

유류오염 포텐셜 해석을 통한 방제대책 수립방법에 관한 연구 -부산항을 중심으로-

전용호* · 류청로* · 황창수**

*부경대학교 해양공학과

**국립해양조사원

A Study on the Contingency Planning Methods under the Analysis of Oil Spill Potential -Application to the Port of Busan-

YONG-HO JEON*, CHEONG-RO RYU* AND CHANG-SU HWANG**

*Development of Ocean Engineerin, Pukyong National University

**National Oceanographic Research Institute

KEY WORDS: Contingency Planninf 방제대책, Oil spill Potential 유류오염 포텐셜, Oil spill 유류오염, Environmental Factor 환경요소

ABSTRACT: This study was carried out to check the contingency planning methods under the analysis of oil spill potential and make a guide line to apply the results to the port of Busan. The expected spilled oil drift patterns are considered with the most probable scenarios under the base of the oil spill potential.

The results obtained from this study are as follows:

- (1) Analysis method of oil spill potential was proposed and the applicability was proved by the application example to the port of Busan to make the contingency plan.
- (2) Responsible oil spill contingency planning methods / flow are suggested considered environmental factors and the oil spill potential.
- (3) The coastal waters of Busan was consist of rocky flat, mari-made solid shore and beach shore. Marine traffic have high density of oil tanker and cargo ship. Also, oil tanker ship are examined in the small ships to be less than 3000t to supply oil to the ship moored / anchored as well as the large amount of oil tank / basin are located along the coast of Busan port. These systems are introduced to make in put data to the analysis of oil spill potential.
- (4) According to the analysis of historical records of oil spill accident in Busan, the frequency of accidents by cargo ship rank highest and 45% of accidents is caused by carelessness. about 65% of total accidents shows a small spill accident of less than 10kl.

1. 서 론

최근 우리나라는 급속한 산업발전과 경제성장으로 해상교 통량 및 유류물동량이 해마다 증가하고 있다. 이로 인하여 해상에서의 유조선의 충돌 또는 좌초와 같은 해난사고 등으로 인한 유류오염 사고의 잠재적 가능성도 높아지고 있다. 또한 빠른 경제회복으로 원유·석유제품 및 수출입 물동량이 급격한 속도로 증가하고 있어, 수출입 물동량 90% 이상이 항만을 통해 처리되는 우리나라의 산업·사회 구조상 항만 유류오염사고는 꾸준히 증가를 보일 수 밖에 없는 면을 가지고 있다.

그러나 유류오염에 대한 해석은 긴급방제 체계는 물론 사

고 후의 장기적 환경회복, 환경영향평가와 방제체제구축에 있어서 가장 기본이 되는 것이다. 그리고 연안역과 외해역에서 유류오염에 대한 외적조건인 바람과 유동·파동 등의 역학적 조건과 유류의 풍화와 관련한 물리, 생물, 화학, 지질학적 조건의 양상이 전혀 다르기 때문에 해석이 달라져야 한다. 과거에는 긴급방제 목적의 해석이 이루어졌으나, 최근에는 긴급방제는 물론 장기적인 해석에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 유출유 발생 포텐셜 개념을 도입하여 유류선박으로부터의 돌발유출 또는 가동상의 유출, 발생지점과 범위를 예측하기위한 확률적 방법을 제시, 분석한 뒤 향후 방제대책 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

특히, 부산항의 주변 해양환경 특성 및 최근 5개년간(1998년부터 2002년까지) 발생한 해양유류오염사고를 분석하여 그 특징을 알아보고, 부산항내 및 인근연안해역(Fig. 1)에서 1kl 이

제1저자 전용호 부산광역시 남구 대연3동 599-1

051-620-6222 yh21jeon@mail1.pknu.ac.kr

상 유출된 최근 5년간(1995~2002)의 유류오염사고 통계를 분석한다. 또한 현재의 해안(항만)방제대책의 문제점 및 개선점을 논의하고자 한다.

최종적으로 이상의 연구결과를 통해 부산연안 해역에서의 유류오염사고시 효과적인 해안(항만)방제대책수립을 위한 방안을 모색하고자 한다.

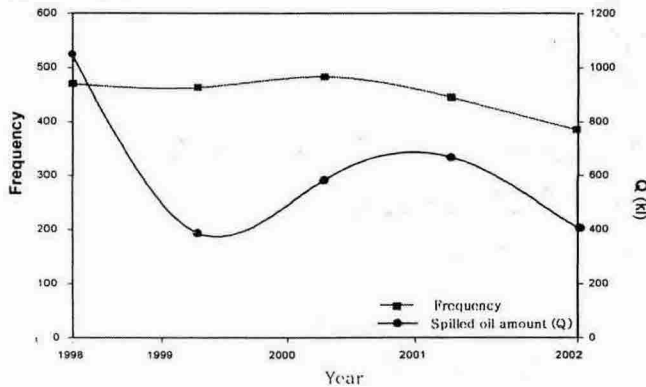


Fig. 1. Frequency of oil-spill incidents and spilled oil amount in Korea (1998~2002).

2. 본 론

2.1 유출유발생 포텐셜 해석

유류가 해양환경에 유출된 후, 광범위하고 다양한 물리적, 화학적 그리고 생물학적 현상으로 인해 유출유 수송이 발생하게 되는데 이러한 현상을 일반적으로 유류의 풍화(weathering)이라고 한다. 이는 Fig. 2에 모식적으로 나타낸 바와 같이 대체로 합성, 거동, 노출경로와 유독성을 변화시키는 행동들과 기상으로 언급되어진다.

이와 같은 기상현상을 이해하는 것은 유출되어진 기름의 수명을 평가하는데 있어서 매우 중요한 사항이다. 우선적인 기상현상은 퍼짐, 증발, 용해, 확산, 유화작용, 그리고 침전이 있다. 이런 현상들은 모든 유출유에서 발생이 가능하지만, 각 현상의 비율과 상대적인 중요도는 특정 기름과 주변 환경 조건에 의존하게 된다. Fig. 3에 시간에 따라 이와 같은 현상들의 상대적인 중요도를 도시해 놓았다.

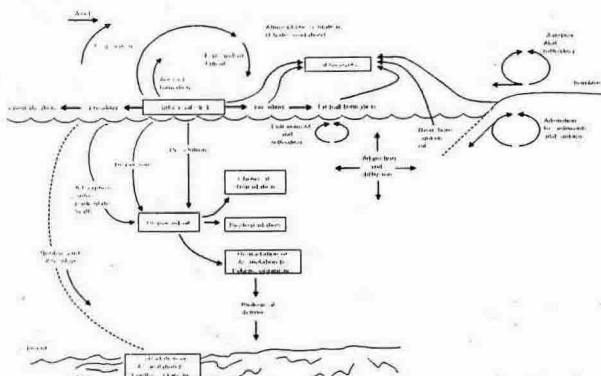


Fig. 2. Schematic diagram of oil fates and weathering

(National Research Council, 1985).

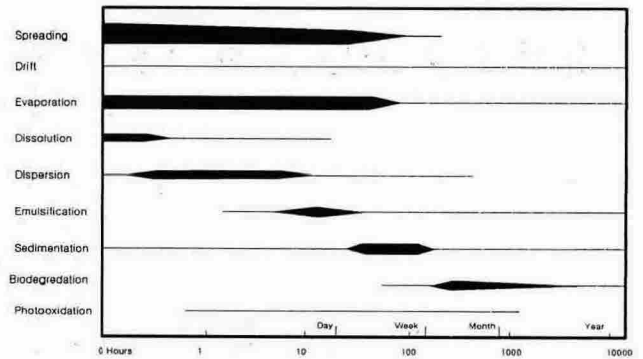


Fig. 3. Relative importance of weathering processes (NOAA, 1992a).

해양에 유출되어진 유류의 방제에 앞서 유류오염발생 자체, 즉 발생 포텐셜(가능성)을 사전에 예측하고 미연에 이에 대한 대책을 수립하는 것은 가장 최선의 방법이 될 것이다. 최근들어 유류 유출을 사전 예측하기 위한 능력을 갖추기 위한 선진국가의 투자는 결국 유출의 예방과 조절, 우발적인 유출의 감소, 환경적인 효과에 대한 최소피해를 목적으로 하는 것으로 그 중요성이 더해가고 있다.

따라서 각종 유류의 유출사고 발생 포텐셜을 사전 예측하기 위해서는 기름 유출의 발생지점과 범위를 명확하게 기술할 수 있어야 한다. 이러한 것들은 정확히 예측이 불가능하지만, 가능성의 차원에서 설명될 수 있을 것이다. Devaney and Steward (1974)는 유출유의 범위가 감마 분포에 의해 지배적이라는 사실을 제안한 바 있다. 감마 분포의 인자들은 해당 지역 고유의 데이터에 의해서 결정이 가능하다. 이러한 통계적인 방법들이 일반적으로 예시적인 범위와 위치에 의존하기 때문에 그들의 접근 방식은 다른 해역에서는 적용하기가 타당하다고 할 수가 없다.

또한 유출유량은 일반적으로 석유시추와 수송장비에서의 선박 작업에 기인하는 두가지 형태로 발생한다. 이들의 형태로는 돌발적인 유출과 조작상의 유출이 있을 것인데, 이는 보통의 작업과정 중에 일어나는 일과 인위적인 방류에 해당될 것이다. 인위적인 방류는 지금까지 중요성이 강조되지 못하고 있었으나 산업화된 만내나 폐쇄성 해역에서는 환경적으로 아주 중요하다.

2.2 부산항의 현황과 적용예

2.2.1 부산항 유류오염발생 요소

① 항로와 입출항 선박

부산항의 항로는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 1항로~3항로의 3개 항로가 운영되고 있다. 제1항로의 입구에는 삼각형의 통항분리해역이 설정되어 있으며, 동측의 입항항로와 서측의 출항 항로로 구분되어 있다. 제2항로 및 제3항로는 남항 및 감천항 입구에 각각 설정되어 있다. 현재 3개의 항로중 부산항 입·출항 선박의 95% 이상이 제1항로를 통해 북항을 이용하고 있는 실정이다. 또한 부산항에 입항한 선박은 2002년 현

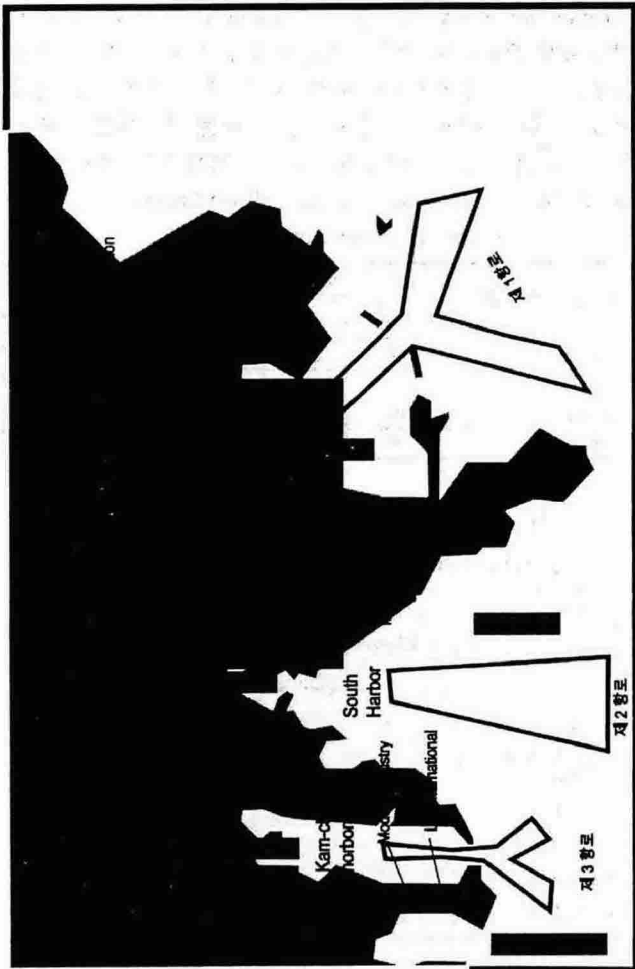


Fig. 4. The present state of pier in the port of Busan harbor.

제 4만 ~ 6천 여척으로 우리나라 총 입항선박 18만 5천여척의 25.2%를 차지한다. 부산항 입항선박 중 연안선박은 약 2만 여척으로 전체의 43.5%를 차지하며, 외항선박은 약 2만 6천 여척으로 전체의 56.5%를 차지하고 있다. 연안선박의 규모는 비교적 작으나, 외항선박 규모는 비교적 대형선박이 주종을 이룬다(해양수산부, 2002).

부산항에 입항하는 유조선은 원유선보다 정제제품 운반선이 높은 비중을 차지하고 있다. 2001년 현재 외항선박 중 원유선은 43척이고 석유정제선은 326척으로 나타났으며, 연안선박에서는 석유정제선이 전체의 47%를 차지하는 것으로 나타났다. 원유선의 규모는 1만톤급 이상이 다수를 이루며, 석유정제선은 5백톤 ~ 3천톤급의 선박이 58%를 이루고 있다. 부산항 출입 유조선의 규모는 약 93%가 3천톤 이하인 것으로 나타났다. 그 외 일반화물선, 냉동냉장선, 케미칼 운반선 등도 5백톤 ~ 3천톤급 선박이 대부분을 이루고 있다(부산해양경찰서, 2002).

② 저유소 및 유류취급량

부산항의 계류 시설 중 위험물운반선 전용계류시설은 총 8

개(북항 5개, 감천항 3개)로 선박 11척을 동시에 접안할 수 있다. 부산항내 저유소 위치는 Fig. 4와 같이 북항에 7개소가 위치하고 있다. 이중 연간 100만 kl 이상의 기름 취급 계류시설은 2만 톤급 선박이 계류할 수 있는 감만부두 동측안벽의 LG-칼텍스정유 전용부두, 영도구 봉래동 SK정유(주) 부두, 영도구 동삼동의 인천정유 부두, 남구 용당동의 현대정유 부두, 감천항 제6부두의 LG상사 전용부두이다. 부산항의 저유소 저장용량은 부록에서 보는 바와 같이 총 10여개소로 180개의 탱크가 있으며, 저유용량은 총 41만kl이다. 부산항의 주요 저유소는 현대정유, SK정유, LG-칼텍스정유, 인천정유, 미창석유, 쌍용정유 등으로 대부분이 북항에 위치하고 있다.

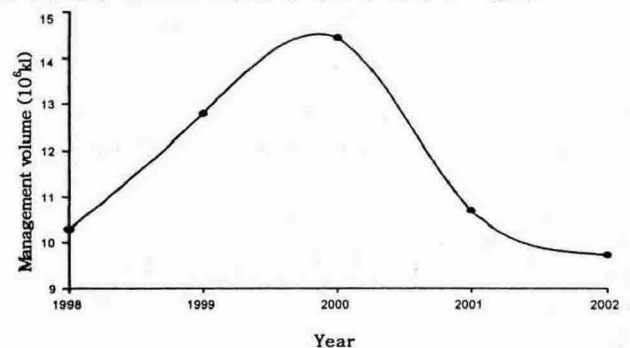


Fig. 5. Annual management volume of oil in the port of Busan harbor(1998~2002).

또한 부산항 최근 5개년동안 유류취급량은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 연평균 1,100만kl 이상 취급하고 있으며, 이 중 북항에 위치한 5개 저유소에서 70% 이상을 취급하고 있다. 2002년 기준 부산항 연간 유류취급량은 970만kl로 Table 3에서 보는 바와 같이 북항에 위치한 저유소에서 연간 800만kl 취급으로 부산 항내 82%의 유류를 북항에서 취급하고 있다.

Table 1. Annual management volume of oil storage in the northern harbor Busan (2002)

(Unit : $10^3 \ell$)

Oil type	Hyundai	LG caltex	S K	Inchon	Ssangyong	Hankook shell	Michang petroleum
Gasoline	97.4	183.8	251.2	42.5	-	-	-
Kerosene	123.4	150.8	269.0	42.9	-	-	-
Diesel	624.3	602.2	688.2	285.0	125.2	-	-
M D O	28.0	-	16.6	-	1.0	-	-
M F O	7.6	211.9	16.5	153.8	-	-	-
B - A	53.5	69.6	75.6	-	19.4	-	-
B - C	1,225.8	1,574.5	772.5	205.9	-	-	-
Lubricants	-	179.0	-	-	-	31.0	65.2
Total	1,600.0	2,971.8	2,089.6	730.1	145.6	31.0	65.2

③ 부산연안 유류오염발생사례

부산 연안해역에서 최근 5개년(1998~2002년)동안 해양유류오염사고를 Fig. 6에 나타냈으며, 부산해역에서는 평균 78건의 유류오염사고가 발생하고 있으며, 2001년 100건에서 2002년 75건으로 26% 감소 추세를 나타냈다. 2002년은 유출량이 9.7

kl로 대부분 항내 소형 오염사고로 인한 유류 유출사고로 나타났다.

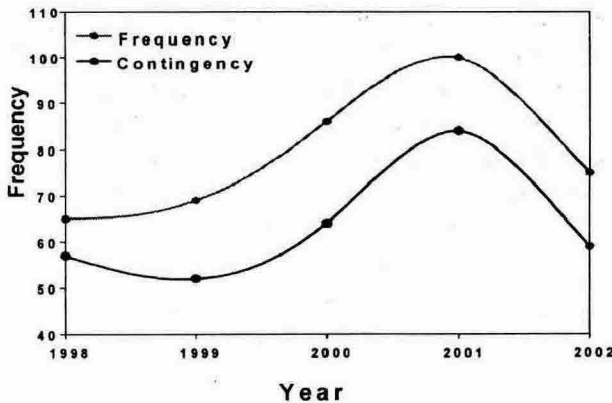


Fig. 6. Annual frequency and contingency of oil spill accident during 5 years in the port of Busan (1998~2002).

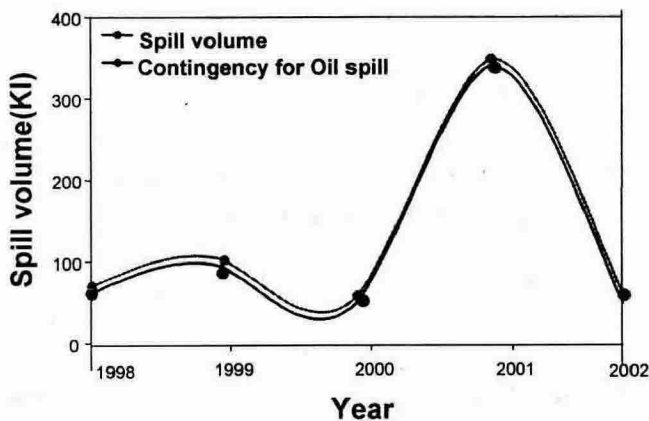


Fig. 7. Spilled volume and clean up volume of spilled oil amount during 5 years in the port of Busan (1998~2002).

Fig. 7은 최근 5개년간 부산해역에서 발생한 유류오염사고 방제 조치실적을 나타낸 것으로 오염사고 395 건 중 313건 처리로 약 80%를 처리하였으며, 유출량도 전체 유출량의 445 kl에서 434kl를 방제 조치하였다.

④ 방제대책과 문제점

부산해역에서 유류유출 사고가 발생할 경우 방제작업시의 가용한 방제장비 보유현황은 Table 2와 같으며 부산해역내의 보유방제장비로 방제활동이 충분하지 못할 때 울산 및 통영 해역에서 보유하고 있는 방제장비가 동원된다.

Table 3은 부산해역 유류오염 발생시 가용한 방제장비를 기관별 보유현황을 나타낸 것으로 표에서 나타난 바와 같이 부산해경 및 해양오염방제조합 부산지부에서 대부분의 방제장비를 보유하고 있다.

유류오염 발생시 방제체제상의 문제점을 살펴보면 국가방제 기본계획은 유류오염 사고에 대응하기 위하여 국가방제조직·지휘체계, 대비·대응태세, 방제방법 선택 및 실행, 피해조사 및 복구, 각 행정기관별 임무 등 유류오염처리에 관한 모

든 사항을 체계적으로 규정한 종합계획이다. 그 방제조직체제를 살펴보면 Fig. 8과 같이 되어있어 해경청과 시·도 지방자치단체장은 상호협력체제를 유지하도록 되어 있다. 국가기본계획에 명시된 관계행정기관의 역할을 보면 중앙행정 기관의 장은 소관업무 및 관계법령에 따라 오염사고에 대한 피해

Table 2. The present status of oil spill contingency equipments in the Korea (2002)

Divison	Vessel (No)	Oil skimmers (No)	Oil boom (m)	Oil absorbent (kg)	Oil dispersants (ℓ)
Total	107	248	232,547	205,417	998,565
Busan	16	33	22,090	19,393	98,196
Ulsan	19	35	28,924	21,551	155,392
Tongyong	5	18	28,639	26,567	127,808

Table 3. The present status of oil spill contingency equipments in the Busan (2002)

Divison Equipment name	Possession capacity					
	Total	Marine Police	Response crop.	Public institutions	Company	Contract or
Vessel (No)	16	2	8	·	·	6
Oil skimmers (No)	33	13	11	1	·	8
Oil boom (m)	22,090	1,904	3,080	1,676	2,000	13,430
Oil absorbent(kg)	19,393	6,806	1,497	3,310	710	7,070
Oil dispersants (ℓ)	98,196	39,992	9,816	11,950	4,010	32,428

최소화 대책을 수립 시행하고 대책위원회 참여 등 상호협력체제의 유지에 노력하여야 하며, 지방행정기관의 장 및 지방자치단체장은 지역 여건을 고려하여 오염사고에 대한 피해 최소화 대책을 수립 실시하고, 지역대책협의회 참여 등 상호협력체제 유지에 노력하여야 한다고 명시되어 있다. 또한, 시장, 군수, 구청장과 항만시설을 관리하는 행정기관의 장은 해안과 항만시설 방제계획을 지역방제 실행계획과 상충되지 않도록 수립하여야 한다고 명시되어 있다.

한편 1995년 씨프린스호 오염사고 이후 국가방제체제 개편으로 해안방제체제도 새롭게 정립하였다. 국가방제 기본계획은 방제작업을 해상방제와 해안방제로 나누어서 해상방제는 해경의 지휘하에 한국 해양오염방제조합이나 민간업체에

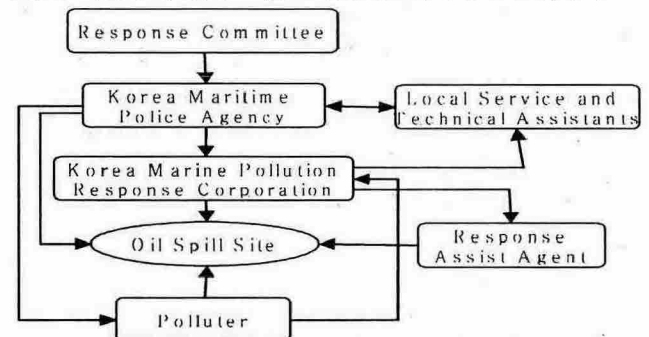


Fig. 8. Contingency organization of Marine Oil Spill.

의해 수행하도록 하고 해안방제는 지방자치단체와 지방해양수산청에 맡도록 규정하고 있다. 그러나 해양오염방지법과 국가방제기본계획에 의해 해안(항만)방제에 대한 책임을 지고 있는 지방자치단체(지방해양수산청)는 구체적인 대비책을 마련하지 못하고 있는 실정이다.

3. 결 과

3.1 부산항 유류오염 발생 포텐셜 평가

앞 절에서 부산항 유류취급 시설물의 배치현황 및 취급유류량, 방제대책장비의 현황 및 제고현황을 살펴보았다. 또한 유출유 발생 포텐셜 개념을 도입하여 유류선박으로부터의 돌발유출 또는 가동상의 유출, 발생지점과 범위를 예측하기 위한 확률적 방법을 제시하였다.

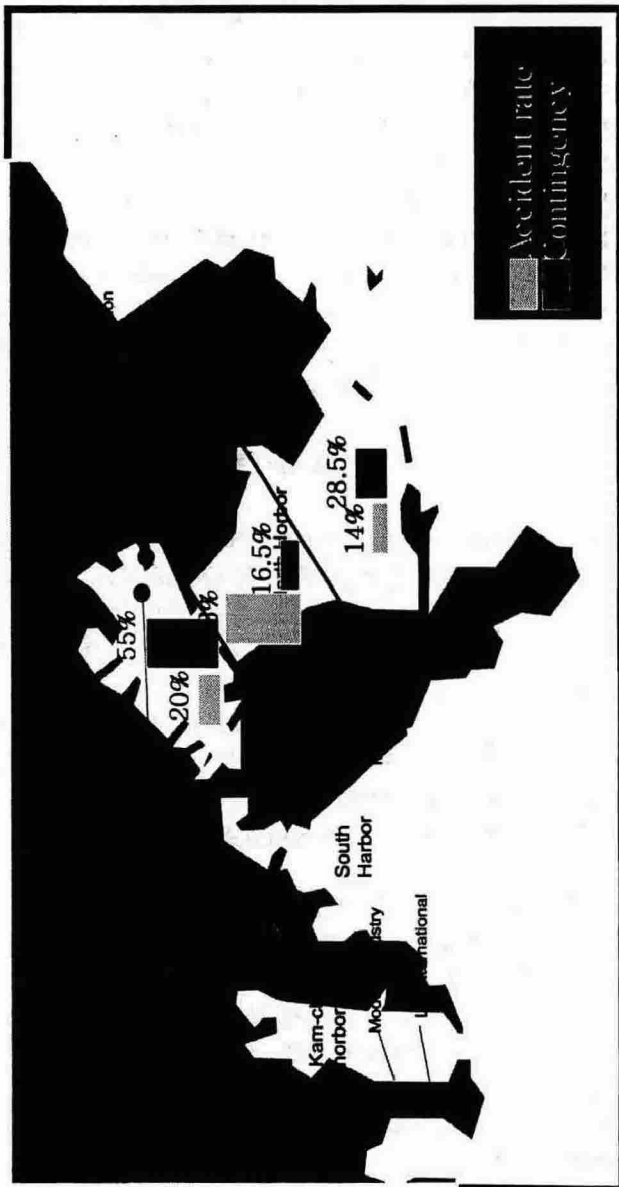


Fig. 9. Estimation the possibility of oil spill accident. 또한 부산항내에서 발생가능 한 해상유류오염의 가상시나리

오를 통해 부산항내 남풍 계열의 바람조건과 방제를 위한 장비동원의 대책수립이 불가능한 상태를 전제로 항내 유출된 유류의 거동특성을 시뮬레이션하고 이에 대한 대책방안에 대해서 검토해 보았다.

상술한 내용을 바탕으로 부산항 유류오염 포텐셜을 평가한 결과는 다음의 Fig. 9와 같다. 그림에서 부산지방경찰청이 위치한 북항(Region 1)과 저유소가 밀집한 영도북측 해역(Region 2), 외해와 접해있는 오륙도 내측의 해역(Region 3)에 대해서 유류오염발생 포텐셜을 추산한 결과, Region 1의 경우 유류오염발생확률은 20%로 상당히 낮은 반면에 방제대책능력은 55%로 높게 나타났다. 또한 Region 2의 경우 유류오염발생 확률은 66%로 인데 반해 저감 또는 방제대책능력은 16.5%, Region 3의 경우 유류오염발생 확률은 14%이고, 저감 대책능력은 28.5%로 산정되었다.

이상의 결과를 통해 부산항의 경우 해역별로 유류오염발생 가능성이 해역임에도 불구하고 방제대책이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 위험요소에 대한 대책방안이 효율적으로 마련 되어있지 못한 것을 반증하는 것으로 이에 대한 대책마련이 요구되어진다.

3.2 효율적 해안(항만)방제 방안 제안

이상에서 살펴본 부산항 유류오염발생 요소, 유류오염 포텐셜 해석기법 등을 종합적으로 고려하여, 부산 연안해역 또는 항내에서 유류오염사고 발생시 요구되어진 해안(항만)의 유류오염으로부터의 안전 및 피해최소 방안을 제안하면 다음과 같다.

첫째, 우선 방제 해안 및 항만시설물의 지정 및 방제장비의 분산배치이다. 이는 부산 북항 및 남항, 감천항 등에 분산되어진 주요 항만시설 및 해안구조물의 중요성을 평가하고 그에 따른 유류오염발생시 방제 대책을 차별적으로 수립하는 방안이다. 또한 각 주요 시설물별로 현재 중앙집중식으로 배치되어있는 방제장비를 유류오염발생 포텐셜이 높은 해역별로 분산 배치함으로써 효과적인 해안(항만)방제를 유도하는 방안이다. 이는 Fig. 10에서와 같이 부산해양경찰청으로부터 부산항 북항 및 남항, 감천항의 유류오염을 순찰하는 방제정의 순찰항로를 나타내는 것으로 영도의 지형적 특성으로 인해 감천항이나 부산남항의 경우 외해를 통해서 둘러가야 하는 실정이다. 이와 같은 경우 돌발적인 해양유류오염발생시 초동방제가 어려운 상태가 될 것이다. 더구나 지역어촌민과 선박이 자발적으로 방제작업을 하기에는 장비의 부재로 인해 유류오염 발생시 초기에 방제할 수 있는 기회를 상실하게 되는 경우도 발생할 수 있기 때문이다. 또한 해상방제 주관기관인 해양경찰청에서 장기적인 계획하에 해상 방제용 장비를 구입하는 것과 마찬가지로 해안(항만)방제 주관 기관인 지방자치단체장(지방해양수산청장)은 해안(항만)방제 장비를 구입하여 유류오염사고시 즉각 사용가능할 수 있도록 하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

둘째, 지역 인력 및 장비동원 계획 수립을 위한 대책

방안 수립이다. 이를 위해 인근해안 항만별로 해안(항만)방제에 투입할 요원 및 장비를 적절히 조직화, 동원되는 인력의 주기적인 방제관련 교육의 실시, 부산연안해역의 각 어촌계로 하여금 초기방제를 위한 오일웬스, 유처리제 등 기본방제장비를 구입 비축을 위한 구체적 법규의 마련, 유류오염사고시 그 지역의 해안 및 항만의 지형지물에 익숙한 지역어촌민과 선박의 원활한 의사소통과 역할분담, 공공기관간의 유기적 관계유지 등이다.

셋째, 해안(항만)방제에 투입되는 지역주민과 어민 대부분은 방제에 대한 사전 지식이 전무하다. 앞에서 제시한 인력동원 계획 시 구성된 조직원에 대한 개인별 임무를 부여 지방자치단체의 해안 방제 담당자나 민간방제업체팀장들이 정기적으로 각 지역 어촌계를 방문 방제 기본 순회교육을 실시할 필요가 있다. 또한 유류오염 방제 가상시나리오를 설정하여 연1회 이상 현장 훈련 실시가 필요하며 동원 지정장비에 대한 주기적 확인을 통해 즉각 사용 가능토록 하여야겠다.

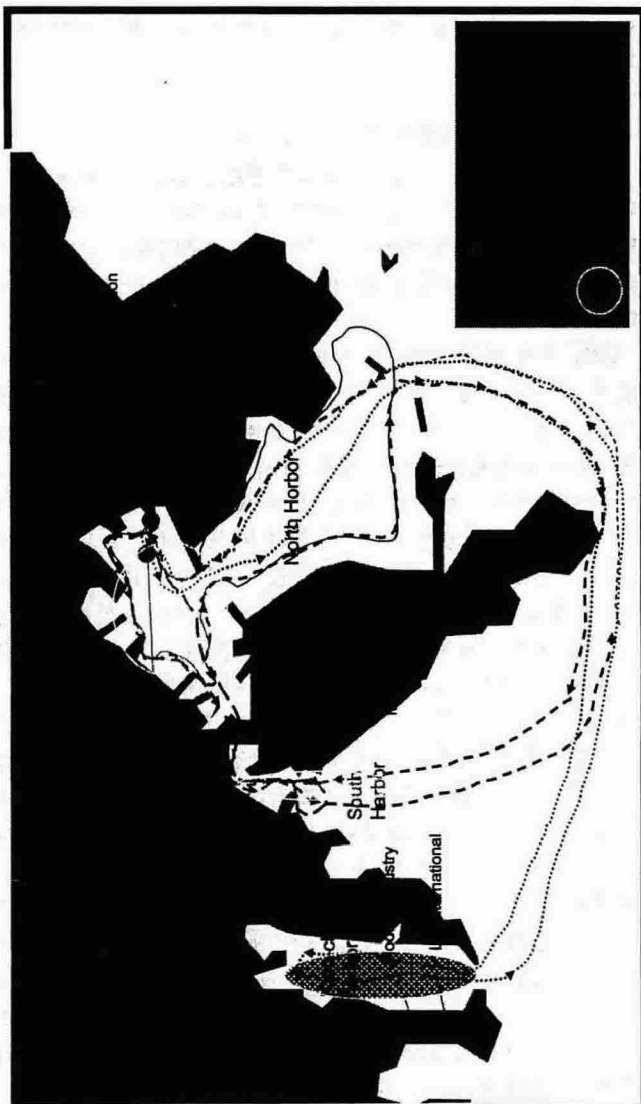


Fig. 10. Patrol route of pest control ship.

4. 요약 및 결론

본 연구는 해양유류오염사고에 대비한 방제대책수립을 위한 기초적 연구로서 유류오염 포텐셜 해석을 기초로 한 장기 방제 대책 수립의 기본적 절차와 방법을 체계화 하고자 하였다. 기본 개념의 적용성을 검토하기 위한 예로서 부산항의 유류오염발생 위험도를 평가하고 이에 대한 효과적인 방제시스템, 방제장비 및 훈련된 인력 등 효율적인 방제대책수립에 대해서 논의하였다. 이상의 연구를 통해 얻어진 주요 경과와 결론은 다음과 같다.

(1) 유류오염 발생 포텐셜의 해석을 제안하고, 이를 검증하기 위한 예로서 부산항을 설정하여 평가 하였다.

(2) 유류오염 방제대책의 신뢰도를 높이기 위해서는 환경적인 요소와 포텐셜 해석의 고려하여야 한다.

(3) 부산항 유류오염발생 요소로서 저유소 현황 및 연간유류취급량을 파악한 결과, 항내 유류 오염사고 가능성이 높은 위험지역으로는 부산북항을 강조할 수 있었으며, 부산항 및 연안해역에서 1kl 이상의 유류오염사고 분석결과 남·북항을 끼고 있는 영도 부근에서 21건 발생으로 전체의 55%를 차지하였다.

(4) 부산항에 대해 유류오염 포텐셜 해석기법을 적용하여 평가해본 결과 저유소 분포밀도가 높은 영도북측 해역이 오염발생확률이 66%로 높은데 반해 방제대책능력은 16.5%로 낮게 산정되어 현재 부산항 방제대책이 위험요소에 대한 대책방안으로서 효율적이지 못한 것으로 나타났다.

참고 문헌

- 류청로, 장선덕, 이화운, 1993. 연안해역 유류분산의 수치모델링, 한국 수질 보전 학회지, pp.167~177.
- 박종화, 1994. 심해 파랑추산모형의 개발 및 오염물질 수송에의 응용, 부산수산대학교 공학박사 학위논문, 118p.
- 김영표, 1997. 부산해역의 효율적 해역관리방안에 관한 연구, 부경대학교 공학석사 학위논문, 67p.
- 윤혁수, 2002. 부산지역에서의 효과적인 해양오염방제능력 향상에 관한 연구, 한국해양대학교, 공학석사 학위논문, 81p.
- 목진용, 2001. 우리나라 기름오염방제제도의 문제점과 개선방안, 해양환경 안전학회지, pp.105~121.
- 해양수산청, 2002. 해양수산통계 연보.
- 부산해양경찰청, 2002. 지역방제 실행 계획.
- 해양경찰청, 2002. 해양오염사고 현황.
- 해양경찰청, 2002. 전국방제자원 현황.
- 한국오염방제조합, 2002. 해양오염방제 세미나 자료.
- Robert, J. M. & A., 1988. Oil Spill response guide, Noyes Data Co.,