

특 집

대규모 유류유출사고 대비 환경보건 대응계획 수립을 위한 기반연구

김영민, 정혜관¹⁾, 김종호²⁾, 김종현¹⁾, 고금숙³⁾, 하미나⁴⁾

서울대학교 환경대학원, 성균관대학교 의과대학 사회의학교실¹⁾, 서울대학교 공과대학 화학생물공학부²⁾, 여성환경연대³⁾, 단국대학교 의과대학 예방의학교실⁴⁾

Scientific Basis of Environmental Health Contingency Planning for a Coastal Oil Spill

Young Min Kim, Hae-Kwan Cheong¹⁾, Jong Ho Kim²⁾, Jong Hun Kim¹⁾, Kumsook Ko³⁾, Mina Ha⁴⁾

Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University; Department of Social and Preventive Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine¹⁾; School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University²⁾; Korea Women's Environmental Network³⁾; Department of Preventive Medicine, Dankook University College of Medicine⁴⁾

Objectives : This study presents a scientific basis for the establishment of an environmental health contingency plan for dealing with accidental coastal oil spills and suggests some strategies for use in an environmental health emergency.

Methods : We reviewed the existing literature, and analyzed the various fundamental factors involved in response strategies for oil spill. Our analysis included data derived from Hebei Spirit oil spill and used air dispersion modeling.

Results : Spill amounts of more than 1,000 kℓ can affect the health of residents along the coast, especially those who belong to vulnerable groups. Almost 30% of South Korean population lives in the vicinity of the coast. The area that is at the highest risk for a spill and that has the greatest number of people at risk is the stretch of coastline from Busan to Tongyeong. The most prevalent types of oil spill in Korean waters have been crude oil and bunker-C

oil, both of which have relatively high specific gravity and contain volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons, and metals. In the case of a spill of more than 1,000 kℓ, it may be necessary to evacuate vulnerable and sensitive groups.

Conclusions : The government should establish environmental health planning that considers the spill amount, the types of oil, and the distance between the spot of the accident and the coast, and should assemble a response team that includes environmental health specialists to prepare for the future oil spill.

J Prev Med Public Health 2009;42(2):73-81

Key words : Contingency plan, Environmental health, Oil spill, Population at risk, Vulnerability, Air dispersion model

서론

우리나라는 에너지 다소비형 경제구조와 에너지원의 높은 석유 의존도로 인하여 해외로부터 유류 및 석유제품을 수입하는 대형 유조선의 왕래가 세계에서 가장 빈번한 국가군에 속한다. 더구나 우리나라 연안은 그 특성상 유조선, LNG운반선 등에 의한 해양사고 발생 시 대형 해난사고와 해양오염사고로 발전할 가능성이 높기 때문에, 해양오염의 예방정책에서 연안을

향해하는 유조선의 안전관리가 매우 중요하다 [1]. 2007년 12월 7일 서해안 태안 서쪽 10 km 해상에서 허베이스피릿호 유류 유출사고가 발생하였다. 이 사고는 허베이스피릿호에 실려 있던 원유 약 10,900 t이 유출된 우리나라 역사상 최대의 해양 오염사고이다 [2].

허베이스피릿호 사고와 같은 대형 유류 유출사고의 경우, 현장 지역주민과 수많은 방제인력이 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs), 다환방향족탄

화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs), 중금속 등 다량의 유해물질에 노출되어 각종 건강피해가 발생할 가능성을 예견할 수 있었으나 사건 발생 초기 환경보건 측면에서 신속한 대응이 이루어지지 못하였다. 방제작업 초기의 급박한 상황에서 자원봉사자 및 지역주민 중 상당수가 보호장비 등이 제대로 갖추어지지 못한 상태에서 작업에 참가하였으며, 심지어는 일부 어린이까지 초기 방제작업에 참여하여 유해물질에 노출되는 등 환경보건상 많은 문제점들이 제기되었다.

재난 시 신속하고 적절한 초동 대응은 피

접수: 2009년 1월 17일, 채택: 2009년 3월 12일

본 연구는 환경부 환경보건정책과 "재난시 환경보건 대응방안 연구" 기금으로 수행되었음.

책임저자: 정혜관 (경기도 수원시 장안구 천천동 300번지, 전화: 031-299-6300, 팩스: 031-299-6299, E-mail: hkcheong@skku.edu)

해를 최소화하기 위해 필수적인 일이다. 특히 유류유출사고와 같은 유해물질의 다량 누출사고 시 민감/취약 집단에 대한 신속한 조치가 취해져야 하며, 또한 방제작업 시 안전 및 보건문제에 매우 유의해야 한다. 사고 이후 이루어진 급성건강영향 조사에 의하면 실제로 허베이스피릿호 유류유출사고가 방제작 및 지역주민에게 끼친 신체적/정신적 건강영향은 매우 큰 것으로 보고되고 있다 [24].

그럼에도 불구하고 사고 초기 이러한 환경보건 조치가 제대로 이루어지지 못한 이유는 환경재난에 대비한 적절한 환경보건대응계획이 부재하였기 때문이다. 세계적으로 기후변화 등 요인으로 인해 각종 재해와 그로 인한 피해는 꾸준히 증가하고 있는 추세이며 [5,6] 우리나라의 경우에도 각종 재해의 발생횟수 및 그로 인한 피해액이 최근 들어 부쩍 증가하고 있는 상황이다 [7]. 이러한 불행에 대비하기 위해서는 유형별 사고에 대비한 환경보건대응계획이 시급히 마련되어야 할 필요가 있다. 그러나 이러한 환경오염 사고에 대한 대응은 대규모 인원과 물자의 투입이 필요하므로 한편으로 많은 자원과 인력 소모를 감수하여야 한다. 사고로 인한 희생을 최소화하면서 그 효과를 극대화하기 위해서는 객관적인 근거를 바탕으로 대응계획을 마련하여야 한다.

본 연구의 목적은 대표적인 환경재난인 유류유출 사고 시 우리나라 실정에 맞는 환경보건계획을 수립하기 위해 고려해야 할 사항을 목록화하고 각각의 항목이 환경보건 측면에서 어떤 의미가 있는지를 규명하며 이러한 조치를 취함에 있어 근거가 될 수 있는 주요 요인을 허베이스피릿호 사고의 급성건강영향조사와 노출평가 자료를 바탕으로 추출하여 환경보건대응계획 수립의 근거를 마련하고 유류유출사고에 대한 현 국가방제계획에서 환경보건 측면에서 보완되어야 할 내용을 제안하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 환경보건 비상대응 체계 검토

먼저 재난 시 필요한 환경보건대응계획

의 목표를 수립하기 위해 국내외 재난과 환경보건 관련 문헌조사를 하였는데 주로 사용된 문헌은 세계보건기구 보고서인 Environmental Health in Emergencies and Disasters이다 [8]. 일반적인 환경보건계획에서 중요한 고려요소인 민감군/취약집단이 재난 시 어떻게 더 많은 영향을 받을 수 있는가를 살펴보고 국민건강최소화 관점에서 재난 시 고려해야 할 우선순위를 살펴보고 있다.

2. 유류오염에 대한 환경보건 비상대응책 수립을 위한 근거

유류오염사고는 사고 시 유출된 기름의 양, 기름의 종류, 사고지점의 특성, 해안 특성, 사고 당시의 기상 등 여러 요소에 따라 방제전략이 달라진다 [9,10]. 이들 중 현실적으로 고려 가능한 항목 즉, 사고 시 유출된 기름의 양, 기름의 종류, 사고지점(해안과의 거리), 해안 특성 등으로 압축하고 이들 각각에 대해 분석 하였다.

1) 유출량

유출량이 소량인 경우 충분히 방제가 가능한 경우가 많아 굳이 국가단위 환경보건계획이 필요하지 않을 수도 있다. 즉, 환경보건계획이 필요한 유출량 기준이 필요할 것으로 판단되어 기준 마련의 근거로서 기름의 종류 별 특성 및 현재 해양경찰청에서 수립·시행하고 있는 방제계획 등을 조사하였다.

2) 기름의 종류

기름은 그 종류에 따라 점도 및 휘발성이 달라 각 기름의 종류 별 특성을 파악하고 다량 유출로 발생 가능한 건강영향을 살펴보고 유출 시 환경보건계획이 마련되어야 할 필요가 있는 기름의 종류를 분석하였다.

3) 거리

사고지점과 해안과의 거리는 해상에서의 방제가능 여부 및 그 피해규모를 예측하는 데 매우 중요한 요소이다. 또한 주민들의 경우 해안으로부터 얼마나 떨어져 있느냐에 따라 그 피해도 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 허베이스피릿호 유류유출사고에 대한 민관합동회의의 '허베이스피릿호 유류유출사고의 급성 건강영

향조사' [3] 결과를 활용함과 동시에 대표적인 대기 유해물질인 벤젠을 대상으로 거리에 따른 노출농도를 대기확산모델을 이용하여 예측하였다.

사고 후 벤젠의 노출농도를 파악하기 위해서 유출량에 따른 벤젠의 휘발량을 산출하고 대기확산모델의 일종인 CALPUFF (California Puff)모델을 [11] 활용하여 대기에서의 벤젠농도를 시간대별, 거리 별로 예측하였다. 휘발량은 의사구성요소 접근법(pseudo-component approach)으로 산정하였다 [12,13]. 의사구성요소 접근법이란, 해양에서 원유의 확산(dispersion) 및 풍화작용(weathering)을 고려하여, 개별 화학물질의 증기압으로부터 휘발(evaporation)량을 산정하는 기법이다. 계산된 휘발량을 CALPUFF모델의 입력자료로 활용하여, 시간별/거리별 대기의 가중농도를 산출하였다. 이 가중농도를 이용하여 환경보건계획이 필요한 유출량 규모와 대피거리 등을 추정하였다.

4) 해안특성

사고지점과 가까이 위치하는 해안의 특성은 방제작업 여부와 방법을 선택하는데 있어서 중요한 요소가 된다. 특히 건강영향과 관련해서는 해안가에 거주하고 있는 주민들의 인구학적 특성, 거주특성이 매우 중요한 요소이다.

본 연구에서는 해안가 인구밀도와 유류유출사고의 발생건수를 이용하여 유류유출사고 관련 위험인구를 추정하였다. 인구자료와 해양사고 통계자료는 통계청의 '2004년 시/군/구 별 주민등록인구'와 '1997-2006년 해역 별 해양오염사고발생 현황'을 이용하였다 [14,15]. 행정구역 지도는 국토지리정보원의 수치지도 [16]를 활용하였으며, 연안해역의 경계는 정확한 지도 자료가 존재하지 않아 저자들이 해역경계자료를 생성하였다. 자료분석과 도식화 프로그램은 ArcGIS ver 9.2 (ESRI, Redlands, CA, USA)를 활용하였다.

결 과

1. 재난 시 환경보건계획 수립원칙

세계보건기구(WHO)는 '재난'에 대하여 '지역사회 또는 사회의 기능이 심각하게

교란되어 이로 인해 광범위한 인명, 재산, 경제 및 환경의 손실이 일어나 지역사회 및 해당 사회만의 재원으로 극복하기 어려운 상태'라고 정의하고 있다[8].

재난의 특성 상 모든 상황에 적용 가능한 대비/대응 계획 혹은 포맷이란 있을 수 없다. 즉, 각 사건 혹은 상황에 따라 이에 대한 일차적 책임을 지고 있는 조직 혹은 정부기관에 의해 결정되어야 할 여지가 많아 모든 재난에 일괄적으로 적용 가능한 절대적인 준거치는 없다[17]. 가장 좋은 대응은 예방으로 재난이 발생하지 않도록 사고 발생 가능성을 최소화하는 것이다. 그러나 도시화, 고밀화, 산업화 등으로 특징지어지는 현대적 생활환경은 일단 사고가 나면 대규모 재난으로 이어질 가능성이 높고 나아가 1차적, 2차적 환경재난으로 이어질 가능성이 높아 각 재난 유형 별 대응계획을 강화하고 나아가 각각에 대한 환경보건계획을 사전에 준비하는 것은 국가적으로 시급한 과제이다.

일단 재난이 발생하게 되면 인간의 건강에 직접·간접 영향을 끼치게 된다. 일반적으로 재난이 건강에 미치는 영향은 인명손실, 부상(1차적), 환경보건서비스의 파괴, 식수원 오염으로 인한 질병 발생(2차적), 기아, 빈곤 등 사회/경제적 상태 악화로 인한 건강영향(2차적), 정신건강 영향[외상 후(posttraumatic stress disorder, PTSD) 및 급성스트레스장애(acute stress disorder)] 등이다[8].

이들 건강영향을 최소화하기 위한 재난 대비 환경보건계획 수립 시 지켜져야 할 원칙은 첫째, 취약민감집단 우선 고려의 원칙, 둘째, 국민 건강피해 최소화 원칙, 셋째, 예방/대비 우선의 원칙 등이 되어야 한다[7,8,10].

환경보건 측면에서 특히 주의해야 할 사항은 재난에 대한 취약성(vulnerability)이다. 취약성은 재난 시 개인이나 조직의 대처능력의 정도를 평가하는 것으로 재난에 취약한 그룹은 보다 큰 건강피해를 받게 될 것이며 그 회복기간도 길어질 수밖에 없다. 일반적으로 회복능력이 떨어지는 취약집단은 환경노출 관련 질환자, 어린이, 임산부, 사회·경제적 자원이 부족한

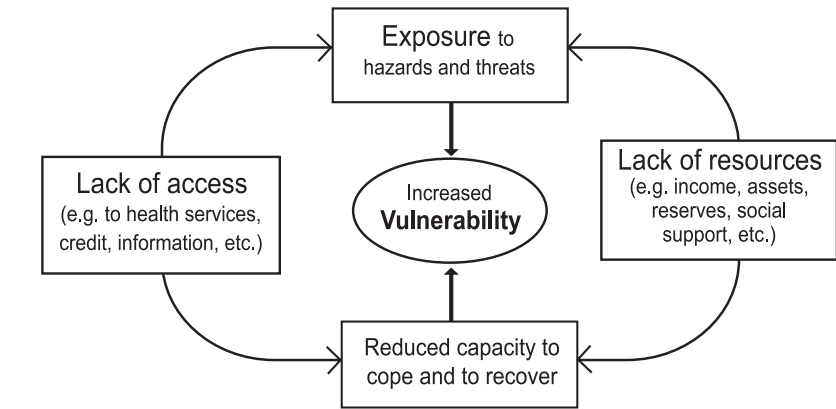


Figure 1. Disaster vulnerability as a function of exposure to hazards and threats, and reduced capacity to cope and to recover. (WHO [8])

집단, 독거노인 등이다 [8]. 이들 취약집단이 유해한 물질이나 위협에 노출되었을 때 대응 또는 회복 능력의 감소로 이들의 취약성은 더 증가할 수 있다. Figure 1은 재난에 대한 취약성과 건강영향 사이의 악순환 과정을 나타내고 있다. 보건서비스, 정보 등에 대한 접근성 결여와 사회적 지지 및 대응 자원의 부족 등으로 인해 취약집단은 유해물질에 대한 노출 위험이 크고 회복능력은 더 감소되어 결과적으로 취약성은 더욱 증가하게 된다.

재난 시 대응의 일반적인 목표는 '피해 최소화'이다. 이런 면에서 인명손실 및 재산상의 피해를 최소화하기 위한 초기의 신속한 대응은 매우 중요하다. 재난 시 환경보건계획 수립의 기본적인 원칙 또한 피해 최소화가 되어야 할 것이며 이를 위한 신속한 대비대응 계획 등이 수립되어야 한다.

또한 국민 건강을 최소화하기 위해서는 재난 발생의 가능성을 최대한 낮추는 것 즉, 예방이 우선 목표로 되어야 한다. 예방은 위기가 실제로 발생하기 전에 위기축 필요인을 제거하거나 위기 요인이 표출되지 않도록 억제 또는 예방하는 활동단계를 의미한다.

재난에 대한 대응 전략은 일반적으로 4단계, 즉 예방(prevention), 대비(preparedness), 대응(response), 복구(recovery)로 구분된다 [18].

2002년 WHO에서 제시한 재난 시 단계 별 환경보건전략을 정리해보면 Table 1과 같다[8].

이상의 내용들을 고려하여 재난 시 '국민건강피해최소화'라는 환경보건 목표를 달성하기 위해서 필요한 기본원칙은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 첫째, 사고 발생 억제를 위한 철저한 사전 안전 관리,
- 둘째, 재난에 대한 대처능력이 떨어지는 취약계층의 파악 및 우선 고려,
- 셋째, 어린이, 임산부, 독거노인 등 민감군에 대한 우선 고려
- 넷째, 장기적인 대응/복구를 통한 완전한 건강회복과 사고 전 삶의 회복, 공동체 회복

2. 유류유출 사고 시 단계 별 환경보건 조치내용

유류유출사고 시 대비 단계와 대응단계에서 취해야 할 환경보건 조치 내용은 다음과 같다[8,10,18].

- 1) 유류유출사고 대비를 위한 환경보건 조치
 - 해양 유류유출 시 위험요소 파악
 - 취약성 평가(위해도 지도 작성, 취약집단 모니터링 등)
 - 제도적 보완(이중선체 의무화, 안전규제 강화 등)
 - 유해물질 확인 및 그 영향파악
 - 취약지역(사고 빈발 지역과 위험인구가 많은 지역 등) 파악
 - 응급의료체계 구축
 - 조기 경보체계 강화 및 적절한 경보 시점 파악
 - 기름 유출 시 유해물질 노출에 대한 응급 조치 내용을 포함한 국민 행동요령

Table 1. Environmental health strategies for disasters*

Step	Policy issue	Strategy
Prevention	Institutional arrangements	- Policy development : active process of analysis, consultation and negotiation including variety of institutions, groups, and individuals - Definition of the limits of acceptable risk and its commitment to protecting vulnerable populations - Clear definition of the roles and responsibilities of all the partners in emergency management
	Vulnerability analysis	- Hazard mapping - Vulnerability analysis of water-supply systems - Assessment of environmental health vulnerability - Describing principal community characteristics - Environmental health review of development policies and projects
	Prevention and mitigation	- Reducing community vulnerability through long-term environmental health improvement - Environmental safety regulations - Reducing the vulnerability of environmental health infrastructure - Protecting other facilities
Preparedness	National emergency planning process	- Liaison with other health departments/organizations and with the appropriate emergency coordinating body - Evaluation of immediate public health conditions and risks - The evaluation of damage to public sanitary installations and the provision of advice on remedial measures - Mobilization of personnel and equipment - Emergency action to control or eliminate environmental health hazards (often secondary to the immediate hazard) - Emergency restoration of water-supply and water-disposal systems - Reporting on conditions and the measures taken
	Assessments	- Using standardized process and standard report for assessments - Using field-based assessments and epidemiological techniques - Organization of environmental health surveillance system
Response	Priority in acute emergency phase	- Providing facilities for people to excrete safely and hygienically - Protecting water supplies from contamination - Ensuring that people have the knowledge and understanding they need to avoid disease - Ensuring that people have soap for hand washing
	Hospitals and relief centers	- Supervising any emergency modifications to water and sewerage systems - Providing emergency facilities for the disposal of wastewater and solid wastes - Ensuring the destruction or safe disposal of medical wastes - Supervising the hygiene of food services - Supervising arrangement for washing, cleaning and disinfecting facilities, equipment and materials
Recovery		- Monitoring the water distribution arrangements - Reconstruction of water-supply and sanitation systems - Secondary damage assessment(losses of livelihood, social cohesion and cultural identity) - Secondary vulnerability assessment - Vulnerability reduction - Sustainable development in environmental health planning

*WHO [8]

마련	호를 위한 필수품 마련
2) 유류유출사고 대응단계 환경보건 조치 내용	- 응급수송체계(수송차원 파악 및 사용의 우선순위 결정)
- 긴급노출평가(스크리닝 물질 선정 및 신속평가기법 마련)	- 폐기물 처리(유류 폐기물 및 흡착포, 방진복 등 이차 폐기물 포함)
- 재난 경고 및 긴급지시(위험잠재력이 높은 지역 특별 지시)	- 유해물질 노출 시 국민 행동요령 홍보
- 긴급노출평가 결과, 필요 시 조직적인 대피	- 식수공급 등 피해지역 위생관리
- 대피 시 위생관리	- 급/만성 건강영향평가
- 비상시 환경보건기구 구성(초기대응 및 긴급환경노출 평가를 위한 응급 현장팀 구성)	- 생태계 영향파악
- 개인(자원봉사자, 지역 주민) 안전과 보호	이상의 내용을 포함한 유류유출 사고 시 환경보건조치 계획의 대부분의 내용은 유사한 재난적 상황에도 적용될 수 있는 내용이다. 또한 국가의 위험 관리 차원에서 재난 대비 환경보건조치계획이 필요한 사

고 유형을 선정하고 각각에 대한 환경보건 조치 내용이 마련되어야 할 것이며, 재난 시 정부 특히 환경보건 관련 부서의 임무를 명문화하여야 한다.

3. 해양 유류유출사고 대비 환경보건 계획 수립 근거

현재 해양경찰청은 해양오염사고에 대한 방제 시 방제방법으로는 유출량, 유출 유 종류 및 사고해역의 특성을 고려하여 중질유는 유회수기와 방제정을 동원하여 회수하거나 유흡착재를 이용하여 흡착·수거하고 경질유는 유처리제를 이용해 분산 또는 자연방산 조치를 하고 있다 [19]. 대형 사고의 경우 해상에서 유회수기 등으로 회수할 수 있는 기름양은 전체 유출량의 30% 이내에 불과하고, 나머지는 대부분 해안가에 부착하게 되는데 [20], 이 경우 해역의 특성, 해안가의 특성에 따라 방제전략이 달라질 수 있다. 우리나라의 경우 동해, 남해, 서해안 등 크게 세 해역으로 나누어 각각의 특성에 따라 방제지침을 세우고 있다. 해안선의 특성 및 기질에 따라(모래해안, 자갈해안, 갯벌/습지 해안) 서도 해안부착유 방제 지침을 달리하여 마련하고 있다 [10]. 또한 사고 당시의 조류의 영향, 유속 및 기상 조건 역시 방제전략에 매우 중요한 요소로 지적되고 있으며, 좌초, 충돌, 침수 등 사고의 유형에 따라 영향을 받는다.

이들 고려사항 중 환경보건과 관련하여 인근 해역의 지역주민의 건강영향과 밀접한 관련을 가지고 있는 유출된 기름의 양, 기름의 종류, 사고지점(해안과의 거리), 해안특성에 대한 항목을 분석하였다.

본 분석은 첫째, 사고가 재난 수준이어서 국가단위의 개입이 필요하고, 방제계획 중 환경보건계획이 필요한 사고규모는 과연 어느 정도인가, 둘째, 사고가 발생할 경우 건강피해 최소화를 위해 주민대피명령을 내려야 한다면 그 기준은 무엇이 되어야 하는가, 셋째, 사고 발생가능성이 높아 반드시 환경보건계획 수립이 필요한 지역은 어디인가 등의 질문에 대한 근거 있는 해답을 얻고자 하였다.

1) 유출량

해양유류유출 사고 시 건강영향을 파악하기 위해서 우선 고려되어야 할 것은 유출량이다. 유출량이 적어 해상 방제가 손쉽게 이루어진다면 비록 휘발되는 양이 있다 하더라도 많지 않고 인근 해역으로의 이동하는 기름량이 많지 않아 그 영향 또한 크지 않지만 반대로 그 유출된 양이 절대적으로 많아 해상방제가 이루어지기 어렵고 휘발되는 유해물질 및 해안부착유 또한 많다면 그로 인한 건강영향은 지대할 것이기 때문이다.

Figure 2는 일본에서 1979년에서 1997년 사이에 일어난 해양유류유출사고시의 유출량과 그에 대한 1971 기금의 피해보상액을 나타낸 것이다 [21]. 대체로 유출량이 많으면 그로 인한 피해 보상액도 증가하는 경향을 보이고 있는데 건강피해도 이와 비례하는 것으로 해석 할 수 있다.

우리나라의 경우 해양경찰청의 해양오염 방제 핸드북[10]에 따르면, 지속성기름의 유출량에 따라 Table 2와 같이 사고를 구분하고 있으며, 사고규모에 따라 방제 대책본부의 지휘체계를 각각 달리 정의하고 있다. 우리나라의 대형 유류유출사고의 구분은 1,000 kl 이상의 지속성 기름의 유출로 규정하고 있다.

해외의 경우 국제유조선선박소유자연맹(The International Tanker Owners Pollution Federation, ITOPF)은 역사적 이유로 인하여 유출량 7 t 이하, 7-700 t, 700 t 이상으로 구분하여 사고 통계데이터를 정리하고 있다 [22]. 전체 사고 중 약 84%가 7 t 이하의 사고이며, 7 t 이하 사고의 주요 원인은 유류의 선적과정(36%)에서의 사고가 대부분을 차지하고 있다. 700 t 이상 사고 원인의 대부분은 충돌과 좌초(62%)에 의한 사고이며, 7-700 t 사고원인은 선적과정과 충돌 및 좌초가 비슷한 비율을 차지하고 있다. 이로부터 유추할 수 있는 점은 대형사고의 대부분은 충돌과 좌초로 인한 사고이며, 대형 사고에 대한 구분을 700 t 이상으로 구분을 하고 있다. 이는 우리나라가 1,000 kl (약 800 t 이상) 이상의 사고를 대형사고로 구분하는 것과 비슷한 양이다.

태안 앞바다에서 발생한 허베이스피릿

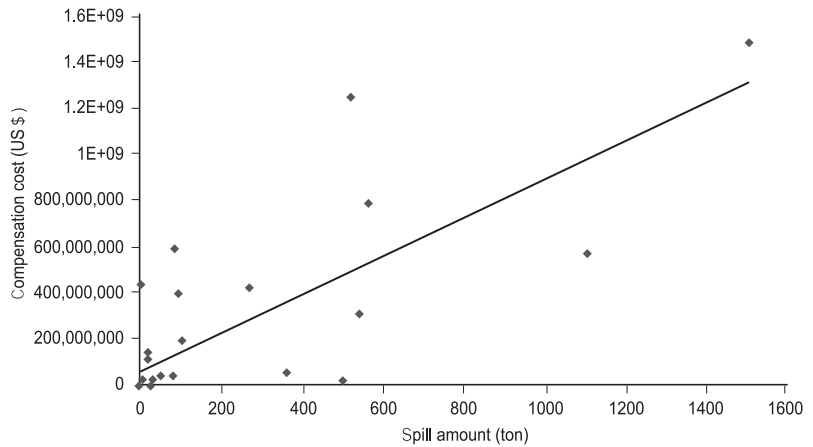


Figure 2. Marine oil spill amounts and compensation costs in Japan (IOPC 1971 Fund). Adapted by data from IOPC Funds, 2008.

We used 36 cases except for Nakhodka case and adjusted compensation costs considering inflation.

Table 2. Classification of oil spills in Korea by scale of skill

Classification	Large	Medium	Small
Director	President of Korean Coast Guard	Chief of Marine Pollution Management Office	Head of Marine Police Station
Scale of spill	Persistent oil over 1,000 kl	Persistent oil 100 kl~1,000 kl	Persistent oil below 100 kl

Korea Coast Guard [10]

호 사고의 영향파악을 위한 모델링 한 결과를 보면 초기의 약 3-4일간 기름에 포함된 휘발성 유기물질의 대부분이 휘발(evaporation)되어 대기를 따라 이동하게 된다 [3]. 이 때 대기에는 벤젠을 비롯하여 PAHs 등 발암물질이나 내분비계교란물질로 작용할 수 있는 다양한 유기화합물이 고농도로 포함되어 있다. 단적인 예로, 벤젠의 대기모델링 결과를 살펴보면 12,547 kl의 유출사고가 일어난 허베이스피릿호 사고의 경우, 사고지점에서는 최대 수 ppm 이상의 농도를 기록하고, 해안가에서는 풍향을 따라 최대 수십 ppb의 농도를 기록하였다. 만약 10배 정도 낮은 1,000 kl 여의 유출이 일어날 경우, 해안에서는 수 ppb 이하의 농도가 기록되며, 사고지점에서는 수백 ppb 이상의 벤젠농도가 형성되게 된다. 일본의 벤젠 대기농도 기준치가 0.1 ppb인 것을 감안하면, 상당한 농도가 풍향을 따라 분포됨을 알 수 있다. 즉 1,000 kl 이상의 대형사고가 일어날 경우, 해안가에 상주하는 노인, 임산부, 소아 등의 취약계층에 대한 영향은 매우 클 것이다.

따라서 1,000 kl 이상 대량 유출사고의 경우 민감취약집단에 대해 12시간 이내에 신속한 대피가 필요하며 초기 해안방제작

업에 다수 인력의 투입은 신중하여야 한다. 방제작업에 투입된 인력에게는 적절한 보호구가 지급되어야 한다. 마스크는 특히 초기 일주일 이내의 작업자에게는 충분한 용량의 방독마스크가 지급되어야 한다.

2) 사고 지점과 해안과의 거리

우리나라 해양오염 사고의 경우 대부분이 영해 안에서 일어난 것이었다. 2007년의 경우 선박교통량이 많은 영해 내 사고는 792척으로 81%나 된다 [23]. 대부분이 해안가에서 사고가 일어난다는 것은 사고의 영향이 인근 주민들의 건강 및 해안가 생태계에 미칠 수 있음을 의미한다. 따라서 해안과 사고지점과의 거리는 중요하기는 하나 유출된 기름이 해안가에 도착하는 데에 걸리는 시간은 다소 차이가 있겠지만 대부분 해안부착유가 발생한다고 전제하고 방제전략을 수립하고 또 나아가 그에 따른 환경보건 전략을 세울 필요가 있다.

해안과 가까울수록 주민에 대한 직접적인 영향과 주변 지역에 대한 환경영향도 커질 수밖에 없다. 허베이스피릿호 사고의 경우 해안가로부터 1.5 km 이내에 위치한 집 혹은 학교에 거주 혹은 머무른 어민

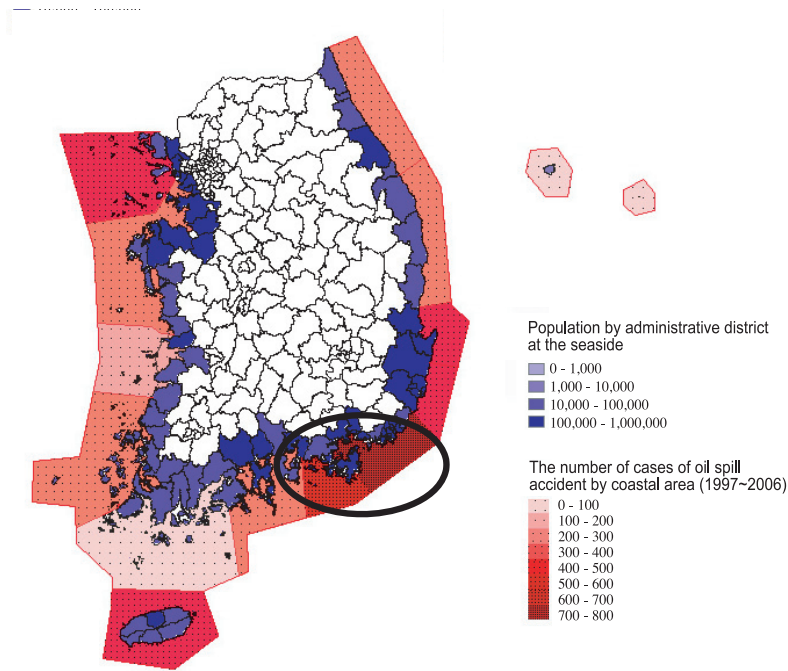


Figure 3. Frequency of oil spill by sea area and population density. Circle indicates the area that has the highest risk and the most population at risk.

Table 3. Major oil spills in Korean water*

Date	Place	Accident (ton,ship,type)	Cause	Quantity	Cost (million won)
Mar 14 1985	Pohang	Cheonil (721, oil barge)	Shipwreck	Bunker-C oil 1,680 kℓ	148
Jan 2 1986	Busan	Jinyong (1,429.21, oil tanker)	Shipwreck	Bunker-C oil 1,220 kℓ	425
Feb 24 1988	Pohang	Gyeongsin (995, oil tanker)	Sinking	Bunker-C oil 2,560 kℓ	403
Jul 15 1990	Incheon	Korea Hope (12,644, oil tanker)	Collision	Bunker-C oil 1,500 kℓ	5,020
Jun 16 1993	Youngheung Island. Ongjin	Korea Venus (25,368, oil tanker)	Stranding	Diesel oil 4,288 kℓ	500
Sep 27 1993	Gwangyang	The fifth Geumdong (532, oil barge)	Collision	Bunker-C oil 1,228 kℓ	5,600
Jul 23 1995	Yeosu	Sea Prince (144,587, oil tanker)	Stranding	Crude oil 5,035 kℓ	19,800
Sep 21 1995	Busan	The first Yooil (1,592, oil tanker)	Sinking	Bunker-C oil 2,392 kℓ	12,400
Nov 17 1995	Gwangyang	Honam Sapphire (142,488, oil tanker)	Collision	Crude oil 1,402 kℓ	8,400
Apr 3 1997	Tongyeong	The third Oseong (786, oil tanker)	Sinking	Bunker-C oil 1,699 kℓ	840
Dec 7 2007	Taeon	Hebei Spirit (146,848, oil tanker)	Collision	Crude oil 12,547 kℓ	Unknown

* Korea Coast Guard [9], KRW: Korean won

이의 경우 우울증 및 신체 자각증상이 현저히 높았으며 해안과 가까울수록 그 영향이 더 큰 것으로 나타났다 [3].

3) 해안특성

우리나라 연안은 매우 복잡한 해안선과 많은 섬으로 이루어져 있고 주변에 고부가가치의 양식장 및 어장이 밀집되어 있으며, 빠른 조류와 해류가 흐르고 있다. 따라서 해양오염사고가 발생하면 유출유가 조기에 확산되는 특징을 갖고 있어 작은

규모의 오염사고에도 큰 피해가 발생되고 있다 [20].

이에 따라 해양경찰청은 해안의 형태 및 기질의 특성에 따라 환경민감도(environmental susceptibility index, ESI)를 설정하고 민감도 등급에 따라 다른 방제전략(고압세척, 포집회수, 수거작업 시 중장비 투입, 흡착회수 등)을 제시하고 있다 [10]. 현재 총 8등급으로 구분하고 8등급의 경우 A (갯벌해안)와 B (염습지) 등급으로 구분하

고있는데, 가령 1등급은 파도에 노출된 수직암벽 해안에 해당하며 이 경우 자연방제가 잘 되므로 고압세척과 포집회수, 수거작업이 효과적이고 8A 등급은 갯벌해안에 해당하며 사람의 진입을 통제하고 고조선에 올라온 기름 수거작업 및 저압세정 후 회수 작업을 하도록 하고 있다.

사고지점과 가까이 위치한 해안이 주민 밀집지역인지, 양식업이 활발히 이루어지는 곳인지 등 사고지점 인근의 해안의 이용형태 또한 환경보전 측면에서 중요한 고려요소가 된다.

우리나라 해안 대부분은 어업, 관광산업이 활발히 이루어지고 있고 주민이 주거하고 있는 곳이다. 특히 남해안은 현만, 협수로와 많은 섬이 산재한 환경민감해역이고 좌초충돌에 의한 해양오염사고가 자주 발생하며 연안에서 유출사고 시 단기간에 해안 부착이 되는 특성이 있다.

본 연구에서는 해안가 인구밀도 및 사고 발생빈도를 평가하여 유류유출 사고에 대비한 환경보전계획이 필요한 지역을 알아 보았다. 현재 우리나라 해역에서 발생한 사고 발생건수와 해안가 거주 인구 등을 고려하여 유류유출 사고에 민감한 지역을 파악하였다(Figure 3). 우리나라 총인구 46,392,589명 중 해안가 인구가 13,725,628명(29.6%)으로 매우 많은 인구가 유류유출 사고시의 영향권 안에 거주하고 있음을 알 수 있다. 특히 남해안의 부산, 통영, 여수 해역과 서해안의 인천해역은 사고 발생도 많고 그로 인해 영향 받을 위험인구 수도 많은 지역임을 알 수 있다. 따라서 이들 지역에 대해서는 우선적으로 지역 방제 계획 및 환경보전계획이 마련되어야 할 것이다.

4) 기름의 종류(oil type)

유출된 기름의 종류에 따라 해상 방제 전략이 달라진다. 그 뿐만 아니라 기름의 물리·화학적 특성에 따라 생태계 및 인간에 대한 영향도 달라질 것이다.

우리나라 유류유출사고의 대부분은 Table 3에서와 같이 원유 및 병커C 유로 비중이 높은 기름이 주로 유출되는 경향이 있다. 원유 및 병커C 유의 경우 다른 기름에 비해 증발속도가 느려 상대적으로

적극적인 방제조치가 취해져야 한다. 해양경찰청의 방제 전략도 원유의 경우 연안 외해 장소 구분 없이 적극적인 방제조치를 취하여야 하며 기계적인 회수 및 부착 유수거 중심의 방제작업을 실시하는 것 등이다[10].

원유의 경우 유출 시 일주일 이내로 30-40% 정도 증발하나 유화(emulsify)할 경우 부피가 2-3배 정도 증가할 수 있으며, 유출 후 일정 시간 경과 후 기름의 온도강하로 점도와 비중이 증가하는 경향이 있다. 또한 원유에는 여러 가지 종류의 화합물이 혼합된 상태로 존재한다. 메탄과 같은 휘발성 가스상 물질, 경유와 같은 액체성 물질, 중금속과 같은 고체성 물질 등이 혼합되어 있다. 중금속을 제외한 다른 물질들은 주로 탄소와 수소의 결합으로 이루어진 탄화수소를 이루고 있다.

원유의 주요한 구성 성분으로는 파라핀, 올레핀, 사이클로파라핀, 방향족 탄화수소 등을 들 수 있으며 그 외 황, 황화수소, 중금속이 포함되어 있다. 방향족 탄화수소에는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 등이 포함되고, VOCs 계열과 PAHs, 알킬 PAHs 등으로 나눌 수 있는데 원유의 경우 산지에 따라 이들 성분의 구성성분이 매우 다르다. 따라서 사고 초기에 원유의 산지를 파악해둘 필요가 있다. 중금속에는 수은이 문제가 되며 이외 바나듐, 니켈, 철, 안티몬 등이 포함되어 있을 수 있다[24]. 원유에 포함된 수은은 휘발성 수은으로 호흡기를 통해 직접 체내에 흡수될 수 있으므로 초기 방제작업자 및 민감취약집단의 노출방지를 위한 조치를 취하여야 한다.

따라서 원유 유출과 관련해서는 벤젠 등 VOCs, PAHs, 중금속 등에 대한 건강 영향을 주의 깊게 조사하여야 할 것이며 몇몇 스크리닝 물질을 선정하고 이들 물질에 대해서는 사고 발생 초기부터 환경 중 거동을 모니터링해야 한다.

5) 민감군 대피 거리의 결정

허베이스피릿호 사고의 경우를 이용하여, 원유 유출 시 휘발된 물질 중 벤젠을 대상으로 주변 지역 대기 중 농도를 모델링을 통하여 파악해보면 유출 초기 하루 안에 대부분이 휘발되는 것으로 나타났다

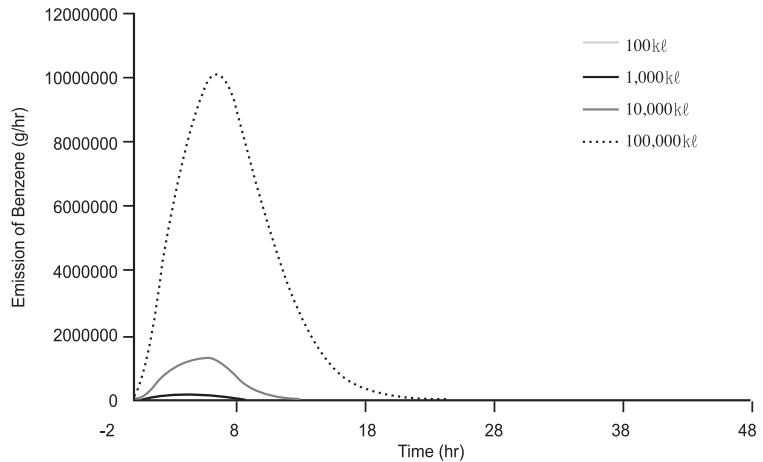


Figure 4. Emission of benzene by spill amount and time elapsed after the spill.

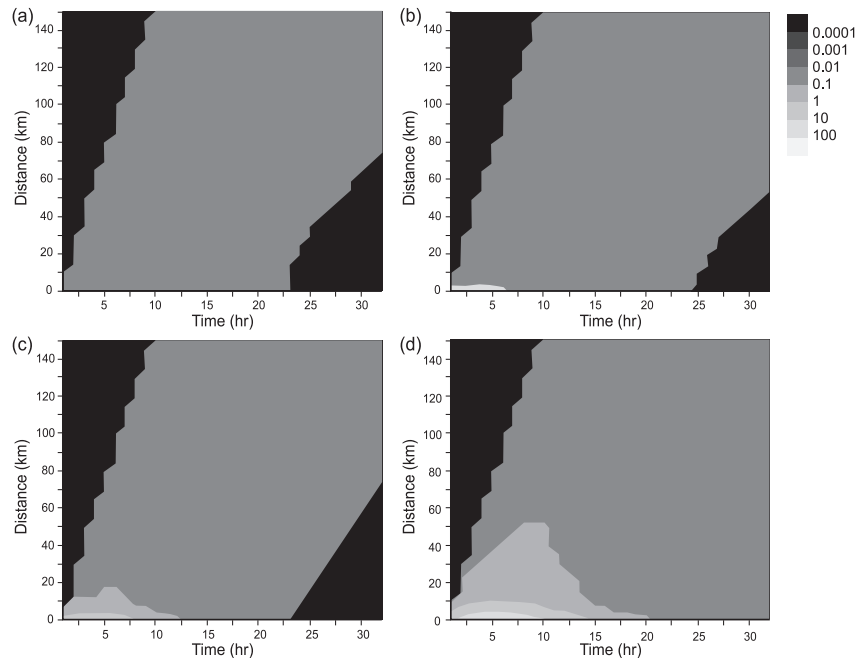


Figure 5. Oil spill amounts and benzene concentrations by time and distances.

(a) 100 kℓ, (b) 1,000 kℓ, (c) 10,000 kℓ, (d) 100,000 kℓ

(1,000 kℓ의 경우 약 12시간). 그로 인한 주변지역에 대한 영향을 거리 별로 보면 Figure 4에서와 같이 비교적 소량 유출인 100 kℓ 이상 유출의 경우 벤젠의 농도가 0.1 ppm 이상을 초과하지 않는다. 유출량이 1,000 kℓ 이상의 경우 4 km 지점 이상, 10,000 kℓ일 경우 13 km 지점 이상, 100,000 kℓ일 경우 약 36 km 지점에서 벤젠 농도가 0.1 ppm을 초과하는 것으로 추산되었다.

허베이스피릿호 사고의 경우, 원유가 10,000 kℓ 이상, 비교적 해안으로부터 가까운 곳에서 유출된 사례로 휘발성이 강한 벤젠의 사례로만 보아도 사고 초기 상당

한 거리에까지 영향을 미치는 것으로 나타났다(Figure 4,5).

따라서 사고 초기의 대피의 유무, 대피대상 지역 등에 대한 결정은 유출된 기름의 양, 기름의 종류, 사고지점(해안과의 거리), 해안 특성 등을 고려하여 의사결정을 하여야 할 것이다. 특히 배출량의 경우, 사고 직후의 배출량만으로 판단할 것이 아니라 배출될 가능성이 있는 모든 양을 대상으로 판단할 필요가 있다.

고찰

해양에서의 대규모 유류유출사고는 해양생태계에 매우 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 인근 해안의 지역주민 특히 어린이, 노약자 등 민감군에 직접적인 건강영향을 미친다. 이에 따라 재난 대비 환경보건 대응 계획 마련의 필요성이 대두되고 계획 수립을 위한 기초연구가 요구되고 있다. 해양에서의 유류유출사고 시 국민의 건강 피해를 최소화하기 위해서는 즉각적인 환경보건조치가 필요하다. 본 연구에서도 유출된 기름으로부터 유출되는 휘발성 유기화합물의 경우 매우 빠르게 휘발되어 인근 해역의 주민들에게 건강영향을 미칠 수 있음을 허베이스피릿호 사고의 예를 통해 확인할 수 있었다.

국가단위의 개입이 요구되는 재난 수준의 유류유출사고 시 환경보건계획을 마련하기 위해서는 몇 가지 기준(criteria)이 필요하다. 현재 해양환경관리법(시행령 별표 12)에서 규정하고 있는 환경영향조사가 필요한 유류유출량 기준은 100 kl 이상이나 해양경찰청의 방제 전략 상 국가 단위 개입이 요구되는 유출량 규모는 대형 사고로서 1,000 kl 이상이다. 본 연구에서 허베이스피릿호 사고 사례를 통해 분석한 결과, 벤젠의 경우 1,000 kl 이상 배출 시 인근 주민들에게 영향을 미칠 정도의 대기오염의 확산이 있는 것으로 나타났다(Figure 5). 따라서 시급하게 환경보건 조치 계획을 마련해야 하는 유출량 규모는 1,000 kl 이상으로 설정하는 것이 타당할 것으로 보인다.

환경보건 조치로서 중요한 문제가 민감 집단 혹은 노출영향이 매우 높은 지역 주민들의 대피결정이다. 주민들의 대피 필요성 여부를 판단하고 결정하는 문제는 매우 어려운 문제이다. 대피결정을 내릴 경우 대피소 마련, 위생, 식량 및 식수 공급의 문제 등 여러 가지 후속조치들이 마련되어야 하기 때문이다. 따라서 매우 신중한 의사 결정 과정이 수반되어야 한다. 만일 유출량이 그리 많지 않아 주민들에게 미치는 영향이 그리 크지 않은 경우 호흡기질환자, 노인, 어린이 등, 유해물질의 영

향에 민감한 집단이 취해야 할 행동요령 가령 외출금지, 마스크 착용 등 거주지에서 취할 수 있는 건강관리 요령을 홍보하는 것으로 그칠 수도 있다. 그러나 허베이스피릿호 사고처럼 배출량이 많고 기상조건도 좋지 않아 수시간 내에 해안 부착유가 발생하고 대기오염의 유해물질 노출이 다량 발생하는 경우 가장 효과적인 민감군 대처요령은 짧은 기간 동안이라도 잠시 영향지역 밖으로 피신해 있는 것이다. 다행히 기름으로부터 발생하는 대기오염물질은 휘발성이 강하여 오랫동안 공기 중에 지속되지는 않지만 대신에 매우 빠른 대기확산 과정을 거쳐 수 시간 내에 해안가 주민들에게 영향을 미치는 특징을 가지고 있다. 따라서 매우 신속한 대피 결정을 내려야 한다. 이를 위해서 먼저 대규모 유류유출 사고가 발생하였을 경우, 몇몇 유해물질을 선정하고(screening) 이들 물질들에 대하여 유출량, 기상상황, 인근 해역의 지형적 특성 등을 반영한 대기오염의 확산 예측이 이루어져야 할 것이다. 이와 더불어 인근 해안가 주민특성(인구밀도 및 인구학적 특성 등)을 고려하여 대피 여부를 판단해야 한다. 대피 결정이 날 경우 곧바로 관련 지방자치단체 장에게 알리고 해당 지방자치단체 장은 신속한 대피계획을 수립/이행해야 할 것이며 대피소의 위생 및 안전에 대한 조치를 취해야 한다.

각 지방자치단체는 사고의 유형에 따라 적절한 보호구를 충분히 확보해둘 필요가 있으며 보호구의 적시 보급을 위한 수송 대책 등도 강구하여야 한다. 적절한 보호구의 선택은 매우 중요한데 원유 노출에서 초기 일주일 이내의 경우 매우 높은 농도의 VOCs에 노출될 수 있으므로 대용량 방독면이 지급되어야 하므로 그 이후의 보호구와 구별하여 준비 및 보급하여야 한다. 또한 방제작업시 피부노출을 통한 유해화학물질의 흡수가 문제가 되므로 유류에 대해 불투과성의 방호복과 고무장갑 등의 지급이 필요하다.

사고 초기 해안 방제작업자는 필수인원으로 제한하되 충분한 보호장구를 갖추어야 한다. 본격적인 해안방제작업은 초기

일주일 이후에 시작하는 것이 바람직하다. 방제작업자와 주민 등을 위한 교육자료의 보급과 보호구 착용 등에 대한 적극적인 홍보 전략도 필요하다.

나아가 이러한 신속한 결정을 하기 위해서는 국가 및 지방자치단체 수준의 사전 환경보건 계획이 사전에 수립되어 있어야 하며, 비상환경평가 및 비상대응과 관련한 신속한 결정을 내릴 수 있는 전문적인 대응팀의 마련이 필요하다. 또한 국가비상대응체계에서 환경보건 분야 담당관을 포함하고 그 역할을 명시하여야 한다.

인구밀도와 사고 발생빈도 측면에서 보았을 때, 우리나라 해안가 중 특히 부산, 통영, 여수, 인천 등은 반드시 유류유출사고 대비 지역방제계획과 대피계획 등을 포함하는 환경보건계획이 사전에 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

1. No JC. Initial response to Hebei Spirit oil spill and the limitation of disaster management. *ECO* 2008; 12(1): 43-82. (Korean)
2. Ha M, Lee WJ, Lee S, Cheong HK. A literature review on health effects of exposure to oil spill. *J Prev Med Public Health* 2008; 41(5): 345-354. (Korean)
3. Ha M. *Investigation of Acute Health Problems Among People Exposed to the Hebei Spirit Oil Spill*. Seoul: Ministry of Environment; 2008. (Korean)
4. Kim KH, Kwon SJ. Psychological health impact on Taean residents of Hebei Spirit oil spill. *ECO* 2008; 12(1): 83-107. (Korean)
5. Center for Research on the Epidemiology of Disasters. *Annual Disaster Statistical Review: The Numbers and Time Trends 2007*. Melin: Center for Research on the Epidemiology of Disasters; 2008.
6. The OFDA/CRED. International Disaster Database. Brussels: Université catholique de Louvain; 2008 [cited 2009 January 15]. Available from: URL:<http://www.emdat.be/Database/Trends/trends.html>.
7. National Emergency Management Agency. *Annual Report of Disaster 2006*. Seoul: National Emergency Management Agency; 2007. (Korean)
8. World Health Organization. *Environmental Health in Emergencies and Disasters*. Geneva: World Health Organization; 2002.
9. Korea Coast Guard. *Haeyang Gyeongchal*

- Baekseo 2007*. Incheon: Korea Coast Guard; 2008. (Korean)
10. Korea Coast Guard. *Handbook for Marine Pollution Response*. Incheon: Korea Coast Guard; 2004. (Korean)
 11. TRC Companies, Inc. A user's guide for the CALPUFF dispersion model. [cited 2008 Sep 30] Available from: URL: http://www.src.com/verio/download/CALPUFF_UsersGuide.pdf.
 12. Yang WC, Wang H. Modeling of oil evaporation in aqueous environment. *Water Res* 1977; 11(10): 879-887.
 13. Sebastiao P, Soares CG. Modeling the fate of oil spills at sea. *Spill Sci Technol Bull* 1995; 2(2/3): 121-131.
 14. Korean Statistical Information System (KOSIS). Result of population census by administrative district, age, and gender. [cited 2008 September 30] Available from: URL: http://www.kosis.kr/domestic/theme/do01_index.jsp. (Korean)
 15. Korea Coast Guard. Oceanic pollution accidents by waters. [cited 2008 September 30] Available from: URL: http://211.34.86.121:8092/nsiiu/view/stat.do?task=viewStatTbl&act=new&tblid=TX_15501_A003&orgid=155&path=환경%20>%20오염%20>%20해양오염사고통계&prdse=Y&startprd=1996&endprd=2007&language=kor&vwcd=MT_ZT TITLE. (Korean)
 16. National Geographic Information Institute. Korea and vicinity. [cited 2008 September 30] Available from: URL: <http://www.ngi.go.kr/>. (Korean)
 17. Erickson PA. *Emergency Response Planning: for Corporate and Municipal Managers*. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann; 2006.
 18. Lee JY. *Disaster Management*. Seoul: Daeyoung Munhwasa; 2006. (Korean)
 19. Kim DW. Strategies for advancement of response management system on marine pollution. *J Korean Soc Marine Environ Eng* 2000; 3(1): 3-24. (Korean)
 20. Mok JY. National oil pollution response system: Current issues and policy recommendation. *Korean Soc Marine Environ Saf* 2001; 7(1): 105-121. (Korean)
 21. International Oil Pollution Compensation Funds. *Annual Report 2007*. Canterbury: International Oil Pollution Compensation Funds; 2008.
 22. Burgherr P. In-depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spill trends from all sources. *J Hazard Mater* 2007; 140(1-2): 245-256.
 23. Korea Coast Guard. *Annual Report 2007 for Marine Accidents Statistics*. Incheon: Korea Coast Guard; 2008. (Korean)
 24. Korean Petroleum Association. Seoul: Korean Petroleum Association; c2008 [cited 2008 Sep 30]. Available from: URL: <http://www.petroleum.or.kr/infozone>. (Korean)