

Improvement on Chemical Accident Risk of Loading or Unloading Facilities for Hazardous Chemical Vehicles

Chang Hyun Shin^{1#}, Sang Jae Lee¹, Jai Hak Park²⁺

¹ National Institute of Chemical Safety, 90 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

² Department of Safety Engineering, Chungbuk University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, Republic of Korea

Abstract

This study analyzed CSC(Chemical Safety Clearing-house) which is the statistical system of domestic chemical accidents, operated by National Institute of Chemical Safety. Among the total of 370 chemical accidents between January 2013 to August 2016, 13 cases occurred during loading or unloading operations of hazardous chemical vehicles. The Chemicals Control Act stipulated a standard on the safety facilities such as trenches to prevent the spilled chemical from spreading to the outside. However, the lack of details on trenches such as capacity and installation made the standard ineffective, which requires some improvements of the standard in precisely defining how to handle facilities. This study aims to present the optimization criteria used for installing trenches in loading and unloading places for the transport vehicles of hazardous chemicals and thus to contribute to minimize risk from chemical accidents in Korea.

Key words: Chemicals Control Act, unloading facilities, trench, handling facility, vehicle

1. 서론

2013년부터 2016년 8월까지 발생한 국내 화학사고 370건을 분석한 결과, 유해화학물질 운반차량이 하역 하거나, 적재하는 장소에서 발생한 화학사고는 13건 (3.5%)으로 조사되었다(CSC, 2016). 2012년 경북 구미에서 발생한 불화수소 누출사고는 유해화학물질 운반차량에서 사업장 내 저장탱크로 이송 작업을 하던 중 발생한 사고로 피해가 컸으며, 화학사고에 대한 국민들의 불안과 우려가 가중되는 계기가 되었다. 이후에도

유사한 사고가 빈번히 발생하였으며, 이 중 언론에 크게 보도된 대형사고는 2016년에 발생한 충남 금산의 불산 유출사고와 울산의 황산 유출사고를 들 수 있다(CSC, 2016). 두 사고 모두 작업자 부주의로 인해 운반차량에서 작업을 하던 중 유출된 사고로 사람과 환경에 큰 피해를 주었다. 이 밖에도 유해화학물질 운반차량으로 하역·적재 작업을 하는 중에 크고 작은 유출사고가 빈번히 발생하였다.

한편, 운송사고의 피해를 막기 위한 시설 예방기준은 미흡한 편이다(Shin, 2016). 국내의 화학물질 주요 관

The 1st author: Chang Hyun Shin, Tel. +82-42-605-7022, Fax. +82-42-605-7035, e-mail. yjoy122@korea.kr

+ Corresponding author: Jai Hak Park, Tel. +82-43-261-2460, Fax. +82-43-264-2460, e-mail. jhpark@chungbuk.ac.kr

리법령인 화학물질관리법에 따르면 운반차량으로 유해 화학물질을 하역하거나, 적재하는 장소에는 유출물질이 외부로 확산되지 않도록 방류턱, 트렌치 등의 안전 시설이 설치되어야 한다(Ministry of Environment, 2015). 방류턱은 통상적으로 15cm 이상의 높이로 운반차량 주변의 4면에 설치되고, 트렌치는 유출물질이 외부로 흐르지 않고 트렌치 내부로 들어가도록 차량 주변에 충분한 용량을 갖도록 설치되어야 한다. 다만, 트렌치의 경우 내부 용량이 구체적으로 제시되지 않아 설치 기준에 대한 해석 차이로 논란이 발생하곤 한다. 이론적으로는 운반차량이 전파되어 전 용량이 유출되는 대형사고의 경우에도 유출물질을 트렌치 내부로 모두 수용할 수 있도록 트렌치가 설치되는 것이 원칙이다. 이 경우, 트렌치는 통상 집수조(Pit)와 함께 설치되는데, 이 두 개의 용량을 운반차량의 전량 이상으로 설치되는 것은 사업장 면적확보, 설치비용, 시설관리 측면 등에서 용이하지는 않다. 이러한 이유로 사업장은 트렌치의 용량을 초기 누출사고 발생 시 소량 누출만 수용하는 수준으로 트렌치를 설치하는 것을 선호하는 반면, 취급 시설을 검사하거나 지도·감독하는 행정기관은 최악의 사고를 가정하여 트렌치의 용량을 최대화하여 설치하도록 요구하기 때문에 상호 간의 논란이 발생하는 것이다. 따라서 산업현장의 설치환경과 관리적 측면, 사고 피해저감 효과 등을 고려하여 유해화학물질 운반차량의 하역·적재 장소의 트렌치 설치기준을 현실화하는 것이 가장 필요하다. 이에, 본 연구에서는 유해화학물질을 운반차량으로 하역·적재 작업 중 발생하는 대량 유출사고까지 고려하여 기존의 문제점을 보완하는 트렌치 설치기준의 최적화 방안을 제시하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 화학사고 발생 현황

화학사고 통계분석을 위해 환경부 화학물질안전원이 운영하고 있는 화학사고 통계처리 시스템인 화학안전정보공유시스템(CSC, Chemical Safety Clearing-house)을 조사하였다. 2012년 구미 불화수소 누출사고 이전에는 화학사고 통계가 환경부로 일원화되지 않고, 사업장이 적극적으로 신고를 하지 않아 통계를 신뢰하기 곤란하다(Yoon, 2013). 반면에, 구미 사고 이후에는 근로자, 사업장 인근 주민 등의 불안감이 커져 화학사고를 적극적으로 신고하고, 화학사고 대응을 환경부(화학물질안전원)가 주관하게 되어 국가적인 화학사고 통계치의 신뢰도가 높아지게 되었다(Lee, 2016). 이에, 본 연구에서는 2013년 이후의 화학사고 자료를 분석하였다. 국내 화학사고 통계에 따르면 2013년부터 2016년 8월 현재까지 발생한 화학사고는 총 370건이었다(CSC, 2016). <Table 1>에서 보는 바와 같이 370건의 화학사고 중 13건(3.5%)의 사고가 화학물질 운송차량으로 하역·적재 작업 중 발생한 것으로 조사되었다. 2013년과 2014년에는 하역·적재 중 유출사고가 2% 수준으로 발생하다가 2015년도에는 3% 수준으로 발생빈도가 높아졌다. 2016년에는 8월 기준으로 전체 화학사고 66건 대비 6.1%인 4건이 발생하여 전년보다 많이 발생한 것으로 나타났다. 2015년 대비 2016년도는 전체 화학사고가 감소한 반면에, 하역·적재시 발생하는 화학사고는 발생빈도가 높아지고 있어 각별한 주의가 요구되고 있다. 자세한 통계치를 <Figure 1>에 시각화하여 나타내었다. 한편, 화학사고 원인물질을 조사한 결과, 황산이 3건, 질산 2건, 질산과 황산이 혼합된 혼

Table 1. Statistics of domestic chemical accidents for the last 4 years (unit : cases)

Year	Type	(A) Total chemical accidents	(B) Chemical accidents during loading or unloading (B/A)
2013		86	2 (2,3%)
2014		105	3 (2,9%)
2015		113	4 (3,5%)
2016 ¹⁾		66	4 (6,1%)
Total		370	13 (3,5%)

1) Based on Jan. 1st, 2016 ~ Aug. 31th, 2016

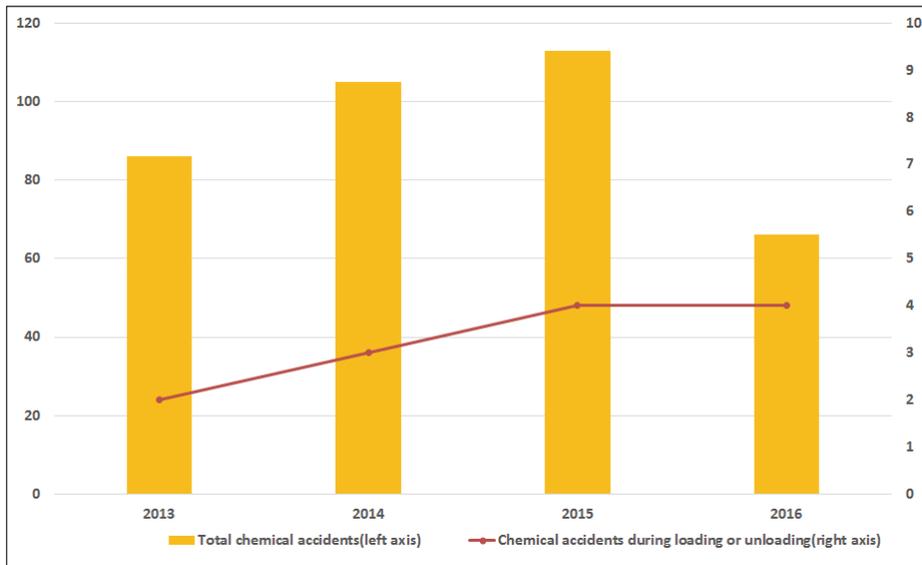


Figure 1. The number of domestic chemical accidents from 2013 to 2016

산 1건, 과산화수소 1건 등 단일물질 순으로 나타났다.

2. 국내 운송차량 하역·적재 시 화학사고 사례

인명·환경 피해가 비교적 컸던 대표적인 사례를 화학안전정보공유시스템(CSC)에서 조사하였다. 첫 번째는 2016년 6월 4일 충남 금산에서 발생한 사고로 불산(55%) 운송차량에 적재 작업을 하던 중 불산이 유출된 사고이다. 불산을 필터 하우스(Filter housing)를 거쳐 운송차량으로 이송 중 필터 하우스가 막혀 과압으로 파열판이 터지면서 불산이 트렌치와 집수조로 유입되었고, 트렌치에서 넘쳐 불산이 <Figure 2>와 같이 외부로 유출되었다. 이 사고로 인해 인근 주민이 대피하는 소동이 발생하였고, 일부 주민이 병원에 입원하면서 직접적인 피해 여부에 대한 논란이 발생하였다. 두 번째는 2016년 8월 6일 경남 양산에서 발생한 사고로 황산 운

송차량에서 유출된 사고이다. 황산 운반차량이 고장 나서 다른 운반차량으로 이송 중 취급자 부주의로 인해 연결호스에서 황산이 유출되었고, <Figure 3>에서 보는 바와 같이 작업자와 이송작업 주변에 유출되었다. 이 사고로 인해 작업자 1명이 사망하고, 2명이 부상을 입었다.

과거 화학사고 사례를 조사한 결과, 운반차량 하역·적재 작업 중 발생한 사고는 대량으로 유출된 사고는 드물고, 소량으로 유출된 사고가 대부분이었다. 다만, 소량 유출이 대부분이지만 화학사고를 대비하는 차원에서 시설기준은 최악의 사고 시나리오를 대비하여 빈틈없이 제정되어야 한다(NICS Guideline, 2016). 작업자가 사망하거나, 크게 다치는 사고가 발생하는 경우 초동조치가 신속하게 이루어지지 않기 때문에 운반차량에서 대량으로 유출된 사고를 완전히 배제할 수는 없



Figure 2. Chemical accident during loading of Hydrofluoric acid in Chungchungnam-do in 2016



Figure 3. Chemical accident during unloading of Sulfuric acid in Gyongsangnam-do in 2016

다. 따라서 모든 사고 가능성을 검토하여 운반차량에서 취급하는 전량이 유출될 수 있는 최악의 사고 시나리오를 고려하여 하역·적재 장소의 주변에 피해저감 시설을 설치하는 것이 합리적이다. 이 경우, 작업 장소 주변에 트렌치를 4면에 설치하여 유출된 물질이 외부로 확산되지 않도록 설치하는 것이 타당하다. 하지만 현실적으로는 그리 수월하지 않다. 운반차량 전량을 수용할 수 있는 트렌치 용량을 설치하는 것은 설치비용이나, 사업장 면적 등을 고려할 때 트렌치 용량을 무조건 크게 설치하는 것이 곤란하기 때문이다.

3. 운송차량의 기존 연구사례

유해화학물질 운송차량의 안전관리 기준은 화학물질 관리 법령의 취급시설 기준에서 제정되어 있다. 그러나 화학물질을 관리하는 국내의 주요 법령인 화학물질관리법, 위험물안전관리법, 고압가스안전관리법, 산업안전보건법에서는 유해화학물질 운반차량의 사고예방을 위한 재질, 두께, 안전장치 등의 설계기준은 구체적이나, 하역·적재 장소의 트렌치 설치기준은 미흡하다. 단지, 하역·적재 장소에서 유출된 물질이 외부로 확산되지 않도록 방지턱, 트렌치 등을 설치하는 기준으로 제정되어 있다(Ministry of Environment, 2015). 산업현장에서는 트렌치가 보편적으로 설치되고 있다. 이는 방지턱은 차량의 통행을 방해하고, 이동 시 물리적 충격으로 위험을 증가시키기 때문이다. 하지만, 구체적인 트렌치 설치기준과 유출된 물질의 처리기준이 없어 산업계의 자율적인 관리에 의존하는 편이다. 화학물질 관리 법령을 중심으로 사고예방을 위한 취급시설 기준이 제시되어야 하나, 구체성이 부족하여 불필요한 혼란을 야기할 수 있는 불안요소가 있는 것이다. 화학물질 법령 외에는 유해화학물질 운송차량에서 발생하는 화학사고를 줄이기 위한 연구는 시설관리 측면과 대응적인 측면에서 이뤄지고 있다. 이에 대한 연구사례는 다음과 같다.

Shin, *et. al.* (2016)은 유해화학물질 운반차량 내부에 4,000L 마다 설치해야 하는 칸막이 구획 부분의 상

부 주입구 시설이 전복사고 발생 시 지면과 충돌하여 유출사고 가능성이 높아지는 문제점을 개선하였다. 탱크로리 전체를 공용으로 사용할 수 있는 주입구 장치를 고안하여 칸막이 주입구를 공용으로 사용하여 유출 포인트를 줄이고, 칸막이 하부를 정상 상태와 비정상 유출 상태를 구분하여 칸막이에 의해 각 구획된 공간을 선택적으로 제어하여 유출량을 최소화시키는 시스템을 제안하였다. 이로 인해, 전복 등에 의해 지면과 주입구가 충돌에 의해 파손되는 누출지점을 최소화시켜 누출 확률을 줄여 위험성을 줄이고, 유출량도 줄이는 시스템을 제안하였다.

환경부와 화학물질안전원에서는 화학물질관리법 상 트렌치 용량이 명확하게 규정되지 않아 산업계의 부담을 줄여주기 위해 화학물질관리법 유권해석으로 설치기준을 현실화하는 방안을 마련하였다 (Ministry of Environment, 2015). 유해화학물질을 운반차량을 하역·적재하는 경우, 화학물질관리법 제13조에 따라 유해화학물질 관리자가 입회하도록 의무화하고, 작업 중 발생할 수 있는 유출 사고 시나리오를 선정하여 사전에 비상대응 훈련 계획을 수립하여 주기적인 훈련을 통해 사고 발생 시 신속하게 유출사고를 대응하는 방안을 마련하는 경우 트렌치 용량이 운반차량 용량의 1/3~1/4 수준으로 설치하는 것을 허용하였다. 다만, 이러한 방식은 화재·폭발 등과 같은 치명적인 사고가 발생하여 작업자가 심각한 부상을 입어 사고대응이 불가능한 최악의 사고에서는 정상적인 대응이 불가능하여 대량 유출사고로 이어질 수 있는 단점이 있다.

Lee *et. al.* (2016)은 화학사고 대응 시 사고대응에 필요한 정보를 쉽게 얻지 못하고 유관기관의 협조를 구해야 얻을 수 있어 소방이 단독으로 대응하기 어려운 문제점을 개선하는 방안을 제시하였다. 현재, 국내에서 유해화학물질 사고에 대응하기 위하여 사용되는 비상대응핸드북(Emergency Response Guideline), 환경부의 화학물질사고대응정보시스템(Cheical Accident Response Information System), MSDS(Material Safety Data Sheet) 등 사고대응 정보를 여러 부처에서 관리하고 있어

화학사고 발생 시 손쉽게 얻지 못하는 문제점이 있다. 이에, 이동식 탱크차량의 사고대응을 위해서 사고대응 가이드라인 작성, 사고대응 물질 데이터베이스 구축을 통하여 소방대원들이 올바른 대응을 수행할 수 있도록 이동식 탱크차량 사고대응 프로그램을 개발하였다.

이처럼, 사고대응 측면에서 연구나 대책 마련이 진행되고 있으나, 본 연구에서 언급한 트렌치의 기능을 보완하기에는 차이가 난다.

4. 현 법령 상 운송차량 하역·적재장소 취급시설 기준 및 한계

2015년 이전에 적용되었던 유해화학물질관리법에서는 하역·적재 장소의 설치기준이 명확하지 않았다. 이 법에 따르면, 유해화학물질이 외부로 유출되지 않도록 방지턱 등을 설치하도록 요구하는 수준으로 방지턱의 높이 기준이 없다(Ministry of Environment, 2013). 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서는 전반적으로 유해화학물질 취급시설 기준이 강화되었지만, 하역·적재 장소의 설치기준이 여전히 구체화되지 않았다(Ministry of Environment, 2015). 화학물질관리법에 따라 하역·적재 장소 주변에는 15cm 이상으로 방지턱 등을 설치해야 하며, 트렌치는 유권해석으로 방지턱의 기능을 준하는 시설로 인정받고 있다(Figure 4) 참고).

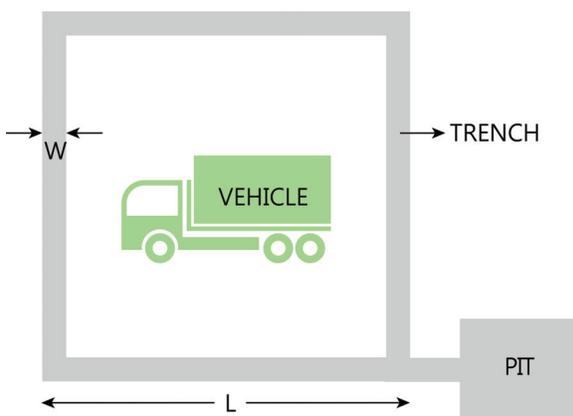


Figure 4. Installation diagram of current trench

화학물질관리법에서 트렌치의 설치기준이 명확하지 않아 발생하고 있는 이슈를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 트렌치의 설치 위치 및 면적이다. 운반차량으로 저장탱크 또는 보관창고에 하역하거나, 적재를 하는 장소에 유해화학물질이 대량으로 유출되는 경우 외부로 확산되지 않도록 운반차량 4면을 충분한 너비로 설치되도록 해야 하나, 차량과 가까운 위치에 설치하거나, 4면이 되지 않거나, 충분한 너비가 되지 않도록 설치하는 것은 트렌치의 기능을 저하시키는 면이 있다. 둘째, 트렌치의 용량이다. 트렌치의 너비는 충분하고 위치도 4면으로 적절히 설치하였으나, 깊이가 충분하지 않은 경우 유해화학물질 운반차량에서 유출된 물질이 트렌치 외부로 넘쳐 2차 피해를 야기하게 된다. 셋째, 트렌치에 고인 빗물의 관리 문제이다. 유출사고가 발생하지 않은 경우에는 트렌치 내부에 유해화학물질이 고이지 않는다. 다만, 비가 오는 경우에는 트렌치 내부에 빗물이 고이게 되어 유해화학물질이 물과 반응하는 물질은 유독성 또는 인화성 증기 등 유해성 가스가 발생하기 때문에 신속하게 배출시켜야 하나, 트렌치에 고인 물을 그대로 방치하거나, 일부만 제거하여 잠재적인 위험요소를 갖게 만든다. 이처럼, 유해화학물질 운반차량에서 하역하거나, 적재하는 작업을 수행하기 위해 사고의 피해를 줄이기 위한 안전시설이 구체적인 설치기준이 없어 사고를 효과적으로 예방하기에는 한계가 있어 실효성 있는 트렌치 설치기준을 마련하는 것이 필수적이다.

III. 위험성 개선 방안

본 시스템은 사고로 유출된 유해화학물질을 신속하게 감지하여 유출물질을 폐수처리장으로 유입시켜 중화 처리하고, 비가 오면 빗물을 우수로로 유입시키는 선택적 유체 자동화 처리 방식이다. 이러한 시스템은 유출물질을 신속하게 폐수처리장으로 보내기 때문에 표면에서 증발되는 시간을 단축시켜 대기로 확산되는 제2차 환경오염을 줄일 수 있다. 아울러, 기존에는 트렌치에서 모인 유해화학물질을 일정 용량 이상 억류하

기 위해 상당한 용량으로 집수조를 설치해야 하는데, 본 시스템을 적용하는 경우 대용량의 집수조를 설치할 필요 없이 곧바로 폐수처리장으로 유입시키기 때문에 장소 활용성 측면에서 유리하다. 추가적으로, 기존에는 유출사고가 발생하는 경우에 트렌치와 방류벽에 억류되어 중화처리, 폐수처리 등 많은 양을 신속하게 방제하기에는 어려움이 있었으나, 본 시스템은 유출사고를 감지하여 실시간으로 폐수처리장으로 유입시키기 때문에 사고대응이 수월해지는 이점이 있다.

1. 유출물질 처리 시스템 설계

개선 시스템을 도출하기에 앞서 현재 사업장에서 운영되고 있는 폐수처리 작동 방식과 우수로 처리 방식을 조사하였다. 공정시설·설비에서 배출되는 폐수는 배관을 거쳐 폐수처리장으로 유입되고, 사업장 내부에 모인 빗물 등은 별도의 집수조에서 배관을 거쳐 우수관으로 흘러 공동 수계로 들어간다. 폐수와 우수의 별도의 처리 시스템을 <Figure 5>에 요약해서 나타내었다. 원리는 다음과 같다. 공정시설·설비에서 나온 폐수는 pH 모니터링을 통해 중화약품의 양을 결정하여 pH를 조절한다. 빗물 배출 시스템의 경우, 우수로에 pH 미터를 설치하여 pH 모니터링을 통해 빗물 등 안전한 유체라고 감지하는 경우 끝단의 밸브를 올려(Open) 빗물이 우수로로 흘러가게 하고, pH 측정값이 화학물질의 특

성값으로 감지하는 경우에는 밸브를 아래로 내려(Close) 빗물이 아닌 위험물질이 우수로로 유입되지 않도록 한다. 일부 화학업체에서 운영하고 있는 이러한 시스템은 폐수와 우수를 별도의 처리 시스템을 이용하여 관리하여 안전하게 처리하는 장점은 있지만, 단점도 있다. 첫째, 폐수처리와 우수처리 시스템이 별도로 설치되기 때문에 비용·공간상의 문제가 있다. 둘째, 우수로에서 유해화학물질이 유출되는 경우 pH 미터를 통해 유출사실을 감지하여 밸브가 닫혀 일시적으로는 우수로로 유입되지 않도록 하지만, 작업자가 신속하게 대응하지 못하는 경우 유출된 물질이 넘쳐 우수로로 흘러들어갈 가능성이 높다.

본 연구는 현재 산업계에서 사용하고 있는 독립된 공정설비의 폐수 처리 시스템과 우수 처리 시스템을 하역·적재 시설에 접목시키되, 공간의 활용성을 높이고, 문제점을 개선한 시스템이다. 두 개의 처리시스템을 단일화하고, pH 모니터링을 통해 상황에 맞게 자동밸브를 작동시켜 폐수는 폐수처리장으로 유입시키고, 우수는 우수로로 유입시키는 위험성 개선 방식이다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 <Figure 6>과 같이 요약해서 나타낼 수 있다. 유해화학물질 운반차량의 4면에 구배를 갖춘 트렌치, 수로가 모이는 곳에 설치된 pH 미터, 유출여부에 따라 자동으로 밸브를 조절하는 자동밸브, 폐수처리시설, 우수로 등으로 구성된다.

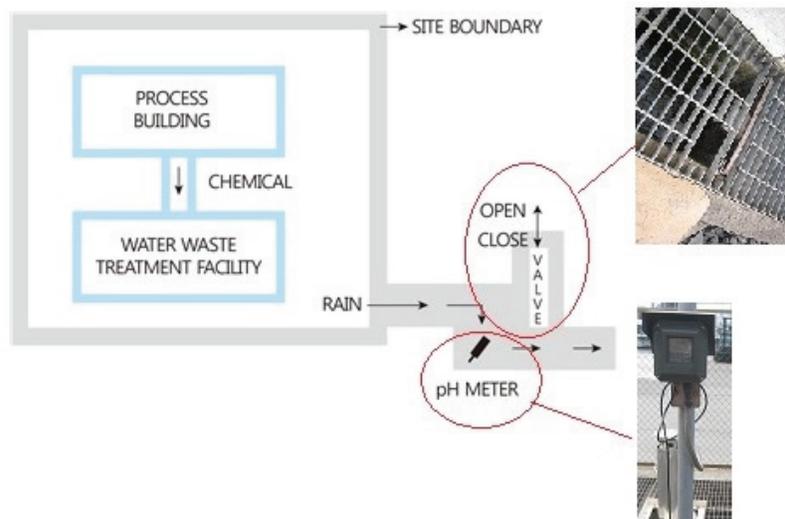


Figure 5. Installation diagram of separate water-waste and rain treatment systems

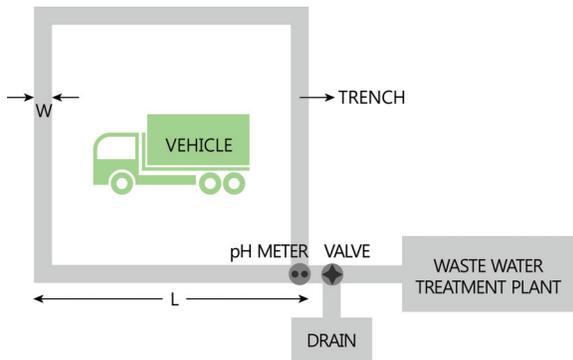


Figure 6. Installation diagram of advanced trench and safety facilities

트렌치를 설치할 때 고려해야 할 것은 다음과 같다. 첫째, 운반차량이 전파되어 전량이 유출되는 최악의 사고에서도 유출물질이 트렌치 내부로 들어갈 수 있도록 운반차량 외면과 트렌치의 이격거리를 확보하는 것이다. 만약, 이격거리가 충분하지 않은 경우 많은 양이 유출될 때, 트렌치 내부로 들어가지 않고 트렌치 외부로 흘러가는 사고가 발생하게 된다. 둘째, 트렌치의 너비(W)와 깊이(D)를 충분히 확보할 수 있도록 설치해야 많은 양을 억류할 수 있게 된다. 셋째, 트렌치 내부에는 구배를 갖도록 설치하여 유출된 물질이 한 방향으로 흘러가도록 한다. 본 연구에서는 예시로 <Figure 6>에서 나타난 바와 같이 오른쪽 아래 방향으로 흐르도록 설치하였다. 넷째, 수로가 만나는 트렌치 하단에는 유해화학물질의 유출여부를 감지하는 pH미터를 설치하여 신속하게 유출사고를 감지한다. 이 경우, 누액감지기(Leak sensor)를 설치하는 경우 빗물에도 유출이라고 반응하는 오작동이 발생할 수 있기 때문에 pH 미터를 설치하는 것이 좋다(Shin, 2016). pH 미터의 입력값이 없는 경우 트렌치에 유해화학물질 또는 빗물이 흐르지 않는 것으로 판단하고, pH 미터 값이 중성(통상 7~8)으로 인식되는 경우는 빗물 등과 같이 비유해화학물질이 흐르는 것으로 판단하게 된다. 만약, pH 미터 진단 결과가 중성에서 벗어난 산성 또는 알칼리성으로 판단하는 경우에는 유해화학물질 유출사고로 예측한다.

이러한 pH 미터의 입력값을 활용하여 유해화학물질은 폐수처리장으로 유입시키고, 빗물은 우수로로 유입시키도록 자동으로 제어하는 자동제어밸브를 설치하여

제어한다. 실제로 자동제어밸브를 수동전환밸브로 설치하여 사고시와 평상시를 구분하여 작동하는 것이 가능하지만 이를 피하는 것이 좋다. 왜냐하면 두 가지 문제점이 있을 수 있기 때문이다. 우선, pH 미터를 통해 사고 발생을 감지하여 작업자가 신속하게 현장으로 투입하여 사고사실을 인지할 수는 있으나, 수동전환밸브를 조작하여 잠금 상태를 폐수처리장으로 유입시키는 작업이 어려울 수 있다. 사고가 발생하면 주변에 발생한 흠 등으로 인해 현장 접근이 어렵고, 사고 대응에 익숙하지 못한 작업자는 부담감으로 인해 평소보다 작업속도가 떨어지기 때문이다. 그 다음으로, 비가 오는 경우에는 수동전환밸브를 조작하여 빗물이 우수로로 유입시키는데 비가 그친 상태에도 수동전환밸브를 계속 우수로로 들어가도록 열어두거나, 비가 오는 상황에서 사고가 발생하는 경우 신속하게 수동전환밸브를 폐수처리장으로 유입되도록 전환하는 작업이 어려워질 수 있기 때문이다.

한편, 하역·적재하는 작업에서 유해화학물질이 대량으로 유출되는 경우 pH 미터를 가동하여 자동제어밸브를 유입시키는 것을 활용하더라도 트렌치의 용량($W \times L \times D$)을 고려하여 한다. 이 경우, 가장 중요한 인자는 너비(W)이다. 차량의 크기에 따라 4면을 설치할 수 있도록 트렌치를 설치하기 때문에 트렌치의 길이(L)는 정해지고, 깊이(D)는 30~50cm 이상만 되어도 큰 문제가 없기 때문이다. 다만, 트렌치의 너비(W)의 크기가 작아지면 대용량이 트렌치 내부로 흘러 들어가지 못하고, 너비(W)의 크기가 너무 커지면 운반차량이 트렌치를 지나가면서 트렌치의 강도에 부정적인 영향을 주고, 표면적이 커져 유출된 물질이 대기로 확산되는 용량이 더불어 커지기 때문이다. 이러한 이유로 트렌치의 너비(W)를 가장 중요인자로 보고 트렌치를 설계하는 것을 우선 고려해야 한다.

2. 유출물질 처리 운영방식

유해화학물질 운반차량이 하역·적재하는 작업에서 세 가지 유형을 고려할 수 있다. 유출사고도 없고,

빗물 등이 유입되지 않은 정상상태(Case A), 유출사고가 발생한 상태(Case B), 유출사고는 없으나, 빗물 등이 유입된 상태(Case C)이다(Shin, 2016). 세 가지 유형의 자세한 작동원리를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, Case A는 pH 미터 출력 결과가 특이사항이 없는 정상 상태이다. 둘째, Case B는 유출사고가 발생하여 트랜치 하단에 설치된 pH 미터 출력 결과가 산성 또는 알칼리성으로 인식된 상태로, 이 경우 자동제어밸브를 회전시켜 유출물질을 우수로로 유입되는 것을 차단하고, 폐수처리장으로 유입시킨다. 마지막으로, Case C는 pH 미터 출력 결과가 중성으로 인식된 경우로 자동제어밸브를 Case B와 반대 방향으로 회전시켜 빗물 등을 폐수처리장으로 들어가지 않도록 하고, 우수로로 유입시킨다. 이러한 시스템은 기존의 우수 처리 시스템의 모니터링과 원리가 일부 같아 현장에서 충분히 적용 가능한 방식이며, 기존의 단순 열림과 닫힘 방식을 획기적으로 개선한 시스템으로 활용성이 매우 높다고 볼 수 있다.

3. 개선 시스템의 효과 분석

화학물질관리법이 강화되고, 화학사고에 대한 국민들의 불안감이 높아져 사업장은 위험도를 줄이고자 노력하고 있다. 다만, 기준이 미흡하거나, 기준이 명확하더라도 너무 과도한 규제인 경우에는 상황이 다르다. 유해화학물질 운반차량에서 유출된 물질이 외부로 흐르지 않기 위해서는 저장탱크 주변에 설치된 방류벽 기준과 유사하게 트랜치(집수조 포함)의 용량을 운반차량의 110% 이상으로 설치하는 것이 원칙으로 볼 수 있다. 만약, 산업계에서 통상적으로 사용되고 있는 운반차량의 탱크로리 용량이 20,000L 또는 25,000L인 경우를 고려해보면, 트랜치의 적정용량을 사업장 내부에서 확보하기는 어렵다. 특히, 운반차량은 사업장 내부의 도로를 주행하기 때문에 사업장에서 이 정도의 용량을 확보한 트랜치를 설치하는 것은 비현실적이다. 이러한 이유로 설치용량을 대폭 줄여 트랜치를 설치하려고 하고, 이로 인해 트랜치 용량이 충분하지 않아서 앞에서 살펴본 급산 불산 유출사고와 같이 트랜치에서 넘쳐흘러 외

부로 확산되는 사고가 발생한 사례가 발생하는 것이다. 본 연구에서 제시한 트랜치 설치 개선 시스템은 확산피해를 줄이고, 공간 활용성을 높여주는 장점이 있다. 트랜치의 기초 용량을 확보하여 유해화학물질의 유출사고를 신속하게 감지하여 폐수처리장으로 유입시키기 때문에 큰 용량이 필요 없고, 단순히 용량을 확보한 경우보다 대기 확산피해를 줄이는 효과도 있다. 아울러, 빗물 등을 우수로로 유입시키고, 유해화학물질은 폐수처리장으로 유입시키는 선택적 시스템을 적용하기 때문에 빗물을 폐수처리장으로 유입시키는 희석의 문제점이나, 유해화학물질을 우수로로 유입시키는 문제를 미연에 방지하는 것이 가능하다. 또한, pH 미터 측정값을 통해 유해화학물질의 유출을 감지하는 경우 신속히 사업장과 사고대응기관에 유출 사실을 통보하는 것도 응용이 가능하다. 화학물질관리법 제43조에서는 화학사고가 발생하면 사업장은 즉시(15분 이내) 신고해야 하는 법적 기준을 제시하고 있다. 다만, 사업장에서는 유해화학물질의 유출사고가 발생하는 경우 초동조치를 하는 것에 집중하기 때문에 관계기관에 신속히 신고를 하는 것이 곤란할 수 있다. 초동조치를 수행하다가 사고 신고가 지연되면 법적 처벌을 받기 때문에 본 시스템을 적용하여 유출사고가 관계기관에 즉시 통보된다면 사업장은 신고 부담이 줄어들고 비상조치에 집중할 수 있게 되며, 사고대응기관은 신속하게 출동하여 초동조치를 실시하는 등 사고대응 골든타임을 확보할 수 있는 이점이 있다.

이러한 개선 시스템을 화학물질관리법에서 활용하는 방법은 설치검사 시 검사기관으로부터 이 기술이 실제로 적용이 가능하다고 기술적으로 평가받는 것이다. pH 미터 작동을 통한 밸브의 선택적 자동 처리 시스템의 작동 원리, 방법 등을 상세히 기술하여 시설 운영 전 검사기관에 제출하여 현장 확인을 받는다면 될 것이다. 이는, 화학물질관리법에서 새롭게 적용되는 설치검사의 사전 기술평가 및 현장 확인 검사 제도를 활용하는 것으로 이해할 수 있다(Shin, 2016). 다만, 본 연구는 트랜치에 감지설비를 활용하여 유출된 물질을 폐수

처리장으로 신속하게 유입시키는 시스템으로 폐수처리장을 자체 보유한 사업장에 적용해야 하는 한계가 있다. 즉, 사업장의 규모가 작은 중소기업의 경우는 사업장 부지가 협소하여 폐수처리장을 설치하기 곤란하기 때문에 본 시스템이 모든 사업장에 적용하기에는 어려움이 있다. 이를 개선하기 위해 중소기업의 경우 산업단지 내에 공동 폐수처리장을 활용하는 방식을 적용할 수 있다. 중소기업의 경우는 트렌치, pH 미터, 배관 등으로 설치하도록 하고, 공동 폐수처리장을 활용하여 유출물질을 처리한다면 본 시스템이 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 본 시스템과 더불어 사업장은 최소한의 안전기준을 지켜야 한다. 유해화학물질 운반차량이 하역하거나, 적재하는 작업을 할 경우에는 반드시 유해화학물질 관리자와 작업자가 현장에 입회하여 작업을 실시해야 한다(화학물질관리법 제13조). 아울러, 본 시스템은 유해화학물질 사고의 피해를 줄이기는 시스템으로 화학사고를 미연에 방지하기 위한 예방대책이 아님을 인식해야 한다. 이를 위해서는, 운반차량의 탱크로리, 주입구, 배관·밸브 등을 주 1회 이상 자체점검을 실시(화학물질관리법 제26조)하여 시설점검을 철저히 해야 한다. 또한, 취급물질에 적합한 개인보호장비를 착용하거나, 근거리에서 비치(화학물질관리법 제14조)하여 사고에 활용할 수 있도록 하고, 화학사고 발생 시나리오를 사전에 수립하여 분기·반기별로 훈련을 실시하여 초기에 사고를 대처할 수 있는 대응역량을 키울 수 있도록 노력해야 한다.

IV. 결론

본 연구는 유해화학물질 운반차량을 이용하여 하역하거나, 적재하는 중에 발생하는 유출사고를 신속히 감지하여 폐수처리장으로 유입시켜 대기로 확산되는 제2차 화학사고를 줄이는 방식이다. 이러한 시스템은 화학물질 관리 법령에서 명확하지 않은 하역·적재 장소의 피해저감 안전시설을 개선한 것으로 다음과 같은 특징

이 있다.

1. 유체 처리 시스템의 구성은 트렌치, pH 미터, 자동제어밸브, 폐수처리장, 우수로 등이다. 트렌치 수로에 구배를 주고 유출된 물질이 한 곳으로 모이는 트렌치 하부에 pH 미터를 설치하여 pH 측정값을 통해 유해화학물질의 유출 여부를 감지한다. pH 미터에서는 트렌치 수로에 유해화학물질 또는 빗물 등이 흐르지 않는 경우에는 측정값이 감지되지 않는다. 만약, 유해화학물질 운반차량에서 유출 사고가 발생하는 경우 산·염기 화학물질에 따라 pH 측정값이 검출되기 때문에 비정상 유출로 판단할 수 있고, pH 측정값이 증성으로 감지되는 경우에는 빗물, 하수 등에 의한 유출로 판단할 수 있다.

2. 이에 따른 자동제어밸브를 pH 미터 측정값과 연동하여 자동제어밸브를 선택적으로 제어한다. pH 측정값을 모니터링 하여 비정상 유출로 판단되는 경우 자동제어밸브를 폐수처리장으로 유입시키고, 빗물 등이 유출된다고 판단되는 경우에는 자동제어밸브를 우수로로 열어 정상적으로 배출시킨다. 아울러, pH 미터 측정값이 없는 정상시의 경우 자동제어밸브를 폐수처리장과 우수로를 닫힘으로 제어한다. 이로 인해 기존의 트렌치 용량 확보의 공간상 문제점과 유출 물질을 처리하는데 걸리는 시간까지 표면에서 대기로 확산되는 제2차 환경오염 사고의 위험성을 동시에 줄이는 것이 가능하다.

3. 본 시스템을 적용하면 사업장과 사고대응기관이 유출사고를 신속하게 감지하기 때문에 사고대응을 신속하게 할 수 있는 이점이 있다. 유출물질을 pH 미터를 통해 감지하여 사업장과 사고대응기관에게 경보를 주도록 하여 사업장은 비상조치를 하고, 사고대응기관은 신속하게 출동하여 초동조치를 실시하여 골든타임을 확보할 수 있게 된다.

References

- ERG. 2014. *The Emergency Response Guideline*. Ministry of Environment. Korea Occupational Safety & Health Agency

- (KOSHA) Guide(P-102-2012). 2012. Consequence Analysis of Chemical Release. Korea Occupational Safety & Health Agency.
- Kim, Seong Beom, Chung Hwa Park, Mooun Sik Cho, Jin Seon Lee, Jeong Min Kim, Hye Ran Noh, and Gwang Seok Seok. 2012. A Study on Improving Management of Substances Requiring Preparation for Accidents Facilities. *Korean Society of Safety*. 27(3): 77-82.
- Lee, Deok Jae, Tae Hyung Lee, and Chang Hyun Shin. 2016. Study on Improvement Measures for Prevention and Countermeasure of Chemical Accident. *Korean Institute of Fire Science & Engineering*. 30(5): 137-143.
- Lee, Hyun Jin, Seung Hoon Han, Chung Keun Chae, Jong Won Yong, Chan Ho Tae, and Jae Wook Ko. 2015. Development of Accident Response Program for Hazardous Material (HAZMAT) Transport Vehicles. *Journal of the Korean Institute of Gas*. 19(5): 61-68.
- Ministry of Environment. 2013. *The Toxic Chemicals Control Act*. Ministry of Environment.
- Ministry of Environment. 2015. *The Chemicals Control Act*. Ministry of Environment.
- National Institute of Chemical Safety(NICS) Guideline. 2016. *Guidelines for Evaluating End Point of Chemical Accidents*. National Institute of Chemical Safety. 2016(1).
- National Institute of Chemical Safety(NICS) Guideline. 2016. *Guidelines for Selecting Scenario of Chemical Accidents*. 2016(1).
- National Institute of Chemical Safety(NICS). 2016. *Chemical Safety Clearing-house*. National Institute of Chemical Safety(NICS).
- Park, Yeong Gyun and Tae O Kim. 2015. Evaluation of Ammonia Gas Release in the Solar Cell Manufacturing Process Using the ALOHA Model. *J. Odor Indoor Environment*. 14(2): 136-149.
- Seol, Ji Woo, Jong Won Yong, Chung Keun Chae, Ho Tae Chan, and Jae Wook Ko. 2015. A Study on Accident Response Guidelines for Hazardous Materials(HAZMAT) Transport Vehicle. *Journal of the Korean Institute of Gas*. 19(5): 87-97.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. An Evaluation of the Off-site Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid. *Crisisonomy*. 12(3): 187-200.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks. *Journal of the Korean Society of Safety*. 31(1): 54-60.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals. *Crisisonomy*. 12(1): 83-93.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Improvement on Handling System of Spilled Chemical from Hazardous Chemical Storage Tanks. *Crisisonomy*. 12(7): 25-35.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Improvement on Spill Risk of a Hazardous Chemical Transporting Vehicle. *Crisisonomy*. 12(8): 33-45.
- Shin, Chang Hyun and Jai Hak Park. 2016. Improvement on the Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid. *Crisisonomy*. 12(5): 119-132.
- Shin, Chang Hyun, Chung Soo Lee, Jae Eun Kang, Beyong Chol Ma, Yi Yoon, Jun Hyeon Yoon, and Jai Hak Park. 2015. Review on the Inspection System of Facilities Handling Hazardous Chemicals Under the Chemicals Control Act. *Korean Review of Crisis & Emergency Management*. 11(7): 19-33.
- Shin, Chang Hyun, Chung Soo Lee, Jae Eun Kang, Beyong Chol Ma, Yi Yoon, Jun Hyeon Yoon, and Jai Hak Park. 2015. Review on the Safety Management System of Facilities Handling Hazardous Chemicals under the Chemicals Control Act. *Korean Review of Crisis & Emergency Management*. 11(6): 245-262.
- Yoon, Jun Heon. 2013. Prospect for Chemical Management through Analysis on Chemical Safety Management and Revised Act. *Audit*. 120: 16-25.

Korean References Translated from the English

- 김성범, 박춘화, 조문식, 이진선, 김정민, 노혜란, 석광설. 2012. 사고대비물질 취급시설 관리방안 연구. *한국안전학회지*. 27(3): 77-82.
- 박영균, 김태오. 2015. ALOHA 모델을 이용한 태양전지 제조공정의 암모니아 가스 누출 평가. *한국냄새학회*. 14(22): 136-149.

- 설지우, 용종원, 채충근, 태찬호, 고재욱. 2015. 유해화학물질 수송용 차량의 사고 대응 가이드라인에 관한 연구. 한국가스학회지. 19(5): 87-97.
- 신창현, 박재학, 윤준현. 2016. 원유저장탱크 방류벽의 콘크리트 바닥재 불침투성 세부기준 연구. 한국안전학회. 31(1): 54-60.
- 신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 운송차량 누출사고 위험성 개선. *Crisisonomy*. 12(8): 33-45.
- 신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안. *Crisisonomy*. 12(1): 83-93.
- 신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 저장탱크 유출물질 처리 시스템 개선. *Crisisonomy*. 12(7): 25-35.
- 신창현, 박재학. 2016. 질산 저장탱크 유출사고의 위험도 개선. *Crisisonomy*. 12(5): 119-132.
- 신창현, 박재학. 2016. 질산 저장탱크의 유출사고에 대한 장외 위험성 평가. *Crisisonomy*. 12(3): 187-200.
- 신창현, 이청수, 강재은, 마병철, 윤이, 윤준현, 박재학. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 검사제도 고찰. 한국위기관리논집. 11(6): 245-262.
- 신창현, 이청수, 강재은, 마병철, 윤이, 윤준현, 박재학. 2015. 화학물질관리법의 유해화학물질 취급시설 안전관리 체계 고찰. 한국위기관리논집. 11(7): 19-33.
- 윤준현. 2013. 화학물질 안전관리 현황분석과 개정법률을 통해서 본 화학물질관리의 전망. 감사원 감사. 120: 16-25.
- 이덕재, 이태형, 신창현. 2016. 화학사고 예방 및 대책에 대한 개선방안에 관한 연구. 한국화재소방학회지. 30(5): 137-143.
- 이현진, 한승훈, 채충근, 용종원, 태찬호, 고재욱. 2015. 이동식 탱크차량을 위한 사고대응 프로그램 개발. 한국가스학회지. 19(5): 61-68.
- 화학물질안전원. 2016. 화학안전정보 공유시스템(www.csc.me.go.kr). 화학물질안전원.
- 환경부. 2014. 유해화학물질관리법. 환경부.
- 환경부. 2015. 화학물질관리법. 환경부.

Received: Dec. 3, 2016 / Revised: Jan. 9, 2017 / Accepted: Jan. 25, 2017

유해화학물질 운반차량 하역·적재시설의 화학사고 위험성 개선

국문초록 환경부 화학물질안전원에서 운영하고 있는 화학사고 통계시스템인 화학안전정보공유시스템(CSC, Chemical Safety Clearing-house)을 통해 국내 화학사고 발생현황을 조사하였다. 2012년 9월에 발생한 구미 불산사고 이후 환경부에서 화학사고 관리를 일원화하여 2013년 이후 통계치가 신뢰도가 높다. 2013년부터 2016년 8월까지 발생한 화학사고는 총 370건으로 나타났다. 이 중 유해화학물질 운송차량에서 하역하거나, 적재하는 작업 중 발생한 화학사고는 13건으로 조사되었다. 대부분이 소량 누출 사고였으나, 대량 유출사고도 일어났으며 인명피해도 발생하였다. 화학물질관리법에서는 이러한 사고를 예방하기 위한 취급시설 기준으로 트렌치를 설치하여 유출된 화학물질이 외부로 확산되지 않도록 규정하고 있다. 다만, 트렌치의 용량, 설치면적 등이 구체적이지 않아 실효성 측면에서 논란이 있어 시설기준을 개선할 필요가 있다. 이에, 본 연구에서는 유해화학물질의 운반차량 하역·적재 장소의 트렌치 설치기준에 대한 최적화 기준을 제시하여 화학사고 피해를 최소화하는데 기여하고자 한다.

주제어 : 화학물질관리법, 하역시설, 트렌치, 취급시설, 운반차량

Profiles **Chang Hyun Shin** : He is a first author. After a master degree of mechanical engineering in Korea University, working at the National Institute of Chemical Safety. The major paper are “Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks(2016)” and so on. The interested areas are safety engineering, handling facility standards, machine safety(yjoy122@korea.kr).

Sang Jae Lee : He is a second author. After a master degree of Bioscience and Biotechnology in Chungnam National University, working at the National Institute of Chemical Safety and studying for his doctorate in Bioscience and Biotechnology in Chungnam National University. The major paper are “A study on Characteristics Analysis of Chemical Accident in Accordance with Chemical Substance Transporting Accident(2016)”. The interested areas are chemical accident response, ecological risk assessments, nutrient dynamics, ecosystem health assessments and so on(wangmommyson@hanmail.net).

Jai Hak Park : He is a corresponding author. After a bachelor's degree in Seoul National University and a master's and doctor's degree in KAIST, majored in mechanical engineering, being a professor of safety engineering in Chungbuk National University. The major paper are “Estimation of Leak Rate through Circumferential Cracks in Pipes in Nuclear Power Plants(2015)” and so on. The interested areas are mechanical safety, fracture mechanics, structural safety and so on(jhpark@chungbuk.ac.kr).