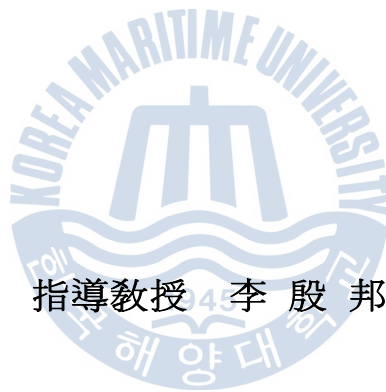


工學碩士 學位論文

면적기반 해상기름회수 목표량 평가방식
설계에 관한 연구

A Study on the Method Design to Calculate Oil Spill
Response Capability Based on Spill Area



2012年 8月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

鎌田 忍

工學碩士 學位論文

면적기반 해상기름회수 목표량 평가방식 설계에
관한 연구

A Study on the Method Design to Calculate Oil Spill Response
Capability based on Spill Area



指導教授 李 殷 邦

2012年 8月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

鎌田 忍

本 論 文 을 鎌 田 忍 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 尹 鍾 輝 (印)

委 員 鞠 承 淇 (印)

委 員 李 殷 邦 (印)



2012年 8月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

목 차

표 목차	iii
그림 목차	iv
Abstract	vi
제1장 서론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	2
1.3 연구의 방법 및 범위	3
1.4 연구의 기대 효과	4
제2장 방제능력 평가방식 분석	6
2.1 방제능력 개념정의	6
2.2 방제능력 요소	8
2.3 방제능력 산정방식의 방향성 및 범주	10
2.4 국가별 방제능력 산정방식의 비교 분석	11
2.4.1 한국	11
2.4.2 일본	15
2.4.3 미국	22
2.5 용량기반 평가방식의 특성과 과제	24
제3장 면적기반 해상기름회수 목표량의 설계	26
3.1 면적기반 해상기름회수 목표량 개념	26
3.2 면적기반 해상기름회수 목표량 구성요소 도출	29
3.2.1 해양회수 시스템	29

3.2.2	오일붐의 성능 및 소해속력.....	32
3.2.3	소해폭.....	37
3.2.4	접촉률.....	38
3.2.5	기계적 효율.....	39
3.3	구체적인 면적기반 해상기름회수 목표량 설계.....	42
제4장	사고사례 분석에 의한 유용성 평가	45
4.1	한국 HEBEI SPIRIT호 오염사고 개요.....	45
4.2	일본 NAKHODKA호 유출사고 개요.....	49
4.3	모델 사고사례에 있어서의 오염면적 산정.....	50
4.3.1	확산 모델식.....	50
4.3.2	HEBEI SPIRIT호 사고시의 확산면적 및 평균유막두께 산정.....	51
4.3.3	NAKHODKA호 사고시의 확산면적 및 평균유막두께 산정.....	53
4.3.4	면적기반 목표량 방식의 의한 소요 방제선 척수와 사고사례에 비교분석.....	53
4.4	Vessels of Opportunity Program 등 기타 자원에 의한 방제능력.....	58
4.4.1	Vessels of Opportunity Program.....	58
4.4.2	유처리제.....	59
4.4.3	유흡착재.....	60
제5장	결론 및 과제	62

표 목차

<표 2-1> 방제활동을 구성하는 요소.....	9
<표 2-2> 기존 국가방제능력과 개정 목표량의 세부항목별 비교.....	13
<표 2-3> 지역별 가상 최대오염사고시의 유출유 종류 및 예상최대유출량.....	14
<표 2-4> 권역별 소요 해상기름회수용량	14
<표 2-5> Additional Equipment Necessary To Sustain Response Operations Table 3	23
<표 2-6> 지속성 기름의 종류별 에멀션계수.....	24
<표 2-7> 용량기반 평가방식과 면적기반 평가방식의 특징.....	25
<표 3-1> 각종 회수 시스템의 비교적 특징	31
<표 3-2> 회수 시스템을 구성하는 자원과 작용원리 및 차원.....	32
<표 3-3> 일본 오일붐 규격과 표준적 성능	35
<표 3-4> 오일붐 각도와 한계유속과의 관계.....	35
<표 3-5> 부류유 커버율과 소해면적의 관계	39
<표 3-6> MDPC작성 유회수기 성능치 표	40
<표 3-7> 해양회수 시스템 표준적 자원 설계	43
<표 3-8> 해양회수 시스템에 의한 방제면적과 활동시간의 관계	43
<표 4-1> Hebei Spirit호 사고 오염된 해역면적 및 평균유막두께.....	51
<표 4-2> Blokker식에 따른 NAKHODKA호 사고 확산면적 산정.....	53
<표 4-3> HEBEI SPIRIT호 · NAKHODKA호 확산면적 방제자원 실적수의 관계.....	54
<표 4-4> HEBEI SPIRIT호 · NAKHODKA호 확산면적과 해상 및 해안 회수량의 비율.....	55
<표 4-5> 지역 동원가능 해양회수 시스템 리스트 예	56
<표 4-6> 동원 시스템 세력 결정 예	57
<표 4-7> 일본 MDPC 실시 방제활동 업무에서의 유치리제 사용실적.....	59

그림 목차

<그림 1-1> 연구의 배경 및 목적.....	3
<그림 1-2> 연구의 방법 및 범위.....	4
<그림 2-1> 각국의 방제 개념.....	6
<그림 2-2> 각국의 방제능력 정의.....	7
<그림 2-3> 방제능력의 정의.....	8
<그림 2-4> Disaster Management Cycle.....	9
<그림 2-5> 방제능력의 범주.....	11
<그림 2-6> 배출유 등 방제계획 설정 16해역.....	16
<그림 3-1> 유출면적기반과 유출량기반 방제능력 개념비교	26
<그림 3-2> 해양오염사고 면적기반 대응.....	27
<그림 3-3> 부류유와의 접촉량과 펌프능력의 관계.....	28
<그림 3-4> 2척 회수 시스템 (J형 시스템).....	29
<그림 3-5> 3척 회수 시스템 (V형 시스템).....	30
<그림 3-6> 1척 회수 시스템 (암 이용).....	31
<그림 3-7> 일본 B형 오일붐의 구조	33
<그림 3-8> 오일붐에서의 유류 유실.....	34
<그림 3-9> 일본 MDPC보유 집유용 오일 붐.....	36
<그림 3-10> 한국 KOEM보유 집유용 오일붐	36
<그림 3-11> 소해폭(Swath width)	37
<그림 3-12> 일본 국가석유비축기지 대형 해양회수 시스템	38
<그림 3-13> 해상에서 유막 확산 모양.....	38
<그림 3-14> 오염해역에서의 유출유 커버율.....	39
<그림 3-15> 방제활동의 효율성(Alan A Allen)	41
<그림 4-1> 과공탱크에서 쏟아지는 원유	46
<그림 4-2> HEBEI SPIRIT호 사고지점.....	46
<그림 4-3> 태안 가의도 해안 원유 확산(12.8).....	48

<그림 4-4> 인공위성에서 바라본 태안반도.....	48
<그림 4-5> 200m×100m×20~70cm의 유출유를 회수하는 어선 등.....	49
<그림 4-6> Hebei Spirit호 사고 위성사진(07.12.11, 10:40).....	52
<그림 4-7> Hebei Spirit호 사고 유출유 확산 현황 도식.....	52
<그림 4-8> Vessels of Opportunity Program.....	58
<그림 4-9> 유흡착재에 의한 2차 오염	60
<그림 4-10> 오일붐 포위 장소에 투입된 유흡착재.....	61
<그림 4-11> 선박을 이용한 유흡착재 예인 회수(MDPC실시).....	61



A Study on the Method Design to Calculate Oil Spill Response Capability based on Swath Area

KAMADA SHINOBU

Department of Coast Guard Studies
Graduate school of Korea Maritime University

Abstract

The concept of oil spill response capability has been used in order to secure the most suitable equipment as national policy on oil spill accidents at sea. Due to the difficulty to calculate the capability of equipment and facility for oil spill response, every country has own method to quantify them on the base of skimmer's volume. The target capability is set quantitatively by a mount of spilled oil which the skimmer can collect. The way in which Korea and Japan adopt for the capability to withdraw spilled oil, depend on only the pump's capacity of skimmer. It has its limits to provide the optimal scale of response equipment to oil spill spot and the problem to cooperate with several nations because they have their own way to calculate equipment.

In this study, the characteristics of the way each country choose are compared and analyzed for designing the new method to supplement the existing way. This paper propose a noble way with unique paradigm, which is designed based on spill area.

The study is composed with five chapters. In the first chapter, the background and objectives for the study have been defined and the method and scope of it have also been explained.

In the second chapter, the ability for capacity base prevention evaluation method has been analyzed that managed conventionally in each country and considered a mark.

In the third chapter, the concrete prevention base evaluation method has been designed.

In the fourth chapter, the designed area base evaluation method has been compared with the past accident example. And the usefulness of the area base evaluation method has been derived.

Finally, In the fifth chapter, the study concluded with summary of all the previous chapters and several suggestions.

This study is to an ability for capacity base prevention evaluation method managed conventionally in each country and intended that design the area base prevention ability evaluation method.

제1장 서론

1.1 연구의 배경

세계적인 경제규모 확대와 더불어 한국, 일본, 중국 등 원유 소비량 증가로 동북아시아 해역에서 해상오염사고의 개연성은 높아지고 있다. 해상오염사고는 직·간접의 막대한 재산 피해는 물론 해양 생태계 치명적인 역기능을 초래하고 지역 주민에게 정신적, 신체적 고통을 주는 재난으로 선순환적 사고 발생 방지 대책은 물론 사고 발생시에는 최적의 방제활동으로 재해를 최소화하는 능력을 갖추는 것이 중요하다. 1997년 시마네현 오키도 앞바다에서 발생한 NAKHODKA호 오염사고, 2007년 충남 태안에서 발생한 Hebei Spirit 오염사고는 재난적 대형 오염사고에 대한 경각심은 물론 많은 시사점을 제시해 주었다. 해상교통의 고밀도화와 선박의 대형화에 따른 대형 오염사고에 대한 대비/대응에 지속적인 국가적 노력과 투자가 병행되고 사고 및 방제과정의 축적된 경험과 지혜를 바탕으로 체계적인 연구가 필요하다.

국제적으로 기름오염 대비·대응 및 협력에 관한 국제협약(OPRC)제정으로 국가긴급방제계획(NCP) 및 지역방제실행계획(RCP) 개발과 동시에 인접국가간의 해양오염 대비·대응 협력 공조체제를 구축을 촉진하고 있으며 개별 국가들은 향후 발생 가능한 오염사고 시나리오를 상정하여 필요한 방제자원을 확충하고 있다. 이들 방제자원의 효율적인 운용과 관리를 위한 전문가 양성과 해상오염 전문기관운영을 통하여 효율적이고 효과적인 방제정책을 지속적으로 개발하고 있다.

방제장비 확보기준 등 국가방제 정책수립과 실행목표 설정 등을 계량화하기 위하여 국가방제능력이란 개념을 도입하여 비용편익을 기반으로 방제자원을 최적으로 확보하는 데 활용하고 있다. 그러나 각 국가들의 설정한 방제능력은 각기 다른 조건하에서 다른 방식으로 유회수기 기름 회수량을 기준으로 산정되어 동일한 방제자원임에도 불구하고 국가마다 다르게 평가되고 있다. 해상사고에 따른 기름 유출량에 따라 유회수기 용량을 대수적으로 산정한 용량기반 방제능력은 미래의 사고에 대비하여 가용 방제자원을 조달하는 기준으로는 유용

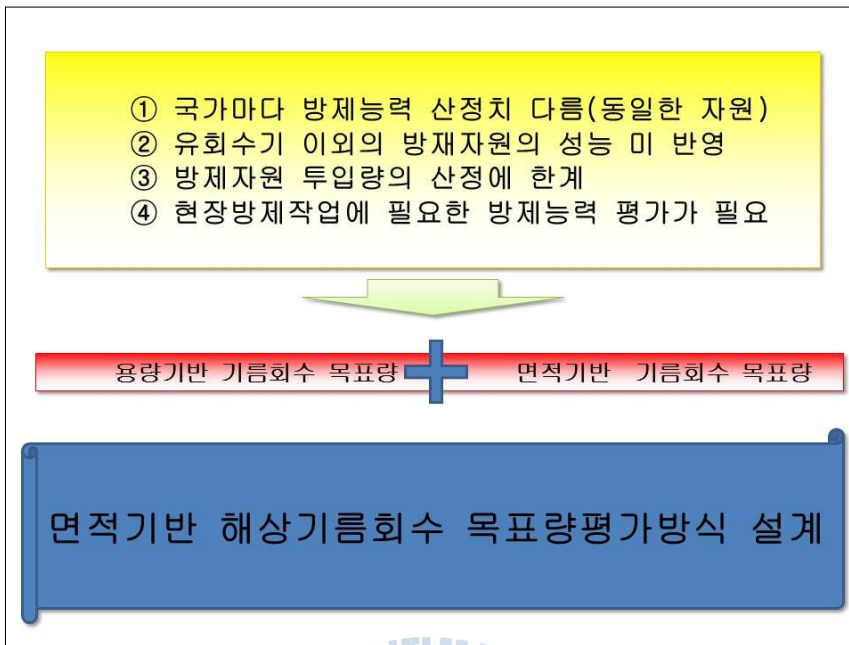
하나 국제적인 협력공조에 필요한 표준화 어려움이 있고 방제과정에 요구되는 다양한 방제자원 종류를 내포하고 있지 못하여 방제현장에서 방제활동을 성공적으로 수행에 필요한 “방제자원의 능력”으로 개념 확대하기에는 한계가 있다. 특히 일본, 한국에서와 같이 해상 회수 능력에 관한 산정 방법에 있어서 유희수기의 펌프능력에만 의존하고 있는 산정방식으로는 실제 방제현장에서 오염사고가 발생했을 경우에 어느 정도의 방제자원을 투입하면 성공적인 방제활동이 가능할지 판단하기가 어렵다.

국가 또는 단체들이 해상오염 방제에 필요한 방제자원의 확보기준으로가 아니라 방제현장에서 성공적인 방제를 수행하기 위해 요구되는 방제자원이 규모를 산정하고 투입하기 위한 방제자원 모델 구축을 위해서는 국제적으로 표준화되고 해상 또는 기상 영향과 독립적인 새로운 방제능력 산정방식의 설계가 요구되고 있다.

1.2 연구의 목적

해양오염사고 발생시 성공적으로 방제활동을 수행하기 위한 방제자원의 규모산정과 미래사고 대응·대비에 필요한 방제지원 규모 설정에 있어서 기존의 용량기반 방제능력 산정방식의 한계점을 보완하고 국제적으로 표준화할 수 있으며 방제활동 지휘자 또는 실시자가 현장투입 방제자원 세력을 용이하게 결정할 수 있는 새로운 방제능력 산정방식을 설계하는 것이 본 논문의 목적이다. 해상 기름 유출량을 기반으로 한 방제능력 산정방식 대신에 유출면적 기반으로 방제능력 산출방식을 설계하자 한다.

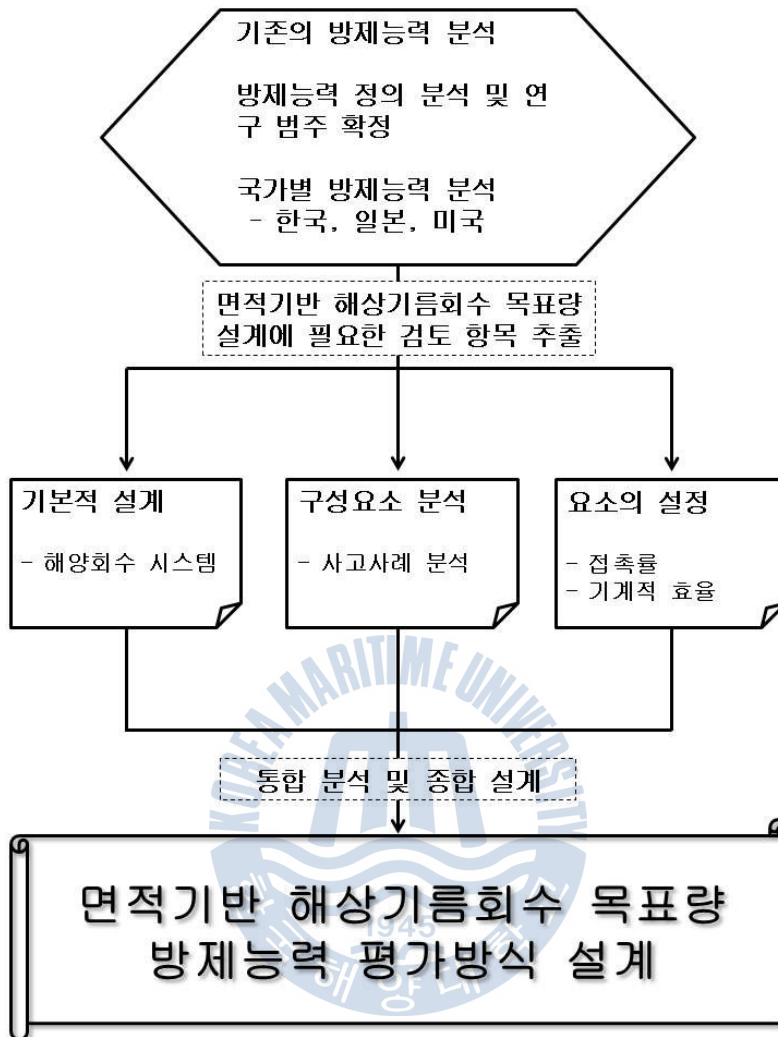
제안된 방식은 국제적으로 표준화로 세계 방제능력의 산정은 물론 국제협력 방제활동에 활용이 기대되고 유류확산 시뮬레이션 프로그램 등과 연동되면 실시간으로 방제활동에 필요한 방제자원의 수량을 모델화하는 데도 유용할 것으로 기대된다. 연구의 배경과 목적을 요약하면 <그림1-1>과 같다.



<그림 1-1> 연구의 배경 및 목적

1.3 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 먼저 각국의 방제능력 산정방식을 비교 검토하여 기존 유출량(용량) 기반 방제능력 산정방식의 한계점과 과제를 분석도출하고 유출면적(면적)기반 방제능력 산정방식을 설계하고 각 요소를 계수로 계량화 하였다. 전체적인 연구의 흐름은 <그림 1-2>와 같다.



<그림 1-2> 연구의 방법 및 범위

1.4 연구의 기대 효과

제안된 면적기반 방재능력 산정방식은 첫째, 해양오염사고에 대한 예방, 대비, 대응, 복구의 단계별 최적의 방재자원 운영 모델설계에 유용하고 실시간 방재자원 최적투입 모델 구현을 통한 방재자원의 활용 효율성을 증대할 수 있을 것이다. 둘째, 국제적인 표준화로 세계의 방재능력 산정과 국제적인 협력방

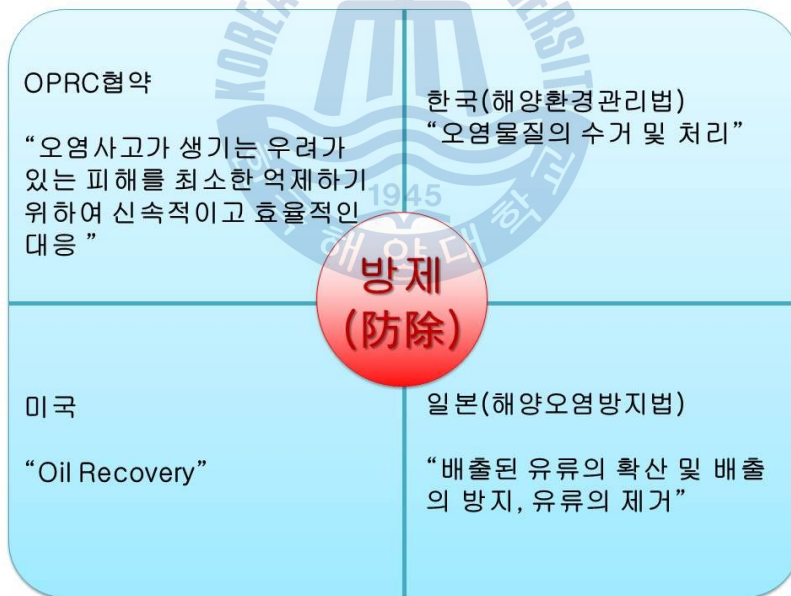
제활동의 촉진을 기대할 수 있다. 셋째, 기상, 해상 및 지역적 특성 등의 변수와 독립적이어서 절대적 방제능력 평가가 가능하다. 또한 방제사례 데이터의 축적과 활용이 용이하여 방제분야 연구에도 공헌이 기대된다.



제2장 방제능력 평가방식 분석

2.1 방제능력 개념정의

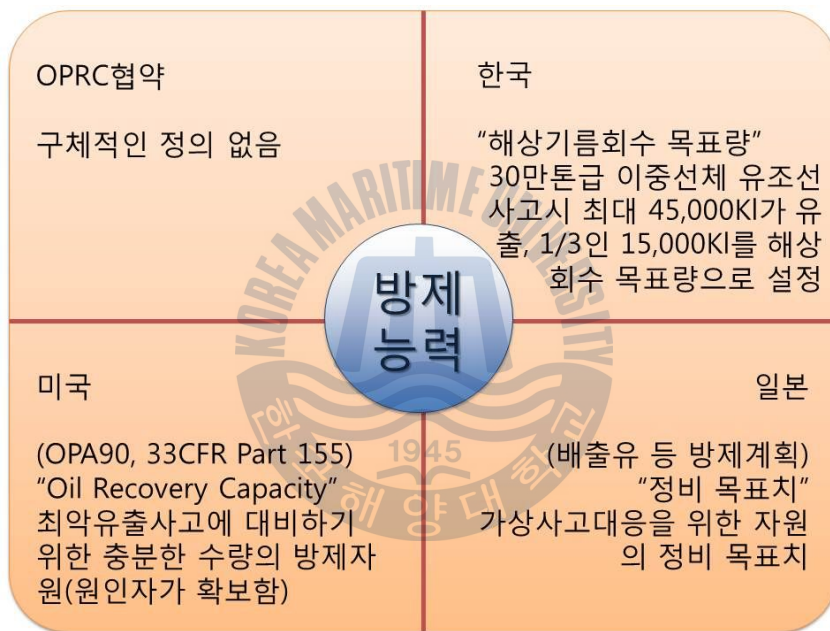
방제는 “막을 방(防)” 자와 “덜 제(除)” 에서 의미를 유추 할 수 있듯이 사고, 재난으로부터 재해를 사전예방하고 사고 발생할 시에는 피해를 최소화하는 일련의 과정을 함축적으로 표시한다고 볼 수 있다. 이러한 의미를 해양오염방제에 확장해서 생각하면 해양에서 각종의 오염사고를 예방하고 오염사고 발생 시 재해를 최소화하기 위한 행동으로 정의할 수 있다. 그러나 국제협약, 각 국가, 방제기관에 따라 <그림 2-1>과 같이 다양하게 그 개념을 서술하고 있다.



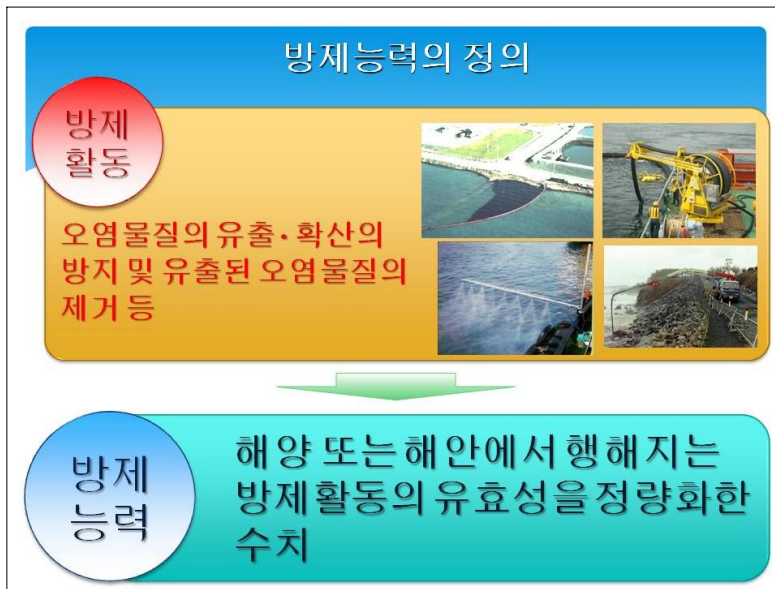
<그림 2-1> 각국의 방제 개념

다양한 조작적 정의에도 불구하고 방제 개념에서는 상호간에 큰 차이점이 없으나 “방제능력”의 정의를 살펴보면 국가마다 다른 개념으로 서술하고 있음

을 알 수 있다. <그림 2-2> 한국, 미국, 일본에서 정의하고 있는 방제능력 비교하였다. 한국의 경우는 국내해역에서 최대 유출량 1/3을 3일 동안 회수하는데 필요한 방제자원 규모를 내포하고 있어 주로 해양오염사고 대응에 필요한 방제자원 확보를 위한 기준으로 설정하는 데 사용되어지고 있다. 일본의 경우는 가상사고 대응을 위한 필요한 국가 방제자원의 규모의 개념으로 한국과 유사하게 사용되고 있다. 그러나 미국은 해상오염사고 방제책임을 가지고 있는 오염행위자가 최악의 기름 유출사고에 대비하기 위한 충분한 방제자원 규모(성능)로 Oil recovery Capacity 의미한다.



<그림 2-2> 각국의 방제능력 정의



<그림 2-3> 방제능력의 정의

본 연구에서는 해상에서 오염물질의 유출, 확산의 방지 등 방제활동에 필요한 방제자원을 정량적 능력으로 정의하고 방제능력 평가에 포함되는 구성요소를 살펴보고 각 국가들이 채택하고 있는 방제능력 산출방식 등을 비교 분석하고자 한다.

2.2 방제능력 요소

해상방제과정은 해상에 유출된 오염물질을 직접 회수·제거하는 필요한 여러 행동으로 구성된다. 첫째, 사고 발생시에 있어서의 시계열적인 흐름을 살펴보면 사고가 발생하기 전에 당해 사고가 발생하지 않도록 방지하는 “예방(豫防)” 단계, 둘째는 피해를 가능한 한 감소시키기 위한 사전의 “대비(對備)” 단계, 셋째는 사고가 발생했을 때의 “대응(對應)” 단계, 넷째는 피해를 수복하고 예전 상태로 되돌리게 하는 “복구(復舊)” 단계로 구분할 수 있다. 이러한 연속 순환 과정을 거치면서 경험과 지혜를 축적하고 발생한 문제점과 과제를 피드백하여 유사한 사고가 발생했을 경우에 선제적, 선순환적으로 작동할 수 있는 방제태세를 유지하는 것이 중요하다. 재난관리의 순환(Disaster Management Cycle)에 해

상오염 방제과정을 적용하면 <그림 2-4>처럼 나타낼 수 있다.



<그림 2-4> Disaster Management Cycle

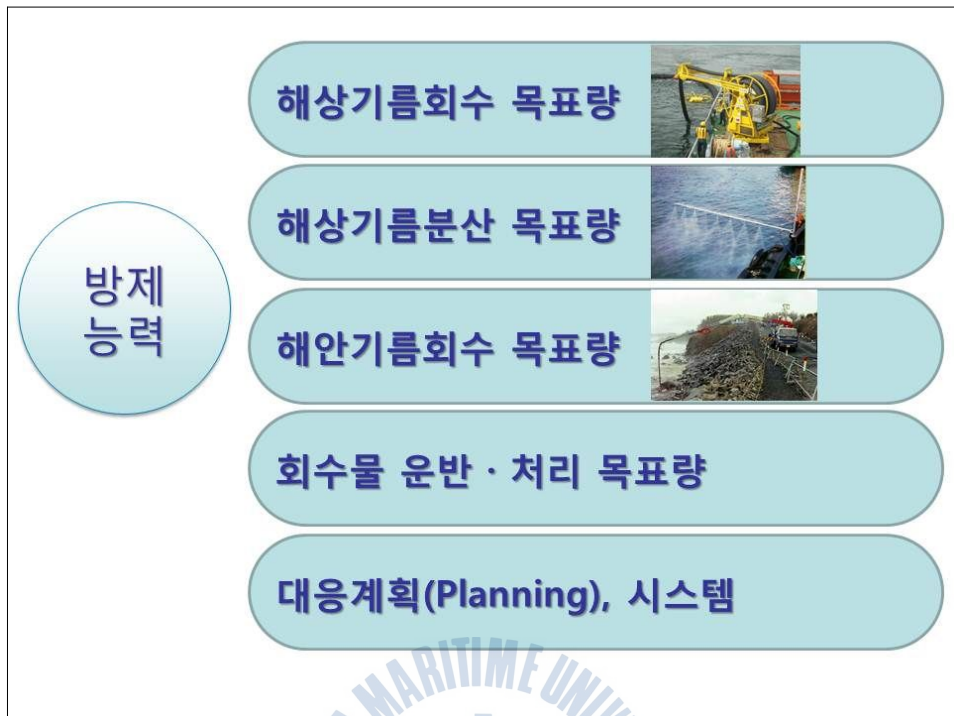
예방, 대비, 대응, 복구 네 가지의 단계적 항목을 기본으로 하여 유류유출 사고 발생 시에 구체적인 방제활동의 순환이 어떤 요소로 구성되어 있는지를 IMO 유류 방제 메뉴얼 및 각국 유류 방제 메뉴얼에 규정되어 있는 방제 활동, 그리고 과거의 대형 유류유출 사고의 활동 실적을 분석하여 <표 2-1>에 정리했다. 단계별로 수행해야 할 행동요소들이 상호관련성을 가지고 순환구조를 형성하고 있어 어떤 부분이 결여되거나 작동되지 않으면 병목현상(bottle-neck)이 발생하여 방제 활동 전체에 영향을 미친다. 따라서 효율적인 방제활동을 수행하여 효과적인 방제결과를 도출하기 위해서는 상호 유기적으로 요소(항목) 작동할 수 있는 방제시스템 구축이 요구되고 있다.

<표 2-1> 방제활동을 구성하는 요소

대비	긴급시 계획 설립
	기자재 대비
	정보수집 및 분석 (유출유 평가, 환경취약도 파악 등)
	기자재의 동원 및 수배
⇕	전략 책정
	각 기관과의 연락/조정
대응	유출원의 폐쇄
	확산 방지
	유출유의 유도(회수SPOT의 선정) 및 취약요소의 보호
	회수(해상)
⇕	분산(방수(放水), 항주(航走), 유처리제)
	야생생물 보호
복구	해안청소
	일시저장
	폐기물의 운반 및 처리
	샘플링
⇕	홍보
	샘플링
예방	종결을 위한 평가
	구상(求償), 복구
	각종 긴급시 계획 개정
	기자재 보완 및 정비

2.3 방제능력 산정방식의 방향성 및 범주

앞 절에 도출된 방제과정의 모든 요소에 대한 정량적으로 개별 방제능력을 설정하는 것은 쉽지 않으며 어떤 요소들은 정성적으로 성능을 표시하는 것이 적합한 경우도 있다. 해상오염사고 현장에서 필수적인 방제활동에 초점을 맞추어 생각하면 방제능력의 범주는 <그림 2-5>와 같이 해양회수능력, 해양분산능력, 해안회수능력, 회수물 저장/처리 능력, 대응계획 시스템으로 표시할 수 있다.



<그림 2-5> 방제능력의 범주

본 연구에서는 유회수기나 방제선으로 해상에서 직접 유류를 회수하는 해양회수능력에 한정하여 국가별 방제능력 산정방식을 비교분석하고 문제점과 과제를 보완할 수 있는 새로운 패러다임의 방제능력 방식을 설계하고자 한다.

2.4 국가별 방제능력 산정방식의 비교 분석

2.4.1 한국

한국은 1995년 Sea Prince호 오염사고이후 여러 가지 오염방제 선진화 방안 중 하나로 해양오염방제조함(현 해양환경관리공단)을 설립하고, 부족한 방제장비를 확보할 목적으로 국가방제능력이란 개념을 도입했다. 여기에서 국가방제능력이란 방제장비 확보기준 설정 등 국가 방제정책 목표를 계량화하기 위한 개념으로 유회수기 기름회수용량을 기준으로 산정한 것이며, 그 근거는 한국

연근해를 운항하는 최대크기 유조선 DWT 30만톤급 유조선에서 오염사고가 날 경우 최대 6만톤의 기름이 유출될 것이라 가정하고, 이 중 1/3에 해당하는 2만톤을 3일동안 해상에서 회수한다는 것이었다. 그러나 해양오염방제정책은 주요 오염원인 선박의 항로를 따라 발생가능한 대형오염사고를 가정하고, 사고 발생시 오염될 가능성이 있는 지역은 대비차원에서 유출량을 산정하여, 이에 필요한 방제장비의 확보·동원계획(타지역 장비 포함)을 수립해 두는 것이 원칙이라고 인식했다. 따라서 한국의 국가방제능력 방제정책에 대한 면밀한 조사 및 선진 해양국 시스템과의 비교·분석을 통해, 보다 구체적·효율적·현장실행력 높은 지역 방제시스템으로의 전환에 대해 검토를 실시, 운용을 시작했다.

○ 개정내용

“국가방제능력”에서 “해상기름회수 목표량”으로 용어 변경
이중선체 유조선을 기준으로 최대 기름유출량을 산정
(30만톤급 이중선체 유조선 사고시 최대 45,000Kl가 유출, 1/3인 15,000Kl를 해상회수 목표량으로 설정)
3개 해역별 “해상기름회수 목표량”을 각 7,500Kl로 설정
유회수기뿐만 아니라 오일펜스, 회수유 임시저장용기를 포함하여 장비확보 산정방식을 산정

<표 2-2> 기존 국가방제능력과 개정 목표량의 세부항목별 비교

항 목		기 준	개정(2012.01.01)	비 고
사고대상선박		DWT 30만톤급 VLCC	DWT 30만톤급 VLCC	
유출량		60,000톤	45,000톤	MARPOL 산식 이용
유출유 양적 변화		유출량의 1/3 증발	유출량의 1/3 증발	
해상방제(회수)량		유출량의 1/3	유출량의 1/3	
작업일수		3일	3일	
1일 작업시간		8시간	8시간	
유 회 수 기	효율	기계적효율(0.2) 실행적효율(0.70)	효율계수(0.2)	선진해양국 산식 참조
	동원율	0.33	0.33	
	동원거리·시간에 따른 지역별 장비 배치량	NA	적용	
오일분		NA	소요수량 제시	
회수유 임시저장용량		NA	소요수량 제시	
유처리제		NA	기지별 최소비축량 제시	
유흡착제		NA	기지별 최소비축량 제시	

<표 2-3> 지역별 가상 최대오염사고시의 유출유 종류 및 예상최대유출량

지 역 명	유출유 종류	예상최대유출량(톤)
인천	Crude oil	8,500
대산·태안·평택	Crude oil	45,000
군산	Bunker-C	3,800
목포	Crude oil	8,500
완도	Bunker-C	600
여수	Crude oil	45,000
제주·서귀포	Bunker-C	800
통영·마산* (과거 최대유출량)	Crude oil (Bunker-C)	45,000 (1,700)
부산	Bunker-C	2,500
울산	Crude oil	45,000
포항	Bunker-C	800
동해·속초	Bunker-C	500

<표 2-4> 권역별 소요 해상기름회수용량

권역	예상 최대유출량	해상기름회 수 계획량	소요해상기 름회수용량	현보유 해상 기름회수용 량	추가수요량
서해(대산) 권	45,000	15,000	7,500	7,555	(-)55
남해(여수) 권	45,000	15,000	7,500	6,784	(+)716
동해(울산) 권	45,000	15,000	7,500	10,210	(-)2,710
계			22,500	24,549	(-)2,049

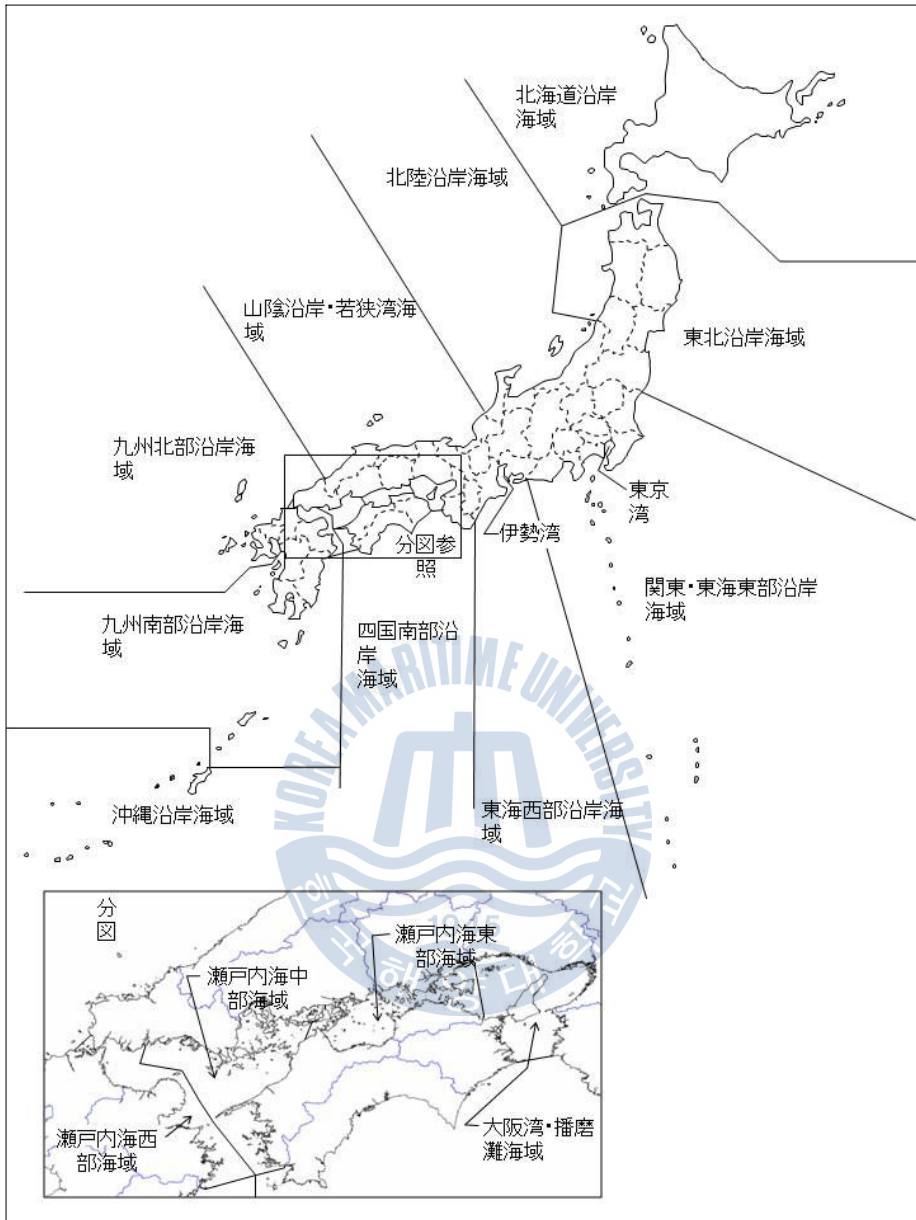
* 추가수요량 안에서 “(-)” 표시는 초과량을 의미함

2.4.2 일본

일본은 <그림 2-6>과 같이 전 해역을 16해역에 구분하고 각 해역마다 대형 탱커 등의 선박교통의 현황이나 기상/해상 등 각 해역의 특성에 따라서 기름이 대량 유출되었을 경우에 있어서의 유출 유 등의 방제에 관한 계획(배출유 등 방제계획)을 해상보안청장관(한국의 "해양경찰청 청장"에 해당됨)이 작성해야 한다. 그 내용은 다음과 같으며 방제능력 개념이 방제장비목표로 정해져 있다.

- 가상오염사고(Scenario)의 산정
- 가상사고대응을 위한 방제장비목표의 확립
- 관계기관과의 구체적인 연락수단 등
- 사고발생시의 구체적인 저치 등





<그림 2-6> 배출유 등 방제계획 설정 16해역

○ 해양오염 가상의 지침

(1) 배출유사고 발생 장소의 가상

대량 기름이 배출되는 사고발생의 개연성이 높은 해역은 원칙으로 다음 해역으로 한다.

- ① 항내의 탱커용 계류시설 부근해역
- ② 탱커의 항로인 협수도 및 주변해역
- ③ 연안해역에 있어서의 화물선의 항로 부근해역

(2) 배출유 규모와 가상

배출유사고의 형태는 선박과의 충돌, 안벽과의 충돌, 좌초, 탱크의 폭발, 잘못된 밸브조작, 기름보관시설에서의 유출 등이 예상되지만 대량 기름이 배출되었을 경우 배출유량의 가상은 다음과 같다.

① 항내의 탱커용 계류시설 부근해역

- 가. 배출유사고의 형태는 항내의 탱커용 계류시설 부근해역에서의 탱커와 다른 선박과의 충돌에 의한 배출유사고로 한다.
- 나. 배출유사고 발생 선박의 크기는 당해 계류시설을 이용하는 최대급 탱커로 한다.
- 다. 배출유량의 가상은 배출유량이 선박의 파손의 위치 및 크기 등에 따라 크게 다르므로 당해 탱커 재하중량의 9%의 기름이 배출되는 것으로 한다.

② 탱커의 항로인 협수도 및 주변해역

- 가. 배출유사고의 형태는 협수도 및 주변해역에서의 탱커의 좌초에 의한 배출유사고로 한다.
- 나. 배출유사고 발생 선박의 크기는 당해 해역을 항행하는 최대급 탱커로 한다.
- 다. 배출유량의 가상은 당해 탱커의 최대 센터탱크 2개의 바닥에 파손이 생겨서 흡수선상의 기름이 전량(최대 센터탱크 2개의 전량의 1/5)이 배출되는 것으로 한다.

③ 연안해역에 있어서의 화물선의 항로 부근해역

- 가. 배출유사고의 형태는 연안해역의 항로에 있어서의 화물선의 좌초에 의한 배출유사고로 한다.
- 나. 배출유사고 발생 선박의 크기는 당해 해역을 항행하는 최대급의 화물선

으로 한다.

다. 배출유량의 가상은 당해 화물선 연료탱크의 바닥에 파손이 생겨서 적재 연료가 전량 배출되는 것으로 한다.

(3) 배출유의 표류 범위의 가상

실제의 배출유 확산 상황을 보면 해조류, 바람 등의 외부조건에 의한 영향이 상당히 크고 배출 직후는 제외하고 시간이 경과했을 경우에는 이 외부조건에 의한 영향이 크게 지배하는 것이 예상되므로 배출유의 표류 범위의 산출은 해조류 및 바람에 의한 표류에 한정한다.

① 조류 및 바람의 영향

가. 해류의 영향

해류의 유속에 의한 이동거리와 같다.

나. 조류의 영향

조류는 6시간 주기로 방향이 반전하는 것으로 하고 전류시부터 다음 전류시까지의 6시간의 조류에 의한 배출유의 이동거리는 최강유속으로 6시간 흘렀을 경우의 70%로 한다.

다. 바람의 영향

바람에 의한 배출유의 이동거리는 풍속이 5m/s 이상인 경우는 풍속의 4%로 한다.

② 이동거리의 산출

해류의 영향이 크고 조류의 영향이 적은 해역에서는 해류 및 바람의 영향에 의한 이동거리, 조류의 영향이 크고, 해류의 영향이 적은 해역에서는 조류 및 바람의 영향에 의한 이동거리를 배출 유사고 발생시부터 6시간마다 최대 48시간 후까지 산출한다.

이 경우 해류 및 바람의 유속은 해역의 평균유속으로 하여 조류의 유속은 해역에서의 최강유속으로 한다. 단, 평균풍속이 5m/s미만인 경우는 5m/s로 하고 5m/s이상인 경우는 당해 평균풍속으로 한다.

③ 배출유의 표류, 확산 및 경시변화에 관한 일반적 사항

가. 표류 및 확산

해상에 배출된 기름의 확산면은 실제로 자연계의 작용(해조류, 바람, 파도 등)의 영향을 받고 원형이 아니라 부정형의 상태를 나타나고 가늘고 긴 띠 상태 혹은 반장이 되어서 단속적으로 표류 및 확산한다.

- 해조류의 영향

해상에 배출된 기름은 해조류와 같은 방향에 거의 같은 속도로 이동하지만 기름이 광범위로 배출되었을 경우에는 해조류의 방향 및 유속이 장소에 따라 다르므로 시간 경과와 함께 유속이 빠른 부분의 유면과 느린 부분의 유면이 분리된다.

- 바람의 영향

바람에 의한 배출유의 이동은 풍속이 7~8m/s 정도인 경우는 풍속의 3~5%의 속도로 바람의 부는 방향에 대하여 오른쪽에 10도정도 편향해서 흘러지만, 풍속이 4m/s 정도 이하며 해조류가 비교적 빠른 경우는 배출유의 표류에 대한 바람의 영향은 거의 없다.

- 파도의 영향

해상에 배출된 기름은 파도의 높이, 길이 기타 파도의 형태 등의 영향에 의해 해면을 수평방향뿐만 아니라 수직방향을 비롯해서 다양한 방향으로 확산을 하는 경향이 있지만 일반적으로는 파도의 기름확산에 끼치는 영향을 정량적으로 추측하는 것은 어렵다.

나. 경시 변화

- 원유, 중유 등의 지속성유는 경유와 비슷한 성상인 A중유를 제외하고, 점도가 높은 성분을 많이 포함하고 있어 해상에 배출되었을 경우에는 일부의 휘발성이 높은 성분이 증발되고 점성이 높아진다. 시간이 경과하면 풍랑 등에 의한 외력을 받아서 기름 안에 물이 들어가 상당히 점도가 높은 에멀션(emulsion)화된 기름이 된다.

- 가솔린, 등유, 경유 등의 비지속성유는 휘발성이 높고 점도가 낮기 때문에 해상에 배출되었을 경우에는 비교적 빠른 시기에 광범위에 걸쳐 확산되고 대부분이 증발 확산된다.

○ 정비목표의 지침

(1) 수량

배출유 방제 기자재 등의 수량의 정비목표는 배출유사고의 발생시, 우선 빠른 시기에 배출원의 주위를 오일펜스로 포위하고 잇따라 이미 확산된 배출유가 더욱 광범위에 걸쳐 확산되는 것을 방지하기 위해서 표류유를 오일펜스로 포위 혹은 유도하여 배출유의 80%를 유회수선 등으로 기계적회수로 회수하고 나머지 20%를 유흡착재 및 유처리제로 회수 또는 처리하는 방법으로 배출유 방제작업을 실시할 경우에 필요한 수량으로 한다.

① 오일펜스

오일펜스의 전장은 배출유사고 발생 6시간후 (연안해역에서는 12시간후)의 확산이 예상되는 당해 배출유의 전주에 이중으로 전장(연안해역에서는 특별이중전장) 하는 경우에 필요한 수량으로 한다.

② 유회수선 등

배출유는 기상·해상(海象)의 영향에 의해 2~3일 안에 에멀션(emulsion)화가 상당히 진행되고 점도가 높아지기 때문에 일반 저점도유용의 유회수선 또는 유회수기로는 회수가 어려워져서 2~3일 이내에 회수하는 것이 바람직하다. 따라서 유회수선 및 유회수기의 회수능력의 합계는 가상배출량의 80%에 해당하는 기름을 2~3일 이내(1일당 12시간의 작업시간으로 하여 합계 24시간~36시간)에 회수하기로 한 경우에 필요한 능력으로 한다. 유회수선 및 유회수기 기름회수 능력은 배출유의 종류 및 성상, 배출유의 확산에 따르는 유막 두께의 변화 상황, 기상·해상(海象) 상황 등에 따라서 다르므로 정비목표의 평가는 기자재의 성능치 등의 합계로 한다.

그러나 기상·해상(海象)에 따라서는 파랑 등의 영향에 의해 유회수선 또는 유회수기의 회수효율이 저하되는 것도 고려 할 필요가 있고 다른 해역에서의

동원의 가능성을 검토할 필요가 있으나, 기름 풍화가 상당히 진행되기 전에 회수 못할 경우에는 고점도화된 기름에 대해서도 대응이 가능한 기자재의 활용을 도모할 필요가 있다.

③ 유흡착재 및 유처리제

유흡착재(흡착능력은 자중의 10배) 및 유처리제(처리능력은 자용량의 4배)의 수량은 가상배출유량의 20%에 해당하는 기름을 회수 또는 처리하기 위해서 필요한 수량으로 하고 유흡착재 및 유처리제 각각 1/2씩의 기름을 회수 또는 처리하기 위해서 필요한 수량으로 한다.

④ 유겔화제

배출유 방제 기자재 등의 수량은 위와 같은 기자재 등의 사용을 전제로 하지만 사고형태 등에 따르면 복수의 기자재 편성 혹은 특정한 기자재만을 사용해야 할 경우 등도 있어서 액체유겔화제(처리능력은 자용량의 3배) 또는 분말유겔화제(처리능력은 자중의 3배)를 포함시키고 각각의 기자재 등의 성능 등을 충분히 이해하여 그 정비를 할 필요가 있다.

(2) 성능

① 일본이 수입하고 있는 기름 중에는 미나수원유, 대경원유 등 고점도인 기름이 있는데, 이러한 기름이 해상에 배출되었을 경우에는 단시간 안에 유동성을 잃고 에멀션(emulsion)화가 된다. C중유도 해상 유출 후 파랑 등의 영향을 받아 경시변화 되어 유동성을 잃고 에멀션(emulsion)화가 된다. 그 때문에 이러한 기름의 회수 및 처리에 적응할 수 있는 배출유 방제 기자재 개발 등을 촉진 할 필요가 있다.

② 앞으로 새롭게 배출유 방제 기자재 등을 정비하거나 기존의 기자재를 갱신할 경우에는 사고의 형태, 기상·해상(海象)의 상황, 지역의 특성 등을 고려하여 신속히 배출유 방제조치가 가능하도록 품질 향상을 도모할 필요가 있다.

③ 최근의 기술 혁신에 따라 다른 분야에서 활용되고 있는 기술, 기자재 등을 배출유 방제조치에 이용하는 것이 유효적인 경우도 있어서 활용이 가능한 기술, 기자재 등에 대해서 조사·연구할 필요가 있다.

○ 일본에 있어서의 방제능력 산정식

- 물리적 회수량 (kl/h) × 작업 시간(2~3일×12h)

물리적 회수량 : 회수 장치에 표시되어 있는 시간당 기계적 회수 용량

작업 시간 : 방제 작업 시간 2~3일, 1일 12시간

2.4.3 미국

미국에서는 하천, 운하, 연안, 연안해역 및 외양을 항행하는 선박에 대하여 일정 방제능력의 확보를 의무화하고 있다. 당해 선박이 대비해야 하는 방제능력을 산정하는 요소는 사고 시나리오(최악 시나리오 = 계획유출유량), 유류 종류의 에멀션 계수, 계획상의 유출유 회수량에 관한 비율, 계획상의 해안 유류 회수량, 유회수기의 능력평가, 임시저장용량, 유처리제 살포로 분산 비율 등이 규정되어 있다. 이 규정은 미국 연방법 “33CFR155”에 정해져 있고 “Appendix B to Part 155 Determining and Evaluating Required Response Resources for Vessel Response Plans”의 “9. Additional Equipment Necessary To Sustain Response Operations Table 3”에서 아래 <표 2-3>와 같이 규정되어 있다.

<표 2-5> Additional Equipment Necessary To Sustain Response Operations
Table 3

오염장소	연안역/내수면/오대호			외 해			대 양		
해상작업 일수	4일			6일			10일		
유 종 (oil type)	자연 분산 (%)	해상 방제 (%)	해안 방제 (%)	자연 분산 (%)	해상 방제 (%)	해안 방제 (%)	자연 분산 (%)	해상 방제 (%)	해안 방제 (%)
Group I	80	20	10	95	[5]*	-	100	-	-
Group II	50	50	30	75	25	5	90	10	-
Group III	30	50	50	60	40	20	75	20	[5]*
Group IV	10	50	70	50	40	30	50	20	[30]*

* 주 : 1. 유종별 백분율 합은 100% 이상의 경우 경우별 중복가능함을 의미함

2. [* 표시의 백분율은 방제계획 불필요함

예를 들어 해안부근(near shore) 해역인 연안역에서 Group III 원유 300,000톤을 적재한 유조선에서 오염사고가 발생한다면, 그 중 최대 30% 증발하고, 최대 50% 해상수거, 최대 50% 해안수거를 목표로 하고 있다.

- 증발 : 유출량의 30%인 90,000톤 증발
- 해상수거 : 유출량의 50%인 150,000톤 해상수거
- 해안수거 : 유출량의 50%인 150,000톤 해안수거

단, 상기 방제량 목표치가 100%를 초과하는 것은 해상 및 기상조건과 기타 요인에 의해 다르게 적용시킬 수 있음을 의미하며, 최종 방제계획량은 상기 해상수거계획량에 <표 2-4>에 표시된 에멀션계수를 곱한 결과치로 한다.

<표 2-6> 지속성 기름의 종류별 에멀션계수

유 종(oil type)	에멀션 계수
Group I	1.0
Group II	1.8
Group III	2.0
Group IV	1.4

○ 작업(해상회수) 기간

사고장소에 따라 상이하며, 연안역일 경우 4일

○ 1일 작업시간

1일 24시간 작업 기준. 그러나 작업시간은 당시의 상황에 따라 다르게 적용 시킬 수 있는 변수로, 이에 대해 다음 절에서 자세히 언급할 것임.

2.5 용량기반 평가방식의 특성과 과제

어느 나라도 유회수기의 성능에 대하여 시간당의 회수능력 등의 성능치를 중요시하는 경향에 있다. 그러나 유출유에 대한 유효적인 회수작업을 실시하는 활동에 관하여 고려해야 하는 것은 투입하는 유회수기가 사용가능한 해역, 파랑에 대한 장치의 거동, 회수가 가능한 점도의 범위, 기동성 등 유회수기가 갖고 있는 특성을 파악하고 대응 가능한 유회수기를 사용하는 것이 중요하다.

1997년 일본 해역에서 발생한 러시아 선적 탱커 NAKHODKA호 유출사고에서는 유출된 적하물인 벙커C가 해수(海水)를 포집하여 에멀션화가 진행되면서 점도가 심하게 높아졌다. 에멀션화가 진행된 유출유의 회수작업에 여러 종류의 유회수기가 사용되었지만 그 특성을 충분히 파악하지 않았었기 때문에 상황에 적합한 유회수기 사용이 행해지지 않았다. 그리고 자원 투입 시에 준비시간이 많이 걸려서 유출유가 광범위에 확산되어 효율적인 회수 작업을 실시할 수 없었다.

각 국가가 주로 운용하는 용량기반 평가방식과 본 연구에서 설계하고자하는 면적기반 평가방식의 특징을 <표 2-7>과 같이 정리하였다.

<표 2-7> 용량기반 평가방식과 면적기반 평가방식의 특징

용량기반 평가방식	면적기반 평가방식
유회수기 등의 성능치를 그대로 적용할 수 있음	투입할 방제자원의 규모를 결정할 때 유용함
유출량만 특정되면 필요능력치를 산정 가능함	지역적, 지리적정보와의 동기가 가능하고 동원계획 수립 때 등에 유용함
방제선의 속력, 오일붐의 성공한계 등이 방제능력에 반영되지 않았음	확산범위, 면적을 특정하기가 어려움



제3장 면적기반 해상기름회수 목표량의 설계

3.1 면적기반 해상기름회수 목표량 개념

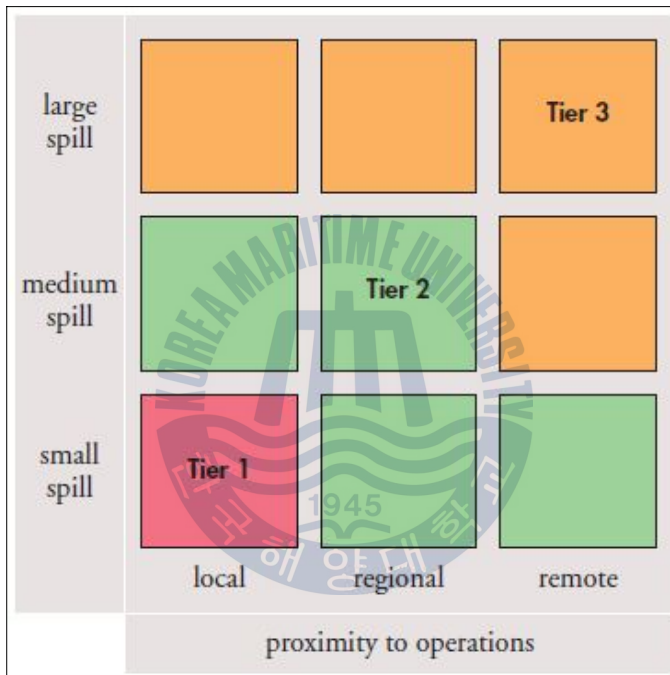
해양오염사고에 대비/대응하기 위해서 각 국가들은 방제능력 개념을 도입하여 방제자원의 규모를 결정하고 있다. 각 국가마다 방제능력 산정방식의 차이는 있으나 공통적으로 미래 발생 가능한 최대 오염사고를 가정하여 유출된 기름량을 기반으로 일정 기간에 회수할 수 있는 유회수기 펌프용량으로 산정식을 구성하고 있다. 이러한 양적기반으로 해상기름 회수 목표평가방식은 방제자원 확보를 위한 기준 설정 방식으로는 유용하나 해류, 바람 등 해상환경요소에 대한 반영이 어렵고 유회수기 기계적 효율 등 보정 값이 별도로 필요하다.

이러한 한계점을 보완하여 방제현장에 투입될 방제자원(유회수기) 규모를 제시할 수 있고 국제적으로 통일된 방제능력 산정방식을 설계하고자 새로운 방제능력 개념을 제안하고자 한다. 이 개념은 해상오염 면적을 기반으로 방제능력 산정하는 방식으로 미래 해상오염사고에 의해 발생 가능한 최대 확산오염 면적을 설정하고 일정 기간 내에 유회수기로 방제한 면적을 목표량으로 하는 방식이다. <그림 3-1>은 유출 면적기반과 유출량 기반 방제능력의 설정 개념을 향상화한 그림이다. 해상기름 회수 목표량 설정에 유출면적 기반방식은 유회수기의 시간당 방제면적이 유출량 기반방식은 유회수기의 시간당 회수용량이 종속 변수가 된다.



<그림 3-1> 유출면적기반과 유출량기반 방제능력 개념비교

각국이 수립하고 있는 해양오염 방제계획에 설정되어 있는 시나리오는 주로 <그림 3-2>의 세로 방향 단계, 즉 유출량별 기반을 근거로 세워지는 경우가 많다. 그러나 단계적 대응은 그 유출량뿐만 아니라 오염범위에 따른 단계적 대응도 필요하다. 본 연구의 면적기반 해상기름회수 목표량은 <그림 3-1>의 가로 축에 착안하고 사고발생시 현장지휘관이 행하는 현장투입 방제세력의 결정을 지원해주는 방제능력 개념이다.



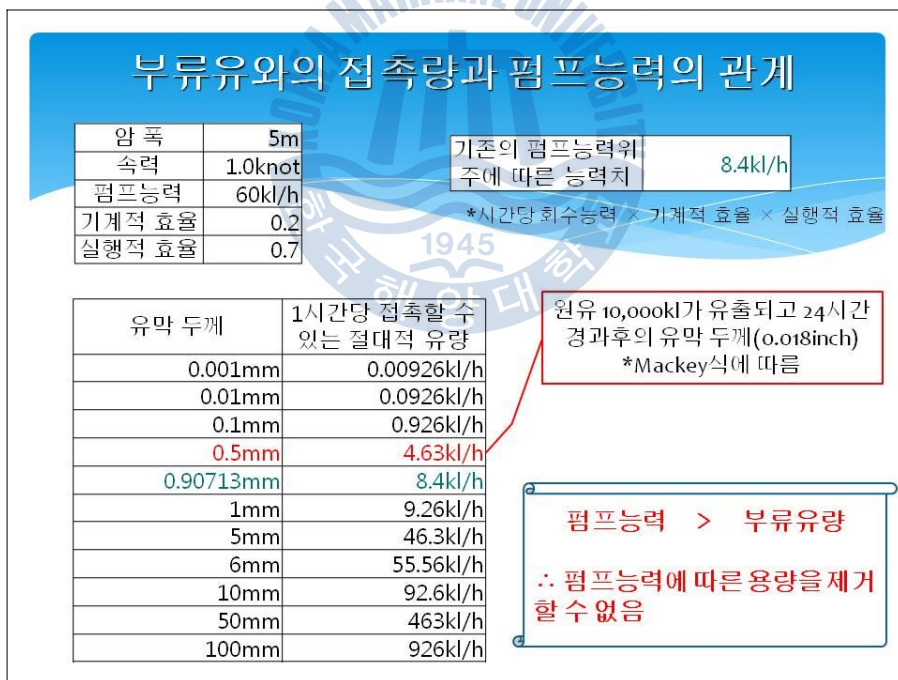
<그림 3-2> 해양오염사고 면적기반 대응

부류유의 편재(偏在), 기상 상태, 사용할 기자재의 성능·특성 등의 영향에 의하여 구체적으로 방제능력은

- ① 각종 기자재의 회수 펌프 능력
- ② 유막 두께에 대한 방제옵션의 특성
- ③ 단위시간 당 소해(掃海)면적
- ④ 물리적 회수의 기계적 효율

등의 요소를 고려하여 산출되어야 한다. 면적기반 해상기름회수 목표량은 위의 ③목에 착목하여 도출시키는 개념이다.

<그림 3-3>는 단위시간당 소해면적과 기자재의 회수 펌프 능력의 관계를 나타내고 있다. 펌프능력 60kl/h의 유회수기를 한국의 방제능력 산정방식에 의한 기존의 펌프능력치로 산정했을 경우, 한 시간당 8.4kl의 기름을 회수할 수 있는 능력치가 계산된다. 유출된 10,000kl의 원유의 24시간 경과후의 유막두께를 Mackey의 식에 따라서 시산하면 0.018inch, 약 0.5mm가 된다. 이 유막두께의 기름을 방제하려는 경우 접촉할 수 있는 절대적 유량은 한 시간당 4.63kl가 된다. 즉, 이런 경우 펌프능력이 8.4kl/h라도 하여도 실제로 회수할 수 있는 유량은 4.63kl이다. 이 4.63kl/h는 면적기반 해상기름회수 목표량의 개념을 가지는 능력치의 하나가 된다.



<그림 3-3> 부류유와의 접촉량과 펌프능력의 관계

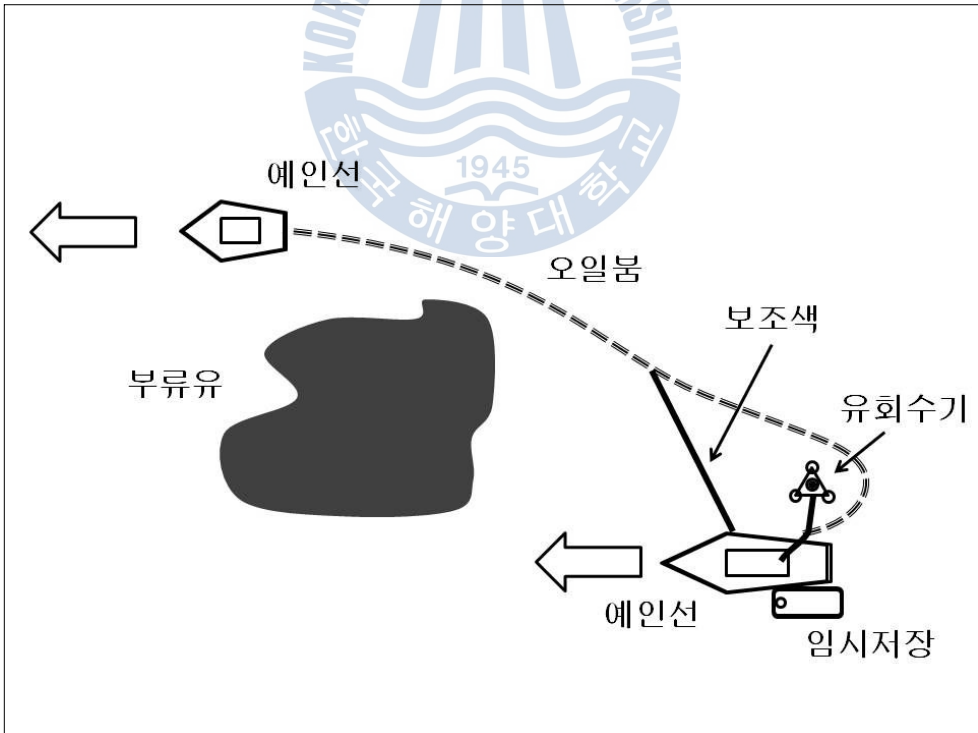
3.2 면적기반 해상기름회수 목표량 구성요소 도출

3.2.1 해양회수 시스템

해양회수 시스템이란 “1척 또는 복수의 선박과 오일붐 등을 이용하여 해양에 부류하는 유류를 모아, 선박에 탑재된 유회수기로 기름을 회수하는 시스템”을 말한다. 현재 세계적으로 이용되고 있는 대표적인 시스템은 다음과 같다.

(1) 2척 회수 시스템

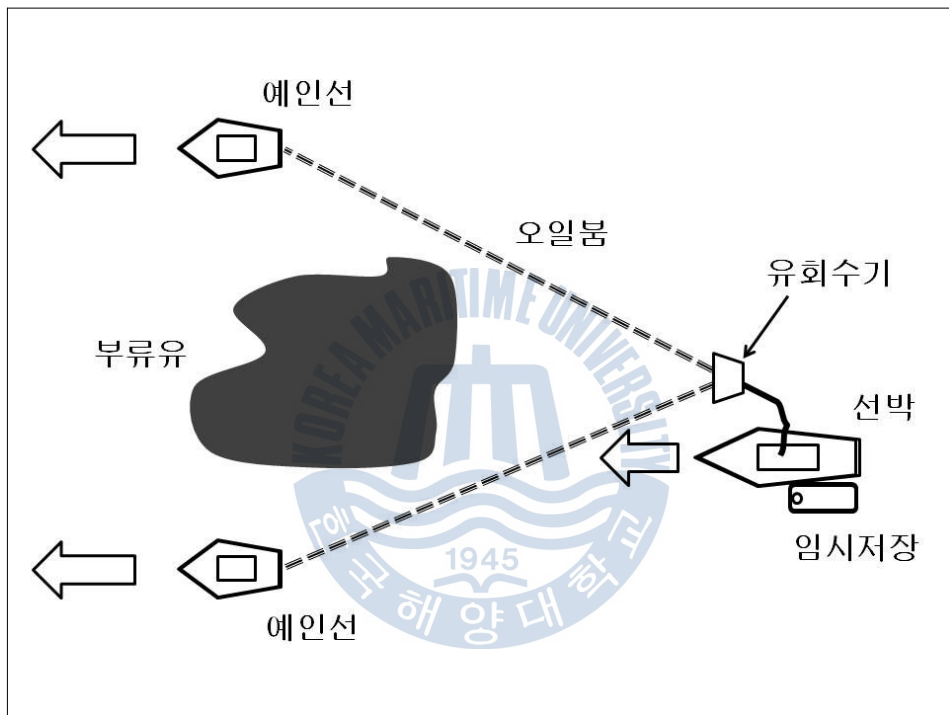
2척의 선박을 이용하여 오일붐을 <그림 3-4>와 같이 예인하면서 그 중 1척에서 회수하는 방식이다. 주로 대형 유회수기, 대형 오일붐을 이용하는 경우가 많다. 그 예인 모양 때문에 “J형 시스템”이라고도 한다.



<그림 3-4> 2척 회수 시스템 (J형 시스템)

(2) 3척 회수 시스템

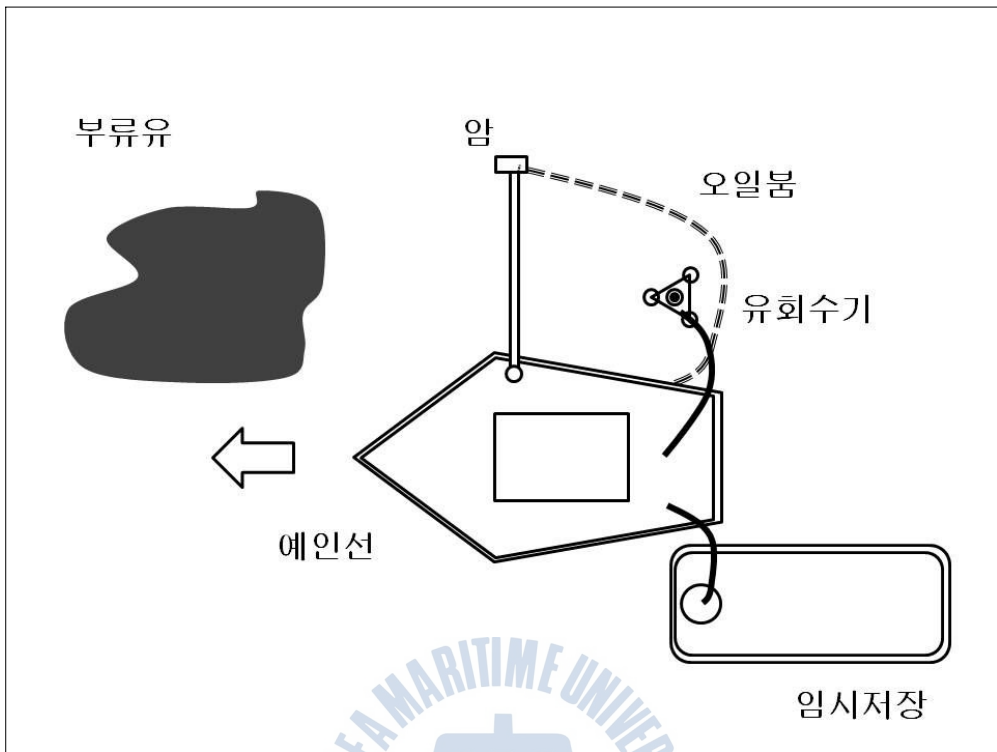
2척의 선박을 이용하여 오일분을 <그림 3-5>와 같이 예인하면서 다른 1척에서 회수하는 방식이다. 넓은 폭의 회수가 가능하지만 특수한 유회수기가 필요하다. 그 예인 모양 때문에 “V형 시스템” 이라고도 한다.



<그림 3-5> 3척 회수 시스템 (V형 시스템)

(3) 1척 회수 시스템

오일분을 전장하기 위한 암(arm, “아웃리거” 라고도 함)을 이용해 <그림 3-6>과 같이 오일분을 예인하면서 부류유를 회수하는 방식이다.



<그림 3-6> 1척 회수 시스템 (암 이용)

위와 같은 3가지 회수 시스템을 이용해 규모에 따라 유출현장의 상황에 맞게 선택하여 방제활동을 실시한다. 각 회수 시스템의 특징을 <표 3-1>와 같이 분석해 보았다.

<표 3-1> 각종 회수 시스템의 비교적 특징

	형태	소해속력	소해폭	기상영향	동원성
소형 회수시스템	1척 회수	△	△	△	◎
중형 회수시스템	U, J형 시스템	○	○	○	○
대형 회수시스템	U, J형 시스템	◎	◎	○	△

* 주 : 각 시스템과 비교적으로 ◎는 상, ○는 중, △는 하의 적합성을 나타낸다.

위와 같이 대형 회수 시스템을 투입하면 넓은 면적의 방제가 가능하지만 전용

방제선이나 외양형 유회수기, C형 이상 오일분 등을 운용해야 하며 동원하는 데에 큰 비용 및 인력, 시간이 요구된다. 한편 소형 회수 시스템은 전용 방제선이 아닌 예인선 등을 이용해도 방제가 가능하고 인력이 비교적 적어도 운영할 수 있지만, 소해속력이 느리고 소해폭이 크지 않기 때문에 방제면적이 작은 한계를 가진다.

각 회수 시스템을 구성하는 기본자원의 그 작용원리, 그리고 차원을 분석하여 <표 3-2>와 같이 정리하였다. 각종 시스템도 구성하는 자원은 공통적으로 선박, 오일분, 유회수기 등이다. 각종 시스템의 차이점은 자원 중 특히 오일분 성능의 영향을 크게 받기 때문에 오일분의 작용원리와 그 성능에 대하여 살펴볼 필요가 있다.

<표 3-2> 회수 시스템을 구성하는 자원과 작용원리 및 차원

자원	작용	차원
선박	항행	Knot (소해속력)
유회수기	회수	kl/h (펌프능력)
임시저장탱크	저장	kl (용량)
오일분	집유	m (길이, 소해폭)
암(Arm)	집유	m (소해폭)

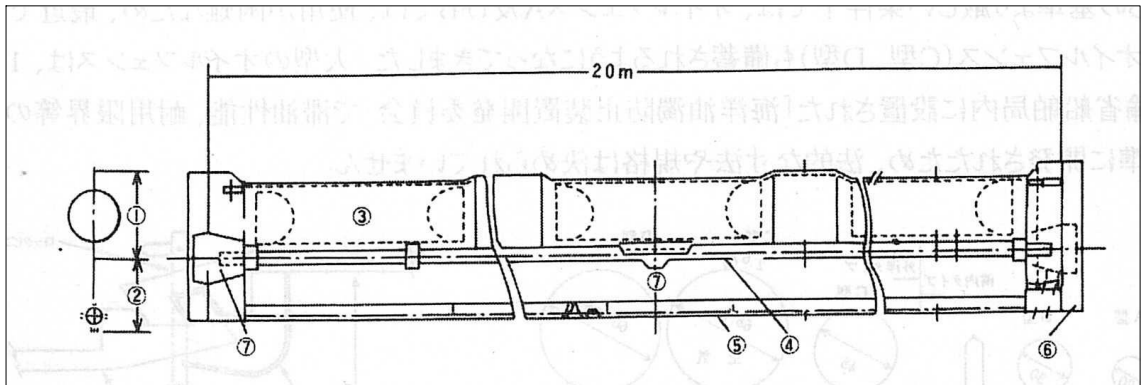
3.2.2 오일분의 성능 및 소해속력

오일분은 방제활동에서 중요한 역할을 가지는 자원 하나이지만 목적과 성능을 충분히 파악하고 투입하지 않은 경우 2차오염을 일으키는 우려가 있다. 오일분을 이용하는 목적은 다음과 같다.

- 부류유를 모아서(“집유”라고 함) 회수 효율을 높인다
- 부류유의 확산을 방지한다
- 민감해역과 같은 특수 지역을 보호한다

(1) 오일뿔의 구조

오일뿔의 주요구조는 <그림 3-7>과 같다.

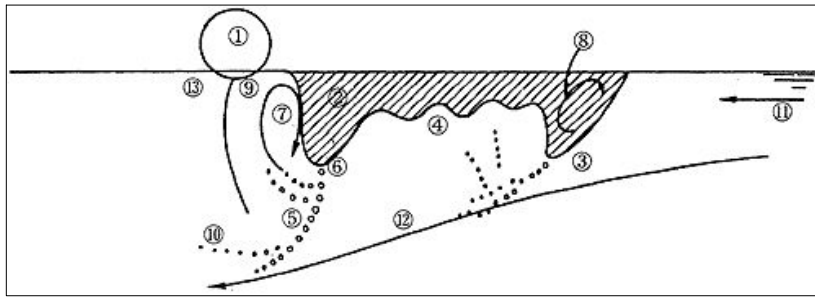


<그림 3-7> 일본 B형 오일뿔의 구조

- 견현부(Freeboard) : 오일뿔 상부를 튀어 넘어가는 유실을 방지하는 부분
- 스커트(Skirt) : 오일뿔 하부를 튀어 넘어가는 유실을 방지하는 부분
- 부체부(Floatation) : 공기압 또는 기타 부력으로 오일뿔을 수면에 뜨게 하는 부분
- 장력부(Tension) : 바람, 파랑, 조류 등의 영향으로 생긴 길이 방향의 장력을 견디게 하는 부분
- 밸러스트(Ballast) : 스커트를 수면 하에 유지하기 위한 부분
- 연결부(Joint) : 오일뿔끼리 또는 로프, 앵커의 연결을 위한 부분

(2) 유속에 의한 유류의 유실

<그림 3-8>은 오일뿔에서의 기름 유실을 도시한 것이다.



<그림 3-8> 오일뿔에서의 유류 유실

유속이 느릴 때(약 0.4kt이하)는 선두파, 계면파 등의 발생이 작으므로 오일뿔으로 기름을 가두어 둘 수 있다. 그러나 유속이 증가하여 기름과 물사이의 계면이 불안정하게 되는 한계속도를 넘으면 계면의 앞부분에서 <그림 3-8>의 ③과 같은 선두파가 발생한다. 기름과 물 사이의 계면이 불안정해지면 그 면은 거칠어지고 유막 하면이 부서지면서 기름입자가 떨어져 나와 오일뿔 하부로 빠져나간다. 일반적으로 그 한계유속은 보통 0.75kt라고 하지만 오일뿔의 구조에 따라서 다르다.

(3)오일뿔의 성능

일본에서는 해양오염 등 및 해상재해의 방지에 관한 법률에 따라서 오일뿔 A,B 두 가지의 구조, 규격 등이 정해져 있다.(성능치는 규정 없음. 단, 일본선박표준협회가 정한 표준 성능치가 있음) 이것은 탱커 등의 유류유출사고대응 기자재 비치의 법적의무가 있기 때문이다. 오일뿔 C, D형은 해양오염방지장치 개발위원회가 설정한 성능치 등이 설정되어 있는데, <표 3-3>은 법에 명시된 A, B형의 표준적 성능을 합쳐 정리한 것이다.

<표 3-3> 일본 오일뿔 규격과 표준적 성능

종류	크기			임계속도			사용한계		
	수면상	수면하	연결부 높이	풍속	파고	조류	풍속	파고	조류
A형	20cm이상	30cm이상	60cm	-	-	-	-	-	-
B형	30cm이상	40cm이상	80cm	(10m/s)	(1.0m)	(0.5kt)	-	-	-
C형	(45cm)	(60~70cm)	-	10m/s	1.0m	0.5kt	10m/s	2.0m	1.0kt
D형	(60~80cm)	(80~100cm)	-	20m/s	1.5m	1.0kt	25m/s	3.0m	2.0kt

위와 같이 해양회수 시스템에 표준적인 B형 오일뿔을 이용할 수는 있으나 그 속도 한계 때문에 소화속력을 0.5kt 이하로 예인해야 하며 면적적 효율성이 매우 떨어질 것이다. <표 3-4>는 일본 석유연맹이 실시한 오일뿔의 각도와 유실이 시작되는 한계유속과의 관계 실험의 결과다. 직각이 될수록 기름을 유지할 수 있는 한계속도는 낮아진다. 오일뿔을 해양회수 시스템에 사용할 때 기름을 모으는 부분의 뿔 각도는 직각이므로 기름을 유지할 수 있는 한계속도는 최소치 아니면 예인이 만드는 난류 때문에 최소치보다 낮다고 고려해야 한다.

<표 3-4> 오일뿔 각도와 한계유속과의 관계

각도 (도)	유실 유속	
	(kt)	(m/s)
90	0.7	0.35
45	1.0	0.5
28	1.5	0.75
20	2.0	1.0
16	2.5	1.25
13	3.0	1.5

그래서 해양회수 시스템을 위한 전용 오일뿔(“집유용 오일뿔”이라 함)이 개

발되어 있다. 대표적인 집유용 오일붐을 <그림 3-9>, <그림 3-10>에 예시한다. <그림 3-9>는 일본 MDPC가 개발한 집유용 오일붐이며, MDPC는 기자재 기지에 오일암과 같이 비치하고 있다. 속도한계는 약1.0kt이다. <그림 3-10>는 KOEM이 보유하고 있는 집유용 붐 “Current Buster” 이며 속도한계가 3.5~4.0kt이다. 그러나 그 전용성 등 때문에 KOEM도 2세트 밖에 보유하고 있지 않는 상황이다.



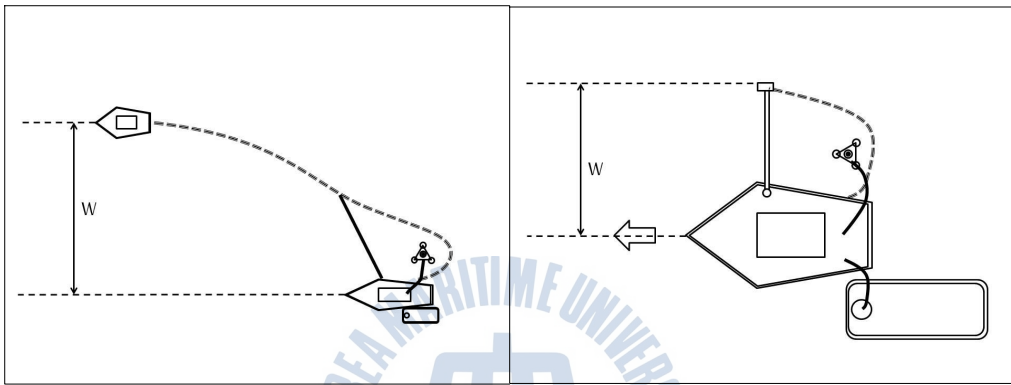
<그림 3-9> 일본 MDPC보유 집유용 오일 붐



<그림 3-10> 한국 KOEM보유 집유용 오일붐

3.2.3 소해폭

소해폭은 <그림 3-11>의 "W"와 같이 오일암이나 오일뿔의 폭 방향 길이이며 ("Swath width" 이라 함) 소해폭이 넓어지면 방제면적도 증가하며 방제활동 효율성이 높아진다.



<그림 3-11> 소해폭(Swath width)

소해폭은 암이나 오일뿔의 길이에 의존한다. 일본 MDPC가 보유하고 있는 암 길이는 7.5m이며 해상에서의 소해폭은 약 7m이다. <그림 3-11>의 오른쪽 그림과 같은 소형시스템에 주로 이용된다.

<그림 3-11>의 왼쪽 그림과 같은 J형 시스템은 그 오일뿔 크기에 따라서 소해폭이 달라지지만, <그림 3-12>와 같이 일본 국가석유비축기지가 비치하는 대형 해양회수시스템(TRANSREC 200, 공기주입식 D형뿔)에 따른 소해폭은 약 30m로 회수활동을 진행한다.



<그림 3-12> 일본 국가석유비축기지 대형 해양회수 시스템

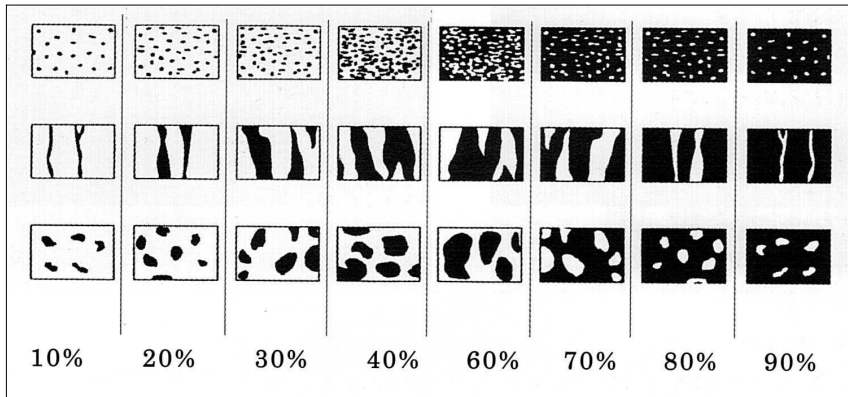
3.2.4 접촉률

유류가 해상에 확산될 때 바람이나 파랑에 의한 외력을 받으면서 유막 모양은 균일한 원형이 아니라 <그림 3-13>과 같이 복잡한 모양이 되면서 부류된다.



<그림 3-13> 해상에서 유막 확산 모양

일본 해상방재사업자협회가 작성한 유류오염 평가 매뉴얼은 오염해역에서의 유출유 점유도(占有度)를 <그림 3-14>와 같이 커버율로 평가하도록 만들어져 있다.



<그림 3-14> 오염해역에서의 유출유 커버율

이 커버율은 면적기반 해상기름회수 목표량에 직접적으로 영향을 주는 요소이다. 커버율이 회수 시스템과 부류유의 접촉확률이기 때문이다. 커버율이 감소되면 <표 3-5>과 같이 소해할 수 있는 면적도 감소된다. 일본 국가석유비축기지 기자재 정비 지침에서도 이 접촉률에 관한 설계를 하고 있으며 Alan A Allen의 Throughput Efficiency치 10~95%의 평균치인 52%를 접촉률로 운용하고 있다.

<표 3-5> 부류유 커버율과 소해면적의 관계

부류유 커버율	100 %	75 %	50 %	25 %	10 %
중대형 시스템 소해면적	2.67 km ² /3days	2.00 km ² /3days	1.33 km ² /3days	0.67 km ² /3days	0.27 km ² /3days

3.2.5 기계적 효율

해양회수 시스템은 주로 유희수기를 이용하여 부류유를 회수한다. 유희수기를 이용한 회수활동은 기상조건, 부류유의 점도 등의 외력에 영향을 받아 회수량에 변화를 미친다. 일본 MDPC는 각종 유희수기의 실험결과를 분석하여 <표 3-6>과 같이 유희수기 성능치를 설계하고 있다.

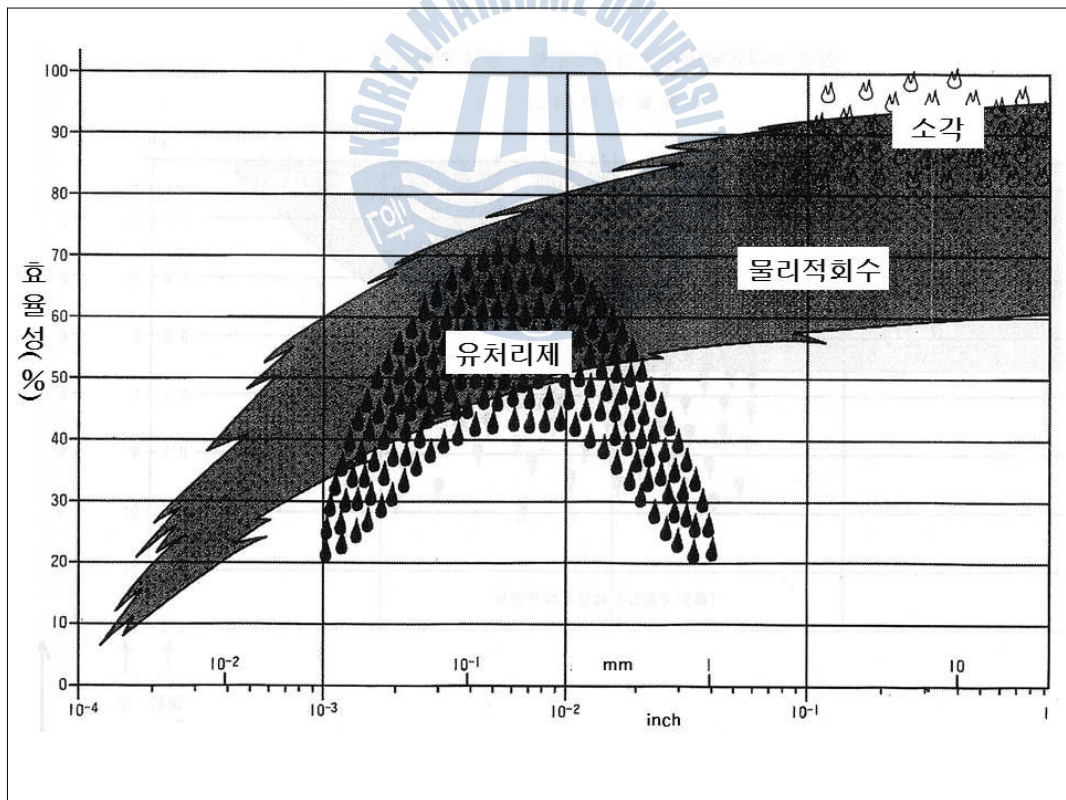
<표 3-6> MDPC작성 유회수기 성능치 표

No.	제조사	회수방식	펌프능력	耐 汚穢성	耐 積도성
1	W사	흡인식	6.0 k1/h	④	②
2	W사	흡인식	12.0 k1/h	④	②
3	V사	디스크식	50.0 k1/h	②	②
4	V사	디스크식	100.0 k1/h	②	②
5	V사	디스크식	18.0 k1/h	②	①
6	V사	디스크식	30.0 k1/h	②	①
7	V사	디스크식	15.0 k1/h	②	③
8	F사	위어식	65.0 k1/h	②	④
9	F사	위어식	130.0 k1/h	④	④
10	L사	브러쉬식	11.6 k1/h	④	③
11	P사	위어식	65.0 k1/h	③	④
12	F사	브러쉬식	9.0 k1/h	④	②
13	R사	위어식	30.0 k1/h	④	④
14	R사	위어식	114.0 k1/h	④	④
15	R사	위어식	160.0 k1/h	④	④
16	R사	위어식	100.0 k1/h	④	④
17	D사	흡인식	7.6 k1/h	①	②
18	D사	흡인식	15.0 k1/h	①	②
19	V사	디스크식	110.0 k1/h	②	④
20	F사	위어, 디스크식	200.0 k1/h	④	④
21	F사	위어, 디스크식	250.0 k1/h	④	④
22	M사	위어식	100.0 k1/h	③	②
23	D사	흡인식	21.6 k1/h	②	①

내파랑성①	파고 0.2m이하에서 성능치100%, 기타는 0%
내파랑성②	파고 0.5m이하에서 성능치100%, 기타는 0%
내파랑성③	파고 1.0m이하에서 성능치100%, 기타는 0%
내파랑성④	모든 파고에서 성능치100%

내점도성①	15,000cSt 이하에서 성능치100%, 이후 효율이 감소된다
내점도성②	45,000cSt 이하에서 성능치100%, 이후 효율이 감소된다
내점도성③	15,000cSt 이상에서 성능치100%, 이후 효율이 감소된다
내점도성④	모든 점도에서 성능치100%

일본 국가석유비축기지 기자재 정비 지침에서도 이 회수효율에 관한 설계를 하고 있으며 Alan A Allen의 RE치 50~75%의 평균치인 62%를 회수효율로 운용하고 있다.



<그림 3-15> 방제활동의 효율성(Alan A Allen)

3.3 구체적인 면적기반 해상기름회수 목표량 설계

면적기반 해상기름회수 목표량의 기본적 설계는 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

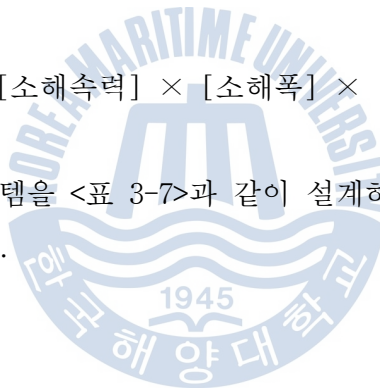
[면적기반 해상기름회수 목표량]

$$= [\text{단위면적 내에 있는 부류유를 단위시간 내에 회수하는 능력}] \dots \textcircled{1}$$

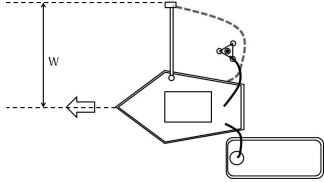

면적기반 해상기름회수 목표량은 소해속력과 소해폭, 그리고 방제활동 시간의 승산으로 구할 수 있으나 효율성 등의 계수가 고려되지 않은 최대치다. 이 수치를 “면적기반 해상기름회수 목표량의 절대적 최대치” (이하 “최대소해능력” 라고 함)로 설계한다.

$$[\text{최대소해능력 : } S_{\max}] = [\text{소해속력}] \times [\text{소해폭}] \times [\text{단위시간}] \dots \textcircled{2}$$

소형, 중대형 회수 시스템을 <표 3-7>과 같이 설계하면 <표 3-8>와 같이 최대소해능력을 구할 수 있다.



<표 3-7> 해양회수 시스템 표준적 재원 설계

	형태 및 자원	소해폭	소해속력
소형 시스템	1척 회수, 암, 집유용 붐 	7m	1.0kt
중대형 시스템	J형 시스템, C형이상 붐 	30m	2.0kt

<표 3-8> 해양회수 시스템에 의한 방제면적과 활동시간의 관계

	최대소해면적							
	1h	8h	12h	24h	36h	48h	60h	72h
소형 시스템	0.01 km ²	0.10 km ²	0.16 km ²	0.31 km ²	0.47 km ²	0.62 km ²	0.78 km ²	0.93 km ²
중대형 시스템	0.11 km ²	0.89 km ²	1.33 km ²	2.67 km ²	4.00 km ²	5.33 km ²	6.67 km ²	8.00 km ²

현재 한국에서의 해상방제 기름회수 목표용량을 위한 방제지침에 따르면 1일 당 방제활동시간이 8시간, 기간은 3일로 정해져있다. 따라서 위 시스템이 실시하는 3일간의 최대방제면적은 소형 시스템이 0.31km², 중대형 시스템이 2.67km²가 된다.

본 논문에서는 방제활동 단위시간을 3일간(1일 8시간)으로 정하여 최대방제능력을 구한다.

- 소형 시스템의 최대소해능력 S_{max} : $0.31\text{km}^3/3\text{days}$
- 중대형 시스템의 최대소해능력 S_{max} : $2.67\text{km}^3/3\text{days}$

실제로 투입하는 시스템의 방제능력에는 제4장에서 도출된 접촉률 및 기계적 효율을 고려할 필요가 있다. 시스템마다 접촉률 및 기계적 효율을 고려하여 산출한 수치를 “개별 실용적 면적기반 해상기름회수 목표량” (이하 “개별소해능력” 이라 함)로 설계한다. 개별소해능력은 다음과 같은 관계식으로 구할 수 있다.

$$[\text{개별소해능력} : S_{\alpha}, S_{\beta}, S_{\gamma} \dots]$$

$$= [\text{최대소해능력} : S_{max}] \times [\text{접촉률}] \times [\text{기계적 효율}] \dots \textcircled{3}$$

여기서 제4장에서 구한 표준적 접촉률 52 %와 표준적 기계적 효율 62 %를 적용하고 구하는 능력치를 특히 “표준적 면적기반 해상기름회수 목표량” (이하 “표준적소해능력” 이라 함)으로 설계한다.

$$[\text{표준적소해능력} : S_{st}]$$

$$= [\text{최대소해능력} : S_{max}] \times 52 \% (\text{표준적 접촉률}) \times 62 \% (\text{표준적 기계적 효율}) \dots \textcircled{4}$$

예를 들어 중대형 회수 시스템에 표준적 계수를 적용하면 다음과 같은 수식으로 소해능력을 구할 수 있다.

$$2.67 \text{ km}^3/3\text{days} (\text{중대형 회수 시스템}) \times 52 \% \times 62 \% = 0.86 \text{ km}^3/3\text{days} \dots \textcircled{5}$$

제4장 사고사례 분석에 의한 유용성 평가

제3장에서는 면적기반 해상기름회수 목표량 산정방식을 설계하였다. 이 방식의 유용성을 평가하기 위하여 제4장에서는 한국 및 일본에서 생긴 국가적 해양 오염 사고사례에서 기름확산면적 및 유막두께를 산정하여 소요 방제선 척수를 산출, 비교분석을 실시한다.

4.1 한국 HEBEI SPIRIT호 오염사고 개요

삼성 T-5호 등 예인선 2척은 2007년 12월 6일 14:50경 크레인선 삼성1호를 경남 거제시 고현항으로 이동시키기 위해 인천대교 건설현장을 출항하였다. 12월 7일 03:00경부터는 풍랑주의보가 발효되어 북서풍이 14~16m/s로 강하게 불고 파고는 3~4m로 높은 상태에서 항해중에 있었다. 12월 7일 06:52경 예인선 삼성 T-5호의 예인줄이 절단되면서 크레인선 삼성1호가 07:06경 태안군 원북면 신도남서방 6마일 해상(36-52-00N, 126-02-09E)에서 투묘중이던 원유운반선 HEBEI SPIRIT호와 충돌하였다. 충돌결과 원유운반선의 좌현탱크 3개소가 파공되었으며 적재된 원유 12,547kl가 해상에 유출되었다.



<그림 4-1> 파공탱크에서 쏟아지는 원유



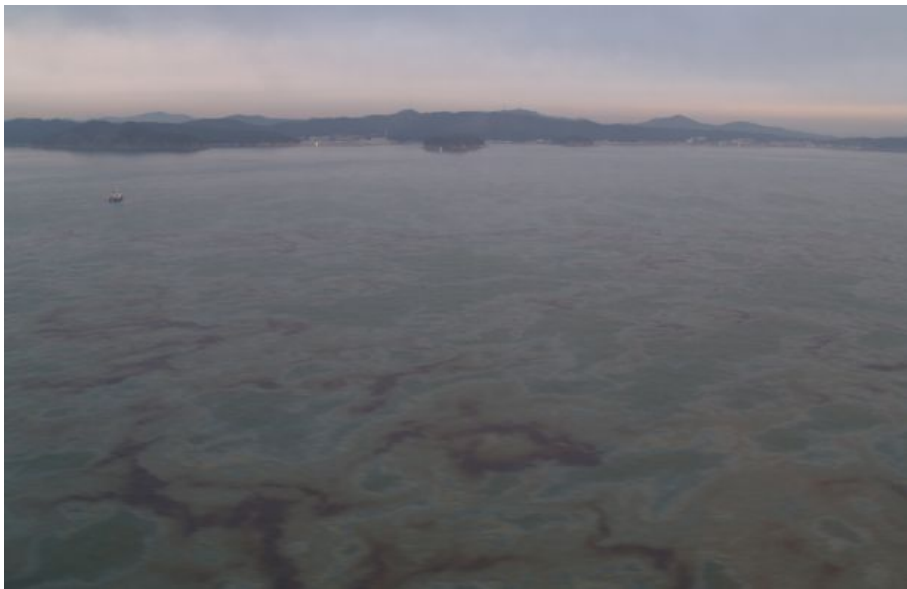
<그림 4-2> HEBEI SPIRIT호
사고지점

원유가 유출되기 시작하여 파공 규모가 큰 5번, 3번 탱크에서는 약 4시간 30

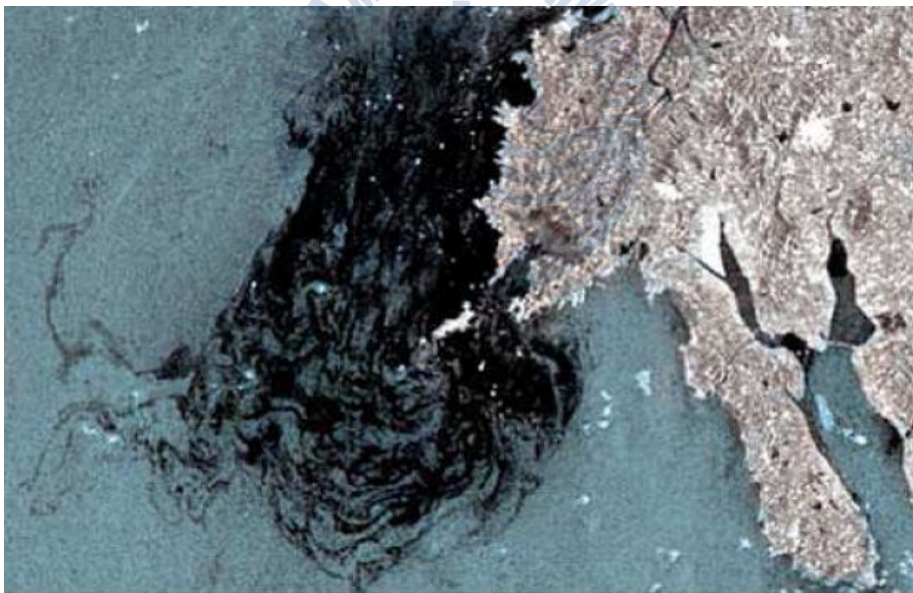
분 만에 대부분의 적재유가 쏟아졌으며, 이후에는 간헐적으로 유출되다가 16:00경에 중단되었다. 1번 탱크는 파공규모가 비교적 작아 12월 8일 23:40경에야 유출이 중단되었다. 사고초기에 원유운반선의 파공부위 봉쇄작업을 위하여 여러 차례 접근을 시도하였으나 기상불량으로 별다른 조치를 못하다가 12월 9일 04:00경 해상기상이 다소 호전되어 나머지 좌현 1번 탱크 파공부위를 나무 썰기로 응급 봉쇄할 수 있었다. 허베이 스피리트호 오염사고로 유출된 기름은 원유 12,547kℓ로 국내 최대규모이며, 이는 1995년 씨프린스호 유출량 5,035kℓ보다 2배 이상 많은 양이었다. 지난 10년 동안 전국 기름유출사고는 연평균 약 390건이 발생하며, 서해청 관내는 최근 5년간 평균 57건 발생하였으나 대부분 중.소형 오염사고였다. 특히 서해지방청 관내는 정유사가 소재한 태안을 제외하고는 목포, 완도, 군산 해역은 주로 통항하는 선박의 해난사고로 발생하는 중.소형 오염사고가 거의 대부분이었다.

유출된 기름은 강한 북서풍의 영향으로 빠르게 국립공원인 태안해안으로 유입되어 사고발생 14시간이 지난 21:10경 태안군 소원면 의항리 구름포 해안에 기름이 유입된 것을 시작으로, 22:10경에는 만리포 해안까지 밀려들었다. 다음날(12.8) 원북면방갈리 학암포해안에서 소원면 모항리까지 약 17km 구간과 3일째(12.9)는 원북면 방갈리에서 소원면 파도리까지 약 40km구간, 4일째(12.10)에는 이원면 내리 만대해안까지 총70km 해안에 빠르게 오염이 확산되었으며 특히 학암포에서 파도리 구간 35km는 두꺼운 기름층이 형성되어 오염정도가 심각하였다. 이후 태안군 남면 몽산포, 청포대, 마검포, 장삼 해안과 보령시 무창포, 독산, 용두포 해안에 기름덩어리가 유입되었다.

해안으로 유입되지 않은 일부 기름은 타르상태로 변하여 해류를 따라 이동하면서 9일째(12.15)에는 충남 서천, 11일째(12.17)에 군산 말도 해상까지 남하하였다. 사고후 27일째(2008.1.2)에는 제주 추자도 해안에서 31일째(2008.1.6)에는 사고해역에서 약 206마일 떨어진 제주도 조천읍 다려도 해안까지 허베이 스피리트호의 오염잔재물이 확인되었다.



<그림 4-3> 태안 가의도 해안 원유 확산(12.8)



<그림 4-4> 인공위성에서 바라본 태안반도

4.2 일본 NAKHODKA호 유출사고 개요

1997년 1월 2일 러시아 국적 탱커 NAKHODKA호는 병커C유 약 1만9000k1을 탑재하고 폭풍 중에 일본 북방 해역을 항행하다가 선체가 두 개로 절단되어 선미부는 침몰, 선수부는 5일간 표류된 뒤 후쿠이현 미쿠니초에 좌초되었다. 이 해난 사고에 의하여 선장을 제외한 승무원 31명은 해상보안청, 해상자위대에 의해 구조되었으나 탑재하고 있던 병커C유 1만9000KL 중 파손부 탱크에 있던 약 6,240k1가 유출되었다. 기름은 5~10여일 동안 시마네현에서 아키타현까지 9현(도야마를 제외함)의 해변에 표착했다.

미쿠니초에 좌초된 선수부에도 2,800k1의 중유가 남아 있어 유출이 계속되었다. 이 기름은 다양한 장비와 수십만 명의 인력으로 피트, 드럼캔 등에 회수, 그 총량은 모래 등을 포함해 5만9000톤이 되었다. 회수물은 항구 등에 임시수집하고 65척의 선박, 트럭 등으로 전국 20군데의 폐기물 처리장에 반출되었다.

선수부에 남은 기름을 회수하기 위한 작업도 별도로 동시에 행해졌다. 모든 작업이 종료된 것은 1년 2개월이 경과한 1998년 3월말이었다.



<그림 4-5> 200m×100m×20~70cm의 유출유를 회수하는 어선 등

4.3 모델 사고사례에 있어서의 오염면적 산정

HEBEI SPIRIT호 유출사고와 NAKHODKA호 유출사고는 그 당시에 확산면적에 대한 정확한 평가가 실시되지 않았다. 이번 절에서는 사고 이후 실시된 연구, 문헌자료, 그리고 확산에 관한 모델식을 이용하여 오염면적을 산정한다.

4.3.1 확산 모델식

(1) 元良 식

일본 배출유방제계획 오일펜스 목표량 설정의 근거가 된 확산모델식이다.

$$R(t)^0 = \sqrt{2 \frac{gV}{\pi} t + Ro^2}$$

R(t) : 유출 t초후의 확산반경(m)

g : 중력가속도(9.8m/s)

V : 수면상의 유량(m³)

Ro : 초기반경(m)

이 元良 식은 유출초기 단계의 확산면적을 산정하는 데 유용하며 시간경과에 따라서 오차가 생기는 가능성이 높다는 분석이 존재한다.

(2) Blokker 식

자유평면의 기름 확산을 모델화한 수식이다. 해면상의 유출유는 원형으로 확산한다고 가정하면

$$r_t = \sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3K_r t V(\rho_w - \rho_0)\rho_0}{\pi\rho_w}}$$

r_t : 유막의 반경(cm)

r_0 : 유출시의 유막 반경(cm)

t : 경과시간(sec)

V : 유출량(cm^3)

K_r : Blokker 상수

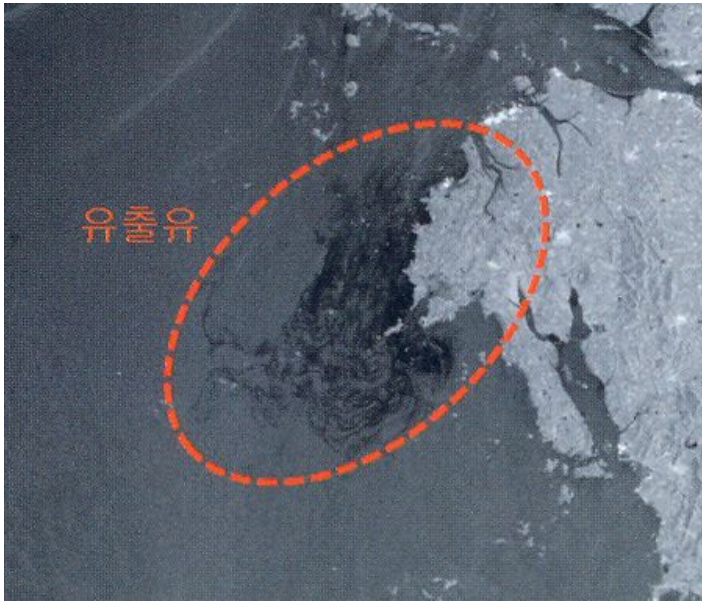
ρ_w, ρ_0 : 해수밀도 및 기름의 초기 밀도(g/cm^3)

4.3.2 HEBEI SPIRIT호 사고시의 확산면적 및 평균유막두께 산정

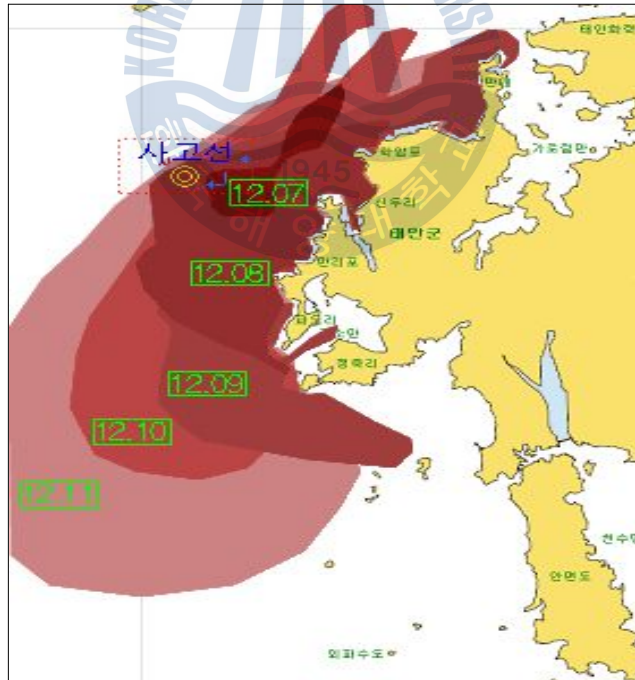
한국 해양경찰청은 HEBEI SPIRIT호 사고시 시간의 경과에 따른(12월 7일, 8일, 9일, 10일까지) 대략적인 오염해상면적을 위성사진을 바탕으로 해도상에 작도하여 확산면적 및 평균유막두께를 <표 4-1>과 같이 산출하였다.

<표 4-1> Hebei Spirit호 사고 오염된 해역면적 및 평균유막두께

일 자	오염 해역면적	유출유량	평균유막두께
07. 12. 07	41.97 km^2	12,547 kl	0.299 mm
07. 12. 08	225.05 km^2		0.056 mm
07. 12. 09	357.54 km^2		0.035 mm



<그림 4-6> Hebei Spirit호 사고
위성사진(07.12.11, 10:40)



<그림 4-7> Hebei Spirit호 사고 유출유
확산 현황 도식

4.3.3 NAKHODKA호 사고시의 확산면적 및 평균유막두께 산정

HEBEI SPIRIT호 사고와 달리 90년대에 발생한 사고이기 때문에 오염면적에 관한 자료는 없고 위성사진 등을 이용한 유출유 감시도 실시되지 않아서 HEBEI SPIRIT호와 같이 작도에 의한 면적산정은 불가능하였다. 따라서 NAKHODKA호 사고시의 오염해상면적은 유출유 확산 모델식을 이용하여 추측하기로 한다.

유출된 기름은 기간의 경과와 함께 확산되면서 빠르게 면적이 넓어지는데, 유막의 확산 정도는 다음과 같은 Blokker(EC, 1977) 식을 이용하여 구할 수 있다.

NAKHODKA호 사고시 유출된 기름량은 기록에 의하면 6,240kl로 위의 Blokker식을 이용하여 1~3일째의 오염면적을 산정해 보면 <표 4-2>와 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 4-2> Blokker식에 따른 NAKHODKA호 사고 확산면적 산정

경과 시간	유막의 반경	오염 해역면적	평균유막두께
(유출량)	(6,240kl)		
24시간	2.542km	20.28km ²	0.308mm
48시간	3.202km	32.20km ²	0.194mm
72시간	3.666km	42.19km ²	0.148mm

위 결과는 기름의 확산모델에 따른 면적산이며 기상조건 등에 외력요소는 고려되지 않는다.

4.3.4 면적기반 목표량 방식의 의한 소요 방제선 척수와 사고사례에

비교분석

HEBEI SPIRIT호, NAKHODKA호사고의 자원 투입 실적(유출후 3일째 기준)과 위의 3절 1,2에서 산정된 면적을 <표 4-3>과 같이 정리하였다.

<표 4-3> HEBEI SPIRIT호 · NAKHODKA호 확산면적 방제자원 실적수의 관계

	확산면적	유출량 (유종)	방제선	유회수기	오일분	유흡착재	유처리제
H호	357.54km ²	12,547kl	37척	10대	14,020m	85,974kg	54,919L
N호	42.19km ²	6,240kl	5척	3대	-	57,526kg	-

3일째의 확산면적은 HEBEI SPIRIT호가 357.54km², NAKHODKA호가 42.19km² 이며, 투입된 방제선은 HEBEI SPIRIT호가 37척, NAKHODKA호가 5척이다. 만약에 확산된 유류를 3일내에 방제선 만으로 회수하려고 하면 방제선 한 척당 8~10km²/3days 의 면적기반 해상기름회수 목표량이 요구된다는 계산이 나온다. 이것은 지금까지 설계한 해양회수 시스템으로는 달성하기가 매우 어려운 수치이며, 단순하게 소해면적만 가지고 산정하기에는 더 고려해야 하는 요소가 존재하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

과거 세계 각국에서 생긴 대형 유류 유출사고에서 모든 유출유를 해상에서 회수한 일이 거의 없다. 대부분의 사례에서 해상방제와 함께 해안방제활동도 행해져왔다. 기자재 배치기준에서 모든 유출유를 해상에서 회수하려고 한다면 너무 과한 기준이 도출될 것이다. 그 때문에 미국이나 한국에서의 방제능력 확보에 관한 규정에는 해상 및 해안 회수량의 비율이 정해져있다.

(1) 미국

미국 연방법 “33CFR155” 에 정해져 있고 “Appendix B to Part 155

Determining and Evaluating Required Response Resources for Vessel Response Plans” 의 “9. Additional Equipment Necessary To Sustain Response Operations Table 3” 에서 규정되어 있다.

이 규정을 한국 및 일본에 적용한다면 해당되는 장소는 주로 연안역이 되며 유종은 유통량이 가장 많은 GroupⅢ가 되므로 해상 및 해안 회수량의 비율은 50 : 50 이 된다.

(2) 한국

1997년에 수립된 한국해양오염방지 5개년(1997-2001)계획에 따라서 유출량의 1/3이 증발, 1/3이 해안에 부착하며, 1/3을 해상에서 수거한다고 정해져있다.

(3) 일본

RCP에 상당하는 배출유방제계획에서 유출량의 80%를 유회수기 등으로 해상회수, 유출량의 20%를 유흡착재 및 유처리제를 사용해서 회수 또는 처리한다는 지침이 정해져있으나 해상 및 해안 회수량의 비율에 관한 규정은 없다.

각 국가가 규정한 해상 및 해안 회수량의 비율을 HEBEI SPIRIT호 · NAKHODKA호 확산면적에 적용하여 <표 4-4>와 같이 산출해 보았다.

<표 4-4> HEBEI SPIRIT호 · NAKHODKA호 확산면적과 해상 및 해안 회수량의 비율

	확산면적	미국			한국			일본		
		증발	해양방제	해안방제	증발	해양방제	해안방제	증발	해양방제	(해안방제)
H호	357.54 km ²	107.26 km ²	178.77 km ²	178.77 km ²	119.18 km ²	119.18 km ²	119.18 km ²	-	286.03 km ²	71.51 km ²
NAKHODKA호	42.19 km ²	12.66 km ²	21.10 km ²	21.10 km ²	14.06 km ²	14.06 km ²	14.06 km ²	-	33.75 km ²	8.44 km ²

일본의 NAKHODKA호 규모수준 사고를 가상하고 여기까지 도출, 설계한 면적기반 해상기름회수 목표량을 이용하여 가상사고 대응에 필요한 투입 자원 결정을 시도한다.

미리 당해지역에서 동원 가능한 해양회수 시스템을 파악하고 각기의 개별소해능력을 산출해놓을 필요가 있다. <표 4-5>에 당해 지역에서 동원 가능한 해양회수 시스템 리스트를 예시한다.

<표 4-5> 지역 동원가능 해양회수 시스템 리스트 예

	소해폭	소해속력	최대소해능력	기계적효율	개별소해능력	동원가능수
시스템 α (소형)	7m	1.0kt	0.31 km ² /3days	62.0%	0.19 km ² /3days	20 시스템
시스템 β (대형)	30m	2.0kt	2.67 km ² /3days	62.0%	1.65 km ² /3days	10 시스템
시스템 γ	15m	1.5kt	1.00 km ² /3days	62.0%	0.62 km ² /3days	1 시스템

확산면적을 직접감시 또는 확산 시뮬레이션 등을 이용하여 구한 뒤 총확산면적 중 해양에서 방제하는 대상면적을 결정한다. 여기서 한국 기준을 적용하면 다음과 같은 비율이 된다.

- 총 확산면적 : 42.19 km²
- 증발 : 14.06 km²
- 해양방제 : 14.06 km²
- 해안방제 : 14.06 km²

대상이 되는 해양방제면적 14.06 km²를 3일 이내에 해양회수 시스템을 이용하여 방제하는 데에 필요한 자원 세력을 산출한다. <표 4-5>의 당해 지역에서 동원 가능한 해양회수 시스템 세력 균형을 보고 시스템 α, 시스템 β가 담당하는 면적 비율을 50 : 50으로 정하여 각기 필요로 하는 동원 시스템수를 결정한다. 여기에서는 직접감시 또는 확산 시뮬레이션의 결과로부터 유출유의 커

버울 즉, 접촉률이 52%로 산출되었다는 가상 하에서 당해 지역에서의 각종 소해능력을 산출하였다.

<표 4-6> 동원 시스템 세력 결정 예

	개별소해능력	접촉률	이 해역에서의 소해능력	대상 소해면적	동원 세력수
시스템 α (소형)	0.19 km ² /3days	52%	0.10 km ² /3days	7.03km ²	70.1 시스템
시스템 β (대형)	1.65 km ² /3days	52%	0.86 km ² /3days	7.03km ²	8.2 시스템

<표 4-6>와 같이 해양방제면적 14.06 km²를 3일 이내에 방제하는 데에 필요한 자원 세력은 시스템 α가 71시스템, 시스템 β가 9시스템이라고 산출할 수 있고 방제활동을 실시하는 지휘자가 비교적 간이하게 투입세력을 구할 수가 있다. 유출량 6,240kl를 방제하는 데 필요한 방제선 척수를 기존 용량기반 평가방식으로 도출시도한다. 소형시스템 α의 펌프용량을 15kl/h로 가정한다.

$$[\text{소형시스템 } \alpha \text{ 3일간의 회수량}] = 15\text{kl/h} \times 24\text{h} \times 0.2 = 72\text{kl}/3\text{days}$$

$$[\text{용량기반기준 소요 시스템}] = 6,240\text{kl} \times 1/3 \div 72\text{kl}/3\text{days} = 28.9 \text{ 시스템}$$

위와 같이 용량기반을 근거로 산출된 세력으로는 실제 현장에서는 회수하지 못한 면적 기름이 남을 가능성이 있는 것을 확인할 수 있다.

그러나 이것은 해양방제면적을 해양회수 시스템 두 가지 세력만으로 방제하려는 산출 결과이며, 실제로 소형·중대형 시스템을 합쳐 80척이나 세력을 투입하는 것은 거의 불가능한 상황이고 미리 대비하려는 것도 너무 과분한 기준이다. 그러므로 해양회수 시스템 이외의 방제능력 산입도 필요하다. 본 논문에서는 그 중 유처리제에 따른 해양분산능력 산입 가능성에 대하여 검토하였다.

4.4 Vessels of Opportunity Program 등 기타 자원에 의한 방제능력

해안방제에 관한 회수량에 대해서는 4장 3절에서 검토하였지만 해상에서 하는 방제활동은 해양회수 시스템뿐만 아니라 각종 자원을 사용한 방제활동도 동시에 실시된다. 이 절에서는 기타 자원에 따른 방제활동에 관한 고찰을 한다.

4.4.1 Vessels of Opportunity Program

Vessels of Opportunity Program은 2010년 멕시코만에서 발생한 Deepwater Horizon호 유출사고에서 중요한 역할을 이루었다. <그림 4-8>와 같이 당해지역에 소속된 어선이나 소형레저선에 간이적 회수 장치를 탑재하여 임시적 방제선으로 활용하는 프로그램이다.



<그림 4-8> Vessels of Opportunity Program

Deepwater Horizon호 유출사고시 약 6,000척의 VOOs가 동원되어 유출유 회수에 중요한 세력이 되었다. 유출사고 발생시 경영적 활동정지가 불가피한 이해

당사자 시점으로도 이런 기회를 통해서 생계금을 얻을 수 있는 기회임이라고도 할 수 있고 경제적 효과 부분에서도 좋은 평가를 얻었다.

그리고 이 시스템은 주로 암과 흡착재형 오일분을 사용하며 소해폭과 소해속력을 효과적을 높일 수 이으며 면적기반 해상기름회수 목표량을 확보하는 데 유용적인 시스템이다.

4.4.2 유처리제

유처리제를 사용한 분산능력에 관해서는 한국 및 일본 모두 방제능력에 관한 명확한 규정이 없는 상황이다. 이것은 원칙적으로 부류유를 먼저 회수하고, 회수가 어렵거나 유처리제 사용이 불가피할 경우에만 사용한다는 방제제침이 있기 때문이다.

<표 4-7>은 1976년~2004년까지 일본 MDPC가 실시한 방제활동업무에서의 유처리제 사용실적이다.

<표 4-7> 일본 MDPC 실시 방제활동 업무에서의 유처리제 사용실적

	사용했음	사용 안했음					합계
		점도	자연증발 등	HNS 등	동의 없음	기타	
건수	92	7	19	4	7	3	132
비율	69.7%	5.3%	14.4%	3.0%	5.3%	2.3%	100.0%

위와 같이 MDPC가 실시한 방제활동업무 중 약 70%의 사례에서 유처리제가 사용되었다. 방제활동을 실시하는데 있어서 유처리제를 사용하는 확률이 높은 것을 알 수 있다. 유출유의 종류, 성상 등이 미리 파악되어 있는 상황이라면 유처리제에 따른 방제능력의 산입도 고려사항의 하나가 될 수 있다. 그러나 유처리제 사용에 관해서는 분산유의 특성 등을 고려해야 하며 해양회수능력처럼 단순하게 산입하기에는 문제가 있다. 특히 각 국가의 방제지침은 물리적 회수를 원칙으로 하는 경우가 많으므로 유처리제 투입에 관하여는 더 신중한 검토가

필요하나.

4.4.3 유흡착재

유흡착재는 친유성 및 발수성을 가지는 재질이며 유류를 흡수하는 기자재의 하나다. 중량이 가볍고 동원하기 쉽다는 특성 때문에 대부분의 유출사고에서 사용되어왔다. 그러나 투입한 모든 유흡착재를 회수하지 않았을 경우 <그림 4-9>과 같이 2차 오염 피해가 발생할 수도 있기 때문에 주의가 필요하다. 사용할 때는 유실을 막기 위하여 <그림 4-10>와 같이 오일붐으로 포위된 장소에 투입할 필요가 있다. 그러므로 유흡착재는 주로 해안 방제활동에서 사용하는 자원이라고 정리하는 것이 적절하다.



<그림 4-9> 유흡착재에 의한 2차 오염



<그림 4-10> 오일붐 포위 장소에 투입된 유흡착재

단, 해상 방제활동에서도 <그림 4-11>과 같이 선박을 이용한 예인 회수도 가능할 경우도 있어 이러한 방제활동이 시스템으로 확립되었을 때는 방제능력 산입을 검토 할 여지가 있다. 특히 전술의 Vessels of Opportunity Program과 같은 실용적 시스템이 확립되면 충분히 회수량 산정이 가능해질 것이다.



<그림 4-11> 선박을 이용한 유흡착재 예인 회수(MDPC실시)

제5장 결론 및 과제

해양국가인 일본 및 한국에서는 상시 해상 항행선박사고에 의한 해양오염 사고 리스크에 대하여야 하는 것은 장래 적으로도 계속될 것이다. 유류 유출 사고에 대한 방제체제 및 방제기자재의 정비 및 개발은 현재까지 상당한 주력을 해왔고 대규모 유출에 대응한 대형방제선 배치도 행하여졌다. 본 연구에서 개발한 면적기반 해상기름회수 목표량은 이러한 첨단적 방제자원을 방제지휘자가 적재적소에 현장 투입하는 근거를 구하는 데도 큰 역할을 다하는 것이 기대된다. 방제지휘자가 사고 발생 시 수립하는 방제전략 또는 방제전술에는 환경적, 경제적, 정책적 균형이 있는 전략, 전술이 요구된다. 기존의 용량기반 방제능력에 추가하여 본 면적기반 해상기름회수 목표량을 도입하면 더 합리적인 동원 계획을 설립할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구에서 설계한 면적기반 해상기름회수 목표량을 실용적으로 운용하기 위해서는 더 검토해야 할 과제가 있다.

첫째, 물리적 회수에 있어서의 기계적 효율 등의 도입에 관한 검토이다. 면적기반의 해상에서의 기름회수능력, 즉 소해면적을 위주로 하는 산출이 본 연구의 목적이지만 단순하게 소해면적을 해상기름회수 목표량으로 정하기에는 실제 기름회수량 실적 등으로부터 실용적이지 않은 한계점이 나타난다. 본 논문 제3장에서 회수 효율에 관한 선행 연구로부터 도출한 효율성 계수를 검토해보았으나, 이후 면적기반 기름회수 목표량에 더욱 적합한 기름회수 효율 계수의 분석 및 설계가 필요하다.

둘째, 유회수기 및 방제선에 의한 물리적 회수이외의 기자재 능력치 산입에 관한 검토이다. 본 연구에서 설계한 방제능력의 범위는 해양에서의 유회수기 및 방제선에 의한 소해면적을 기반으로 하는 기름회수 능력치이므로, 실제로 방제지휘자가 투입을 검토하는데 다른 자원에 의한 능력도 고려한 종합적 면적

기반 해상기름회수 목표량의 개발이 요구된다. 그러나 한국과 일본의 긴급계획에 정해져 있는 방제지침에 의하면 물리적 회수를 “主”로 방제활동을 실시하는 것이 원칙이며, 특히 한국의 경우 유처리제 살포에 의한 기름분산량의 산입은 정해져 있지 않다. 그러므로 유처리제에 의한 분산능력치의 산입은 현실적으로 불가능한 일이다. 한편 유희착재를 이용한 해상기름 회수시스템에 의한 능력치의 산입은 환경적 문제 등을 가지고 있지 않으므로 충분한 실현가능성을 가진 개념이나, 실제로 운용할 수 있는지 아닌지는 법적 관점, 기술적 문제 등을 더 검토하는 것이 필요하다.

셋째, 방제전략 수립 시 면적기반 개념도입에 의한 효과의 실용적 검토이다. 본 논문에서는 가상지역을 모델로 방제 대응에 필요한 자원 세력을 산출하였으나, 보다 실용적인 검토를 위해서는 실제 임의지역을 모델로 해당지역에서 사고가 발생했다고 가상했을 때 동원할 수 있는 면적기반 기름회수 목표량을 산출하여 실용적 효과를 검토하는 것이 필요하다. 해상기름회수 목표량을 증가시키는 방법은 소해폭을 넓히는 방법, 소해속력을 증가하는 방법, 해양시스템 세력을 증가하는 방법이 있다. 예를 들어 단순하게 해상기름회수 목표량을 증가시키기 위하여 대형 방제선을 더 추가 배치하는 방법도 있지만 경제적 관점으로 효율성 있는 방제강화 대책이라고는 하기가 어렵다. 실제 당해지역의 면적기반 목표량을 구성하는 기자재의 상세한 스펙이나, 동원 경로 등을 조사하여 유출사고 발생시 현장에 동원할 수 있는 효율적 회수시스템을 구축하는 것이 필요하다.

이상 과제를 검토하고, 실용적 면적기반 해상기름회수 목표량의 설계가 형성되면, 당해지역에 있어서의 방제 대응력의 정량적 평가가 가능해지고, 방제체계의 미흡점이나 필요한 보완 자원의 확정 등, 방제 대응력의 구체적인 향상을 지원해주는 것을 기대할 수 있다. 현재 각 연구기관에서 개발이 진행되어 있는 부류유 감시에 관한 remote sensing 기술이나 각종 방제훈련 시뮬레이터 등과 본연구의 면적기반 목표량과의 연결이 가능하다면 보다 구체적·실용적 기술 소프트웨어, 방제 지원 도구의 개발도 가능해질 것이다.

또, 현재 국가마다 다른 방제능력 산출방법이 본 연구에 의한 새로운 설계 개

념에 의해 표준화될 수 있는 가능성도 기대할 수 있다. 표준화가 실현되면, OPRC조약에서 정하는 방제에 관한 국가 간의 협력, 특히 방제 태세의 강화에 관한 보다 구체적인 공동 정책의 실현 등이 가능해질 것이다.

특히 한국과 일본은 2012년 6월 11일에 개최된 한·일 해상치안기관장 회의에서 해양오염 방제분야의 협력을 지속적으로 강화하는 것이 합의되어 있어, 한층 더 긴밀한 정보교환과 교류가 요구되어 있는 실정이다.

앞에서 언급 된 과제에 대한 추가 검토를 비롯하여 한층 더 보완된 연구와 환경·경제·정책적으로 적합한 방제 활동을 지원하는 실용적 면적기반 목표량의 설계를 목표로 연구를 지속할 예정이다.



[참고문헌]

1. 해양경찰청, “국가긴급방제계획”, 2009
2. 해양경찰청, “군산지역방제실행계획”, 한국해양연구원, 2000
3. 해양경찰청, “해양오염 방제기술서”, 1997
4. 해양경찰청, “실용적 국가방제능력 산정방안 연구 최종보고서”, 한국해양대학교, 2009
5. 해양경찰청, “해양오염 대응태세 평가제도 도입 방안에 관한 연구”, 한국해양대학교, 2010
6. 해양경찰청, “해양오염 대비·대응 실태조사 연구”, 한국해양대학교, 2011
7. 해양경찰청, “해양오염 방제사례집”, 한국해양오염방제조합, 2004
8. 해양경찰청, “해양오염관리업무 30년의 발자취”, 2008
9. 해양경찰청, “해양경찰백서”, 2011
10. 서해지방해양경찰청, “서해바다 해양환경 이야기”, 2008
11. 해양환경관리공단, “기본방제계획서”, 2011
12. 해양환경관리공단 부산지사, “부산지사 방제대응계획서”, 2011
13. 해양환경관리공단, “신개념 방제능력 확충 및 선진화 방안 연구”, 한국해양대학교, 2011
14. 해양환경관리공단, “방제기자재편람”, 2010
15. 윤중휘, “해양오염방제”, 다솜출판사, 2009
16. 윤준경, “海洋汚染防除技術總論”, 해인출판사, 2007
17. 이봉길, “씨프린스호 사고 이후의 국가방제정책 변화와 향후 추진과제”, 2000
18. 海上保安庁, “油等汚染事件への準備及び対応のための国家的な緊急時計画”, 2004
19. 海上保安庁, “東京湾排出油等防除計画”, 2004
20. 海洋汚染・海上災害防止法研究会, “海洋汚染および海上災害の防止に関する法律の解説”, 1996
21. 海上災害防止センター, “流出油事故対応のための一般資機材および複合的

- な防除手法に関する調査研究”，2003
22. 海上災害防止センター，“流出油事故対応総合マニュアル”，2005
 23. 海上災害防止センター，“海洋汚染対応コーステキスト”，2001
 24. 石油天然ガス・金属鉱物資源機構，“国家石油備蓄基地における海上防災体制の再構築に関する調査業務報告書”，海上災害防止センター，2004-2007
 25. 港湾空港技術研究所，“韓国泰安沖油流出事故に関する現地調査報告”，2008
 26. 石油連盟，“流出油の性状変化データベース”，2000
 27. 小田巻実，“大規模流出事故に伴う漂流経路の予測について”，1999
 28. 佐々木邦昭，“ナホトカ号事故への対応と課題”，2009
 29. 佐尾和子 et. al，“重油汚染”，1998
 30. サハリンエナジー社，“北海道北岸における流出油事故への準備及び対応に関する地域緊急時計画”，海上災害防止センター，2007
 31. 鎌田忍，“大韓民国「海洋汚染防止法」全面改正に関する解説”，2008
 32. IMO, Manual on Oil Pollution, Section IV, 1998
 33. USCG, 33CFR155 Appendix B, Determining and Evaluating Required Response Resources for Vessel Response Plans, 2008
 34. ExxonMobil, Oil Spill Response Field Manual, 2008