

## Improvement on Spill Risk of a Hazardous Chemical Transporting Vehicle

Chang Hyun Shin<sup>1#</sup>, Jai Hak Park<sup>2+</sup>

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

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

### Abstract

According to the recent chemical accident statistics, there were 72 cases of chemical accidents of transporting vehicles handling hazardous chemicals. 22 cases of them were massive spills due to a rollover. If large spills from the vehicles occur, accident response can be delayed and the damage can be much more serious than that of on-site accidents. So, it is necessary to take precautionary measures to reduce the damage. The Chemical Substances Control Act in 2015 requires all transporting vehicles to install partitions inside to prevent a massive spill of hazardous chemicals. It needs, however, many inlets to fill the compartments and the cap, which could increase the chance of crash inlets into the ground during rollover accidents. This study is dedicated to minimizing a risk of massive spills of the vehicles through devising an advanced system with the common inlet.

**Key words:** chemicals control act, transporting vehicle, partition, rollover

### 1. 서론

환경부 화학물질안전원은 국내에서 발생하는 화학 사고를 분석하여 유사·동종사고의 재발을 막기 위해 화학사고 DB를 「화학안전정보 공유시스템」에 구축하여 국민들에게 공개하고 있다. 본 시스템을 활용하여 2013년부터 2016년 3월까지 발생한 화학사고 332건을 분석한 결과, 운송차량에서 발생한 화학사고는 72건으로 전체의 21.7%를 차지한 것으로 조사되었다(NICS CSC, 2016). 이러한 운송차량 사고의 원인은 주로 교통 사고, 운전 부주의, 설비결함, 정비 불량 등이었고, 대

부분이 소량 유출 사고인 것으로 나타났다. 그러나 최근 들어 운송차량의 전복사고로 인해 대량 유출사고가 발생하는 건수가 증가하고 있다. 2014년에 3건, 2015년에 9건이 발생하였고, 2016년 3월 현재기준으로 전복사고가 6건이 발생한 것으로 조사되었다. 유해화학물질 운송차량이 전복되는 경우, 사업장에서 발생하는 화학사고 보다 대응하는 것이 어려운 편이다. 운전자가 교통사고로 인해 1차적으로 신체상 피해를 입기 때문에 사고대응에 필요한 정보를 운반자에게 얻기가 쉽지 않고, 소방 대응요원이 화학물질에 대한 방제정보에 익숙하지 않기 때문이다(Seol, *et. al.*, 2015). 이로 인해,

<sup>#</sup> The 1st author: Chang Hyun Shin, Tel. +82-42-605-7022, Fax. +82-42-605-7035, e-mail, [yjoy122@korea.kr](mailto:yjoy122@korea.kr)

<sup>+</sup> Corresponding author: Jai Hak Park, Tel. +82-43-261-2460, Fax. +82-43-264-2460, e-mail, [jhpark@chungbuk.ac.kr](mailto:jhpark@chungbuk.ac.kr)

도로상에서 발생하는 운송차량의 화학사고의 경우 골든타임 내에 적절한 대응이 어렵고, 사고대응이 지연되는 결과를 초래한다. 특히, 전복사고로 인해 대량유출이 발생하는 경우 실내 공간이 아닌 야외에서 유해화학물질이 누출되어 바람의 영향을 받아 먼 곳까지 확산되고, 최악의 경우에는 농로, 우수로, 하천 등을 통해 수계까지 확산되는 제2차 환경사고가 발생하게 된다(Yoon, *et. al.*, 2007). 따라서 운송차량의 전복사고로 인한 대형사고를 미연에 방지하기 위해서는 특별한 안전관리 대책이 필요하다. 2013년에 수립된 화학물질안전관리 종합대책을 살펴보면, 그 동안 유해화학물질 운송차량의 사고대책은 신속하게 사고를 파악하기 위해 위험물질 운송차량 관리시스템을 개선하여 사고대응기관 간에 효율적인 대응이 이뤄질 수 있도록 사고대응체계 구축에 초점이 맞춰져 있다. 하지만, 이러한 대책은 유해화학물질 운송차량의 사고를 근본적으로 방지하거나, 줄이기 위한 사전적 예방대책보다는 사고의 사후관리 측면에 가까운 것으로 볼 수 있다.

2015년 이전에는 위험물안전관리법을 중심으로 정부에서는 화재·폭발의 우려가 있는 위험물질을 운반하는 운송차량을 엄격하게 관리하였다(Ministry of Public Safety and Security, 2015). 황산, 염산, 가성소다 등 유독물질의 경우에는 운송차량 시설기준이 미흡해서 예방대책에 필요한 법적 제도가 완전하지 않은 실정이었다(Shin, *et. al.*, 2015). 그러나 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서는 유해화학물질 취급시설 기준이 상당히 강화되었다(Ministry of Environment, 2015). 신규 제도 시행으로 유독물질 등 유해화학물질 운송차량의 법적 안전기준이 강화되어 사고를 효과적으로 예방하기 위한 안전제도의 수준이 상당히 높아졌다. 대표적으로 대량 유출사고를 막기 위해 운송차량의 내부용량이 큰 경우 4,000 L 마다 강철판 재질로 된 칸막이를 설치하여 유해화학물질의 유동을 줄이고, 유출사고 발생 시 유출량을 최소화시키는 기준이 도입되었다(Shin, *et. al.*, 2015). 다만, 칸막이를 설치하여 탱크로리를 물리적으로 구획하기 때문에 유해화학물질

을 주입하기 위한 주입구, 내부 상태를 감지하기 위한 감지설비 등 안전설비가 별도로 구획된 공간마다 설치되어야 한다. 이로 인해, 다수의 주입구가 탱크로리 상부에 돌출하게 되고, 외부로 돌출된 설비는 전복사고 발생 시 지면과 충돌하면서 손상을 입는 빈도가 증가하게 되어 유출사고 발생 위험성이 높아지게 되었다. 아울러, 각종 감지설비를 칸막이로 구획된 곳마다 설치하기 때문에 설치비용이 높아지게 되었다. 이러한 이유를 감안할 때 사고예방과 비용 측면에서 실효성 있는 대안이 필요할 것으로 사료된다. 물론, 모든 전복사고에서 다수의 주입구가 물리적인 손상으로 누출이 여러 곳에서 발생하는 사고로 이어지는 것이 아니다. 그러나 과거 화학사고 사례에서도 보듯이 전복사고가 발생하면 주입구와 지면이 충돌하여 다수의 주입구가 충돌한 사고가 발생하고 있다(NICS, 2016). 이러한 전복사고는 위험성이 매우 높아 발생빈도가 낮더라도 피해가 크기 때문에 적절한 예방대책이 필요하다. 이에, 본 연구에서는 기존 운송차량의 기준의 문제점을 보완하기 위해 대량유출을 막고, 탱크로리 전체를 공용으로 사용할 수 있는 주입구 장치를 고안하여 정상 상태와 비정상 유출 상태에 따라 칸막이 하부를 선택적으로 제어하는 시스템을 제안하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 화학사고 발생 현황

환경부에 신고된 국내 화학사고 조사결과에 따르면 2013년부터 2016년 3월 현재까지 발생한 화학사고는 총 332건이었다(NICS, 2016). <Table 1>에서 보는 바와 같이 332건의 화학사고 중 72건(21.7%)이 화학물질 운송차량에서 발생한 사고로 조사되었다. 운송차량에서 발생한 화학사고는 과속, 졸음운전, 운전미숙, 교통사고 등으로 인해 주로 발생하였고, 정비불량, 부식 등 시설관리 미흡으로 인해서도 발생한 것으로 나타났다. 2013년부터 2015년까지 과거 3년간 운송차량 사고는 약 17.7%에서 23.3%까지 발생하였으나, 2016년 3월

Table 1. Statistics of domestic chemical accidents for the last 3 years

(unit: cases)

Year	Type	(A) Total chemical accidents	(B) Vehicle chemical accidents (B/A)	(C) Overturn accidents (C/B)
2013		86	20 (23.3%)	4 (20.0%)
2014		104	22 (21.2%)	3 (13.6%)
2015		113	20 (17.7%)	9 (45.0%)
2016		29	10 (34.5%)	6 (60.0%)
Total		332	72 (21.7%)	22 (30.6%)

현재 기준으로 운송차량 사고의 비율이 34.5%까지 급증하였다. 이러한 추세가 유지된다고 가정할 때, 2016년에는 운송차량 화학사고가 40건 이상이 발생할 것으로 추정되어 과거 3년의 평균치에 약 2배에 이를 것으로 예상된다. 이를 세부적으로 조사한 결과, 운송차량에서 발생하는 화학사고의 형태는 중규모 이하의 누출·유출의 사고가 대부분이었으나, <Table 1>에서 나타난 바와 같이 차량이 전복되어 대량 유출되는 사고가 총 22건이 발생하였다. 특이한 것은 운송차량 사고의 형태에서 전복사고의 비율이 2015년에 들어 큰 폭으로 증가하고 있다는 점이다. 2015년은 9건(45%), 2016년은 6건(60%)의 전복사고가 발생하였고, 2016년에는 현재 기준으로 6건이 발생한 것으로 과거보다 더 큰 비율로 전복사고가 발생한 것을 확인할 수 있다. 이상의 화학사고 발생현황, 운반차량 사고 및 전복사고의 통계치를 <Figure 1>

에 시각화하여 나타내었다.

유해화학물질 운반차량이 전복하는 경우 교통사고로 인해 운전자는 상해를 입게 되어 신고를 하기 어렵기 때문에 이러한 경우에는 주변에 있는 운전자 등이 119에 신고하게 된다(Ministry of Environment, 2016). 사고 주변에는 교통체증이 발생하여 소방, 경찰 등 사고대응 초동기관이 사고 현장으로 신속하게 접근하기가 어렵게 된다. 누출부위 막음 조치가 이뤄지는 사이 전복사고로 인해 지면과 충돌한 물리적으로 손상된 주입구를 통해 대량의 유해화학물질이 유출되는 재난 사고가 발생하게 된다. 특히, 안전예방의 목적을 위해 운반차량 내부에 4,000 l 마다 설치한 칸막이 격실에 주입구를 여러 군데 설치하기 때문에 유출 포인트가 증가된다. 즉, 같은 전복사고의 경우 지면과 충돌하는 포인트가 증가하게 되어 동일한 시간에 누출량이 증가하게

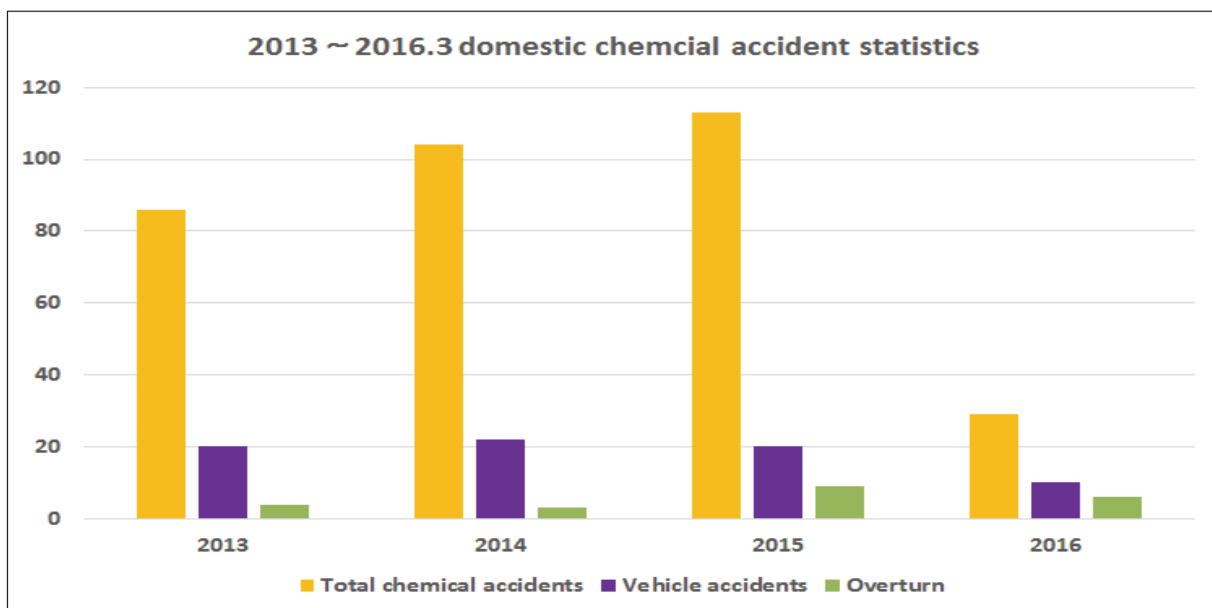


Figure 1. The number of domestic chemical accidents from 2013 to 2016.

만든다. 이러한 안전예방 측면에서 설치한 칸막이가 전복사고가 발생하여도 누출량이 줄어들지 않고, 그 피해가 확대되지 않는 운반차량 칸막이 설치 방법이 개선되어야 한다. 특히, 전복사고는 발생빈도가 매우 높지는 않으나, 한 번이 발생하더라도 대량 유출사고로 이어져 대기 및 수질 사고로 확산되는 제2차 환경사고로 전이되는 그 위험성이 매우 높기 때문에 반드시 원천적으로 차단되어야 한다. 이에, 본 연구에서는 안전예방 측면을 고려하여 전복사고에서도 그 목적을 달성하면서 누출량이 감소될 수 있고, 그로인해 외부 피해범위를 줄이기 위한 운반차량의 설계 기준을 제시하는데 의의가 있다.

## 2. 국내 운송차량 화학사고 사례

〈Table 1〉에서 살펴본 바와 같이 운송차량에서 전복사고로 인한 대형 유출사고가 증가하는 있는 추세다. 본 연구에서는 전복사고로 인해 대량 유출이 발생하여 환경피해가 비교적 컸던 대표적인 운송차량 화학사고 사례 2건을 환경부 화학사고 보고서를 통해 조사하였다. 첫 번째는 2016년 3월 13일 충남 서천에서 발생한 사고로 25톤 염산 운송차량이 전복된 사고이다. 이 사고는 운전 부주의로 인해 발생하였고, 〈Figure 2〉에서 보는 바와 같이 염산 운송차량이 도로 주변에 있는 2 m 아래 논으로 전복되었다. 전복 당시 지면과 4,000 l 칸막이마다 운송차량 상부에 설치한 주입구가 충돌하여 물리적 충격으로 인해 구멍(Hole)이 발생하여 염산이 약 11톤이 대량으로 유출되었다. 이 사고로 인해 운전자는 찰과상을 입었고, 사고 지역 인근에 있는 주민이 2명이 호흡 곤란으로 병원 치료를 받았다. 아울러, 누출된 염산으로 토양이 오염되어 우선 중화처리 후 약 30 cm 정도의 깊이로 200평 이상의 흙을 퍼내 폐기처리 후 새로운 흙을 공급하였다. 두 번째는 2014년 9월 13일 전남 여수에서 발생한 사고로 21톤 염산 운송차량이 도로상에서 전복된 사고이다. 이 사고는 커브 길 주행 중 운전 부주의로 인해 발생하였고, 〈Figure 3〉에서 보는 바와 같이 중앙 분리대와 충돌하고 염산 운송차량이 도로에 전복

되었다. 전복으로 탱크로리 옆면과 운송차량 상부에 설치한 주입구가 지면과 충돌하면서 구멍(Hole)이 발생하여 염산이 약 5톤이 외부로 유출되었다. 이 사고로 인해 차량 운전자 1명이 사망하고, 차량 탑승자와 사고 인근 지역에 있는 주민 등 6명이 호흡기 곤란과 구토 증상으로 병원 치료를 받았다. 사고가 발생하고 약 3시간 47분 후에야 누출 부위를 봉쇄하는 작업이 완료되었고, 그 사이 염산이 염화수소로 기화되어 외부로 확산되었다.



Figure 2. Rollover of the hydrogen chloride transporting vehicle in Chungcheongnam-do in 2016.



Figure 3. Rollover of the hydrogen chloride transporting vehicle in Jeollanam-do in 2014.

이들의 사고사례에서 알 수 있듯이 4,000 l 마다 설치한 안전설비의 일종인 칸막이는 사고의 피해를 확산시키는 매개체 역할을 했다고 볼 수 있다. 칸막이 상부에 설치한 다수의 주입구가 전복사고에서 지면과 충돌하는 가능성을 증가시켜 누출량을 증대시키는 결과를 초래했기 때문이다. 한편, 칸막이는 수격(Water Hammering) 현상을 줄이고, 주입구 한 곳을 통해 전체의 양이 누출되는 것을 줄여 4,000 l 로 누출량을 한정시키는 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다. 하지만,

사고사례에서 보듯이 전복사고의 경우에는 상황이 불리해질 수 있다. 따라서 운송차량의 경우 최악의 상황을 고려해서 칸막이 기능을 유지하면서 누출량을 최소로 제어시키는 탱크로리 설계 기준 개선이 필요한 실정이다.

### 3. 운송차량 화학사고 개선 기존 연구사례

유해화학물질 운송차량에서 발생하는 화학사고를 적절히 대응하기 위한 연구는 상당히 활발하게 진행되고 있다. 이러한 연구의 대부분은 사고가 발생하는 경우 사고를 신속하게 파악하는 방법을 제안하거나, 신속한 대응을 위한 사고대응 시스템 개선에 대한 것으로 볼 수 있다. 이러한 기존의 연구사례를 살펴보면 다음과 같다.

Lee, *et. al.*(2014)은 많은 물동량이 운송차량을 통해 운송되는 것을 감안하여 운송업체가 더욱 최단시간에 운반물을 운송하고, 운반량을 극대화하기 위해 견인차량과 피견인차량을 연결하는 형태의 운반차량을 이용하는 것을 조사하였다. 대형 운반차량이 도로에 주행되면서 국내 도로가 약 3.5 m 인 것을 감안하여 좌·우 여유 공간이 0.5 m 밖에 없으므로 잭나이프, 롤오버 사고 시 차선이탈이 필연적으로 일어날 가능성이 많다고 밝혔다. 이 경우, 기존의 전세계적인 위성항법시스템(GNSS)으로는 신호지연 현상, 빌딩 등으로 인한 신호 다중경로(Multipath) 발생, 인공위성 자체의 동적인 움직임에 따른 오차 및 신호 수신 음영지역(Shade area) 등으로 인해 위성항법시스템이 위치정보에 대한 전방위적인 해결책이 될 수 없다고 판단하였다. 이러한 문제를 보완하기 위해 자이로계(Gyroscope), 가속도계(Accelerometer), 자력계(Magnetometer) 등을 통해 회전각속도, 각가속도, 관성측정장치(IMU), 고도계 등을 추가하여 정밀한 위치 측정의 보조장치를 기존의 위성항법시스템과 보완하여 사용하여 즉각적인 사고감지 및 위치정보를 관계기관에 전파할 것을 제안하였다.

Won, *et. al.*(2012)은 국내·외 위험물 관리시스템 사례를 위험물 수송 의사결정시스템, 운송차량 모니터

링, 운송사고 대응체계 등 3가지 관점에서 비교 분석을 하였다. 미국, 싱가포르 등 해외 선진국의 경우에는 위험도 기반의 운송경로 제시, 실시간 모니터링을 통한 원격진단 및 제어, 비상대응 수립과 같은 체계적인 위험물 운송을 관리하는 반면, 국내의 경우는 일부 민간 업체 중심으로 단순 위치 및 경로 추적과 같은 기본적인 모니터링 시스템을 운영하는 등의 운송차량의 열악한 안전관리 체계를 운영하고 있다. 이에 위험물 운송관리 시스템을 위해 위험물 수송 의사결정 시스템, 위치·경로·운행정보·위험경보에 대한 조회 및 위험물 운송 차량의 상시 모니터링, 사고 발생 시 사고발생 정보 및 방재정보를 전파하여 대응하는 위험물 운송사고 대응 체계를 구성하는 방식을 제안하였다.

Seol, *et. al.*(2015)은 위험물 운송차량이 사고가 발생하는 경우 화학물질에 익숙하지 않은 소방대원들이 초기 대응을 하게 되어 제2차 환경피해가 발생할 수 있으므로 소방대원들이 적절히 운송차량 사고에 대응하기 위해 위험물 수송용 탱크로리 차량 사고를 위해 사고 대응 가이드라인이 필요하다고 주장하였다. 이에 화학물질 수송용 차량의 사고에 대해 소방대원들이 안전하게 구조활동을 수행할 수 있도록 기존의 위험성 평가 기법(Transport Risk Assessment)과 해외 가이드라인을 활용하여 구체적인 사고 위험성 도출 및 사고대응 가이드라인을 제시하였다. 기존의 위험성 평가 기법(Transport Risk Assessment) 항목인 Scope Definition, Movement Description, Hazard or Initiating Event Identification, Incident Enumeration and Selection, Consequence Estimation, Likelihood Estimation, Risk Estimation 등을 상세히 조사하였다. 아울러, 해외 가이드라인은 미국 FEMA(Federal Emergency Management Agency)의 각종 위기상황에 대한 대비 및 대응 가이드라인의 절차와 유럽 NATO의 Civil Emergency Planning의 화학, 생물학, 방사능 사고에 대한 사고 초기(20분) 이내에 취해야 하는 4단계의 행동절차를 분석하였다. 이러한 기초조사를 통해 사고의 잠재위험을 식별하고, 초기 사건 분석과 사고 결과를 분석하여 2차

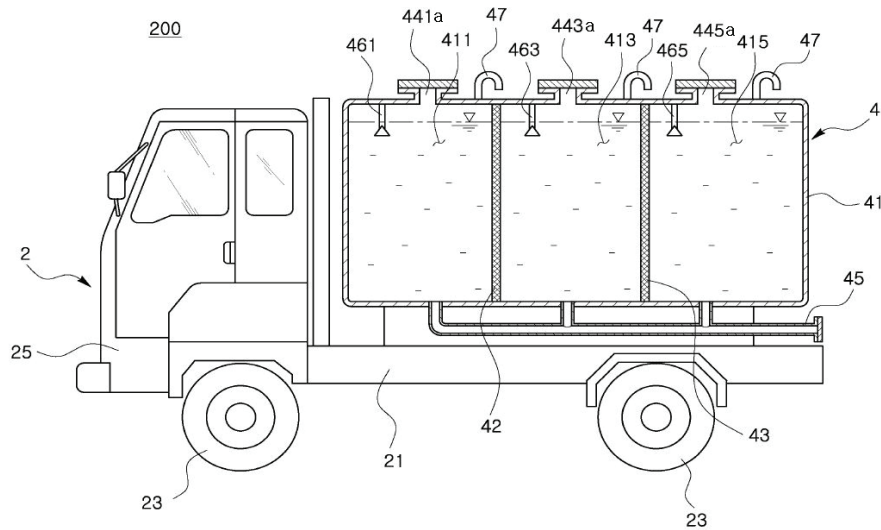


Figure 4. Schematic diagram of vehicles handling hazardous chemicals  
 ※ Source: Control Method for Transporter(Shin, et. al., 2015)

사고 잠재위험들을 도출하고 위험을 회피·제거 또는 경감하기 위한 위험성 관리 기초 전략을 적용하여 사고 대응 가이드라인을 도출하였다.

이러한 선행연구는 운송차량에서 발생하는 사고를 사고대응기관이 신속하게 공유하여 골든타임 내에 대응이 이뤄질 수 있도록 하는 대응방식을 제안하는 등 사고대응에 집중되고 있는 편이다. 사고 대응의 효율화 측면에서는 효과가 있을 것으로 판단된다. 그러나 유해 화학물질 운송차량의 사고를 줄이기 위한 근본적인 사고예방 대책이나, 피해저감 안전관리 방안은 다소 미흡한 것으로 사료된다. 즉, 사고 대응을 개선하는 사후관리 측면에 가깝지 누출량을 줄이기 위한 사전 예방은 아닌 것으로 여겨지기 때문이다. 운반차량의 설계 기준을 제·개정 하는 것은 화학물질 관리 법령의 취급시설 기준에 해당되기 때문에 민간 부분에서 연구가 활발히 이뤄지기 힘든 편이다. 따라서 운반차량의 설계 기준을 최적화하는 것은 국가적 차원에서 사고사례 조사, 연구 등을 통해 전문가 협업을 통해 만드는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

4. 현재 저장탱크 취급시설 기준 및 한계

2015년 이전에 적용되었던 유해화학물질관리법에서는 염산 등 유독물질 운송차량에 대해 구체적인 취급시

설 기준이 없었다. 단순히, 운전자가 안전수칙 교육을 이수하거나, 방재용품을 비치하고, 운반계획서를 환경부에 제출하는 등의 수준이었다(Ministry of Environment, 2014). 그러나 2012년 구미 불산사고 이후 계속적으로 발생하는 화학사고를 예방하기 위해 2015년부터 시행되는 화학물질관리법에서는 유해화학물질 취급시설을 강화하였으며, 시설유형 중 하나인 유해화학물질 운송차량의 취급시설 기준도 대폭 높아졌다. 기존에는 위험물안전관리법에서 화재·폭발의 위험성이 높은 위험물질에 한해 탱크로리(운반용기) 용량이 4,000 l 이내마다 칸막이를 3.2 mm 이상의 강철판이나, 동등 수준으로 칸막이를 설치하도록 요구하였다(Ministry of Environment, 2015). 하지만, 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서도 화학사고를 예방하기 위해 위험물안전관리법과 동일하게 4,000 l 이내마다 칸막이를 설치하도록 요구하는 법이 제정되었다. 이에 따라, 염산, 황산, 가성소다 등 부식성 산·염류 유해화학물질 운송차량도 강화된 취급시설 기준이 적용하게 된다. 예를 들어, 탱크로리 용량이 12,000 l 운송차량의 경우 <Figure 4>와 같이 2개의 칸막이를 설치하여 3개의 격실을 설치하여야 한다.

여기에서, 4는 탱크로리(운반용기), 200은 운송차량, 42, 43은 칸막이, 441, 443, 445는 칸막이로 구획된 탱크로리 내부 격실, 441a, 443a, 445a는 주입구,

461, 463, 465는 압력센서 등 감지설비, 47은 통기관, 45는 배출구이다. <Figure 4>에 나타난 바와 같이 현재 유해화학물질 운송차량(200)은 저장탱크 내부를 3개의 공간으로 구분하는 제1칸막이(42)와 제2칸막이(43)로 제작된다. 이러한 운송차량의 칸막이 시설은 4,000 ℓ 마다 구획하여 차량 운행 중 유해화학물질의 유동을 최소화하여 증기·발생을 막아주고, 차량 수격(Hammering) 현상을 줄여 안전성 측면에서 도움이 된다. 아울러, 차량의 유출사고 발생 시 칸막이로 3군데가 구획되어 어느 격실 한 곳에서 탱크로리(운반용기)에 구멍(Hole)이 발생하거나, 찢김으로 인해 유출이 발생하여도 전체 운반용량이 유출되는 가능성을 줄여줘 사고 확산 대비 측면에서는 이점이 있다. 그러나 차량이 뒤집히는 전복사고의 경우에는 상황이 다르게 나타날 수 있다. 칸막이(42, 43)로 구획된 내부 격실(441, 443, 445)마다 주입구를 설치하고, 주입구를 닫기 위해 뚜껑이 필요하기 때문에 전복사고 발생 시 운송차량 상부에 설치된 내부 격실의 주입구 뚜껑이 지면과 충돌하여 손상이 발생하는 곳에서 유출이 발생하게 된다. 즉, 누출 포인트(Leak point)가 증가하여 위험성(Risk)이 증가하는 결과를 초래하게 된다. 유해화학물질관리법에서는 칸막이 기준이 없어 한 개의 뚜껑만 설치하였으나, 화학물질관리법에서는 4,000 ℓ 마다 주입구 뚜껑을 설치해야 해서 잠재적인 위험요소가 되는 것이다. 아울러, 운송차량의 격실마다 주입량을 확인하기 위한 레벨게이지, 설비의 이상유무를 확인하기 위한 압력센서 등 감지설비(461, 463, 465), 통기관(47) 등을 각각 설치하기 때문에 설치비용과 유지비용이 증가하는 단점이 있다. 하지만, 기존 운송차량에서 각 격실마다 설치해야 하는 압력센서, 레벨게이지 등 감지설비, 주유구, 통기관 등 각종 안전시설의 비용에 비해서는 큰 부담이 아닐 것으로 사료된다.

### Ⅲ. 운송차량 위험성 개선 방안

본 연구에서 제안한 시스템은 기존 운송차량에서 전

복 등에 의한 대량누출의 문제점을 개선하기 위해 칸막이 주입구를 공용으로 사용하여 유출 포인트를 줄이고, 칸막이 하부를 정상 상태와 비정상 유출 상태를 구분하여 칸막이에 의해 각 구획된 공간을 선택적으로 제어하여 유출량을 최소화시키는 특징을 가지고 있다. 이 경우, 공용 감지설비(압력, 레벨게이지 등)를 통해 유해화학물질 운송차량의 탱크로리 내부 격실의 압력, 수위 등을 함께 모니터링이 가능하고, 한 지점에서 주유가 가능하기 때문에 주유구를 한 개만 설치할 수 있다. 따라서 전복 등에 의해 지면과 주입구가 충돌에 의해 파손되는 누출지점을 최소화시켜 누출 확률을 줄여 위험성을 줄일 수 있다. 아울러, 본 시스템은 비정상적으로 유해화학물질이 유출되는 경우 칸막이 하단부를 차단하도록 작동시켜 유출량을 한 개의 격실에 보관되는 양 이내로 최소화시킨다. 이에 대한 자세한 시스템 구성과 작동원리는 다음과 같다.

#### 1. 안전설비 설계

본 연구에서는 12,000 ℓ 용량을 가진 탱크로리를 가정하였다. 화학물질관리법에 따른 운송차량 칸막이 기준은 4,000 ℓ 이내마다 설치하는 것은 마찬가지로 적용된다. <Figure 5>에 나타난 바와 같이 4,000 ℓ 마다 기존 운송차량과 마찬가지로 2개의 칸막이로 구획되었으며, 3.2 mm 이상의 강철판과 동등 수준의 기계적 성질을 가진 재질로 제1칸막이(53)와 제2칸막이(54)가 제작된다.

여기에서, 100은 개선된 안전관리 시스템이 적용된 운송차량, 5는 탱크로리(운반용기), 563은 유해화학물질 주입구, 3은 이송부 및 저장부를 제어하는 제어부, 58은 압력센서 등 감지설비, 91은 통기관, 99는 배출구, 53 및 54는 칸막이, 531 및 545는 연통홀, 711 및 731은 칸막이 내부에 설치된 상하 이동 바디(몸체)이다.

운송차량(100)의 탱크로리(5)는 주입구(513)를 통해 유해화학물질을 외부로부터 공급받고, 배출부(99)를 통해 외부로 유해화학물질을 배출한다. 탱크로리 내부는 제1공간(511), 제2공간(513) 및 제3공간(515)으로 구

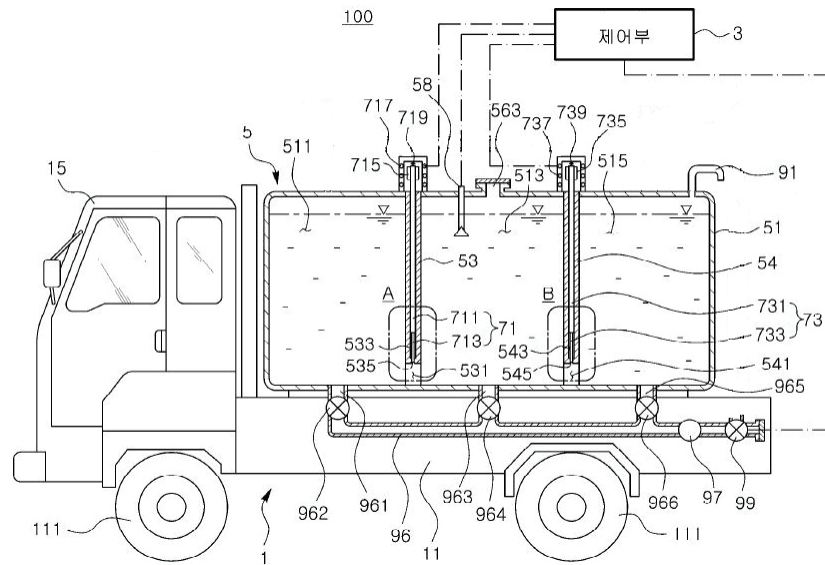


Figure 5. Schematic diagram of advanced vehicles handling hazardous chemicals

※ Source: Control Method for Transporter(Shin, et. al., 2015)

확된다. 기존 운송차량과 다른 주요 차이점은 유해화학 물질 주입구(563)가 한 개이고, 여기에 설치되는 유해 화학물질 저장량을 진단하는 레벨게이지, 압력센서 등 주요 감지설비(58)가 한 개만 설치되어 제1격실(511), 제2격실(513), 제3격실(515)을 함께 모니터링 한다. 탱크로리 몸체(51) 내부에 저장된 액체의 압력, 저장량 등은 감지설비(58)를 통해 측정되는데, 각 내부 격실(511, 513, 515)은 정상적인 경우 인접한 격실을 연결한 연통홀(531, 541)이 개방되어 서로 연결되도록 칸막이 바디(711, 731)를 제어하기 때문에 하나의 감지설비(58)만으로 탱크로리 격실(511, 513, 515)의 압력, 저장량을 공용 감지설비로 함께 측정할 수 있다.

칸막이 하부의 연통홀을 선택적으로 제어하는 설치 구조를 설명하기 위해 우선 제1칸막이(53)의 구조를 다음과 같이 나타낼 수 있다. 제1칸막이(53)의 하단에 제1개폐부(713)의 바디(711)가 제1연통홀(535)을 통해 제1바디삽입홈(535)을 따라 제어부(3)에 명령에 따라 상하로 움직여 제1연통홀(535)을 개방 또는 폐쇄시키는 구조로 설치된다. 제1차단부(71)는 제1바디삽입홈(533) 내부에 왕복 가능하게 구비되는 제1바디(711), 제1바디에 고정된 제1개폐부(713), 제어부(3)의 제어명령에 따라 제1바디의 위치를 제어하는 제1바디작동부(715,

717, 719)로 구성된다. 제1개폐부(713)의 제1바디(711)는 제어부(3)의 전력 공급여부에 따라 제1관통홀(535)을 통해 제1바디삽입홈(533)으로 상하로 움직이면서 제1연통홀(531)을 개방 또는 차단시킨다. 제1바디작동부(715, 717, 719)는 제1바디(711)의 상부(Head)에 구비된 제1자성체(715), 제1자성체의 주변부를 코일형상으로 감싸는 방식으로 설치되고, 제어부(3)에 의해 전류를 공급받는 제1전자석(717), 제1바디에 복원력을 제공하는 스프링(719)로 구비된다. 마찬가지로, 제2칸막이(54)의 하단에 설치되는 제2개폐부(733)의 구조는 제1개폐부(713)의 구조와 같다.

## 2. 안전설비 운영방식

유해화학물질의 레벨게이지와 압력센서 출력값을 일차적으로 진단하고, 차량이 정지상태에서 저장량 및 압력값이 출력되는 경우는 정상적인 배출로 가정한다. 반면에, 차량이 주행상태에서 레벨게이지와 압력센서 출력값을 모니터링하여 유출이 되는 것은 비정상 유출로 판단한다. 차량의 주행상태는 엔진 회전수(RPM), 차량 속도 게이지(Gauge) 등을 통해 확인이 가능하며, 차량이 주행상태에서는 탱크로리 내부 압력이 떨어지거나, 저장량이 낮아지는 등의 유출은 위험하기 때문이

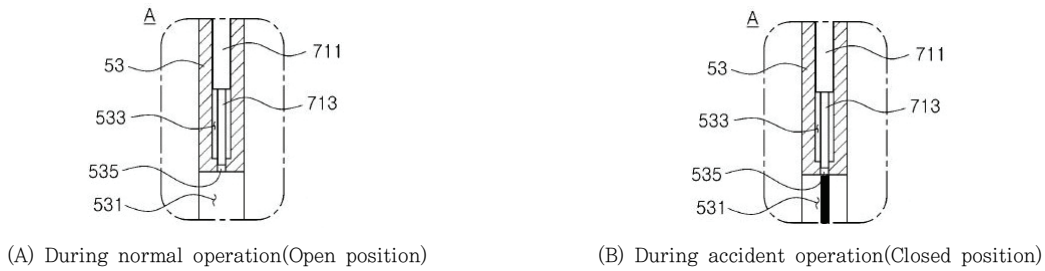


Figure 6. Schematic diagram of two different valve operation cases for section A

※ Source: Control Method for Transporter(Shin, *et. al.*, 2015)

다. 정상 배출이나 비정상 유출에 따라 제1칸막이(53) 및 제2칸막이(54) 내부에 설치된 제1바디(711) 및 제2바디(731)를 상하로 움직여 제1연통홀(531) 및 제2연통홀(541)을 개방 또는 폐쇄시킨다. 보다 자세한 제어방식을 살펴보기 위해 <Figure 5>의 A 부분의 세부 구성도를 <Figure 6>에 구체적으로 나타내었다. 첫 번째 (A)는 유해화학물질이 비정상적인 유출이 없는 경우로 제어부(3)가 제1칸막이 내부에 설치된 제1바디(711)가 제1연통홀(531) 위로 올려 제1연통홀(531)을 정상적으로 개방시킨 상태이다. 결과적으로, 제1격실과 제2격실이 연통홀을 통해 상호 연결되어 유해화학물질이 서로 흐를 수 있게 된다. 제1바디(711)를 작동하는 구체적인 작동체계는 다음과 같다. 유해화학물질이 유출이 없다고 판단되는 경우 제어부(3)는 제1전자석(717)에 전류를 공급하여 자기력을 형성하고, 이로 인해 제1바디(711)가 스프링(717)의 탄성력 보다 큰 힘으로 위로 올라가 제1연통부(531)를 개방된 상태를 유지한다. 반면, 유해화학물질이 비정상적으로 유출된다고 판단되는 경우 제어부(3)는 제1전자석(717)에 전력 공급을 차단하여 자기력 형성을 막기 때문에 제1바디(711)는 스프링(719)의 탄성력에 의해 두 번째 (B)의 그림처럼 아래로 내려가 제1연통홀(531)을 폐쇄시킨다. 이 경우, 제1연통홀이 폐쇄되어 제1격실과 제2격실이 서로 물리적으로 구획되기 때문에 유해화학물질이 인근 격실을 흐를 수 없게 되므로 전복 등에 의해 대량 유출이 발생하더라도 최대 유출량을 제2격실(513) 부분에 보관하는 양으로 한정시킬 수 있다. 한편, 본 시스템은 운송차량이 교통사고, 전복사고 등 대형사고가 발생하여 전력공급이

원활하지 않거나, 전자석 전력 공급에 문제가 생기는 경우 등에는 자기력 형성이 불가능하여 제1바디(711)가 아래로 내려가 제1연통홀(531)을 비상 차단시키는 것을 특징으로 하는 고장안전시스템(Fail safe system) 방식을 구현하고 있다. 아울러, 제1바디작동부(715, 717, 719), 제2바디작동부(735, 737, 739)도 운송차량의 상부에 설치되기 때문에 전복사고의 경우 지면과 접촉되어 손상이 될 수 있으나, 작동부가 손상되더라도 이 부분을 통해 탱크로리 내부에 있는 유해화학물질이 유출되지 않는 구조이며, 고장안전시스템을 적용하였기 때문에 대량 유출이 발생되지 않도록 설계되어 있다.

### 3. 시스템 법적 적용성 분석 및 한계

2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서는 유해화학물질 취급시설을 현장에서 검사하기 전에 사업장이 제출하는 기술자료, 인허가 자료 등을 사전에 검사하는 제도가 신설되었다. 사업장은 취급시설 검사 세부기준에 따라 시설·장비가 법적 기준을 만족하는 것을 기술적으로 입증해야 한다. 이를 검사기관은 설계 기준서를 토대로 사전 서면검사를 실시하고, 적합한 경우에 현장확인을 실시한다. 이 경우, 현장확인용 저장 탱크, 실내 보관창고 등과 같이 위험설비는 전수검사로 실시되고, 상압 배관 등과 같이 저위험 설비·장치는 샘플검사로 실시된다. 본 연구에서 제안한 유해화학물질 운반차량의 칸막이 안전장치는 기존에 물리적·획일적으로 구획시킨 방법을 개선하여 자기력과 스프링 복원력을 활용하여 선택적인 구획시킨 설계 제안으로 평가된다. 이러한 시스템은 이미 자동차 등 타 산업분

야에서 널리 상용화된 기술로 고도의 실험검증이 뒷받침되어야만 적용되는 기술은 아닌 것으로 사료된다. 합리적인 설치 개선을 사업장이 기술 보고서를 작성하여 누출사고가 발생하는 경우 어떤 원리로 작동하는지를 사전 서면검토서에 작성·제출하는 경우, 검사기관이 기술의 적정성을 판단하여 본 시스템이 충분히 인정될 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 본 연구에서 제안한 차량의 안전관리 시스템은 전복사고의 경우 유출량을 줄이는데 유용하나, 차량이 전복되면서 탱크로리 옆면이 지면과 충돌되면서 여러 개의 옆면이 찌침 등으로 손상되어 칸막이 여러 곳에서 누출되는 사고의 경우는 유출량을 고려할 때는 기존의 운송차량과 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 즉, 유출량의 측면에서 볼 때, 본 시스템은 전복사고가 발생할 경우 지면과 충돌되는 유출 포인트를 줄여 유출 확률 또는 유출 가능성을 줄여주는 시스템으로 측면이 손상되는 사고까지 유출량을 줄여주는 것에는 한계가 있다. 또한, 본 시스템은 신규 운송차량을 설치하는 것은 작업에 어려움이 없을 것으로 판단되나, 기존에 유해화학물질관리법에 따라 칸막이를 설치하지 않은 운송차량이 적용하기에는 개조비용이 상당히 발생하고, 작업시간도 상당히 소요될 것으로 예상된다. 이로 인해, 사업주가 시설 투자에 미온적으로 대처할 가능성이 있어 설치비용까지 줄이는 시스템으로 개발할 필요가 있다.

#### IV. 결론

본 연구는 유해화학물질 운송차량이 전복사고 등으로 인해 대량 유출되는 화학사고가 발생하는 것을 효과적으로 예방하기 위한 안전관리 시스템이다. 이를 위해 기존 운송차량의 잠재적인 위험요소인 다수의 주입구를 공용 주입구로 개선하여 위험도를 줄이고, 정상 배출 상태와 비정상 유출 상태에 따라 칸막이 하부를 제어하여 유출량을 최소화토록 제어한다. 이러한 시스템은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 기존 운송차량과 동일하게 4,000 ℓ 마다 강철판

과 동일한 기계적 성질의 재질로 칸막이를 설치하되, 칸막이 내부에는 상하로 움직이는 바디(몸체)를 만들어 칸막이 하부 연통홀을 개폐 또는 폐쇄시켜 주입구를 공용으로 사용하는 구조이다. 이 경우, 운송차량의 주입구가 한 곳으로 설치하는 것이 가능하기 때문에 전복사고가 발생하는 경우 지면과 주입구가 손상되는 유출포인트가 기존 운송차량의 경우보다 줄어들기 때문에 유출사고의 위험성이 현저하게 줄어들게 된다.

2. 운송차량이 정지 상태에서 정상적으로 배출하거나, 주행 중에 외부로 유출이 없는 것으로 판단되는 경우 자기력으로 칸막이 내부에 설치된 바디를 올려 칸막이 하부인 연통홀을 개방시켜 유해화학물질이 칸막이로 구획된 공간을 서로 흐르게 된다. 이로 인해, 유해화학물질 주입구를 한 곳으로 설치하는 것이 가능하며 압력센서, 레벨게이지 등 감지설비를 공용으로 설치하여 칸막이 개수에 상관없이 유해화학물질 탱크로리 내부 전체를 모니터링 할 수 있고, 설치비용이 줄어드는 이점이 있다.

3. 아울러, 운송차량이 주행상태에서 압력센서, 레벨게이지 등의 감지설비를 통해 비정상적으로 유출된다고 판단되는 경우 칸막이 상부의 전력의 공급을 차단하여 자기력을 상실시켜 칸막이 내부에 설치된 바디를 아래로 내려 연통홀을 폐쇄시킨다. 이로 인해, 유출량을 최소화시켜 대량 유출을 효과적으로 막는 것이 가능하다.

4. 본 시스템은 교통사고, 전력 공급장치 등이 발생하는 경우에는 비정상 유출사고와 마찬가지로 전력 공급을 차단하여 칸막이 내부 바디를 아래로 내려 연통홀을 차단시키는 고장안전시스템(Fail safe system)을 적용하였다. 이처럼, 비상시에도 안전이 최대한 담보되는 안전관리 개선 시스템으로 평가될 수 있다.

5. 다만, 본 연구는 전복사고 등의 대량 유출을 최소화하는 시스템이며, 특히 전복사고로 인한 대량 유출사고를 줄이는데 특화된 것으로 평가되지만, 탱크로리 옆면이 손상되는 사고의 경우는 기존 운송차량과 유출량 측면에서는 큰 차이점이 없다. 이에 따라, 운송차량

의 탱크로리 측면에서 대량으로 유출되는 사고 등 차량 전반적인 유출사고에 대한 위험성을 줄이기 위한 종합적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## References

- Kim, Seong Beom, Chun Hwa Park, Mun Sik Cho, Jin Seon Lee, Jeong Min Kim, Hye Ran Noh, and Gwang Seol Seok. 2012. A Study on Improving Management of Substances Requiring Preparation for Accidents Facilities. *Korean Society of Safety*. 27(3): 77-82.
- Lee, Byung Seok, Moon Beom Heo, and Joon Hwa Lee. 2014. Accident Sensing System Implementation of Hazardous Material Transport Vehicle and Jackknifing & Rollover Accident Detection Algorithm Development. *Journal of Transport Research*. 21(3): 35-54.
- Ministry of Employment and Labor. 2015. *The Industrial Safety and Health Act*. Ministry of Employment and Labor.
- Ministry of Environment. 2013. *The Toxic Chemicals Control Act*. Ministry of Environment.
- Ministry of Environment. 2014. *Environmental White Paper*. Ministry of Environment.
- Ministry of Environment. 2015. *The Chemicals Control Act*. Ministry of Environment.
- Ministry of Public Safety and Security. 2015. *The Dangerous Substances Safety Control Act*. Ministry of Public Safety and Security.
- National Institute of Chemical Safety(NICS). 2016. *Chemical Safety Clearing-house*. National Institute of Chemical Safety(NICS)
- Seol, Ji Woo, Jong Won Yong, Chung Keun Chae, Ho Chan Tae, 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 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. *Crisisonomy*. 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. *Crisisonomy*. 11(6): 245-262.
- Shin, Chang Hyun, Kyun Kim, Jun Heon Yoon, Byung Chol Ma, Byung Tae Yoo, Joong Don Park, Sang Jae Lee, and Hyun Seung Lee. 2015. Control Method for Transporter. Patent. 10-2015-0178289(application).
- Won, Jong Un, Suk Lee, Yong Jang Kwon, and Chang Hee Jo. Hazardous Materials Transportation Management System. 2012. *Journal of the Korean Society for Railway(JKSR)*. 2012(5): 1468-1473.
- Yoon, Yi, Heui Seon Yang, Chun Hwa Park, Mun Sik Cho, Seong Bum Kim, and Moon Soon Lee. 2007. Major Policies and Current Status of Ministry of Environment(MOE) for the Response to Chemical Accidents. *Crisisonomy*. 3(2): 18-29.

## Korean References Translated from the English

- 김성범, 박춘화, 조문식, 이진선, 김정민, 노혜란, 석광설. 2012. 사고대비물질 취급시설 관리방안 연구. 한국안전학회지. 27(3): 77-82.
- 미국 화학사고조사위원회. 2016. 화학사고조사위원회 화학사고 조사 보고서.
- 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. 한국안전학회지. 31(1): 54-60.
- 신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안. Crisisonomy. 12(1): 83-93.
- 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.
- 원종운, 이석, 권용장, 조장희. 2012. 위험물 운송 관리시스템 개발. 한국철도학회논문집. 2012(5): 1468-1473.
- 윤이, 양희선, 박춘화, 조문식, 김성범, 이문순. 2007. 환경부의 화학사고 대응 현황 및 주요정책. 한국위기관리논집. 3(2): 18-29.
- 이병석, 허문범, 이준화. 2014. 위험물 운반차량 사고감지 시스템 구축과 잭나이핑 및 톨오버 사고감지 알고리즘 개발. 교통연구. 21(3): 35-54.
- 화학물질안전원. 2016. 화학안전정보 공유시스템([www.csc.me.go.kr](http://www.csc.me.go.kr)). 화학물질안전원.
- 환경부. 2014. 유해화학물질관리법. 환경부.
- 환경부. 2015. 화학물질관리법. 환경부.
- 환경부. 2016. 화학사고 통계 현황. 환경부.

Received: Apr. 27, 2016 / Revised: Aug. 11, 2016 / Accepted: Aug. 17, 2016

## 유해화학물질 운송차량 누출사고 위험성 개선

국문초록 최근 화학사고 통계조사에 따르면 유해화학물질 운송차량에서 발생한 화학사고는 72건으로 조사되었다. 이 중 전복사고로 인한 대량 유출사고는 22건이었다. 운송차량에서 대량 유출이 발생하는 경우 사고대응이 지연되고, 외부로 확산되는 피해가 크기 때문에 사전 예방대책이 필요하다. 2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서는 유해화학물질 운송차량의 대량 유출사고를 막기 위해 운송차량 내부에 칸막이를 설치하도록 요구하고 있다. 다만, 칸막이로 구획된 부분에 주입구를 각각 설치해야 하므로 전복사고 발생 시 충돌로 인한 유출사고 가능성이 높아지게 되었다. 이에, 본 연구에서는 대량 유출사고는 막고, 공용 주입구를 사용하여 사고 위험성을 줄이는 운송차량 시스템을 고안함으로써 화학사고 피해를 최소화하는데 기여하고자 한다.

주제어 : 화학물질관리법, 운송차량, 칸막이, 전복

Profiles **Chang Hyun Shin** : 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).  
**Jai Hak Park** : 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).