화를 나타낸 것이다(국립방재연구소, 2000).

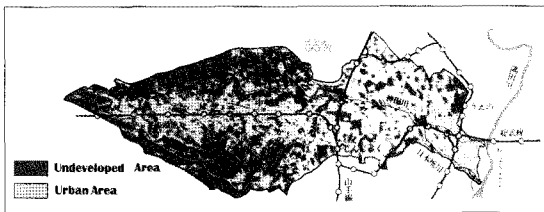
<표 1> 일본의 자연유역과 도시화 유역의 유출 변화

구분	훼손요소	도시화 유역
직접유출	10%	62%
중간저류	72%	35%
지하수저류	18%	2%

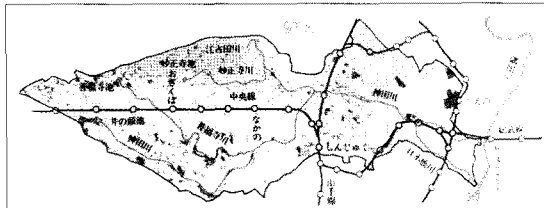
<표 1>에서와 같이 자연유역의 직접유출은 총 강우량의 10%인데 반하여 도시화 유역에서는 62%로 나타났고, 중간저류는 자연유역이 72%, 도시화 유역이 35%였다. 지하수저류에는 자연유역이 18%, 도시화 유역이 2%로 나타나 유출에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

### 2.1 동경도의 도시화(Urbanization)와 특성

<그림 1>은 동경도에 위치한 간다가와(Kanda-river, 이하 Kanda-river)유역으로 (a)와 (b)는 각각 1940년대와 2000년대의 도시화 현황을 각각 나타낸 것이다. 이 지역은 1940년



(a) 1940's

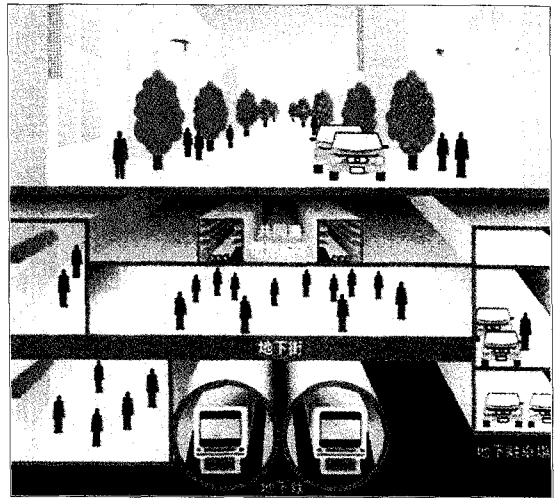


(b) 2000's

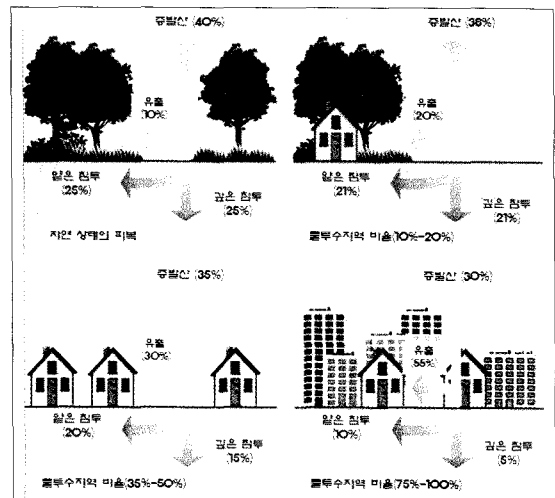
<그림 1> 간다가와(Kanda-river) 유역의 도시화 현황

대 55%에서 2000년대에는 97%에 달하는 것으로 나타났다.

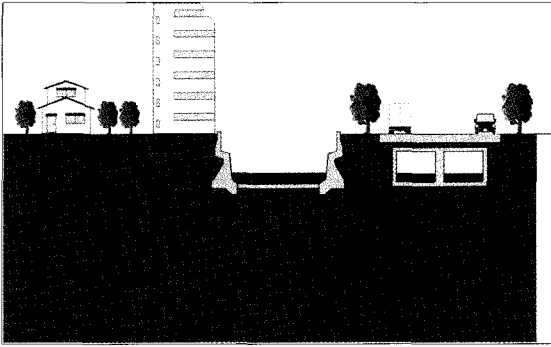
사회학적 의미에서 도시는 다수의 사람들이 일상 활동을 좁은 경계에서 벗어나 광범위하게 통합조정하며 살고 있는 공동체를 뜻한다. 대체적으로 그 규모가 크고 인구밀도가 높은 특징으로 상수도, 전기, 통신과 소방 등 다양한 시설과 기구를 설치하여야 하며 이에 따라 도시지역은 <그림 2>에 나타낸 것과 같이 이동통로나 수단 등으로 목적에 따라 변경하여 활용되고 있다. 따라서 도시화가 진행된 이후에는 불투수 면적이 증가하게 되어 도시화 전·후 토양 상태에 따라 침투나 침투 작용 등에서 차이를 보이게 된다(그림 3).



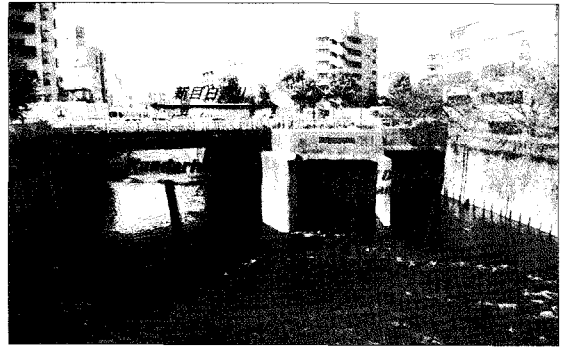
<그림 2> 도시화의 지하공간



<그림 3> 도시화 전·후 토지이용 변화에 따른 유출 변화



(a) 채택 방식



(b) 적용 사례

〈그림 4〉 Kanda-river의 분기하천(diversion channel) 방식 적용

## 2.2 동경도의 홍수에 대한 하천 치수 대책

일반적으로 홍수에 대응하기 위해서는 구조적(structural) 대책과 비구조적(non structural)대책이 시행되어야 한다(김병식과 장대원, 2009). 본 고에서는 소개하는 동경도에서도 도시지역에서 발생하는 홍수에 대응하고 이를 관리하기 위하여 크게 구조적 대책과 비구조적 대책을 구분하고 있다. 구조적 대책에는 ①하천개수(Improvement of rivers), ②배제방식의 개발(Improvement of sewerage system), ③ 유역관리(Basin management)와 ④단계별 개발(Step up of the level of improvement)방법이, 비구조적 대책에는 ①홍수정보(Flood information), ②재해지도(Hazard Map)와 ③대응 시스템 구축(Establishment of evacuation system)이 포함된다.

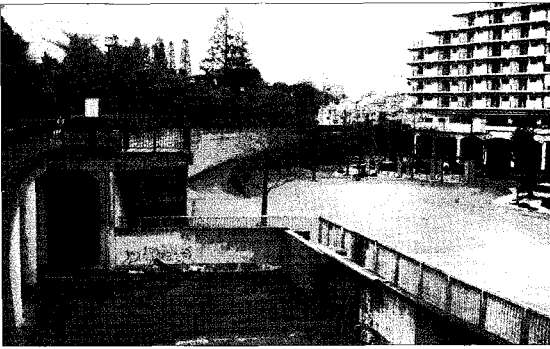
### 2.2.1 구조적 대책

①하천개수는 하천이 흐를 수 있는 통로나 구간을 확장하거나 충분히 확보하여 어떠한 장애나 막힘없이 흐름이 원활하게 이루어지도록 하는 방법으로 사쿠지이가와(石神井川)와 가라보리가와(空堀川)에 기존 하폭을 확장한 사례가 있다. 그러나 Takadanobaba지역에 위치한 Kanda-river에서는 ①방법을 적용할 경우에는 무리가 따르므로 이때에는 확장이 아니라 〈그림 4〉의 (a)와 같이 하천흐름을 변경하는 즉, 지류가 합류되기 전에 지류를 ②분기하천(diversion chan-

nel)으로 유도하는 방식을 채택하였다. 〈그림 4〉의 (b)는 분기하천 방식을 적용한 사례로 대부분 하천의 폭이 좁아지고 확장이 불가능하거나 도심지로 조절지 시설 확장이 불가능할 때 적용하게 된다.

한편, 묘쇼지가와(妙正寺川) 하천은 상류하천의 굴곡이 심하여 과거부터 홍수피해가 빈번했던 곳으로 평상시에는 비워져 있다가 호우발생시 일시적으로 홍수량의 일부를 저수하는 방식을 채택하여 ③유역관리와 ④단계별 개발 방법을 적용하고 있다. 이렇게 함으로써 묘쇼지가와(妙正寺川) 하류부에 홍수범람을 막고 도심부의 침투홍수량을 저감시킬 수 있는 유수지를 개발하여 상부에 주택단지 및 공원 광장이 설치되어있는 다목적 조절지와 함께 이미 개설된 도시공원 등의 지하를 이용한 조절지들을 정비하여 수해의 경감을 도모하고 있다.

일본에서는 조절지를 개방형(open)과 지하조절지로 구분하여 적용하고 있는데 개방형은 공원, 체육시설을 이용하며 지하조절지는 지하공간에 조절지를 설치하는 방법으로 설명한다. 〈그림 5〉는 개방형 조절지를 적용한 사례로 아파트 1층을 조절지로 사용하는 방식을 채택하고 있으며 건물의 내홍수화(Flood Proofing)를 적용한 사례로 볼 수 있다. 내홍수화는 홍수범람 지역 안에 위치한 건물 및 구조물에 대한 홍수피해 감소와 예방을 목적으로 기본홍수위(BFE, Base Flood Elevation) 이상에 건물을 건축하는 방식이다(한국건설교통기술평가원, 2007).



(a) 침수 전



(b) 침수 후

〈그림 5〉 Myousyouji 조절지의 침수 전·후 현황

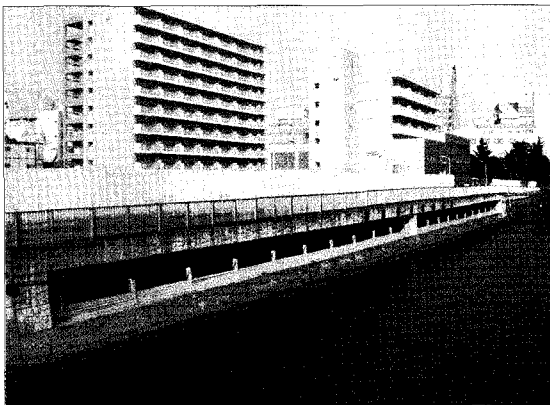
〈그림 5〉의 (a)와 (b)는 각각 침수 전과 후로 묘쇼지가와(妙正寺川)에 위치한 Myousyouji 조절지를 나타낸 것으로 이러한 내홍수화 아파트는 30분 단위의 돌발홍수 대응에 효과적이며 조절지의 유지 관리 및 방역을 철저히 하는 한편, 아파트에 거주하는 주민에게는 세금 감면 등의 특혜가 주어지고 있다.

한편, 일본 동경도에서는 건물의 내홍수화(Flood Proofing)를 구조적 대책으로 분류하였으나 우리나라에서는 호우나 태풍으로 인해 발생하는 홍수피해 경감대책 구조에서 비구조적 대책으로 구분하고 있다. 현재 국외(FEMA, Federal Emergency Management Agency)에서는 건축물 내홍수화를 적용하고 있으며 건축물의 위치에 따라 100년 빈도 홍수위(BFE, Base Flood Elevation)를 기준으로 보다 높은 곳에 건축물을 시공하도록 규제하고 있다(국립방재연

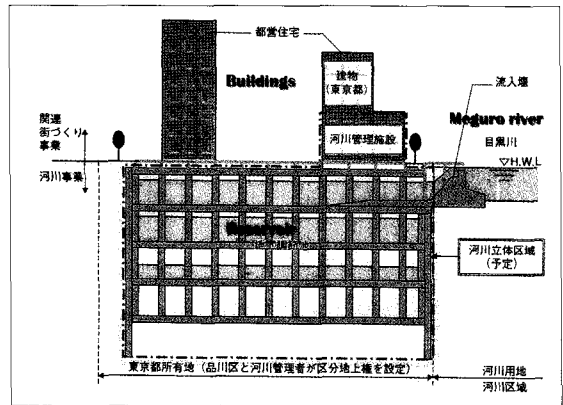
구소, 2003). 일례로 1950년 시카고 교외 Fox River 부근 나무 숲 속에 세워진 Farnsworth House를 들 수 있는데, 이 건물은 Fox River의 최대수위를 고려하여 대지면에서 건물전체를 1.2m가량 높게 계획하여 범람시 홍수피해에 대비하였다.

〈그림 6〉은 Meguro River에 적용한 다목적 조정지를 나타낸 것으로 지하공간에 조정지를 설치하여 일정수위를 초과하는 경우에도 침수가 발생하지 않도록 하고 있다.

이 외에도 Kanda-river에서는 지하조정지를 설치하여 침수가속이 크게 감소하여 긍정적인 효과를 보였다. 1993년과 2004년에 발생한 태풍11호와 태풍22호에서 강우량(강우강도)은 각각 288mm(47mm/hr)와 284mm(57mm/hr)였으며, 이 때 침수가속은 각각 3,117호와 7호로 나타났다. 2004년 발생한 태풍22호는 이전에 발생하였던 태풍11호와 강우량에 큰 변화가 없었고 강우강도는 더 크게 나타났으나 침수가속이 급

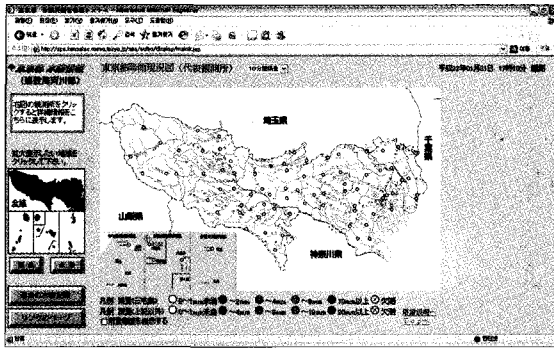


(a) Meguro River 전경

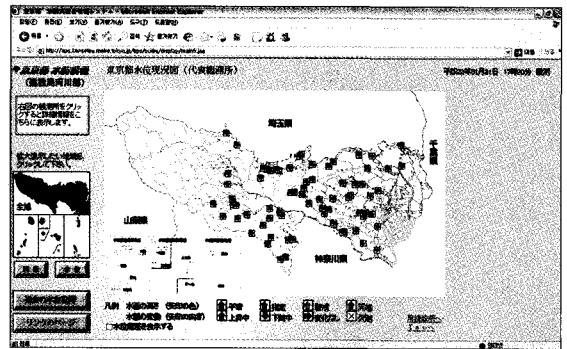


(b) 다목적 조정지 구조

〈그림 6〉 Meguro River에 적용한 다목적 조정지



(a) 강우현황



(b) 수위현황

(그림 7) 동경도의 홍수에 대한 정보 제공 화면 (<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/suibo/index.html>)

격히 감소하여 지하조절지의 긍정적인 효과를 보여주었다.

### 2.2.2 비구조적 대책

동경도에서는 비구조적 대책으로 (그림 7)과 같이 ①홍수에 대한 정보를 제공하기 위하여 동경도의 수방정보 web을 통해 공개, 제공하고 있다. 이 사이트에서는 크게 강우(10분과 1시간 강우)와 수위정보를 제공하며 각 화면의 왼쪽에서 관심대상지역에 대한 강우와 수위에 대한 정보를 컨트롤 할 수 있도록 구성하고 있다. 이들은 화면상에서 강우량과 수위를 점 형태로 나타내고 실시간 관측 자료를 기반으로 색상을 달리하여 표현하고 있으며 과거 피해 이력을 확인할 수 있으나 조건에 따른 검색 기능은 제공하고 있지 않다. 이 외에도 동경도 실시간 강우량 정보를 제공하고 있는데 이 사이트는 강우량을 시간단위로 분할하여 확인할 수 있도록 하고 있다.

한편, 홍수발생 이전에 사전 정보를 충분히 제공하고 홍수발생시 보다 체계적으로 대피하거나 대응할 수 있도록 침수 예상구역도, 위험정보와 대피정보를 담은 ②재해지도도 작성하고 이를 주민에게 제공하고 있다. 재해지도 작성 초기 단계는 종이지도에 재해가 발생한 지역을 영역으로 표시하고 그 외 재해 관련 정보들을 표시하였으나 최근에는 수위나 레이더 우량 등 하천 관련 상세정보를 수집하여 실시간으로 처리되는 홍수재해지도가 개발되고 있다. 한편, 도시의 인구집중과 이에 따른 도시화로 내수범람 및 돌발홍수에 따른 침수위험도를 평가하여 침수위험도와 내수범람에

의한 홍수재해지도도 작성하는 등 구조적 대책과 더불어 비구조적 대책을 함께 적용함으로써 홍수피해를 저감시키는 데 노력하고 있다.

### 3. 맺는 말

최근 대중매체로부터 “몇 년 만에 발생한” 폭우나 폭설이라는 문구를 자주 접하게 된다. 우리는 과거의 직·간접적 경험을 통해 큰 피해를 유발하는 자연재해가 어느 정도의 빈도로 발생되어 왔음을 알고 있다. 그러나 그 빈도 자체가 우리들이 인식하는 시간 스케일을 초과하여 ‘천재지변은 잊을 만하면 다시 온다’는 명언을 만들게 된 것이다(강상혁, 2007).

2009년 7월 우리나라 남부 지역 일대에는 일강우량이 200mm를 상회하는 집중호우가 발생하였고 부산지역에는 18년 만에 발생한 최대폭우로 7월 7일과 16일에 각각 310mm/day와 266.5mm/day강우량을 기록하며산사태, 도로와 주택가에 침수피해가 발생하였다. 우리나라는 2000년대에 이르러 도시지역에서의 홍수피해가 증가하였는데 이는 도시화가 진행됨에 따라 지하공간의 활용도가 높아지고 사회기반시설을 구축하는 등 불투수율 면적이 증가함에 따라 단기간에 유출이 집중되어 침투유출량은 증가하고 홍수도달시간은 감소하기 때문이다. 다시 말하면 홍수피해를 유발하는 외적 요인에는 강우패턴이나 특성 외에도 토지이용상태가 영향을 미칠 수 있으며 이러한 관점에서 볼 때 도시화라는 지역적 특성을 고

려한 대책과 방안을 마련할 필요가 있다.

이에 본 고에서는 일본 동경도에서 적용한 도시지역의 홍수피해 저감을 위한 사례를 조사, 소개하였다. 이 지역에서는 우리가 이미 많은 연구나 문헌을 통하여 알고 있는 것과 같이 구조적 대책과 비구조적 대책을 구분하여 치수대책을 마련하고 있다는 점에서는 크게 다를 것이 없었다. 그러나 구조적 대책에서 이들은 단순히 하폭을 확장하는 방법에만 집중하는 것이 아니라 인구밀도가 높고 건물이 밀집되어 있으며 이동이 잦은 도시라는 특성을 감안하여 분기하천 방식을 적용하거나 조절지를 채택하는 방식을 적용하고 있다. 가장 인상적이었던 것은 아파트 1층을 모두 조절지로 사용하는 방식과 지하공간에 다목적 조절지를 채택한 방식이었는데 특히, 내홍수화 아파트에 거주하는 주민들에게 보다 저렴한 가격에 아파트를 공급한다거나 세금감면과 같은 특혜를 제공하고 유지와 방역관리를 철저히 함으로써 부정적인 시각을 최소화하였다는 것이다.

현재, 국외에서는 건축물 내홍수화를 실시하고 있으며 John Sheaffer(1967)는 “Introduction to flood proofing, an out line of principles and methods”에서 Farnsworth House가 기본적으로는 홍수피해에 대비하기 위한 계획이었으나 디자인에도 긍정적인 효과를 주었음을 언급하기도 하였다. 최근 우리나라에서도 내홍수화를 고려하는 사례가 증가하는 추세로 향후 일본 동경도 사례에서 본 것처럼 이러한 지역에 대한 유지관리를 철저히 하고 홍수시 불편함에 대한 보상심리와 상대적인 만족도를 높여 부정적인 시각을 전환하는 방향도 검토할 필요가 있다고 판단된다. 이 외에도 지하공간에 다목적 조절지를 채택한 경우가 있는데 이는 침수가 우려되는 도시지역에 적용할 수 있는 것으로 도시지역이 갖는 불투수 면적을 최소화할 수 있는 방안 중 하나로 볼 수 있다. 이 사례를 통해 일본 동경도는 홍수가 발생한 그 상황에 따른 임기응변식 대응을 하는 것이 아니라 지역적 특성을 충분히 고려, 반영함으로써 지속적이고 장기적인 접근 방법으로 홍수피해를 완화하고 저감하는 방식을 채택하고 있음을 알 수 있다.

자연적 위험요소에 노출되었다고 해서 그 모두가 자연재해로 이어지는 것은 아니다. 지역적 특성을 반영한 위험에 대한 사전평가, 적절한 대비와 대응 방안을 마련하고 이를 지속함으로써 피해를 저감하거나 최소화할 수 있다. 이를 위해서는 본 고에서 소개한 일본 동경도에서와 같이 중·장기적 관점에서 구조적 대책을 마련하는 것 외에도 객관성, 신뢰성을 유지하면서 체계적으로 자연재해를 최소화할 수 있는 통합재해관리를 위한 시스템 구축 등을 통해 예측기술 개발 및 개선과 신뢰성 있는 정보 제공 및 공유함으로써 비구조적 대책 관점에서 지역현실에 맞는 적절한 대응 방안을 마련할 필요가 있다. 🌍

**감사의 글** 본 연구는 국토해양부 건설기술혁신 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 강상혁(2007), 도시지역의 수해 원인과 대책, 강원발전연구원, 강원광장, pp.33-39.
- 국립방재연구소(2000), 상류지역 개발사업에 의한 하류부 수해저감 대책수립.
- 국립방재연구소(2003), 시설물 방재기준 및 유지관리 개선방안.
- 김광섭(2006), 국내 기후 변화의 추세와 풍수해 대응 방안, 한국자치발전연구원, 月刊자치발전, pp.31-37.
- 김병식, 장대원(2009), 이상기후에 대비한 GIS 기반의 선택적 홍수방어 의사결정 시스템 개발, 한국수자원학회, 한국수자원학회지, Vol.42, No.10, pp.43-50.
- 윤선권, 문영일(2009), 도시홍수 피해저감 및 응급대책안 수립-서울특별시를 중심으로-, 한국수자원학회, 한국수자원학회지, Vol.42, No.10, pp.59-65.
- 정창삼(2009), 수해의 추세와 수방시설, 한국수자원학회, 한국수자원학회지, Vol.42, No.10, pp.51-58.
- 한국건설교통기술평가원(2007), 이상홍수 대응기법의 국내외 사례조사 및 대응전략 수립-부록2-.
- 현대경제연구원(2010), 대한민국 경제지도, 원앤원북.
- Wanielista, M. and Yousef, Y.A.(1993), Design and Analysis of an Irrigation Pond Using Urban Stormwater Runoff, Engineering hydrology, American Society of Civil Engineers, pp.665-670.
- John Sheaffer(1967), Introduction to flood proofing: an outline of principles and methods, Chicago, Center for Urban Studies, University of Chicago.