

국외 NaTech 사례연구를 통한 재난관리 방안 고찰

유병태 · 백종배** · 고재욱**

환경부 화학물질안전원 사고예방심사과 · *한국교통대학교 안전공학과 · **광운대학교 화학공학과
(2014. 8. 5. 접수 / 2015. 9. 7. 수정 / 2016. 1. 5. 채택)

Discussions on the Disaster Management for NaTech based on the Foreign Case Studies

Byungtae Yoo · Jong-bae Baek** · Jae-wook Ko**

Accident Prevention and Assessment Division, National Institute of Chemical Safety

*Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation

**Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University

(Received August 5, 2014 / Revised September 7, 2015 / Accepted January 5, 2016)

Abstract : Natural disasters can cause major accidents in chemical facilities where they can lead to the release of hazardous materials which in turn can result in fires, explosions or toxic dispersion. Technological disasters triggered by natural disasters are referred to as NaTech(Natural Disaster Triggered Technological Disaster). These trends increase the probability of catastrophic future disasters and the potential for mass human exposure to hazardous materials released during disasters. In the present study, we proposed some methods for effective disaster management by conducting case study of major NaTech. First, establishing information sharing system of chemical accident for stakeholders and improving disaster manuals and standards of central and local government and co-operation support system. Second, activating information service of emergency planning and community right to know. Third, improving the integrated chemical accident database including NaTech accidents.

Key Words : NaTech, hazardous material, natural disaster, disaster management

1. 서론

최근 다양한 유형의 자연재해로 인하여 석유화학 산업시설의 화재·폭발, 유해화학물질이나 독성물질이 누출되는 등 다양한 사고가 발생하고 있다. 이들 사고들은 사업장 수준의 안전관리 범위를 넘어 자치단체, 국가수준의 대응과 관리가 필요한 초대형 재난으로 확대되며, 이와 같은 사례가 세계적으로 꾸준히 발생하고 있다.

2002년 유럽에서 발생한 대홍수로 인하여 체코 Labe 강 근처에 위치한 Spolona 화학회사에서 400 kg의 염소가 유출되어 인근지역 내 비상사태가 선포되었던 적이 있었으며 2005년 미국 허리케인 카트리나, 2008년 중국 스촨성 대지진, 2011년 동일본 대지진은 석유화학시설의 중대산업사고 (Major Industrial Accident)로

이어져 많은 인명피해뿐만 아니라 경제적으로도 상당한 피해가 발생하였다¹⁾.

자연재해로 인한 기술적 재난을 처음으로 연구한 미국의 Showalter & Myers(1994)는 1980년부터 1989년까지 미국 주정부 재난관리 기관들이 보유한 자료를 근거로 자연재해로 인한 다양한 기술적 재난사례를 조사·분석한 결과, 자연재해 유형은 지진이 228건, 허리케인 26건, 호우 16건, 낙뢰 15건, 강풍 13건, 폭설 7건으로 파악되었다¹⁾.

이처럼 지진, 태풍, 홍수 등과 같은 자연재해로 인한 유해화학물질 유출, 화재·폭발 등의 기술적 재난 발생은 사회가 감당하기 어려운 인적·물적 피해를 입혀 그 피해가 사회 전 방위로 확산될 가능성이 매우 높다. 이러한 재난을 가리켜 NaTech(Natural Disaster Triggered Technological Disaster)이라고 한다(Fig. 1)²⁻⁴⁾.

* Corresponding Author : Jong-bae Baek, Tel : +82-43-841-5337, E-mail : jbaek@ut.ac.kr
Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, 50, Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 27469, Korea

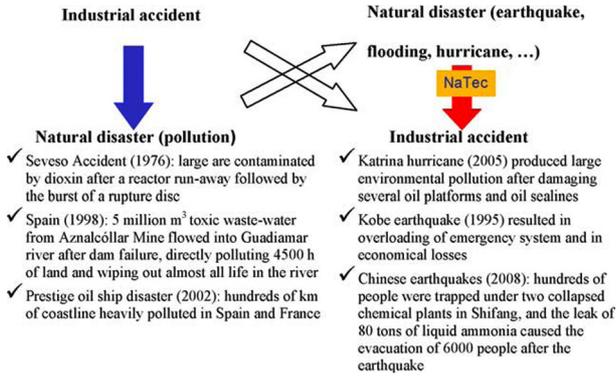


Fig. 1. The difference between technological accidents resulting in anthropic-generated natural disasters and NaTech disasters⁴⁾.

동일한 의미의 다른 용어로 OECD(2011)는 자연재해(Natural Disaster)로 인하여 발생하는 독성물질의 대기 누출, 유해화학물질 중대산업사고와 같은 2차 재난이 발생하는데 이러한 복합적 자연재해 및 기술적 재난을 NaTechs (Natural-hazard triggered technological accidents)라고 정의한 바 있다⁵⁾.

특히 세계적으로 초대형 재난의 발생 빈도가 점점 더 잦아지고 있다는 점을 감안할 때 우리나라도 NaTech 재난의 발생 가능성이 없다고 할 수 없을 것이다.

이들 연구는 주로 NaTech으로 인한 피해현황 조사 뿐 아니라 NaTech의 특성 파악, 위험성 분석, 위험관리 방안 수립 등 다양한 목적으로 이루어지고 있다.

하지만, 국내에서는 화학사고 예방·대비·대응 및 복구를 위한 연구와 화학사고 유출에 따른 위험성 평가 및 비상대응시스템 등 다양한 시뮬레이션을 구축하기 위한 연구들은 많이 진행되었으나 NaTech 또는 자연·기술 복합재난의 개념에 대해 구체적으로 논의되거나 연구되고 있지 못한 실정이다.

이 연구는 외국의 자연재해로 인한 유해화학물질 유출, 화재·폭발 등 NaTech 사례를 분석하고 관리 체계를 조사하여 국내 NaTech 재난관리 특성과 관리상의 한계점을 확인하여 재난안전관리 역량 강화를 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 국외 NaTech 연구 동향분석

앞에서 언급했듯이, NaTech에 관한 연구는 미국을 중심으로 1990년 중반부터 시작되었으며 2000년 초부터 NaTech 재난에 대한 잠재적 위험성과 재난경감을 위한 연구 및 대응방안을 마련하기 위한 국제적 협력 관계를 추진하고 있다.

Cruz는 허리케인과 다른 자연재해로 인하여 유해화

학물질 유출을 유발할 수 있지만 일반적으로 연구자들은 자연재해와 기술적 재난을 복합적 사고로 간주하기 보다는 각각을 분리해 취급하는 경우가 있다고 주장하면서 허리케인, 호우 등의 자연재해에 따른 화학사고 시나리오를 제시하였다⁶⁾.

European Commission(EC)의 Joint Research Center (JRC)는 NaTech 재난에 대한 정보부족 문제를 인지하고 자연재해로 인한 석유화학산업 피해현황에 대한 사례 및 NaTech 재난 경감을 위한 국제적 전략회의를 유럽연합(EU)과 함께 이탈리아에서 개최하고 NaTech 재난관리에 관한 종합보고서를 발간하였다^{7,8)}.

Krausmann과 Mushtaq은 당시 사용가능한 데이터에 근거하여 정량적인 분석을 통해 호우로 인한 NaTech 재난 가능성의 특성을 제시하였고 이후 지진, 호우 및 번개에 의한 석유화학설비 및 유해화학물질 유출 피해현황을 분석하기 위해 과거사고 이력을 조사하여 NaTech 재난의 위험성에 대해 설명하였다⁹⁾.

Cruz와 Okada는 지자체들의 재난관리 계획수립을 지원하기 위하여 사업장에서 취약한 분야에 대한 평가를 통해 NaTech 재난 위험도 파악을 위한 검사방법론을 제시하였다¹⁰⁾.

Steinberg는 미국 국가연구위원회(NRC, National Research Council)의 통합리스크정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System)과 미국 환경청(EPA)의 ERNS를 분석하여 미국 내 NaTech 재난 발생 건수를 조사·분석하였다. 분석결과 연도별 NaTech 발생 건수는 Northridge 지진이 발생했던 1994년에는 820건으로 가장 많았으며 1997년에는 530건으로 가장 적게 발생하였다(Fig. 2)¹¹⁾.

OECD에서 화학사고 예방·대비 및 대응 지침에 자연재해로 인한 화학 사고를 포함시켜 발간하였다^{5,10)}. 또한 2011년 11월에는 NaTech 재난 위험관리를 주제로 화학사고 예방을 위한 워크숍을 개최하여 NaTech에 대한 정의, 위험성, 국가차원에서 위험감소를 위한

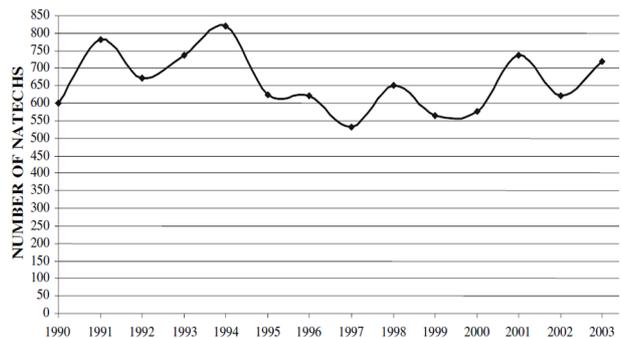


Fig. 2. Number of NaTechs in the United States, 1990–2003¹¹⁾.

주요 이슈들을 소개하였다. 그리고 2013년에 OECD 화학사고작업반 회의 및 특별 세션을 통해 NaTech 위험 관리 지침 초안을 마련하여 추가적인 검토를 위해 회원국의 의견을 수렴하기도 하였다^{5,12-13)}.

3. 국외 NaTech 사례분석

3.1. 지진에 의한 피해사례

2011년 3월 일본 동북지방의 동남동 약 130 km 부근을 진원으로 한 대지진이 일어났다. 이 지진에 의하여 14,919명이 사망하여 9,893명이 행방불명되었다. 이 지진의 규모는 리히터 규모(M) 9.0이었으며 1923년 간토 대지진과 1995년 한신·이와지 대지진이 리히터 규모(M) 7.9였으므로 일본 관측 사상 최대 규모의 지진이었다. 동일본 대지진이라고 불리는 이 지진은 단지 지진뿐 만이 아니라 다양한 2차 재해를 수반하였는데 해일에 의한 인적피해와 후쿠시마 원자력 발전소 사고를 들 수 있다¹²⁾. 일본은 지진의 발생 빈도와 강도가 높기 때문에 원전 설계 시, 리히터 규모(M) 7.0에도 견디도록 설계 되었지만 설계기준을 훨씬 초과하는 초대



Fig. 3. The LPG tank farm at the Chiba refinery after the earthquake-triggered fires and explosions¹³⁾.

Table 2. Shutdown time for 40 of the analysed facilities that were affected by the earthquake and/or tsunami (number of facilities in brackets)¹³⁾

< 1 week	> 1week <- 1month	> 1 month <- 6month	> 6 month <- 1year	Over 1 year
-	12%(5)	70%(28)	8%(3)	10%(4)

Table 1. Categories of industrial activities and number of associated analysed accident records¹³⁾

Type of industrial activity	Number of data records
Energy-related(oil refining, LNG terminal, oil-fired power plants, etc.)	7
Petrochemical (plastics, polymers, rubber, etc.)	19
Fine chemicals (pharmaceuticals, agrochemicals, etc.)	7
Metallurgy, electrochemistry and mining (steel mills, semiconductors, tailings impoundment, etc.)	9
Other (construction materials, etc.)	4

형 지진으로 인하여 피해지역에 위치한 많은 석유화학 공장들이 피해를 입었으며 다량의 유해화학물질 중대 산업사고가 발생하였다¹³⁾.

지진 발생이후 피해를 입은 화학공장의 수는 46개소였으며(Table 1) 특히, Cosmo정유소의 저장시설 내 LPG 탱크들의 많은 피해를 입었다(Fig. 3)^{13,14)}.

지진과 쓰나미로 인한 피해 정유시설 40개소에 대한 재가동 시간을 분석한 결과, 재가동을 위해 1개월부터 6개월간의 시간이 필요한 기업이 70%로 가장 많았으

Table 3. Damage and Releases from Refineries Shut Down by Hurricane Katrina⁶⁾

Facility	Location	Volume and material released	Details
Chalmette Refinery	Chalmette, LA	Unknown quantity process water	Release during shutdown, water damage prevented restart till november 2005
Chevron	Pascagoula, MS	Unknown quantity of flaring and chlorine gas	Flaring during shutdown, chlorine released from damaged tank car
ConocoPhillips	Belle Chasse, LA	None reported	Major flooding damage and limited access due to flooding and infrastructure damage
Exxon Mobil	East Baton Rouge, LA	0.5 gal oil	Small quantity of oil released from outfall
Marathon Ashland Petroleum	Garyville, LA	None reported	Minor impacts, restarted quickly
Motiva Convent Refinery	Convent, LA	Sulfur dioxide 500 lb, nitrogen oxide 10 lb	Flaring during shutdown, minor damage
Murphy Oil	Meraux, LA	1,050,000 gal oil	Storm surge damage to storage tank, major impacts on residential community
Placid Oil	Port Allen, LA	None reported	No damage, plant restarted quickly
Shell Chemical/ Motiva Norco	Norco, LA	Unknown quantity of flaring	Flaring during shutdown, minor flooding, and some wind damage

며, 사업장을 재가동하는데 1년 이상의 기간이 소요되는 사업장도 4개소에 달하였다(Table 2)¹³⁾.

3.2. 허리케인에 의한 피해사례

허리케인 카트리나(Hurricane Katrina)는 2005년 8월 말 북대서양에서 발생하여 미국 남동부를 강타한 대형 허리케인으로 미국 남부 지역에 엄청난 피해를 입혔다. 이로 인해 150만 명이 카트리나의 직접 영향을 받았고 80만 명 이상의 주민이 살던 집을 포기해야만 했다¹⁵⁾. 또한 미국 정유공장 10%가 가동이 중단되었다¹⁶⁾. 피해를 최소화하고 사고를 예방하기 위하여 대체적으로 3 일전에 9개의 정유소는 완벽하게 섯다운을 하였으며 4 개는 가동량을 줄였다⁶⁾. 비록 안전을 위해 섯다운이 필요했지만, 휘발성 물질과 다른 화학물질 등으로 잠재적 위험성은 존재하고 있어 9개 정유소 중 일부에서 염소와 원유가 유출되고 시설물이 파손되는 피해가 발생하였다(Table 3)¹⁶⁾. 특히, Murphy Oil 정유소의 경우, 1.05백만 갤런의 원유가 유출되어 인근 주거지역 1,800 여 가구에 피해를 입혔으며 홍수로 인하여 접근이 어려워졌기 때문에 피해가 가중되었다.

3.3. 낙뢰에 의한 피해사례

이집트에서는 1994년 집중호우 시 석유저장시설이 낙뢰로 인하여 8개의 저장탱크에 화재가 발생했으며, 불이 붙은 연료가 마을로 흘러들어 400여명의 사망자가 발생하였다¹²⁾. 2001년 독일에서는 나프타 저장탱크의 지붕이 낙뢰를 맞아 나프타가 증발하는 사고가 발생했다¹³⁾. 빈번한 낙뢰 사고와 이로 인한 재난 발생에도 불구하고 낙뢰에 활용할 수 있는 특별한 위험성평가 기법이 없는 상태이다¹⁶⁾.

Krausmann은 화학사고 데이터베이스를 운영하고 있는 ARIA(2006), FACTS(2006), MARS(2008), MHIDAS(2001), TAD(2004), NRC(2008)를 조사하여 자연재해 유형별 NaTech재난 발생건수를 분석한 결과, 낙뢰로 인해 피해가 발생한 NaTech 재난이 721건으로 가장 많았으며, 다음으로는 호우로 인한 NaTech 재난이 272건,

Table 4. Number of retrieved NaTech accidents per database and natural hazard¹⁷⁾

Natural hazard	ARIA	FACTS	MARS	MHIDAS	TAD	NRC	Others	Total
Lightning	45	-	4	79	9	584	-	721
Floods	72	14	1	13	13	154	5	272
Earthquakes	-	1	-	9	11	44	14	79

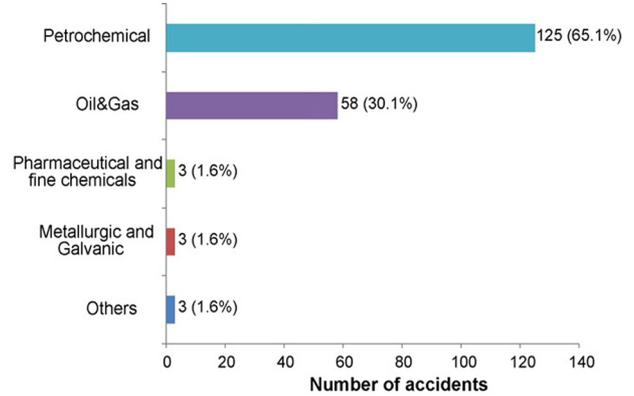


Fig. 4. Industrial activities involved in lightning-induced accidents with hazardous materials releases (based on the analysis of a subset of 190 accident records)¹⁸⁾.

지진으로 인한 NaTech 재난이 79건 발생하였다(Table 4). 또한, 해당 기록에서도 모든 사고원인들이 정확하게 기록되어 있지 못한 한계점이 있다¹⁷⁾.

Elisabetta 연구에 의하면 낙뢰로 인한 산업피해가 다양한 분야에서 폭넓게 발생하였으며 기록이 정확한 190건의 사고기록 분석 결과 96%가 석유·가스설비, 석유화학 섹터에 집중되었음을 알 수 있다(Fig. 4)¹⁸⁾.

4. 국외 NaTech 재난관리 시스템 분석

미국 재난관리청(FEMA)에서는 오래전부터 HAZUS라는 지진·홍수·태풍 피해 예측프로그램을 개발하여 재난대응계획을 수립하도록 권고하고 있다. HAZUS 평가 프로그램에는 자연재해로 인한 2차 피해로 발생할 수 있는 위험물질, 화재, 산업시설 구조물 파손 등에 대한 피해예측을 포함하고 있다. 재난 발생 시 또는 예방 차원에서 주정부, 지방정부에서 신속대응에 필요한 범위와 정보를 실시간으로 예측하고 재난에 따른 복구계획을 세우며 예방훈련 등 상시 재난관리에 활용하고 있다¹⁹⁾.

미국 캘리포니아 주는 연방정부에서 규정하고 있는 공정안전관리와 함께 지진피해위험이 높기 때문에 자체적으로 NaTech 경감을 위한 캘리포니아 주 화학물질 누출예방프로그램 (CalARP; California Accidental Release Prevention Program)을 운영하고 있다. 이러한 프로그램의 일환으로 캘리포니아지역 재해대책위원회에서는 NaTech 재난에 대비한 잠재적인 문제점을 파악하기 위하여 정부기관들과 기업들을 위한 지침서를 마련하여 운영하고 있다²⁰⁾.

NaTech 데이터베이스 관리측면에서 살펴보면, 미국 EPA는 비상대응통보시스템(ERNS; Emergency Response



Fig. 5. natural-hazard triggered technological accidents (Natech) risk analysis and mapping²²⁾.

Notification System) 데이터베이스에서 NaTech 재난사례를 관리하고 있고 유럽연합 JRC를 중심으로 사고 데이터베이스 구축을 위한 활동이 진행되고 있다(Fig 5)²¹⁾. 이러한 재난관련 정보들을 기반으로 미국과 유럽연합의 NaTech 재난관리 체계를 발전시켜 나가고 있다.

5. 국내 NaTech 재난 연구 및 관리현황

우리나라의 경우 미국 OSHA의 PSM, EPA의 RMP 제도를 도입하여 운영하고 있다. 해당 프로그램은 각각 화학사고로부터 근로자를 보호 위한 근로자공정안전 및 위험관리를 요구하고 있으며 화학물질 유출에 따른 대중 보호를 위한 위험관리와 비상계획 수립을 요구하고 있지만, 허리케인, 지진과 같은 자연재해로 인한 외부적 잠재요인에 의한 위험성 평가 규정이 없다. 따라서 해당 시스템을 도입하여 운영하고 있는 우리나라도 재난관리에 있어 유사한 한계점이 존재하고 있는 것이다.

우리나라의 경우 지난 2002년 태풍 루사로 인하여 울산지역 전체에 걸쳐 정전사태가 발생하였으며, 이에 따른 시설물 파손과 생산라인 정지 등으로 인하여 발생한 석유화학단지의 피해규모는 75억 원으로 집계되었다. 또한 2005년에는 태풍 나리에 의한 피해가 발생하였으며 2012년에는 태풍 볼라벤의 영향으로 여수 국가산업단지의 피해가 발생한 바 있다^{23,24)}.

하지만, 환경부, 국민안전처, 안전보건공단 등 어느 기관에서도 이러한 NaTech 재난과 관련한 정보를 확인할 수 없는 실정이다.

대표적인 사례로 2002년 태풍 루사로 인한 경제적 피해가 5조 1천억 원이 넘었고 2003년 매미로 인한 피해는 4조 2천억 원이 넘는 것으로 발표되었다²³⁾. 이처럼 역대 1, 2위 재산피해가 발생한 초대형 태풍 피해였음에 불구하고 여수와 울산국가산업단지를 포함한 석유화학산업의 설비피해, 조업중단 또는 화학물질 유출

로 인한 사고현황 및 피해 규모에 대해서 관련부처 사고DB에 체계적으로 관리·기록되어 있지 않다.

또한, 우리나라는 일부 석유화학 분야의 대기업을 중심으로 해당 사업장의 안전관리 또는 비상관리계획에서 태풍·폭우, 지진 등의 자연재해 발생 시 안전·환경사고로 확대되는 상황을 사전에 예방하기 위해 재난예방 실시계획을 수립하고 있다. 그러나 중소기업의 경우 재난대비 행동 및 대응 매뉴얼이 부족한 상황이기 때문에 지방자치단체 또는 재난관리 책임기관들과의 유기적인 상호협력 관리체계 및 지원이 필요한 부분이다.

화학사고의 경우, 국가위기관리기본지침 및 화학유해물질 유출사고 표준·실무·현장 매뉴얼에 따라 지역특성 및 기관 특성에 맞춰 세부 재난관리 계획 및 훈련계획 등을 수립하고 있다. 그리고 「재난 및 안전관리 기본법」에 근거하여 자치단체 및 재난관리책임기관들은 매년 안전관리계획을 수립하도록 되어 있으나 NaTech 재난 예방 및 경감을 위한 체계는 마련되어 있지 않고 단일 재난유형별로 재난관리체계(예방·대비·대응·복구)만 운영되고 있다.

자연재해로 인한 화학사고가 사업장을 넘어 지역주민에게 영향을 끼칠 수 있는 대형 재난으로 확대되었을 경우 NaTech 재난관리가 체계적으로 마련되지 못하다면 향후 커다란 사회적 문제가 될 것이다.

우리나라에서도 최근 복합재난에 대해 많은 연구가 진행되고 있으나 전반적으로 자연재해 중심의 재난피해에 집중되어 있는 실정으로 자연재해 발생으로 인한 석유화학 또는 가스 산업 시설에 대하여 피해, 유해화학물질 유출사고에 대한 사고조사, DB관리가 체계적으로 이뤄지지 못하고 있는 실정이다.

6. NaTech 재난관리 측면의 개선방안

6.1. 사업장 안전관리 및 점검 강화

기후 및 사회구조 변화에 따라 새로운 위험요소가 증가하고, 재난의 대형화 및 복합화로 인하여 이에 대한 대응방안도 다음과 같이 새롭게 정비되어야 하며 다양화, 복잡화된 현대 사회는 과거와는 달리 단순한 자연재난으로 한정되지 않고, 인적재난과 복합하여 사회적 재난의 형태로 발전하게 되어 큰 피해가 발생하고 있다는 점에서 복합형태의 극한 재난 상황에 대비하기 위한 대응체계의 구축이 필요하다²⁵⁾.

특히, 최근 빈번하게 발생하고 있는 화학사고와 관련 유해화학물질 안전관리 측면에서 「화학물질관리법」상 급성독성(急性毒性)·폭발성 등이 강하여 사고발생

의 가능성이 높거나 사고가 발생한 경우에 피해 규모가 클 것으로 우려되는 화학물질로서 사고 대비·대응 계획이 필요하다고 인정되어 대통령령으로 사고대비 물질(69종)을 지정하고 있으며 이중 금속성 물질은 나트륨, 황산 등 9종으로 여름철 집중호우, 태풍 피해예방을 위해 해당 물질중심으로 일정규모 이상 취급·저장하고 있는 경우 중점관리가 필요하다고 사료된다.

황산의 경우, 환경부 내부 자료에 따르면 '13년 가장 많이 취급된 물질로 벤젠 다음으로 높았으며 제조된 수량으로는 벤젠, 염화수소 다음으로 높게 나타났다. 황산의 경우 옥외저장시설이 대부분이며 상온에서 증기압이 높지 않기 때문에 대량의 누출이 발생하기 이전에는 누출감지가 쉽지 않아 사고로 확대될 가능성이 높을 것으로 사료된다.

이러한 사고대비물질을 중심으로 중앙정부 및 지방정부 그리고 재난관리 책임기관에서는 집중호우, 낙뢰 또는 태풍이 발생하는 시기에 집중관리 대상 시설, 물질 등을 구체적으로 선정하여 사전에 중점관리를 실시한다면 선택과 집중을 통하여 사고 예방 및 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

6.2. 화학사고 데이터베이스 개선

현재 재해연보·재난연감, 사고정보통합시스템(CATS) 등 정부의 재난사고자료 또는 화학사고 데이터베이스 시스템에서 낙뢰, 집중호우 등 자연재해로 인하여 발생한 화학사고 사례, 피해정보를 쉽게 찾아 볼 수 없는 실정이다. 즉, DB설계부터 해당 부분이 누락되어 있거나 화학사고 조사시 해당부분에 대한 인식이 부족한 실정으로 사료된다.

기후변화 등으로 꾸준히 발생하고 있는 자연재해로 인한 화학사고 발생 가능성이 높아지고 있는 상황 속에서 사고 발생원인, 피해규모 등을 정확히 관리할 필요성이 있다. 따라서 화학사고 조사 시 자연재해로 인한 사고유형을 사고원인조사 항목에 추가하여 관리한다면 향후 자연재해로 인한 화학사고에 대한 과학적·선제적 예방관리를 수행할 수 있을 것이다.

6.3. 지역주민 알권리 충족을 위한 정보제공 활성화

현재 화학물질관리법 상 사고대비물질을 지정수량 이상 취급·저장하는 사업장은 사고 영향권 내에 있는 주민에게 해당물질에 대한 유해성, 사고 발생 시 주민 대피요령, 응급조치요령, 방제계획 등이 포함된 위해관리계획 고지서를 매년 1회 이상 인근 주민에게 고지하도록 규정하고 있다.

사업장에서는 자연재해로 인한 화학사고에 대한 예

방, 대비 및 복구계획 등을 강화하여 관리하고 평상시 주민 제공정보, 사고발생 시 주민들이 취해야 하는 정보 등을 보다 구체적으로 포함한다면 실효성 있게 주민 알권리 정책 및 정보제공 체계가 활성화 될 것으로 사료된다.

7. 결론 및 제언

최근 기후변화로 다양한 유형의 자연재해에 따른 화학사고 및 유해화학물질 유출 재난피해 현황을 조사하였다.

NaTech 재난은 복합적·동시다발적으로 넓은 지역에 피해를 끼치거나 연쇄적으로 사고가 발생하여 초대형 재난으로 확대될 가능성이 매우 높다. 미국, 일본 등 재난관리 선진국들은 대형재난을 겪으면서 NaTech 재난에 대해 체계적 대응체계를 마련하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 기존의 단일 재난유형별로 재난관리체계가 운영되고 있는 실정이다. 대형화·집중화 양상을 보이고 있는 최근 재난에 대하여 선제적·효율적 대응을 위해 자연재해 발생 시 취약 시설 및 중점관리가 필요한 유해화학물질 등에 대한 구체적 대상·방안 마련을 바탕으로 재난안전관리에 있어 선택과 집중이 필요하며 사고 영향권 내에 있는 주민에게 제조·보관하고 있는 유해화학물질에 대한 유해성, 대피요령, 사업장의 방제계획 등 지역주민에게 충분히 사전 정보를 제공하여 사전예방 및 사고 발생 시 피해를 최소화할 수 있는 세부방안 마련이 필요하다.

또한, 유관기관 간 화학사고 정보 공유를 바탕으로 자연재해로 인하여 발생하는 화학사고 원인조사 체계 마련이 시급한 시점이다. 표준화된 NaTech 사고정보관리시스템을 바탕으로 선진국들과의 정보공유 체계를 마련하고 국가적 차원에서 NaTech 재난관리를 강화하여 NaTech 재난예방을 위해 추가적인 연구 수행이 필요하다.

References

- 1) A. M. Cruz and E. K., "Hazardous-materials Releases from Offshore Oil and Gas Facilities and Emergency Response Following Hurricanes Katrian and Rita", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 22, pp. 59-65, 2009.
- 2) J. Y. Her, "Exploring Possible Catastrophic Disaster Scenarios and Building Korean Disaster Response Systems", KIPA, 2012.
- 3) Y. K. Oh, "Policy Issues in NaTech(Natural Hazards

- Triggered Technological Disaster) Disaster Management”, KIPA, 2013.
- 4) E. Salzano et al., “Public Awareness Promoting New or Emerging Risks: Industrial Accidents Triggered by Natural Hazards (NaTech)”, *Journal of Risk Research*, Vol. 16,(Nos. 3-4): pp. 469-485, 2013.
 - 5) OECD, “OECD Chemical Accidents Programme: A Workshop on NaTech Risk Management”, 2011.
 - 6) A. M. Cruz, L. J. Steinberg and R. Luna, “Identifying Hurricane-Induced Hazardous Material Release Scenarios in a Petroleum Refinery”, *Natural Hazards Review* November, pp. 203-210, 2001.
 - 7) A. M. CRUZ, L. J. STEINBERG, A. L. VETERE-ARELLANO, “Emerging Issues for NaTech Disaster Risk Management in Europe”, *Journal of Risk Research*, Vol. 9, pp. 483-501, 2006.
 - 8) A. Lisa V. Arellano, A. M. Cruz, J. -P. N. Ik and F. Pisano, “Analysis of NaTech(Natural Hazard Triggering Technological Disasters) Disaster Management”, European Commission, 2004.
 - 9) E. Krausmann and F. Mushtaq “A Qualitative NaTech Damage Scale for the Impact of Floods on Selected Industrial Facilities”, *Natural Hazards*, Vol.46, pp. 179-197, 2008.
 - 10) A. M. Cruz and N. Okada “Consideration of Natural Hazards in the Design and Risk Management of Industrial Facilities”, *Natural Hazards*, Vol.44, pp. 213-227, 2008.
 - 11) L. J. Steinberg, H. Sengul and A. M. Cruz, “Natech Risk and Management: An Assessment of the State of the Art”, *Natural Hazards*, Vol. 43, pp. 143-152, 2008.
 - 12) L. Mizushima, “Analysis of Policies Regarding Fukushima Earthquake and Nuclear Disaster in Japan,” Korea Legislation Research Institute, 2012.
 - 13) E. Krausmann and A. M. Cruz, “Impact of the 11 March 2011, Great East Japan Earthquake and Tsunami on the Chemical Industry”, *Natural Hazards*, Vol. 67, pp. 811-828, 2013.
 - 14) <http://www.cosmo-oil.co.jp/eng/press/110802/index.html>
 - 15) J. S. Song, “Disaster Response System and Program of United States”, *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, Vol. 3, pp. 96-110, 2007.
 - 16) D. R. Knabb, R. J. Rhome and P. D. Brown, “Tropical Cyclone Report Hurricane Katrina”, National Oceanic and Atmosphere Administration, 2011.
 - 17) E. Krausmann, E. Renni, M. Campedel and V. Cozzani, “Industrial Accidents Triggered by Earthquakes, Floods and Lightning: Lessons Learned from a Database Analysis”, *Natural Hazards*, Vol. 59, pp. 285-300, 2011.
 - 18) E. Renni, E. Krausmann and V. Cozzani, “Industrial Accidents Triggered by Lightning”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 184, pp. 42-48, 2010.
 - 19) FEMA, “Multi-Hazard Loss Estimation Methodology-Flood Model”, Technical Manual, 2009.
 - 20) L. J. Steinberg, M. ASCE and A. M. Cruz, “When Natural and Technological Disaster Collide: Lessons from the Turkey Earthquake of August 17, 1999”, *Natural Hazards Review*, Vol.5, pp. 121-130, 2004.
 - 21) A. M. Cruz, “Joint Natural and Technological Disasters: Assessment of Natural Disaster Impacts on Industrial Facilities in Highly Urbanized Areas. Dissertation”, Tulane University, New Orleans, LA, pp. 212, 2003.
 - 22) <https://ec.europa.eu/jrc/en>
 - 23) www.chemlocus.co.kr.
 - 24) www.etoday.co.kr.
 - 25) J. Y. Hie, “Exploring Possible Catastrophic Disaster Scenarios and Building Korean Disaster Response Systems”, KIPA, 2012.