

Improvement in the Risk Reduction of Dikes of Storage Tanks Handling Hazardous Chemicals

Chang Hyun Shin^{1#}, Jai Hak Park²⁺

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

² Department of Safety Engineering, Chungbuk University, 52 Naesudong-ro, Heungduk-gu, Cheongju, Chungbuk, Republic of Korea

Abstract

The recent inspection results have revealed that a great number of dikes in domestic industries did not function well as they were installed under the Toxic Chemicals Act prior to 2015. However, the Chemicals Controls Act of 2015 has significantly enhanced the standards of dikes for efficient prevention of chemical accidents. The act specifies the details on dikes including the volume, thickness and bottom materials, and can be used as safety management instructions at the workplace. However, the standards focus only on detaining spilled chemicals, and are thus limited when applied to volatile chemicals with high vapor pressure. This study proposed the revised standards of dikes to minimize the endpoint of volatile chemical accidents, considering the surface area of spilled chemicals. Maintaining the distance between the sides of storage tank and the dike within 1.5 m was found to be the most effective for preventing chemical accidents and reducing damage.

Key words: hazardous chemicals, chemicals control act, handling facility

1. 서 론

2015년 이전에 설치된 유독물질 취급 사업장에는 유해화학물질관리법에 따른 유독물질 취급시설 기준(별표 3)이 적용되었다. 2015년 이전까지 시행된 기존 유해화학물질관리법의 취급시설 기준은 시설 유형별로 세분화된 기준이 규정되지 않았고, 화학사고를 예방하기 위한 목적을 달성하기 위한 개괄적·선언적 수준에 그쳐 시설 안전 관리상 사각지대가 존재할 수 있었다

(Shin, 2015). 특히, 저장탱크, 보관창고 등 유독물질을 다량으로 저장·보관하고 있는 시설에 대한 기준이 상당히 미흡하였다. 이 법에서는 액체 유독물질을 저장하는 시설 주변에 저장탱크에서 유출된 물질이 외부로 확산되지 않도록 방류벽을 설치하도록 요구하는 수준이었다. 구체적인 시설기준이 제시되지 않았고, 통일화된 기준이 없어 사업장은 자율적인 판단을 근거로 방류벽을 설치하였다. 이로 인해 사업장의 기술역량에 따라 시설 안전 관리에 상당한 편차가 발생하는 결과를 초래

The 1st author: Chang Hyun Shin, Tel. +82-42-605-7041, e-mail. yjoy122@korea.kr

+ Corresponding author: Jai Hak Park, Tel. +82-43-214-6290, e-mail. jhpark@chungbuk.ac.kr

하였다. 실제로 중소□영세 사업장을 대상으로 실시한 안전관리 실태 조사를 통해 방류벽 관리가 대체로 미흡한 것을 확인할 수 있었다. 2014년 10월에 여수 소재 유독물질 취급사업장 3개소를 대상으로 방류벽 시설관리 현황을 조사한 결과, 현장평가 대상 6개 방류벽 중 3개 방류벽이 미흡하게 설치된 것으로 나타났다. 방류벽 용량 부족, 방류벽과 저장탱크 간 이격거리 협소 등이 주요 원인이었고, 유출사고 발생 시 외부로 확산될 가능성이 상당히 높아 보였다. 또한, 2013년 3월에 실시한 정부 합동조사 결과에서도 많은 시설에서 방류벽 설치기준이 미흡한 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2014). 이렇게 시설관리가 미흡한 방류벽은 유출된 물질을 효과적으로 차단하지 못하고, 이로 인해 화학사고 피해를 주변에 확산시키는 부작용을 초래하게 되므로 위험성을 줄이기 위해 시급하게 개선되어야 한다.

화학물질관리법에 따른 유해화학물질 취급시설 설치 및 관리 기준(별표 5)이 즉시 적용되므로 2015년 이후에 설치되는 신규 사업장은 강화된 방류벽 설치기준을 준수하여야 한다. 아울러, 2015년 이전에 설치된 기존 사업장도 유예기간이 만료되는 2020년부터는 신규 기준을 준수하여야 한다. 새로운 기준은 화학사고 사례 분석, 현장조사, 법령조사 등을 토대로 관리의 사각지대를 줄이고, 잠재적인 화학사고 위험요인을 최소화하고자 방류벽 기준을 세부적으로 정비하였다. 저장탱크에서 유출된 물질이 방류벽을 넘지 않도록 용량기준을 보완하고, 그 동안 법령에서 관리되지 않았던 방류벽 바닥재질에 대한 불침투성 기준을 신규로 제정하였다. 새롭게 도입된 방류벽 설치기준은 산업계가 손쉽게 이행이 가능한 수준으로 현장 적용성을 개선하였고, 행정□경사 기관이 제도를 안정적으로 운영할 수 있는 기반을 마련하는데 기여하였다. 다만, 화학물질관리법에 따른 방류벽 취급시설 기준은 유출된 물질을 억류하는 것에 국한되고, 증기압이 높은 물질의 확산 위험성을 줄이기 위한 세부기준은 미흡한 것으로 조사되었다. 이에, 본 연구에서는 작업공간, 확산 영향범위, 유출 표면

적 등을 고려하여 휘발성이 높은 유해화학물질의 경우에도 사고의 위험성을 줄일 수 있는 방류벽 설치기준을 제시하고자 한다.

II. 국내□외 방류벽 설치 기준 현황

1. 국내 법령

법의 목적 및 화학물질의 취급 용도에 따라 국내 화학물질 관리 법령은 7개로 분류된다. 이 중 화학물질을 폭넓게 관리하는 주요 법률에는 화학물질관리법, 산업안전보건법, 위험물안전관리법, 고압가스안전관리법으로 4개의 법률이 있다(Kim, 2012). 환경부에서 관리하는 법령은 화학물질관리법으로 2015년부터 시행중에 있으며, 2012년 구미 불산사고 이후 관리 대상물질을 유독물질, 사고대비물질, 금지물질, 제한물질, 허가물질 등 유해화학물질로 대폭 확대하여 사고예방을 위해 엄격히 관리하고 있다. 다만, 신규로 설치되는 사업장에 대해서는 화학물질관리법에서 정한 유해화학물질 취급 시설 및 설치 기준을 즉시 적용하고 있으나, 2015년 이전에 설치한 사업장이거나 신규 설치 사업장이더라도 2015년 이전에 착공이 진행된 사업장은 강화된 취급시설 기준을 갑자기 적용하기가 곤란하여 2019년까지는 기존 유해화학물질관리법이 적용된다(Ministry of Environment, 2014: 화학물질관리법). 신규 사업장의 수가 기존사업장의 비에 많지 않기 때문에, 향후 5년간은 기존 유해화학물질관리법이 대체적으로 적용되는 법으로 볼 수 있다. 이에, 본 연구에서는 2020년 이전에는 대부분의 유해화학물질 취급시설에 적용되는 유해화학물질관리법의 취급시설 기준을 타 법령과 비교하였다.

국내 화학물질 법령 상 방류벽에 대한 취급시설 기준을 <Table 1>에 요약해서 나타내었다. 산업안전보건법, 위험물안전보건법이 비교적 방류벽 기준이 상세하게 제시되어 저장탱크에서 유출된 사고가 확산되는 것을 막는데 적절한 수준으로 사료된다. 다만, 위험물안전관리법은 화재□폭발이 주변 시설로 확대되지 않는 조치

Table 1. Dike installation standards of domestic chemical control act

Type	Toxic Chemical Act	Occupational Health and Safety Act	Safety Control of Dangerous Substances Act	High-Pressure Gas Safety Control Act
Material	None	Reinforced concrete or mud wall	Reinforced concrete or mud wall	Reinforced concrete or mud wall, etc.
Strength	None	Resisting fluid pressure	Structure without spill or leakage	Resisting fluid pressure
Internal volume	None (External spill or leakage not allowed)	over maximum volume tank	Over 110% of maximum volume tank	over maximum volume tank
Height	None	0.5~3.0 m	0.5~3.0 m	As low as the least interference in safety activities
Distance to tank	None	External spill or leakage not allowed	- Below 15m of diameter : more than 1/3 of the tank height - More than 15m of diameter : more than 1/2 of the tank height	None
Number of tanks	None	None	No more than 10 (Limited exception allowed)	None
Chemicals which installation is not allowed within the same dike	None	Chemically reacted chemicals causing danger or hazard	None	Flammable-oxidizing or flammable-toxic chemicals
Material of dike bottom	Impermissible	Corrosion proof	None	None

※ 자료: 국내 화학물질 관리 법령을 저자가 재구성

에 국한되고, 산업안전보건법은 화재·폭발, 독성누출로 인한 화학사고가 주변 근로자 또는 주변 시설로 확대되지 않는 조치에 초점이 맞춰져 있어 일부 기준이 없거나, 방류벽 바닥재의 불침투성 기준이 구체적이지 않다. 이로 인해 저장탱크 유출사고가 발생하는 경우 방류벽 외부로 유해화학물질이 유출되거나, 방류벽 바닥을 통해 토양·수계 등으로 확산되어 주변 환경이나 주민에게 영향을 주는 사고로 확산될 가능성이 높다. 고압가스안전관리법은 위험물안전관리법 및 산업안전보건법에 비해 완화된 수준으로 관리되고 있다. 유해화학물질관리법은 환경부 관리 법령으로 엄격하게 관리되어야 함에도 불구하고 단순히 유출된 물질이 방류벽 외부로 확산되지 않도록 사업장이 관리하도록 요구하는 선언·개괄적 기준으로 사고를 관리하기에는 가장 미흡하다. 또한, 모든 법률에서 방류벽 바닥에 대한 불침투성 기준이 구체적이지 않고, 기준이 없거나 단순히 불침투성을 유지해야 하는 요건만 상징적으로 제시하여 화학사고를 예방하기에는 미흡한 것으로 조사되었다(Ministry of Environment, 2013; 유해화학물질관

리법). 사실, 저장탱크에서 대량의 물질이 방류벽으로 유출되는 사고의 빈도는 낮으나, 사고가 발생하는 경우 대형사고로 이어지기 때문에 반드시 관리가 필요하다. 2019년까지 시설기준이 미흡한 유해화학물질관리법 관리 법령으로 지속된다면 위험성이 높기 때문에 저장탱크에서 발생할 수 있는 확산사고의 피해를 줄이기 위한 별도의 대비책이 반드시 강구해져야 할 것으로 사료된다. 따라서, 정부차원에서 유해화학물질 저장탱크에서 발생하는 다량의 유출사고로부터 야기되는 잠재적인 유출사고 확산을 효과적으로 막기 위해서는 방류벽 기준을 구체화·상세화하고, 유출을 원천적으로 차단하는 기술지침을 제정하여 산업계에 배포할 필요가 있다.

2. 국외 법령

화학물질에 대한 취급시설 기준을 나열식으로 제시하는 규제 중심형의 국내 법령과는 달리 국외 화학물질 법령은 유해성·위해성이 높은 고 위험물질에 대한 안전관리 지침을 제시하여 사고예방을 추구하는 목적 중심형 기준으로 관리되고 있다(Shin, 2015). 이런 이유

Table 2. Dike installation standards of foreign chemical control act

Type	Verwaltungsvorschriften zum Vollzug der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe(Vaws, Germany)	High-Pressure Gas Safety Control Act(Japan)
Material	Material chemically enduring the handling chemicals	Reinforced concrete
Strength	Resisting fluid pressure	None
Internal volume	110% of maximum volume tank	None (External spill or leakage not allowed)
Height	None	None
Distance to tank	Sufficient distance(generally more than 100mm)	None
Number of tanks	None	None
Chemicals which installation is not allowed within the same dike	Chemicals causing the damage of the dike function	None

※ 자료: 독일, 일본 법령을 저자가 재구성

Table 3. Statistics of domestic chemical accidents

Type	Year	Chemical accidents		Chemical accident of storage tanks	
		Total	Sum	Spill & leakage	Fire & explosion
	2012	9	1	0	1
	2013	87	9	8	1
	2014	104	14	12	2
	Total	324	24	20	4

※ 자료: 환경부 자료(2014)를 저자가 재구성

로 국내외의 기준을 일대일 방식으로 비교하는 것은 적절하지 않다. 본 연구에서는 선진국 기준에 비해 비교적 법령이 상세한 독일의 방류벽 기준과 일반적인 선진국 수준에 해당하는 일본의 방류벽 기준을 자세히 분석하여 국내 기준과 동일한 형식으로 <Table 2>에 나타내었다. 일본의 고압가스안전관리법의 경우 국내 유해화학물질관리법과 유사하게 해당 저장탱크에서 유출된 물질이 외부로 유출되지 않도록 관리하는 개괄적인 수준으로 조사되었다. 반면에, 독일의 수질위해물질의 취급시설과 전문업에 관한 시행령에 따른 방류벽 기준은 비교적 구체적이다. 다만, 높이 기준과 및 동일 방류벽 내에 설치되는 저장탱크의 최대 수량에 대한 기준이 없고, 탱크와 방류벽 간 이격거리를 10 cm 이상으로 관리하여 국내 기준에 비해 작업공간이 충분하지 않아 사고 발생 시 방제활동에 지장을 초래할 수 있다. 또한, 방류벽 내 혼용금지 물질이 구체화되지 않아 물질 성상에 대한 정보가 부족한 사업장에게는 함께 보관할 경우 위험한 물질을 함께 보관하는 경우를 야기할 수 있다.

III. 국내 저장탱크 유출사고 발생 현황

환경부에 신고된 화학사고 조사결과에 따르면 2012년부터 2014년까지 최근 3년간 발생한 화학사고는 총 204건이었다(Ministry of Environment, 2014: 보도 자료). 2012년 구미 불산 유출사고 이후 화학사고가 대폭 증가하였고, 앞으로도 사고 건수가 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 이는, 그 동안 사업장에서 신고를 누락한 경우가 있어 실제보다 적게 신고될 가능성이 높았지만, 이제는 화학물질관리법이 시행(2015년 1월 1일)되면서 사업장이 화학사고를 의무적으로 즉시(15분 이내) 신고해야 하는 제도로 인해 신고 건수는 더욱 높아질 것으로 예상되기 때문이다. 이 중 유해화학물질 저장탱크 주변에서 발생한 화학사고는 총 24건으로 조사되었다. 화학사고 형태를 자세히 분석한 결과, 화재·폭발 사고는 20건, 유출·누출 사고는 4건으로 분류되었다. 연도별로 국내에서 발생한 저장탱크 사고의 상세 현황을 <Table 3>에 나타내었다. 특히, 저장탱크 사고에서 발생한 화재·폭발 사고는 1건에서 2건으로 큰 변

화가 없는 반면에, 화재·폭발로 인한 화학사고는 2013년부터 대폭 증가하여 2013년 8건, 2014년 12건이 발생하였다. 사고는 주로 작업자 부주의, 안전수칙 미준수, 시설관리 미흡 등으로 인해 일어났다.

저장탱크에서 발생한 화학사고의 대부분은 소량의 유해화학물질이 방류벽에 누출되는 사고로 단기간에 폐수처리장으로 안전하게 회수처리 된다. 그러나, 유출·누출을 신속하게 감지하지 못해 사고대응이 지연되는 경우에는 순식간에 다량의 유해화학물질이 방류벽으로 유출된다. 폐수처리장은 생물학적 처리를 위해 유입되는 양이 시간에 따라 조절되기 때문에 일시적으로 다량의 유해화학물질이 폐수처리장으로 유입되는 것은 불가능하다. 따라서, 많은 양이 유출되는 경우에는 폐수처리장으로 회수되는데 상당한 시간이 소요되고, 방제활동이 지연되어 방류벽 내부에 체류하는 시간이 늘어난다. 2013년 1월에 발생한 상주 염산사고의 경우 유출된 물질이 회수처리 되는데 약 3일이 소요되었고, 2014년 4월에 발생한 울산 원유사고는 약 7일이 소요되었다. 과거 화학사고 사례처럼 저장탱크에서 다량으로 유출되는 사고는 언제든지 일어날 수 있기 때문에 이러한 사고를 사전에 반드시 대비해야 한다. 최악의 경우 저장탱크에서 보유한 전체 용량이 방류벽으로 유출될 가능성을 배제하지 말고 모든 사고 가능성을 대비해야 한다. 이를 위해서는 저장탱크 주변에 적절한 방류벽을 설치하는 것이 필수적이다. 그러나, 2019년까지 적용되는 기존 유해화학물질 관리법에서는 방류벽에 대한 기준이 미흡한 관계로 사업장이 안전관리를 소홀히 하는 빌미를 제공하였고, 이로 인해 다량의 유출사고에 대해서는 사업장이 관리할 수 있는 범위를 넘게 되어 사고의 위험성이 높게 되었다. 앞으로 유해화학물질 취급시설에 대해 정밀 검사를 확대 실시하여 방류벽에 대한 위험성을 파악하여 미흡한 시설이 개선될 수 있도록 정부와 산업계가 함께 협력해야 할 것이다.

IV. 방류벽 시설기준 변화 및 위험성 저감 방안

1. 화학물질관리법에 따른 방류벽 취급시설 기준 변화
2015년부터 설치되는 신규 사업장이거나, 2015년 이전에 설치된 기존사업장은 2020년 이후에는 화학물질관리법에 따라 유해화학물질 취급시설을 설치해야 한다. 화학물질관리법에서는 유해화학물질 취급시설을 제조·사용 시설, 실내 저장·보관 시설, 실외 저장·보관 시설, 지하 저장·보관 시설, 차량 운반 시설, 배관 이송 시설(사외배관) 등 총 6개 시설 유형으로 분류하였다. 기존 유해화학물질관리법 취급시설 기준(별표 3)에서는 화재·폭발, 독성누출에 대한 개괄적인 수준을 제시했지만, 화관법에서는 6개 시설 유형별로 건축물, 배관·밸브, 사고예방, 피해저감에 대한 구체적 기준을 총 412개 항목으로 세분화하였다(Shin, 2015). 사업장은 신규 법령이 지나치게 강화된 규제로 체감할 수 있으나, 기준을 구체화하여 산업현장에서 기술자료로 활용되는 계기를 마련한 것으로 보는 것이 타당하다. 기준이 모호하고, 미흡한 경우 시설검사, 지도·단속에서 기준 적용에 대해 산업계와 행정기관 사이에 불필요한 의견충돌이 발생할 수 있다. 더욱이 사고를 예방하기에 시설의 안전이 충분히 담보되지 않아 사업장은 잠재적인 위험에 항상 노출되게 된다. 따라서, 구체화·세분화된 화학물질관리법 취급시설 기준은 지나친 산업계 규제로 인식되는 것은 바람직하지 않고, 현장 적용성을 개선한 것으로 보는 것이 합리적일 것이다.

특히, 화학물질관리법 취급시설 기준에서는 사고사례 분석을 통해 사고의 위험성이 높은 저장탱크 유출사고를 예방·대비하고자 방류벽 설치기준을 확립하는데 주력하였다. 방류벽의 재질과 두께 기준에 대해서는 철근콘크리트 등으로 해당물질의 액압을 충분히 견딜 수 있도록 제시하였다. 이 경우, 사업장이 취급하는 물질의 양·종류·온도·압력 등에 따라 기술적인 판단으로 설치할 수 있으나, 산업계에서 통상적으로 설치하고 있는 방류벽 현황을 고려해볼 때, 철근콘크리트 구조물로 10~15 cm 이상으로 설치하고 있는 것을 권고할 수

있다. 저장탱크에서 유출된 물질이 외부로 확산되는 것을 막기 위해서는 방류벽을 0.5 m 높이 이상으로 최대 저장탱크 용량의 110%에 맞게 유효면적을 고려하여 설치하도록 의무화하였고, 평상 시 주기적인 점검과 사고 시 방제활동에 필요한 작업공간 확보를 위해 저장탱크 외면과 방류벽 사이의 이격거리를 1.5 m 이상 유지하도록 구체화하였다. 아울러, 방류벽 내에 설치하는 탱크의 수는 10개 이하를 설치하는 것을 원칙으로 하나, 인화점 및 저장용량을 고려하여 위험성이 적은 물질은 10개를 초과할 수 있도록 하였다. 다만, 인화성 액체와 산화성 액체, 부식성 산과 염기의 혼용으로 인해 발열반응이 일어날 우려가 있는 물질의 경우는 동일 방류벽 내에서 혼용하여 설치할 수 없도록 금지하였다. 또한, 방류벽 내부에 고인 물을 배출하기 위한 배수구를 설치하여 그 개폐밸브(drain valve)를 방류벽 외부에 설치하도록 하여 신속히 고인 물을 배출시켜 물과의 접촉으로 인한 사고의 위험성을 줄였다. 작업에 필요한 조명을 75 룩스(lux) 이상을 확보할 수 있도록 하였고, 저장탱크의 안전설비에 불필요한 설비는 원칙적으로 방류벽 외부로 설치하도록 의무화하였다. 그리고, 방류벽 바닥재질에 대해 현장실험을 통해 콘크리트 강도 21 MPa 이상, 두께 10 cm 이상 등 불침투성 콘크리트로 설치할 수 있는 세부기준을 새롭게 제시하였다(화학물질안전원, 2015).

2. 사고 영향범위 최소화를 위한 방류벽 위험성 저감 방안

1) 연구방법

화학물질관리법에 따른 방류벽 취급시설 기준이 산업현장에 정착될 경우 저장탱크의 유출사고를 최소화하는데 기여할 것으로 예상된다. 탱크에서 유출된 물질이 적절한 용량을 갖춘 방류벽 내부에 적절히 억류되고, 폐수처리장 등 외부시설로 안전하게 회수·처리 되는 기간에 방류벽 바닥을 통해 스며들지 않아 주변 환경으로 확산되는 사고를 효과적으로 차단될 것이다. 그 동안 법령에서 관리하지 못한 안전관리의 사각지대를 최소화하고, 미흡한 기준을 구체적으로 정비함으로써 타

법령보다 현장 활용성이 높은 화학사고에 대한 통합 관리법령으로 활용될 것으로 기대된다. 다만, 본 기준은 확산의 위험성 측면에서는 보완이 필요하다. 새롭게 적용되는 화학물질관리법에 따른 방류벽 취급시설 기준은 유출된 물질을 방류벽 내부로 억류하는 것에는 효과적이다. 다만, 취급하는 유해화학물질이 증기압이 높아 휘발성이 강한 인화성 액체·기체 또는 독성물질인 경우에는 방류벽 내부에서 억류되고 있는 동안 주변 대기로 확산되기 때문에 확산의 위험성을 고려하지 않은 미흡한 점이 있다. 이 경우, 주변에 확산되는 영향범위는 방류벽 내부에 억류된 물질의 표면적에 비례하여 증가하기 때문에 반드시 유출된 물질의 표면적을 최소화하는 것을 고려하여야 한다. 이에, 본 연구에서는 유출 표면적을 줄이기 위해 방류벽과 저장탱크 간 이격거리(D)에 대해 세 가지 사례를 비교 분석하여 방류벽 설치기준에 대한 기술적 기준을 제시하여 화학사고의 영향을 감소시키는 데 기여하고자 하였다.

먼저, 상세한 기술분석을 위해 저장탱크에 설치된 방류벽 설치 현황을 정면과 상부에서 본 모습을 <Figure 1>과 같이 각각 나타내었다. 저장탱크의 용량은 $\pi \times d^2 \times a \times m^3$ [1]이며, 이는 사고 시 유출되는 총용량이다. 방류벽은 직사각형으로 길이 L(m), 너비 W(m), 높이 H(m)이며, 이 경우 저장탱크에서 유출된 물질을 억류할 수 있는 유효용량은 $L \times W \times H \times m^3$ [2]이다. 이론적으로 방류벽 유효용량 [2]가 저장탱크의 [1] 이상인 경우 저장탱크에서 유출된 물질이 방류벽 외부로 넘치지 않고 방류벽 내부에서만 억류하게 된다. 반면에, 방류벽 유효용량 [2]가 저장탱크의 [1] 미만인 경우 저장탱크에 유출된 물질이 [2]-[1] 용량의 유출물질이 방류벽 외부로 흐르게 된다. 이 때, 방류벽 외부로 흐르는 방향은 4면으로 가정하고, 2015년부터 시행되는 장외영향평가의 사고시나리오 선정에 관한 기술지침(화학물질안전원, 2015)에 따라 유출된 액체의 물질은 1 cm 깊이로 형성되는 것으로 가정하였다. 아울러, 방류벽 벽체는 철근 콘크리트 등의 재질로 해당 물질의 액압을 충분히 견딜 수 있도록 설치하도록 되어 있으며, 통상적으

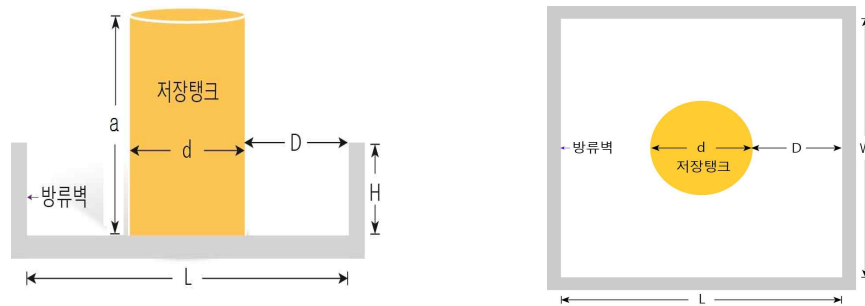


Figure 1. Installation diagram of storage tank and dike(Left : front view, Right : top view)

로 10~20 cm 내외로 설치되고 있다. 여기에서 방류벽 벽체의 두께는 확산 범위 m 에 비해 작기 때문에 확산 범위 면적에서는 고려하지 않았다. 따라서, [2]-[1]의 용량은 방류벽 외부로 1 cm로 원형으로 퍼져 나가는 면적의 확산용량[3]과 같기 때문에 [3]에서 최종 유출 확산 범위를 산출할 수 있다.

본 연구에서는 저장탱크의 용량 [1]과 방류벽의 유효 용량 [2]를 방류벽과 저장탱크 간의 이격거리 (D)를 지배변수로 하여 거리에 따른 시나리오별 작업의 난이도, 사고의 유출 영향범위의 최적화 안을 검토하였다. 이 경우, 단순히 이격거리(D)만 고려한 것이 아니라, 방류벽 높이(H)를 함께 설계변수로 제시하였다.

2) 연구결과

(1) $D < 1.5$ m 경우

방류벽과 저장탱크 간 이격거리(D)가 1.5 m 이내인 경우에는 화학물질관리법 취급시설 기준을 만족하지 않아 적합한 시설로 인정될 수 없다. 방류벽 이격거리가 충분하지 않아 방류벽 내부에서 점검·정비 활동에 지장을 초래하여 사고의 가능성과 빈도를 높이고, 사고 시에는 작업공간이 협소하여 방제활동을 지연시켜서 위험성을 증가시키는 부작용을 초래한다. 따라서, 단순히 방류벽 내부의 유출 표면적을 줄이거나 설치 공간을 최소화하기 위해서 방류벽 이격거리를 줄이는 것은 상당히 위험할 수 있다. 한편, 방류벽 유효면적을 저장탱크의 110% 이상으로 맞추기 위해서는 이격거리가 충분하지 않아 거리(L) 및 너비(W)가 작기 때문에 상대적으로 방류벽 높이(H)가 높아지게 된다. 현장조사, 타법 사

례조사 등의 결과로 미루어 볼 때, 통상 방류벽 높이는 3 m 이하로 설치하는 것이 시설 관리 측면에서 바람직하므로 방류벽 높이(H)를 지나치게 높이는 것은 바람직하지 않다. 방류벽 높이를 증가하는 경우 시설 관리가 어렵고, 방류벽 내부에서 작업하는 근로자가 사고에 노출되어도 육안으로 위험을 확인하기 어려운 문제점을 야기하기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 방류벽 높이를 3 m 이하로 설치하여 방류벽 유효용량이 충분하지 않은 경우 저장탱크에서 유출된 유해화학물질이 방류벽 외부로 흘러 유출면적이 증가하여 사고 피해범위가 더욱 확산된다. 따라서, 이격거리가 1.5 m 이내인 경우에는 법적 기준에도 미흡하고, 사고 위험성이나 시설 운영·관리 측면에서도 불리하다.

(2) $D > 1.5$ m 경우

방류벽과 저장탱크 간 이격거리(D)가 1.5 m를 초과하는 경우에는 취급시설 기준에 적합으로 인정된다. 충분한 작업공간이 확보되기 때문에 평상 시 정비·점검 활동이 원활하게 이루어지고, 사고 시 방제활동에 불편한 점은 없다. 아울러, 방류벽 유효면적을 저장탱크의 110% 이상으로 맞추는데 거리(L) 및 너비(W)가 충분하기 때문에 상대적으로 높이(H)를 권장치 3 m 이하로 설치할 수 있어 높이에 대한 문제점을 해소하여 사고 위험성, 시설 운영·관리 측면에서 안정적이다. 이러한 시설은 증기압이 낮아 휘발성이 없는 황산, 가성소다 등 일부 부식성물질의 경우에는 효과적이다. 그러나, 방류벽 거리(L) 및 너비(W)가 1.5 m를 초과하여 사업장이 취급하는 물질이 증기압이 높은 인화성 액체·기체

또는 급성독성 물질을 취급하는 경우에는 그 사고영향이 다르다. 작업공간을 방류벽 설계의 주요 설계인자로 한정하여 방류벽 이격거리를 불필요하게 늘리는 경우 유출 표면적이 증가하게 된다. 유출 표면적에 비례하여 증발□휘발된 유해화학물질이 사업장 경계선 밖으로 확산이 증가하여 화재□폭발, 독성 누출 사고를 주변 주민이나 환경으로 피해범위를 확대시킨다. 따라서, 취급하고 있는 물질의 물질안전보건자료(MSDS)에서 증기압에 따른 증발□휘발 가능성을 판단하여 증기압이 낮은 경우에는 방류벽 이격거리(D)를 1.5 m 초과하는 것이 가능하나, 증기압이 있는 경우에는 방류벽 이격거리(D)를 단순히 확대시키는 것은 바람직하지 않다.

(3) D = 1.5 m 경우

방류벽과 저장탱크 간 이격거리(D)가 1.5 m를 유지하는 경우 법적인 기준에 적합하고, 작업공간이 어느 정도 확보된다. 아울러, 증기압이 높아 증발되는 유해화학물질의 확산을 줄이기 위한 유출 표면적을 상당히 최소화할 수 있는 기준으로 사고의 영향범위를 줄이는데 가장 효과적이다. 이격거리가 1.5 m 이내와 초과하는 경우 예상되는 단점을 최소화하고, 장점을 극대화시킨 가장 합리적인 방안으로 사료된다. 이격거리가 1.5 m인 경우 방류벽 길이(L)와 너비(W)가 동일한 정사각형의 방류벽이 되고, 나머지 설계 인자는 방류벽 높이(H)가 되어 저장탱크의 용량의 110% 이상을 수용할 수 있는 방류벽 유효용량의 계산식으로부터 높이(H)를 산출할 수 있다. 한편, 저장탱크 용량에 따라 산출되는 방류벽 높이(H)가 3 m를 초과하는 경우도 예상할 수 있다. 이 경우, 저장탱크 용량을 고려하여 방류벽 높이(H)를 3 m 이하로 변경하고, 이격거리(D)를 1.5 m 범위에서 크게 벗어나지 않는 범위로 조정하여 높이 과다로 인한 문제점을 보완하는 것이 좋다. 만약, 계산식에서 방류벽 높이(H)가 0.5 m 미만으로 산출되는 경우에는 방류벽이 외부인의 출입을 통제하는 일부 기능을 고려하고, 법적 기준을 맞추기 위해서 0.5 m 이상으로 설치하는 것이 바람직하다.

V. 정책적 평가와 제언

2015년 이전에 적용된 유해화학물질관리법에서는 방류벽 설치에 대한 기준이 구체적이지 않아 사업장은 저장탱크에서 유출되지 않는 수준에서 자율적으로 관리하고 있었다. 대기업은 물론 중소기업세 사업장은 기술□정보가 미흡하기 때문에 사고에 취약할 수밖에 없었다. 앞에서 살펴본 바와 같이, 본 연구에서 제시한 방류벽 설치에 대한 너비, 높이 등에 대한 이격거리 기준은 휘발성이 강한 유해화학물질의 경우 유출 표면적을 최소화시켜 사고 영향범위를 줄이는데 상당한 기여를 할 것으로 기대된다. 특히, 그 동안 위험물관리법과 중복되는 물질의 경우 위험물관리법에 따라 저장탱크 지름에 따라 방류벽과 저장탱크의 이격거리를 1/3~1/2m 이상으로 설치되어야 했다. 그러나, 이는 인화성 액체의 경우 과도한 이격거리로 인해 유출 표면적이 증가하는 위험성을 낳게 된다. 하지만, 본 연구에서 제시한 이격거리를 준수하는 경우 저장탱크와 방류벽의 거리를 1.5m 수준으로 설정하고, 높이에 따른 약간의 보정을 하게 되면 작업에 지장이 없고, 사고의 영향범위가 최소화된다. 하지만, 본 기준이 현장에서 실효성 있는 제도로 안착되기 위해서는 몇 가지 보완할 사항이 있어 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 2015년 이전에 설치된 유해화학물질 취급사업장의 방류벽 이격거리는 시설개선이 곤란한 사항을 고려할 필요가 있다. 신규로 설치하는 사업장은 설계 단계부터 방류벽의 이격거리 1.5m 이상을 고려하여 설계한다. 그러나, 기존에 시행된 유해화학물질 관리법에 따라 설치된 방류벽은 저장탱크와 방류벽 이격거리 1.5m 이상을 준수해야 하는 의무가 없었기 때문에, 이를 개선하기 위해서는 물리적 공간을 고려해야 하고, 배관, 펌프 등 주요시설을 재배치하는 어려움이 발생하게 된다. 물리적 공간이 부족한 경우 이격거리를 맞출 수 있는 방법이 없기 때문에 법을 준수하기 불가능하고, 주요시설을 재배치는 공사로 인해 사고가 일어날 수 있는 위험에 노출될 수 있다. 따라서, 기존 사업장은 물리

적 공간이 협소하여 방류벽 4면을 1.5m 이격하는 것이 곤란하다고 기술적으로 인정되는 경우, 정비, 보수, 사고 방제활동 등에 지장이 없는 것을 고려하여 2면까지 1.5m 이격하는 대안을 검토할 필요가 있다.

둘째, 저장탱크의 용량을 고려하여 방류벽의 이격거리를 차별화할 필요가 있다. 현행처럼 모든 저장탱크의 용량, 지름 등을 고려하지 않고, 일괄적인 1.5m 이격거리를 준수하도록 하는 것은 소량을 취급하는 중소업체 사업장의 경우는 사업장 공간이 협소하여 제도이행에 사업장 부담이 될 수 있다. 아울러, 위험성이 적은 화학물질을 소량으로 취급하는 경우 방류벽 이격거리를 4면으로 1.5m 이격하도록 하는 것은 불합리한 기준으로 인식될 수 있다. 소량인 저장탱크를 취급하는 경우, 육안으로 저장탱크 내부를 확인하기 수월하고, 사고발생 시에도 유출, 확산 등 사고피해가 매우 확산될 가능성이 낮기 때문에 1.5m를 일괄적으로 이격하도록 하는 것은 비현실적일 수 있다. 따라서, 방류벽 이격거리를 완화해도 사고 예방□대응에 지장이 없는 저장탱크 용량의 소량기준을 정해서 소량기준 미만을 취급하는 경우 이격거리 기준을 개선한다면 제도의 효율성을 높일 수 있다.

셋째, 방류벽 이격거리를 준수하는 하드웨어(Hardware) 측면 이외에 사고의 피해를 줄일 수 있는 소프트웨어(Software) 측면을 보완하는 경우 이격거리를 완화하는 기준을 도입할 필요가 있다. 현행은 사고발생 시 모든 물질을 충분히 억류하는 것을 대비해 저장탱크 용량을 110% 이상으로 방류벽을 설계하되, 1.5m를 저장탱크와 이격하도록 하는 등 시설에 집중해서 사고를 대비하고 있다. 그러나, 방류벽 내부와 저장탱크에 설치된 각종 센서, 감지기, 자동 밸브개폐 스위치 등을 이용하는 경우 저장탱크에서 유출된 물질을 장시간 억류할 필요가 없다. 저장탱크에서 유출된 사고가 발생하는 경우 신속하게 방류벽 내부에 설치된 가스감지기, 누액감지기, pH미터 등 유출 감지센서를 이용하여 유출을 감지하고, 폐수처리장으로 연결된 자동 개폐밸브를 열어 신속하게 폐수처리장으로 유입되는 경우 방류벽에 체류

하는 시간과 용량이 줄어들게 된다. 따라서, 이러한 안전설비와 시스템이 구비된 사업장의 경우 일괄적인 방류벽 이격거리 1.5 m를 제시하는 것보다는 시설투자를 유도하고, 안전을 확보할 수 있도록 이격거리를 완화하는 것이 더욱 효과적이다.

VI. 결 론

2012년 이후 지속적으로 발생하는 저장탱크 유출사고로 인해 방류벽 설치기준을 체계화하여 사고의 위험성을 개선해야 한다는 요구가 확산되었다. 정부는 현장조사, 법령 간 사례조사 등을 통해 화학물질관리법 제정을 통해 방류벽 설치기준을 대폭 개선하여 사고예방을 위한 가장 최적화된 기준으로 개정하였다. 근로자□시설 보호 대상의 한계를 넘어 사업장 경계 밖의 주민□환경을 보호하고자 방류벽 용량, 이격거리, 바닥재 불침투성 기준 등을 정립하였다. 다만, 본 법령에서 따른 방류벽 취급시설 기준은 증기압이 낮은 물질의 억류 조치에 초점이 맞춰져 있어 증기압이 있는 인화성□독성 물질로 확대 적용되기에는 한계가 있었다. 이에, 본 연구는 증기압이 높아 저장탱크에서 유출된 물질이 휘발성이 강한 물질의 경우 방류벽과 저장탱크 간 이격거리를 1.5 m의 물리적 거리를 기준으로 유효용량, 정비□점검□방제 용이성, 유출 표면적 등을 고려하여 가장 최적화된 설치기준을 도출하여 법령의 미비한 점을 개선하고자 하였다. 본 연구 결과, 유출물질의 영향범위를 최소화하고, 작업공간을 확보하기 위해서는 방류벽과 저장탱크 간 이격거리를 1.5 m 유지하고, 방류벽 높이를 저장탱크 용량의 110% 이상을 수용할 수 있는 수준으로 산정하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구결과를 통해 산업계에서는 방류벽 설계 시 표준 지침으로 활용할 수 있어 사고의 위험성은 줄이고, 현장활용성을 대폭 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 화학물질관리법에서 정한 방류벽 취급시설 기준을 통해 저장탱크에서 유출된 화학사고를 예방하는 측면에서는 상당한 효과가 있을 것으로 예상되나, 제

도口정책적 측면에서 보완이 필요하다. 2015년 이전에 설치된 기존사업장은 신속한 시설口설비 개선이 곤란하여 2019년까지는 강화된 화학물질관리법 기준이 유예되고, 기존의 미흡한 수준의 유해화학물질관리법이 적용받게 된다. 신규 사업장은 위험성을 줄이는 것이 가능하나, 기존 사업장은 향후 5년간은 엄격한 신규 법령 집행이 불가능하여 안전관리 측면에서 공백이 지속되는 문제점을 안고 있다. 이에, 기존 사업장이 강화된 방류벽 설치기준을 신속히 이행할 수 있도록 기술지원, 금융지원 등을 제공하여 유예기간이 만료되는 2020년 이전에 자발적인 시설 개선이 이루어지도록 정책적 지원이 필요할 것으로 사료된다. 아울러, 기존 사업장이 방류벽 시설을 개선하기 전에 저장탱크에서 유출된 물질의 사고 위험성을 줄이기 위한 대체 방안을 마련하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

Chun, K. S. 2013. Chemical Accident Response Information Systems Improvement Risk Assessment Research. *Korean Institute of Hazardous Materials*. 1(1): 79-87

Kim, S. B. 2012. A Study on Improving Management of Substances Requiring Preparation for Accidents Facilities. *Korean*

Society of Safety. 27(3): 77-82

Jeong, G. S. and E. S. Baik. 2014. A Study on the Improvement of Safety Management of Hazardous Chemicals Handling in the Workplace. *Dongshin University*. 28(1): 12-19

Shin, C. H., et. al. 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, C. H., et. al. 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

Ministry of Environment. 2014. *The Chemicals Control Act*. Ministry of Environment.

Ministry of Environment. 2013. *Places Handling Toxic Workplace 3,846 the Government Jointly Announced a Total Inspection Results*. Ministry of Environment.

Ministry of Environment. 2013. *The Toxic Chemicals Act*. Ministry of Environment.

National Institute of Chemical Safety. 2015. *Impermeable Standards for the Concrete Bottom of Dikes for Crude Oil Storage Tanks*. National Institute of Chemical Safety.

Received: Sep. 11, 2015 / Revised: Jan 15, 2015 / Accepted: Jan. 20, 2016

유해화학물질 저장탱크 방류벽의 위험성 저감 방안

국문초록 저장탱크에서 유출된 유해화학물질을 외부로 확산되는 것을 막기 위해 반드시 저장탱크 주변에 적절한 방류벽이 설치되어야 한다. 그러나, 최근에 사업장 안전관리 실태를 확인한 결과, 2015년 이전에 설치된 많은 사업장은 기준이 미흡한 「유해화학물질관리법」에 따라 설치되어 있어서 방류벽의 역할을 이행하기 어려울 것으로 나타났다. 반면에, 2015년부터 시행되는 「화학물질관리법」에서는 유출사고의 확산을 대비하기 위해 방류벽 설치기준이 대폭 강화되었다. 방류벽의 용량, 이격거리, 바닥재질 등을 구체화한 이 기준은 현장에서 안전관리의 수준을 대폭 기여할 것으로 기대된다. 다만, 이 기준은 유출된 물질을 방류벽 내에 억류하는 데 초점이 맞춰져 있어 증기압이 높은 물질의 확산 위험성을 고려하지 않은 한계가 있다. 이에, 본 연구에서는 휘발되는 물질의 확산 위험성을 고려하여 유출 표면적을 줄이고, 사고 영향범위를 최소화하는 방류벽의 세부기준을 제시하고자 한다. 연구결과, 저장탱크와 방류벽의 이격거리를 1.5m를 준수하는 경우 작업공간을 확보하기 용이하고, 사고 영향범위를 최소화할 수 있어 사고예방과 피해저감 측면에서 가장 효과적인 것으로 나타났다.

주제어 : 유해화학물질, 화학물질관리법, 취급시설, 방류벽

Profiles **Changhyun Shin** : 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).

Jai Hak Park : 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 “Improvement in two dimensional elasto-plastic finite element alternating method(1996)” and so on. The interested areas are safety engineering, fracture mechanics, material mechanics and so on(jhpark@chungbuk.ac.kr).