

융합연구리뷰

Convergence Research Review

이동규 (동아대학교 기업재난관리학과 부교수)
재난발생 위험지역 설정 및 위험지역 주민에 대한 사전 고지방법

김찬수 (한국과학기술연구원 연구원)
재난 시뮬레이션: 위험도 분석을 기초로 한 시뮬레이션 및
머신러닝 방법론의 소개

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 재난발생 위험지역 설정 및 위험지역
주민에 대한 사전 고지방법:
한국·미국·일본·영국·독일 사례를 중심으로
- 39 재난 시뮬레이션: 위험도 분석을 기초로 한
시뮬레이션 및 머신러닝 방법론의 소개



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2019 October vol.5 no.10

발행일 2019년 10월 7일

발행인 김주선

편집인 최수영·권영만

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4980 | <http://crpc.kist.re.kr>



재난발생 위험지역 설정 및 위험지역 주민에 대한 사전 고지방법: 한국·미국·일본·영국·독일 사례를 중심으로

기후환경, 토지이용·개발 등과 같이 주변 환경의 변화로 인해 우리는 지속적으로 재난 위험에 노출되어있다. 지난 수십 년간 태풍 및 호우로 인한 홍수, 산사태 등과 같은 자연재해는 물론, 저수지·댐·신축건물 건설로 인한 인재(人災)가 세계 각지에서 발생하였다. 이러한 재난을 방지하기 위해 국내에서는 재난으로 인하여 사람의 생명·신체 및 재산에 대한 피해가 예상되는 지역에 대해서는 시·군·구 재난 예보·경보체계 구축 종합계획을 5년 단위로 수립하여 시·도지사에게 제출하여야 하는 등 대비책을 마련하고 있다.

이에, 본 호 1부에서는 한국, 미국, 일본, 영국, 독일 사례를 중심으로 한 재난발생 위험지역 설정 및 위험지역 주민에 대한 사전 고지방법에 대해 살펴보고자 한다. 국내에서는 ‘자연재해대책법’, ‘재난 및 안전관리 기본법’을 기반으로 재난 발생 위험지역을 선정하고 재해지도의 작성 등과 같은 대비를 하고 있다. 미국, 일본, 영국, 독일 또한 국내와 같이 여러 법안을 기반으로 재해지도 작성 및 사전고지를 통해 주민들의 안전한 생활을 보장하려고 하고 있음을 알 수 있다.

본 호 1부에서는 재난발생 위험지역 설정과 해당 지역주민에 대한 사전 고지방법을 알아보았으며, 점차 복잡해지고 규모화되는 재난 대비 방법에 대해 알아보았다. 앞으로 기술의 발전에 따라 재난발생 위험지역 설정과 대비 방안의 고도화 및 재난에서 비롯되는 각종 피해의 최소화를 기대해 본다.

재난 시뮬레이션: 위험도 분석을 기초로 한 시뮬레이션 및 머신러닝 방법론의 소개

재난의 정의는 세계 각지에서 여러 의미로 구분하고 있다. 국제적십자에서는 특정한 재난(D)은 그 위험요소(H)와 취약성(V)을 합한 값을 사회의 처리능력(C)으로 나눈 수식으로 정의한다. 재난이 발생하지 않은 “정상상태”에서 재난을 방지(prevent)하고 준비(prepare)하며, 방지라는 측면에서 그에 대한 예측(predict)도 반드시 필요하다. 하지만, 대응 비용과 시간 측면을 고려하면 ‘모든’ 재난에 대해 대응하기는 어려움에 따라 재난의 중요도에 따라 최적의 대비책을 마련할 필요가 있다.

이에, 본 호 2부에서는 각기 다른 성격의 재난을 하나의 기준으로 묶을 수 있는 방법으로 경제학에서의 효용함수와 같이 여러 가지 차원의 입력 변수들을 가지고 여러 종류의 재난의 대응 순서를 결정하는 방법에 대해 알아보았다. 통계적 방법을 사용하여 상황의 위험을 정량화하는 통계적 위험, 베이지안(Bayesian) 접근, 머신러닝 방법론 등을 통해 재난대책의 기본인 ‘피해의 최소화’를 달성할 수 있는 여러 방법론에 대해 알아보았다.

본 호 2부를 통해 재난의 계량화 및 위험도 계산을 기반으로 자연재해뿐만 아니라 금융사고 혹은 정치 변동 등 사회적 재난에 대한 대응도 앞으로는 수월해지기를 바라며, 인공지능과 머신러닝 등의 새로운 방법론을 통해 이전에는 없던 재난 대응책이 마련되기를 기대해 본다.

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2019 October vol.5 no.10



01

재난발생 위험지역 설정 및 위험지역 주민에 대한 사전 고지방법 : 한국·미국·일본·영국·독일 사례를 중심으로*

이동규(동아대학교 기업재난관리학과 교수)

2018년 감사원에 제출한 보고서를 근거로 축약 및 일부 내용을 수정한 것이며, 주요 국가별 법·제도를 근거로 작성함.

I 한국의 위험지역 설정 및 주민에 대한 사전고지 방법 사례

우리나라는 상습침수지역, 산사태 위험지역 등 지형적인 여건 등으로 인하여 재해가 발생할 우려가 있는 지역(자연재해대책법 제12조 제1항) 등 재난으로 인하여 사람의 생명·신체 및 재산에 대한 피해가 예상되는 지역¹⁾에 대해서는 시·군·구 재난 예보·경보체계 구축 종합계획을 5년 단위로 수립하여 시·도지사에게 제출하여야 한다. 시·도지사는 이를 바탕으로 시·도 재난 예보·경보체계 구축 종합계획을 수립하도록 하고 있다(재난 및 안전관리 기본법 제38조의2 제7항, 제8항). 나아가 이러한 종합계획들에 대한 사업시행계획을 매년 수립하여 행정안전부 장관에게 제출하여야 한다(같은 조 제10항). 또한, 관계 중앙행정기관의 장 및 지방자치단체의 장은 하천 범람 등 자연재해를 경감하고 신속한 주민 대피 등의 조치를 위하여 재해지도²⁾를 작성하여야 한다. 이러한 재해지도는 침수흔적도, 침수예상도, 재해정보지도 등으로 구분된다(자연재해대책법 제21조 제1항, 같은 법 시행령 제18조).

1. 재난 발생 위험지역 선정

자연재해대책법에서는 ‘자연재해위험개선지역’에 대하여 규정하고 있다. 자연재해위험개선지역은 지형적인 여건 등으로 인하여 재해가 발생할 우려가 있는 지역을 체계적으로 정비관리하여 자연재해를 사전에 예방하거나 재해를 경감시키기 위하여 지정되는 것으로, 시장·군수·구청장이 지정하고 있다(자연재해대책법 제12조 제1항).²⁾ 이러한 자연재해위험개선지구는 침수위험지구, 유실위험지구, 고립위험지구, 취약방재시설지구, 붕괴위험지구, 해일위험지구의 6개 유형으로 구분된다. 이 중에서 침수위험지구·유실위험지구·고립위험지구·취약방재시설지구는 호우위험지구와, 붕괴위험지구는 산사태·토석류 발생 우려 지역과 관련되는 것으로 판단된다.

1) 재난 및 안전관리기본법 제41조에 의한 위험구역이 여기에 해당된다.

2) 자연재해위험개선지구로 지정하고자 할 경우에는 지구지정의 적정성·타당성, 사업계획의 적정성에 대해 관계전문가의 의견을 제출받아 이를 종합적으로 검토한 후 지정 여부를 판단하여야 한다(행정안전부(2017B), 3면).

각 자연재해위험개선지구의 지정기준은 다음과 같다.

- 침수위험지구: 하천의 외수범람 및 내수배제 불량으로 인하여 인명 및 건축물농경지 등의 피해를 유발하였거나 침수피해가 예상되는 지역
- 유실위험지구: 하천을 횡단하는 교량 및 암거 구조물의 여유고 및 경간장 등이 하천기준계획의 시설기준에 미달되고 우수소통에 장애를 주어 해당 시설물 또는 시설물 주변 저택농경지 등에 피해가 발생하였거나 피해가 예상되는 지역
- 고립위험지구:
 - 집중호우 및 대설로 인하여 교통이 두절되어 지역주민의 생활에 고통을 주는 지역, 단 우회도로가 있는 경우와 섬 지역은 제외
 - 집중호우 및 대설로 인하여 교통두절이 발생되었거나 우려되는 재해위험도로 구역
- 취약방재시설지구:
 - 저수지·댐의 안전관리 및 재해 예방에 관한 법률에 따라 지정된 재해위험 저수지·댐
 - 기존에 설치된 하천의 제방고가 하천기본계획의 계획홍수위보다 낮아 원류되거나 파이핑 현상으로 붕괴위험이 있는 취약구간의 제방
 - 배수문, 유류지, 저류지 등 방재시설물이 노후화되어 재해 발생이 우려되는 시설물
 - 풍수해저감종합계획에 따라 침수, 붕괴, 고립 등 복합적인 위험요인으로 인해 종합적인 정비가 필요한 지역 내 시설물
- 붕괴위험지구: 산사태, 절개사면 붕괴, 낙석 등으로 건축물이나 인명피해가 발생한 지역 또는 우려되는 지역으로 다음에 해당하는 지역
 - 주택지 인접 절개사면에 설치된 석축, 옹벽 등의 구조물이 노후되어 붕괴피해가 발생할 경우 인명 및 건축물 피해가 예상되는 지역
 - 자연적으로 형성된 급경사지로 풍화작용, 지하수 용출, 배수시설 미비 등으로 산사태 및 토사유출 피해가 발생할 경우 인명 및 건축물 피해가 예상되는 지역

- 산악지역에서 발생하는 단순한 산사태 위험지역 등과 같이 붕괴 시에 인명피해 또는 직접적인 재산피해를 유발하지 않는 지역은 붕괴위험지구 지정대상에서 제외

자연재해위험개선지구는 다음의 [표 1]과 같이 4단계로 등급이 분류된다.³⁾

표 1 자연재해위험개선지구의 등급

등급별	지정기준
가	• 재해 발생 시 인명피해 발생 우려가 매우 높은 지역
나	• 재해 발생 시 건축물(주택, 상가, 공공건축물)의 피해가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 지역
다	• 재해 발생 시 기반시설(공업단지, 철도, 기간도로)의 피해가 발생할 우려가 있는 지역 • 농경지 침수 발생 및 우려 지역
라	• 붕괴 및 침수 등의 우려는 낮으나, 기후변화에 대비하여 지속적으로 관심을 갖고 관리할 필요성이 있는 지역

자연재해대책법 제12조에 따라 시장군수구청장이 자연재해위험개선지구로 지정하는 때에는 지구의 명칭, 위치, 유형, 등급, 면적, 지정사유, 지구경계를 알 수 있는 도면을 첨부 및 고시하여 주민들에게 알리도록 하고 있다. 고시방법은 공보 및 기초지방자치단체의 게시판에 게재하는 것을 원칙으로 하고 있다.⁴⁾

2. 재해지도의 작성

자연재해대책법 제21조에서는 중앙행정기관의 장 및 지방자치단체의 장으로 하여금 재해지도를 작성하도록 하고 있다. 이를 위하여 행정안전부는 재해지도 작성 기준 등에 관한 지침(행정안전부 고시 제2017-1호)을 규정하고 있다.⁵⁾ 재해지도는 ① 태풍, 호우, 해일 등으로 인한 침수흔적을 조사하여 표시한 침수흔적도, ② 현 지형을 기준으로 예상 강우 및 태풍, 호우, 해일 등에 의한 침수범위를 예측하여 표시한 홍수범람위험도해안침수 예상도, ③ 침수흔적도와 침수예상도 등을 바탕으로 재해 발생 시 대피요령, 대피소 및 대피경로 등의 정보를 표시한 피난활용형 재해정보지도·방재정보형 재해정보지도·방재교육형 재해정보지도로 구분된다.

3) 행정안전부(2017B), 6면.

4) 행정안전부(2017B), 6면.

5) 다만 이 지침은 풍수해의 내용 중 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 조수 등에 의해서 발생하는 외수범람, 내수침수, 해안홍수 등을 중심으로 작성하도록 하고 있어 산사태·토석류 발생우려지역을 직접적으로 밝히고 있지는 않다. 행정안전부(2017C), 1면.

이 중에서 호우위험지구의 설정과 관계되는 것은 홍수범람위험도로, 홍수에 의한 범람 및 내수배제(內水排除) 불량 등에 의한 침수지역을 예측하여 표시한 지도와 수자원의 조사계획 및 관리에 관한 법률 제7조 제1항 및 제5항에 따른 홍수위험지도를 의미한다(자연재해대책법 시행령 제18조 참조). 이러한 홍수범람위험도는 홍수범람예상도라고도 하며, 태풍, 호우 등 홍수로 인한 내륙지역의 하천 범람 위험성에 대해서 정량적인 분석 등을 통하여 침수예상지역, 피해범위, 예상 침수심 등을 분석하여 연속지적도 및 수치지형도 등에 표시하는 방식으로 작성된다.⁶⁾

홍수범람예상도는 과거의 침수흔적과 홍수범람해석을 통하여 침수가 예상되는 지역을 미리 예측한 지도로서 방재대책 수립 및 재해정보지도 작성을 위한 기본 자료로 활용하는 데에 그 목적이 있다. 홍수범람예상도를 작성할 때에는 홍수범람예상을 위하여 하천의 계획규모를 초과하는 강우사상, 제방의 범람 및 붕괴 등 제반 침수예상 시나리오를 상정하여 수리문학적 분석을 통해 범람해석을 실시한다.⁷⁾

재해지도는 관할구역의 방재 책임자인 시장군수구청장이 제작·보급·활용하는 것을 원칙으로 한다. 시도지사는 광역차원에서 재해지도를 작성하여야 한다. 그러나 홍수범람예상도는 국토교통부장관이 제작하는 것이 원칙이며, 지방자치단체의 장은 홍수범람위험도를 침수예상도로 활용할 수 있으며 필요한 경우 이를 보완하거나 신규로 제작할 수 있다.⁸⁾

3. 산사태와 관련된 위험지구 지정

재난발생 위험지역은 자연재난에 대한 일반적인 취약지구들을 규정하고 있다. 여기에서 붕괴위험지구는 산사태에 관련되어 있다. 그러나 우리나라에서는 산사태에 대하여 재난발생 위험지역과는 별도로 산사태취약지역과 붕괴위험지역을 지정하도록 하고 있다.

① 산사태취약지역

산림보호법은 지역산사태예방기관(지방자치단체, 지방산림청, 국유림관리소)의 장으로 하여금 산사태발생의 우려가 있는 지역에 산사태로부터 국민의 생명과 재산 및 산림자원을 보호하기 위하여 산사태취약지역을

6) 행정안전부(2017C), 3면.

7) 그 구체적인 절차는 ① 자료수집 및 현장조사 → ② 조사측량(필요시) → ③ 수피표고자료 구축 → ④ 홍수범람 시나리오 작성 → ⑤ 수문수리분석 → ⑥ 격지방 구성 및 계산조건 설정 → ⑦ 범람해석 → ⑧ 계산결과 검증 → ⑨ 각종 시설의 위치 및 정보전달계통의 정리 → ⑩ 홍수범람예상지도의 작성의 순서이다. 행정안전부(2017C), 18면.

8) 행정안전부(2017C), 5면.

지정하도록 하고 있다(같은 법 제45조의8). 이러한 산사태는 (좁은 의미의) 산사태와 토석류로 구분된다. 산사태는 자연적 또는 인위적 원인으로 산지가 일시에 붕괴되는 것(사방사업법 제2조 제5호)을 의미한다. 토석류는 산지 또는 계곡에서 토석나무 등이 물과 섞여 빠른 속도로 유출되는 것(같은 조 제6호)을 의미한다.

산사태취약지역 지정을 위한 조사는 ① 산림청장이 산사태 발생 우려 지역의 위치·규모 및 유형별 분류를 실시하는 기초조사와 ② 지역산사태예방기관의 장이 산사태 발생 우려지역의 토석유출붕괴침식의 정도, 토사·산림 현황 등 산사태 발생 원인요소별 특성과 같은 사항들을 판단하는 실태조사로 구분된다.⁹⁾ (좁은 의미의) 산사태 위험도 실태조사에서는 보호 대상경사길이·경사위치(위험사면의 위치)·임상·사면형·토삼·경사도 등을, 토석류 위험도 실태조사에서는 보호 대상·황폐원·전석분포율·계류 길이·계류 경사 등의 사항을 조사하여 이러한 결과를 바탕으로 산사태취약지역으로 지정하게 된다.¹⁰⁾

지역산사태예방기관의 장은 산사태취약지정위원회의 심의 및 의견수렴절차를 거쳐 산사태취약지역을 지정할 수 있다(산림보호법 제45조의8 제1항). 어떠한 지역이 산사태취약지역으로 지정되는 경우, 지역산사태예방기관의 장은 토지의 소유자와 관계인 및 관할 기초지방자치단체의 장에게 고지하고 산사태취약지역에 위험을 알리는 표지를 설치하여야 한다(산림보호법 제48조의5 제6항 및 제9항).

또한, 지정사유·일시·대상지의 지번과 면적 등을 고시하고 관련 도면을 작성·보관·비치하여 이해관계들이 이를 열람할 수 있도록 하여야 한다(산림보호법 시행규칙 제37조의3 제5항). 나아가 산사태취약지역을 지정할 경우에는 이를 산림청장과 관할 광역지방자치단체 장에게 보고하여야 한다(산림보호법 제48조의5 제8항).

② 붕괴위험지역

산사태취약지역은 급경사지 재해예방에 관한 법률에 의한 급경사지 및 붕괴위험지역에 대해서는 적용되지 아니한다. 급경사지 재해예방에 관한 법률에서는 자연재해대책법 및 산림보호법과는 별개로 급경사지의 붕괴에 대한 사항을 규율하고 있다. 급경사지란 택자도로·철도 및 공원시설에 부속된 자연 비탈면, 인공 비탈면(옹벽 및 축대 등을 포함한다) 또는 이와 인접한 산지로서, ① 지면으로부터 높이가 5m 이상이고, 경사도가 34도 이상이며, 길이가 20m 이상인 인공 비탈면, ② 지면으로부터 높이가 50m 이상이고, 경사도가 34도 이상인 자연 비탈면, ③ 그 밖에 관리기관이나 기초지방자치단체장(시장·군수·구청장)이 재해 예방을 위하여 관리가 필요하다고 인정하는 인공 비탈면, 자연 비탈면 또는 산지를 의미한다(급경사지 재해예방에 관한 법률 제2조 제1호 및 같은 법 시행령

9) 산림청(2015), 2면.

10) 산림청(2015), 3면.

제2조). 따라서 산사태와 관련하여서는 앞서의 자연재해대책법 상의 자연재해위험개선지역 및 산림보호법 상의 산사태취약지역과 함께 급경사지 재해예방에 관한 법률에 의한 붕괴위험지역을 살펴볼 필요가 있다.

급경사지 재해예방에 관한 법률에서는 기초지방자치단체장은 소관 급경사지에 대하여 같은 법 제5조에 따른 안전점검을 실시하여 붕괴위험지역으로 지정할 필요가 있는 경우에는 재해위험도평가와 주민 의견 수렴절차를 거쳐 그 지역을 붕괴위험지역으로 지정·고시할 수 있도록 하고 있다(같은 법 제6조 제1항 및 제2항).

이러한 위험도 평가는 급경사지를 자연 비탈면·인공 비탈면·옹벽 및 축대로 구분하여 각각에 대하여 경사각·높아지하수 상태 등을 바탕으로 위험도를 평가하도록 하고 있으며(행정안전부 고시(제2018-8호), 급경사지 재해위험도 평가 기준 제5조 참조), 그 위험도에 따라 다음 [표 2]와 같이 5개의 등급으로 나누고 있다.

표 2 급경사지의 위험도 등급별 내용¹⁾

등급	내용
A	재해위험성이 없으나 예상치 못한 붕괴가 발생하더라도 피해가 미비함
B	재해위험성이 없으나 주기적인 관리 필요
C	재해위험성이 있어 지속적인 점검과 필요 시 정비계획 수립 필요
D	재해위험성이 높아 정비계획 수립 필요
E	재해위험성이 매우 높아 정비계획 수립 필요

급경사지에 대한 재해위험도 평가 결과, D·E 등급에 대해서는 붕괴위험지역으로 지정·고시하여 관리하도록 하고 있다. 다만 D·E 등급이 아니더라도 해당 급경사지의 지역 여건 등에 따라 붕괴 시 인명피해가 우려되어 지속적인 안전점검 등이 필요한 지역은 붕괴위험지역으로 지정·고시하여 관리하도록 하고 있다(급경사지 재해위험도 평가기준 제3조 제2항).

또한, 붕괴위험지역을 지정할 필요가 있다고 인정되는 경우에는 주민의 의견을 수렴하여야 한다(급경사지 재해예방에 관한 법률 제6조 제3항 및 같은 법 시행령 제3조 제2항). 붕괴위험지역을 지정한 기초지방자치단체의 장은 ① 위치, ② 현황, ③ 관리기관, ④ 지정 사유, ⑤ 지정 또는 변경 일자의 사항을 고시하고 붕괴위험지역의 지형도면(축적 5,000분의 1 이상)을 열람할 수 있도록 비치하도록 하여 이를 해당 주민들에게 알리도록 하고 있다(같은 법 시행규칙 제2조 제2항).

1) 행정안전부 고시(제2018-8호), 급경사지 재해위험도 평가기준.

4. 재난정보(홍수경보, 산사태 경보 등)를 활용한 대피 준비 등 사례

재난방송 및 민방위경보방송의 실시에 관한 기준에서는 ① 자연재해대책법 제2조에서 규정한 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우, ② 재난 및 안전관리 기본법 제3조에서 규정한 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우, ③ 민방위기본법 제2조에 따른 민방위사태가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 재난방송 등을 실시하도록 하고 있으나 그에 대한 구체적인 기준을 제시하고 있지는 않다(같은 기준 제3조 제1항).

1) 호우경보

우리나라 기상청의 기상특보 발표기준에 의하는 경우, 호우의 경우에는 ① 3시간 이상 강우량이 60mm 이상 예상되거나 12시간 강우량이 110mm 이상 예상되는 경우에는 호우주의보를, ② 3시간 이상 강우량이 90mm 이상 예상되거나 12시간 강우량이 180mm 이상 예상되는 경우에는 호우경보를 발표하도록 하고 있다. 또한, 태풍의 경우에는 ① 태풍으로 인하여 강풍·풍랑·호우·현상·폭풍해일 현상 등이 주의보 기준에 도달할 것으로 예상되는 때에는 태풍주의보를, ② 태풍으로 인하여 강풍(또는 풍랑) 경보 기준에 도달할 것으로 예상되거나, 총 강우량이 200mm 이상 예상되거나, 폭풍해일 경보 기준에 도달할 것으로 예상되는 경우에는 태풍경보를 발하도록 하고 있다.¹²⁾

표 3 홍수해 등에 대한 위기경보 수준¹³⁾

구분	판단기준
관심(Blue)	<ul style="list-style-type: none"> 태풍/호우/해일/대설 빈발 시기 우리나라에 영향을 끼칠 가능성이 있는 태풍의 발생
주의(Yellow)	<ul style="list-style-type: none"> 태풍/호우/해일/대설 예비특보 또는 태풍/호우/해일/대설주의보가 발령되고 이에 의한 대규모 재난이 발생할 가능성이 나타날 때
경계(Orange)	<ul style="list-style-type: none"> 태풍/호우/해일/대설경보가 발령되고 이에 의한 대규모 재난이 발생할 가능성이 농후할 때
심각(Red)	<ul style="list-style-type: none"> 태풍/호우/해일/대설경보가 발령되고 이에 의한 대규모 재난이 발생하였거나 발생할 가능성이 확실할 때

12) 기상청(<http://www.weather.go.kr/weather/warning/standard.jsp>)

13) 환경부(2017), 8면 참조.

지역산사태예방기관의 장은 산사태예측정보 또는 산사태위기경보 등을 고려하여 해당 지역주민이나 산사태 발생 우려지역에 있는 자에게 재난 및 안전관리기본법에 따른 대피명령, 강제대피 및 통행제한 등의 적절한 피해예방조치를 취할 수 있다(산림보호법 제45조의6 제3항).

II 미국의 위험지역 설정 및 주민에 대한 사전고지방법 사례

1. 홍수위험지도(Flood Hazard Map)와 홍수위험지역(Flood Zone)의 이해

미국 연방정부의 홍수관리는 국가홍수보험사업(NFIP)을 중심으로 이루어지고 있다. 국가홍수보험사업은 1968년 국가홍수법의 제정으로 설립되었다. 주정부 및 지방자치단체가 홍수발생위험지역을 관리하고, 주와 지역사회 홍수관련 법규를 제정함으로써 미래 홍수손실을 감소시키는 것을 목적으로 하며, 주로 홍수피해가 발생하기 전에 위험요소경감을 강조한다. 또한, 지역사회에 미치는 홍수의 영향을 최소화하는데 필요한 사업 및 활동을 정렬하여 연결망을 구성하는 데 중점을 두고 있다. 기술자들과 감독관들은 연구·조사를 통하여 위험을 규명하고 지역을 측정하며, 이런 결과를 가지고 홍수위험지도(Flood Hazard Map)를 작성하여 각 지역의 위험요소경감사업에서 사용하고 있다.

홍수위험지역은 연방재난관리청이 다양한 홍수 위험의 정도를 바탕으로 작성한 것이다. 이들은 지역사회의 홍수위험경제지도(FHBM 또는 FIRM)에 표시되며 또한 디지털화하여 제공되고 있다.¹⁶⁾

연방재난관리청이 분류하고 있는 홍수위험지역(Flood Zone)은 다음과 같다.¹⁷⁾

16) Texas Floodplain Management(2015), p. 12.

17) <https://snmapmod.snco.us/fmm/document/fema-flood-zone-definitions.pdf> 참조.

표 5 중저 위험지역

지역	개요
B, X (표시되는)	<ul style="list-style-type: none"> • 약 100년에서 500년 빈도로 홍수가 발생할 중간 정도의 위험이 있는 지역을 의미. B 지역은 제방에 의하여 100년 빈도의 홍수로부터 보호되는 지역 또는 침수의 범위가 1평방마일 미만이거나 침수 수위가 평균 1피트 미만인 얇은 홍수 지역과 같이 위험이 낮은 기준범람원을 나타냄
C, X (표시되지 않는)	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수가 발생할 위험이 최소한인 지역으로 홍수보험료율지도에서 500년 빈도 이상으로 홍수가 발생할 수 있는 지역으로 표시. C 지역은 연못이 있고 배수에 문제가 있지만 기준범람원으로 지정될 필요는 없는 지역으로 X 지역은 500년 빈도 이상으로 홍수가 발생할 위험이 있으며 제방에 의하여 100년 빈도의 홍수로부터 보호되는 지역

표 6 고위험지역

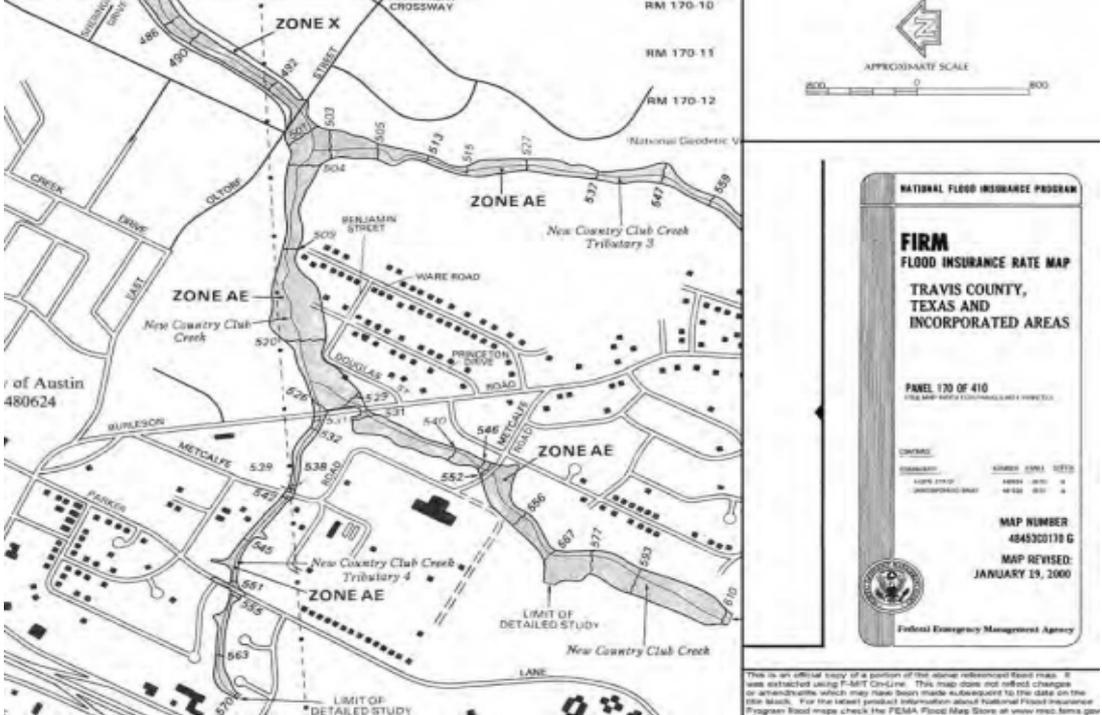
지역	개요
A	<ul style="list-style-type: none"> • 연간 1%의 홍수발생가능성이 있으며, 30년 동안에는 26%의 홍수발생가능성이 있는 지역. 이러한 지역에 대해서는 상세한 분석이 이루어지지 않으므로 기준홍수위를 표시하지 않음
AE	<ul style="list-style-type: none"> • 기준홍수위가 제공되는 기준범람원으로, AE 지역은 현재 홍수보험료율지도에서 과거의 A1-A30 지역을 대신하여 새로이 사용
A1-30	<ul style="list-style-type: none"> • 이들은 A 지역에 대하여 번호를 부가하여 표시(예: A7 또는 A14). 이는 과거에 홍수보험료율지도에서 기준범람원을 표시하기 위해 사용
AH	<ul style="list-style-type: none"> • 수위가 1~3피트 가량인 얇은 홍수가 연간 1%의 확률로 발생하는 지역을 의미. 이들 지역에서는 30년 동안 약 26%의 확률로 홍수가 발생한다. 일정 간격을 두고 상세한 분석을 통하여 기준홍수위 제공
AO	<ul style="list-style-type: none"> • 하천 등의 범람위험이 있는 지역으로서, 연간 1% 이상의 얇은 홍수가 발생할 가능성이 있으며, 이러한 얇은 홍수는 대부분 지표류의 형태로 수위는 1~3피트 가량임. 이들 지역에서는 30년 동안 약 26%의 확률로 홍수가 발생하며, 일정 간격을 두고 상세한 분석을 통하여 기준홍수위를 제공
AR	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물 또는 홍수제어체계(제방 또는 댐)의 복구 등을 이유로 일시적으로 홍수의 위험이 증가하는 지역을 의미
A99	<ul style="list-style-type: none"> • 연간 1%의 확률로 홍수가 발생할 가능성이 있으나 특정한 법적 요건을 갖추어 연방홍수제어체계에 의한 보호를 받는 지역을 의미하며, 이러한 지역에 대한 기준홍수위는 제공되지 않음

표 7 고위험-해안지역

지역	개요
V	<ul style="list-style-type: none"> • 연간 1% 이상 홍수가 발생할 가능성이 있으며, 폭풍으로 인한 파도로 추가적인 위험이 발생할 수 있는 해안지역을 의미. 이들 지역에서는 30년 동안 약 26%의 확률로 홍수가 발생하며, 이러한 지역에 대한 기준홍수위는 제공되지 않음
VE, V1-30	<ul style="list-style-type: none"> • 연간 1% 이상 홍수가 발생할 가능성이 있으며, 폭풍으로 인한 파도로 추가적인 위험이 발생할 수 있는 해안지역을 의미. 이들 지역에서는 30년 동안 약 26%의 확률로 홍수가 발생하며, 일정 간격을 두고 상세한 분석을 통하여 기준홍수위를 제공

표 8 미판정지역	
지역	개요
D	• 홍수의 발생가능성은 있으나, 그것이 판정되지 않은 지역을 의미한다. 홍수위험에 대한 분석이 이루어지지 않은 지역

그림 1. 미국의 홍수위험지도의 예시¹⁸⁾



2. 구체적인 홍수위험지역의 판단

연방보험감독관은 범람원규제의 근거가 되는 자료를 제출할 책임이 있다. 만일 연방보험감독관이 특정한 지역사회에 대한 규제의 근거가 되는 충분한 자료를 제출하지 않은 경우에는 해당 지역사회는 다른 연방·주 또는 그 밖의 기관에서 제출한 자료를 바탕으로 연방보험감독관이 제출한 자료를 검토하고 변경을 할

18) Texas Floodplain Management(2015), p. 15.

수 있다. 모든 경우에 홍수범람의 위험이 있는 지역에 대한 적절한 범람원관리를 위한 규제의 최소한의 요건은 연방보험감독관이 해당 지역사회에 공식적으로 제출한 기술적 자료에 근거하여 이루어진다(홍수범람의 위험이 있는 지역에 대한 범람원 관리기준, 40 CFR 60.3 참조).

실제로 어떠한 지역개발사업이 실시되려 하는 경우, 그 사업이 홍수위험지역 내에서 이루어지는지에 대해서는 구체적인 판단이 필요하게 된다. 특히 연방의 재정지원을 통하여 이루어지는 개발의 경우, 주관 기관은 최소한 다음의 4가지 방식 중의 하나를 이용하여 해당 개발사업 지역의 홍수의 깊이와 범람원의 넓이를 파악하여야 한다.

- ① 기후정보를 바탕으로 하는 과학적 분석(CISA)-기상학을 기초로 하여 현재의 홍수와 장래의 홍수와 변화를 통합하는 적용 가능한 최선의 수문학적, 수력학적 자료를 이용한다.
- ② 여유고 수치분석(FVA)-여유고를 산정하기 위하여 기준홍수위(또는 연간 1% 확률의 홍수)와 추가적인 수위를 합산한다. 추가적인 수위는 해당 개발이 현저한 영향을 미치는 것¹⁹⁾인지에 따라 결정된다.
- ③ 연간 0.2% 확률을 바탕으로 하는 분석(0.2 PFA)-연간 0.2%의 확률로 발생하는 홍수위를 기준으로 사용한다.
- ④ 연방홍수위험관리규정(FFRMS)의 개정에 따라 채택되는 그 밖의 방법²⁰⁾

기관들은 가장 최선의 자료와 정보를 활용할 수 있는 방식을 채택하여야 하며, 과학적 분석을 가능하게 하는 자료가 있는 경우에는 기후정보를 바탕으로 하는 과학적 분석을 하여야 한다. 어떠한 방식을 취하는 경우에도 현저한 영향을 미치는 개발과 현저한 영향을 미치지 않는 개발, 그리고 하천의 범람에 취약한 지역과 해수의 범람에 취약한 지역은 서로 구분된다.²¹⁾

3. 재난정보(홍수경보, 산사태경보 등)를 활용한 대피준비 등 사례

재난이 발생하고 주민들에 대한 경보의 발령이 필요하게 되는 경우에 이를 전파하는 것은 궁극적으로 지역적 판단에 의하여 이루어져야 하므로, 통합 공공경보 및 경고체계(IPAWS)에서는 경보전파의 기준을 다음과 같이 설정하고 있다.

19) 이는 사소하더라도 그 여파가 매우 큰 것을 의미한다고 할 것이며, FEMA(2015A), 38 ~ 39에서는 이에 대한 상세한 판단기준을 제시하고 있다.

예를 들어 '지역적인 홍수로 인한 피해 또는 장애가 그 일대에 또는 국가 전체에 대규모의 재난을 야기하는 경우' 등이다.

20) 각 방식에 대한 상세는 FEMA(2015A), pp. 50 ~ 57에 정리되어 있다.

21) FEMA(2015A), p. 49.

- 주민들의 즉각적인 조치가 필요한 재난상황인가?
- 생명 또는 재산에 대한 중대한 위협을 내포하고 있는 재난상황인가?
- 재난이 발생할 가능성이 매우 높은가?
- 다른 경보전파수단이 급박한 정보를 신속하게 전달할 수 있는가?²²⁾

미국에서는 홍수를 비롯한 각종 자연재난의 경우는 기상에 기인하는 경우가 대부분이므로 기상에 대한 경보는 원칙적으로 국립기상국(NWS)에서 발령하도록 하고 있다. 이에 따라 국립기상국에서는 겨울철 기상·화재관련 기상·안개/강풍 등의 악천후·해상의 기상·홍수·고온·열대기상으로 구분하여 각 경보 및 경고를 발하고 있다. 예를 들어 홍수에 대해서는 해안가 범람·돌발홍수·홍수·하천범람에 대하여 경보 및 경고 등²³⁾에 대한 기준을 두고 있으며, 이들의 내용은 다음의 [표 9]와 같다.

표 9 홍수관련 경보 등의 기준²⁴⁾

유형	내용
해안범람경고	• 중간 또는 강한 정도의 해안 범람이 예상되는 경우에 발령. 이는 생명 및 재산에 대하여 심각한 피해를 야기할 위험 존재
해안범람주의보	• 약한 정도 또는 소규모의 해안 범람이 발생하거나 곧 발생할 경우 발령
해안범람경보	• 중간 또는 강한 정도의 해안범람이 발생하거나 곧 발생할 경우 발령. 이는 생명 및 재산에 대하여 심각한 피해를 야기할 위험 존재
돌발홍수경고	• 돌발홍수가 발생하기 쉬운 상황에서 발령. 이는 돌발홍수가 발생할 것을 의미하지는 않지만 발생의 가능성이 있음을 의미
돌발홍수경보	• 돌발홍수가 발생하였거나 곧 발생할 경우에 발령
홍수경고	• 홍수가 발생하기 쉬운 상황에서 발령. 이는 홍수가 발생할 것을 의미하지는 않지만 발생의 가능성이 있음을 의미
홍수경보	• 홍수가 발생하였거나 곧 발생할 경우에 발령
하천범람경고	• 하천의 하나 또는 그 이상의 관측지점에서 하천범람의 발생가능성이 있는 경우에 발령
하천범람경보	• 하천의 하나 또는 그 이상의 관측지점에서 하천범람이 발생하였거나 곧 발생할 경우에 발령

22) FEMA(2015C), p. 14,

23) 이는 watch(경고), advisory(주의보), warning(경보)이다.

24) <https://www.weather.gov/lwx/WarningsDefined#Coastal%20Flood%20Watch>

III 일본의 위험지역 설정 및 주민에 대한 사전고지방법 사례

일본에서는 풍수해에 의한 피해를 경감하기 위하여 하천·댐 및 하수도의 정비와 같은 시설물측면의 대책과 위험지도의 작성 및 방재기상정보의 제공과 같은 운용측면의 대책을 일체적으로 추진하고 있다. 홍수나 산사태에 대한 운용측면의 대책으로는 수방법과 산사태재난 경계구역 등의 산사태재난 방지대책 추진에 관한 법(산사태재난 방지법)에 따라 침수예상구역, 산사태재난 경계구역에 대한 경고·대피체계를 정비하고 있다.²⁵⁾

2014년 8월에 히로시마현에서 발생한 산사태에 따라, 산사태재난방지법이 개정되면서 원활한 대피권고의 발령을 위하여 기초지방자치단체 및 주민들에게 산사태재난 경보제공의 의무화 등과 같은 대책의 강화가 이루어졌다.²⁶⁾ 나아가 “산사태재난 등 중대한 자연재해에 대한 주요 피해 방지대책”을 명확히 함과 동시에 행정기관과 주민이 일체가 된 종합적인 대책을 통해 피해를 최소화하고 신속한 복구를 위하여 “종합산사태재난 대책검토실무위원회”를 설치하였던 바 있다.²⁷⁾

또한 최근의 호우 증가세를 바탕으로 대규모 수해의 발생을 전제로 신속하고 확실한 대피·구호 등의 대책을 강화할 필요가 있음에 따라 일본의 중앙방재대책회의는 “수도권 대규모 수해대책 요강”을 제정하였다.²⁸⁾

1. 홍수침수 예상구역

홍수지도 또는 홍수침수 예상구역을 기준으로 홍수로 인한 대피권고 등의 대상 구역을 설정한다. 홍수예보하천·수위주지하천·수위주지하수도를 비롯한 기타의 하천 등의 범람에 대해서는 하천 관리자와 기상대 등의 조안을

25) 内閣府(平成27年), 26面.

26) 内閣府(平成27年), 27面.

27) 内閣府(平成27年), 26面.

28) 内閣府(平成27年), 26面.

토대로 각 하천의 특성에 맞추어 구역을 설정한다.²⁹⁾ 다만 홍수침수 예상구역은 각 지점에서 예상되는 최대 침수 깊이를 나타내는 것이므로 실제 대피권고 등을 발령함에 있어서는 하천의 상황이나 붕괴, 범람의 우려가 있는 지점 등의 제반 조건을 고려할 필요가 있으므로 하천을 관리하는 국토교통성·광역지방자치단체가 산정한 각각의 홍수 규모별·붕괴 지점에 따라 침수가 예상되는 구역을 미리 파악하여야 한다.³⁰⁾

2. 산사태 발생우려지역

산사태재난 방지법에 의한 “산사태재난 경계구역”, “산사태재난 특별경계구역”(광역지방자치단체가 지정) : 산사태재난 방지법에 의하여 거주자 등의 생명 또는 신체에 위해가 발생할 우려가 있다고 인정되는 구역이며, 다음과 같이 정의된다.

- 산사태경계구역 : 산사태재난이 발생한 경우에 거주자 등의 생명 또는 신체에 위해가 생길 수 있고, 경계대피체제를 특히 정비해야 할 구역
- 산사태특별경계구역 : 산사태재난 경계구역 중, 산사태재난이 발생한 경우에 건축물의 손괴를 통하여 거주자 등의 생명 또는 신체에 현저한 위해가 발생할 우려가 있으며, 일정한 개발행위 제한 및 건축물의 구조에 대한 규제가 필요한 구역³¹⁾

산사태재난 위험장소는, 광역지방자치단체가 조사하고 광역지방자치단체의 지역사무소(出先事務所), 지방자치단체에도 배포되고 있으며, 인터넷에서도 광역지방자치단체별로 확인할 수 있다.

위험장소의 판정 기준은 다음과 같다.

구분	기준
붕괴위험이 있는 급경사지의 피해예상구역	• 경사도 30도 이상, 높이 5m이상의 급경사지 중, 인가 및 공공시설에 피해를 미칠 우려가 있는 급경사지 및 그 근접지
토석류의 위험이 있는 계곡의 피해예상구역	• 계곡의 경사가 3도 이상(화산사방지역(火山砂防地域)에서는 2도 이상)으로, 토석류가 발생하는 경우에 인가 및 공공시설 등의 피해가 예상되는 구역
땅밀림의 우려가 있는 지역의 피해예상구역	• 공중사진판독과 재난기록의 조사, 현지 조사로 땅밀림이 발생할 수 있다고 판단된 구역 중 하천·도로·공공시설·인가 등에 피해를 줄 우려가 있는 구역 ³²⁾

29) 内閣府(平成29年B), 1面.
 30) 内閣府(平成29年B), 10面.
 31) 内閣府(平成29年B), 28面.
 32) 内閣府(平成29年B), 28面.

산사태재난 경계구역, 위험장소 등 이외의 장소에서도 산사태가 발생하는 경우가 있으므로 이들 구역 등의 인접 구역도 대피의 필요성을 확인할 필요가 있다.³³⁾ 또한 강우시에는 전조현상과 산사태가 발생한 지역의 주변구역에서도 대피의 필요성을 검토할 필요가 있다. 산사태재난방지법에 기초하여 지정된 “산사태재난 경계구역”은 산사태재난 경계구역별로 산사태에 관한 정보의 수집 및 전달, 예보 또는 경보 발령과 전달, 대피·구조 기타 경계·대피체제에 관한 사항을 지역방재 계획에 정하도록 하고 있고, 대피권고 등은 산사태재난 경계구역을 기본으로 이루어진다.³⁴⁾

3. 재난정보(홍수경보, 산사태경보 등)를 활용한 대피준비 등 사례

재난이 발생하거나 그 가능성이 있는 경우, 주민들은 스스로 대피하기도 하지만 기초지방자치단체 장에 의하여 대피권고 또는 대피지시가 발령되기도 한다. 기초지방자치단체에서는 재난이 발생하는 경우에 어떠한 상황에서 어떠한 대상지역의 주민들에게 대피권고 등을 발령해야 할 것인가에 대한 판단기준에 관한 지침을 미리 정비하는 것이 효과적이다.³⁵⁾ 이에 따라 2017년 1월에 개정된 피난권고 등에 관한 가이드라인은 기초지방자치단체의 장으로 하여금 재난 발생에 따른 대피권고 등을 발령함에 있어서 고려할 사항들에 대한 지침을 규정하고 있다.

이러한 지침에 따르면, 태풍에 따른 호우 발생 등과 같이 사전에 예측이 가능한 재난 발생의 위험성이 증가한 경우에는 재난의 위험이 소멸될 때까지, 대피권고 등이 발령된 이후의 상황변화에 대한 예측, 발령 시 대상자가 취할 대피행동 등에 관하여 변화하는 상황을 거주자 및 시설관리자 등에게 알기 쉬운 말로 반복적으로 전달하는 것이 바람직하다.

특히 다음의 사항들을 유의하여야 한다.

- 기상경보 등을 비롯하여, 산사태재난 경계정보, 지정하천홍수예보, 산사태재난 구역정보³⁶⁾ 등의 방재 기상정보 등을 수집하고, 그 시점에서의 상황과 대피권고 등의 발령의 가능성 등을 거주자 및 시설 관리자 등에게 가능한 일찍부터 확실한 정보를 제공하는 것

33) 内閣府(平成29年B), 28面.

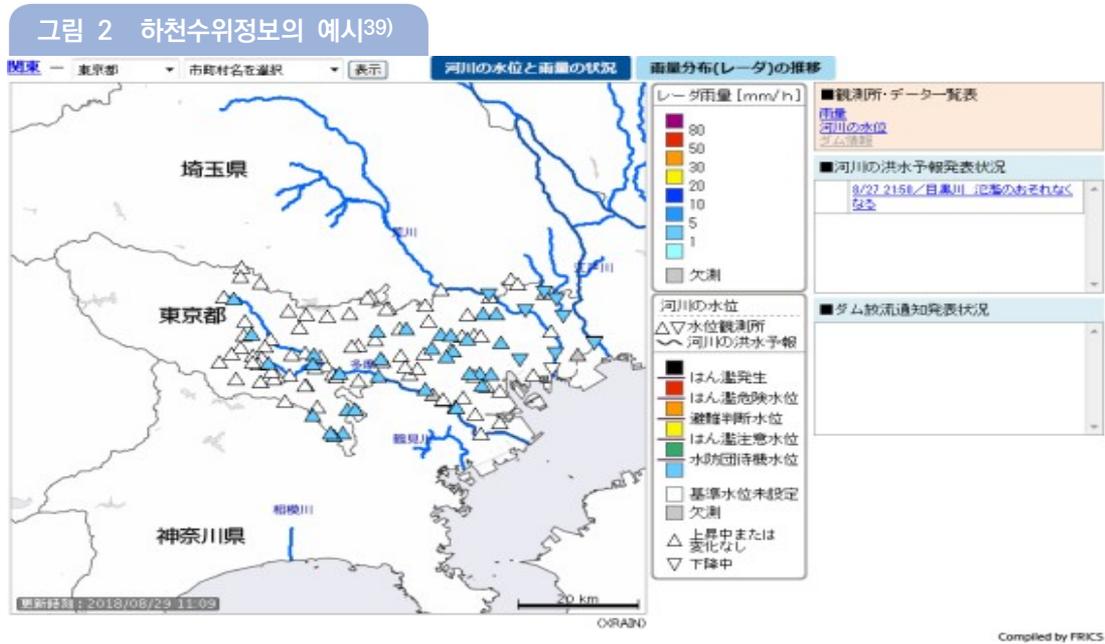
34) 또한 광역지방자치단체의 산림 담당 부서 및 산림관리국은 산악붕괴 등의 위험성이 있는 지역을 “산지 재해 위험 지구”로 파악하여 기초지방자치단체에 제공하며, 이는 광역지방자치단체의 산림 담당 부서 또는 산림 관리국에 확인할 수 있다. 内閣府(平成29年B), 29面.

35) 内閣府(平成27年), 31面.

36) 일본 기상청에서 제공한다. 그 상세는 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/doshakeikai.html#e> 참조.

- 대피권고 등의 발령 시 원활한 대피가 이루어질 수 있도록 사전에 대피장소에 대하여 거주자와 시설관리자 등에게 통지하는 것
- 대피권고 등의 발령 시 그 대상자를 명확히 하는 동시에 대상자마다 취해야 할 구체적인 대피행동을 재난 발생 전부터 주지하는 것³⁷⁾

또한 급격한 수위상승의 우려가 있는 하천변의 거주자와 산사태재난 경계구역·위험장소 등의 거주자 등에 대해서는 재난발생의 사전 예측이 곤란하므로 대피준비·고령자 등에 대한 대피개시 단계에서 다른 거주자 등에 대해서도 자발적으로 대피하도록 전달하여야 한다.³⁸⁾



37) 内閣府(平成29年A), 18面.

38) 内閣府(平成29年A), 19面.

39) <http://www.river.go.jp/kawabou/ipGaikyoMap.do?areaCd=83&prefCd=1301&townCd=&gamenId=01-0704&fldCtlParty=no>

그림 3 산사태재난 경계판정 구역정보의 예시⁴⁰⁾



40) <https://www.jma.go.jp/jp/doshamesh/>

IV 영국의 위험지역 설정 및 주민에 대한 사전고지방법 사례

영국에서는 기초지방자치단체(county council) 및 지방자치청(unitary authority)으로 하여금 홍수관리법(the Flood Water Management Act 2010)에 따른 지역홍수관리관청(LLFAs)의 역할을 수행하도록 하고 있다.

그 구체적인 내용은 다음과 같다.⁴¹⁾

- 관할구역 내의 지역 홍수위험관리를 위한 전략을 수립하고 유지하며, 지역의 다른 관청들과 지역사회의 의견과 활동을 협의와 검토를 통하여 조율하고 계획을 제공한다.
- 홍수에 있어서 주요한 역할을 수행하는 관할구역 내의 주요자산들을 등록하고 관리한다.
- 지역의 주요한 홍수사례를 조사하고 그 결과를 공개한다.
- 지속가능한 배수체계(SuDS)의 설계, 건축 및 운영에 대해 승인 권한이 있는 기관을 설치한다.
- 통상적인 유수의 경로에 있는 공작물에 대해 경고하거나 이전 또는 교체하는 문제에 대한 합의를 이끌어 낸다.
- 재난대응계획의 수립과 홍수 발생 이후의 복구에 있어서 주도적인 역할을 수행한다.⁴²⁾

지역홍수관리청(LLFAs)과 환경국은 홍수관리계획들이 지역적으로 및 전국적으로 서로 연동될 수 있도록 밀접하게 협력하여야 한다. 지역 홍수위험관리계획의 주요 부분은 지역개발계획을 고려하여야 한다.⁴³⁾

41) Local Government Association(2017), p. 10.

42) Local Government Association(2017), p. 23.

43) Local Government Association(2017), p. 23.

1. 홍수위험지역과 홍수위험의 이해

홍수위험은 하천 및 바다, 직접적인 강우 및 지하수의 분출, 하수의 범람, 저수지·운하 또는 호수와 같은 인공적인 시설로부터 야기되는 모든 종류의 범람위험을 의미한다. 홍수위험지역은 지역 2 및 지역 3에 속하는 지역 또는 지역 1에 해당하지만 배수에 심각한 문제가 있어 환경국이 지역의 계획관청에 통지한 지역을 의미한다.⁴⁴⁾

이러한 지역의 구분은 다음의 [표 10]과 같다.

표 10 홍수 지역의 개념⁴⁵⁾

홍수 지역	개념
지역 1-낮은 가능성	• 하천 또는 해수의 범람가능성이 연간 0.1% 미만인 지역(홍수지도에서 '흰색'으로 표시되며, 지역 2와 지역3을 제외한 모든 지역)
지역 2-중간 가능성	• 하천의 범람가능성이 연간 0.1% 이상 1% 미만인 지역 또는 해수의 범람가능성이 연간 0.1% 이상 0.5% 미만인 지역(홍수지도에서 '하늘색'으로 표시되는 지역)
지역 3a-높은 가능성	• 하천의 범람가능성이 연간 1% 이상인 지역 또는 해수의 범람가능성이 연간 0.5% 이상인 지역(홍수지도에서 '균청색'으로 표시되는 지역)
지역 3b-유수지	• 홍수 시에 증가된 우수 유출량을 흘려보내거나 저장하는 지역. 지역개발계획을 수립하는 관청은 환경청의 승인을 받아 유수지의 위치와 그의 경계를 설정 필요(홍수지도 상에서는 지역 3a와 구분되지 않음).

2. 홍수위험관리 정책

영국에서는 특히 홍수의 위험도와 관련하여 홍수위험을 관리하기 위한 정책을 2009년도부터 2015년까지 시행하였다. 여기에서는 홍수 및 그에 따른 피해에 따라 다음과 같은 원칙을 설정하고 있다.

- 원칙, 목표 및 책임을 설정하는 정책체계를 수립한다.
- 어떠한 지역이 어떠한 상황에서 가장 위험한지를 파악하기 위하여 홍수위험분석을 실시하고 홍수지도를 작성한다.

44) Department for Communities and Local Government(2012), p. 2.

45) 다만 환경국의 홍수지도 상의 홍수지역은 기후변화 또는 지속적인 기후변화로 인한 장래의 홍수 발생의 가능성에 대해서는 고려하지 않기 때문에 토지개발을 위한 장기적인 홍수위험의 파악을 위해서는 전략적 홍수위험평가(Strategic Flood Risk Assessment)의 결과를 고려하여야 한다(<https://www.gov.uk/guidance/flood-risk-and-coastal-change#Table-3-Flood-risk-vulnerability>).

- 새로운 개발에 따른 위험을 방지하고 경감시키며 어느 지역의 개발이 다른 지역에 위험을 야기하지 않도록 하는 개발계획을 수립하여 홍수에 대한 통제를 증진시킨다.
- 지역 내로 유입되는 홍수를 통제하거나 저장하기 위한 홍수방어체계를 수립하고 관리한다.
- 개인의 재산이 침수되지 않도록 하고 침수되는 경우 그 피해를 경감시키기 위한 방어조치를 수립한다.
- 전력, 수도, 전화, 교통 및 그 밖의 공공활동의 상실을 포함하여 홍수로 인한 2차 피해로부터 주요한 기반시설을 보호하기 위한 조치를 취한다.
- 인터넷, 전화, 텔레비전과 라디오 방송과 같이 홍수에 대한 경보를 전달하고 개인들에게 최선의 정보를 제공하기 위한 조기경보체계를 수립한다.
- 홍수로부터 가능한 많은 재산을 보호하고 위험에 처한 사람들을 지원하기 위하여 완비된 재난대응태세를 수립한다.
- 위험을 분산시키고 가능한 많은 재산에 대한 보호가 가능하도록 하여 주민들과 사업체들이 신속하게 회복할 수 있도록 하는 신뢰성 있고 견고한 보험제도를 수립한다.
- 청소 및 복구를 지원한다.
- 홍수관리전략을 위한 재원을 확충한다.⁴⁶⁾

표 11 홍수위험의 관리⁴⁷⁾

위험 및 피해의 정도	관리의 개요
낮은 발생가능성	<ul style="list-style-type: none"> • 새롭고, 개선된 그리고 잘 유지되는 보호체계 • 홍수 발생위험이 높은 지역과 멀어지도록 개발계획 조정 • 홍수의 흐름을 비거주구역으로 유도 • 보다 향상된 토지관리
낮은 피해정도	<ul style="list-style-type: none"> • 홍수예보체계의 정비 및 다양한 방향으로부터 경보의 수령 • 개선된 재산 보호체계 • 효율적인 대비 및 재난 대응 • 복구예의 지원
높은 피해정도	<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화에 따라 보다 심각한 홍수의 발생 예상 • 가치가 높은 재산 등에 대한 피해의 발생 • 보험의 보호범위를 벗어날 수 있음 • 홍수발생의 위험도가 높은 지역에 대한 새로운 개발필요
높은 발생가능성	<ul style="list-style-type: none"> • 보다 심각한 악천후 및 보다 빈발하는 발생빈도 • 보호체계의 손상 가능성 • 개발을 통한 지표면의 “건고화” • 식물지표의 손상 및 숲의 황폐화 가능성 • 토양악화의 가능성

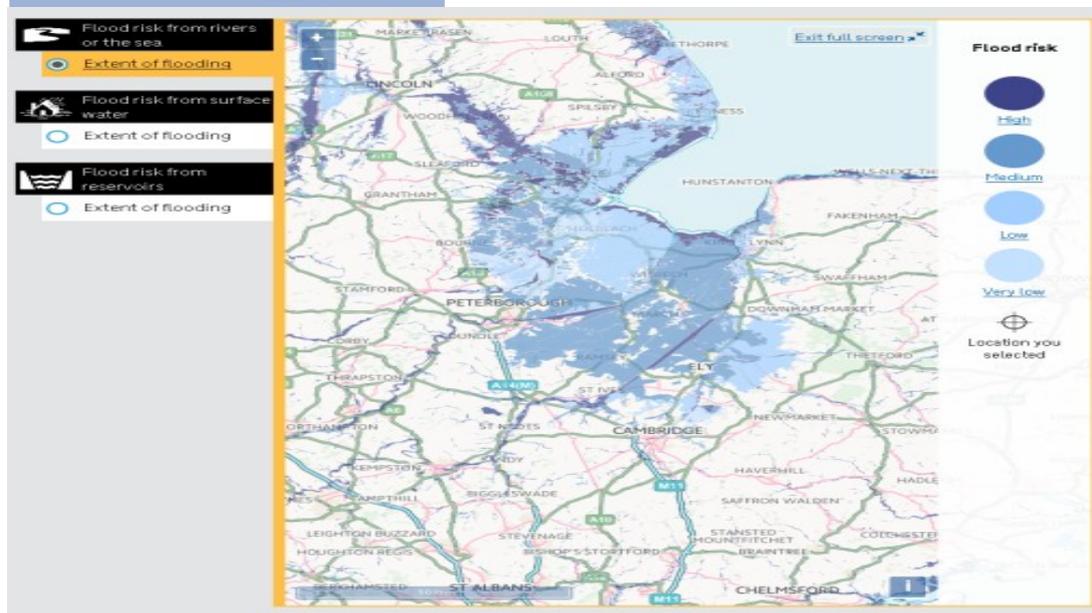
46) Environment Agency(2009A), P. 9.

47) Environment Agency(2009A), P. 8, Figure One : Managing flood risk - addressing likelihood and impacts.

위와 같은 원칙을 바탕으로 하여 영국 환경국에서는 홍수위험을 파악하기 위하여 2가지의 방식을 채택하고 있다.

- ① 홍수지도는 주민들 및 지역의 관청들에게 홍수가 발생할 수 있는 지역이 어디이고 그 정도가 어느 정도인지를 알려주기 위하여 사용된다. 이는 홍수방어설비가 되어 있지 않은 경우, 홍수가 범람할 수 있는 자연적인 범람원을 표시하는 지도로써, 지역의 관청들과 동일한 방식으로 위험을 유형화한다. 여기에서 내포하고 있는 자료들은 지역의 계획을 수립하는 데에 사용된다. 이는 또한 주민들로 하여금 위험을 인식하고 홍수에 대비하도록 한다. 홍수지도는 환경국의 홈페이지에서 열람할 수 있다.

그림 4 영국의 홍수지도 예시⁴⁸⁾



- ② 국가홍수위험분석은 위험과 취약성을 보다 상세하게 나타내고 있다. 이는 위험을 감소시키기 위한 홍수방어 설비 및 그 밖의 시설들의 영향을 고려하고 있다는 점에서 홍수지도와는 구분된다. 이러한 홍수위험분석의 목적은 홍수위험관리정책과 투자에 있어서의 우선순위를 결정하기 위하여 사용되며, 보험지들로 하여금 보험료율을 결정하기 위해서도 활용된다.⁴⁹⁾

48) <https://flood-warning-information.service.gov.uk/long-term-flood-risk/map>

49) Environment Agency(2009A), P. 13.

3. 재난정보(홍수경보, 산사태경보 등)를 활용한 대피준비 등 사례

영국의 대피 및 대피소지침에서는 대피는 그 지역을 벗어남으로써 얻을 수 있는 이익이 현장에서 대피처를 찾는 경우의 이익보다 현저하게 큰 경우에만 이루어져야 한다는 원칙을 밝히고 있다. 또한 대피계획의 수립은 보다 광범위한 재난관리계획 및 대비의 일부로서, 지역적 위험평가·국가복원성 수립계획 및 국가 위험분석을 고려하도록 하고 있다.⁵⁰⁾

대피계획을 수립함에 있어서는 특유한 파급효과를 가지고 있거나 또는 위험의 피해가 미치는 지역을 사전에 파악할 수 있는 특정한 위험을 고려하여야 한다. 상세한 계획이 마련되어 있거나 특별한 대응이 필요한 경우에는, 대피 및 대피소 계획은 이러한 위험에 특유한 문제들을 고려하여야 한다.

홍수위험지역에서는 적합한 홍수경보체계가 필요하며, 이를 위해서는 홍수의 유형과 홍수 발생 전에 경보가 제공되는 범위, 위험에 처할 가능성이 있는 지역에서 대피하여야 할 사람의 숫자, 대피경로 및 대피장소의 적절성 등과 같은 사항을 고려하여야 한다.⁵¹⁾

대피의 결정을 함에 있어서 ‘기준점(trigger point)’을 이해하는 것이 유용한 재난들이 있다. 예를 들어 어떠한 화학물질 또는 다른 물질들(방사능 또는 원자력 물질 등)의 경우에는 그것이 인간의 건강에 해를 미칠 수 있다고 인정되는 수준이 존재한다. 강물의 수위는 다른 기준점이 될 수 있다. 위험지역에서 대피가 이루어져야 하는 수위를 파악하는 것은 홍수가 발생하기 전에 대피가 안전하게 이루어질 수 있도록 하여 준다. 특정한 위험의 경우에 대한 계획에서는 홍수경고 또는 악천후 경고와 같은 경고 및 경보체계 내지 절차를 활용하는 것을 고려하여야 한다.⁵²⁾

홍수에 대한 경보 및 경고는 3가지로 분류하고 있으며, 그 상세는 다음의 [표 12]와 같다.

50) Cabinet Office(2014), p. 10.

51) <https://www.gov.uk/guidance/flood-risk-and-coastal-change#flood-warning-and-evacuation-plans>

52) Cabinet Office(2014), Government, p. 22.

표 12 홍수에 대한 경보 및 경고⁵³⁾

구분	홍수경고	홍수경보	대홍수경보
의미	<ul style="list-style-type: none"> 홍수 발생의 가능성 대비 	<ul style="list-style-type: none"> 홍수 발생의 예상 즉각적인 조치의 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 극심한 홍수 생명에 대한 위협
시기	홍수 발생의 2일 전부터 2시간 전	홍수 발생의 1일 전부터 30분 전	홍수가 생명 또는 지역사회에 대하여 현저한 위협을 내포하고 있을 때
기준	<ul style="list-style-type: none"> 강물의 범람 가능성이 있음이 예보될 때 신속하게 변화하는 하천에 대한 호우의 예보가 있을 때 고조, 풍랑 또는 강풍의 예보가 있을 때 	<ul style="list-style-type: none"> 강풍을 동반한 고조, 풍랑이 있을 때 하천의 돌발범람을 야기하는 호우의 예보가 있을 때 하천의 범람에 대한 예보가 있을 때 	<ul style="list-style-type: none"> 생명에 대한 위협 및/또는 지역사회의 광범위한 자해를 야기할 수 있는 홍수가 발생하였을 때 범람장소에서의 현장관측이 있을 때 생명에 현저한 위협을 야기하는 방제시설의 손상 등이 발생하였을 때 관계자들과의 협의
영향	<ul style="list-style-type: none"> 평지, 휴양지 또는 주차장의 침수 소로(小路)의 침수 농지의 침수 해안에 물보라 또는 월파(月波)발생 	<ul style="list-style-type: none"> 주택 및 사업장의 침수 철도의 침수 현저한 피해를 야기하는 도로의 침수 해안에 극심한 물보라 또는 월파(月波) 발생 (이동주택 주차장 또는 야영장을 포함하는) 범람원의 심각한 침수 주요한 관광지의 침수 	<ul style="list-style-type: none"> 깊고 빠른 침수 위험을 야기하는 수면에 있는 잔해들 건물과 건축물들의 붕괴 우려 또는 붕괴 발생 침수에 의한 지역사회의 고립 지역사회의 주요한 기반시설들의 마비 대규모의 대피자 군대의 지원
주민의 조치	<ul style="list-style-type: none"> 고유한 홍수대응계획을 준비 주요한 물품들로 구성된 홍수대비 물품 준비 범람지역에서의 보행, 운전 등을 지양 농부들은 가족들을 이동시키고 장비들을 침수 예상지역에서 철수 고려 최신의 홍수관련정보를 얻기 위해 0845-988-1188번의 홍수안내 전화 이용 환경국의 웹사이트에서 지역의 수위를 관찰 	<ul style="list-style-type: none"> 자신, 가족들을 보호하고 다른 사람들을 도움 가족, 애완동물 및 취약자들을 안전한 장소로 이동 안전한 경우에는 가스, 전기 및 수도 차단 방제도구 설치 돌발홍수에 마주치는 때에는 보다 높은 장소로 이동 최신의 홍수 관련 정보를 얻기 위해 0845-988-1188번의 홍수안내전화 이용 	<ul style="list-style-type: none"> 안전한 장소로 피신 주택에서 대피할 필요가 있으므로 그에 대비 재난대응기관들과 협력 급박한 위험에 처한 경우에는 999에 전화 최신의 홍수 관련 정보를 얻기 위해 0845-988-1188번의 홍수안내 전화 이용

53) Environment Agency(2010), p. 4.

V 독일의 위험지역 설정 및 주민에 대한 사전고지방법 사례

독일의 경우 주요한 재난관리정책은 모두 주정부에 의하여 이루어진다. 홍수위험의 관리와 관련하여서는 독일의 주요한 하천이라고 할 수 있는 라인(Rhein)강, 네카(Neckar)강, 마인(Main)강 및 도나우(Donau)강이 모두 흐르고 있는 바덴-뷔르템베르크(Baden-Württemberg)주의 경우를 살펴보기로 한다.

1. 홍수발생위험지도(Hochwassergefahrenkarten)

가능한 홍수발생의 위험을 정확하게 파악하는 것은 홍수위험을 관리하기 위한 주요한 방법이다. 따라서 바덴-뷔르템베르크 주에서는 11,300km에 달하는 하천변에 대하여 표준화된 홍수발생위험지도를 작성하고 있다. 여기에서는 홍수발생의 가능성을 높음·중간·낮음으로 구분하며 홍수의 지역적 범위와 침수깊이를 표시하고 있다.⁵⁴⁾ 이는 주정부의 환경, 측량 및 자연보호청(LUBW)의 수리학적 자료를 레이저 항공촬영을 통하여 디지털화한 지형모형 등에 투영시켜 작성한 것이다. 여기에는 홍수방지설비들의 작용 또한 고려되어 있다. 이러한 지도를 작성함에 있어서는 그 초안을 각급 지방자치단체들에게 제공하여 그들의 경험과 지역적 특성을 반영하도록 하고 있다. 완성된 홍수발생위험지도는 기초지방자치단체 및 하천관리관청과 인터넷에서 열람할 수 있다.⁵⁵⁾

100년에 1회의 비율로 홍수가 발생할 가능성이 있는 지역(HQ100)은, 법령에서 달리 정하지 않는 이상, 주 하천법(WG) 제 65조에 의하여 홍수발생위험지역으로 지정되며 이 지역에 대해서는 연방 수자원관리법(WHG) 제 78조에 의한 특별한 보호규정이 적용된다. 홍수발생위험지도에서는 주거지역 중에서 특히 100년 주기의 홍수에 침수될 위험이 있는 지역을 표시하고 있다.⁵⁶⁾

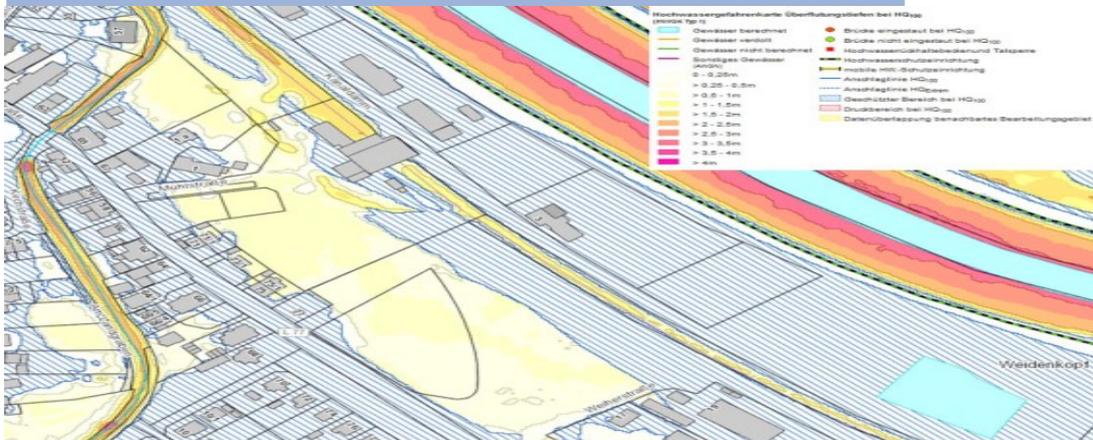
54) Baden-Württemberg(2014), S. 6.

55) Baden-Württemberg(2014), S. 6.

주정부의 환경, 측량 및 자연보호청(LUBW)은 지리적 정보를, 위험에 노출된 지역의 홍수발생위험지도를 바탕으로 하는 가상 홍수에 대입하여 홍수피해지도를 작성한다. 이를 통하여 홍수에 의하여 영향을 받는 활동을 파악할 수 있다. 홍수발생위험지도로는 홍수에 의한 피해의 분석을 할 수 없으며, 이는 홍수위험관리계획을 작성하는 과정에서 이루어진다.

홍수피해지도는 각 기초지방자치단체의 상세에 의하여 보완된다. 이를 통하여 얼마나 많은 주민 또는 특정한 지역이 홍수에 의한 영향을 받을 것인가 명확하게 되며 이에 더하여 피해를 입을 가능성이 있는 문화유산과 산업설비 등의 목록이 작성된다.⁵⁹⁾

그림 6 100년 주기의 홍수에 따른 범람을 가정한 홍수피해지도의 예시⁶⁰⁾



3. 재난정보(홍수경보, 산사태경보 등)를 활용한 대피준비 등 사례

해당 지역에 거주하는 주민들의 생명과 건강에 위험을 가할 수 있는 설비(원자력발전소 등)가 있는 지역에 대해서는 특별한 대피계획이 필요할 수 있다. 또한 경험적으로 자연재해가 발생할 수 있는 지역에서도 그러한 필요성이 있다. 이러한 특별한 대피계획의 수립여부는 권한 있는 재난관리기관의 위험 가능성 평가에 따라 결정된다.⁶¹⁾

59) Baden-Württemberg(2014), S. 8.

60) Baden-Württemberg(2016), S. 12, Abbildung 4 : Aussicht aus einer Hochwassergefahrenkarte mit der Darstellung der Überflutungstiefen beispielhaft für ein Hochwasser mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren.

61) AG Fukushima(2014), S. 29.

독일의 기상청(DWD)은 기상이예보를 수행함으로써 독일 연방의 재난관리기관들의 업무를 지원한다. 이러한 독일 기상청의 경보체계는 3단계로 구분된다.

- 제 1단계: 경보의 대상이 될 수 있는 사태 즉 어떠한 기상현상이 재난을 야기할 것으로 예견되는 경우, 그 재난이 발생하기 수일 전 경고. 이는 상당한 시간간격을 두고 이루어지는 것이기 때문에 그 대상지역, 재난의 지속기간 및 강도가 상대적으로 명확하지 않으므로, 자연재난의 발생 가능성에 대한 예보를 하게 된다. 이는 기상청이 하루에 한 번 또는 필요한 경우에는 그 이상 독일 전역에 대하여 발표하는 “기상위험 주간예보”의 형식으로 이루어진다.⁶²⁾
- 제 2단계: 재난의 발생이 다가옴에 따라 재난의 대상지역, 그 시기와 종기 및 그 강도를 보다 구체적으로 예보하게 되며, 개별 주정부들은 그에 대비를 하게 된다. 이로부터 제공되는 기상이예보의 대상지역은 비교적 넓어서 각 주 또는 주의 일부의 지역을 대상으로 1 ~ 2일 전에 발표되며, 대부분의 경우 개별 지방자치단체들에 대한 경보와 같이 세밀한 구분은 어렵다. 그러나 1 ~ 2일 가량의 시간이 소요되며, 재난이 발생하기 수 시간 내지 수 분 전에 이루어질 수 없는 대응조치 및 사전조치를 취하는 것은 가능하다. 또한 하루 한 차례 이상 발표되는 경보보고서에서는 예상되는 기상현상이 발생하기 약 24시간 전에 규정된 경보의 기준에 따른 주 단위의 경고를 발하고 있다.⁶³⁾
- 제 3단계: 임박한 재난의 대상지역, 시기 및 강도 그리고 경우에 따라서는 그 기간을 구체적으로 파악할 수 있게 되면, 지역에 대한 경보가 발령된다. 여기에서는 개별적인 지역 또는 일단의 지역에 대하여 예상되는 기상현상의 시기와 종기 등을 나타내며, 그러한 기상현상으로부터 예상되는 위험에 대한 지시를 하는 것 또한 가능하다.⁶⁴⁾ 예상되는 재난의 종류에 따라 호우·번개와 우박의 경우에는 약 1시간 전, 대부분의 강풍 또는 눈보라의 경우에는 약 6시간에서 12시간 전, 장마의 경우에는 약 24시간에서 36시간 전에 예측을 할 수 있으며, 이는 바로 그러한 재난에 대한 경보의 지속시간이 된다. 공식적인 경보는 재난대응기관들 및 주민들로 하여금 예방 및 손해의 경감과 회피를 위한 조치를 취하도록 한다.⁶⁵⁾

62) Thomas Kratsch(2015), S. 11.

63) Thomas Kratsch(2015), S. 11.

64) Thomas Kratsch(2015), S. 11.

65) Thomas Kratsch(2015), S. 12.

독일 기상청의 경보기준은 기상현상과 사전에 결정된 기준치를 바탕으로 이루어져있다. 독일 기상청은 강풍에서 허리케인, 폭우 및 장마, 강설 및 눈보라, 다양한 현상을 수반하는 악천후, 안개·혹한 및 폭염과 방사선의 증가에 대한 경보를 발한다. 이러한 독일 기상청의 정보는 인터넷 상에서 다음의 4가지의 색으로 표시되어 예상되는 재난의 강도를 쉽게 파악할 수 있도록 한다. 즉 공식적인 기상경보는 노란색, 현저한 위험의 경고는 갈색, 공식적인 악천후 경보는 빨간색, 극심한 악천후에 대한 경보는 보라색으로 표시된다. 이러한 독일 기상청의 기상경보는 누구나 인터넷(www.dwd.de 또는 www.wettergefahren.de)을 이용하여 자유롭게 확인할 수 있을 뿐만 아니라 재난관리기관들에는 팩스, 전자우편 또는 SNS 등을 이용하여 전파된다.⁶⁶⁾

소방기관들을 위해서는 인터넷에 기반을 두고 보다 광범위한 기상정보를 제공하는 소방기상정보체계(FeWIS)가 운영되어 있으나 여기에는 주민들이 이용할 수 있는 정보가 포함되어 있지 않다. 독일 기상청이 발하는 경보는 연방국민안전 및 재난관리청(BBK)의 앱(App)에 포함되어 있으나, 그 밖에 기상경보를 제공하는 재난경보 애플리케이션인 KatWARN을 통해서도 경보를 전파하고 있다.⁶⁷⁾

독일 기상청의 기상경보는 갈색 단계에서부터 재난의 발생가능성이 있음을 시사하며, 이는 표준화되어 있어 경보와 동시에 그에 대한 정보가 자동적으로 첨부된다. 이는 발생 가능한 위험과, 경우에 따라서는 회피가능한 피해에 대한 정보를 제공하지만 개별적인 재난을 정확히 특정하지는 못하지만 예방조치, 피해경감조치 특히 대피 등의 조치를 취할 수 있도록 한다.⁶⁸⁾

66) Thomas Kratsch(2015), S. 12.

67) Thomas Kratsch(2015), S. 13.

68) Thomas Kratsch(2015), S. 13.

VI 종합 정리 및 요약

이상의 논의를 요약하면 다음과 같다. 우리나라는 지형적인 여건 등으로 인하여 재해가 발생할 우려가 있는 지역 등 재난으로 인하여 사람의 생명·신체 및 재산에 대한 피해가 예상되는 지역을 상습침수지역, 산사태위험지역 등으로 설정한다. 미국은 홍수위험지도(FIRM 또는 FHBM)를 작성하여, 여기에 홍수위험지역을 홍수의 발생가능성을 바탕으로 등급을 구분하여 표시하고 있다. 다만 구체적인 개발계획의 승인 등과 관련하여서는 별도로 홍수위험지역을 판단하도록 하고 있다.

일본은 홍수침수 예상구역, 산사태재난 경계구역, 산사태재난 특별경계구역 등을 설정하고 있으며, 이는 해당 지방자치단체 또는 인터넷을 통하여 공개하고 있다. 영국은 홍수의 발생가능성을 바탕으로 위험의 등급을 구분하여 지정하고 있다. 구체적으로는 홍수방어설비를 고려하지 않은 상태에서 홍수가 범람할 수 있는 범위를 나타내는 홍수지도를 작성하여 인터넷 등을 통하여 공개하고, 홍수방어설비 등의 효과를 고려한 국가홍수위험분석을 실시하고 있다.

독일은 홍수 발생의 가능성을 나타내는 홍수발생위험지도(Hochwassergefahrenkarten)와 홍수로 인한 피해의 범위를 나타내는 홍수피해지도(Hochwasserrisikokarten)를 작성하고 있으며, 특히 100년에 1회의 비율로 홍수가 발생할 위험이 있는 지역(HQ 100)은 홍수발생위험지역으로 지정한다. 이러한 홍수위험과 관련된 지도는 각 주정부의 해당 부서 홈페이지에서 확인할 수 있다.

우리나라를 포함하여 각국의 유사사례를 비교하면 <표 13>과 같다.

표 13 종합 비교	
구분	주요내용
우리나라	자연재해위험개선지구, 산사태취약지역, 붕괴위험지역 및 재해지도
미국	홍수위험지도, 홍수위험지역
일본	홍수침수 예상구역, 산사태 발생우려지역
영국	홍수위험지역
독일	홍수발생위험지도, 홍수피해지도

주요국을 비교한 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 재난발생 위험지역 중에서 ‘산사태’ 재난을 특정하여 규율하고 있는 사례는 우리나라와 일본에 한정되고 있는 것으로 판단되며, 이는 우리나라와 일본의 경우는 재난에 대하여 유형별로 접근하고 있다는 점에 기인하고 있다고 여겨짐.
- 그 밖의 국가들은 자연재난의 틀에서 전체적으로 접근하고 있으며, 다만 영국의 경우에는 홍수에 대해서, 미국의 경우에는 허리케인에 대해서 별도의 규율을 하고 있는바, 이는 해당 재난이 발생하는 빈도 또는 그 영향력을 고려한 것으로 여겨짐.
- 또한 산사태의 경우에는 그 발생원인이 호우와 밀접한 관계가 있으므로 내용적으로 호우에 대한 사항과 중첩되는 부분이 있음.

저자_ 이동규(Dong Kyu Lee)

• 학력

성균관대학교 행정학 박사
성균관대학교 행정학 석사
경희대학교 법학 학사

• 경력

現) 동아대학교 기업재난관리학과 부교수
前) 동아대학교 석당인재학부 학부장
前) 국회 예산정책처 예산분석관

영국

- 13) Cabinet Office(2014), Evacuation and Shelter Guidance, HM Government(총리실, 대피 및 대피소 지침).
- 14) Environment Agency(2009A), Flooding in England : A National Assessment of Flood Risk(환경국, 영국의 홍수 : 국가 환경위험의 분석).
- 15) Environment Agency(2009B), Thames Catchment Flood Management Plan-Summary Report December 2009(환경국, 템즈 강 유역의 홍수관리계획-2009년 요약보고서).
- 16) Environment Agency(2010), Flood Warnings : What they are and what they do(환경국, 홍수경보).
- 17) Local Government Association(2017), A Councillor's guide to civil emergencies(지방자치단체협의회, 재난시의 지침).

독일

- 18) AG Fukushima(2014), Rahmenempfehlung für die Planung und Durchführung von Evakuierungsmaßnahmen einschließlich der
- 19) Evakuierung für eine erweiterte Region(후쿠시마연구위원회, 다른 지역으로의 대피를 포함하는 대피계획의 수립과 시행에 관한 지침).
- 20) Baden-Württemberg(2012), Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg(바덴-뷔르템베르크주, 바덴-뷔르템베르크의 홍수위험지도).
- 21) Baden-Württemberg(2014), Strategie zur Minderung von Hochwasserrisiken in Baden-Württemberg(바덴-뷔르템베르크주, 바덴-뷔르템베르크의 홍수위험 경감전략).
- 22) Baden-Württemberg(2016), Hochwasserrisikomanagementplanung in Baden-Württemberg(바덴-뷔르템베르크주, 바덴-뷔르템베르크의 홍수위험관리계획).
- 23) Thomas Kratsch(2015), "Warnung der Bevölkerung in Europa - Meteorologische Warnsysteme und Warnstrategien", Tagungsband LÜKEX 2015 - 1, Thementag : Warnung der Bevölkerung(유럽에서의 경보 - 경보체계의 방법론 및 경보전략).



02

재난 시뮬레이션 : 위험도 분석을 기초로 한 시뮬레이션 및 머신러닝 방법론의 소개

김찬수 (한국과학기술연구원 연구원)

I 들어가며

1. 재난과 그 위험의 정의

재난(disaster)은 현재의 정상(normal)¹⁾상태에 지장을 주는 사건을 말한다. 특히 그 영향을 받는 사회나 공동체의 사태조절능력을 넘어서는 규모의 사변을 야기하는 경우를 꼽는다(Ababa, 2002): 예컨대 공동체 구성원으로서 인간·물질·경제·환경 등 매우 폭넓게 영향을 미친다. 대부분 자연재해를 그 원인으로 꼽는다. 그러나 금융재난²⁾, 핵발전소 사고, 바이오테러 등 인간사고가 발미가 된 경우도 잦다. 그 지속시간의 길고 짧음보다는, 그 영향을 받는 대상에 초점이 맞춰져 있다. 그러므로 국제적십자사는 재난을

수식 1. 국제적십자사 정의 재난 식

$$D \triangleq \frac{||\{H \cup V\}||}{||\{C\}||}$$

〈수식 1〉과 같이 정의한다(International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2017). 특정한 재난 D는 그 위험요소(hazard) H와 취약성(vulnerability) V를 합한 값을, 사회의 처리능력 C로 나눈셈이다.

재난은 그 어원을 그리스어에 두고 있다. “나쁜”을 뜻하는 접두어 $\delta\nu\sigma$ -와 “별”의 의미인 $\acute{\alpha}\sigma\tau\acute{\eta}\rho$ 가 합쳐진 말로서(Liddell and Scott, 2019), 고대 그리스에서는 행성들의 위치 때문에 재앙이 발생한다고 믿었던 듯 하다.

현재 UN Spider(2019)는 재난과 재난위험을 〈그림 1〉과 같이 정의하고, 관리체계를 구축하고 있다.

1) 정상이라는 말에 주의할 필요가 있다. ‘정상’은 정답에 가까운 뜻으로서 ‘올바르다’라는 의미가 아니라 ‘특별한 변동이나 탈이 없는 상태’의 의미로 받아들여야 한다.

2) 국내 상업은행들의 DLF 사건, 2007년 세계금융위기 등 우리가 자주 목도하고 있지 않은가?

그림 1. 재난을 정의하는 방식. 재난을 관리하기 위한 목적으로 재난을 이러한 순환과정으로 이해한다.



〈그림 1〉에서 보듯이 복구 이후, 그러니까 “정상상태”에서 우리는 우선 재난을 방지(prevent)하고 준비(prepare)해야 한다. 재난의 방지라는 측면을 고려하려면 그에 대한 예측(predict)이 반드시 필요하다.

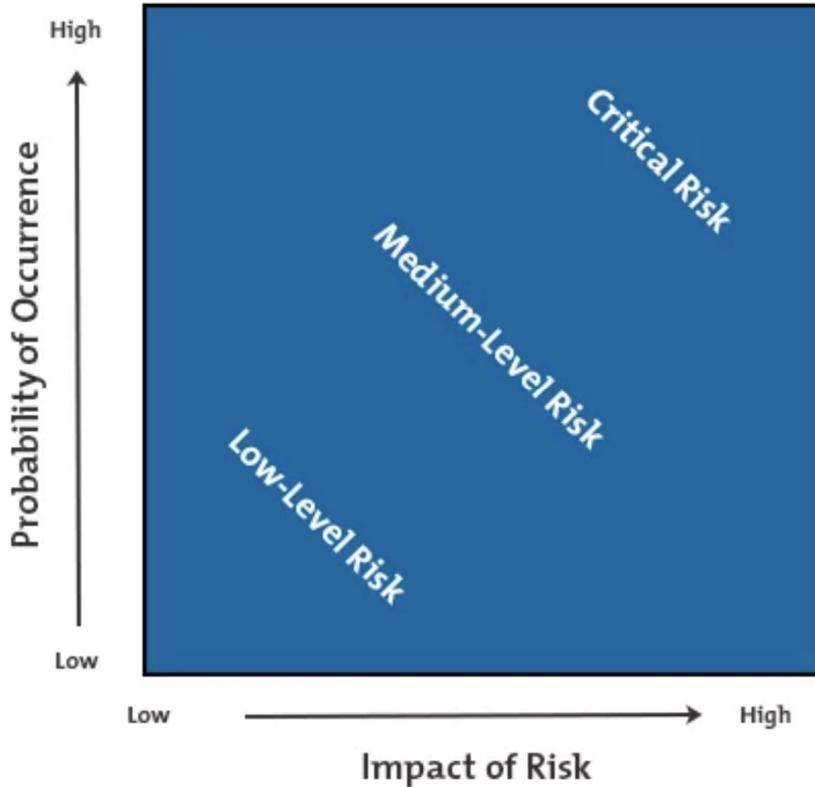
그렇다면 모든 재난에 대해 우리가 대비해야 하는 것일까? 대응 비용과 시간 측면을 고려하자면, ‘모든’ 재난에 대해 대응하고 있을 수는 없다. 재난들의 중요도에 따라 배치하고 이들에 대한 서로 다른 규모의 대비책을 마련할 필요가 있다.

아직 일어나지 않은 일들을 예측하기 위해서는 이들 사건·사고가 계량화·수량화돼야 하는데, 바로 이 지점에서 우리는 재난의 위험(disaster risk)을 측정하지 않을 수 없다. 특히 앞서 〈수식 1〉에서 위험요소 H는 위험(risk)으로서 측정된다.

그렇다면 이러한 위험은 어떻게 정의되는가?

재난을 포함하는 어떤 사건이나 사고의 중요성은, 〈그림 2〉에서 보듯이 해당 사건의 발생 가능성(확률 혹은 우도; probability or likelihood)과 그 영향(impact)을 동시에 고려해서 측정된다. 이를 위험도라 칭하는데, 위험도가 가장 높은 경우는 영향이 크고 발생 가능성이 높은 때이다.

그림 2. 척도로서의 위험. 어떤 사건은 그 발생 가능성과 영향을 동시에 따지게 되는데, 가능성이 높고 그 영향이 큰 경우가 가장 위험하다.



(출처 : MindTools, 2016)

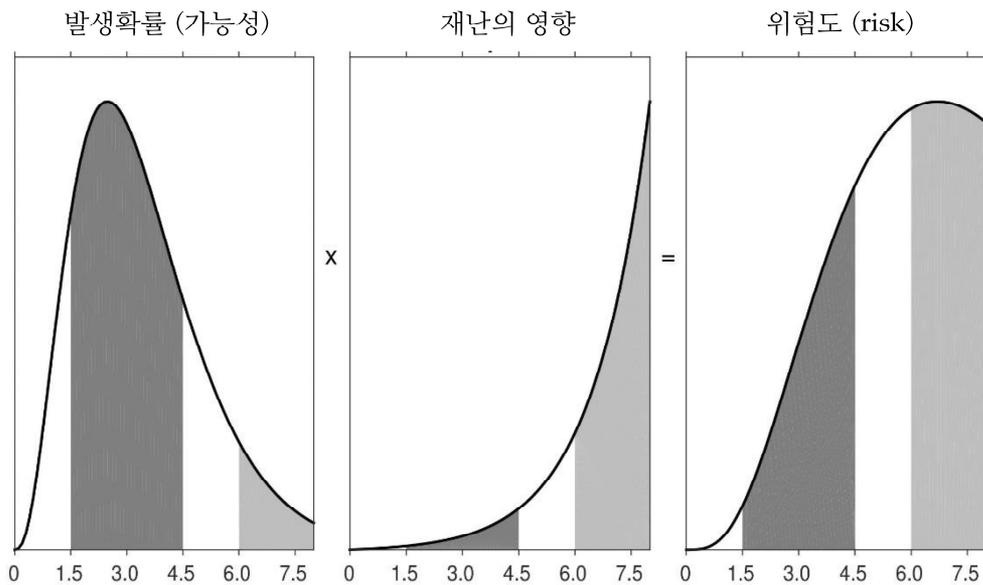
재난의 중요성 기준으로서 위험도를 꼽았는데, 위험도가 클수록 더 신경을 써서 대응해야 하는 것은 자명하다. 그러나 <그림 2>에서 제시한 이 경우들은 ‘재난 대응’이라는 면에서 중요하게 다뤄지지는 않는다. 왜냐하면 발생 가능성이라는 확률분포(probability distribution)와 영향 규모의 분포가 적은 곳에서 큰 곳으로 가면서 동시에 커지지 않기 때문이다. 다른 말로 하면 두 분포의 형태가 서로 비슷하지 않는 뜻이다.

실제로 ‘실체적 대응’이라는 면에서 보면 중요한 재난들은 대개 발생할 가능성이 높은 일반적 재난이나 가능성이 낮더라도 그 규모가 큰 재난들이다. 즉, <그림 3>에서 보듯이 짙은 회색(가능성 높은 일반 재난)이나 옅은 회색(가능성 낮은 큰 재난) 부분들이다. 따라서 재난의 위험이란 영향과 가능성을 동시에 고려할 때 더 높은 경우를 찾아야 한다. 더 자주 발생하되 규모가 작은 재난, 예컨대 자동차 사고 등과 같은 상황과 거의 발생하지 않되 규모가 큰 재난, 이를테면 행성의 지구 충돌과 같은 경우는 중요한 재난으로 보지 않는다.

위험이 높은 재난에 속하는 것들로서 우리는 핵발전소 사고나 금융사고(영향이 크되 가능성이 높지 않은 사변) 혹은 지진·태풍 재해(어느 정도의 영향력을 가진 가능성 높은 사건) 등을 꼽을 수 있다.

이러한 재난들은 대응 및 복구 비용이 매우 크므로, 관련 정책을 수립하는 경우에는 특히 이러한 종류의 사건에 주목해야 한다.

그림 3. 위험의 정의. 재난의 위험은 해당 재난의 발생 가능성과 영향을 곱한 값으로 표현된다.



(출처 : Sutton, 2018 재수정)

위의 논의들을 종합하여, 위험 평가(risk assessment)의 시각에서는 재난을 그 가능성과 규모를 고려하여 평가한다. 그러므로 재난의 위험은 아래와 같이 정의된다.

$R(x) = f(x)s(x)$ <p>수식 2</p>	$ER = \sum_x f(x)s(x)$ <p>수식 3</p>
-------------------------------	------------------------------------

<수식 2>와 <수식 3>에서 x는 특정한 재난을 의미한다. f(x)는 해당 재난의 발생 가능성을, 어떤 분포 Fx로부터 얻은 경우이고, s(x)는 재난 x가 가지는 영향력과 규모를 나타낸다. <수식 3>은 개별 재난을 모두

고려한 전체 재난의 기댓값을 도출한다.

이처럼 재난의 중요성을 가르는 척도로서 위험도가 주로 활용되고 있는데, 이는 서로 독립적(independent)³⁾이라는 가정 아래 가능성과 규모를 동시에 고려한다.

2. 글로벌 시각에서 본 재난

전 세계적으로 재난과 재해의 급증으로 인한 사회적 손실이 엄청나게 누적되고 있다. 지난 후쿠시마 핵발전소 사고나 종종 벌어지는 해양 유출 기름띠 사태, 어떤 국가의 영역을 넘어서는 규모의 지진과 화산폭발 등을 떠올려 볼 수 있겠다. 이제 재난의 범위와 피해 규모는 한 국가만이 홀로 처리할 수 있는 범위를 넘어섰다. 2차 세계대전 이후에 발족되어 정치적 평화의 기틀을 닦아 전쟁을 막고 세계평화를 이룩하려는 의도를 가졌던 국제연합(United Nations, UN)은 재난 및 재해 문제에도 큰 관심을 두고 있다. 대부분의 국가가 UN의 회원국인데, 초국가적 재난에 대응하기에 적절한 조직인 셈이다.

UN은 지난 1989년에 자연재해 경감을 위한 10개년 계획 기간(International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR)으로 1990년대를 지정했다. 인간의 개발에 따라 재해가 늘어나는 현실을 인식하여 재해를 감소해야 한다는 사명을 가지고 있었고, 또한 자연재난으로 인한 사회경제적 혼란을 해소하기 위함이었다. 나아가 재해로 인한 인명 피해와 재산 손괴 및 사회적·경제적 혼란을 경감시키기 위한 목적을 띠고 있었다. 이 계획기간 동안에 만들어졌던 사무국이 1999년에 ‘재해감소를 위한 국제전략기구(UN International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR)’로 격상되었다.

2019년 현재 UNISDR은 재난을 측정하기 위한 ‘위험도’를 그 이름에 반영하며 ‘재난위험축소부서(The UN Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR)’로 재정비됐다. 지속가능한 미래를 위해서 재난의 ‘위험도를 낮추며 그 손실을 줄이겠다’는 목표로 일하고 있다. 특히 재난을 체계적으로 접근하고 이해하기 위해, 그 이름처럼 재난의 위험도를 낮추는 것을 1차 목적으로 하여, 그에 대한 투자를 증진시키며 재난에 대비하여 도시계획을 하는 등의 활동을 하고 있다. UNDRR은 UN의 재난 위험도 측정관리조사의 거점 조직으로서, 센다이 프레임워크(Sendai Framework)⁴⁾의 관리조직이며, 개별 국가의 위험도 평가감시재평가 등의 과정을 지원하고 있다. 여기에서도 알 수 있듯이 <수식 3>처럼 위험도를 구성하는 두 가지 요소 (1) 발생 가능성과

3) 곱한다는 면을 생각한다.

4) 일본 센다이에 일어났던 초국가적 자연재해인 2011년 도호쿠 지진을 통해 얻은 교훈으로 세워져, 2030년까지 위험도를 경감하고 개별 인간의 삶과 공동체의 사회·경제·문화적 피해를 눈에 띄게 줄이기 위한 목적으로 활동하고 있다.

(2) 피해 규모를 줄이는 데 초점을 맞추고 있다.

세계은행(World Bank) 역시 이러한 부서를 두고 있다(World Bank, 2019). 세계은행은 UN의 평화유지 목표와는 약간 다르다. ‘Disaster Risk Management’라는 이름에서도 알 수 있듯이, 재난의 관리에 방점을 두고, 재난의 규모 평가와 관련된 자산의 평가, 나아가 관련 부채 산출에 이를 활용하고 있다. 물론 여기에 근간이 되는 것은 (1) 발생확률과 (2) 재난의 규모를 근간으로 한 위험도 평가이다.

3. 한국의 경우

우리나라의 표준국어사전에 정부는 “재난”을 다음과 같이 정의한다.

- (1) 뜻밖에 일어난 재앙과 고난(국립국어원, 2019)
- (2) 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것(행정안전부, 2019)
- (3) 교통·금융·의료·수도 등 국가기반체계의 마비(행정안전부, 2019)

재난 관련 정책의 입안 및 대응관리 주체로서 행정안전부에서 명시하는 “재난관리”는, 재난의 예방·대비·대응 및 복구를 위하여 하는 모든 활동을 일컫는다. 여기에는 재난의 위험도 분석이 반드시 필요하다. 왜냐하면 예상되는 재난에 대한 중요성을 평가해야만 그에 걸맞은 적절한 대응 방안을 강구할 수 있기 때문이다.

사회적 비용 증가에 따른 안전에 대한 관심이 더욱 늘어나고 있으며, 관련 연구 및 산업 시장 역시 증대되고 있다. 또한, 문재인 정부는 「국민안전과 생명을 지키는 안심사회」를 핵심국정과제로 추진하고 있다(대한민국 정책브리핑, 2017). ‘안전관련 주요 국정과제 리스트’에는 ‘안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가 책임 체계 구축’, ‘통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시 대응 역량 강화’, ‘미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기 환경 조성’, ‘신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축’ 등이 속해있다.

UNDRR과 우리나라는 재해의 위험도를 낮추기 위해서 인천 송도에 동북아시아사무소와 방재연수원을 열기도 했다. 또한, 2013년에는 세계재난경감전략계획을 수립하기 위해 우리나라 소방방재청은 UNDRR과의 지속적 협력을 강화하기로 협약을 맺기도 했다.

II 재난 위험도 평가의 필요성

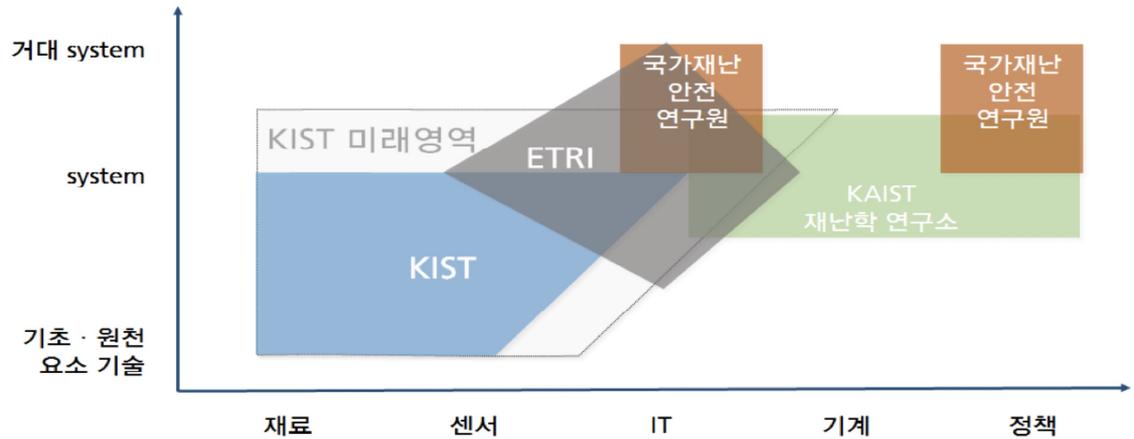
앞서 살펴본 바대로, 재난과 관련된 연구나 사업은 자연재해, 인재, 사변 등만 다루고 있지 않다. 공동체의 삶에 영향을 미치는 규모가 큰 금융사고, 정치 변동, 도로 관련 재해 등 인간의 상호작용에 따른 사회적 재난으로까지 확대되고 있다.

각기 다른 성격의 재난을 하나의 기준으로 묶을 수 있는 방법으로 위험도 등의 계량화가 요구된다. 이는 경제학에서 대두된 효용함수(utility function)의 역할과도 유사하다. 효용(utility)이라는 말은 재화를 소비하거나 사용하여 소비자가 느끼는 만족의 크기로 나타나는 주관적 개념이다. 다시 말하면 효용함수는 재화 소비, 여가생활, 선호대상 등 여러 가지 차원(dimension)의 입력 변수들을 가지고 '비교가 가능한' 1차원의 값⁵⁾은 '효용'으로 변환한다. 마찬가지로 다른 종류의 재난의 대응 순서를 결정하고 대응방안을 마련하기 위해서는, 각 재난의 순위를 따져 비교해야 한다. 이때 필요한 1차원의 기준으로 활용되는 것이 바로 위험도인 셈이다.

2018년, 국내의 재난 관련 연구는 각 분야의 공학적 대응에 머물고 있다. 국내의 각 연구소가 중점적으로 다루는 연구가 <그림 4>에 나타나 있다.

5) 수직선에 나타내면 그 크기를 비교할 수 있는 것을 생각해보라. 만약 2차원 그래프에 두 점 A와 B가 있다고 해보자. 이들을 서로 비교하기 위해 우리는 어떻게 하는가? 점 A와 B가 각각 원점으로부터 얼마나 멀리 떨어져있는지를 구하기 위해 1차원의 값으로 바꾼다: 즉 '거리'라는 변수로 바꾼다. 이는 오래된 역사를 가진 피타고라스의 정리를 통해 간단히 1차원으로 변환할 수 있다.

그림 4. 국내 재난 관련 연구소 현황. 정책에 초점을 맞추고 있는 국가재난안전연구원을 시작으로, 재료·센서·기계 등의 기술적이고 공학적 연구가 진행되고 있다. 위험도를 평가하기 위한 수리적 연구는 아직 활발하지는 않다.

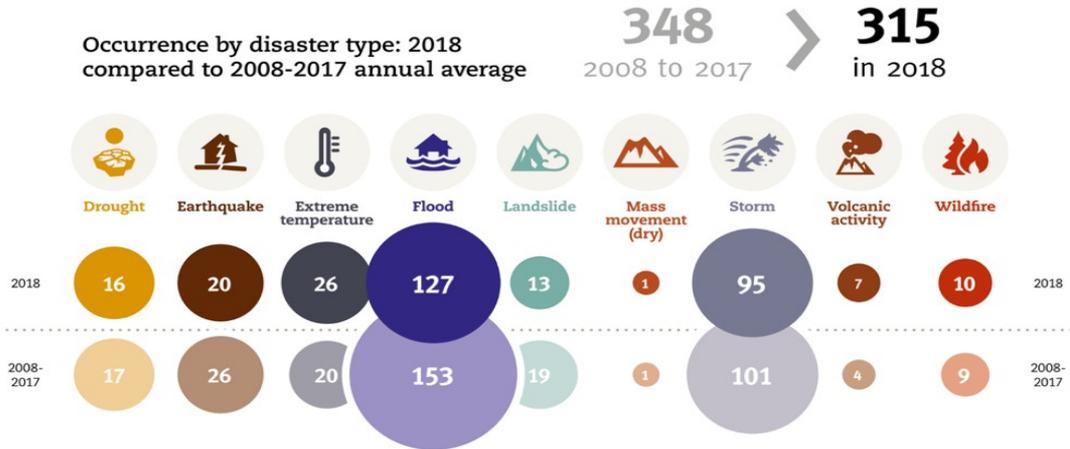


이쉬운 점은, 그 중요성에도 불구하고 위험도 평가와 관련된 시뮬레이션 연구나 수리·계산 연구의 인프라가 약하다는 점이다. 위험도를 측정하고 계산해내기 위한 다양한 수리적 연구에 대한 지원이 필요한 또 다른 이유이겠다.

1. 재난의 발생 통계

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters(CRED)(2018)가 제공하는 통계에 따르면 지난해 대형 재난은 348건이었다. 그 피해 규모는 68.5백만 명에 달하고, 사망자는 11,804명으로 집계됐다. 이들로 인한 경제적 손실은 대략 132억 달러였다. 또한, CRED는 2008년부터 2017년까지 연평균 315건의 재난으로 인해 198.8백만 명이 피해를 입었으며, 이 중 사망자는 67,572명, 경제적 손실은 167억 달러인 것으로 보고했다.

그림 5. 지난 10년간의 자연재해와 그 피해 규모

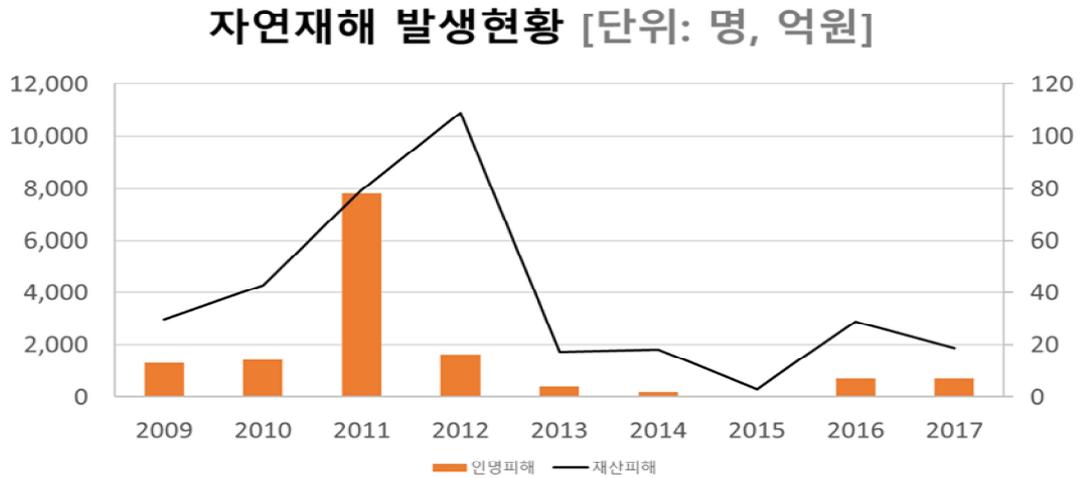


(출처 : CRED, 2018)

국가통계포털(KOSIS)(2019)의 ‘자연재해현황’에 따르면, 국내에서는 자연재해로 인해 2009년부터 2017년까지 총 3조 4,685억 원의 손실을 입은 것으로 알려졌다.

자연재해는 그 피해 지역이 집중되기도 한다. 2018년 태풍과 토네이도는 전 세계적으로 1,190만 명에게 영향을 주었다. 직접 영향을 받는 사람들의 비율은 아시아 인구의 0.8%이며, 이는 미국 인구의 0.6%에 달한다. 그러나 ‘지역’의 차이에 렌즈를 들이대면 이야기가 달라진다. 예컨대 라오스 및 필리핀과 같은 국가로 한정해서 사건을 보면 각각 26.9%, 15.5%에 달하는 높은 비율이 되기도 한다.

그림 6. 2009년부터 2017년까지의 국내 피해 규모. 피해액은 당해연도 가격 기준으로 계상되었다.



(출처 : 행정안전부, 2018)

국제적십자사가 <수식 1>처럼 재난을 정의하는 이유가 바로 여기에 있다고 볼 수 있다.

최근 10여 년간 가장 큰 규모의 피해를 입힌 자연재해들로는 다음을 꼽을 수 있다.

- ① 2010년 아이티 지진: 222,500명 사망
- ② 2011년 일본 도호쿠의 지진과 쓰나미: 210억 달러의 피해
- ③ 2015/2016년 인도 가뭄: 피해자 3,300,000명

2018년만 해도 아래 <표 1>과 같은 엄청난 규모의 자연재해들이 발생한 것이 파악됐다.

표 1. 2018년 전 세계 대표적 자연재해

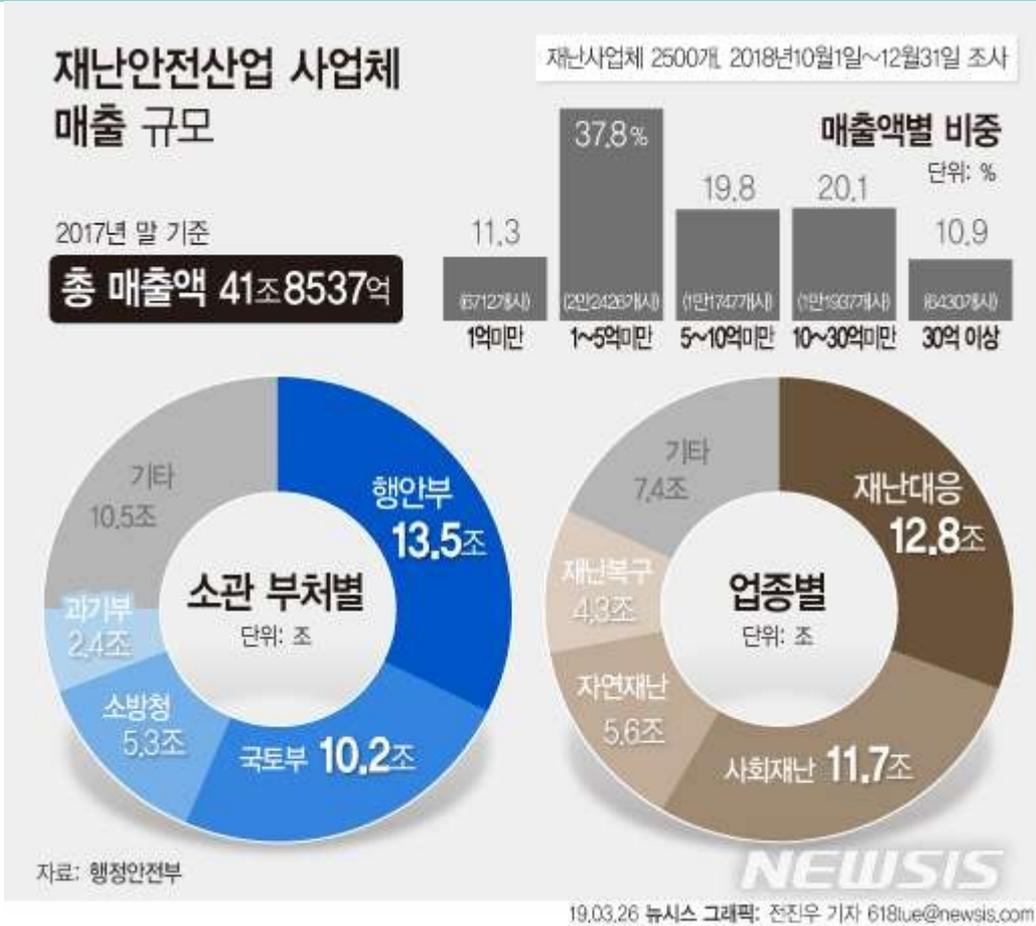
재해 구분	내용
지진, 화산활동, 쓰나미	인도네시아 지진: 8월 564명, 9월 4,340명 사망 또는 실종
	과테말라의 볼칸 드 푸에고 분화: 400명 이상 사망, 피해자 170만 명
	인도네시아 아낙 크라카타우 분화 및 쓰나미: 수마트라섬, 자바섬 주민 400명 이상 사망
산불	그리스 Attica Fires: 사망자 약 100명
	미국 캘리포니아: 사망자 88명
태풍, 홍수	인도 케랄라 주: 504명 사망, 피해자 2,300만 명 이상
	나이지리아: 약 300명 사망, 피해자 200만 명
	일본: (홍수) 230명 사망, (태풍) 11명 사망, 피해액 12.5억 달러
	소말리아: 피해자 70만 명
	미국: (허리케인 플로렌스) 피해액 140억 달러, (허리케인 마이클) 피해액 160억 달러
	필리핀: 300명 이상 사망, 피해자 1,000만 명 이상
가뭄	아프가니스탄: 수십만 명 사망, 피해자 360만 명
	케냐: 피해자 300만 명
	중앙아메리카: 피해자 250만 명 이상
	마다가스카르: 피해자 120만 명 이상

2. 재난 및 안전산업

행정안전부(2018)의 2018 재난 안전산업 실태조사에 따르면, 우리나라 재난 및 안전산업의 시장은 42조 원 규모로 추산되며, 재난 안전산업 사업체의 수는 총 59,251곳으로 사업체당 매출액은 7억 1,000만 원으로 알려져 있다. 이는 2011년 50억 달러에서 2021년 106억 달러로 추산되어, 연평균 7.5%의 상승 폭을 보이고 있다. 또한, 업종별로는 재난대응산업 12조 8,062억 원(30.6%), 사회재난 예방산업 11조 6,700억 원(27.9%), 기타 재난 관련 서비스업 7조 4,319억 원(17.8%), 자연재난 예방산업 5조 6,460억 원(13.5%), 재난복구산업 4조 2,996억 원(10.2%) 순으로 조사되었다.

세계적으로 재난 및 안전 관련 산업의 규모는 계속 성장일로에 있다. 2011년 2,537억 달러의 규모였는데 2021년에는 4,940억 달러에 이를 것으로, 연평균 6.9% 상승할 것으로 추산된다.

그림 7. 우리나라 안전산업. 우리나라 안전산업의 규모는 매출액 기준 대략 42조 원으로 추산되고 재난 대응과 사회재난 관련 산업이 58%의 규모를 차지하고 있다.



(출처 : 행정안전부 2018, 뉴시스 2019)

III 재난 위험도 평가

앞서 1.1절에서 논의한 대로 <수식 3>과 같이 재난의 위험을 도출하기 위해서는, 해당 재난의 규모와 가능성을 계산하고 추정해야 한다. 우선 발생 가능성과 별개로 재난의 영향과 규모를 적절히 측정해야 한다. 다행히 그 규모는 경제적인 시각⁶⁾과 기술공학적 측면에서 비교적 쉽게 산정될 수 있다. 그러나 재해의 규모나 영향은 매우 크지만, 발생 가능성이 낮은 재난위험이 무시될 가능성이 상당히 높다(Mastrandrea et al 2010). 이들은 발생 확률상 분포의 꼬리(tail)를 차지하고 있어서 ‘안 일어날 가능성이 (매우) 높다’고 평가되어 위험보다는 ‘불확실성(uncertainty)’이라는 말로 포착되기 때문이다. 따라서, <수식 3>에 나타난 바와 마찬가지로 위험도를 수치화(risk quantification)하는 데에는 반드시 발생의 가능성을 추정해야 할 필요가 있다. 이는 대개 다음의 두 방법을 바탕으로 수행된다.

- ① 기존 자료에 기초한 역사적 방법(historical values)
- ② 시뮬레이션 등의 가상 모형화(modeling)

그럼에도 불구하고 발생의 가능성을 추정하는 일은 쉽지 않다. 이러한 가능성을 단순히 확률의 개념으로만 포착하기 어렵기 때문이다. 다른 말로 <그림 3>의 우도를 도출하는 일이 쉽지 않다는 말이다. 한 예로 ‘비 올 가능성’이란 말에서 확률의 뜻은 사실 아주 명확하지는 않다.

이러한 어려움에도 불구하고 발생 가능성 $f(x)$ 를 추정하기 위한 다양한 방법들이 적용되고 연구돼 왔다. 이들을 적절하게 추정하기 위한 방법으로는 컴퓨터를 이용한 위험도 시뮬레이션이 적극적으로 활용돼 왔다. 특히 베이지안 통계학의 경우, 알고 있는 상황들이 옳을 확률을 계산하는 것이 쉽지 않았으나, 컴퓨터의 발전에 힘입어 거대규모의 시뮬레이션을 수행함으로써 이를 극복했다. 이 절에서는 통계학(빈도주의)의 입장, 주관적 확률인 베이지안 통계의 입장, 그리고 최근 주목받고 있는 머신러닝(기계학습)의 입장에서 사용된 방법들을 소개한다.

6) 비용-편익 분석(cost-benefit analysis)가 그것이다.

1. 통계학을 이용한 접근

통계적 위험(statistical risk)은 통계적 방법을 사용하여 상황의 위험을 정량화한다. 이 방법은 특정한 변수의 확률분포 전체를 얻거나, 이 분포를 정의하는 모수(parameters)를 추정하는 데에서 출발한다. 이렇게 추정된 분포로부터, 해당 재난의 발생 가능성 확률을 얻을 수 있다. 즉, 위험의 확률을 얻는데 사용된다.

이렇게 가능성을 의미를 담지한 확률은 수학적 공리 위에 성립하여 사용되고 있을뿐, 실존하지는 않는다는 점에 유의할 필요가 있다. 예컨대,

$P(E) \in \mathbb{R}, P(E) \geq 0 \quad \forall E \in F$	$P(F) = 1$	$P\left(\bigcup_{i=1} E_i\right) = \sum_{i=1} P(E_i)$
수식 4	수식 5	수식 6

<수식 4>는 사건 F에 속하는 각 경우 E들의 발생확률 P(E)가 항상 0보다 큰 양수여야 함을 뜻한다. 그 모든 경우의 확률 합은 1(즉 100%)이 되어야 한다(수식 5). 마지막으로 각각 독립적인 사건들의 경우를 고려할 때 그들 몇몇의 발생확률은 그 확률값들의 합으로 표현된다(수식 6). 적은 수의 사건들을 포함하는 더 많은 사건의 집합 확률은, 적은 수의 확률보다 항상 크다.

이들에 기초하여 확률은 빈도주의적으로 정의된다. 여기에서도 알 수 있듯이 우리는 일어난(일어날) 사건의 개수를 세고, 전체에 비해 이들의 발생빈도를 따져 확률을 정의한다. 즉 ‘내일 비 올 확률’도 빈도에 의거해 정의된다. 물론 확률의 입장에서라도 “역사적으로 수만 년 동안 비 온 날들 중 내일의 상태”가 아니라 “비가 올 기상의 여러 상태 중 내일의 기상 형태와의 유사도”로 정의된다. 이 정의를 따르는 빈도주의 통계의 입장에서 다양한 발생 분포를 가정하고, 재난과 사변의 위험을 계산하는데 요구되는 발생 가능성을 추정해 왔다.

사실 이러한 통계적 위험은 재무학이나 경제학에서 먼저 출발했다⁷⁾. 이후 재난을 비롯한 다양한 상황을 고려하여, 현상에 따라 사용할 수 있는 여러 가지로 활용되고 있다. 예를 들어, 투자 수익과 같은 연속형 변수의 통계적 위험의 척도는 간단히 이들 변수로부터 추정된 확률분포의 분산 혹은 표준편차이다.

7) 통계(statistics)라는 말의 어원 자체도 원래 국가(state)의 세수를 파악하기 위해 국민국가의 경제 상황을 조사하는데 뿌리가 있다.

이러한 통계적 위험에는, <수식 2>의 위험도 함수 $R(x)$ 를 비교함으로써 어떤 상황 A의 위험도가 다른 경우 B의 위험도보다 명확하게 클 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. 이는 대략적으로 B의 확률 밀도를 “확산”시켜 A의 확률밀도함수를 만들어낼 수 있는 경우에 그러하다. 물론 이는 위험도 함수 $R(x)$ 의 $f(x)$ 가 동일하다고 하더라도, 그를 구성하는 재난 규모 $s(x)$ 가 변하면, A와 B의 위험도도 달라질 수 있다.

이렇게 위험도를 비교할 수 있는 방법을 실제로 적용하기 위해서는 <수식 2>의 $s(x)$ 와 발생 가능성 $f(x)$ 를 얻어야 한다. 이는 빈도주의적 통계학의 정의에 따라, 기존에 발생했던 재난들(samples)을 가장 잘 표현하는 분포함수를 찾는 데에서 출발한다⁸⁾. 기존 재난들의 수가 적어 발생 가능확률을 제대로 측정하지 못하는 경우를 고려하여, 푸아송 분포와 같은 여러 가지 다른 분포들을 활용하기도 한다. 또한, 샘플들로부터 얻어낸 여러 모수의 추정치가 얼마나 정확하지 않은가를 고려하기 위한 불확실성(uncertainty)도 활용되고 있다.

우선 통계적 위험도 산출 방법에서 가장 먼저 해야 할 일은 기존에 발생했던 재난들의 정보를 수집하는 것이다. 앞서 말한 <수식 1>의 위험요소(hazard) H 를 기준으로 재난들을 선정하고 발생확률 분포를, 그를 구성하는 샘플로써 모은다: 즉, 재난연감과 같은 기존의 통계자료로부터 발생 현황과 피해 데이터를 구축한다. 이를 통해 사고의 발생비율을 고려하는데, 간단한 정규화식을 활용하는 경우가 많다.

$$\hat{f}(x) = \frac{num(x)}{\sum_{x \in D} num(x)}$$

수식 7

이 값을 통해 적절한 발생확률의 분포를 선정하고, 관련된 모수를 도출하여 고려하는 재난의 분포 $f(x)$ 를 얻는다.

국내의 위험도 관련 연구에도 이러한 기법은 매우 자주 활용되고 있다. 자연재해나 화재와 폭발, 건물 붕괴 등의 위험도 평가를 위해서 발생확률을 이용하여 통계적 위험도 분석 기법을 제안하거나(Park 2009), 사고의 발생 건수를 세어 여러 가지 사건·사고로부터 위험도가 높은 군을 골라내는 등의 연구(Cho and Park 2016)가 있었다. 통계적 위험도 분석 방법에 기초를 두고 화재, 건물 붕괴, 교통사고 등의 재난의 위해지수를 제안한 연구는, 발생 건수, 사망자, 재산피해의 통계적 자료를 수집하여 활용하는 데에서 비롯됐다(Lee et al. 2016).

8) 다시 말하면, 기존의 샘플들의 모수값이 전체 집단의 모분포의 모수값을 잘 나타낼 수 있다고 믿는데에서 논의가 시작된다: 중심극한의 정리가 적용되는 이유이다.

이러한 통계적 평가 방법의 유용성에 대한 비판도 적지 않다. 재난의 샘플을 다 모을 수 있겠는가 하는 점이 첫째이다. 또한, 이 방법은 지나치게 정량적이고 환원적이라는 점이다(Commoner and O'Brien 1997). 통계적 위험평가 방법은 전술한 바대로 통계적 '분포 접근'의 근본적 가정과 한계로 인해서 서로 다른 종류의 재난들이 갖는 차이가 무시된다. 셋째로 위험에 노출된 사람들을 걸러 낼 수 없다는 점과 계량화가 어려운 사회적 파장과 같은 중요 변수가 제거될 수 있다는 점도 단점으로 꼽힌다. 즉, <수식 1>에서 제시된 취약성 V에 대한 고려가 어렵다는 점이다(Kasperson et al. 1988). 정규분포 등에 기초를 두고 있는 확률적 정의에 따르고 있으므로 꼬리가 두터운 분포에 대한 고려가 없다는 점 때문에, 이 방법의 유용성이 매우 낮게 평가되기도 했다(Taleb 2008).

2. 베이저안 접근

토머스 베이즈 신부(Thomas Bayes, 1702~1761)가 주창한 개념인, 베이스주의를 따라 보다 주관적인 관점에서 확률이 정의되기도 한다. 그는 '신부'로서 신의 관점에서 '모든 상황을 다 인간이 셀 수 없다'는 전제를 바탕으로 '알' 으로서 확률을 고찰했다. 베이저안 확률은 합리적인 기댓값(Cox 1946)으로서 정보의 정도(Jaynes and Justice 1986) 혹은 주관적 믿음(de Finetti 2017)을 뜻한다. 이를 표현하면,

$$P(x|k) = \frac{P(k|x)P(x)}{P(k)}$$

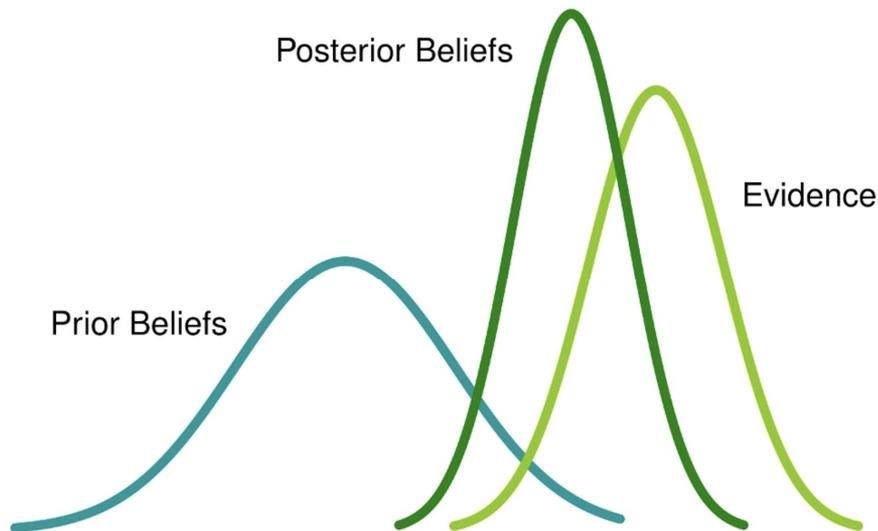
수식 8

사후 확률로 불리는 $P(x|k)$ 는 주어진(혹은 이미 알고 있는) 상황 k 에서 사건 x 의 확률을 뜻한다. 사건 x 에 대한 발생확률 $P(x)$ 를 알고 있다고 하자⁹⁾. 이를 상황들이 옳을 확률 $P(k)$ 로 나누고, 여기에 가능성도 혹은 우도로 불리는 $P(k|x)$ ¹⁰⁾를 곱한다. 최종 정보로서 확률 $P(x|k)$ 를 얻게 된다. 이를 정보이론(Information theory)에서는 '정보의 업데이트'라고 부르고, <그림 8>은 이 과정을 간략히 보여준다.

9) 임의로 정할 수 있다고 하고, 따라서 사전확률로 부를 수 있다.

10) 이는 사건 x 를 아는 경우에 상황 k 의 확률이다.

그림 8. 베이지안 확률과 분포. Prior Beliefs로서 처음 확률분포를 추정한다. 차후에 $P(k)$ 와 우도 $P(x|k)$ 를 이용해 이들은 Posterior Beliefs로 점차 업데이트되어 간다. 주어진 상황에 대한 관찰 값들이 늘어갈수록 더 옳은 발생확률분포를 갖추게 된다.



‘내일 비 올 확률’은 “어제까지 비가 왔다고 할 때 오늘은 어떨까?”를 바탕으로 하되, 새롭게 비가 오는지 아닌지를 관측하여 관찰자가 가지고 있는 주관적인 확률분포 값을 조절한다. 그를 통해 “오늘까지 비가 왔다고 할 때 내일 비가 올 확률은 어떨지?”를 추정할 수 있다. 여기에는 앞서 지적한 대로 처음의 분포 예측과 새로운 관측값을 통한 업데이트가 사용된다.

3.1절에서 고찰한 통계적 위험도 분석을 따져보면, 발생 가능성 $f(x)$ 를 제대로 추정하기에는 실제로 경험적 데이터가 항상 부족하다(동아비즈니스리뷰 2010). Apostolakis(2004)는 통계적 위험분석에 사용된 빈도주의적 기법에 의문을 제기하여 오래된 데이터베이스에서 검색하여 연구 시스템에 적합하지 않을 수 있다고 논하며, 또한 확률 계산이 데이터 부족으로 인해 크게 영향을 받는다고 했다. 그러므로 일부의 통계적 위험도 문제는 평가 및 예측 시점에 가상적인 상황을 가정할 수 밖에 없다(이 점 때문에 ‘다룰 수 있는’ 분포를 가정하는 것이다).

언뜻 생각해보아도 중간 규모 이상의 재난이 그렇게 자주 일어나지 않는 것을 떠올릴 수 있다. 관련된 경험 데이터를 수집하는 일은 매우 비현실적이거나 비윤리적일 수도 있고, 심지어는 아예 불가능할 수도 있다. 위험도 분석에서 우려되는 상황은 새롭고 전에는 연구된 적이 없기도 하거니와, 위험한 상황을 만들어

널 수(심지어는 상상할 수)조차 없다. 어찌 보면 이는 통계적 위험도 분석의 근간이 가지는 약점일 수도 있겠다. 따라서 위험도 분석의 경우에 다음과 같은 문제점을 피하기가 쉽지 않다.

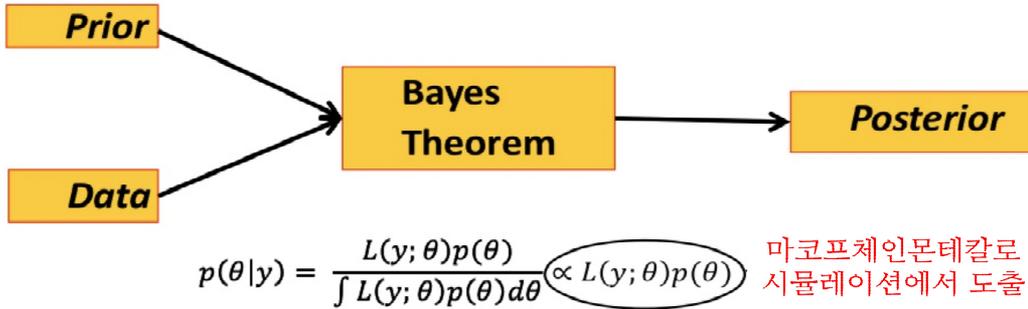
- 일부 변수의 경험적 데이터가 거의 없거나 전혀 없다.
- 분석가의 판단에 따라 주관적으로 선택된 정보가 있을 수 있다.
- 평가에 사용된 수리적 모형의 불확실성이 클 수 있다.

이러한 문제를 해결하는데 베이지안 통계가 매우 유용하다. 앞에 소개한 바대로, 기본적으로 베이지안 접근은 확률 모형의 모수가 불확실성을 갖는다고 가정한다. 특히 주관적인 확률분포를 가정하고, 추가되는 관측값들에 따라 이들이 얼마든지 변화될 수 있으므로 전문가 의견이나 개인적 판단과 같은 정보를 공식적으로 사용할 수도 있다. 또한, 경험적 데이터가 전혀 없을 경우라도, 컴퓨터 시뮬레이션이나 향후 도출되는(재난의) 경험 데이터로 이를 업데이트하여 정확도 높은 답을 얻을 수 있다. 최근에는, 모형이 갖는 불확실성이 왜 중요하며 이들이 어떻게 정량 분석에 통합될 수 있는지가 다뤄지고 있다.

발생 가능성 $f(x)$ 를 만들어내기 위해 베이지안 모형을 사용하는 위험도 분석은 다음과 같은 과정을 따라 수행된다.

- 초깃값으로서 선험모형(prior beliefs)을 설정하고 이의 분포를 정한다
- 예측 식을 마련하고 불확실성의 변수를 설정한다
- 관측값으로 활용되는 샘플 데이터들을 수집하고 분석한다
- 우도(likelihood) 등으로 표현되는 새로운 정보를 기반으로 추정값을 업데이트한다
- 업데이트의 경우에 관측값을 포함하기 위해서 마르코프 체인 몬테카를로(Markov-Chain Monte Carlo, MCMC) 방법과 같은 대규모의 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한다
- 모형의 불확실성을 계산하여 보고한다

그림 9. 베이지안 통계와 몬테카를로 기법. 베이지안 업데이트를 활용하기 위한 데이터 생성에는 몬테카를로 기법을 통한 컴퓨터 시뮬레이션이 사용된다.



베이지안 기법과 몬테카를로를 활용하여 샘플의 수를 늘리면, 처음에 가정했던 모호한 모형을 더 신뢰할 수 있는 형태로 개선해 갈 수 있다. 이를 통해 재난의 위험 발생 가능성의 경제값에서 보다 적합한 수치를 만들어낼 수 있다. 즉, 분포의 꼬리 부분에 대한 고려를 더 늘릴 수 있다. 사실 몬테카를로 기법은 수학적으로 단순하게 구현할 수 있기 때문에, 위험도 분석에 자주 사용되고 있다. 특히 변동성(variance or volatility)과 구별되는 불확실성을 설명하기 위한 자연스러운 접근 방식으로 사용된다.

실제로 국내에서도 재난의 규모를 막론하고 그 유용성과 접근의 용이함으로 인해 위험도와 관련된 여러 다양한 분야에 응용되고 있다(동아비즈니스리뷰 2010). Kim et al. (2013)은 항공기 관련 재료의 파손 위험도를 계산하는데 베이지안 방법을 활용했다. 홍수 등의 피해의 위험도를 산정하는데에도 활용되었고(You 2004), 도로 터널의 위험도 분석에도 효과적임이 보여졌다(Cho et al. 2016). 베이지안 접근을 이용하여 사고로서 발생 가능성이 높지 않은 보험의 위험도를 측정하는 데에도 이용되었으며(Jo et al. 2016, Kim et al. 2014), 범죄의 위험도를 지리정보와 결합해 추정하는 연구도 있었다(Heo et al. 2017).

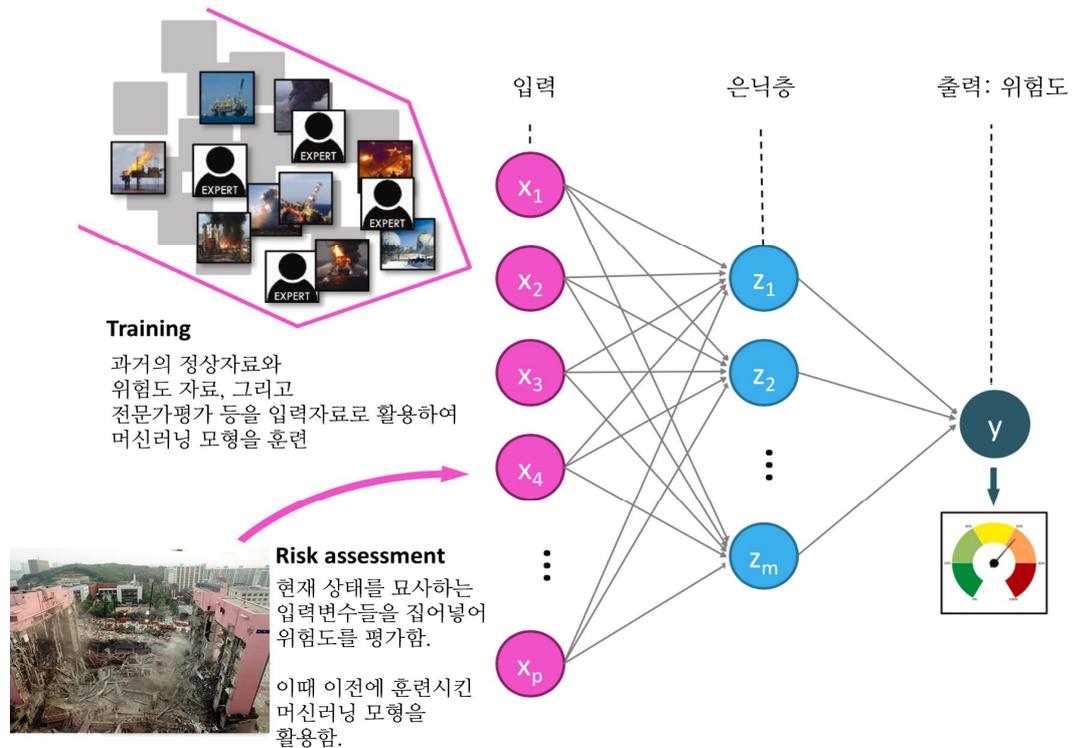
물론 베이지안 통계적 방법에도 몇 가지 유의할 점이 있다. 불확실성을 모형에 포함시킬 때 그 적절성의 정도(level of fairness)에 대한 고려가 적다는 점이다. 즉, 어떤 모수에 얼마만큼의 불확실성을 부과할지에 대한 논의가 쉽지 않다. 그리고 정보를 압축하기 위해서 평균의 개념을 자주 사용하는 경우가 많다. 이는 변동성의 영향을 다음 단계로 전달하기보다는 지우는(smear out) 경향이 있다. 마지막으로 경험데이터나 정보가 특정한 분포를 나타내지 못하는 경우, 위험도 분석가가 특정한 분포로 처리하여 업데이트의 속도를 느리게 만들 수도 있다.

3. 머신러닝 방법론

Landucci(2016a, b)는 원치 않는 재난이나 사변의 영향이 항상 고려돼 예측되는 것은 아니라고 논평했다. 그러니까, “가능한 모든 시나리오 $S_i, i=1, \dots, n$ 을 포함하는 전체 위험을 알 수 있는가? 이들을 평가하려면 우리는 어떻게 해야하는가? 아무것도 빠지지 않고 $n=n_{max}$ 라는 것을 어떻게 장담할 수 있는가?”라는 질문에 정확히 답하기란 사실 불가능하다. 수학적으로도 우리는 “비정형적인” 시나리오에서 벗어날 수 있다고 확신할 순 없다(Paltrinieri et al. 2014). 다시 말하면, 원치 않는 사건이나 최악의 시나리오를 정상적으로(normal) 기대할 수는 없다(Villa et al. 2016).

근래에 들어 여러 관심이 머신러닝(기계학습) 방법에 쏠리고 있다. 위험의 발생 가능성을 도출하기 위해서도 이 방법이 응용되고 있다.

그림 10. 머신러닝 기법과 신경그물망의 위험도예의 응용



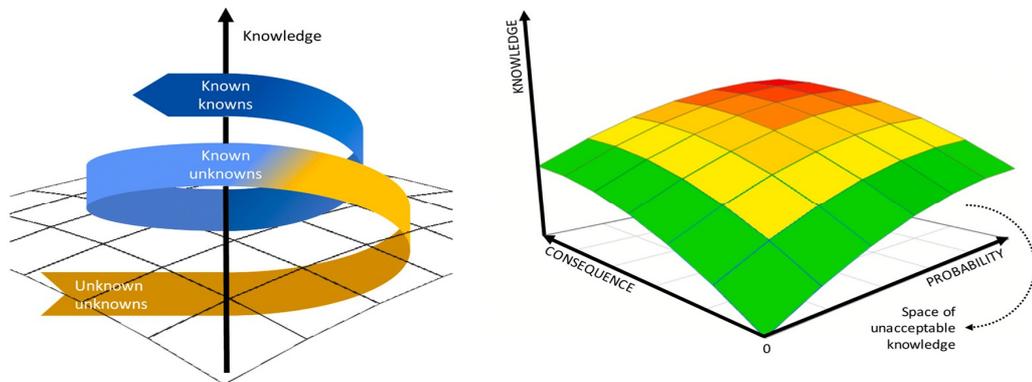
2 재난시뮬레이션영역소분서및의합치역주민에대한사전고지방법의 소개

이전과 달리 단순한 예측에 그치지 않고 지속적으로 위험도를 평가하며, 과거의 경험치를 학습하여 관련 데이터를 처리하는 위험도 평가 기술에 대한 요구가 늘고 있는 상황에, 머신러닝은 매우 적절한 방법으로 여겨진다. 특히, 심층신경망(Deep Neural Network, DNN) 모형이 많이 활용되고 있는 실정이다. <그림 10>은 이러한 활용 예를 보이고 있다. 정상상태의 여러 변수들을 넣어 머신러닝 모형을 훈련시키고, 이 모형에 현재 상태 값을 집어넣어 위험도를 평가한다. 물론 상태 등의 값은 입력이 되고 위험도 값이 출력으로서 가능하다.

머신러닝을 긍정적으로 평가한, Diekmann(1922)은 복잡한 위험도 분석을 간단하게 수행할 수 있는 새로운 분석 도구가 등장하고 있다고 적시했다. 특히 위험도 예측을 제대로 하기 위해서는 수리 및 컴퓨터공학 분야가 기초가 되어 다양한 데이터를 수집할 수 있는 학제 간 협력을 제안했다. 그러면서도 위험도 분석과 발생 가능성 해석에 대해서는 인공지능과 머신러닝의 진보와 발전에 더욱 의존할 수밖에 없다고 했는데, 이는 새로운 컴퓨터와 지식표현의 방식이 필요하다는 그의 평소 주장과도 맞닿아 있다. 사실 이러한 예측은 이미 30여 년 전부터 있었는데도 불구하고 현실화되기 어려웠다.

현재에는 머신러닝 모형이 점차 개선되고 컴퓨터 리소스의 기하급수적인 증가로 인해서, 위험도 분석에 있어 인공지능이 더욱 적극적으로 사용되고 있다(Goodfellow et al. 2016). <그림 11>에서 설명되듯, <수식 2>와 <그림 3>처럼 발생 가능성이 높고 규모가 큰 위험에 대해서는 우리는 잘 파악하고 있다(그림의 빨간색 부분). 그러나 그렇지 않은 경우를 잘 알지 못하며 데이터도 많지않다(그림의 녹색 부분). 이를 어떻게 처리해야 하는가가 최근에 대두된 머신러닝 기반의 위험도 분석의 중점 분야이다.

그림 11. 주어진 상황의 파악과 지식. 우리는 위험도를 측정하고 계산하기 위해서 주어진 모든 상황을 다 파악할 수 있는가(Villa et al. 2016)?



안타깝게도 머신러닝 기법은 국내의 위험도 해석 분야에서는 아직 활발히 활용되고 있지 않다. 해외에서도 거대규모 재난보다는 적은 규모의 재난이나 금융사고 등에 주로 활용되고 있다. 금융 분야에서는 머신러닝을 이용하여 위험도 분석을 수행할 때에 구분자(Classification Learner)와 회귀자(Regression Learner)가 주로 이용되고 있다. 매우 간단하게 구현된 예가 있는데, 사기 위험도를 평가한다던가(Kawee Numpacharoen, 2018a), 구분자 머신러닝을 이용해 신용카드의 오용을 찾아내고 있는 등의 사례(Kawee Numpacharoen, 2018b) 등이다. 이들 모두 ‘평시와 다른’ 상태를 고려한 모형으로 보고 위험도를 얻는다.

여러 가지 이점에도 불구하고 머신러닝의 경우에 본질적으로 모형이 가지는 한계를 반드시 고려해야 한다. 특히 관련된 적절한 데이터를 사용해야 함은 물론이고¹¹⁾, 제대로 수렴하기 위한 모형을 선택해야 하는 등의 몇몇 숙제가 남아있다.

11) 머신러닝 기법의 최대 약점이다.

IV 위험도에 기반한 재난 대응

“피해를 최소화하라!” 이는 재난대책의 기본이다. 재난이 발생했을 때 건물 파괴나 지층의 붕괴, 도로 피해와 같은 물리적 사변뿐 아니라 이로 인한 사회·경제적 손실과 인명 피해의 규모도 평가돼야 한다.

재난의 위험도 평가에서는 초점을 맞추고 있는 재난의 관측값(지진의 경우라면 지층의 운동 관련 자료)과 재난의 피해 규모 계상값(지진이라면 건물 및 시설 손상을 사용하여 연간 예상 손실)을 이용하여 가능한 최대 손실(maximum loss)을 산출한다. 이를 통해 위험에 대해 포괄적으로 진단할 수 있다. 여기에 확률(취약성) 평가와 위험도를 파악함으로써 비용-효율성을 기준으로 재난대책의 우선순위를 지정할 수 있겠다(Bower et al. 2017).

즉, 재난에 대응하기 위해 먼저 결정돼야 하는 것은 재난의 중요도이고, 이는 앞선 3절의 방법을 통해 얻을 수 있다. 이를 일컬어 ‘시뮬레이션에 기초한 정책 수립’이라고 부른다.

흥미로운 것은, 이러한 방법을 가장 효과적으로 활용하는 분야는 보험 산업 및 부동산 거래와 관련된 자산평가 산업이다. 최근에는 부동산을 평가하는데 있어, 그 소유권 및 대출 저당권 등을 증권화하는 부분이 중요하게 다뤄지고 있기 때문이다. 즉, 건물의 자산 가치에 대한 평가 기준 중 하나로 재난과 그 위험도를 고려하기 시작했다. 이는 위험도가 수치화되는 현실에 기반하고 있다.

정책 수립과 자산평가 등에 쓰이는 위험도 평가와 관련하여 다양한 시뮬레이션이 수행되는데, 특히 가능 최대 손실(Probable Maximum Loss, PML) 계산은 대부분 보고서에 활용되고 있다.

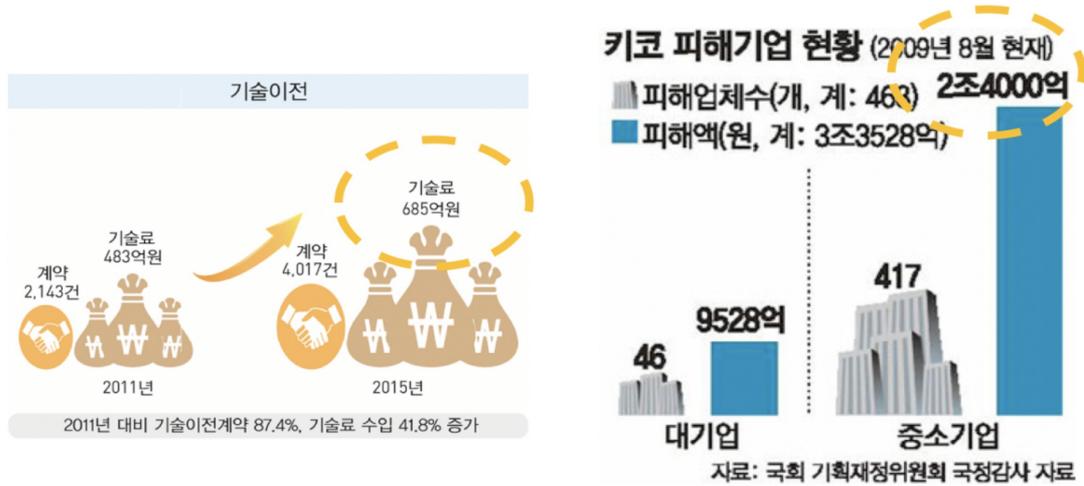
V 향후 연구의 방향과 결어

재난을 예측하기 위해서는 이들이 계량화되어야 하는데, 여기에서 재난의 위험도 계산이 요구된다. 이 위험도는, <그림 2>와 <수식 2>처럼 재난의 발생 가능성과 그 영향 규모를 동시에 고려해 계산된다.

우선 재난의 영향과 규모는 경제적인 시각과 기술공학적 측면에서 비교적 쉽게 얻어진다. 그러나 단순히 확률의 개념으로만 포착하기 어렵기 때문에 발생의 가능성을 추정하는 일은 쉽다. 따라서 이 값 $f(x)$ 를 추정하기 위한 다양한 방법들이 적용되고 연구돼 왔다. 이를 위해 대표적으로 사용되어 온 통계적 방법과 비교적 근래에 사용된 베이지안 통계적 방법, 그리고 아주 최근 주목받고 있는 머신러닝의 기초적 개념들을 살펴보았다. 요즘에는 다수의 폭발적으로 증가한 데이터의 수와 기하급수적 컴퓨터 기술의 발전이 큰 도움이 되고 있다.

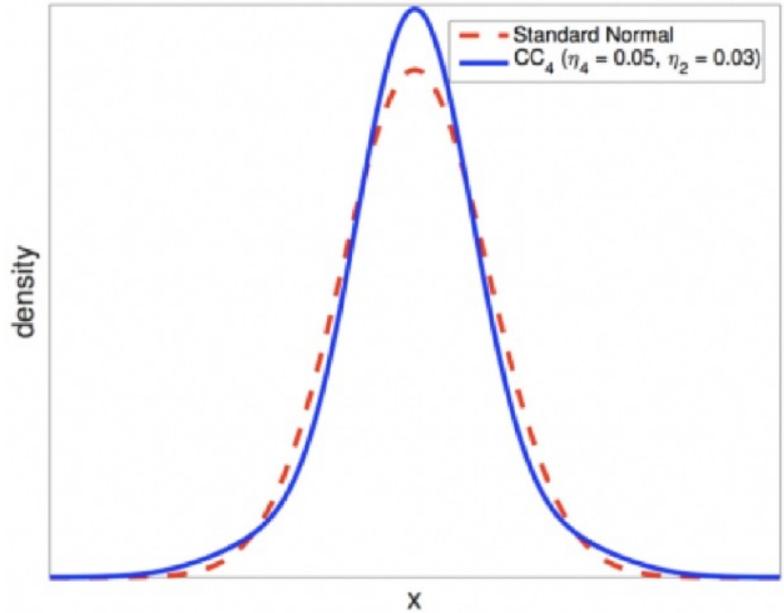
향후 이러한 재난과 재난 위험도 연구가 더 확장될 것으로 생각된다. 우선 단순한 자연재해나 인재 등에만 국한될 것이 아니라, 행정안전부의 정의처럼(행정안전부 2019) 금융사고 혹은 정치 변동 등 사회적 재난으로 확대되어야 한다. 실제로 금융재난의 규모는 엄청나게 크다. 정부출연연구소들의 기술료가 2015년 현재 연간 685억 원인데 반해, 2010년 산출된 금융재난 '키코'로 피해를 본 기업의 피해액은 2조 4,000억 원에 달한다. 2019년 발생한 DLS(Derivative Linked Securities) 사태는 약 70%에 가까운 손실을 가져온 대표적 금융재난임에 틀림없다. 이러한 재난도 위험도로 파악되어 관리의 영역으로 더 깊이 들어와야 할 것이다.

그림 12. '키코사태'로 피해를 본 기업의 피해액



방법론적인 측면에서도 위험도와 관련된 기초연구는 더욱 성장해 갈 것으로 기대된다. 첫째로 발생 위험의 측정(measurement)과 평가(evaluation)를 위해 사용되는 분포와 관련하여, 이제까지와는 달리 '꼬리가 두꺼운 확률분포'에 초점이 맞춰지고 있다. KIST 계산과학연구센터 역시 이러한 확률분포의 수리적이고 기초적인 연구를 진행하고 있다. 나아가 이들 분포를 제공하고 난수를 발생시켜 추정치를 제공하는 거대규모 컴퓨터 시뮬레이션 플랫폼도 구축 중에 있다. <그림 13>의 꼬리가 두꺼운 분포의 예를 보이고 있다: 파란 실선에서 알 수 있듯이 첨도(kurtosis)가 상승하면서 꼬리가 두껍게되고 이는 '(재난의 규모가 커서) 잘 안 일어나는' 사건의 확률값이 더 커지게 만드는 수리적 효과를 담보한다.

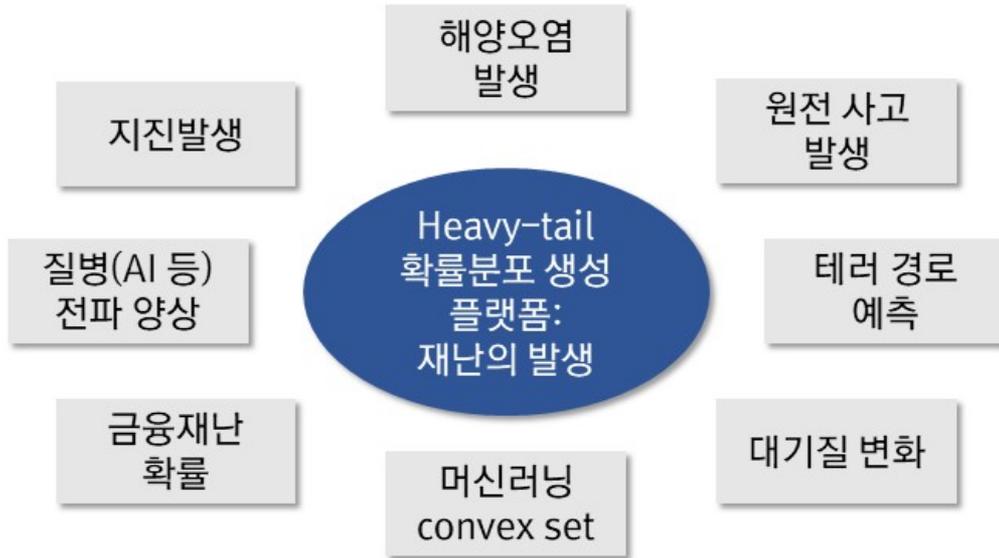
그림 13. 꼬리가 두꺼운 분포. 빨간 점선은 정규분포(normal distribution; Gaussian distribution)를 나타내고, 파란 실선은 꼬리가 두꺼운 분포이다.



즉, 머신러닝을 수치적으로 활용하기 위한 ① 조건부 업데이트 기법과 ② 확률분포 플랫폼 기술도 포함되어 있다.

그에 더불어 향후 정보기술(IT)에 기반한 시스템 분야로 연구 영역의 확대도 필요하다. 그뿐 아니라, 재난의 발생확률 외에도 <수식 2>의 $s(x)$ 로 표현되는 재난의 비용 등을 예측하기 위한 재난 규모 평가 시뮬레이션 등이 요구된다. 이외에도 우리의 재난 대응 기술을 획기적으로 증진시킬 수 있는 기술로서, 위험의 측정과 관측, 재난 과정 자체의 모사(시뮬레이션), 위험도 결괏값 평가, 재난 관련 직접 대응 관련 기술, 정책 수립 프로세스 마련, 재난 위험도 관련 홍보 등을 꼽을 수 있다.

그림 14. KIST 계산과학연구센터의 연구분야인 '꼬리가 두꺼운 확률분포'와 재난 대응 응용 범위



나아가 재난의 시작부터 끝까지를 묶을 수 있는 통합 플랫폼 기술도 고민해 볼만하다. 예컨대, 재난 시뮬레이션 및 위험도 평가 기술을 바탕으로 하여, 4차 산업혁명 핵심 기술인 인공지능, 드론, 센서 기술을 통한 적극 대응 방안도 구현할 수 있을 것이다. 이들은 모두 최근 국가적 이슈로 부상한 지진 모니터링/대응/재활을 위한 솔루션기술의 기초가 될 것으로 기대된다.

저자_ 김찬수(Chansoo Kim)

• 학력

서울대학교 경제학부 박사 수료
MIT Nuclear Science & Statistical Physics 석사
서울대학교 컴퓨터공학 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 연구원

참고문헌

1. Addis Ababa, "Disasters & emergencies: Definitions", World Health Organization International, 2002.
2. George E. Apostolakis, "How useful is quantitative risk assessment?", Risk Analysis, 24(3):515-520, 2004. doi: 10.1111/j.0272-4332.2004.00455.x.
3. Andrew Bower, Jozias Blok, Maddalena Dali, Nicolas Faivre, Torben Fell, Sander Happaerts, Ioannis Kavvadas, Pierre Kockerols, Agnès Marta Molnar, Philippe Quevauviller, Ghislain Pascal, and Françoise Villette., "Chapter 1. current status of disaster risk management and policy frameworks", Science for Disaster Risk Management Centre, 2017.
4. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters(CRED), "Natural Disasters 2018", 2018.
5. Inuh Cho, Dae yong Han, Seung jin Kim, and Jong ku Yoon., "On the methodology modelling of risk assessment in road tunnels", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 17:59-73, 2016.
6. S.J. Cho and D.K. Park., "Identification of high-risk major accident types in Korea based on occurrence trend analyses", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 16:103-110, 2016.
7. Barry Commoner and Mary O'Brien. Shrader-Frechette and Westra. 1997.
8. R.T. Cox, "Probability, frequency, and reasonable expectation", American Journal of Physics, 1:1-10, 1946.
9. Bruno de Finetti, "Theory of Probability: A critical introductory treatment", John Wiley & Sons, Chichester, 2017.
10. E.J. Diekmann, "Risk analysis: lessons from artificial intelligence", International Journal of Project Management, 10:75-80, 1992.
11. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville., "Deep Learning", MIT Press, 2016. <http://www.deeplearningbook.org>.
12. Sun-young Heo, Ju-young Kim, and Tae-heon Moon., "Crime incident prediction model based on bayesian probability", 한국지리정보학회, 20:89-101, 2017.
13. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. "What is a disaster?", <https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>, (accessed Oct. 7, 2019), 2017.
14. E.T. Jaynes and James H. Justice., "Bayesian Methods: General Background", page 1-25. Cambridge University Press, 1986.

15. J. Jo, J. Ji, and H. Lee., “베이지안 접근법과 모수불확실성을 반영한 보험위험 측정 모형”, *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 27:9-18, 2016.
16. R.E. Kasperson, O. Renn, P. Slovic, J. Brown, H.S.; Emel, R. Goble, J.X. Kasperson, and S. Ratick., “The social amplification of risk: A conceptual framework”, *Risk Analysis*, 8:177-187, 1988.
17. Matlab Kawee Numpacharoen., “Machine learning applications in risk management: Fraud detection using machine learning”, <https://kr.mathworks.com/videos/machine-learning-applications-in-risk-management-fraud-detection-using-machine-html>, (accessed Oct. 25, 2019), 2018a.
18. Matlab Kawee Numpacharoen, “Classifying credit card default using the classification learner app”, <https://kr.mathworks.com/videos/machine-learning-applications-in-risk-management-classifying-credit-card-default-html>, (accessed Oct. 25, 2019), 2018b.
19. Keun Won Kim, Dae Han Shin, Joo-Ho Choi, , and KiSu Shi. “A study on the modeling of pof estimation for probabilistic risk assessment based on bayesian method”, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciencen*, 41:619-624, 2013.
20. Myung Joon Kim, Ho Young Woo, and Yeong Hwa Kim., “Bayes risk comparison for non-life insurance risk estimation”, *The Korean Journal of Applied Statistics*, 27:1017-1028, 2014.
21. Paltrinieri N. Landucci, Gabriele, “A methodology for frequency tailorization dedicated to the oil & gas sector”, *Process Saf. Environ. Prot.*, 104:123-141, 2016a.
22. Paltrinieri N. Landucci, Gabriele., “Dynamic evaluation of risk: from safety indicators to proactive techniques”, *Chem. Eng. Trans.*, 2016b.
23. K.H. Lee, W.H. Yi, and W.J. Yang., “A study on risk analysis of social disaster”, *Journal of Korean Society of Disaster and Security*, 9:15-21, 2016.
24. Henry George Liddell and Robert Scott. *A greek-english lexicon*. <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/>, (accessed Oct. 10, 2019), 2019.
25. M. D. Mastrandrea, C. B. Field, T. F. Stocker, O. Edenhofer, K. L. Ebi, D. J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K. J. Mach, P. R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers., “Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties”, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2010.
26. MindTools. Risk. <https://www.mindtools.com/>, (accessed Oct. 7, 2019), 2016.
27. Nicola Paltrinieri, Faisal Khan, Paul Amyotte, and Valerio Cozzani. *Dynamic approach to risk management: Application to the hoeganaes metal dust accidents*. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6):669 – 679, 2014.

28. S.S. Park. Probabilistic risk evaluation method for human-induced disaster by risk curve analysis. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 9:56-68, 2009.
29. R. T. Sutton. Esd ideas: a simple proposal to improve the contribution of ipcc wgi to the assessment and communication of climate change risks. *Earth System Dynamics*, 9(4):1155-1158, 2018. doi: 10.5194/esd-9-1155-2018.
30. Nassim Nicholas Taleb. The fourth quadrant: a map of the limits of statistics. *An Edge Original Essay*, 2008.
31. UN Spider. Un spider knowledge portal. <http://www.un-spider.org/>, (accessed Oct. 16, 2019), 2019.
32. Valeria Villa, Nicola Paltrinieri, Faisal Khan, and Valerio Cozzani. Towards dynamic risk analysis: A review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry. *Safety Science*, 89:77 - 93, 2016.
33. World Bank. Disaster risk management. <https://www.worldbank.org/en/topic/disasterriskmanagement>, (accessed Oct. 13, 2019), 2019.
34. Jonghyun You. Estimation of Flood Damage Using Bayesian Approach. Master degree thesis, Inha University, 2004.
35. 국가통계포털(KOSIS), 국가통계포털, <http://kosis.kr/index/index.do>, (accessed Sep.30, 2019), 2019.
36. 국립국어원, 표준국어대사전, <https://stdict.korean.go.kr/>, (accessed Oct. 18, 2019), 2019.
37. 뉴스시, “재난안전산업 42兆대로 커졌지만...절반이 영세업체”, <https://www.msn.com/ko-kr/news/national/oe-42OEoe-OEOE-/ar-BBVdVjV>, (accessed Oct. 20, 2019), 2019.
38. 대한민국 정책브리핑, “국민 안전과 생명을 지키는 안심사회”, http://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148839959&call_from=media_daum, (accessed Oct.15, 2019), 2017.
39. 동아비즈니스리뷰, “위기관리, 과거의 기록만으로 충분치 않다”. https://dbr.donga.com/article/view/1401/article_no/3414, (accessed Oct. 2, 2019), 2010.
40. 행정안전부, “2018 재난안전산업 실태조사”, 대한민국 정부, 2018
41. 행정안전부, “2018 재해연보”, https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?sessionId=cytr61cdNci0cU+cuKONN4LV.node40?bbsId=BBSMSTR_000000000014&ntId=73590, (accessed Oct. 2, 2019), 2018.
42. 행정안전부, “국민재난안전포털”, <http://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/neo/main/main.html>, (accessed Oct. 20, 2019), 2019.



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2019 October vol.5 no.10



융합연구정책센터

Convergence Research Policy Center

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
TEL. 02.958.4980