

# Natech위험의 개념 및 주요 쟁점\*

오윤경\*\*

Issues of Natech Risk Management

Oh, Yoon-kyung \*\*

한국행정연구원(Korea Institute of Public Administration)

제출: 2014년 8월 3일 수정: 2014년 11월 13일 승인: 2014년 11월 28일

## 국문 요약

Natech위험은 자연적 위해요소(natural hazards)로 인해 발생하는 산업사고 또는 기술재난을 의미한다. 유럽, 미국 등 서구 국가들에서는 1990년대 중반부터 Natech위험에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 특히 2011년 동일본 대지진으로 인한 후쿠시마 원자력발전소 사고 이후, 이와 같은 자연·기술 복합재난에 대한 정책적, 학문적 관심이 높아지고 있다.

초기 Natech위험에 대한 연구가 원인인 자연재해의 유형과 발생확률, 결과로 유출되는 유해물질의 종류 및 위험성 등에 대한 공학적 접근이 주를 이루었던 반면, 최근의 연구는 효과적인 관리방안을 모색하기 위한 접근으로 확대되고 있다. 특히 기존의 재난관리와 비교했을 때 차별화되는 Natech재난의 특징들을 중심으로, 불확실성의 문제, 전문 분야 간 통합적 관리의 문제, 책임 소재의 문제 등이 주요 쟁점으로 부각되고 있다.

우리나라의 경우, Natech위험의 개념조차 제대로 소개되지 않았을 뿐 아니라, 복합재난에 대한 학문적, 정책적 논의 역시 부족한 실정이다. 최근의 후쿠시마 원전사고와 유해화학물질 사고 등으로 인해, 원자력 및 화학물질관리 분야의 안전 제고를 위한 정책적 개선이 이루어지고는 있으나, 자연재해 발생 시의 Natech위험 발생에 대해서는 정책적 방안이 여전히 미흡하며, 향후 다양한 정책적, 학문적 교류와 논의를 통해, Natech위험에 대한 사회적 인식 제고 및 연구 활성화가 필요하다.

■ 주제어 ■ Natech위험, 자연·기술 복합재난, 불확실성, 재난관리

## Abstract

Natech risk is a type of complex disasters that natural hazards trigger technological disaster or industrial accidents. Research on Natech risk has been started from the mid-1990s in European countries and the United States, and drawn much more attention after the Fukushima nuclear accident caused by the 2011 East Japan earthquake.

While early studies on Natech risk have focused on the causal natural hazards and possibility to occur, and the resulting spill of hazardous materials from the perspective of science and

\* 본 논문은 2013년도 한국행정연구원 기본과제 보고서 「Natech재난관리방안연구」를 학술논문으로 재구성하였음

\*\* ohyoonyoung@gmail.com

engineering, the recent research interests lie on effective Natech risk management. Especially, emphasizing the difference of Natech risk management from traditional disaster management, issues of uncertainty management, integration between natural disaster and technological disaster, and responsibility, has been drawn attention.

In Korea, Natech risk has not been introduced as a research topic. Although some regulatory improvements have been made in nuclear safety and chemical Substance management after the Fukushima disaster, the potential impact of natural hazards in these areas has not been considered yet. It is necessary to raise the issues of Natech risk management in research and policy areas through active discussion and interdisciplinary approaches.

■ **Keywords** ■ Natech Risk, Complex disaster management, uncertainty, disaster management

---

## I. 서론

고도의 산업화와 기후변화로 인해 현대사회에서는 자연재난 발생 시, 산업 및 기술 인프라에 막대한 영향을 미쳐 대형재난으로 전개될 확률이 높다. 이와 같이 자연재난의 영향으로 발생하는 기술재난을 일컫는 용어로, 'Natech위험(Natural Disaster Triggered Technological Risk)'이 사용되고 있다. EC, OECD 등의 국제기구들은 꾸준히 산업재해기준, 화학사고 예방프로그램 등을 통해 Natech위험에 대한 인식을 넓히고 제도적 개선을 위한 가이드라인을 제공하는 등의 활동을 지속해왔다. EC는 2010년 유럽 14개국의 Natech위험 감소를 위한 노력과 규제현황 등을 종합적으로 조사한 바 있으며(Krausmann, 2010), OECD 역시 Chemical Accident Program의 다양한 프로그램들을 통해 기술재난관리에 자연적 위해요소의 영향을 반영하려는 노력을 지속해왔다(<http://www.oecd.org/chemicalsafety/>).

Natech위험에 관한 연구는 Showalter and Myers(1994)가 미국 내 Natech재난유형에 대해 조사하고 분석한 것을 시작으로, 1990년대 중후반 이후 미국, 유럽 등 서구의 연구자들에 의해 수행되었다(Cruz, Steienberg, Vetere-Arellano, 2006). 2000년대 초중반까지의 연구는 도시공학자 등을 중심으로 Natech재난의 사례를 수집·분석하고, 영향을 미친 요인을 밝히거나 대응방식에 관해 공유하는 연구가 주를 이루었다. 유럽에서는 유럽위원회(European Commission) 산하의 JRC(Joint Research Centre) 주관하에 2003년 이탈리아에서 Natech에 관한 워크숍을 개최하여, 유럽 각국의 자연재난으로 인한 산업인프라 피해현황에 관한 사례를 소개하였으며, 이를 종합하여 2004년

Natech 위험관리에 관한 보고서를 출간한 바 있다(Arellano et al., 2004). 최근 2011년 일본 후쿠시마 대지진으로 인한 원자력발전소 및 정유시설의 문제가 발생하면서 Natech위험에 대한 관심이 다시 높아지고 있으며, OECD는 2012년 Natech위험 관리 워크숍을 개최하였다.

우리나라는 일본 후쿠시마 원전사고 및 최근 수차례 발생한 산업단지의 화학사고 등을 계기로 원자력, 화학물질 등의 분야에서 제도를 정비하는 등 안전관리를 위한 노력을 기울이고 있으나, Natech위험에 대한 실효성 있는 정책적 논의는 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 국내에 구체적으로 논의된 바 없는 Natech위험의 개념 및 특징에 대해 소개하고, 주요 분야인 원자력과 화학물질 분야의 정책 현황에 대해 살핍으로써, 국내 Natech위험 정책의 현황을 검토하여, 기후변화에 따른 산업인프라의 위험관리에 대한 정책 방향을 제시하고자 한다.

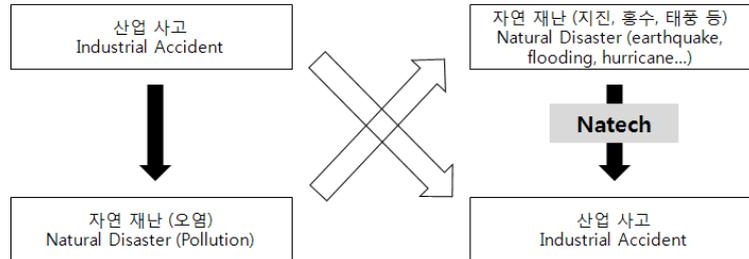
## II. Natech위험의 개념 및 연구동향

### 1. Natech위험의 개념

Natech위험(Natural disaster triggered technological risk)은 자연재난(Natural Disaster)에 의해 발생하는 산업 사고 또는 기술재난을 의미하는 용어로, 자연재난과 기술재난이 결합하여 나타나는 복합재난을 말한다.

Krausmann and Baranzini(2012)는 원래의 Natech재난의 개념은 “자연적 위해요소 및 자연 재난에 의한 화학사고(a chemical accident caused by a natural hazard or disaster)”(Krausmann, Baranzini, 2012, p.1029)라 정의하며, 화학사고는 기름 및 화학물 유출, 정유소, 석유화학시설, 저장고, 제약 및 비료 제조시설 등의 화학 시설과 유류 및 가스관 등에서 발생하는 가스 유출 및 화재, 폭발사고 등을 포함한다고 설명하였다. Salzano et al.(2012)는 Natech위험을 지진, 홍수, 태풍 등의 자연재난이 산업사고를 일으키는 유형으로 정의하며, 산업사고로 인해 발생하는 자연파괴 및 환경오염과의 차이가 있음을 밝히고 있다.

그림 1 자연재난을 유발하는 산업사고와 Natech위험의 차이

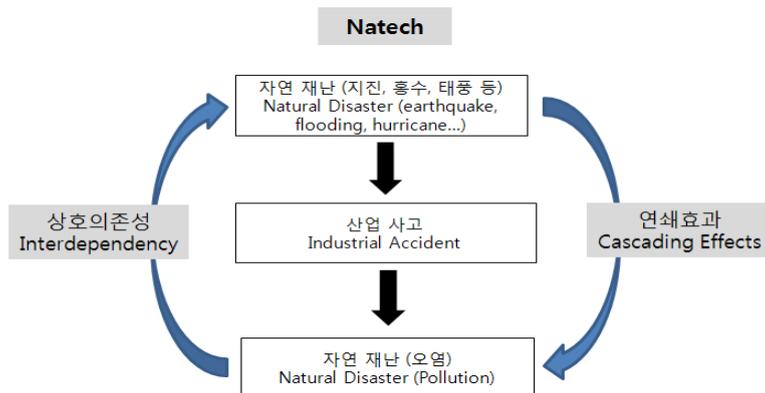


자료: Salzano et al.(2013, p.2)

원래의 Natech위험에 대한 연구 및 정책이 화학물질의 안전관리의 일환으로 자연재해가 유발하는 위험에 중심을 두었다. 반면, 최근 자연재해로 인한 2차, 3차 피해가 다양한 도시 인프라에 발생하며 대형재난으로 전개되며 복합화되고 대형화되는 재난유형에 대한 관심이 높아지자, Natech위험의 개념은 모든 자연적 위해요소가 모든 인적 시스템(man-made system)에 영향을 주는 전체적인 자연·기술 복합재난으로 확대하여 사용되기도 한다(Krausmann, Baranzini, 2012)

Natech위험을 보다 포괄적인 관점에서 접근하는 연구들은 Natech재난의 ‘동시다발적, 연쇄적 발생’이라는 특징에 초점을 맞추고 있다. 즉, 그림2와 같이 자연재난 또는 자연적 위해요소(natural hazards)에 의해 기술재난 또는 산업사고가 발생하고, 이로 인한 위해물질(hazmat: hazardous materials)의 유출로 환경오염이 발생하여 생태계 파괴 등으로 연결되는 전 과정을 Natech위험으로 이해하고 접근한다.

그림 2 Natech위험의 특징



이와 같은 포괄적 접근에서 강조하고 있는 Natech위험의 가장 큰 특징은 시스템 간 상호의존성(interdependency)과 재난의 연쇄효과(cascading effect)라 할 수 있다(Cruz, Steienberg, Vetere-Arellano, 2006). 이러한 관점에서 Cruz, Steienberg, Vetere-Arellano(2006)는 Natech재난을 “자연재난이 복합적이고 동시다발적으로 기술재난을 일으키는 것”(Cruz, Steienberg, Vetere-Arellano, 2006, p.1)이라 정의하였고, 기술재난의 범위에는 “산업시설의 유해물질(hazmat: hazardous materials) 유출뿐 아니라 가스, 석유관 등 기반시설의 파괴, 사람이나 환경에 치명적인 영향을 미치는 생태계 손실 등”(Cruz, Steienberg, Vetere-Arellano, 2006, p.1)을 포함하였다. 즉, Natech위험은 시스템들의 상호의존성(interdependency)로 인해 연쇄적으로 발생하는 것이므로, 대도시일수록 기술의 복잡성이 강할수록 Natech재난의 발생 가능성과 여파가 크다.

Ammann(2012, p.5)은 Natech 위험에 대해 “자연적 위해요소의 영향에 의해 발생하거나 악화되는 기술적 위험 또는 이에 뒤따르는 후속적 위험(Technological risks and any subsequent risks that are triggered or made worse by the impact of natural hazards)” 이라 정의하였다. Ammann(2012)의 연구는 Natech재난의 복합적 관리가 필요한 이유로 현대사회 재난의 연쇄효과(Cascading effects)에 대해 설명하였다. 즉, 복합재난은 재난유형 간의 인과관계가 복잡하게 얽혀 있어, 직접적인 원인이 아니더라도 시스템의 연결 관계에 따라 간접적으로 영향을 받아 또 다른 유형의 재난이 발생하는 것을 모두 포함한다. 하나의 재난으로 인해 이차적인 위해요소가 발생하기도 하고, 위험요소 간의 결합작용에 의해 새로운 형태의 재난으로 악화되기도 한다. 또한, Ammann(2012)은 자연재난적 요소들에 의해 ‘발생(triggered)’하는 것뿐만 아니라, ‘악화(made worse)’되는 산업사고 및 기술재난의 요소들까지 확대하여 Natech위험을 설명하였다는 점에서 보다 광범위한 Natech위험의 정의를 제시하였다.

## 2. Natech위험의 연구동향

초기 Natech위험 연구들은 대체로 Natech재난의 원인이 되는 자연재난의 유형 및 발생가능성, 그리고 결과적으로 발생하는 유출된 유해물질의 유형과 유출확률 등을 중심으로 Natech위험을 유형화하는 경향을 보인다. 본격적인 Natech위험 연구의 시작이라 여겨지는 Showalter&Myers(1994)의 연구는 미국 내 50개 주의 비상 관리기관에서 확보한 Natech재난 자료를 바탕으로 Natech재난의 원인이 되는 자연재난의 유형을 분

석하여 지진(228건), 허리케인(26건), 홍수(16건), 번개(15건), 강풍(13건), 폭풍(7건) 등에 의해 Natech재난이 발생하였음을 밝혔다. Tierney & Eguchi(1989)는 로스앤젤레스 지역의 지진 발생 후 무수암모니아와 염소와 같은 위험물질 방출을 추정하기 위한 방법론을 설명하였으며, Lindell and Perry(1997)는 1994년 미국 캘리포니아에서 발생한 노스리지(Northridge) 지진의 영향으로 방출되는 위험물질에 관한 연구에서 대다수의 위험물질이 산업설비에서 방출되기 때문에 지진대별로 위험물질의 위험수준 정도를 분석해야 한다고 주장하였다. Sengul et al.(2012)는 1990년에서 2008년 사이, 미국의 국립대응센터(NRC: National Response Center)에 보고된 약 16,600종류의 위해물질(hazmat: hazardous materials) 유출의 원인이 되는 자연적 위해요소(natural hazards)에 대해 분석하였다. Santella, Steinberg, Aguirra(2011)의 연구에서는 허리케인, 지진, 토네이도, 홍수가 발생했을 시, 각각의 상황에 따라 화학적 위해물질이 유출될 조건부 확률과 위험지역을 예측하였다.

또한, Natech위험과 주변 환경에 대한 연구들이 수행되었는데, Lindell and Perry(1996)는 재난대비 수준은 취약성 평가의 완성도에 따른다고 주장하며, 지역사회, 산업시설, 자치지역에서는 철저한 대비방안을 위해 복합재난으로부터 발생할 수 있는 일련의 문제점들을 고려해야 한다고 설명하였다. Davidson et al.(1998)는 산업설비의 집중, 인구 밀집, 인위적 구조물의 집중 등으로 인해 로스앤젤레스나 이스탄불과 같은 복합적, 상호의존적인 거대한 도시가 형성되었고, 이러한 거대도시에서는 자연재난의 위험도와 기술적 재난과 같은 2차 피해 영향 또한 증가한다고 설명하였다. Sevkal (2001)의 연구에서도 도시 전반에 걸친 지진의 위험성에 관해 설명하였는데, 터키의 코자엘리 지진을 사례로 빠른 도시화에 비해 재난대응방안이 미흡한 결과가 산업설비에서 유출된 복합적 위해물질로 인해 거주지역과 상업지역에 심각한 영향을 미쳤음을 분석하였다.

Natech위험에 관한 연구는 2000년대 초반 유럽 국가들을 중심으로 활발히 진행되었다가, 2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 다시 전 세계적으로 관심이 높아지고 있다. 초기 Natech위험 연구가 원인과 결과의 유형화, 위험률 분석과 주변 환경과의 관계 등을 중심으로 이루어졌다면, 2011년 이후 Natech위험 연구는 Natech위험을 효과적으로 관리할 수 있는 방안에 대한 연구까지 다양화되었다고 할 수 있다. 즉, 이전의 연구들이 주로 Natech위험에 대해 공학적 관점에서 접근한 반면, 최근의 Natech위험 연구의 쟁점은 효과적인 관리 정책을 수립하기 위해 기존 재난관리와의 차별성을 분석하고 관리적 측면에서 주요 쟁점에 대한 논의를 확대하는 경향을 보인다. 2011년 이후 대표적인

Natech위험 연구자 간 교류 사례라 할 수 있는 OECD의 Natech위험 관리 워크숍에서는 예방 및 관리, 기후변화와 Natech재난, 사후책임관계, 국제 협조 등 공학적 접근뿐만 아니라 사회적, 정책적 주제들에 걸쳐 폭넓은 쟁점을 제시하였다(Koppke, 2012).

이와 같이 Natech위험에 관한 연구는 서구 국가들을 중심으로 1990년대 말부터 활발히 진행되어온 반면, 우리나라에서는 아직 개념조차 제대로 소개되어 있지 않으며, 복합재난 전반에 걸쳐 학술적 논의가 매우 부족한 실정이다.

### III. Natech위험관리의 주요 쟁점

앞서 설명한 바와 같이, Natech위험 연구의 주요 관심사는 기존 연구에서의 공학·기술적 접근에서 확대하여 보다 효과적인 관리방안을 모색하는 데 있다. 즉 Natech위험의 원인과 결과, 결과에 영향을 미치는 주변 환경 등을 분석하는 것에서 나아가, Natech위험의 특징에 따른 주요 쟁점을 파악하고 이를 효과적으로 대처하기 위한 정책적 방안을 제시하는 것이 중요한 과제라 할 수 있다. 본 절에서는 Natech위험의 특징에서 비롯되는 주요 쟁점에 대해 이론 및 사례를 통해 논하고자 한다.

#### 1. 불확실성의 증대

불확실성(Uncertainty)은 “완전히 예측불가능한 상황”으로, “발생하는 정확한 시간과 장소를 알 수 없는 사건”이 발생하는 상황을 일컫는 말로(Longstaff, 2005, p.11), 고도화된 과학기술을 사용하는 산업·기술적 영역의 재난 및 사고 관리의 주요 분야로 여겨졌다. Natech재난관리에 있어서는 과학기술의 기술적, 방법적 불확실성이 통제 불가능한 자연재해적 요소와 결합하며 더욱 예측하기 어려워질 뿐만 아니라 연쇄적 재난 발생에 의한 파급효과가 크기 때문에, 재난정보를 받아들이는 사회적 인식의 차이를 일컫는 인식론적 불확실성 역시도 커질 수밖에 없다.

산업사고 및 기술재난의 불확실성 관리에 관해서는 기술재난의 다양한 이론들이 인적, 조직적 요인들을 통해 관리할 수 있는 것인가에 대한 주장을 펼쳐왔다. 대표적인 이론으로는, 정상 사고 이론(Normal Accident Theory), 고 신뢰성 이론(High-Reliability Theory), 경고 및 부실관리 이론(Warnings plus Sloppy Management Theory), 중복 실패 이론 등이 있다.

정상적 사고 이론(Normal Accident Theory)은 Charles Perrow(1984)에 의해, 1979년 세계 최초의 원전 사고인 미국 펜실베이니아 주의 TMI(Three Mile Island) 원전사고를 경험적 근거로 하여 제시된 이론으로, 현대 기술의 복잡성으로 인해 위험은 시스템 내적 요인으로 존재하며, 따라서 위험은 비정상적인 것이 아니라 정상적이라는 것이다. 고도로 발전된 복합적인 첨단기술 사고의 경우 인간의 실수보다는 복합적인 기술구조와 연관이 있기 때문에, 개별기술들이 다양하게 얽히고 순환고리를 만들어 상호작용하며, 서로 밀접하게 결합된 복합기술은 어느 한 요소가 장애를 일으키면 그 파급효과가 전체에 빠르게 확산되는 연쇄적인 에러를 발생시키므로, 인간의 능력으로 기술적 실패를 예측하기는 매우 어렵다는 것이다(박재묵, 2011).

정상적 사고 이론은 위험을 정상적인 것, 예측 불가능하며 존재할 수밖에 없는 것으로 인식하여 관리의 한계를 설명하지만, 고 신뢰성 이론, 경고 및 부실 관리 이론, 중복 실패 이론은 조직의 체계구축과 관리를 통해 기술적 오류를 예방하고 관리할 수 있다는 관점을 견지한다. 고 신뢰성 이론(High-Reliability Theory)은 미국의 NASA, 핵산업, 항공, 핵항공모함, 특수기동대, 거대석유화학시설 등에서 위험에 강한 조직을 구축하면서 마련된 이론으로, 위험에 대해 조직 설계 및 관리 기술을 통해 체계적으로 대응할 수 있다는 점에서 정상적 사고 이론과는 대치되는 입장이다(이재열, 2009; 김종영, 강윤재, 김연철, 2008, Morone, Woodhouse, 1986; 김은성, 정지범, 윤종철, 2011). 경고 및 부실 관리 이론(Warnings plus Sloppy Management Theory)은 Turner(1994)에 의해 정리된 이론으로, 대규모 사고가 있기 전에는 경고, 사인 등이 존재하지만, 이를 놓치거나 간과, 무시함으로써 사고가 발생하며 경고에 대한 적절한 대응으로 사고를 예방할 수 있다는 것이다. 적절한 대응을 하지 못하는 원인으로, 정보수집체계를 갖추지 못하게 하고 경고를 무시하게 하는 등의 '부실한 관리'를 지적하고 있다. 즉, '부실한 관리'는 '일탈의 정상화(normalization of deviance)', '거부의 문화(culture of denial)' 등을 의미하며, 사고의 원인을 인적, 조직적 요인으로 돌린다(박재묵, 2011). 마지막으로, 중복 실패 이론은 Reason(1990)이 주장한 이론으로, 사고가 일어나기까지 일련의 사건들이 특정한 순서와 방식으로 발생하며(accident trajectory), 사고 방지를 위한 다중방호설비(defences in depth)가 동시에 실패할 때 사고가 발생한다는 것이다. 이 이론 역시, 고 신뢰성 이론과 마찬가지로, 가외성(redundancy) 확보의 중요성을 강조하고 있다(박재묵, 2011).

정상적 사고 이론을 제외한 기술재난이론들은 인적, 조직적 요인을 통해, 다시 말해 가외성 확보(고 신뢰성 이론, 중복 실패 이론) 및 ‘부실한 관리’체계의 개선(경고 및 부실 관리 이론)을 통해 불확실성을 관리할 수 있으며 산업사고를 예방할 수 있다는 관점을 제시하고 있다. 그러나 이 이론들의 논의는 불가항력의 자연재난적 요소와 결합할 때에는 적용되기 어렵다는 문제가 발생한다. 즉, 자연적 위해요소와 결합할 경우 기술의 오류가 어떠한 방식으로 나타나게 될지 예측하는 어려울 것이다.

Funtowicz and Revetz(1993)의 분류에 의하면, 불확실성은 다음의 세 가지 유형으로 나뉘볼 수 있다(Craye, Funtowicz, van Der Sluijs, 2005; Renn, 2008; 김은성, 정지범, 안혁근, 2009). 먼저 부정확성(inexactness)는 자료 수집, 분석, 측정 등의 과정에서 나타나는 불확실성으로, 기술적인 영역의 이슈이다. 비신뢰성은 방법론적 개념으로, 자료의 수집 및 분석에 있어서 전문가의 판단에 의해 결정지어지는 영역을 의미한다. 마지막으로, 불확정성(indeterminacy)와 무지(ignorance)는 인식론적 영역으로, 과학적 지식을 이해하고 받아들이는 사회적 맥락에 따라 발생하는 불확실성을 의미한다(김은성, 정지범, 안혁근, 2009).

표 1 불확실성의 종류와 특징

개념	불확실성의 종류	특징
부정확성 (inexactness)	기술적 불확실성 (technical uncertainty)	- 데이터의 수집 및 분석의 상의 부정확성/ 측정의 오차로부터 비롯
비신뢰성 (unreliability):	방법적 불확실성 (methodological uncertainty)	- 수집된 정보에 대한 가치(value)와 신뢰(reliability) - 데이터를 수집하고 분석하는 전문가의 능력과 판단과 결부
불확정성 (indeterminacy) & 무지 (ignorance)	인식론적 불확실성 (epistemological uncertainty)	- 과학적 지식의 생산과정에 가치가 개입 - 지식의 사회적 맥락성 - 사회적 집단의 문제 틀의 차이에 따라 과학에 대한 인식의 차이가 발생함으로써 생기는 불확실성

자료: 김은성, 정지범, 안혁근(2009, p.9)

기존의 기술재난에서는 이러한 불확실성의 문제가 전문지식의 고도화 등을 통해 최소화될 수 있는 영역으로 간주되었다. 그러나 자연적 위해요소의 영향과 결합되면서 Natech재난(자연·기술 복합재난)관리에서 있어서는 불확실성의 원인 및 최소화 방안

을 밝히기 어려워졌으며, 특히 기후변화 등으로 인한 이상적 자연재해의 발생이 빈발함에 따라 불확실성은 더욱 증폭될 수밖에 없다.

결국, Natech위험관리는 이러한 증대되는 불확실성을 어떤 식으로 관리할 것인가가 중요한 쟁점이 되는 것이다. 불확실성이 존재하지 않는 상태, 즉 “투입에 따라 결과를 예측할 수 있는 상태를 ‘단순한(simple)’ 시스템이라 하고 정반대의 상태를 ‘혼돈의(chaotic)’ 시스템이라 한다면(Longstaff, 2005), Natech위험이 존재하는 시스템은 그 중간의 ‘복잡한(complex)’ 시스템의 상태라 할 수 있다. ‘복잡한(complex)’ 시스템 상태는 일정한 사회적 규범, 제도 등의 범위 내에서 발전하는 경로의존성은 존재하나, 새로운 경로의 예측이 불가능하고, 비선형적인 상태로 위험 및 재난의 요소 및 영향이 고르지 않게 분산되어 있다. 또한, 예측불가능한 변수, 즉 인간의 인식, 기계의 버그 등과 같은 불확실성이 존재한다.

Comfort(1994)는 ‘복잡한(complex)’ 시스템이 피드백을 통해 환경의 힘에 의해 변화해가는 ‘복잡하지만 적응가능한’ 시스템(Complex Adaptive System: CAS)의 개념을 통해 이러한 위험 상황에서의 불확실성 관리 방안을 제시하고 있다. 재난의 상황에서 각 조직은 환경에 맞춰 자신을 변화/진화해가는 ‘자기조직화(self-organizational)’을 통해 질서와 무질서의 경계(edge of chaos), 즉 빠른 환경변화에 충분히 유연한 한편 예측불가능한 상황에 대처할 수 있을 만큼의 구조를 갖춘 상태가 될 수 있다고 설명한다. CAS에서 중요한 것은 인지(Cognition), 소통(Communication), 조정(Coordination), 통제(Control)인데 이를 위해서는 적시에 정확한 정보가 서로 교류되어야 하며, 이 과정에서 서로를 받아들이는 상호작용을 통해 서로 적응가능한(adaptive) 상태로 만들어 간다는 것이다. 이러한 상태가 되기까지 핵심적인 역할을 하는 것이 바로 효과적인 정보의 교류인데, Comfort et al.(2004)는 장기적인 연합(long-term association)과 지속적인 교류(continuous interaction)을 강조하고 있다.

이러한 논의에 근거하여, Natech위험의 관리는 관련된 각 분야 간 ‘교류’의 정도와 효과성을 높이는 데서 시작한다고 할 수 있다. 기존의 재난관리는 자연재난의 영역과 기술재난의 영역, 그리고 각 영역에서도 세부영역별로 전문적 영역을 구축하며 개별적으로 연구·관리되어왔다. 기존의 분리된 관리방식으로는 위험발생 상황에서 대처가 어려우며, Natech위험과 같이 영역의 구분 없이 복합적으로 발생하는 위험상황에서 불확실성을 예방하거나 대응하기 어렵다.

## 2. 전문기술분야 간 연계

위에서 설명한 교류의 정도와 효과성을 높이기 위해서는 통합적인 관리체계가 필요하다. 이 때문에 많은 재난관리의 선행연구에서 복합재난의 대처를 위해 통합적 관리가 필요하다는 주장이 많이 제기되고 있으나, 실제로 Natech위험관리의 경우 각각 전문성을 필요로 하는 자연재난과 기술재난의 이질적 영역이 복잡하게 얽혀 있기 때문에 단순히 하나의 체계로 통합하는 것이 대안이 될 수 없다.

일본의 후쿠시마 원전 사고 당시, 총리를 본부장으로 하는 재해대책본부(재해대책기본법에 근거), 원자력재해대책본부(원자력재해대책특별조치법에 근거), 원자력재해대책현지본부(후쿠시마)를 설치하였으나, 수직적 행정체제로 인해 분산되어 있는 원자력 각 분야의 전문 인력과 법·규제, 조직이 제 기능을 발휘하지 못하였다. 재해대책본부와 원자력재해대책본부의 정보교환 및 상호 협력을 위해 ‘원자력재해합동대책협의회’를 조직하고 ‘현장 비상대응센터(Off-Site Center)’를 설치하는 등 조직적인 연계 체계가 마련되었으나, 재난 상황에서는 제대로 작동하지 못하는 한계를 드러냈다(일본국회조사보고서, 2011; 한국원자력학회, 2013). 또한, 총리 산하의 원자력비상본부는 여러 기관과 부서로부터 정보를 받아 신속하고 유연한 의사결정을 해야 함에도 불구하고, 경제산업성의 정보 및 의사소통 부족으로 범정부 차원의 통합적 대응이 불가능하였다. 경제산업성은 도쿄전력으로부터 최신 정보를 입수하여 국가비상본부에 보고하도록 되어 있었지만, 도쿄전력과 적절한 통신망 부재와 현장 정보를 수집해야 하는 직원을 파견하지 않아 충분한 정보제공이 이루어지지 않았다(한일시민조사단, 2011).

정책 의사결정 과정에서 전문지식이 신속하고 정확하게 활용되지 못한 원인으로는 사업체(도쿄전력)와 규제기관(원자력산업안전보안원: NISA)이 연구계 및 학계 전문가들과 분리되어 있었다는 점을 들 수 있다. 전체 전원상실로 인해 원자로의 냉각이 불가능하여 원자로의 온도가 상승하고 원자로 건물이 차례로 폭발하는 상황에서, 가장 중요한 초기 대응은 원자로를 냉각시키기 위한 방법에 대한 의사결정이 신속히 이루어지는 것이다. 도쿄전력이 원자로 냉각에 대한 방법을 결정하지 못하는 사이, 핵연료 온도 상승으로 인해 격납용기 내 수소의 양이 증가했고, 결국은 원전 1호기가 폭발하면서 대량의 방사성 물질이 유출되었다. 도쿄전력은 2, 3호기에 대해서도 원자로 냉각을 위한 과감한 조치를 시도하지 않음으로써 연쇄적인 폭발을 겪게 되었다(송명재, 2011)

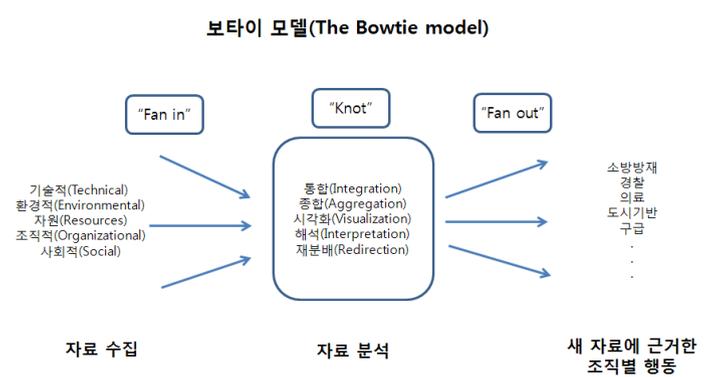
또한, 원전의 설계, 건설 및 운영과정에서 자연환경적 지식이 충분히 반영되지 못하

였던 것 역시 후쿠시마 원전사고의 근본적 원인 중 하나이다(백원필, 2013). 과거 쓰나미 기록과 원전 위치를 나타낸 2005년 IAEA 워크숍 발표자료를 보면, 후쿠시마 인접 지역에서 15m 파고 이상의 쓰나미가 관측된 바 있음에도 불구하고 이를 설계기준에 고려하지 않은 것으로 나타났다(한국원자력학회, 2013).

일본의 사례에서 볼 수 있듯이, 이질적이면서도 고도의 전문성을 지닌 분야들은 재난발생 시 대응을 위한 통합적 관리체계를 구축하는 것만으로는 즉각적인 의사결정을 필요로 하는 재난상황에서 효과적으로 대처할 수 없다. Comfort(2005)는 위험 및 재난 상황에서의 조직 간 상호연계의 중요성을 보여주는 모델로, '보타이 모델(Bow Tie Model)'을 소개하고 있다. 이 모델은 복잡한 환경하에서 조정된 행동이 가능하도록 서로 다른 정보가 동시에 처리되어 불확실성에 대응하는 체계를 설명하고 있다. 사회 각 분야로부터 수집된 자료를 종합적으로 분석하고 해석하여 재분배하는 과정을 거쳐, 그 결과를 각 조직 및 분야별로 수행하게 되는 과정을 설명하는 '보타이 모델'은 정보의 흐름을 통해 서로 다른 조직 간 연합 및 교류가 이루어지고 이러한 과정에서 각 조직은 상호 간 적응과정을 거치며 진화해가는 자기조직화(self-organization)을 이루게 되는 것이다.

'보타이 모델'의 핵심은 사회의 각 분야의 자료를 한 곳으로 수집하여 통합적으로 분석하고 해석하여 재분배하고, 이를 바탕으로 각 조직이 재난관리 행동을 취할 수 있도록 하는 데 있다. 즉, 각각의 전문분야의 정보와 자료가 종합적인 관점에서 해석될 수 있는 시스템을 구축하는 것이다.

그림 3 보타이 모델(The Bowtie Model)



자료: Comfort(2005, p.347, 2007, p.196) 수정

유럽의 ESPON 1.3.1 프로젝트는 지리정보시스템(GIS)를 활용하여 유럽지역의 위해 요소들을 각 재난 유형별로 지도에 나타내고, 이를 잠재적 피해 정도와 대응능력을 고려하여 추정된 취약도(vulnerability)의 개념과 결합하여 위험지도(risk maps)로 구현한 통합적 자료 구축의 사례이다(Schmidt-Thome, 2006). 이와 같은 통합적 자료 구축의 핵심적인 사항 중 하나는 각각의 위해요소를 어떠한 방식으로 통합하는가인데, 위해지도(hazard maps)들의 단순한 결합이 위험지도(risk maps)를 나타내는 것은 아니라, 공간에 따라 위해요소마다 다른 규모와 빈도로 영향을 미치기 때문에 이를 고려한 각기 다른 가중치를 적용하여 위험도를 판단하여야 한다. ESPON 1.3.1. 프로젝트에서 가중치는 재난과 도시계획 전문가들로 이루어진 그룹의 의견을 바탕으로 결정되었으며, 결정된 가중치가 반영된 위해요소들은 다시 잠재적 위해가능성(hazard potential)과 취약도(vulnerability)를 반영해 위험지도에 나타나게 되었다(Schmidt-Thome, 2006). 이와 같이 통합적인 자료구축과정을 통해 각 전문분야 간 이해를 높이고 교류를 활성화하여 합의기반 의사결정체계를 만들어 가는 것이 Natech위험을 관리하기 위한 중요 과제로 논의되고 있다.

### 3. 책임소재의 불명확성과 복구의 장기화

자연재난은 외부적인 힘에 의해 발생하기 때문에 책임의 문제가 존재하지 않지만, 기술재난은 ‘생산된 위험’이기 때문에 책임의 문제가 대두된다. 또한, 일반적인 기술재난은 시설의 관리책임자가 사고의 책임을 지게 되어 있으나, Natech재난의 경우, 불가항력의 외부 요인과 결합하여 책임소재가 불분명할 뿐 아니라, 연쇄적인 재난발생으로 인해, 일개 기업 단위에서 책임지기 어려운 막대한 규모의 사회적 영향이 발생하기 때문에, 책임의 문제가 중요한 쟁점으로 여겨지고 있다.

책임은 의사결정이 행해질 때 존재하며, 인간의 의사결정에 의해 위험이 만들어질 때부터 위험과 책임 간의 복잡한 관계가 설정된다(Giddens, 1999; 박재묵, 2008). Beck(1997, p.6)은 “어떤 개인들이나 조직들이 사태의 장본인이라는 점에서 분명히 책임을 져야 하지만, 정확하게 누구에게 책임이 있다고 말할 수 없는 상황”을 가리켜 ‘조직화된 무책임성(organized irresponsibility)’이라 표현하였다(Beck, 1997, p.6; 박재묵, 2008, p.13). 조직화된 무책임성의 문제로 인해, 책임 소재의 문제가 정치적 갈등을 야기하고, 이른바 ‘소송하기 좋아하는 사회(litigious society)’를 만들었다는 것이다(Beck,

1997; 박재목, 2008). 결국, 이런 책임의 불분명함으로 인해 사회적 갈등이 유발되며, 책임의 소재를 밝히는 과정이 지연될수록 갈등은 깊어질 수밖에 없다. 기술재난은 일반적으로 내부의 위협에 중점을 두며 위협을 초래한 산업시설의 책임자에게 책임을 물었으나, Natech재난은 외부 위협 요소에 의한 자연재난과 결합한 유형이므로 책임의 소재 및 범위가 불분명하다. 책임을 가리는 과정이 장기화될수록 피해자의 고통과 사회적 갈등이 심화될 수 있기 때문에, 재난관리정책은 이러한 책임의 문제를 효과적으로 접근하는 것이 요구된다.

기술재난은 원칙적으로 사업자에게 복구와 보상의 책임을 묻도록 되어 있었으나, 외부적 요인인 자연재해적 요소와 결합하는 복잡화, 그리고 개인 사업자가 감당하기 어려운 정도의 대형화 양상이 나타나며, 복구 및 배상에 대한 책임 소재가 불분명해졌다. OECD의 워크숍에서는, 1972년 처음 도입된 화학사고(기술재해)로 인한 책임소재를 밝히기 위한 원칙인 PPP(Polluter-Pays-Principle)를 Natech재난에 어떻게 적용할 것인가에 대한 이슈를 제기하였다. PPP는 기본적으로 오염유발자가 환경보호에 필요한 비용을 지불한다는 원칙인데, 1974년 오염유발자에 대한 보조(aid)는 PPP원칙에 위배되며, 비용의 지급은 기간 제한적임을 추가적으로 명시하였다. 그러나 1989년 “합리적으로 예측할 수 없는” 재난 등에 의해 발생하는 ‘사고로 인한 오염(accidental pollution)’에 대한 예외조항을 포함시키면서 PPP 논리를 확장시킨 바 있다(Koppke, 2012). UNECE(UN Economic Commission for Europe)도 산업사고의 책임에 대해 ‘예측불가능한(Unforeseeable)’, ‘저항불가능한(Irresistable)’, ‘피할 수 없는(Inevitable)’ 사고에 대해서는 책임(liability) 소재에 예외를 두어야 한다고 규정하고 있다(UNECE, 1992). 그러나 이러한 개념적 기준들을 실제 상황에서 적용하기 위해서는 사회적으로 합의된 구체적인 기준이 필요하고, 산업시설 관리자의 책임 범위를 합리적으로 판단할 수 있는 현실적 제도적 장치가 마련되어야 하며, 이를 위해 우선적으로 재난 현장에 대한 면밀하고 즉각적인 조사를 통해 정확한 책임소재 판단의 근거를 확보할 수 있는 전문 인력을 배치할 필요가 있다.

## IV. 국내 Natech위험 관련 정책 현황

앞서 설명한 바와 같이, 국내에는 Natech위험의 개념이나 선행연구들이 구체적으로 소개된 바가 없다. 그러나 후쿠시마 원전사고 이후, 복합재난에 대한 관심이 크게 증대되고 있으며, 최근 발생한 산업단지의 유해물질 유출사고 등으로 인해 산업인프라의 안전관리 정책이 주목받고 있다. 본 절에서는 Natech위험의 주요 분야라 할 수 있는 원자력 및 화학물질 관리 분야의 정책 현황을 검토함으로써 Natech위험에 대한 국내 실태를 파악하고자 한다.

### 1. 원자력 분야

원자력 분야는 후쿠시마 원전사고 이후 자연·기술 복합재난에 대비하기 위한 정책적 관심이 집중되고 있는 분야이다. 후쿠시마 사례는 원전의 설계 단계에서 예측가능한 범위보다 훨씬 큰 재난이 발생할 수 있다는 것을 보여줌으로써, 설계 기준을 상향 조정하고 다수의 원전에서 사고가 동시에 발생할 경우에 대비할 필요성을 제기하였다. 우리나라는 지질 및 지진학적인 특성을 고려할 때, 동일본대지진과 같은 대규모 지진 및 지진해일 발생 가능성이 희박하나, 후쿠시마 원전 사고 이후, 산학연 전문가 및 한국원자력안전기술원 검사원이 참여한 안전점검을 실시하였고, 6개 분야<sup>1)</sup> 27개 항목을 검토한 결과, 50개의 장·단기 개선사항을 도출하였다(한국수력원자력, 2012). 50개의 개선대책에 대해서는 2015년까지 1조1,226억 원의 예산을 투자하여 2015년까지 완료할 계획에 있다(이원근, 2012)

원자력 분야는 후쿠시마 원전사고의 영향으로, 기술·산업 인프라의 안전 및 재난관리 제도상에서 자연적 위해요소를 가장 잘 고려하고 있는 분야라 할 수 있다. 2012년 발간한 원자력 안전백서의 원자력 안전 편에는 지진에 대한 대책을 따로 구성하여 부지조사, 설계, 시공, 운영 등 각 단계에서의 지진대비책을 규정하고 있다(한국수력원자력, 2012).

또한, 노후 원전 스트레스 테스트의 수행지침으로 지진, 해일 등에 대한 안정성을 검사하도록 규정을 마련하여 자연재해에 대한 원자력 발전소의 안전도를 점검하도록 하고 있다.

<sup>1)</sup> 6개 분야: ① 지진 및 해일에 의한 구조물기기의 안전성, ② 침수발생시 전력·냉각·화재방호 계통의 안전성, ③ 중대사고 대응, ④ 비상대응 체계, ⑤ 장기 가동원전 및 신형원전, ⑥ 연구로, 핵주기시설 및 방사선비상진료기관(한국원자력안전기술원 홈페이지, 2013)

**표 2 원전 지진·해일 관련 대책 주요 내용**

내진설계	기본적 사항에 대해서는 원자력법이 규정
	원자력법 시행규칙인 '원자로 시설 등의 기술기준에 관한 규칙'
	위 규칙 제4조 또는 제9조에 근거하여 교육과학기술부는 '원자로시설의 위치에 관한 기술기준(교육과학기술부고시 제2009-37호)'을 제정·운영 중
지진 영향 평가	발전소 부지 선정에 있어서 지진에 대한 역사적 추적과 단층운동 여부 고려
	사용후 핵연료 저장 시설에 대한 지진 영향도 평가 실시(지진 발생 시 구조물 간 충돌 가능성도 점검)
	원전 주요 구조물에 지진계측장치를 설치하여 자동 경보 발령 및 원자로 정지 기준 마련
지진해일 관련	높은 파도에 의한 침수가능성 고려 (조석간만의 차와 바람에 의한 파고 변동 등을 고려해 시뮬레이션을 거치며 이렇게 계산된 수치를 바탕으로 발전소의 표고가 결정. 외부방파제 설치 등의 보완책도 마련.
	해수면 높이가 낮아져 발전소의 냉각수 취수 어려움이 발생할 수 있어 이에 대한 대책 마련

자료: 한국수력원자력(2012), 「2012 원자력백서」 참조.

**표 3 노후 원전 스트레스 테스트 수행지침 중 자연재난 관련 분야**

지진에 의한 구조물·계통·기기 안전성 분야	
평가목적	설계기준을 초과하는 대형지진에 원자력발전소가 견디는 정도를 확인하고, 하드웨어·절차·운영 측면의 취약분야를 평가·보완하여 지진에 의한 구조물·계통·기기의 안전성을 증진
평가항목	1) 설계기준 지진에 대한 평가 2) 설계기준 지진 조적에서의 발전소 보호 조치 3) 지진에 의한 간접영향 4) 주요 안전기능 상실 또는 연료의 심각한 손상을 유발시킬 수 있는 지진심각도 범위 5) 격납건물 건전성을 손상시킬 수 있는 지진심각도 범위 6) 설계기준 초과 지진에 따른 내부 침수 7) 설계기준 초과 외부요인 등에 이어서 발생하는 화재
해일 및 기타 자연재해에 의한 구조물·계통·기기 안전성	
평가목적	설계기준을 초과하는 대형 지진해일·폭풍해일 등 자연재해에 원자력발전소가 견디는 정도를 확인하고, 하드웨어·절차·운영 측면의 취약 분야를 평가·보완하여 자연재해에 의한 구조물·계통·기기의 안전성을 증진
평가항목	1) 설계기준 침수 2) 설계기준 침수 조건에서의 발전소 보호 조치 3) 주요 안전기능 상실 또는 연료의 심각한 손상을 유발시킬 수 있는 침수심각도 범위

자료: 한국원자력안전기술원(2013, p.2, p.13).

제도적 측면에서는 안전 관련 정책 및 제도가 보완되었다. 원자력 관련 법령의 체제 개편 및 중대사고 관리 지침서를 작성하여 적용하도록 하고, 원전 안전체제를 개편하기 위해 '원자력안전위원회'를 출범하는 등, 복합 및 대형 재난에 대한 관리정책을 확충하였다.

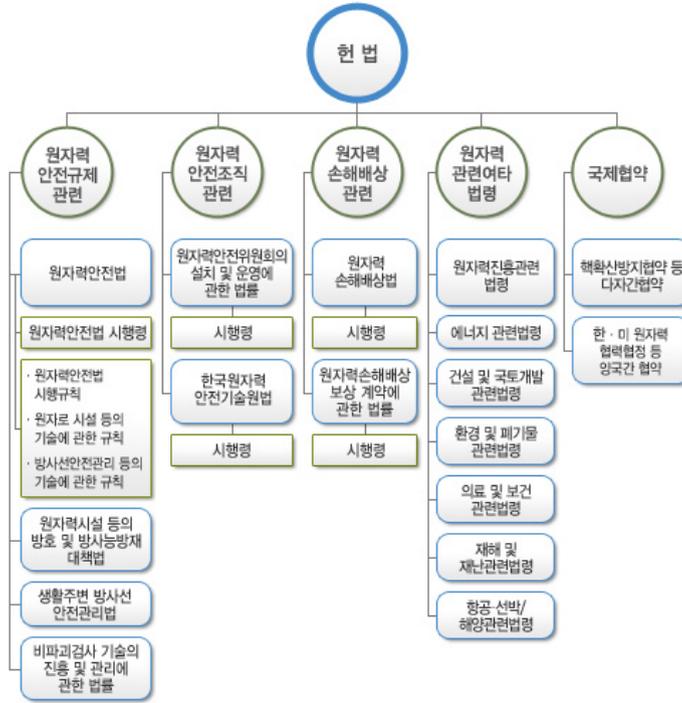
후쿠시마원전사고를 계기로 원자력 진흥업무와 안전업무가 분리되어 대통령 소속 행정위원회인 '원자력안전위원회'가 출범되었다(서울경제, 2011). 이전에는 원자력 진흥업무와 안전업무는 교육과학기술부에서 담당해 왔으나, 동일본 대지진으로 인한 원전사고의 영향으로 원자력안전규제 업무를 투명하고 객관적으로 수행할 수 있는 체제를 마련하였다. 원자력안전위원회에서는 후쿠시마원전사고 이후 최초로 국가 차원의 대규모 훈련을 주관하여 '국가방사능방재 연합훈련'을 5년에 한번 씩 실시한다(원자력안전위원회, 2012).

한국수력원자력은 중대사고 대응 분야에서 모든 냉각기능이 상실돼 원자로 내 연료가 손상되는 사고에 대비하여 원전별 중대사고 관리지침서를 작성 및 적용하는 지침을 추진 중이다. 후쿠시마원전사고와 같은 결과를 방지하기 위해 원전 격납건물 내부에서 폭발이 일어나도 정상적인 작동을 유지하고, 수소폭발을 방지하기 위한 수소제거설비를 갖추어 안전을 기한다. 또한, 모든 냉각기능이 작동불능으로 원자로의 연료가 녹는 경우까지 예상하여 수소폭발 방지용 최신 수소제거 설비와 실시간 수소농도 감시기를 추가 설치하는 등 설비를 보강을 추진 중에 있다(파이낸셜 뉴스, 2013).

법체계상의 변화로는, 기존의 원자력 이용 및 진흥과 원자력안전이 통합적으로 규정되어 있던 「원자력법」이 원자력 연구·개발·생산·이용에 관한 사항을 규정하는 「원자력진흥법」과 원자력안전에 관한 사항을 규정하는 「원자력안전법」으로 분리되었다(이원근, 2012). 「원자력진흥법」은 원자력진흥위원회, 원자력진흥종합계획, 원자력연구개발기금 등에 관한 사항을 포함하고, 「원자력진흥법 시행령」은 대통령령으로 세부절차 및 방법 등 행정적인 사항을 규정한다.

원자력안전관련 법령으로는 「원자력안전법」, 「원자력위원회 설치 및 운영에 관한 법률」, 「원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법」, 「원자력손해배상법」, 「원자력손해배상 보상 계약에 관한 법률」, 「한국원자력안전기술원법」 등이 있다. 또한, 「원자로 시설 등의 기술기준에 관한 규칙」 등 법령에서 위임한 기술기준을 규정하는 기술규칙과 「원자로시설의 위치에 관한 기술기준 고시」 등 법령에 따라 기술기준 또는 절차·서식 등을 규정한 고시 등이 있다(이원근, 2012).

그림 4 원자력 관련 법제 현황



자료: 이원근(2012).

## 2. 화학물질관리 분야

화학물질은 초기 Natech재난 및 위험 연구에서 중점적으로 다루어진 분야이며, 2012년 OECD의 Natech위험 워크숍 역시 화학물질관리 분과에서 개최하였다. 산업화된 사회에서 화학물질은 도처에 존재할 뿐 아니라 그 종류도 다양하며, 관리를 위한 전문적 지식 및 기술을 필요로 한다. 화학물질로 인한 재난의 연쇄적 파급효과를 줄이기 위해서는 신속하고 전문적으로 화학물질 사고에 대응할 수 있는 관리방안이 필수적이다.

현재 우리나라는 환경부가 화학물질관리의 주관기관으로 전반적인 책임을 맡고 있으나, 화학물질의 종류에 따라 소관부처 및 근거법령에 차이가 있다. 환경부는 유독물 및 사고대비물질 700여 종을, 산업자원통상부는 에너지 및 고압가스 50여 종을, 소방방

재청은 위험물 3,000여 종을, 고용노동부는 작업환경관리 물질 700여 종을 관리하고 있다(박춘화, 2012). 이러한 부처별 관리방식은 해당 물질에 대한 관리책임 및 부담이 명확히 구분되고, 한 부처에서 지속적으로 담당하므로 경험축적 및 전문성을 제고하는데 장점이 있으나, 복합적인 화학사고 발생 시 그 책임소재나 대응체계에 중첩되기 때문에 신속한 대응이 어렵고 종합적인 관리가 불가능하다는 단점도 있다.

화학물질 사고발생 시, 주관기관은 환경부이며, 환경부 산하 지역유역환경청 및 국립환경과학원에서 주요 사고대응조치를 수행한다. 화학물질사고대응정보시스템(CARIS)를 통해 재난 대응에 관한 정보를 지자체, 소방, 경찰, 군 등 유관기관에 제공하며, 환경청에서 파견한 현장지원팀은 사고수습뿐 아니라, 오염확산 방지 기술 등 사고대응 기술을 지원한다(중앙안전관리위원회, 2010).

표 4 화학사고 발생 시 기관별 대응요치 요령

조치사항	세부 내용	비 고
위기상황 접수 및 보고·전파	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위기상황 접수</li> <li>○ 상황 보고·전파</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유관기관</li> <li>- 지방유역환경청</li> <li>→ 환경부 등 유관기관</li> </ul>
초동조치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사건현장 주민보호조치</li> <li>○ 사건현장 인명구조 및 통제</li> <li>○ 환경지원팀 현장출동</li> <li>○ 사고대응정보 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시설의 장</li> <li>- 경찰, 소방</li> <li>- 지방유역환경청</li> <li>- 지방유역환경청, 국립환경과학원</li> </ul>
대응조치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지역사고수습본부 설치·가동                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장대응 활동 지원 등</li> </ul> </li> <li>○ 긴급구조통제단 설치·운영</li> <li>○ 현장대응 활동 수행                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사고영향 예측</li> <li>- 경계구역 선정</li> <li>- 주민보호조치</li> <li>- 현장응급의료소 설치·운영</li> <li>- 오염지역 제독계획수립 및 제독활동 등</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지방유역환경청</li> <li>- 소방</li> <li>- 유관기관 합동</li> <li>- 지방유역환경청, 소방, 군부대, 지자체, 경찰 등</li> </ul>
후속조치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 처리상황 보고·전파</li> <li>○ 사고 후 영향조사                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사업장에 복구 명령 조치</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지방유역환경청 → 환경부</li> <li>- 지자체/사업장</li> </ul>

자료: 환경부(2011, p.5).

최근 화학물질과 관련된 사고가 증가함에 따라, 화학물질 안전관리를 강화하기 위한 법령의 제·개정 및 제도개선의 노력이 진행 중이다. 먼저, 「유해화학물질관리법」의 명칭을 「화학물질관리법」(이하 화관법)으로 변경하고, 유해화학물질 영업허가제 및 영업자 책임 강화, 사고대비물질에 대한 위해관리계획 수립 등에 대한 기준을 명시하고 있다. 또한, 개정 법령에 따르면 사고대비물질 취급자는 5년마다 화학사고 유출시나리오, 응급조치계획, 피해 복구 등의 내용을 포함한 위해관리계획서를 수립해야 하며(제 41조), 이를 매년 1회 이상 지역주민에게 서면통지, 집합전달 등의 방법으로 고지하여야 한다. 화학사고가 발생했을 시 화학물질 취급자는 위해관리계획에 따라 응급조치를 하고 즉시 관계기관에 신고해야 하며, 환경부 장관은 현장에 수습조정관을 파견하고, 원인규명, 피해사항 등에 대한 영향조사를 실시하며, 사고 원인 사업자에게 피해최소화 및 복구 조치에 대한 명령을 내리도록 하고 있다(환경부, 2013). 이와 더불어, 화학물질의 안전한 관리를 위해 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」(이하 화평법)을 제정 및 공포하였다(2013. 5. 22.). 이 법은 “국내 시장에 진입하는 화학물질 확인과 유해성 등 안전사용에 필요한 정보를 사전에 확보·공유하는 것”을 목적으로 하여, 화학사고의 가능성을 미연에 방지하고자 하는 법이다. 화학물질의 보고, 등록 및 심사평가 등에 관한 내용을 다루고 있다.

또한 화학물질에 대한 안전 및 사고예방 체계를 강화하기 위해 화학물질안전원을 설치하였다. 화학물질의 안전 및 사고예방 등에 대한 종합대책 및 대응체계 수립 등 총괄 컨트롤타워의 역할을 수행할 화학물질안전원은 환경부 소속기관으로, 세종시에 위치하고 있으며, 2014년 초 출범하였다. 기존의 화학물질이 관리 대상 물질에 따라 환경부, 산업통상자원부, 고용노동부로 분산되어 있었기 때문에 사고 예방 및 대응이 효과적이지 못함에 따라 화학사고 대응 주관 부처를 환경부로 일원화하고, 전문 대응장비 보강, 대응인력에 대한 교육·훈련 강화 등을 화학물질안전원에서 담당하게 되었다. 또한, 현장 대응체계의 효과성을 강화하기 위해 합동방재센터를 설치하였다. 합동방재센터는 환경부, 고용노동부, 소방방재청, 산업통상자원부(가스안전공사)가 화학사고 발생 시 동시에 출동하여 공동 대응할 수 있도록 한 것으로, 개념으로 화학사고 대응체계에 부처 간 협업 조직의 개념을 적용한 것이다. 2013년 12월 구미 합동방재센터를 시작으로 2014년 6개 주요 산업단지의 합동방재센터가 설치되었고, 각 센터는 환경팀, 산업안전팀, 화학구조팀, 가스안전팀, 지자체팀으로 구성되어 수평적 협업 조직으로 설계되었다.

합동방재센터의 공동업무에 대한 의사결정을 위해 중앙에는 관계부처 국장으로 구성된 합동방재센터 운영위원회를, 각 센터에는 실무협의회를 설치하고, 관계부처 공동훈령을 제정하여 센터의 주요 기능 및 업무의 범위, 관할구역 등 운영의 원칙을 정하였다.

또한, 화학사고 발생 시, 부처 간 혼선을 방지하기 위해 국가 대응체계 내에서 합동방재센터의 역할을 명확히 하고, '유해화학물질 유출사고 위기관리 표준매뉴얼'을 개정하여 발표하였다.

그림 5 화학재난 합동방재센터 관련기관



이상에서 살펴본 원자력 및 화학물질 관리 분야의 최근 정책은 안전관리의 효과성을 높이기 위한 다양한 노력이 반영되어 있다고 볼 수 있다. 원자력의 경우, 후쿠시마 사고의 대응조치로서 지진, 해일 등 자연재해에 대한 구조물 안정성에서부터, 중대사고 대응, 비상대응체계 등을 점검하고 개선과제를 수행하는 등 안전대책을 마련하고 있다. 화학물질관리 분야 역시, 법적·조직적 관리 체계를 강화하여 화학물질 유출사고에 대한 예방 및 대응의 통합적 관리 체계를 마련하는 등 사고대응의 효과성을 높이기 위한 정책적 노력이 나타나고 있다.

그러나 이러한 위험관리 정책은 구체적으로 자연재해적 요소를 고려하거나 자연재난관리 분야와 어떤 방식으로 연계하여 Natech위험 상황 시 대응할 것인지에 대해 언

급하고 있지 않다. 원자력 분야는 각종 지진, 해일 및 각종 자연재해와 관련하여 설계 및 운영 기준을 규제지침으로 마련하고 노후 원전 평가를 위한 항목을 마련하고 있으나, 자연재해의 조기경보시스템이나 대응체계 등과의 연계 등 복합재난 상황에서 대처하기 위한 구체적인 가이드라인이 존재하지 않는다. 즉, 예방 및 대비 차원에서 설계 및 관리 방안에 대한 사항은 후쿠시마 사고 이후, 강화되었다고 볼 수 있으나, 복합재난의 발생 이후 어떠한 연계 체계로 대응하고 복구할 것인가에 대한 사후적 정책방안은 미흡하다 할 수 있다. 또한, 원자력 규제 기관의 독립성이 보장되지 않아 규제 및 관리가 효과적이지 못하다는 지적이 계속되고 있으나, 이에 대한 조직적 개선방안이 마련되지 않고 있어 노후 원자력발전소의 자연재해에 대한 대응 역량에 대한 규제 및 관리 방안 역시 효과적으로 마련되기 어려운 실정이다.

화학물질 관리 분야의 경우, 화학물질 취급자의 입지선정과 관련하여 지질·지형학적 여건 등 자연재해를 고려하도록 하는 조항, 또는 자연재해로 인해 연쇄적으로 일어난 화학사고의 대응체계 및 복구절차 등에 대해서는 세부적인 사항을 규정하고 있지 않아, 자연·기술 복합재난에 관한 사항은 충분히 고려되지 않은 것으로 보인다. 또한, 화학물질 사고 대응의 효과성을 높이기 위해 설치된 합동방재센터의 경우에도 현장 대응이 가능하도록 전문 장비 및 인력을 강화하여 각 재난분야별로 즉각적인 대응이 가능할 수 있는 역량을 갖출 필요가 있다.

## V. 결론

최근 복합화, 대형화 경향을 보이는 재난환경의 변화로 인해, 복합재난관리방안의 제도화가 중요한 정책이슈로 논의되고 있다. 본 연구는 국제기구 및 미국, 유럽 등지에서 연구되어 왔으나, 국내에 소개되지 않았던 Natech위험의 개념과 특징을 소개하고 주요 쟁점을 이론 및 사례를 통해 설명하였다. 또한, Natech위험의 주요 분야인 원자력 및 화학물질관리 분야의 안전관리정책을 살펴봄으로써 Natech위험에 대한 국내 정책 현황을 검토하였다.

Natech위험은 자연재해적 요소가 유발하는 기술재난 또는 산업사고를 가리키는 용어로, 주로 자연재해로 인해 산업시설 등에 피해가 발생하여 유출되는 위해물질과 이로 인한 환경오염 등이 연구의 대상이 되어왔다. 2011년 동일본대지진으로 인한 후쿠

시마 원전 사고 발생으로 인해 Natech위험이 새롭게 부각되고 있으며, 제도화하기 위한 정책적 노력이 수행되고 있다. 특히, Natech위험의 경우 자연재해가 원인이 되기 때문에 기존의 산업인프라에서 발생하는 기술재난보다 불확실성이 증대되어 이를 관리하기 위해 관련 조직 간 보다 효과적인 교류와 연계가 필요하고, 이질적인 전문적 분야 간 연계를 위해서는 재난 발생 시뿐 아니라 실제 자료 등의 공유 등을 통해 합의를 이루어가고 협의체제를 만들어가는 것이 중요하다. 뿐만 아니라, 사업체에 1차적 책임을 묻던 기술재난과 달리, 자연재해적 요소가 더해지면서 책임의 소재와 범주를 규정하기 위한 검증 및 사회적으로 합의된 원칙의 마련이 필요하다.

우리나라는 복합재난관리에 대한 관심이 높아지고 있으며 통합적 관리에 대한 담론적 논의가 다수 진행되었으나, 구체적으로 Natech위험을 비롯한 복합재난의 유형에 대해서는 여전히 초기 단계에 머물고 있으며, 최근 안전관리 정책을 개편한 원자력 및 화학물질 관리 분야에서도 해당 분야의 안전관리 방침이나 체계에 대해서는 개선방안이 제시되고 있으나 자연재난 분야와의 법 제도적, 정책적 연계방안은 여전히 부족한 실정이다.

본 연구는 Natech위험의 개념 및 특징, 쟁점, 국내 현황을 검토한 결론으로, 몇 가지 정책적 제언으로 제시하고자 한다. 첫째, Natech위험은 국내에서 아직 그 중요성 및 특징에 대해 많이 알려지지 않은 분야이므로 학회, 세미나 등을 통해 충분한 사회적 인식을 높일 필요가 있다. 유럽집행위원회의 워크숍과 같이, Natech위험의 국내외 사례를 종합하고 관리적 측면의 시사점과 향후 과제를 논의하는 등 학계 및 실무진을 중심으로 쟁점을 구체화하여 국가적 관심을 집중시켜야 한다. 또한 자연재난 및 기술재난 관련 기관 간 공동 연구, 자료 공유, 정책 수행 등을 통해, 양 집단 간 교류를 증대시키고, 연계 체계를 제도화하여 재난발생 시 효과적으로 협업할 수 있도록 해야 할 것이다. 마지막으로, Natech위험과 같은 복합재난 상황 시 책임소재와 보상 및 배상의 구분, 범위를 규정하기 위한 법적 체계를 마련하고, 재난의 사후대책을 위한 재정적 대책을 마련할 필요가 있다.

## 참고문헌

- 김은성, 정지범, 안혁근. 2009. 「국가 재난안전관리 정책 패러다임에 대한 연구」. 한국행정연구원.
- 김은성, 정지범, 윤종설. 2011. 「전사적 위험관리 활용 현황 분석 및 개선방안 연구」. 한국행정연구원.
- 김종영, 강윤재, 김연철. 2008. 「대형기술시스템의 안전성 확보방안」. STEPI 정책자료 2008-15.
- 박재묵. 2008. “환경재난으로부터 사회재난으로: 허베이 스피리트호 기름유출사고에 대한 사회적 대응 분석”. 「한국환경사회학회」 12(1): 7-42.
- \_\_\_\_\_. 2011. “우리나라 위험관리시스템 구축의 과제:원자력발전과 해상유류수송을 중심으로”. 「한국형사정책연구원 제3회 초청강연회」. 발표자료. 2011.6.17.
- 박춘화. 2012 「화학사고 대응기술 개요」(발표자료). 환경부 국립환경과학원.
- 백원필. 2013. “후쿠시마 원전사고의 교훈과 우리 원전의 안전성 향상 방안”. 「원자력산업」 33(2):50-55.
- 서울경제. 2011.10.25. “'원자력 안전규제 총괄' 26일 원자력안전위 출범”. <http://economy.hankooki.com/lpage/society/201110/e2011102515254993820.htm>.
- 송명재. 2011. “원자력 삼국지”. 「원자력산업」 325:55-65.
- 원자력안전위원회. 2012. “후쿠시마 사고 1년, 일본 현황”. 후쿠시마 1주기 보도 참고자료. 원자력안전위원회.
- 이원근. 2012. 「원자력 안전의 현황과 정책 및 입법과제」. 국회입법조사처.
- 이재열. 2009. 위기관리 사회학이론 일반. 정지범 편저 「국가종합위기관리의 이론과 실제」 제2장 58-102. 법문사.
- 일본국회조사보고서(김종희 역). 2011. 「후쿠시마 제 1원전 사고와 그 영향: 일본국회조사보고서」. 원자력 산업 328:40-53. 한국원자력산업회의.
- 중앙안전관리위원회. 2010. 「국가안전관리기본계획[2010-2014]」.
- 파이낸셜뉴스. 2013.04.23. “잇따른 동북아 지진, 국내 원전 비상대책은?”. <http://www.fnnews.com/news/201304231431336441>.
- 한국수력원자력. 2012. 「2012 원자력발전백서」. (주)한국수력원자력.
- 한국원자력안전기술원. 2013. 스트레스 테스트 수행지침.
- 한국원자력학회. 2013. “후쿠시마 원전사고 분석-사고내용, 결과, 원인 및 교훈”. 「(사)한국원자력학회 후쿠시마위원회」.
- 한일시민조사단. 2011. 「침묵의 봄, 후쿠시마의 봄」. 서울: 환경운동연합 환경보건의민센터.

- 환경부. 2011. 「화학사고 비상대응 안내서」. 환경부.
- \_\_\_\_\_. 2013. 「화학물질 안전관리 제도개선 방향」. 환경부.
- Arellano, A., Cruz, A.M., Steinberg, L.J., Nordvik, J., Pisano, F. (eds.). 2004. *Analysis of Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters) Disaster Management*. European Commission, Joint Research Centre.
- Ammann, W. 2012. *Integrative Risk Management for Natech-Disasters: Pathways to a Resilient Society*. Global Risk Forum.
- Beck, U. 1997. 「위험사회: 새로운 근대(성)을 향하여」. 홍성태 역.
- Comfort, K. L. 1994. “Self-Organization in Complex Systems”. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 4(3): 393-410.
- \_\_\_\_\_. 2005. “Risk, Security, and Disaster Management”. *Annual Review of Political Science*, 8: 335-356.
- \_\_\_\_\_. 2007. “Crisis Management in Hindsight: Cognition, Communication, Coordination, and Control”. *Public Administration Review*, 67(1): 189-197.
- Comfort, K. L., Dunn, M., Johnson, D., Skertich, R., Zagorecki, A. 2004. “Coordination in Complex Systems: Increasing Efficiency in Disaster Mitigation and Response”. *International Journal of Emergency Management*, 2(1-2): 62-80.
- Craye, M., Funtowicz, S., van Der Sluijs, J. P. 2005. “A Reflexive Approach to Dealing with Uncertainties in Environmental Health Risk Science and Policy”. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 5(2/3/4):216-236.
- Cruz, M. A., Steinberg, J. L., Vetere-Arellano, L. A. 2006. “Emerging Issues for Natech Disaster Risk Management in Europe”. *Journal of Risk Research*, 9(5): 483-501.
- Davidson, A. R., Gupta, A., Kakhandiki, A., Shah, C. H. 1998. “Urban Earthquake Disaster Risk Assessment and Management”. *JSEE*, 1(1): 59-70.
- Funtowicz, S., Ravetz, J. R. 1993. “Science for the Postnormal Age”. *Futures*, (September 1993):739-755
- Giddens, A. 1999. “Risk and Responsibility”. *The Modern Law Review* 62-1:1-10.
- Koppke, K. E. 2012. *Discussion Document, OECD Workshop on Natech Risk Management(Natural-hazard triggered technological accidents) 23-25 May 2012*. Dresden Germany.

- Krausmann, E. 2010. *Analysis of Natech Risk Reduction in EU Member States Using a Questionnaire Survey*. EUR Report 24661 EN, European Union. 103–114.
- Krausmann, E., Baranzini, D. 2012. “Natech Risk Reduction in the European Union”. *Journal of Risk Research*, 15(8): 1027–1047.
- Lindell, P.M., Perry, W. R. 1996. “Addressing Gaps in Environmental Emergency Planning: Hazardous Materials Releases During Earthquakes”. *Journal of Environmental Planning and Management*, 39(4): 529–543.
- \_\_\_\_\_. 1997. “Hazardous Materials Releases in the Northridge Earthquake: Implications for Seismic Risk Assessment”. *Risk Analysis*, 17(2): 147–156.
- Longstaff, P. H. 2005. *Security, Resilience, and Communication in Unpredictable Environments such as Terrorism, Natural Disasters, and Complex Technology*. Harvard University Program an Information Resources Policy.
- Morone, J.G., Woodhouse, E. J. 1986. *Averting Catastrophe: Strategies for Regulating Risky Technologies*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Perrow, C. 1984. *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*. (Revised edition, 1999). Princeton University Press.
- Reason, J. 1990. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Renn, O. 2008. *Risk Governance, Coping with Uncertainty in a Complex World*, Earthscan. London, Stirling, VA.
- Salzano, E., Basco, A., Busini, V., Cozzani, V., Marzo, E., Rota, R., Spadoni, G. 2012. “Public awareness promoting new or emerging risks: Industrial accidents triggered by natural hazards(NaTech)”. *Journal of Risk Research*, 2012: 1–17.
- Santella, N., Steinberg, J. L., Aguirra, A. G. 2011. “Empirical Estimation of the Conditional Probability of Natech Events Within the United States”. *Risk Analysis*, 31(6): 951–968.
- Schmidt–Thome, P. 2006. (eds.) “Natural and Technological Hazards and Risks affecting the Spatial Development of European Regions”. *Geological Survey of Finland*, Special Paper 42.
- Sengul, H., Santella, N., Steinberg, J. L., Cruz, M. A. 2012. “Analysis of Hazardous Material Releases due to Natural Hazards in the United States”. *Disasters*, 36(4): 723–743.

- Sevkal, N. 2001. *An Overview of Turkey's Urbanization*. In D. Lowatt, (ed.) *Turkey Since 1970: Politics, Economics and Society*. New York: Palgrave.
- Showalter, P.S., Myers, M. F. 1994. "Natural Disasters in the United States as Release Agents of Oil, Chemicals, or Radiological Materials Between 1980-9: Analysis and Recommendations". *Risk Analysis*, 14(2): 169-181.
- Tierney, J. K., Eguchi, T. R. 1989. *A Methodology for Estimating the Risk of Post-Earthquake Hazardous Materials Releases*. In G. S. Selvaduray, (ed.) *Papers from Hazmacon '89*. Santa Clara: Association of Bay Area Governments.
- Turner. 1994. "Causes of Disaster: Sloppy management". *British Journal of Management*, 5(3):215-219.
- UNECE. 1992. *Protocol on Civil Liability and Compensation for Damage caused by the Transboundary Effects of Industrial Accidents on Transboundary waters*.