

Improvement on Handling System of Spilled Chemical from Hazardous Chemical Storage Tanks

Chang Hyun Shin^{1#}, 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

According to the chemical accident statistics over the recent three-year period, there were 45 cases of accidental release of hazardous chemicals in storage tanks. A proper dike must be installed to reduce the damage from massive chemical spills from tanks. The dike is considered as a passive safety measure to safely detain spilled chemicals while being carried from the storage tank to waste-chemical treatment equipment. However, such function can cause another damage by spreading chemicals into neighboring environments from the surface of spilled chemicals. In response to active safety measures installed under the Chemicals Control Act implemented in 2015, the retention function of a dike and the handling system of spilled chemicals are needed to be improved. Thus, this study contributes to minimizing the spill risk from storage tanks effectively by optimizing safety measures installed in a storage tank and emitting spilled chemicals quickly into a wastewater treatment plant.

Key words: chemicals control act, dike, off-site risk assessment, handling facility, KORA

1. 서론

최근 3년간 국내 화학사고 301건을 조사한 결과, 저장탱크에서 유출된 화학사고는 45건이 발생한 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2016). 이들의 대부분은 저장탱크에서 소량으로 유출된 사고였지만, 대량으로 유출된 사고도 일부 발생된 것으로 확인되었다. 예를 들면, 국내에서 대량으로 유출된 사고는 2013년에 염산이 유출된 사고와 2014년에 원유가 유출된 사

고를 들 수 있다(Shin, 2016). 미국의 사례를 살펴보면, 2008년에 질산암모늄 요소가 대량으로 유출된 경우와 2014년에 4-메틸사이클로헥산 메탄올이 대량으로 유출되어 주변 환경까지 피해를 준 사고가 있다(Chemical Safety Board, 2016). 국내 화학물질 관리 법령인 화학물질관리법에 따르면 저장탱크에서 대량으로 유출된 유해화학물질이 주변 환경으로 확산되지 않도록 탱크 주변에 방류벽이 설치되어야 한다. 이 경우, 방류벽은 저장탱크 최대 용량의 110% 이상을 확보해야

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

대량 유출이 발생해도 유출물질이 방류벽 외부로 넘치지 않게 된다(Ministry of Environment, 2015). 산업안전보건법, 위험물안전관리법, 고압가스안전관리법 등 국내 화학물질 타 법령도 방류벽 용량 기준이 화학물질관리법 취급시설 기준과 유사하다(Shin, 2016). 방류벽이 적절히 설치되지 않는 경우 저장탱크에서 유출된 물질이 주변의 수계, 토양 등 외부 환경으로 확산되어 제2차 피해가 발생하게 되기 때문이다. 다만, 이러한 방류벽은 저장탱크에서 대량 누출된 유해화학물질을 방류벽 내부에 억류하여 폐기물 처리와 같이 외부로 안전하게 처리하는데 사용되는 수동적 안전조치(Passive safety measure)를 고려한 것으로 억류에 초점을 맞춘 단순 기능에 해당된다(Shin, 2016). 그러나 억류 기능만 고려할 경우 예기치 않은 확산 피해가 발생할 수 있다. 즉, 저장탱크에서 유출된 물질이 증기압이 높거나, 휘발성 물질인 경우, 또는 공기 중에 수분과 반응하여 방류벽에 체류하게 되어 외부로 처리되는 동안에 방류벽 내부에 있는 표면에서 지속적으로 증발되어 피해가 증가하게 된다. 이러한 이유로 단순히 방류벽 내에 억류하는 기능에만 초점을 맞추는 것은 화학사고 확산 방지 측면에서 볼 때 바람직하지 않다.

2015년부터 시행되고 있는 화학물질관리법에서는 유해화학물질 취급시설 기준을 강화하고, 장외영향평가 제도를 신설하여 위험시설의 안전성을 개선하는 것을 의무화하였다(Ministry of Environment, 2015). 저장탱크를 설치하는 경우 저장탱크에서 유출된 유해화학물질을 신속하게 감지·경보하여 작업자 또는 안전관리자에게 사고사실을 알리도록 조치하고, 즉시(15분 이내) 환경부, 화학물질안전원 등 사고대응기관에 신고해야 한다. 아울러, 취급시설 기준에 맞는 적절 용량의 방류벽을 설치하고 방류벽 내부에 빗물이 있는 경우 방류벽에 설치된 드레인 밸브(Drain Valve)를 통해 즉시 우수로로 배출시켜야 한다. 추가적으로 유해화학물질이 저장탱크에서 유출되는 경우 감지설비를 통해 사고를 확인하고, 유출된 물질을 폐수처리장으로 배출시켜 제2차 확산피해를 줄이는 것이 가능하게 되었다.

아울러, 장외영향평가 제도에 따라 유해화학물질이 외부로 유출되는 경우 긴급차단밸브를 통해 유출량을 줄여 사업장 외부로 피해가 확대되는 것을 줄이는 것을 설계단계부터 고려해야 한다. 이처럼, 화학물질관리법에서는 유해화학물질 저장탱크에서 유출이 발생하는 경우 감지·경보 설비, 긴급차단장치, 폐수처리시설 유입 연동 시설 등 능동적 안전조치(Active safety measure)를 설치하여 위험도(Risk)를 줄이는 것이 필수적이다(Shin, 2016). 이제는 저장탱크 주변에 설치되는 능동적 안전조치를 고려하여 방류벽에 대한 획일적인 억류기능을 탈피하여 제2차 확산피해를 줄이는 안전대책이 마련될 필요가 있다. 이에, 본 연구에서는 신규 제도에 따라 설치되는 안전장치를 최적화하여 유출물질을 신속하게 판단하여 그 물질특성에 맞는 방제조치가 가능하도록 하고, 사고대응 관계기관에 즉시 알려 골든타임 내에 사고대응이 이뤄질 수 있도록 개선하는 방안을 제시하고자 한다. 아울러, 비가 오는 것과 유해화학물질 유출사고를 구분하여 유체 처리 자동제어밸브를 선택적으로 가동시켜 빗물은 우수로로 배출시키고, 유해화학물질은 신속하게 폐수처리장으로 유입시켜 화학사고 피해를 최소화하는데 기여하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 화학사고 발생 현황

화학물질관리법에 따르면 화학사고는 화학물질로 인해 화재·폭발, 유출·누출이 발생하여 사람이나 주변 환경에 영향을 주는 일체의 상황으로 정의된다(Ministry of Environment, 2015). 환경부는 화학사고가 발생하는 경우 화학물질관리법과 재난 및 안전관리법에 따라 화학사고 대응기관에 전파하여 초동대응이 신속하게 이뤄지도록 조치해야 한다. 아울러, 사고 오염지역 탐지·분석 및 화학물질사고대응정보시스템(CARIS)을 통해 피해 범위 확산평가를 실시하여 주민 대피범위에 필요한 기술지원을 제공해야 한다. 이처럼, 환경부는 국내에서 발생하는 화학사고를 정부차원에서

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

Year	Type	Number of total chemical accidents	Number of tank spill accidents (%)
2013		86	16 (18.6%)
2014		104	10 (9.6%)
2015		111	19 (17.1%)
Total		301	45 (15.0%)

대응하고, 관리하고 있다. 환경부에 신고된 국내 화학 사고 통계에 따르면 2013년부터 2015년까지 최근 3년간 발생한 화학사고는 총 301건이었다(Ministry of Environment, 2016). <Table 1>에 나타난 바와 같이 이 중 45건(14.9%)이 저장탱크에서 화학물질이 일부 또는 대량으로 누출되었다. 저장탱크에서 유출된 사고는 저장탱크와 연결된 배관, 펌프 등에서 시설미흡, 작업자 부주의 등으로 인해 발생된 것으로 조사되었다.

2. 국내 저장탱크 대량 유출사고 사례

앞에서 살펴본 바와 같이 저장탱크에서 유해화학물질이 유출되는 사고는 종종 일어난다. 소량으로 유출되는 사고가 대부분이지만, 대량이 유출되는 사고도 발생하였다. 저장탱크에서 발생하는 대량 유출사고는 사고의 영향범위가 매우 크기 때문에 사업장은 피해를 줄이기 위한 안전대책을 반드시 수립해야 한다. 최근에 국내에서 발생한 저장탱크 대량 유출사고는 대표적으로 2건을 들 수 있다(Shin, 2016). 첫 번째는 2013년 1월 12일 경북 상주에서 발생한 사고로 염산 저장탱크에서 유출된 사고이다. 이 사고는 염산 저장탱크와 연결된 밸브의 플랜지 부분이 파손되면서 발생하였고, <Figure 1>에서 보는 바와 같이 저장탱크 내부에 있던

염산이 유출되었다. 두 번째는 2014년 4월 4일 울산에서 발생한 사고로 원유 저장탱크에서 유출된 사고이다. 이 사고는 원유 저장탱크 내부의 믹서기 축 이탈로 저장탱크가 파손되면서 발생하였고, <Figure 2>에서 보는 바와 같이 원유가 대량 유출되었다.

3. 국외 저장탱크 대량 유출사고 사례

미국, 유럽연합(EU) 등 선진국에서는 화학사고의 데이터베이스(DB)를 구축하여 재발방지를 예방하기 위한 정책을 수립하고 있다. 미국은 화학사고를 예방·관리하기 위해 화학안전위협조사국(CSB, Chemical Safety and Hazard Investigation Board)을 1998년에 설립하였다. CBS는 화학사고에 대한 과학적 조사를 통해 피해·원인조사, 권고사항 등을 수록한 조사 보고서를 발간한다. 아울러, EU에서도 E-Mars 시스템을 통해 유럽에서 발생하는 화학사고의 자료를 구축하고 있다. 본 연구에서는 자료가 상세한 CSB 조사보고서를 통해 대량 유출사고 2건을 조사하였다. 첫 번째는 2008년 11월 12일 미국 버지니아에서 발생한 사고로 질산암모늄 요소(UAN 32) 저장탱크에서 유출된 사고이다. 이 사고는 질산암모늄 요소를 탱크에 채우다가 압력에 의해 탱크가 붕괴되면서 발생하였고, <Figure 3>와 같이 대량으



Figure 1. Spill of hydrogen chloride in Kyeongbuk in 2013



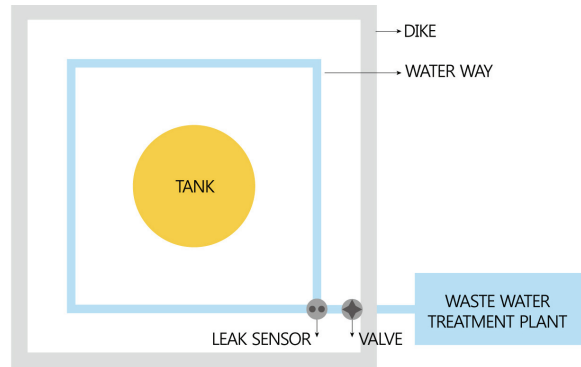
Figure 2. Spill of crude oil in Ulsan in 2014

로 유출되었다. 두 번째는 2014년 1월 10일 미국 버지니아주에서 발생한 사고로 4-methylcyclohexane methanol(MCHM)이 저장탱크에서 대량으로 유출된 사고이다. 이 사고는 저장탱크 하부에 부식으로 구멍이 생겨 발생하였고, <Figure 4>와 같이 ELK 강으로 유출되었다.

4. 현재 저장탱크 취급시설 기준 및 한계

유해화학물질 저장탱크에서 유출되는 경우 유출물질이 주변 환경으로 확산되지 않도록 조치해야 한다. 이러한 기능을 수행하는 것이 방류벽이다. 화학물질관리법을 포함한 국내 화학물질 관리법령에서는 방류벽을 화학물질 저장탱크의 용량을 110% 이상의 내부체적을 갖춰 탱크로부터 일정거리(1.5 m 이상)를 유지하고, 높이 0.5, m 이상으로 설치할 것을 법적기준으로 설정하였다(<Figure 5> 참고).

이러한 방류벽은 별다른 안전장치가 없어도 저장탱크에서 전량이 유출되어도 방류벽 내부에서 안전하게 보관할 수 있다. 저장탱크에서 유출된 물질이 폐수처리장으로 유입되거나, 운반차량을 통해 지정폐기물 업체로 안전하게 처리되는 동안 방류벽이 일정시간 동안 억류된다. 이 경우, 유해화학물질 저장탱크에서 소량이 유출되는 사고는 신속히 처리가 가능하지만, 앞서 살펴본 바와 같이 대량유출 사고의 경우는 방류벽 내부에 억류된 물질을 신속하게 처리하기가 곤란하다. 대부분의 사업장은 저장탱크에서 유출되는 화학사고를 다음과 같이 대응한다. 저장탱크에서 유출된 물질이 방류벽



※ Source: Improvement on the Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid(Shin & Park, 2016)

Figure 5. Installation diagram of storage tanks and dike

에서 억류되어 있다가 감지설비가 유출을 감지하거나, 작업자가 감시활동을 통해 유출을 인지한다. 다음에 작업자가 방류벽 내부와 폐수처리장을 연결한 배관의 밸브를 수동 또는 자동으로 열어서 폐수처리장으로 유입시켜 안전하게 처리한다. 이는, 폐수처리장과 방류벽을 항상 열어두면 비가 오는 경우에도 유해화학물질이 아닌 우수가 폐수처리장으로 유입되어 고의적으로 희석시키는 법적 문제가 발생하기 때문이다. 이 경우, 비가 오는 경우에는 빗물을 방류벽에 별도로 설치된 드레인 밸브를 통해 우수로로 배출한다. 이처럼, 사고를 모니터링하여 화학사고가 발생한 경우에는 폐수처리장과 연결된 밸브를 열어서 폐수처리장으로 유입시켜 pH를 조절하여 중화처리하는 처리시스템을 운영한다. 이러한 방식은 사고를 인지한 후 작업자가 방류벽 밸브를 열어 폐수처리를 하는 것으로 조치·대응시간이 많이 소요된다. 실제로 2014년 4월 12일에 발생한 대량 원유



Figure 3. Spill of UAN 32 in Virginia in 2008(from CSB)



Figure 4. Spill of 4-MCHM in Virginia in 2014(from CSB)

유출사고의 경우 외부로 회수 처리하는데 7일이 소요되었다(Shin, 2016). 아울러, 대량으로 유출되는 화학사고인 경우 매우 위험하기 때문에 저장탱크 주변에 접근하기 어려워 밸브 조작이 곤란하고, 다량의 유해화학물질을 순식간에 폐수처리장으로 배출시키는 것이 어렵다. 이는 대량으로 유출되는 많은 물질을 처리하는 것은 폐수처리의 생물학적·물리적 처리한계로 인해 신속하게 처리하는 것이 곤란하기 때문이다. 따라서 이러한 수동 시스템 운영으로 인한 화학사고 대응 지연을 예방하기 위해서는 저장탱크에서 유출된 물질을 신속하게 감지하여 자동으로 폐수처리장과 연결된 밸브를 열어 유출물질을 빠르게 폐수처리장으로 배출시켜 안전하게 처리하는 개선된 안전시스템이 필요하다.

한편, 화학물질관리법, 위험물안전관리법 등에서는 동일성상을 가진 유해화학물질은 동일 방류벽 내에 다수의 저장탱크를 설치할 수 있다. 다만, 인화성 물질과 산화성 물질, 부식성 산과 염기성 물질 등 서로 다른 성상을 가진 유해화학물질은 혼용으로 인해 독성 반응물질 흡이 발생하여 제2차 피해가 발생할 수 있기 때문에 화학물질관리법에서는 동일 방류벽 내에 설치되는 것이 엄격히 제한된다(Ministry of Environment, 2015). 산 물질은 산 물질과 동일 방류벽에 저장탱크를 다수 설치할 수 있는 것이 허용된다. 실제로 사업장은 동일 성상의 물질은 사업장 부지에 따른 공간적 활용성을 높이고 설치비용을 줄이기 위해 동일 방류벽 내에 저장탱크를 10개까지도 설치한다. 예를 들어, 황산, 염산, 질산 등의 부식성 산 물질은 동일 방류벽에 설치하고 있다. 그러나 동일 방류벽 내에 종류가 다른 다수의 탱크를 보유하는 경우 설치가 용이하나 임의의 저장탱크에서 물질이 누출되는 경우 어떤 탱크에서 누출되었는지 신속히 파악하기가 곤란하다. 통상적으로 저장탱크의 레벨게이지(Level gauge)를 통해 모니터링을 하지만 이것으로만 비정상 유출을 판단하는 것은 정확하지는 않다. 저장탱크의 레벨게이지의 값을 통해 배관을 통해 공정라인으로 정상적으로 유입되는 것과 저장탱크에서 외부로 비정상적인 유출이 일어나는 것을 정확

하게 구분하지 못할 수 있기 때문이다. 또한, 일부 사업장에서는 방류벽 내에 pH미터를 설치하여 저장탱크의 유출사고를 감지하고 있으나, 동일 물질을 다수 설치한 경우에는 어떤 탱크에서 유출되었는지 신속하게 파악하기 곤란하다. 황산 등 동일 종류 탱크를 다수 보유하고 있는 경우 10개 이내로 동일 방류벽에 설치하고 있는데, 단순히 pH미터로 어떤 탱크에서 누출되었는지 확인하는 것이 어렵기 때문이다.

III. 대량 유출사고 위험성 개선 방안

본 시스템은 저장탱크에서 유출된 유해화학물질을 신속하게 감지하여 유출물질은 폐수처리장으로 유입시켜 중화시키고, 빗물은 우수로로 유입시키는 유체 처리 자동화 시스템이다. 기존에 방류벽에 유출된 물질을 처리하기 위한 시스템(Shin, 2016)을 효과적으로 운영하기 위한 방식을 보다 구체적으로 제안하는 방식이다. 아울러, 방류벽 내부에 다수의 물질을 보관하는 경우 유출되는 탱크와 물질의 종류를 자동으로 판단하여 방제를 용이하게 하고, 폐수처리장에서 산·염기 등 중화약품을 자동적으로 선택해서 처리하는 방식이다. 이러한 시스템을 적용하는 경우 유해화학물질 유출을 신속하게 감지하여 유해화학물질 물리·화학적 특성에 맞는 효과적인 방제활동을 적시에 투입하여 화학사고의 피해를 최소화하는데 기여할 수 있다. 아울러, 유해화학물질은 폐수처리장으로, 빗물은 우수로로 자동적으로 배출시켜 유출사고만 선택적으로 신속하게 처리하여 제2차 확산피해를 줄이는 안전관리 개선 시스템으로 현장에서 널리 사용될 수 있다.

1. 유출물질 처리 안전설비 설계

본 연구에서 제안하는 유해화학물질 저장탱크 유체 처리 시스템은 <Figure 6>과 같이 방류벽 내에 설치된 pH미터, 유해화학물질 또는 빗물 등 유체 처리를 조작하는 자동제어밸브, 우수로, 폐수처리시설 등으로 구성된다. <Figure 6>의 세부 시스템 구성도는 <Figure 7>

과 같고, <Figure 7>의 단면 도 1의 'I-II-I' 라인을 따라 취한 단면도는 <Figure 8>과 같다.

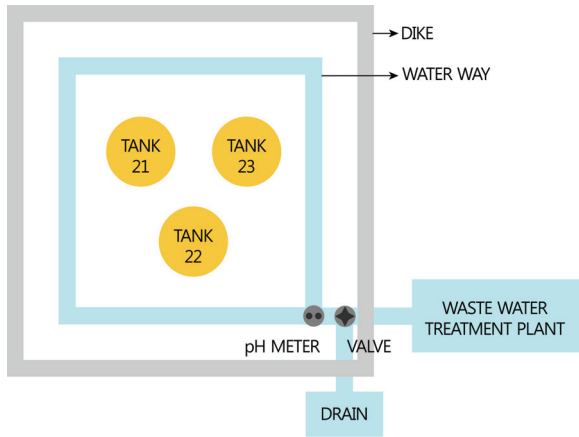
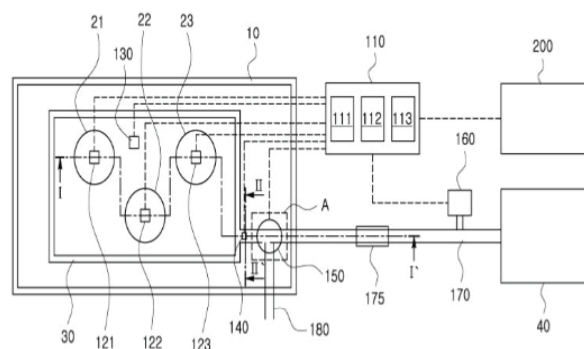


Figure 6. Systematic diagram of advanced safety management facilities

여기서, 10은 방류벽, 30은 수로, 21, 22, 23은 유해 화학물질 저장탱크, 40은 폐수처리장, 110은 제어부, 111은 신호 송신수부, 112는 데이터 저장부, 113은 분석부, 121, 122, 123은 각 저장탱크의 저장량을 측정하는 레벨게이지 측정부, 140은 pH미터 측정부, 150은 유체 처리 자동제어밸브, 170은 폐수처리장 연결 배관, 180은 우수로 배관이다.

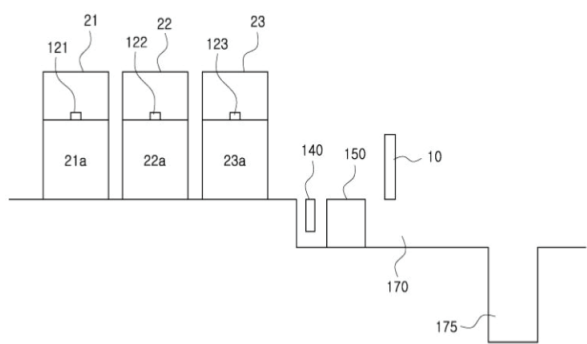
<Figure 6>에서 본 바와 같이, 방류벽(10) 내에 유해 화학물질 저장탱크(21, 22, 23)가 설치된다. 방류벽(10)은 유해화학물질 저장탱크에서 유출되는 유체가 외부로 유출되지 않도록 0.5 m 이상으로 콘크리트와 같



※ Source: Improvement on the Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid(Shin & Park, 2016)

Figure 7. Systematic diagram of advanced safety management facilities

은 벽체로 설치된다. 유해화학물질 저장탱크(20)는 동일 성상(산 또는 염기 등)이거나 동일 물질인 경우 동일 방류벽(10) 내에 다수의 유해화학물질 저장탱크를 들 수 있다. 예를 들어, 제1 유해화학물질 저장탱크(21), 제2 유해화학물질 저장탱크(21) 및 제3 유해화학물질 저장탱크(23)를 가정할 수 있다. 각 유해화학물질 저장 탱크에는 저장량을 감지하는 레벨게이지가 설치되어 측정값을 제어부(110)에 전송하여 분석부(113)를 거쳐 유해화학물질이 저장탱크에서 유입되는지, 또는 유출 되는지를 판단하게 된다. 이 경우, pH미터(140)의 측정 값과 각 유해화학물질 저장탱크(21, 22, 23)의 레벨게 이지 측정값(121, 122, 123)을 비교하여 두 개의 값이 동시에 출력되는 경우는 비정상 유출로 판단하고, pH 미터의 값이 출력되지 않고 저장탱크의 레벨게이지 측 정값만 출력되는 경우는 공정라인으로 정상 공급되는 것으로 판단하게 된다. 한편, pH 측정부(140)는 수로의 바닥에서 이격되도록 설치하여 수로에 고여 있을 수 있는 물 등에 의한 오측정을 방지하도록 설치하는 것이 바람직하다. 아울러, 비에 의해서 pH미터 측정값이 출 력되어 유출 알람으로 오작동이 되는 것을 막기 위해 pH값이 중성이 되는 것은 제어부(110)에서 빗물로 인식 하도록 입력시켜 유해화학물질에 의한 비정상 유출사 고에서 제외하도록 설계하는 것이 좋다. 또한, 취급물 질의 pH 측정값을 미리 실험을 통해 감지부에 입력하 여 물질에 따른 pH 측정값을 정확히 판단할 수 있도록



※ Source: Improvement on the Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid(Shin & Park, 2016)

Figure 8. 'I-II-I' section diagram

설정한다. 이렇게 오측정 값을 최소화하여 유해화학물질 유출사고 진단 가능성을 개선시키고, 유출로 확산하는 경우 알람시스템(200)을 통해 사업장 상황실, 사고 대응 기관(환경부, 소방, 지자체 등)에 자동으로 전파하여 골든타임 내에 물질에 맞는 신속한 초동대응이 가능하도록 조치한다.

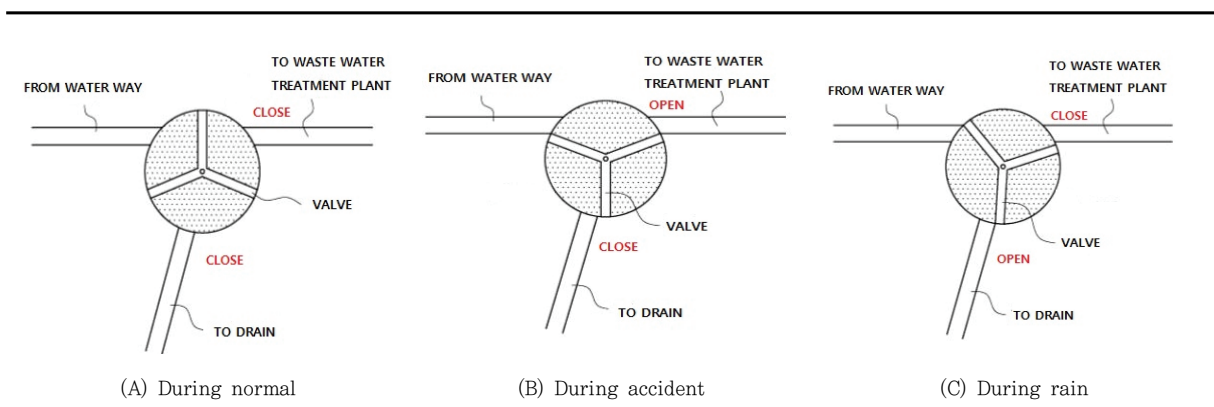
2. 유출물질 처리 안전설비 운영체계

〈Figure 9〉에 유체 처리 자동제어밸브(150)의 작동을 세 가지 유형으로 나타내었다(Shin, 2016). (A)는 유해화학물질이 유출되지도 않고, 비가 오지 않는 상태로 폐수처리장과 우수로로 배출되는 배관을 모두 닫힌 상태로 유지하고 있다. (B)는 pH 측정값과 유해화학물질 저장탱크(21, 22, 23)에서 유해화학물질 레벨게이지(21a, 22a, 23a)를 통해 유출된 것으로 감지된 경우 제어부(110)의 제어 신호에 따라 유체 처리로 자동제어밸브(150)를 회전시켜 유출된 물질이 폐수처리장 연결 배관(170)을 통해 폐수처리장(40)으로 유입되는 상태이다. 이 경우, 폐수처리장 연결 배관(170)에서는 pH 조절부(160)에서 유출된 물질의 종류 및 유출량에 따라 유출된 유해화학물질의 중화를 위해 pH 조절물질이 실시간으로 투입된다. pH 조절물질의 투입량은 유체 저장 탱크(21, 22, 23)로부터 유출된 유체의 양에 따라 pH 조절량이 결정되어 중화처리 된다. 저장탱크에서 유출된 화학물질이 빠르게 이동하는 경우 pH 조절부

(160)에 의해 투입되는 pH 조절물질이 중화처리되기 전에 폐수 처리장으로 유입될 수 있기 때문에 주의해야 한다. 이에 대한 문제점을 줄이기 위해 폐수처리장 연결 배관(170) 중간에 유체 임시 저장부(175)를 설치한다. 이 경우, 유체 처리 자동제어밸브(150)와 pH 조절부(160) 사이의 배관(170) 아래에 설치되어 유체 처리 자동제어밸브(150)를 통과한 유체가 임시 저장부(175)에 일정 시간 체류한 후 폐수 처리장(40)으로 이동하게 된다. 이에 의해, 레벨 측정부(120)와 pH 측정부(140)에 의해 측정된 유출 유체의 양과 pH에 따른 pH 조절물질의 투입량을 계산하여 투입할 수 있는 시간을 확보할 수 있고, 유출된 유해화학물질이 효과적으로 중화 처리된 후 폐수처리장(40)으로 이동하게 된다. 마지막으로, (C)는 유해화학물질 저장탱크(21, 22, 23)에서 유출되지 않고, 빗물이 수로(30)를 통해 빗물이 흐르는 경우로 제어부(110)의 제어 신호에 따라 유체 처리로 자동개폐밸브(150)를 회전시켜 빗물이 우수로(180)로 이동하여 빗물이 폐수처리장으로 유입되어 희석되는 것을 막고, 빗물이 안전하게 처리되도록 한다.

3. 개선 시스템의 사고대응 효과

유해화학물질 유출여부를 판단하는 제어부(110)는 저장탱크에서 비정상 유출이라고 판단하는 경우 미리 정한 사고대응 관계기관(200)에 화학사고 알람·경보 신호를 보내게 된다. 이 경우, 사고대응 관계기관은 유



※ Source: Improvement on the Risk of Spill from a Storage Tank of Nitric Acid(Shin & Park, 2016)

Figure 9. Schematic flow diagram of valve operation for three different events

해화학물질 유출 사고를 대응하는 기관으로 사업장, 화학물질안전원, 환경청, 소방서, 지방자치단체 등이 된다. 유체 유출 알람의 경우 유해화학물질 저장탱크(21, 22, 23) 위치와 유출량을 포함하여 전송한다. 사고대응 관계기관은 상기 유해화학물질 유출 알람·경보 신호에 의해 유출을 즉시 확인하게 되고, 언제, 어디에서, 어느 정도의 유해화학물질이 유출되었는지 신속·정확하게 파악할 수 있게 된다. 이에 의해, 사고대응 관계기관은 화학사고 유출 사고에 대하여 골든타임 내에 신속하게 대응할 수 있어, 유출에 기인한 제2차 확산 피해가 확대되는 것을 줄일 수 있다.

4. 시스템 적용 한계

사업장의 규모가 작은 중소·영세 사업장은 재정적인 어려움과 사업장 부지 내 물리적인 제약으로 인해 사업장 내부에 폐수처리장을 설치하기가 곤란하다. 이러한 사업장은 대부분 저장탱크에서 유출된 물질을 지정폐기물 운반차량을 이용하여 외부로 회수 처리한다. 본 연구에서 제안한 안전설비 시스템은 감지경보 장치를 설치하여 유출을 감지 후 선택적으로 밸브를 조절하여 폐수처리장으로 유출된 유해화학물질을 유출하거나, 유해화학물질이 아닌 빗물을 우수로로 안전하게 유출시키는 시스템이다. 이러한 방식은 폐수처리장을 갖춘 중·대규모 사업장에 적용될 수 있는 안전관리 시스템이다. 이로 인해 폐수처리장이 없는 사업장은 저장탱크에서 유출된 유해화학물질을 처리하는 시스템이 적용될 수 없는 한계가 있다. 다만, 중소 사업장의 경우 저장탱크의 용량이 소규모라서 전량이 유출되어도 사업장 외부에 있는 주변 사람이나 환경에 크게 영향을 주는 대규모 환경재난으로 확산되는 화학사고는 가능성이 낮을 것으로 판단된다. 본 시스템은 중소기업에 적용되기에는 한계점이 있지만, 폐수처리장이 없는 소규모 사업장이라도 유출물질을 신속하게 감지하여 사고대응 관계기관에 신속히 알리는 개선시스템은 여전히 유효할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 유해화학물질 저장탱크에서 대량 유출되는 화학사고가 외부로 처리되기까지 방류벽 내부로 억류시켜 표면적을 통해 증발되는 제2차 확산사고를 유발하는 기존의 방식을 개선하는데 주안점을 두었다. 이러한 시스템은 화학물질관리법에 따라 설치된 유출 감지 설비, 레벨게이지, 방류벽 수로에 설치된 선택적 자동 제어밸브 등을 통해 유출된 물질을 신속하게 감지하여 폐수처리장으로 유입시켜 제2차 확산피해를 줄이는 시스템으로 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 방류벽 내부에 유출된 물질이 흐르는 수로를 설치하고, 수로에 pH미터를 설치하여 pH 측정값을 통해 1차적인 유출 여부를 감지부에서 판단하게 된다. 아울러, 방류벽 내에 설치된 각 저장탱크의 레벨게이지를 통해 저장탱크로부터의 유입 또는 유출을 감지하게 된다. 이 경우, pH 측정값과 저장탱크의 레벨게이지 측정값을 통해 동시에 출력되는 것으로 진단되는 경우 비정상적인 유출로 확인하고, pH 측정값이 없이 저장탱크의 레벨게이지 측정값이 출력되는 경우 공정라인으로 정상 유입으로 판단하게 된다.

2. pH 측정값과 저장탱크의 레벨게이지 측정값을 연동하여 비정상 유출사고를 판단하여 화학사고가 발생한 저장탱크의 위치 및 물질명을 정확히 진단하고, 그 물질의 성상에 맞는 방제를 적시적소에 실시할 수 있게 된다. 이 경우, 취급물질의 pH 측정값을 실험을 통해 미리 감지부에 입력하여 물질에 따른 pH 측정값을 판단할 수 있도록 사전에 설정하여 물질 확인에 활용한다. 이렇게 정확도를 향상시킨 유출 감지시스템을 통해 사업장이나 사고대응을 담당하는 관계기관에 신속하게 통보하여 사고대응이 용이하게 하고, 골든타임을 확보할 수 있게 한다.

3. pH 측정값과 저장탱크의 레벨게이지 측정값을 통해 유해화학물질의 유출량을 실시간 감지할 수 있어 사고원인 조사에도 유용하게 사용될 수 있다. 아울러, 비정상 유출인 경우 방류벽 내 수로에 설치된 자동제어밸

브를 회전시켜 폐수처리장으로 배출시키고, 산·염기 물질에 따른 pH 조절 물질을 과 실시간 투여량을 정확히 산출하여 중화처리에도 유용하게 사용하게 된다. 만약, pH 측정값이 중성으로 출력되는 경우 빗물로 판정하여 자동제어밸브를 회전시켜 폐수처리장으로 유입되는 것을 막고, 우수로로 안전하게 배출시키게 한다. 이처럼, 본 연구에서 제안한 시스템은 선택적인 자동제어 밸브를 작동하여 유출된 유해화학물질이 방류벽 내에 체류하는 시간과 양을 최소화하여 확산 피해를 최소화하는데 기여할 것으로 판단된다.

4. 본 연구는 감지설비를 활용하여 비정상 유출사고인 경우 폐수처리장으로 신속하게 유입시키는 시스템으로 사업장 내부에 폐수처리장을 설치한 사업장에게 적용될 수 있는 시스템이다. 사업장의 규모가 작은 중소사업장의 경우는 사업장 부지가 협소하여 폐수처리장을 설치하기 곤란하기 때문에 본 시스템이 모든 사업장에 적용하기에는 한계가 있다. 다만, 중소사업장은 취급량이 적어 유출사고가 발생하는 경우 신속하게 조치가 가능한 면이 있지만, 여전히 중소사업장의 대량 유출사고로 인한 위험성을 줄이기 위한 현실적인 대안 조치가 마련되도록 추가적인 연구가 필요하다.

References

- Chemical Safety Board. 2016. *Chemical Safety Board Investigation Report*.
- ERG. 2014. *The Emergency Response Guideline*. Ministry of Environment.
- Kim, Seong Beom, Chung Hwa Park, Mooun 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.
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA) Guide (P-102-2012). 2012. *Consequence Analysis of Chemical Release*. Korea Occupational Safety & Health Agency.
- 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) Guideline. 2014. *Guidelines for selecting Scenario of Chemical Accidents*. 2014(1).
- National Institute of Chemical Safety(NICS) Guideline. 2015. *Guidelines for Evaluating End Point of Chemical Accidents*. National Institute of Chemical Safety. 2015(1).
- National Institute of Chemical Safety(NICS). 2015. *Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks*. National Institute of Chemical Safety.
- 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.
- 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.

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

박영균, 김태오. 2015. ALOHA 모델을 이용한 태양전지 제조공정의 암모니아 가스 누출 평가. *한국냄새환경학회*. 14(22): 136-149.

신창현, 박재학, 윤준현. 2016. 원유저장탱크 방류벽의 콘크리트 바닥재 불침투성 세부기준 연구. *한국안전학회*. 31(1):

54-60.

신창현, 박재학. 2016. 유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안. *한국위기관리논집*. 12(1): 83-93.

신창현, 박재학. 2016. 질산 저장탱크 유출사고의 위험도 개선. *한국위기관리논집*. 12(5): 119-132

신창현, 박재학. 2016. 질산 저장탱크의 유출사고에 대한 장외 위험성 평가. *한국위기관리논집*. 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.

환경부. 2014. 유해화학물질관리법. 환경부.

환경부. 2015. 화학물질관리법. 환경부.

Received: Jun. 20, 2016 / Revised: Jul. 8, 2016 / Accepted: Jul. 11, 2016

유해화학물질 저장탱크 유출물질 처리 시스템 개선

국문초록 최근 3년간 화학사고 통계조사에 따르면 유해화학물질 저장탱크에서 유출된 화학사고는 45건으로 조사되었다. 저장탱크로부터 대량 유출사고도 발생하기 때문에 화학사고 피해를 최소화하기 위해서는 적절한 방류벽이 설치되어야 한다. 방류벽은 저장탱크에서 유출되는 화학사고의 위험도를 수동적 완화장치로 외부로 안전하게 처리되는 동안 유출물질을 방류벽 내부에 억류하는 기능을 한다. 다만, 이러한 조치는 방류벽 내부에 체류된 유해화학물질의 표면적을 통해 증발되어 외부로 확산되는 제2차 피해를 유발하기 때문에 개선이 필요하다. 2015년에 시행되는 화학물질관리법에 따라 저장탱크 주변에 설치된 감지설비를 설치하여 신속하게 폐수처리장으로 배출시키는 능동적 안전조치를 고려하여 방류벽 기능과 유출물질 처리 시스템을 개선할 필요가 있다. 이에, 본 연구에서는 신규 제도로 설치되는 안전장치를 최적화시켜 저장탱크에서 유출되는 화학사고를 효과적으로 판단하여 유해화학물질이 신속하게 폐수처리장으로 배출시키는 시스템을 고안하여 화학사고 피해를 최소화 하는데 기여하고자 한다.

주제어 : 화학물질관리법, 방류벽, 장외영향평가, 취급시설, KORA

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).