

암모니아 화학사고 피해를 줄이기 위한 제도개선 연구

A Study on the Improvement of the System to Reduce Damage on Ammonia Chemical Accident

이주찬¹ · 전병한² · 김현섭^{3*}Joo Chan Lee¹, Byeong Han Jeon², Hyun Sub Kim^{3*}¹Researcher, Wonju Regional Environmental Office, Wonju, Republic of Korea²Researcher, National Institute of Chemical Safety, Cheongju, Republic of Korea³Senior Researcher, Gangneung Regional of Ministry of Employment and Labor, Gangneung, Republic of Korea

*Corresponding author: Hyun Sub Kim, Sakao@korea.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is suggested to improve upon current existing methods of ammonia chemical accident prevention and damage reduction. **Method:** Ammonia is one of the most common toxic substances that causes frequent chemical accidents. And it was selected as leakage materials according to statistics on chemical accident. Based on actual cases of chemical accidents, CARIS modeling was used to compare the damage impact range of Ammonia and HCl and Cl. Also, find out problems with the current systems. **Result:** As a result of find out the range of accident influence that spreads to the surroundings when an ammonia chemical accident, it was longer than the range of influence of hydrochloric acid and shorter than that of chlorine. In addition, it was found that when chemical accident by ammonia, hydrochloric acid, or chlorine, there are apartments and schools, which can have an effect. **Conclusion:** It is decided that it is necessary to determine whether or not chemical accident prevention management plans and statistical investigations are submitted for workplaces dealing with ammonia, and detailed guidelines and reviews are necessary. In addition, it is judged that it is necessary to establish a DB for ammonia handling plants, and it is considered that information sharing and joint inspection among related organizations should be pursued.

Keywords: Chemical Substance Control Act, Hazardous Chemicals, Chemical Accident, Ammonia, CARIS

요약

연구목적: 본 연구에서는 암모니아 화학사고 발생 시, 사고 피해 최소화와 사고예방을 위한 현 제도의 개선방안을 제시하고자 한다. **연구방법:** 화학사고 발생통계자료를 바탕으로 빈번한 화학사고를 일으키는 대표적인 독성물질 중 하나인 암모니아를 누출물질로 선정하였다. 또한, 실제 암모니아 화학사고 발생 사례를 바탕으로 CARIS 모델링을 활용하여 암모니아, 염산, 염소의 피해영향범위를 비교해보았으며, 현 제도의 문제점을 파악하였다. **연구결과:** 암모니아 화학사고 발생 시 주위에 확산되는 영향범위를 산정한 결과 염산의 사고영향거리보다 더 길게 나타났으며 염소의 사고영향거리보다는 더 짧게 나타났다. 또한, 암모니아, 염산, 염소 사고 발생시 아파트, 학교 등의 민감수용체가 존재하고 있어 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. **결론:** 암모니아를 취급하는 사업장에 대해서 화학사고예방관리계획서, 통계조사 등의 제출여부를 파악하는 것이 필요하다고 판단되며 구체적인 세부지침 및 검토가 필요하다고 사료된다. 또한, 암모니아 취급사업장의 DB 구축이 필요하다고 판단되며 관계기관들 간의 정보공유 및 합동점검 등을 지향하여야 한다고 사료된다.

핵심용어: 화학물질관리법, 유해화학물질, 화학사고, 암모니아, CARIS

Received | 23 February, 2022

Revised | 25 March, 2022

Accepted | 8 April, 2022

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

화학 산업은 20세기 초 급속도로 발전하였으며 모든 산업에 직간접적으로 관련되어 있다. 또한, 규모면에서는 큰 비중을 차지하고 있다. 반면에, 화학물질 취급 및 유통량 증가로 화학사고의 발생위험이 증대되고 있으며, 시설의 노후화로 인해 크고 작은 화학사고는 과거부터 현재까지 빈번히 발생되고 있다(Kim et al., 2017). 특히, 2012년 구미 불산누출사고는 국민들에게 화학사고에 대한 경각심을 일깨웠으며, 이를 통해 화학사고의 중요성이 부각되기 시작하였다. 이에 따라 화학사고에 대한 관심, 신고건수가 급격하게 증가하였으며, 정확한 통계수치들이 보고되고 있다(Shin et al., 2016).

화학사고는 일반적으로 화재, 폭발, 누출 등 3가지 형태로 발생한다. 화학물질종합정보시스템 조사결과 누출사고는 화학사고 중 79%로 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 물질별로는 염산, 암모니아, 질산 순으로 나타났다. 위 물질들은 과거 오래전부터 사용되어왔고 취급사업장은 주로 노후화된 시설들이 대부분이며 실제 화학사고 또한 주로 노후화된 시설들에서 발생 되었다(Ministry of Environment, 2021). 특히, 암모니아의 경우 전체 화학사고 중 18%로 높은 비중을 차지하지만 「화학물질관리법」에서 일부 제외되어있다.

암모니아는 공기보다 가볍고 확산속도가 빨라서 밀폐된 실내에서 누출될 경우 외부로 확산될 수가 없어 폭발범위에 쉽게 도달할 수 있다. 또한, 폭발 하한 값이 15%로서 다른 가연성가스에 비해 상대적으로 높아, 폭발하는 경우에는 피해규모가 확대될 가능성이 있으며, 외부로 누출 시 공기 중으로 쉽게 확산되어 주변에 영향을 미칠 수 있다(Ryu et al., 2016). 암모니아는 「화학물질관리법」에서 정한 유독물질 및 사고대비물질로서 주로 냉동 시설의 냉매가스, 질소화합물의 탈질용으로 쓰이며 여러 산업현장에서 쓰이는 필수불가결한 물질이다. 「화학물질관리법」에서는 암모니아를 유독물질 및 사고대비물질로 지정하여 관리하지만, 동 법 제3조 적용범위에서 「고압가스안전관리법」에 의해 고압가스로 분류되는 암모니아는 유해화학물질 인·허가 등의 관리체계에서 「화학물질관리법」의 적용을 일부 받지 않는다. 고압인 암모니아는 「고압가스안전관리법」의 적용을 받아 관리하고, 저압인 암모니아는 사고대비물질로 연간 100kg 이상 취급 시 「화학물질관리법」에 따라 관리하고 있다(Ministry of Environment, 2021; Ministry of Trade, Industry and Energy, 2021). 현재 암모니아 화학사고는 고압암모니아를 취급하는 냉동 시설의 사업장에서 주로 발생 되어 문제가 되고 있는 실정이다. 냉동 시설의 암모니아 가스는 냉매가스 공정 상 「화학물질관리법」 제 10조 화학물질 통계조사에서 제외되기 때문에 동 법 제 23조 화학사고예방관리계획서의 제출 여부를 확인하기 어렵다. 암모니아 화학사고는 해당 관할 환경관서에서 대응하고 있으나 「화학물질관리법」상 일부 제외되어 고압암모니아 취급사업장의 정보를 자세히 알 수 없기에 실제 화학 사고 발생 시 사고를 수습하는데 한계가 있는 실정이다.

본 연구에서는 빈번한 누출사고를 일으키지만 「화학물질관리법」 적용대상에서 일부 제외되는 암모니아를 사고물질로 선정하여 화학물질사고대응정보시스템(CARIS)을 이용해 피해영향범위를 모델링 하였다. 또한, 화학사고 발생비율이 높은 기체상 물질 중 하나인 염소와 가장 높은 발생비율을 보이는 염산을 암모니아와 비교 분석해 보았다. 위 정보를 바탕으로 암모니아 화학사고 예방을 위한 현 제도의 개선방안 및 관리방안을 제시하고자 한다.

연구방법

화학사고 발생통계

화학물질종합정보시스템(icis.me.go.kr)의 자료를 바탕으로 2014년 1월부터 2020년 12월까지 발생한 화학사고를 물질

별로 분석하였다. 2014년 1월부터 2020년 12월까지 발생한 화학사고는 총 583건이었으며, 물질별로 분석하였을 때는 광범위하였다. 따라서 빈번하게 발생 되는 화학물질 별로 상위 10개 및 기타로 분류하여 정리하였다. 물질별 화학사고 발생비율은 염산, 암모니아, 질산 순으로 많았으며 암모니아 화학사고는 총 화학사고 583건 중 70건으로 12%를 차지하였고 기타를 제외하면 21%를 차지하였다. 염산 및 질산에 의한 화학사고는 72건, 60건으로 12%, 10%를 차지하였으며 기타를 제외하면 21%, 18%를 차지하였고 Fig. 1에 나타내었다. 암모니아 화학사고는 대부분 냉동 및 냉장시설에서 발생되었으며 운송사고 및 기타를 제외하고도 73%를 차지하여 큰 비중을 차지하였고 화학물질관리법 상 적용대상에서 제외되는 사업장으로 나타났다. 암모니아 화학사고는 사업장에서 오래전부터 자주 사용되어 시설이 노후화된 곳에서 발생한 건이 대부분이었으며, 반응성 변화가 비교적 다양하다. 또한, 누출, 화재, 폭발 등 여러 유형에서 발생 될 수 있는 화학물질이다. 실제로 화학사고는 화학물질의 반응성 변화 및 작업자의 부주의, 유지보수기간 등의 원인이 있는 것으로 나타났다.

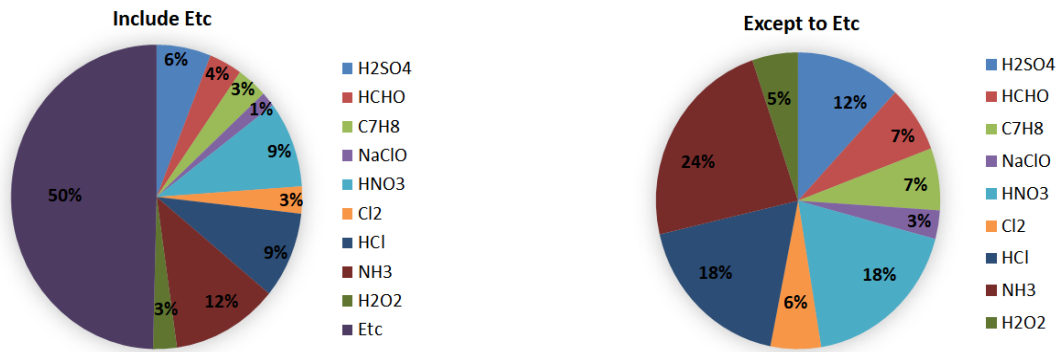


Fig. 1. Chemical accident rate by substance

화학물질사고대응정보시스템(CARIS)

현재 환경부 화학물질안전원에서는 화학물질사고대응정보시스템(CARIS)을 이용하여 피해예측 범위를 제공함으로써 신속한 현장대응이 가능하도록 운영하고 있다. CARIS는 GIS(Geographic Information System)를 기반으로 공간정보와 속성정보를 함께 관리할 수 있도록 구현되어 있으며 주요 기능으로는 정보검색, 위험성평가 및 기상정보 등이 포함되어 있다. 실시간 기상정보와 확산평가정보, 화학물질의 물리·화학적 특성, 독성 및 인체유해성, 취급업체정보, 대응요령, 방재정보 등으로 구성된 종합적인 시스템이다. 또한, 실제 화학사고나 테러가 발생하면 소방, 경찰, 지방자치단체 및 환경청 등의 대응기관에 화학물질정보, 피해확산정보 등 주민대피 등에 필요한 종합적인 자료를 제공하고 있다. 이를 통하여 화학사고 및 테러 발생 시 예방·대비·대응과 관련된 유관기관 간의 사고대응정보제공으로 유해한 화학물질로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 환경피해를 최소화 하는데 목적을 두고 있다(Chun et al., 2014). CARIS는 Gaussian과 SLAB모델을 기반으로 한다. Gaussian은 가벼운 가스 확산에 적용하는 모델이며, SLAB은 무거운 가스 확산을 위한 모델이다. SLAB은 지면에서의 증발, 높이에 따른 수평 수직 누출 및 순간적인 누출과 같은 형태에 적용한다. 시스템별로 적용하는 확산모델의 차이는 있지만 기본적으로 위험성 평가를 위해서 온도, 습도, 풍향, 풍속, 습도, 바람세기 등 입력인자를 입력하여 피해 영향을 확인한다(Lee et al., 2019). 이를 토대로 CARIS 모델에 사고사례를 적용함으로써 확산거리를 산정하였다.

사업장 선정 및 운전조건

CARIS 모델링 프로그램에 적용한 임의의 사업장 사고지점은 실제 암모니아 가스사고가 발생했던 이력이 있고 주거지역과 인접해 있어 대규모 화학사고 발생 시, 인적·물적 피해가 크게 나타날 수 있는 한 업체를 선정하였다. 실제 사업장과 유사한 운전조건을 적용하기 위하여 음성에 위치하는 암모니아 취급사업장의 운전조건을 사고시나리오에 적용하였다. 또한, 동일 조건에서 화학사고 발생비율이 높은 기체상 물질 중 하나인 염소와 가장 높은 발생비율을 보이는 염산에 대하여 모델링을 진행하였다. 탱크저장량은 910kg, 용기온도는 35°C, 용기압력은 1.21Mpa, 용기부피는 2170m³ 을 적용하였으며, 누출량은 배관파열로 인해 전량 누출된 것으로 가정하였다. 또한, “모든 사람이 1시간까지 노출되어도 보호조치 불능의 증상을 유발하거나 회복 불가능 또는 심각한 건강상 영향이 나타나지 않는 공기 중 최대 농도”를 나타내는 ERPG-2를 사고피해예측 기법에 관한 기술지침에 기반 하여 판단 근거로 활용하였다(Korea Occupational Safety & Health Agency, 2012; Ministry of Environment, 2014). 사고시나리오에 적용된 운전조건은 아래 Table 1에 나타내었다.

기상조건

피해 영향을 확인하기 위해서 기상청 통계자료 및 기상자료개방포털을 이용하여 2019년 음성의 월평균 기상자료를 조사

Table 1. Operating condition

Classification	Contents
Chemical	Ammonia, HCl, Cl
Storage mass	910kg
Temperature	35°C
Pressure	1.21Mpa
Volume	2170m ³
Leak hole size	30mm

Table 2. Month average weather data of Umseong in 2019

Month	T(°C)	H(%)	WD	WS(m/s)
1	-3.2	56	W	1.8
2	-0.3	58.9	W	1.9
3	5.3	59	SW	2.5
4	10.7	57	WSW	2.3
5	17.4	53.3	WNW	2.5
6	20.9	68.3	WNW	1.5
7	24.2	75.4	SW	1.5
8	25	76.5	SSW	1.7
9	20.1	80.3	W	1.5
10	13.2	78.1	WSW	1.7
11	5.8	76	WSW	1.9
12	0.2	75.8	W	1.2
Average	11.6	67.88	W	1.83

하였으며, Table 2에 나타내었다(Meteorological Administration, 2021). 모델링에 필요한 기상자료는 기온, 습도, 풍향, 풍속이며 사고시나리오 선정에 관한 기술지침에 따라 연평균 기상자료를 기준으로 적용하였다. 또한, 대기안정도는 화학사고 예방관리계획서 사고시나리오 조건인 D를 기준으로 분석을 진행하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 화학사고 발생비율이 높은 기체상 물질 중 하나인 염소와 가장 높은 발생비율을 보이는 염산을 암모니아와 비교 분석해 보았으며, 사업장, 운전조건, 기상조건은 모두 동일한 상태에서 진행하였다. CARIS 모델을 활용하여 암모니아 화학사고 발생 시 주위에 확산되는 영향범위를 산정한 결과 연평균 기상조건하에서 사고원점으로부터 반경 169m는 위험지역, 반경 430m는 준위험지역, 반경 1,386m는 완충 지역으로 나타났다. 동일한 운전조건 및 기상조건하에 염산의 영향범위는 반경 122m까지 위험지역, 반경 383m까지 준위험지역, 반경 1,303m까지는 완충지역으로 나타났으며, 염소의 영향범위는 반경 216m까지 위험지역, 반경 889m까지 준위험지역, 반경 1,884m까지는 완충지역으로 나타났다. Table 3은 암모니아, 염산, 염소의 영향범위 결과를 나타냈으며, Fig. 2, 3, 4는 물질별 피해범위 결과에 따른 위험, 준위험, 완충지역을 지도상에 나타낸 결과이다. 영향범위 산정 결과는 CARIS모델 특성상 누출된 물질의 2차 반응 생성물 및 동시다발적인 화학물질 누출상황은 고려하지 않았다. 암모니아 누출사고는 염산의 사고영향거리보다 더 길게 나타났지만, 염소의 사고영향거리보다는 더 짧게 나타났다.

Table 3. Risk assessment modeling result(CARIS)

Classification	ERPG-1(Hot Zone)	ERPG-2(Warm Zone)	ERPG-3(Cold Zone)
Ammonia	169m	430m	1,386m
HCl	122m	383m	1,303m
Cl	216m	889m	1,884m

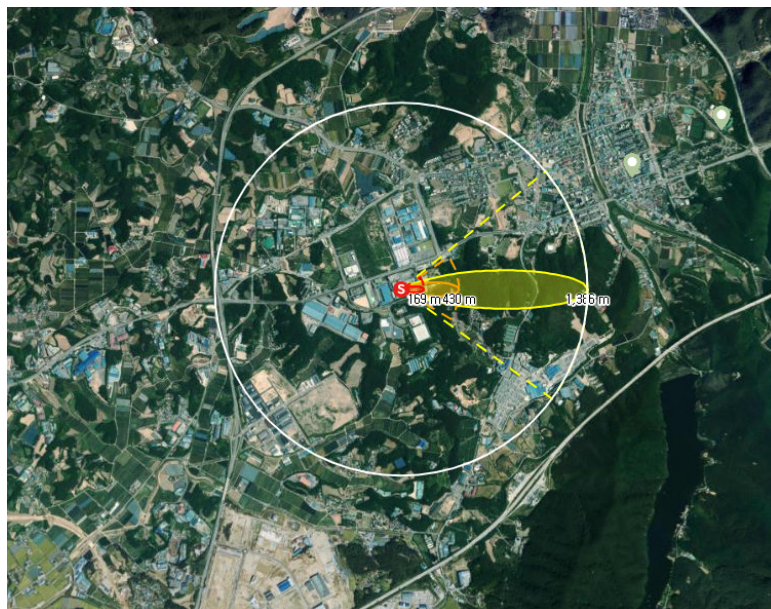


Fig. 2. Influence range of scenario(Ammonia)

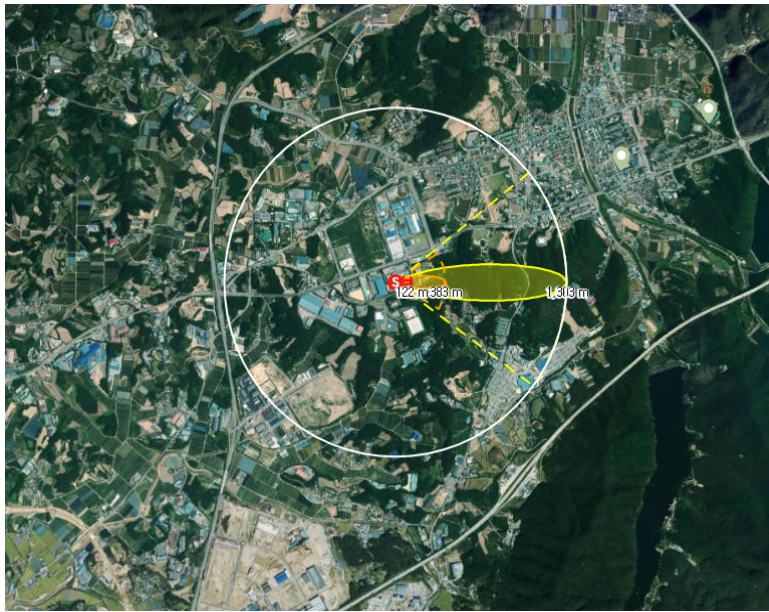


Fig. 3. Influence range of scenario(HCl)

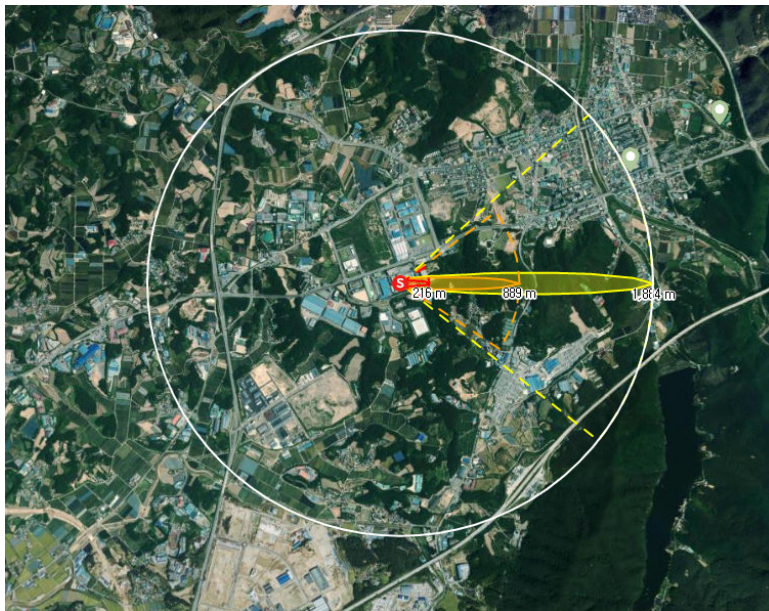


Fig. 4. Influence range of scenario(Cl)

또한, 암모니아, 염산, 염소 사고 발생시 아파트, 학교 등의 민감수용체가 존재하고 있어 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 또한 암모니아, 염소는 화학사고 발생 시 인체에 영향을 줄 수 있는 유독물질이며, 물리적·화학적 위험성이 높아 환경부에서 중점 관리하고 있는 사고대비물질 97종에 해당한다. 특히, 암모니아는 누출이 될 경우 장거리 확산으로 이어지는 피해범위가 매우 넓으며 풍속, 온도 등 기상조건 변화에 따라서 사고시나리오의 피해범위는 더 크게 나타날 수 있다(Kim et al., 2017).

현재 암모니아는 저압부의 경우 「화학물질관리법」, 고압부의 경우 「고압가스안전관리법」으로 관리되고 있다. 고압부의 경우 「화학물질관리법」상 적용대상에서 일부 제외되어있으며, 동법 제 10조, 제 11조 및 동법 시행규칙 제4조에 의해 화학물질 통계조사, 배출량 조사 대상에서 제외된다. 하지만, 「화학물질관리법」 제 23조에 따라 화학사고예방관리계획서 작성·제출 등 이행사항은 고압부 및 저압부 모두 공통 적용사항이다. 암모니아 화학사고는 고압 암모니아를 취급하는 냉장, 냉동 설비시설에서 발생하는 사례가 대부분이며, 주로 영세사업장에서 발생되어 취급사업장에서는 「고압가스안전관리법」만을 적용받는 것으로 알고 있거나 화학사고예방관리계획서 제출대상이 아닌 것으로 인지하고 있다. 따라서, 화학사고 대응기관인 관할 환경관서에서는 고압 암모니아 취급 사업장의 정보를 알 수 없어 암모니아로 인한 화학사고 발생 시 사고대응에 한계가 있는 실정이다. 암모니아는 사고 빈도수가 굉장히 높은 화학물질 중 하나인 동시에 사고대비물질이자 유독물질이지만 「화학물질관리법」 적용대상의 사각지대에 있다고 사료된다. 따라서, 「화학물질관리법」 내 고압 암모니아를 포괄할 수 없는 부분에 대한 법적 제도개선을 통해 암모니아로 인한 화학사고를 예방하는 것이 필요하다(Kim et al., 2013; Yoo et al., 2021). 먼저 고압 암모니아는 「고압가스안전관리법」으로 관리되고 있기 때문에 관계기관들 간의 정보공유를 통해 「화학물질관리법」 제 23조에 따른 화학사고예방관리계획서 제출 여부를 파악하는 것이 필요하다고 판단되며 미제출되었던 사업장에 대해서는 별도의 유예기간을 적용하는 등 구체적인 세부지침이 추가되어야 할 것으로 사료된다. 더불어서 「화학물질관리법」 제 10조에 해당하는 화학물질 통계조사의 적용범위에서 고압 암모니아에 대한 일부 제외 사항에 대해 추가적인 검토가 필요하다고 판단된다. 또한, 암모니아 화학사고 발생 시 장거리 확산으로 이어지는 피해범위가 넓기 때문에 대피장소, 대피경로, 재난문자 발송 등 화학사고 피해를 최소화하기 위한 고압·저압 암모니아 취급사업장의 DB 구축이 필요하다고 판단되며, 화학사고 예방을 위해 관계기관들 간의 합동점검 등을 지향하여야 한다고 사료된다.

결론

화학사고 발생 및 부상자 통계자료를 바탕으로 물질별 화학사고 발생비율을 분석한 결과 염산, 암모니아, 질산 순으로 많았으며 CARIS 모델링을 활용하여 피해영향범위를 분석하였다. 특히, 빈번한 화학사고를 일으키는 동시에 인명피해를 수반하지만 「화학물질관리법」상 적용대상에서 일부 제외되어 있는 암모니아 화학사고 예방에 대한 제도개선의 발전방향을 모색하였다.

- 1) 실제 고압 암모니아를 취급하고 있으며 사고이력이 있는 음성소재 사업장을 대상으로 CARIS 모델링을 이용하여 염산, 암모니아, 질산에 대한 피해영향범위를 분석하였다. 2019년 암모니아 취급 사업장의 위험성평가결과 ERPG에 해당하는 암모니아의 영향범위는 사고원점으로부터 반경 169m는 위험지역, 반경 430m는 준위험지역, 반경 1,386m는 완충지역으로 나타났다. 동일한 운전조건 및 기상조건하에 염산 영향범위는 반경 122m까지 위험지역, 반경 383m까지 준위험지역, 반경 1,303m까지는 완충지역으로 나타났으며, 염소의 영향범위는 반경 216m까지 위험지역, 반경 889m까지 준위험지역, 반경 1,884m까지는 완충지역으로 나타났다. 사고 원점으로부터 1km 이내에는 아파트, 학교 등의 민감수용체가 위치하고 있었으며, 특히 암모니아는 누출, 근거리, 장거리 확산으로 이어지는 피해범위가 매우 넓기 때문에 화학사고 발생 시 주민들에게 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) 현재 암모니아는 저압부의 경우 「화학물질관리법」, 고압부의 경우 「고압가스안전관리법」으로 관리되고 있다. 고압부의 경우 「화학물질관리법」상 적용대상에서 일부 제외되어있으며, 해당 관할 환경관서에서는 고압 암모니아 취급사업장의 정보를 알 수 없어 암모니아로 인한 화학사고 발생 시 사고대응에 한계가 있다. 따라서, 「화학물질관리법」 내 고압

암모니아를 포괄할 수 없는 부분에 대한 법적 제도개선을 통해 암모니아로 인한 화학사고를 예방해야 한다고 판단된다.

- 3) 고압 암모니아는 「고압가스안전관리법」으로 관리되고 있기 때문에 관계기관들 간의 정보공유를 통해 「화학물질관리법」 제 23조에 따른 화학사고예방관리계획서 제출 여부를 파악하는 것이 필요하다고 판단되며 미제출되었던 사업장에 대해서는 별도의 유예기간을 적용하여 필수로 제출 할 수 있도록 구체적인 세부지침이 추가 되어야 할 것으로 사료된다. 더불어서 「화학물질관리법」 제10조에 해당하는 화학물질 통계조사의 적용범위에서 고압 암모니아에 대한 일부 제외 사항에 대해 추가적인 검토가 필요하다고 판단된다. 또한, 암모니아 화학사고 발생 시 장거리 확산으로 이어지는 피해범위가 넓기 때문에 대피장소, 대피경로, 재난문자 발송 등 화학사고 피해를 최소화하기 위한 고압·저압 암모니아 취급사업장의 DB 구축이 필요하다고 판단되며, 화학사고 예방을 위해 관계기관들 간의 정기 및 수시 합동점검을 지향하여야 한다고 사료된다.

References

- [1] Chun, K.-S., Kim, S.-B., Park, C.-H., An, S.-Y. (2014). "A study on improvement of chemical accident response information systems." Korean Journal of Hazardous Materials, Vol. 2, No. 1, pp. 38-42.
- [2] Kim, H.-S., Jeon, B.-H. (2017). "Development plan of accident scenario modeling based on seasonal weather conditions -Focus on chlorine leakage accident-." Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 118, No. 10, pp. 733-738.
- [3] Kim, J.-H., Jeong, C.-M., Kang, S.-M., Yong, J.-W., Yoo, B.-Y., Seo, J.-M. (2017). "Comparison study for impact range of prediction models through case study about Gumi hydrogen fluoride accident." Korean Chemical Engineering Research, Vol. 55, No. 1, pp. 48-53.
- [4] Kim, S.-B., Park, C.-H., Ahn, S.-Y., Kim, J.-M., Chun, K.-S., Noh, H.-R., Seok, G.-S., Yoon, Y. (2013). "Study of the Intergrated management for business handling hazardous chemicals." Journal of Korean Society of Disaster Information, Vol. 9, No. 3, pp. 259-265.
- [5] Korea Occupational Safety & Health Agency (2012). Technical Guidelines for Accident Damage Prediction Method.
- [6] Lee, H.-S., Lee, T.-H., Park, K.-S., Kim, J.-G. (2019). "A study on the evaluation of effects of chemical accident toxicity using CARIS & ALOHA." Journal of the Korean Society for Environmental Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 8-15.
- [7] Meteorological Administration (2021). Statistical data from the Korea Meteorological Administration, <https://data.kma.go.kr>
- [8] Ministry of Environment (2021). Chemical Substance Information System, <https://icis.me.go.kr>
- [9] Ministry of Environment (2021), Chemicals Substance Control Act.
- [10] Ministry of Environment (2014). 2012 Emergency Response Guidebook.
- [11] Ministry of Trade, Industry and Energy (2021), High Pressure Gas Safety Control Act.
- [12] Ryu, Y.-J., Lee, M.-K., Lee, S.-K. (2016). "Measures to prevent recurrence through the analysis of an explosion case at ammonia refrigeration facilities." Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 20, No. 3, pp. 38-45.
- [13] Shin, C.-H., Lee, H.-S., Kim, T.-H., Park, J.-H. (2016). "Analysis on chemical accident characteristics of facilities handling hydrochloric acid, fire science and engineering." Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 6, pp. 4-22.
- [14] Yoo, B.-T. (2021). "A Study On Improvement Safety Management Chemical Accident Investigations." Journal of Korean Society of Disaster Information, Vol. 17, No. 3, pp. 403-414.