항만 위험 · 유해화학물질 안전관리 개선방안 연구

A Study on the Safety Management of Hazardous and Noxious Substances (HNS) in Port

이덕재* · 홍원표** · 권진욱*** · 송창근****

Lee, Deokjae*, Hong, Wonpyo**, Kwon, Jinwook***, and Song, Chang Geun****

Abstract

With the growth of the global economy, domestic HNS trade volume is on the rise, and the interest of the people is increasing every year because of the damage caused by the HNS leakage accidents. The improvement plan was drawn up the major domestic and foreign HNS leakage accident review, management problems, insufficient response to accidents in port, and the necessity of integrated safety management for HNS safety management. The integrated safety management system is expected to minimize damage and quickly recover by effectively preventing and responding to HNS accidents through the establishment of integrated information situation room centered on the Ministry of Environment and three-dimensional management using intelligent CCTV, mobile X-ray system and disaster surveillance satellite.

Key words : Hazardous and Noxious Substances (HNS), Integrated Safety Management System, Port

요 지

세계 경제의 성장과 더불어 국내 HNS 물동량은 증가 추세에 있으며 매년 항만 HNS 누출 사고에 따른 인명, 환경, 재산피해가 발생하고 있어 국민들의 관심이 날로 증가되고 있는 시점이다. 항만 HNS 안전관리를 위해 주요 국내 · 외 항만에서 발생한 사고 검토, 관리상 문제점, 사고 대응상의 미흡점과 통합 안전관리 도입 필요성 제기를 통해서 개선방안을 도출하였다. 통합 안전관리 시스템은 지능형 CCTV, 이동형 X-ray 시스템, 재난 감시 위성 등을 활용한 입체 관리와 환경부 중심의 통합 정보 상황실 구축을 통한 효율적인 항만 HNS 누출 사고 예방 · 대응이 이루어져 피해 최소화과 빠른 복구가 가능할 것으로 예상된다.

핵심용어 : 위험 · 유해화학물질(HNS), 통합 안전관리 시스템, 항만

1. 서 론

EU의 REACH(Registration, Evaluation, Authorization & Restriction of Chemicals, 화학물질의 등록 · 평가 · 허가 · 제한) 시행에 따른 화학물질 수입 규제 강화, 북미와 중동의 저가원료 기반 설비 증대에 따른 원가경쟁력 약화, 중국의 자급화에 따른 대중 수출 성장 둔화에도 불구하고 국내

정밀화학산업은 2013년 기준으로 수출 약 90억\$, 수입 약 160억\$를 달성하였으며 화장품, 염료, 염 · 도료, 계면활성제 등 HNS (Hazardous and Noxious Substance, 위험 · 유해 화학물질)을 가공하는 첨단소재산업의 수출이 지속 성장하고 추세이다(Ministry of Commerce Industry and Energy, 2015). 2006년부터 2010년까지 국내 유류와 HNS의 물동량은 전체 해상화물 중 약 45%를 차지하였으며(Woo, 2016)

*정회원, 인천대학교 안전공학과(E-mail: snu2580@snu.ac.kr)

Member, Researcher, Department of Safety Engineering, Graduate School, Incheon National University

**인천대학교 안전공학과

Researcher, Department of Safety Engineering, Graduate School, Incheon National University

***인천대학교 안전공학과

Researcher, Department of Safety Engineering, Graduate School, Incheon National University

****교신저자, 정회원, 인천대학교 안전공학과 부교수(Tel: +82-32-835-8291, Fax: +82-32-835-0779, E-mail: baybreeze119@inu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Department of Safety Engineering, Incheon National University

2015년 기준 국내 HNS 물동량은 전 세계 HNS 물동량의 약 19%로 전 세계 평균 증가율의 2.5배로 성장세가 가파르다 (Ministry of Public Safety and Security, 2015). 정밀석유화학 산업 등 HNS 관련 산업의 성장과 HNS 물동량의 증가 이면에는 항만 HNS 탱크로리 트레일러 운행 중 교통사고로 인한 누출, 수출·입을 위해 보관 중인 컨테이너 등 누출에 따른 화재·폭발, 이상반응에 따른 다양한 형태의 화학사고 발생하였다. 이로 인해 인명, 환경 상에 피해가 지속적으로 발생하고 있으며 안전관리에 대한 경각심이 고조되어 있는 환경에 놓여있다. 국내 법령에서 정의하고 있는 항만이란 선박의 출입, 사람의 승선·하선, 화물의 하역·보관 및 처리, 해양 친수활동 등을 위한 시설과 화물의 조립·가공·포장·제조 등 부가까지 창출을 위한 시설이 갖추어진 곳을 말한다 (Ministry of Oceans and Fisheries, 2017a). 항만에서 발생한 대표적인 국내 HNS 누출사고는 2015년 1월 12일 울산시 울산항에서 발생한 혼산(질산 80%, 황산 20%) 가스 누출사고이다. 울산항에서 혼산 적재 중 평형수 탱크에 남아있던 해수 등이 혼산 저장탱크의 미세한 파공 부위로 유입되어 혼산과 이산화탄소를 일으켜 화재와 유독가스가 발생한 사고이다. 이 사고로 선원 4명이 화상을 입었다(National Institute of Chemical Safety, 2017b). 국외 사례는 2015년 8월 12일/15일 중국 텐진항 컨테이너 부두 화학물질 저장소 폭발사고를 제시한다. 텐진항 컨테이너 부두의 위험물 저장창고에 1차 화재가 발생하여 화재 진압 과정에서 이상반응에 의한 연쇄 폭발사고가 발생하였다. 신고하지 않은 폭약의 원료물질인 질산암모늄, 질산칼륨 등 40여종의 화학물질이 혼합 보관되어 있었으며 화재로 인한 열의 축적과 물의 유입에 따른 이상반응으로 연쇄 폭발이 발생하여, 112여명이 사망하고 721여명 부상을 입었다(Kim et al., 2017; Choi, 2016). 앞의 HNS 누출 사고 사례의 시사점은 국내 항만의 화학물질 보관 장소에 대한 안전관리 점검이 필요하며 사고 발생 시 현장 대응에 대한 전반적인 검토와 문제점에 대한 보완이 요구된다. 2015년 8월 18일~28일 정부합동안전점검단은 국내 11개 항만의 대규모 HNS 하역시설과 저장소, HNS 취급사업장에 긴급 안전 진단을 실시하였다. 확인된 보완사항은 일정량(5 ton) 이하 소규모 고압가스, 위험물 보관·저장시설에 대한 관리책임 불분명, 안전관리자 미선임, 방재설비 미설치 등 여러 문제점이 노출되었다(Kuknimilbo, 2015). 더불어 항만 내 화학사고 발생 시 현장 대응 상에 여러 문제점이 제기되었으며, 이들을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 항만 내 관리회사별로 책임이 부여되어 있어 신속한 초기대응에 필요한 누출된 화학물질명, 유출량, 사고 발생 회사와 안전관리자 연락처 등에 대한 즉각적인 정보 획득이 어렵다 둘째, 항만의 경우 육상과 해상이 공존하는 공간으로 화학사고 발생 장소에 따라 책임기관이 환경부(육상) 또는 해양수산부(해상)로 이원화되어 있어 이에 대한 책임 조정이 필요하다. 셋째, 항만 내 화학사고 발생 시 최기지역의 환경부

환경청 또는 화학재난합동방재센터(이하 ‘합동방재센터’라 한다)에서 현장 대응을 위해 출동하는데 물리적인 거리와 교통 환경 등으로 인해 사고 대응의 골든타임을 놓쳐 버리는 경우가 발생할 수 있어 이에 대한 제도적 보완이 필요하다. 넷째, 유해화학물질 유출사고 위기대응 실무매뉴얼 상에는 화학사고 발생 시 폐기물처리, 방재물품 지원 등에 책임은 해당 지역의 지자체 책임으로 명시되어 있지만 항만 내 화학사고의 경우 지자체의 책임 관할 구역 외로 구분되어 신속한 후속지원의 문제점으로 제기되어 이에 대한 보완이 필요하다. 이와 같이 항만 내 화학사고 발생 시 다양한 문제점이 확인되었으며 이에 대한 예방 및 대비책이 절실한 시점이다.

항만의 HNS 안전관리에 대한 국내·외 기존 연구로 Cho et al. (2017)은 ETA (Event Tree Analysis, 사건수 분석기법)를 통해 국내에서 발생하고 있는 HNS 해상운송사고의 전개 과정을 분석하여 사고유형과 특징을 고찰하고, 시나리오별 확률과 F-N curve (Frequency-Number of Fatalities curve, 확률-사망자 수 곡선)로 표현함으로써 위험도를 평가하였다. Kim et al. (2017)은 항만에서 발생한 국내·외 화학사고를 중심으로 사고에 대응한 행위자들의 오류와 원인을 분석하는 방법론을 개발하였다. Woo (2016)는 항만에서 HNS의 누출 가능성이 높은 가상의 시나리오를 토대로 피해범위에 따른 대응방안을 제안하였다. Sunaryo et al. (2017)은 항만 컨테이너 터미널에서 빈번하게 발생할 수 있는 사고 원인을 결합수 분석기법을 통해서 안전 위험 평가에 대해서 연구하였다. Pallis (2016)는 항만 컨테이너 터미널에서 활용 가능한 안전 관리 방법론을 개발하기 위해서 FSA (Formal Safety Assessment, 공식 안전 평가)를 이용하여 연구하였다.

이와 같이 항만에서 발생한 HNS 사고에 관한 국내·외 선행 연구를 살펴보면, ETA, F-N curve 등의 분석기법을 활용하여 위험도를 분석한 연구가 주를 이루며, 수정된 위험 관리 방법론 개발 등에 초점을 맞추고 있어서, 항만의 HNS 사고 발생 시 문제점에 대한 고찰과 사고 대응 주체에 대한 문제점 고찰과 개선 방안에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 발생한 항만의 HNS 화학사고를 중심으로 관리와 사고 대응의 문제점을 고찰하여 항만 HNS 안전관리 개선방안을 제시하는데 목적을 두고 연구하였다.

2. 항만 HNS 관리와 사고 대응의 문제점

2.1 항만 HNS 사고 현황

국내의 화학사고의 통계는 화학물질안전원의 화학안전정보공유시스템(CSC, National Institute of Chemical Safety, 2017b)과 안전보건공단 산업재해통계(Industrial Disaster Statistics, Korea Occupational Safety & Health Agency, 2017), 인터넷을 이용하여 2014년 1월부터 2017년 8월까지 항만에서 발생한 HNS 누출 사고를 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Major Domestic and Foreign Hazardous Chemical Spill Incident in Port Facilities

Classification		Date	Substance (CAS No.)	Casualty (Unit: people)	Cause
Domestic	Ulsan city Ulsan harbor	14.7.17	Sulfuric acid*(7664-93-9) Nitric acid*(7697-37-2)	Hospital care 20	Explosion by piping rupture
		15.1.12		Injury 4	Storage tank fire, gas explosion
	Busan city South harbor	16.6.15	Freon gas***	Dead 1	Refrigerant gas suction, suffocation
	Gunsan city Gunsan harbor	16.10.28	Phenol*(108-95-2)	Injury 3	Leak during piping cleaning
	Changwon city Jinhae shipyard	17.8.20	Flammable gases**	Dead 4	Explosion due to lack of ventilation in oil storage tank
Foreign	Germany Bremerhaven	12.5.9	Unconfirmed	Injury 11	Explosion during ship repair
	Japan Chiba-ken	12.7.17	Flammable gases**	Dead 3	Explosion during sub-cutting
	China Tenjin port	15.8.12 / 15	Sodium cyanide* (143-33-9) Ammonium nitrite** (13446-48-5) Potassium nitrite** (7758-09-0)	Dead 112 Injury 721	Explosion by mixed storage of explosives

* Accident preparedness substances ** Toxic and hazardous substances *** General chemicals

국내의 경우 울산항, 군산항, 부산항 등 국가산업단지와 인접한 항만에서 HNS 누출 사고가 발생하였으며 화학물질 관리법에서 사고대비물질로 관리되는 황산, 질산, 페놀의 누출에 의한 폭발사고, 위험물안전관리법에서 위험물로 분류되는 인화성가스의 누출에 의한 폭발사고가 대표적인 발생형태이다. 국외 사례의 경우에도 인화성 가스 누출, 질산암모늄 등의 이상반응에 의한 폭발사고가 발생하였다. 국내·외 항만 HNS 누출 사고의 주요 원인은 1) 작업자, 안전관리자 등 현장에서 화학물질에 대한 물리·화학적 특성, 방제방법 등 MSDS (Material Safety Data Sheets, 물질 안전보건자료)에 대한 미숙지와 미인지, 사고 발생 고리 차단을 위한 사전 사고 가능 인자 점검 및 차단 부족 등으로 인한 작업자 부주의에 의한 사고가 대표적이며, 누출에 인명 피해, 화재 및 폭발사고가 동반되었을 경우 현장 초동대응에 필요한 해당 사고물질이 어떤 화학물질인지 파악하는데 시간이 지체되는 문제점도 제기된다.

2.2 항만 HNS 관리의 문제점

항만 HNS 관리와 관련된 국내의 주요 법령은 환경부의 화학물질관리법과 소방청의 위험물안전관리법이다. 화학물질관리법은 화학물질을 제조, 보관·저장, 운반(항공기·선박·철도를 이용한 운반은 제외) 또는 사용하는 시설이나 설비를 대상으로 한다(Ministry of Environment, 2017a). 하지만 유해화학물질 수출·입 시 항만 HNS의 보관시설에 대한 정의, 누출 대비 방류벽, 트렌치 등 안전 관련 시설 설치·관리사항 등에 대한 규정이 미비하다.

항만의 위험물 관리는 IMDG Code (International Maritime

Dangerous Goods Code, 국제해상위험물규칙)에 따라 위험물 분류, 위험물의 포장등급, 위험물 격리 등 관련 사항을 따르고 있다(Ryu, 2011). Table 2는 IMDG Code를 정리하였다. 위험물의 분류는 제1급 폭발성 물질, 제2급 가스류, 제3급 인화성 액체류, 제4급 화약류, 제5급 산화성 물질류, 제6급 독물류, 제7급 방사성 물질, 제8급 부식성 물질, 제9급 유해성 물질로 구분된다. 하지만 국내 항만 내 황산, 질산 등 유해화학물질과 휘발유, 경유 등 위험물 하역·운반 관련 화학물질 관리법 및 위험물안전관리법 상에는 이에 대한 명확한 규정이 미흡하여 일반화물과 동일한 안전기준이 적용되고 있어 누출 사고 발생할 확률이 높은 실정이다.

Table 2. International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Codes

Class	Hazardous substance
Class 1	Explosives
Class 2	Gases
Class 3	Flammable liquids
Class 4	Flammable solid, Spontaneous combustible & dangerous when wet
Class 5	Oxidizing substances & Organic peroxides
Class 6	Toxic & Infectious substances
Class 7	Radioactive substances
Class 8	Corrosive
Class 9	Miscellaneous dangerous substances & Articles

국내 항만의 운영관리 총괄책임은 해양수산부에 있으며,

2004년 1월부터는 항만공사제도를 도입하여 부산항, 인천항 등 주요 항만에 대한 관리와 운영 책임을 항만공사가 지고 있다. 항만공사제도는 중앙정부로부터 독립된 기관이 항만별로 상업적 원리를 도입하여 항만행정 중 해양·환경·안전 등 공익적 성격의 업무를 제외한 항만관리 및 개발업무를 수행하는 제도이다(Baek et al., 2011). 그러나, HNS 누출 사고 발생 시 관세청 등 관련 부처의 정보 이용 권한 제한으로 인해 사고물질 파악의 어려움, 항만 내 사고에 대한 각 지자체와의 명확한 책임구역 미설정으로 인한 방재 물품 구비·지원, 방재 종료 후 해당 폐기물 처리에 대한 책임 소재 등 여러 문제점이 발생하고 있다. Table 3은 항만 HNS 누출 사고 시 관세청의 전자통관시스템과 화학물질안전원의 화학물질종합정보시스템을 통한 화물 분류, 제품명, 컨테이너 운송업자 연락처 등 관련 정보를 획득할 수 있는 창구와 획득 가능한 정보를 정리하였다(Korea Customs Service, 2017; National Institute of Chemical Safety, 2017a). 즉각적인 현장 대응 시 최소한의 정보를 획득하기 위한 창구가 있음에도 불구하고 관련 부처 간의 사전 업무 협약·협조 미흡으로 인해 사고 현장에서 활용이 제한되는 환경에 놓여있다.

2.3 항만 HNS 사고 대응의 문제점

2012년 9월 구미산업단지에서 불산 누출사고 이후 통합 유해화학물질 안전관리체계의 방안으로 환경부, 고용노동부, 산업통상자원부, 소방청, 지자체 등이 참여하여 시흥, 서산, 익산, 구미, 울산, 여수 등 6개 산단 내 합동방재센터를 설치하였다. 주요 역할은 관할구역 내 화학물질 사업장 합동 지도·점검, 화학물질정보 공동 활용 등 화학사고 예방·대비·대응·복구 기능을 통합적으로 수행하기 위한 목적이다. Table 4는 합동방재센터의 팀별 임무와 소속기관을 정리하였다. 환경팀(환경부), 화학구조팀(소방청), 산업안전팀(고용노동부), 가스안전팀(산업통상자원부), 지자체팀(기초·광역 지자체) 등으로 구성되었으며, 관할지역 내 화학사고 발생 시 초동대응을 하는 환경팀은 사고현장 수습·조정, 물질분석, 환경영향평가 등의 임무를 수행한다(National Assembly Research Service, 2015). 하지만 항만 HNS 사고 발생 직후 초동대응을 위한 항만 사고 현장의 상황파악, 관련 유관기관 연락업무 등을 위해서는 해양수산부 또는 항만공사와 연락업무가 가능한 주무관이 직제 편성 또는 파견되어야 하지만 현 조직 구성에서는 고려되어 있지 않아 초동대응에 문제점으로 제기된다.

Table 3. Information Acquisition Route of HNS in Port

Organization (System)	Information	Remarks
Korea Customs Service (Electronic clearance system)	1) Cargo control number 2) Shipping company 3) Cargo classification 4) Product name 5) Gross weight 6) Storage company name	Information on the progress of import cargo https://unipass.customs.go.kr
National Institute of Chemical Safety (Chemical integrated information system)	1) Driver's contacts 2) Hazardous chemical name 3) Hazardous chemical transport volume 4) Transportation route	Transport vehicle Information such as tank lorry https://icis.me.go.kr

Table 4. Main Tasks of Chemical Disaster Joint Disaster Prevention Center in Korea

Affiliation		Main Tasks
Affiliated agency	Center organization	
Ministry of Environment	Environmental team	Adjusting accident scene · detection analysis, Environmental impact investigation etc.
Fire Department	Chemical rescue team	Accident site command · coordination · control, Disaster prevention activities etc.
Ministry of Employment and Labor	Industrial safety team	Chemical plant safety inspection, Investigation into the workplace etc.
Ministry of Commerce, Industry and Energy	Gas safety team	High pressure gas technology support, Accident cause investigation etc.
Local Government	Local government team	Local residents evacuation measures, Support for recovery of contaminated areas etc.

※ Reconstructed by authors on the basis of the related literatures

Fig. 1은 화학사고 주무기관인 환경부, 화학물질안전원, 합동방재센터와 관할 구역 내 주요 항구의 위치를 표시한 그림이며, Table 5는 합동방재센터와 관할 구역 내 주요 항구와의 이격거리와 이동소요시간을 정리한 것이다. 이격거리와 이동소요시간은 인터넷(다음 지도)을 이용하여 승용차 기준으로 확인하였다. Fig. 1과 Table 5를 통해 관할구역이 인천, 시흥, 안산인 시흥합동방재센터의 경우에는 인천항과 약 23.7 km 이격되어 있으며 교통 정체를 배제한 거리에 따른 이동소요시간이 약 32분으로 예상된다. 기타 합동방재센터의 경우 약 11.9 km (약 21분 소요) ~ 약 91.1 km (약 83분 소요)로 예측되었으며, 보령항과 군산항의 경우 40분 이상의 이동시간이 소요될 것으로 판단된다.

Fig. 1. Chemical Accident Response Agencies and Main Port in Korea

2.4 통합 안전관리 시스템의 도입 필요성

해양수산부에서는 Port-MIS (Port Management Information System, 항만운영정보시스템)을 구축하여 선박의 입·출항 관련 업무의 전산화를 통한 행정 절차 간소화와 IMDG Code에 따른 위험물 반입신고 등급별로 조회 등 목적으로 구축,

운영하고 있다. 항만 운영정보시스템의 조회 항목 중 위험물 반입신고 정보에는 미신고 위험물 조회, 위험물 반입신고 현황, 위험물 반입 일람표, 위험물 관련 통계 등 정보가 구축되어 있으며 사전 회원등록과 승인 절차가 필요하다 (Ministry of Oceans and Fisheries, 2017b). 하지만 항만 HNS에 대한 상시 감시체계, 누출 사고 발생 시 화학물질안전원 등 관련 유관기관에 자동으로 사고 상황 전파할 수 있는 시스템의 부재, 사고 현장에 대한 경고, 추적 기능 등이 없어 항만 HNS 안전관리와 사고 경고, 신속한 대응, 사전 예방 대책이 미흡한 실정이다.

Roh (2014)는 위험물질 운송차량 및 용기가 운송되는 전 과정을 실시간으로 추적·모니터링·관리하는 ‘국가 위험물질 운송안전 관리시스템’의 필요성과 해외 선진사례를 정리, 제시하였다. Table 6은 싱가포르와 미국의 위험물 운송 관리 시스템의 주요 기능을 정리하였다. 싱가포르는 IMDG Code를 근간으로 위험물을 3개 그룹(접안금지, 직접 하역만 허용, 항만구역 내 보관 가능)으로 축소 분류하여 적용하고 있다. 더불어 위험물 차량 운전자 허가제도 강화를 위해 추가 교육 이수, 재증명 시험 도입을 시행하고 있으며 원격 차량 정차 기능을 포함한 위험물 운송차량 추적 시스템을 구축, 운영하고 있다. 미국의 경우 독립적으로 움직이는 위험물 적재 트레일러를 실시간 추적하기 위해서 트레일러별 실시간 식별, 트레일러와 트랙터의 연결 / 미연결 시간 간격 측정, 위치확인, 적재상태 원격감시 등 기능을 시스템에 탑재하여 운영하고 있다. 앞선 선진 사례를 활용하여 본 연구에서는 통합 안전관리 시스템의 개선방향 도출하는데 참고하였다.

3. 항만 HNS 안전관리의 개선방안

국내 항만 HNS의 안전관리를 통한 화학사고 예방을 위해서 사고 예방 중심의 항만 HNS 관리, 현장 중심 HNS 사고 대응, 통합 안전관리 시스템 기능 강화 등으로 구분하여 개선방안을 도출하였다.

3.1 사고 예방 중심의 항만 HNS 관리 개선방안

항만 HNS 누출 사고를 예방하기 위해서 관련 법령·규정

Table 5. Distance from Joint Disaster Prevention Center to Harbor

Joint Disaster Prevention Center	Jurisdiction	Main port	Distance / Time
Siheung	Incheon, Siheung, Ansan	Incheon port	About 23.7 km / 32 min.
Seosan	9 cities (Seosan, Dangjin etc.)	Boryeong port	About 91.1 km / 83 min.
Iksan	Gunsan, Iksan	Gunsan port	About 39.3 km / 41 min.
Yeosu	5 cities (Yeosu, Suncheon etc.)	Gwangyang port	About 17.6 km / 24 min.
Ulsan	Ulsan, Yangsan	Ulsan port	About 11.9 km / 21 min.
Gumi	11 cities (Gumi, Andong etc.)	-	-

Table 6. Hazardous Chemical Management System of Major Developed Countries

Nation	Main function
Singapore	1) Simplifying hazardous substance classification code 2) Reinforcement of the driver permit system driver 3) Hazardous Substance transport vehicle tracking system including stationary functions
U.S.A	1) Hazardous substance trailer tracking system - Real-time trailer identification, location - Trailer load condition remote sensing - Alerts

체계화, 항만 위험물 관리체계 단순화, 항만 시설에 대한 명확한 책임기관의 지정과 지원체계의 정비가 필요하다.

소방청의 위험물안전관리법 시행규칙에는 수출·입 하역장소의 저장 또는 취급하는 위험물의 최대수량과 공지의 너비, 방류벽 등 안전시설의 위치·구조 및 설비의 기준에 대해서 제시되어 있다. 반면에 화학물질관리법 상에는 항만 HNS 관리에 대한 명확한 규정이 마련되어 있지 않으므로 위험물안전관리법과 같이 항만 HNS 저장·보관시설의 정의, 적용되는 물질, 안전관리 시설의 위치·구조, 사전점검 방법 등 구체적인 안전 규정이 제시되어야 한다. 또한 5톤 이하 소규모 HNS 보관시설에 대한 국내 법령에 따른 안전기준이 적용되지 않으므로 소규모 보관시설에 대한 안전규정 정비가 필요하다.

위험물 안전관리의 선진사례에서 제시되었던 싱가포르의 예와 같이 IMDG Code에 따른 분류, 저장, 관리의 단순화를 통해서 안전관리의 효율성을 높일 수 있다. IMDG Code의 분류에 따라서 분류, 관리될 경우 Class 1~9별로 분류, 보관 장소를 구분하고 Class 내 물질별로 별도 관리되어 사전 안전점검 시간과 비용의 증대, 기존 항만 내 안전시설의 부족에 따른 일반야적장과 위험물저장소에 혼재 보관, 항만 내 적재기간의 증대 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 싱가포르 등 선진사례를 참고하여 항만 HNS 관리그룹의 단순화 관리, 보관에 대한 추가 연구를 통해서 안전관리의 효율화가 필요하다.

환경부의 유해화학물질 유출사고 위기대응 실무매뉴얼에 유해화학물질 누출 사고 발생 시 방재물품 지원, 주민소산, 폐기물의 처리 등 지원업무의 주체를 해당 지자체로 명시되어 있다(Ministry of Environment, 2017b). 하지만 2004년 1월부터 시행되고 있는 항만공사제도로 인해 항만 HNS 누출 사고 발생 시 지원업무 책임 주체(해당 항만공사 또는 지자체)에 대해서 명확하게 정의되어 있지 않다. 이에 정박 중인 선박을 포함한 항만 내에서 발생하는 HNS 누출 사고에 대한 지원업무 책임을 해당 지자체에서 총괄적으로 지원하는 방안을 해당 매뉴얼 등 관련 문서에 명시되어 공유되어야 한다. 이를 통해서 효율적인 화학사고 대응, 복구 지원이 가능하다.

3.2 현장 중심의 HNS 사고 대응 방안

국가산업단지와 인접한 울산항, 군산항 등에 대한 항만 HNS 누출 사고 발생 시 책임관할 지역을 맡고 있는 합동방재센터에서 화학사고 예방·대비·대응·복구 기능을 통합적으로 수행하기 위한 목적으로 구축되었다. 앞에서 문제점으로 제기되었던 팀별 구성상에 사고 현장과 연락을 취할 주무관 부재, 인력 직제에서 파견 또는 인력 구성의 부재로 인한 사고 물질의 파악의 어려움, 유관기관과의 기밀한 연락 체계 구축 제한 등 문제점이 발생하고 있다. 따라서 합동방재센터의 인력 구조에 대한 전반적인 검토를 통해서 해양수산부, 관세청 등 항만 HNS 사고 발생과 관련된 공공기관을 포함한 조직 구성과 인력 구조에 대해서 연구, 검토가 필요하다. 또한 주요 항만에서 합동방재센터까지 물리적 이격거리로 인해 항만 HNS 누출 사고의 초기 대응이 어렵기 때문에 항만에 합동방재센터의 지점 개설 또는 인력 파견 등 적극적인 안전관리 방안 구축을 통해서 예방·대응력 향상을 도모할 수 있다.

누출 되고 있는 위험물 운송차량, 컨테이너 내부의 상태를 확인할 수 있는 최적의 방법은 현장 대응 요원에 의해서 직접 확인하는 방법이 있으나 이 방안은 현장 대응 요원의 안전에 심각한 영향을 끼칠 수 있기 때문에 바람직하지 않다. 이에 본 연구에서는 이동형 X-ray를 이용해서 내부 상태 검색 방안을 제기하며 이를 통해 현장 대응 요원의 안전을 고려하면서도 신속하게 내부 상태를 확인이 가능하다. Abdolshah et al. (2017)은 항만 컨테이너에 X-ray를 투사하여 촬영된 내부 이미지를 이용하여 자동차, 타이어, 플라스틱 품, 직물 등 구분하는 구별법을 제시하였다. 해외 연구 사례를 참고하여 위험물 운송차량, 컨테이너의 내부에서 발생하는 여러 상태에 대한 데이터베이스를 구축할 경우 현장 대응 요원의 안전과 신속한 상황 파악을 활용할 수 있어 효과적인 현장 대응이 가능하다.

3.3 통합 안전관리 시스템 구축 및 기능 강화

효율적인 항만 HNS 사고 예방·대응·복구를 위해서 통합 안전관리 시스템이 구축이 필요하다. Fig 2는 본 연구에서 제안하는 통합 안전관리 시스템에 대한 체계도이다. 항만

Fig. 2. Integrated Safety Management System Configuration Diagram

HNS 누출 사고 발생 시 지능형 CCTV, 재난 감시 위성, 드론, 핸드폰 등 활용하여 입체적으로 사고 현장의 정보를 수집한다. 수집된 정보는 통합 정보 상황실로 실시간으로 전송되어 관세청, 해양수산부, 화학물질안전원 등에 구축되어 있는 위험물 운송차량, 컨테이너 등에 보관, 관리되고 있는 물질정보와 안전관리자 연락처, 컨테이너 정보 등 검색을 통해서 사고물질을 파악하고 해당 사고물질에 대한 방재 정보, 위험성 평가 및 확산정보, 급성노출기준 등을 현장 대응 요원에게 메신저, 문자, 방송 등으로 실시간 제공한다. 또한 합동방재센터, 소방청, 경찰청, 지자체 등 관련 유관기관에게 자동으로 상황전파가 가능한 시스템이 구축되어 신속하게 사고 현장에 대한 HNS 누출사고 방재가 가능하도록 통합 안전관리 시스템 구축이 필요하다. 통합 안전관리 시스템에는 위험물 운송 차량·컨테이너 추적 기능, 줄음운전·도로 상황 등 전파·경고 기능, 위험물 운송차량 긴급 정지 기능 등이 구축되어 통합 관제가 가능하다. 통합 안전관리 시스템의 주체는 국내 화학사고의 주무부서인 환경부를 중심으로 구성되어야 하며 이를 통해 화학사고 예방·대응·복구가 통합적이고 일률적으로 관리, 진행될 수 있다.

4. 결 론

현행 항만 HNS 안전관리에 대한 주요 국내·외 항만에서 발생한 사고 검토, 관리상 문제점, 사고 대응상의 미흡점과 통합 안전관리 도입 필요성에 대해서 제기하였다. 제기된 문제점을 바탕으로 선진사례, 국내·외 연구문헌 등을 토대로 개선방안을 도출하였다. 본 연구에서 제안한 개선방안을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 항만 HNS 누출 사고에 대비한 화학물질관리법 등 국내 관련 법령, 규정에 대한 신설, 정비가 필요하다. 또한 유해화학물질 누출 사고 관련 실무매뉴얼에 항만 HNS 누출 사고에 대한 지자체의 임무와 지원 책임 업무에 대해서 명시를 제안한다.
- (2) 항만 위험물 분류와 관리를 싱가포르 등 선진사례와 같이 단순·통합화를 통해서 안전관리의 효율화를 제안한다.
- (3) 현장 중심의 HNS 사고 대응을 위해서 합동방재센터의 구성 보강을 위해 현행 6개 조직에서 해양수산부, 관세청을 추가한 8개 조직으로 확대와 HNS 수·출입 물동량 비중이 높은 항만에 화학사고 예방, 대응 등을 할 수 있는 인력 파견을 제안한다.
- (4) 사고 현장에서 위험물 운송차량, 컨테이너 내부 상태를 신속하게 확인하기 위한 이동형 X-ray 시스템의 도입과 활용하는 방안을 제안한다.
- (5) 통합 안전관리 시스템 구축을 위해서 환경부 중심으로 시스템이 구축되어야 하며 사고 현장의 지능형 CCTV, 재난 감시 위성 등으로 부터 취득한 정보를 통합 정보 상황실에 전송하여 차량 추적, 경고, 긴급 제동 기능 등과 관련 유관기관에 방재정보, 확산정보 등을 실시간으로 제공될 수 있는 시스템 구축을 제안한다.

본 연구에서 제안한 개선방안을 토대로 통합 안전관리 시스템 체계 개발을 위한 추가 연구를 진행할 예정이며 이를 통해 항만 HNS 누출 사고 예방, 효율적인 대응, 지원체계 구축 등의 토대를 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2018년 건설기술연구사업의 ‘도심지 소단면(ϕ 3.5 m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(15SCIP-B105148-01)’ 연구단 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Abdolshah, M., Teimouri, M., and Rahmani, R. (2017) Classification of X-Ray Images of Shipping Containers. *Expert Systems With Applications*, Vol. 77, pp. 57-65.
- Back, I.H., and Hwang, S.J. (2011) A Study on the Improvement of Port Administration System: Focused on the Port Authority of Korea. *Jour. Fish. Mar. Sci. Edu.*, Vol. 23, No. 3, pp. 503-514.
- Cho, S.J., Kim, D.J., and Choi, K.S. (2017) Hazardous and Noxious Substances (HNS) Risk Assessment and Accident Prevention Measures on Domestic Marine Transportation. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 19, No. 2, pp. 145-154.
- Choi, J.Y. (2016) A Study on the Response Capability of the Enhancements through the Analysis of Tianjin Explosion Accident in China. *Korean Journal of Hazardous Materials*, Vol. 4, No. 1, pp. 52-56.
- Kim, E.J., Kim, J.M., Shin, S.M., and Park, H.K. (2017) A Study on Analytical Methodology in Maritime HNS Spill Accidents Cases Focused on Error of Actors. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 3, pp. 381-389.
- Korea Customs Service (2017) *Electronic Clearance System*. Retrieved from <https://unipass.customs.go.kr>
- Korea Occupational Safety & Health Agency (2017) *Industrial Disaster Statistics*. Retrieved from <http://www.kosha.or.kr>
- Kukminilbo (2015) Internet Article. Retrieved from <http://news.kmib.co.kr/article/view.asp?arcid=0009922413&code=61111111&cp=du>
- Ministry of Commerce Industry and Energy (2015) *2013-2014 Trade White Paper*. pp. 159-172.
- Ministry of Environment (2017a) *Chemicals Control Act*.
- Ministry of Environment (2017b) *Hazardous Chemical Spill Response Crisis Response Practical Manual*.
- Ministry of Oceans and Fisheries (2017a) *Harbor Act*.
- Ministry of Oceans and Fisheries (2017b) *Port-MIS*. Retrieved from <https://portmis.go.kr>
- Ministry of Public Safety and Security (2015) *The First in Korea to Promote the Adoption of Special Prevention Ships for Marine Chemical Accident*. Retrieved from <http://www.mpss.go.kr>
- National Assembly Research Service (2015) *Operational Conditions and Improvement Tasks of Chemical Disaster Joint Disaster Prevention Center*, pp. 6-16.
- National Institute of Chemical Safety (2017a) *Chemical Control Law Complaint 24*. Retrieved from <http://icis.me.go.kr>
- National Institute of Chemical Safety (2017b) *Chemistry Safety Clearing-house*. Retrieved from <http://csc.me.go.kr>
- Pallis, P.L. (2017) Port Risk Management in Container Terminals. *Transportation Research Procedia*, Vol. 25, pp. 4411-4421.
- Roh, H.S. (2014) A Study on the Necessity for National Hazardous Substance Transportation Safety Management System. *Monthly KOTI Magazine on Transport*, Vol. 197, pp. 5-10.
- Ryu, B.H. (2011) *A Study on Port Security for Dangerous Goods: Primarily on Busan Port*. Master's thesis, Korea Maritime University, pp. 9-30.
- Sunaryo, and Hamka, M.A. (2017) Safety Risks Assessment on Container Terminal Using Hazard Identification and Risk Assessment and Fault Tree Analysis Methods. *Procedia Engineering*, Vol. 194, pp. 307-314.
- Woo, Y.J. (2016) *The Study of Emergency Responses for the Leakage Accidents of Hazardous and Noxious Substances in a Port*. Master's thesis, Pukyong National University, pp. 7-9.

Received	January 17, 2018
Revised	January 23, 2018
Accepted	February 7, 2018