

# 위험물질(유류·HNS) 해양사고 인명 및 환경피해 위험도 분석에 관한 연구

조심정\* · 김동진\*\*†

\* 국립재난안전연구원, \*\* 부산대학교 무역학부

## A Study on Risk Analysis of Human Loss and Environmental Damage Caused by Hazardous Materials (Oil and HNS) Marine Accidents

Simjung Cho\* · Dongjin Kim\*\*†

\* Safety Research Division, National Disaster Management Research Institute, Ulsan, Korea

\*\* Department of International Trade, Pusan National University, Busan, Korea

**요 약** : 유류와 위험·유해물질(Hazardous and Noxious Substances, 이하 HNS)을 포함하는 위험물질의 해상운송 중에 발생하는 사고가 증가하고 있어, 이러한 위험물질 해양사고를 방지할 수 있는 예방대책을 마련해야 할 것이다. 이를 위해 국내에서 발생하는 위험물질 해양사고 자료(2002~2014)를 수집하여 인명 및 환경 위험도를 분석하였으며, 사고원인 규명 및 적절한 예방대책이 필요한 우선 안전관리분야를 파악하고자 하였다. 인명위험도는 선박 수리 및 탱크세정(tank cleaning) 작업과정에서 발생하는 폭발 및 인명사고 중 질식 등이 높은 것으로 분석되었다. 환경위험도는 충돌, 좌초 등에 의한 유출사고로 인해 발생하였다. 또한 비포장 상태의 위험화물을 선박에 적재 중 취급부주의로 인하여 유출사고가 일어났다. 다수의 사고는 적합한 안전장비 미착용, 취급 부주의 등 인적오류로 인한 사고로서 관리·감독을 강화하고, 주기적인 교육·훈련을 통하여 사고 저감이 가능하다. 위험물질 해양사고를 예방하기 위해서는 물질 자체 고유의 특성상 유해성과 위험성을 지닌 위험물질(유류와 HNS)에 대한 안전관리를 더욱 강화해야 한다.

**핵심용어** : 유류, 위험·유해물질, 해양사고, 위험도, 인명손실, 환경피해, 저감방안

**Abstract** : Accidents associated with hazardous materials, including oil and HNS, in maritime transportation show increasing trend. Therefore, preventive countermeasures for such accidents should be provided. The purpose of this study is to analyze level of risk on human loss and potential damage to environment, using data on domestic marine accidents carrying hazardous materials (2002~2014), and identify high-risk accident types for urgent risk management which needs findings of accident causes and proper mitigation measures. High-risks on human loss are explosion and suffocation, occurred in process of ship maintenance and tank cleaning. On the other hand, high-risk on environmental damage is spill caused by ship accidents (collision, grounding and etc.). Especially, spill occurs during loading operation of oil and HNS onboard a ship. Strict operation supervision/management and safety education/training on a regular basis could prevent accidents, because human factors such as not wearing safety gear and careless cargo handling cause most of the marine accidents.

**Key Words** : Oil, HNS, Marine accident, Risk, Human casualty, Environmental damage, Mitigation measures

### 1. 서 론

전 세계적으로 2014년 해상물동량은 98억 4,170만 톤으로, 이 중 원유가 17억 1,030만 톤(17.37%)이며 석유 제품은 11억

1,610만 톤(11.34%)을 기록하였다. 이러한 유류와 HNS를 포함하는 위험물질의 물동량은 전 세계 해상물동량의 1/3에 해당하며, 최근 10년간 약 20% 증가한 것으로 집계 되었다(UNCTAD, 2015). 국내의 2015년 HNS 물동량은 2억 5,100만 톤(전체의 약 19%)으로, 최근 10년간 66% 증가하여 세계적인 증가 추세보다 약 3배 높은 것으로 나타났다(MPSS, 2016a).

HNS는 해상으로 운송되는 위험하거나 유해한 화학물질을

\* First Author : sim8491@gmail.com, 052-928-8113

† Corresponding Author : ssskdj@hanmail.net, 051-510-2548

말한다. 이는 약 6,000여 종으로 다양한 형태를 띠며, 이에 따라 여러 가지 선종으로 운송되는 특징이 있다. 유해액체물질(불산, 암모니아, 황산, 벤젠, 자이렌 등), 액화가스(LNG/LPG 등), 산적고체위험물(석회석, 비료, 유연탄 등), 포장위험물(폭약·폭죽, 페인트 등) 등으로 분류된다(IMO, 2014).

위와 같은 유류와 HNS를 포함하는 위험물질은 화학적, 물리적, 생물학적 성질상 물질 자체의 특성으로 위험성·유해성을 지니고 있으며, 서로 다른 2종 이상의 물질 접촉 및 결합으로 인하여 폭발·인화·독성·자연발화 등을 야기하여 인간 및 환경에 위험을 가한다.

경제규모, 최첨단 기술 발달, 물동량 증가에 따라 선박의 대형화 및 고속화 등 물류 환경은 빠르게 변화하고 있다. 이에 따라 효율성뿐만 아니라 안전성까지 고려하는 추세로 변화하고 있다(Cho et al, 2013; Cho and Kim, 2013).

그럼에도 불구하고 위험물질의 해상운송 중에 발생하는 사고에 대한 예방·대비가 미흡함에 따라 사고가 끊이지 않고 있다. 2014년 부산항으로 입항 중이던 컨테이너선에 적재된 불산이 바다로 유출되는 사고가 있었으며, 2015년 울산항에서 화학물질운반선 폭발이 일어나 화물로 실려 있던 질산·황산 등이 유출되는 사고가 발생하였다.

위험물질 해양사고가 지속적으로 발생함에 따라 사고 예방대책 및 안전관리 방안 구축에 대한 필요성이 대두되고 있다. 한번 발생한 사고에 대응하기 위해 막대한 자금, 인력, 시간이 투입되며, 그로 인한 인명, 재산 및 환경피해 등은 사고 이전의 상태로 복구하는 것은 불가능하다. 특히 위험물질로 인한 해양사고는 사람의 인체와 해양에 심각한 피해를 가할 수 있으며, 내제된 물질 고유의 특성으로 인해 1차 사고에서 2, 3차의 사고로 전이 될 가능성이 있어 잠재적인 사고의 위험성이 더욱 높다(Cho et al., 2013; Cho and Kim, 2013; Kim et al., 2015b).

위험물질로 인한 사고의 위험성을 인식하여 전 세계적으로 사고 대비·대응 체계를 구축하고 있다. 국제해사기구(IMO)는 해양오염 대비, 대응 및 협력에 관한 국제 협약(OPRC, 1990)을 채택하여 국제적인 사고 대비, 대응 체계를 구축하였으며, 이후 HNS 화물 해상운송에 관한 책임협약(HNS Convention, 1996; 2010) 및 HNS 오염사고에 대한 대비, 대응 및 협력에 관한 의정서(OPRC-HNS Protocol, 2000)를 제정하여 방제능력을 향상시키고 있다.

국제적인 동향을 반영하여 국내에서는 2000년 OPRC90에 근거하여 국가긴급방재계획(National Contingency Plan)을 수립함으로써 68종의 위험·유해물질을 중점관리 물질을 지정하여 대응체계를 갖추고 있다. 또한 선박에서의 오염방지에 관한 규칙에서 유해액체물질(585종) 및 유해화학물질관리법상 사고대비물질 69종 등이 관리되고 있다.

2016년 국민안전처는 전국 17개 해역별의 해양오염 위험 수준을 식별할 수 있는 지수를 개발하였다. 지난 30년간 중질유 해양오염사고(총3,478건) 통계분석 결과와 '14년 선박 입·출항 빈도 및 기름 물동량을 반영하여 위험지수를 산출하였다. 이를 통해 해양사고 및 해양오염사고를 줄일 수 있는 다양한 방책과 협력 방안 노력을 유도하고 있다(MPSS, 2016b).

예방·대비·대응 및 복구 등 크게 4가지 단계로 나누는 재난관리 체계는 과거 대비·대응에서 예방 중심 안전관리로 변화하고 있다. 사고 피해 확산을 저감할 수 있도록 신속한 대비·대응도 중요하지만 사고를 미연에 방지할 수 있는 예방대책을 세우는 것이 필수적이며, 사고 예방 및 대비를 위해서는 위험물질 해상운송사고의 과거 자료를 바탕으로 사고 발생의 특징을 파악할 수 있는 위험도 분석이 선행되어야 한다.

따라서 본 연구는 국내에서 발생하는 유류 및 HNS 등 위험물질 해양사고 자료(2002~2014)를 수집하여 인명 및 환경 위험도를 분석하여, 사고원인 규명 및 예방대책이 필요한 우선 안전관리분야를 파악하고자 하였다.

## 2. 선행연구 고찰

위험물질의 위험성에 대한 인식이 높아지면서 Table 1과 같이 최근 10년 이내 다수의 연구가 진행되었다. Kim and II(2009)은 국내에서 발생한 유해물질 사고의 유형과 특성을 조사하고, 시설과 교통측면에서 유해물질 사고의 시계열적 추세를 분석하였다. Lee et al.(2012)은 국내 주요 항만의 위험도를 분석하여 HNS 방제자원 배분 모델을 구축하였다. Lee and Oh(2014)는 HNS 유출사고 대응을 위한 가상시나리오를 개발하였다. Seo and Pyo(2014)는 선박에서의 HNS 유출 방제를 위한 해양환경관리법제 정비방안을 연구하였다. Kim et al.(2015a)은 국내 HNS 사고 대응체계 및 교육과정에 관한 육상과 해상의 비교 연구를 수행하였다. Kim et al.(2015b)은 해상 HNS 관리를 위한 우선순위 선정 기법을 개발하였다. Park et al.(2016)은 HNS 해상 유출사고 대응을 위한 한국형 위험유해물질의 데이터베이스를 구축하였다.

이러한 기존의 연구는 일부를 제외하고는 위험물질 유출 사고 발생 시 신속한 방제를 위한 대응기술과 관련한 연구가 주를 이룬다. 그러나, 예방 중심으로 변화하고 있는 최근 정책 동향을 반영하여 본 연구는 대비, 대응에 초점을 맞추는 것이 아니라 사고를 사전에 방지할 수 있도록 사고 원인 및 예방에 필요한 안전관리 중점분야를 선정하고자 위험도를 분석하였으며, 몇몇 주요 사고 유형의 사고 사례를 분석하여 사고 저감방안을 살펴보았다.

## 위험물질(유류·HNS) 해양사고 인명 및 환경피해 위험도 분석에 관한 연구

Table 1. Related studies of HNS

Author (Year)	Materials	Description	Phase for accident management			
			Prevention	Preparedness	Response	Recovery
Kim and Il (2009)	HazMat	To investigate types, characteristics and time-series trends of HazMat incidents		○		
Lee et al. (2012)	HNS	To build up HNS response system, the proper allocation of resources to HNS accidents			○	
Lee and Oh (2014)	HNS	To develop HNS spill accident and response scenario in the coastal area of Busan			○	
Cho et al. (2013)	Oil and HNS	To analyse risks of HNS maritime accidents and provide prevention measures	○			
Cho and Kim (2013)	Oil and HNS	To compare risks by domestic ports and sea areas with Formal Safety Assessment	○			
Seo and Pyo (2014)	HNS	To review of the existing policies and measures on respond to the HNS spill			○	
Kim et al. (2015)	HNS	To compare response systems and education courses against HNS spill incidents on land and the sea		○	○	
Kim et al. (2015)	HNS	To develop a risk-based HNS prioritization system and database with evaluation indices		○	○	○
Park et al. (2016)	HNS	To construct the Korean HNS database collected various information of the 545 HNS		○	○	

### 3. 연구방법 및 자료

본 연구는 국내에서 발생한 위험물질 해양사고 데이터를 수집하여 인명손실과 환경피해에 대한 위험도를 분석하고자 한다. 이를 통해 사고 유형별 발생 추이와 특징을 살펴보고, 사고원인 분석 및 예방대책이 필요한 안전관리 중점분야를 파악함으로써 국내에 적용 가능한 실질적이며 현실적인 안전관리 방안을 수립하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

본 연구는 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 위험물질 해상운송사고에 대하여 사고유형별·연도별 발생빈도 추이를 분석하였다. 위험물질 해상운송사고는 사고 유형이 다양하며, 발생 빈도가 비정형적이라는 특징이 있다. 따라서 사고 유형별 발생 특징을 파악하여 사고 예방 및 대비를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

둘째, 인명위험 뿐만 아니라 환경위험까지 고려하여 위험물질 해양사고의 위험도를 종합적으로 분석하고자 하였다. 이때 인명위험에 사망자뿐만 아니라 부상자를 고려하였으며, 이를 위해 미국 교통부 MAIS(Maximum Abbreviated Injury

Scale) 기준에 따라 부상의 정도에 따라 사망자로 환산하였다. 또한 환경위험은 미국 NFPA(National Fire Protection Association) code의 물질 고유의 위험성(본 연구에서는 보건 분야 위험등급)을 활용하여 산출하였다. 이를 통해 위험물질 해양사고에 대하여 더욱 정확하고 다각화된 위험도를 산출할 수 있는 방안을 모색하였다.

셋째, 몇 가지 주요한 사고 유형에 대한 사례를 분석하여 사고 발생 이전 과정을 ETA(Event Tree Analysis)로 도식화함으로써 사고 저감방안을 강구하였다. 특히 인적오류 개선 등 사람이 노력하면 중점적으로 사고 예방이 가능한 실효성 있는 저감방안을 살펴보았다.

사고 자료는 2002년부터 2014년까지 중앙해양심판원의 재결서를 수집하였으며, 유조선 및 케미컬운반선 등 탱커선을 대상으로 하였다. 위험물질을 운송하는 중에 발생하는 단순 충돌, 좌초 및 접촉 등 운항·항해 중에 발생하는 사고는 제외하였으며, 적제되어 있는 위험물질이 유출되어 해양오염을 발생시키거나, 선원에 위해를 가하여 사망/부상이 발생하는 경우만을 선별하였다. 즉, 본 연구에서는 유류 및 HNS를

포함하는 위험물질 독성, 위험성 등 물질 고유의 특성으로 인해 인명피해 또는 해양오염이 발생한 사고만을 대상으로 위험도를 분석하였다.

#### 4. 위험도 분석

위험도(Risk)는 잠재적으로 손실이 발생할 수 있는 어떠한 사건의 발생가능성과 그 결과의 조합이라고 정의할 수 있으며(UNIDSR, 2009), 아래와 같은 공식으로 표현한다. 여기서, P = 사고의 확률 또는 빈도, C = 사고의 결과로서 인명, 재산 손실 또는 환경피해 등이다(Kim and Kim, 2008; Cho et al., 2013; Cho and Kim, 2013).

$$R = P \times C \quad (1)$$

본 연구에서는 국내에서 발생한 위험물질(유류 및 HNS) 해양사고에 대한 두 가지 측면(① 인명, ② 환경)의 위험도를 분석하였으며, 다음의 6단계에 따라 연구를 수행하였다.

- 1단계: 사고 현황 파악
- 2단계: 사고 유형 및 발생빈도 분석
- 3단계: 인명피해 산출
- 4단계: 환경피해 계산
- 5단계: 종합 위험도 분석
- 6단계: 사례분석

##### - 1단계: 사고 현황 파악

최근 13년간(2002~2014) 국내 유류와 HNS 관련 위험물질 해상운송사고는 Table 2와 같이 49건이 발생하였으며, 연평균 약 3~4건이 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 1과 같이 연도별 위험물질 사고의 발생 추이를 살펴보면 2002년 6건에서 2004년 1건으로 대폭 감소하였지만, 2006년부터 다시 증가하였다. 또한 2012년 6건이 발생하며 최대치를 기록하였고, 이 수치는 10년 전과 같은 수준으로 나타났다. 2002년 이후로 매년 최소 1건, 많게는 6건 이상 발생하였다.

위험물질 해양사고는 증가와 감소를 반복하며 10년 전과 유사하게 지속되는 추세로, 이는 위험물질 해양사고에 대한 안전관리 수준 점검이 시급하다는 것을 보여준다.

Table 2. No. of oil and HNS marine accidents (2002~2014)

	Total accidents number	Annual average number
Cases	49	3.77

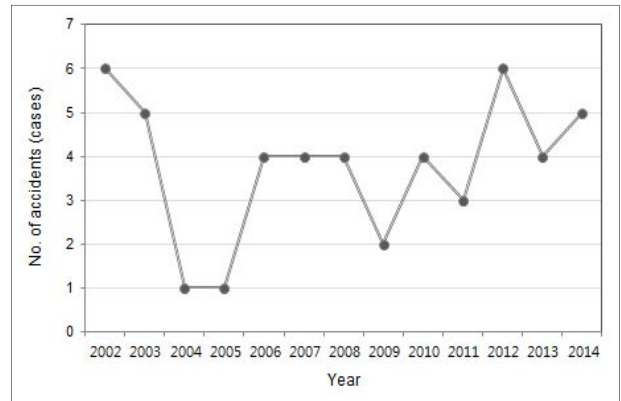


Fig. 1. Yearly trend variation of Oil and HNS marine accidents.

##### - 2단계: 사고 유형 및 발생빈도 분석

위험물질 해상운송사고에 대한 위험도 분석을 위해서 최초 사고의 유형은 ① 유출(Spill), ② 인명사고(Human casualty), ③ 접촉(Contact), ④ 좌초(Grounding), ⑤ 충돌(Collision), ⑥ 침몰(Sinking), ⑦ 폭발(Explosion), ⑧ 화재(Fire) 등으로 나누었다. 상기 8가지 사고 유형으로 인명피해 및 환경피해가 발생하는 사고 과정은 Table 3과 같다. HNS 관련 해상운송사고의 형태는 단일 유형 또는 최초 사고로부터 이어지는 또 다른 사고로 구성된 10가지로 요약될 수 있다. 이중 발생 건수가 가장 높아 비율이 높은 사고 유형은 충돌로 인한 유출과 폭발이다.

Table 3. Oil and HNS marine accidents type

No.	Accidents type (Initial event - 2nd event)	No. of accidents	Ratio
1	Collision - Spill	12	0.2449
2	Explosion	12	0.2449
3	Spill by cargo mishandling etc.	9	0.1837
3-1	Spill	8	0.1633
3-2	Spill - Fire	1	0.0204
4	Human casualty	8	0.1633
4-1	Suffocation	7	0.1429
4-2	Burns	1	0.0204
5	Grounding - Spill	3	0.0612
6	Fire	2	0.0408
7	Sinking	2	0.0408
8	Contact - Spill	1	0.0204
	Total	49	1.0000

해양오염을 발생시키는 유출사고는 단독 또는 복합적인 형태를 나타낸다. 유출사고는 항행중에 충돌, 좌초 등에 의

위험물질(유류·HNS) 해양사고 인명 및 환경피해 위험도 분석에 관한 연구

한 유출사고(Table 3에서 1, 5, 8)와 정박중 화물 취급상 과실로 인하여 발생하는 유출사고(Table 3, 3-1 및 3-2, 이하 취급부주의에 의한 유출)로 분류된다. 또한 취급부주의에 의한 유출사고는 화재로 이어지는 등 다양한 양상을 띤다.

또한 인명사고(Table 3, 4-1 및 4-2)는 사고의 특성에 따라 질식에 의한 사망·부상 및 화상으로 구분할 수 있다. 특히 질식사고는 인명사고 중 일부로 위험물질 해양사고에서 특징적으로 발생하는 유형이며, 인명사고 8건의 중에서 7건으로 대부분을 차지한다.

HNS 해상운송사고의 주요 사고 유형에 대하여 시간의 흐름에 따른 연도별 발생빈도 추이를 Fig. 2와 같이 나타내었다. 충돌로 인한 유출은 꾸준히 발생하였지만 2011년 이후로 발생하지 않았다. 반면, 폭발은 발생 비율이 높은 것도 문제이지만 연간 많게는 2~3건이 발생하며, 증가 및 감소를 반복하며 일정한 추이 없이 발생하는 것이 특징이다. 또한 유출과 질식사고를 포함한 인명사고는 최근 5~6년 사이에 증가한 것으로 나타나 그 위험이 증대되고 있는 것을 알 수 있다.

- 3단계: 인명피해 산출

사망자만을 고려하는 기존의 연구를 보완하여 더욱 정확한 인명피해 분석을 위해 부상자의 인체 손상상태에 따라 사망자로 환산하고자 하였으며, 미국 교통부에서 발표하는

MAIS를 활용하여 다음과 같이 인명피해를 산출하였다(Cho et al, 2013; Cho and Kim, 2013).

$$\text{인명피해} = \text{사망자} + (\text{부상자} \times \text{MAIS VSL}) \quad (2)$$

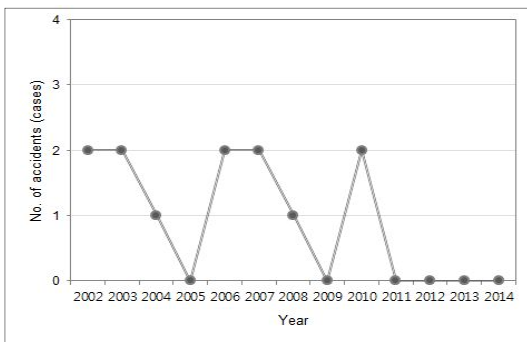
MAIS는 교통사고로 인한 사람의 부상정도를 구분하는 지표이다. 이는 Table 4와 같이 VSL(Value of a Statistical Life)에 따라 6단계로 나누어진다. 이를 가중치로 적용하여 인명피해를 산출하였다.

위험물질의 경우, 화물 자체 특성이 잠재적으로 사고 발생의 위험이 높아 사상자가 빈번하게 발생하며, 사망에 준하는 부상자가 발생하며, 심각한 인명피해가 나타나는 경우

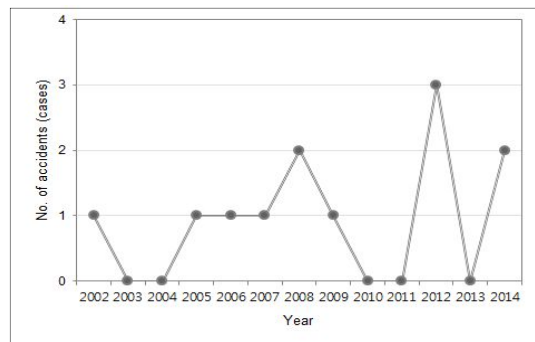
Table 4. MAIS

Level	Severity	Fraction of VSL
1	Minor	0.0020
2	Moderate	0.0155
3	Serious	0.0575
4	Severe	0.1875
5	Critical	0.7625
6	Fatal	1.0000

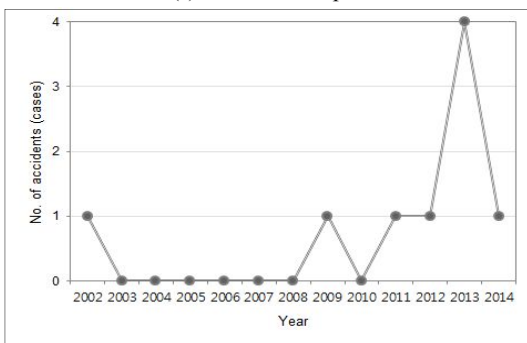
Source : U.S. Office of the Secretary of Transportation (2008)



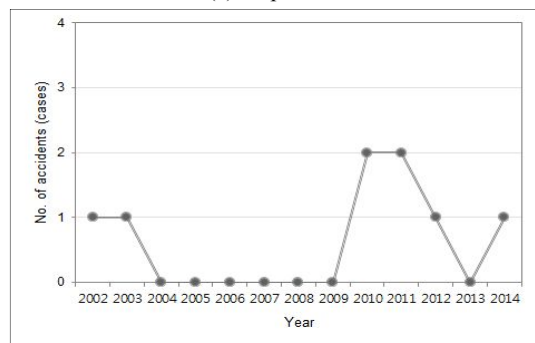
(a) Collision - Spill



(b) Explosion



(c) Spill



(d) Human casualty

Fig. 2. Yearly occurrence trend of major scenario on Oil and HNS marine accidents.

Table 5. Human loss by accidents type

(Unit: People)

Accident type	Fatalities (A)	Injured (B)	Injury Severity (People)	Injured X weight (C)	Calculated fatalities (A+C)
Explosion	20	12	MAIS 1 (3), MAIS 2 (3), MAIS 3 (3), MAIS 4 (2), MAIS 5 (1)	1.3605	21.3605
Sinking	14	-	-	-	14.0000
Human casualty	12	9	-	5.5825	17.5825
Suffocation	12	8	MAIS 4 (1), MAIS 5 (7)	5.5250	17.5250
Burns	-	1	MAIS 3 (1)	0.0575	0.0575
Collision - Spill	-	-	-	-	-
Spill by cargo mishandling etc.	-	-	-	-	-
Spill	-	-	-	-	-
Spill - Fire	-	-	-	-	-
Grounding - Spill	-	-	-	-	-
Fire	-	-	-	-	-
Contact - Spill	-	-	-	-	-
Total	46	21	-	6.9430	52.9430

가 많다. Table 5와 같이 각 사고에 대하여 재결서상에 나타나는 부상의 정도(예. 전치 3주, 의식불명 등)를 국내·외(미국, 영국 등) 교통사고로 인한 부상척도(injury scale)와 비교하여 MAIS 등급을 부여하였다.

최근 13년 동안 위험물질 해양사고로 인하여 사망자 46명과 부상자 21명이 발생하였으며, 부상자를 사망자로 환산하여 52.9430명의 인명피해가 나타난 것으로 분석되었다. 다양한 사고 유형에서 인명피해를 일으키는 주요 사고는 폭발, 인명사고 중 질식, 침몰이었으며, 이중 인명피해가 가장 높은 사고는 폭발(21.3605명)이다. 다음으로 질식(17.5250명), 침몰(14명) 순이다.

사망자만을 고려했을 경우 침몰이 질식보다 더 많은 인명피해가 발생하지만, 본 연구의 방식으로 산출한 인명피해는 인명사고가 더 위험한 것으로 분석되었다. 특히 인명사고 중 질식으로 인한 부상자 발생이 잦으며, 이때 의식불명 등 호흡기를 통한 신체 내부의 손상으로 부상의 정도가 인체에 치명적인 것으로 나타났다.

**- 4단계: 환경피해 계산**

환경피해는 NFPA 704 code 물질 고유의 위험성을 활용하여 해양사고의 위험도를 분석(Lee et al, 2012)하는 방식을 응용하여, 사고로 인한 위험물질의 유출량에 각 물질의 위험등급을 곱하여 환경피해를 산출하였다.

$$\text{환경피해} = \text{유출량} \times \text{각 물질의 NFPA 위험등급} \quad (3)$$

NFPA 704 Code는 화학물질의 물리적인 위험성을 나타내는 지표로서, 4가지 분야(보건, 화재, 반응 및 특수)로 나누어 0에서 4 사이로 표시한다(OSHA, 2013). 본 연구에서는 환경피해를 산출하기 위해서 각 물질의 보건 분야 위험성을 활용하였다. 보건 분야 위험등급은 물질이 인체에 접촉 또는 노출 시, 장애 또는 부상을 입을 위험성을 나타낸다. 물질이 유출되어 바닷물에 희석된다 하더라도, 물질이 가진 위험성은 사라지지 않고, 바다로 흘러들어 가서 퍼지게 되면 사람뿐만 아니라 환경 생태계에도 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

Table 6. Material's NFPA health rating involved in spill accidents

Material	No. of case	NFPA rating
Bunker-C oil	7	2
Diesel oil	5	2
Waste oil / Sludge	3	N/A
Crude oil	2	2
Heavy oil	2	2
Naphtha	1	3
Methanol	1	1
Xylene	1	2
Palm oil	1	N/A
Jet A-1	1	2
Mixed (Benzene / Toluene / Xylene)	1	2/1/2

위험물질(유류·HNS) 해양사고 인명 및 환경피해 위험도 분석에 관한 연구

유출로 인한 환경피해를 일으킨 물질을 Table 6에 정리하였다. NFPA 등급은 안전보건공단 화학물질정보시스템 및 국립환경과학원 화학물질정보시스템을 이용하였다. 관련 물질은 11종이며, 이중 유류가 약 90% 이상으로 대부분을 차지한다.

물질이 혼합되어 유출된 경우, 각 물질 중 가장 높은 위험등급으로 산출하였다. 팜유와 같이 물질정보가 없는 경우는 1로 산정하였지만, 폐유(폐유 및 HNS 혼합물 또는 슬러지 포함)의 경우, 석유(NFPA 보건등급, 2)보다 여러 가지 물질이 섞임으로 인해 위험성이 더 높을 것으로 추정되어 3으로 산정하였다.

위와 같은 방식으로 환산된 사고 유형별 환경피해는 Table 7과 같다. 환경피해는 선박이 항행중 충돌, 좌초 등에 의해 발생한 유출사고와 적·양화, 수리 작업 등 정박중 화물로 실려 있던 위험물질이 유출되는 경우에 발생한다. 이중 충돌에 의한 유출사고로 인한 환경피해가 가장 큰 것으로 분석되었다.

Table 7. Environmental damage by accidents type

(Unit: kℓ)

Accident type	Spill volume	Environmental damage
Collision - Spill	15,512.0	31,270.0
Contact - Spill	20.0	40.0
Grounding - Spill	16.7	33.3
Spill by cargo mishandling etc.	4.8	9.4
Spill	4.8	9.4
Spill - Fire	-	-
Explosion	-	-
Human casualty	-	-
Suffocation	-	-
Burns	-	-
Sinking	-	-
Fire	-	-
Total	15,553.5	31,352.7

- 5단계: 종합 위험도 분석

사고 유형별 발생 비율에 인명 및 환경피해를 곱하여 각각 위험도를 산출하였으며, Table 8과 같이 위험도 결과와 그에 따른 순위를 정리하였다. 각 위험도는 사고발생 빈도 순위와 위험도 분석에 의한 순위에서 다르게 나타났다. 또한 사고유형에 따라 인명위험과 환경위험으로 명확하게 분리된다.

인명위험은 폭발이 가장 높고, 환경위험은 충돌에 의한 유출이 가장 높다.

Table 8. Results of risk analysis

Accident type	Human loss		Environmental damage	
	Risk	Rank	Risk	Rank
Explosion	5.2312	1	-	-
Human casualty	2.5055	2	-	-
Suffocation	2.5043	-	-	-
Burns	0.0012	-	-	-
Sinking	0.5712	3	-	-
Collision - Spill	-	-	7,658.0230	1
Grounding - Spill	-	-	2.0380	2
Spill by cargo mishandling etc.	-	-	1.5350	3
Spill	-	-	1.5350	-
Spill - Fire	-	-	-	-
Contact - Spill	-	-	0.8160	4
Fire	-	-	-	-

폭발사고는 위험물질 고유의 특성상 갑작스러운 화학적 변화로 인하여 발생함으로 위험도가 높다. 또한 사고 발생 시, 선원들이 대피하거나 사고를 지연시킬 수 있는 시간적인 여유가 없어 인명 위험이 더욱 높게 나타나는 것으로 판단된다.

환경피해는 충돌, 좌초 등에 의한 유출사고 시, 충격으로 인하여 손상된 파공부위가 발생하고 화물 또는 연료유로 실려 있는 비포장 상태의 액체 화물이 탱커에서 빠르게 해양으로 흘러가는 것으로 분석되었다.

인명위험도가 높은 사고 유형은 폭발, 인명사고 중 질식, 침몰 등으로, 침몰을 제외하면 항만에 정박하면서 선박 수리 또는 탱커세정 작업 중에 발생한다. 반면 환경위험도가 높은 사고인 충돌, 좌초, 접촉에 의한 유출 등은 대부분 선박이 항행중인 상태에서 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 환경위험도의 특징은 적·양화작업 중 화물 취급부주의로 인하여 유출사고가 빈번하게 발생한다는 점이다.

위험물질 해양사고 저감을 위해서는 선박수리, 탱커세정, 적화작업을 사고예방 우선 대상으로 선정하고, 폭발, 질식, 단순 유출 등의 사고 유형에 대한 집중적인 안전관리를 시행해야 한다.

- 6단계: 사례분석

위험도가 높게 나타난 사고유형은 사고 원인을 모색하여 사고 저감방안을 마련해야 할 필요가 있다. 특정한 몇몇 사고 유형에 대하여 사고 사례분석을 통하여 저감방안을 도출하였다. 인명위험에서는 인명사고 중 질식, 환경위험에서는 유출을 선정하였다. 이런 유형은 최근 5~6년 사이 사고발생

이 증가하였으며(Fig. 2. 참조), 위험물질 해상운송사고에서 빈번하게 발생하는 특징적인 사고 유형이다. 또한 단순 충돌, 좌초와 같은 선박 운항 시 발생하는 일반적인 해양사고와는 달리 적합한 안전장비 미착용, 취급 부주의 등 안전관리 미숙으로 인한 사고가 다수이다.

질식사고 사례를 분석하여 사고의 직접적인 원인이 되는 인간의 실수 및 부주의한 행동을 중심으로 질식사고 발생과정을 Fig. 3과 같이 도식화하였다.

질식사고의 다수는 선박이 항만에서 정박하고 있으면서 탱커세정(tank cleaning)이라는 특수한 작업 시, 발생하는 것으로 분석되었다. 탱커세정 작업은 비포장 상태의 액체화물을 운반하는 탱커선의 화물 탱크를 씻는 과정으로, 유류와 HNS의 물질 자체의 특성상 유해·위험가스가 발생하고, 선박 구조의 밀폐지역 내부에 결집하여 산소 함유량이 감소하는 가스집적(gas cloud) 상태가 발생한다. 이때 산소농도 미확인 시, 환기(gas free)를 충분히 하지 않고 부적절한 안전장비를 착용한 상태로 화물 탱크에 진입하게 되면서 질식사한다.

특히 한명 또는 두 명의 작업자가 질식사고를 먼저 당하는 경우, 이를 발견한 다른 작업자가 동료들을 구하기 위해 어떠한 조치 없이 무방비 상태로 탱커로 진입하면서 또 다른 질식사고가 발생하는 사례가 몇몇 있었다. 이로 인해 질식은 다수의 인명피해가 연쇄적으로 발생하며, 인체손상도가 높은 부상자가 발생하는 경우가 많아 더욱 주의를 기울여야 한다.

Fig. 4는 위험화물 선적하는 적화작업 중에 발생한 유출사고의 원인이다. 주로 기계결함보다는 탱크 덮개가 열려있는 상태에서 밸브조작에 실패하거나, 밸브가 열려있는 상태를 제대로 확인하지 못하는 등 인적오류에 의하여 발생하는 것으로 분석되었다.

Fig. 3과 Fig. 4와 같이 사고는 하나의 원인으로 발생하는 것보다 여러 가지 원인이 중첩되어 발생한다. 따라서 사고의 발생 과정 중 하나의 단계만이라도 없앨 수 있다면 사고를 저감할 수 있다.

사고 사례 분석을 통한 사고에 직접적인 원인이 되는 인적요인 중심의 위험물질 해상운송사고 중 질식 및 유출사고의 저감방안은 아래와 같다.

- ① 질식사고
  - 산소농도를 점검 후 환기
  - 적화 물질 확인 후 적합한 안전장비 착용
- ② 유출사고
  - 밸브 오픈 전, 탱크 덮개 개폐 상태 점검
  - 밸브 잠근 후, 밸브 재확인

Cargo gas in tank	Check of oxygen concentration	Ventilation	Proper equipment use	Accident
Yes	Yes	Yes	Yes	No Damage
				No Damage
				No Damage
No	No	No	No	Suffocation

Fig. 3. ETA for suffocation occurrence.

Loading oil and HNS	Tank lid closed	Operation failure of tank valve	Tank valve open	Accident
Yes	Yes	Yes	Yes	No Damage
				Spill
				Spill
No	No	No	No	No Damage

Fig. 4. ETA for spill occurrence.

공통적으로 관리감독 향상을 위하여 모든 작업은 2인 1조로 구성하고, 작업 절차 준수 체크리스트 작성 및 확인 강화 등 사고예방을 위한 노력이 필요하다. 또한 위험물질 특성 파악 등 주기적·지속적 안전관리 교육과 훈련이 뒷받침되어야 한다.

특히 질식사고는 여러 가지 다른 물질을 번갈아가며 선적하는 비전용선에서 주로 나타난다. 또한 단순 유출사고는 유창청소선이 폐유 슬러지를 운반하는 도중 빈번하게 일어나므로 사고 예방을 위하여 안전점검 수준을 확인해야 한다.

사고의 원인 중 사람의 실수와 부주의 등 인적오류는 관리·감독을 강화하거나 주기적인 교육·훈련을 통한 안전의식 제고를 통해 오류를 바로잡을 수 있다. 따라서, 위험물질 해상운송과 관련된 작업 시 주의를 기울여야 한다.

### 5. 결론 및 향후 연구

유류 및 HNS 등 위험물질은 자체 고유의 독성·위해성과 위험성을 띠고 있어 해양사고 발생 시 사망 외에도 신체 손상도가 높은 부상이 많이 발생한다. 또한 위험물질은 해양



또는 대기 중으로 유출되어 사람뿐만 아니라 생태계와 환경에 피해를 입힌다. 이러한 위험물질의 물동량은 지속적으로 증가하고 있고 취급부주의, 안전관리 미숙 등으로 인하여 위험물질 해상운송사고가 끊이지 않는 실정이다.

이러한 인명손상과 환경과피해를 예방·방지하기 위해서는 사고 자료에 기반을 둔 위험도 분석을 시행하여야 하며, 이를 통한 예방방안을 수립해야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 지난 13년간(2002~2014) 국내 주요 항만과 해상에서 발생한 사고에 대하여 인명 및 환경위험도를 분석하였으며, 사고 저감방안 마련을 위한 기초분석으로서 질식 및 유출사고 사례를 분석하였다. 인명피해는 주로 폭발, 인명사고 중 질식, 침몰과 같은 사고로 인해 발생하였으며, 특히 폭발과 질식사고는 사망자뿐만 아니라 부상자 발생이 빈번한 사고 유형으로 파악되었다. 환경피해는 충돌, 좌초 등에 이은 유출사고로 인해 발생하며, 또한 적·양화작업 과정에서 화물 취급부주의로 인한 유출로 인한 것으로 분석되었다. 위험물질 해양사고는 관리·감독을 강화하고, 주기적인 교육·훈련을 시행함으로써 적절한 안전장비 미착용, 취급 부주의 등 인적오류로 인한 사고를 저감 할 수 있다.

위험물질 해양사고에서 주로 발생하는 폭발, 인명사고 중 질식, 유출사고 등에 중점적인 안전관리를 시행하여 위험물질 해양사고를 예방해야 한다. 또한 폭발, 질식사고는 선박 수리 및 탱커세정 작업 중에 발생하며, 취급 부주의에 의한 유출사고는 적·양화작업 중에 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 선박수리 및 탱커세정, 적·양화작업 등 위험물질 해상 운송에서만 나타나는 특징적인 작업에 대한 안전관리 수준을 점검하는 것이 위험물질 해양사고를 줄이는 대안이 될 것이다.

그러나 이후 위험물질 해양사고 위험도 분석 시, 결과(Consequence)를 인명, 환경, 경제적 피해 등 다양한 관점으로 수행해야 한다. 본 연구에서 인명 및 환경피해에 대한 위험도를 분석하였으며, 이때 환경피해를 단순 유출량 및 해당 물질의 물리적 위험등급만을 고려했다는 한계점을 나타낸다. 특히 외해에서 대량유출보다 연안에서 소량유출시 피해가 훨씬 막대하기 때문에 환경피해 분석을 위해 경제적 피해액을 추산 할 수 있는 연구를 추가적으로 수행해야 할 것이다.

또한 본 연구에서는 위험물질 해양사고의 예방대책 마련이 필요한 안전관리 중점유형을 모색하기 위하여 인명 및 환경피해 위험도를 분석하였으며, 하나의 예시로서 질식 및 유출사고에 대한 원인 및 저감방안 사례분석을 수행하였다. 향후에는 각 유형별 실증분석을 통하여 명확하고 객관적인 사고 예방대책을 마련하는 것이 필요하다.

## 사 사

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] Cho, S. J., D. J. Kim and K. S. Choi(2013), Hazardous and Noxious Substances (HNS) Risk Assessment and Accident Prevention Measures on Domestic Marine Transportation, Journal of the Korean Society on Marine Environment & Safety, Vol. 19, 2, pp. 145-154.
- [2] Cho, S. and D. Kim(2013), A Study on Accidents of Hazardous Materials (Oil and HNS) Maritime Transportation in Major Domestic Ports by Formal Safety Assessment, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 28, No. 8, pp. 57-65.
- [3] IMO(2014), The 2010 HNS Convention.
- [4] Kim, D. J. and S. Y. Kim(2008), A Methodology for Risk Analysis on Ship Accidents at Port Area, Journal of Shipping and Logistics, Vol. 59, pp. 105-121.
- [5] Kim, G. and J. M. Il(2009), The Study for Hazardous Material Incidents in Korea, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 9, No. 1, pp. 91-97.
- [6] Kim, K., J. Gang and M. Lee(2015a), Comparison of Response Systems and Education Courses against HNS Spill Incidents between Land and Sea in Korea, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 6, pp. 662-671.
- [7] Kim, Y. R., T. W. Kim, M. H. Son, S. Oh and M. Lee(2015b), A Study on Prioritization of HNS Management in Korean Waters, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 6, pp. 672-678.
- [8] Lee, E. B., J. H. Yun and S. T. Chung(2012), A Study on the Development of the Response Resource Model of Hazardous and Noxious Substances Based on the Risks of Marine Accidents in Korea, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 6, No. 10, pp. 857-864.
- [9] Lee, M. and S. Oh(2014), Development of Response Scenario for a Simulated HNS Spill Incident, Journal of the Korean Society on Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 6, pp. 677-684.
- [10] MPSS(2016a), Introduction of new machinery, like HNS responsive vessel, to enhance capability for marine accidents,

Press Release, 2016.3.17.

- [11] MPSS(2016b), Development of marine pollution risk index by port and sea, Press Release, 2016.4.18.
- [12] OSHA(2013), OSHA quick card: Comparison of NFPA 704 and HazCom 2012 Labels.
- [13] Park, M. O., H. S. Park, T. Kim, S. Oh and M. Lee(2016), A Study on the Development of HNS Database for Response System of Marine Spill Accident in Korea, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 1, pp. 52-58.
- [14] Seo, J. H. and H. D. Pyo(2014), Improving the Response system for(Hazardous and Noxious Substances) Spill of Vessels inn the Marine Environmental Management Act Of Korea, Korean Review of Crisis & Emergency Management, Vol. 10, No. 12, pp. 147-169.
- [15] UNCTAD(2015), Review of Maritime Transport 2015, Report.
- [16] UNISDR(2009), Terminology in Disaster Risk Deduction.

---

Received : 2017. 03. 06.

Revised : 2017. 05. 08. (1st)

: 2017. 07. 18. (2nd)

Accepted : 2017. 10. 28.