

工學碩士 學位論文

한국 연안역에서의
해양유류오염사고에 대한 효과적
방제방법 선정 기준에 관한 연구

A Study on the Selection Criteria for Effective
Marine Oil Spill Response Techniques at the
Coastal Waters in Korea

指導教授 尹鍾輝

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

尹 永 錫

< 목 차 >

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	v
1. 서론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 자료 및 방법	4
2. 해양 유류오염사고	6
2.1 세계 해양오염사고	6
2.1.1 세계 오염사고 발생건수 및 유출량	6
2.1.2 세계 오염사고 유출원	8
2.1.3 세계 오염사고 유출원인	10
2.2 우리나라 해양오염사고	11
2.2.1 우리나라 오염사고 발생건수 및 유출량	11
2.2.2 우리나라 오염사고 유출원	13
2.2.3 우리나라 오염사고 유출원인	15
2.2.4 우리나라 오염사고 해역	17
3. 해역 환경 조사	19
3.1 기상 조건	19
3.1.1 바람	19
3.1.2 안개	24

3.1.3 강수	28
3.2 해상 조건	33
3.2.1 해류	33
3.2.2 조류	34
3.2.3 파랑	39
3.3 해역별 지형 특징	42
3.3.1 서해안	42
3.3.2 남해안	43
3.3.3 동해안	45
4. 주요 해양오염사고에 대한 방제실행 결과 분석	47
4.1 발생장소	55
4.2 기름의 종류	58
4.3 유출원인	59
4.4 해상상태	60
4.5 사용된 방제방법	61
5. 결론	69
참고문헌	72
감사의 글	74

<List of Tables>

Table 2-1	세계 오염사고 발생건수 및 유출량	7
Table 2-2	세계 오염사고 유출원별 발생건수	9
Table 2-3	우리나라 오염사고 발생건수 및 유출량	12
Table 2-4	우리나라 오염사고 유출원별 발생건수	14
Table 2-5	우리나라 오염사고 유출원인별 발생건수	16
Table 2-6	우리나라 오염사고 해역별 발생건수 및 유출량	18
Table 3-1	주요 항구의 월별 평균 풍속(%)	21
Table 3-2	주요 항구의 월별 순간최대풍속(%) 및 풍향	23
Table 3-3	주요 항구의 월별 평균 안개 발생일수	26
Table 3-4	주요 항구의 월별 평균 안개 계속시간	27
Table 3-5	주요 항구의 월별 평균 강수일수(일 강수량 \geq 0.1mm)	29
Table 3-6	주요 항구의 월별 평균 강수량(mm)	31
Table 3-7	주요 항구의 월별 평균 강수 계속시간	32
Table 3-8	월별 파랑 발생일수(파고 \geq 1m)	40
Table 3-9	월별 최대 유의파고 및 파랑	41
Table 4-1A	주요 오염사고 분석표	48
Table 4-1B	주요 오염사고 분석표	49
Table 4-1C	주요 오염사고 분석표	50
Table 4-1D	주요 오염사고 분석표	51
Table 4-1E	주요 오염사고 분석표	52
Table 4-1F	주요 오염사고 분석표	53
Table 4-1G	주요 오염사고 분석표	54
Table 4-2	기름의 물리적 특성	61
Table 4-3	방제방법 선정시 사용 기준	67

<List of Figures>

Fig. 1-1	연구수행 흐름도	5
Fig. 2-1	세계 오염사고 연별 유출량	8
Fig. 2-2	세계 오염사고 유출원별 비율	9
Fig. 2-3	세계 오염사고 유출원인별 비율	10
Fig. 2-4	우리나라 오염사고 연별 발생건수 및 유출량	11
Fig. 2-5	우리나라 오염사고 유출원별 비율	13
Fig. 2-6	우리나라 오염사고 유출원인별 비율	15
Fig. 2-7	우리나라 오염사고 해역별 발생건수 및 유출량	17
Fig. 3-1	우리나라 주변 해류	33
Fig. 3-2	서해 중부 낙조류	35
Fig. 3-3	서해 중부 창조류	36
Fig. 3-4	남해 중,동부 낙조류	37
Fig. 3-5	남해 중,동부 창조류	38
Fig. 4-1	주요 오염사고 발생위치	55
Fig. 4-2	주요 오염사고 거리별 발생건수 및 유출량	56
Fig. 4-3	주요 오염사고 수심별 방제방법	57
Fig. 4-4	주요 오염사고 유종별 발생건수 및 유출량	58
Fig. 4-5	주요 오염사고 원인별 발생건수 및 유출량	59
Fig. 4-6	주요 오염사고 해, 기상별 발생건수 및 유출량	60
Fig. 4-7	벵커-C유의 물리적 특성 변화(좌:동계, 우:하계)	63
Fig. 4-8	주요 오염사고 시간별 방제방법	64

A Study on the Selection Criteria of Effective Marine Oil Spill Response Techniques in the Coastal Waters of Korea

Yoon, Young-Seok

*Department of Maritime Police Science
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

The coastal waters are most susceptible to pollution, because of the concentration of urban activities near coasts and rivers that eventually enter the sea. In Korea, metropolitan and medium size cities and ports are located near the coasts and estuary, and other coastal areas are widely used for resorts, fishing and cultivation. therefore oil spill can be a disaster to marine environment if spill accident happen in the coastal waters. In this regards, I culled the historical spill data and analyzed them focusing on the root cause of accident and the response techniques applied to the major oil spills which occurred in the coastal waters for past 16 years(1988~2003), then make some criteria of response options for future oil spill.

The results of study are as follows.

(1) Majority of spill is caused by operational failure, weather, violation of navigation rule and hull defect, therefore it requires responsible authority(MOMAF & KNMPA) to provide appropriate education and training program for ship's watch officers to be quality-upgraded, at the same time, strict inspection to hull condition should be made at the time of every inspection and/or survey.

(2) Preferable response tools employed in korean coastal waters were booming, recovery by *skimmer* or sorbent and dispersant use at the early stage of spill. These action such as deploying boom in the rough seas and applying dispersant to oil slick nearshore seems to be without due regard to type of spilled oil, weather condition, distance from shore and water depth.

(3) According to the historical data for past 16 years(1988~2003), mechanical recovery can be applied under the condition of SG of 0.87~0.97, wind speed of less than 20knots, current of less than 2knots and deploying only booms around sensitive area is helpful tools under dense fog. Regarding dispersant use, it can be applied under the condition of SG of 0.87~0.97, sea water temperature of more than 2°C, depth of more than 10m and it can also be applicable to the case that oil slick does not reach the shore within about 6.5 hours. However, considering that the developed countries such as U.S.A and England recently tend to mitigate the criteria for easy and prompt use of dispersant, it need to be reviewed that dispersant use is one of primary response options in Korea.

Historical response data used for this study seems to be not enough to establish the criteria for appropriate response techniques to future oil spill accidents, thus the author will continue to cull response reports and analyze to seek more practical and applicable response tools.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

해양은 전 지구표면의 약 70%를 점유하고 있으며, 전체 부피는 13억 7천만km³이고, 면적은 3억 6천만km² 정도에 해당하는 매우 넓고 큰 환경이다. 특히 우리나라의 경우 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 전형적인 해양 국가로서 육지면적의 약 3.5배에 달하는 넓은 대륙붕과 1만1천5백 킬로미터의 긴 해안선, 3천2백여 개의 섬들로 이루어져 있으며, 각종 어패류 등의 수산자원, 해저광물자원의 보고라는 경제적인 측면 외에도 환경학적인 측면에서 볼 때 오염물질을 정화하는 자정능력이 뛰어나고, 먹이사슬을 통한 환경질의 조절, 완충기능을 가지고 있으며, 수분의 공급과 저장을 통한 기후조절 기능도 중요한 해양의 특성중 하나이다. 또한 해수욕장, 해상공원 등 관광 및 레저의 공간으로서의 중요성이 점차 강조되고 있어, 환경보호의 산 교육장으로서도 중요한 의미를 갖게 된다. 그러나 해운 업계의 호황 및 세계 해상교역의 축이 아시아로 이동됨에 따라 우리나라의 선박 입, 출항이 2001년에는 34만 6천여 척에 이르고 있는 것과 같이 날로 증가하는 해상 교통량의 증가에 따라 최근 5년간 크고 작은 해양 오염 사고도 400여 건을 넘어서고 있다. 특히 기름 유출에 의한 해양 오염 사고는 전체 유출량으로는 40%에 불과하지만 사고가 일어나면 일시에 대량, 집중적이기 때문에 그로 인한 피해는 심각하다고 판단된다.

기름에 의한 세계적인 대형 해양오염사고를 보면 1967년 영국 남서 해안에 원유 119,000톤이 유출된 Torrey Canyon호 오염사고, 1978년 프랑스 북서부 해역에 원유 233,000톤이 유출된 Amoco Cardiz호 오염사고, 1989년 알래스카 Prince William에서 원유 약 37,000톤이 유출된 Exxon

Valdez호 오염사고, 1996년 영국 Milford Haven에서 원유 72,000톤이 유출된 Sea Empress호 오염사고, 그리고 최근 2002년 스페인 근해에서 벙커C 유 6만여 톤의 유출로 해안 900Km를 오염시켜 1조원이 넘는 천문학적 피해를 발생시켜 유럽연합 및 국제해사기구에서 해양오염사고 예방 및 대응을 강화시킨 Prestige호 오염사고 등이 발생하여 유류 오염사고의 피해에 대해 재차 인식하게 되었다.

우리나라의 경우, 해양오염사고에 대해 크게 인식하지 못하고 있었으나 1995년 여수 앞 바다에서 5,000여톤의 기름이 유출되어 남해안 일대를 황폐화시켜 사회적으로도 큰 파장을 불러 일으켰던 시프린스호 좌초사고 등 그 이후의 이와 유사한 대형 유류 오염사고가 발생하여 우리나라 연안의 생태계 파괴뿐만 아니라 수산 및 해안 관광에도 영향을 미쳐 보상 등을 포함한 막대한 경제적 손실을 가져왔다. 그러나 이로 인하여 국가적 차원의 해양오염방지 및 대응에 필요한 자원 확보, 개발, 연구에 많은 투자를 하여 방제 능력을 향상시키는 기폭제가 되어 예전에는 한번의 오염사고로 피해가 막대했었는데 반하여 현재는 방제 능력 및 기술의 향상으로 그에 따른 피해도 점차 감소 추세를 보인다.

한편 해양 유류 오염사고가 발생하면 해상에 유출된 기름을 제거하는 방법에는 오일붐(boom)과 유회수기(skimmer)를 이용한 기계적 포집 및 회수, 유처리제 사용(dispersant use), 해안오염방제 및 자연적 제거 등이 있다. 그런데 이러한 방제방법들은 자연적, 지리적 환경, 기름의 종류, 유출량, 연안해역과의 상대적 위치, 동원 가능한 방제장비의 종류 및 수량, 인력 등을 고려하여 가장 효과적이고 적합한 방법이 채택되어야 하고 상황에 따라 여러 방법을 같이 사용하는 것도 가능하다.

따라서 본 연구에서는 각각의 방제 방법을 신속하게 적용하기 위해 각 해역별 기상, 해상 및 지형조건을 분석하여, 장소별 적합한 방제 방법을 선정하고 또 과거 16년 동안 발생했던 오염사고 중에 피해가 큰 46개의

주요 기름 오염 사고를 분석하여 우리나라 연안역에서 발생하는 해양오염사고에 적용가능한 방제방법과 그 기준을 도출하여 방제 능력을 향상시키기 위한 대책 마련에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

1.2 자료 및 방법

(1) 자 료

본 논문에서의 연구 해역은 우리나라 서해, 남해, 동해 각 해역에서의 주요 항구들이며, 여기에는 주로 다음과 같은 자료를 참고 및 이용되었다.

- 기상청 발행 기상연보(1980~1999)
- 국립 해양조사원 발행 조류도
- 국립 해양조사원 발행 해도
- 해양경찰청 해양오염 방제사례집(1998~2003)

(2) 연구 방법 및 절차

본 연구는 크게 3단계로 나누어 진행하였다.

1단계에서는 지금까지 발생한 세계적인 주요 해양오염사고와 우리나라의 주요 해양오염사고의 통계를 분석하였다.

2단계에서는 연구 해역에서의 자연환경을 조사하여 오염 사고에 영향을 주는 해양조건, 기상조건 및 지형조건을 자료를 수집·분석하였다.

3단계에서는 우리나라 연안역에서 발생하여 큰 피해를 주었던 주요 오염 사고를 분석하여 해역별 효과적인 해양오염 방제방법의 선정 기준에 대하여 조사하였다.

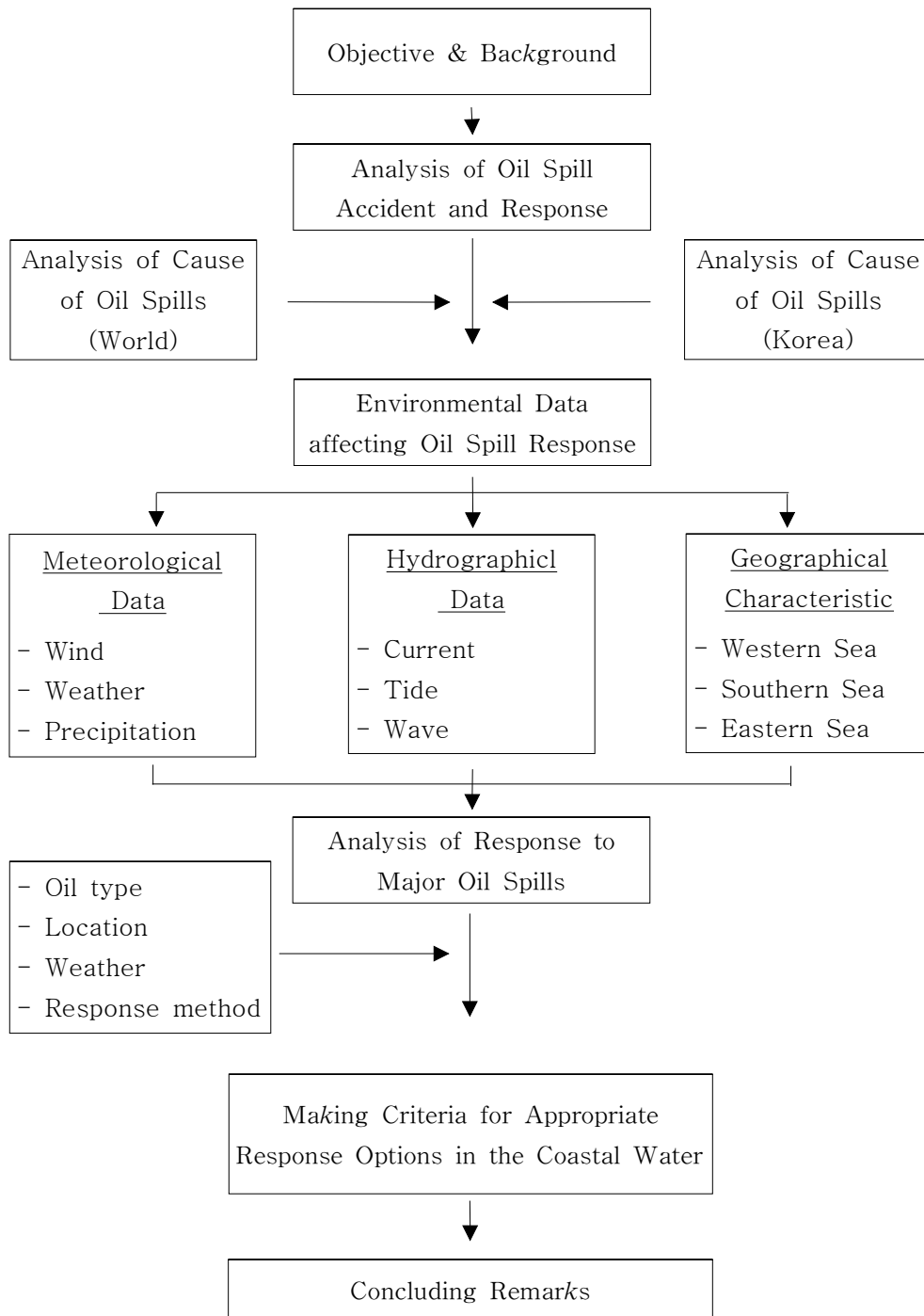


Fig. 1-1 연구 수행 흐름도

2. 해양 유류오염사고

2.1 세계적 오염사고 통계분석

2.1.1 세계 오염사고 발생건수 및 유출량

세계에서 발생한 해양오염사고를 분석하는 데에는 Dr. Etkin의 “Oil spill intelligence report”의 자료를 이용하여 국제적으로 발생한 해양오염사고를 분석하였다.

<Table 2-1>에서 보면, 40,000kl 이상의 유출이 일어났던 해의 총 유출량이 다른 해에 비하여 많음을 알 수 있다. 1980년에는 유조선 *Irenes Serenade*(138,541kl)와 *Juan A. Lavallega*(41,487kl)의 유출 사고가 있었고, 1983년에는 유조선 *Assimi*(59,808kl), *Castillo de bellver*(297,146kl)와 *Pericles GC*(53,994kl)의 유출사고가 있었으며, 1985년에는 *Nova*(80,823kl), 1988년에는 *Athenian Adventure*(40,132kl)와 *Odyssey*(163,146kl)의 유출사고가 있었으며, 1989년에는 *Exxon Valdez*(40,881kl)와 *Khark5*(75,706kl)의 유출사고가 있었고, 1991년에는 *ABT summer*(56,779kl), 1992년에는 *Katina P.*(60,564kl)와 *Aegean Sea*(82,898kl)의 유출사고가 있었고, 1993년에는 *Braer*(94,632kl), 1994년에는 *Thanassis A.*(41,260kl)의 유출사고가 있었다.

<Table 2-1> 세계 해양오염사고 발생건수 및 유출량(1980~1995)

년도	발생건수 (40kl이하)	발생건수 (4,000kl ~ 40,000kl)	발생건수 (40,000kl 이상)	유출량 (단위 : kl)
1980	91	5	2	248,728
1981	69	3	0	65,546
1982	75	1	0	27,863
1983	78	2	3	467,034
1984	65	6	0	61,863
1985	52	2	1	130,399
1986	81	0	0	30,070
1987	83	2	0	40,801
1988	52	3	2	245,870
1989	90	7	2	231,031
1990	81	4	0	82,799
1991	59	3	1	114,528
1992	48	2	2	170,985
1993	53	4	1	153,373
1994	59	2	1	104,073
1995	42	1	0	19,630
total	1,078	47	15	2,194,593

자료 : Oil Spill Intelligence Report(1997)

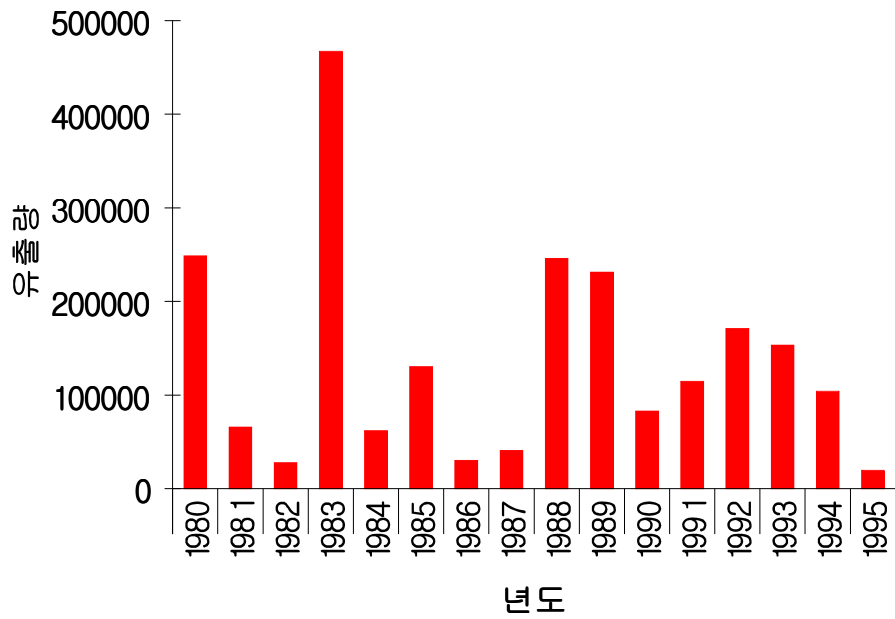


Fig. 2-1 세계 오염사고 연별 유출량

2.1.2 세계 오염사고 유출원

<Table 2-2>에서 보이는 바와 같이 유출원별로 구분하여 보면 탱커가 976건으로 가장 많은 56.7%를 차지하고 있으며, 예인선에 의해 기름을 운송하는 바지가 19.3%를 차지하고 있으며, 기름을 운송하는 선박에서 대부분의 유출사고가 일어났고 그 외의 선박에서 유출사고의 20%정도를 차지하고 있음을 알 수가 있다.

<Table 2-2 세계 해양오염사고 유출원별 발생건수(1960~1995)>

선 종	내수 유출	해양 유출	합 계
Tanker	34	942	976
Barge(oil)	122	210	332
Other Vessel	28	284	412
합 계	184	1,536	1,720

자료 : Oil Spill Intelligence Report

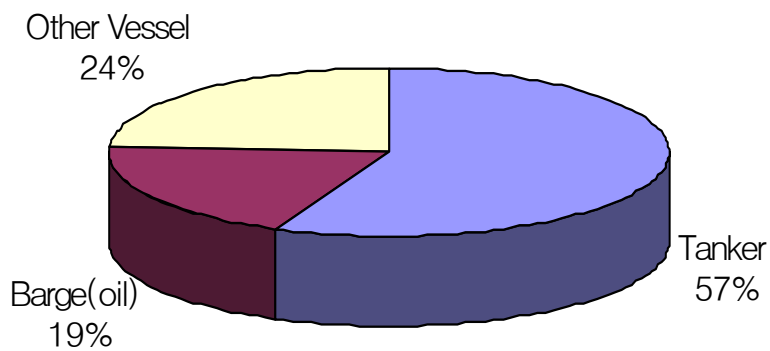


Fig. 2-2. 세계 해양오염사고 유출원별 비율

2.1.3 세계 오염사고 유출원인

<Fig. 2-3>은 해양오염사고를 초래하게된 원인의 비율을 나타내고 있다. 세계적인 유출 자료를 보면 가장 많은 비율을 차지하는 것은 좌초(grounding)와 충돌(collission)으로써 각각 25%와 21%를 차지함을 알 수가 있다. 그 다음으로 구조적 결함(structure failure, 9%), 폭발 및 화재(explosion/fire, 8%), ramming(8%)와 침몰(sinking, 7%)등이 해양오염사고의 기름 유출의 주요 원인임을 알 수가 있다.

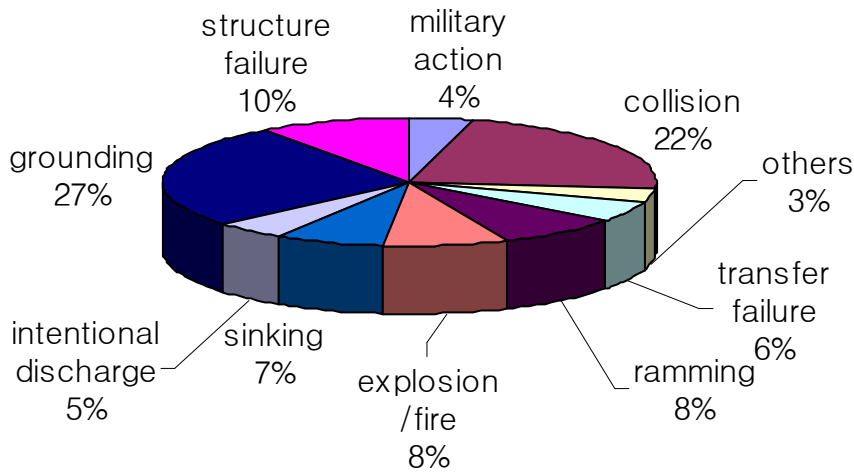


Fig. 2-3 세계 해양오염사고 유출원인별 비율

2.2 우리나라 해양오염사고 통계분석

2.2.1 우리나라 오염사고 발생건수 및 유출량

<Table2-3>는 우리나라 해양오염사고의 발생건수 및 유출량을 1988년부터 2003년도까지 각 년도별로 나누어 나타내었다. 대략 200~500건 사이로 나타나고 있으나 전반적으로 2000년까지는 발생건수가 증가하다가 2001년부터 다시 감소하기 시작하는 것을 알 수가 있다. <Fig 2-4>에서는 1988년부터 2003년도까지의 연간 유출량을 나타낸 것이다. 유출량은 매년 불규칙적으로 바뀌는 것을 그래프를 통해 알 수 있는데, 이는 특정 년도에 일어난 대형 유출사고의 발생 때문이다. 1993년에는 프런티어 익스프레스(8,682kl), 코리아 비너스(4,288kl) 그리고 제5금동호(1,228kl)의 유출사고가 있었고 1995년에는 시프린스(5,035kl), 제1유일호(2,392kl) 그리고 호남사파이어(1,402kl)의 유출사고가 있었다.

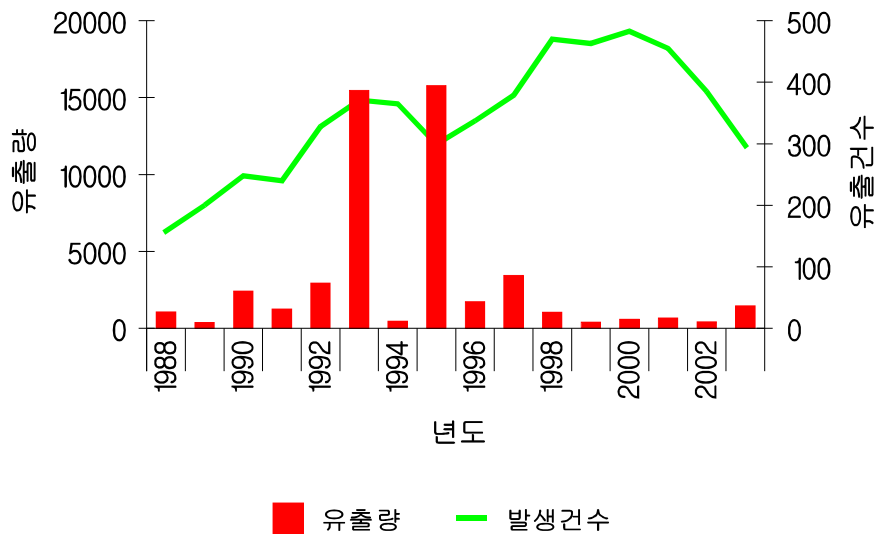


Fig. 2-4 우리나라 해양오염사고 연별 발생건수 및 유출량

<Table 2-3> 우리나라 해양오염사고 발생건수 및 유출량(1991~2003)

년도	발생건수	유출량 (단위 : kl)
1988	158	1,058.2
1989	200	368.0
1990	248	2,420.6
1991	240	1,257.0
1992	328	2,942.5
1993	371	15,460.3
1994	365	456.1
1995	299	15,775.9
1996	337	1,720.1
1997	379	3,441.0
1998	470	1,050.2
1999	463	386.9
2000	483	583.0
2001	455	668.1
2002	385	409.9
2003	297	1,457.7
합 계	5,478	49,455.5

자료 : 해양오염 방제 사례집(해양경찰청)

2.2.2 우리나라 오염사고 유출원

<Fig. 2-5>에서 보이는 바와 같이 유출원별로 구분하여 보면 어선이 48%를 차지하고 있고 화물선이 18%, 기타 선박이 12%, 유조선이 9%, 육상이 10%, 그리고 기타 유출이 3%를 차지하고 있다. 이는 세계적인 해양오염사고에서 유조선 및 기름 운송 바지가 80%를 차지하고 있는 것과는 대조를 이룬다.

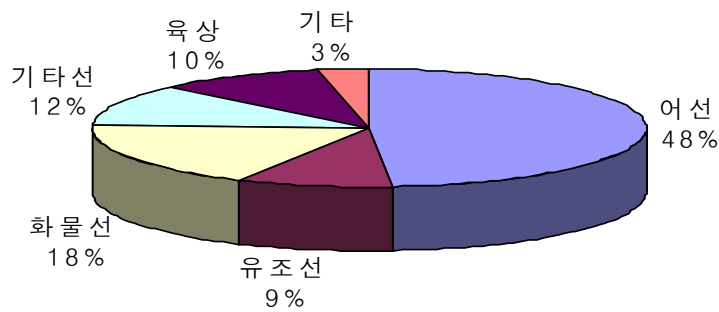


Fig. 2-5. 우리나라 해양오염 사고 유출원별 비율

Fig. 2-5. 우리나라 해양오염 사고 유출원별 비율

<Table 2-4> 우리나라 해양오염사고 유출원별 발생건수

년도	어선	유조선	화물선	기타선	육상	기타	계
1988	73	10	41	19	12	3	158
1989	92	18	44	22	20	4	200
1990	96	18	40	37	49	8	248
1991	97	35	65	19	17	7	240
1992	119	44	93	26	42	4	328
1993	145	47	98	26	43	12	371
1994	167	32	88	37	34	7	365
1995	134	41	65	29	21	9	299
1996	151	37	53	45	33	18	337
1997	197	35	65	43	31	8	379
1998	269	27	68	54	37	15	470
1999	247	28	68	64	35	21	463
2000	272	28	61	56	42	24	483
2001	259	33	52	61	39	11	455
2002	218	32	33	62	32	8	385
2003	134	29	41	46	40	7	297
합 계	2,670	494	975	646	527	166	5,478

자료 : 해양오염방지 사례집

2.2.3 우리나라 오염사고 유출원인

1988년부터 1995년까지 5,478건의 해양오염사고를 유출 원인별로 나누어 분석하였다. 전체의 55%를 차지하는 것이 부주의에 의한 오염사고로 나타났고, 고의로 유류를 배출한 것이 20%를 차지하고 있으며, 12%는 해난에 의한 사고로 인한 유출사고임을 알 수 있다. 파손에 의한 해양오염 사고는 4%이며, 기타의 원인이 2%를 차지하고 있다.

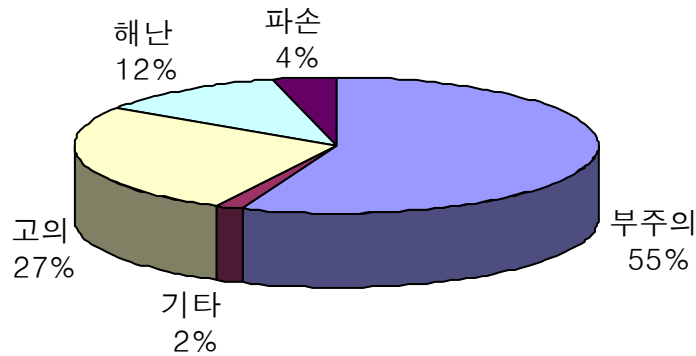


Fig. 2-6 우리나라 해양오염사고 유출원인별 비율

<Table 2-5> 우리나라 해양오염사고 유출원인별 발생건수

년도	부주의	고의	해난	파손	기타	계
1988	88	42	19	6	3	158
1989	111	41	39	5	4	200
1990	109	68	47	16	8	248
1991	103	47	72	11	7	240
1992	155	95	55	19	4	328
1993	213	68	68	10	12	371
1994	231	55	56	16	7	365
1995	183	32	56	19	9	299
1996	189	46	62	22	18	337
1997	201	60	94	16	8	379
1998	195	105	131	24	15	470
1999	237	88	101	16	21	463
2000	199	111	123	26	24	483
2001	204	67	150	23	11	455
2002	164	31	149	33	8	385
2003	121	24	113	32	7	297
합 계	2,703	980	1,335	294	166	5,478

자료 : 해양오염방지 사례집

2.2.4 우리나라 오염사고 해역

<Table 2-6>은 우리나라 각 해역별로 발생한 해양오염사고 발생건수를 나타낸 것이다. 발생빈도는 총 발생건수 5,478건 중 남해 권에서 2,437건(45%)이 발생되었으며, 서해 권에서 1,654건(30%), 동해 권에서 1,387건(25%)이 발생한 것으로 나타난다. 유출량별로는 총 유출량 49,455.5kl 중 남해 권에서 23,397.6kl(47%), 서해 권에서 18,386.0kl(37%), 동해 권에서 7,671.9kl(16%) 순으로 유출되었다. <Fig. 2-7>에서는 해역별 오염사고 발생건수와 기름 유출량을 도표로 나타내고 있는데, 발생건수 및 유출량 모두 남해에서 가장 많이 발생하고, 그 뒤로 서해에서 주로 발생되고 있는 것을 알 수 있다. 이는 선박 및 유조선의 입출항이 빈번한 해역에서 대량 오염사고가 많이 발생함을 알 수가 있다.(한국해양오염방제조합, 2003)

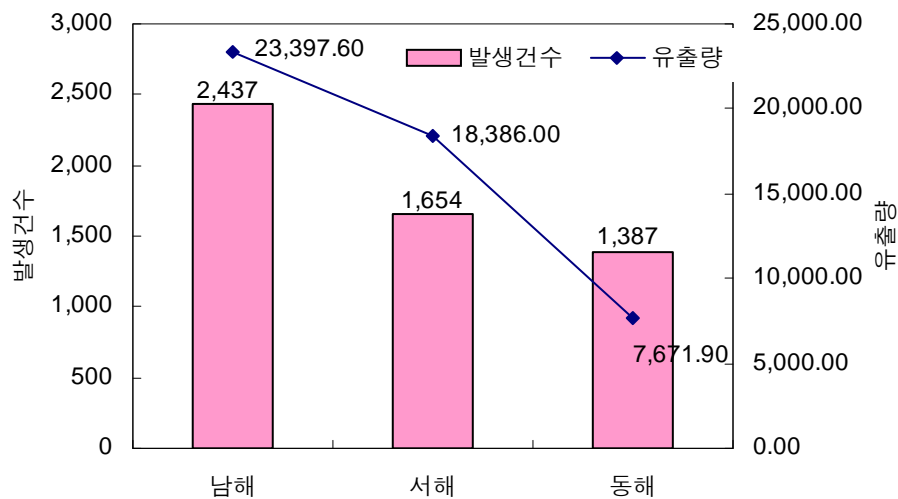


Fig. 2-7 우리나라 오염사고 해역별 발생건수 및 유출량

<Table 2-6> 우리나라 오염사고 해역별 발생건수 및 유출량

년도	남해		서해		동해		계	
	건수	발생량 (kl)	건수	발생량 (kl)	건수	발생량 (kl)	건수	발생량 (kl)
1988	85	30.6	53	24.4	20	1,003.2	158	1,058.2
1989	82	139.4	88	222.6	30	6.0	200	368.0
1990	100	496.4	109	1,908.0	39	16.2	248	2,420.6
1991	119	190.2	94	1,054.2	27	12.6	24	1,257.0
1992	145	2,410.1	131	477.2	52	55.2	328	2,942.5
1993	138	2,336.0	136	13,066.9	97	57.4	371	15,460.3
1994	173	281.8	108	81.2	84	93.1	365	456.1
1995	140	10,633.5	75	88.6	84	5,053.8	299	15,775.9
1996	155	1,148.9	85	522.6	97	48.6	337	1,720.1
1997	142	2,505.7	91	155.6	146	779.7	379	3,441.0
1998	164	650.2	119	60.6	187	339.4	470	1,050.2
1999	205	262.8	119	57.1	139	67.0	463	386.9
2000	240	253.9	132	272.2	111	56.9	483	583.0
2001	217	587.7	115	68.0	123	12.4	455	668.1
2002	179	126.7	122	256.2	84	27.0	385	409.9
2003	153	1,343.7	77	70.6	67	43.4	297	1,457.7
합 계	2,437	23,397.6	1,654	18,386.0	1,387	7,671.9	5,478	49,455.5

자료 : 해양오염방제 사례집(해양경찰청)

3. 해역 환경 조사

3.1 기상 조건

인간의 활동과 해양 생태계에 심각한 영향을 미치는 해양 오염 사고의 대부분은 연안해역에서 발생하며, 여기서 유출된 기름은 복잡한 물리적, 화학적 과정을 거치면서 변화하게 된다. 그래서 해양오염방제에서는 연안역에서의 바람, 강수 및 안개와 같은 기상요소와 해류, 조류 및 파와 같은 해양 요소가 매우 중요한 역할을 한다.

3.1.1 바람

바람은 공기의 흐름으로 해상에서 해류를 발생시킴과 동시에 파를 생성시키는 구동력이 된다. 바람은 해상에 유출된 기름을 이동시키고, 수주 내에서 상하 혼합되게 하고 오염 방제 장비의 선택 및 작업 과정에도 중요한 영향을 미치는 중요한 요소이다. 우리나라는 지형적인 조건으로 인하여 계절풍의 영향을 많이 받아 여름에는 남동~남서풍이 우세하며, 겨울에는 북서~북동풍이 우세하다. 그리고 겨울철에는 동쪽의 해양과 서쪽의 대륙간 기압의 차이가 크게 되어 풍속이 강하고 반대로 여름철에는 풍속이 약하게 된다. 그러나 세부적으로는 지형적인 요인으로 인하여 지역별로 다른 특징을 보이는 곳도 있으며 해안지방에서는 해륙풍이 나타나기도 한다.

(1) 평균풍속

<Table 3-1>은 우리나라 주요 항구에 대한 지난 20년간(1980~1999년)의 월별 평균 풍속을 나타낸다. 월별 평균 풍속은 일반적으로 11~3월에 강하고, 6~9월에 약하게 나타나지만, 지역에 따라 다소 다른 경향

을 보인다. 마산 및 포항에서는 풍속의 연교차가 0.5m/s 이하로 연중 거의 균일한 값을 보이며, 부산에서는 여름(7~8월)의 풍속이 4.0m/s로 겨울의 풍속만큼 강하게 나타난다. 연 평균 풍속은 목포가 4.2m/s로 가장 강하고, 군산도 4.0m/s 이상으로 비교적 강한 편이다. 반면에 마산, 울산, 포항에서는 연 평균 풍속이 3.0m/s 이하로 바람이 약하다. 평균 풍속의 월 변화를 살펴보면, 1, 2, 3, 4월과 여름의 7월에 강하고, 9, 10, 11월에는 약하다. 태풍에 의한 7월에 있어서의 최대 값을 제외하면, 풍속은 여름과 가을에 약하고, 봄과 겨울에 강하다는 것을 알 수 있다.

<Table 3-1> 주요항구의 월별 평균풍속 (%) (1980~1999)

월 항구	월												전년
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
인천	3.5	3.7	3.8	3.6	3.3	2.6	2.8	2.5	2.3	2.5	3.3	3.4	3.0
군산	3.6	4.2	4.4	4.3	4.0	3.6	3.5	3.5	3.6	3.6	3.8	3.7	3.9
목포	4.8	5.1	4.6	4.2	4.0	3.4	3.8	3.5	3.6	3.9	4.2	4.4	4.2
여수	4.8	4.8	4.5	3.9	3.3	3.0	3.3	3.6	4.1	3.9	4.0	4.2	4.0
마산	2.9	3.0	3.0	3.0	2.9	2.7	3.0	2.7	2.5	2.5	2.4	2.5	2.7
부산	3.9	4.1	4.2	4.2	3.9	3.5	4.1	3.9	3.7	3.5	3.6	3.8	3.8
울산	2.4	2.5	2.4	2.3	2.0	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.9	2.2	2.2
포항	3.1	3.0	3.2	3.1	2.9	2.7	2.7	2.9	2.9	2.7	2.7	2.8	2.9
강릉	3.3	3.0	2.5	2.6	2.4	1.6	1.7	1.5	1.9	2.4	2.8	3.4	2.5

자료 : 기상연보(1980~1999)

(2) 최대 풍속

<Table 3-2>는 주요 항구에 대한 20년(1980~1999년) 동안의 월별 순간최대풍속 및 풍향을 나타낸 것이다. 순간최대풍속은 대략 30~50m/s의 범위이다. 순간최대풍속은 평균풍속과 같은 뚜렷한 연 변화와 해역별 특징은 없지만, 대략 겨울과 여름의 열대 저기압 통과 시 순간최대풍속이 기록되는 것으로 보인다. 풍향의 경우에는 어느 정도 규칙성을 보여준다. 즉, 계절풍과 지형적인 요인에 의해 서해안에서는 겨울에 서~북서풍, 여름에는 남~서풍, 남해안에서는 겨울에 북서~북풍, 여름에는 남동~남서풍, 동해안에서는 겨울에 남서~서풍, 여름에 동~남풍의 바람이 불었던 것으로 나타난다.

<Table 3-2> 주요 항구의 월별 순간최대풍속(m/s) 및 풍향

월 항구	월												전년
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
인천	26.0 WS W	22.7 WN W	3.9 WN W	29.6 SSE	24.4 SE	24.1 NNE	24.7 SW	32.0 SW	24.4 SE	28.7 WN W	25.0 SE	2.6 WN W	31.9 SW
군산	29.6 NW	30.3 WN W	28.7 NW	30.0 W	23.7 W	33.4 W	32.5 WS W	29.6 W	24.7 WN W	40.4 NW	32.2 NW	37.8 WN W	41.1 NW
목포	27.9 NW	28.4 WN W	26.8 W	29.0 SW	25.5 SE	27.3 W	30.0 NW	34.8 S	25.0 NW	28.0 NN W	27.3 WS W	28.5 NW	35.0 S
여수	31.5 N	29.5 WN W	32.4 N	34.9 NW	28.4 ESE	28.2 ENE	40.5 SSE	42.2 NE	34.1 NNE	30.1 NE	30.4 NE	30.1 WS W	42.2 NE
마산	22.1 NW	27.7 NN W	22.9 NW	37.6 SS W	25.9 NNE	21.9 SS W	41.3 SE	39.8 NW	24.5 SSE	26.0 SS W	35.0 NN W	28.0 WN W	42.2 SE
부산	27.6 NW	26.9 NW	27.6 WS W	32.8 SS W	27.6 SS W	28.3 SW	39.5 SS W	42.2 NE	29.3 NE	29.5 SS W	30.6 W	35.1 NW	42.7 NE
울산	22.5 NN W	22.0 NW	23.0 W	25.3 N	21.9 WS W	20.2 ENE	30.2 SE	35.6 NN W	24.2 N	26.2 NE	20.4 NN W	24.5 WN W	35.5 NN W
포항	34.3 SW	24.3 N	25.6 SW	33.5 N	26.8 N	22.0 NNE	30.2 S	36.5 N	23.7 N	30.0 NNE	21.8 W	28.9 WS W	36.9 N
강릉	30.7 SW	27.4 SW	27.7 SW	40.9 SS W	32.7 WS W	22.9 WS W	31.9 ESE	26.1 ESE	20.8 WS W	31.7 WS W	25.1 SW	32.2 WS W	41.7 SS W

자료 : 기상연보(1980~1999)

3.1.2 안개

안개는 지표면 부근의 기층에 떠있는 미세한 수적 또는 빙정과 같은 부유물로 시정이 1,000m 이하인 것을 안개라 한다. 안개는 특히 시정을 제한시키기 때문에 해상에서 항행하는 선박에게는 물표나 항로표지 등의 인지 및 다른 선박의 동정을 관찰하는데 어려움을 줌으로써 충돌 또는 좌초와 같은 해양사고의 주 원인이 된다. 안개는 대기 중의 수증기가 응결하여 생성된 것이므로 안개가 발생하기 위해서는 공기 중에 수증기가 많거나, 응결핵이 많이 부유하고 있거나, 또는 공기덩어리가 노점온도 이하로 냉각되어야 한다.

안개는 물리적 생성과정에 따라 증기무, 전선무, 복사무 및 이류무 등으로 구분된다. 이 중 복사무는 육상에서 야간에 지표면의 강한 복사냉각이 원인이 되어 발생하는 것이지만 연안 부근에서는 해상으로 흘러나오기 때문에 해상에서 관측되며, 이에 따라 항해하는 선박의 물표 및 항로표지 시인에 장애가 되기도 한다.

여러 가지 종류의 안개 중에서 우리나라 부근의 해상에서 발생하는 대부분의 안개는 이류무인데, 이것은 일반적으로 다른 안개에 비해 두껍고, 발생범위가 넓으며, 지속기간이 긴 것이 특징이다.

우리나라 연안 해역에서 발생하는 안개의 경우, 서해에서는 봄부터 대륙방면의 기온은 상승하는데 비해 해수온도는 아직 저온인 때에 대륙으로부터 따뜻한 기류가 저온 수역으로 흘러 들어와 발생하며, 발생시기는 3~7월이며, 특히 5~7월에 집중된다. 남해에서도 서해와 마찬가지로 봄부터 여름까지 남쪽에서 유입되는 고온 건조한 기류가 남해상의 저온수역을 통과하면서 발생한다. 그리고 동해에서는 안개 출현기가 4~8월이며, 7월이 최성기이다. 이곳에서는 온난한 대륙의 공기나 남쪽으로부터 대마난류에 의해 수송된 따뜻한 공기가 북쪽에서 남하하는 리만해류 및 북한해류 역을 흐르면서 발생한다.

(1) 발생일수 및 계속시간

<Table 3-3>은 주요 항구에 대한 20년(1980~1999년) 동안의 월별 평균 안개 발생일수를 나타낸다. 연간 안개 발생일수는 군산과 인천이 45일 이상으로 가장 많고, 마산과 포항이 6일 정도로 가장 적다.

월별, 해역별로 비교해 보면 서해에서는 연중 안개가 발생하며, 특히 4~7월에 많이 발생하고, 군산에서는 10월과 11월에도 자주 발생한다. 남해안에서는 대부분 4~8월에 발생하고, 특히 6월과 7월에 집중되며, 나머지 달에는 거의 발생하지 않는다. 그리고 남해안 중서부 해역에서 비교적 안개가 자주 발생하고, 부산에서도 5~7월에 안개가 자주 발생하는 편이다. 동해안에서는 4~8월에 안개가 형성되고 나머지 달에는 거의 발생하지 않는다. 지역별로는 동해안 남부에서 안개가 적은 편이며 울진, 속초 및 울릉도에서 비교적 안개가 자주 형성된다.

<Table 3-4>은 주요 항구에 대한 20년(1980~1999년) 동안의 월별 안개 계속시간을 나타낸다. 안개 계속시간 분포는 안개 발생일수 분포와 거의 유사한 패턴을 보이며, 인천과 울릉도가 가장 길고, 마산과 포항이 가장 짧다. 월별로는 전반적으로 안개 발생 빈도가 봄에서 여름에 걸쳐 길고, 겨울에 짧다. 그리고 울릉도, 속초, 울진, 여수, 완도 및 인천은 다른 지역에 비하여 안개 발생일수에 대한 계속시간 비가 크게 나타나 동해 중부, 남해 중서부 및 서해 중부에서는 지속성이 강한 안개가 형성되는 것으로 보인다.

<Table 3-3> 주요 항구의 월별 평균 안개 발생일수

항구	월												전년
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
인천	2.2	3.0	4.3	5.5	6.4	6.9	9.6	3.3	2.0	3.0	2.7	2.6	51.0
군산	2.0	12.0	4.1	5.3	4.8	5.3	4.1	3.1	4.2	5.4	4.7	1.9	46.0
목포	0.7	1.4	1.8	3.1	3.1	3.1	4.0	1.6	2.0	2.8	2.5	1.1	27.0
여수	0.6	0.6	1.5	2.6	3.8	5.6	0.1	0.7	0.5	0.4	0.8	0.6	24.0
마산	0.6	0.2	0.6	1.5	1.0	1.4	0.5	0.1	0.0	0.3	0.8	0.5	7.2
부산	0.1	0.5	1.0	2.1	3.6	5.0	5.7	0.8	0.3	0.2	0.3	0.2	19.0
울산	0.2	0.2	0.5	1.4	2.0	3.7	2.6	0.5	0.3	0.4	0.6	1.1	13.0
포항	0.1	0.0	0.3	0.4	0.6	1.8	1.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	4.3
강릉	0.3	0.5	0.6	1.1	1.1	3.5	3.0	2.1	0.5	0.2	0.1	0.2	13.0

자료 : 기상연보(1980~1999)

<Table 3-4> 주요 항구의 월별 평균 안개 계속시간

항구	월												전년
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
인천	14.6	20.3	23.0	34.2	42.6	41.2	60.2	15.0	7.8	14.8	16.3	13.2	303.0
군산	12.5	12.3	20.3	29.9	22.2	21.5	12.7	10.6	16.3	22.4	25.8	8.1	214.6
목포	3.6	7.4	5.7	10.2	10.6	11.9	13.2	4.7	6.0	9.8	12.8	6.4	102.1
여수	1.6	3.5	6.2	13.4	20.9	28.2	32.3	2.0	1.1	0.6	2.9	3.8	116.5
마산	1.0	0.2	2.1	6.2	3.3	5.8	1.3	0.1	0.0	0.4	2.9	2.1	25.4
부산	0.7	1.1	2.5	9.9	16.6	24.5	20.4	1.5	0.5	0.0	0.6	0.0	78.3
울산	0.5	0.2	1.3	6.2	7.5	15.1	9.6	1.2	0.3	0.5	0.8	0.3	43.5
포항	0.2	0.2	1.3	2.58	1.2	8.3	2.8	2.0	0.8	0.5	1.2	0.2	21.0
강릉	1.9	1.5	1.9	3.59	4.6	17.3	12.1	6.9	1.2	1.0	0.1	0.4	52.4

자료 : 기상연보(1980~1999)

3.1.3 강수

(1) 강수일수

대기 중에서 수증기가 응결하여 수적이나 빙정으로 되어 지표면에 낙하한 것을 총칭하여 강수라 한다. 강수의 종류에는 비, 눈, 진눈깨비 및 우박 등이 있으며, 넓은 의미로는 지표면에서 응결한 이슬이나 서리도 강수에 포함된다. 강수는 때때로 시정을 대단히 악화시키므로 선박의 안전 운항에 장애가 되기도 한다.

우리나라에서 많은 강수를 내리게 하는 원인은 주로 태풍과 장마전선으로, 이것들의 영향을 받는 여름에는 특히 단시간에 집중호우가 내려 많은 피해가 발생하기도 한다.

<Table 3-5>는 주요 항구에 대한 20년(1980~1999년) 동안의 1일 강수량이 0.1mm 이상인 날의 월 평균 발생일수를 나타낸다. 연 강수일수는 여수와 강릉이 180일 이상, 포항, 인천이 167일, 151일로 가장 많고, 남해안 중동부 및 동해안 남부해역에서 100일 이하로 비교적 적은 편이나, 해역별로 큰 차이를 보이지 않는다.

월별 강수일수는 일반적으로 6~8월에 가장 많고 한랭 건조한 시베리아 기단의 영향권에 드는 10~12월에 적게 나타난다. 그러나 군산, 목포에서는 겨울의 강수일수가 여름과 비슷하다.

<Table 3-5> 주요 항구의 월별 평균 강수일수 (일 강수량 $\geq 0.1\text{mm}$)

월 항	월												전년
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
인천	7.1	5.5	6.7	7.0	8.4	9.4	15.0	12.0	7.3	6.4	59.0	7.4	151.0
군산	11.0	8.2	8.8	7.8	8.0	9.0	13.0	12.0	8.1	6.2	10.0	11.0	114.0
목포	12.0	10.0	9.7	8.6	8.9	10.0	13.0	12.0	7.8	6.6	8.9	9.3	116.0
여수	5.5	6.5	9.4	91.0	9.6	11.0	14.0	11.0	8.2	5.2	6.4	4.1	182.0
마산	5.9	6.4	9.4	9.3	10.0	13.0	16.0	14.0	10.0	5.1	5.7	4.3	109.0
부산	5.2	6.0	8.4	9.2	9.5	11.0	13.0	12.0	8.3	5.4	5.5	4.2	97.0
울산	5.2	6.3	8.4	8.7	8.8	10.0	13.0	12.0	9.4	5.8	5.3	3.9	97.0
포항	4.9	6.3	9.1	8.5	77.0	9.5	13.0	12.0	9.7	6.4	5.8	4.2	167.0
강릉	5.4	6.8	9.0	8.2	79.0	11.0	16.0	16.0	10.0	7.3	7.3	4.6	180.0

자료 : 기상연보(1980~1999)

(2) 강수량 및 강수 계속 시간

<Table 3-6>은 주요 항구에 대한 20년(1980~1999년) 동안의 월별 평균 강수량을 나타낸 표이다. 여기에서의 강수량은 비, 눈, 진눈깨비 등이 모두 포함된 양이지만, 서해안 및 동해안 중부의 일부지역 겨울을 제외하면 거의 대부분 강우에 의한 양을 나타내고 있다.

우리나라의 연 평균 강수량은 대략 1,000~1,500mm이며, 지역에 따라 상당한 차이를 보인다. 연 강수량은 마산, 부산에서 가장 많고, 목포, 포항, 강릉에서 800mm 내외로 가장 적다. 따라서 우리나라에서는 제주도를 포함한 남해안 중동부 해역이 다우지역이며, 동해안 남부지역이 건조지역임을 알 수 있다. 이와 같은 분포는 지형적인 영향 때문으로 보인다.

지역별 연 강수량 분포와 <Table 3-5>의 연 평균 강수일수 분포 간에 다소 차이를 보인다. 마산, 부산에서는 강수일수가 가장 적은 데도 불구하고 강수량은 가장 많아 집중적인 강수현상이 많은 지역임을 알 수 있다. 반면에 목포, 강릉 및 울릉도는 강수일수에 비해 강수량이 적은 지역이다.

월별 강수량은 대부분 지역에서 우리나라 부근에 장마전선이 형성되는 6월에서 8월 사이에 집중되고 12~2월 사이에 가장 적다. 그리고 군산, 목포에서는 1월의 강수일수는 여름의 강수일수와 비슷하지만, 강수량은 여름의 10~20%에 불과함을 알 수 있다.

<Table 3-7>은 주요 항구에 대한 20년(1976~1995년) 동안의 월별 평균 강수 계속시간을 나타낸다. 강수 계속시간의 분포를 살펴보면, 해역별로 월별 강수에 의한 시정 불량 시간을 어느 정도 파악할 수 있다. 연 강수 계속시간은 대략 700~1,200시간이며, 인천이 712시간으로 가장 짧으며, 월별로는 6~8월에 가장 길고 10~12월에 짧게 나타난다. 지역별로 서해 남부(군산, 목포), 동해중부(강릉)에서는 겨울에도 강수시간이 길게 나타나고 있다. 그리고 울산, 포항에서는 7월과 8월의 강수일수에 대한

강수 계속시간 비가 다른 지역보다 작아, 이 지역에서는 여름에 지속적인 강수현상은 나타나지 않는 것으로 보인다.

<Table 3-6> 주요 항구의 월별 평균 강수량(mm)

월 항구	월												전년
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
인천	17.6	15.5	31.5	56.5	72.2	84.0	252	198	118	48.6	44.9	18.3	958.1
군산	23.8	29.3	37.6	54.7	67.8	112	202	210	97.7	37.2	47.2	27.1	946.3
목포	28.3	36.0	44.0	55.3	79.9	127	150	145	107	42.1	37.3	20.2	883.2
여수	21.5	39.5	57.9	91.3	116	160	216	213	129	41.7	32.7	13.3	1131
마산	35.0	51.6	75.5	121	145	234	262	277	137	54.7	47.9	23.8	1465
부산	27.7	39.9	62.6	99.1	115	157	219	205	143	49.1	35.6	15.8	1169
울산	26.5	35.9	55.3	80.0	73.5	135	173	204	134	48.6	32.3	18.8	1016
포항	29.4	37.2	54.4	57.1	52.0	95.3	145	184	114	37.9	31.5	20.7	838.8
강릉	47.9	41.6	59.3	53.8	64.0	90.3	174	233	174	89.5	58.6	36.2	786.2

자료 : 기상연보(1980~1999)

<Table 3-7> 주요 항구의 월별 평균 강수 계속시간

월 항구	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
인천	48.5	38.6	55.2	58.4	78.0	79.2	129.2	97.1	58.6	37.3	56.8	45.3	782.1
군산	87.2	64.7	69.3	63.1	63.3	79.2	102.9	82.5	60.7	40.8	69.4	75.7	865.8
목포	97.2	82.0	79.8	71.6	79.3	100.6	105.7	74.3	65.2	45.0	60.3	65.7	926.4
여수	52.3	62.8	81.0	88.7	96.2	121.0	124.1	89.9	75.7	43.0	45.7	32.1	912.5
마산	49.4	65.2	81.0	77.6	97.1	124.8	140.5	99.3	85.7	40.2	38.7	30.6	930.0
부산	50.6	59.1	79.9	88.6	95.0	116.8	122.9	97.9	89.5	46.0	41.4	30.4	918.1
울산	53.7	63.4	82.6	80.9	83.9	106.5	119.0	106.8	94.2	48.5	46.0	33.2	918.6
포항	51.1	64.3	82.6	72.1	72.4	93.2	116.2	110.6	93.4	48.0	48.2	35.2	887.2
강릉	68.4	84.0	105.2	88.0	88.7	125.4	165.9	170.4	109.5	67.1	76.9	55.9	1205.2

자료 : 기상연보(1980~1999)

3.2 해상 조건

3.2.1 해류

해류는 바다에서 흐르는 대규모의 강과 같은 물의 흐름으로 일반적으로 해안에서 어느 정도 떨어져 흐르기 때문에 연안 해역의 유류오염에는 중대한 영향을 미치지 않는다. 그러나 미국 알래스카의 “Exxon Valdez”호의 기름 유출사고 시, 상당량의 유출유가 알래스카 해류를 타고 해안을 따라 수백km를 이동한 경우가 있었으며, 또한 연안 해역에서도 기상 요인 및 밀도차 등으로 인해 해류가 발생하기 때문에 해류도 해상에 유출된 기름의 이동에 어느 정도 영향을 미치는 요소이다.

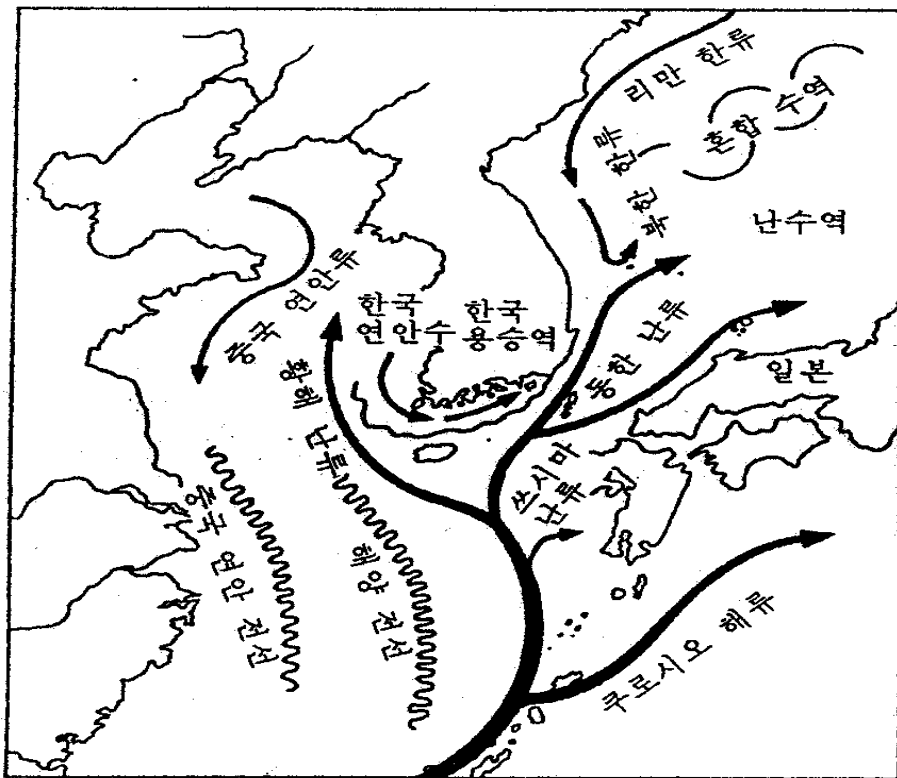


Fig. 3-1 우리나라 주변 해류

3.2.2 조류

조류는 해면의 승강 운동인 조석현상에 따라 일어나는 해수의 수평운동으로, 해안선의 지형적 형태가 정하여지는 데에도 큰 영향을 미치지만, 이것에 수반되어 발생하는 해수의 유동과 교대로 나타나는 고조 및 저조로 인한 조간대의 형성 때문에 유류오염에 매우 중요한 요소로 취급된다.

우리나라 해역 조류의 특징을 잘 나타내는 서해안의 인천과 그 부근 해역의 최강 창조류와 낙조류, 그리고 남해안 동부의 최강 창조류와 낙조류를 선정하여 조사하였다. 인천해역의 최강 창조류 시 최대유속은 5.5kts이며, 평균 2~3kts이다. 최강 낙조류는 최대 6.4kts이고 평균 2~3kts로 상당히 빠르다는 것을 알 수 있다. 반면에 남해 동부 지역의 최강 창조류 시 최대유속은 2.6kts이며 평균 0.5~1kts이고 최강 낙조류 시는 최대 2.5kts이며 평균 0.5~1kts로 상대적으로 유속이 느림을 알 수 있다.

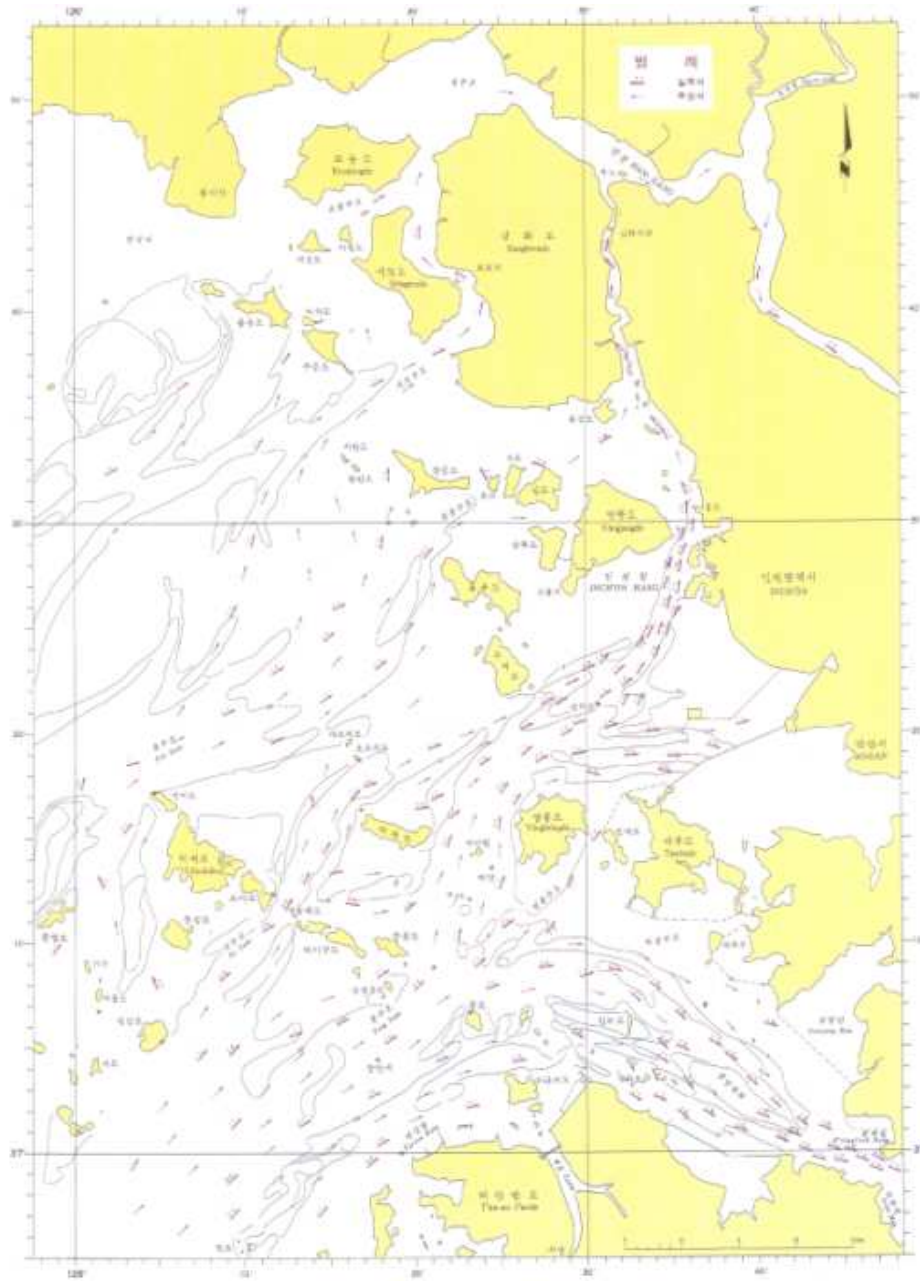


Fig. 3-3 서해 중부 창조류

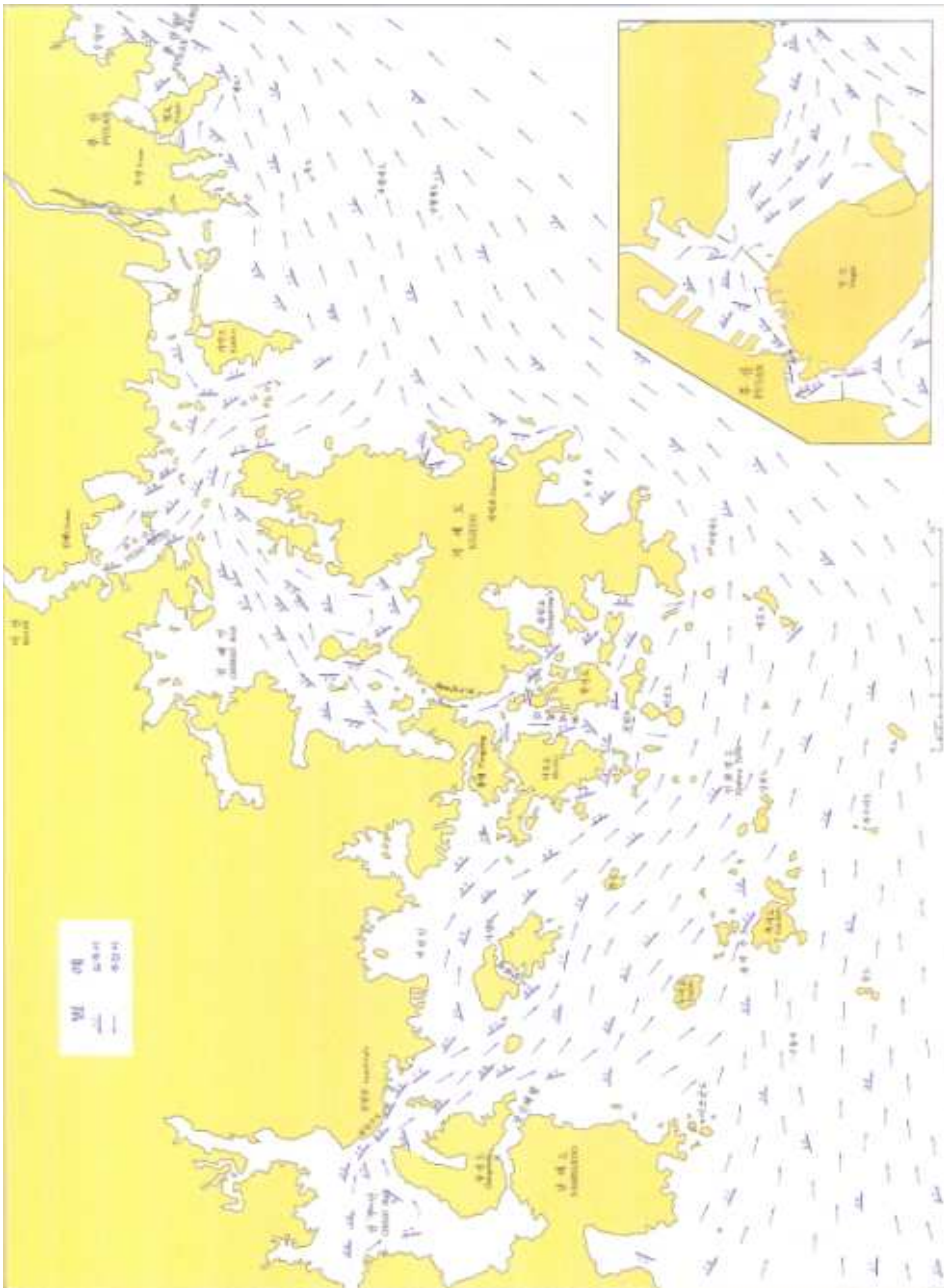


Fig. 3-4 남해 중,동부 낙조류



Fig. 3-5 남해 중,동부 창조류

3.2.3 파랑

<Table 3-8>은 서해, 남해, 동해 9개 섬 및 항구에 대한 10년 동안의 월별 파고 1.0m 이상 발생일수를 나타낸다. 해역별로 연 발생일수는 서해 남부(홍도)와 남해 동부(부산) 및 울릉도에서 많고, 남해 중서부에서 적다. 월별 발생빈도는 대략 동계(11~3월)에 많고, 하계(5~9월)에 적게 나타난다. 그러나 예외적으로 7월에는 전 지역 모두 발생일수가 많게 나타나고, 남해 중서부(서귀포, 소리도)에서는 오히려 여름에 더 자주 발생한다. 그리고 홍도, 부산 및 울릉도에는 매월 10회 이상 발생하여 높은 파가 연중 발생하는 해역임을 알 수 있고, 특히 울릉도에서는 겨울에는 거의 매일 1.0m 이상의 파가 발생한다는 사실을 알 수 있다.

<Table 3-9>은 9개 섬 및 항구에 대한 10년 동안의 월별 최대 유의 파고 및 파향을 나타낸다. 최대 유의파고는 서해와 남해에서는 여름이 겨울보다 높고, 그 파는 대략 남~서쪽에서 오는 파이다. 반면에 동해에서는 겨울의 최대 유의파가 여름보다 더 높고, 그 파는 북~북동쪽에서 오는 파이다. 이와 같은 최대 유의파고 및 파향 분포는 서해와 남해에서는 여름에 태풍의 영향을 받을 때 가장 큰 파가 발생하고, 동해에서는 겨울에 북~북동계절풍이 불 때 가장 큰 파가 발생한다는 것을 의미한다

<Table 3-8> 월별 파랑 발생일수(파고 ≥ 1.0m)

월 항구	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
대청도	15	12	10	10	9	6	11	6	6	7	13	16	9
여청도	15	12	10	9	9	7	13	8	6	7	12	15	10
홍도	20	18	16	13	12	11	17	11	11	11	15	19	15
서귀포	4	6	8	8	8	13	17	11	6	3	5	4	8
소리도	7	8	10	8	7	10	14	10	9	6	7	6	9
부산	15	14	16	11	10	14	18	16	15	12	12	13	14
포항	17	15	13	9	10	9	10	11	14	11	12	15	12
속초	21	15	12	9	7	7	10	9	11	12	15	19	12
울릉도	26	22	19	16	13	13	18	15	15	17	21	26	18

자료 : 해양수산부(1996)

<Table 3-8> 월별 파랑 발생일수(파고 ≥ 1.0m)

월 항구	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
대청도	3.7 NW	4.2 NW	3.9 WN W	5.1 S	3.4 S	3.8 NW	3.7 SSW	5.8 NW	3.8 NW	3.9 NN W	3.8 NW	4.5 NW	5.8 NW
어청도	4.6 NW	5.2 NW	3.8 NW	4.7 SSW	2.9 WN W	5.0 WN W	3.9 SSW	5.4 WN W	4.4 NW	4.5 NW	4.7 NN W	6.3 WN W	6.3 WN W
홍도	6.3 NN W	6.0 NW	5.4 NN W	5.5 S	4.1 SE	6.1 W	4.5 S	7.4 WN W	4.9 SSE	5.9 NN W	6.8 NW	6.2 NW	7.4 WN W
서귀포	2.9 WN W	4.1 SSW	3.2 E	5.4 SSW	4.0 SSE	4.2 SSE	5.1 SSE	10.1 WS W	6.0 S	3.3 WS W	3.4 NW	3.2 WS W	10.1 WS W
소리도	2.4 ENE	3.5 E	3.4 E	4.8 S	3.4 S	4.5 S	4.1 SW	7.2 SSW	5.4 S	3.2 WS W	3.0 E	2.5 WS W	7.2 SSW
부산	4.9 NE	5.0 NE	4.7 NE	5.8 SSW	3.2 NE	4.9 NE	4.1 NE	5.9 SSW	5.4 NE	4.5 NE	4.8 NE	3.8 NE	5.9 NE
포항	5.2 NE	5.9 NNE	4.1 NE	3.5 NNE	3.1 NE	4.8 NE	3.9 SE	6.2 NE	5.1 NE	3.8 ENE	4.7 NE	4.6 NE	6.2 NE
속초	4.6 NE	7.0 NNE	3.6 NE	3.7 N	3.1 ENE	4.2 NE	4.6 E	5.1 ESE	4.1 NNE	4.8 NE	3.9 ENE	5.1 NE	7.0 NNE
울릉도	6.6 N	9.3 N	4.5 NNE	5.7 SSW	3.5 ENE	4.8 NE	4.6 S	5.3 ENE	5.1 NNE	5.5 N	6.4 N	7.2 N	9.3 N

자료 : 해양수산부(1996)

주) 최대 유의파의 파향은 파의 오는 방향을 나타낸다

3.3 해역별 지형 특징

3.3.1 서해안

(1) 인천 및 부근해역

인천항은 한강의 지류인 염하의 하구에 위치하고 있으며, 부근에는 대소의 도서가 줄지어 있으므로 자연의 방벽을 이루고 있으나 조차가 극심하여 최대 10m에 달할 때도 있다. 인천항의 서쪽에는 영종도가 있고 섬 주위에는 간출니퇴가 널리 퍼져 있으며, 남측과 남서측의 퇴는 멀리 9km까지 뻗어 있어 남측 퇴의 동쪽 가장 자리는 인천항의 서쪽 한계를 이룬다. 또 인천항 남쪽에도 간출니퇴가 널리 퍼져있어 인천항의 동쪽 한계를 이루고 있다. 인천항에는 출입하는 항로는 동수도와 서수도가 있으며, 양 수도 모두 조류가 강하고 부근에는 천퇴와 암추가 많이 있다. 그리고 두 수도가 인천항 쪽에서 끝나는 지점의 서쪽에 높이 58m의 팔미도가 있고 섬 가까운 곳에는 암초와 간출암이 있다. 그리고 그 북서쪽 0.7마일에는 영종도 남쪽에 퍼져있는 간출니퇴의 남동측으로부터 남서쪽으로 뻗어있는 길이 약 7.4km의 긴 사퇴가 있다.

(2) 군산 및 부근해역

군산항은 금강의 하구에 위치하며 금강에서 유출되는 토사로 인하여 수심의 변화가 심하고 조차가 큰 항구이며 군산항과 군산 외항으로 구성되어 있다. 군산항 부근 해역은 해안선의 굴곡이 비교적 적고 도서가 그렇게 많지 않은 대체로 단조로운 지형을 하고 있다. 군산항 입구인 금강 하구 부근에는 강에서 흘러 내려오는 토사 때문에 불규칙한 간출 사퇴가 여러 곳에 형성되어 있다. 이 부근의 암초로는 오식도 서단 북서쪽 약 1.6마일에 2개의 큰 바위와 여러개의 바위로 형성된 높이 15m의 명암이

있고, 명암의 동쪽에는 동서로 길게 뻗은 사퇴가 있고 그 동쪽에 3개의 간출암이 줄지어 있다. 명암의 남서쪽 0.7마일에서부터 부표가 설치된 길이 약 11마일의 항로가 군산항까지 설정되어 있고, 군산 외항은 항로 입구에서 약 5마일 떨어진 장산도 동쪽에 위치하고 있다.

(3) 목포 및 부근해역

목포항은 목포구에서 상류로 약 11km, 무안 반도의 남서쪽 돌출부에 있으며, 영산강의 하구에 위치한 항구이다. 항의 남쪽으로는 영암반도, 해남반도 및 화원반도가 있고 서쪽으로는 놀도, 달리도 등의 섬이 있으며, 부근 해역은 해안선의 굴곡이 매우 심하고 수많은 섬들이 밀집되어 있어 우리나라에서 가장 복잡한 도서 지형을 이루고 있다. 목포항의 서쪽에 있는 시아해로부터 목포항으로 통하는 수로는 북구, 중구 및 목포구의 세 수로가 있으나 북구와 중구는 수심이 얇고 항로 부근에 도서가 산재해 있으며, 항로가 굴곡되어 있고 조류가 격심하여 소형선박 이외에는 목포구를 통해 출입항하고 있다. 목포구는 화원반도와 달리도 사이에 있으며, 장애물은 없고, 폭 약 620m, 수심 30m 내외이다. 목포항 입구에는 달리도 남단에서 북동쪽으로 약 1,100m에 수심 4.8m의 얇은 곳이 있고 고하도의 북서단으로부터 서쪽 약 600m에는 북동~남서의 길이 약 550m, 폭 약 300m의 수심 5m 이하의 얇은 곳이 존재한다.

3.3.2 남해안

(1) 여수 및 광양항 부근 해역

여수항은 여수반도의 남동쪽에 위치한 상항 및 어항을 겸한 항구로써 신항과 구항으로 구성되어 있고 외항 화물선은 신항을 이용한다. 광양항은 여수반도 북동부의 동광양시 및 여천시에 걸쳐 위치한 무역항이다.

여수와 광양항의 진입 해역인 여수해만은 동쪽으로 갈수록 얕은 점점 깊어진다. 여수 해만에는 남해도의 남쪽 약 6.8마일에서부터 광양항 입구까지 부표가 설치된 특정해역이 설정되어 여수 및 광양항에 출입하는 선박의 주항로로써 이용되고 있다. 이곳에는 목도 북서쪽 약 1마일 부근에 저조시에 수면상으로 나타나는 3개의 간출암인 삼기가 있으며, 이 부근은 특정해역 내에서 수심이 가장 얇다. 광양항은 입구의 폭이 약 1.5마일이고, 항내에는 부표가 설치된 4개의 항로가 설정되어 있다. 항로 주변의 위험물로는 제 3항로와 4항로의 사이에 수심 약 3m의 암반이 있고 제 3항로 서쪽에 수심 약 2m의 암반인 노랑여가 존재한다.

(2) 마산 및 부근해역

마산항은 남해 동남부에 위치하며 부도수도의 깊숙한 곳에 있는 the에서 북쪽으로 만입한 길이 9.3km, 폭 1.1~3.2km의 좁고 길다란 만이며, 마산항과 창원 공업항으로 구성되어 있다. 이 만은 남쪽으로 열려 있을 뿐 삼면은 산으로 둘러 싸여 있고 입구의 폭은 920m에 불과하나 위험물은 없다. 그리고 가덕도 남단에서 만 입구까지의 마산 항로에는 가덕수도와 부도수도가 있으며, 이곳에는 통항 분리대가 설정되어 있고, 항로내의 수심은 10~40m이며, 항로 주위에는 다수의 작은 섬, 간출암 및 암초가 존재하고 있다.

(3) 부산 및 부근해역

부산항은 우리나라 남동단에 위치하며, 동쪽은 동해에 임하고, 서쪽은 진해만, 남쪽은 남해와 접하고 있는 우리나라 제1의 항이다. 항구는 수영만, 북항, 남항, 감천항 및 다대포항으로 구성되어 있다. 이 중에서 외항선의 주 출입항인 북항의 주위 지형을 살펴보면, 부산 북외항 입구인 조도와 승두말 사이의 약 3.3km에는 조도쪽에 약 700m, 입구 중앙 부근에

약 1,000m의 방파제가 있으며, 두 방파제 사이에서 북서쪽으로 내항 방파제까지 부표가 설치된 폭 약 350m의 항로가 설정되어 있고 항로에서의 수심은 10~23m이다. 외항 방파제 바깥쪽에는 송두말의 남쪽 약 0.4마일에 오륙도가 있고, 남서쪽 약 4.7마일에 생도가 있다. 오륙도 및 외항 방파제 주변의 수심은 13~40m이고, 외항 방파제에서 남동쪽으로 약 1.6마일에 떨어진 곳에 50m 등심선이 있다. 이 주위에서 수심이 얇은 곳으로는 생도에서 반경 300m 이내 수역에 수심 5m 미만, 태종대와 생도 중간 지역이 수심 8.4m의 암반이 있다.

3.3.3 동해안

(1) 울산 및 부근해역

울산항은 우리나라 동해안 남단에 위치하며, 이 항구는 길고 좁은 울산만 깊숙이 위치하고 있어 외해 풍랑으로부터 보호받을 수 있는 천연의 양항이다. 울산만 입구의 폭은 약 2km이고 여기에서 울산항 및 장생포항까지 부표가 설치된 제 1,2항로가 설정되어 있으며, 수심은 약 10~20m이다. 그리고 만의 남쪽에 온산항 출입을 위한 제 3항로가 설정되어 있으며, 수심은 약 20~23m이다. 만외에는 수심이 20m 이상으로 항로 부근에는 얇은 곳이 없다. 그러나, 용연동 남방 해안에서 남동쪽으로 2km 및 2.5km 지점과 이진리 해안에서 약 2.7km에 대형 계류 부표가 있고 그 사이에는 해저 송유관이 설치되어 있다. 울산만 내 · 외의 저질은 모두 펄이지만 남쪽으로 외해와 직접 접하고 있기 때문에 남풍이 강하게 불 때에는 큰 파도가 침입한다.

(2) 포항 및 부근해역

영일만의 남서쪽에 위치하며 구항과 신항으로 구성되어 있다. 이 중

공업항으로 이용되고 있는 신항의 입구는 길이 3,200m의 외항 방파제와 2,340m의 동방파제가 있고, 방파제로부터 동쪽으로 부표가 설치된 출입항로가 설정되어 있으며, 항로의 수심은 18~20m 이다. 항 부근의 수심은 해안에서 0.5~1.0마일 부근에 10m 등심선이 있고 그 외해쪽으로는 10~30m이고 저질은 대개 모래와 펄로 되어 있다. 그리고 영일만의 서단에 위치한 달만갑 주위에는 수심이 얇은 곳이 많으며, 이곳에서 북동쪽 약 1마일 지점에 수심 5m의 초맥이 북쪽으로 뻗어 있다.

(3) 동해 및 부근해역

동해항은 북쪽의 묵호항과 남쪽의 삼척항 사이에 위치한 영동 제1의 무역항으로써, 항내는 길이 1,735m의 북방파제와 630m의 남방파제로 둘러 싸여 있으며, 항내의 수심은 9~15m이다. 동해항의 항로는 북방파제에서 동남쪽으로 약 0.5마일까지이며, 폭은 약 250m, 수심은 15~30m 이다. 동해항 부근의 수심은 해안에서 약 200~300m까지의 수역은 10m 이하로 얇지만, 그 외해쪽으로 갈수록 수심은 급격히 증가한다. 그러나 묵호 등대에서 123°, 약 2마일 지점에 수심 9.9m의 찬물벽초가 있으며, 동해항의 남동쪽으로 약 2.2마일 지점에 수심 5m의 암초가 있다.

4. 주요 해양오염사고에 대한 방제실행 결과 분석

본 연구에서는 1988년부터 2003년까지 한국 연안역에서 환경에 심각한 영향을 주고 장기간동안 방제하는데 막대한 비용이 든 주요 유출사고 46건을 유출중에 채용된 방제 활동에 대한 평가를 위해 해양경찰청 및 해양오염방제조합에서 발행한 해양오염방제사례집을 분석, 평가하였다.

<Table 4-1>는 우리나라 연안역의 주요 오염사고 46건을 분석한 표이다. 거리는 기본적으로 유출 장소로부터 가장 가까운 육지까지 측정된다. 그러나 유출 장소 주변에 사람이 사는 섬이 있을 경우에는 섬까지의 거리를 (n mile)로 나타내었다. 수심은 유출 장소의 깊이를 m로 나타내었으며, 유종은 유출의 종류이며 유출량은 유출 기름의 양을 kl로 나타낸 것이다. 기상은 바람, 안개 및 파의 정도에 따른 분류로 강풍(Bad), 폭풍(Storm)과 태풍(Typhoon)로 구분되는 약천후, 저시정(Low Vis.)과 천기양호(Calm)으로 구분하여 기입하였다. 방제액과 피해액은 천원단위로 표시한 것이다.

<Table 4-1A> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kl)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
1	경신	1.8	19	B-C 2,560	bad	X	dispersant	440,000 / X	위반 (과적)
2	코리아 호프	0.3	1.6	B-C 1,500	low vis.	boom, skimmer	dispersant, sorbent	6,207,000/ 4,587,367	부주의 (안개)
3	코리아 비너스	1.4	1.8	B-A 4,288	low vis.	boom	dispersant	129,800/ 6,877,790	위반 (통과방법)
4	제5 금동	harbor	15	B-C 1,228	calm	boom, sorbent, dispersant	skimmer	5,666,442/ 91,674,200	부주의 (통신착오)
5	프론티어 익스프레스	0.5	6.3	naphtha 8,682	bad	boom	X	X / 182,000	해도오류
6	시 프린스	0.5	44	crude/ B-C 5,035	typhoon	boom	skimmer, sorbent, dispersant	22,446,895/ 16,951,412	기상불량 (태풍)
7	제1 유일	6.1	42	B-C 2,392	bad	boom, sorbent, dispersant	X	12,564,895/ 2,948,969	부주의 (감시대만)

<Table 4-1B> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kℓ)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
8	호남 사파이어	harbor	15	crude 1,402	calm	boom, mechanical, dispersant	mechanical, dispersant, sorbent	6,443,126/ 1,428,690	부주의 (입항)
9	제8 한창	29	42	B-A 444	low vis.	dispersant, sorbent	natural	9,400/ X	부주의 (감시태만)
10	오션 제이드	6.5	60	B-C 208	bad	boom	dispersant, natural	5,565,940/ 818,199	부주의 (감시태만)
11	쥬타 제시카	0.8	4.9	B-C 440	bad	X	dispersant, sorbent	642,779/ X	기상불량
12	제3 오성	4.7	40	B-C 1,694	storm	X	mechanical, sorbent, dispersant	791,403/ 65,637	부주의 (감시태만)
13	마린스타 M	3.6	40	B-C 소량	low vis.	boom, sorbent, dispersant	natural	97,318/ X	부주의 (감시태만)
14	뉴 바론	1	20	B-C 301	storm	X	mechanical, sorbent, natural	2,550,823/ 221,649	부주의 (항로착오)

<Table 4-1C> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kℓ)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
15	제2 유화	1	12	B-A 20.6	calm	boom, mechanical	X	462,029/ X	결함 (선체노후)
16	하카타	8.4	80	B-C 434.8	low vis.	boom, mechanical, dispersant	boom, dispersant	289,959/ X	부주의 (판단착오)
17	에스트로 베타	harbor	80	B-C 10	bad	boom, dispersant	X	5,278/ X	결함 (선체)
18	대승	harbor	31	B-A 16.8	calm	boom, sorbent, mechanical, dispersant	sorbent, natural	56,373/ 4,000	부주의 (밸브조작)
19	제2 우신	harbor	16	waste 68.4	calm	boom, mechanical	boom, mechanical	104,000/ 8,000	결함 (선체노후)
20	현대 제너럴	harbor	15	B-C 소량	calm	boom, mechanical, sorbent	dispersant	275,278/ X	결함 (선체)
21	현대 스피리트	harbor	14	B-C 601	low vis. current	boom, sorbent	boom, mechanical, sorbent	494,989/ 300,000	기상불량 (강조류)

<Table 4-1D> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kℓ)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
22	대림 501	harbor	13	B-A 290	low vis.	boom, sorbent, mechanical, dispersant	mechanical	333,692/ X	폭발 (해저폭탄)
23	107 통일	0.5	14	B-A 105	calm	boom, sorbent, mechanical,	mechanical	39,446/ X	부주의 (감시대만)
24	우양 블루	18	100	B-B 41	low vis.	boom, dispersant	boom, sorbent, mechanical, dispersant	253,815/ X	부주의 (감시대만)
25	제5 홍영	0.5	5	B-A 54	typhoon	X	natural, (dispersant)	소액	기상불량 (태풍)
26	용진 2003	shore	2.2	B-A 6	bad	boom, sorbent, dispersant, natural	dispersant, natural	12,962/ X	부주의 (안전수칙)
27	일신	1	4	B-A 43	typhoon	X	boom, sorbent, mechanical	24,594/ 27,823	기상불량 (태풍)
28	P. 하모니	7	80	B-C 소량	storm	dispersant, natural	dispersant, natural	163,209/ X	폭발 (원인미상)

<Table 4-1E> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kℓ)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
29	C.D. 싱가포르	habor	10	B-C 0.15	calm	sorbent, natural	X	28,741/ X	결함 (선체)
30	안성 101	3.2	6.6	B-A 7.94	calm	boom, sorbent, mechanical, dispersant	sorbent	미정	부주의 (닢끌림)
31	남일	2.5	23	B-A 16	calm	dispersant	dispersant, sorbent, natural	81,623/ X	위반 (통과방법)
32	제11 홍국	harbor	7	B-A 30	calm	X	natural, sorbent	10,643/ X	부주의 (조류간과)
33	신안	1.2	20	B-C 59	typhoon	X	boom, sorbent	1,166,240/ 1,000,000	기상불량 (태풍)
34	(주)휴련 저유소	shore	7	B-C 67.9	storm	boom, sorbent	X	430,277/ X	부주의 (밸브조작)
35	우민	harbor	5	B-A 1.7	storm	boom, mechanical	boom, mechanical	74,190/ X	부주의 (감시대만)

<Table 4-1F> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kℓ)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
36	부양	0.75	2.6	B-C 8.59	low vis.	sorbent	mechanical, sorbent	1,000,000/ 942,532	부주의 (조선)
37	하나	harbor	15	B-C 21	calm	boom, mechanical	mechanical, sorbent	1,701,874/ 19,000	결함 (계류시설)
38	제93 대양	12.6	7.8	B-C 5.88	calm	boom, mechanical	X	66,462/ X	부주의 (음주)
39	호에이 마루	5	43	bilge 0.7	low vis.	boom, sorbent	sorbent, dispersant	12,547/ X	부주의 (감시대만)
40	경원	harbor	2.6	B-C 90	typhoon	boom, sorbent	mechanical	2,921,437/ 3,267,870	기상불량 (태풍)
41	덕양	harbor	15	B-C 360	typhoon	boom, sorbent, dispersant	mechanical	3,593,836/ 149,470	기상불량 (태풍)
42	브라더2	3.2	14	B-A 3.5	typhoon	boom	boom, sorbent	92,816/ X	기상불량 (태풍)

<Table 4-1G> 주요 오염 사고 분석표

순번	선명	거리 (n mile)	수심 (m)	유종 유출량(kℓ)	기상	방제방법 (24시간 이내)	방제방법 (24~72시간)	방제액 / 피해액(천원)	원인
43	레오니드 엘킨	0.8	21	B-B 5	typhoon	boom, sorbent	mechanical	188,501/ 1,300,000	기상불량 (태풍)
44	에이스	0.2	7.3	B-A 6	typhoon	boom	mechanical, sorbent	643,000/ X	기상불량 (태풍)
45	순천향대학 보일러실	shore	1	B-C 10.5	calm	boom, mechanical	sorbent	57,225/ 미정	결함 (장비)
46	정양	0.2	1	B-C 623	calm	boom, mechanical	mechanical	정산중/ 154,000	부주의 (감시태만)

4.1.1 발생장소

(1) 발생위치

<Fig. 4-1>는 46건의 주요 오염사고 표시한 것이다. 해역별로 보면 서해에서 14건, 남해에서 24건, 동해에서 8건이 발생했고 선박 출입량이 많은 인천, 여수, 부산, 울산에 집중되어 있음을 알 수 있다.

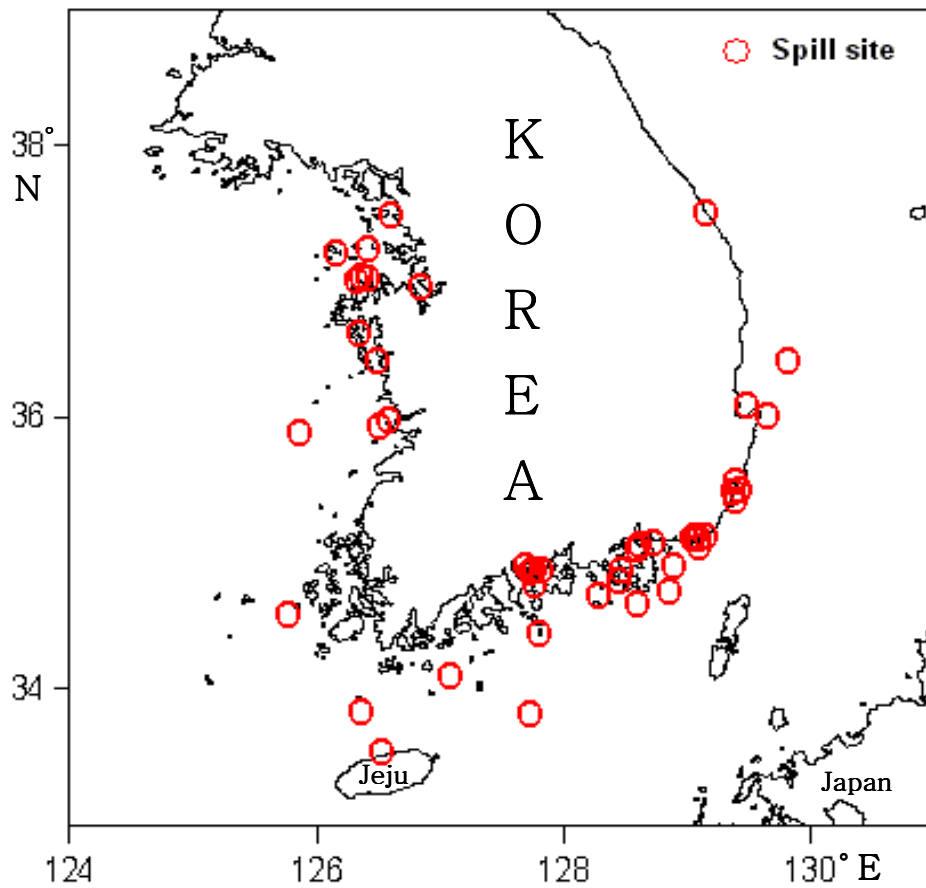


Fig. 4-1 주요 오염사고 발생 위치

(2) 거리

거리는 기본적으로 유출사고 장소로부터 가장 가까운 육지까지의 거리를 나타낸다. 그러나 유출사고 장소 조변에 주민이 사는 섬이 있을 경우에는 섬까지의 거리를 나타내고 있다. 방제 방법의 선정 및 화학 분산제의 사용 또는 방제장비의 동원을 결정하는데 필요한 요소인 수심은 유출사고 장소의 수심을 나타내고 있다. 대부분의 해양오염사고는 항구의 해상 교통 출입의 이유로 인하여 인천, 여수, 부산, 울산항의 연안에서 많이 발생하는 것으로 나타났다. 그래프에 따르면 항구 및 해안가에서 17건, 1마일 이내에 일어난 오염사고가 13건, 1마일에서 3마일까지가 4건, 3마일에서 5마일까지가 5건 일어났으며, 5마일에서 10마일까지가 4건 10마일 이상의 거리에서 발생한 오염사고는 3건으로 나타났다. 이는 항구나 해안가에 많은 해양오염사고가 집중되어 있음을 알 수 있다.

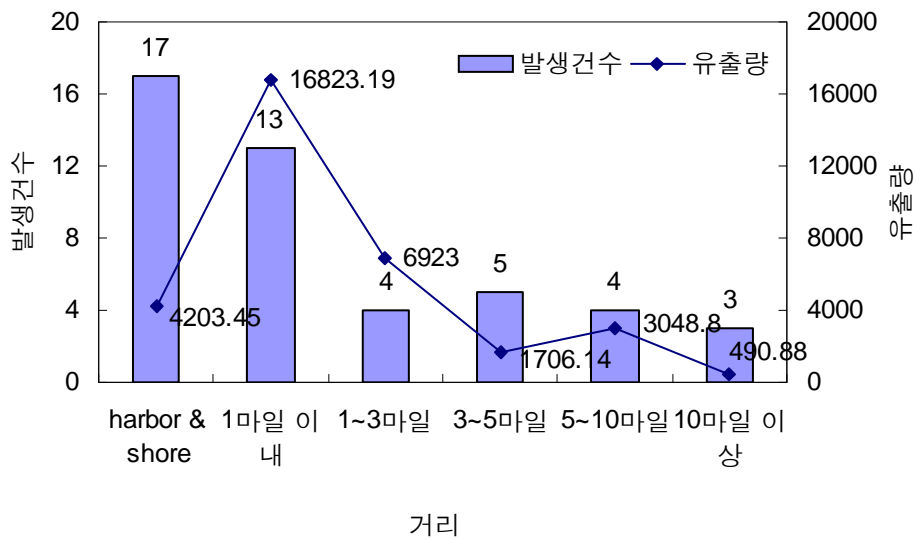


Fig. 4-2 주요오염사고 거리별 발생건수 및 유출량

(3) 수심

수심은 유처리제의 사용과 관련하여 중요한 요소로 작용하게 된다. 10m 이하에서의 사고가 제일 많은 것으로 나타났으며, 수심이 점차 깊어질수록 유출사고의 발생건수는 감소함을 알 수가 있다. 육지로부터의 거리가 멀어지면 수심도 비례하여 깊어지므로 이는 앞서 언급한 육지로부터의 거리에 따른 발생건수와 수심에 따른 오염사고가 서로 관계되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

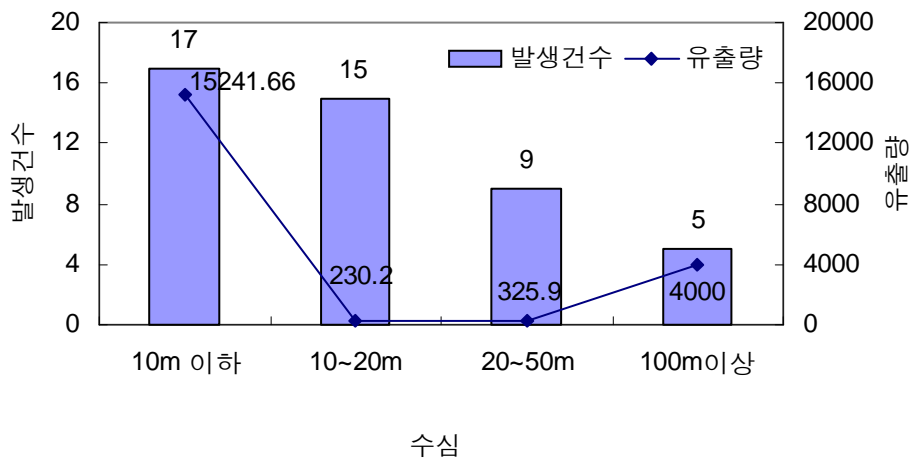


Fig. 4-3 주요오염사고 수심별 발생건수 및 유출량

4.1.2 기름의 종류

<Fig. 4-4>은 해양오염사고에서 배출되었던 기름의 종류를 나타낸 것이다. 대부분 오염사고의 주요 유종은 벙커-C유(19건)이다. 이는 대부분의 선박의 연료유로 쓰이고 있으며, 연안 유조선이나 기름 부선 등의 사고 때문이라 할 수 있다. 그 다음으로는 연안 유조선이나 소형 화물선의 연료유로 쓰이는 벙커-A유(15건)가 그 다음으로 많음을 알 수가 있다. 나프타나 원유는 각각 1건과 2건밖에 일어나지 않았으나 유출건마다의 유출량이 많아 기름오염 피해가 컸음을 알 수 있다.

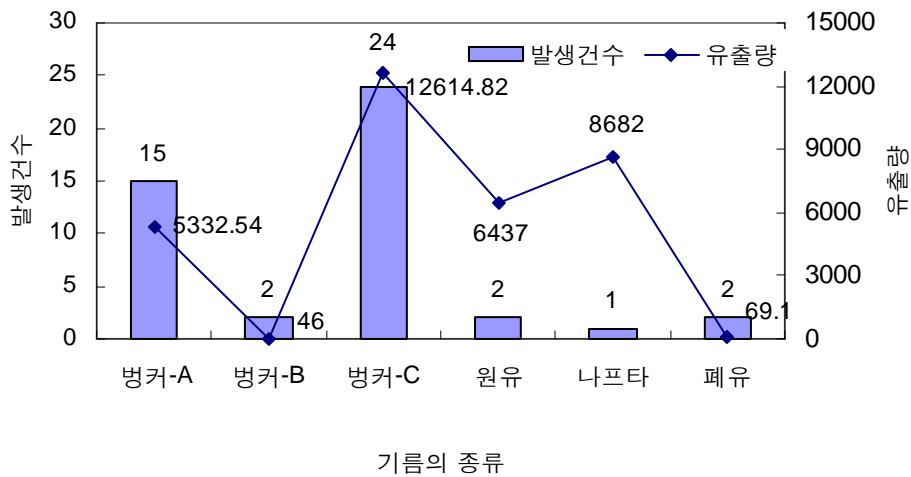


Fig. 4-4 주요오염사고 기름종류별 발생건수 및 유출량

4.1.3 유출 원인

<Fig. 4-5>는 우리나라 연안역에서의 주요 오염사고 46건중에 기름 유출사고가 일어나게된 근본적인 원인과 그에 따른 유출량을 나타낸 것이다. 선체결함 및 계류시설에 의한 유출사고가 7건, 태풍, 폭풍 및 저시정 등의 기상불량에 의한 유출사고가 11건 부주의로 인한 사고가 22건으로 제일 많고 과적 및 통항법 위반이 3건, 해도오류에 의한 기타의 사고가 1건, 폭발에 의한 것이 2건임을 알 수 있다.

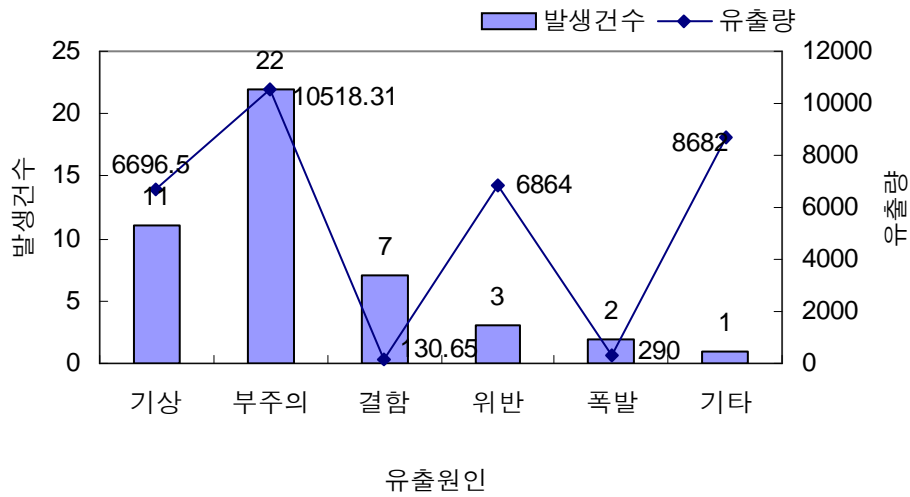


Fig. 4-5 주요오염사고 원인별 발생건수 및 유출량

4.1.4 해상상태

<Fig. 4-6>은 해양오염사고 당시의 기상 및 해상상태를 나타낸 것이다. 기상과 해상의 상태는 분산제의 사용이나 붐과 스키머의 배치를 결정하는데 중요한 요소이다. 단일 항목으로는 고요함이 14건으로 가장 많아 보이지만, 황천, 폭풍과 태풍을 포함한 해상 상태 불량률이 각각 4, 8, 9건으로 총 21건이며 저시정으로 인한 사고가 9건, 강조류에 의한 것은 2건이 일어났음을 알 수 있다.

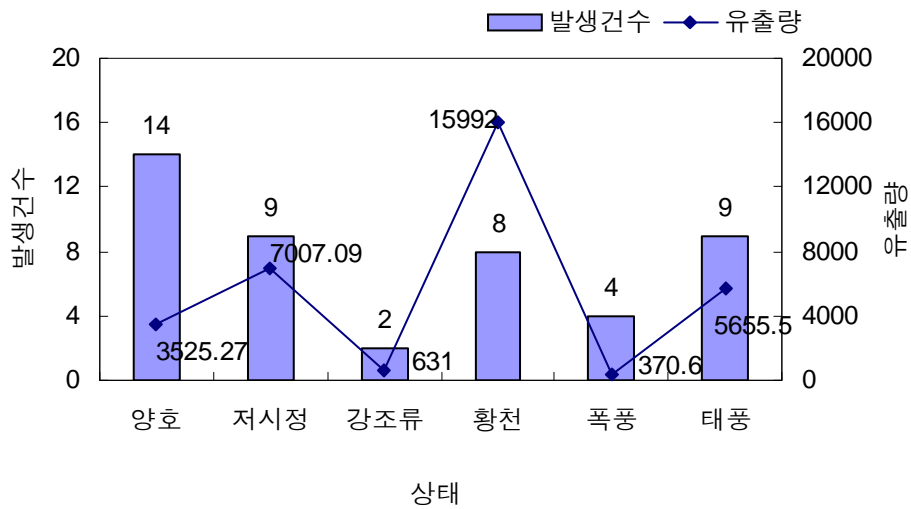


Fig. 4-6 주요오염사고 해, 기상별 발생건수 및 유출량

4.1.5 사용된 방제방법

(1) 유출유의 물리적 특성 변화

주요 오염사고의 최대 유출 기름종류는 Bunker-C이며 그 물리적 특성은 <Table 4-2>와 같고 이 유종의 동계 및 하계에서의 풍화과정을 살펴보면 다음과 같다.

<Table 4-2 기름의 물리적 특성>

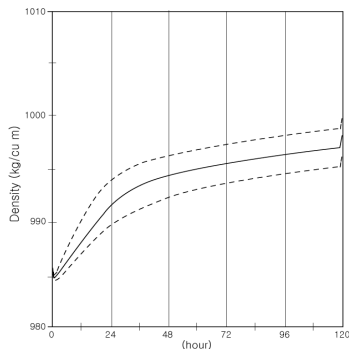
Oil type	S.G. at 15.5℃	Viscosity at 50℃	Pour point	Flash point
Bunker-C	0.96~0.98	530cSt 이하	2℃ 이하	70℃ 이상

동계(바람 4.0m/s, 수온 11.0℃, 염분 34.0‰) 유출유의 시간 경과에 따른 물리적 특성 변화를 조사하였다(윤 등, 2002). 중질유의 경우 에멀션이 잘 일어나지 않기 때문에 본 연구에서는 밀도와 점성 변화 및 증발 상태만 나타내었다<Fig. 4-7(좌)>. 밀도 변화를 살펴보면, 유출 직후 985kg/m³이던 밀도는 24시간 동안 크게 증가하여 992kg/m³가 되었고, 그 이후에는 서서히 증가하여 120시간 경과 후에는 약 995~998kg/m³이 되었다. 기름의 점성은 유출 초기 약 1,700cSt이던 것이 그 후 48시간 동안 크게 증가하여 3,200cSt이 되었고, 그 이후에는 서서히 증가하여 120시간 경과 후에는 4,000cSt이 되었다. 유출유의 시간 경과에 따른 증발량은 유출초기 48시간 동안 약 5.5%가 되었고, 그 이후에는 증발율이 매우 적은 것으로 나타났다.

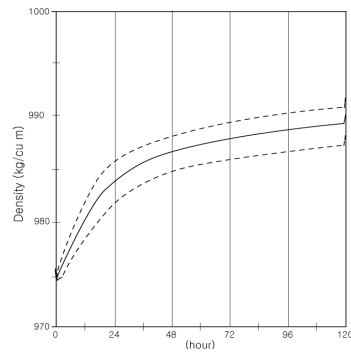
하계(바람 4.0m/s, 수온 24.0℃, 염분 32.0‰) 유출유의 시간 경과에 따른 물리적 특성 변화를 조사하였다(윤 등, 2002).

하계 유출된 기름의 밀도와 점성 변화 및 증발상태에 대한 결과를 살펴보면<Fig. 4-7(우)>. 밀도변화는 유출 직후 $975\text{kg}/\text{m}^3$ 이던 밀도가 24시간 동안 급격히 증가하여 $985\text{kg}/\text{m}^3$ 가 되었다. 그 이후 밀도는 서서히 증가하여 120시간 경과 후에는 약 $987\sim 991\text{kg}/\text{m}^3$ 이 되었다. 기름의 점성은 유출 초기 약 800cSt 이었고, 24시간 후에는 $1,500\text{cSt}$ 로 증가하였고, 그 이후에는 매우 완만하게 증가하여 120시간 경과 후에는 약 $2,000\text{cSt}$ 이 되었다. 유출유의 시간 경과에 따른 증발양은, 유출초기 24시간동안 약 5.5% 이었고, 그 후 서서히 증가하다가 120시간 경과 후는 전체의 약 8.0%정도 증발하는 것으로 나타났다.

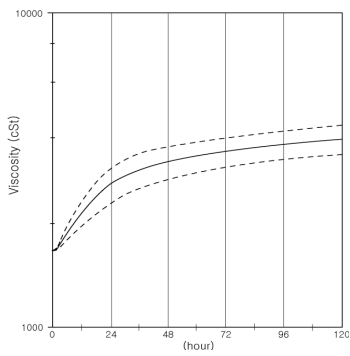
< Density >



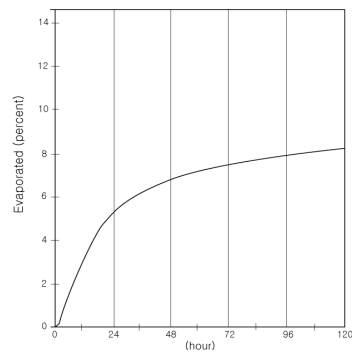
< Density >



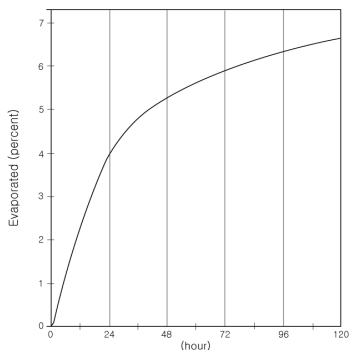
< Viscosity >



< Viscosity >



< Evaporation >



< Evaporation >

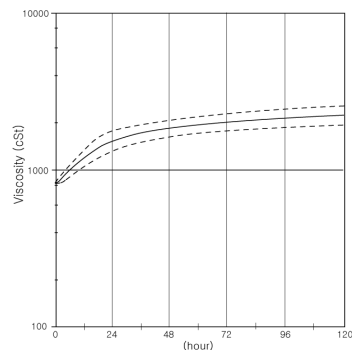


Fig. 4-7 벵커-C유의 물리적 특성 변화(좌 : 동계, 우 : 하계)

(2) 채택된 방제방법

위에서 언급하였듯이 기름은 24시간을 기준하여 밀도, 점도, 증발 등의 특성 급격히 변하기 때문에 유출사고 발생시부터 24시간 이내의 방제방법이 무엇이었는지가 대단히 중요하다.

<Fig. 4-8>은 사용된 방제방법을 나타낸 것으로 여기에는 두 종류 이상의 방제방법이 채택된 경우 모두 포함된 수치이다. 우리나라에서는 방제방법 중에서 유흡착제(sorbent)의 사용을 포함한 기계적 포집과 회수, 화학 분산제와 기타 화학 작용제의 사용, 자연적 제거 등이 주로 사용되는 방제방법이다. 초기 오염사고 발생시에는 유출유의 확산을 막기 위해 1차적으로 유출유 포집을 위한 붓의 전장과 유처리제의 사용이 가장 많이 사용되었고, 그 다음에 상황에 맞게 여러 방제 옵션을 알맞게 조합하여 방제를 실시한다. 기름의 풍화과정이 어느 정도 일어난 24시간 이후에는 추가적 방제방법이 없던 것이 제일 많고, 연안방제와 맞물려 유흡착제를 통한 회수와 스키머를 통한 기계적 회수와 유처리제의 사용이 많이 사용된 것으로 나타났다.

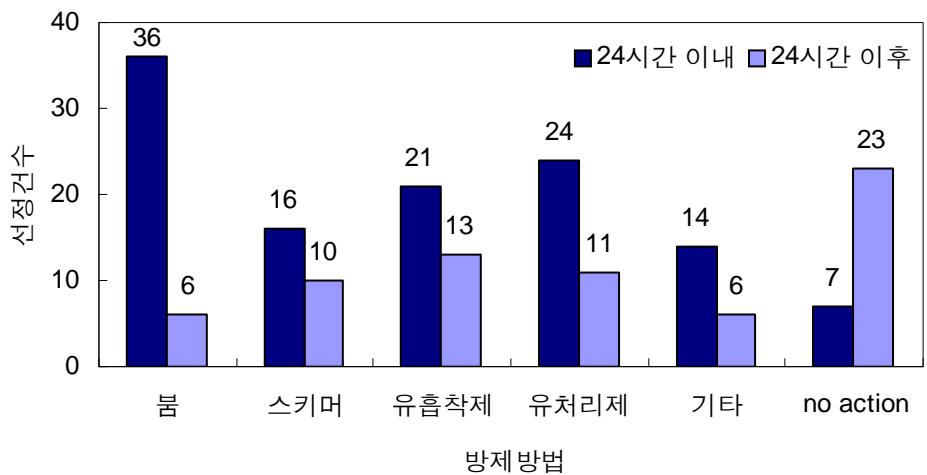


Fig. 4-8 주요오염사고 시간별 방제방법

자연조건, 기름의 풍화과정, 방제방법 및 주요 오염사고 방제에 대한 분석의 결과를 종합하여 우리나라 연안역에서 채택할 수 있는 방제방법 및 방제방법 선정 기준을 정리하면 다음과 같다.

먼저 해역별 방제 기준에 대하여 종합해 보면, 서해는 연안 및 민감해역 주변에 보호용 붐을 다중으로 폐쇄전장하고, 강조류로 인해 붐의 효과가 저하될 시는 붐을 예인 및 유도전장하여 유출유를 회수하고, 원해에서 유출유가 해안 도달이 우려되는 낙조일때 수심을 고려하여 유처리제를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

남해는 어장, 양식장 및 민감해역 주변에 보호용 붐을 다중으로 폐쇄전장하고, 비교적 유속이 강한 서해 남부를 제외하고는 기계적 회수가 적절하며, 수심이 깊은 원해의 경우 초기에 유처리제를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

동해는 원해에서 유출초기에 유처리제를 사용하거나 파의 에너지가 크다고 판단될 때 자연적 제거도 효과적인 것으로 판단된다.

다음으로 과거 우리나라에서 적용한 방제실행 결과를 종합해 보면, 가장 보편적이고 우선적으로 채택되는 방제방법으로 기계적 회수(붐만 설치, 붐설치 후 유회수기로 기름 회수, 유흡착재에 의한 기름 회수)과 유처리제 사용을 들 수 있다. 그리고 각 방제방법의 주요 항목별(비중, 유동점, 풍속, 유속, 수심, 거리 및 안개) 적용 기준은 다음과 같다.<Table 4-3>

① 붐과 유회수기를 이용한 기계적 포집 및 회수방법

먼저 비중(S.G)면에서, 우리나라 연안역에서 발생한 기름 유출사고중 기계적 회수방법이 적합하지 않았던 사고는 단 한건으로 이 때의 유출유는 나프타이었다. 그 외의 사고는 모두 벙커유(A, B 및 C)로 기계적 회

수에 별다른 어려움이 없는 것으로 나타났다. 또 우리나라 연안역에서 운송되는 다양한 종류의 기름 유출사고를 경험하지 못함으로 비중에 대한 기준을 설정하는 것이 다소 어려운 작업이지만, 실제 오염현장에서 적용한 결과를 바탕으로 벙커유중 No.1~5 Oil만 적합하다는 선진국(미국, 호주 등)의 기준을 참고하여 이를 그대로 적용시키는 것도 하나의 방법이 될 수 있다고 생각한다.

다음으로 유동점에는 제약조건이 없고, 풍속(파 관련)과 유속은 각각 20knots 이하, 2kts 이하에서만 가능한 것으로 나타났으며, 수심과 해안으로부터의 거리에는 별다른 제약조건이 없는 것으로 나타났다. 그러나 농무시에는 이 방법이 실행 불가능한 것으로 보고되었다. 그럼에도 불구하고 유막의 이동을 컴퓨터모델링 등을 이용하여 예측하여 사전에 민감지역에 보호용 붐을 설치하는 것도 효과적인 방법이라 할 수 있다.

② 유처리제 사용

먼저 비중면에서, 기계적 회수에서 언급한 바와 같이 이 방법이 채택된 기름의 종류가 다양하지 않기 때문에 이에 적합한 기준을 설정하기 어려우나, 선진국의 기준을 참고하면 도움이 될 것으로 사료된다.

유동점에 대한 제한조건으로, 우리나라 연안역에서 수송되는 기름중 벙커-C유는 제품에 따라 유동점이 다르지만 그 중 가장 높은 것은 2℃이므로, 이 기름에 적용할 경우 해수온도가 2℃ 이하에서는 분산시키기 어려운 것으로 생각된다. 그리고 풍속면에서 폭풍과 같이 자연적 분산이 일어나는 조건을 제외하면 항시 사용가능하고, 유속면에서 반일주조가 우세한 우리나라 연안역에서는 약 6시간 30분 동안 민감지역에 유막이 도달하지 않을 경우에는 항시 사용가능하다. 수심과 해안으로부터의 거리에는 별다른 제한사항이 없는 것으로 보고 되었으나, 유처리제가 표층 약 10m 내에서 상하 혼합됨을 감안하면 수심 10m를 유처리제 사용 하

용수심으로 정하는 것이 바람직하다. 그러나 유처리제의 사용은 신속함이 생명인 점을 감안하여 영국에서는 이전에 사용 허용수심을 20m로 하였으나, 최근 천수역에서도 사용할 수 있도록 추진하고 있고, 또 미국에서는 유처리제의 사용수심을 10m에서 3m로 완화하였고, 기타 많은 연안국에서 유처리제의 사용을 완화하는 방향으로 추진하고 있는 점을 감안하면 우리나라에서도 연안환경을 재평가하여 민감지역 이외의 해역에서는 다소 완화하는 방향으로 추진함이 바람직하다고 생각된다. 그리고 유처리제는 농무시 살포할 경우, 유막의 위치 및 두께 등을 정확히 알 수 없기 때문에 거의 효과가 없는 것으로 나타났다.

<Table 4-3> 방제방법 선정 기준

구 분	기계적 회수		유처리제	비고
	Boom	Boom+Skimmer		
비 중	0.87 ≤ SG < 0.97		0.87 ≤ SG < 0.97	
유동점	N/A		해수온도 > +2℃	
풍 속	< 20kts		N/A	
유 속	< 2kts		약 6.5시간 이내에 민감 지역에 도달 하지 않을 경우	
수 심	N/A		10m	USCG 경우 3m
거 리	N/A		N/A	USCG의 경우 1/4 마일
안 개	민감지역	N/E	N/E	보호용 붐설치

※ N/A : Not Applicable, N/E : Not Effective

이 밖에 우리나라 연안역에서 해양오염방제방법으로 고려할 수 있는 것은 현장소각(in-situ burning)이다. 이 방법은 아직 우리나라에서 한

번도 시도해 본 적은 없으나, 미국의 경우 Exxon Valdez 유출사고시 현장소각을 실시하여 적용유막의 약 98%가 제거된 점을 참고하여, 추후 이 방법에 대한 현장실험을 통해 적용기준을 설정하여 오염방제 대안으로 채택해 보는 것도 바람직하다고 생각된다.

5. 결 론

최근 우리나라에서는 외국과의 교역량이 지속적으로 증가함에 따라 해상교통량이 크게 증가하고, 특히 연안해역과 항내 및 항 입구에서 출, 입항 선박이 밀집되면서 선박에 의한 해양사고의 발생 가능성이 점점 높아지고 있다. 환경과 재산에 막대한 피해를 주었던 1967년 영국의 “Torrey Canyon”호 해양오염사고를 비롯해 1995년 국내의 시프린스호 오염사고 등을 통해 우리는 해양 오염 방지에 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 최근 2002년 스페인 근해에서 벙커C유 6만여 톤의 유출로 해안 900km를 오염시켜 1조원이 넘는 천문학적인 피해를 발생시켜 유럽연합 및 국제해사기구에서 해양오염사고 예방 및 대응을 강화시킨 *Prestige*호 오염사고를 보듯이 오염사고는 완벽한 방지가 어렵기 때문에 해양오염방지 규제뿐만이 아니라 오염사고가 발생했을 시 방제능력의 신장이 필요하다. 이를 위하여, 본 연구에서는 우리나라 해역의 자연조건을 조사하고 피해가 컸던 주요 오염사고를 분석하여 우리나라 연안역의 효과적인 방제방법 선정을 위한 연구를 수행하였으며, 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 바람은 서해 및 남해 서부에서 강하게 나타나고, 안개 발생일수는 서해 및 남해 서부에서 많이 발생한다. 강수일수는 여수, 동해, 포항, 인천이 많으나 해역별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 해상조건에서 조류는 서해 및 남해 서부에서 강하게 나타나고 있고, 파랑발생일수는 서해 남부, 남해 동부 및 동해에서 많이 발생하는 것으로 나타났다.

(2) 우리나라에서는 어선에 의한 유출사고가 가장 많았고, 그 원인으로는 침몰, 충돌, 좌초에 의한 사고가 대부분이었다. 이 들 원인을 근원적으로

조사하면 인적과실(human error)에 의한 유출사고가 가장 많아 항해자에 대한 질 높은 교육과 훈련 프로그램이 증강되어야 할 것으로 보인다.

(3) 연해에서 발생한 주요 오염사고를 분석한 결과, 1마일 이내의 연안에서 가장 많은 오염사고가 발생하고 있는 것으로 보이고 이와 연관되어 연안의 10~20m의 수심에서 많은 유출사고가 발생한 것으로 나타나 신속한 초동조치가 가능하도록 방제세력의 적절한 배치가 중요한 것으로 판단된다. 유종은 Bunker-C유가 가장 많아 방제자원 동원시 주요 유종으로 선정해 방제자원을 미리 배치해야 될 것으로 보인다, 근본원인은 부주의에 의한 사고가 가장 많아 당직자에 대한 질 높은 교육과 훈련 프로그램이 증강되어야 할 것으로 판단된다, 기상상태를 보면 양호한 해상 상태에서 많이 일어났으나 유출량은 폭풍, 태풍을 포함한 황천에서 가장 많이 유출되어 기상악화시 더욱더 세밀한 주의와 감시가 필요한 것으로 판단된다. 그리고 24시간 이내에 채택된 주된 방제방법은 붐의 배치와 유처리제의 사용이었던 것으로 나타났다.

(4) 지형적 특징을 고려한 해역별 방제방법 중 서해는 민감해역을 보호를 위한 보호용 붐을 설치하고 수심 10m 이상인 곳에서는 해안부착우려가 있는 경우 낙조 시에 유처리제를 사용한다. 남해는 보호용 붐을 민감해역에 전장하고 연안에서는 기계적 회수를 중심으로 하며 외해에서 해안부착 우려 시 유처리제를 사용한다. 동해는 해안부착우려가 있는 경우 유처리제를 사용하고 바람과 파랑의 방향을 고려 자연적 제거를 선정하는 것이 효과적이라고 판단된다.

(5) 지난 16개년(1988~2003) 동안 우리나라 연안역에서 발생한 주요 오염사고에 대해 해양경찰청 주도하에 적용된 방제방법을 분석하여, 각 방법에

대한 적용기준을 설정하면 다음과 같다.

기계적 회수는 유출유의 비중이 0.87~0.97, 풍속 20kts 이하, 유속 2knots 이하에서 효과적이고, 농무시에는 현장적용보다 컴퓨터 모델링 등을 이용하여 유막의 이동을 예측하여 사전에 민감지역에 붐(boom)을 설치하는 것이 바람직하다. 유처리제는 비중 0.87~0.97, 해수 온도가 2℃ 이상, 수심 10m 미만에서 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 최근 유처리제에 대하여 선진국에서는 방제 우선순위를 두고 해안부근에서도 사용을 허가하는 추세인 점을 감안하여 우리나라에서도 이에 대해 그와 같이 적용에 대한 규제를 완화할 필요가 있다고 판단된다. 또한 현재 선진국에서 현장소각을 실시하여 상당히 효과적이었던 점을 감안하여 추후 이 방법도 대안으로 적용시키는 것에 대해 고려할 필요가 있다고 생각된다.

본 연구에는 사용된 방제자료가 매우 제한적인지라 우리나라 연안역의 최적방제방법 선정기준을 정하는 데에는 부족하다고 생각되며, 따라서 추후 방제에 관한 보고서를 지속적으로 수집하여 보다 세밀한 기준 선정을 위한 연구를 계속 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 국립수산진흥원 : 해양조사연보(1995~1999)
- [2] 국립해양조사원 「조석표(한국연안)」. 서제 제510호, 2001
- [3] 기상청 : 기상연보(1990~1999)
- [4] 양성기, 서해립, 윤양호 공저. 「해양과학」. 문운당, 1994
- [5] 윤종휘(1999) : 해양유류오염방제, ISBN 89-950762-1-6, 일오출판사
- [6] 윤종휘, 윤혁수, 김동선(2002) : 부산해역에서의 해양오염방제장비의 필요수량에 관한 연구
- [7] 윤혁수(2002) : 부산지역에서의 효과적인 해양오염방제능력 향상에 관한 연구, 한국해양대학교
- [8] 장하룡(2003) : 진해만에서의 해양유류오염 방제능력 향상에 관한 연구, 한국해양대학교
- [9] 해양경찰청(2001) : 전국방제자원현황
- [10] 해양경찰청, 한국해양오염방제조합(2002) : 해양오염방제사례집
행정간행물 등록번호 11-1530000-000031-14
- [11] 해양경찰청, 한국해양오염방제조합(2004) : 해양오염방제사례집
행정간행물 등록번호 11-1530000-000031-14
- [12] 해양경찰청, "한국해양오염 현황과 대책", 시험연구보고서, 1990
- [13] 해양경찰청(2001) : 해양오염사고현황
- [14] Etkin. D.S, 「Oil Spill Intelligence Report」 (1997), Oil Spills from Vessels(1960-1995), An International Historical Perspective, Cutter Info. Corp., 1997
- [15] Etkin. D.S, Factors in the Dispersant Use Decision-Making Process, Historical Overview and Look to the Future, Proceedings, 21 Arctic and marine Oil Spill Program Technical

- Seminar, Environment Canada, Ottawa, 281-304, 1998a
- [16] George L. *Pickard*, William J. Emery(1990) : Descriptive *Physical Oceanography*
- [17] IMO, Impact of Oil and Related Chemicals on the Marine Environment, GESAMP Report and Studies No.50, London, 1993
- [18] IMO(1998) : MARPOL 73/78, London
- [19] ITOFF, Response to Marine Oil Spills, ISBN 0-948691-51-4, 1987
- [20] Lunel. T, A. Crosbie, L. Davies and R.P.J. Swanneli(2000) : The Potential for dispersing Bunker C (IFO-380) Fuel Oils :Initial result, National Environmental Technology Center, U.K.
- [21] MacKay. D, S Paterson abd K. Trudel(1980) : A mathematical model of oil spill behaviour. Dept. of Chemical and Applied Chemistry, Univ. of Toronto, Canada
- [22] MacKay. D and Stiver. W(1984) : Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures, Environmental Science and technology, 18, pp.834~840
- [23] MacKay. D and W. Zargorski(1982) : Water in oil emulsions. Environment Canada Manuscrip Report EE-34, Ottawa, Canada
- [24] NOAA(1994) : ADIOS user's manual, Hazardous materials response and assessment division
- [25] USCG, Response *Plan* Equipment Caps Review, 1998
- [26] 한국해양오염방제조함, <http://www.kmprc.or.kr>
- [27] 해양경찰청, <http://www.nmpa.go.kr>
- [28] 해양수산부, <http://www.momaf.go.kr>

감사의 글

많은 주위 분들의 관심과 사랑으로 많은 것을 배우게 되었고, 또 논문을 완성하게 되어 이에 모든 분들께 감사드립니다.

처음 입학하여 학위과정을 시작한 이후부터 논문이 완성될 때까지 정성을 다해 물심양면으로 많은 지도와 세심한 배려로 지도하여 이끌어주신 윤종휘 지도교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 바쁘신 가운데 논문을 지도, 심사하여 주시고 많은 충고를 아끼지 않으셨던 국승기 교수님과 김인수 교수님께도 깊은 감사드립니다.

언제나 전폭적인 관심과 지원을 아끼지 않으셨던 허만성 교장선생님, 김인태 교감선생님 그리고 부산해사고등학교의 모든 선생님들께 깊은 감사드립니다.

언제나 친절함 미소로 부족한 부분을 일깨워 주시는 재동 선배와 언제나 친절히 맞아주시는 영남 선배, 뒤에서 잘 챙겨주는 성윤이, 언제나 도움을 청할 수 있는 믿음직한 성우, 항상 웃으며 반기는 영규형, 재훈이, 후배 경희 그리고 언제나 곁에서 파이팅을 외쳐주는 성은이 형, 경희, 영돈, 정남, 동휘, 대석, 정태, 정호, 호진, 준희, 장훈, 영무, 영중, 정규, 재근, 그리고 마음의 안식처인 주원, 민상, 희준, 동희, 형섭, 승원, 진영, 홍선 영우회 친구들에게도 감사드립니다.

항상 격려를 아끼시지 않는 매형과 누님, 서울에서 열심히 공부중인 동생, 그리고 많은 관심 가져주시는 친척분들, 마지막으로 연구에 몰두하도록 믿어주시고 뒷바라지에 고생하신 아버님과 어머님께 진심으로 감사드립니다.