

# 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법론 고찰

Review on Sewer Flood Risk Assessment Method  
Considering Climate Change

류재나 | 조광우 | 송영일



---

## 연구진

연구책임자 류재나 (한국환경정책·평가연구원 부연구위원)

참여연구진 조광우 (한국환경정책·평가연구원 선임연구위원)

참여연구진 송영일 (한국환경정책·평가연구원 선임연구위원)

© 2014 한국환경정책·평가연구원

---

**발행인** 박광국

**발행처** 한국환경정책·평가연구원

세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지

B동(과학·인프라동) (우편번호) 339-007

전화 044)415-7777 팩스 044)415-7799

<http://www.kei.re.kr>

**인쇄** 2014년 12월 26일

**발행** 2014년 12월 31일

**출판등록** 제17-254호

**ISBN** 978-89-8464-864-7 93530

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

류재나, 조광우, 송영일. 2014. 「기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가  
방법론 고찰」. 한국환경정책·평가연구원.

---

값 5,000원

# 서 언

하수도시스템이 기후변화 영향으로 인해 수량적인 측면의 변화로 발생할 수 있는 악영향 중, 특히 내수침수로 인한 피해는 최근 들어 국·내외에서 다수 발생하고 있습니다. 기후변화로 인하여 증가하는 유출량에 대한 배수처리능력의 부족으로 도심침수의 피해는 더욱 확산될 전망입니다.

내수침수에 대응하기 위한 국가적 차원의 대비책 마련의 중요성은 크게 대두되고 있으며, 도심침수 예방을 위한 하수도정비 종합대책의 마련 등 여러 가지 대책이 발표되었습니다. 반면, 미래시점의 기후변화를 반영하기 위한 내수침수 대비책의 수립과 관련된 연구는 미흡한 실정입니다.

본 연구는 국·내외 참고문헌 분석을 통해 내수침수 리스크를 산정하는 방법론을 고찰하였습니다. 내수침수 리스크 산정 방법론의 고찰을 통해 기후변화 적응정책 적용을 위한 내수침수 리스크의 인자를 정의하고, 기후변화를 반영한 내수침수 리스크의 정량적 평가 방법론을 작성하여 내수침수 기후변화 적응정책 적용을 위한 발판을 제공하고자 하였습니다.

본 연구의 책임을 맡아 수행해 주신 류재나 박사를 비롯하여 연구진으로 참여한 조광우 박사님, 송영일 박사님의 노고에 감사를 표합니다.

2014년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 박 광 국



## 국문 요약

본 연구에서는 내수침수 리스크 산정 방법론의 고찰을 통해 기후변화 적응정책 적용을 위한 내수침수 리스크의 인자를 정의하고, 기후변화를 반영한 내수침수 리스크의 정량적 평가 방법론을 작성하여 내수침수 기후변화 적응정책 적용을 위한 발판을 제공하기 위해 수행되었다.

홍수발생에 대한 리스크는 다양한 요소들로 정의가 가능하며, 이 요소들을 나타내는 인자의 종류 또한 다양하다. 내수침수 리스크를 평가하기 위한 인자들을 정의하기 위해 내수침수 리스크의 산정방법을 검토하고, 계량화가 가능한 인자들을 검토하였다. 본 연구에서는 내수침수 리스크는 리스크를 정의하는데 가장 단순하며 일반적인 형식인 이벤트의 발생가능성과 발생 영향의 두 개 요소의 조합으로 정의하였다.

내수침수 리스크를 리스크의 발생가능성과 발생으로 인한 피해 정도로 정의한다고 하였을 때, 리스크의 발생가능성은 기후변화로 인하여 더욱 빈번해질 전망이다. 내수침수 리스크를 정량적으로 평가하는 방법론을 모색하기 위하여, 내수침수 발생가능성을 평가하는 방법에 대하여 고찰하고, 기후변화를 반영하여 증가하는 발생가능성을 산정하는 방법에 대하여 나타내었다. 이후 내수침수의 피해를 정량화할 수 있는 분석방법을 중심으로 국내외 사례를 조사하였다.

국내의 경우, 영국과 같이 침수심과 피해에 대한 축적된 자료는 존재하지 않는 실정이다. 특히 과거의 침수기록에 대하여도, 정확한 침수가 발생하였을 당시 정확한 침수심이 얼마였는지, 침수피해에 대해 소요된 비용은 어느 정도였는지에 대한 자료가 부재한 현실이다. 반면, 최근에 진행된 연구들에서는 침수위험도 평가를 위하여 침수위를 산정하는 방법에 대해서 다양하게 나타내었다. 이들은 주로 수자원시설물(댐, 방수로, 펌프장 등)과 관련한 농촌지역의 피해에 대해 작성되었으며, 하수도시설물로 기인하는 내수

침수 피해의 평가에는 적절하지 못함이 현실인 반면 최근 지속적으로 수행되고 있는 사업의 경우, 국내 실정에 적합한 자료를 획득하고, 피해액 산정을 위한 계산방법의 수정 등이 지속적으로 연구되고 있다.

리스크 평가를 위한 고찰을 통해 본 연구에서 제안하는 기후변화를 반영한 내수침수 리스크의 정량적 평가 방법론은 ① 침수피해대상의 정의, ② 기후변화 추이를 반영한 다양한 강우사상의 홍수발생가능성 계산, ③ 다양한 강우사상의 홍수 피해 계산, ④ 홍수리스크의 산정의 단계로 이루어지며, 홍수 피해의 계산을 위해 그간 작성된 국내의 데이터를 적극 활용하여 국내실정에 적합하고 현실적인 리스크의 산정을 제안하였다.

주제어: 내수침수, 기후변화, 리스크 평가 방법

# 차 례

---

제1장 서론 .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 연구 내용 및 구성 .....	3
제2장 내수침수 리스크 평가 인자 고찰 .....	5
1. 홍수 리스크 평가 절차 .....	5
2. 내수침수 리스크의 정의 .....	9
제3장 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법 고찰 .....	13
1. 내수침수 리스크 발생가능성 분석 방법 고찰 .....	13
가. 내수침수 발생가능성 분석 방법 .....	13
나. 기후변화를 반영한 내수침수 발생 증가추이 분석 방법 .....	16
2. 내수침수 피해수준 결정방법 .....	18
가. 침수심-홍수피해 분석 .....	18
3. 내수침수 리스크 평가 및 활용방법 .....	25
가. 홍수 피해액 산정 .....	25
나. 비용-효과 분석을 통한 사업효과 분석 .....	32
제4장 결론 .....	35
참고문헌 .....	39
Abstract .....	42

## 표 차례

---

<표 3-1> 통계분포를 이용한 수문사상의 변화 작성 예시 .....	17
<표 3-2> 홍수심에 따라 발생 가능한 피해 .....	18
<표 3-3> 주거지역 피해계상을 위한 분류표 .....	20
<표 3-4> 침수위 산정 방안 .....	22
<표 3-5> 침수위 산정 방안의 장단점 .....	24



## 그림 차례

---

<그림 1-1> 연구의 체계 .....	4
<그림 2-1> 미국 NIPP의 리스크 관리 프레임워크 .....	6
<그림 2-2> 영국 정부의 리스크 관리 절차 .....	7
<그림 2-3> 호주와 뉴질랜드의 리스크 평가 및 관리 절차 .....	9
<그림 2-4> 홍수리스크 평가 .....	12
<그림 3-1> 연최대유량의 확률분포곡선 .....	15
<그림 3-2> 홍수심과 홍수피해의 관계 .....	21
<그림 3-3> 하천홍수위 연장을 통한 침수위 추정과정 .....	23
<그림 3-4> 홍수 리스크 인자들의 관계 .....	34



# 제1장 서 론

## 1. 연구 배경 및 목적

기후변화가 하수도시스템에 미치게 될 영향은 총 강수량의 증가로 인한 유출량의 증가와 강우강도의 증가로 인해 발생한다. 이들로 인한 대표적인 영향에는 ① 기존의 하수도시스템의 용량을 초과하는 유량 발생이 증가함에 따라 시스템의 과부하, 지표면의 홍수 및 재산의 침수피해 증가 ② 빈번한 과부하로 인한 하수관거 손상의 증대 ③ CSO의 빈번한 발생 ④ 여름철 지표면 오염물질의 축적 및 이동의 증가 ⑤ 여름철 강우유출수와 CSO 발생의 증가 및 기저유량의 감소로 인한 하천의 수질 악화 ⑥ 강우량과 침입수 증대로 인한 하수처리장의 희석된 하수유입으로 생물학적 처리능의 감소를 들 수 있다(Butler and Davies, 2011).

하수도시스템이 초래하게 되는 CSO 발생 증가와 같은 수질 측면의 문제들을 차치하고, 수량적인 측면의 변화로 인해서 발생할 수 있는 상기의 악영향 중, 특히 내수침수로 인한 피해는 최근 국·내외에서 다수 발생하였다. 2009년 7월 7일에서 16일에 걸쳐 부산에서 발생한 강우량은 총 730.5mm로 연평균 강수량의 49%에 해당하였으며, 인명 5명, 이재민 3,057명, 1,282세대의 침수 피해를 발생시키고, 이에 대한 피해액은 571.4억원에 해당하였다. 서울에서 2010년 9월 21일 발생한 홍수는 264.5mm 강우량으로, 11,744개의 주택침수 및 36개소의 도로 침수를 발생시켰으며, 총 7개소의 지하철 통제를 발생시켰다. 2011년 1월 11일에 호주 브리즈번에서 발생한 홍수는 시간당 300mm이상의 폭우로, 사망 12명, 실종 70여명, 이재민 4만5000여명, 주택 2만채의 침수 피해를 발생시켰으며, 약 1조 4550억원의 경제 손실을 가져왔다(이상만, 김지호, 2011).

기후변화로 인하여 증가하는 유출량에 대한 배수처리능력 부족으로 도심침수 피해는 더욱 확산될 수 있다. 2012년 감사원의 조사에 따르면, 2007~2011년, 태풍 및 집중호우로 인한 풍수해의 규모는 사망자수 118명, 피해액 17,815억원, 복구비 37,480억원이 소요되었으며, 2007년과 2010년 태풍 나리와 곤파스에 의한 피해를 제외한 2008년, 2009년, 2011년의 풍수해는 7월의 집중호우에 의해서 발생하였다. 특히 2011년 7월 26일부터 29일까지의 집중호우로 인한 피해 중 수도권 도시지역인 서울, 인천, 경기지역의 64개 시·군·구에서 집계된 피해가 전국 100개 시·군·구에서 집계된 피해액 3,767억원 중 89%에 해당하는 3,339억원으로 집중되는 양상을 나타내었다(김계중, 이용택, 2012).

내수침수에 대응하기 위해서는 국가적 차원의 대비책의 중요성이 크게 대두되었으며, 2009년 2010년 연이어 서울시내에서 발생한 내수침수에 대응하기 위해 환경부는 2012년 1월 ‘도시침수 예방을 위한 하수도정비 종합대책’ 마련을 위한 공청회를 개최하고, 하수도가 침수예방 기능을 수행하는 동시에 수질보전에 기여할 종합대책 개발을 ‘SAFE 프로젝트’라고 명명하였다(워터저널, 2012.2). 종합대책에서는 하수관거 확충, 저류시설 설치, 빗물펌프장 설치의 시설설치 대책, 배수구역 우수유출 저감 및 침수대응 시뮬레이션 기법 적용의 계획 및 설계에의 활용, 하수관망 실시간제어시스템을 통한 운영방법 및 제도정비방안(시설기준 강화, 중점관리지역 지정 및 관리, 하수관망 전산화, 침수 관련 지표 개발)을 발표하였다. 2022년까지 수립된 3단계 계획에는 우수관거 정비, 하수저류시설 도입 및 빗물펌프장 정비를 위한 각 36,844억원, 50,114억원, 4,750억원의 재정 투자계획 또한 포함되었다(환경부, 2012). 반면 내수침수 대응에 있어, 미래시점의 기후변화를 반영하기 위한 내수침수의 대비책의 수립은 미흡한 실정이다.

이상기후를 대비하기 위한 지속가능한 도시배수시스템의 마련은 2014년 9월

에 개최되는 UN 국제 기후변화 정상회의의 9가지 안건 중 도시 분야와 관련한 주요 안건으로 채택(외교부, 2014)되었을 만큼 기후변화 측면이 반드시 고려되어야 한다. 또한 최근의 IPCC Working group II: 기후변화 영향, 적응 및 취약성의 5차보고서와 같은 경우 리스크의 평가 및 관리를 토대로 하는 적응정책의 수립을 전반에서 강조하고 있다(환경부, 2014). 이는 기후변화를 반영하는 도시 내수침수의 관리 및 대응방안의 마련에 있어, 합리적인 리스크 평가 결과를 수행하고, 이를 토대로 하는 기후변화 적응정책 적용이 필요한 시점임을 시사한다.

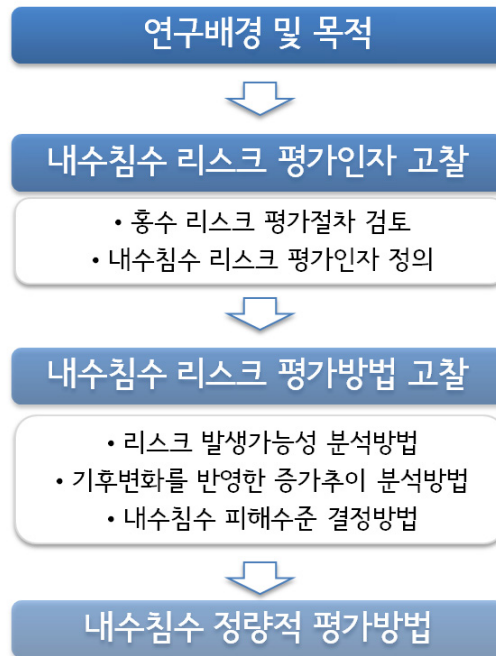
본 연구에서는 내수침수 리스크 산정 방법론의 고찰을 통해 기후변화 적응정책 적용을 위한 내수침수 리스크의 인자를 정의하고, 기후변화를 반영한 내수침수 리스크의 정량적 평가 방법론을 작성하여 내수침수 기후변화 적응정책 적용을 위한 발판을 제공하고자 하였다.

## 2. 연구 내용 및 구성

본 연구에서는 홍수 리스크를 평가하는 절차들을 해외사례를 중심으로 서술하였다. 내수침수 리스크를 평가하기 위한 인자들을 정의하기 위해 내수침수 리스크의 산정방법을 검토하고, 계량화가 가능한 인자들을 검토하였다. 내수침수 리스크를 정량적으로 평가하는 방법론을 모색하기 위하여, 확률강우량의 분석 및 내수침수의 피해를 정량화할 수 있는 분석방법을 중심으로 국내외 사례를 조사하였다. 마지막으로, 고찰 결과에 비추어, 기후변화를 반영한 내수침수 리스크를 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 제안하였다.

본 연구보고서의 구성은 <그림 1-1>과 같다. 다음 장에서는 홍수리스크 평가 절차와 리스크를 평가하는 인자들을 검토하고, 정량화가 가능한 인자들을 고찰하였다. 3장에서는 리스크의 정량적 평가 방법을 고찰하였는데, 2장에서 정의된

리스크의 구성요소에 따라 기후변화를 고려한 내수침수의 발생가능성, 내수침수 발생으로 인한 피해정도를 정량화할 수 있는 방법을 중심으로 국내외 사례를 고찰하였다. 4장에서는 여러 문헌의 고찰을 통해 얻어진 시사점 및 보완점을 제시하였으며, 현재 국내 실정에 적합하다고 판단되는 내수침수 리스크를 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 제안하였다.



〈그림 1-1〉 연구의 체계

## 제2장 내수침수 리스크 평가 인자 고찰

본 장에서는 내수침수에만 국한된 리스크 평가 방법이 아닌 전반적인 홍수 리스크를 평가하는 절차에 대하여 우선 검토하였다. 이후 내수침수 리스크 평가를 위해 사용되는 인자들을 논의하기 위하여, 리스크를 구성하는 인자들에 대하여 검토하였다.

### 1. 홍수 리스크 평가 절차<sup>1)</sup>

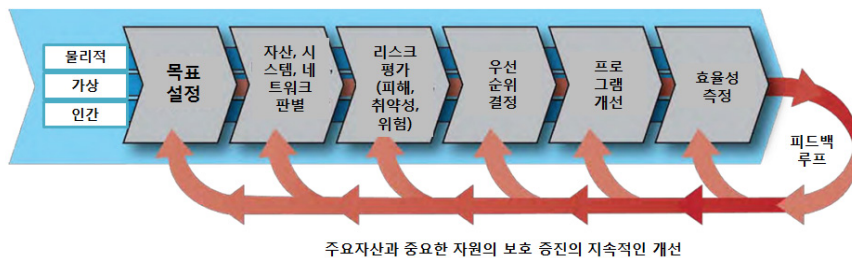
국외에서 사용되고 있는 홍수 리스크 평가를 수행하기 위한 일반적인 절차에 대한 고찰은, 미국의 Federal Emergency Management Agency(FEMA), 유럽의 EU Floods Directive 2007/60/EC, 영국 HM Government document (HM, 2005), 호주 및 뉴질랜드 the risk management standard AS/NZS 4360:2004 에서 일반적으로 적용하는 전체론적 방법론들에 대하여 Vojinovic and Abbott(2012)을 참조하여 작성하였다.

#### 가. 미국

미국의 FEMA의 경우 미국 전역에 걸쳐서 위해물질의 영향으로 인한 리스크를 감소하기 위한 효과적인 전략의 수립을 위하여 여러 개의 리스크 분석 프로그램을 수행하고 있다. 이들 프로그램은 Department of Homeland Security의 “전국적인 준비태세를 강화하고 자연재해를 감화”하는 목적에 부합한다. FEMA

1) Vojinovic and Abbott(2012), Flood risk and social justice, from quantitate to qualitative flood risk assessment and mitigation을 바탕으로 작성.

는 발생 가능한 취약성과 피해를 평가하는 데 있어서 일관성 있는 리스크 기반의 접근방법을 통해 리스크 관리대책을 수립하고 리스크 감소를 위한 행동전략을 발전시키는데 목표를 두고 있다. 홍수지역(flood zone)의 리스크를 평가하고 이들 지역을 상세하게 설명함으로써, 미국의 지역사회는 그들이 가진 리스크를 더 잘 이해할 수 있고 취약성을 감소하기 위한 정보를 더 제공할 수 있다. 홍수지역은 FEMA가 다양한 수준의 홍수리스크를 통해 결정한 지리적인 지역을 뜻하며, 각 지역은 연방정부의 홍수 통제 시스템의 상황을 고려하여 지역내에서의 홍수의 심한 정도 및 종류를 나타낸다. Department of Homeland Security (DHS)는 주요자산과 중요한 자원(critical infrastructure and key resources, CIKR)의 방어능력 및 회복능력을 증가시키기 위한 18부서의 전략을 지지하기 위하여 국가 자산계획(national infrastructure plan, NIPP)을 작성하였다. NIPP의 리스크 관리 프레임워크는 <그림 2-1>에 나타나 있다.



자료: DHS(2009).

<그림 2-1> 미국 NIPP의 리스크 관리 프레임워크

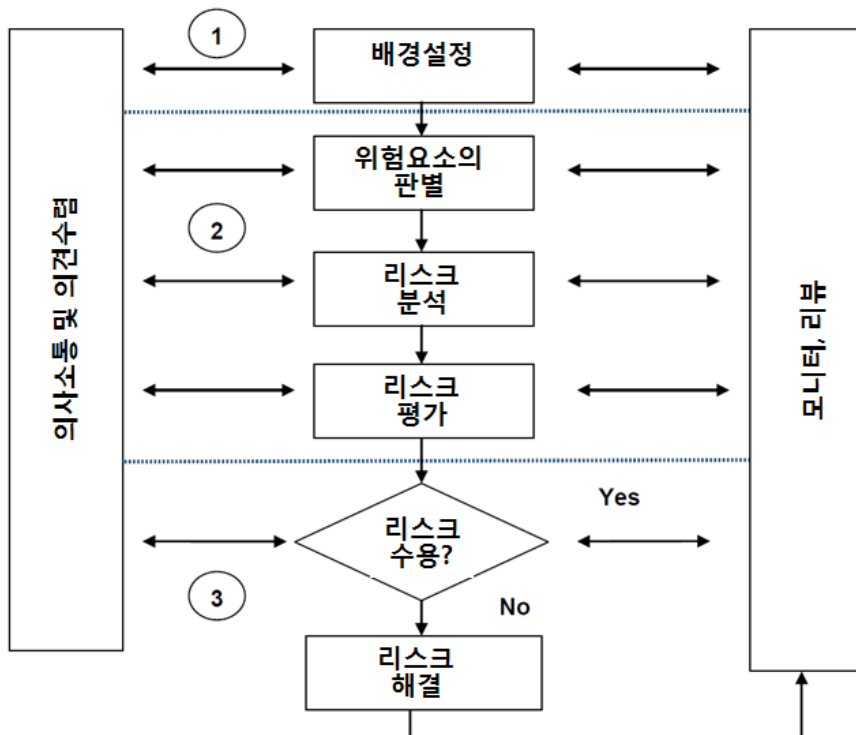
이들의 절차는 ① 시스템의 목적과 이들이 제공하는 서비스를 포함하여 시스템을 정의 ② 피해야 하는 부정적인 피해를 정의하고 우선순위를 매김 ③ 바람직하지 않은 피해를 이끌어낼 수 있고, 악의적인 영향을 받을 수 있는 주요자산의



결정 ④ 정량적인 발생가능성의 평가 ⑤ 기존의 대항조치를 평가 ⑥ 현재의 리스크를 평가하고 리스크 감소를 위한 우선순위를 포함하는 계획의 개발 단계를 포함한다.

## 나. 영국

영국 정부는 National Risk Register(NRR)과 Community Risk Registers(CRR)을 운영하고 있다. HM Government 의 2006년 문서에 나타난 리스크 관리 절차는 <그림 2-2>에 나타내었다.



자료: Cabinet office(2006).

<그림 2-2> 영국 정부의 리스크 관리 절차

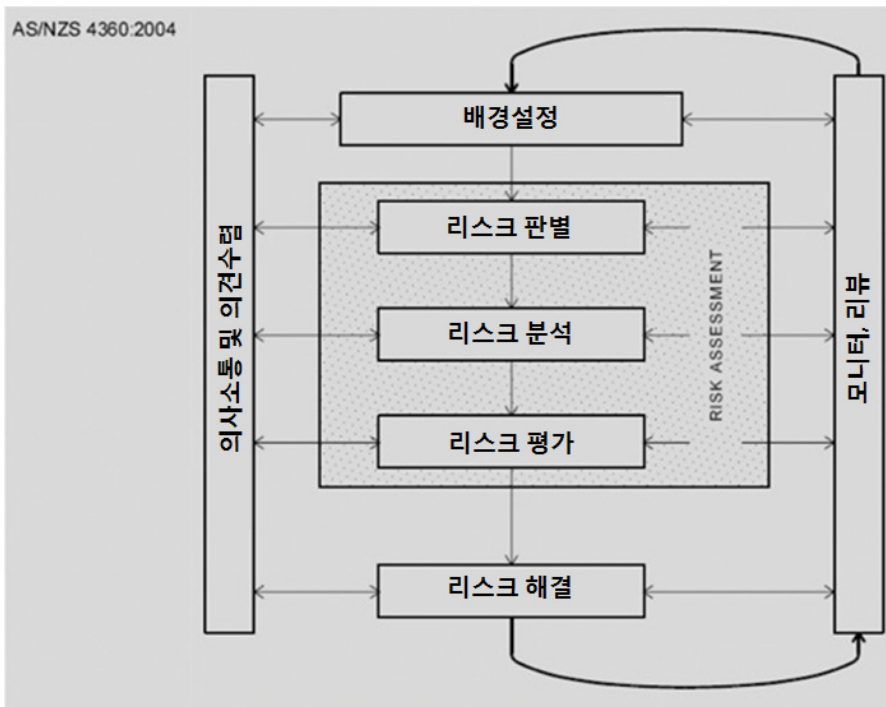
영국의 경우 홍수 리스크를 평가하는 연구가 다수 진행되어, 영국의 모든 지역의 홍수지도가 작성되어 있다. 영국 환경청(Environment Agency)의 홍수지도의 경우 웹사이트에서 이용가능하며, 홍수리스크를 내륙은 100년 확률년수, 해안 지역은 200년 확률년수, 잉글랜드와 웨일즈지역 전역은 1000년 확률년수로 나타내나, 이 홍수지도는 하천과 해안과 관련한 홍수에 대해서만 보여준다. 스코틀랜드의 경우, 스코틀랜드 환경청(Scottish Environment Protection Agency)에서 현재의 기후조건하에서 200년 확률년수의 위험이 있는 지역을 나타내는 홍수지도를 개발하였다.

#### 다. 호주와 뉴질랜드

호주와 뉴질랜드의 경우 리스크 관리 스탠다드 AS/NZS 4360:2004에서 어떤 종류의 자연재해에 의한 리스크를 평가하고 관리하기 위해 기본이 되는 프레임워크를 정의하고 있다. 이 절차는 <그림 2-3>과 같이 ① 문제의 정의 ② 리스크의 판별 ③ 리스크 분석 ④ 리스크의 평가 ⑤ 리스크를 관리하는 다섯 단계로 이루어져 있다. 여기에서는 각 단계별로 이해 당사자들 간의 지속적인 소통을 요구하며, 전체의 절차가 모니터되고 리뷰하도록 되어 있다.

리스크 분석절차와 관련하여 호주와 뉴질랜드의 경우에서 특히 나타나는 절차는 다음과 같다.

- 다른 빈도를 가지는 홍수를 사용한 모델링을 통해 홍수의 발생현황을 이해하고, 개발하여 홍수 발생 가능성을 평가하며,
- 사람, 건물, 시설물과 같은 시설물 요소에 대한 노출의 정도, 취약성을 평가하여 홍수 리스크의 전체 범위에 대한 피해를 계상한다.



자료: AS/NZS 4360:2004(2004).

〈그림 2-3〉 호주와 뉴질랜드의 리스크 평가 및 관리 절차

## 2. 내수침수 리스크 인자의 정의

홍수발생에 대한 리스크는 다양한 요소들로 정의가 가능하며, 이 요소들을 나타내는 인자의 종류 또한 다양하다. 반면 리스크를 정량화하여 평가하기 위해서는 리스크를 구성하는 인자들이 명확하게 정의되어야 한다. 본 장에서는 다양한 기존의 연구에서 사용된 리스크의 정의 및 구성요소들을 살펴보았으며, 내수침수의 리스크를 평가하는 인자들을 고찰하였다.

1992년 ‘환경적인 위해물질의 리스크를 평가 및 재난의 감소’를 주제로 하는 저서에서 Smith는 인간의 가치가 위험에 실제로 노출되는 어떤 것으로 리스크를

정의하였으며, 이는 발생가능성(probability)과 손실(loss)의 관계로 정의하였다 (Smith, 1992). DETR에서 작성된 ‘환경 리스크 평가와 관리’에서 정의된 리스크는 정의된 위험이 발생하는 발생가능성(probability) 또는 빈도(frequency)와 사건 발생의 피해의 정도(consequence)의 조합으로 표현되었다. 미국의 NIPP의 리스크 관리 프레임워크의 경우, 리스크를 피해(consequence), 취약성(vulnerability)과 위험요소(threat)의 세 가지에 의한 함수로 정의하였다  $R=f(C, V, T)$  (DHS, 2009). 여기서, C는 피해(사건에 대해서 사회적, 경제적, 환경적인 영향), V는 취약성(방해가 일어나는 데 있어서 받아들일 수 있는 정도), T는 위협(위험을 야기하는 가능성을 가진 어떤 것)을 나타낸다. 2001년도 영국 CIWEM은 홍수의 리스크를 어떤 사건이 발생할 수 있는 가능성과 사건의 발생과 관련된 영향의 조합으로 설명하였으며, 이를 통해 리스크는 위험에 노출되어 있는 확률 또는 빈도와 발생가능성으로 인한 피해의 정도(취약성)로 수식화하였다(CIWEM, 2001).

홍수의 리스크는 사실 다양한 시각과 목적으로 이를 규격화하여 정의하는 게 힘든 면이 있다. 정부는 국가적 차원에서의 시각에서 경제적인 이득이나 삶의 질을 개선하는 관점에서 바라보는 반면, 홍수터에 살고 있는 개개인은 그들 자신, 그들의 가족 및 그들의 지역사회에 존재하는 홍수 리스크에 일차적인 관심이 있을 것이다(Hall et al., 2003). 각기 다른 차원에서 문제를 바라보는 시선들로 인하여 규격화된 정의를 내리기는 어려움이 따르지만, 본 연구에서는 내수침수 리스크를 구성하는 인자로 다수의 연구에서 언급되었으며, 정량화하기 간략한 조합인 어떤 이벤트의 발생가능성(probability)과 피해정도(consequence) ( $R=P \times C$ )로 나타낼 수 있다고 판단하였다.

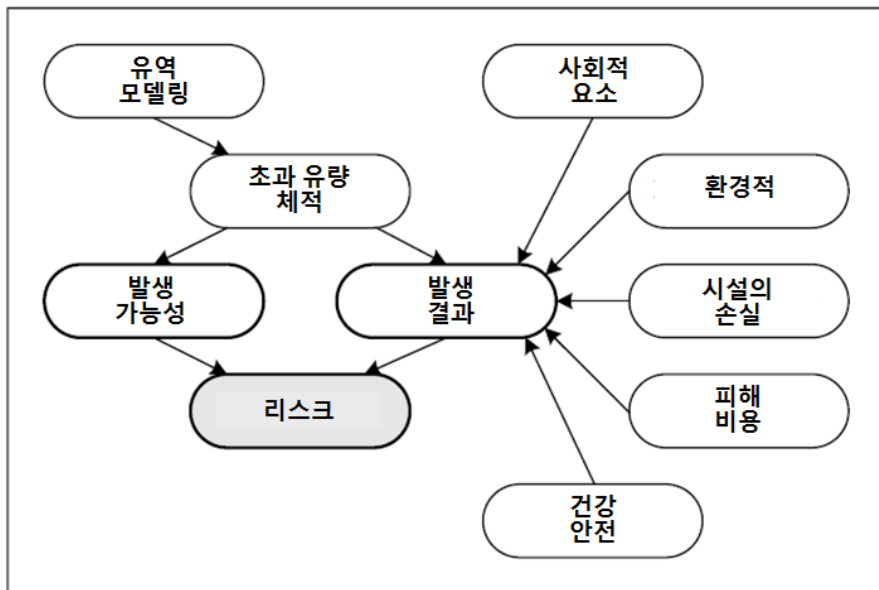
Defra(2002)에서는  $R=P \times C$ 의 리스크에 대한 정의를 다음과 같이 설명하였다.

- 어떤 특정한 이벤트가 일어날 가능성과 이벤트가 발생하였을 때 이벤트가 미치는 영향의 조합으로 리스크를 묘사 하는 것은 일반적이다. 그러므로 리스크는 어떤 이벤트가 발생할 가능성 (또는 확률)과 이벤트와 관련된 영향 (또는 결과)의 두 개의 요소로 구성된다.
- 모든 경우에 해당하지는 않지만, 리스크의 중요도를 측정하는 편리하고 단순한 정의는  $Risk = Probability \times Consequence$  로 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 상기의 정의를 토대로 발생가능성과 발생결과를 정량적으로 평가할 수 있도록 이를 구성하는 인자들에 대하여 고찰하였다.

2006년 영국 CIRIA에서는 홍수 리스크를 평가하는데 주요한 요소를 입력자료, 과정, 출력자료로 나누어 설명하였다(CIRIA, 2006). <그림 2-4> 중 초과유량, 침수깊이, 유속, 체적 및 기간이 홍수의 발생가능성을 결정하는 데 입력 자료가 된다. 이 입력자료를 토대로 홍수의 단계별 기록에 대하여 충분히 긴 장기자료가 존재한다면, 홍수의 진행단계별로 통계분포를 이용하여 홍수의 발생가능성을 평가할 수 있으며, 수리, 수문학적인 유역의 모델링을 단기 강우사상에 대하여 또는 장기적인 강우량의 대입을 통하여 홍수 유출량에 대하여 홍수 발생확률을 결정할 수도 있다. 강우사상의 발생 확률을 평가할 때는, 사용된 강우사상의 재현기간이 그때의 홍수단계에 부여되거나, 장기적인 시뮬레이션을 통해 얻어진 홍수 유출량에 대해서 통계분포를 통해 홍수 발생가능성을 추정할 수 있다.

홍수의 발생결과는 홍수 위험의 본질 자체 및 대상지역의 취약성에 의해 결정 된다(CIRIA, 2004). 피해정도를 나타내는 인자로는 측정 가능한 인자들과 측정이 될 가능한 인자들로 나뉘어진다. 측정 가능한 인자들에는 재산피해, 건강의 피해, 공공의 안전에 대한 피해 등을 들 수 있으며, 측정이 용이하지 않은 인자로는 환경적, 경제적인 영향 등을 들 수 있다.



자료: CIRIA(2006).

〈그림 2-4〉 홍수리스크 평가

## 제3장 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법 고찰

앞장에서는 내수침수 리스크 평가에 앞서 리스크를 구성하는 인자들에 대하여 논하였다. 내수침수 리스크를 리스크의 발생가능성과 발생으로 인한 피해의 정도로 정의한다고 하였을 때, 리스크의 발생가능성은 기후변화로 인하여 더욱 빈번해질 전망이다. 본 장에서는 내수침수 발생가능성을 평가하는 방법에 대하여 고찰하고, 기후변화를 반영하여 증가 발생가능성을 산정하는 방법에 대하여 나타내었다. 내수침수 피해수준을 정량적으로 평가하기 위해 고려하여야 할 사항에 대해서도 논하였다.

### 1. 내수침수 리스크 발생가능성 분석 방법 고찰

#### 가. 내수침수 발생가능성 분석<sup>2)</sup>

통념적으로 홍수발생의 리스크는 설계빈도의 확률년수에 상응하는 홍수의 방어능력을 기반으로 해서 분석해왔으나(ICE, 2001), 최근 들어서는 각기 다른 종류의 홍수 이벤트의 발생 빈도와 관련한 수문학적 지식과 홍수유출수의 침수 특성에 관한 정보를 나타내는 수리적 모델링기법, 경제적인 홍수의 피해를 평가하는 기법 등을 이용하여 보다 정확한 접근을 시도하고 있다(Messner et al., 2006).

홍수발생빈도는 과거의 홍수유출과 관련한 자료가 이용 가능하다면, 이들을

2) Shaw, E.M.(1991). Hydrology in Practice; Butler, D.B., Davies, J.W. (2004) Urban Drainage을 바탕으로 작성.

통계분석하여 사용하거나 홍수유출수를 재현하기 위한 모델 시뮬레이션을 이용하여 통계분석을 통해 얻어낼 수 있다.

과거 장기간의 홍수유출 자료에는 연최대시계열자료(Annual Maximum, AM)와 POT자료(Peak over threshold)를 이용하는 방법이 있다. POT자료의 이용이 AM자료의 이용보다 더 많은 데이터를 활용하여 보다 정확한 추정이 가능하다는 장점이 있으나, 여기에서는 홍수 발생 가능성의 산정에 대한 간략화한 방법만을 나타내었다.

AM 자료를 이용하면 <그림 3-1>의 도식처럼 최대유출량을 유출량의 크기에 따라 도식하고, 홍수량  $X$ 에 대해서 초과확률(exceedance probability)인  $P(X)$ 의 산정이 가능하다. 홍수의 발생가능성을 다른 형태로 나타내는 방법 중에는 비초과확률(non-exceedance probability),  $F(X)$ ,와 확률년수(return period),  $T(X)$ 가 있다.  $F(X)$ 는 하나의 이벤트가 모든 다른 이벤트와 비교하였을 때 일어나지 않을 확률을 의미하기 때문에  $P(X)$ 와  $F(X)$ 의 합은 언제나 1이 된다.

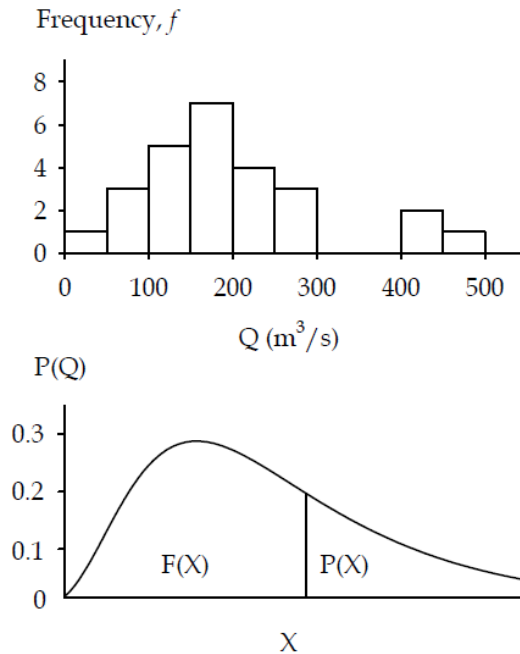
$T(X)$ 는 어떤 이벤트의 발생 또는 초과가 일어나는 간격에 대한 장기간의 평균값을 의미하며,  $P(X)$ 의 역수이다. <그림 3-1>에서, 어떤 유량  $X$ 에 대해서, 어느 일 년의 기간에 대해 AM 최대 유량인  $Q$ 가  $X$ 와 같거나 이를 초과할 확률이  $P(X)$ 가 되고, 어느 일 년의 기간 동안 이 이벤트가 일어나지 않을 확률이  $F(X)$ 가 된다. 이를 수식화하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T(X) = \frac{1}{P(X)} = \frac{1}{1 - F(X)}$$

이를  $F(X)$ 에 대해서 수식화하면 다음과 같다.



$$F(X) = 1 - P(X) = 1 - \frac{1}{T(X)}$$



자료: Shaw(1991).

〈그림 3-1〉 연최대유량의 확률분포곡선

반면, 일반적으로 과거의 홍수기록은 획득이 불가능하므로 대부분의 경우 모델 시뮬레이션을 통해서 홍수 발생 빈도를 획득하게 된다. 강우-유출 시뮬레이션을 통한 홍수발생확률의 평가를 위해서는 개별 강우사상을 기초로 한 시뮬레이션을 수행하거나, 연속형 강우-유출 시뮬레이션을 수행한다. 개별강우사상을 기초로 하는 방법은 개별 이벤트별로 시뮬레이션을 수행하기 때문에 간단한 장점이 있으나, 해당 유역의 강우사상 간의 선행강우조건, 유역의 상황 등이 시뮬레이션에서 배제되기 때문에, 연속형 강우-유출 시뮬레이션을 선호하는 경향이 있다.

## 나. 기후변화를 반영한 내수침수 발생 증가추이 분석 방법

앞장에서 나타난 바와 같이, 홍수의 발생 빈도를 작성하는 데는 전형적으로 과거의 홍수 이력을 분석하거나 또는 특정 설계빈도의 독립 강우 또는 연속 강우를 시뮬레이션을 통해 홍수사상을 발생시키는 방법이 이용되어 왔다. 반면 이는 과거의 설계빈도에 해당하는 강우강도 및 발생주기가 미래에도 동일하다는 가정 하에서 성립한다. Denault et al.(2006)은 이와 같은 가정이 미래시점에 변하게 될 것이라고 주장하였다.

국내에서 진행된 기후변화 모델을 통한 수자원관련 여러 가지 연구는, 기후변화 시나리오를 통한 수자원(하천, 유역수문 등)의 변동성 파악(배덕효 외, 2007; 김경욱, 2010; 박민수, 2012; 임가희, 2013; 정세진, 2014 등), 가뭄에의 영향 분석(김병식 외, 2011), 생태환경변화(김수전, 2011) 등 다양한 분야에서 다수의 연구가 이루어졌으나, 하수관거에 대한 영향파악을 분석한 연구는 최근의 몇 개에 불과하였다.

송창준(2011)의 경우 기상청 RCM 모델을 통해 미래의 확률강우량을 예측, XP-SWMM에 적용하여 도시배수시스템의 취약성 파악 및 홍수량의 변화를 검토하였다. 강나래(2012)의 연구는 기후변화가 도시배수시스템의 유출에 미치는 영향을 검토하기 위해서 기후변화 시나리오를 CNCM3 기후모형에 적용하여 확률강우량의 변화를 산정하고, XP-SWMM 모델에 적용하여 유출영향을 분석하였다. 김억기(2013)는 GCM 모델과 토지이용변화 예측 모형인 SLEUTH 모형을 적용하여 미래의 토지이용변화를 예측하고, 상기의 현상이 도시유출에 미치는 영향을 XP-SWMM으로 분석하였다.

기후변화가 유출량에 미치게 될 영향에 대하여는 다양한 연구들이 기후모형(Regional Climate Model, RCM, Global Climate Model, GCM)의 시뮬레이션 결과를 유출모형이나 셀을 기반으로 하는 간략화 모델을 적용하는 방법이

대표적이다 (서린, 2011; 최대규, 2009; Bell, 2009; Semadeni-Davies, 2008).

기후변화를 모델링을 통해 접근하는 기존의 연구들과 달리, 최근의 한 양상은 <표 3-1>에 나타난 바와 같이, 통계분석에 있어서 분포의 인자들을 변화시켜 시간의 변화를 고려한 수문사상들의 변화를 모델링하였다. 이들은 주로 정상계열(stationary)의 일반적인 통계분포의 매개변수들(크기(scale), 형상(shape), 위치(location))을 조정하여 비정상계열(non-stationary)의 분포를 표현하였다.

**<표 3-1> 통계분포를 이용한 수문사상의 변화 작성 예시**

연구자(연도)	분포	작성 내용
Leclerc and Ouarda (2007)	GEV	위치, 형상 매개변수의 변화를 통한 비정상계열의 지역 홍수빈도 분석
El Adlouni et al. (2007)	GEV	비정상계열의 분위추정을 이용 연최대 강우자료에의 영향을 표현
Vallarini et al. (2009)	Gumbel, Weibull, Gamma, Lognormal	위치, 형상, 크기 매개변수의 변화를 통한 비정상계열의 연최대 홍수 유출 분석
Hanel et al. (2009)	GEV	위치 매개변수의 변화를 통한 비정상계열의 홍수 침투치 표현
Duchesne (2010)	GEV Gumbel	시간의 영향을 고려한 위치 매개변수의 극치 강우사상에의 영향을 평가
Vallarini et al. (2011)	GEV	위치, 형상, 크기 매개변수의 변화를 통한 비정상계열의 연최대 홍수 유출 분석
Ryu et al. (2014)	GEV Gumbel	위치 매개변수의 변화를 통한 비정상계열의 극치 강우사상 분석

## 2. 내수침수 피해수준 결정방법

홍수로 인한 피해는 유형일 수도 있고 무형일 수도 있다. 일반적으로 통화가치를 부여하기 쉬우면 유형이라고 판단하고, 그렇지 않을 경우 무형이라고 정의한다. 유형 피해는 이들이 물리적으로 홍수와 직접적인 접촉이 일어나서 발생하였는지 아닌지에 따라서 다시 직접적인 피해와 간접적인 피해로 나누어질 수 있다. 재산에 가해지는 물리적인 피해(마룻바닥, 벽, 천장, 내부의 물건 등)는 직접적인 반면, 경제적 또는 사회적인 활동의 중단 또는 방해 등은 간접적인 피해이다. 무형 피해의 예에는 생산이나 이득에서의 손실, 도로나 교통에의 영향, 긴급보수나 청소작업 등으로 인해 부과되는 추가적인 비용을 들 수 있으며, 소유물을 분실함으로써 얻게 되는 스트레스, 건강의 손실, 정신건강상의 문제들도 포함한다.

### 가. 침수심-홍수피해 관계 분석

기존의 다수의 연구는 다른 형태의 피해는 정량화하기가 힘들고, 불확실성 또한 매우 높으므로 직접적인 피해와 관련한 것만 다루었다. ODPM(2003)에서는 특히 직접적인 피해 중에서도 홍수심과 관련하여 입을 수 있는 피해에 대해서 <표 3-2>와 같이 나타내었다.

홍수심이 지상의 높이까지 이르지 않는다면, 대부분의 건물에서 피해는 무시할 수 있을 정도의 수준일 것이나 지하실로의 유입은 피해를 발생시킬 것이다. 좀 더 높은 수준의 홍수심이 발생하여 지상으로 약 0.5m까지에 이르면, 홍수로 인한 피해는 매우 클 수도 있다. 홍수로 인해 내부에 위치한 표면, 전기소켓, 장비들, 부엌 물품들, 카펫, 가구, 개인용품들 여러 가지의 피해가 발생 가능하다. 홍수심이 0.5m 이상이 되면, 홍수로 인한 건물의 피해는 벽면의 피해뿐만 아니라 상기에 언급된 모든 문제가 발생하게 된다. 무엇보다 건물 자체의 구조에

문제가 발생할 가능성이 생긴다.

〈표 3-2〉 홍수심에 따라 발생가능한 피해

홍수심	피해	
지하	건물	주 건물의 피해는 최소화됨 지하에 있는 바닥면, 천장 및 공간으로 홍수발생 건물의 기초에 영향을 미칠 수 있음
	서비스	지하에 위치한 전기 소켓 등 서비스에 피해 발생 지하에 위치한 카펫 등의 교체 필요
	개인물품	지하에 위치한 개인물품 및 가구에 피해 발생
지상 0.5m 까지	건물	벽지 등 내부의 마감재에 영향을 미침 마루바닥과 벽면이 포화상태가 될 것이며, 청소와 건조가 필요함 습도의 문제가 생길가능성 있음 합판으로 마감된 마루바닥은 교체 필요 내부 및 외부의 문, 처마 등의 피해
	서비스	아래층의 전기, 퓨즈 등의 피해 가스 미터, 낮은 곳에 위치한 보일러, 전화 서비스 등의 문제 발생 카펫과 마루바닥이 교체 필요 합판으로 제작된 부엌 마감재가 교체할 수 있음 세탁기, 음식조리기구, 냉장고 등의 교체 필요
	개인물품	소파 및 기타 가구, 전력 제품의 피해 책, 오디오, 사진 등 소규모 개인 물품의 피해 주방의 낮은 곳에 위치한 음식물이 오염될 가능성이 있음
지상 0.5m 이상	건물	벽의 피해가 더 커짐 건물 구조의 피해 발생가능성이 있음
	서비스	보다 높은 곳에 위치한 시설물, 서비스 등의 피해
	개인물품	높은 선반 등에 위치한 물품 등의 피해

자료: ODPM(2003).

홍수심을 이용한 피해의 계상은 특히 피해정도에 대한 정밀한 자료를 확보하고 있는 국가에서 집중적으로 다뤄졌다. 다음에는 영국에서 홍수심에 따라 피해의 정도를 계상한 사례를 Flood Hazard Research Centre(FHRC) 및

Penning-RowSELL and Chatterton(1977), Penning-RowSELL et al.(2003)의 자료를 중심으로 나타내었다.

FHRC의 경우 홍수심, 홍수의 지속기간, 사회적 분류와 같은 요소들과 홍수의 피해의 관계를 영국 전역에 걸쳐서 조사하였다. 1977년에 작성된 Blue manual(Penning-RowSELL and Chatterton, 1977)의 경우 직접적이고 유형적인 피해와 관련하여 나타내었으며, Parker et al.(1987)의 Red Manual의 경우 간접적인 피해를 포함하여 작성되었다. 1992년에 작성된 Yellow Manual(Penning-RowSELL et al., 1992)의 경우 해안침식과 관련된 홍수에 대해 작성되었으며, 가장 최근에 작성된 매뉴얼이 Multi-Coloured Manual(Penning-RowSELL et al., 2003)이다.

### 1) 주거지역

주거지역은 건물의 종류에 따라 크게 다섯 그룹으로 분류된다. 이들은 건물의 신축년도와 거주하는 사람들의 다양한 사회적 지위의 차이에 따라 더 세분화된다(표 3-3 참조).

〈표 3-3〉 주거지역 피해계상을 위한 분류표

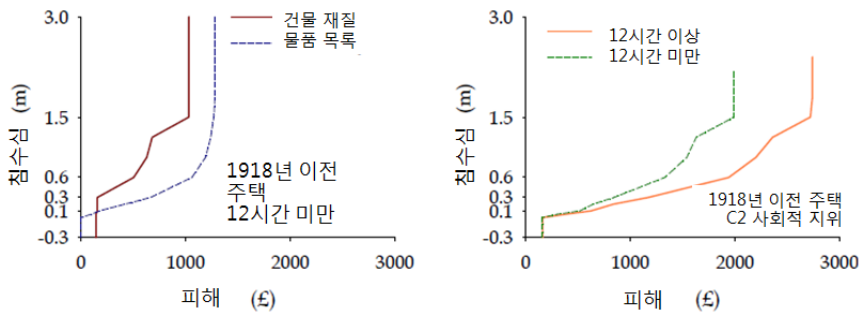
주거종류	신축년도	사회적 지위
일반주택 (Detached)	1919년 이전	
한쪽 벽면이 옆집과 붙어 있는 주택 (Semi-detached)	1919-1944	AB 중상/ 중간
테라스 (Terrace)	1945-1964	C1 중하
방갈로 (Bungalow)	1965-1974	C2 숙련된 기술자
아파트 (Flat)	1975-1985	DE 기술자/ 하층
	1985년 이후	

자료: Penning-RowSELL and Chatterton(2003).

홍수 피해와 관련한 비용의 추정은 건물의 재질과 물품 목록에 의해 결정된다. 건물재질을 구성하는 요소에는 통로 및 포장 면적, 울타리 주차장, 주건물, 미장

공사, 내부 바닥, 창호, 서비스가 포함되며, 물품목록에는 가전제품, 전열제품, 가구, 마감재, 개인 물품 등이 포함된다.

각각의 분류에서 홍수의 기간은 12시간 미만 동안 발생했을 때와 12시간 이상 발생했을 때에 대해서, 홍수의 깊이에 따라 나누어지게 된다. 최종적으로 <표 3-2>의 분류에 대해서 168개의 홍수심-피해의 그래프가 작성되었다. 1918년 이전에 시공된 한쪽 벽면이 옆집과 붙어 있는 주택형태에서 각기 다른 지속시간의 홍수가 발생했을 때 그래프를 <그림 3-2>에 나타내었다.



자료: Penning-Rowsell and Chatterton(2003).

<그림 3-2> 홍수심과 홍수피해의 관계

## 2) 상업지역

상업지역에서 일어날 수 있는 홍수의 피해는 물품의 손실, 건물 재질의 피해, 장치의 손상 및 청소비용을 들 수 있다. 상업지역의 경우 홍수심과 홍수피해의 관계는 0.05m부터 3.0m까지의 범위에서 작성이 되었으며, 홍수발생기간은 고려되지 않았다.

## 3) 공업지역

공업지역은 제조 물품에 따라 8가지의 분야로 나뉘었으며, 0.3m, 1.5m, 3.0m

의 세 단계의 홍수심에 대해서 그래프가 작성되었다.

국내의 경우, 영국과 같이 침수심과 피해에 대한 축적된 자료는 존재하지 않는 실정이다. 특히 과거의 침수기록에 대해서도, 정확한 침수가 발생하였을 당시 정확한 침수심이 얼마였는지, 침수피해에 대해 소요된 비용은 어느 정도였는지에 대한 자료가 부재한 현실이다. 반면, 2009년 소방방재청에서 작성된 ‘내배수 침수재해 저감기술 개발에 관한 연구과제(세부과제; ‘통합 내배수 침수방어기술 개발)’에서는 침수위험도 평가를 위하여 침수위를 산정하는 방법을 나타내었다. 본 장에서는 상기의 연구내용을 소개하였다.

상기 연구에서는 침수위에 통상적으로 최소 0.3m의 여유고를 더한 값을 ‘방어 침수위’라 명명하고, 이 높이에 대한 정의를 ‘침수방어를 위하여 토지이용, 건축물, 시설물의 계획에 있어 특정 높이까지는 침수피해가 발생되지 않도록 침수방어대책의 기준으로 적용하는 높이로서, 지반고에 침수심을 더한 높이’라고 정의하였다. 침수위를 산정하기 위한 방안으로는 <표 3-4>의 방안을 제시하였다.

〈표 3-4〉 침수위 산정 방안

침수위 산정 방안	활용 데이터
기존의 침수실적 활용 하천 홍수위의 연장 강우빈도별 시나리오 분석	침수흔적도 등 계획홍수위, 주위보수위, 경보수위 등 강우-유출-범람해석 모의결과

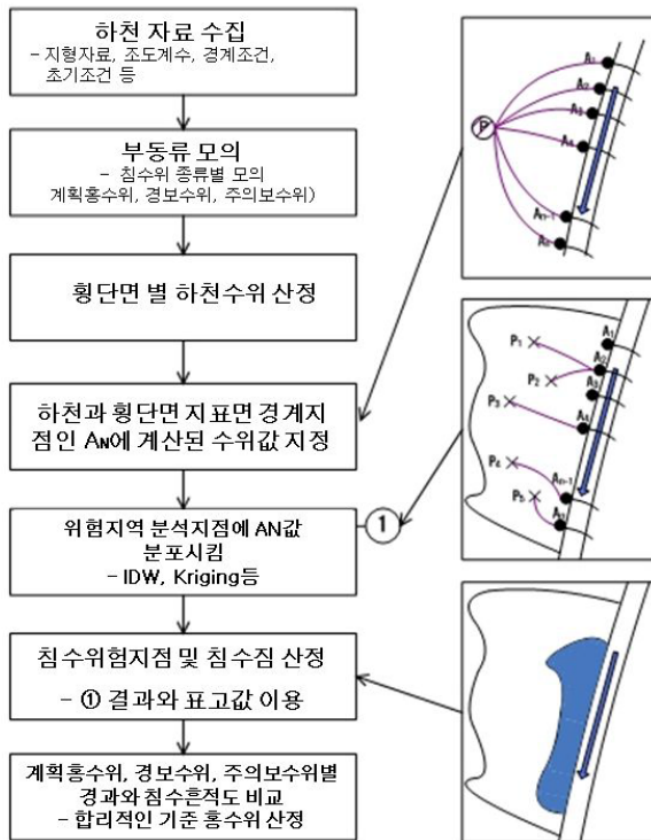
자료: 소방방재청(2009).

과거의 침수실적을 참조하는 방법은 과거에 발생한 침수피해지역의 침수범위 및 침수심을 참조하여 방어침수위를 설정하는 방법으로, 침수피해지역에 대한 침수피해조사, 침수흔적도 등 기록을 이용하는 방법이다. 반면, 이에 대한 조사의 기록이 한계가 있음도 지적하였다.

인근하천의 기준홍수위를 참조하는 방법은, 하천 홍수위보다 낮은 저지대에



위치한 경우 등의 잠재적 홍수위험을 판단하는 데 유리함이 있다. 하천과 인접한 지역 중 하천 홍수위보다 낮은 지역은 하천월류, 제방붕괴에 대한 위험이 높으며, 하천이 범람하지 않더라도 상류지역의 지표 유출이 집중하는 현상, 하천수위 상승으로 하수역류현상 등으로 인한 침수피해도 발생가능하다. 하천홍수위의 연장을 통한 침수위 추정과정은 <그림 3-3>과 같이 나타내었다.



자료: 소방방재청 (2009).

<그림 3-3> 하천홍수위 연장을 통한 침수위 추정과정

강우빈도별 내수침수 시나리오 분석에 의한 방법은 계획 규모를 초과하는 강우사상과 침수예상 시나리오를 작성하여 수리수문학적 분석을 통해 침수해석을 실시하는 방법이다. 여기에서는 각 침수심 산정 방법의 장단점을 <표 3-5>와 같이 나타내었다.

**<표 3-5> 침수위 산정 방안의 장단점**

침수위 산정 방안	장점	단점
기존의 침수실적 활용	자료의 객관성 실측치를 이용하기 때문에 객관성 및 정확성 확보 장기간에 걸쳐 다양한 강우사상에 대하여 자료가 축적되어 있는 경우 당해 지역에 대한 가장 정확한 정보 제공	침수범위 이외의 속성정보(침수심) 취약 오랜 기간동안 자료가 축적되지 않은 곳이 많음(한, 두해 자료만 있음) 조사된 지역 이외 누락지역이 다수 있음 침수범위를 이용하여 침수심을 추정시 수표면 기울기를 고려하지 못함
하천 홍수위의 연장	외수 침수에 대한 침수위험도 정량화 간단하고, 신속하게 침수위험 지점을 산정	침수심 및 침수지역의 과다 산정가능 홍수위에 비해 지대가 낮은 지형의 경우 비현실적 결과가 나타날 수 있음 내수침수 위험지역 파악이 곤란
강우빈도별 시나리오 분석	지역적 특수성을 반영할 수 있음 침수흔적도와 비교 검증하면서 과거 침수범위 뿐 아니라 침수심 추정가능 다양한 시나리오 (내/외수범람)에 따라 장래 있을지 모르는 침수위험지역 파악 가능	해석을 위해 많은 시간과 자료, 인력이 필요 입력자료 구축 및 해석기법의 오류에 근거한 부정확한 결과 가능 해석방법, 시나리오 설정의 차이로 해석 전문가별 계산결과가 상이함

자료: 소방방재청 (2009).

### 3. 내수침수 리스크 평가 및 활용방법

국내의 치수사업의 효과를 평가하는 방법은 1993년 건설부의 하천설계기준에서 간편법을 제시한 이래로, 간편법(건설부, 1993), 개선법(건설교통부, 2001), 다차원 홍수피해산정방법(건설교통부, 2004), 건설교통부(2004) 도시홍수피해발생 잠재위험도 및 피해액 평가기술 등으로 발전되어 사용되고 있다. 영국에서 제안된 Multi-colour manual(Penning-rowsell et al., 2003)의 경우 내수침수의 발생으로 인한 홍수 리스크의 산정과 리스크의 경감을 위한 조치를 실행한 후에 사업의 효과를 분석할 수 있는 방법을 나타내었다. 본 장에서는 상기에 언급된 방법들에 대해 나타내었다.

#### 가. 홍수 피해액 산정<sup>3)</sup>

##### 1) 하천설계기준(건설부, 1993)

###### <하천경제조사>

- “하천경제조사”는 하천에 관한 제반 시책과 관련되는 여러 가지 경제효과 중에서 경제와 관련된 것을 파악하기 위한 것임
- ① 하천개수사업의 경제성은 개수지구별로 경제적 평가가 가능한 것들을 편익으로 하고, 사업에 소요되는 공사비, 보상시, 시설의 유지관리비 등을 비용으로 하여 판단. 이때, 각 개수지구별로 경제성을 평가하여 동일한 수계내의 여러 사업지구에 대한 투자우선순위와 적정투자규모를 결정. 지구별로 비용과 편익을 계산하여 투자우선순위를 정함으로써 경제성 분석과 투자우선순위를 동일한 방법과 개념으로 평가
- ② 하천개수사업으로 인한 편익은 직접편익과 간접편익으로 구분. 직접편익은 치수사업을 실시함으로써 얻어지는 피해감소로부터 얻어지는 편익이며, 간접편익은 치수사업으로 인해 증대되는 경제·사회적 편익임. 그러나

3) 건설부(1993). 하천시설기준; 건설교통부(2001). 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구; 건설교통부(2004). 치수사업 경제성분석 방법 연구; 다차원 홍수피해산정방법; 건설교통부(2004). 도시홍수피해발생 잠재위험도 및 피해액 평가기술 등을 참고하여 작성.

간접편익에 대한 조사방법이 확립되어 있지 않기 때문에 조사는 주로 직접편익을 파악하는 것으로 국한함.

○ 조사절차는 다음과 같음

- ① 조사대상 유량규모의 설정
- ② 지반고 조사
- ③ 범람 수리 조사
- ④ 범람구역 자산조사
- ⑤ 유량규모별 예상피해액 산정
  - 침수심별 가옥의 피해율

구분	소파	반파	전파	유실
침수심(m)	0-0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5 이상
피해율(%)	5.5	40.0	83.0	100.0

- 침수심별 농작물 피해율

침수시간 침수율	8시간- 1일이하	1일- 2일	3일- 4일	5일- 7일	7일이상
논(%)	14	27	47	77	95
밭(%)	35	51	67	71	95

⑥ 예상 연평균 피해경감 기대액(R') 산정

- 연평균 피해경감 기대액 산정방법

유량 규모	연평균 초과확률	연평균 생기확률	유량규모별 예상피해액	예상 피해액	생기확률* 평균피해액	누계 피해액
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(3)*(5)	(7)=Σ(6)
Q <sub>0</sub>	N <sub>0</sub>	-	0	-		
Q <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> -N <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	(L <sub>0</sub> +L <sub>1</sub> )/2		
Q <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> -N <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>	(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> )/2		
...	...	...	...	...	...	...
Q <sub>m</sub>	N <sub>m</sub>	N <sub>m-1</sub> -N <sub>m</sub>	L <sub>m</sub>	(L <sub>m-1</sub> +L <sub>m</sub> )/2		

⑦ 유량 규모별 예상 치수사업비 산정

⑧ 경제 효과 분석

- 비용편익비 산정

$$\frac{B}{C} = \frac{R - M}{K + O} = \frac{\alpha R' - M}{K + O}$$

○ 간편법

- 하천개수사업의 경제성 분석은 위 식에 의해 실시하고, 그 결과에 따라

적정투자규모를 결정. 수계 전체에 대하여 사업지구별로 계산한 경우에는 이 결과에 따라 사업의 투자우선 순위를 결정함.

－ 현 상태 하에서 연평균 홍수피해경감 기대액의 연평균 현재가치를 의미하는  $R'$ 은 원칙적으로 전술한 절차에 의하여 산정하여야 하나 세부적인 자료가 부족하여 계산이 불가능할 때에는 다음과 같은 간편한 방법에 의해 산정할 수 있도록 하고 있으며, 이를 "간편법"이라 함.

$$R' = R_P - R_i$$

$$R_P = P + H + D + S + F + T + E$$

－ 여기서,  $P$ 는 연평균 인명피해액,  $H$ 는 연평균 농작물 피해액,  $D$ 는 연평균 가옥피해액,  $S$ 는 연평균 농경지 피해액,  $F$ 는 연평균 공공시설물 피해액,  $T$ 는 연평균 기타 피해액,  $E$ 는 연평균 간접피해액을 의미함.

## 2) 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구(건설교통부, 2001)

### <경제성 분석 개선방안>

- 경제성은 사업의 효율성을 측정하는 기준이 되나 하천개수사업은 국민의 생명과 재산을 보호하고, 각종 산업을 지원하며, 국토환경을 보전하는 공공성이 큰 기본적인 사회간접자본 시설이기 때문에 단순히 사업의 효율성만으로 투자우선순위를 결정하는 것은 바람직하지 못함.
- 간편법을 적용하여 사업지구별로 경제성을 분석하여 그 결과를 곧바로 투자우선순위로 하는 방법은 방법자체의 문제점뿐만 아니라 사업의 경제성이 낮게 평가되고, 하천이나 수계 전체의 입장을 고려하지 못한다는 문제가 있음.
- 하천개수 사업의 경제성 분석은 하천이나 수계 단위, 최소한 시·군과 같은 보다 광범위한 지역을 대상으로 사업의 추진 여부를 판단하는 기준으로 활용하고, 사업지구별 투자우선순위는 경제성 분석결과 이외에 다른 요소들을 고려하여 종합적인 관점에서 결정하는 것이 바람직함.

### <방법론 개선>

- 기존의 간편법은 다른 사회간접자본 시설의 경제성을 분석하는 방법과 달라 비용은 크게 산정되고, 편익은 작게 산정됨으로써 전체적으로 경제성이 낮게 평가되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고, 다른 사회간접자본시설과의 형평성을 고려하기 위해서는 다른 사회간접자본 시설에서 적용하고 있는 것과 동일한 분석방법을 적용

- 비용편익비 산정

$$\frac{B}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{B_k}{(1+r)^k} / \sum_{k=1}^n \frac{C_k}{(1+r)^k}$$

- 여기서,  $B_k$ 는  $k$ 년차에 발생하는 편익,  $C_k$ 는  $k$ 년차에 발생하는 비용,  $n$ 은 분석기간,  $r$ 은 할인율

#### <편익추정 개선방안>

- 하천의 범람으로 인한 예상피해액을 산정할 때 가장 큰 영향을 미치는 요소는 강우량과 침수면적이라 하고, 강우량과 침수면적은 서로 양(陽)의 상관관계를 가지지만 여러 가지 다른 특성들에 의해서도 영향을 받기 때문에 반드시 일치하지는 않음. 따라서, 강우량이나 침수면적을 독립변수로 하여 인명·가옥·농작물·농경지·공공시설물 피해액 등과 같은 편익산정 항목들 사이의 관계식을 도출할 수 있음.
- 반면 이재민 피해, 인명 피해, 농작물 피해액의 경우 도시 유형별로 일관되게 적절한 함수가 도출되지 않았으므로, 침수면적·피해액 관계식보다는 원단위를 사용하여 피해액을 산정

- 도시유형별 침수면적-피해액 관계식 (단위: 백만원, ha)

대상지역	변수	상수항	침수면적항	적합도
대도시지역	건물	0.23294	$0.254 s^2$	0.63
	농경지	0.09896	$0.288 s^2$	0.91
	공공시설	0.53365	$0.149 s^2$	0.55
	기타	0.03835	$1.741 \sqrt{s}$	0.44
중소도시 지역	건물	0.55283	$0.182 s^2$	0.52
	농경지	0.63246	$0.150 s^2$	0.50
	공공시설	0.85311	$0.060 s^2$	0.45
	기타	0.12471	$0.356 s^2$	0.54
전원도시 지역	건물	0.13849	$0.302 s^2$	0.78
	농경지	0.00528	$0.353 s^2$	0.80
	공공시설	0.38754	$0.215 s^2$	0.51
	기타	0.11562	$0.310 s^2$	0.64
농촌지역	건물	0.01164	$0.286 s^2$	0.95
	농경지	0.11744	$0.226 s^2$	0.84
	공공시설	0.38670	$0.157 s^2$	0.63
	기타	0.49185	$0.130 s^2$	0.63

$s$ =침수면적(ha)/도시유형별 평균침수면적(ha)

평균침수면적(ha): 대도시 875.3, 중소도시 303.0, 전원도시 1,001.4,

농촌지역 761.2, 산간지역 139.6

○ 편익추정

- 인명손실액 = 침수면적당 손실  
인명수(명/ha) × 손실원단위(원/명) × 침수면적(ha)
- 이재민 피해액 = 침수면적당 발생 이재민(명/ha) × 대피일수(일) × 일평균 국민소득(원/명 · 일) × 침수면적(ha)
- 농작물피해액
- 공공시설물 피해액 = 침수면적-피해액 관계식에 의한  
피해액 × (1 + 교통시설의 손실 기회비용율 + 하천시설물의 손실 기회비용율)
- 교통시설의 손실 기회비용율 = 도로손실액/공공시설물 손실액 × 도로 복구기간 × 연평균 도로이용편익/투입액 ≈ 0.31
- 하천시설물의 손실 기회비용율 = 하천시설물 손실액/공공시설물 손실액 × 하천시설의 복구기간 × 연평균 홍수피해액/투입액 ≈ 0.66
- 건물, 농경지, 기타 피해액

3) 치수사업 경제성분석 방법 연구: 다차원 홍수피해산정방법(건설교통부, 2004)

<다차원홍수피해액 산정법>

○ 기존 간편법 및 개선법의 문제점을 보완, 개선하고 통계 및 GIS를 활용하여 피해항목의 분류 및 피해액 계산을 보완하였음

① 개선법의 문제점 개선

- 다중회귀분석을 이용, 회귀식의 상수항 관련 문제 보완
- 건물의 유형, 크기 등의 구분을 추가하여 침수심 고려
- 연평균 피해경감 기대액 산정의 개선

② 지역특성을 고려한 홍수피해산정

- 지역구분과 기준 이용

구분	내용
산지지역	전체면적 중 임야와 묘지가 65% 이상 농경지 면적 15% 이하
공업지역	산지지역 도시 제외 공업용지 면적 3.5% 이상

	제조업 종사자수 30% 이상
농업지역	산지, 공업지역 도시 제외 농경지 면적 20% 이상
상업 및 주거지역 도시	산지, 공업, 농업지역 도시 제외

- 6가지 침수면적-피해액 관계식 도출: 건물, 농경지, 기타시설물, 교통시설물(도로, 교량, 철도), 하천시설물(하천, 소하천, 상하수도시설, 수리시설 및 방조제), 공공시설물(교통시설물, 하천시설물 제외)
- 회귀분석을 통하여 불필요한 자료를 필터링

### ③ 침수심을 고려한 피해액 산정

- 주거특성과 침수심에 따른 피해액
  - 건물피해액 = 건물자산가치(원) × 건물 침수편입율 × 건물 침수피해율
  - 침수심별 건물 침수피해율(지하공간의 침수피해를 고려할 수 없는 경우)

침수심(m)	0-0.5	0.1-1.5	1.5-2.5	2.5이상
단독주택피해율(%)	15	40	83	100
아파트피해율(%)	$15/n_1$	$40/n_1$	$83/n_1$	$100/n_1$
연립주택피해율(%)	$15/n_2$	$40/n_2$	$83/n_2$	$100/n_2$

$n_1$ : 아파트 층수,  $n_2$ :연립주택층수

- 침수심별 건물 침수피해율(지하공간의 침수피해를 고려할 수 있는 경우)

침수심(m)	0-0.5	0.1-1.5	1.5-2.5	2.5이상
단독주택피해율(%)	15	40	83	100
아파트피해율(%)	$15/n_1 + \alpha$	$40/n_1 + \alpha$	$83/n_1 + \alpha$	$100/n_1 + \alpha$
연립주택피해율(%)	$15/n_2 + 100 \cdot \beta$	$40/n_2 + 100 \cdot \beta$	$83/n_2 + 100 \cdot \beta$	$100/n_2 + 100 \cdot \beta$

$n_1$ : 아파트 층수,  $n_2$ :연립주택층수

- 건물내용물 피해액

침수심(m)	0-0.5	0.1-1.5	1.5-2.5	2.5이상
피해율(%)	15	40	83	100

- 농업특성과 침수심에 따른 피해액
  - 침수심별 농경지 피해율

침수심 피해율	1m 이하	1m 이상	비고
------------	----------	-------	----



피해내용		침수	매몰, 유실	매몰과 유실의 평균값 사용
농경지	논	0%	100%	매몰면적( $m^2$ ) $\times$ 0.1(m) $\times$ 2,940원/ $m^3$
	밭	0%	100%	유실면적( $m^2$ ) $\times$ 0.2(m) $\times$ 5,660원/ $m^3$

• 침수심별 농작물 피해율

침수심 피해율		1m 이하					1m 이상	비고
		침수 시간	1일이하	1-2	3-4	5-6	7일이상	
농작 물	논		14%	27%	47%	77%	95%	100%
	밭		35%	51%	67%	81%	95%	100%

– 산업특성과 침수심에 따른 피해액

• 침수심별 사업체 유형고정자산, 재고자산의 피해율

침수심(m) 피해율(%)	0.5 미만	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0 이상
유형자산	25	50	80	100
재고자산	15	30	60	100

– 총피해액 산정

- 총 피해액: 주거지역, 농업지역, 산업지역+일반자산  
피해액+인명/이재민 피해액+공공시설물피해액
- 인명피해액: 인명손실, 이재민 피해손실(개선법과 동일)
- 일반자산피해액=

$$\sum_{i=1}^n [RD_i(\text{건물, 건물내용물, 침수심}) + AD_i(\text{농경지, 농작물, 침수심}) + ID_i(\text{사업체유형·재고자산, 침수심})]$$

- 공공시설물 피해율 (일반자산피해액에 대한 공공시설물 피해액 비율)

항목	도로, 교량	하천	소하천	상하수도	항만 시설	여항 시설	학교
피해율	1.38	0.87	0.58	0.18	0.02	0.01	0.03
결정계수	0.99	0.47	0.80	0.99	0.40	0.01	0.92
항목	철도	수리시설, 방조제	사방 임도	군사 시설	소규모 시설	기타 시설	합계
피해율	0.23	0.54	0.28	0.42	0.69	0.80	6.01
결정계수	0.95	0.73	0.93	0.92	0.91	0.94	

- 직접피해액 =  $(1 + \alpha) \times \text{일반자산피해액} + \text{인명피해액}$   
 $\alpha$ : 일반자산피해액에 대한 공공시설물의 비율

4) 도시홍수피해발생 잠재위험도 및 피해액 평가기술(건설교통부, 2004)

○ 개선법과 다차원법에서의 피해액 산정을 비교분석하고, 다차원법의 개선방향을 제시하였음

－ 다차원법의 피해항목과의 비교

다차원법			도시홍수피해항목 설정(안)		
인명	사망	개선법과 동일 (인적자본접근법)	인명	사망	지불의사접근법에 의해 설정
	부상			중상 경상	
거주지역	건물	건축단가 건축연면적별 주택수	건물		거주 및 산업(상업/공업)용 건물을 모두 포함
	가정용품	가정용품 보급률 및 평균가격 지역별 가정용품 평가액	건축내용물		건물-건물내용물의 함수를 이용
농업지역	농경지 농작물	침수심별 피해율	공공시설물		조사가 가능한 모든 항목에 대하여 피해액 산정
산업지역	유형자산 재고자산	산업분류별 1인당 유형자산, 재고자산	지하공간		지하상가, 지하역사, 지하시설물에 대한 피해
공공시설물		일반자산에 대한 피해율			
지하공간		미고려			

## 나. 비용-효과 분석을 통한 사업효과 분석

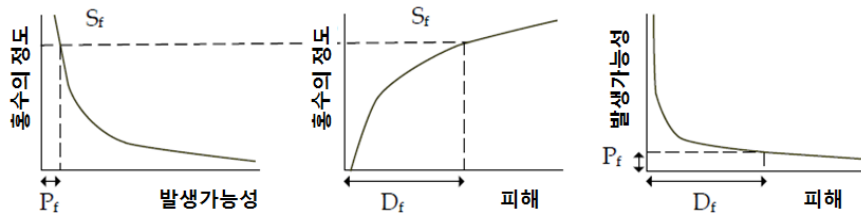
치수사업의 효과를 평가하는 방법은 1993년 건설부의 하천설계기준에서 간편법을 제시한 이래로, 간편법(건설부, 1993), 개선법(건설교통부, 2001), 다차

원 홍수피해산정방법(건설교통부, 2004)로 발전되어 사용되어 오고 있다. 이들은 소방방재청(2009)에서도 지적되었듯이, 수자원시설물(댐, 방수로, 펌프장 등)과 관련한 농촌지역의 피해에 대해 작성되었으며, 하수도시설물로 기인하는 내수침수 피해의 평가에는 적절하지 못함이 현실이다.

건설교통부(2004)의 도시홍수 피해발생 잠재위험도 및 피해액 평가기술에서는 개선법에 비해 다차원법은 자산의 조사를 통하여 피해액을 예상하기 때문에 다차원법에서 제시된 자산평가액의 정확도에 따라 피해액 산정의 정확도가 좌우될 거라 하였다. 반면, 자산의 평가가 용이하지 않으며, 직접적인 자산평가액의 제시로 실제 피해액에 가까운 피해액을 산정하지만 재고자산 평가액은 지역별로 크게 차이를 나타내어 여전히 문제를 가지고 있는 것으로 나타났다.

반면 영국에서 제안된 Multi-colour manual (Penning-rowsell et al., 2003)의 경우 내수침수의 발생으로 인한 홍수 리스크의 산정과 리스크의 경감을 위한 조취를 실행한 후에 사업의 효과를 분석할 수 있는 방법을 나타내었다.

1977년 Penning-Rowsell and Chatterton의 연구결과를 따르면, 상기와 같은 홍수 발생가능성의 인자들을 초과유량, 초과 체적을 지표로 하는 특정한 홍수단계에서의 피해로 나타내어 이들을 조합하면 리스크 수준을 결정할 수 있다 (그림 2-5 참고). 이론적으로 홍수의 발생가능성( $P_f$ )은 홍수 유출량을 통계분포를 이용하여 분석하면 알아낼 수 있으며, 홍수 유출량은 홍수의 정도( $S_f$ )를 나타낸다. 어느 정도의 홍수가 발생했을 때 추정되는 소요비용 등을 계상하면 홍수발생으로 인한 피해( $D_f$ )를 알아낼 수 가능하다. 특정한 홍수의 정도( $S_f$ )가 발생했을 때 홍수의 발생가능성( $P_f$ )과 피해( $D_f$ )를 찾아내면, 홍수리스크의 정의에 따라 <그림 3-4>의 마지막 그래프의 발생가능성( $P_f$ ) 와 피해( $D_f$ ) 사이의 면적이 홍수리스크로 정의된다.



자료: Penning-Rowsell and Chatterton (1977).

### 〈그림 3-4〉 홍수 리스크 인자들의 관계

이 중 홍수의 발생가능성은 무차원값으로 표현이 되며, 홍수 피해에 해당하는 값은 재정적인 값으로 표현이 되며, 화폐가치로 표현되는 연평균 홍수 리스크로 표현이 가능하게 된다.

Multi-colour manual은 침수심을 인자로 하는 피해액의 산정에 있어서 장기간 축적된 자료를 활용하여, 신뢰성 있는 자료를 작성하였으므로 사업효과 분석에까지 이를 수 있는 방안을 제시함이 가능하였다. 국내의 경우, 현재까지 피해액을 산정하기 위한 근거자료가 부족한 현실이다. 반면 최근 지속적으로 수행되고 있는 사업의 경우, 국내 실정에 적합한 자료를 획득하고, 피해액 산정을 위한 계산방법의 수정 등이 지속적으로 연구되고 있어 보다 현실성 있는 분석이 가능할 것으로 기대된다.

## 제4장 결론

본 연구에서는 내수침수 리스크 산정 방법론의 고찰을 통해 기후변화 적응정책 적용을 위한 내수침수 리스크의 인자를 정의하고, 기후변화를 반영한 내수침수 리스크의 정량적 평가 방법론을 작성하여 내수침수 기후변화 적응정책 적용을 위한 발판을 제공하고자 하였다.

홍수발생에 대한 리스크는 다양한 요소들로 정의가 가능하며, 이 요소들을 나타내는 인자의 종류 또한 다양하다. 반면 리스크를 정량화하여 평가하기 위해서는 리스크를 구성하는 인자들이 명확하게 정의되어야 한다. 내수침수 리스크를 평가하기 위한 인자들을 정의하기 위해 내수침수 리스크의 산정방법을 검토하고, 계량화가 가능한 인자들을 검토하였다. 본 연구에서는 내수침수 리스크는 리스크를 정의하는데 가장 단순하며 일반적인 형식인 이벤트의 발생가능성과 발생 영향의 두 개의 요소의 조합으로 정의하였다.

내수침수 리스크를 리스크의 발생가능성과 발생으로 인한 피해의 정도로 정의한다고 하였을 때, 리스크의 발생가능성은 기후변화로 인하여 더욱 빈번해질 전망이다. 내수침수 리스크를 정량적으로 평가하는 방법론을 모색하기 위하여, 내수침수 발생가능성을 평가하는 방법에 대하여 고찰하고, 기후변화를 반영하여 증가하는 발생가능성을 산정하는 방법에 대하여 나타내었다. 이후 내수침수의 피해를 정량화할 수 있는 분석방법을 중심으로 국내외 사례를 조사하였다.

통념적으로 홍수발생의 리스크는 설계빈도의 확률년수에 상응하는 홍수의 방어능력을 기반으로 해서 분석해왔으나 최근 들어서는 각기 다른 종류의 홍수 이벤트의 발생 빈도와 관련한 수문학적 지식과 홍수유출수의 침수 특성에 관한 정보를 나타내는 수리적 모델링기법, 경제적인 홍수의 피해를 평가하는 기법

등을 이용하여 보다 정확한 접근을 시도하고 있다. 홍수발생빈도는 과거의 홍수 유출과 관련한 자료가 이용 가능하다면, 이들을 통계분석하여 사용하거나 홍수 유출수를 재현하기 위한 모델 시뮬레이션을 이용하여 통계분석을 통해 얻어낼 수 있다.

일반적으로 과거의 홍수기록은 획득이 불가능하므로, 대부분의 경우 모델 시뮬레이션을 통해서 홍수 발생 빈도를 획득하게 된다. 강우-유출 시뮬레이션을 통한 홍수발생확률의 평가를 위해서는 개별 강우사상을 기초로 한 시뮬레이션을 수행하거나, 연속형 강우-유출 시뮬레이션을 수행한다. 개별강우사상을 기초로 하는 방법은 개별 이벤트별로 시뮬레이션을 수행하기 때문에 간단한 장점이 있으나, 해당 구역의 강우사상간의 선행강우조건, 구역의 상황 등이 시뮬레이션에서 배제되기 때문에, 연속형 강우-유출 시뮬레이션을 선호하는 장점이 있다.

기후변화가 유출량에 미치게 될 영향에 대하여는 다양한 연구들이 기후모형(Regional Climate Model, RCM, Global Climate Model, GCM)의 시뮬레이션 결과를 유출모형이나 셀을 기반으로 하는 간략화 모델이 적용하여 나타내는 방법이 대표적이다. 기후변화를 모델링을 통해 접근하는 기존의 연구들과 달리, 최근의 한 양상은 통계분석에 있어서 분포의 인자들을 변화시켜 시간의 변화를 고려한 수문사상들의 변화를 모델링하였다. 이들은 주로 정상계열(stationary)의 일반적인 통계분포의 매개변수들(크기(scale), 형상(shape), 위치(location))을 조정하여 비정상계열(non-stationary)의 분포를 표현하였다.

홍수로 인한 피해는 유형일 수도 있고 무형일 수도 있다. 일반적으로 통화가치를 부여하기 쉬우면 유형이라고 판단하고, 그렇지 않을 경우 무형이라고 정의한다. 유형의 피해는 이들이 물리적으로 홍수와 직접적인 접촉이 일어나서 발생하였는지 아닌지에 따라서 다시 직접적인 피해와 간접적인 피해로 나누어질

수 있다. 재산에 가해지는 물리적인 피해(마룻바닥, 벽, 천장, 내부의 물건 등)는 직접적인 반면, 경제적 또는 사회적인 활동의 중단 또는 방해 등은 간접적인 피해이다. 무형의 피해의 예에는 생산이나 이득에서의 손실, 도로나 교통에의 영향, 긴급보수나 청소작업 등으로 인해 부과되는 추가적인 비용을 들 수 있으며, 소유물을 분실함으로서 얻게 되는 스트레스, 건강의 손실, 정신건강상의 문제들도 포함한다.

기존의 다수 연구는 다른 형태의 피해는 정량화하기가 힘들고, 불확실성 또한 매우 높으므로 직접적인 피해와 관련해서만 다루었다. ODPM(2003)에서는 특히 직접적인 피해 중에서도 홍수심과 관련하여 입을 수 있는 피해에 대해서 나타내었다. 또한 영국의 경우, 홍수심에 따라 피해의 정도를 계상하고, 리스크 계상을 통해 홍수경감을 위한 사업의 수행 이후의 효과를 분석할 수 있도록 근본 자료가 작성되어 있다. 국내의 경우, 영국과 같이 침수심과 피해에 대한 축적된 자료는 존재하지 않는 실정이다. 특히 과거의 침수기록에 대해서도, 정확한 침수가 발생하였을 당시 정확한 침수심이 얼마였는지, 침수피해에 대해 소요된 비용은 어느 정도였는지에 대한 자료가 부재한 현실이다. 반면, 2009년 소방방재청에서 작성된 ‘내배수 침수재해 저감기술 개발에 관한 연구과제 (세부과제 「통합 내배수 침수방어기술 개발」)’에서는 침수위험도 평가를 위하여 침수위를 산정하는 방법에 대해서 나타내었다. 치수사업의 효과를 평가하는 방법은 1993년 건설부의 하천설계기준에서 간편법을 제시한 이래로, 간편법(건설부, 1993), 개선법(건설교통부, 2001), 다차원 홍수피해산정방법(건설교통부, 2004)로 발전되어 사용되고 있지만, 이들은 소방방재청(2009)에서도 지적되었듯이, 수자원시설물(댐, 방수로, 펌프장 등)과 관련한 농촌지역의 피해에 대해 작성되었으며, 하수도시설물로 기인하는 내수침수 피해의 평가에는 적절하지 못함이 현실이다. 반면 최근 지속적으로 수행되고 있는 사업의 경우, 국내 실정에 적합

한 자료를 획득하고, 피해액 산정을 위한 계산방법의 수정 등이 지속적으로 연구되고 있다.

리스크 평가를 위한 고찰을 통해 본 연구에서 제안하는 기후변화를 반영한 내수침수 리스크의 정량적 평가 방법론은 ① 침수피해대상의 정의 ② 기후변화 추이를 반영한 다양한 강우사상의 홍수발생가능성 계산 ③ 다양한 강우사상의 홍수 피해 계산 ④ 홍수리스크의 산정의 단계로 이루어진다. 침수피해대상의 정의는 침수가 발생하였을 때 실제로 피해를 입게 되는 대상을 정의하는 과정이다. 궁극적인 홍수리스크를 산정해야 하는 대상을 우선 정의할 필요가 있다. 다양한 강우사상의 홍수발생가능성 계산을 통해 침수피해대상이 여러 가지 강우사상이 발생하였을 때 일어날 수 있는 홍수의 발생가능성을 기 산정하여, 리스크 산정을 위한 계상 가능한 항목의 제시가 이루어진다. 다음의 다양한 강우사상의 홍수 피해 계산은, 특정 강우사상으로 인한 홍수가 발생하였을 때 정의된 침수피해대상이 실제로 입게 되는 피해를 산정하게 되므로, 여러 가지 강우사상이 발생했을 때의 피해를 산정하게 된다. 침수피해대상에 대해 다양한 강우사상의 홍수발생가능성과 홍수피해를 조합하여, 홍수리스크를 산정할 수 있다. 본 연구에서는 홍수 피해의 계산을 위해 그간 작성된 국내의 데이터를 적극 활용하여 국내실정에 적합하고 현실적인 리스크의 산정을 제안한다.



## 참고문헌

### <국문 자료>

- 강나래. 2012. 「기후변화를 고려한 도시배수시스템의 홍수유출 및 치수경제성 분석」. 인하대학교 석사논문.
- 건설교통부. 2001. 「치수사업 경제성 분석 개선방안 연구」.
- 건설교통부. 2004. 「도시홍수피해발생 잠재위험도 및 피해액 평가기술」.
- 건설교통부. 2004. 「치수사업 경제성분석 방법 연구: 다차원 홍수피해산정방법」.
- 건설부. 1993. 「하천시설기준」.
- 김경욱. 2010. 「기후변화에 따른 우이천 유역의 유출량 산정에 관한 연구」. 서울시립대학교 석사논문.
- 김계중, 이용택. 2012. “도시지역 침수예방 및 복구사업 추진실태 감사결과”. 「감사활동」 2012(가을호): 40-47.
- 김병식, 권현한, 김형수. 2011. “기후변화가 가뭄 위험성에 미치는 영향 평가”. 「한국습지학회지」 13(1): 1-11.
- 김수전. 2011. 「기후변화가 유역의 수자원 및 생태서식환경 변화에 미치는 영향 평가」. 인하대학교 석사논문.
- 김억기. 2013. 「기후변화 시나리오에 따른 토지이용변화를 고려한 도시유역 침수분석」. 수원대학교 박사논문.
- 박민수. 2012. 「기후변화에 의한 섬진강유역의 유출량변동에 관한 연구」. 동신대학교 석사논문.
- 배덕효, 정일원, 이병주. 2007. “A2시나리오에 따른 국내 수자원의 변동성 전망”. 「한국수자원학회논문집」 40(12): 921-930.
- 서린. 2011. 「기후변화를 고려한 목표연도 확률강우량 산정 기법 개발 및 불확실성 분석」. 한양대학교 석사논문.
- 소방방재청. 2009. 통합 내배수 침수방어기술 개발
- 송창준. 2011. 「기후변화를 고려한 도시배수시스템 취약성 분석과 대응방안으로서

- LID 기법 적용성 평가」. 인하대학교 석사논문.
- \_\_\_\_\_. 2012. “환경부, ‘도시침수 SAFE 프로젝트’ 마련”. 「워터저널」 2012.2.
- 외교부. 2014. “9월 기후변화 정상회의 개요 및 향후 준비계획”.
- 이상만, 김지호. 2011. “기후변화를 고려한 기존도시 홍수처리대책에 대한 고찰 (지하 방수로 및 도시물순환을 중심으로)”. 「물과미래」 44(9): 124-131.
- 임가희. 2013. 「기후변화 시나리오를 이용한 섬진강댐 유역 유출 분석」. 경기대학교 석사논문.
- 정세진. 2014. 「RPC8.5 기후변화시나리오 기반의 기후변화가 극한강우사상과 장기유출에 미치는 영향 평가」. 강원대학교 방재전문대학원 석사논문.
- 최대규. 2010. 「미래기후변화에 대한 영향분석 및 유역단위의 수자원 영향평가」. 부경대학교 석사논문.
- 환경부. 2012. “도시침수 예방을 위한 하수관거 정비 종합대책”. 환경부 상하수도정책관실, 2012.4.
- \_\_\_\_\_. 2014. “IPCC, 기후변화 영향 및 적응에 관한 보고서 승인”. 환경부 보도자료, 2014.3.31.

#### <영문 자료>

- AS/NZS 4360. 2004. *Risk management: AS/NZS 4360:2004. Standards.*
- Bell, V.A. et al. .2009. "Use of soil data in a grid-based hydrological model to estimate spatial variation in changing flood risk across the UK". *Journal of Hydrology*, 377(3-4): 335-350.
- Butler, D. and J. W. Davies. 2014. *Urban Drainage*. Spon text.
- Cabinet Office. 2006. *Emergency preparedness.*
- CIRIA. 2004. *Development and Flood risk- guidance for the construction industry.*
- CIRIA. 2006. *Designing for exceedance in urban drainage- good practice.*
- CIWEM. 2001. *Risk assessment for environmental professionals.*
- Defra. 2002. *Risk, performance and uncertainty in flood and coastal defence - a review.*

- Denault, C., R. Millar, and B. J. Lence. 2006. "Assessment of possible impacts of climate change in an urban catchment". *Journal of the American Water Resources Association*, 42(3): 685-697.
- DETR. 2000. *Guidelines for environmental risk assessment and management*.
- DHS. 2009. *National infrastructure protection plan, partnering to enhance protection and resiliency*.
- Hall, J. W. et al. 2003. "Integrated flood risk management in England and Wales". *Natural Hazards Review*, 4:126-135.
- HR Wallingford. 2009. *SAM-System based analysis and management of urban flood risks, Management of drainage assets - the development of a risk - based procedure*.
- ICE. 2001. *Learning to Live with Rivers*.
- Messner, F. et al. 2006. *Guidelines for Socio-Economic Flood Damage Evaluation*.
- ODPM. 2003. *Preparing for floods*.
- Parker, et al. 1987. *Urban flood protection benefits, a projecct appraisal guide*.
- Penning-RowSELL, et al. 1992. *The economics of coastal management, an manual of benefit assessment techniques*.
- Penning-RowSELL et al. 2003. *The benefits of flood and coastal defence: techniques and dat afor 2003*.
- Penning-RowSELL, E.C. and J. B. Chatterton. 1977. *The benefits of flood alleviation: a manual of assessment techniques*.
- Semadeni-Davies, et al. 2008. "The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system". *Journal of Hydrology*, 350(1-2):100-113.
- Shaw, E. M. 1991. *Hydrology in practice*. Chapman & Hall.
- Smith, K. 1992. *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge.
- Vojinovic, Z. and M. B. Abbott. 2012. *Flood Risk and Social Justice, from Quantitative to Qualitative Flood Risk Assessment*.

# Abstract

## **Review on Sewer Flood Risk Assessment Method considering Climate Change**

The main objectives of this study were firstly to define the components consisting sewer flood risk. The two component were found through the literature reviews on the flood risk assessment methods published before. The ultimate goal of this study was to support a rigid structure of quantitative sewer flood risk assessment methods, taking into account climate change.

Flood risk can be defined by different components and various index could be used to determine the level of the components. From the literature reviews on the various previous methods, indexes that are suitable for quantification were found. This study followed the simple definition of risk, that is quantified by the combination of probability and consequence. Here the risk components are the chance (or probability) of an event occurring and the impacts (or consequence) associated with the event.

It is widely known that the flood probability is expected to increase under the influence of climate change. In order to find out the qualitative assessment for sewer flood risk, methods for assessing the flood probability were reviewed first. Methods for quantifying the flood consequence were then considered from references.

It was found that no accumulated data was available nationally on the past flood depths and flood damages. Even it was available, data on the recorded flood depths nor how much was paid for the flood damage were not available. On the other hand, recent studies have focused on the methodological development on the quantification of flood depths using flood risk assessment methods. The focus was limited on water resources (dam, pump stations etc) and mainly dealt with the

damages in the rural areas, hence it was not very suitable for applying to the sewer flood risk assessment, which happens only in the urban area (sewer serviced area). However, data accumulations on the flood risk quantification (flood area, flood depth etc) and modification on the quantification methods are continually progressed to meet the national circumstances.

From the review, the suggested sewer flood risk methods that considers climate change follow the framework: ① specification of the damaged property from the flood, ② calculation on the flood probability of different rainfall (flood) event, ③ quantification on the flood consequences of different flood damage, ④ assessment of quantified flood risk.

Keywords : Sewer Flooding, Climate Change, Risk Assessment Method

---

## 연구진 약력

### 류재나

한국환경정책·평가연구원 부연구위원

### 채여라

한국환경정책·평가연구원 연구위원

### 김동현

한국환경정책·평가연구원 부연구위원

### 정휘철

한국환경정책·평가연구원 부연구위원

### 조광우

한국환경정책·평가연구원 선임연구위원

### 송영일

한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터장

## | KEI Working Paper 목록 | 2012~2014

- 2014년**
- 2014-01 국내 지하수의 자원·환경적 가치 확립을 위한 기초연구(현윤정)
  - 2014-02 층간소음의 건강영향에 대한 기초연구(박영민)
  - 2014-03 소음원 종류에 따른 3차원 소음예측모델 적용방안 마련(선효성)
  - 2014-04 개발사업 입지 및 계획기준의 조사·분석에 관한 연구(주용준)
  - 2014-05 기후변화 취약 근로 직종 파악을 위한 기초 연구(김동현)
  - 2014-06 불확실성을 고려한 수질오염총량관리 안전을 산정 기초연구(정선희)
  - 2014-07 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시/환경/방재분야 공간정보 연계·활용방안 연구(김태현)
  - 2014-08 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법론 고찰(류재나)
  - 2014-09 SEA 사후관리를 위한 해외 사례연구(조한나)
  - 2014-10 농어촌 관련 정책 및 계획에서의 기후변화 적응 고려 방안(임영신)
  - 2014-11 소음·진동 사후관리를 위한 기초연구(선효성)
  - 2014-12 2014 국민환경의식조사 연구(이미숙)
- 2013년**
- 2013-01 토양자원 유실 최소화를 위한 국내외 환경영향평가 사례 연구(신경희)
  - 2013-02 PM-2.5 환경영향평가 방안 연구(이영수)
  - 2013-03 지자체 적응대책 수립지원을 위한 기후변화 시나리오 자료 활용 방안 (정휘철)
  - 2013-04 기후변화에 따른 도심지역 지질재해 리스크 체계 마련(이명진)
  - 2013-05 비전통가스 개발의 환경영향평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구 (조한나)
  - 2013-06 모니터링을 통한 친환경 계획기법의 적절성 검증 기초연구 - 도시공간에서의 stepping stone을 중심으로(최희선)
  - 2013-07 국가와 지자체의 기후변화 적응대책 실효성 제고를 위한 연계강화 방안(임영신)
  - 2013-08 KEI 환경정보체계 발전방안(전성우)
  - 2013-09 도시하천 유역의 환경평가 방법 마련을 위한 기초 연구(홍현정)
  - 2013-10 제조업 환경비용의 국제비교(조일현)
  - 2013-11 바이오가스의 신재생연료 의무혼합제도에 관한 해외사례 분석(조지혜)
  - 2013-12 자연경관심의제도의 현황분석 및 제도 개선방안(주용준)
  - 2013-13 층간소음 관리를 위한 기초연구(박영민)
  - 2013-14 지속가능성 관점에서의 산업구조 변화 분석(이미숙)
  - 2013-15 KEI 중국환경 중장기 연구계획 수립을 위한 기획연구(추장민)
  - 2013-16 기후변화 적응관련 취약계층 지원대책 현황조사 및 분석 연구(신지영)
  - 2013-17 한국 ODA사업의 환경평가 모니터링 현황과 해외사례 비교 연구  
- 사업 종료 후 모니터링 사례를 중심으로(김태형)

- 2013-18 국내 전략환경평가의 사회·경제성 부문 기능 확립을 위한 기초연구(이상윤)
- 2013-19 환경영향평가시의 시설별 유해대기오염물질 배출량 산정을 위한 기초연구  
(주현수)
- 2013-20 지형장애물 분석을 통한 환경현황자료 작성방안(김지영)
- 2013-21 상수원보호구역 상·하류의 수변지역 관리방안 연구  
- 잠실상수원 보호구역과 팔당 상수원 보호구역 구간 중심으로(김태윤)
- 2013-22 2013 국민환경의식조사 연구(이미숙)

- 2012년**
- 2012-01 기후변화를 고려한 농업 가뭄지수 활용 및 적용 기초 연구 (이진영)
  - 2012-02 산림경영 기반시설의 주요 환경영향 - 선형사업(임도) 중심으로 (천영진 외)
  - 2012-03 방조제 건설에 따른 연안환경의 중장기 변화 평가 연구  
- 아산만 수질모델링 중심으로 (김태윤)
  - 2012-04 지속가능한 지하수자원 확보를 위한 지하수보전구역 지정 연구  
- 외국의 지하수 보전구역 사례 분석 (현윤정)
  - 2012-05 공공부문의 지역별 환경보호지출 및 수입통계(EPER) 추계  
(조일현, 김종호)
  - 2012-06 누적영향평가 적용의 사례 분석 및 시사점 연구 (김진오)
  - 2012-07 유해성에 따른 「폐기물 종료기준」의 해외 현황 및 정책적 시사점 (조지혜 외)
  - 2012-08 도시 지하공간 조성에 따른 환경영향 관리 방향 연구 (김윤승)
  - 2012-09 폐기물 처리관련 업종의 여건변화가 여타 산업에 미치는 영향 분석  
(신상철)
  - 2012-10 미래 건강부담 추정치의 영향요인 고찰- 기후변화에 따른 폭염 증가를 중심으로 (하중식, 신용승)
  - 2012-11 셰일가스 국내 도입에 따른 에너지·환경 정책 수립을 위한 기초연구  
(주현수, 조한나)

※ KEI 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지([www.kei.re.kr](http://www.kei.re.kr))에서 보실 수 있습니다.