

화학물질 안전사고 사례분석 및 저감 방안 연구

한경림, 강성진
한국폴리텍대학
e-mail:khan@kopo.ac.kr

Analysis of Chemical Safety Accidents and Study on Mitigation Measures

Kyoung-Rim Han, Sung-Jin Kang
Dept. of PetroChemical Processing, Korea Polytechnics

요약

In this study, we collected and analyzed domestic and foreign chemical accident cases by the nature of the chemical substance, and proposed measures to prevent or reduce chemical accidents. The analysis revealed that human error, equipment malfunction, chemical leakage, and mechanical failure were the main causes of chemical accidents. To prevent such accidents, we proposed measures such as risk assessment, strengthening of chemical management systems, safety education and training, facility safety enhancement, and compliance with legal regulations. The government and industry should actively participate in safety evaluation and prevention strategies for chemical substances to contribute to the sustainable development of the chemical industry and a safe society.

1. 서론

화학물질은 현대 산업의 발전에 중요한 역할을 하고 있으며 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 화학물질로 인한 안전사고는 여러 가지 불안전 요소로 인해 발생하며 사고 발생 가능성은 높은 수준으로 유지되고 있다. 화학산업에서의 화학사고는 다종의 유해화학물질이 고온 또는 고압의 조건에서 다량 유출되어 화재와 폭발을 일으킬 수 있는 잠재적 영향성이 매우 크다. 또한 화학사고 발생 시 화학물질의 잔류성, 확산성으로 인해 심각한 환경 오염과 인명피해 및 재산상 피해 등을 초래하는 문제를 일으킬 수 있으며 이를 복구하기 위해서도 많은 시간과 비용적 손실이 발생하게 된다. 따라서 화학사고를 예방할 수 있는 안전한 화학물질 관리와 대응체계를 마련할 수 있는 방안연구가 필요하다. 본 연구에서는 최근 10년간의 국내외 화학물질 안전사고 사례를 사고의 원인 및 화학물질의 정상별로 분류하여 분석하여, 화학 안전사고를 대처하고 예방할 수 있는 방안에 대해 고찰하였다.

2. 본론

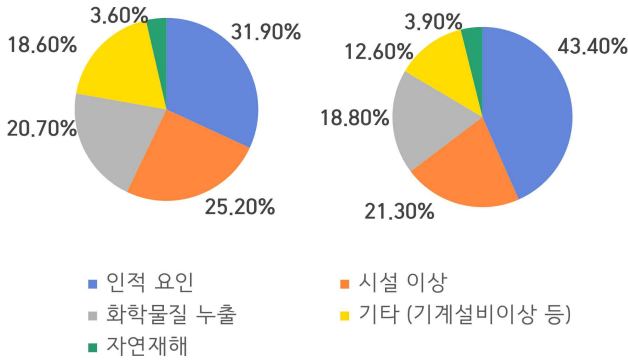
본 연구의 화학물질 안전사고는 2012년부터 2021년까지의

국내의 화학물질 사고 사례를 분석하였고, 국외는 미국의 사례를 비교하여 분석하였다. 화학물질 안전사고의 주원인은 인적 오류, 시설 이상, 화학물질 누출, 기계 오동작 등으로 조사되었고, 화학물질 안전사고의 주원인별로 발생한 사고의 사례 및 저감 대책을 분석하였다.

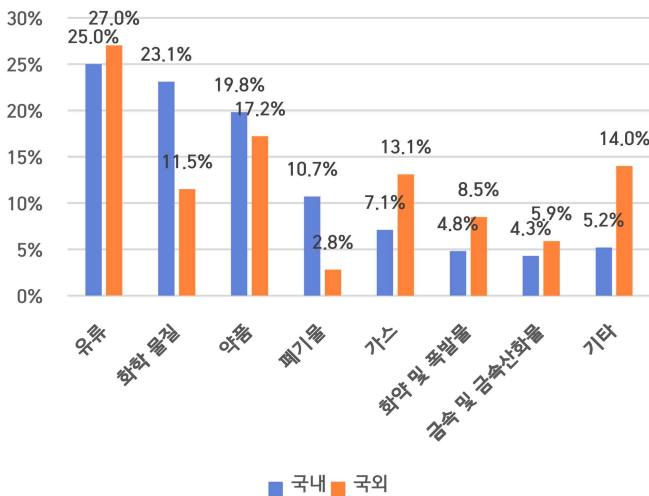
2012년부터 2021년까지 국내에서는 총 420건의 화학물질 안전사고가 발생하였고, 원인별 비율은 인적 요인 31.9%, 설비 이상 25.2%, 화학물질 누출 20.7%, 기타(기계설비 이상 등) 18.6%, 자연재해 3.6% 순으로 나타났다. 반면, 미국에서는 최근 10년간 961건의 화학물질 안전사고가 발생하였고, 원인별 비율은 인적 요인 43.4%, 시설 이상 21.3%, 화학물질 누출 18.8%, 기타(기계설비 이상 등) 12.6%, 자연재해 3.9% 순으로 발생하였다[그림 1].

또한 국내에서 물질별 비율은 유류 25.0%, 화학물질 23.1%, 약품 19.8%, 폐기물 10.7%, 가스 7.1%, 화약 및 폭발물 4.8%, 금속 및 금속산화물 4.3%, 기타 5.2% 순으로 나타났고, 미국에서 물질별 비율은 유류 27.0%, 화학물질 11.5%, 약품 17.2%, 폐기물 2.8%, 가스 13.1%, 화약 및 폭발물 8.5%, 금속 및 금속산화물 5.9%, 기타 14.0% 순으로 나타났다. 기타에는 식품, 유리 및 유리제품 등을 포함한다[그림 2].

상의 부상자가 발생했으며, 근처 건물 1500여 채가 파괴되는 등 큰 피해를 입었다. 이러한 인적 오류를 줄이기 위해서는 교육 및 훈련 등이 필요하며 기술적인 개선도 뒷받침되어야 한다.



[그림 1] 최근 10년간 국내외 화학물질 안전사고 원인별 비율(왼쪽:국내, 오른쪽: 국외)



[그림 2] 최근 10년간 국내외 화학물질 안전사고 물질별 비율

2.1. 국내외 화학물질 안전사고 사례

2.1.1 인적 요인으로 인한 화학물질 안전사고

인적 요인으로 인한 사고 사례로는 국내에서는 2018년 12월 10일 발생한 부천화재, 2020년 9월 17일 발생한 광주 화학물질 창고 화재 등이 있다. 해당 사고들은 사람의 실수로 인한 화학물질 누출로 발생한 화재 사고였으며, 부천화재에서는 염화나트륨(NaCl), 질산(HNO₃), 질산암모늄(NH₄NO₃), 진한 염산(HCl), 중탄산나트륨(Na₂CO₃), 수산화나트륨(NaOH), 수소(H₂)와 같은 약 70가지 종류의 화학물질이 누출되어 폭발 및 화재 발생에 이어 인명피해도 발생했다.

국외에서는 2013년 4월 17일 텍사스주 웨스트(West)의 비료 공장에서 발생한 폭발사고가 있다. 화학물질 안전 규제를 따르지 않은 채 시설을 운영하여 대규모 폭발 사고가 발생했고, 비료공장 내부에 저장되어 있던 질산암모늄(NH₄NO₃)이 발화되어 사고가 일어났다. 이로 인해 15명의 사망자와 160명 이

2.1.2. 시설 이상으로 인한 화학물질 안전사고

시설 이상으로 인한 사고 사례로는 국내에서는 2018년 11월 15일 발생한 인천 중구 송학공단 내 폴리프로필렌 제조 설비에서 발생한 사고가 있다. 해당 사고는 제어 밸브 이상으로 인한 가스 누출로서 수소가스가 다량 누출되어 화재가 발생했다.

국외에서는 2019년 11월 27일 발생한 텍사스 TPC 그룹 화학공장에서 대규모 화재 사고가 있다. 해당 사고는 시설의 이상으로 보관하고 있던 1,3-부타디엔이 탱크와 파이프라인으로 누출되어 화재가 발생했다. 해당 사고로 인해 대기로 방출된 화학물질은 에틸렌, 스티렌, 부타디엔, 사이클로펜타디엔 등이다.

2.1.3. 화학물질 누출로 인한 화학물질 안전사고

화학물질 누출로 인한 사고 사례로는 국내에서는 2013년 9월 27일 발생한 인천 대공업 화재 사고가 있다. 해당 사고는 폐기물 처리 회사가 폐기물을 불법적으로 저장하면서 발생한 화재로, 화학물질 누출과 화재로 인해 인명피해와 환경 오염이 발생했다. 해당 사고에서 누출된 화학물질은 다이메틸포름아미드(DMF), 살리실산, 에틸아세테이트 등이다.

국외에서는 2014년 1월 9일 웨스트 버지니아 주에 위치한 화학공장에서 4-Methylcyclohexane Methanol(MCHM)이라는 화학물질이 누출된 사고가 있다. 해당 사고로 인해 Elk River의 수돗물이 오염되어 300,000명 이상 주민의 수돗물 사용이 중단되었고, 이로 인한 사회적, 경제적 피해가 발생했다.

2.1.4. 기계설비 이상으로 인한 화학물질 안전사고

기계 오동작으로 인한 사고 사례로는 국내에서는 2018년 2월 22일 발생한 서울 대방역 화재 사고가 있다. 해당 사고는 대형 광고물 제작소에서 용접 작업 중에 기계의 오동작으로 인해 화재가 발생하여 인명피해와 환경 오염이 발생했다. 해당 사고에서 누출된 화학물질은 살리실산 등이다.

국외에서는 2017년 8월 31일 발생한 미국 휴스턴 화학공장 폭발 사고가 있다. 해당 사고는 허리케인 하비(Hurricane Harvey)로 인한 홍수로 인해 전기설비의 오동작으로 인해 폭발이 발생하여 인명피해와 환경 오염이 발생했다. 해당 사고에서 누출된 화학물질은 진한 염산, 프로필렌옥사이드 등이다.

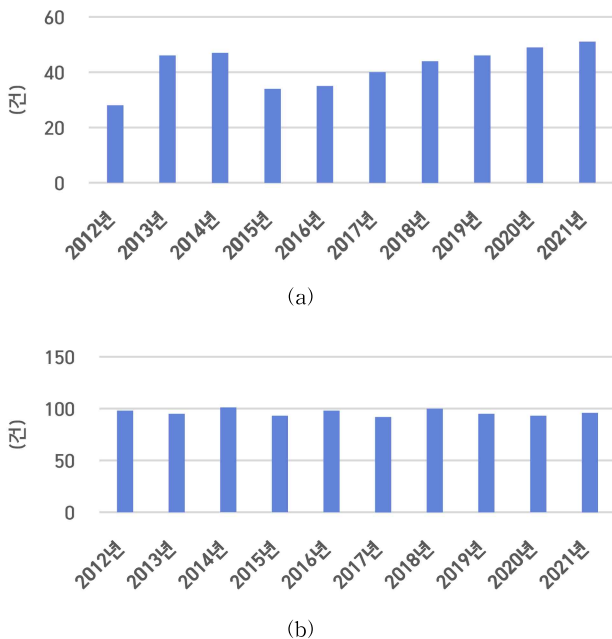
2.2. 화학물질 안전사고 대처 및 대응 방안

2.2.1 국내외 화학물질 안전사고 분석

[그림 3]에서와 같이 국내에서는 대부분의 화학물질 안전사고가 유류 및 화학물질의 누출로 인한 것으로 이는 대부분의 사고가 산업단지나 공장 등에서 발생하기 때문이며, 설계 불량, 유지보수 부실, 안전교육 부재 등이 사고의 원인이라고 사료된다. 이러한 상황에서 한국 정부는 2014년부터 5개년 계획으로 화학물질안전사고 대응전략을 수립하였으며, 적극적인 예방활동을 펼치고 있다. 또한, 국내에서는 화학물질 관리법이 제정되어 화학물질의 안전한 사용 및 관리에 대한 규제가 강화되고 있다.

또한, 국외에서의 화학물질 안전사고는 국내에 비해 인적요인에 의해 발생하는 비율이 높은 것으로 나타났으며, 작업자의 부주의 등이 사고의 원인으로 사료된다. 이러한 상황에서 미국 정부는 화학물질 안전사고 예방을 위해 OSHA(미국 직업안전보건국)와 EPA(미국 환경보호국) 등이 각종 정책과 규제를 제정하고 있으며, 현장에서의 예방적 대응과 교육이 강화되고 있다.

한편, 산업 구조나 규제 체계 등의 차이 때문에 이러한 사고 발생원인의 비율에도 차이가 있는 것으로 추측된다. 또한 화학물질 사고에 대한 정책과 범규제가 있음에도 불구하고 국내외 화학물질 안전사고는 해마다 꾸준히 발생하고 있다 [그림 3].



[그림 3] 최근 10년간 국내외 화학물질 안전사고 연도별 발생건수(a: 국내, b: 국외)

2.2.2 국내외 화학물질 안전사고 대처 및 대응

국내에서의 유류 및 화학물질 누출에 의한 안전사고에 대처 및 대응하기 위해서는 우선, 화학물질의 상태와 물성을 고려하여 적절한 보관, 운반 및 처리 방법을 선택하는 것이 중요하다. 따라서 화학물질 위험성 평가를 실시하여 위험성이 높은 물질의 사용 및 보관을 엄격하게 제한하고, 안전한 대체 물질을 사용하도록 유도하여야 하며, 화학물질 관리 체계를 강화하여, 화학물질의 보관, 운반, 처리 등을 엄격하게 관리하고, 화학물질 누출 시 대처 방안 및 훈련을 수행하여 대응 능력을 향상시킬 필요가 있다.

또한, 국외에서의 인적요인에 의한 안전사고에 대처 및 대응하기 위해서는 우선, 교육의 강화가 필요하다. 적절한 교육 프로그램을 도입하여 안전 규정 및 절차, 화학물질의 위험성 등을 충분히 교육하고, 해당 교육 프로그램의 효과적인 운영을 통해 직원들의 안전 교육 수준을 높일 필요가 있다. 또한, 안전한 작업 수행을 위한 환경을 조성하여 직원들이 화학물질의 위험성을 인식하고, 적극적으로 안전 대책을 수행할 수 있게 할 필요가 있다.

한편, 화학물질 안전사고의 대처 및 대응 방안을 종합적으로 정리하자면 다음과 같다.

첫째, 화학물질 위험성 평가를 실시하여 위험성이 높은 물질의 사용 및 보관을 엄격하게 제한하고, 안전한 대체물질을 사용하도록 유도한다.

둘째, 화학물질 관리 체계를 강화하여, 화학물질의 보관, 운반, 처리 등을 엄격하게 관리하고, 화학물질 누출 시 대처 방안 및 훈련을 수행하여 대응 능력을 향상시킨다.

셋째, 안전 교육과 훈련을 실시하여, 관련 인원들의 안전 인식을 제고하고, 화학사고 발생 시 대응 능력을 향상시킨다.

넷째, 화학공장 등 시설 안전을 강화하기 위해서는, 설계 단계부터 안전성을 고려한 시설 구성과 설치를 해야 하며, 정기적인 검사와 유지보수, 수리 등을 통해 안전성을 유지시킨다.

다섯째, 관련 법령 및 규정을 준수하여, 화학물질 관리와 사용 등에 대한 법적 규제를 준수한다.

위의 대처 및 대응 방안을 통해 화학사고를 예방하고, 발생 시 적극적이고 빠른 대응을 할 수 있는 준비가 필요할 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서는 화학물질 안전사고의 원인별, 화학물질의 물질별로 국내외 화학물질 사고 사례를 분석하고, 화학사고

를 예방할 수 있는 방안을 모색하였다. 이를 통해, 관련 기관들은 화학물질의 위험성 평가와 예방 대책 마련에 더욱 집중적인 노력이 필요하며, 기업들도 안전한 화학물질 관리 체계를 구축하고, 안전 교육과 훈련을 실시하여 화학사고를 예방할 수 있도록 노력이 필요하다.

또한, 정부와 산업계는 화학물질에 대한 안전성 평가와 예방 대책 마련에 더욱 적극적으로 참여하고, 화학사고 발생 시 신속하고 적극적인 대응이 이루어질 수 있도록 대비가 필요하다. 이를 통해, 화학물질 관련 산업의 지속적인 발전과 안전한 사회 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Yoo, B. T., A Study on Improvement Safety Management through Chemical Accident Investigations, The Korean Society of Disaster Information, Fire Sci. Eng, 17(3), 403-414, 2021.
- [2] Seok, H. J., A Study on the Risk Management through the Lessons of Chemical Accidents, Korean Journal of Safety Culture, 6(6), 29-43, 2019.
- [3] You, J., Chung, Y.-J., Case Analysis of the Harmful Chemical Substances' Spill, 28(6), 190-98, 2014.
- [4] 환경부, 화학물질 통계조사 결과보고서, 2022.
- [5] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2022.