



AHF ISO Tank의 안전성 향상을 위한 안전장치에 관한 연구

박상배 · †이창준*

한국가스안전공사, *부경대학교 안전공학과 교수
(2020년 4월 3일 접수, 2020년 6월 15일 수정, 2020년 6월 17일 채택)

A Study on the System for Improving the Safety Device of the Hydrogen Fluoride ISO Tank

Sang Bae Park · †Chang Jun Lee*

Korea Gas Safety Corporation, *Pukyong National University
(Received April 3, 2020; Revised June 15, 2020; Accepted June 17, 2020)

요 약

구미 휴브글로벌 AHF 누출사고를 보면서 화학 사고가 우리 사회에 미치는 영향이 얼마나 큰지 경험한 바 있다. 이후로 여러 분야에서 화학 사고에 관한 많은 연구가 수행되고 있다. 사용처에서는 공정 시스템에 대한 개선방안을 찾아 현장에 적용하고자 했고 안전분야에서는 피해 영향 분석을 통한 안전성 향상을 연구하여 비상대응에 적용하여 피해 영향을 줄이고자 하였다. 본 연구에서는 이충전 작업 시 일어나는 화학사고에 신속하게 대응할 수 있는 기계적 안전장치를 적용하여 AHF ISO Tank의 안전성을 높이고자 하였다. 연구의 수행으로는 우리나라에 연간 유통되는 AHF의 수입량의 규모와 운반의 수단으로 사용되는 ISO Tank의 운송 물량을 조사하고 AHF ISO Tank의 구조 및 Unloading 절차를 조사하였다. 많은 유형의 탱크로리를 조사하는 과정에서 AHF ISO Tank 구조와 작업 절차가 유사한 염소 탱크로리에 기계적 안전장치인 EFV(과류 방지 밸브)가 설치되어 있는 것을 확인하였다. EFV의 AHF ISO Tank에 적용성과 도입 시 안전기능인 긴급차단에 대한 성능을 휴브글로벌 사고와 2018년에 울산에서 발생한 염소 Tank lorry의 사고사례를 비교 조사하여 실제 사고에서 얻은 자료로 검증할 수 있었다. 사고사례와 적용성 등을 비교한 결과, AHF ISO Tank에 화학사고 피해를 감소시키고 사고를 조기에 수습할 할 수 있는 기계적 안전장치인 EFV를 도입할 것을 제안하며 휴브글로벌 사고와 같은 화학 사고에 도움이 되고자 한다.

Abstract - Watching the leakage accident of the Gumi Hube Global AHF(Anhydrous fluoric Acid), I experienced how much chemical accidents affect our society. Since then, many studies have been conducted on chemical accident in many fields. The use department wanted to find improvement plans for the process system and apply them to the field. The safety field wanted to study improvement of safety through the analysis of damage effects and apply them to emergency response to reduce damage effects. In this study, Mechanical safe devices have been applied which can respond quickly to chemical accidents occurring during the charging operation to enhance the safety of the AFH ISO Tank(Anhydrous fluoric Acid International Organization for Standardization Tank). Investigation of similar tanks confirmed that other chlorine tanks with the same working procedure as AHF ISO Tank have a mechanical safety device, EFV(Excess Flow Valve). Applicability and performance for emergency shutdown when EFV is introduced in AHF ISO Tank can be verified by comparing and examining the accident situation of Hube Global Accident and the accident in Ulsan 2018. Comparing accident cases, expected performance and applicability, It is suggested that EFV, a mechanical safety device that can reduce damage from chemical accidents to the tank and handle accidents early, should be introduced to the tank.

Key words : ISO Tank, safety device, EFV

†Corresponding author:changjun.lee@gmail.com

I. 서론

2012년 구미에서 발생한 휴브글로벌사의 AHF (Anhydrous fluoric Acid) 누출사고를 통해 화학 사고가 우리 사회에 미치는 영향이 얼마나 큰지 사고의 여파를 볼 수 있었다. 사고는 발생한 사업장뿐만 아니라 주변 지역 주민과 다른 사업장의 근로자들, 주변 농가와 환경에 엄청난 피해를 주었다.

반도체산업 등 정밀화학의 분야의 발전으로 AHF 사용량이 급격하게 증가하고 있다. 우리나라는 년 간 AHF의 수입량이 2017년에 12,798톤으로 이는 대량 판매처 4개사에서 중국으로부터 수입한 물량이다. AHF의 수입 경로는 중국에서 선박으로 국내에 들어오고 국내에서는 ISO탱크 컨테이너(이하 ISO Tank)로 각 사업장으로 운반되고 있다. ISO Tank로 운반되는 체계는 전국의 대부분의 사업장에서 이용되고 있다. 2018년 4월에도 울산 신항 컨테이너 부두에서 AHF가 유출되는 사고가 발생한 것 같이 AHF의 운송 체계에 심각한 사고가 발생할 수 있다.

구미 무수불산 누출 사고 이후 안전에 관한 많은 연구가 수행되고 있다. 울산의 “H”사 및 “V”사 등 AHF 대량으로 취급하는 사업장에서는 시설 개선을 통한 안전성 향상을 얻고자 노력해왔으며, 안전 분야에서는 위험성평가를 통한 피해영향 범위를 산정하여 사고 발생 시 비상대응 방안을 통한 피해 최소화와 관련된 연구도 많이 수행되었다. 조호성 [1]은 화학물질 누출사고 관련 연구로 정량적 위험성평가 기법 중 하나인 CA(Consequence Analysis)를 수행하고 시뮬레이션 된 결과가 주민 대피 및 방재 인력의 보호구 착용 범위 선정의 가이드로 활용 적정성 및 적용성에 관한 연구를 들 수 있다. 그리고 이덕재 [2] 등은 화학사고 예방을 위한 운반차량의 관리 방법으로 운반계획서 시스템에 대한 개선방안을 연구하였다 [2]. 하지만, 대표적인 운송 시스템인 AHF ISO Tank 이 충전 시 발생할 수 있는 사고와 관련한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 안전장치를 설치하여 AHF ISO Tank의 Loading & Unloading(이 충전 작업) 작업의 안전성을 향상하는 연구를 수행하고자 한다.

AHF ISO Tank의 구조와 이충전 작업 절차가 같 으면서 사고에 대응할 수 있는 안전장치가 설치된 Tank를 조사하였다. 또한, 휴브글로벌 사고와 유사한 유형의 사고사례를 비교 분석하여 안전장치가 구조적으로 안전성을 확보할 수 있음을 설명하고자 한다.

본 연구에서는 AHF ISO Tank의 안전성 향상을 위한 안전장치로 EFV(Excess Flow Valve: 과류 방지

밸브)를 선택하였다. EFV를 선택한 이유는 AHF ISO Tank에 도입하기에 적합한 구조이며 또한, 제작도 간단하여 경제성과 안전성을 동시에 얻을 수 있기 때문이다.

II. 연구내용

2.1 AHF 수입경로 및 운반량

중국에서 우리나라로 수입된 AHF의 수입량은 2017년 기준으로 12,798 Ton으로 조사되었다. 수입경로는 중국의 사업장(천O, 산OO, 후O)으로부터 우리나라의 대형 판매처인 4개 사업장으로 ISO Tank에 충전하여 선박 및 차량과 철도 등의 운송을 통해 각 사업장으로 수입되고 있다. Table 1.은 수입국과 국내에서 수입하는 물량과 운송의 수단으로 ISO Tank가 이용되는 자료이고 Fig 1.은 중국에서 국내(울산)로 AHF를 운송하는 경로를 나타낸 것이다. Table 2.는 중국에서 수입되는 물량 중 목적지가 울산으로 운송되는 물량을 조사한 자료이다 [3].

Table 1. AHF mass of imports and their type (2017)

Import	Company	Volume (ton)	Tank Type
China	A	6,408	ISO Tank
	B	3,042	
	C	1,332	
	D	2,016	

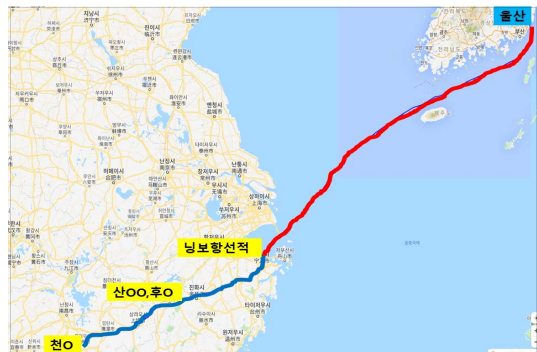


Fig. 1. AHF transportation route from China to Rep. of Korea.

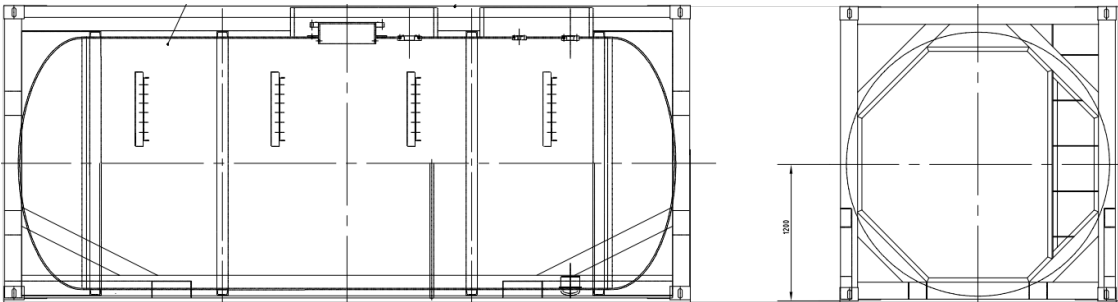


Fig. 2. AHF ISO Tank Side Drawing.

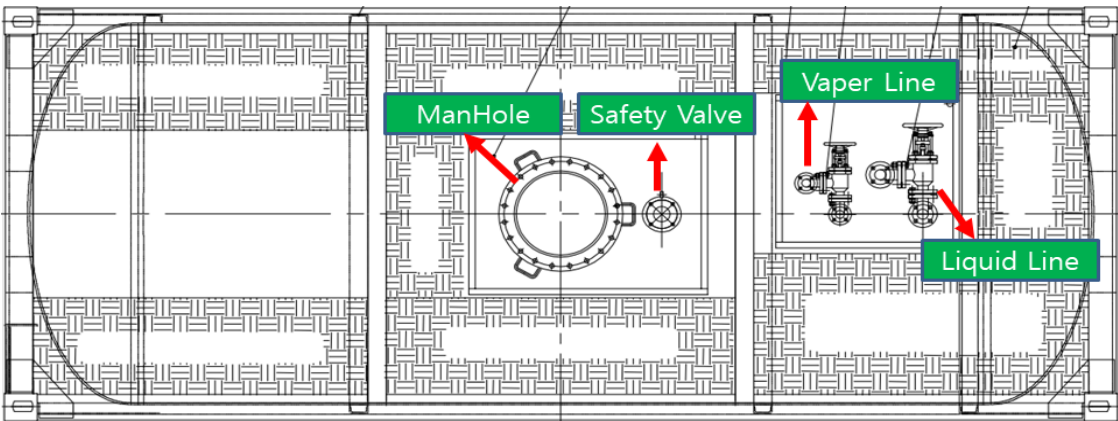


Fig. 3. AHF ISO Tank Upper Drawing.

Table 2. A total mass of AHF ISO Tanks in Ulsan (2017)

Import	Company	Mass (ton)	Destination
China	A	4,000	Ulsan
	B	3,042	
	C	1,332	

특히, 울산지역에서 국내로 수입되는 전체 물량 중에서 약 68 %인 8,734 Ton의 물량이 소비되고 있음을 Table 2에서 확인할 수 있다. 이 운반량을 ISO Tank 물량으로 환산하면 다음과 같은 Tank의 대수를 대략적으로 구할 수 있다. 일반적으로 중국에서 수입해 오는 ISO Tank 1기에 충전하는 충전량은 약 18 Ton 정도 되므로 전체 수입량으로 계산하면 711기가 되고 울산으로 운송되는 AHF의

물량을 계산하면 울산에서 1년에 대략 485기의 ISO Tank가 유통되었음을 알 수 있다.

2017년 A사의 HF ISO 탱크 운송 관련 보고서 [4]에 따르면 우리나라에 수입된 전체 AHF 물량이 ISO Tank로 현장으로 이동된 대수가 711기이며 각 사업장에서 한 번의 이 충전 작업을 한다고 가정해도 총 711회의 작업이 이루어지는 것이다. 소규모 사업장에 소분하는 작업 횟수까지 계산하면 더 많은 이 충전 작업이 발생할 것이다.

2.2 AHF ISO Tank의 구조

Tank의 안전성을 향상시키기 위해 기본적으로 AHF ISO Tank의 구조에 대한 조사를 먼저 수행하였다.

Fig 2는 AHF ISO Tank의 측면의 구조이며 Fig 3은 탱크의 상부에 구조를 나타내는 도면이다. 상부에 설치되어 있는 Man Hole은 탱크의 재검사 및 수리 등을 위한 장치이고 이 충전에 이용되는 기액 라인과 그리고 안전장치인 Safety Valve로 이루어

어져 있다. 과압에 의한 탱크의 파열을 방지하는 Safety Valve(안전밸브)가 AHF ISO Tank에 설치되어 있는 유일한 안전장치이다.

2.3 AHF Unloading Operation Procedure

Fig 3에서 확인한 바와 같이 이충전에 사용되는 라인인 기상과 액상의 2 Line을 이용하여 이송작업을 한다.

Fig 4는 ISO와 충전라인을 연결하는 설비의 구성을 간략하게 보여주고 있다.

다음은 Unloading Operation의 기본 절차이다.

1. ②의 AHF Gas Line의 블라인드 플랜지를 제거하고 Flexible Hose 측 단관을 연결한다.
2. 질소 밸브를 Open하여 Leak Check한다.
3. ④의 AHF Liquid Line의 블라인드 플랜지를 제거하고 Flexible Hose 측 단관을 연결한다.
4. 질소 밸브를 Open하여 Leak Check한다.
5. Leak Check 결과 정상이면 Gas Line으로 질소를 가압하여 Dip Pipe를 통해 액체를 이송한다.

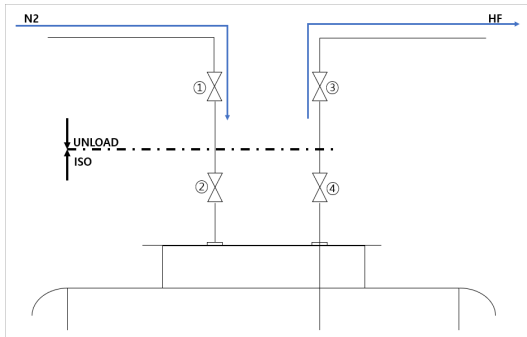


Fig. 4. ISO TIE-IN-FEED.

물론 이 절차 외에 Vent 등 안전을 위한 다른 작업도 있지만, 위의 절차는 이송을 위한 기본 절차를 간단히 정리한 것이다.

2.4 염소 탱크로리

AHF ISO Tank 구조와 Unloading의 절차가 유사한 운송수단 중 화학물질을 운송하는 탱크로리를 조사한 결과 염소 탱크로리가 본 연구에서 요구하는 사항을 충족하였다.

Fig 5은 탱크의 상부 구조를 나타내는 도면으로 탱크의 상부에 밸브박스가 설치되어있다. 밸브박스 내부에는 기·액 라인과 안전밸브가 있다.

fig 6은 탱크 밸브박스 내 라인과 장치를 도시화한 것으로 탱크의 기·액 라인 도면이다. AHF와 다른 점은 기·액 라인이 각 2 Line으로 구성되어 있다.

기·액 라인이 각 2 Line으로 구성되어 있는 것은 사업장마다 이 충전 시설과 차량 진입의 방향성이 상이하여 이 충전라인을 체결하기 편리하기 위해 2 Line으로 구성되어 있다.

염소 탱크로리는 Unloading 라인의 구성과 Operation의 절차가 AHF와 같은 시스템으로 이루어져 있다.

Table 3. H_Company Unloading Procedure

No	Working Procedure
1	Tank lorry의 과류방지밸브 작동 점검
2	Tank lorry angle valve liquid, gas 하나씩 단관 파이프 결속
3	단관파이프와 Flexible house를 연결
4	질소 밸브 Open, Tank lorry gas angle valve open

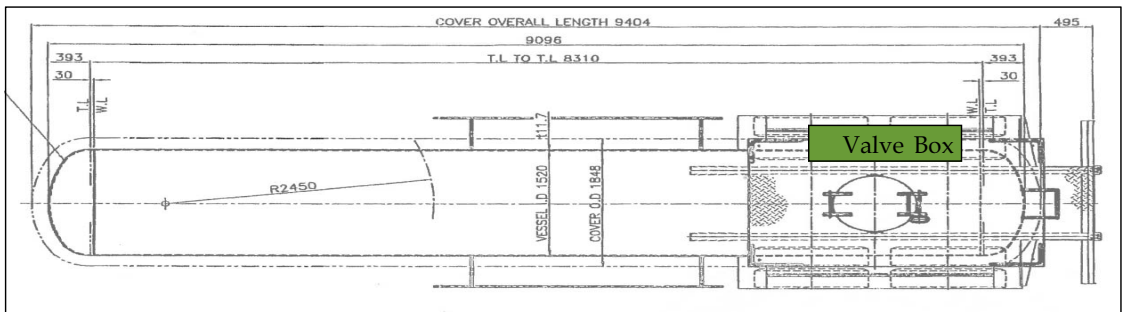


Fig. 5. L-C12 Tank lorry Upper Drawing

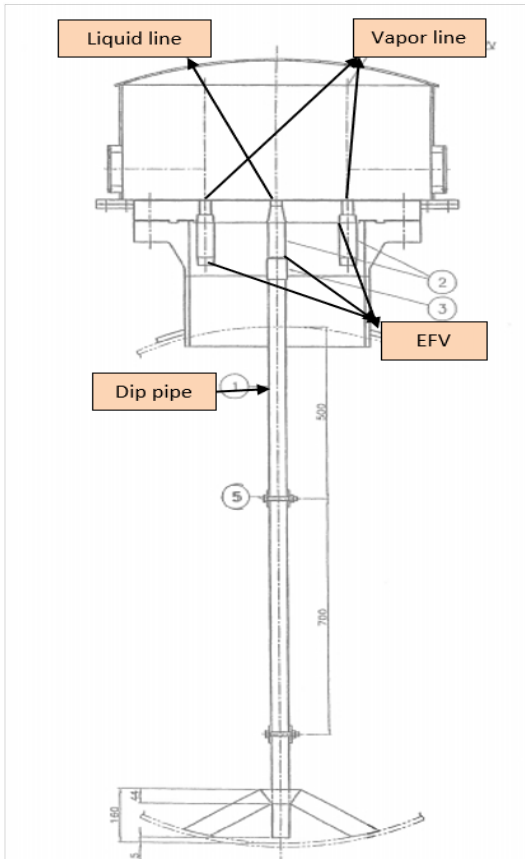


Fig. 6. L-C12 Tank lorry Line Assembly.

Unloading 라인은 기·액 라인으로 이루어져 있고 기체 라인으로 탱크 상부에 질소로 가압하여 Dip Pipe로 액체를 이송하는 방식은 앞에서 조사한 AHF의 이송 방식과 같다.

Dip pipe는 탱크 이 충전 작업 시 용이하게 작업하기 위해 pipe를 탱크 내부에 길게 설치된 Pipe이다.

Table 3은 울산의 한 사업장에서 규정하고 있는 염소 저장탱크 Loading 작업표준이다[5].

염소 탱크로리는 이 충전을 위한 Line의 구조 및 운전절차서가 AHF와 비슷하게 구성되어 있지만 구별되는 특징은 운전절차서에 과류방지밸브 작동 점검이 규정되어 있다.

과류방지밸브는 염소 탱크로리에는 Fig 6에서 확인할 수 있다. 기체라인과 액체라인의 탱크내부에 EFV가 설치되어 있다. EFV는 이 충전 현장에서 발생할 수 있는 안전사고를 조기에 대처하기 위한 기계적인 안전제어시스템의 일종이다.

III. 사고사례 분석

3.1 휴브글로벌 사고[6]

2012년 9월 27일 15시 43분경 구미시 구미산단 4단지에 위치한 휴브글로벌에서 AHF Unloading 작업 중 밸브 조작 미숙으로 인하여 가스가 누출되는 사고가 발생하였다. 이 누출 사고로 약 8 Ton의 AHF가 대기로 방출된 것으로 추정되며, 산업단지 인근 지역의 농가에까지 AHF 가스가 확산되어 지역주민, 가축, 농작물 등 살아있는 동식물에 급성 중독 현상이 나타나 피해가 속출하였다.

휴브글로벌의 사고는 AHF ISO Tank에서 공장 희석탱크(20 Ton)로 이송하기 위하여 호스를 연결하는 작업 과정에서 근무자의 실수로 Valve가 Open 되어 불화수소가 누출, 기체상태로 확산된 사고이다.

밸브를 차단한 시간은 22시 18분으로 사고 발생 후 6시간 35분이 소요되었다. 사고로 인한 인적 피해는 사망 5명, 건강검진 12,243건, 임시거주 340명 등이고 물질 피해는 농작물 피해가 212 ha, 가축 피해: 3,943두(소, 개 등 기침, 콧물, 호흡기 이상), 기타 피해로 차량(부식)이 1,958대였다.

3.2 유사 사고 사례

휴브글로벌 사고와 같이 이송작업 중에 발생한 사고와 같은 개념의 사고 사례를 조사하고 그 사고 사례 중 본 연구에서 조사한 AHF의 Tank 구조와 충전 절차가 같은 방식의 시설에서 발생한 사고를 선별하였다. 조사한 사고 사례 중 2018년에 울산에서 발생한 사고에 대해 사고 상황과 대응시간 그리고 가장 중요한 사고로 인한 누출량을 위주로 조사하였다.

1) H사 염소누출사고[7]

2018년 2월 26일(월) 17시 23분경 울산 남구 사평로에 위치한 H사에서 탱크로리에서 CT-113(액화염소저장탱크, 20 Ton)로 이송작업 중 충전호스의 체결 상태를 확인하지 않고 이동시켜 충전호스(액/기 라인: 1")가 파손되어 염소가 누출된 사고가 발생함.

사고가 발생하고 긴급차단에 소요된 시간은 12여분으로 누출된 가스의 2~3 kg으로 조사되었다.

2) HH사 염소누출사고[7]

2018년 5월 17일(목) 9시 59분경 울산 남구 산업로에 위치한 HH사에서 염소 하역시설 탱크로리에서 저장시설로 이송 중 충전 호스(퍼지라인) 파열로 염소가 누출된 사고가 발생함.

사고가 발생하고 긴급차단에 소요된 시간은 대략 11분으로 11.67 kg으로 조사되었다.

3.3 사고 분석

위 사고의 사고조사보고서를 보면 사고 시점부터 긴급차단까지 소요된 대응시간이 확연한 차이점이 있음을 알 수 있다.

가. 긴급차단에 소요된 시간

휴브글로벌 사고와 “H”, “HH”사의 사고 처리시간을 비교하면 약 6시간 20분의 대응시간의 차이가 발생한 것을 알 수 있다. Table 4는 사고발생 시간에서 긴급차단(밸브차단)까지 소요된 시간을 비교한 것이다.

유사 사고를 분석하면서 실제로 탱크로리에서 누출이 차단된 시간은 더 빨리 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

나. 사고로 인한 가스 누출량

휴브글로벌 사고는 많은 보도 자료와 환경부의 발표 자료에서 확인할 수 있듯이 약 8 Ton의 AHF가 누출되었다. 하지만 “H”, “HH”사의 사고에서는 조사내용과 같이 “H”사는 2~3 kg, “HH”사의 누출량은 11.67 kg이다.

사고 발생 후 긴급차단까지 소요된 시간과 사고로 인한 가스의 누출량이 비교할 수 없을 정도의 많은 차이를 가져온 이유를 탱크의 구조와 안전시스템을 분석하여 AHF ISO Tank와 염소 탱크로리의 사고에서 차이점이 발생한 것은 안전장치에 있음을 확인하였다.

동일 개념의 사고임에도 사고의 규모가 차이 나는 것은 EFV라는 안전장치의 설치 유·무에 있었다.

AHF ISO Tank에는 설치되어 있지 않은 EFV가 염소 탱크로리에는 설치되어 있어 사고 발생시 염소 탱크로리에서는 즉각적인 EFV의 작동으로 탱크 내부에서의 누출을 차단하여 대량의 누출이 발생할 수 있는 상황에서 피해 범위를 최소화할 수 있었다.

Table 4. Time take of Block

Accident	Time Incident	Time Block	Time Take
Hube Globe	15 : 43	22 : 18	06 h 35 m
H	17 : 23	17 : 35	00 h 12 m
HH	09 : 59	10 : 10	00 h 11 m

3.4 EFV(Excess Flow Valve: 과류 방지 밸브)

휴브글로벌 사고 이후로 현장에서는 동일 사고의 재발 방지를 위해 시설에 대한 개선으로 안전을 확보하고자 노력하였다. 개선안 중 AHF를 대량으로 취급하는 대형사업장의 개선 사항을 조사하였다.

휴브글로벌 사고 이후 AHF를 취급하는 대형사업장에서는 Unloading system에 대한 안전을 강화하는 시설 개선이 이루어졌다.

첫째로 ISO Tank의 Ball Valve에서 Globe Valve를 설치하여 급격한 조작이 되지 않고 천천히 조작되게 하였다.

둘째로 긴급차단장치를 설치하여 사고 발생 시 원격으로 밸브를 조작할 수 있도록 개선하였다.

Fig 7은 휴브글로벌 사고 이전의 각 사업장의 이충전시설의 P&ID이다. 탱크와 취급시설과의 연결을 위한 배관설비 이외에 안전장치는 반영되지 않은 P&ID이고, Fig 8은 휴브글로벌 사고 이후 사업장에서 탱크에 연결되는 취급시설에 긴급차단장치(AOV)를 설치하여 안전사고를 최소한으로 방지하는 기능을 추가한 개선된 P&ID이다. 다른 방편으로 오픈된 구조의 이충전장을 Room으로 변경하여 누출시 외부로 확산하는 것을 방지하는 사업장도 있다.

앞에서 언급한 개선방안은 가스 누출량과 근무자의 안전을 향상시키고 외부로 누출되는 피해를 최소화하는데 많은 역할을 할 것이다. 하지만 휴브글로벌의 사고처럼 연결부에서 사고가 발생 할 경우 취급시설에서 발생하는 누출은 긴급차단장치로 차단이 가능하지만 탱크 내부의 누출은 근무자가 직접 밸브를 차단하기 전에는 다른 대책이 없는 것이다. 본 연구에서는 이런 문제점을 해결하고 이송작업시 발생할 수 있는 안전사고를 신속하게 대응할 수 있는 기계적 안전장치인 EFV(Excess Flow Valve: 과류 방지 밸브) 설치를 제안한다.

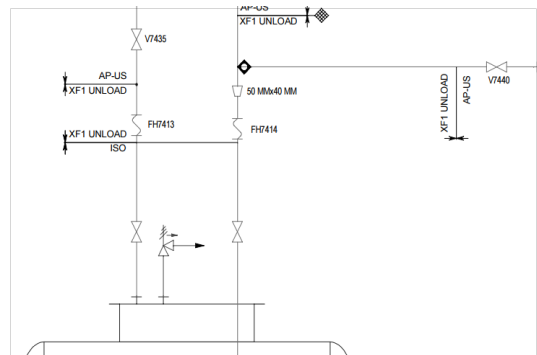


Fig. 7. P&ID before improvement.

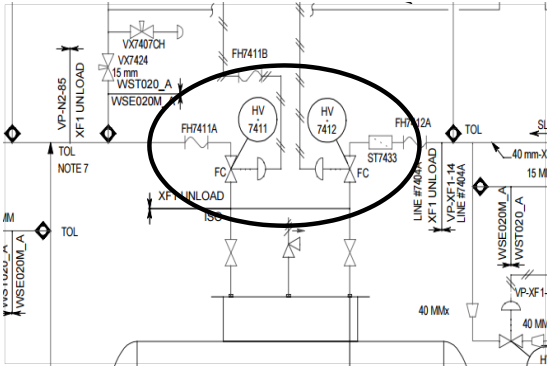


Fig. 8. P&ID After improvement.

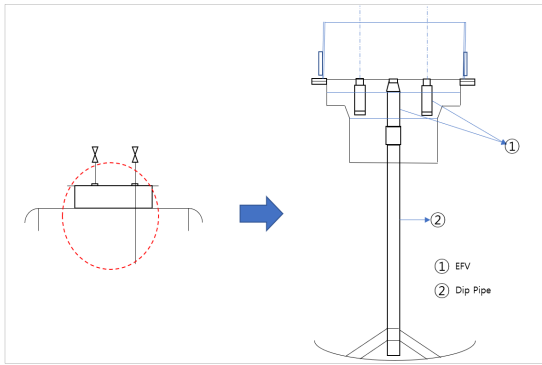


Fig. 9. EFV & Dip pipe(CI2).

■ EFV(Excess Flow Valve: 과류 방지 밸브)

과류방지밸브는 일정량 이상의 유량이 흐를 때 유로를 차단하여 위험을 방지하는 기능을 가진 안전장치이다.

Fig 9은 염소 탱크로리 내부에 Vapor line인 과 Liquid line에 EFV를 설치한 것을 표현한 것이다.

염소 탱크로리에는 제작과 설치가 간단하고 Maintenance 하기에 용이한 Ball 방식의 과류차단장치를 적용하고 있다. Fig 10은 염소 탱크로리에 설치된 과류방지밸브의 도면이다.

기존 염소탱크로리에 설치된 과류방지밸브는 탱크 내부에 Dip Pipe와 체결하기도 용이하고 구조도 간단하여 제작하기도 어렵지 않는 구조이다. 차단의 우수성은 이미 사고사례를 통하여 검증되었다. EFV의 또 다른 장점으로는 기계적 안전장치로 사고발생 시 운전원이 조작하는 것이 아니라 자동적으로 흐름을 차단시켜 주는 장치라는 것이다.

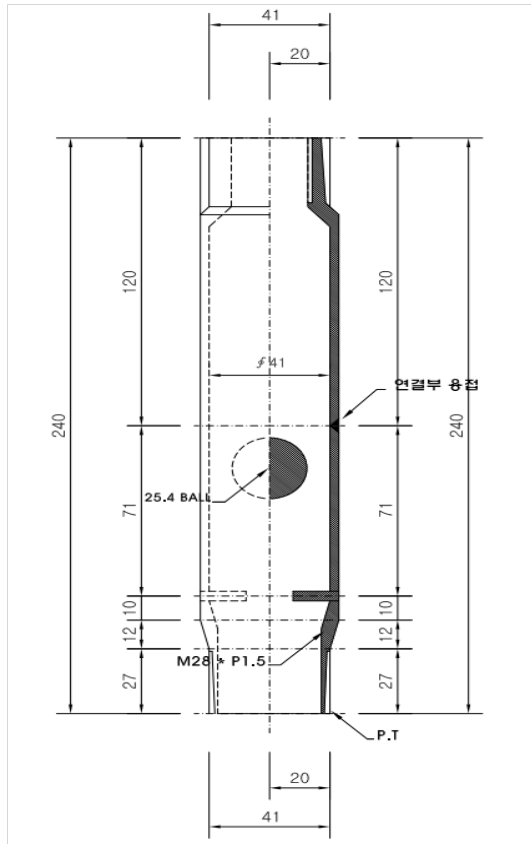


Fig. 10. EFV of L-CI2 Tank lorry.

3.4 CA(Consequence Analysis)

정량적 위험성평가 기법 중 하나인 CA를 이용하여 피해영향범위를 비교 분석하였다.

CA 수행을 위해서 ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)를 사용했다. ALOHA는 미국의 National Oceanic and Atmospheric Administration이 개발한 무료 피해예측 프로그램으로 약 1,000가지 종류의 일반적인 유해 화학물질에 대한 물리적 특성이 저장되어 있어서 신속하게 결과를 얻을 수 있다. 다른 상용 프로그램보다 정확도가 떨어진다는 단점이 있지만, 무료로 사용할 수 있다는 장점이 있으며, ALOHA의 결과도 비교적 신뢰할 수 있다.[8]

시뮬레이션의 입력값은 누출량을 정하여 입력하고 피해영향범위는 ERPG(Emergency Response Planning Guideline)값으로 표현하였다.

ERPG는 비상대응계획 가이드라인으로 지역 사회의 비상계획에 사용하기 위해 공기 중 물질의 잠

Table 5. ERPG of Benchmark Values

Level	Content
ERPG-1	ERPG-1 is the maximum airborne concentration below which nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing more than mild, transient adverse health effects or without perceiving a clearly defined objectionable odor.
ERPG-2	ERPG-2 is the maximum airborne concentration below which nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing or developing irreversible or other serious health effects or symptoms which could impair an individual's ability to take protective action.
ERPG-3	ERPG-3 is the maximum airborne concentration below which nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing or developing life-threatening health effects.

Table 6. Input information for simulating case 1,2

Material	Hydrogen Fluoride
Atmospheric Temperature	37.8 °C
Wind speed	3.0 m/s
Stability Class	D

재적 유출량에 대처하기 위한 가이드라인으로 Table 5.와 같이 3단계로 구분하여 사용된다[9].

3.5 시나리오 및 기상조건 선정

위에서 언급한 이층전 작업에서 HF 누출사고 발생 시 EFV가 설치되어 있지 않은 경우와 설치된 경우를 정량적으로 비교·분석하고자 한다. 본 연구에 사용한 모델식과 이론은 참고문헌에서 살펴 볼 수 있다.[8]

- 피해예측프로그램 : ALOHA
- 사고시나리오 : 휴브글로벌에서 발생한 실제 누출량과 EFV를 설치 후 누출된 것으로 유사 사고사례에서 누출량을 반영하여 가정하였다.
- 사고물질 : HF (CAS No. 7664-39-3)
- 대기조건은 Case 1,2 동일하게 Table 6과 같이 적용하였다.

1) Case 1 (HF 누출량: 8,000 kg)

Case 1은 실제 휴브글로벌 사고에서 발생한 누출량을 그대로 적용해서 ERPGs 농도값을 구하였다.

Fig 11은 Case 1의 결과로 ERPG-1,2,3 농도에 해당되는 거리로 영향범위를 단계별로 수행한 분석 결과이다. 분석 결과 값을 보면 비상대응에서 많이 활용하는 ERPG-2 값이 20 ppm의 농도에 확산

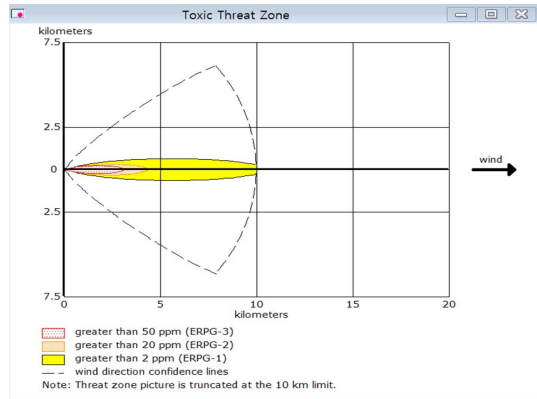


Fig. 11. ERPG Zone of Case 1.

거리가 4.3 km로 피해범위가 크을 알 수 있다

2) Case 2 (HF 누출량: 10 kg)

Case 2은 휴브글로벌에서 사고에 과류방지밸브가 설치되었을 경우를 가정하고 누출량은 유사 사고 사례에서 발생한 누출된 량을 적용해서 ERPGs 농도값을 구하였다.

Fig 11은 Case 2의 결과로 ERPG-1,2,3 농도에 해당되는 거리를 표시한 것이다.

Case 1에서 분석한 것과 같이 Case 2에서의 ERPG-2 결과값은 20 ppm의 농도에 확산거리가 398 m로 나타났다.

ERPG의 단계별로 수행한 결과를 Table 7에 정리하였다.

Case 1,2의 ERPG의 영향범위를 단계별로 수행한 분석결과는 ERPG-1에서 10 km / 921 m, ERPG-2에서 4.3 km / 398 m, ERPG-3은 3.1 km / 267 m 이다.

Table 7. Simulation Results for Case 1,2

	Case 1	Case 2
	Distance / Concentration	Distance / Concentration
ERPG-1	10 km / 2 ppm	921 m / 2 ppm
ERPG-2	4.3 km / 20 ppm	398 m / 20 ppm
ERPG-3	3.1 km / 50 ppm	267 m / 50 ppm

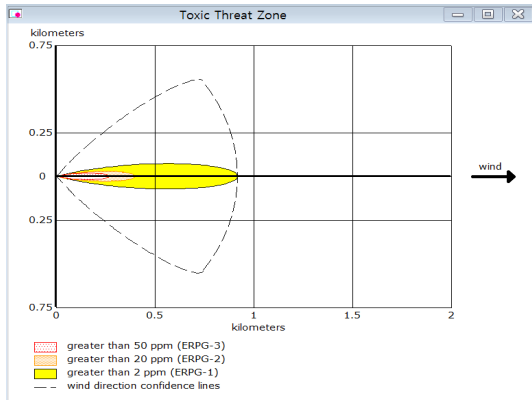


Fig. 12. ERPG Zone of Case 2.

EFV를 설치할 가정된 분석결과와 전후 피해영향범위가 거리 기준으로 평균 10배 감소함을 확인할 수 있다.

IV. 고찰 및 결론

화학 사고가 발생하는 경우 가장 그 피해를 최소화할 수 있는 직접적이고 근본적인 방안은 화학물질의 누출을 얼마나 빨리 차단하여 누출로 인한 피해를 최소한으로 줄이는 것이다.

본 연구에서는 염소탱크로리 및 유사사고 사례를 분석하여 EFV가 탱크로리 이 충전 작업 중 일어나는 사고에서 화학물질의 누출을 차단하여 피해를 감소시키고 사고를 조기에 수습할 수 있는 장치임을 CA를 이용한 시뮬레이션 결과에서 ERPG-1,2,3의 농

도에 대한 거리가 평균 약 10배 이상 감소한 것을 확인하였다.

다른 위험물탱크로리에 적용하고 있는 대부분의 긴급차단장치는 탱크 외부에 설치되어 있고 작동방식도 에어구동방식과 레버구동방식으로 사고발생 시 접근하여 작동하여야하는 문제점을 가지고 있다. 하지만, 본 연구에서 제안하는 EFV는 탱크 내부에 설치되며 과류에 의한 구동방식으로 이상상태가 발생하면 자동으로 차단하는 안전장치로 기존의 ISO Tank에 설치가 가능한 장점도 가지고 있다.

현재 운영 중인 AHF ISO Tank에 EFV를 설치하면 사고분석에서 확인한 누출량 감소에 따른 피해영향범위감소의 안전성과 비상대응 시 신속하고 안전하게 대응하여 사고를 조기에 수습할 수 있는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] Cho, H. S., *A Research on Optimized Safety Facilities by Using CA and LOPA when Leaking of HF Storage Facilities*, Pukyong National University, (2018)
- [2] Lee, D. J., Park, J., Min, D. L., Yoo, B. T., "Improvement of transportation vehicle management for prevention of chemical accidents", 2017 KIGAS Spring Meeting Proceedings, 72-74, (2017)
- [3] A Company, *Import Related Items Report*, (2017)
- [4] A Company, *HF ISO Tank Transport Status Report*, (2017)
- [5] H Company, *Cl2 Unloading Working Procedure*
- [6] Ministry of environment, *Hube Globle Fluoride Leakage Respinse White paper*, 3, (2013)
- [7] Ministry of environment, *An accident case*, (2018)
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), *ALOHA Technical Documentation*, (2013)
- [9] Ministry of environment, *KEY INFO GUIDE FOR ACCIDENT PREPAREDNESS SUBSTANCES*, 164-165, (2014)