

위험유해물질 유출사고 대응을 위한 가상시나리오 개발

이문진*† · 오상우**

*, ** 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Development of Response Scenario for a Simulated HNS Spill Incident

Moonjin Lee*† · Sangwoo Oh**

*, ** Korea Research Institute fo Ships & Ocean Engineering/KIOST, Daejeon 305-343, Korea

요 약 : 해양사고 발생시 대응능력 향상을 위해 대응훈련 및 이를 위한 시나리오 개발이 필요하다. 본 연구에서는 위험유해물질 유출사고 대응체계 구축의 일환으로 가상 위험유해물질 유출사고에 대한 대응 시나리오를 개발하였다. 가상 시나리오는 부산 해역을 대상으로 개발하였으며, 대상해역에서 발생될 수 있는 가상 사고 시나리오와 이에 대한 대응 시나리오를 각각 개발하였다. 가상 사고 시나리오는 대상해역인 부산해역의 위험평가 및 취약성분석을 통해 발생될 수 있는 위험유해물질 유출사고를 선정하고, 가상 사고로 인해 발생될 수 있는 피해를 예측하여 구축되었다. 가상 사고에 대한 대응 시나리오는 가상 사고 시나리오의 피해예측에서 제시된 피해를 수습하기 위한 단계별 조치사항으로서 제시하였다. 부산해역의 위험유해물질 가상 유출사고는 부산 감천항 충돌사고로 인한 자일렌(xylene) 1,000톤 유출사고로 선정하였으며, 이로 인한 피해는 자일렌의 대기확산 및 해양확산 계산을 통해 예측하였다. 또한 가상 사고에 대한 대응 시나리오는 피해지역의 주민 대피, 자일렌 확산 방지 및 회수, 대응요원 보호조치, 사고지역 사후 관리 등에 대한 단계별 조치사항을 제시하였다.

핵심용어 : 위험유해물질, 유출사고 위험평가, 대응활동, 가상사고, 피해예측

Abstract : In response to possible HNS (Hazardous and Noxious Substance) spill accident, HNS spill accident scenario and response scenario were developed. The accident area listed in scenarios is the coastal area of Busan, and scenario for possible accident in the designated area and strategies to respond the accident were developed, respectively. The scenario for accident was developed by designating HNS spill according to risk evaluation of HNS and analysis of HNS spill probability along the coastal area of Busan, and then estimating possible and potential impact from the accident. The scenario for response has been suggested as a systematical responding operations in order to effectively reduce the estimated impact from the accident. The possible HNS spill accident on the seas around Busan, has been designated by the spillage of 1,000ton of xylene due to collision accident in Gamcheon Port, and the possible impacts occurred by the accident has been simulated with the help of the atmospheric and oceanic dispersion model of xylene. In the responding scenario for the accident, a phased strategies regarding emergency rescue of peoples, protection and recovery of xylene, protective measures for the responders, and post management of the accident have been suggested.

Key Words : HNS (Hazardous and Noxious Substance), Spill accident risk evaluation, Response operations, Accident scenario, Impact Prediction

1. 서 론

위험유해물질 해상물동량이 전체 물동량의 18% 이상 차지하고 있고, 매년 증가폭이 확대되고 있어 이로 인한 대형 유출사고의 위험이 증대되고 있다. 위험유해물질은 독성·유해성이 있어 사고 발생시는 인체 및 환경에 치명적인 영향을 미치고, 일부 물질은 짧은 시간에 넓은 지역까지 오염

이 확대되기 때문에 신속하게 대처할 수 있도록 대비하는 것이 필요하다. 위험유해물질사고에 신속하게 대응하기 위해서는 사고로 인한 영향을 예측하고 피해를 최소화하기 위한 대응전략을 마련하여 비상시 대처해야 한다.

2004년 12월 울산 온산항에서 자일렌 이송파이프가 파손되면서 자일렌이 해상으로 유출되는 사고가 발생하였다. 사고 대응과정에서 여러 가지 문제가 발생하였는데, 우선 자일렌 확산방지를 위해 설치한 오일펜스의 일부가 자일렌에 의해 변성되어 기능을 다하지 못 하였고, 현장 방제요원은

† Corresponding Author : Moonjin.Lee@kriso.re.kr, 042-866-3614

자일렌의 유해성을 인지하지 못한 채 방제작업을 실시하여 호흡기, 피부 등을 통해 자일렌에 노출되었다. 방제가 진행되는 과정에서 자일렌의 유해성 정보가 제공되었지만, 현장 방제요원을 보호하기 위한 개인보호장비가 절대적으로 부족하였다. 우리나라의 위험유해물질 물동량 및 사고이력을 분석한 위험유해물질 사고 위험평가에서 우리나라의 위험유해물질 사고는 최대 10,000톤까지 발생될 수 있는 것으로 제시된 바 있다(Lee and Jung, 2013).

위험유해물질의 해상운송량이 지속적으로 증가하고 있으며, 미국, 영국, 호주 등 국가에서 크고 작은 사고를 경험하면서 위험유해물질 사고의 재난적 잠재위험성이 국제적으로 논의되기 시작하였다. 이에 국제해사기구에서는 2000년 3월 OPRC-HNS 의정서를 채택하여 국가마다 위험유해물질 사고 대비·대응체계를 구축하도록 하고 있으며, 우리나라는 울산 온산항의 자일렌 유출사고를 계기로 위험유해물질 사고 대비·대응체계 구축사업을 본격적으로 추진하게 되었다. 그러나 6,000여종의 위험유해물질이 해상으로 운송되고 있고 그 종류만큼 다양한 물리화학적 특성과 위험·유해성을 가지고 있어 사고에 효과적으로 대비·대응하는 것은 어려움이 있다 (IMO, 1999; Singsaas, 2011). 특히, 일부 위험유해물질은 짧은 시간에 넓은 지역까지 오염이 확대되기 때문에 신속하게 사고에 대처할 수 있도록 대비해야 한다. 이를 위해서는 발생가능성이 높은 가상사고 시나리오를 마련하여 사고의 전개 과정에서 발생할 수 있는 피해를 예측하고, 예상되는 피해를 최소화하기 위해 필요한 조치사항과 과정을 사고대응 시나리오로 작성하여 활용하는 것이 필요하다. 또한 가상사고 시나리오를 바탕으로 대응시나리오를 개발하는 것은 사고로 인한 피해를 정확히 예측하여 현장 대응의 우선순위를 결정하고, 대응에 필요한 조치사항의 누락을 방지하며, 사고 대응과정에서 필요한 자원 소요량을 파악하는데 크게 기여할 수 있다.

본 연구에서는 위험유해물질 유출사고 대응체계 구축의 일환으로 우리나라 최대 항만인 부산해역을 대상으로 위험유해물질 유출사고 가상 시나리오와 이에 대응하기 위한 대응 시나리오를 개발하였다. 부산해역의 가상 사고는 위험평가와 취약성분석을 통해 발생가능성이 높은 사고를 선정하고, 이에 대응하기 위한 단계별 조치사항과 과정을 대응 시나리오로 개발하였다. 본 연구에서 위험유해물질 사고 유형은 화재, 폭발 및 독성물질 유출 사고 등 대표적 위험유해물질 사고 중 위험유해물질 사고의 피해유형을 가장 잘 표현할 수 있는 독성물질 유출사고를 선정하였다.

2. 위험유해물질 가상사고 시나리오

2.1 개요

위험유해물질 가상사고 시나리오 개발을 위해서는 우선 대상해역에 대한 위험평가와 취약성분석이 선행되어야 한다. 위험평가란 대상해역을 중심으로 운송되는 위험유해물질의 운송현황, 물리화학적 특성에 기초한 사고 발생가능성, 사고 발생시 예상되는 피해규모, 과거의 사고이력 등을 분석하여 사고 발생가능성이 높은 물질을 선정하는 과정이다. 또한, 취약성분석은 대상해역의 교통밀도, 지형적 특성, 해·기상상태, 민감자원과 산업시설의 분포, 인구현황 등을 고려하여 어떠한 장소에서 어떤 형태의 사고가 발생할 것인가를 추정하는 과정이다. 가상 사고는 사고 발생가능성과 피해영향범위를 고려하여 선정하며, 가상 사고를 바탕으로 사고 발생시에 대비한 대응계획을 수립하는 것이므로 최악의 가상 사고를 선정한다.

2.2 위험평가

부산해역에서는 페인트, 하이드록시 칼륨, 질산 등 43종 (Table 1)의 위험유해물질이 운송되고 있으며, 본 연구에서는

Table 1. 43 HNS transported commonly around Busan harbor

Name of HNS		Name of HNS	
1	Paint	23	Trichloro Ethylene
2	Tolylene Diisocyanate	24	Tetramethylammonium Hydroxide
3	Polymeric Beads, Expandable	25	Thiourea Dioxide
4	Potassium Hydroxide	26	Toluene
5	Sulphamic Acid	27	Isopropyl Alcohol
6	Paraformaldehyde	28	Vinyl Acetate Monomer
7	Nitric Acid	29	Zinc Chloride
8	Nitrocellulose	30	Caustic Sodas
9	Vanadium Pentoxide	31	Ethanol
10	C3	32	Cyclo Benzene
11	C4	33	Acetic Acid
12	Phenol	34	Aniline
13	Yellow Phosphorus	35	Butyl Acetate
14	Sodium Sulfide	36	Diocetyl Phthalate
15	Non Activated Charcoal	37	Cumene
16	Titanium Tetrachloride	38	Acetone
17	Methyl Ethyl Ketone	39	Cyclo Hexanone
18	Sulphuric Acid	40	Meta Xylene
19	Crude Benzene	41	Ethylene Glycol
20	Furfuryl Alcohol	42	Crude Acrylic Acid
21	Methanol	43	Methy Methacrylate Monomer
22	Ethyl Acetate		

위험유해물질 유출사고 대응을 위한 가상시나리오 개발

물동량이 있는 43종 전부를 대상으로 위험평가를 실시하였다. 사고물질 선정을 위한 위험평가는 3단계로 실시하였으며(Fig. 1), 1단계에서는 스크리닝 기법을 적용하여 상온에서의 상태, NFPA 코드, 인화점, 끓는점, 증기압 등의 기준을 마련하여 기준미달 물질을 배제하였다(NIER, 2003; Lee and Kim, 2012). 또한 2단계에서는 Scoring 기법을 적용하여 밀도, 용해도, 비중, 옥탄올/물 분배계수 등을 고려한 해수에서의 거동특성과 급성독성, 물성 등에 기초한 대기확산 가능성을 평가하여 점수화하고 이를 통해 후보물질의 우선순위를 결정하였다. 3단계는 전문가의 의견이나 과거 사고이력 등을 반영하는 단계로 본 연구에서는 과거 사고이력만을 고려하여 Scoring 기법 적용결과 위험성이 높은 것으로 나타난 자일렌, 비스(2-메틸헥실)프탈산, 이소프로필벤젠 중에서 사고이력이 있는 자일렌을 사고물질로 선정하였다.

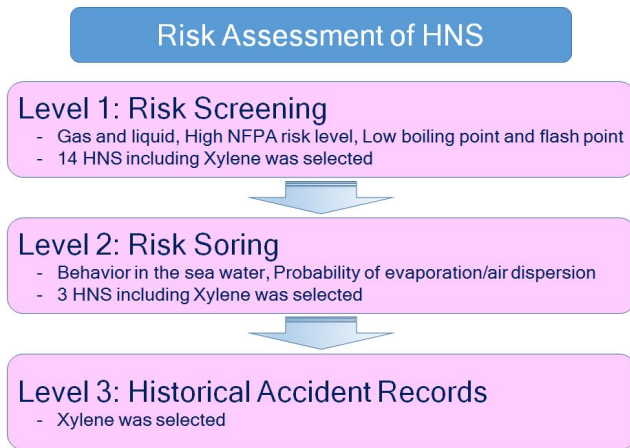


Fig. 1. Risk assessment of HNS for spill accident scenario.

2.3 취약성 분석

부산해역은 비교적 단조로운 해안선을 가지며, 주요 항구로 부산항(남항, 북항 포함), 감천항, 다대포항 등이 있다. 부산항에 입항하는 선박은 척수 기준으로 우리나라 총 입항선박의 약 24%를 차지하고 있으며, 이중 연안선박과 외항선박이 각각 40%와 60%의 비율을 차지한다. 부산항에 입항하는 유조선은 모두 정제유 운반선이며, DWT 3,000톤 규모 이하의 선박의 입·출항이 대부분이다. 사고 발생가능성이 높은 지역과 사고 유형을 예측하는 것은 쉬운 일이 아니지만, 여기에서는 과거에 발생했던 해양오염사고 현황분석을 통해 사고 발생위험성을 분석하고 예상되는 피해규모 및 실현가능성을 평가하여 판단하였다. 해양오염사고 현황분석은 1982년부터 2007년까지 발생한 해양오염사고 중 10톤 규모 이상의 사고를 대상으로 하였으며, 과거 25년 동안 부산해역에서는 총 52건 사고가 발생하였고 위험유해물질 사고는 발

Table 2. Analysis of HNS spill probability on the seas around Busan

Items	Busan Port	Gamcheon Port	Namhyung archipelago
Risk of accident	High	High	High
Scale of accident	> Medium	> Small	Large
Type of accident	Collision, Stranding, Shipwreck	Collision	Stranding, Shipwreck
Sensitive resources	Fishery right, Coastal park	Beach, Coastal park, Power plant, Water-intake facility	-
Expected scale of damage	Large damage for humans, Restriction on commercial activity	Large damage for humans, Suspension of industrial facility	No diricet damage
Possibility of realization (HNS tanker navigation)	Low (None)	High (Presence)	Medium (Presence)

생하지 않았다. 10톤 규모이상의 오염사고 중 사고 발생빈도가 높은 해역은 부산 남항과 북항의 진입수로를 포함한 부산항 주변해역, 감천항 인근해역, 남형제도 부근해역이었다. 부산항의 진입수로는 입항선박과 출항선박이 서로 교차하여 통항하고 있으므로 선박간 충돌사고 위험이 높으며, 특히 부산 남항 입구에는 대기선박의 묘박지가 설치되어 있어 중형규모 이상의 사고 발생율이 높은 것으로 나타났다(KIOST, 2008). 감천항은 위험유해물질 취급시설과 감천지방산업단지, 폐기물 저장탱크 등이 위치하고 있어 중·소형선박의 입·출항이 많은 곳으로 소형규모 이상의 사고가 빈번하게 발생하였다. 남형제도 부근해역은 유조선 통항금지선경계에 인접한 지역으로 해무 발생시나 야간 등 시야 확보가 어려울 때 대형규모의 해난사고 발생빈도가 높은 것으로 보고되고 있다(KIOST, 2008). 위험유해물질 사고 발생시 피해를 예측한 결과, 부산항은 상업지역 및 주민 거주지역이 인접하여 대규모 인명피해 발생가능성이 높고, 사고가 종료될 때까지 주변 상업 활동이 제한되어 재산상 피해가 클 것으로 판단된다. 감천항도 위험유해물질 취급시설과 감천지방산업단지와 같은 산업시설이 위치하고 감천항 주변으로 주민 거주지역이 있으므로, 인명피해와 재산상 피해가 크게 발생할 것으로 예상된다. 남형제도 부근해역의 경우에는 사고지역을 통항하는 선박의 피해를 제외하고는 큰 피해나 영향이 없을

것으로 판단된다. 마지막으로 3개 지역에 대한 실현 가능성을 고려해 보면, 부산항은 위험유해물질 선박의 입·출항의 빈도가 낮으며, 감천항은 항구 안쪽으로 위험유해물질 취급시설이 3개소 위치하여 선박의 입·출항이 빈번하게 이루어지고 있으며, 남형제도 부근해역은 울산, 여수 등으로 이동하는 선박의 통항이 있는 것으로 평가된다(Table 2).

2.4 위험유해물질 가상사고 시나리오

부산주변해역으로 운송되는 43종의 위험유해물질의 위험 평가를 통해 자일렌을 사고물질로 선정하였고, 사고 발생위험성이 높고 사고의 피해가 클 것으로 예상되며 실제 발생 가능성도 있는 감천항 인근해역을 사고 발생지역으로 결정하였다. 또한, 감천항은 선박간 충돌로 인한 사고가 빈번하게 발생하는 지역이므로, 사고유형은 충돌사고로 인해 자일렌이 유출되는 사고로 가정하였고, 유출규모는 부산해역에서의 자일렌 물동량인 1,000톤으로 하였으며, 사고지역의 해·기상조건은 사고 발생시의 해·기상상태를 적용하였다. 부산해역에서 발생가능한 위험유해물질 가상사고의 시나리오는 다음과 같다.

10월 19일 오전 8시 부산시 감천항 모든(주) 앞 해상에서 자일렌 선적작업 후 출항하던 A호(위험유해물질운반선, 3,000톤급, 승무원 10명)이 감천항으로 입항중인 B호(화물운반선, 3,000톤급, 승무원 8명)와 충돌하여 자일렌이 유출되는 사고가 발생함. 사고해역은 남서풍의 바람이 4m/s로 불고 기온은 20℃였음	
사고물질의 특성	- 정전기 발생시 발화 또는 폭발 초래 - 노출시 피부자극, 구역·구토 발생 유독물 - 호흡기 및 피부 등 다양한 경로로 노출
피해예상 규모	- 오염지역: 반경 962 m, 주의지역 : 1,962 m, 주민대피지역 : 7,071 m - 피해영향범위 : 사하구, 서구, 중구 등 14개지역 27,618명 인원 노출가능성, 11.20 km ² 지역에 대한 오염가능성

사고가 시간대별로 진행 또는 전개되는 과정을 가상사고 시나리오라 하며, 시나리오 작성시는 시뮬레이션 등을 통해 사고피해를 정량적으로 예측하여 사고대응시나리오 개발시 기초자료로 활용하여야 한다(Noll et al., 2005).

〈오전 8시 5분〉 최초 사고신고가 부산해양경비안전서에 접수되며 신고 초기에는 단순 충돌사고로 인지되었으나, 최초 사고 후 3분뒤에 자일렌 유출에 대한 선주로부터 자일렌 유출사고가 접수된다.

〈오전 8시 10분〉 자일렌의 유출이 시작되면서 사고해역에는 악취가 발생하기 시작하고, 자일렌에 노출된 승무원에게 증상이 나타나기 시작한다. 자일렌 증기가 감천항 일대에 확산되었으며, 감천항에서 작업중이던 근로자 등이 영향을 받기 시작한다. 일부 승무원은 대피를 시도하고, 선장 등

은 자일렌의 유출을 방지하기 위해 응급조치를 시도한다.

〈오전 8시 20분〉 선박이 좌측으로 기울기 시작하면서 선박의 모든 승무원이 대피한다. 자일렌 증기가 영도대교 방향으로 4 m/s의 속도로 확산되고 있다. 부산 오복식품(주)에 근무하고 있는 근로자와 구호병원, 아동병원에 입원하고 있는 환자들이 자일렌 증기에 노출되기 시작한다. 사고현장에 해양경비안전서 경비함정이 도착하지만 자일렌 증기로 인해 현장 접근이 어렵다.

〈오전 8시 30분〉 유출된 자일렌으로부터 증기가 발생하여 감천항 안쪽으로 모여들기 시작한다. 화재위험성이 증가하고 있다. 자일렌 증기가 영도대교를 지나 부산항 인근해역까지 이동하고 있다(Fig. 2). 사고로 인한 인명피해가 발생하기 시작한다(Fig. 3). 최초 희생자는 사고선박의 기관사이다. 사고지점을 중심으로 반경 962m범위로 인체에 치명적인 정도의 자일렌 증기가 확산되어 있다(Fig. 4). 영도대교 방향으로 약 4 km 지점까지 유해한 정도의 자일렌 증기가 확산되었다. 영도대교의 이용은 불가능하다. 언론이 사고 관련 기사를 보도한다.

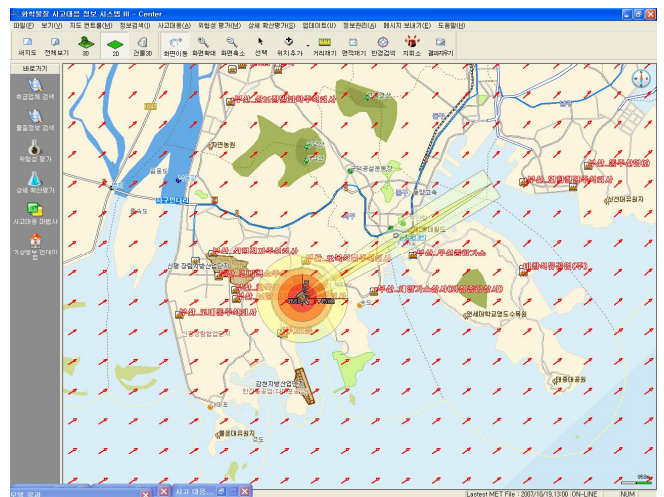


Fig. 2. Predicted impact area caused by vapor cloud of xylene.

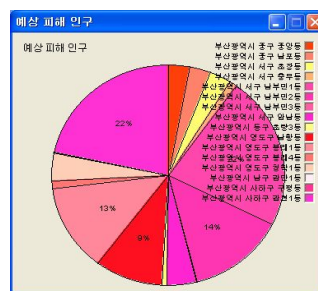


Fig. 3. Estimation of casualties caused by vapor cloud of xylene.

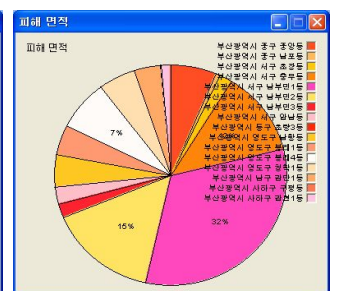


Fig. 4. Estimation of impact area caused by vapor cloud of xylene.

〈오전 9시 5분〉 이제 사고지점으로부터 7km지역까지 자일렌 증기가 확산되었다. 해상으로 유출된 자일렌이 (주)삼한산업으로 이동한다. 확산이 진행되면서 해안에 자일렌이 부착하기 시작한다(Fig. 5). 사하구 구평동의 구호병원에 노출 환자가 후송되지만 구호병원도 오염되어 진료가 불가능하다. 구호병원에서 두 번째 사고 희생자가 발생한다.

〈오전 9시 30분〉 사하구, 서구, 중구, 영도구 지역에서 응급환자 발생신고가 증가하고 있다. 119구조대 구급차량이 부족하며, 환자 후송이 가능한 병원이 부족하다. 자일렌 해양확산이 계속되어 항구 안쪽에 위치한 감천 화력발전소에 문제가 발생하고 있다. 부산해양경비안전서의 방제정이 도착하지만 개인보호장비가 부족하다.

〈오전 11시 05분〉 유출된 자일렌의 50%가 해안에 부착하였다(Fig. 6). 자일렌 증기 발생은 계속되나 공기와의 희석으로 유해한 정도는 아니다. 노출환자는 증가하나 더 이상의 사망자는 발생하지 않는다.

〈오후 16시〉 유출 자일렌이 대부분 해안에 부착하였다(Fig. 7). 감천 화력발전소와 (주)한보부산 등의 취수공업시설 사용이 제한된다. 감천항 부두사용은 불가능하다.

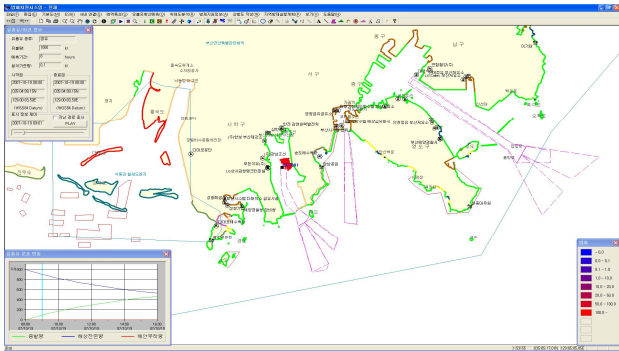


Fig. 5. Predicted dispersion area of xylene in the sea after 1 hour from spill.

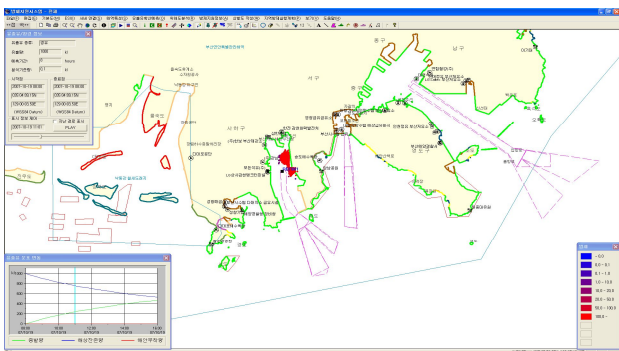


Fig. 6. Predicted dispersion area of xylene in the sea after 3 hours from spill.

3. 위험유해물질 유출사고 대응시나리오

3.1 개요

감천항에서 발생한 자일렌 유출사고의 피해를 분석하면 위험유해물질 사고가 유류사고와는 다른 위험 특성을 가지는 것을 알 수 있다. 일부 위험유해물질은 위험 노출까지의 시간이 매우 짧고, 넓은 지역으로 피해가 확대될 수 있으며, 호흡기, 피부 등 다양한 경로로 노출이 일어나고, 화재·폭발 등 물리적 위험뿐만 아니라 독성 위험까지 가지고 있어 사고가 복잡하게 전개될 수도 있다. 이러한 위험 특성으로 위험유해물질 사고는 피해가 확대되지 않도록 신속·정확하게 초동대처 해야 하며 다수의 대응기관이 대응활동에 참여하므로 신속한 상황 전파와 대응기관간 정보 공유가 매우 중요하다. 또한, 위험유해물질 사고 대응시는 피해가 예상되는 지역의 주민 보호와 사고 대응자 안전을 최우선으로 고려하여 대응활동을 전개해야 한다.

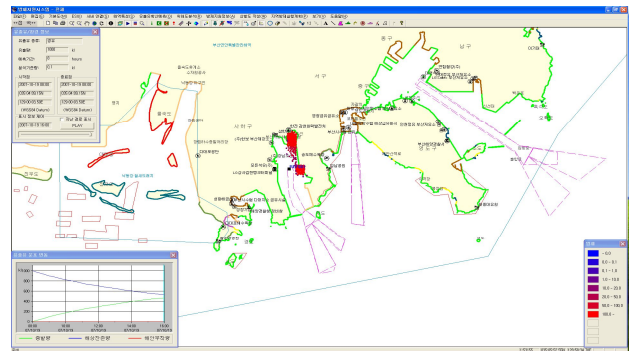


Fig. 7. Predicted dispersion area of xylene in the sea after 8 hours from spill.

3.2 사고대응절차 및 조치사항

감천항 자일렌 유출사고의 대응은 주민 보호와 사고 대응자 안전 확보, 사고해역 통제, 유출된 자일렌의 확산 방지에 대응의 우선순위를 두고 실시해야 한다. 사고 발생후 10분 이내에 감천항 일대 반경 962m 범위에 자일렌 증기가 확산되었으며, 4m/s의 속도로 영도대교 방향으로 확산되어 30분 경과 후에는 4km지점까지 이동되었으며, 1시간 경과후에는 7km 지점까지 이동하였다. 따라서 10분 이내에 감천항 인근의 주민 대피가 이루어져야 하며, 피해 영향범위에 포함되는 사하구(구평동 등 2개동), 중구(중앙동), 서구(초장동 등 6개동), 동구(조량동), 영도구(봉래동), 남구(감단동)의 주민대피가 1시간이내 이루어져야 한다. 이를 위해서는 사고발생 즉시 피해규모를 판단하여 지자체 등에 주민대피에 필요한 조치를 시행하도록 요청해야 한다. 이때 지자체는 지역방송 매체, 안내방송, 민방위대 동원, 부산시의 긴급구조통제단

가동 등을 통해 주민보호계획을 시행해야 한다. 사고대응자의 안전확보를 위해 부산해양경비안전서 상황실에서는 현장 대응요원에게 개인보호장비를 착용하고 사고현장에 진입하도록 안전지침을 하달하고, 만약 개인보호장비가 부족할 경우에는 지자체, 단·업체, 유관기관에게 장비 및 물자 동원을 요청해야 한다.

사고 접수와 동시에 감천항의 선박입항은 금지해야 하며, 자일렌 증기 확산이 예상되는 부산항의 입항도 단계적으로 통제해야 한다. 또한 경찰과 협조하여 감천항으로 연결되는 모든 도로는 통제하고 감천항 근로자와 승무원, 주민 대피를 위한 대피로와 대응요원 진입로를 확보해야 한다. 시물레이션을 통해 해수에서의 자일렌 확산을 예측한 결과 사고 발생 1시간이 경과한 후부터는 자일렌의 해안부착이 시작되므로 확산방지를 위한 펜스 설치가 신속하게 이루어져야 한다. 자일렌 확산이 예측되는 감천항 내부에는 감천 화력발전소, 취수공업시설 등이 위치하고 있어 확산이 계속될 경우 막대한 재산피해가 발생할 수 있다.

3.3 단계별 대응시나리오

3.3.1 상황접수, 전파 및 응급대응

사고선박에서 부산해양경비안전서 상황실로 선박간 충돌 사고가 발생하여 자일렌이 유출되고 있다는 신고가 접수되었다. 상황실에서는 사고해역 인근에 있는 경비함정(1,2)에게 긴급출동을 지시하고 지휘보고 및 상황보고를 실시하였다. 상황실에서는 자일렌이 호흡기, 피부 등을 통해 흡수되며 노출시 구토·구역울 일으키는 유독성물질임을 확인하고 출동중인 경비함정에게 사고지점 접근시는 개인보호장비를 착용할 것을 지시하였다. 사고해역에 도착한 경비함정(1)는 감천항 진입수로 방파제에 우선 정지하여 개인보호장비를 착용하고 사고지점으로 이동하고, 경비함정(2)는 감천항 진입수로의 방파제에서 입항선박을 통제하고 있다. 부산해양경비안전서 상황실에서는 부산시, 사하구·서구·중구·영도구 등에 사고 상황을 전파하고 감천항 인근주민에게 안내 방송을 실시하고 주민보호에 필요한 조치해 줄 것을 요청하였다. 또한, 부산지방경찰청, 부산시 소방방재본부, 53사단 등 유관기관에 사고 상황을 전파하고 감천항 일대 반경 1km 범위에 대한 주민통제 등 협조를 요청하였다. 부산해양경비안전서 해양오염관리과장은 화학물질사고대응정보시스템을 가동하여 자일렌의 물질정보를 검색하여 사고현장에 제공하고 현장 출동을 위해 사고대응팀을 구성하도록 지시하였다.

3.3.2 초동조치

물질조사반과 통제반이 현장에 출동하여 충돌사고의 원

인과 파공부위, 자일렌 유출량 등 사고 및 피해규모를 판단할 수 있는 각종 정보를 수집하고 HNS 사고평가서를 작성하였다. 사고선박은 자일렌을 2,000톤 선적하고 있는 위험유해물질 선박으로 통제반은 자일렌 유출량을 1,000톤 규모로 추정하였다. 상황실에서는 화학물질사고대응정보시스템과 해양오염방제지원시스템(KIOST, 2007)을 이용하여 유출된 자일렌의 대기확산 범위와 해수로의 확산예측을 실시하였다. 자일렌 증기의 대기확산 범위를 예측한 결과 사고지점을 중심으로 반경 1km, 영도대교 방향으로 7km 까지 자일렌 확산이 예측되었다. 해상으로 유출된 자일렌은 해수유동에 따라 감천 화력발전소 방향으로 이동중에 있으며 1시간 경과후에는 해안부착이 일어나는 것으로 나타났다. 이에 따라 해양경찰서장은 감천항 일대 반경 1km 범위를 오염지역으로 선정하여 1차 오염통제선을 설치하고 진·출입을 통제하였다. 부산시청은 사하구 등 피해확산범위내의 주민보호를 위한 대피계획을 수립하여 시행하기로 하고 사하구 등 6개구의 민방위대원의 동원령을 발령하였다. 감천항과 부산항에 선박 입항이 금지되었고 사고현장에 해양경찰서의 방제작업반이 출동하여 사고선박의 유출 부위를 밀봉하는 응급조치를 실시하였다. 해양경찰서에서는 사고선박 소속회사에 해상오염 방제명령을 하고 방제업체에 동원준비를 지시하였다.

3.3.3 현장대응

사고지점 인근에 위치한 한진해운감천터미널에 부산해양경비안전서장을 지휘관으로 현장지휘소가 설치되었다. 현장지휘소는 상황관리팀, 사고대응팀, 인명구조팀 등 3개팀으로 편성되었으며, 경찰·소방 등 관계기관 합동으로 구성되었다. 부산해양경비안전서 강당에는 지휘통제반, 방제상황반, 보급지원반, 행정지원반, 현장조사반 등 5개반으로 편성된 지역방제대책본부가 설치되었다. 방제전략 수립과 방제시행시 기술지도를 위해 남해청 방제계장을 팀장으로하여 기동방제팀이 현장에 출동하였으며 사고선박의 유출방지 조치가 완료되었다.

유출물질 확산예측 결과를 바탕으로 탐색활동을 전개하여 해양오염 상황도를 작성하였고 이를 기초로하여 방제범위를 결정하였다. 감천항 주변해역에는 어장, 양식장 등의 민감자원은 없으나 감천항 안쪽에 감천 화력발전소 및 취수공업시설이 있어 유출물질이 감천항 내부로 확산되는 것을 방지하기 위해 내화학용 오일펜스를 설치하였다.

한편, 지역방제대책본부에서는 현장지휘관, 지역방제대책협의회, 사고선박 소속회사, 방제기술지원협의회 등이 으로 구성된 방제대책회의가 개최되었으며 방제대책회의에서는 방제전략을 수립하고 방제작업 범위와 방제세력의 동원범

위험유해물질 유출사고 대응을 위한 가상시나리오 개발

상황발생	
08:05 - 사고접수 및 전파 - 사고정보 수집	- 사고 상황 전파 및 관계직원 비상소집 - 사고보고 및 관계기관 협조요청 - 감천항 선박 입항통제
08:10 - 경비합정 현장 출동 - 초기 사고현장 통제	- 현장 대응요원에게 사고물질 정보제공, 개인보호장비 착용지시 - 지자체·경비합정 : 감천항 근로자 및 인근주민 대피방송 - 초기통제선 설치 : 감천항 일대 반경 1km, 아랫바람방향으로 2km
08:15 - 지역 지역긴급구조통제단 가동	- 사고선박 승무원 대피지시 - 긴급구조 및 구호활동 전개
08:20 - 주민보호조치 시행 - 구조요원 투입, 구호활동	- 사하구 등 주민대피 방송 및 대피명령 (영도대교 방향으로 7km, 피해확산범위를 고려하여) - 영도대교 통제 및 부산항 선박 입항통제 - 구호병원, 아동병원 환자대피 지원 - 민방위대원 동원명령
08:30 - 대응조직 가동 - 공격적 구호활동 - 방제정 현장 출동 - 물리적 위험성 제거	- 작전지역 분류(위험지역, 준위험지역, 안전지역) - 사고해역 진출입통제 - 지역방제대책본부 및 현장지휘소 가동 - 부산시 재난안전대책본부 및 긴급구조통제단 가동 - 현장응급의료소 설치, 가동 및 환자 이송
08:50 - 유출물질 확산방지	- 사고해역 펜스 전장 및 사고선박 유출방지 조치 - 자일렌 유출부위 밀봉조치
09:30 - 방제대책회의 개최	- 방제전략 수립 및 방제세력 동원범위 결정 - 유출물질 탐색 및 감천항 일대 모니터링, 방제 및 제독범위 결정 - 방제 및 제독자원 동원요청
10:30 ~ - 방제자원, 물자확보 - 인력동원	- 방제기자재 등 자원보급 - 임시보급소 설치운영
11:00 ~ - 방제시행, 오염지역 제독	- 방제세력 배치 및 지휘·통신망 구축 - 방제시행 및 방제상황관리, 필요시 오염지역 제독 - 인체제독소 설치운영
18:00 ~ - 사고처리 평가 - 사후관리	- 사고해역 및 감천항일대 사고조사, 추가 방제여부 결정 - 해수, 대기 모니터링, 주민복귀 결정 - 사고선박 처리

위를 결정하였다. 방제전략은 자일렌은 경유와 유사한 거동 특성을 가지므로 약 50%는 자연방산 처리하고 나머지 50%에 대해서 해상방제를 실시하기로 결정하였다. 초동대응단계에서 동원가능한 방제세력이 2,178 kt이므로 추가 방제세력의 동원은 필요없는 것으로 판단하였다. 자일렌의 해안부착시는 감천항 안쪽에 있는 화력발전소와 취수공업시설 가

동에 영향을 미칠 것을 고려하여 50% 전량을 해상방제하기로 결정하였다. 감천항 내에서는 유처리제를 사용할 수 없으므로 펜스로 발전소, 취수공업시설으로 확산되는 것을 최대한 방지하고 감천항 진입수로쪽으로 유도하여 방제를 실시하기로 결정하였다. 방제대책회의에서는 부산시청과 사고선박 소속회사에서 방제에 필요한 방제기자재와 물자, 방

제요원의 보호를 위해 개인보호장비를 충분히 확보해 줄 것을 요청하였다. 현장지휘관은 소방과 지역책임부대에 방제요원을 위한 인체제독소를 설치해 줄 것을 요청하였으며, 현장지휘소에 인접하여 임시보급소를 설치하였다. 현장지휘관은 방제전략에 따라 방제세력을 배치하고 방제작업을 위한 지휘통신망(지휘채널 : VHF CH 15, 보조채널 : VHF CH17)을 구축하였으며 오전 11시부터 유출물질 회수·제거를 위한 방제작업이 시행되었다.

3.3.4 사후관리

방제작업이 종료되고 지역방제대책본부, 부산시청, 방제기술지원협의회 등 전문가, NGO 단체, 주민 등으로 구현장조사팀이 구성되었다. 자일렌 증기로 오염되었던 (주)모든, (주)삼한산업 등 사고해역에 대한 현장방문조사를 실시하고 해수 및 대기오염상태에 대한 모니터링 실시되었다. 모니터링 결과, 잔류하는 자일렌이 없음을 확인하고 지역방제대책본부장은 방제종료 및 상황해제를 결정하였다. 부산시청은 추가적인 오염의 우려가 없다고 판단됨에 따라 오후 18:00시에 대피주민 복귀 조치를 하였고, 회수·수거 폐기물은 폐기물관리법에 의해 처리하였다. 해양오염관리과에서 사고처리평가를 실시하여 수습결과를 해양경비안전본부에 보고하고 지방해양항만청은 사고 후 영향조사를 위해 사고해역 내 모니터링을 지속적으로 실시할 예정이다.

4. 결론

부산주변해역의 위험평가 및 취약성분석 결과를 중심으로 위험유해물질 유출사고에 대한 가상사고 시나리오를 제시하고, 피해유형에 맞는 사고대응 시나리오 개발하였다.

위험유해물질 유출사고는 유류유출사고와 달리 사고가 빠르게 전개되므로, 신속·정확한 초동대처가 매우 중요하다. 또한 복잡한 위험특성을 가지고 있어 사고 전개과정에서 발생하는 피해의 유형도 다양하며, 다수의 대응기관이 대응활동에 참여하므로 기관간 사고에 대한 정보공유와 긴밀한 협력이 이루어져야 한다. 감천항 자일렌 유출사고를 통해서 위험유해물질 사고 발생시 피해가 예상되는 지역의 주민보호와 사고대응자의 안전, 사고해역에 대한 통제, 유출물질의 확산방지 등에 우선순위를 두어 대응하여야 함을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발된 사고 시나리오 및 대응 시나리오는 위험유해물질 유출사고의 전개과정을 분석하고, 이에 대응하기 위한 조치사항과 절차를 사전에 대비함으로써 효율적인 대응계획 수립에 기여할 것으로 기대된다. 향후 본 연구의 독성 사고 이외에 폭발·화재 등의 사고에 대해서도 시

나리오가 개발되고, 다양한 사고 유형에 대해 유형별 시나리오가 지속적으로 개발되어 위험유해물질 대비·대응체계 구축에 기초자료로 활용되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 해양경찰청이 지원한 “HNS 국가지역 방제계획 수립” 연구와 선박해양플랜트연구소가 지원한 “주요 위험유해물질(HNS) 유출 거동 예측 및 대응정보 지원기술 개발” 연구의 일부이다.

Reference

- [1] IMO(1999), Section 1 Manual on Chemical Pollution: Problem assessment and response arrangements, IMO.
- [2] KIOST(2007), Development of decision supporting system for oil spill response, KCG.
- [3] KIOST(2008), Busan oil and HNS contingency plan, KCG.
- [4] Lee, M. J. and H. J. Kim(2012), HNS emergency response guidebook, KIOST, p. 206
- [5] Lee, M. J. and J. Y. Jung(2013), Risk assessment and national measure plan for oil and HNS spill accidents near Korea, Mar. Pollut. Bull., Vol. 73, pp. 339-344.
- [6] NIER(2003), Handbook of toxic material for the response to chemical accidents, p. 562.
- [7] Noll, G. G., M. S. Hildebrand, and J. Yvorra(2005), Hazardous Materials-Managing the incident. International Fire Service Training Association, p. 622.
- [8] Singaas, I.(2011), Behaviour of oil and Hazardous and noxious substances (HNS) spilled in Arctic waters (BoHaSA). SINTEFF, p. 122.

Received : 2014. 11. 04.

Revised : 2014. 12. 12. (1st)

: 2014. 12. 22. (2nd)

Accepted : 2014. 12. 26.