

# 해양화학사고 사례 분석을 통한 국내 해상HNS 교육과정 개선에 관한 연구

김광수\*\*

\* 목포해양대학교 항해학부 교수

## Study on Improvements to Domestic Marine HNS Training Curricula through a Case Analysis of Marine Chemical Incidents

Kwang-Soo Kim\*\*

\* Professor, Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 58628, Korea

**요 약** : 본 연구에서는 석유화학제품 산적운송선(화학유조선)에 의한 해상운송 과정에서 발생한 위험·유해물질(HNS) 관련 해양화학사고에 대하여 국내 및 국외의 주요 사례를 조사·분석함으로써 얻은 교훈을 소개하고, 이러한 교훈을 바탕으로 국내 해상HNS 교육과정 개선방안을 제시하였다. 6건의 사고사례를 통하여 얻은 교훈을 1) 사고관련정보, 2) 안전, 3) 오염, 4) 대응, 5) 구난, 6) 기타와 같은 6개 분야로 분류하였다. 각 분야의 세부항목별로 요약된 교훈을 바탕으로 해양환경교육원(MERTI) 유해액체물질운반선 해양오염방지관리인 교육과정을 현행 8개 교과목(16시간)의 2일간 교육을 16개 교과목(24시간)의 3일간 교육으로 개선하는 방안을 제시하였으며, 또한 해양경찰교육원(KCGA) 전문교육 해양화학사고대응 과정을 현행 15개 교과목(35시간)의 5일간 교육을 32개 교과목(48시간)의 6일간 교육으로 개선하는 방안을 제시하였다. 이러한 연구결과는 해양화학사고 대응에 관한 경험과 교훈을 서로 공유하는 데에 기여하고, 해상HNS사고에 대비한 대응인력 교육·훈련과정 개선의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 위험·유해물질, 해양화학사고, 사례 분석, 해상HNS 교육과정, 화학유조선, 해양환경교육원, 해양경찰교육원

**Abstract** : This study introduces lessons learned from investigation and analysis of major domestic and overseas cases of marine chemical incidents involving hazardous and noxious substances (HNS) during maritime transportation by chemical tankers carrying petrochemical products in bulk. The study then suggests plans to improve domestic marine HNS training curricula based on these lessons. Lessons learned from six incident cases are classified into the following six categories: 1) incident-related information, 2) safety, 3) pollution, 4) response, 5) salvage and 6) others. Based on these six categories, it is suggested that the curriculum provided by the Marine Environment Research & Training Institute for marine pollution prevention managers aboard noxious liquid substance carriers should be changed from the existing two-day training of eight subjects (16 h) to a three-day training of sixteen subjects (24 h). In addition, it is proposed that the marine chemical incident response course of the Korea Coast Guard Academy should be changed from the existing five-day training of fifteen subjects (35 h) to a six-day training of thirty-two subjects (48 h). These results are expected to contribute to sharing experiences and lessons learned about response to marine chemical incidents and to be used as basic data for improving the education and training courses for response personnel in preparedness for marine HNS incidents.

**Key Words** : Hazardous and Noxious Substances (HNS), Marine Chemical Incidents, Case Analysis, Marine HNS Training Curricula, Chemical Tanker, Marine Environment Research & Training Institute (MERTI), Korea Coast Guard Academy (KCGA)

† kgs@mmi.ac.kr, 061-240-7165

## 1. 서론

OPRC-HNS Protocol 2000 및 해양환경관리법 시행규칙 제 26조에 따르면, “위험·유해물질(HNS: Hazardous and Noxious Substances)” 이란 유출될 경우 해양자원이나 생명체에 중대한 피해를 미치거나 해양의 쾌적성 또는 적절한 이용에 중대한 장애를 일으키는 물질로서 유해액체물질 및 포장유해물질과 산적(散積)으로 운송되며, 화재·폭발 등의 위험이 있는 물질(액화가스류를 포함한다, 기름을 제외한다)을 말한다(ITOPF, 2014). 위험·유해물질(HNS)은 종류가 매우 다양하고 소비량이 증가함에 따라 해상물동량도 크게 증가하고 있다(Kim et al., 2015; Kim and Lee, 2017). 2018년 연간 국내 입출항 위험물운송선은 약 131척으로 전체의 약 35%를 차지하였으며, 연간 입출항 해상물동량 중에서 위험물은 약 553백만 톤으로 전체의 약 34%를 점유하였다. 특히 2018년 연간 국내 입출항 화학운반선은 총 22,369척(124,384,839 GT)으로 약 92,332천 톤의 화학공업생산품 수출입 물동량을 운송하였다(MOF, 2019).

국내 해역에서 HNS 관련 화학사고가 종종 발생하고 있다(Kim et al., 2015). 해양경찰청 통계자료에 따르면, 지난 17년간(2001년-2017년) 국내 해역에서 발생한 해상HNS사고의 건수는 총 51건(연평균 3건)으로 그 유출량은 총 3,007 kL(연평균 177 kL)에 이른다. 다행히 국내의 HNS유출사고의 건수와 유출량은 모두 감소하는 추세이다.

선박에 의한 HNS사고의 대표적 국내 사례는, 2007년 12월 25일 남해에서 발생한 화학유조선 Eastern Bright호(1,300 GT) 침몰사고, 2013년 12월 29일 부산 앞바다에서 일어났던 화학유조선 Maritime Maisie호(29,200 GT) 해상충돌·화재 사고, 2019년 9월 28일 울산 염포부두에서 발생한 화학유조선 Stolt Groenland호(25,881 GT) 폭발·화재 사고 등이다.

산적 HNS 화물은 고체인 경우에는 산적화물선(bulk carrier)에 의하여, 액체인 경우에는 화학유조선(chemical tanker)에 의하여, 액화가스인 경우에는 가스운반선(gas carrier)에 의하여 운송되며, 포장 HNS 화물은 일반화물선(general cargo ship) 또는 컨테이너선(container ship)에 적재되어 해상 운송되고 있다. 선박을 통하여 운송되는 과정에서 HNS 화물 관련 해상화학사고가 일어나면 HNS의 인화성, 독성, 부식성, 화학반응성 등으로 인하여 화재, 폭발, 중독, 질식, 오염 등을 야기하기 때문에 인적·물적·환경적 피해가 발생한다(Kim et al., 2015). 따라서 HNS 관련 사고에 대비하여 국내 HNS사고 대응 전문요원을 양성할 필요가 있다. 더구나 한국은 OPRC-HNS Protocol 2000에 따라 교육·훈련프로그램을 마련하여 해양오염 대비·대응을 위한 교육·훈련을 실시하고

있다(Choi and Lee, 2007; Kim et al., 2015; Kim and Lee, 2017).

해상HNS사고 관련 대응인력의 양성을 위한 국내 교육기관으로는 해양경찰청 소속 해양경찰교육원(KCGA) 그리고 해양환경공단 소속 해양환경교육원(MERTI)이 있으며(Kim and Lee, 2017), 이 교육기관의 교육과정이 소개되고 그의 개선방안이 제시된 바가 있다(Kim et al., 2015). 해상화학사고 사례의 조사와 분석을 통하여 정리된 사고원인 및 대응과정에서 얻은 교훈을 해상HNS사고 대응인력 양성을 위한 현행 교육과정에 반영함으로써 교육과정을 보완하거나 개선할 필요가 있다. 사고수습과정에서 취한 대응조치는 사고상황, 유출된 화학물질, 관련 위험 등에 따라서 달라지지만, 해상화학사고 사례에서 유의미한 구체적 요소들을 찾는 것은 가능하다. 이렇게 도출된 요소들을 기반으로, 화학물질의 해상운송에 따른 위험과 관련하여, 국제적·국가적 관련 기관들은 여러 가지 운영지침을 발표한 바가 있다(Emina et al., 2009). 그러나 국내에서는 해상화학사고 사례에서 얻은 교훈이나 이것을 반영한 HNS 교육·훈련과정 개선에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 석유화학제품 산적운송선(화학유조선)에 의한 해상운송 과정에서 발생한 위험·유해물질(HNS) 관련 해상화학사고에 대하여 국내·국외의 주요 사례를 조사·분석함으로써 얻은 교훈을 소개하고, 이러한 교훈을 바탕으로 국내 해상HNS 교육과정 개선방안을 제시하고자 하였다. 이러한 연구결과는 해상화학사고 대응에 관한 경험과 교훈을 서로 공유하는 데에 기여하고, 해상HNS사고에 대비한 대응인력 교육·훈련과정 개선의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

국내 및 국외의 해상화학사고(HNS유출사고) 관련 자료를 수집하고 분석하여, 화물종류별·사고유형별 석유화학제품 산적화물 운송선박의 사고개요, 사고원인, 사고대응 등 주요 내용과 그에 따른 교훈을 정리하였다. 이러한 교훈을 바탕으로 국내 해상HNS 교육과정 개선방안을 제시하였다.

### 2.1 사고사례

국내 및 국외에서 발생한 해상화학사고 사례들 중에서 30건의 주요 사례를 화물종류별로 6가지 유형으로 분류하였다. 즉, 선박 적재 화물을 ㉠ 석유화학제품 산적화물, ㉡ 식용유 산적화물, ㉢ 무기화학제품 산적화물, ㉣ 곡물 산적화물, ㉤ 석탄 산적화물, ㉥ 컨테이너 및 포장 화물 등 6가지 유형으로 분류하였다. 그리고 화물유형별 해상화학사고 사

## 해양화학사고 사례 분석을 통한 국내 해상HNS 교육과정 개선에 관한 연구

례에서 얻은 교훈을 요약하였다. 본 연구에서는 석유화학제품 산적화물 운송 선박(위험화학품산적운송선)의 사고사례(6건)에 대하여 주요 내용을 제시하였다.

### 2.2 사고원인

본 연구에서는 사고원인이 선박의 충돌, 침몰, 화재, 폭발, 구조적 손상, 누출 등에 해당하는 사고를 선정하였다.

### 2.3 분야별 교훈

위험화학품산적운송선(이하 화학유조선이라 한다)의 사고 사례(6건)를 통하여 얻은 교훈을 6개의 분야로 분류하였다. 즉, ㉠ 사고 관련 정보, ㉡ 안전, ㉢ 오염, ㉣ 대응, ㉤ 구난 및 ㉥ 기타로 분류하여 교훈을 정리하였다.

### 2.4 해상HNS 교육과정 개선

해양환경공단 소속 해양환경교육원(MERTI)이 운영하는 유해액체물질운반선 해양오염방지관리인 교육과정 그리고 해양경찰청 소속 해양경찰교육원(KCGA)이 운영하는 전문교육 해양화학사고대응 과정을 대상으로, 6개 분야별 교훈을 반영하여 해상HNS 교육과정 개선방안을 제시하였다.

## 3. 사고사례 및 교훈

### 3.1 사고사례

원유의 열분해 또는 분류(分溜)를 통해 생산되는 석유화학제품을 화학유조선에 의하여 운송하는 과정에서 발생한 HNS 관련 해상사고에 대응하였던 6건의 사례에 관하여 수집된 주요 내용과 정보를 요약하여 Table 1에 제시하였다.

#### 3.1.1 Anna Broere호 사고

1988년 5월 27일, 네덜란드 화학유조선 Anna Broere호(1,597 GT, 전장 82.5 m, 선폭 12.7 m, 1976년 건조)는 로테르담(Rotterdam)에서 영국(England)으로 항해하는 도중에, 네덜란드 Ijmuiden으로부터 서쪽으로 60해리 거리의 네덜란드 북해(North Sea)에서 스웨덴 컨테이너선 Atlantic Compass호와 충돌함으로써 심하게 선체가 손상되어 547톤의 아크릴로니트릴(acrylonitrile)과 500톤의 도데실 벤젠(dodecyl benzene)의 화물을 적재한 채, 수심 30m의 해역에서 침몰하였다(CEDRE, 2009a). 도데실 벤젠(C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)은 약한 기름 냄새가 나는 무색 액체로서 현재는 MARPOL 유해액체물질 목록의 오염분류상 Z류 물질에 해당지만 사고 당시에는 해양오염물질로 간주되지 않아 처리되지 않은 상태로 방치된 반면에, 아크릴로니트릴(CH<sub>2</sub>CHCN)은 무색 휘발성 액체로서 IMDG 위험성 분류상 제3급 가연성 액체 및 제6.1급 독성 물질에 해당

Table 1. The cases of marine chemical incidents by HNS in bulk on board chemical tankers

Ship's name, Gross Tonnage, Loa × Breadth	Date	Location	Casualty type & cause	Cargoes on board
Anna Broere (1,597 GT) 82.5m × 12.7m	May 27, 1988	North Sea, Netherlands	A collision with another ship caused severe damage to the hull and caused the ship to sink to the depth of 30 m	Cargo of 547 t of acrylonitrile and 500 t of dodecyl benzene
Alessandro Primo (2,506 GT) 103.9m × 14.2m	Feb. 1, 1991	Adriatic Sea, Italy	Sinking to the depth of 108 m due to Structural damage	Cargo of 3,013 t of 1,2- Dichloroethane and 549 t of acrylonitrile
Multitank Ascania (2,780 GT) 102.8m × 14.0m	Jan. 19, 1999	Pentland Firth (north of Scotland)	A fire in the machinery spaces	Cargo of 1,800 t of vinyl acetate monomer
Ievoli Sun (4,189 GT) 114.9m × 17.5m	Oct. 30, 2000	North of Batz Island, France	Leak and sinking to the depth of 70 m due to Structural damage	Cargo of 3,998 t of styrene, 1,027 t of methy-ethyl-ketone (MEK) and 996 t of isopropyl alcohol (IPA).
Bow Mariner (22,587 GT) 173.7m × 32m	Feb. 28, 2004	off the coast of Virginia, USA	Sinking to the depth of 80 m after fire on bridge and several severe explosions	Cargo of 11,570 t of industrial ethanol. 3 people were killed and 18 of the 27 crew members disappeared.
Stolt Greenland (25,881 GT) 182m × 32m	Sep. 28, 2019	moored alongside Yeompo quay in Ulsan, South Korea	Explosions & fire on board during STS operation at the quay	Cargo of 27,600 t of 14 substances including Styrene monomer & Methyl Methacrylate

할 뿐만 아니라 MARPOL 유해액체물질 목록의 오염분류상 Y류 물질에 속하는 해양오염물질이자 사람과 환경에 매우 위험하고 수중생물에 유해한 화학물질이기 때문에 반경 10 km, 고도 300 m의 제한구역(exclusion zone)이 설정되었다. 네덜란드 당국은 먼저 침몰선을 반으로 절단하여 선미 부분을 화물이 누출되는 화물탱크와 분리한 후, 대형 플로팅 크레인 을 사용하여 인양할 수 있었다. 마침내 침몰선체의 두 부분이 모두 인양되었고, 아크릴로니트릴 화물의 약 절반은 회수되었으나 나머지 절반이 누출되어 해수 중으로 빠르게 흩어졌다. 선체인양 및 화물회수 작업을 하는 동안, 대기중 및 수중에서 아크릴로니트릴의 농도를 지속적으로 모니터링 하였다. 날씨가 좋지 않아 작업이 여러 번 지연되었으므로 작업은 총 73일 동안 지속되었지만 그 중 25일 동안만 구난 작업(salvage work)을 수행할 수 있었다. 환경 중으로 분산되어 흩어진 200톤의 아크릴로니트릴은 해양생물에 대하여 예상보다 훨씬 적은 피해를 입혔다(Edvard, 2001a).

항해 중 다른 선박과의 충돌로 인하여 선체가 심한 손상을 입고 침몰한 Anna Broere호 사고사례의 시사점을 요약하면, 첫째, 선박화물탱크 내의 아크릴로니트릴은 가연성·독성 물질이며 이 물질에 의한 해양오염은 외양해역에서 국지

적으로 나타났다. 둘째, 사고선박의 선내 대응에는 매우 전문화된 장비가 필요하였다. 셋째, Anna Broere호 선체에서 아크릴로니트릴을 회수하는 대응조치로부터 얻은 경험과 교훈은 1991년 사고를 당한 Alessandro Primo호에서의 유사한 대응작업에서 매우 유용하였다. 넷째, 침몰지점을 중심으로 반경 10 km, 고도 300 m의 제한구역을 설정하였다.

### 3.1.2 Alessandro Primo호 사고

1991년 2월 1일, 이탈리아 화학유조선 Alessandro Primo호(2,506 GT, 전장 103.92 m, 선폭 14.23 m, 1983년 건조)는 3,013톤의 1,2-디클로로에탄(1,2-dichloroethane) 및 549톤의 아크릴로니트릴(acrylonitrile)의 화물을 적재한 채, Gela(Sicily)에서 Ravenna(Italy)로 항해하는 도중, 이탈리아 Molfetta에서 약 30 km 떨어진 이탈리아 아드리아해(Adriatic Sea)의 수심 108 m 해역에서 구조적 손상으로 침몰하였다. 14명의 선원은 구명정을 이용하여 퇴선하였다. 비상사태가 선포되고 기술자문위원회가 구성되었다. 침몰선 주변 18.5 km 반경 내에서 항해와 어획이 금지된 제한구역이 설정되었다(CEDRE, 2007). 사고 발생 후 수일 동안에는 침몰선 주변의 다양한 수심에서 해수 시료를 채취하였다. 사고 4일 후, 침몰선 위치에서 500 m 떨어진 곳에서 아크릴로니트릴 흔적이 발견되었다. 원격무인잠수정(ROV)의 도움을 받아 침몰선을 감시한 결과, 아크릴로니트릴 누출의 증거도 나타났다(Edvard, 2001b). 침몰선체는 우현으로 누워있었고 선체 내의 화물 파이프라인이 파열되어 아크릴로니트릴이 누출되고 있었다(CEDRE, 2007).

침몰하면서 해저에 부딪혔을 때 심하게 손상된 선체 전체를 인양하는 것은 불가능하다고 판단되었고, 이 수심에서의 잠수(diving)에도 큰 어려움이 있었다. 그 수역을 오염시킬 위험이 있는 침몰화물을 회수하기 위한 첫 단계는 아크릴로니트릴의 누출을 차단하는 것이었으며 이는 2월 21일까지 완료되었다. 누출구는 에폭시 수지를 사용하여 봉인되었다. 둘째 단계로 침몰선과 화물탱크들에 대한 2개월간의 심층연구 후에 회수계획이 실행되었다. 4월 초에 회수작업이 시작되었다. 펌프들(40-60 m<sup>3</sup>/h)을 해저로 내렸고 갑판 화물 파이프라인을 사용하여 탱크들에 연결하였다. 펌핑 작업은 일주일 동안 지속되었다. Alessandro Primo호의 탱크들은 1개월도 채 안되어 비워졌다. 회수작업이 시작되기 전에 대부분의 아크릴로니트릴이 누출되었지만, 잔류 화물은 모두 처리되었다. 재난이 발생한 지 거의 3개월 후, 2,850 m<sup>3</sup>의 물-디클로로에탄 용액 그리고 900 m<sup>3</sup>의 물-아크릴로니트릴 혼합물에 추가하여, 침몰선의 탱크들로부터 2,733톤의 1,2-디클로로에탄이 회수되었다(Edvard, 2001b; CEDRE, 2007).

항해 도중에 구조적 손상으로 침몰한 것으로 추정되었으나(CEDRE, 2007) 사고 원인을 밝히는 자료가 없거나 부족하

다고 지적되었던(Edvard, 2001b) Alessandro Primo호 사고사례의 시사점을 요약하면, 첫째, 선박화물탱크 내의 아크릴로니트릴(CH<sub>2</sub>CHCN)은 가연성 액체 및 독성 물질로서 해수 중에서 용해되고 휘발하는 해양오염물질인데, 이 물질은 외양해역에서 국지적으로 발견되었다. 그리고 선박화물탱크 내의 1,2-디클로로에탄(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>)은 IMDG 위험성 분류상 제3급 가연성 액체에 해당하는 무색의 독성·유성 액체로서 해수와 접촉하면 용해되는 해양오염물질인데, 이 물질도 외양해역에서 국지적으로 나타났다. 둘째, 그 환경은 매우 위험하여 보호복, 오염모니터링, 비상절차 및 대피수단이 필요하였다. 셋째, Alessandro Primo호 선체로부터 아크릴로니트릴을 회수하는 대응조치는 1988년 사고를 당한 Anna Broere호 선체에 대한 유사한 대응 사례로부터 얻은 경험과 교훈이 매우 유용하였다. 넷째, 사고 선체의 상태에 대한 평가는 수중원격 제어잠수정에 의해서 또는 수중음파탐지기(sonar)에 의하여 수행될 수 있었다. 다섯째, 선박침몰지점을 중심으로 반경 18.5 km의 주변해역을 제한구역으로 설정하였다. 여섯째, 해수시료 채취, 누출구 봉쇄, 침몰선체 내의 HNS 회수 등이 실행되었다.

### 3.1.3 Multitank Ascania호 사고

1999년 1월 19일 키프로스(Cyprus) 화학유조선 Multitank Ascania호(2,780 GT, 전장 102.8 m, 선폭 14.0 m, 1981년 건조)는 1,800톤의 비닐아세테이트모노머(Vinyl Acetate Monomer) 화물을 적재하여 항해하던 중 스코틀랜드(Scotland) 북부의 펜트랜드 협만(Pentland Firth) 앞바다에서 기관실 화재가 발생하였다. 선원들은 소화기를 사용하여 화재 진압을 시도함으로써 화물 화재 방지를 위하여 대응하였다. 기관은 정지되었으며 고정식 이산화탄소 장치를 작동하여 기관구역의 화재 진화를 시도하였다. 선장은 구조지원을 요청하였고 구조대가 현장에 도착하여 선장을 제외한 모든 선원을 공수 탈출시켰다. 선장은 가까스로 선박의 닻을 내린 다음, 퇴선하였다. 반경 5 km 이내의 제한구역을 설정하고 약 600명의 해안 주민들을 대피시켰다. 헬기로부터 열화상카메라를 이용하여 화재의 전개를 모니터링 하였다. 다음날, 2명의 구난요원이 사고 선박에 승선하여 화재가 진화되었다고 보고하였다. 비닐아세테이트모노머 화물을 운송하는 화학유조선으로서 선박대선박(STS) 이송 절차를 마무리하여 더 이상 위험이 없어졌기 때문에 선박은 해안으로 예인되어 Lyness 부두에 접안 계류되었다. 환적(transshipment)은 3월 29일에 이루어졌으며 11시간이 걸렸다. 3월 30일, Multitank Ascania호는 수리를 위해 로테르담(Rotterdam)으로 예인되었다(MAIB, 2000; CEDRE, 2009b).

화재는 고온기름장치 펌프로부터의 고온기름누출로 인하

여 발생한 것으로 추정되었다. 그러나 관련된 기름의 양은 1 m<sup>3</sup> 정도이고, 발화의 원인은 확실히 밝혀지지 않았다.

비닐아세테이트모노머(C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)는 IMDG 위험성 분류상 제 3급에 해당하는 인화성 강한 무색 액체이며, MARPOL 유해 액체물질 오염분류상 Y류 물질에 속하는 해양오염물질이다. Multitank Ascania호 사고에서 오염이 감지되지 않았고, 단지 경미한 부상자와 가벼운 손상이 발생했을 뿐이었다.

Multitank Ascania호 사고사례의 시사점을 요약하면, 첫째, HNS 대응에 앞서 화학위험평가는 가장 우선이 되어야 하고, 평가에 사용되는 물질정보는 필수요소로서 영국 센터와 같은 국가화학비상센터에 의뢰할 수 있었고, 국제협력의 도움을 받을 수 있었다. 둘째, 초동대응조치는 선원에 의하여 실시되며, 선원의 대응 효과는 일반부원과 해기사의 전문적 직업 능력에 좌우된다. 선원들이 퇴선하기 전에 고정식 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)장치로써 기관구역에 CO<sub>2</sub>를 살포하여 화재를 진화하였다(Karen, 2009). 그 결과, 비닐아세테이트모노머 화물의 폭발을 방지하였다. 셋째, 사고대응에서 외부대응지원이 필요하였으며 선체를 비상 예인하는 동안 취해진 조치가 중요하였다. 넷째, Multitank Acania호 기관실 화재사고 대응은 2주일 앞서 실시되었던 ‘화학위험에 관한 오염대응연습’의 덕분에 훨씬 수월하게 이루어졌다. 다섯째, 반경 5 km 이내의 제한구역을 설정하고 약 600명의 해안 주민들을 대피시켰다. 여섯째, 화학유조선 선상 화재에서는 폭발 위험을 고려하여 특정한 안전조치가 요구된다. Multitank Ascania호 사고에서 고온 지점에 대한 원격평가에는 적외선 카메라가 이용되었다. 일곱째, 사고 선박에 적재되었던 화물은 이적(환적)되었다.

Multitank Ascania호 사고에 대한 영국 해양사고조사부(UK Marine Accident Investigation Branch)의 보고서에 따르면, 선박 소유자는 ① 선내의 고온기름펌프로부터 누유를 모으기 위하여 밀폐 집유 장치를 설치할 것과 ② 선박의 고급사관에게, 비록 강제사항은 아닐지라도, 위기관리훈련을 실시할 것을 권고하였다(MAIB, 2000). 또한 영국 해사해안경비청(MCA)에 대한 권고사항은 다음과 같다. ① SOLAS 협약 개정을 통하여, 특히 화학유조선, 가스탱커 및 유조선 선상에 국부적 물 소화장치의 설치를 장려할 것, ② 비상사태 시, 핵심요원 간에 수신되는 정보를 명확하게 보고하고 확인할 것, ③ 온도의 측정 및 표시가 가능한 열화상 카메라를 구조 헬기에 장착할 것, ④ 특히 위험화물 운송선과 관련하여, Pentland Firth를 통항하는 선박에 대한 자발적 보고제도를 강제화할 것, ⑤ 화물이 적재된 화학유조선에 대한 항로 요건을 도입할 것 또는 비상예인선의 이용가능성, 적시의 성공적 예인의 효과를 발휘하여 특정 해역을 통과할 때 허용하기 어려운 위험을 감소시킬 수 있는 화학유조선 역량 등

운항요소들을 도입할 것, ⑥ 일관성 및 명백성을 위하여 Pentland Firth 통항계획에 관하여 공표된 권고를 검토할 것 등이다(MAIB, 2000).

### 3.1.4 Ievoli Sun호 사고

2000년 10월 30일 오전 4시 30분, 이탈리아 화학유조선 Ievoli Sun호(4,189 GT, 전장 114.9 m, 선평 17.51 m, 1989년 건조)는 3,998톤의 스티렌(Styrene), 1,027톤의 메틸-에틸 케톤(MEK: Methyl-Ethyl Ketone), 996톤의 이소프로필알코올(IPA: Isopropyl Alcohol) 등 약 6천 톤의 화학제품을 적재한 채, 영국 Fawley에서 Barcelona로 항해하는 도중에 프랑스 바츠 섬(Batz Island)의 북부로부터 45해리 떨어진 해역에서 구조조정 본부 CROSS Corsen으로 조난신호를 보냈다. 선장은 이중저의 선수부에서 구조적 손상으로 인한 누출을 보고하였다. 브레스트(Brest)의 Atlantic Maritime Prefect는 우산트 섬(Ushant island)에 기지를 둔 Abeille Flandre호를 보내어 Ievoli Sun호를 지원하였다. 오전 8시 5분에 Super Frelon 헬기와 평가팀이 현장에 도착하였고 사태의 중대성을 고려하여 선원을 안전한 곳으로 유도하기 시작하여 구조작업은 오전 9시 20분에 성공적으로 끝났다. 12:00시에 Maritime Prefect는 Polmar Sea Plan을 활성화하였다. Abeille Flandre호의 승무원 은 현장에 도착하자마자 Ievoli Sun호의 선수부 주변에서 약간의 오염을 발견하였다. 그 당시에 해역의 기상 및 해상 조건으로 보아 좌초의 위험이 명백하였고 그에 따라 코트다르모르(Côtes d'Armor) 해안에 대한 주요 오염위험을 야기할 것은 확실하였다. 가능한 대응옵션을 검토한 후, 작업팀은 Ievoli Sun호에 승선하여 Abeille Flandre호에게 예인로프를 건네줌으로써 예인은 오후 5시 15분에 시작되었고 4노트의 속력으로 북동쪽으로 향하였다. 이것은 기상·해상상태와 선박위치를 고려하여 유일하게 선정 가능한 항로였다. 10월 31일 오전 9시, Ievoli Sun호는 코텐틴(Cotentin) 반도의 피난처로 가는 항로의 3분의 2에 해당하는, 카스케츠(Casquets)에서 북쪽으로 9해리 떨어진 수심 70 m 해역에서 침몰하였다. 침몰선체의 위치는 표지부표로써 표시되었고 해상교통은 우회되었다(CEDRE, 2020).

스티렌(C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>)은 방향족 탄화수소 유기화합물로 자극적 냄새가 나는 무색의 액체이며, 가연성이고 약간 독성을 나타낸다. 메틸-에틸 케톤(CH<sub>3</sub>C(O)CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)은 무색투명하고, 달콤한 냄새를 풍기며, 상온에서 액체로 존재하지만 휘발성이 강하고, 물에 약간의 용해성을 띄며, MARPOL 유해액체물질 목록의 오염분류상 Z류 물질에 해당한다. 이소프로필알코올(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O)은 강한 알코올향의 무색 유기용제이며, 인화성을 가진다. 스티렌으로 인한 대기오염과 연료유로 인한 해양오염의 잠재적 위험을 피하기 위하여, 일반감시임무는 프

랑스 및 영국 선박과 항공기의 도움으로 즉시 시작되었다. 초기의 관찰결과에서는 약간의 수면 막(slicks)만 나타났다(CEDRE, 2020).

사고원인이 구조적 손상으로 추정되는 Ievoli Sun호 사고 사례의 시사점을 요약하면, 첫째, Ievoli Sun호 유출사고는 유조선(oil tankers)에서 발생하는 우발적 오염만이 해안을 위협하는 유일한 위험이 아니라는 것을 일깨워주었다. 둘째, 화학위험평가 및 그 평가에 사용되는 물질정보는 프랑스 센터와 영국 센터와 같은 국가화학비상센터에 의뢰할 수 있었고, 국제협력의 도움을 받을 수 있었다. 셋째, 사고를 당하여 곤경에 처한 선박의 선내초동대응은 선원에 의하여 실시되었고 매우 전문화된 장비가 필요하였다. 넷째, 성공적인 비상예인을 위하여 전문장비 및 전문기술이 필요하였다.

### 3.1.5 Bow Mariner호 사고

2004년 2월 28일, 화학유조선 Bow Mariner호(22,587 GT, 전장 173.7 m, 선폭 32 m, 1982년 건조)는 11,570톤의 공업용 에틸알코올(ethanol)을 뉴욕항의 린덴(Linden)에서 텍사스 휴스턴의 텍사스 시티(Texas City)로 향하던 도중 대폭발이 일어나서 선체는 미국 버지니아(Virginia) 해안에서 약 50해리 떨어진 수심 80 m의 해역에서 빠르게 침몰하였다. 이 사고로 인하여 27명의 선원 중에서 3명이 사망하고 18명이 실종되었다. 미국 해양대기국(NOAA) 소속 선박 Rude호는 수중음파탐지영상을 촬영하여 침몰선을 찾았고 해저에서의 침몰 위치를 측정하였다. 해안선이나 동물상에 미치는 영향은 없었다. 이전에 Ievoli Sun호 사고에서 사용되었던 원격무인양화장치(ROLS)와 원격무인잠수정(ROV)의 결합체인 POLREC 시스템을 이용하여, 해저의 침몰선을 조사하였다(CEDRE, 2004).

Bow Mariner호의 선장, 1등항해사, 기관장이 모두 실종되었기 때문에 미국해안경비대(USCG)가 사고원인을 조사하는 데에 어려움이 많았지만, 최초 폭발 당시, 이전에 MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)가 실려 있었던 빈 선측화물탱크에서 탱크세정 및 배기작업이 진행 중이었다는 사실이 알려졌다. 수중음파탐지영상이 Bow Mariner호 갑판의 큰 부분들이 없어지거나 매우 심하게 손상된 것을 보여줌으로써 그 손상은 선측탱크 내에서의 폭발과 일치하는 것으로 나타났다. 폭발 당시 갑판에서 고열 작업이 수행되지 않았다고 주장하였던 선박소유자 Odfjell은 Bow Mariner호가 잔류 에탄올 화물을 적재한 채 Texas City를 향하여 출항하기 직전에, Linden에서 양화된 MTBE 화물이 실려 있었던 선측탱크에서 탱크세정 및 배기작업이 수행되고 있었음을 확인하였다. 이러한 에탄올의 상당한 부분은 선체가 침몰할 당시에 선내에 여전히 존재하는 것으로 생각되었고, Bow Mariner호가 뉴욕

항의 Linden을 출항할 당시에 선내에 보유한 것으로 알려진 약 900톤의 선박연료유 대부분이 함께 적재되어 있었다. 남아 있던 선박연료유를 제거하는 작업과 실종된 18명의 선원에 대한 수색·구조 작업이 3월 말에 중단되었다(Neil, 2004).

에틸알코올( $C_2H_5OH$ ,  $CH_3CH_2OH$ )은 인화점이 낮은 가연성 무색 액체로 그 증기는 폭발성이고, 물에 잘 용해되며 약간의 독성이 있어 MARPOL 유해액체물질 목록의 오염분류상 Z류 물질에 해당한다. MTBE[( $CH_3$ )<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>]은 휘발성 및 인화성 무색 액체로 물에 거의 용해되지 않는 유기화합물이며 MARPOL 유해액체물질 목록의 오염분류상 Z류 물질에 해당한다. 에틸알코올과 MTBE는 모두 폭발·화재의 위험성이 크지만, 환경에 미치는 영향은 미미하였다.

폭발 원인이 탱크세정 및 배기작업 중 ‘정전기 방전’ 현상을 통한 화물증기의 점화와 관련이 있는 것으로 추정되는 Bow Mariner호 사고의 시사점을 요약하면, 첫째, 화학유조선 운항 선원은 MTBE, 에틸알코올 등과 같은 휘발성 및 인화성 화물을 운송하는 과정에서 정전기 방전 예방을 위한 접지와 같은 폭발위험을 제거하는 조치를 취한 후, 탱크세정 작업을 수행하는 등 안전수칙을 준수해야 한다. 둘째, 에틸알코올, MTBE 등 MARPOL 유해액체물질 Z류에 해당하는 화학물질의 대부분은, 두꺼운 층을 형성하는 경우를 제외하고는, 물새와 해양생물에 미치는 독성영향이나 피복효과를 나타내지 않았다. 셋째, 해저의 침몰선 위치를 찾는 데에는 수중음파탐지영상기술이 유용하였고, 해저의 침몰선 조사에는 원격무인양화장치(ROLS)와 원격무인잠수정(ROV)의 결합체인 POLREC 시스템이 유용하였다.

### 3.1.6 Stolt Groenland호 사고

2019년 9월 28일 오전 10:51경, 스티렌모노머(styrene monomer) 등 14종 27,600톤의 화학화물을 적재하고 있던 화학유조선 Stolt Groenland호(25,881 GT, 전장 182 m, 선폭 32 m, 2009년 건조, Cayman Islands 등록)가 한국의 울산 염포부두에 계류 중, 선내 화물탱크에서 최초로 폭발·화재가 발생하여, 선박대선박(STS) 화물이송작업을 위하여 선측에 계류 중이던 유조선 Bow Dalian호(6,583 GT, 전장 119.62 m, 선폭 18.59 m, 2012년 건조, 베이스오일 4,500톤 적재)로 불이 옮겨 불어 화재가 확산된 사고였다(ULSANCGS, 2019). 선내에 폭발위험물질이 많아서 추가 폭발위험 때문에 사고선박 주변에 접근이 어려운 상태였고 사고 현장의 상공을 가득 뒤덮은 검은 연기로 헬기의 접근도 쉽지 않아 화재 진압에 어려움을 겪었다. 지상 진압이 어려워지자, 울산해양경찰은 방제정 2척과 소방정 1척을 투입하여 화재 진압에 나섰다. 오후 4시 30분쯤 큰 불길을 잡았고, 나머지 진화작업을 계속하여 18시간 만에 완전 진화하였다. 해양경찰은 폭발과 화재의 관점에서

스티렌(styrene), 아크릴로니트릴(acrylonitrile), 이소부틸아세테이트(IBA: Iso Butyl Acetate) 등 석유화학제품 유출 사고지역으로부터 반경 500m까지 주민들의 출입을 통제하였다. Stolt Groenland호의 선원 25명은 자력으로 대피하였고, 해양경찰과 소방당국은 선측계류 중이던 Bow Dalian호 선원 21명과 하역작업자 5명을 모두 구조했다. 선원 3명과 항운노동자 8명은 화상 등 부상을 입었고, 이 중 1명은 중상이었다. 이 사고로 인하여 해양경찰 5명이 연기를 흡입하였고, 소방대원 2명이 부상을 당하였다.

선내의 화물탱크 34기 중 28기에 제품을 적재하고 있었던 Stolt Groenland호는 선박대선박(STS) 화물이송작업 중, 매니폴드 근처 9번 우현선측화물탱크[9(S) Wing Tank]가 폭발하였고 그 폭발이 지속되었다. 9(S) 화물탱크로부터 나오던 백색 증기는 화물 간 화학반응의 결과였다. 영향을 받는 화물은 Styrene Monomer와 Methyl Methacrylate(MMA)이었다.

해양경찰(KCG), 국립과학수사연구원(NFS), 소방청(NFA)이 합동으로 몇 차례의 감식을 통하여 사고원인을 조사하였으나 정확한 원인이 확정되지 않았다.

스티렌모노머( $C_8H_8$ ;  $C_6H_5CH=CH_2$ )는 무색의 방향성 액체로서, 인화성·독성·발암성·수생환경유해성 물질이다. 이소부틸아세테이트( $C_8H_{16}O$ ;  $(CH_3)_2CH_2OH$ )는 인화성·독성 유기화합물로서 약간의 수용성을 띄며, MARPOL 유해액체물질 오염분류상 Y류 물질에 속하는 해양오염물질이다.

이 사고의 시사점을 요약하면, 첫째, 항내에 계류한 화학유조선에 적재된 HNS 화물로 인하여 발생한 국내 최대의 선박폭발사고로서 화재의 조기 진화에 실패했을 경우 추가 폭발·화재로 이어져 국가적 재난으로 확대될 우려가 있었던 사고였다. 둘째, 선상 폭발 및 화재의 위험 또는 선박의 유독성 구름이 주요 위험이었다. 셋째, 울산항의 폭발·화재에 대한 대응전략은 ① 인명구조(해양경찰 구조대·구조정 긴급구조), ② 물질파악[적재화물 물질 종류(14종), 수량(27,600톤), 특성], ③ 위험저감(긴급소화, 선체냉각, STS선체 분리, 완전진화), ④ 선체안정(오염예방) 등이었다. 넷째, Stolt Groenland호 폭발·화재 사고를 18시간 만에 완전 진압한 것은 2013년 12월 발생한 Maritime Maisie호 충돌·화재 사고 당시의 대응에 비하여 해양경찰의 해상화학사고 대응능력이 상당히 향상된 것으로 해석된다. 이 사고 대응의 특징은 ① 화학방재함, 열화상카메라, 내알콜포 등 전문 장비·자재를 통한 사고대응, ② 해경-관계기관 간 지속적 대응 협업, ③ 화학마스크 등 개인보호구 착용한 후 사고대응 등이다. 다섯째, 해양경찰 현장대응세력의 역할이 성공적이었다. 여섯째, 해상화학사고 대응을 위하여 해양경찰의 대비가 비교적 잘 이루어졌다(ULSANCGS, 2019).

## 3.2 교훈

석유화학제품 산적화물 관련 해상화학사고(HNS 유출 사고)의 사례를 통하여 얻은 교훈을 ㉠ 사고 관련 정보, ㉡ 안전, ㉢ 오염, ㉣ 대응, ㉤ 구난 및 ㉥ 기타와 같은 6개의 분야로 분류하여 정리하였다.

### 3.2.1 사고 관련 정보

해상화학사고 사례에서, 상황평가를 위하여 사고 초기에 확인되어야 하는 정보 분야는 4가지로 분류될 수 있다. 즉, ① 사고발생·상황정보, ② 기상·해상정보, ③ 선박정보, ④ 화물·물질정보로 분류될 수 있다.

이러한 4가지 정보는 선박오염방지규칙 제51조(선박으로부터 오염물질이 배출되는 경우의 신고)의 신고사항과 밀접한 관계가 있다. 또한 해양환경관리법 시행령 제39조제2항(해양오염방지관리인의 업무내용 및 준수사항)제6호에 규정된 “오염물질의 배출이 있는 경우 신속한 신고 및 필요한 응급조치”와 밀접한 관계가 있다.

#### (1) 사고발생·상황정보

사고발생·상황정보에는 사고의 발생일시·장소 및 원인, 배출된 오염물질의 추정량 및 확산상황과 응급조치상황이 포함된다.

#### (2) 기상·해상정보

기상·해상정보에는 해면상태 및 기상상태가 포함된다. 악천후 상태는 계획된 대응 및 구난 작업의 효율에 매우 심각한 악영향을 미친다(Emina et al., 2009).

#### (3) 선박정보

선박정보에는 사고선박의 명칭(선명), 종류(선종) 및 규모(총톤수, 전장, 선폭, 흘수 등)가 포함되며, 또한 선체구조, 국적, 선주, 건조일, 선체상태(손상부위, 손상정도 등) 등이 포함된다.

해운항만물류정보시스템(PORT-MIS)은 선박운항 관련 선박제원정보에 관하여 6가지를 제공한다(MOF, 2021). 즉, ① 선박제원상세[호출부호, 선박번호, IMO번호, MMSI번호, 선명(한글, 영문), 선박국적, 선적항, 선박종류], ② 증서구분 및 톤수[톤수증서구분(국제톤수증서, 국적증서, 기타, 계산톤수), 총톤수, 순톤수, 국제총톤수, 재화중량톤수], ③ 선체정보[총길이, 너비, 만재흘수, 깊이, 길이1, 건조일], ④ 선주/운영자/선사/대리점[선주국적, 선주업체, 운영자국적, 운영자업체, 선사/대리점], ⑤ 기타 정보[운항형태, 외내항구분, 나용구분, 유조선 이중선체 여부, SBT구조여부], ⑥ 검사정보[최종검사정보, 최종검사일, 차기검사종류, 차기검사일, 검사기관]이 포함된다.

**(4) 화물·물질정보**

화물·물질정보에는 유출된 HNS의 종류·추정량이 포함된다. 선적화물정보는 화학위험을 평가하기 위하여 사용되므로 어떤 방제작업 결정이 내려지기 전에 가장 중요하다. 화물정보는 항상 즉시 이용할 수 있는 것은 아니다. Stolt Groenland호 사고에서와 같이, 선원과 하역작업자의 목숨이 위협받는 긴급한 순간에 화물·물질정보를 선박으로부터 얻기는 어렵다.

국내의 경우, 화물정보는 해양수산부 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS)으로부터 확보될 수 있다. 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS)은 위험물 관련 정보에 관하여 3가지를 제공한다(MOF, 2021). 즉, ① 위험물반입신고현황[신고일자, 호출부호, 선박명, 입항년도, 작업일자, 신청업체, 허가유무], ② 위험물적하일람표[청코드, 업체코드, 조회기간, 호출부호], ③ 위험물반입신고서[청코드, 반입구분, 호출부호, 입항년도/횟수, 사용목적, 운송형태이름, 화물명, 컨테이너갯수/총량, 하역업체코드, 신청업체코드, 사용일자, 사용장소(부두), 신고일시, EDIID, 전출항지, 수리일자, 비고, 화물창 2개 이상 여부, 첨부(화물적부도)]를 제공한다.

해운항만물류정보시스템(PORT-MIS)을 통하여 물질명(영문)과 회계(Account)를 입력하여 검색하면, 총 8,110건의 HNS 기초자료 조회가 가능하다(MOF, 2021). 즉, ① 물질명(영문), ② UN NO, ③ 포장(Packaged)/산적(Bulk), ④ 분담대상여부(Y/N), ⑤ 회계(Account) 및 ⑥ 부문(Sector)을 조회할 수 있다.

화학물질정보는 화학물질안전원 화학사고대응정보시스템(CARIS) 또는 행정안전부 안전디딤돌 재난안전정보 포털 앱을 통하여 확인할 수 있다(NICS, 2021; MOIS, 2021). 화학물질의 기본정보는 화학제품 제조업체, 인터넷 또는 1일 24시간 1주 7일간 비상지원을 제공하기 위하여 특별히 설립된 센터가 제공하는 물질안전보건자료(MSDS)에서 찾을 수 있다. 이러한 외국의 센터에는 미국의 CHEMTREC, 캐나다의 CANUTEC, 유럽의 MAR-ICE(Marine Intervention in Chemical Emergencies) Network 등이 있다(Karen, 2009).

**3.2.2 안전**

해상화학사고 사례에서, 안전 분야는 6가지로 분류될 수 있다. 즉, ① 화재·폭발, ② 독성, ③ 화학위험평가, ④ 제한구역, ⑤ 비상외부지원으로 분류될 수 있다.

안전 관련 교훈은 선원, 항만하역작업자, 주민, 방제(대응)요원, 구난요원 등의 생명 및 재산 보호와 밀접한 관계가 있다.

**(1) 화재·폭발**

대기에 노출된 수많은 석유화학제품은 그 구성성분인 화학물질이 증발하여 공기 중에 가연성 또는 폭발성 혼합물이나 가스를 생성할 때가 종종 있기 때문에 화학유조선에서는

화재 또는 폭발의 위험을 고려하여 특정한 안전조치가 요구된다.

Multitank Ascania호 화재 사고에서, 기관실 화재에 뒤이어 발생할 수 있는 1,800톤의 비닐아세테이트모노머 화물의 폭발을 방지하기 위하여 선원들이 취한 조치는 초기대응으로 훌륭하였다(MAIB, 2000). Bow Mariner호 폭발사고에서, 화학유조선 운항 선원은 MTBE, 에틸알코올 등 휘발성·인화성 화물을 운송하는 과정에서 폭발위험을 제거하는 조치를 취해야 했다. 예를 들면, 정전기 방전 예방을 위한 접지를 취한 후, 탱크세정 작업을 수행하는 등 안전수칙이 준수되어야 했다. 부두에서 선상 화물이 폭발한 Stolt Groenland호 사고의 경우, 선상에서의 화재 및 폭발이 주요 위험이었다.

**(2) 독성**

선박에서 유출된 수많은 석유화학제품으로부터 화학물질이 증발하여 유독 가스를 형성할 때가 자주 있다. 선원, 구조요원, 주민 등의 인명 보호를 위하여 독성 가스 또는 독성 구름에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다.

Anna Broere호 사고에서는 구조요원을 보호하기 위하여 아크릴로니트릴 농도를 지속적으로 모니터링 하였고, Alessandro Primo호 사고에서는 해수시료를 꾸준히 채취하여 해수중의 HNS 농도를 측정하였으며, Ievoli Sun호 사고는 독성 구름의 위험으로부터 해안주민을 보호하고 주민의 비상대피를 위하여 대기오염모니터링을 실시하였다. 특히 독성 구름의 위험은 해상화학사고 방제(대응)요원에게는 중대한 관심사이다.

**(3) 화학위험평가**

HNS 관련 해상화학사고 대응에 앞서, 화학위험에 대한 평가가 선행되어야 한다. 화물정보를 바탕으로 실시하는 화학위험평가는 필수요소로서 국가화학비상센터에 의뢰할 수 있고, 국제협력 및 화학공업계 협력을 통하여 도움을 받을 수도 있다. Multitank Ascania호 사고의 경우, 영국센터에 의존하면서 화학위험을 다루는 특수중재팀의 가치가 강조되었으며, Ievoli Sun호 사고의 경우에는 영국센터 및 프랑스센터에 의존하였다.

대부분의 HNS에 관하여, 잠재적 위험에 대한 초기평가 및 모니터링을 수행하는 것은 대응전략을 고려하기 전에 실시하는 우선 사항이다. 초기평가는 관련된 HNS의 정체를 먼저 확인·식별한 다음, 사고선박의 화물이 선원·대응요원·일반대중의 안전, 환경 그리고 사회·경제적 자산에 대하여 제기하는 위험을 평가하는 것이다. HNS 영향의 정도와 엄중성을 결정하는 주요 요인들은 HNS의 화학적·물리적 특성 및 환경에서의 물리적 운명과 관련이 있으므로 해양환경의 주요 위험 및 거동을 평가하도록 단계별로 논리적 순



서로 접근하여야 한다.

#### (4) 제한구역

사고해역에 대하여 사람이나 선박 등의 접근을 제한하거나 항해와 어획 활동을 금지하기 위하여 일정한 기간 동안 적절한 범위의 제한구역을 설정할 필요가 있다. 따라서 시·공간 범위에 대한 원칙이나 기준을 마련할 필요가 있다.

Anna Broere호 사고의 경우 침몰지점을 중심으로 반경 10 km, 고도 300 m의 제한구역이, Alessandro Primo호 사고의 경우 침몰지점 주변 18.5 km 반경 내에서 항해와 어획이 금지된 제한구역이 설정되었다. Multitank Ascania호 사고의 경우 닻을 내린 선박(화재원)의 정박지를 중심으로 반경 5 km 이내의 제한구역을 설정하고 약 600명의 지역주민을 대피시켰다. 그러나 항내 부두에 접안한 상태에서 폭발·화재가 발생한 Stolt Groenland호 사고의 경우 선박(화재원)이 접안한 부두 선석으로부터 거리 500 m까지 출입을 통제하였다.

#### (5) 비상외부지원

선박의 해양사고를 방지하거나 수습하는 과정에서 비상예인을 포함한 외부지원이 필요하다. 사고 발생 후 추가 위험을 방지하고 인명과 재산(선체, 화물)의 안전을 확보하기 위한 외부대응원조와 국제협력도 외부지원에 포함된다.

Multitank Ascania호 사고에서, 비상예인을 하는 동안 취해진 외부대응원조는 중요한 조치였다. Multitank Ascania 사고 보고서(MAIB, 2000)는 영국 MCA에 대하여 비상예인 가용성을 권고하였다. Ievoli Sun호 사고에서와 같이, 선박이 피난처로 가는 항로상의 비상예인을 가능한 옵션으로 선택하였다.

### 3.2.3 오염

바다에 유출된 수많은 종류의 석유화학제품은 일반적으로 독성물질, 발암물질 또는 해양오염물질로 인식된다. 해양화학사고 사례에서, 오염 분야는 경미한 오염과 심각한 오염으로 분류될 수 있다.

#### (1) 경미한 오염

Anna Broere호 사고 및 Alessandro Primo호 사고에서, 선박 화물탱크 내의 아크릴로니트릴은 독성물질이며, 이 물질에 의한 해양오염은 외양해역에서 국지적으로 남아 있었다. Bow Mariner호 사고에서, 에틸알코올, MTBE 등은 MARPOL 유해액체물질 Z류에 해당하는 화학물질인데, 대부분은 두꺼운 층을 형성하는 경우를 제외하고는, 물새와 해양생물에 미치는 독성영향이나 피복효과를 나타내지는 않았다. 이 물질들 대부분의 실제적 해양오염영향에 대해서는 알려진 바가 거의 없다. 이 물질들은 회수 가능한 범위에서 회수하고, 자발적으로 가능한 최소량으로 바다에 방출하는 것이 일반

적이다. 선박의 경우, 해수에 용해되는 Z류 범주의 제품들은 통제된 조건하에 관례적으로 바다에 배출되며, 약간의 경미한 일시적 오염은 허용 가능한 것으로 간주된다.

#### (2) 심각한 오염

Ievoli Sun호 사고는 유조선(oil tankers)의 우발적 기름오염만이 연안을 위협하는 유일한 위험이 아니라는 사실을 환기시켰다. 해양오염 영역 내의 인간안전 측면에서 화학유조선은 훨씬 더 큰 위협이 될 수 있다. 왜냐하면 화학유조선의 bunker연료유뿐만 아니라 화학유조선의 적재 화물이 화학물질이기 때문이다. 게다가, 사고로 인하여 유출된 HNS가 해수와 접촉했을 때 또는 침몰선의 탱크 안에 갇혔을 때, 화학물질의 거동 측면에서 그리고 해양 동식물군에 대한 화학물질의 잠재적 영향 측면에서 우리 인간이 알고 있는 지식에는 여전히 한계가 있기 때문이다. 여러 사고사례에서 입증된 점은 수많은 환경적·경제적 요소들은 서로 복잡하게 연계되어 있다는 사실이다.

### 3.2.4 대응

대응조치는 사고 상황, 유출된 화학물질, 관련 위험 등에 따라 달라진다. 해양화학사고 사례에서, 대응 분야는 5가지로 분류될 수 있다. 즉, ① 상황평가, ② 인명구조·대피, ③ 선상조기대응, ④ 대응요원 위험, ⑤ 대응수단, ⑥ 훈련·사례·교훈으로 분류될 수 있다.

#### (1) 상황평가

대응에 앞서 사고 상황을 평가하기 위해서는 사고 초기에 사고 관련 정보의 수집이 필요하다. HNS 관련 사고에 대응할 때 취할 첫 단계는 관련 물질, 사고 상황 또는 사고위치에 관계없이 상황을 평가하는 것이다. 특히 건강 및 안전 측면을 중심으로 철저한 상황평가가 이루어질 때까지는 해양화학사고에 대하여 현장대응을 하지 않는 것이 중요하다(ITOPF, 2014).

#### (2) 인명구조대피

화학유조선의 충돌, 침몰, 화재·폭발, 구조적 결함, 누출 등에 따른 인명 위험을 고려하여 인명구조, 대피, 퇴선 등 비상조치가 필요하다.

Alessandro Primo호가 침몰하기 전에 14명의 선원은 구명정을 이용하여 탈출하였다. Multitank Ascania호 선장은 기관실 화재로 인하여 구조지원을 요청하자 구조대가 현장에 도착하여 모든 선원을 공수 탈출시켰다. 선장은 가까스로 선박의 닻을 내린 후 대피하였고, 독성 구름의 위협으로 인하여 약 600명의 해안주민을 대피시켰다. Ievoli Sun호 선장이 선체의 구조적 손상으로 누출을 보고하자 헬기와 평가팀이 현

장에 도착하여 선원을 안전하게 구조하였다. Bow Mariner호는 항해 중 폭발이 일어나서 선체가 침몰함으로써 27명의 선원 중에서 3명이 사망하고 18명이 실종되었으며 생존 선원 6명이 구조되었다. Stolt Groenland호가 부두에 계류 중, 선내 화물탱크에서 폭발·화재가 발생하여 Stolt Groenland호의 선원 25명은 자력으로 대피하였고, 그 선측에 계류 중이던 유조선 Bow Dalian호 선원 21명과 하역작업자 5명이 모두 구조되었다.

### (3) 선상초기대응

선상의 초동대응조치는 대체로 선원에 의하여 실시되며, 그들의 대응 효과는 해기사와 일반부원의 전문적 직업능력에 의하여 좌우된다. 그것은 Multitank Ascania호 사고에서 선원들이 퇴선하기 전에 화재진화조치를 취했듯이 훌륭할 수도 있고, Ievoli Sun호 사고에서 보듯이 보통 수준일 수도 있으며, 다른 사고사례에서 나타났듯이 비참할 수도 있다. 그럼에도 불구하고, 외부대응원조는 필요하다.

### (4) 대응요원 위험

화학물질의 독성영향은 대응단계 동안 또는 장기적으로는 대응요원에게 대단히 해로울 수 있고, 수년에 걸친 의료 모니터링을 수반할 수도 있다. 특히 독성 그룹의 위험은 대응요원에게는 중대한 관심사이다.

### (5) 대응수단

사고선박에서의 선상 대응에는 매우 전문화된 장비가 많이 필요하다. Anna Broere호 사고, Alessandro Primo호 사고, Ievoli Sun호 사고, Stolt Groenland호 사고에서와 같이, 선박의 사고 현장은 매우 위험하기 때문에 보호복, 오염모니터링, 비상절차 및 대피수단을 필요로 하였다. 인간건강에 대한 위험 및 해양환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수중 및 대기 중에서의 화학오염물질 분산 예측모델 등 여러 방법이 이용된다.

Anna Broere호 사고에서 선체인양 및 화물회수 작업을 하는 동안, 대기와 물속에서 아크릴로니트릴의 농도를 지속적으로 모니터링 하였다. Alessandro Primo호 사고 발생 다음의 수일 동안에는 침몰선 주변의 다양한 수심에서 해수시료를 채취하였다. 원격무인잠수정(ROV)의 도움을 받아 침몰선을 감시한 결과, 아크릴로니트릴 누출의 증거를 확보하였고, 이 누출구는 예폭시 수지를 사용하여 봉인되었다. 침몰선 화물탱크로부터 디클로로에탄 및 아크릴로니트릴을 회수하는 작업에는 펌프를 이용한 펌핑 작업, 잠수지원선, 회수선 및 구명정 그리고 의무실과 헬기갑판을 갖춘 선대(fleet), 대형 폰툰(pontoon)과 저장선이 동원되었다. Alessandro Primo호의 해저 침몰 상태를 평가하기 위하여 그리고 유출된 제품 물

질을 수색하기 위하여 수중원격제어잠수정 또는 수중음파 탐지기가 사용되었다. Multitank Ascania호 사고 동안 고열 지점들에 대한 원격 평가에는 적외선카메라가 이용되었다. 사고조사보고서(MAIB, 2000)는 온도의 측정 및 표시가 가능한 열화상카메라를 구조용 헬기에 장착할 것을 영국 MCA에 대한 권고사항으로 적시하였다. Bow Mariner호 사고에서, 해저의 침몰선 위치를 찾는 데에는 수중음파탐지영상기술이 사용되었고, 해저 침몰선을 조사하는 데에는 원격무인양화장치(ROLS)와 원격무인잠수정(ROV)의 결합체인 POLREC시스템이 이용되었다. Stolt Groenland호 사고에서는 화학방재함, 수성막포형 내알콜포, 열화상카메라, 화재·폭발사고 대비 전문장비 및 고도화된 자재(방폭열화상카메라, 방폭카메라, 방폭라이트, 방폭안전모, 방염복)가 사용되었다.

### (6) 훈련·사례·교훈

대응조치의 효과와 효율은 관계 요원 각자의 능력 및 작업자들 간의 협력과 조화에 달려 있다. 따라서 효율적인 대응조치에는 대응요원의 훈련과 경험이 중요하다.

1988년 침몰한 Anna Broere호에서 아크릴로니트릴을 회수하는 대응작업으로부터 얻은 경험은 1991년 침몰한 Alessandro Primo호의 유사한 작업에서 매우 유용하였다. Multitank Ascania호 사고에 대한 대응은 2주일 앞서 실시되었던 ‘화학위험에 관한 오염대응연습’에 의하여 훨씬 수월하게 이루어졌다. Multitank Ascania 사고 보고서(MAIB, 2000)는 선주가 자사 선박의 고급사관에 대하여 위기관리훈련의 실시를 권고하였다.

### 3.2.5 구난

해상화학사고의 사례에서, 추가 오염을 방지하고 선체·화물 등 재산을 회수하는 수습과정의 구난활동은 4가지로 분류될 수 있다. 즉, ① 선체인양, ② 구난선체에인, ③ 침몰 화물회수, ④ 화물이적 등으로 분류될 수 있다.

#### (1) 선체인양

Anna Broere호 침몰사고에서, 대형 플로팅 크레인을 이용하여 침몰선체를 인양하였다,

#### (2) 구난선체에인

선상화재가 진화된 Multitank Ascania호는 해안으로 예인되어 리네스 부두(Lyness Pier)에 접안 계류되었다. 환적(transshipment) 후, Multitank Ascania호는 수리를 위해 로테르담(Rotterdam)으로 예인되었다.

#### (3) 침몰화물회수

Alessandro Primo호 사고에서, 침몰선체의 상태에 대한 평

가 또는 누출구 봉쇄가 이루어진 후에 펌프, 잠수지원선, 회수선 및 구명정 그리고 의무실과 헬기갑판을 갖춘 선대(fleet), 대형 폰툰(pontoon)과 저장선을 이용하여 침몰선체의 화물탱크 내의 화물을 회수하였다.

#### (4) 화물이적

Multitank Ascania호는 비닐아세테이트모노머 화물을 선박 대선박(STS) 이송 절차를 거친 후, 예인되어 리네스(Lyness) 부두에 접안 계류하여 이적을 마쳤다. 항내에서 사고를 당하여 곤경에 처한 화학유조선의 화물을 바지(barge)로 나르기 위하여 이용 가능한 시설은, 육상이든 또는 선상이든, 항상 이용 가능한 것은 아니다.

#### 3.2.6 기타

OPRC-HNS Protocol 2000은 각국 정부가 HNS 오염에 대응하기 위한 관련 요원의 교육·훈련 프로그램을 구축할 것을 요구함 따라 OPRC-HNS 기술그룹이 승인한 ‘HNS 관련 해양사고대비·대응을 위한 2가지 모델교육과정’은 실무과정(operational level)과 관리과정(manager level)이며, 다음과 같은 주제들을 포함할 것을 권고하고 있다(IMO, 2011a; 2011b). 즉, ㉠ 법규, ㉡ 긴급방제계획, ㉢ 대응조직(실무급/관리급), ㉣ 비상대응시스템, ㉤ 대응단계, ㉥ 대응옵션, ㉦ HNS폐기물 처분, ㉧ 방제작업 후 활동, ㉨ 소통 및 언론대응, ㉩ 대응자원 동원, ㉪ HNS사고 관련 국제협력, ㉫ 방제비용, ㉬ 피해보상, ㉭ 위기관리 등이다.

법규의 주제에는 국제협약과 국내법이 포함된다. 대응자원 동원의 지연은 계획된 대응작업의 효율에 심각한 악영향을 미친다(Emina et al., 2009). 소통(communication) 및 언론(media)대응과 관련하여, 화학사고 대응에서 소통은 대단히 중요하다. 소통은 대응요원들 간의 실무 작업 수준(operational level)에서 우선 적용된다. 항상 화학위험을 매우 염려하는 일반대중과의 소통도 매우 중요하다. Multitank Ascania 사고 보고서(MAIB, 2000)는 영국 MCA에 대하여 비상사태 시 핵심요원 간에 수신 정보의 명확한 보고 및 확인이 필요하다는 것을 적시하였다.

### 4. HNS 교육과정 개선방안

석유화학제품 산적운송선(화학유조선)에 의한 해양화학사고 사례에서 얻은 교훈은 선상 HNS사고 현장에서 초기 대응하는 선원이나 해상방제작업에 종사하는 대응요원에게는 ㉠ 사고 관련 정보 분야, ㉡ 안전 분야, ㉢ 오염 분야, ㉣ 대응 분야, ㉤ 훈련·사례·교훈 분야, ㉥ 기타 분야, ㉦ 법적 준수사항 분야에 관한 기본인식, 기초지식, 기술과 수단 그리고 인명안전의 확보가 필수적임을 암시하고 있다.

따라서 해양화학사고 대비·대응 관련 교육기관인 해양환경교육원에서 운영되고 있는 유해액체물질운반선 해양오염방지관리인 교육과정 그리고 해양경찰교육원에서 운영되고 있는 해양화학사고대응 전문교육과정을 바탕으로 해양화학사고 사례의 교훈을 반영하는 HNS 교육과정 개선방안을 제시하였다.

#### 4.1 해양환경교육원 교육과정

HNS 오염 방지를 위하여 해양환경교육원(MERTI)은 화학유조선에 승선하는 선원을 대상으로 유해액체물질운반선 해양오염방지관리인 교육과정을 개설하여 8개 교과목에 대하여 2일간(16시간) 교육한다(MERTI, 2020). 해양환경관리법에 따라 법정과정으로 운영되는 이 교육과정의 8개 교과목(16시간)은 ㉠오염물질 식별(1시간), ㉡해양환경보전대책(2시간), ㉢해상방제 실습(3시간), ㉣해양오염방지설비 운용(2시간), ㉤방제기자재 사용방법(2시간), ㉥해양환경관리법 및 국제협약(2시간), ㉦출입검사(2시간), ㉧법정기록부 작성(2시간)으로 구성되어 있다(Table 2).

해양화학사고 사례(6건)에서 얻은 교훈을 현행의 교육과정에 반영함으로써 ㉠ 사고 관련 정보 분야(사고발생·상황정보, 기상·해상정보, 선박정보, 화물·물질정보), ㉡ 안전 분야(화재·폭발, 독성, 화학위험평가, 제한구역, 비상외부지원), ㉢ 오염 분야(경미한 오염, 심각한 오염), ㉣ 대응 분야(상황평가, 인명구조·대피, 선상초기대응, 대응요원 위험, 대응수단, 훈련·사례·경험), ㉤ 구난 분야(구난선체예인, 화물이적), ㉥ 기타 분야(법규, 통신, 지원요청), ㉦ 법적준수사항 분야(출입검사·보고, 선박오염물질기록부, 선박해양오염비상계획)에 관한 기본지식 및 실무내용이 추가 또는 보완될 필요가 있다(Table 2).

따라서 유해액체물질운반선 해양오염방지관리인 교육과정을 현행 8개 교과목(16시간)의 2일간 교육을 16개 교과목(24시간)의 3일간 교육으로 개선하는 방안을 제시하였다(Table 2).

##### 4.1.1 사고정보 관련 교과목

㉣화물·물질정보와 관련이 있는 현행 교과목은 ㉠‘오염물질 식별(1시간)’이라고 할 수도 있지만 ㉠사고발생·상황정보, ㉡기상·해상정보 및 ㉢선박정보를 수용한 현행 교과목이 없으므로 이러한 정보 내용을 모두 수용할 수 있는 ㉠‘사고정보(1시간)’라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

##### 4.1.2 안전 관련 교과목

㉢화재·폭발, ㉣독성, ㉤화학위험평가, ㉥제한구역 및 ㉦비상외부지원과 관련이 있는 현행 교과목이 없으므로 이러

Table 2. The current subjects and the improvements to marine pollution prevention manager training course for chemical tankers carrying noxious liquid substances in the Marine Environment Research and Training Institute (MERTI)

Classification of lessons	Current subjects (hour) [for 2 days]	Improved subjects (hour) [for 3 days]
Incident-related information	① Incident occurrence and situation informations	
	② Weather and sea state informations	
	③ Ship informations	
	④ Cargo and substance informations	③ Pollutant identification (1 hr)
Safety	⑤ Fire or explosion	
	⑥ Toxicity	
	⑦ Chemical risk assessment	
	⑧ Exclusion zone	
	⑨ Emergency external support	
Pollution	⑩ Minor pollution	
	⑪ Major pollution	⑤ Marine environment conservation measures (2 hrs)
Response	⑫ Situation assessment	
	⑬ Lifesaving and evacuation	
	⑭ Initial response on board	⑥ Marine control practice (3 hrs)
	⑮ Risk to response personnel	
	⑯ Response means (PPE, Sample collection, Sealing of leaks)	④ Operation of marine pollution prevention equipments (2 hrs) ⑦ How to use the control materials (2 hrs)
	⑰ Training, cases and lessons	
	⑱ Towing of hulls such as salvages	
Salvage	⑲ Cargo transshipment	
	⑳ Legislation	① Marine Environment Management Act and International Convention (2 hrs)
Others	(1) Communication and support request	
	(2) Inspection and report (Article 115 of the Marine Environment Management Act)	⑧ Access inspection (2 hrs)
Legal compliance matters	(3) Management of the ship pollutant record book (Marine Environment Management Act Article 30, Ship Pollution Prevention Regulation Article 24)	⑩ Keeping of legal records (2 hrs)
	(4) Management of shipboard marine pollution emergency plans, etc. (Marine Environment Management Act Article 31, Ship Pollution Prevention Regulation Article 25)	
	Total	8 subjects (16 hrs)

한 내용들을 모두 수용할 수 있는 [J]‘비상안전조치(2시간)’라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

4.1.3 오염 관련 교과목

⑩경미한 오염 및 ⑪심각한 오염과 관련하여, HNS에 의한 해양수질오염, 해저퇴적물오염, 해안오염 및 대기오염에 관한 현행 교과목이 없을 뿐만 아니라 현행 교과목 ①‘오염물질 식별(1시간)’, ⑤‘해양환경보전대책(2시간)’ 및 ⑦‘해상방제 실습(3시간)’과 연계되는 새로운 교과목이 필요하므로 ⑤‘해양환경보전대책(2시간)’의 수업시간을 2시간에서 1시간으로 조정함과 동시에 [K]‘해양화학오염(1시간)’이라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

4.1.4 대응 관련 교과목

⑭선상초기대응 및 ⑯대응수단과 조금이라도 관련이 있는 현행 교과목은 각각 ③‘해상방제 실습(3시간)’, ④‘해양오염방지설비 운용(2시간)’ 및 ⑥‘방제기자재 사용방법(2시간)’이라고 할 수도 있지만, ⑫상황평가, ⑬인명구조·대피 및 ⑮대응요원 위험에 관한 현행 교과목이 없으므로 이러한 내용을 각각 다루는 [L]‘상황평가 및 인명구조·대피(0.5시간)’ 및 [M]‘대응요원 위험(0.5시간)’이라는 새로운 교과목들의 신설을 검토할 필요가 있다.

⑰훈련·사례·교훈과 관련이 있는 현행 교과목이 없으므로 [N]‘선박화학사고 사례 및 교훈(3시간)’이라는 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다. 그리고 훈련은 기존의 교과목인 ③‘해상방제실습(3시간)’과 연계하는 방안을 검토할 필요가 있다.

4.1.5 구난 관련 교과목

⑱구난선체예인 및 ⑲화물이적에 관한 현행 교과목이 없으므로 [O]‘구난선체예인(0.5시간)’ 그리고 [P]‘화물이적(0.5시간)’이라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

4.1.6 기타 관련 교과목

⑳법규에 관한 현행 교과목은 ①‘해양환경관리법 및 국제협약(2시간)’이고, (2)해양환경관리법 제115조(출입검사·보고 등)와 관련하여 운영되는 현행 교과목은 ⑧‘출입검사(2시간)’이며, (3)해양환경관리법 제30조(선박오염물질기록부의 관리) 및 선박오염방지규칙 제24조(선박오염물질기록부의 기재사항 등)와 관련하여 운영되는 현행 교과목은 ⑩‘법정기록부 작성(2시간)’이다.

그러나 (1)통신 및 지원요청 및 (4)선박해양오염비상계획서(해양환경관리법 제31조, 선박오염방지규칙 제25조 및 제26조)에 관하여 새로운 교과목을 신설하거나 그 내용을 현행 교과목 내에 반영하는 방안이 대하여 검토할 필요가 있다.

#### 4.1.7 향후의 과제

해양환경교육원 전문방제교육 HNS방제실무자과정은 해양환경공단 직원을 대상으로 교육하는 과정이며 2일간 운영되고 있다(Kim et al., 2015). 이 교육과정의 7개 교과목(12시간)은 ㉠ 위험·유해물질(HNS) 방제의 이해 및 관련법규(2시간), ㉡ HNS 정보의 이해(1시간), ㉢ 위험·유해물질 대응(이론)(2시간), ㉣ 공단 HNS방제대응체제 구축방안(1시간), ㉤ 개인보호구 및 장비(실습)(2시간), ㉥ HNS사고 대응체제 및 사고사례(2시간), ㉦ 위험·유해물질 대응(실습)(2시간)으로 구성되어 있었다. 이 HNS방제실무자과정은 후술하는 해양경찰교육원 전문교육 해양환경 분야의 해양화학사고대응 과정을 참고하여 개선될 필요가 있다. 또한 IMO 모델교육과정(실무과정, 관리과정)을 고려하면, 이 실무자과정에 추가하여 HNS방제관리자과정의 정기적 개설 또는 개선을 검토할 필요가 있다.

따라서 해양환경교육원 유해액체물질운반선 해양오염방지관리인 교육과정의 개선을 위하여, ㉧ 사고정보 관련 교과목 2개(2시간), ㉨ 안전 관련 교과목 1개(2시간), ㉩ 오염 관련 교과목 2개(2시간), ㉪ 대응 관련 교과목 6개(11시간), ㉫ 구난 관련 교과목 2개(1시간), ㉬ 법률 관련 교과목 1개(2시간), ㉭ 출입검사 교과목 1개(2시간) 및 ㉮ 법정기록부 작성 교과목 1개(2시간)로 구성되는 16개 교과목(24시간)의 3일간 교육으로 변경하는 방안을 제시하였다(Table 2).

이 개선안은 교과목 간 내용의 연계나 통합을 통하여 2일간 교육과정으로 재구성할 수 있는 기초자료로도 활용 가능할 것이다.

#### 4.2 해양경찰교육원 교육과정

해양경찰교육원(KCGA) 전문교육 해양환경 분야의 해양화학사고대응 과정은 해양경찰청 소속 해양환경 일반직 및 경찰관 그리고 소방, 지자체, 해양환경공단, 방제업체 관계자를 대상으로 교육하는 과정이며 5일 동안 운영되고 있다(KCGA, 2019; 2020). 이 교육과정의 15개 교과목(5일간 35시간)은 ㉠ 생활교양(1시간), ㉡ 정부시책교육(1시간), ㉢ 오리엔테이션(1시간), ㉣ 설문 및 수료식(1시간), ㉤ 특수선박 구조의 이해(3시간), ㉥ 화학물질사고대응정보시스템(2시간), ㉦ 소화훈련(3시간), ㉧ HNS의 이해(2시간), ㉨ IMDG Code(1시간), ㉩ 탐지 및 제독(2시간), ㉪ 안전관리(2시간), ㉫ 개인보호장비(3시간), ㉬ 해상화학사고 사례 및 대응전략(3시간), ㉭ 현장견학(5시간), ㉮ 종합실습 및 평가(5시간)로 구성되어 있다(Table 3).

해양화학사고 사례(6건)에서 얻은 교훈을 이 교육과정에 반영함으로써 ㉧ 사고 관련 정보 분야(사고발생·상황정보, 기상·해상정보, 선박정보, 화물·물질정보), ㉨ 안전 분야(화재·폭발, 독성, 화학위험평가, 제한구역, 비상외부지원),

㉩ 오염 분야(경미한 오염, 심각한 오염), ㉪ 대응 분야(상황평가, 인명구조·대피, 선상초기대응, 대응요원 위험, 대응수단, 훈련·사례·교훈), ㉫ 구난 분야(선체인양, 구난선체에 인, 침몰화물회수, 화물이적), ㉬ 기타 분야(법규, 소통 및 언론대응, 위기관리 등)에 관한 기본지식, 실무내용 및 함상실습(훈련)이 추가되거나 보완될 필요가 있다(Table 3).

따라서 해양화학사고대응 과정은 현행 15개 교과목(35시간)의 5일간 교육을 32개 교과목(48시간)의 6일간 교육으로 개선하는 방안을 제시하였다(Table 3).

#### 4.2.1 사고정보 관련 교과목

㉠ 사고발생·상황정보에 관한 현행 교과목이 없으므로 ㉡ '해양화학사고정보(1시간)'라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

㉢ 기상·해상정보에 관한 현행 교과목이 없으므로 ㉣ '기상·해상정보(0.5시간)'라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

㉤ 선박정보와 조금이라도 관련이 있는 현행 교과목은 ㉥ '특수선박 구조의 이해(3시간)'라고 볼 수도 있지만, 선박정보를 포괄적이고 광범위하게 이해할 수 있도록 ㉦ '해상운송과 특수전용선(3시간)'라는 교과목으로 개칭하는 것을 검토할 필요가 있다.

㉧ 화물·물질정보와 관련이 있는 현행 교과목은 ㉨ '화학물질사고대응정보시스템(2시간)'이라고 할 수도 있지만, 화물정보에 관한 현행 교과목이 없기 때문에, ㉩ '화학정보시스템(PORT-MIS)(0.5시간)'라는 새로운 교과목을 별도로 신설하여 현행 교과목 ㉪ '화학물질사고대응정보시스템(2시간)'과 연계하고, ㉫ '화학물질사고대응정보시스템(2시간)'을 새로운 과목명 ㉬ '화학사고대응정보시스템(CARIS)(2시간)'으로의 개칭을 검토할 필요가 있다.

#### 4.2.2 안전 관련 교과목

㉭ 화재·폭발과 관련이 있는 현행 교과목은 ㉮ '소화훈련(3시간)'이라고 할 수 있지만, 예방과 대응을 모두 포함할 수 있도록 ㉯ '화재·폭발의 방지와 소화(3시간)'라는 교과목으로 개칭하는 것을 검토할 필요가 있다.

㉯ 독성과 관련이 있는 현행 교과목은 ㉰ 'HNS의 이해(2시간)'라고 볼 수 있는데, 화학물질의 독성을 과학적으로 이해할 수 있도록 ㉱ '화학물질의 이해(1.5시간)'라는 새로운 교과목의 신설을 검토하는 한편, 현행 교과목 ㉲ 'HNS의 이해(2시간)'을 ㉳ 'HNS대응(2시간)'으로 개칭하고 이 교과목에서 HNS의 정의, 위험과 과제, 현장지휘관(OSC), 대응단계(9가지), 대응계획 등을 다루는 것을 검토할 필요가 있다.

㉴ 화학위험평가와 조금이라도 관련이 있는 현행 교과목은 ㉵ 'IMDG Code(1시간)'으로 볼 수도 있지만, 위험평가에

관한 현행 교과목이 없기 때문에, ㉠‘화학위험평가(1시간)’라는 새로운 교과목을 별도로 신설하여 현행 교과목 ㉡‘화학물질사고대응정보시스템(2시간)’ 또는 ㉢‘IMDG Code(1시간)’과 연계하는 것을 검토할 필요가 있다.

⑧제한구역과 조금이라도 관련이 있는 현행 교과목은 ㉣‘탐지 및 제독(2시간)’ 또는 ㉤‘해양화학사고 사례 및 대응전략(3시간)’으로 볼 수 있지만, ㉥‘HNS대응방법(예측, 모니터링, 방제)(1시간)’라는 새로운 교과목을 신설하여 제한구역 관련 내용을 수용하는 것을 검토할 필요가 있다.

⑨비상외부지원(비상예인 등)과 조금이라도 관련이 있는 현행 교과목은 ㉦‘안전관리(2시간)’로 볼 수 있지만, ㉧‘비상외부지원(0.5시간)’이라는 새로운 교과목을 신설하는 것을 검토할 필요가 있다.

**4.2.3 오염 관련 교과목**

⑩경미한 오염 및 ⑪심각한 오염과 관련하여, HNS에 의한 해양수질오염, 해저퇴적물오염, 해안오염 및 대기오염에 관한 현행 교과목이 없으므로 ㉨‘해양화학오염(1시간)’이라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

**4.2.4 대응 관련 교과목**

⑫상황평가에 관한 현행 교과목이 없으므로 ㉩‘상황평가(0.5시간)’라는 새로운 교과목의 신설을 검토하거나 상황평가 관련 주요내용을 현행 교과목 ㉭‘해양화학사고 사례 및 대응전략(3시간)’에 수용하는 것을 검토할 필요가 있다.

⑬인명구조·대피에 관한 현행 교과목이 없으므로 ㉪‘인명구조 및 대피(1시간)’라는 새로운 교과목의 신설을 검토하거나 인명구조·대피 관련 주요내용을 현행 교과목 ㉫‘안전관리(2시간)’에 수용하는 것을 검토할 필요가 있다.

⑭선상초기대응에 관한 현행 교과목이 없으므로 ㉬‘선상현장대응(1시간)’이라는 새로운 교과목의 신설을 검토하거나 선상초기대응 관련 주요내용을 현행 교과목 ㉮‘해양화학사고 사례 및 대응전략(3시간)’에 수용하는 것을 검토할 필요가 있다.

⑮대응요원 위험과 관련이 있는 현행 교과목은 ㉯‘탐지 및 제독(2시간)’ 또는 ㉰‘개인보호장비(3시간)’로 볼 수 있으므로, 대응요원의 위험 관련 주요내용을 이러한 현행 교과목에 수용하여 다루거나 또는 (a)‘건강과 안전(0.5시간)’이라는 새로운 교과목을 신설하여 그 내용을 수용하는 것을 검토할 필요가 있다.

⑯대응수단(개인보호장비, 시료채취, 파공봉쇄)과 관련이 있는 현행 교과목은 ㉱‘탐지 및 제독(2시간)’, ㉰‘개인보호장비(3시간)’, ㉮‘해양화학사고 사례 및 대응전략(3시간)’, ㉱‘현장견학(5시간)’ 또는 ㉲‘종합실습 및 평가(5시간)’로 볼 수 있으므로, 대응수단 관련 주요내용을 이러한 현행 교과목에

Table 3. The current subjects and the improvements to training curriculum of response to marine chemical incidents in the Korea Coast Guard Academy (KCGA)

Classification of lessons		Current subjects (hour) [for 5 days]	Improved subjects (hour) [for 6 days]
		㉠Life culture (1 hr) ㉡Government policy education (1 hr), ㉢Orientation (1 hr), ㉣Questionnaire and completion ceremony (1 hr)	㉢Life culture (1 hr) ㉣Government policy education (1 hr), ㉤Orientation (1 hr), ㉥Questionnaire and completion ceremony (1 hr)
Incident-related information	①Incident occurrence and situation information		㉦Marine chemical incident information (1 hr)
	②Weather and sea state information		㉧Weather and sea state information (0.5 hr)
	③Ship information	㉨Understanding the structure of special ships (3 hrs)	㉩Maritime transport and dedicated special ships (3 hrs)
	④Cargo and substance information	㉪Chemical incident response information system (2 hrs)	㉫Cargo Information System (0.5 hr) ㉬Chemical Accident Response Information System (2 hrs)
Safety	⑤Fire or explosion	㉭fire fighting training (3 hrs)	㉮Fire and explosion prevention and extinguishing (3 hrs)
	⑥Toxicity	㉯Understanding of HNS (2 hrs)	㉰Understanding of chemical substances (1.5 hrs) ㉱HNS response (2 hrs)
	⑦Chemical risk assessment	㉲IMDG Code (1 hr)	㉳Chemical risk assessment (1 hr) ㉴IMDG Code (1 hr)
	⑧Exclusion zone	㉵Detection and Decontamination (2 hrs)	㉶Detection and Decontamination (2 hrs) ㉷HNS response method (forecast, monitoring, response) (1 hr)
	⑨Emergency external support (emergency towing, etc.)	㉸Safety management (2 hrs)	㉹Safety management (2 hrs) ㉺Emergency external support (0.5 hr)
	Pollution	⑩Minor pollution	
⑪Major pollution			
⑫Situation assessment			㉼Situation assessment (0.5 hr)
⑬Lifesaving and evacuation			㉽Lifesaving and evacuation (1 hr)
⑭Initial response on board			㉾On-board response (1 hr)
Response	⑮Risk to response personnel		(a)Health and safety (0.5 hr)
	⑯Response means (PPE, Sample collection, Sealing of leaks)	㉿PPE (3 hrs)	㊀PPE (3 hrs) ㊁Sample collection (0.5 hr) ㊂Sealing of leaks (0.5 hr)
	⑰Training, cases and lessons	㊃Marine chemical incident cases and response strategies (3 hrs) ㊄Field trip (5 hrs), ㊅Comprehensive practice and evaluation (5 hrs)	㊆Marine chemical incident cases and response strategies (3 hrs) ㊇Field trip (5 hrs), ㊈Comprehensive practice and evaluation (5 hrs)
Salvage	⑱Hull salvage		(d)Hull salvage and towing (0.5 hr)
	⑲Towing of hulls such as salvages		
	⑳Recovery of sunken cargo (1)Cargo transshipment		(e)Recovery and transshipment of cargo (0.5 hr)
Others	(2)Legislation		(f)International convention and domestic law (1 hr)
	(3)Communications and Media response		Future review
	(4)Crisis management		Future review
	(5)Etc.		Future review
	Total	15 subjects (35 hrs)	32 subjects (48 hrs)

수용하여 다루거나, 앞에 제안한 신설 교과목 ㉠‘HNS대응방법(예측, 모니터링, 방제)(1시간)’에 그 내용을 수용하는 것을 검토할 필요가 있다. 또는 시료채취 및 파공봉쇄에 관한 현행 교과목이 없으므로 (b)‘시료채취(0.5시간)’ 그리고 (c)‘파공봉쇄(0.5시간)’라는 새로운 교과목들의 신설을 검토할 필요가 있다.

㉡‘훈련·사례·교훈과 관련이 있는 현행 교과목은 ㉢‘해양화학사고 사례 및 대응전략(3시간)’, ㉣‘현장견학(5시간)’ 또는 ㉤‘종합실습 및 평가(5시간)’로 볼 수 있으므로, 훈련·사례·교훈 관련 주요내용을 이러한 현행 교과목에 수용하여 다루는 것을 검토할 필요가 있다. 특히 화학방제합 승함실습 또는 승함훈련을 검토할 필요가 있다.

#### 4.2.5 구난 관련 교과목

㉥선체인양, ㉦구난선체에인, ㉧침몰화물회수, (1)화물이적에 관한 현행 교과목이 없으므로 (d)‘선체인양과 예인(0.5시간)’ 그리고 (e)‘화물 회수와 이적(0.5시간)’이라는 새로운 교과목들의 신설을 검토할 필요가 있다. 또한 해양경찰교육원이 운영하고 있는 ‘해양오염방지 긴급구난과정(5일: 총35시간)’에 개설된 주요 교과목(KCGA, 2019) 중에서 필요한 교과목을 선정하여 추가로 도입하는 방안도 고려할 만하다.

#### 4.2.6 기타 관련 교과목

(2)법규에 관한 현행 교과목이 없으므로 (f)‘국제협약과 국내법(1시간)’이라는 새로운 교과목의 신설을 검토할 필요가 있다.

향후 교과목으로 검토할 필요가 있는 사항은 (3)소통 및 언론대응, (4)위기관리, (5) 기타(긴급방제계획, 대응조직(실무급, 관리급), 비상대응시스템, 대응단계, 대응옵션, HNS폐기물 처분, 방제작업 후 활동, 대응자원동원, 국제협력, 방제비용, 피해보상 등)이다. 이러한 검토 사항을 모두 교과목으로 수용하기 위해서는, IMO 모델교육과정(model training courses)에 따라, 현행 해양화학사고대응 과정을 2개의 과정(실무과정, 관리과정)으로 개편하는 방안을 검토할 필요가 있다.

따라서 해양경찰교육원 전문교육 해양화학사고대응 과정의 개선을 위하여, ㉨ 사고정보 관련 교과목 5개(7시간), ㉩ 안전 관련 교과목 9개(14시간), ㉪ 오염 관련 교과목 1개(1시간), ㉫ 대응 관련 교과목 10개(20시간), ㉬ 구난 관련 교과목 2개(1시간), ㉭ 법률 관련 교과목 1개(1시간) 그리고 ㉮ 기타의 교과목(오리엔테이션 등) 4개(4시간)로 구성되는 32개 교과목(48시간)의 6일간 교육과정으로 변경하는 방안을 제시하였다(Table 3).

이 개선안은 교과목 간 내용의 연계 또는 통합을 통하여 5일간 교육과정으로 재구성할 수 있는 기초자료로 활용되

나, 이 과정을 실무과정(24시간: 3일간 교육)과 관리과정(24시간: 3일간 교육)으로 개편할 수 있는 기초자료로도 활용 가능할 것이다.

## 5. 결론

석유화학제품 산적운송 화물선(화학유조선)에 의한 해상운송 과정에서 발생한 위험·유해물질(HNS) 관련 해양화학사고에 대하여 국내·국외의 주요 사례를 조사·분석함으로써 얻은 교훈 그리고 국내 해상HNS 교육과정 개선방안을 정리하면 다음과 같다.

1) 6건의 사고사례에서 얻은 교훈은 6가지 분야로 분류하여 요약하였다. 즉, ㉯ 사고 관련 정보 분야(사고발생·상황정보, 기상·해상정보, 선박정보, 화물·물질정보), ㉺ 안전 분야(화재·폭발, 독성, 화학위험평가, 제한구역, 비상외부지원), ㉻ 오염 분야(경미한 오염, 심각한 오염), ㉼ 대응 분야(상황평가, 인명구조·대피, 선상초기대응, 대응요원 위험, 대응수단, 훈련·사례·교훈), ㉽ 구난 분야(선체인양, 구난선체에인, 침몰화물회수, 화물이적), ㉾ 기타 분야(법규, 소통 및 언론대응, 위기관리, 기타)로 분류하고, 각 분야의 세부항목별 교훈을 요약하였다.

2) 6개 분야의 세부항목별 교훈을 바탕으로 해양환경교육원(MERTI) 유해액체물질운반선 해양오염방지기관리인 교육과정을 현행 8개 교과목(16시간)의 2일간 교육을 16개 교과목(24시간)의 3일간 교육으로 개선하는 방안을 제시하였다. 또한 선박해양오염비상계획서, 소통(통신), 지원요청에 관한 교과목을 신설하거나 그 내용을 현행 교과목 내에 반영하는 방안 그리고 HNS방제과정(실무자 및 관리자)을 개선하는 방안에 대한 검토를 권고하였다.

3) 6개 분야의 세부항목별 교훈을 바탕으로 해양경찰교육원(KCGA) 전문교육 해양화학사고대응 과정을 현행 15개 교과목(35시간)의 5일간 교육을 32개 교과목(48시간)의 6일간 교육으로 개선하는 방안을 제시하였다. 특히 화학방제합에서의 실습 또는 훈련을 도입하는 방안 그리고 현행 긴급구난과정의 주요 교과목 중에서 필요한 교과목을 선정하여 추가로 도입하는 방안에 대한 검토를 권고하였다. 또한 IMO 모델교육과정에 따라 소통 및 언론대응, 위기관리, 기타(긴급방제계획 등) 관련 교과목들을 수용하기 위하여 해양화학사고대응 과정을 2개의 과정(실무과정, 관리과정)으로 개편하는 방안에 대한 검토를 권고하였다.

이러한 연구결과는 해양화학사고 대응에 관한 경험과 교훈을 서로 공유하는 데에 기여하고, 해상HNS사고에 대비한 대응인력 교육·훈련과정 개선의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 논문은 2019년도 목포해양대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행한 연구결과이며, 이에 감사를 표합니다.

## References

- [1] CEDRE(2004), <http://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Bow-Mariner>.
- [2] CEDRE(2007), <http://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Alessandro-Primo>.
- [3] CEDRE(2009a), <https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Anna-Broere-Atlantic-Compass>.
- [4] CEDRE(2009b), <http://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Multitank-Ascania>.
- [5] CEDRE(2020), <https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Ievoli-Sun>.
- [6] Choi, J. W. and S. H. Lee(2007), Effect of Accession to OPRC-HNS Protocol on Korean Industry, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 13, No. 4, pp. 37-42.
- [7] Edvard, M.(2001a), Incident report on the Ariadne incident, Rijkswaterstaat North Sea Directorate, The Netherlands. (Abstracted July 2001 by Edvard Molitor, Swedish Coast Guard HQ), p. 1.
- [8] Edvard, M.(2001b), 1) Report on the Alessandro Primo accident from REMPEC by G. Tosco. 2) Report from EniChem, Milano, 1996. 3) Project documentation from Smit Tak, Rotterdam. (Abstracted July 2001 by Edvard Molitor, Swedish Coast Guard HQ), p. 1.
- [9] Emina, M., M. Girin, S. I. Floch, and R. I. Zir(2009), Review of chemical spills at sea and lessons learnt, A technical appendix to the INTERSPILL 2009 Conference White Paper "Are HNS spills more dangerous than oil spills?", pp. 1-40.
- [10] IMO(2011a), Introductory course on the response to HNS in the marine environment - instructor's manual operational level, p. 352.
- [11] IMO(2011b), Introductory course on the response to HNS in the marine environment - instructor's manual manager level, p. 346.
- [12] ITOPF(2014), Response to marine chemical incidents, Technical information paper 17, The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, UK, pp. 1-15.
- [13] Karen P.(2009), "Are HNS spills more dangerous than oil spills?", A White Paper for the Interspill Conference & the 4<sup>th</sup> IMO R&D Forum, Marseille, May 2009, ITOPF Ltd., UK, pp. 1-30.
- [14] KCGA(2019), [https://edu.kcga.go.kr/jsp/kcga/stud/stud\\_02\\_view.jsp](https://edu.kcga.go.kr/jsp/kcga/stud/stud_02_view.jsp).
- [15] KCGA(2020), [https://edu.kcga.go.kr/jsp/kcga/stud/stud\\_01\\_01\\_03.jsp](https://edu.kcga.go.kr/jsp/kcga/stud/stud_01_01_03.jsp).
- [16] Kim, K. S., J. H. Gang, and M. Lee(2015), 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.
- [17] Kim, K. S. and M. Lee(2017), A Study on the Improvement of Education and Training System for the Response to Marine Chemical Incidents in Korea - Based on the Comparison of Systems between Korea and Foreign Countries -, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 7, pp. 847-857.
- [18] MAIB(2000), "Report of the investigation of the fire on board Multitank Ascania in the Pentland Firth on 19 March 1999", Marine Accident Investigation Branch, Report No 22/2000, Southampton, UK, pp. 1-38.
- [19] MERTI(2020), <https://www.merti.or.kr/>.
- [20] MOF(2019), Statistics of Ministry of Oceans and Fisheries, ROK, <https://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=23987&boardKey=32&menuKey=396&currentPageNo=1>.
- [21] MOF(2021), PORT-MIS, ROK, <https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/index.xml&page=/portmis/w2/template/xml/UI-PM-MT-006-10.xml&menuId=0030&menuCd=M4740&menuNm=>
- [22] MOIS(2021), <https://www.mois.go.kr/ft/sub/a06/b11/safetyStep/screen.do>.
- [23] Neil, S.(2004), <https://www.icis.com/explore/resources/news/2004/06/02/562329/bow-mariner-chemical-tanker-disaster/>.
- [24] NICS(2021), <https://nics.me.go.kr/sub.do?menuId=15>.
- [25] ULSANCGS(2019), The Evaluation and Analysis of the Explosion and Fire Accidents on board Chemical Tanker "Stolt Groenland", Proceedings of International Expert Seminar on Urgent Salvage for the Prevention of Marine Pollution held by Korea Coast Guard in Incheon on Dec. 13, 2019, pp. 1-22.

Received : 2021. 02. 03.

Revised : 2021. 02. 22.

Accepted : 2021. 02. 25.