

염산 취급시설 화학사고 특성분석에 관한 연구

신창현 · 이현승 · 김태홍 · 박재학*[†]

화학물질안전원, *충북대학교 안전공학과

Analysis on Chemical Accident Characteristics of Facilities Handling Hydrochloric Acid

Chang-Hyun Shin · Hyun-Seung Lee · Tae-Hong Kim · Jai Hak Park*[†]

National Institute of Chemical Safety

*Department of Safety Engineering, Chungbuk University

(Received September 9, 2016; Revised October 31, 2016; Accepted November 29, 2016)

요 약

본 연구에서는 안전관리 대책을 수립하기 위해 가장 빈번하게 발생하는 염산 화학사고 사례를 분석하였다. 최근 4년 동안 28건이 발생하였고, 이 중 8건의 인명사고가 발생한 것으로 나타나 사고를 줄이기 위한 효과적인 대책이 필요하다. 이를 위해, 통계분석을 통해 시설관리 측면, 안전의식 측면, 안전관리 시스템 측면에서 문제점과 대책을 제시하였다. 사업장은 세 가지 대책을 이행하기 위해 단기 · 중기 · 장기 계획을 세워 적절히 이행하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study analyzed the chemical accidents of hydrochloric acid which is the most frequent chemical in order to make safety management improvement plans. 28 Cases have occurred for the last 4 years, 8 cases of which were casualty accidents, and more efficient plans are needed to minimize the accidents. For this purpose, this study investigated the problems through yearly statistics of the chemical accidents, and suggested appropriate measures of facility management, safety culture and management plans. It is important for businesses to make and implement the improvement measures according to time schedule.

Keywords : Chemical accident, Hydrochloric acid, Chemical control act, Facilities

1. 서 론

1.1 연구배경

화학사고 통계를 살펴보면 2012년에 9건, 2013년 86건, 2014년 104건⁽¹⁾, 2015년 111건^(2,3)이 발생한 것으로 나타났다. 구미 사고 이후 화학사고 건수가 급증하는 경향을 보이는 것은 과거에도 화학사고는 많이 발생하였지만 정부에 신고하지 않고, 사업장이 자체적으로 처리하였기 때문이라고 보는 것이 합리적이다^(4,5). 이러한 이유로 화학사고 통계는 2013년 이후부터 공식적으로 사용하는 것이 국가적인 통계자료로 가치가 있다고 볼 수 있다. 2012년과 2013년에 연이어 발생한 불산 사고 이후 국회, 언론, 시민 단체 등은 정부차원에서 화학사고에 대한 실효성 있는 예방대책을 마련할 것을 요구하였다. 이를 위해 정부에서는 2013년에 「화학물질안전관리 종합대책」을 수립하였으며,

2015년부터는 「화학물질관리법」을 본격 시행하였다⁽⁶⁾. 특히, 화학물질관리법은 과거 유해화학물질관리법의 취급 시설 기준을 제조 · 사용시설, 실내 저장 · 보관시설, 실외 저장 · 보관시설, 지하 저장 · 보관시설, 운송차량, 사외배관 등 시설별로 6가지로 세분화하여 사고예방을 위한 기준을 대폭 강화하였다⁽⁷⁾. 아울러, 새로운 법령에 따라 장외 영향평가 제도가 신설되어 유해화학물질 취급시설을 설치하기 전 단계에서부터 사고의 위험성을 평가하여 위험성을 줄이기 위한 사고예방 대책 및 관리 방안을 수립하는 것이 의무화되었다. 다만, 2015년 이전에 설치되는 사업장은 2019년까지 취급물질과 취급량에 따라 단계적으로 적용되며, 2015년부터 설치되는 사업장은 즉시 적용된다^(8,9).

화학사고를 예방하는 강화된 제도에도 불구하고 사고는 감소하지 않고 있다. 2014년에 104건, 2015년에 111건이 발생하였고, 2016년 6월 기준으로 48건이 발생하여 전년

[†]Corresponding Author, E-Mail: jhpark@chungbuk.ac.kr
TEL: +82-43-261-2460, FAX: +82-43-264-2460

ISSN: 1738-7167

DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.6.014>

도에 비해 약 43% 수준이지만⁽³⁾, 발생건수가 현저히 줄어들었다고 보기는 어렵다. 2013년부터 발생한 화학사고 349건을 세부적으로 조사한 결과, 부식성 산을 취급하면서 화학사고가 많이 발생한 것으로 나타났다. 이중 가장 많이 발생한 원인물질은 염산으로 28건이었고, 대부분이 소량 유출사고인 반면, 부상이나 사망을 초래한 인명사고도 8건(28.6%)으로 사망 1명, 부상 25명이 피해를 입었다⁽³⁾. 이러한 인명사고를 유형별로 살펴본 결과, 운반차량에서 4건, 저장탱크에서 2건, 사용시설에서 1건, 기타 장소에서 1건이 발생한 것으로 조사되었다. 2013년 3월 대구 수성구 도로상에서 탱크로리 주입구로부터 염산이 유출되어 2명이 부상을 입었고, 2014년 9월 경북 포항 도로상에서 염산 탱크로리 차량이 운전자 부주의로 난간과 충돌하여 탱크로리 상단에서 유증기가 발생하여 1명이 부상을 입었다. 또한, 2014년 9월 전남 여수에서 염산 탱크로리 차량이 운전자 부주의로 중앙 분리대와 충돌 후 전복되어 대량의 염산이 유출되어 증기가 대기 중으로 확산되면서 1명이 사망하고, 6명이 부상을 입었다. 2016년 3월 충남 서산에서는 염산 탱크로리 차량이 운전자 부주의로 논길로 전복되면서 다량의 염산이 유출되었고, 확산된 증기로 인해 인근 주민 2명이 부상을 당한 사고가 발생하였다⁽¹⁰⁾. 염산의 경우 부식성 물질이면서 반응성 물질로 화학물질관리법에서 사고대비 물질과 유독물질로 엄격하게 관리되고 있다⁽¹¹⁾. 화학물질관리법에서는 종합적인 안전관리 기준이 제시되어 있으나, 염산에 대한 특화된 기준이 미흡하다. 염산 화학사고 사례 분석을 통해 나타난 바와 같이 작업자 부주의와 시설관리 미흡에 의해 화학사고 발생이 계속적으로 발생하고 있어 시급하게 특화된 안전대책을 마련하는 것이 필요하다. 이에, 본 연구에서는 2013년부터 2016년 6월까지 최근 4년간 국내에서 발생한 화학사고 중 염산 취급시설에 발생한 화학사고의 유형, 형태, 원인 등의 특성을 분석하고 문제점을 고찰하여 향후 염산 취급시설에 대한 안전관리 예방 대책 수립에 기여하고자 한다.

1.2 이론적 배경

1.2.1 물질 특성

산업계에서 널리 사용되는 염산(35%)는 분자량 36.46, 비중 1.178, 끓는점 65.6 °C, 녹는점 -33 °C, 증기압 76 mmHg(20 °C 기준)를 갖는다⁽¹²⁾. National Fire Protection Association (NFPA)의 건강이 3, 반응 1로 분류되는 강산성 물질이다⁽¹¹⁾. 화재·폭발의 위험성이 없어 액상 상태의 염산이 유출되는 경우 이론적으로는 피부접촉에 대한 위험성만 존재하게 되나, 주변에 있는 물, 수분 등과 반응하여 염화수소와 같은 고독성 증기가 발생하는 사고로 확산될 수 있다⁽¹¹⁾. 염화수소를 제조·생산설비에서 적절한 관리를 통해 희석시킨 염산은 다른 물질과 혼합되지 않은 경우 안정한 상태로 존재하나, 다른 물질이 혼합되면 이상반응 등을 통해 흡이 발생하기 때문이다.

1.2.1 연구 사례

그 동안 염산 화학사고를 예방하기 위한 대책은 사고사례 분석을 통한 미흡한 법적 기준의 보완, 사고 위험성이 높은 물질의 취급기준 및 시설기준 개선 방안 마련, 취급시설 점검결과를 토대로 시설 기준이 미흡한 사업장의 안전관리 방안 도출 연구 등이 있었다. 이러한 대책은 시설, 물질 등에 전반적인 안전관리 기준으로 효과는 있겠지만, 정보가 부족하거나 화학시설에 대한 지식이 부족한 사업장의 경우에는 염산 취급시설로 곧바로 적용하기에는 어려움을 느낄 수 있다. 아울러, 실제 사고는 다양한 원인, 환경, 취급조건 등에 따라 발생하기 때문에 포괄적인 법적 기준 강화로 모든 사고를 막는 것은 한계가 있어, 사고사례를 토대로 도출된 구체적인 안전관리 대책이 현장에 이행되는 것이 중요하다.

신창현^(8,13) 등은 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법 취급시설 기준이 2015년 이전에 시행된 유해화학물질관리법에 비해 강화된 취급시설 기준의 의의를 분석하였다. 기준에 미흡한 법적 기준이 신규 제도를 통해 취급시설 유형별로 제조·사용시설, 실내·실외·지하 저장시설, 운반차량, 이송배관 등으로 세분화되고, 구체화되어 사고를 예방하는데 효과적일 것으로 내다봤다. 그러나, 화학물질관리법이 화재·폭발, 독성·부식성 등 물질성상을 구분하지 않고, 포괄적으로 강화된 취급시설 기준이 적용되어 실효성이 저하될 것으로 보고 물질의 성상에 따른 기준의 필요성과 취급량에 따른 취급시설 검사방법에 차등화 적용에 대한 개선방안을 마련되어야 한다고 주장하였다.

김성범⁽¹⁴⁾ 등은 급성독성, 폭발성 등이 강하여 사고 발생 가능성이 높은 사고대비물질 취급시설 423개소의 자체방재계획서를 분석하여 취급시설 설비를 파악하고, 탈취·전용 가능 물질, 시설물 보안위험 가능 물질 등에 따라 방류벽, 원격 감시 시스템, 시건장치, 비상대응계획 및 경보시스템, 누출감지 시스템, 환기 및 폐수 시설, 소화설비 및 폭발억제장치, 개인보호구 등 10가지 항목에 대한 사고대응 관리 기준을 분류하였다. 이에 대해 미국 국토안보부(DHS)의 Risk-Based Performance Standards (RBPS) 규정의 보안 조치내용을 바탕으로 국내에 적용 가능한 형태의 사고대응 관리기준을 제안하였다.

정경삼⁽¹⁵⁾ 등은 유해화학물질 관리 법령을 분석하여 과거 화학사고 대응의 미흡한 점을 개선하기 위해 유해화학물질 사고대응에 대한 부처 간 유기적 대응의 필요성을 주장하였고, 화학사고 즉시 신고 및 보고 의무제를 강화하여 피해를 최소화하는 방안을 마련하는 등 제도적 보완책을 제안하였다. 또한, 2013년 3.19일에서 5월 31일까지 유해화학물질 취급사업장 3,846개소에 대한 정부합동조사 조사결과를 토대로 노후시설 개선, 안전설비 추가 등 설비투자의 필요성과 안전경영을 최우선으로 하는 안전마인드의 전환 등을 제시하였다.

환경부에서는 사고발생 사업장에 대한 안전관리의 후속

조치로 조사를 실시하여 개선대책을 마련하고 있다. 예를 들어, 2016년 1월 경북 경주에서 발생한 염산 교반기 과압 반응 사고에서는 비숙련 외국인 노동자가 염산과 주석을 과다 투입한 사고였고, 이에 대한 대책으로 작업절차서를 마련하고, 적절한 개인보호장비를 착용 후 작업토록 조치하였다. 또한, 외국인 작업자에 대한 기본적인 안전교육을 실시할 수 있는 책자를 정부차원에서 마련하여 적절한 교육이 이뤄질 수 있도록 조치할 계획이다(2017년 제작·배포 예정). 또한, 2016년 3월 충남 서산에서 발생한 염산 탱크로리 전복사고의 경우 등 연이은 운반차량 사고를 효과적으로 대응하기 위해 정부는 온라인 운반계획서 제출 제도를 도입하도록 제도를 개선하고, 사업주에게는 과속, 부주의 운전 등을 예방하기 위해 운반자의 안전교육을 강화하는 것을 요구하였다. 이 밖에도 사고사례를 살펴본 결과, 개인보호장비 착용, 안전교육 강화, 해당 설비의 시설 개선, 수시검사 실시 등이 개선대책으로 주로 제시되었다. 이러한 대책은 화학물질관리법에서 정한 기본적인 안전기준에 해당된다.

2. 연구방법

본 연구에서는 환경부 화학물질안전원에서 운영하고 있

는 화학안전정보공유시스템(CSC)을 활용하여 2013년부터 2016년 6월까지 발생한 총 염산 화학사고가 28건을 조사하였다⁽³⁾. 이를 각 연도별로 사고현황, 사고유형, 사고원인 등의 화학물질사고 특성을 분석하였다. 사고형태는 유출 및 누출, 화재, 폭발, 이상반응, 복합사고 등으로 분류하고, 사고원인은 작업자 부주의, 시설관리 미흡으로 분류하여 각 연도별 사고발생 현황을 조사하였다(Figure 1). 화학사고가 발생한 장소에 대해서는 사업장, 운반차량, 사업장 밖 기타시설(가정집, 농장 등)로 분류하였다. 또한, 화학사고 발생 취급시설은 시설 유형별로 저장탱크, 보관창고, 제조·사용시설, 운반시설 등으로 우선 분류(대분류)하고, 이를 배관·밸브, 용기, 펌프, 반응기·교반기, 타이어, 운전자 등으로 세분류(소분류)하였다(Figure 2).

3. 연구결과 및 고찰

3.1 염산 화학사고 발생현황

3.1.1 연도별 발생현황

총 28건의 사고가 연도별로는 2013년 8건, 2014년 12건, 2015년 4건, 2016년 6월 현재까지 4건이 발생하였다. 2016년은 6월 기준으로 4건이 발생한 것으로, 2016년 말까지 현재의 추세를 유지한다고 가정하는 경우 8건이 일어날

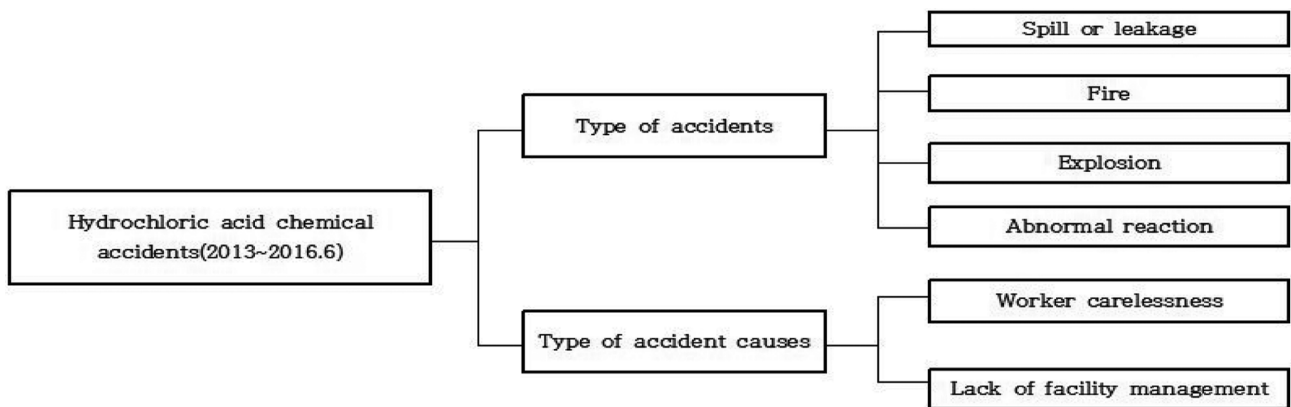


Figure 1. Characteristics analysis logic of hydrochloric acid chemical accidents based on types and causes.

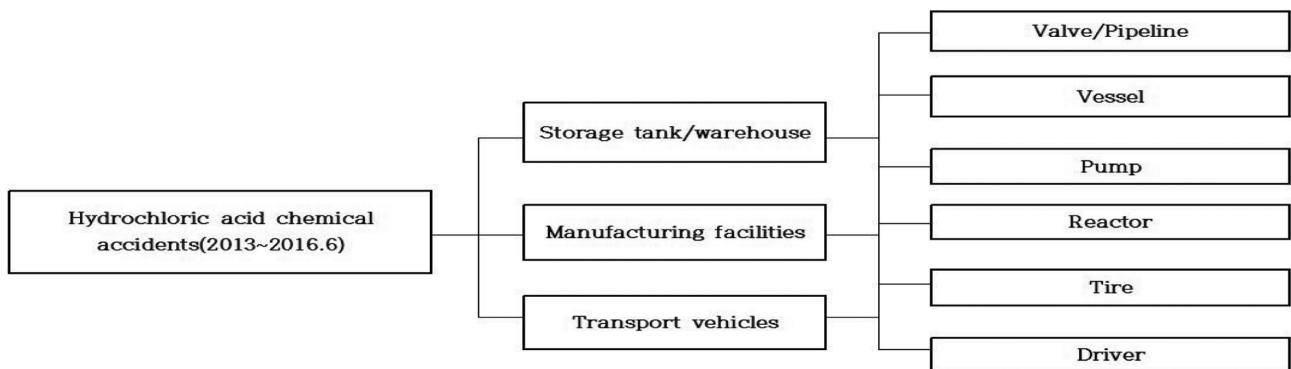


Figure 2. Characteristics analysis logic of laboratory chemical accident based on facilities.

Table 1. Hydrochloric Acid Chemical Accidents (unit: case)

Type	Number of chemical accidents	
Year	A) Total	B) Hydrochloric acid (A/B)
2013	86	8 (9.3%)
2014	104	12 (11.5%)
2015	111	4 (3.6%)
2016 ¹⁾	48	4 (8.3%)
Total	349	28 (8.0%)

1) Based on Jan. 1st, 2016~Jun. 30th, 2016.

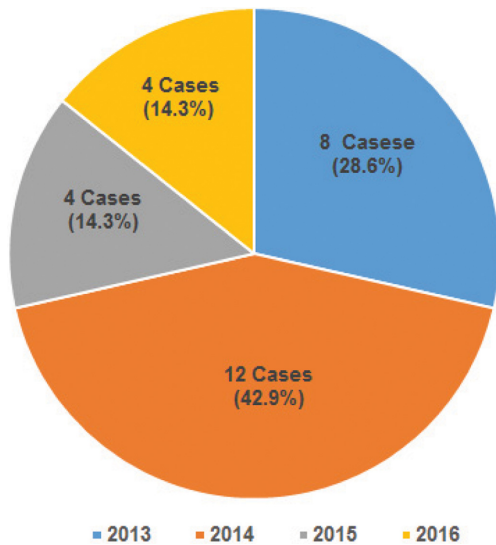


Figure 3. Statistics for yearly hydrochloric acid chemical accidents.

것으로 추정할 수 있다. 화학물질관리법에 따른 유해화학 물질 취급시설 기준과 법적 처벌 기준이 대폭 강화되기 이전(2015년 이전)에는 염산 취급으로 인한 화학사고 발생빈

Table 2. Type of Causes of Hydrochloric Acid Chemical Accidents (unit: case)

Type	Total	Causes of the accident	
		Worker careless	Lack of facilities management
2013	8	4	4
2014	12	4	8
2015	4	4	0
2016 ¹⁾	4	0	4
Total	28	12	16

1) Based on Jan. 1st, 2016~Jun. 30th, 2016.

도가 현저히 높았다. 염산 화학사고 28건 중, 2014년은 12건으로 가장 많이 발생하였고, 2013년은 8건, 2015년과 2016년은 각각 4건이 발생한 것으로 조사되었다(Table 1).

또한, 연도별로 전체 화학사고 중 염산 취급에서 발생한 화학사고 발생 비율을 조사하였다. 2013년 전체 화학사고 86건 중 염산은 9.3%(8건), 2014년 전체 화학사고 104건 중 염산은 11.5%(12건)를 차지한 것으로 나타났다. 반면, 2015년에는 전체 화학사고 111건 중 3.6%(4건)로 줄어들었다가 2016년 6월 기준으로 전체 화학사고 48건 중 8.0%(4건)로 약간 높아졌다(Figure 3).

3.1.2 원인별 현황

연도별로 발생 원인을 작업자 부주의, 시설관리 미흡으로 분류하여 조사하였다. 작업자 부주의는 시설이 정상적으로 가동중인 상태에서 작업자의 실수, 착각 등 인적오류(human error)로 인해 발생하는 사고이며, 시설관리 미흡은 공학적 결함, 시설·장비의 미흡한 점검·보수로 인한 정상 운전조건의 이탈(deviation) 등 시설로 인해 발생하는 사고로 구분된다⁽²⁾. 28건의 염산 화학사고에 대해 사고원

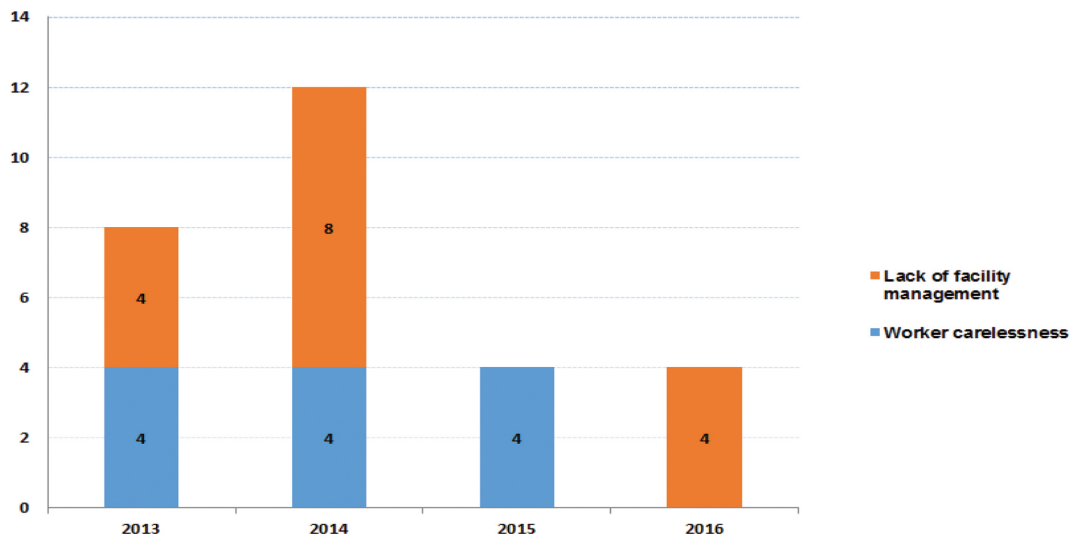


Figure 4. Statistics for type of yearly hydrochloric acid chemical accidents.

인별로 분류한 분석 결과로, 작업자 부주의로 인해 12건 (42.9%), 시설관리 미흡으로 인해 6건(21.4%)이 발생한 것으로 나타나 시설관리 미흡을 예방하기 위한 대책에 더 주력해야 할 것으로 사료된다. 이를 연도별로 발생한 염산 화학사고를 사고원인별로 조사한 결과는 Table 2와 Figure 3과 같다. 2013년 염산 화학사고 8건 중 작업자 부주의로 4건, 시설관리 미흡으로 4건이 발생하였고, 2014년 염산 화학사고 12건 중 작업자 부주의로 4건, 시설관리 미흡으로 8건이 각각 발생하였다. 2015년에는 작업자 부주의로 4건, 2016년 6월까지 시설관리 미흡으로 4건만 발생한 것으로 조사되었다.

3.1.3 장소별 발생현황

발생장소에 따라 세부적으로 조사한 결과, 이중 50% 해당하는 14건의 사고가 도로상에서 발생하였다. 그 다음으로 저장탱크 및 보관창고에서 10건(35.7%), 제조·사용시설에서 3건(10.7%), 기타(가정집)에서 1건(3.6%)이 발생한 것으로 나타났다(Figure 5). 저장탱크, 보관창고 및 제조·사용시설은 사업장 내부로 분류하고, 가정집은 사업장 외부로 분류하여 사고장소를 거시적으로 분석하였다. 이 결

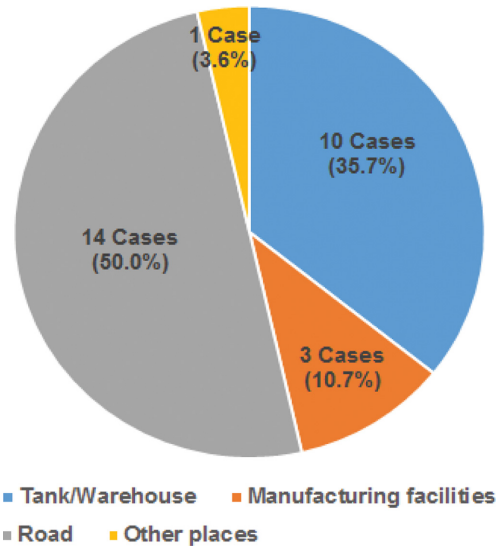


Figure 5. Statistics for type of facilities of yearly hydrochloric acid chemical accidents.

과, 사업장 내에서 발생한 사고는 13건(46.4%)이 발생하고, 사업장 외부에서 발생한 사고는 15건(53.6%)에서 발

Table 3. Type of Hydrochloric Acid Chemical Accidents (unit: case)

Year	Total	Type of chemical accidents			
		Spill or leakage	Fire	Explosion	Abnormal reaction
2013	8	7	0	0	1
2014	12	12	0	0	0
2015	4	4	0	0	0
2016 ¹⁾	4	2	0	0	2
Total	28	25	0	0	3

1) Based on Jan. 1st, 2016~Jun. 30th, 2016.

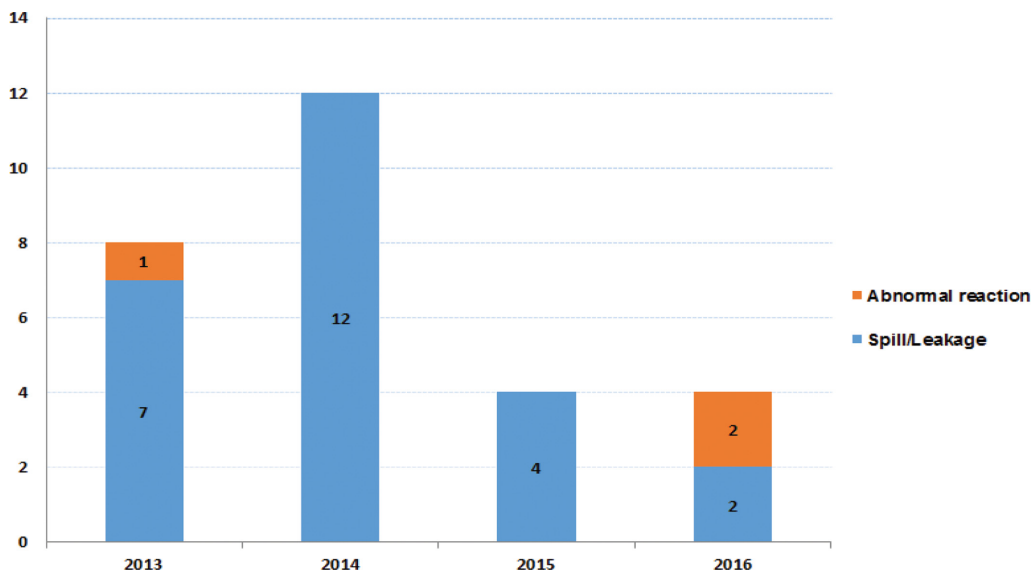


Figure 6. Statistics for type of forms of yearly hydrochloric acid chemical accidents.

Table 4. Type of Subclass Facilities of Hydrochloric Acid Chemical Accidents (unit: case)

Type	Total	Kinds of chemical accident facilities						
Year		Vavle/Pipeline	Vessel	Reactor	Pump	Filter housing	Tire	Driver
2013	8	5	2	0	0	0	1	0
2014	12	1	8	0	0	0	1	2
2015	4	1	1	0	1	1	0	0
2016 ¹⁾	4	1	0	1	0	0	1	1
Total	28	8	11	1	1	1	3	3

1) Based on Jan. 1st, 2016~Jun. 30th, 2016.

생한 것으로 조사되었다.

3.1.4 사고유형별 발생현황

사고유형별로는 유·누출 25건, 이상반응 3건이 발생하였고, 화재·폭발은 없었다(Table 3, Figure 6). 연도별로는 2013년에 유·누출 7건과 이상반응 1건, 2014년에는 유·누출 12건, 2015년에 유·누출 4건, 2016년 6월까지 유·누출 2건과 이상반응 2건이 발생한 것으로 조사되었다. 염산의 물질 특성상 반응성이 있어 다른 화학물질과 혼합하는 과정에서 정상적인 배합비율을 벗어나는 경우 이상반응이 발생하여 증기가 과다하게 발생하여 누출되거나, 과압이 발생하여 배관이 파손되는 사고가 발생한 것으로 나타났다.

3.1.5 시설별 발생현황

시설별로 세분화하여 조사한 결과, 가장 많은 11건(39%)의 사고가 저장탱크, 보관창고, 운반차량 등의 용기

에서 발생한 것으로 조사되었다. 그 다음으로 배관·밸브에서 8건(29%), 운반차량의 타이어와 운전자로 인해 각각 3건(11%), 반응기, 펌프, 필터 하우스에서 각각 1건(4%)이 발생한 것으로 나타났다(Table 4, Figure 7). 시설별로 사고형태·원인을 조사한 결과는 다음과 같다. 먼저, 11건 용기의 사고형태는 부식·균열이 5건, 파손이 2건, 낙하 및 용기 뚜껑 미차단이 각각 1건, 원인미상이 2건으로 나타났다. 8건 배관·밸브의 사고형태·원인은 배관·밸브의 미차단이 5건, 파손이 2건, 균열이 1건으로 조사되었다. 운반차량에서 발생한 3건의 타이어 사고형태·원인은 운전중 타이어 과열로 인한 화재 1건, 펑크 1건, 제어불능 1건으로 나타났으며, 3건의 운전자로 인한 사고는 운전자 부주의로 인한 교통사고 3건으로 조사되었다. 또한, 반응기 사고 1건은 이상반응, 펌프 사고 1건은 개스킷 불량, 필터 하우스 사고 1건은 파손이 사고형태·원인으로 확인되었다.

3.2 염산 화학사고의 문제점 고찰 및 개선 대책

3.2.1 문제점 고찰

우리나라에서 유통되고 있는 화학물질은 약 4만 여종으로 추정되고 있으며, 매년 약 400여 종이 신규로 등록되고 있다. 산업화·고도화에 따라 새로운 화학물질 수요는 증가하고 있어 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것으로 전망된다. 이제는 화학물질의 사용은 차단하기는 어렵고, 적절한 관리와 안전조치 등으로 화학사고 발생을 사전에 막는 조치가 선행되는 것이 합리적인 것으로 사료된다. 특히, 일상생활에서 활용성이 높아 사용이 많이 되는 화학물질이 사고의 위험성과 사고의 발생 빈도가 높은 물질의 경우 일반화학물질 보다 엄격한 안전관리 대책이 필요하다.

염산은 사고의 위험성이 높은 사고대비물질이며 유독물질로 부식성·독성이 강하고, 반응성이 있는 물질로 취급시 각별한 주의를 기울여야 한다. 일반적으로 국내에서 유통이 많이 되는 염산은 35%의 용액상태로 취급시설·설비로부터 액상으로 유출되기 때문에 직접적인 접촉을 피하고, 개인보호장비를 착용하여야 인체 피해를 줄일 수 있다. 또한, 염산은 부식성이 강하기 때문에 장기간 사용시 시설을 부식시키기 때문에 정기적인 점검과 유지보수를

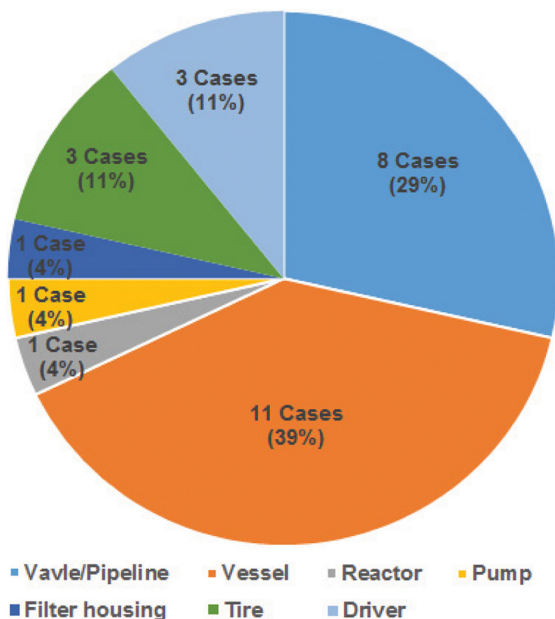


Figure 7. Statistics for type of subclass facilities of yearly hydrochloric acid chemical accidents.

통해 시설이 부식·균열되는 것을 막을 수 있다. 그러나 이러한 안전예방 조치가 미흡한 경우에는 화학사고로 이어지게 되고, 앞에서 살펴본 바와 같이 28건의 화학사고가 산업현장에서 발생하였다. 28건의 사고원인은 1) 시설관리 미흡이 16건(57.1%), 2) 작업자 부주의가 12건(42.9%)이었다(Table 2). 작업자 부주의는 세부적으로 2-1) 안전불감증, 관행 등으로 인한 안전의식 결여와 2-2) 안전을 통제하는 안전관리 시스템 부재로 분류할 수 있다. 작업자 부주의로 인해 발생한 12건은 안전절차 무시, 운전자 부주의, 운반차량 정비 소홀 등이 원인이었고, 작업자가 염산의 물질·사고 위험성을 간과하여 작업하는 등 작업자의 안전의식이 결여된 안전 불감증으로 인해 발생한 사고였다. 더욱이, 이렇게 발생한 사고를 작업 전 또는 작업 중에 확인하거나 개선하는 안전관리 시스템도 존재하지 않았다.

한편, 화학사고의 경우 화학사고 건수로만 통계를 비교하는 것은 한계가 있다. 화학사고 분석의 신뢰성을 높이기 위해서는 사고의 규모, 인명피해 발생 등을 고려하여 대규모 사고 및 소규모 사고로 분류하여 분석하는 것이 합리적이다. 이를 위해, 연도별로 발생한 화학사고를 인명피해 발생사고와 단순 유출사고를 분석하였다(Table 5). 전체 289건 사고 중 8건(29%)가 부상 또는 사망사고로 나타났다. 건수별로 볼 때 2014년 4건, 2013년과 2016년에 각각 2건의 순으로 발생하였다. 화학안전정보공유시스템(CSC)에서 대표적인 인명사고를 2건을 선정하였다. 첫째는, 2014년 8월 경북 칠곡군에서 발생한 사고로 염산 실내 저장탱크 상부에서 작업중이던 근로자가 부주의로 연장을 떨어뜨려 저장탱크와 연결된 하부 배관이 파손되어 10명이 부상을 입었다. 둘째는, 2014년 9월 전남 여수시에서 발생한 사고로 운전자가 부주의로 염산 운반차량이 중앙분리대와 충돌하면서 운전자가 사망하고, 탱크로리에서 유출된 염산이 염화수소로 기화되어 주변에 있는 6명이 부상을 입었다. 나머지 6건의 인명사고는 작업중 안전관리 소홀로 인해 염산이 소량으로 누출되어 1~2명이 부상을 입은 사고로 조사되었다. 이를 통해, 2014년에는 화학사고도 가장 많이 발생하고, 인명사고도 가장 많이 발생한 것을 알 수 있으며, 화관법이 본격 시행되는 2015년부터 화

학사고와 인명사고가 점점 줄어들었으나 인명사고는 여전히 발생하고 있어 추가적인 대책이 필요한 실정이다.

3.2.2 개선대책

앞에서 언급한 문제점에 대한 개선대책을 1) 시설관리 측면, 2) 작업자 부주의 관리 측면, 3) 비상대응 등 안전관리 시스템 측면으로 제시하였다. 시설관리 개선은 설계 보완, 안전장치 추가 등이고, 작업자 부주의에 대한 대책은 안전문화 확산 운동, 안전교육 등이고, 안전관리 시스템은 사고발생시 비상대응, 훈련, 사고사실에 대한 주민 전파 등을 들 수 있다. 여기서, 본 연구에서는 시설관리 및 안전의식은 예방적 관점에서 접근하고, 안전관리 시스템은 대응·대비적 관점에서 접근하였다.

우선, 1) 시설관리 측면에서 구체적인 대책을 살펴보면 다음과 같다. 1-1) 부식·균열로 인한 사고를 예방하기 위해서는 주1회 자체점검(화관법 제24조)을 강화하여 가능하다면 일일 점검으로 강화하여 선제적인 보수 조치를 실시하는 것이 필요하다. 법적인 자체·정기검사가 형식적인 수준으로 실시된다면 설비의 결함을 발견하기는 쉽지 않다. 이러한 부식·균열을 효과적으로 찾아내기 위해 가스킷(Gasket), 플랜지(Flange), 펌프 토출구, 고압 배관을 띠 형태의 누출 감지센서를 테이핑(Taping)하거나, 비용을 줄이기 위해 염산이 접촉하면 색깔이 변하는 유색 종이를 테이핑 하는 방식 등을 이용하여 육안으로 점검이 용이하게 하여 점검의 실효성을 높이는 것을 제안한다. 다음으로, 1-2) 배관의 물리적 충격에 의한 파손을 막기 위해서는 알루미늄 배관 등으로 설치하여 기계적 강도를 높이거나, 강도가 낮은 배관이 설치된 경우에는 작업자가 이동하는 주변의 지면 근처(Ground level)에는 보호캡(Protector), 보강대를 설치하여 물리적 충격을 보완하는 안전장치를 추가해야 한다. 근본적으로는 작업자가 이동하는 주위에는 배관 등이 설치되지 않도록 배관 경로를 설계하는 것이 바람직하다. 1-3) 그 밖에는 취급상 사소한 부주의로 인해 소량이 누출된 사고로 취급시설에 물질 위험성 표지 설치 등으로 취급상 위험성을 알려 취급자가 안전하게 취급할 수 있도록 안내해야 한다. 법적으로 위험표지를 설치하는 것 이외에도 숙련도가 미흡한 작업자도 쉽게 인지할 수 있도록 사업장 자체적으로 위험표지를 추가하는 것이 효과적이다.

다음으로, 2) 작업자 부주의로 인한 사고를 막기 위한 주요대책은 다음과 같다. 2-1) 염산을 취급하는 용기, 탱크로리, 배관 등의 밀봉 미흡으로 인한 유출사고를 막기 위해서는 작업 전, 그리고 작업 후에 용기의 밀봉상태를 확인하는 작업을 반드시 실시하여 설비 주변에 점검일지를 부착하여 작업자가 확인하는 방식을 도입할 필요가 있다. 특히, 교대근무를 실시하거나, 차량을 운반하는 운전자에게 용기를 전달하는 경우에는 반드시 밀봉상태를 반드시 확인하는 절차를 도입하여야 실효성이 높아질 수 있다. 2-

Table 5. Number of Hydrochloric Acid Casualty Accidents (unit: case)

Year	Total accidents	Casualty accidents	Number of casualty
2013	8	2 (25%)	4
2014	12	4 (33%)	19
2015	4	0 (0%)	0
2016 ¹⁾	4	2 (50%)	2
Total	28	8 (29%)	26

1) Based on Jan. 1st, 2016~Jun. 30th, 2016.

2) 운반차량에서 발생한 화학사고는 차량 부속품을 적절히 관리하지 못하거나, 운전자 부주의로 인해 사고가 발생한 것으로 나타났다. 이는, 직접적인 염산 취급시설이 아니라, 차량의 부속품을 관리하지 못한 안전의식의 부족으로 기인된 것이다. 이에 대한 대책으로는 출발 전에 반드시 안전부품을 점검하고, 안전운전을 각인하는 운전자 안전교육이 이뤄져야 한다. 또한, 현재 화학물질관리법에서 정한 주1회 자체점검이 유해화학물질 취급시설만 대상이지만, 운반차량의 경우 타이어, 브레이크, 차량 동력장치 등 차량의 기본시설도 점검하는 체크리스트 기법을 도입하여 자체점검 제도를 개선하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 2-3) 그 외에도 사업장 내에서 작업 시작 전에 관리자 중심으로 기본적인 안전교육을 실시하고 작업을 실시하는 것도 도움이 된다. 안전을 중요시하는 일부 사업장은 이러한 작업 전 안전의식 확인 운동을 통해 작업자의 안전을 각인하는 캠페인을 실시하여 사고를 줄이고자 노력하고 있다.

마지막으로, 3) 사업장에서는 사고를 예방하는 관리대책과 더불어 사고발생 시 사고피해를 최소화하기 위한 비상 대응력을 높이기 위한 안전관리 시스템이 필요하다. 사고는 발생가능성이 있기 때문에 완전히 차단하기 어렵다. 따라서, 대응·대비적인 측면에서 비상조치가 수반되어야 한다. 이를 위해서는 3-1) 화학물질관리법에서 정한 염산 지정수량 이상으로 취급하는 사업장만 위해관리계획서를 작성하여 비상대응을 하는 제도를 보완하여 지정수량 미만으로 취급하는 사업장도 비상조치 계획을 자체적으로 작성하여 이행하도록 하는 등 자율적인 비상대응 관리시스템을 도입할 필요가 있다. 소규모 사업장에서도 사고가 발생하기 때문에 사고가 발생하면 초동조치를 실시하는 표준작업절차서(SOP)를 마련하는 것이 중요하다. 3-2) 이에 따른, 주기적인 훈련이 이뤄져야 한다. 형식적인 절차서를 작성하는 것에 그치지 않고, 주기적인 훈련을 통해 초동대응에 대한 숙련도를 높여야 한다. 3-3) 사고발생 시 작업장 근로자, 인근 사업장 근로자, 주민 등에 사고 사실을 알릴 수 있는 전파 시스템을 마련하고, 이를 신속하게 이행하는 것이 중요하다. 사고 사실을 알려 적절한 대피가 이뤄진다면 피해를 최소화하는 것이 가능할 것이다.

화학물질관리법에서는 유해화학물질 예방·대응·대비적 측면에서 포괄적인 기준이기 때문에 염산 사고에 대해 특화되지는 않았다. 특히, 물질에 대한 기본지식이 부족하고, 법에 대한 이해수준이 미흡한 작업자는 제도를 쉽게 알기가 곤란하기 때문에 구체적인 방법이 제시되어야 한다. 이를 감안하여 사업장에서는 본 연구에서 제시한 사례를 토대로 대책을 마련한다면 염산 사고를 막는데 효과적일 것이다. 다만, 기존 사업장은 모든 대책을 즉시 마련하는 것이 어려울 수 있다. 사업장에서는 세 가지 대책에 대해 실현 가능성, 이행시간 등을 고려하여 단기·중기·장기 계획을 마련하는 것이 필요할 것이다. 물론, 과거 4년

간의 사고사례가 절대적인 기준이 될 수는 없다. 화학물질 관리법에서 정한 안전기준과 병행하여 본 연구에서 과거 사례를 통해 제시한 안전대책이 현장에 함께 적용된다면 사고를 줄이는데 효과적이라 생각한다. 아울러, 앞으로도 지속적인 염산 사고사례를 DB화하여 추가적인 개선대책을 마련하는데 정부와 사업장이 같이 노력해야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구는 염산 화학사고의 사고현황, 사고원인, 사고유형, 발생시설 등 통계자료를 세부적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 28건에 대한 사고원인 유형별로는, 시설관리 미흡으로 16건(57.1%), 작업자 부주의로 12건(42.9%) 순으로 조사되었다. 이를 개선하기 위해서는 시설관리 측면, 안전의식 측면, 안전관리 시스템 측면으로 접근하여 일반적인 화학물질관리법 상 예방·대응·대비 대책을 보완하여 구체화하는 대책이 마련되어야 한다.
- 2) 시설대책으로는 배관, 밸브 등의 부식·균열을 확인하기 위한 육안검사 방식 도입, 지표면 근처 배관의 보호캡 설치, 취급시설 근처에 물질 위험 표지판 설치 등이며, 안전의식을 높이기 위한 대책으로는 용기의 밀봉확인 작업 실시 및 확인서 비치, 차량의 기본 부속품 점검 방식 도입, 작업 전 안전구호 활동 등을 들 수 있다. 마지막으로, 안전관리 시스템의 대책으로는 소규모 사업장에 대한 자율적 비상대응 절차서 도입, 정기적인 훈련, 사고발생 시 주민전파 실시 등을 들 수 있다.
- 3) 사업장은 세 가지 대책에 대한 Time Table을 마련하여 단기·중기·장기 계획을 수립하여 적절히 이행한다면 보다 효과적일 것이다.

References

1. T. H. Lee, J. D. Park, S. J. Lee, B. S. Bang, K. P. Kim, M. S. Kim and J. S. Park, "Characteristics of Chemical Substance Accident in Korea", Korea Journal of Hazardous Materials, Vol. 3, No. 1, pp. 35-39 (2015).
2. T. H. Lee, D. J. Lee, J. D. Park and C. H. Shin, "Study of the Characteristics Analsys of Laboratory Chemical Accidents", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 30, No. 3, pp. 110-116 (2016).
3. Chemistry Safety Clearing-house (csc.nics.go.kr).
4. J. H. Yoon, "Prospect for Chemical Management through Analysis on Chemical Safety Management and Revised Act", Audit, Vol. 120, pp. 16-25 (2013).
5. S. R. Ahn, S. B. Kim, J. H. Lee and K. S. Chun, "Study on Chemical Incident Response Plan Identified as a Chemical Accident Statistics", Korean Journal of Hazardous Materials, Vol. 2, No. 1, pp. 50-54 (2014).

6. C. H. Shin and J. H. Park, "An Evaluation of the Off-site Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid", *Crisisonomy*, Vol. 12, No. 3, pp. 187-200 (2016).
7. C. H. Shin and J. H. Park, "Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals", *Crisisonomy*, Vol. 12, No. 1, pp. 83-93 (2016).
8. C. H. Shin, C. S. Lee, J. E. Kang, B. C. Ma, Y. Yoon, J. H. Yoon and J. H. Park, "Review on the Safety Management System of Facilities Handling Hazardous Chemicals under the Chemicals Control Act", *Crisisonomy*, Vol. 11, No. 6, pp. 245-262 (2015).
9. C. H. Shin and J. H. Park, "Improvement on the Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid", *Crisisonomy*, Vol. 12, No. 5, pp. 119-132 (2016).
10. C. H. Shin and J. H. Park, "Improvement on Spill Risk of a Hazardous Chemical Transporting Vehicle", Vol. 12, No. 8, pp. 1-17 (2016).
11. Key-Info Guideline (2014).
12. Material Safety Data Sheet, OCI (2009).
13. C. H. Shin, C. S. Lee, J. E. Kang, B. C. Ma, Y. Yoon, J. H. Yoon and J. H. Park, "Review on the Inspection System of Facilities Handling Hazardous Chemicals Under the Chemicals Control Act", *Crisisonomy*, Vol. 11, No. 7, pp. 19-33 (2015).
14. S. B. Kim, C. H. Park, M. S. Cho, J. S. Lee, J. M. Kim, H. R. Noh and G. S. Seok, "A Study on Improving Management of Substances Requiring Preparation for Accidents Facilities", *Journal of the KOSOS*, Vol. 2, No. 3, pp. 77-82 (2012).
15. G. S. Jeong and E. S. Baek, "A Study on the Improvement of Safety Management of Hazardous Chemicals Handling in the Workplace", *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 28, No. 1, pp. 12-19 (2014).
16. C. H. Shin and J. H. Park, "Improvement on Handling System of Spilled Chemical from Hazardous Chemical Storage Tanks", Vol. 12, No. 7, pp. 25-35 (2016).
17. Chemicals Control Act, Ministry of Environment (2015).
18. Toxic Chemicals Chemical Act, Ministry of Environment (2015).
19. Environmental White Paper, Ministry of Environment (2015).