

# 해상 유해액체물질(NLS) 유출사고대비 물질군 선정에 관한 연구

김영윤\* · 최정윤\*\* · 손민호\*\*\* · 오상우\*\*\*\* · 이문진\*\*\*\* · 이상진\*\*\*\*†

\*, \*\*\* 해양생태기술연구소, \*\* 한국해사위험물검사원, \*\*\*\* 선박해양플랜트연구소

## Prioritizing Noxious Liquid Substances (NLS) for Preparedness Against Potential Spill Incidents in Korean Coastal Waters

Young-Ryun Kim\* · Jeong-Yun Choi\*\* · Min-Ho Son\*\*\* · Sangwoo Oh\*\*\*\* · Moonjin Lee\*\*\*\* · Sangjin Lee\*\*\*\*†

\*, \*\*\* Environment and Ecosystem Restoration Team, Marine Eco-technology Institute Busan 48520, Korea

\*\* R&D Center, Korea Maritime Dangerous Goods Inspection & Research Institute, Anyang 13929, Korea

\*\*\*\* Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering/KIOST, Daejeon 34103, Korea

**요 약 :** 해상 유통되는 유해액체물질(NLS)의 유출사고대비 물질군 선정을 위해 596종의 NLS를 대상으로 위해성 DB를 구축하고 우선 순위 선정시스템을 통해 전체 우선순위를 선정하였다. 우선순위 목록을 바탕으로 2014-2015년 해상유통물질 158종을 추출한 뒤 물질군 구분 기준을 적용하여 0-3순위의 4개 물질군을 제시하였다. 국가차원의 NLS 유출사고대비를 위해서는 물동량 및 위해성이 높은 0-1순위 물질군의 집중관리와 함께 2-3순위 물질군의 정보 구축작업이 지속되어야 한다. 항만별로는 NLS 유통 유형이 다르므로 각 항만의 물질별 유통특성을 파악한 뒤 0-1순위 물질군 위주로 관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한, 동해남부권역(울산, 부산), 남해중부권역(광양, 여수), 서해중부권역(평택, 대산, 인천)을 NLS 사고대비를 위한 특별관리구역으로 지정하여 해상유통되는 NLS의 감시·감독을 강화하고 방제 장비, 자재 및 약제를 집중 배치해야 할 것으로 판단된다. 향후, 위해성 DB의 구축과정에서 나타난 위해성 정보 부재 물질들의(만성독성) 지속적인 생산 및 보완이 필요하며, 특히 수생태 독성의 경우 해양생물종을 대상으로 한 자료 생산 및 확보가 지속되어야 할 것이다. 또한, 해상 HNS 사고 관리를 위해서는 HNS 해상유통에 대한 정보를 확인할 수 있는 시스템이 조속히 구축되어야 한다.

**핵심용어 :** 유해액체물질(NLS), 우선순위, CRS 시스템, 유출사고대비물질군, 사고관리방안

**Abstract :** This study prioritizes Noxious Liquid Substances (NLS) transported by sea via a risk-based database containing 596 chemicals to prepare against NLS incidents. There were 158 chemicals transported in Korean waters during 2014 and 2015, which were prioritized, and then chemicals were grouped into four categories (with rankings of 0-3) based on measures for preparedness against incident. In order to establish an effective preparedness system against NLS spill incidents on a national scale, a compiling process for NLS chemicals ranked 2-3 should be carried out and managed together with an initiative for NLS chemicals ranked 0-1. Also, it is advisable to manage NLS chemicals ranked 0-1 after considering the characteristics of NLS specifically transported through a given port since the types and characteristics of NLS chemicals relevant differ depending on the port. In addition, three designated regions are suggested: 1) the southern sector of the East Sea (Ulsan and Busan); 2) the central sector of the South Sea (Gwangyang and Yeosu); and 3) the northern sector of the West Sea (Pyeongtaek, Daesan and Incheon). These regions should be considered special management sectors, with strengthened surveillance and the equipment, materials and chemicals used for pollution response management schemes prepared in advance at NLS spill incident response facilities. In the near future, the risk database should be supplemented with specific information on chronic toxicity and updated on a regular basis. Furthermore, scientific ecotoxicological data for marine organisms should be collated and expanded in a systematic way. A system allowing for the identification Hazardous and Noxious Substances (HNS) should also be established, noting the relevant volumes transported in Korean waters as soon as possible to allow for better management of HNS spill incidents at sea.

**Key Words :** Noxious Liquid Substances (NLS), Prioritization, Chemical Ranking and Scoring System, HNS grouping for Incident Preparedness, Incident management

\* First Author : yykim@marine-eco.co.kr, 051-611-6109

† Corresponding Author : sjlee@marine-eco.co.kr, 051-611-5398

## 1. 서론

위험유해물질(HNS, Hazardous and Noxious Substances)은 산적액화가스류, 산적액체위험물(유해액체물질 포함), 산적고체위험물, 포장위험물 등을 포함하고 있다. 한국해사위험물 검사원의 2006~2015년 HNS물동량 내부 분석 자료에 따르면, 지난 10년간 국내 HNS(포장위험물, 산적고체위험물, 산적액체위험물, 산적액체화학품, 산적액화가스)의 해상물동량이 2006년 457,000천톤에서 2015년 602,000천톤으로 2006년에 비해 약 32% 증가한 것으로 나타났고, 유해액체물질을 포함하는 산적액체화학품의 경우 2006년 42,405천톤에서 2015년 50,720천톤으로 약 20% 증가하였다. HNS 중 유해액체물질(NLS, Noxious Liquid Substances)은 해양환경관리법 제2조 제7호에 정의되어 있고, 선박에서의 오염방지에 관한규칙 제3조 제2항 별표 1에 545종이 명시되어 있다. HNS 유출사고는 해양환경 뿐만 아니라 폭발·화재 등으로 인한 인명 및 재산피해도 야기하며 그 종류와 거동특성이(G, GD, E, ED, FE, FED, F, FD, DE, D, SD, S) 다양해 대비·대응이 쉽지 않은 상황이다(Cho et al., 2013; Lee and Jung, 2013; Lee and Oh, 2014; Kim et al., 2015). 또한, 해상 운송되는 HNS의 종류가 많고 연간 유통되는 물질이 달라 이를 모두 확인하고 관리한다는 것은 현실적으로 한계가 있다. 따라서, 물질별 해상 운송량, 운송빈도, 유해성 등을 기초로 우선순위물질을 도출하고 유출사고대비를 위한 물질군을 구분하여 관리할 필요가 있다. Kim et al.(2015)은 이를 위한 기초연구로서 해양환경관리법상 유해액체물질 545종을 대상으로 인체 및 해양환경에 미치는 독성지표들과 해상운송량 등의 노출지표들에 대한 DB를 구축하고 국내외 CRS(Chemical Ranking and Scoring) 시스템을 비교하여 점수산정 체계를 구축한 후 HNS 관리 우선순위를 선정하여 제시한 바 있다. 그러나 노출지표 중 해상물동량자료가 2014년만 입력되어 연간 유통되는 물질종류의 변동성을 반영하지 못했고, 인화·발화점과 같은 폭발·화재 위험성을 나타내는 지표를 노출지표로 적용하였다. 본 연구에서 접근하고자 하는 위해성 정의상(위해성=독성×노출)의 노출은 유출사고 발생 시 수생생물이나 인체에 접촉될 수 있는 경로나 수준을 의미하므로 인화·발화점과 같은 화재나 폭발의 잠재적 위험성을 나타내는 지표를 제외하고 대기와 물에서의 잔류·축적성을 나타내는 지표를 추가할 필요가 있다. 또한, 545종 전체 물질 중 2014년 유통되는 118개 물질을 추출한 뒤 우선순위를 점수별로 나열하고 있으므로 정책결정자 및 관리자의 입장에서 활용도를 높일 수 있도록 우선순위 목록을 유출사고대비를 위한 물질군으로 구분할 필요가 있다. 해상 HNS 관리 우선순위 선정에 관한 국외 동향을 살펴보면 국제해사기구(IMO)에서는 HNS 사

고와 관련하여 가장 위험도가 높은 20가지 물질을 보고한 바 있고(ITOPF, 2014), 유럽에서는 최근 HNS 위해성 기반 우선순위기법 개발 및 물질정보 DB구축, 우선관리물질선정, 대응기술 개발 등의 연구가 진행된 바 있다(Neuparth et al., 2011; Neuparth et al., 2012; Garcia et al., 2013; Harold et al., 2014; Cunha et al., 2014; Cunha et al., 2015). 반면, 국내의 경우 해상 HNS 관리에 관한 연구는 사고위험도 분석 및 사고 대응기술에 관한 연구들이 주를 이루고 있고(Cho et al., 2013; Lee and Jung, 2013; Lee and Oh, 2014), HNS 관리 우선순위 선정 관련 연구로는 Kim et al.(2015)이 시도한 바 있다. 또한, 기타 화학물질 우선순위 선정에 관한 연구는 대부분이 육상에서의 관리목적으로 이루어져 왔다(Choi et al., 2005; Park et al., 2005). 해상 HNS 사고대비를 위한 물질선정과 관련해서는 국가긴급방재계획에 포함하는 위험·유해물질 68종이 지정된 바 있으나 과거(2007년) 기준의 유통량이 적용되어 최근의 자료를 반영하지 못했고 인체 및 해양생물에 미치는 유해성 정보가 정량적으로 고려되지 않은 한계가 있다. 따라서, NLS의 인체 및 수생태계 유해성(독성)과 노출(해상운송량, 잔류성, 축적성)을 기반으로 우선순위가 높은 물질들을 선정한 다음 이들을 대상으로 유출사고대비를 위한 물질군을 구분·제시하고, 나아가 주요항만별 중점관리물질을 파악하는 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 Kim et al.(2015)의 위해성 기반 해상 HNS 관리 우선순위 선정체계 연구를 수정·보완하여 NLS의 유출사고대비를 위한 물질군을 도출하고 주요항만별 중점 관리물질을 파악하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 NLS 우선순위 선정 체계

유해액체물질(NLS)의 위해성 기반 우선순위 선정을 위해 물질별 위해성을 식(1)과 같이 유해성(독성)과 노출(배출량 등)의 함수로 정의하였다(Choi et al., 2005; Park et al., 2005; Harold et al., 2014; Kim et al., 2015). 최종위해성은 인체와 수생태 위해성의 합의 관계로 설정하고 각각의 위해성 지표는 독성과 노출의 곱의 관계로 설정하였다(Fig. 1). 인체에 미치는 독성 및 노출은 해상 NLS 사고 발생 시 직접적인 영향을 받는 선원, 방제요원으로 국한하였다.

$$\text{위해성(Risk)} = \text{독성(Hazard)} \times \text{노출(Exposure)} \quad (1)$$

인체 독성지표는 급성독성(경구, 흡입), 만성독성, 발암성 및 기타독성(변이원성/유전독성, 생식독성, 발육독성, 신경행태독성, 면역독성)을 선정하였고 각각 합의 관계로 설정하였다. 인체 노출지표는 해상운송량(톤/년), 대기 중 잔류성(Half

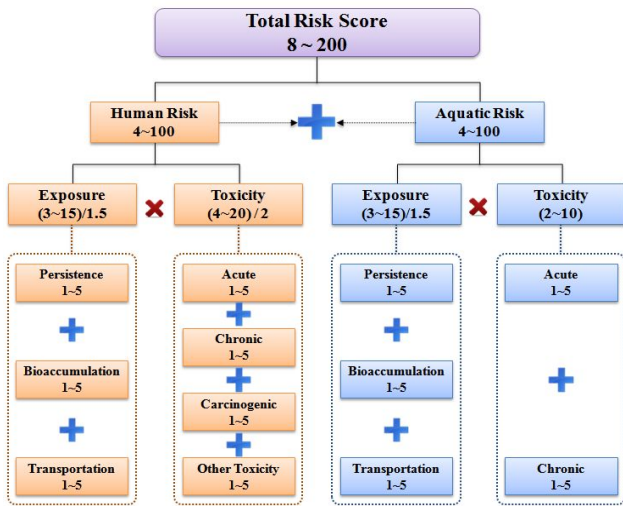


Fig. 1. A Schematic diagram of the NLS ranking and scoring system.

life in air), 축적성(BCF)을 세부지표로 선정하고 각각 합외 관계로 설정하였다. NLS 해상유출사고는 운송량과 운송빈도에 따라 증가하나, NLS 운송빈도에 대한 자료수집의 한계로 인해 해상운송량 지표만 적용하였다. 수생태위해성의 독성지표는 수생생물 영양단계별 급성독성(L(E)C<sub>50</sub>), 만성독성(NOEC)을 선정하였고 생태 노출지표는 인체 노출지표들을 공통적으로 적용하되 잔류성 지표는 수중 잔류성(Half life in water)을 적용하였다. 우선순위 선정시스템의 입력지표별 점수 구간은 Table 1과 같이 설정하였고 구분 기준은 GESAMP (2014) 위해성 평가 절차서의 기준을 1순위로 적용하고 항목이 없는 물질들은 국내외 학술논문 상 기준을 적용하였다 (Park et al., 2005; Neuparth et al., 2011; Harold et al., 2014).

## 2.2 NLS 위해성 DB 구축

우선순위 선정을 위한 대상 물질은 해양환경관리법상 유해액체물질로 지정된 545종 및 기타 해상운송량 자료가 추

가 수집된 51종을 포함하여 총 596종을 대상으로 하였고 평가지표별로 자료조사를 통해 위해성 DB를 구축하였다. 물질별 해상운송량 자료의 경우, 전체 위험·유해물질 통계자료에서 유해액체물질 정보를 추출 정리하는데 소요되는 시간적 한계로 인해 최근 2014, 2015년 자료만 해사위험물질검사원로부터 제공받았다. 독성자료와 노출자료들은 Kim et al.(2015)의 방법과 동일하게 조사하여 입력하였고 수층 및 대기층에서의 반감기 및 생물농축자료의 일부는 US EPA EPI-Suite™ 4.11을 이용하여 예측치를 적용하였다. 자료의 불확실성을 평가하기 위해 9개 지표별로 실측치는 0점, 예측치 1점, 부재 자료는 2점의 점수를 할당하였고 물질군 구분 기준 설정에 적용하였다.

## 2.3 NLS 유출사고대비 물질군 선정 및 주요항만별 관리방안

NLS DB의 지표별 입력자료를 기초로 1차 선별된 우선순위 물질들을 유출사고대비를 위한 물질군 구분 기준을 설정·적용하여 4개 물질군으로 분류하였고 국내 주요항만별 NLS 관리방안을 제시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 해상 NLS 관리 우선순위 선정

위해성 정보에 관한 DB 구축결과 조사대상 596개 물질 중 자료가 존재하거나 모델의 예측치를 적용하여 자료입력이 가능했던 물질은 전체의 4~70% 범위였다. 인체 만성독성, 기타독성, 수생태 만성독성 순으로 자료부재로 인한 결측치가 많아 자료의 지속적인 생산 및 보완이 필요한 것으로 나타났다. 위해성 DB 자료를 바탕으로 우선순위 선정시스템에 따라 전체 우선순위를 산정한 후 2014~2015년 기준 해상운송량 자료가 입력된 158종에 대하여 선별하였다(Table 2). MARPOL 오염 분류상 “해양에 배출되는 경우 해양자원 또는 인간의 건강에 심각한 위해를 끼치는 것으로서 해양배출을 금지”하는 X류 물질의 경우 총 10종이 해상유통되었으며 이중 Coal tar의 경우 2014~2015년에 연간 약 50만톤 이상

Table 1 Numerical rating criteria for priority NLS

| Rating | Exposure                            |                              |                         | Human (Crew and response personnel) Toxicity |                              |                                    |                                     |  |    |    | Aquatic Ecological Toxicity |    |                                |                               |      |                  |
|--------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|--|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|----|----|-----------------------------|----|--------------------------------|-------------------------------|------|------------------|
|        | Tonnage Shipped<br>ton <sup>1</sup> | Persistence<br>Half-life (d) | Bio-accumulation<br>BCF | Acute<br>LD50 <sup>2</sup>                   | Chronic<br>LC50 <sup>3</sup> | Carcinogenic<br>NOAEL <sup>4</sup> | Other Toxicity<br>IARC <sup>5</sup> | Other Toxicity<br>ACGIH <sup>7</sup> M <sup>8</sup> R <sup>9</sup> D <sup>10</sup> N <sup>11</sup> I <sup>12</sup> |    |    |                             |    | Acute<br>L(E)C50 <sup>13</sup> | Chronic<br>NOEC <sup>14</sup> |      |                  |
| 5      | >10 <sup>5</sup>                    | >100                         | >4000                   | <5   | <0.5                         | <1                                 | 1                                   | A  | A1 |    |                             |    |                                |                               | <0.1 | <10 <sup>3</sup> |
| 4      | ≤10 <sup>5</sup>                    | ≤100                         | ≤4000                   | ≤50  | ≤5                           | ≤10                                | 2A                                  | B<br>(B1,B2)   | A2 | 1  | 1                           | 1  | 1                              | 1                             | ≤1   | ≤10 <sup>2</sup> |
| 3      | ≤10 <sup>4</sup>                    | ≤50                          | ≤500                    | ≤300   | ≤10                          | ≤100                               | 2B                                  | C  | A3 | or | or                          | or | or                             | or                            | ≤10  | ≤10 <sup>1</sup> |
| 2      | ≤10 <sup>3</sup>                    | ≤20                          | ≤100                    | ≤2000  | ≤20                          | ≤1000                              | 3                                   | D  | A4 | 0  | 0                           | 0  | 0                              | 0                             | ≤100 | ≤1               |
| 1      | <10 <sup>2</sup>                    | <4                           | <10                     | >2000  | >20                          | >1000                              | 4                                   | E  |    |    |                             |    |                                |                               | >100 | >1               |

<sup>1</sup>Tonnage shipped for two consecutive years (2014-2015), <sup>2</sup>Oral LD50 (mg/kg rat), <sup>3</sup>Inhalation LC50 (mg/L, 4hr-rat), <sup>4</sup>Inhalation NOAEL (mg/kg), <sup>5</sup>IARC (International Agency for Research on Cancer), <sup>6</sup>IRIS (Integrated Risk Information System), <sup>7</sup>ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), <sup>8</sup>Mutagenicity or genotoxicity, <sup>9</sup>Reproductive, <sup>10</sup>Developmental, <sup>11</sup>Neurobehavioral, <sup>12</sup>Immunotoxicity, <sup>13,14</sup>mg/L : Test species are fish, algae, invertebrates and others.

해양 유해액체물질(NLS) 유출사고대비 물질군 선정에 관한 연구

씩 유통되었고 위해성 점수도 가장 높게 나타났다. Y, Z, OS 류의 경우는 각각 99종, 40종, 1종으로 대부분이 Y물질이었다. 기타 상업명으로 유통되고 물질정보가 잘 알려지지 않은 물질은 14종으로 2014-2015년에 792,693 톤이 유통되고 있어 이들 물질에 대한 위해성 정보구축 및 확인이 필요한 것으로 나타났다.

Kim et al.(2015)의 HNS 우선관리물질 상위 20종과 비교했을 때, 본 연구에서는 2014년 및 2015년 물동량이 반영됨에 따라 위해성과 노출점수가 높았지만 물동량자료가 반영되지 않아 우선순위에서 제외되었던 석유계 탄화수소류, 유기용매류, 농약류 및 기타 유해액체물질 10종이 상위 20위에 신규로 포함되었다. 2007년도 해상물동량 자료가 반영되었던 국가긴급방제계획에 포함하는 위험·유해물질(국민안전

처 고시 제2015-1호) 68종과 비교했을 때 54종이 포함되었다. 본 연구에서 해상운송량, 인체 및 수생태 위해성이 높아 우선순위 상위 30위내에 있던 7개 물질은(Coal tar, Perchloroethylene, Nonane(all isomers), Diphenylmethane diisocyanate, Nitrobenzene, S-Ethyl dipropylthiocarbamate, Dichloromethane) 방제계획물질에 포함되어있지 않았다(Table 2). 국가긴급방제계획 상 68종 물질 중에 우선순위에 포함되지 않았던 14종 가운데 6종은 ((C8-C10) Iso Alcohols, Decant oil, Methyl Chloroform, Butadiene, Ethylene, Propylene) GESAMP composite list(2016) 상에서 확인할 수 없는 물질들로써 이들에 대한 검토와 함께 고시의 개정도 고려해야 할 것으로 판단된다. 나머지 8종의 경우 2007년 당시 유통되었으나 최근 2년간 유통실적이 없어 제외되었다. 이처럼, NLS의 우선순위를 선정함에 있어 다년간의

Table 2. Risk information on top 20 substances in priority list of NLS

| Rank | Chemical Name                 | Pollution category | Exposure                |      |                 |                | Human Toxicity |         |                 |                     |      | Aquatic Toxicity |       | Uncertainty Score | Total Score |       |         |      |      |       |       |       |       |        |       |      |        |
|------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|------|-----------------|----------------|----------------|---------|-----------------|---------------------|------|------------------|-------|-------------------|-------------|-------|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|--------|
|      |                               |                    | Persistence (Half-life) | BCF  | Tonnage Shipped |                | Acute          | Chronic | Carcinogenicity |                     |      | Other Toxicity   |       |                   |             | Acute | Chronic |      |      |       |       |       |       |        |       |      |        |
|      |                               |                    |                         |      | day (in air)    | day (in water) |                |         | BCF             | 10 <sup>3</sup> ton | LD50 | LC50             | NOAEL |                   |             |       |         | IARC | IRIS | ACGIH | M     | R     | G     | N      | I     | mg/L | Remark |
| 1    | Coal tar                      | X                  | 8.7                     | 37.5 | 14.8            | 1,144          | 1700           |         |                 |                     |      | 1                |       |                   |             |       |         |      | 1    | 1     | 0.049 | LC50  | 1.9   | LOEL   | 4     | 70   |        |
| 2    | Phenol                        | Y                  | 0.4                     | 15.0 | 39.0            | 1,158          | 317            | 0.316   |                 |                     |      | 3                | A4    |                   | 1           | 1     |         |      |      |       | 0.002 | LC50  | 0.16  | NOEC   | 4     | 69   |        |
| 3    | Ammonia aqueous (28% or less) | Y                  | 4166.7                  | 15.0 | 3.2             | 1,120          | 350            | 2000    | 6.4             |                     |      |                  |       |                   |             |       |         |      |      |       | 0.068 | EC50* | 0.55  | NOEC   | 6     | 67   |        |
| 4    | Chloroform                    | Y                  | 103.8                   | 37.5 | 10.4            | 43             | 36             | 47.7    |                 |                     |      | 2B               | A3    |                   | 1           | 1     |         |      |      |       | 0.185 | LC50  | 1.8   | NOEC   | 4     | 67   |        |
| 5    | Aniline                       | Y                  | 0.1                     | 15.0 | 10.0            | 54             | 440            | 1       |                 |                     |      | 3                | A3    |                   | 1           | 1     |         |      |      |       | 0.044 | LC50  | 0.04  | NOEC   | 4     | 66   |        |
| 6    | Styrene monomer               | Y                  | 0.1                     | 15.0 | 13.5            | 5,619          | 2650           | 11.7    |                 |                     |      | 2B               | A4    |                   | 1           | 1     | 1       |      |      |       | 0.72  | EC50  | 0.063 | NOEC   | 4     | 66   |        |
| 7    | Perchloroethylene             | Y                  | 63.8                    | 60.0 | 81.3            | 115            | 3600           | 27.8    |                 |                     |      | 2A               | A3    |                   | 1           |       |         |      |      |       | 1.3   | LC50* | 0.37  | NOEC   | 4     | 62   |        |
| 8    | Acrylonitrile                 | Y                  | 2.6                     | 15.0 | 48.0            | 2,681          | 72             | 0.47    |                 |                     |      | 2A               | A3    |                   | 1           | 1     |         |      |      |       | 4.96  | LC50  | 0.5   | NOEC   | 4     | 62   |        |
| 9    | Benzene <sup>†</sup>          | Y                  | 8.7                     | 37.5 | 20.0            | 6,669          | 810            | 44      |                 |                     |      | 1                |       |                   | 1           | 1     | 1       |      |      |       | 5.3   | LC50  | 98    | NOEC   | 4     | 60   |        |
| 10   | Sulfur (molten)               | Z                  | 4166.7                  | 15.0 | 3.2             | 2,339          | 5000           | 0.067   |                 |                     |      |                  |       |                   |             |       |         |      |      |       |       | 0.16  | LC50  | 1.54   | LC50  | 8    | 56     |
| 11   | Hexane (all isomers)          | Y                  | 1.9                     | 8.7  | 173.9           | 56             | 25             | 48000   |                 |                     |      |                  |       |                   | 1           | 1     |         | 1    |      |       |       | 0.3   | EC50* |        |       | 8    | 54     |
| 12   | Naphthalene (molten)          | X                  | 0.5                     | 37.5 | 69.9            | 6              | 1800           | 0.34    |                 |                     |      |                  | B     | A4                |             |       |         |      |      |       |       | 0.213 | LC50  | 0.5    | NOEC* | 6    | 54     |
| 13   | ACETONE                       | Z                  | 48.8                    | 15.0 | 3.2             | 1,037          | 5280           | 32000   |                 |                     |      |                  |       |                   |             | 1     | 1       |      |      |       |       | 10    | LC50  | 0.0011 | NOEC  | 6    | 52     |
| 14   | Toluene                       | Y                  | 1.8                     | 15.0 | 90.0            | 3,721          | 2600           | 12.5    |                 |                     |      | 3                | A4    |                   | 1           | 1     |         | 1    |      |       |       | 5.38  | LC50* | 1      | NOEC  | 4    | 51     |
| 15   | Nonane (all isomers)          | X                  | 1.1                     | 8.7  | 12000.0         | 119            |                | 17      |                 |                     |      |                  |       |                   |             |       |         |      |      |       |       | 3.2   | LC50  |        |       | 10   | 50     |
| 16   | Diphenylmethane diisocyanate  | Y                  | 0.9                     | 37.5 | 1283.0          | 115            | 31600          | 0.369   |                 |                     |      | 3                |       |                   | 1           |       | 1       |      |      |       |       | 1000  | NOEC  | 10     | NOEC  | 4    | 49     |
| 17   | Sulphuric acid                | Y                  |                         | 15.0 | 3.2             | 5,911          | 2140           | 0.094   |                 |                     |      | 1                | A2    |                   |             |       |         |      |      |       |       | 17    | LC50  | 0.13   | NOEC  | 6    | 49     |
| 18   | Creosote (coal tar)           | X                  |                         |      |                 | 100            | 2524           |         |                 |                     |      | 2A               |       |                   | 1           | 1     |         |      |      |       |       | 0.018 | EC50* | 0.0446 | EC50  | 6    | 48     |
| 19   | Nitrobenzene                  | Y                  | 76.3                    | 15.0 | 28.3            | 66             | 349            | 2.92    |                 |                     |      | 2B               | A3    |                   | 1           |       |         |      |      |       |       | 1.8   | LC50  | 2.6    | NOEC  | 4    | 48     |
| 20   | S-Ethyl dipropylthiocarbamate | Y                  | 0.3                     | 37.5 | 110.0           | 5              | 916            |         |                 |                     |      |                  |       |                   |             | 1     |         |      |      |       |       | 0.63  | LC50* | 0.81   | NOEC  | 6    | 48     |

<sup>†</sup> Benzene and mixtures having 10% benzene or more, \* Seawater species

Table 3. Screening criteria on priority list of NLS for classification of incident preparedness group

| Screening Criterion                        | NLS priority groups for incident preparedness |                                     |                                     |                   |
|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
|  | Tier 0  | Tier 1                              | Tier 2                              | Tier 3            |
| 1. Traffic volume (ton)                    | > 10 <sup>6</sup>                             | ≤10 <sup>5</sup> ~ <10 <sup>6</sup> | ≤10 <sup>3</sup> ~ <10 <sup>5</sup> | < 10 <sup>3</sup> |
| 2. MARPOL Pollution Category (X, Y, Z, OS) | X   | Y, Z, OS                            | Y, Z, OS                            | Y, Z, OS          |
| 3. Incident History (event, ea)            | ≥ 2   | < 2                                 | -                                   | -                 |
| 4. NLSs in National Contingency Plan       | Include                                       | Include                             | -                                   | -                 |
| 5. IMO HNS priority list                   | Include                                       | -                                   | -                                   | -                 |
| 6. Uncertainty score                       | -   | -                                   | -                                   | ≥ 12              |
| 7. CAS registration number                 | -   | -                                   | -                                   | Absence           |
| <b>Total number of NLS</b>                 | <b>34</b>                                     | <b>44</b>                           | <b>39</b>                           | <b>41</b>         |

물동량 정보는 핵심적인 지표이나 현재 NLS의 해상유통 통계 수집 절차가 복잡하고 많은 시간이 소요되고 있어 이에 대한 개선이 필요하며 현재 운영되고 있는 GICOMS(해양안전종합정보시스템)에 NLS 물질별 유통정보를 확인할 수 있는 기능이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 해상 NLS 유출사고대비 물질군 선정

해상 NLS의 위해성 기반 관리 우선순위물질 158종을 대상으로 NLS 유출사고대비를 위한 물질군을 구분하기 위해 해상운송량, MARPOL 오염분류, 사고이력(1995~2015), 국가 긴급방계계획 및 IMO 사고대비 물질, 자료의 불확실성에 대

Table 4. Group of Priority list on NLS being transported in Korean waters

| No | Tier 0  | Tier 1   | Tier 2                                      | Tier 3   |
|----|---|--|---|--|
| 1  | Coal tar  | Chloroform   | Nitrobenzene                                | Ethylcyclohexane   |
| 2  | Phenol  | Aniline  | S-Ethyl dipropylthiocarbamate               | Nonene (all isomers)                                       |
| 3  | Ammonia aqueous (28% or less)                     | Perchloroethylene                                    | Nonyl alcohol                               | Toluenediamine   |
| 4  | Styrene monomer                                   | Hexane (all isomers)                                 | Diisobutylene                               | Ethyl toluene  |
| 5  | Acrylonitrile                                     | Diphenylmethane diisocyanate                         | Dichloromethane                             | Paraffin wax   |
| 6  | Benzene and mixtures (having 10% benzene or more) | Epichlorohydrin                                      | Magnesium chloride solution                 | Ethylene glycol monoalkyl ethers                           |
| 7  | Sulfur (molten)                                   | Propylene oxide                                      | Ethyl acrylate                              | Paraldehyde  |
| 8  | Naphthalene (molten)                              | Cyclohexane  | Dimethylpolysiloxane                        | Palm fatty acid distillate                                 |
| 9  | Acetone   | Trichloroethylene                                    | Allyl alcohol                               | Vegetable acid oil   |
| 10 | Toluene   | Butyl acrylate (all isomers)                         | Toluene diisocyanate                        | White spirit, low (15-20%) aromatic                        |
| 11 | Nonane (all isomers)                              | Octene (all isomers)                                 | Isoprene                                    | Alkyl benzene distillation bottoms                         |
| 12 | Sulphuric acid                                    | Ethylbenzene   | o-toluidine                                 | Polybutene   |
| 13 | Creosote (coal tar)                               | Dimethylformamide                                    | NEODOL                                      | Alcohols (C13+)  |
| 14 | Octane (all isomers)                              | Ethanolamine   | Phthalic anhydride (molten)                 | n-Alkanes (C10+)   |
| 15 | Diethyl phthalate                                 | Cyclohexanone  | 1,3-Cyclopentadiene dimer (molten)          | Alkyl (C9+) benzenes                                       |
| 16 | Methyl alcohol                                    | Diethanolamine                                       | Ethylenediamine                             | Alkyl (C9-C15) phenyl propoxylate                          |
| 17 | Ethyl alcohol                                     | Isopropyl alcohol                                    | N-Methyl-2-pyrrolidone                      | Copper salt of long chain (C17+) alkanic acid              |
| 18 | Ethylene dichloride                               | Acetic anhydride                                     | Acrylic acid                                | Olefins mixtures (C5-C7)                                   |
| 19 | Octanol (all isomers)                             | Butylene glycol                                      | Octyl aldehyde                              | Olefins (C13+, all isomers)                                |
| 20 | Propylbenzene (all isomers)                       | Methyl isobutyl ketone                               | Propionic acid                              | Palm acid oil  |
| 21 | Acetic acid                                       | NEODENE  | n-propyl alcohol                            | Palm stearin   |
| 22 | Xylens  | Methyl tert-butyl ether                              | Nonanoic acid (all isomers)                 | Poly (2-8) alkylene glycol monoalkyl (C1-C6) ether         |
| 23 | Phosphoric acid                                   | Tetrahydrofuran                                      | Hexanol                                     | Poly (2-8) alkylene glycol monoalkyl (C1-C6) ether acetate |
| 24 | Heptane (all isomers)                             | Potassium hydroxide solution                         | Neodecanoic acid                            | Trimethylacetic acid                                       |
| 25 | Nitric acid (less than 70%)                       | Pentane (all isomers)                                | Sodium hydrosulphide solution (45% or less) | OLOA 8888  |
| 26 | Sodium hydroxide solution                         | tert-Butyl alcohol                                   | Methyl butyl ketone                         | DER  |
| 27 | Propylene tetramer                                | Propylene glycol                                     | NEODENE 6                                   | RUBBER PROCESS OIL   |
| 28 | Vinyl acetate                                     | Butyl acetate (all isomers)                          | Furfuryl alcohol                            | SHELL FLAVEX OIL 595B                                      |
| 29 | Ethylene glycol                                   | Ethyl acetate  | Hexanoic acid                               | Poly(5+)propylene  |
| 30 | Methyl methacrylate                               | Methyl ethyl ketone                                  | Methacrylic acid                            | Biodiesel  |
| 31 | Dodecene all isomers                              | 2-Ethylhexanoic acid                                 | Polypropylene glycol                        | Alkylated (C4-C9) hindered phenols                         |
| 32 | Pantene (all isomers)                             | Corn oil (containing less than 10% free fatty acids) | DESMODUR                                    | Potassium chloride solution                                |
| 33 | Butene oligomer                                   | Isobutyl alcohol                                     | Cyclohexanol                                | Diethylene glycol dibutyl ether                            |
| 34 | Hydrochloric acid                                 | Fatty acids (C16+)                                   | Propylene glycol methyl ether acetate       | ANYSOLE  |
| 35 |   | Palm oil   | Glycerine                                   | Molasses   |
| 36 |   | Soyabean oil   | Dinonyl phthalate                           | Carboxymethyl starch                                       |
| 37 |   | Propylene glycol monoalkyl ether                     | Ethyl methacrylate                          | RAFFINATE  |
| 38 |   | Hexene (all isomers)                                 | Butyl alcohol                               | OLOA   |
| 39 |   | Palm oil (containing less than 5% free fatty acids)  | Dipropylene glycol                          | Octanoic acid (all isomers)                                |
| 40 |   | Tallow   |   | Poly(4+) isobutylene                                       |
| 41 |   | Neopentyl glycol                                     |   | Aromatic oil   |
| 42 |   | 2,2-Dimethylpropane-1,3-diol (molten or solution)    |   |  |
| 43 |   | Triethanolamine                                      |   |  |
| 44 |   | DOWANOL PMA  |   |  |

## 해상 유해액체물질(NLS) 유출사고대비 물질군 선정에 관한 연구

한 기준을(Table 3) 설정·적용하여 0~3순위의 4개 물질군을 제시하였다(Table 4). 0순위 물질군으로 선정된 34종은 사고 가능성이 가장 높은 물질들로 해상물동량이 백만톤 이상, X류, 사고이력 2회 이상, 국가긴급방계계획에 포함하는 HNS 및 IMO 사고대비 HNS에 모두 해당하는 물질들이다. 1순위 물질군 44종은 물동량이 십만~백만톤에 해당하며 최소 1회 이상의 사고이력이 있고, 국가긴급방계계획 또는 IMO 사고대비 HNS에 포함되는 물질들로 구성되어 있어 주의가 필요한 물질군이라 할 수 있다. 나머지 2~3순위 물질군은 물동량이 십만톤 이하의 물질들로 사고이력이 없으며 물질의 물리·화학적 특성, 인체 및 환경 유해성 등에 대한 정보가 부족한 물질들로 지속적인 자료 확보와 관심이 필요한 물질군이라 할 수 있다. 이들 물질군의 구분은 최근 해상 유통되는 NLS에 대해 국가차원의 유출사고 대비를 위한 관리수준을 결정하는 기초자료가 될 수 있으며 0~1순위 물질들에 대한 집중 관리와 함께 2~3순위 물질들에 대한 정보 구축 등의 노력이 병행되어야 한다. 또한 이를 위해서는 NLS 위해성 DB 및 우선순위선정시스템의 지표들에 대한 지속적인 자료 갱신도 필요하다.

### 3.3 항만별 NLS 유출사고대비 물질군 관리방안

NLS 유출사고대비 물질군은 국가 전체 항만을 통해 유통되는 물질을 대상으로 분류한 결과로서 각 항만별로는 실제 유통되는 NLS가 다르므로 유출사고대비 물질군의 항만별 유통 특성을 파악할 필요가 있다. 국내 12개 항만별 NLS의 유통특징을 살펴보면 크게 4가지 유형으로 분류할 수 있는데 유통량과 물질수가 모두 많은 유형(A: 울산, 광양, 대산, 평택, 인천)과 모두 적은 유형(B: 군산, 포항, 목포, 제주), 유통량은 많으나 물질수가 적은 유형(C: 마산)과 그 반대의 유형(D: 부산, 여수)이다(Table 5). B유형과 C유형은 물질수가 적어 특정물질의 사고에 대비한 방계자원 배치 등의 관리가 용이하나 A, D유형의 경우에는 물질수가 다양하고 특히 A유형은 유통량도 많아 사고빈도도 높게 나타나므로 방계 장비, 자재 및 약제뿐만 아니라 대비, 대응 전문 인력의 확충도 필요하다. Cho et al.(2013)은 국내 11개항 위험유해물질의 해상운송사고 빈도 분석 결과(2002~2012년)에서 유류 및 HNS 물질의 직접적인 영향으로 인한 사고를 17종 39건으로 보고한 바 있고 이중 8종이 국가긴급방계계획 포함물질이며 그 외 유류 7종, 화학물질 1종 및 기타 1종의 사고였다고 언급하였다. 그러나, 사고처리 유출량 기준 및 사고별 유출량 자료는 언급되지 않았다. 또한 전체 120건의 해상운송사고를 유출, 인명, 접촉, 좌초, 질식, 충돌, 침몰, 폭발, 화재의 9가지 유형으로 구분하였고 이중 충돌이 74건, 좌초가 11건으로 전체의 85%를 차지하고 있었다. 이들 전체 사고의 항만

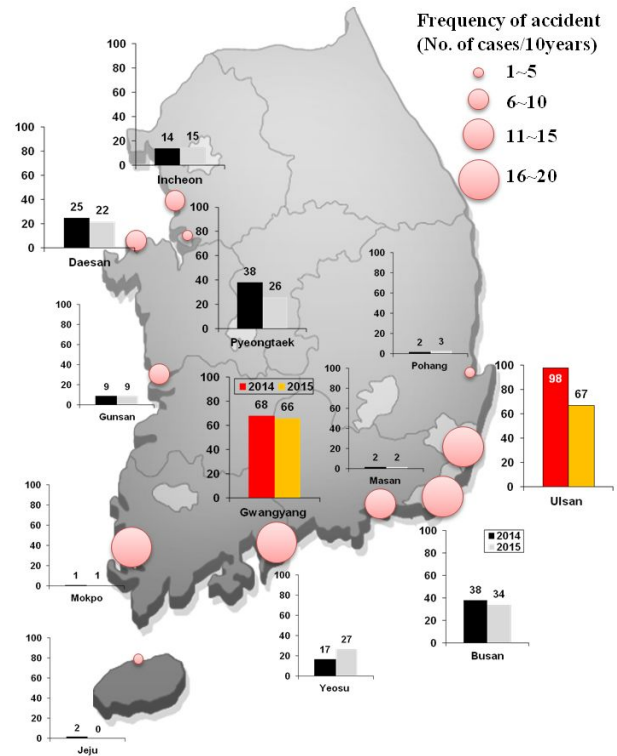


Fig. 2. Distributional pattern of NLS in major ports. Bar charts indicate numbers of NLS transported during 2014 and 2015. Circle charts indicate the frequency of NLS transported and oil spill accidents occurred from 2002 to 2012 (Cho and Kim, 2013).

Table 5. Maritime transportation of NLS at major ports in 2014 and 2015

| Port       | No. of NLS | Quantity, ton | † Frequency of accident (No. of cases/10 years) |
|------------|------------|---------------|---|
| Ulsan      | 108        | 38,273,680    | 19  |
| Gwangyang  | 91         | 21,868,160    | 20*   |
| Daesan     | 32         | 14,940,481    | 10  |
| Pyeongtaek | 45         | 6,695,806     | 1   |
| Incheon    | 19         | 4,035,371     | 8   |
| Masan      | 3          | 2,143,879     | 13  |
| Gunsan     | 10         | 450,933       | 6   |
| Busan      | 55         | 413,616       | 18  |
| Yeosu      | 34         | 369,706       | 20*   |
| Pohang     | 3          | 65,604        | 2   |
| Mokpo      | 1          | 61,736        | 19  |
| Jeju       | 2          | 34,941        | 4   |
| Total      | 158        | 89,353,913    | 120   |

\*Total frequency of Gwangyang and Yeosu. † Cho and Kim (2013)

별 사고빈도 분포도에서는 유류와 HNS유출사고가 분리 제시되지는 않았지만, 본 연구에서 해상운송량이 많았던 광양·여수·울산에서 운송사고 빈도가 가장 높고 해상운송량이 적었던 포항·제주·군산에서는 사고빈도가 낮게 나타났다(Fig. 2). 본 연구결과와 선행연구들을 종합해보면 해상운송 사고가 해상운송량에 직접적인 영향을 받는 것으로 추정되므로 각 항만에서는 물질별 유통현황을 파악한 후 0~1순위 물질군 위주의 유출사고대비 및 대응전략을 수립하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한, 동해남부권역(울산, 부산), 남해중부권역(광양, 여수), 서해중부권역(평택, 대산, 인천)을 NLS 유출사고대비를 위한 특별관리구역으로 지정하여 NLS 해상유통 시의 감시·감독을 강화하고 방재 장비, 자재 및 약제를 집중 배치해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 유해액체물질(NLS) 596종을 대상으로 인체 및 해양환경에 미치는 유해성과 노출에 대한 DB를 구축하고 우선순위 선정시스템을 통해 전체 우선순위를 선정하였으며 2014-2015년 해상유통물질을 대상으로 최종 158개 물질의 우선순위를 제시하였다. 선정된 우선순위물질과 국가긴급방재계획상 68종을 비교했을 때 54종이 동일했으나 나머지 14종 중 6종의 경우 물질명에 대한 검토가 필요한 것으로 나타났다. 또한, 최근 물동량이 많고 유해성이 높은 상위 30위 내 7개 물질은 국가긴급방재계획상에 없던 물질이므로 이들 물질의 포함을 고려해야 할 것으로 판단된다. 국가차원의 NLS 유출사고대비를 위한 관리수준을 제시하기 위해 우선순위물질 158종을 대상으로 물질군 구분 기준을 설정하여 0~3순위의 4개 물질군으로 구분한 결과, NLS 유출사고대비를 위해서는 물동량 및 유해성이 높은 0~1순위 물질군의 집중관리와 함께 2~3순위 물질군의 정보 구축작업이 지속되어야 할 것으로 나타났다. 항만별로는 NLS 유통 유형이 다르므로 각 항만의 물질별 유통특성을 파악한 뒤 0~1순위 물질군 위주의 사고관리에 집중하는 것이 효율적인 것으로 나타났다. 또한, 동해남부권역(울산, 부산), 남해중부권역(광양, 여수), 서해중부권역(평택, 대산, 인천)을 NLS 유출사고 대비를 위한 특별관리구역으로 지정하여 NLS 해상유통 시의 감시·감독을 강화하고 방재 장비, 자재 및 약제를 집중 배치해야 할 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 우선순위선정시스템의 인체 독성지표들 사이의 합의 점수관계 설정 타당성, 우선순위 및 사고대비 물질군 구분 등에 대한 전문가 검토 및 논의, 주요 우선순위 물질에 대한 세부 관리방안에 관한 추가연구가 필요하며, 유해성 DB의 구축과정에서 나타난 유해성 정보 부재 물질

들의(만성독성) 지속적인 자료 생산 및 보완이 필요한 것으로 나타났다. 특히 수생태 독성의 경우 해양생물종을 대상으로 한 자료 생산 및 확보가 지속되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 해상 NLS 유출 사고 관리를 위해서는 NLS를 포함한 HNS의 해상유통에 대한 정보를 확인할 수 있는 시스템이 조속히 구축되어야 하며 국가긴급방재계획에 포함하는 위험·유해물질 지정 고시의 개정에 관한 논의도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(위험유해물질(HNS)사고 관리기술 개발)입니다.

#### References

- [1] Cho, S. J., D. J. Kim and K. S. Choi(2013), Hazardous and Noxious Substances (HNS) Risk Assessment and Accident Prevention Measures on Domestic Marine Transportation, Journal of the Korean Society on Marine Environment & Safety, Vol. 19, pp. 145-154.
- [2] Cho, S. and D. Kim(2013), A Study on Accidents of Hazardous Materials (Oil and HNS) Maritime Transportation in Major Domestic Ports by Formal Safety Assessment, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 28, pp. 57-65.
- [3] Choi, S. P., H. S. Park, D. S. Lee, Y. S. Shin, Y. S. Kim and D. C. Shin(2005), Development of CRS-Korea II and its Application to Setting the Priority of Toxic Chemicals for local Provinces, Journal of Environmental Toxicology, Vol. 20, pp. 311-325.
- [4] Cunha, I., S. Moreira and M. M. Santos(2015), Review on Hazardous and Noxious Substances (HNS) involved in marine spill incidents-An online database, Journal of Hazardous Materials, Vol. 285, pp. 509-516.
- [5] Cunha, I., T. Neuparth, S. Moreira and M. M. Santos(2014), Management of Contaminated Marine Marketable Resources and HNS Spills in Europe, Journal of Environmental Management, Vol. 135, pp. 36-44.
- [6] Garcia, D. A., F. Cumo, F. Gugliermetti and F. Rosa(2013), Hazardous and Noxious Substances (HNS) Risk Assessment along the Italian Coastline, Chemical Engineering Transactions, Vol. 32, pp. 115-120.
- [7] GESAMP(2014), Revised GESAMP Hazard Evaluation

Procedure for Chemical Substances Carried by Ships (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP/INIDO/UNDP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2nd Edition, Rep. Stud. GESAMP No. 64, pp. 1-106.

---

Received : 2016. 12. 06.

Revised : 2016. 12. 19. (1st)

: 2016. 12. 26. (2nd)

Accepted : 2016. 12. 28.

- [8] GESAMP composite list(2016), <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/ChemicalPollution/Documents/GESAMP%20CompList%202016.pdf> (accessed December. 2016).
- [9] Harold, P. D., A. S. de Souza, P. Louchart, D. Russell and H. Brunt(2014), Development of a Risk-based Prioritization Methodology to inform Public Health Emergency Planning and Preparedness in case of Accidental Spill at Sea of Hazardous and Noxious Substances (HNS), Environment International, Vol. 72, pp. 157-163.
- [10] ITOPF(2014), TIP 17: Response to marine chemical incidents, Technical information papers, pp. 1-16.
- [11] Kim, Y. R., T. W. Kim, M. H. Son, S. Oh and M. Lee(2015), A Study on Prioritization of HNS Management in Korean Waters, Journal of the Korean Society on Marine Environment & Safety, Vol. 21, pp. 672-678.
- [12] Lee, M. and J. Y. Jung(2013), Risk Assessment and National Measure Plan for Oil and HNS Spill Accidents Near Korea, Marine Pollution Bulletin, Vol. 73, pp. 339-344.
- [13] Lee, M. and S. Oh(2014), Development of Response Scenario for a Simulated HNS Spill Incident, Journal of the Korean Society on Marine Environment & Safety, Vol. 20, pp. 677-684.
- [14] Neuparth, T., S. M. Moreira, M. M. Santos and M. A. Reis-Henriques(2011), Hazardous and Noxious Substances (HNS) in the Marine Environment: Prioritizing HNS that pose major Risk in a European Context, Marine Pollution Bulletin, Vol. 62, pp. 21-28.
- [15] Neuparth, T., S. M. Moreira, M. M. Santos and M. A. Reis-Henriques(2012), Review of oil and HNS accidental spills in Europe: Identifying major environmental monitoring gaps and drawing priorities, Marine Pollution Bulletin, Vol. 64, pp. 1085-1095.
- [16] Park, H. S., T. S. Kim, D. S. Lee, Y. S. Shin, S. P. Choi, S. E. Park, M. H. Kim, J. Y. Yang and D. C. Shin(2005), Development of Korean Chemical Ranking and Scoring System (CRS-KOREA) and its Application to Prioritizing National Toxic Chemicals, Journal of Environmental, Toxicology, Vol. 20, pp. 109-121.