

工學碩士 學位論文

진해만에서의 해양유류오염 방제능력 향상에 관한 연구

A Study on the Improvement of Marine Oil
Spill Response Capabilities in the Jinhae Bay

指導教授 尹鍾輝

2002年 8月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科 張河龍

本 論文을 張河龍의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長 鞠承淇 印

委員 李鎮烈 印

委員 尹鍾輝 印

2002年 8月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

張 河 龍

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 방법	3
제 2 장 진해만의 주변 환경	6
2.1 기상·해양 조건	6
2.1.1 바 람	6
2.1.2 강수량	10
2.1.3 기 온	12
2.1.4 조석 및 조류	13
2.1.5 파 랑	15
2.2 해상 교통량 현황	16
2.3 지형적 특성	21
2.3.1 해안선 민감지역	21
2.3.2 어장 민감지역	23
2.3.3 해안오염방제	25

제 3 장 유출유의 이동 및 확산	27
3.1 해수유동 및 유출유 확산	27
3.1.1 기본방정식	27
3.1.2 초기 및 경계조건	29
3.1.3 해수유동특성	30
3.1.4 유출유의 확산	32
3.2 유출유의 방제	38
3.2.1 해양오염사고 시나리오	38
3.2.2 해양오염 방제장비 현황	40
3.3 유출유의 풍화과정	42
3.4 오염방제전략	50
제 4 장 결론 및 고찰	55
감사의 글	59
참 고 문 헌	60

List of Tables

Table-1	Mean wind velocity(m/s) at Masan and adjacent area(1990~1999)	7
Table-2	Maximum wind velocity(m/s) and direction at Jinhae bay and adjacent area(1990~1999)	8
Table-3	Monthly rainfall days at Jinhae bay and adjacent area(daily precipitation \geq 0.1mm)	11
Table-4	Monthly mean precipitation at Jinhae bay and adjacent area(1976~1995)	11
Table-5	Mean tidal range(cm) at Busan and Jinhae (1990~1999)	13
Table-6	Maximum tidal range(cm) at Busan and Jinhae (1990~1999)	13
Table-7	Monthly mean significant wave height(m) at Jinhae bay(1979~1998)	15
Table-8	The number of vessel by class at Jinhae harbor (1999~2001)	18
Table-9	The number of vessel by class at Masan harbor (1999~2001)	19
Table-10	The number of vessel by tonnage at Jinhae harbor (1999~2001)	20
Table-11	The number of vessel by tonnage at Masan harbor (1999~2001)	20
Table-12	Major oils spill response equipments at Jinhae, Masan area	40
Table-13	Major oils spill response equipments at Tongyeong area	41
Table-14	Major oils spill response equipments at Busan area	41
Table-15	Physical properties of heavy fuel oil	42
Table-16	Quantity of spilled oil on sea surface with times ..	49
Table-17	Necessary oils spill response equipments	54

List of Figures

Fig. 1	Location of the study area	4
Fig. 2	Flow chart of the study	5
Fig. 3	Monthly maximum wind velocity(m/s) of Masan, Jinhae, Geoje	9
Fig. 4	Monthly maximum wind velocity(m/s) of Tongyeong, Sarangdo	9
Fig. 5	Monthly mean air temperature(°C) at Jinhae bay for 10 years(1990~1999)	12
Fig. 6	Tidal height and current at the Jinhae bay	14
Fig. 7	The number of ocean-going vessels and coastal ships and total number of ship calling at Korea per year	17
Fig. 8	Shoreline feature and sensitivity in Jinhae bay	22
Fig. 9	Fishing ground map in Jinhae bay	24
Fig. 10	Water depth of the study area	29
Fig. 11	Tidal current at Jinhae bay and adjacent area : Max. flood current(a) and Max. ebb current(b)	31
Fig. 12	Spreading of spilled oil at the sea surface in winter with times	33

Fig. 13	Spreading of spilled oil at the sea surface in summer with times	36
Fig. 14	Changes of density(a) and viscosity(b) of Bunker-C (No.6 Oil) with times in winter	44
Fig. 15	Changes of evaporation(c) and emulsification(d) of Bunker-C (No.6 oil) with times in winter	45
Fig. 16	Changes of density(a) and viscosity(b) of Bunker-C (No.6 oil) with times in summer	47
Fig. 17	Changes of evaporation(c) and emulsification(d) of Bunker-C (No.6 oil) with times in summer	48
Fig. 18	Areas where booms should be developed at the early stage of oil spill in winter(a) and in summer(b)	52

A Study on the Improvement of Marine Oil Spill Response Capabilities in the Jinhae Bay

Ha-Lyong, Jang

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

Abstract

Jinhae bay, which is located at southeastern part of Korean peninsula, is one of the sensitive waters as many kinds of marine lives are farming. In this area, environmental problems such as red tide have risen every year probably due to slow exchange of waters, industrial waste from factories and housekeeping along the coast and so on. In addition, it is recently expected that there exists potential oil spill disaster by ship's accident in the future as a number of vessels move in and out of the harbors of Masan and Jinhae.

In this regards, the author investigated and analyzed meteorological and hydrographic data, marine traffic data, shoreline features and stockpiles of response equipments, and

finally evaluated the capabilities of marine oil spill response with the establishment of possible spill scenario.

The results of the study are as follows.

(1) In Jinhae bay, meteorological and hydrographic conditions show no unfavorable to spill response with relative weak wind and tidal current.

(2) Shorelines consist of rocky flat, man-made solid shore, beach shore and tidal flat, there are not many sensitive areas within this area. For this shore, natural recovery, low-pressure cold and warm water washing, high-pressure cold and warm water washing, manual removal, removal by sorbent and mechanical removal can be used as shoreline clean-up.

(3) Under the scenario of worst case of spill accident which can most probably takes place around pilot boarding ground north of Gadeokdo Island, numerical simulation was done to find the movement and spreading of oil slick. It is found that oil slicks move and spread southward in winter with 3.0 m/s N'ly wind & 13°C SST and oil slick move & spread northeastward in summer with 3.0m/s SE'ly wind & 25°C SST.

(4) With consideration of the movement characteristic of oil slick, it is computed that stockpile of boom of 7,700m in winter and 11,300m in summer and skimmers of 657.5m · ton/hour recovery

rate should be kept with additional appropriate amount of synthetic organic sorbent but the use of chemical dispersant is strongly prohibited in this area.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

급속한 경제성장으로 우리나라는 세계 4위의 석유수입국, 세계 6위의 석유소비국이 되었다. 그러나 석유 부존자원이 전무한 우리는 석유 자원을 전량수입에 의존하게 되며 이로 인해 연안 유류 해상 물동량은 1984년부터 1994년까지 연 평균 28%의 커다란 증가세를 나타내었다.(해운항만청, 1996) 반면 최근 국내 송유관의 본격 가동과 석유제품의 수입증가에 따라 연안 해상 유류 물동량이 97년 5,600만 톤에서 지난해에는 4,000만 톤으로 28%의 감소추세를 보이고 있다. 그러나 과거의 유조선의 수적증가와 대형화로 인해 현재 여전히 해양오염위험은 산재해 있다.

뿐만 아니라 빠른 경제회복으로 수출입 물동량이 급속도로 증가하고 있어, 수출입 물동량의 90%를 항만에서 처리하는 우리나라는 대형 수출입선박에 의한 해양유류오염의 위험 또한 꾸준히 증가하고 있다. 선박에 의한 해양유류오염사고는 예방이 최선이나 고의, 실수 등의 인재나 천재지변에 의한 자연재해 등 어느 정도의 사고는 필연적으로 발생할 수밖에 없다. 기름유출사고 시에는 초기의 효과적 대응이 무엇보다 중요하며 평소에 기본적으로 사고우려 지역에 대해 효과적인 방제시스템, 적절한 방제장비 및 훈련된 인력이 요구된다.

한편 본 연구수역인 진해만은 진해시·마산시·창원시·거제시 사이에 있는 내해(內海)와 같은 만으로 동쪽의 가덕도와 남쪽의 만구를 제외하고는 주위가 높이가 100~300m의 반도로 둘러싸여 있다. 해안선 길이 436.7km, 만입 8.7km, 평균수심 20m, 제일 깊은 곳 45m이다. 해안선의 드나듦이 복잡한 리아스식 해안이며, 만내에는 마산만·울

구만·웅천만·옥포만·명주만·하청만 등의 부속 만과 여러 섬들이 분포한다. 이중 마산만은 만의 가장 깊숙한 곳에 있으며, 만구는 약 1 km로 좁으나 수심이 깊어 천연의 양항을 이루고 있다.<Fig. 1>

이와 같은 진해만의 천연조건으로 물동량은 점점 늘어나고 있으며, 이와 연관된 선박의 정박 및 계류시설, 해상 화물 취급 시설, 선박조선소 및 수리소 등은 국가 경제에 중요한 역할을 하고 있다. 이 밖에 이 해역에는 해조류 양식어장, 제1종 공동어업 등 해양생물과 생태계에도 매우 중요한 해역이다. 그러나 이러한 지형적 특성으로 인해 해양오염사고에 늘 노출되어 있을 뿐만 아니라 매우 민감한 지역인 진해만 해역은 각종 선박의 잦은 입출항으로 언제라도 대형 해양오염사고가 발생할 가능성이 높은 해역이라 할 수 있다.

지금까지 진해만에서의 수치모델과 확산실험은 여러 분야에 걸쳐 많은 연구가 행해졌으며, 이 중 물리 해양학적인 관점에서 현장 조사 및 수치모델을 이용한 연구도 많이 이루어졌다. 그중 수치모델의 경우 2차원 조류 모델(한국 해양연구소, 1983; 김 등, 1994)이나 3차원 조류 모델(김 등, 1989; 김, 1994; 배, 1997)은 수행되어졌으나, 이 모델을 이용한 유류오염 확산모델은 연구된 바가 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 이 해역의 자연환경 및 해상교통현황을 조사·분석하고 이 해역에서 발생할 가능성이 가장 높은 해양유류오염사고 시나리오를 설정하여, 유출된 유막의 이동 및 확산을 현재 USCG(United State Coast Guard) 및 AMSA(Australia Maritime Safety Agency) 등에서 사용하고 있는 유출유확산모델인 OILMAP을 이용하여 분석함으로써 추후 발생할지 모르는 사고에 대비하고, 또한 진해만해역의 해양유류오염방제 능력 향상을 위한 대책 마련에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구는 크게 4단계로 나누어 진행하였다.

제 1단계에서는 연구 해역에서의 자연환경을 조사하기 위하여 해양조건, 기상조건 등 자연적인 조건들과 교통조건으로 구분하여 자료를 수집·분석하였다.

제 2단계에서는 해양오염방제 전략 및 대응책을 수립하는데 필요한 기초 자료로써 진해만해역의 지형적 특징을 조사하고, 해양오염 민감지역의 분포를 알아보았다.

제 3단계에서는 유속벡터를 위한 수치모델과 가장 발생가능성이 높은 선박과 기름의 종류와 유출량, 유출장소를 가정하여 해양오염 가상 시나리오를 설정한 후, 이미 다른 해역에서 검증된 ASA (Applied Science Association)제품의 OILMAP을 이용하여 유출된 기름의 시간에 따른 이동 및 확산특성을 조사하였다.

제 4단계에서는 유출된 기름의 시간 경과에 따른 풍화과정을 조사하여, 해면상의 기름잔량에 대한 적정방제장비수량을 산정하였다.

본 연구 수행의 전반적인 절차는 <Fig. 2>와 같다.

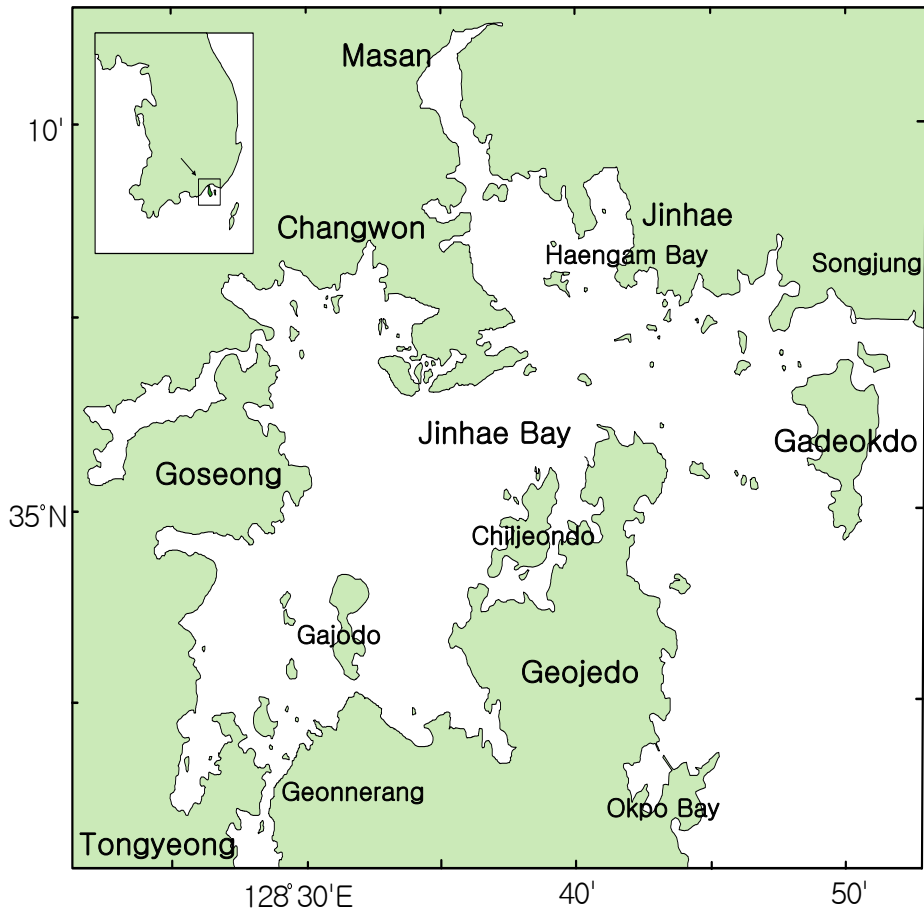


Fig. 1 Location of the study area

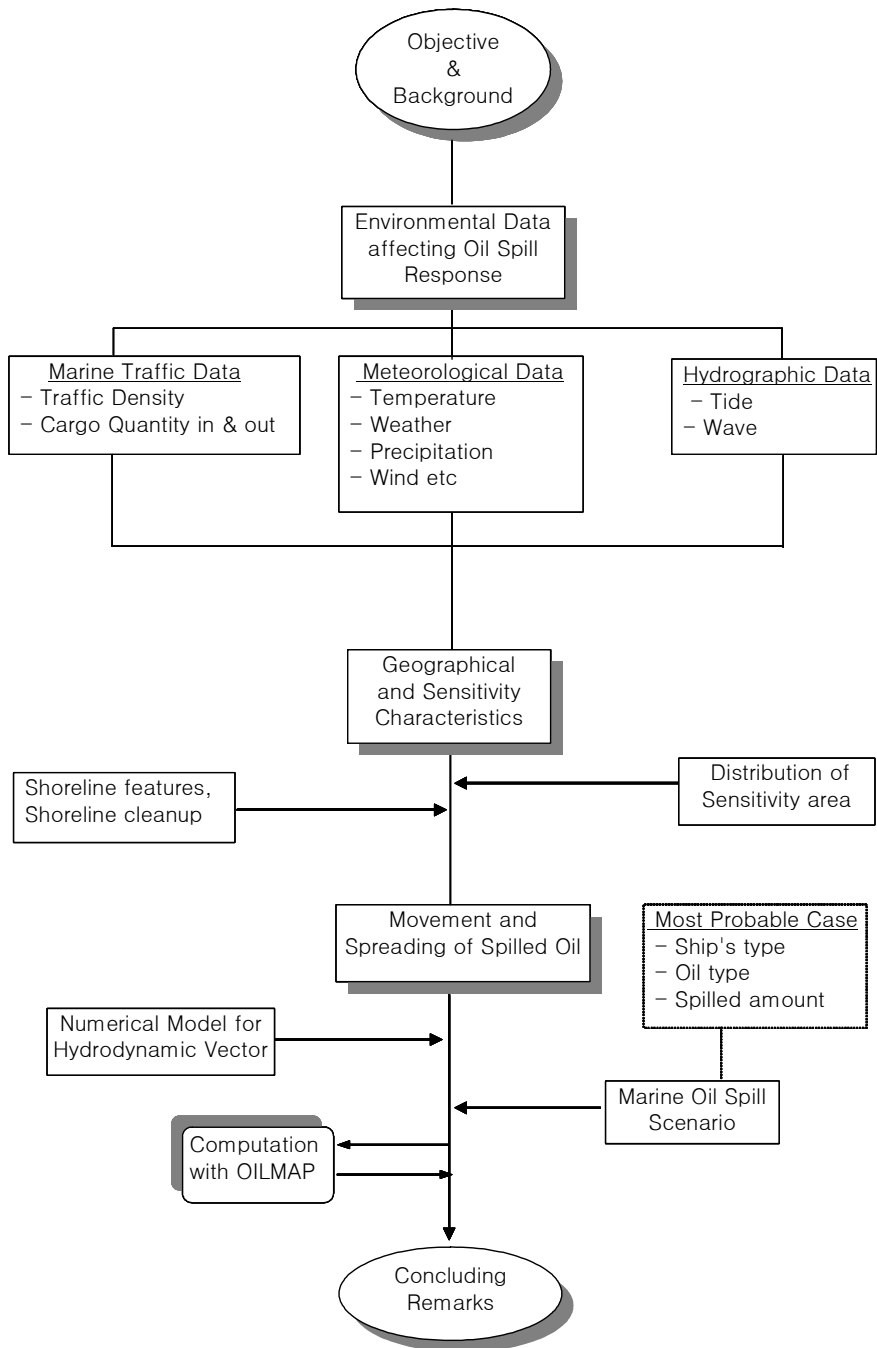


Fig. 2 Flow chart of the study

제 2 장 진해만의 주변 환경

2.1 기상·해양 조건

2.1.1 바람

바람은 공기의 흐름으로 해상에서 해류를 발생시킴과 동시에 파를 생성시키는 구동력이다. 특히 해양 유류오염방제에서 바람은 해상에 유출된 기름을 이동시키고, 바닷물과 기름을 혼합시키는 뿐만 아니라 파도를 일으키므로 신중하게 고려해야 하는 요소이다. 우리나라는 지형적 조건으로 인하여 계절풍이 탁월하여 여름에는 남동~남서풍이 우세하며, 겨울에는 북서~북동풍이 우세하다. 그리고 겨울철에는 동쪽의 해양과 서쪽의 대륙간에 기압의 차이가 크게 되어 풍속이 강하고 반대로 여름철에는 풍속이 약하다. 그러나 세부적으로는 지형적 요인으로 인해 지역별로 다른 특징을 보이는 곳도 있으며 해안지방에서는 해륙풍이 나타나기도 한다.

(1) 평균풍속

<Table-1>은 지난 10개년(1990~1999)동안 진해만 주변지역의 관측지점에서의 월별 평균풍속을 나타낸 표이다. 서로 가까이 위치하고 있는 마산과 진해의 경우에서, 두 지점은 전 기간을 통하여 월평균풍속이 1.3~3.0m/s의 분포를 보인다. 평균풍속의 월변화를 살펴보면, 1, 2, 3, 4월과 여름의 7월에 강하고, 9, 10, 11월에 약하다. 전 기간에 걸쳐 마산과 진해만에서의 풍속 변화는 거의 비슷하였다.

진해와 거의 같은 풍속을 보이는 거제에서의 월평균풍속은 1.1-1.8m/s의 분포를 보인다. 이는 주위의 마산, 진해, 통영, 사량도의 그것들에 비하면 낮은 수치이다. 7월에 있어서의 최대값을 제외하면, 풍속은 여름과 가을에 약하고, 봄과 겨울에 강하다. 통영과 사량도에서의 평균풍속은 거의 같은 월변화를 보이고, 전년의 풍속도 각각 2.4m/s, 2.3m/s로 거의 같다. 계절변화를 살펴보면, 겨울과 봄에 강하고, 가을에 약하다는 것을 알 수 있다.

<Table-1> Mean wind velocity(m/s) at Masan and adjacent area (1990~1999)

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Aver- age
Masan	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
Jinhae	2.0	2.2	2.1	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5	1.8	1.7
Geoje	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.8	1.4	1.1	1.2	1.3	1.5	1.5
Tongyeong	2.6	2.7	2.7	2.7	2.4	2.2	2.8	2.5	2.2	2.1	2.4	2.5	2.4
Sarangdo	2.3	2.3	2.5	2.4	2.3	2.3	2.8	2.5	2.0	1.9	2.1	1.9	2.3

(2) 월별 최고풍속

진해만과 그 주변의 관측지점에 있어서의 월별 최대풍속을 <Table-2>와 <Fig. 3>, <Fig. 4>에 나타내었다. 전 기간을 통하여 전 지점에서의 월 최대풍속은 8.3~45.5m/s의 큰 폭의 분포를 보이고, 통영의 풍속이 가장 강하였다. 전 지점에서의 최대풍속은 주로 7월에 나타난다.

<Table-2> Maximum wind velocity(m/s) and direction at Jinhae bay and adjacent area(1990~1999)

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Aver- age
Masan	9.5 N	11.8 NW	16.3 N	14.0 S	14.0 NW	16.7 S	22.3 SE	16.7 SSE	15.0 N	16.6 WNW	16.7 N	13.0 NNE	22.3 SE
Jinhae	23.0 WSW	21.4 W	19.6 N	23.1 ENE	18.2 SE	19.0 ENE	22.7 ENE	20.9 SE	22.5 E	16.4 WSW	22.5 W	19.7 NW	23.1 ENE
Geoje	10.0 W	8.4 NW	10.3 N	8.5 E	8.3 SSW	13.0 WNW	15.1 SE	10.9 W	9.1 S	9.2 E	8.8 WNW	11.1 WNW	15.1 SE
Tong-yeong	24.5 SSW	26.4 ESE	27.3 SSW	34.7 SW	29.1 SE	33.7 SW	47.0 SE	35.7 NW	29.5 WSW	38.3 SSE	24.4 SSW	29.0 WSW	45.5 SE
Sarang-do	20.9 WNW	20.3 WNW	20.6 SW	27.1 SE	32.2 SW	24.2 WS W	22.7 S	37.8 WS W	25.1 N	24.6 N	21.0 E	20.6 W	37.8 WSW

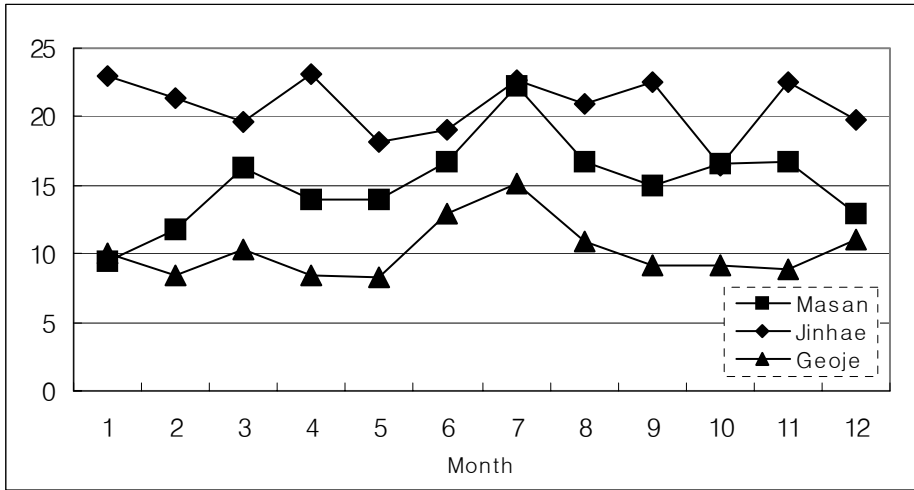


Fig. 3 Monthly maximum wind velocity(m/s) of Masan, Jinhae, Geoje

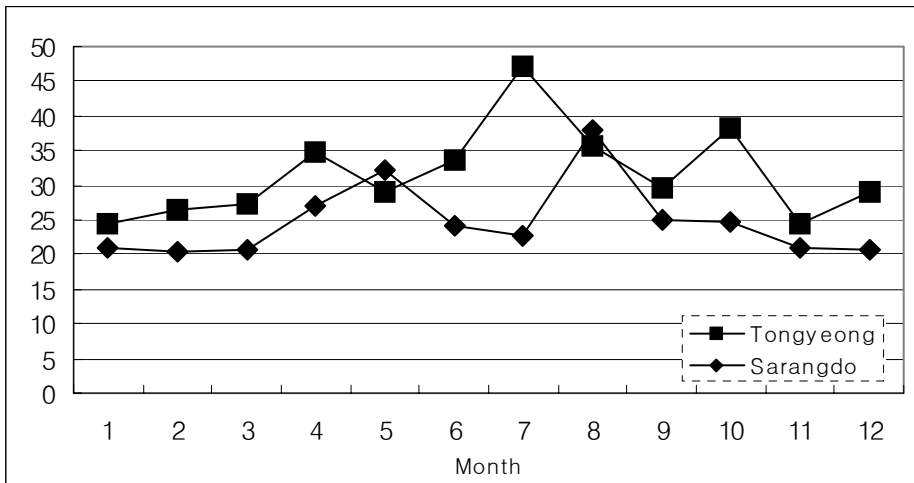


Fig. 4 Monthly maximum wind velocity(m/s) of Tongyeong, Sarangdo

2.1.2 강수량

대기 중에서 수증기가 응결하여 수적이나 빙정으로 되어 지표면에 낙하한 것을 총칭하여 강수라 한다. 강수는 기름의 풍화과정에 직접적인 영향을 미치며, 물리적인 변화에도 큰 영향을 준다. 특히 우리나라 여름철에는 태풍과 장마전선으로 단기간 집중호우가 내릴 수 있어 해양오염방제에 있어 각별히 신경을 써야하는 요인 중의 하나이다.

<Table-3>는 기상청 발행 기상연보를 통해 진해만에서 20개년(1976~1995)동안의 1일 강수량이 0.1mm이상인 날의 월평균발생일수를 나타낸 표이며, <Table-4>는 기상청 발행 기상연보를 통해 진해만에서 20개년(1976~1995) 동안의 월별 평균 강수량을 나타낸 표이다.

월별 강수일수는 일반적으로 우리나라에 장마전선이 형성되는 6월~8월이 가장 많고, 한냉건조한 시베리아 기단의 영향권에 드는 10월~12월에 적게 나타난다. 그리고 진해만의 연간 강수량은 1,503.7mm로 비교적 비가 많이 내리는 지역으로 월별 강수량 분포를 살펴보면, 6~8월이 우수기로 전체의 약 53.5%를 차지하고 있고, 12~3월이 갈수기에 해당된다. 그리고 월별 강수량은 7월에 293.7mm로 최고, 12월에 21.2mm로 최저치를 기록하며, 이것은 진해만해역의 강수가 하계에 장마전선, 태풍 및 저기압 통과에 의한 집중 호우에 의한 것임을 보여주고 있다.

<Table-3> Monthly rainfall days at Jinhae bay and adjacent area.
(daily precipitation $\geq 0.1\text{mm}$)(1976~1995)

unit : day

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Aver- age
Chung- mu	5.1	5.9	8.1	9.2	9.6	11.1	13.7	10.9	8.5	5.0	5.5	3.9	96.3
Masan	5.0	5.6	8.1	7.5	8.5	10.5	13.2	11.2	8.9	4.4	4.5	3.7	91.0
Busan	5.4	6.1	8.2	8.9	9.2	10.8	12.6	11.2	8.6	5.1	5.3	4.6	95.9

<Table-4> Monthly mean precipitation at Jinhae bay
and adjacent area(1976~1995)

unit : mm

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Aver- age
Chung- mu	28.1	49.8	81.7	132.9	140.1	205.8	233.8	220.1	130.6	53.6	47.6	23.0	1347.2
Masan	35.0	51.6	75.5	120.8	145.0	234.0	262.0	277.3	137.2	54.7	47.9	23.8	1465.0
Busan	33.0	50.0	78.0	132.7	135.4	217.4	244.3	236.9	165.6	58.0	50.8	24.3	1426.2

2.1.3 기온

기온은 유출된 기름의 풍화작용에 직접적인 영향을 미치는 요소로 10개년(1990~1999) 동안의 진해만 지방의 기온분포를 조사하였다. 진해만은 쓰시마해류의 영향으로 습윤하고 온화한 난대성의 특색을 나타내며, 연 평균기온은 15°C로 나타났고, 평균 최고기온은 19.6°C, 평균 최저기온은 11.1°C로 나타났다. 월 평균기온 분포에 의하면, 최난월은 8월이고, 최한월은 1월인 반면, 최고기온은 7월에 29.1°C, 최저기온은 1월에 1.9°C로 나타났다. 그리고 진해만 해역은 해양과 접하고 있기 때문에 해양성 기후로 34°C이상으로, -2°C이하로 기온이 변하지 않으며, 연교차가 약 23.8°C로 비교적 적은 것으로 나타났다.

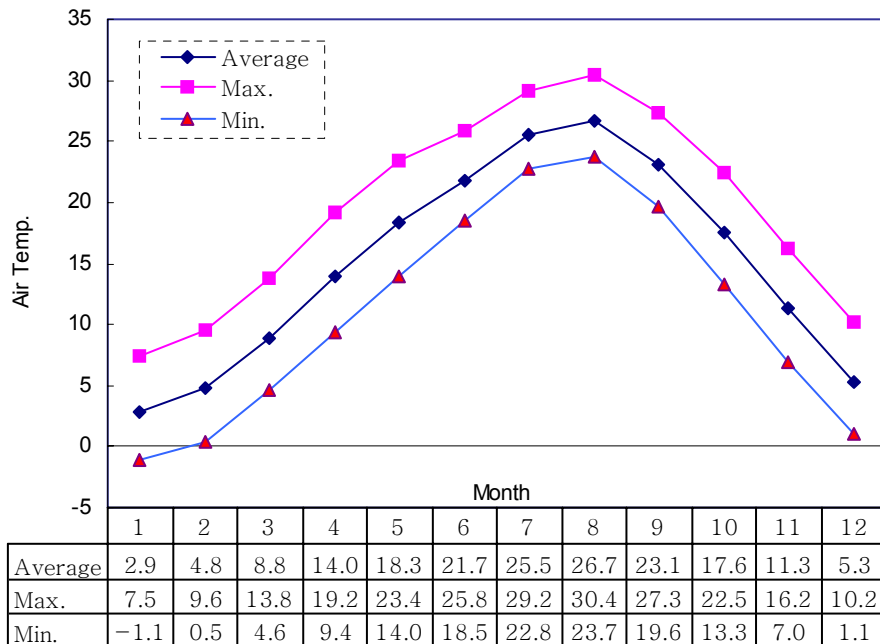


Fig. 5 Monthly mean air temperature(°C) at Jinhae bay for 10 years(1990~1999)

2.1.4 조석 및 조류

조류는 이것에 수반되어 발생하는 해수의 유동과 교대로 나타나는 고조 및 저조로 인한 조간대의 형성 때문에 유류오염에 매우 중요한 요소로 취급된다. <Table-5>와 <Table-6>은 기상청 발행 기상연보에서 진해만 주변 해역인 진해 및 부산항을 택해 이들 항의 월별 평균조차와 최대조차를 나타낸 표이다. 장소별로 10년에 걸쳐 월 평균조차의 분포를 살펴보면, 진해의 경우는 142~160cm, 부산의 경우는 92~95cm이며, 월별 차이는 크지 않는 편이다. 진해 및 부산항의 월별 최대조차의 분포를 살펴보면, 진해의 경우는 212~242cm, 부산의 경우는 134~146cm로 평균 조차의 약 1.5배 정도인 것으로 나타났다.

조류는 조석운동에 수반되어 일어나는 수평운동으로, 유향과 유속이 주기적으로 변하는 현상이다. 파정이 해안을 향해 다가오면 해수도 해안으로 흘러오는데, 이러한 현상을 창조류(flood current)라 하며 가덕수도를 북서류하여 진해만으로 압류되면서 환류하며 일부는 견내량 해협으로 유출된다. 반대로 파곡이 해안으로 다가오면 해수가 외양을 향해 흘러가는 낙조류(ebb current)가 발생한다. 조석과 조류의 특성을 <Fig. 6>에 나타내었다.

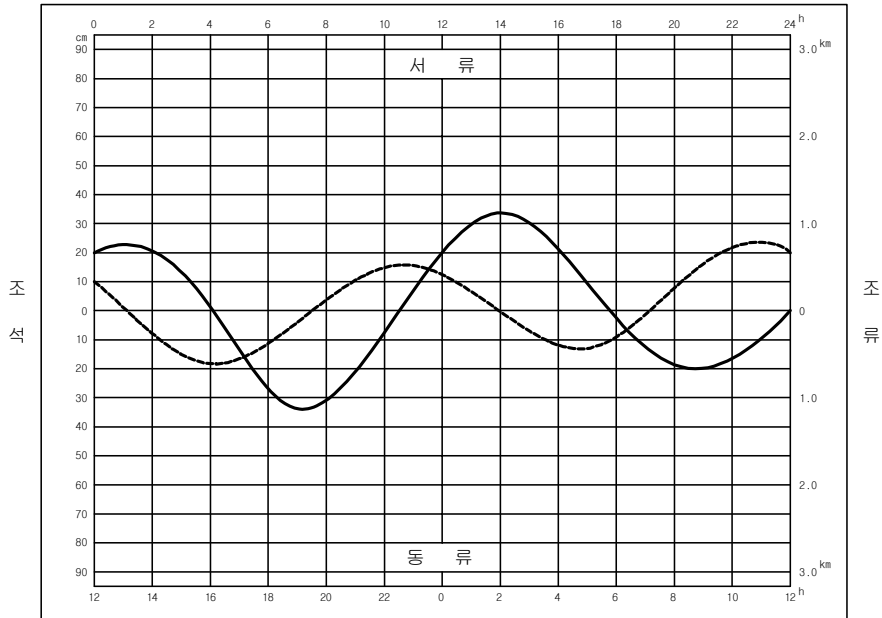
<Table-5> Mean tidal range(cm) at Busan and Jinhae(1990~1999)

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
Busan	92	92	93	92	93	93	95	94	92	95	94	93	93
Jinhae	146	144	142	144	160	146	148	151	150	149	149	145	148

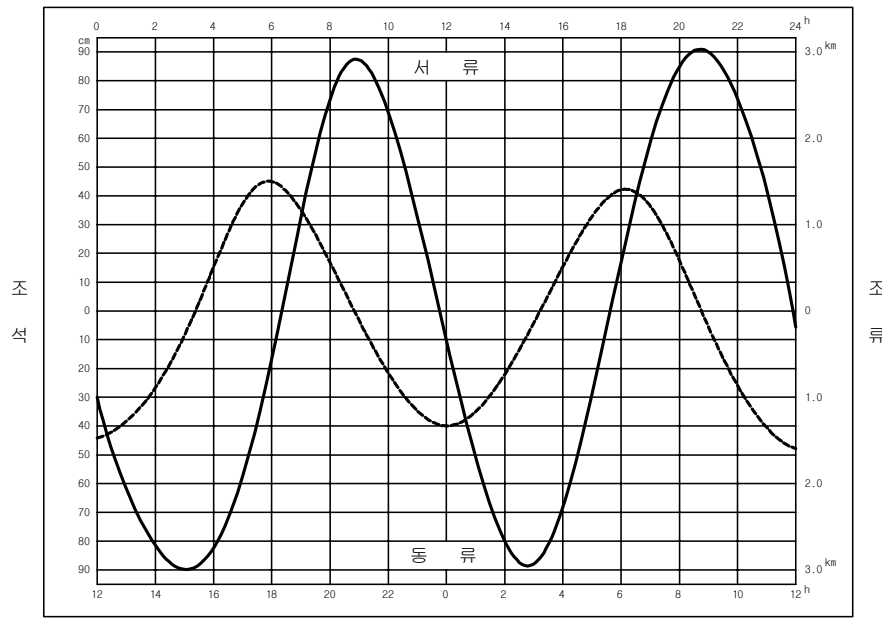
<Table-6> Maximum tidal range(cm) at Busan and Jinhae(1990~1999)

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
Busan	140	145	145	146	140	140	134	137	142	144	144	141	146
Jinhae	225	228	228	228	227	218	212	226	242	229	232	229	242

춘 계 양 현



추 계 양 현
춘 계 삭 · 망



추 계 삭 · 망

Fig. 6 Tidal height and current at the Jinhae bay

2.1.5 파랑

진해만과 그 주변 해역에서 임의의 세 지점(지점 1: 35° 05.0' N, 128° 42.0' E, 지점 2: 35° 03.0' N, 128° 42.0' E, 지점 3: 35° 05.0' N, 128° 42.0E')을 선정하여 파고의 특성을 조사·분석하였다 <Table-7>. 여기에서 사용된 자료는 모델을 이용하여 산출한 10년간(1986~1995)의 연안격자점 자료와 20년간(1979~1998)의 천해파랑자료이다.

전 지점의 월 평균유의파고는 0.0~0.1m의 분포를 보이고, 전년의 값은 3 지점 모두 0.1m로 아주 낮다. 평균유의파고는 전 계절에 걸쳐 거의 동일하게 나타났다.

<Table-7> Monthly mean significant wave height(m) at Jinhae bay(1979~1998)

Month Area	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Aver- age
1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1

2.2. 해상 교통량 현황

해상교통량이 늘어날수록 해난사고 가능성은 자연스럽게 증가하게 된다. 이로 인해 인명사고 뿐만 아니라 해양유류오염사고 가능성 또한 높아지게 되는 것이다. 진해만 해역의 해상 교통량을 알아보고 해양 사고가 발생할 가능성이 높은 선박의 종류, 크기를 알아보고자 한다.

먼저 우리나라 전체의 해상교통량을 알아보기 위하여 10개년(1990~1999) 동안 전 지정 무역항 및 기타 항에 입항한 선박의 교통량을 외항선, 연안선 및 전체 척수로 구분하여 <Fig. 7>에 나타내었다. 외항선의 입항척수는 1990년에 27,767척이던 것이 매년 계속 증가하여 1999년에는 54,961척으로 10년 동안 약 2배로 증가하였다. 이와는 달리 연안선의 입항 척수는 1990년에 113,213척이었으나, 그 후 1994년까지 감소하다가, 다시 증가 또는 비슷한 수준으로 유지되어 1999년에는 96,148척인 것으로 나타났다. 그리고 외항선과 연안선을 합한 전체 입항 척수는 1991년 및 1992년 약 15만척 이상으로 최다를 나타낸 후 1994년까지 약간 감소하다가 그 후 지속적으로 증가 추세를 보이고 있다.

또한 1999년부터 2001년까지 본 연구해역인 진해항과 마산항에서의 입항 선박을 선종별, 톤급별로 구분·정리하였다.

본 조사를 통해 진해항에서는 여객선의 경우 2000년 이후 거의 입항하지 않았으며, 일반화물선의 경우 1999년에 183척에서, 2000년에 58척으로 많이 줄었다가, 2001년에 97척을 기록하였다. 그리고 케미칼·LNG·LPG운반선은 꾸준히 증가하는 추세이며, 산물선은 눈에 팔목할만한 증가추세에 있으며 전체 입항선박의 31%를 차지하고 있다.<Table-8>

뿐만 아니라 진해항의 선박톤급별 입항선박척수를 살펴보면 1999

년에 100톤 미만의 선박이 대부분을 차지하였으나, 점차 대형화가 이루어져 2000년에는 100~1,000톤의 선박이 많이 입항하였으며, 2001년에는 100~1,000톤의 선박이 70% 증가하였으며, 1,000~7,000톤의 입항선박도 2배 이상으로 증가하였다.<Table-10>

마산항은 진해항에 비해 6배가 넘는 선박이 입항한 것으로 나타나 활발한 입출항이 이루어지는 항구임을 알 수 있다. 주요한 입항 선박은 케미칼·LNG·LPG운반선인 내항선으로 2001년에 총 입항 선박의 27%를 차지하고 있으나 점차적으로 감소추세에 있다. 산물선은 1999년에는 581척밖에 입항하지 않았으나, 2001년에는 1,072척의 선박이 입항하였다.<Table-9>

그리고 마산항의 선박톤급별 입항선박척수를 살펴보면 100~1000톤의 선박이 대다수를 차지하고 있으나, 20,000~75,000톤의 대형선박도 2001년에는 254척이나 입항하는 것으로 나타났다.<Table-11>

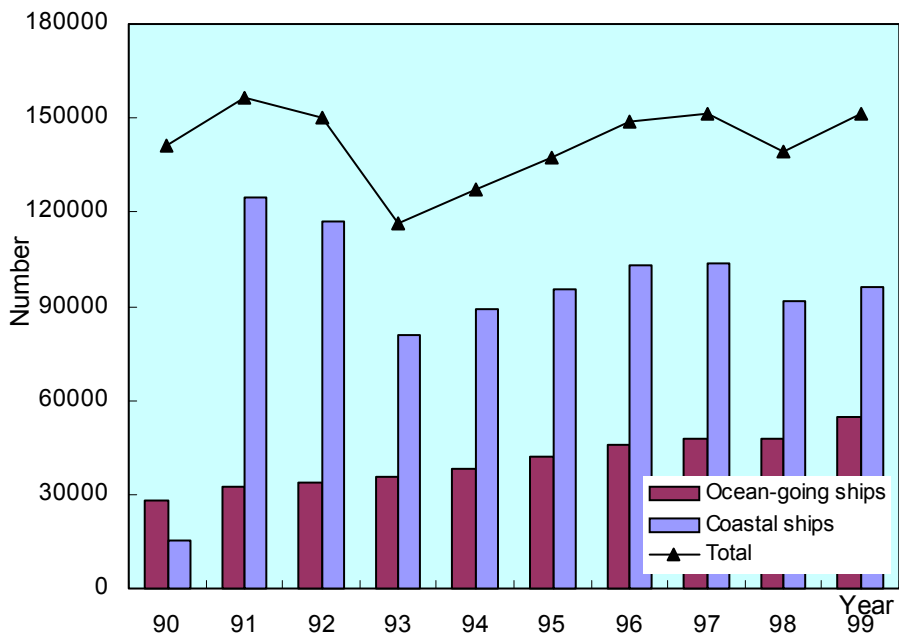


Fig. 7 The number of ocean-going ships and coastal ships and total number of ship calling at Korea per year(1990~1999)

<Table-8> The number of vessel by class at Jinhae harbor
(1999~2001)

Year	1999			2000			2001		
	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship	Total
passenger ship	118	606	724	2	0	2	1	0	1
bulk carrier	1	34	35	7	221	228	12	305	317
raw timber ship	0	0	0	0	0	0	2	0	2
cement carrier	0	0	0	0	0	0	0	0	0
car carrier	1	0	1	0	0	0	0	0	0
hot coil carrier	0	0	0	0	0	0	0	0	0
refrigerator ship	31	0	31	32	0	32	37	0	37
cargo ship	56	127	183	57	1	58	95	2	97
full-container	3	0	3	2	0	2	2	0	2
semi-container	1	0	1	0	0	0	0	0	0
chemical · LNG LPG carrier	17	96	113	12	108	120	7	153	160
fishing ship	6	0	6	9	0	9	21	0	21
etc.	2	346	348	7	302	309	5	359	364
Total	236	1,209	1,445	128	632	760	182	819	1,001

Source : Ministry of Maritime Affairs and Fisheries

<Table-9> The number of vessel by class at Masan harbor
(1999~2001)

Year	1999			2000			2001		
	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship	Total
passenger ship	0	1	1	0	0	0	0	0	0
bulk carrier	63	518	581	249	683	932	213	859	1,072
raw timber ship	13	0	13	9	0	9	9	0	9
cement carrier	1	233	234	0	204	204	0	297	297
car carrier	259	0	259	211	0	211	195	0	195
hot coil carrier	0	4	4	0	12	12	0	3	3
refrigerator ship	64	0	64	62	0	62	74	0	74
cargo ship	1,064	255	1,319	1,000	97	1,097	976	109	1,085
full-container	282	0	282	357	0	357	416	0	416
semi-container	202	0	202	84	0	84	103	0	103
chemical · LNG LPG carrier	6	1,947	1,953	8	1,789	1,797	8	1,749	1,757
fishing ship	13	0	13	16	0	16	11	0	11
etc.	30	1,645	1,675	24	1,375	1,399	28	1,486	1,514
Total	1,997	4,603	6,600	2,020	4,160	6,180	2,033	4,503	6,536

Source : Ministry of Maritime Affairs and Fisheries

<Table-10> The number of vessel by tonnage at Jinhae harbor (1999~2001)

Year	1999			2000			2001		
	a kind of vessel	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship
less than 100	118	606	724	1	261	262	3	131	134
100~1,000	19	228	247	16	280	296	17	490	507
1,000~7,000	29	38	67	47	91	138	91	198	289
7,000~20,000	54	0	54	48	0	48	56	0	56
20,000~50,000	15	0	15	16	0	16	15	0	15
Total	235	872	1,107	128	632	760	182	819	1,001

Source : Ministry of Maritime Affairs and Fisheries

<Table-11> The number of vessel by tonnage at Masan harbor (1999~2001)

Year	1999			2000			2001		
	a kind of vessel	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship	Total	ocean-going	coastal ship
less than 100	1	1,339	1,340	0	1,035	1,035	2	255	257
100~1,000	250	2,205	2,455	242	2,163	2,405	207	2,868	3,075
1,000~7,000	985	902	1,887	993	857	1,850	996	1,209	2,205
7,000~20,000	434	157	591	484	105	589	574	153	727
20,000~50,000	327	0	327	301	0	301	254	0	254
Total	1,997	4,603	6,600	2,020	4,160	6,180	2,033	4,485	6,518

Source : Ministry of Maritime Affairs and Fisheries

2.3 지형적 특성

2.3.1 해안선 민감지역

해양오염사고가 일어나면 사고지역의 해안이 입는 피해는 해안의 종류에 따라 다르다. 그러므로 평상시에 해안선의 특성을 조사하여 해양유류오염에 취약한 해안을 민감지역으로 설정해 놓으면 한정된 자원을 이용한 방제에서 우선순위를 정할 수 있어 효과적인 방제를 실시할 수 있다. 진해만해역의 민감지역을 인공구조물 해안, 모래해안, 간출암(바위)해안, 펄 간석지, 산업시설로 나누어 <Fig. 8>에 표시하였다.

가덕도의 동쪽 해안과 서쪽 해안은 주로 간출암(바위)해안으로 이루어져 있으며, 가덕도를 마주보고 있는 송정지역은 넓은 펄 간석지를 이루고 있다.

그리고 진해만과 마산만은 선박 정박용 부두로 대부분 인공구조물로 되어있다는 특징이 있다. 진해만 서편과 고성에 이르는 넓은 해안선에는 곳곳에 펄 간석지를 이루는 것이 특징이다.

고성에서는 동쪽 해안선을 따라 넓은 펄 간석지가 자리 잡고 있으며, 거제도의 북쪽과 동쪽해안은 많은 해안이 모래해안으로 이루어져 있으며 이로 인해 해수욕장이 다수 분포하며, 동남쪽 해안에는 대우옥포조선소 등 많은 공장이 해안에 접해있어 인공구조물 해안을 이루고 있다.

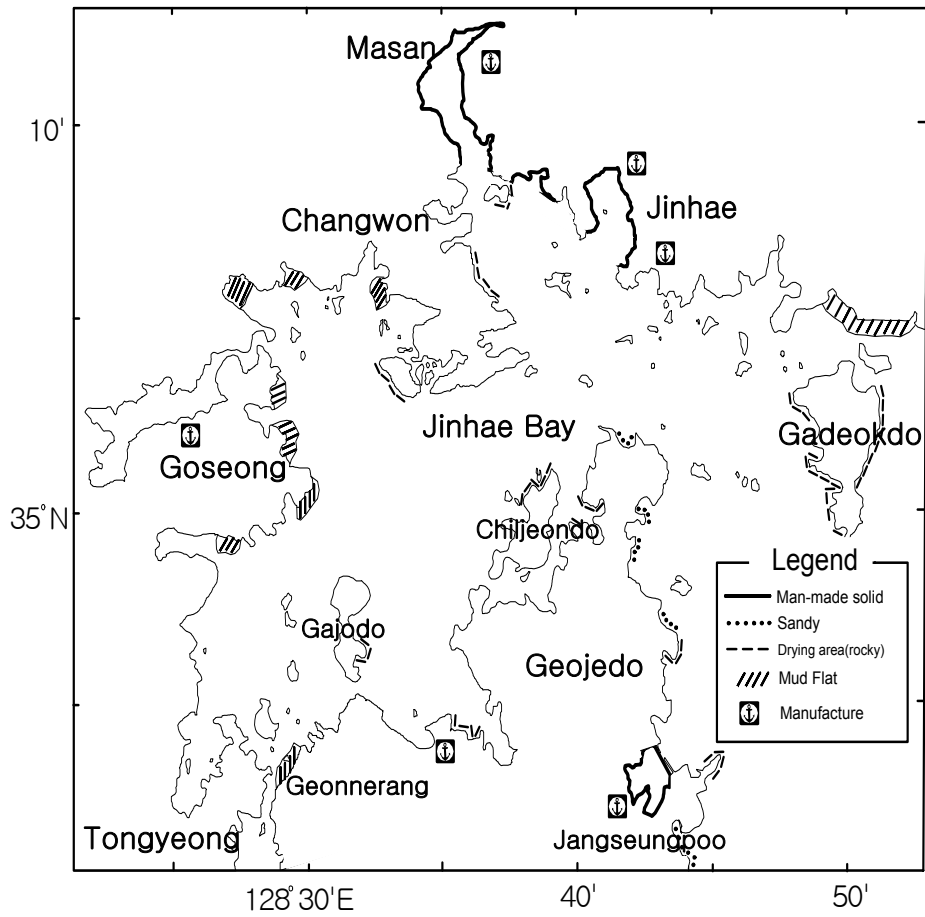


Fig. 8 Shoreline feature and sensitivity in Jinhae bay

2.3.2 어장 민감지역

유류 해양오염사고 시 진해만 부근 해역은 다종의 어폐류가 서식하고 있어 매우 민감한 지역으로 구분된다. 이는 초기 유류오염 발생시 이 지역을 먼저 고려하여 오일펜스로 기름의 확산을 방지해야 하며, 유류오염방제 시 2차적인 해양오염을 유발할 수 있는 유처리제의 사용을 금지해야하는 지역이기도 하다.

<Fig. 9>에서 보듯 가덕도 전 해안선을 따라 기타 및 1종 공동어업이 활발히 이루어지고 있고 가덕도 동남단에는 정치어업이 행하여지고 있다.

가덕도를 마주보고 있는 송정지역도 해안선을 따라 기타 및 1종 공동어업이 이루어지고 있으며, 동시에 많은 수의 폐류양식어장이 조밀히 형성되어 있다.

또한 진해와 마산만 입구에는 만을 따라 폐류양식어장, 기타 및 1종 공동어업, 정치어업이 행하여지고 있다.

그리고 거제도 동쪽 해안선을 따라 기타 및 1종 공동어업, 정치어업이 활발히 행해지고 있으며 거제도 서쪽에 위치하고 있는 가조도는 섬 주위를 따라 어장이 형성되어 있다.

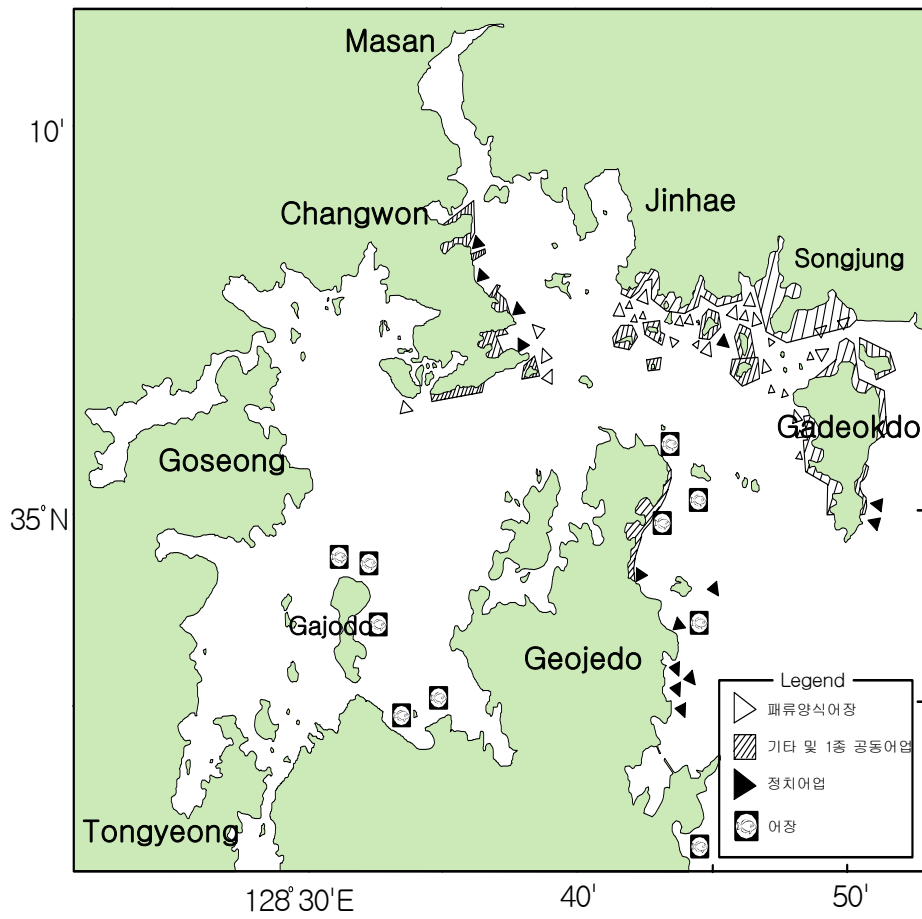


Fig. 9 Fishing ground map in Jinhae bay

2.3.3 해안오염방제(Shoreline clean-up)

2.3.1절, 2.3.2절에서 조사한 바에 의하면, 진해만 해역에는 항만, 해수욕장, 펄 간석지, 정치어업, 해조류양식어장 등이 있어 해양유류 오염에 매우 민감한 지역이다. 그러므로 해양유류오염 발생시 최대한 신속하게 초기방제조치를 취하여 기름이 해안에 부착되는 것을 최소화하는데 최선을 다하여야 한다. 그러나 불가항력적으로 일부 기름이 해안에 부착된 경우에는 환경 피해가 수반되지 않고 경제적이고 효과적으로 해안오염방제를 하여야 한다.

진해만 해역의 해안선은 주로 바위로 된 간출암 해안, 인공구조물 해안, 모래해안 및 펄 간석지로 되어있다. 따라서 진해만해역에서 채택될 수 있는 해안오염방제 테크닉으로 다음 방법을 들 수 있다.

(1) 자연적 회복(Natural Recovery)

오염된 해안을 아무런 조치를 취하고 않고 그대로 내버려 두는 방법으로 노출된 해안, 특히 암반 해안에서 파 에너지가 큰 경우 적용할 수 있다.

(2) 저압냉수 및 온수 세척(Low-pressure cold and warm water wash)

주로 인공구조물에 부착된 기름이나 해안에 고여 있는 기름에 저압으로 상온수를 압력 약 50psi로 분출시켜 일정한 장소에 모으는 방법이다. 이 방법은 인공구조물에 적합하며, 모래해변이나 모래자갈해변 또는 모래간석지에서 제한적으로 사용할 수 있다.

(3) 고압냉수 및 온수 세척(High-pressure cold and warm water wash)

저압냉온수 세척으로 기름을 세척시키지 못할 경우 100psi 이상의 고압으로 상온수를 분출시키는 방법이며, 반암해변이나, 인공구조물에만 이용할 수 있다.

(4) 수작업(Manual removal)

손도구 및 손으로 직접 제거하는 방법으로 전 종류의 해안에 적용할 수 있으며, 점착성기름, 차량의 출입이 어려운 장소 등에 적합하다.

(5) 유흡착재에 의한 제거(Passive sorbent)

유흡착재를 조간대에 설치하여 기름을 제거하는 방법으로 사석해안이나 조간대 식물서식지에 적합하다.

(6) 기계적 제거(Mechanical removal)

기계적 장비를 이용하여 기름 및 오염물질을 제거하는 방법으로 반암해안이나 인공구조물해안 이외의 해안에서는 이 방법을 사용할 수 있다.

제 3 장 유출유의 이동 및 확산

3.1 해수유동 및 유출유 확산

3.1.1 기본방정식

조류의 계산에 사용된 기본 방정식은 표층에서 해저경계층까지 조류의 유속이 같으며 해저경계층이 매우 작다는 가정인 천해장과 이론을 도입하여 연속적으로 평균된 2차원적 유체 운동방정식과 연속 방정식으로 그 식은 아래와 같다.

식 (1)과 (2)는 각각 x, y방향의 운동방정식이며, (3)은 연속방정식이다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial uU}{\partial x} + \frac{\partial uV}{\partial y} - fV = -gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + Ah \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) - \gamma u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial vU}{\partial x} + \frac{\partial vV}{\partial y} + fU = -gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + Ah \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \gamma v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서

$$U = \int_{-h}^{\zeta} u dz, \quad V = \int_{-h}^{\zeta} v dz \quad \text{이다.}$$

식 (1), (2), (3) 에서

t : 시간

x, y : 직교 좌표계 상에서 동쪽, 북쪽으로의 거리

u, v : 연직적으로 평균된 x 및 y 방향의 유속

h : 평균해면으로부터의 수심

ζ : 평균해면으로부터의 해면 변위

f : 기준위도에 대한 코리올리의 파라메타

$$(f = 2\Omega \sin\phi = 8.13 \times 10^{-5} s^{-1})$$

Ω : 지구 자전 각속도 ($\Omega = 7.27 \times 10^{-5} \text{radian/sec}$)

ϕ : 모델 적용해역의 기준 위도($35^\circ 05'N$)

g : 중력가속도($= 9.8 \text{ms}^{-1}$)

γ : 해저 마찰계수($= 0.003$)

A_h : 와동확산계수($= 10^2 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

를 나타낸다.

simulation을 수행하기 위해 앞에서 주어진 기본방정식 (1), (2), (3)을 시간에 대해 전방차분, 공간에 대해 중앙차분으로 차분화 하였으며, 이류항은 경사차분법(angled derivative scheme)을 사용하였으며, 한 단계의 수치계산과정에서 발생할지도 모르는 오차를 분산시키거나 흡수하기 위해 양방향 순차계산법(double sweep scheme)을 사용하였다.

3.1.2 초기 및 경계조건

각 격자에서의 계산은 Arakawa-C 방법을 이용하였다. 진해만은 반일주조가 약 70% 정도 우세한 조석형태에 속하므로 조류는 M_2 분조만을 사용하였다.

계산의 시간 간격은 양해법의 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) 수치적 안정도 조건을 충분히 만족하는 10.35sec를 적용하였다. (Mesinger and Arakawa, 1976)

수심 자료의 입력은 축척 1:50000의 국립해양조사원 발행해도 No. 206, 237을 참고하였다. <Fig. 10>에 도시된 수심도는 입력된 수심 자료를 재구성하여 작성된 것이다. 만내의 최고수심은 40m이며 평균수심은 20m이다. 계산에 사용된 총격자의 수는 x 방향으로 267개, y 방향으로 206개로 구성하였고 한 격자의 간격은 200m를 취하였다.

연안경계 조건으로는 해안선에 수직인 유속 u 와 v 는 0이라는 조건을 사용하였다. 남쪽 경계면에서의 지각은 계산초기의 불연속을 최소로 하기 위해 90° 로 환산한 값을 사용하였다. 계산영역에서 바람의 영향, 하천 유입 등의 영향은 고려되지 않았다.

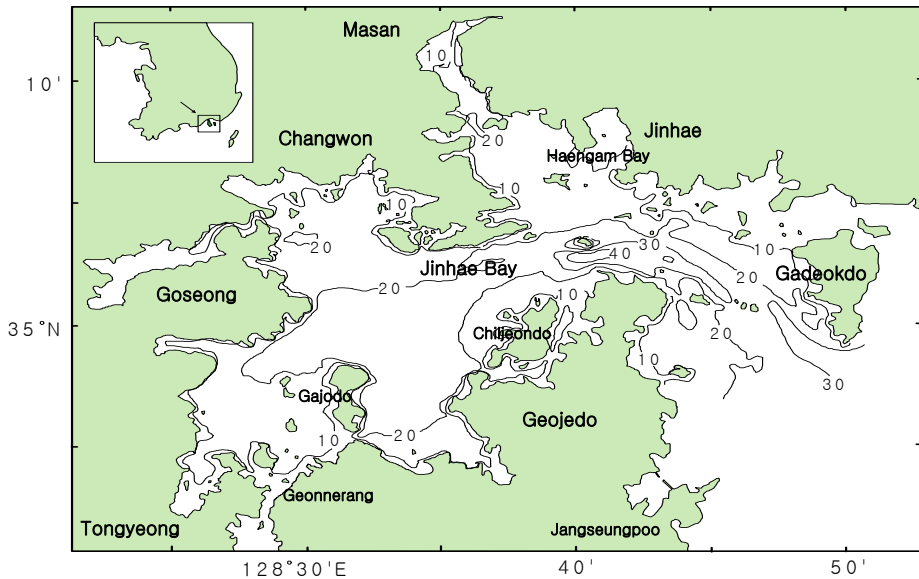


Fig. 10 Water depth of the study area

3.1.3 해수유동특성

진해만과 그 부근 해역에서의 유동특성 중 하나인 유속은 실제로 국립해양조사소의 조류도에 나타난 유속의 크기보다는 작게 나타났으나, 흐름의 패턴은 동일하게 나타났다.

최강창조류 시에는 가덕도 남쪽에서 서류하던 흐름이 가덕수로 쪽으로 북서류하여 반시계방향으로 회전하면서 고성만으로 들어간다. 이때 가덕수로 및 가덕도 북쪽해역에서 최강유속은 약 1.3kts 정도로 보인다.<Fig. 11.a>

또한 최강낙조류 시에는 최강창조류와 반대방향으로 진해만에서 가덕수로를 통해 남해로 빠져나와 동류하며 가덕수로에서 최강유속을 보이나, 최강창조류보다 약한 흐름을 보이고 있다.<Fig. 11.b>

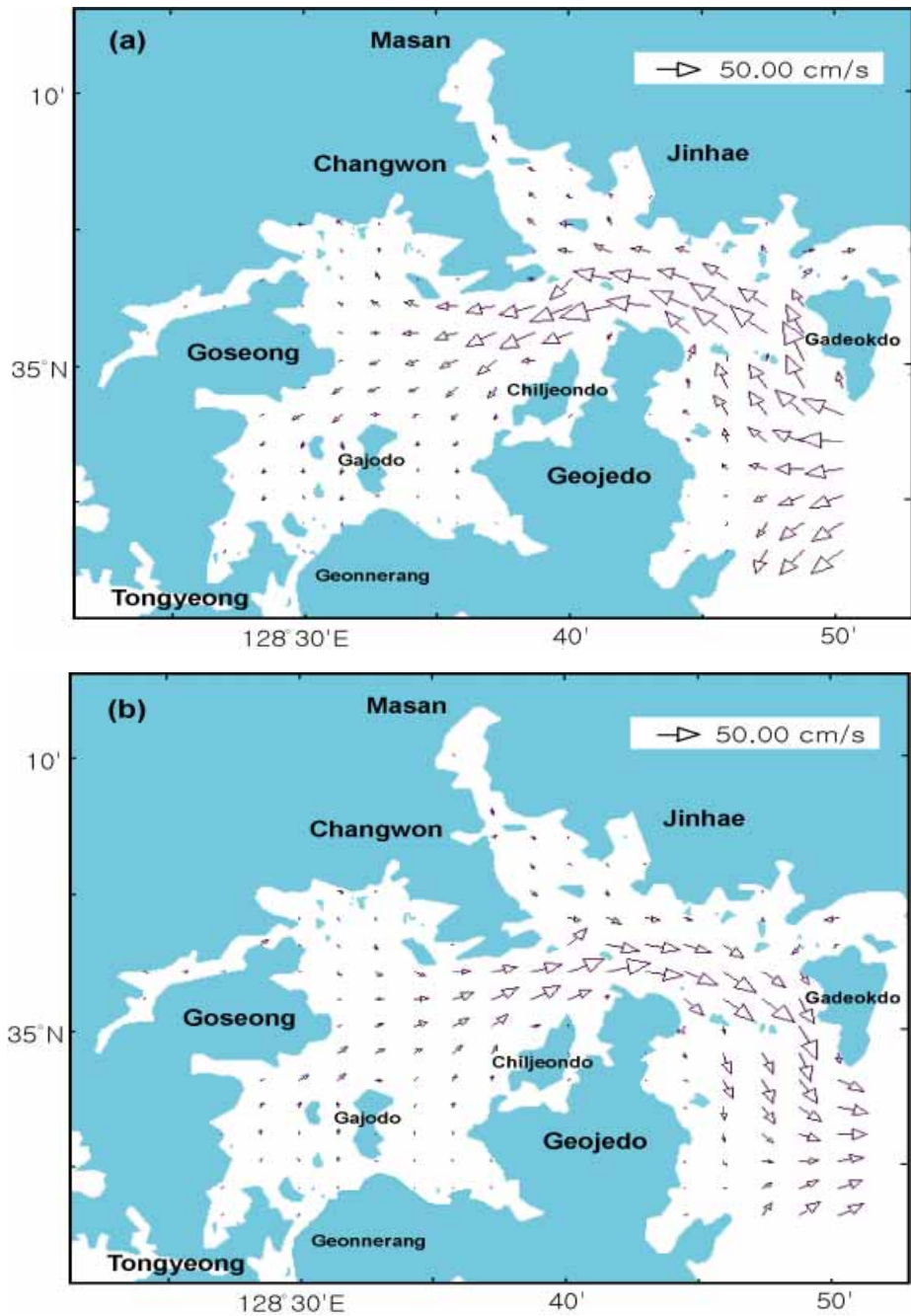


Fig. 11 Tidal current at Jinhae bay and adjacent area
: Max. flood current(a) and Max. ebb current(b)

3.1.4 유출유의 확산

유출유의 확산을 3.2.1에 설정한 해양오염 가상 시나리오의 위치에서 872톤의 벙커유가 유출되었다고 가정하여, OILMAP이라는 유출유모델을 사용하여 동계와 하계로 나누어 계산하여 보았다.

(1) 동계의 경우

동계에 설정한 가상 선박에서 충돌 및 좌초로 인해 기름은 북쪽에서 불어오는 바람 3.0m/s와 수온 13℃의 조건하에서 <Fig. 12>와 같이 기름 유출지점에서 남쪽으로 이동하였다.

사고발생 지점에서 유출된 유막은 당일 6시간 후에는 높은 농도로 거제도 북동쪽, 가덕도 서쪽으로 약 5.5km 떨어진 해역에 유막을 형성한 뒤<Fig. 12.a> 12시간 후 조류와 바람의 영향 등으로 거제도 북쪽해안에 약간의 기름을 유착 시킨 뒤<Fig. 12.b>, 24시간 후 많은 해수욕장과 기타 및 1종 공동어업과 어장이 분포하고 있는 거제도의 동쪽해안선을 따라 거제도 동쪽 지역으로 급속도로 퍼지는 것으로 나타났다.<Fig. 12.c>

이후 능포에 이르는 약 8.8km의 길이로 해안선을 따라 긴 유막을 형성하며, 사고발생 후 2일 뒤인 48시간이 흐른 뒤 옥포만에 많은 양의 농도가 높은 기름이 해안에 유착된 형태에 확산된다는 것이 계산결과 나타났다.<Fig. 12.d>

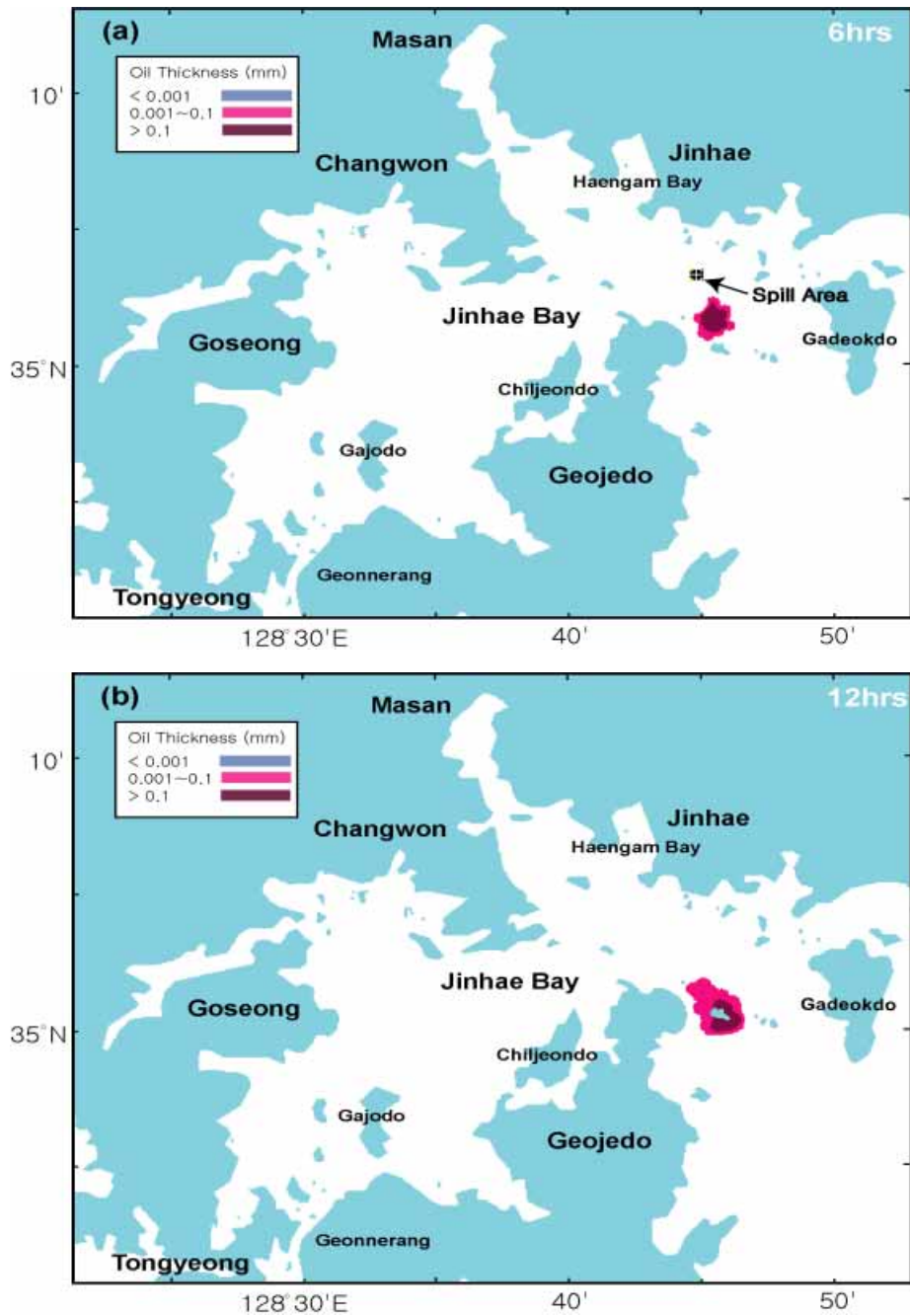


Fig. 12 Spreading of spilled oil at the sea surface in winter with times

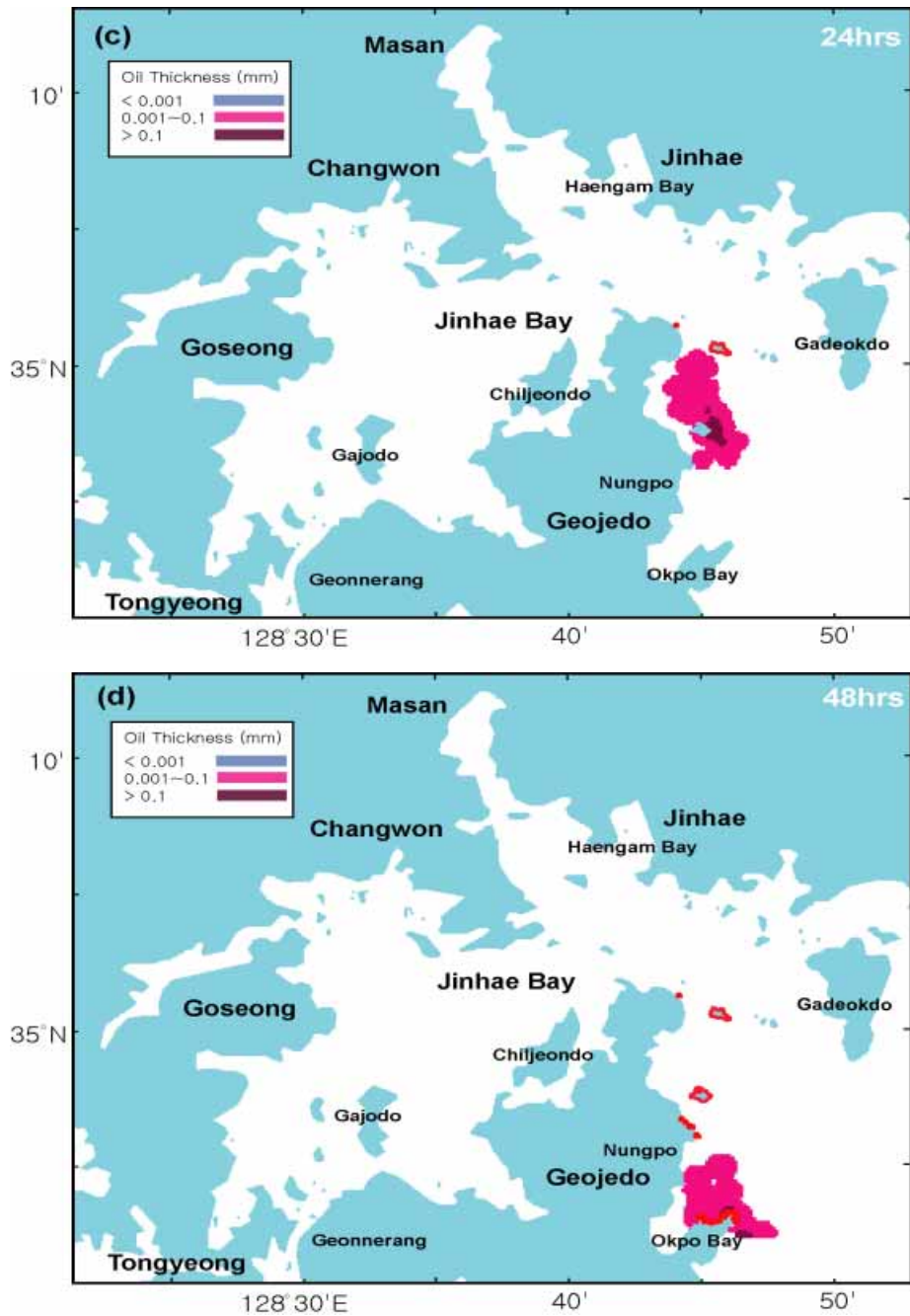


Fig. 12 Continued spreading of spilled oil at the sea surface in winter with times

(2) 하계의 경우

하계에 설정한 가상 선박에서 충돌 및 좌초로 인해 기름은 남동쪽에서 불어오는 바람 3.0m/s와 수온 25℃의 조건하에서 <Fig. 13>과 같이 북서쪽으로 이동하였다.

사고발생 지점에서 유출된 유막은 발생한 당일 6시간 후 남동풍의 영향으로 높은 농도로 진해 남쪽 약 3.7km 떨어진 해역에 유막을 형성한 뒤<Fig. 13.a>, 이미 12시간 후에는 조류와 바람의 영향 등으로 대일산 주위에 많은 기름을 유착 시킨다.<Fig. 13.b> 그리고 24시간 후 행암만의 입구부분과 부도의 동쪽해안을 오염시키며 항만시설이 많은 마산만으로 급속도로 퍼지는 것으로 나타났다.<Fig. 13.c>

이후 마산항 입구에 20km²에 이르는 넓은 유막을 형성하며, 48시간 뒤에는 마산항 입구에서 고농도로 밀집하는 것으로 나타났다.<Fig. 13.d>

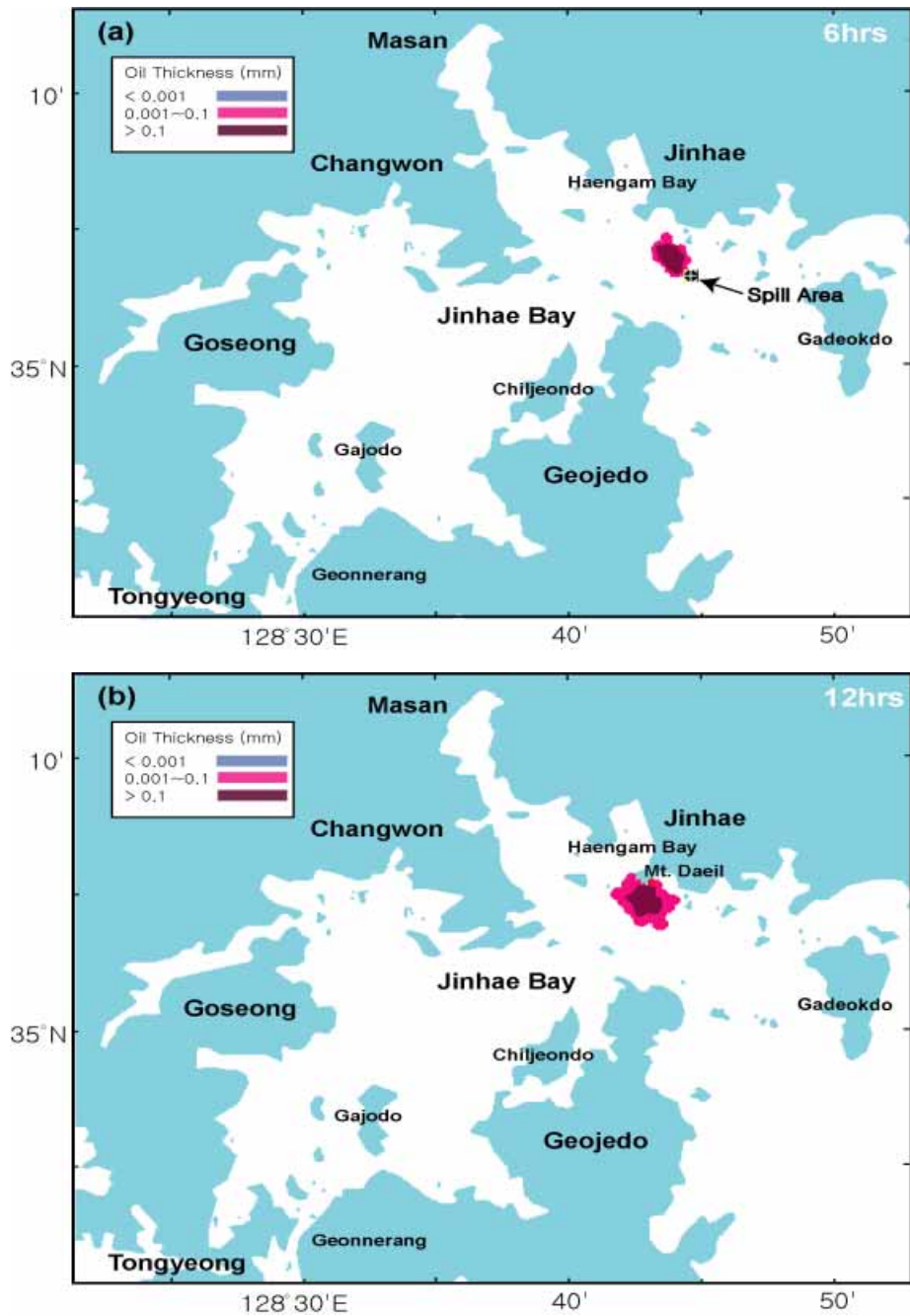


Fig. 13 Spreading of spilled oil at the sea surface in summer with times

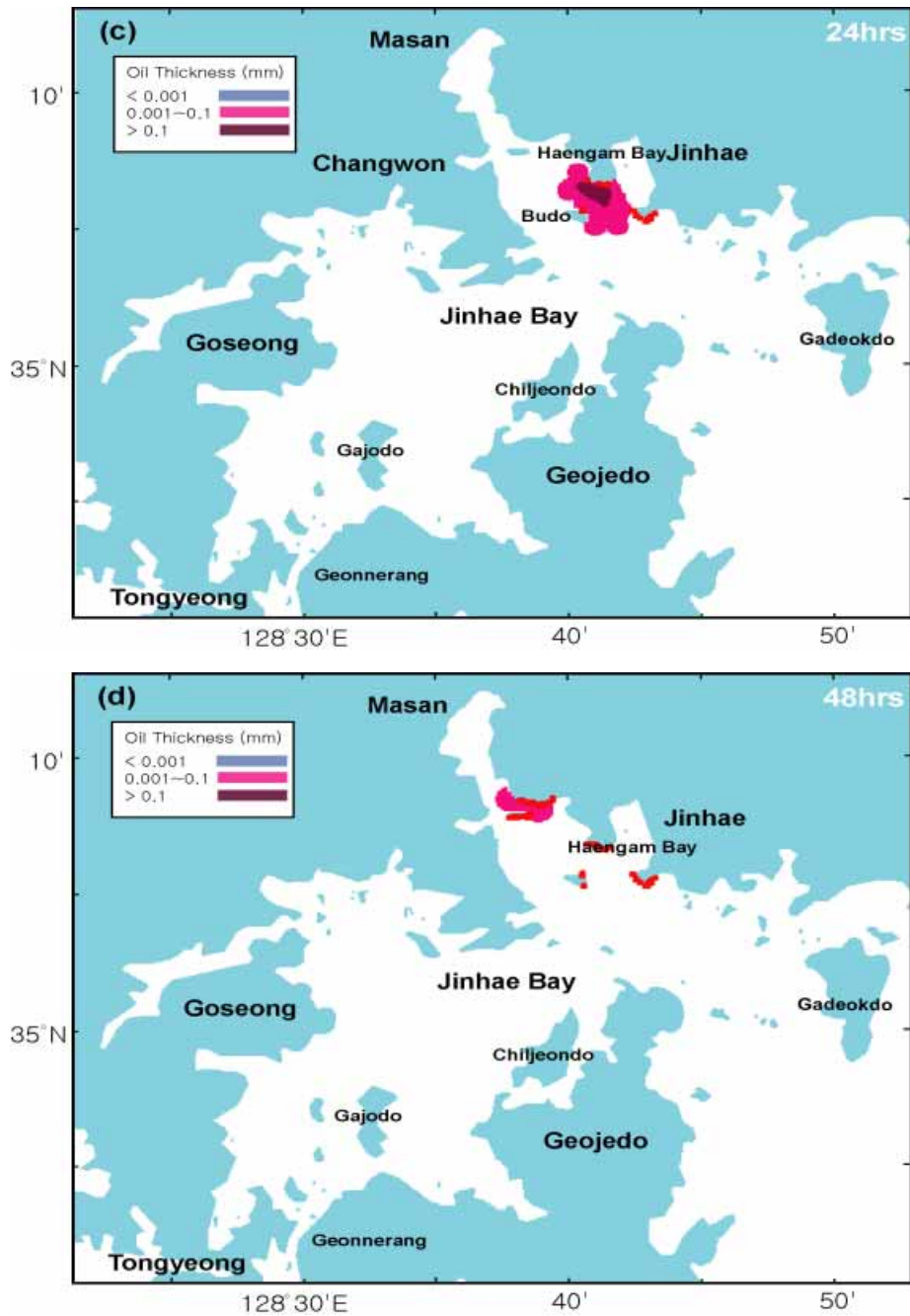


Fig. 13 Continued spreading of spilled oil at the sea surface in summer with times

3.2 유출유의 방제

3.2.1 해양오염사고 시나리오

2.2의 해상 교통량 현황에 의하면 진해만을 통행하는 주요 선박은 화물선이다. 그리고 이 해역에서 케미칼·LNG·LPG운반선의 출입은 있으나, 원유운반선의 출입은 거의 없으므로 원유로 인한 해양오염발생사고의 가능성은 매우 희박하다고 할 수 있다.

이에 이 해역에서 운항하는 화물선 중 가장 큰 선박을 조사해본 결과 이중저유류탱크의 최대적재용량이 약 2,500톤인 50,000톤급의 자동차 운반선이었다. 따라서 본 연구에서는 진해만 해역 내에서 최악의 오염사고가 발생할 가능성이 있는 장소는 선박통항량이 가장 많은 도선사 승선 구역($35^{\circ} 03.0' N$, $128^{\circ} 44.0' E$)으로 가정하고, 이 장소에서 50,000톤급의 자동차 운반선의 충돌 또는 좌초로 인한 발생한 병커유 오염사고로 시나리오를 설정하였다.

그리고 가상 사고지점에서 이 선박의 사고로 인해 기름이 유출된다고 가정할 때, 최대유출량은 과공 부위의 위치를 선저부위로 설정하는 것이 타당하므로 다음과 같은 방법으로 유출량을 계산할 수 있다. 계산된 유출량 중 가장 많은 양을 최대 유출량으로 하여 방제능력을 평가하였다.

(1) MARPOL 73/78

부속서 I 규칙 제 22조(손상 정도), 제 23조(유출량)에 의해 손상 정도 및 최대유출량을 계산하면 길이 5m, 폭 5m, 깊이 1.5m의 손상이 생길 수 있고 이 때의 최대유출량은 약 872톤이 된다.

(2) IPIECA의 경우 및 일본의 경우

이 방법은 탱커에 적용되는 것으로 본 연구의 대상선박에는 적합하지 않다.

(3) 미국의 경우

미국에서는 기름 유출사고에 대하여 AMPD(예상가능평균유출량), MMPD(예상가능최대유출량) 및 WCD(최악유출량)의 3단계로 구분하고 국가 정책적으로 적재 전량이 유출된 WCD의 경우에 대비하여 해양오염방제 능력을 갖추려고 하고 있다. 이 방법으로 최대유출량을 산정하면 2,500톤이 된다.

상기와 같은 최대 유출량 산정 방법에 의해 유출량을 계산해 본 결과, 진해만 해역에서의 최악의 경우라 가정하면, 적재 전량 2,500톤이 유출되겠지만, 실제 이와 같은 상황이 발생할 확률은 매우 낮다. 따라서 본 연구에서는 최대유출량을 MARPOL 73/78에 의한 선저손상이 발생한다고 가정하고 최대유출량을 벙커유 872톤으로 하였다.

3.2.2 해양오염 방제장비 현황

진해만해역에서 선박의 통항이 빈번한 항계 부근은 수심이 40m 이하로 깊지 않은 편이라 오일붐의 설치가 가능하고, 해수의 흐름이 빠르지 않아 오일붐으로 봉쇄한 유출유를 스키머로 회수하는 작업이 용이하다. 그러나 진해만해역은 어장 및 양식장이 많기 때문에 유처리제를 사용할 시 2차적인 해양오염을 유발 시킬 수 있어 사용을 금해야한다. 이와 같은 주변 환경을 고려하면, 진해만해역에서는 기계적 봉쇄 및 회수를 위한 오일붐 및 스키머, 유흡착재 및 각종 방제장비를 구비한 방제선이 주 방제장비로 사용될 수 있다. 이에 추가하여 작업선, 이송펌프, 회수유 수거선, 회수유 저장시설 및 처리시설, 고압세척기 및 방제선 등이 보조 장비로 사용될 수 있다.

진해와 마산에 비치되어 있는 방제장비는 <Table-12>이며, 통영에 비치되어 있는 방제장비는 <Table-13>이고, 부산항에 비치되어 있는 방제장비는 <Table-14>과 같다. 이들 장비 중 해양오염사고 시 초동단계에서는 진해만 해역내의 보유 장비가 동원되고, 추가 단계에서는 통영지역의 해양경찰서 보유 장비와 방제조합 보유 장비가 동원된다. 방제활동을 충분히 실행하지 못할 경우에는 부산해역내의 유관기관 및 단체·업체의 보유 장비가 동원된다.

<Table-12> Major oils spill response equipments at Jinhae, Masan area

구 분 장비명	보 유 량					
	계	해경	방제조합	관계기관	유관단체	유관업체
오일붐(m)	9,094	-	3,350	3,314	400	2,030
유회수기(대)	5	-	5	-	-	-
유흡착재(kg)	7,391	-	3,166	3,457	88	680
유처리제(l)	29,271	-	14,327	8,354	1,800	4,790
방 제 선	4	-	4	-	-	-

자료 : 전국방제자원현황(2001)

<Table-13> Major oils spill response equipments at Tongyeong area

구 분 장비명	보 유 량					
	계	해경	방제조합	관계기관	유관단체	유관업체
오일붐(m)	19,755	1,220	-	4,380	4,660	9,495
유회수기(대)	8	7	-	-	-	1
유흡착재(kg)	19,437	8,216	-	7,221	2,450	1,550
유처리제(l)	97,064	23,548	-	15,362	43,846	14,308
방 제 선	1	1	-	-	-	-

자료 : 전국방제자원현황(2001)

<Table-14> Major oils spill response equipments at Busan area

구 분 장비명	보 유 량					
	계	해경	방제조합	관계기관	유관단체	유관업체
오일붐(m)	19,144	1,904	3,430	1,700	2,220	9,890
유회수기(대)	27	9	7	-	-	11
유흡착재(kg)	21,034	7,064	1,440	4,445	710	7,375
유처리제(l)	99,989	39,491	9,420	11,910	7,954	31,214
방 제 선	19	3	7	-	-	9

자료 : 전국방제자원현황(2001)

3.3 유출유의 풍화과정

해양오염 방제자원의 보유 적정량과 오염방제 전략 및 기준산정은 국가마다 지형적 특징, 해양 환경 및 교통 환경, 수출입 화물의 종류, 오염사고 발생 확률 등의 상황을 고려하여 산정한다. 그러나 이와 같은 보유량 적정선 산정에 필요한 여러 가지 요소 중 해면상에 존재하는 기름의 양은 공통적인 중요한 고려사항으로, 이것은 유출된 기름이 시간의 경과와 온도와 바람에 따라 어떻게 변화하는가 하는 풍화과정과 직접적 관련이 있다.

진해만해역에 설정된 해양오염사고 시나리오에서 가상 유출유인 병커유는 <Table-15>과 같은 특성을 가지며, 계절에 따라 약간 다른 풍화과정을 겪는 것을 알 수 있다.

<Table-15> Physical properties of heavy fuel oil

Oil type	S.G at 15°C	Viscosity (cSt) at 15°C	Pour Point (°C)	Flash Point (°C)	Initial Boiling Point(°C)
No.6 F.O	≥0.99	47,917	(-)46~15	60~174	180~500

Source : ADIOS(1994), Environment Canada(1979, 2001)

이러한 상황을 고려하여 동계와 하계로 나누어 풍화되는 과정을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 동계의 경우

동계에 가상 선박에서 충돌 및 좌초로 인해 기름유출사고가 발생하였다고 가정하고, ADIOS(1994)를 이용하여 해면상의 유출유의 시간의 경과에 따른 물리적 특성의 변화와 해면상의 기름의 양을 계산하였다. 이때 해상 상태는 바람 3.0m/s, 수온 13℃, 염분 34.4‰로 하였다.

유출 직후 0.975kg/m^3 이던 기름의 밀도는 약 24시간까지 거의 비슷한 값을 나타내지만, 그 이후에는 서서히 증가하여 72시간 경과 후에는 0.99kg/m^3 으로 되었다. 그러나 시간이 경과하여도 기름의 밀도는 여전히 해수밀도에 미치지 못하기 때문에 침전(sedimentation)은 없을 것으로 예상할 수 있다.<Fig. 14.a> 또한 기름의 점성은 유출 초기 약 55,000cSt 이었고, 36시간 경과할 때까지 완만하게 증가하다가, 그 이후에는 급격히 증가하여 유출 후 72시간에는 점성이 95,000cSt 이상이 되었다.<Fig. 14.b> 이와 같은 유출유의 점성 특성으로 보아, 해면상의 기름에 유처리제를 적용하는 방제방법은 효과가 없는 것으로 나타났다.

<Fig. 15.c>은 유출유의 시간 경과에 따른 증발을 나타낸 것으로, 유출초기 12시간 동안 거의 증발이 일어나지 않으며, 그 후 서서히 증가하다가 72시간 경과 후 약 4% 정도 증발하였다. 그리고 <Fig. 15.d>는 에멀션 상태를 나타내는 것으로 실험에 의하면 대략 18% 증발 후에야 에멀션이 시작되므로, 유출 후 72시간 동안에는 에멀션이 생기지 않은 것으로 나타났다.

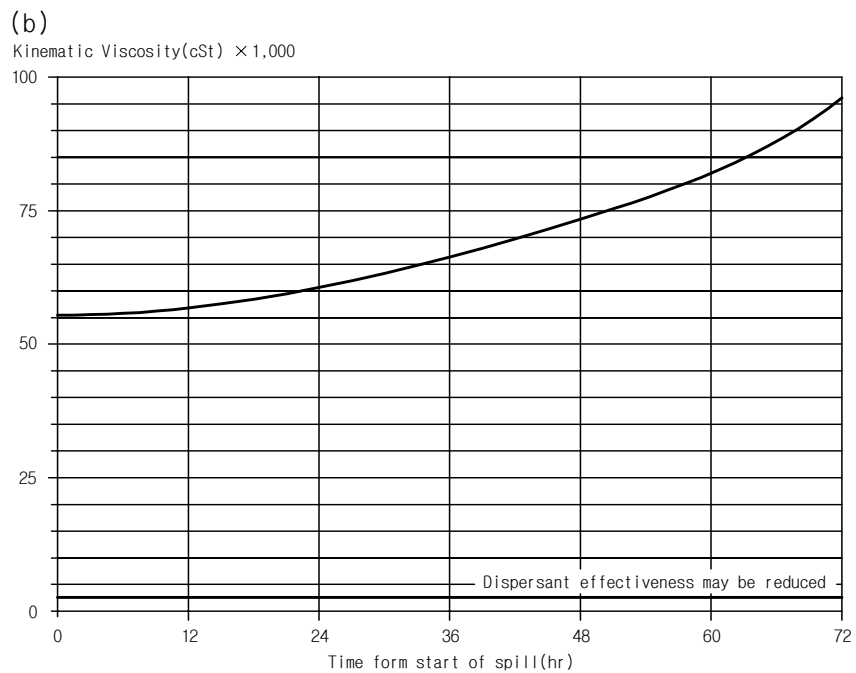
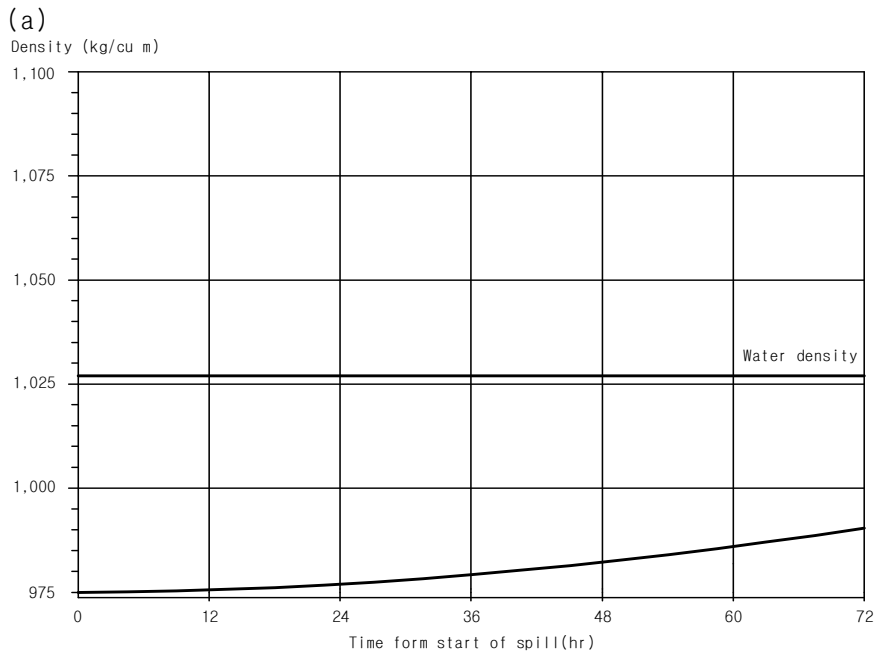


Fig. 14 Changes of density(a) and viscosity(b) of Bunker-C (No.6 Oil) with times in winter

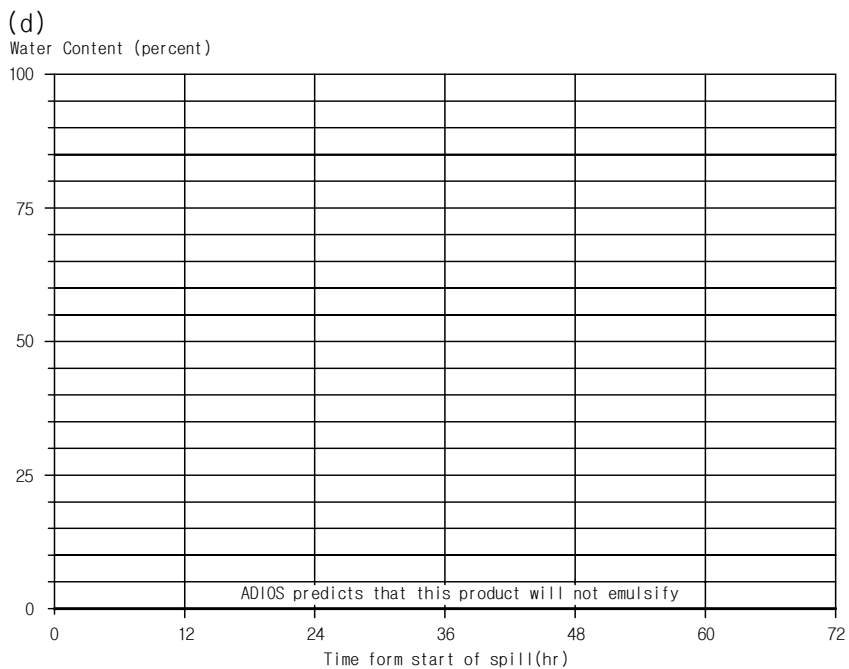
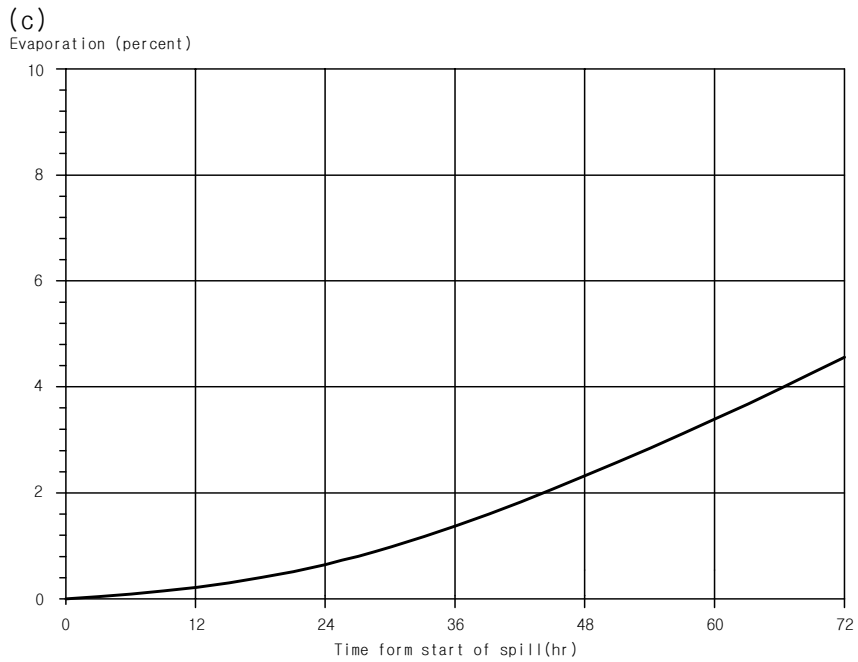


Fig. 15 Changes of evaporation(c) and emulsification(d) of Bunker-C (No.6 oil) with times in winter

(2) 하계의 경우

하계에 동계와 같이 가상 선박에서 충돌 및 좌초로 인해 기름유출사고가 발생하였다고 가정하고, ADIOS(1994)를 이용하여 해면상의 유출유의 시간의 경과에 따른 물리적 특성의 변화와 해면상의 기름의 양을 계산하였다. 이때 해상 상태는 바람 2.7m/s, 수온 25℃, 염분 32.1‰로 하였다.

유출 직후 0.965kg/m^3 이던 기름의 밀도는 약 24시간까지 거의 비슷한 값을 나타내지만, 그 이후에는 서서히 증가하여 72시간 경과 후에는 0.9kg/m^3 로 되었다. 그러나 하계에도 시간이 경과하여도 기름의 밀도는 여전히 해수밀도에 미치지 못하기 때문에 침전(sedimentation)은 없을 것으로 예상할 수 있다.<Fig. 16.a> 또한 기름의 점성은 유출 초기 약 30,000cSt 이었고, 18시간 경과할 때까지 거의 값을 보이다가, 그 이후에는 급격히 증가하여 유출 후 72시간 경 점성은 83,000cSt으로 되었다.<Fig. 16.b> 이와 같은 유출유의 점성 특성으로 보아, 하계에도 해면상의 기름에 유처리제를 적용하는 방제방법은 효과가 없는 것으로 나타났다.

<Fig. 17.c>은 유출유의 시간 경과에 따른 증발을 나타낸 것으로, 유출초기 12시간 동안 거의 증발이 일어나지 않으며, 그 후 서서히 증가하다가 72시간 경과 후 약 9% 정도 증발하여 동계보다 훨씬 빠른 증발율을 보였다. 그리고 <Fig. 17.d>는 에멀션 상태를 나타내는 것으로 실험에 의하면 하계에도 동계와 같이 유출 후 72시간 동안에는 에멀션이 생기지 않은 것으로 나타났다.

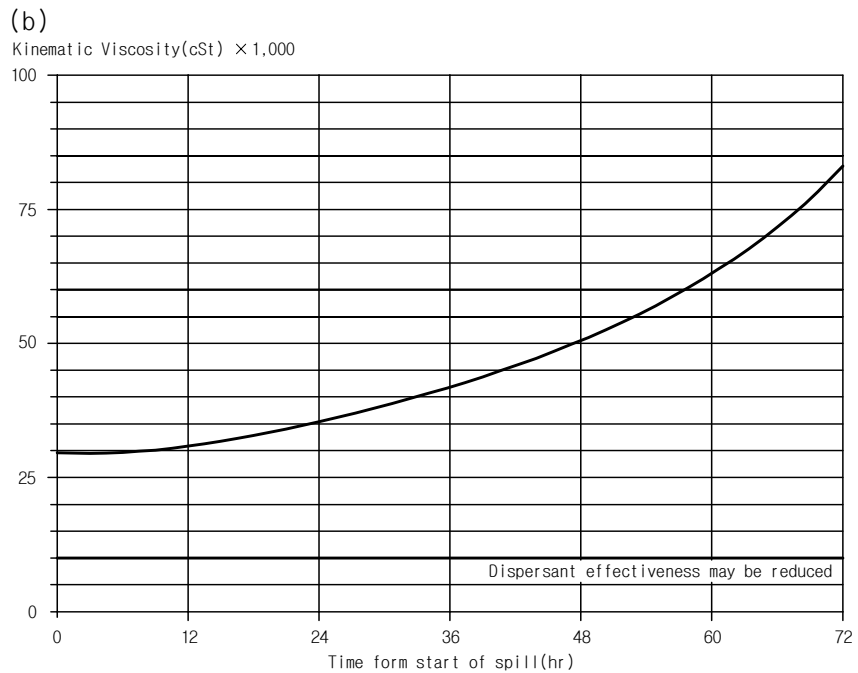
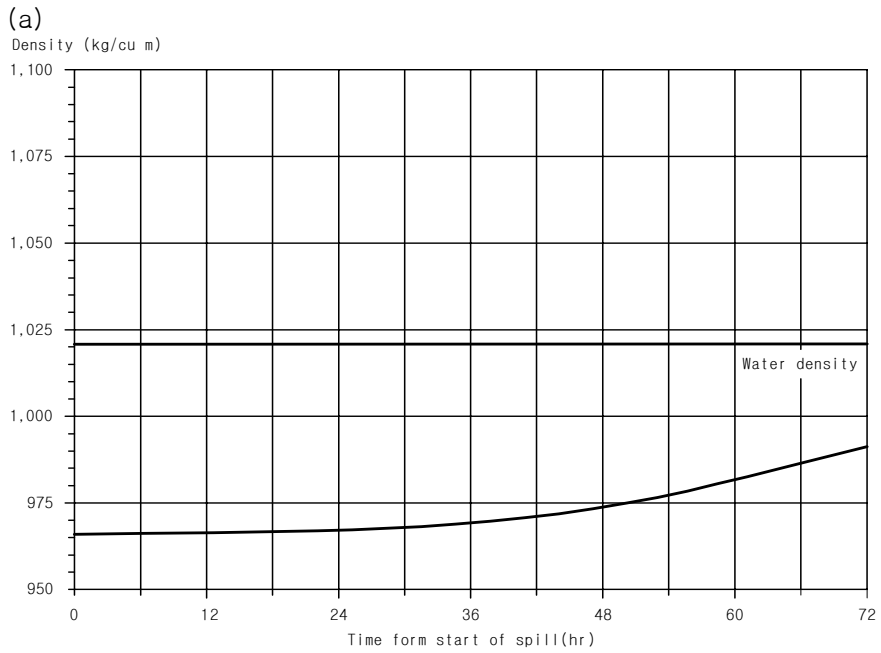
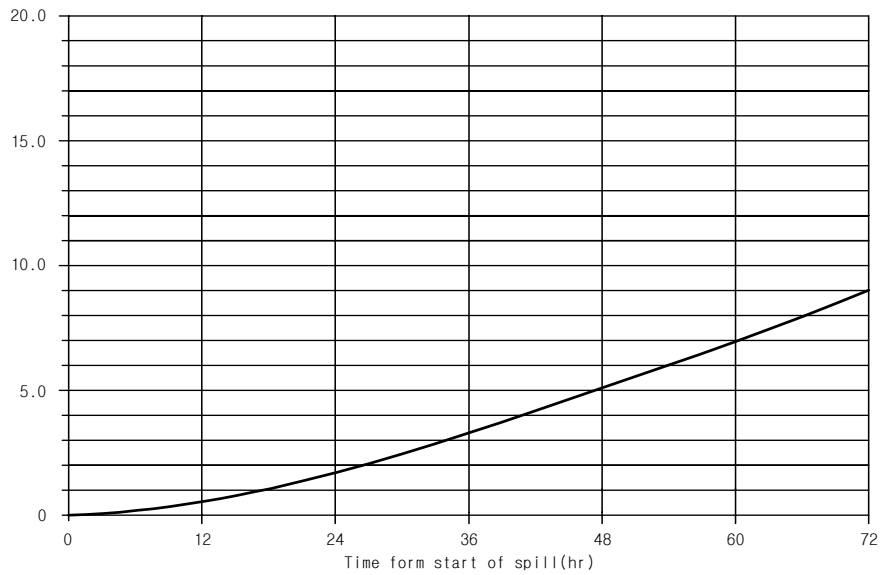


Fig. 16 Changes of density(a) and viscosity(b) of Bunker-C (No.6 oil) with times in summer

(c)

Evaporation (percent)



(d)

Water Content (percent)

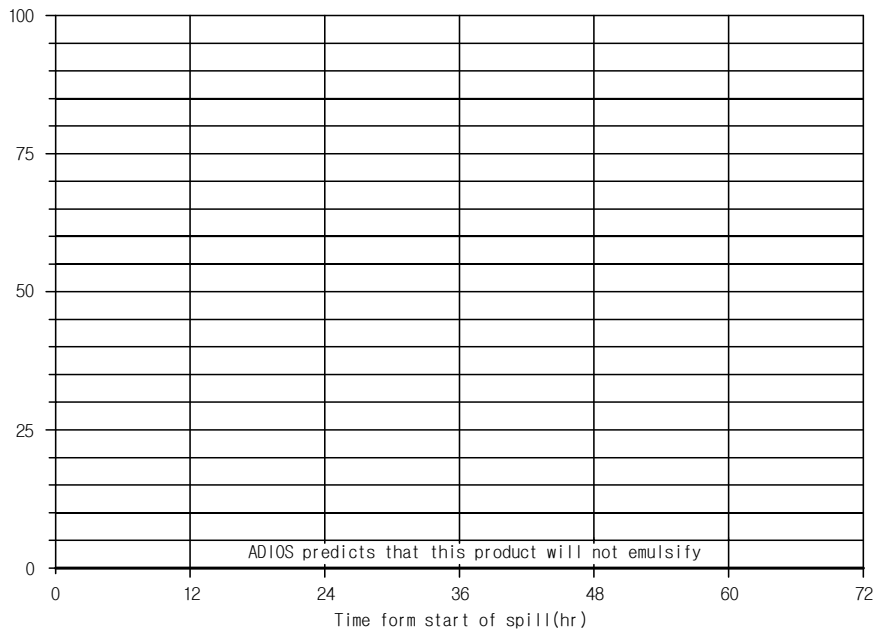


Fig. 17 Continued Changes of evaporation(c) and emulsification(d) of Bunker-C (No.6 oil) with times in summer

(3) 방제가 필요한 기름의 양

앞 절에서 검토한 것을 종합해 보면, 동계와 하계의 해면상의 시간 경과에 따른 기름의 양은 <Table-16>와 같다.

<Table-16> Quantity of spilled oil on sea surface with times.

Time hours	Winter		Summer	
	Evaporated(%)	Quantity(M/T) on surface	Evaporated(%)	Quantity(M/T) on surface
0	0	872	0	872
6	0	872	0	872
12	0	872	0	872
24	0	872	1	863
36	1	863	3	846
72	4	846	9	794

진해만해역에서 가상 시나리오와 같은 기름 유출 사고가 발생하면, 유출유인 벙커유가 계절에 관계없이 다음과 같은 특징을 보이고 있다.

- 계절에 관계없이 증발률이 매우 낮다.
- 시간의 경과와 함께 점성이 급격히 증가한다.
- 진해만해역의 평균적인 해양·기상 조건에서 분산(dispersion)은 거의 일어나지 않는다.
- 전 계절에 걸쳐 에멀션이 일어나지 않는다.

따라서, 해면상의 기름양은 분산과 에멀션의 영향을 받지 않고 단순히 시간의 경과와 함께 증발로 인해 감소하나, 그 양은 매우 적기 때문에 이 해역에서는 유출 초기 기름 양을 기준으로 하여 방제장비의 확보 계획을 수립하는 것이 바람직하다고 생각된다.

3.4. 오염방제전략

진해만 해역에서의 방제 작업 전략을 수립하기 위해 먼저 대표적인 사고발생 수역인 부산 해역에서는 어떠한 전략으로 방제작업을 하는 조사해 보았다. 부산 해역에서는 해상 수거 기간을 3일 동안으로 하고 이 기간 동안 60%는 해상수거, 40%는 해안수거로 기름을 수거하려는 방제작업 전략을 가지고 있다. 또 해상 수거는 오일붐 및 스키머를 이용한 기계적 회수 50%, 유흡착재에 의한 흡착회수 20%, 유처리제에 의한 분산 처리 30%를 기준으로 하고 있다.

그러나 진해만은 부산해역과는 달리 해수의 교환이 느리고 생물학적으로 민감한 지역이므로 전략을 해상에서 수거하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 해상에서 오일붐 및 스키머를 이용한 기계적 회수 80%, 유흡착재에 의한 흡착회수를 20%를 기준으로 하였다. 이를 통해 방제장비의 적정량과 적합한 방제방법을 수립하면 다음과 같다.

(1) 오일붐(Oil boom)

진해만 해역은 민감해역이 많으므로, 오염사고 발생 지역을 중심으로 유출유를 봉쇄함과 동시에 진해만내 민감지역으로 이동하는 유막을 차단하기 위하여 초기에 오일붐을 설치하여 방제를 실시하는 것이 무엇보다 중요하다.

겨울의 경우 유막은 거제도 동쪽 해안을 따라 남쪽으로 이동하기 시작한다. 초기방제인 유류유출사고 발생 후 6시간 이전에는 망와도에서 저도를 따라 총 4,300~4,500m, 그리고 병산열도에 800~1,000m의 붐이 설치되어야 한다. 초기방제 후 나머지 기름은 24시

간 후 이수도에 이르게 되므로 2,000~2,200m의 붐을 섬 북쪽에 설치해야 한다. 그리고 48시간 후에는 옥포만 앞바다에 6,000~6,200m의 붐을 설치해야 한다.<Fig. 17.a> 여름에 발생한 유류오염사고 시 초기방제 시인 24시간 이전까지 필요한 양은 7,700m이므로 마산과 진해에 비치되어 있는 오일붐의 양은 9,094m로 초기 방제 시에 필요한 오일붐의 양을 비치하고 있는 것으로 사료된다. 그러나 방제가 늦어질 경우 대우조선소 등 많은 공업시설과 정치어업이 이루어지고 있는 옥포만 앞바다를 방제하기 위해 타 지역에서 오일붐을 이송해 오는 것이 필요하다.

그리고 여름의 경우 유막은 섬이 많이 존재하는 마산항을 향하여 북서방향으로 이동한다. 특히 여름에는 기름 유출 후 6시간 후에 많은 양의 기름이 섬주위에 유착될 수 있으며, 12시간 만에 대일만의 해변에 상당양의 기름이 유착되는 것을 볼 수 있다. 그러므로 여름에는 더욱 초기 방제가 중요하며, 초기 유출 후 6시간 이전에 진해만 남쪽의 섬 주위에 3,000~3,300m, 12시간 이전에 대일만 주변을 따라 3,200~3,500m의 오일붐을 설치해야 한다. 이후 기름 유출 후 24시간 뒤에는 행암만으로 기름이 유입되는 것을 막기 위해 만 입구에 4,500m의 오일붐이 필요하며, 부도에 3,500~3,700m의 오일붐이 필요하다.<Fig. 17.b> 이는 진해와 마산에 비치하고 있는 오일붐의 양을 넘는 수치로써 물론 초기 방제시인 24시간 이전엔 어느 정도 방제용 오일붐설치가 가능하며, 이후에 통영과 부산에 비치되어 있는 오일붐을 운반해 오기에 충분한 시간이 되나 장기적으로는 마산과 진해에 초기 방제용으로 더 많은 오일붐을 구비해 놓는 것이 필요하다.

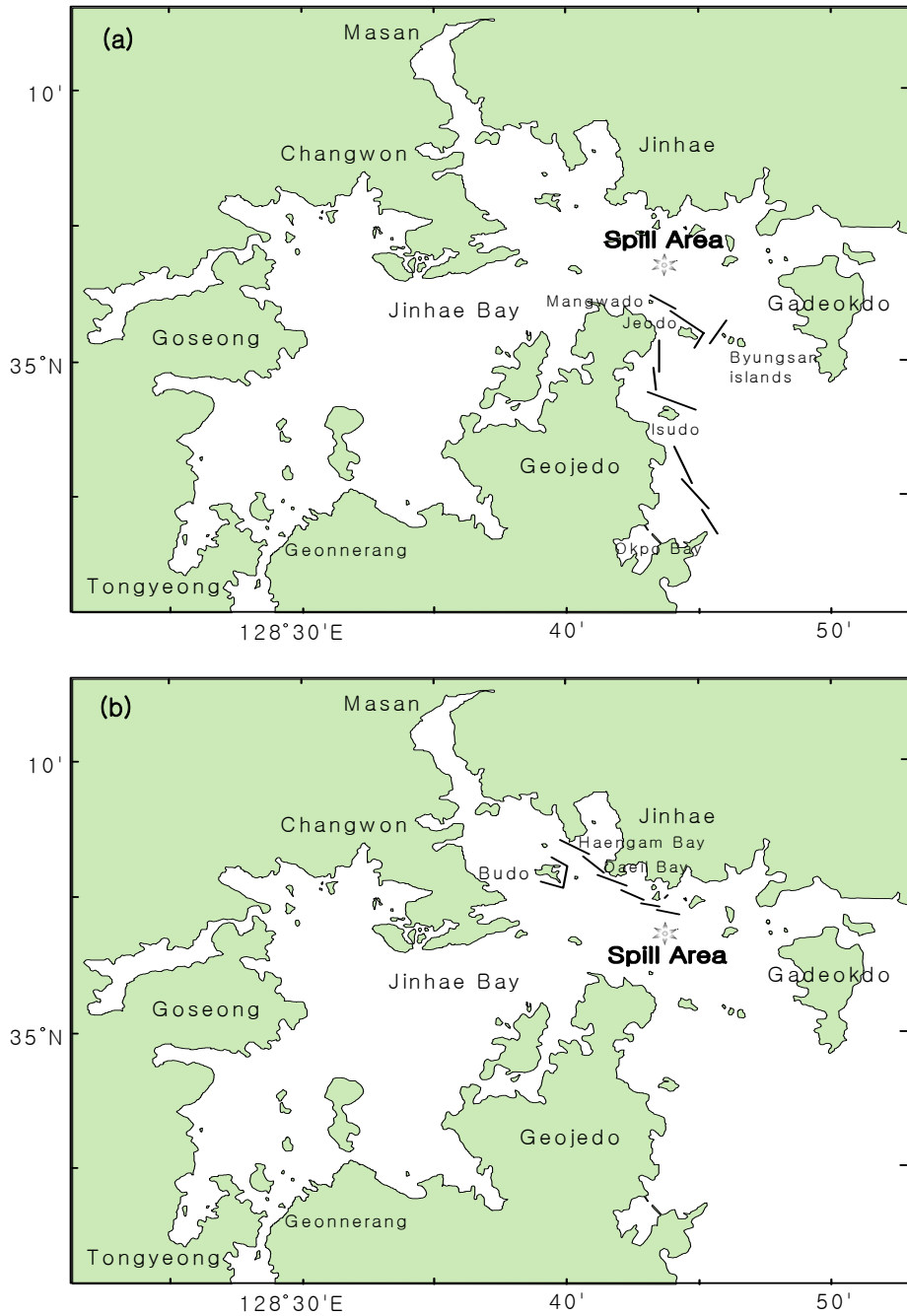


Fig. 18 Areas where booms should be developed at the early stage of oil spill in winter(a) and in summer(b)

(2) 스키머(Skimmer)

미국이나 캐나다에서는 오염방제 장비의 확충 계획을 기계적 회수율을 기준으로 하여 수립한다. 여기에서 기계적 회수능력을 산정하는데 고려할 요소는 시간당 회수율(제작회사에서 제시한 용량), 기계적 회수율(우리나라의 경우 20%), 작업일(3일), 1일 작업시간(계절에 따라 다르지만, 평균 8시간으로 간주), 실행적 효율(65%) 및 장비동원율(33%)이다. 따라서 풍화작용이 일어난 유출유의 80%인 677톤을 해상에서 기계적으로 수거하기 위한 회수용량($m \cdot \text{ton/hr}$)을 다음 식에 의해 구하면 약 $657.5m \cdot \text{ton/hr}$ 가 된다.

$$\text{회수용량}(m \cdot \text{ton}/\text{hour}) = \text{수거량}/(\text{기계적 효율} \times \text{작업일} \times \\ \text{1일 작업시간} \times \text{실행적 효율} \times \text{장비동원율})$$

진해만에서 보유한 스키머는 통영해양경찰서 관할 마산방제조합 지부에서 보유하고 있는 5대의 스키머가 전부로 총 용량은 $152m \cdot \text{ton/hr}$ 이다. 이 용량은 본 연구에서 설정한 해양오염사고 시나리오에서 유출된 병커유를 처리하기에 매우 부족한 양이다.

그러므로 해양유류유출사고가 발생한 초기에 통영해양경찰서에서 보유한 총 용량 $329m \cdot \text{ton/hr}$ 의 스키머 7대와 부산해양경찰서에서 보유한 27대의 스키머 중 일정량의 스키머를 신속히 사고 지점으로 운반하는 것이 필요하다.

(3) 유흡착재(Sorbent)

유흡착재는 주로 오염방제 작업의 마지막 단계인 최종적인 청소 작업에서 사용하거나 기계적 회수 작업이 곤란한 장소에서 사용된다. 본 연구해역은 모래해안과 간출암해안으로 이루어져 있어 해안 부근으로 이동하는 기름이나, 일부 물이 고이는 장소에서 사용할 수 있는 유흡착재 중 합성유기질 흡착재를 적당량 보유하는 것이 바람직하다고 사료된다. 따라서 풍화작용이 일어난 유출유의 20%인 169.2톤을 처리하기 위해선 흡착재 1kg당 기름 49kg을 처리할 수 있는 폴리우레탄 흡착재 3,453kg이 필요하나, 이미 충분한 양의 흡착재를 구비하고 있는 것으로 조사되었다.

(4) 유처리제(Chemical dispersant)

진해만에서의 유처리제의 사용은 원칙적으로 금지되어 있다. 이는 진해만이 수심이 얕으며, 해수의 교환이 원활하지 않아 그 효율이 떨어질 뿐만 아니라 많은 해양오염 민감지역이 분포하고 있어 유처리제를 사용할 시에는 2차적인 오염을 유발 시킬 수 있기 때문이다.

<Table-17> Necessary oils spill response equipments

quantity equipment	stockpile amount	Max. necessary quantity	insufficient quantity
Oil boom(m)	9,094	11,300	- 2,206
Skimmer (m · ton/hr)	152	657.5	- 505.5
Sorbent(kg)	7,391	3,453	+ 3,938
C. dispersant(l)	29,271	-	-

제 4 장 결론 및 고찰

근래에 해양오염의 주요인으로 선박의 해난사고로 인한 기름 유출오염사고가 매우 중요하게 다루어지고 있다. 이는 많은 양의 기름이 한정된 해역에 집중적으로 오염시킬 뿐만 아니라, 불시에 해양오염에 매우 민감한 지역을 오염시켜 환경 피해가 심각하게 나타나기 때문이다. 이미 외국에서 발생한 여러 사고들의 예에서 뿐만 아니라 1995년 우리나라 여수 남쪽해역에서 발생한 Sea Prince호의 대형유류오염사고로 우리는 직접적으로 생태계 파괴 및 경제적 손실 등 막대한 피해를 경험하였다.

또한 경기회복으로 인한 해상 수송량의 지속적인 증가로 우리나라 어디에서든지 해양유류오염은 발생할 가능성이 날이 갈수록 증가하고 있다. 비록 해양오염방지 관련 국제협약 제정, 오염방지 기술에 대한 연구·개발, 국가간 협력 체계 구축, 해양오염방지장비 확보 등이 이루어져 우리나라 해양유류오염에 많은 기여를 하고 있으나, 실제 해양유류오염 시 준비된 장비를 이용하여 피해를 최소화하기 위한 초기 방제작업 데이터 구축과 효과적인 유출유 회수방법에 대한 연구 또한 활발히 이루어져야 한다.

이점을 고려하여, 본 연구에서는 우리나라에서 그 역할이 날로 증대하여 꾸준히 선박통행량이 증대하고 있으며, 중요한 생태계자원과 민감한 해안선이 있는 진해만을 중심으로 그 주변해역을 연구해역으로 선정하여, 이 해역에서의 방제 능력 향상을 위한 연구를 수행하였으며, 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 진해만해역에서의 해상기상조건은 연 강수량이 약 1,400mm이고 6~8월에 집중되고, 풍속은 년 평균 1.7m/s이며, 계절별 차이는 크지 않는 편이다. 풍향은 동계에 북서~남서풍, 하계에 동남동~남동풍이 우세하다. 연 평균조차는 148cm이고 연 최대조차는 242cm이며, 조류는 대부분 1knots 이하로 비교적 약하며 전반적인 흐름은 창조류 시에는 가덕도 서편 가덕수도에서 해안선을 따라 일부는 진해만으로 북서향하고 나머지는 견내량해협으로 남서향한다. 그리고 낙조류 시에는 통영에서 해안선을 따라 동향한다.

- (2) 진해항은 마산항에 비해 수치적으로는 입항선박이 매우 적으나 진해만은 마산과 부산을 오가는 선박의 주요 통행로로 많은 수의 유조선과 화물선이 통행하며, 특히 마산항은 입출항이 잦으며 100~7,000톤급의 선박이 80%를 차지하나, 7000톤 이상의 대형선박 또한 15%로 통항이 매우 많아 잠재된 대형사고인자 또한 높다. 그리고 케미칼·LNG·LPG운반선도 총 입항선박의 27%를 차지하고 있다.

- (3) 진해만해역의 해안선은 다소 단조로운 편이나 다수의 섬이 존재하고 있으며 주로 간출암(바위) 해안, 인공구조물 해안, 모래해안, 펄 간석지로 이루어져 있다. 해양유류오염에 민감한 지역으로 해수욕장, 해조류 양식 해역, 제1종 공동어업 해역 등이 있고 민감지역이 특정지역에 집중된 편이다. 진해만해역에서의 해안오염방지 방법에는 자연적 회복, 저압 냉수 및 온수 세척, 고압 냉수 및 온수 세척, 수작업, 유흡착재에 의한 제거 및 기계적 제거 등이 있다.

(4) 진해만에서 발생할 수 있는 최악의 시나리오, 즉 50,000톤급의 자동차 운반선의 충돌사고로 인한 기름유출사고를 설정하여 오염방제장비의 적정수량을 산정한 결과, 본 연구해역은 매우 오염에 민감한 지역으로 유처리제는 사용할 수 없고, 기계적 회수 방법으로 기름의 대부분을 회수해야 하며, 초기방제 24시간 이내에 설치할 수 있는 외해용 오일붐을 겨울의 경우 7,700m, 여름의 경우 11,300m가 필요하며, 총 회수용량이 약 657.5m³·ton/hour인 스키머가 필요하므로 내해용 스키머를 추가로 확보해야 하므로 현재 진해만에 비치되어 있는 방제오염장비의 양은 필요량에 미치지 못하는 것으로 조사되어 추가로 구비하는 것이 필요한 것으로 사료된다. 그러나 합성유기질흡착재의 경우 폴리우레탄 흡착재를 기준으로 하였을 때 3,453kg을 보유해야하나 이미 적정량이상을 구비한 것으로 조사되었다.

본 연구에서 진해만해역의 해양오염방제 능력을 평가해 본 결과, 계절에 따라 보유해야할 방제장비의 양이 크게 다른 것으로 나타났다. 이는 여름에 경우 겨울에 비해 많은 증발이 일어나 해수 표면에 존재하는 기름이 양은 적으나 매우 민감한 지역으로 기름의 확산이 이루어져 상대적으로 많은 오일붐과 장비가 필요한 것으로 나타났다. 즉 설정한 가상 최악오염사고에 따르면 진해와 마산만 부근에 더 많은 양의 방제장비를 확보해야 하는 것으로 나타났다.

그리고 본 연구와 관련한 미비점 및 장래의 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 해수유동의 계산에 사용된 모델이 2차원 해수유동모델이므로 유속의 연직분포를 고려할 수 없었으며, 이로 인해 계산유속과

실제유속 사이에 어느 정도의 차이가 예상된다. 이후에 3차원 모델을 사용하여 연구를 수행하는 것이 필요하다.

둘째, 본 연구의 모델링 프로그램으로 사용된 OILMAP은 이미 타 수역에서 그 정확도가 검증된 프로그램이나, 진해만에서는 모델의 검증을 위한 유류유출사고 데이터가 없어, 본 연구수역에서는 모델의 검증을 수행하지 못했다. 차후 유류유출사고 데이터가 있는 타 해역에서 이를 비교·검증하는 것이 필요하다.

감사의 글

하나님의 은혜로 대학원에 진학하게 되었고 마치게 되었습니다. 온 과정을 선하게 인도해 주신 하나님을 찬양합니다. 석사과정동안 불확실하고 불명확한 상황을 극복케 하시고 부족을 풍족으로, 시련을 축복으로, 슬픔을 기쁨으로 바꾸신 하나님께 감사를 드립니다.

이 논문은 주위 분들의 은혜로 작성되었음을 고백합니다. 해양경찰학과 학부 때부터 대학원까지 끝없는 사랑과 관심을 가지고 학교 생활과 논문을 지도해 주신 윤종휘 교수님께 먼저 진심으로 감사를 드립니다. 또한 과학적인 접근방법과 조언을 해주신 이진열 교수님, 국승기 교수님께 감사를 드립니다. 나의 장래를 위해 늘 걱정하시며 돌보아 주시던 소명옥 교수님께 머리 숙여 감사를 돌려드립니다. 특별히 동생처럼 아껴주시고 자상하게 모델링을 가르쳐주신 부경대의 박성은 선배님께 감사를 드립니다.

또한 공간적으로는 떨어져 있었으나, 나보다 나를 더 잘 알고, 충고와 조언을 해주던 친구 경석이와 연구실에서 함께 생활하면서 물심양면으로 도와주신 재동 선배와 병화에게도 감사를 드립니다. 그리고 늘 기도로 함께 한 한국 네비게이토선교회 이순진 선교사님과 민우형, 태진형, 용한형, 선욱, 윤형, 승영, 우철, 재승, 옥진, 일환형제에게도 감사를 드립니다.

마지막으로 항상 장남인 저를 안심하고 연구에 몰두하게 뒷바라지하여 주신 어머님과 동생 하식이에게 감사하며, 이 논문을 끝내 보지 못하시고 천국에 가신 아버지께 이 영광을 바칩니다.

참 고 문 헌

- 기상청 : 기상연보(1990~1999)
- 배상완(1997) : 진단 3차원 모델을 이용한 진해만의 유동특성, 부경대학교
- 윤중휘(1996) : 대한해협서수도에 출현하는 저층냉수의 변동기구, 부경대학교
- 윤중휘(1999) : 해양유류오염방제, ISBN 89-950762-1-6, 일오출판사
- 윤혁수(2002) : 부산지역에서의 효과적인 해양오염방제능력 향상에 관한 연구, 한국해양대학교
- 조동오, 박용욱, 목진용, 윤성순(1998) : 해양오염대비 국가긴급계획 수립전략에 관한 연구, 한국해양수산개발원
- 정세모, 윤중휘, 허일, 이덕수, 김세원(1998) : 항로표지 장기개발 계획에 관한 조사 연구, 해양수산부
- 정연철(1997) : 실시간 유출유 확산모델링에 관한 연구, 부경대학교
- 해양경찰청(2001) : 해양오염사고현황
- 해양경찰청(2001) : 전국방제자원현황
- 해양연구소(1980) : 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구. BSPE:22-43-7
- 해양연구소(1981) : 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구. BSPE:31-56-7
- 해양연구소(1983) : 적조 및 오염 모니터링 연구. BSPE:48-80-7
- 해운항만청(1996) : 연안해역 통항 유조선 안전항로 설정에 관한 연구, 한국해양대학교 해사산업연구소, pp.3-5
- ASSA(1997) : Technical manual OILMAP, Applied Science Association, Inc.
- Delvine. G. A. L and C. E. Sweeney(1988) : Natural dispersion of

- oil. Oil and chemical pollution, 4, pp281-310
- Ekin. D. S(1997) : Oil spills from vessels(1960~1995), Oil spill intelligence report, Cutter Informations Corp.
- Fingas. M. F, W. S. Duval and G. B. Stevenson(1979) : The basics of oil spill cleanup, Environment Canada
- IMO(1988) : MARPOL 73/78, London
- IPIECA(1991) : A Guide to Contingency Planning for Oil Spills on Water, International Petroleum Industry Environment Conservation Association, London
- Kim, C., S. Chang and J. Lee(1994) : Two-dimensional hydraulic and numerical modeling of tidal currents in Chinhae bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 29, 83-94
- Kim, C.(1994) : Three-dimensional numerical modeling experiments of tidal and wind-driven currents in Chinhae bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 29, 95-106
- 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.
- MacKay. D, S. Paterson abd K. Trudel(1980a) : A mathematical model of oil spill behaviour. Dept. of Chemical and Applied Chemistry, Univ. of Toronto, Camada
- MacKay. D and W. Zagorski(1982) : Water-in-oil emulsions. Environment Canada Manuscrip Report EE-34, Ottawa, Canada

- Mesinger, F. and A. Arakawa(1976) : Numerical Methods used in atmospheric Models, Global Atmospheric Research Program, WHOO-ICSU Joing Organizing Committee, Vol. 1.
- NOAA(1994) : ADIOS user's manual, Hazardous materials response and assessment division
- Stiver. W and D. MacKay(1984) : Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures, Environmental Science and technology, 18, pp.834-840
- Yun J. H(1999) : On the effective oil spill response model along the coastal waters in Korea, J. Mar. Env. & Safety, 5(2), pp.1-14
- Yanagi, T(1980) : Variability of the constant flow in Osaka bay. J. Oceano. Soc. Japan, 36, 246-252