



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

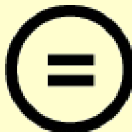
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

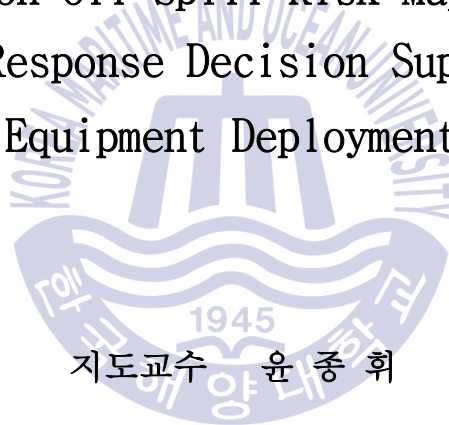
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

위험도 매핑 기반
해상방제 의사결정지원 및 장비배치에
관한 연구

The Study on Oil Spill Risk Mapping-based
Marine Response Decision Support and
Equipment Deployment



지도교수 윤종휘

2018년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과
문 정 환



본 논문을 문정환의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 이 은 방 인
위 원 : 국 승 기 인
위 원 : 김 광 수 인
위 원 : 김 태 균 인
위 원 : 윤 종 휘 인

2017 년 12 월 18 일

한국해양대학교 대학원



목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.1.1 연구배경	1
1.1.2 연구목적	3
1.2 연구방법 및 범위	6
1.2.1 연구방법	6
1.2.2 연구범위	9
제 2 장 기름유출사고 및 대응사례	11
2.1 국외 기름유출사고 현황	11
2.2 국내 기름유출사고 현황	14
2.2.1 해역별 기름유출사고	16
2.2.2 원인별 기름유출사고	20
2.2.3 배출원별 기름유출사고	21
2.2.4 물질별 기름유출사고	23
2.3 국내 기름유출사고 대응사례	25
2.3.1 유조선 Hebei Spirit호 사고	25
2.3.2 화물선 Taiyue호 사고	26
2.3.3 화물선 Kaishing호 사고	27
2.3.4 유조선 GunjangAce호 사고	28
2.3.5 유조선 Ilhae호 사고	29
2.3.6 화물선 Global Legacy호 사고	30

제 3 장 기름유출사고 위험도 평가 및 매핑	32
3.1 기름유출사고 위험도 요인분석	32
3.1.1 기름유출사고 위험도 정의	32
3.1.2 기름유출사고 위험도 필요성	33
3.1.3 기름유출사고 위험도 프레임워크	34
3.1.4 기름유출사고 위험도 평가모델	36
3.2 기름유출사고 위험도 요인선정	39
3.2.1 사고 빈도/결과 위험요인 문헌검토	39
3.2.2 사고 빈도/결과 위험요인 전문가검토	41
3.3 기름유출사고 위험도 산출	48
3.3.1 기초자료 수집	48
3.3.2 사고빈도분석(Frequency analysis)	50
3.3.3 사고결과분석(Consequence analysis)	64
3.4 기름유출사고 위험도 분석 및 매핑	75
3.4.1 위험도 수준 설정	75
3.4.2 위험도 매핑 프로세스	79
3.4.3 해역별 위험도 분석	81
 제 4 장 해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델 개발	 86
4.1 해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델 프로세스	86
4.1.1 해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델 개요	86
4.1.2 해상방제 방법 및 주요장비 분석	88
4.2 위험도 기반 지역별 해상방제 장비배치기준 개발	90
4.2.1 해상방제 장비배치기준 개념	90
4.2.2 해상방제 장비배치기준 프로세스	90
4.2.3 위험도 기반 해상방제 장비배치 소요수량 산출	104
4.3 위험도기반 해상방제 의사결정지원 분석	113

4.3.1 위험도 기반 해상방제 의사결정지원 개념	113
4.3.2 해상방제 의사결정지원 데이터베이스 구축	115
4.3.3 해상방제 의사결정지원 프로세스	118
제 5 장 위험도 기반 지역별 해상방제 장비배치 평가	125
5.1 모델평가 개요	125
5.1.1 모델평가 개념	125
5.1.2 모델평가 조건 및 변수	126
5.2 평가 모델링 개요	127
5.2.1 대상 기름유출사고 선정	127
5.2.2 사고선박 선정	127
5.2.3 위험도 기반 사고해역 선정	127
5.2.4 현행 해상회수용량 및 모델 결과 비교	133
5.2.5 그 외 조건	134
5.3 모델검증 결과	135
5.3.1 기름유출사고 Case I	135
5.3.2 기름유출사고 Case II	137
5.3.3 기름유출사고 Case III	139
5.3.4 기름유출사고 Case IV	141
5.4 모델평가 분석	143
제 6 장 결 론	147

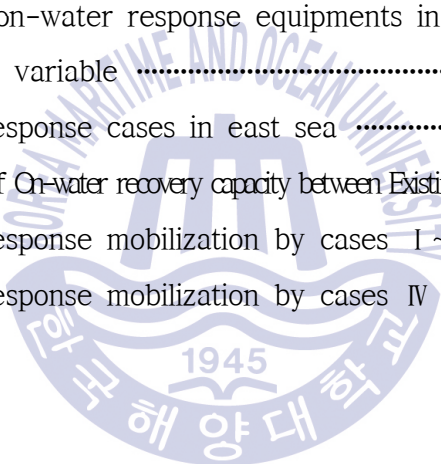
참고문헌

부 록

List of Tables

Table 1. Oil spill accident by sea area(2005~2014)	17
Table 2. Oil spill accident by cause(2005~2014)	20
Table 3. Oil spill accident by emission source(2005~2014)	21
Table 4. Oil spill accident by type(2005~2014)	23
Table 5. Oil spill risk definition	32
Table 6. Effects of oil pollution on social and economic activities	41
Table 7. Questionnaire item	42
Table 8. Demographic characteristic	45
Table 9. The point of frequency subtlety	46
Table 10. The point of consequence subtlety	47
Table 11. Frequency' s basic argument	51
Table 12. Frequency' s basic argument average	55
Table 13. Frequency' s basic argument standard deviation	56
Table 14. Variable weight of frequency analysis	58
Table 15. Max./Min. target value of frequency analysis(2006-2015)	59
Table 16. Max./Min./Average data by sea area(2006-2015)	60
Table 17. Frequency analysis 5level	61
Table 18. Consequence' s basic argument	64
Table 19. Consequence' s basic argument average and standard deviation ...	68
Table 20. Variable weight of consequence analysis	69
Table 21. Max./Min. target value of consequence analysis	70
Table 22. Max./Min./Average data of consequence by sea area	71
Table 23. Consequence analysis level 5	72

Table 24. Oil spill risk level	77
Table 25. Icon in the program	80
Table 26. Maximum probable spill amount by region	92
Table 27. Risk category	96
Table 28. Risk potential weight	102
Table 29. Marine response resource consideration item based on oil spill risk ...	103
Table 30. Regional division of ports	105
Table 31. Required on-water response equipments in West region ...	108
Table 32. Required on-water response equipments in South region ...	110
Table 33. Required on-water response equipments in East region	112
Table 34. Evaluation variable	126
Table 35. Oil spill response cases in east sea	127
Table 36. Comparison of On-water recovery capacity between Existing and New Model ...	133
Table 37. Oil spill response mobilization by cases I ~ III	144
Table 38. Oil spill response mobilization by cases IV	145



List of Figures

Fig. 1. Study flowchart	8
Fig. 2. Changes in liquids consumption and oil consumption	11
Fig. 3. Number of large spills(>700 tonnes, 1970~2015)	12
Fig. 4. Quantities of oil spilt >7 tonnes, 1970 to 2015	13
Fig. 5. Number of oil spills per year in Korea (1979~2015)	14
Fig. 6 Quantities of oil spill per year in Korea (1979~2015)	15
Fig. 7. Location of oil spills in Korea(2004~2015)	16
Fig. 8 Oil spills in each port(2005~2014)	19
Fig. 9. Shape view(right-full cell, left-setting cell)	35
Fig. 10. Risk matrix	38
Fig. 11. Frequency risk by sea area	60
Fig. 12. Oil spill frequency_color(2015)	62
Fig. 13. Oil spill frequency_accumulation(2006-2015)	63
Fig. 14. Consequence risk by sea area	71
Fig. 15. Oil spill consequence_color(2015)	73
Fig. 16. Oil spill consequence_accumulation(2006-2015)	74
Fig. 17. Risk matrix level(5×5)	76
Fig. 18. Oil spill risk matrix(2006-2015)	78
Fig. 19. Data distribution of ENC	79
Fig. 20. Mid-north west sea of oil spill risk(2006-2015)	81
Fig. 21. South-west and jeju sea of oil spill risk(2006-2015)	82
Fig. 22. South-east sea of oil spill risk(2006-2015)	83

Fig. 23. East sea of oil spill risk(2006-2015)	84
Fig. 24. Oil spill risk on map(2006-2015)	85
Fig. 25. Marine response support model process	87
Fig. 26. DWT 330K double hull tanker, G/T 30K Bulk ship	91
Fig. 27. Risk category	96
Fig. 28. Number of oil spill risk cells	97
Fig. 29. Overlap of risk cells and category	98
Fig. 30. Risk category type	99
Fig. 31. Oil spill risk category(2006-2015)	100
Fig. 32. Oil spill risk category on map(2006-2015)	101
Fig. 33. Risk category of west	107
Fig. 34. Risk category of south-west	109
Fig. 35. Risk category of East	111
Fig. 36. Module database scheme	116
Fig. 37. Model element	118
Fig. 38. Accident and surround cell on the map	119
Fig. 39. Response decision support model - User Interface	121
Fig. 40. Evaluation process	125
Fig. 41. Oil spill accident case	128
Fig. 42. Case I navigation chart	129
Fig. 43. Oil spill case 1 area	129
Fig. 44. Case II navigation chart	130
Fig. 45. Oil spill case 2 area	130
Fig. 46. Case III navigation chart	131
Fig. 47. Oil spill case 3 area	131
Fig. 48. Case IV navigation chart	132
Fig. 49. Oil spill case 4 area	132

Fig. 50. Cumulative recovery capacity of case 1	136
Fig. 51. Cumulative recovery capacity of case 2	138
Fig. 52. Cumulative recovery capacity of case 3	140
Fig. 53. Cumulative recovery capacity of case 4	142



Abbreviations

AP	양식업 생산금액
AQ	사고발생
ATR	지역별 해상기름회수계획량
C	사고결과 위험
CB	해수욕장 소비금액
CI	복합지수
F	사고빈도 위험
FP	어업 생산금액
LS	대형유출 사고건
MS	중형유출 사고건
OSC	기름유출사고 사고결과 위험도
OSF	기름유출사고 사고빈도 위험도
OT	유종 요인
OWRQ	해상방제량
PA	대량유출 가능선박 사고건
PO	지속성기름 유출사고건
PP	대량유출 가능선박 통항량
PT	통항량 요인
R	기름유출사고 위험도
RPW	위험도 잠재적 가중치
RTR	권역별 해상기름회수계획량
SO	유출량 요인
SS	소형유출 사고건
TA	총 사고건
TP	총 통항량
TRB	오일붐 총 소요수량
TRC	유회수기 총 유효회수량
TV	항만 무역총금액
Z	표준점수



The Study on Oil Spill Risk Mapping-based Marine Response Decision Support and Equipment Deployment

MOON, JUNG-HWAN

Department of Coast Guard Studies

*Graduate School of
Korea Maritime and Ocean University*

Abstract

South Korea experienced catastrophic oil spill accidents such as Sea Prince oil spill in 1995 and Hebei Spirit oil spill in 2007, and calculated the required amount of marine response equipment to prepare for the largest oil spill accident. And It have developed equipment deployment plan to prepare for the largest oil spill accident by region.

However, this plan is based only on the maximum oil spill for the largest vessels entry and departure the port, and on the response time of the equipment in the region and other areas to mobilize in case of an accident. Although it is not actually a major port, there may be a risk that environmental, biological, and ecological damages will be widened due to delays in equipment mobilization in sensitive areas.

In addition, the decision-maker, in most oil spill accident sites, depends on the intelligence gathering and his(or her) expertise and experiences while making response strategy, but it is required to provide the scientific and systematic decision support system for more effective and efficient response.

In this regards, the author examines current criteria of equipment deployment and studies to seek the more appropriate distribution method of on-water response equipments and develop decision support system for OSC and related personnel for the large oil spills.

This thesis calculate response equipment requirements and redeploy marine response equipments based on risk analysis and type using frequency factor of oil spill accident statistical data such as accident, spilled oil volume, spilled oil type, vessel type and consequence factor of economic benefit data such as fishery, aquaculture, beach, port.

In addition, the thesis conducted research that can provide quick and effective decision-making by analyzing and providing detailed risk factors for the accident area and the surrounding area.

The thesis result is as follows :

First, it quantitatively calculated the frequency of the oil spill and the consequence of damage caused by oil spill through the matrix analysis.

In order to estimate the accident occurrence and the damage result, the risk factors were identified through literature review and expert questionnaire, and risk factors capable of securing objective data were

selected. And analyzed frequency factors and consequence factors in 12 years from 2004 to 2015. Based on this, It set the risk level to 5 and calculated and mapped the risk of the waters in Korea. 22 area as Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Boryeong, Mokpo, Wando, Jeju, Seogwipo, Tongyoung, Masan, Changwon, , Gangneung, and Sokcho is required the cooperation of support forces that difficult to prepare for and response to each region. And Moderate level risk found area including island area of northwest, southwest, Geogedo. East, West and South Seas Although oil spills have occurred in distant seas, the risk of damage is low.

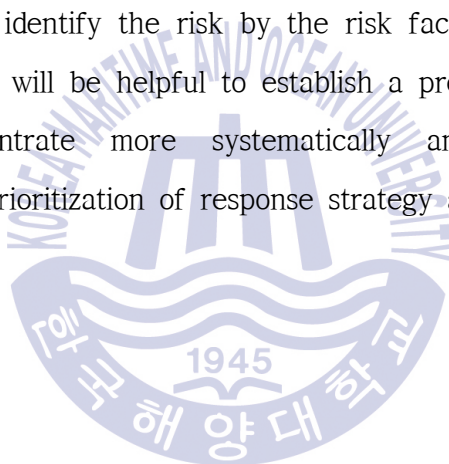
Furthermore, It analyzed risk types such as high frequency factor - low consequence factor(HL type) and low frequency factor - high consequence factor (LH type). HH type(high frequency and consequence) risk was shown mainly in major ports. And LH type as frequency is very low at level 0 or 1 and consequence is high at level 3 or 4 was concentrated in the West sea.

Second, the time required to mobilize the oil spill response equipment to the accident site is the same between existing and new model for spilled 15,000kl and 7,500kl. Early in the accident, regional response system and risk-based response deployment model can mobilize response equipment similarly. Since then it has been shown that the risk-based response deployment model can be mobilized more efficiently for additional response forces. Area including main ports where oil tankers and cargo ships are frequent can mobilize more than 40% of total recovery capacity. This being so considering only major ports, it is also

effective to consider only the maximum spilled oil volume and mobilization time, too.

Third, it developed a marine response decision support model that can help prioritize marine areas for quick and effective preventive response activities in case of oil spill accidents by dividing 8 risk factors into each area. Through this model, it is possible to identify the risk factors ranging from the accident area to surround 8 areas.

By being able to identify the risk by the risk factor of the sea area, it is thought that it will be helpful to establish a preparation strategy to select and concentrate more systematically and scientifically in establishment and prioritization of response strategy at the site.



제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

1.1.1 연구배경

우리나라 산업 발전을 위해 필수적인 에너지 중 하나인 원유의 수입은 1975년 1억 1천만 배럴에서 2014년 9억 2천만 배럴까지 증가했다. 더욱이 수입되는 전량은 모두 선박을 통해서 이뤄지고 있으며, 특히 원유의 경우 대부분 DWT 300,000톤 이상의 VLCC에 의해 수송되고 있다. 또한 수입된 원유 등은 유조화차(RTC), 유조차(T/T), 송유관 등 내륙으로 운송될 뿐만 아니라 SR급(5천~1만 톤)의 선박으로 연안해역을 통해 운송되고 있다. 산업의 지속적인 발전과 함께 우리나라 모든 연안해역에 걸쳐 내·외항 유조선 등 위험선의 통항량 및 적재량의 증가는 해양에 직접적으로 환경적 피해뿐만 아니라 수산업 활동을 하는 지역민에도 경제적 피해를 발생시킬 수 있는 위험요인이다.

매년 300건이 넘는 크고 작은 기름유출사고가 우리나라 전 해역에서 발생하고 있지만, 유조선이나 화물선과 같은 위험선박으로부터 유출된 대량의 기름유출사고는 해양 생태계의 파괴뿐만 아니라 주변 지역의 경제활동에도 천문학적인 피해를 발생시킨다.

지난 1995년 7월, 전라남도 여수 소리도에 좌초하여 5,035톤의 원유 및 병커유를 유출한 Sea prince호 기름유출사고 이후 국민적 관심에서 잠시

벗어나 있었던 해양에서의 기름유출사고가 2007년 12월, 충청남도 태안 해상에서 예인선 2척 중 한 척의 예인줄 절단으로 인해 입항 대기 중이던 Hebei Spirit호와 9차례 걸쳐 반복적으로 충돌하면서 좌선 1·3·5번 화물 창에 발생한 파공으로 인해 12,547㎥(10,900톤)의 원유가 유출된 Hebei Spirit호 기름유출사고로 환경적 피해뿐만 아니라 사회·경제적인 파급효과를 실감케 하는 사건이라는 경각심을 되새기게 했다.

그 이후, 기름유출사고에 대비하여 유출유 확산예측과 긴급계획 수립, 생태계 위해도 평가 등 여러 가지 시스템이 국내외에서 개발되어 왔다. 이러한 시스템은 각종 데이터베이스, 전자지도, 예측모델, 의사결정지원모델, 통신수단과 더불어 방제장비 관리 및 운영모델, 긴급계획 수립까지 종합적인 정보시스템으로 발전하고 있으며, 나아가 효과적인 방제활동을 위해 실시간 수심, 수온, 풍향, 풍속, 해수유동 등의 해역특성, 유출유 이동경로, 성상변화, 실시간 및 통계적 피해위험도 등의 유출유 확산특성, 방제장비현황, 민감자원 현황, 해안선평가, 피해규모, 국가긴급방제계획(National Contingency Plan, NCP), 지역방제실행계획(Regional Contingency Plan, RCP) 등의 방제지원정보를 확보할 수 있는 관련 기술 발전에 따라 더욱 짧은 주기로 더욱 많은 정보를 제공하고 있다.

그럼에도 불구하고 신속하고 효과적인 방제활동을 위해 다량의 정보를 통해 대응전략을 수립하고 사고현장에서는 지속적인 의사결정이 이뤄지고 있지만, 이 모든 정보를 바탕으로 하나의 전략방향과 결정내리지 못하거나, 각각 수집된 정보들이 융·복합적으로 반영되어 종합적인 결론을 제시 못하는 실정이다.

1.1.2 연구목적

해상에서 발생하는 기름유출사고는 복잡한 환경적 요인으로 지속적으로 성장변화와 해상과 해안에 반복적으로 영향을 끼치며 확산되어가는 특성을 갖는다. 그리고 동일한 유출량이라 할지라도 지속성 기름이거나 대량의 유출이 가능한 유조선이나 화물선 등과 같이 유출사고의 특징에 따라 피해는 큰 차이를 발생시키며, 소량의 방제장비로 크고 작은 유출사고의 투입, 정형화되지 않은 광범위한 대응 해역 등의 어려움이 있다. 더욱이 발생횟수는 매우 적으나 사고해역뿐만 아니라 전국적인 재난이 되는 대량의 기름유출사고는 한정된 방제장비로 그 피해를 최소화시키기에는 어려움이 있다.

따라서 기름유출사고의 특성에 맞는 전략수립을 위해 단계별 위험도를 산출하는 연구가 국내·외에서 지속되고 있는데, 국외 연구사례에 따르면 NCP개발에 기본적인 단계인 위험도를 소개하고 분석하여 NCP의 활용방안을 제시하고 있고, 미국 BP기름유출사고의 기름유출 가능성을 분석해서 가상의 유출위치에서의 확산을 유출사고 발생가능성과 개발요인으로 조합하여 분석했고, 퀸즈랜드 연안해역 및 그레이트 베리어 리프에서 발생한 기름유출사고에 대한 평가를 위해 낮은 사고빈도와 높은 사고영향을 미치는 사고만을 고려해 10톤 이상의 2단계 유출사고에 대한 위험평가를 수행했다. 또한 기름유출을 방지할 수 있는 저감조치를 식별하기 위해 관리계획을 제시했다. AS/NZS a 31000:2009¹⁾, ISO310003과 같은 규칙 하에 위험이 ALARP²⁾ 및 허용 수준 이하로 감소될 수 있도록 위험평가에 관한 지

1) Standards australia(2009)Risk management—Principles and guidelines

2005년 ISO에서 AS/NZS 4360:2004를 초안으로 최초의 국제 리스크관리 표준을 개발하기 위한 실무그룹이 마련되었고, 표준개발 중 호주와 뉴질랜드에서 ISO 31000:2009를 출판한 것으로, 위험에 대한 정의 및 리스크 관리를 위한 조직이 준수해야할 원칙을 명시하고 있는 기준으로 프레임워크의 생성과 지속적인 개선을 통해 리스크 관리가 어떻게 구현되고 통합되는지 명시됨.

침으로 위험도 평가를 수행할 수 있는 정보 및 프로세서를 제시했으며, 기름유출사고 위험을 수립, 분석 및 평가하는 측면에서 위험도 관리 프로세스를 제시했다. (Zhang 등(2011) BOEM(2013) Roberts(2013) NOPSEMA(2014) IPIECA (2013) Queensland transport(2000), Portela(2005), Ronza et al.(2003), Trbojevic& Carr(2000), Trucco et al.(2008) Yang et al.(2005))

국내에서는 철도분야, 안전보건분야에서 주로 위험도 평가 및 분석 이 이뤄졌으며(KOSHA(2010), ITC(2016), Ahn et al.(2008), Ahn et al.(2014), Lim&Noh(2005), Jang(2008)), 해양분야에서는 해양경찰청(2017)이 중질유 오염사고에 대한 해역별 상대적 위험도를 전국 17개 해역의 해양오염 위험등급을 지난 30년간 전국에서 발생한 중질유 오염사고를 통계분석했다.

그러나 우리나라는 기름유출사고를 발생시키는 위험요인과 사고로 인해 피해가 발생하는 위험요인이 고려된 연구사례를 찾기는 어려운 실정이고, 방제장비의 한계를 최소화하고 효과적인 방제활동을 수행하기 위해 최악의 기름유출사고 발생에도 효율적인 방제활동을 실시할 수 있도록 지역별로 자원을 분배 배치하고 있으나, 현재의 지역방제시스템은 우리나라 해역에서 발생할 수 있는 최악의 기름유출사고의 유출량과 이를 대응하기 위해 전국적으로 동원할 수 있는 방제장비의 대응시간만 고려되고 있어 해역의 민감도에 따른 효과적인 방제활동을 실시하지 못하는 한계가 있다. 따라서 기름유출사고의 유출량과 동원시간뿐만 아니라 사고발생과 피해발생이 위험이 고려된 해역별 민감도를 반영하여 효율적인 방제장비의 배치 및 운용이 가능한 합리적이고 과학적인 배치기준이 마련되어야 할 필요가 있다.

특히 실제현장에서 방제활동 시 적시적소에 따라 의사결정권자는 사고

2) As Low As Reasonably Practicable

수용 가능한 위험은 위험분석을 통하여 위험이 줄 수 있는 충격과 발생 가능성이 합리적으로 실행할 만한 정도

상황, 주변 조건, 대응가능 자원 등을 종합적으로 고려한 전략을 수립하여 최적의 방제장비를 동원해야 하며, 동원으로 인한 시간적 간격과 피해 범위 및 규모에 맞춰 가장 효과적인 방제활동을 실시할 수 있는 우선순위를 결정해야 한다.

본 논문은 사고가 발생되고 피해가 유발되는 기름유출사고 위험도가 반영된 새로운 방제장비의 배치기준을 설정하고, 사고해역 및 주변해역의 위험요인이 포함된 수많은 데이터와 방제정보를 제시함으로써 교육, 훈련, 정책수립 및 계획 결정 등의 대비단계와 방제우선순위, 방제장비선택, 필요 방제장비량 할당 등의 대응단계에서 신속하고 편리하게 이해하고 지원하는데 목적이 있다.



1.2 연구방법 및 범위

1.2.1 연구방법

본 논문에서는 Fig. 1과 같이 기름유출사고에 따른 해역별 통계적 분석을 통해 해역별 기름유출사고 위험도를 평가하고 위험도의 특징을 정형화시킨 위험도 유형을 분석하여 매핑했다. 매핑된 위험도를 기초하여 해상방제장비를 지역적으로 다시 배치했고, 방제 및 민감지역에 대한 우선순위 결정 등에 있어서 도식화된 위험요인을 제공함으로써 의사결정을 지원하는 순으로 연구를 수행했다.

본 논문에서 사용된 자료는 지난 12년(2004년~2015년)동안 우리나라 해역에서 발생한 기름유출 사고량, 유출량, 유종, 통항량 데이터를 반영한 사고빈도분석(Frequency analysis)과 어업 및 양식업의 생산단가, 해수욕장에서의 소비금액, 항만의 수출입실적 데이터를 반영한 사고결과분석(Consequence analysis)을 기초하여 위험도 매트릭스 분석을 통해 해역별 위험도를 평가했다.

위험도 평가는 사고빈도분석과 사고결과분석을 위해서 복합지수모형을 적용했는데 이는 육상에서 기초자치단체의 효율적인 교통안전정책의 수립 및 시행하여 국가전체의 교통안전수준 제고의 핵심관건으로 2005년부터 지역단위 교통여건 대비 교통사고율을 비교/평가하는 교통안전지수 산출하기 위한 모형을 활용했다.(도로교통공단, 2016)

사고빈도와 사고결과를 통해 1점부터 25점까지 정량적인 단일점수로 도출된 해역별 위험도를 기초하여 사고빈도는 높고 사고결과는 낮은 위험(HL유형), 사고빈도는 낮고 사고결과는 높은 위험(LH유형), 사고빈도와 사고결과가 모두 낮은 위험(LL유형), 사고빈도와 사고결과가 모두 높은

위험(HH유형), 사고빈도와 사고결과가 중간정도인 위험(MM유형)으로 위험도를 구성하는 위험 특징에 맞춰 5가지 유형으로 구분하여 우리나라 전 해역을 매핑했다.

우리나라 전해역의 기름유출사고 위험도 평가를 통한 매핑에 기반하여 자원을 배치했는데, 해상방제장비의 효율성 극대화를 위해 최대유출량과 동원시간이 반영된 지역방제시스템에 각 해역에 따라 위험도 유형별 가중치를 고려해서 방제장비를 배치시켰다.

나아가 각 해역별 단일한 정량적 위험도를 구성하는 위험요인을 사고빈도 위험도에 포함된 사고량, 유출량, 지속성 기름, 통항량 요인과 사고결과 위험도에 포함된 어업, 양식업, 해수욕장, 항만 요인의 정량화된 수치를 도식화하여 제시했다.

해역별 위험도가 반영된 위험도를 기초하여 방제장비를 다시 배치시켰으며, 현재 우리나라가 도입하고 있는 지역방제시스템으로 배치된 자원에 대하여 30만톤 VLCC가 입출항하는 대산 및 부산 해역과 통항로 상 위험도가 높은 보령 근해에서 발생한 45,000kℓ 유출사고와 여수 해역에서 발생한 22,500kℓ 기름유출사고를 통해 사고해역까지 소요되는 동원시간과 목표한 회수량의 변화를 비교평가했다.

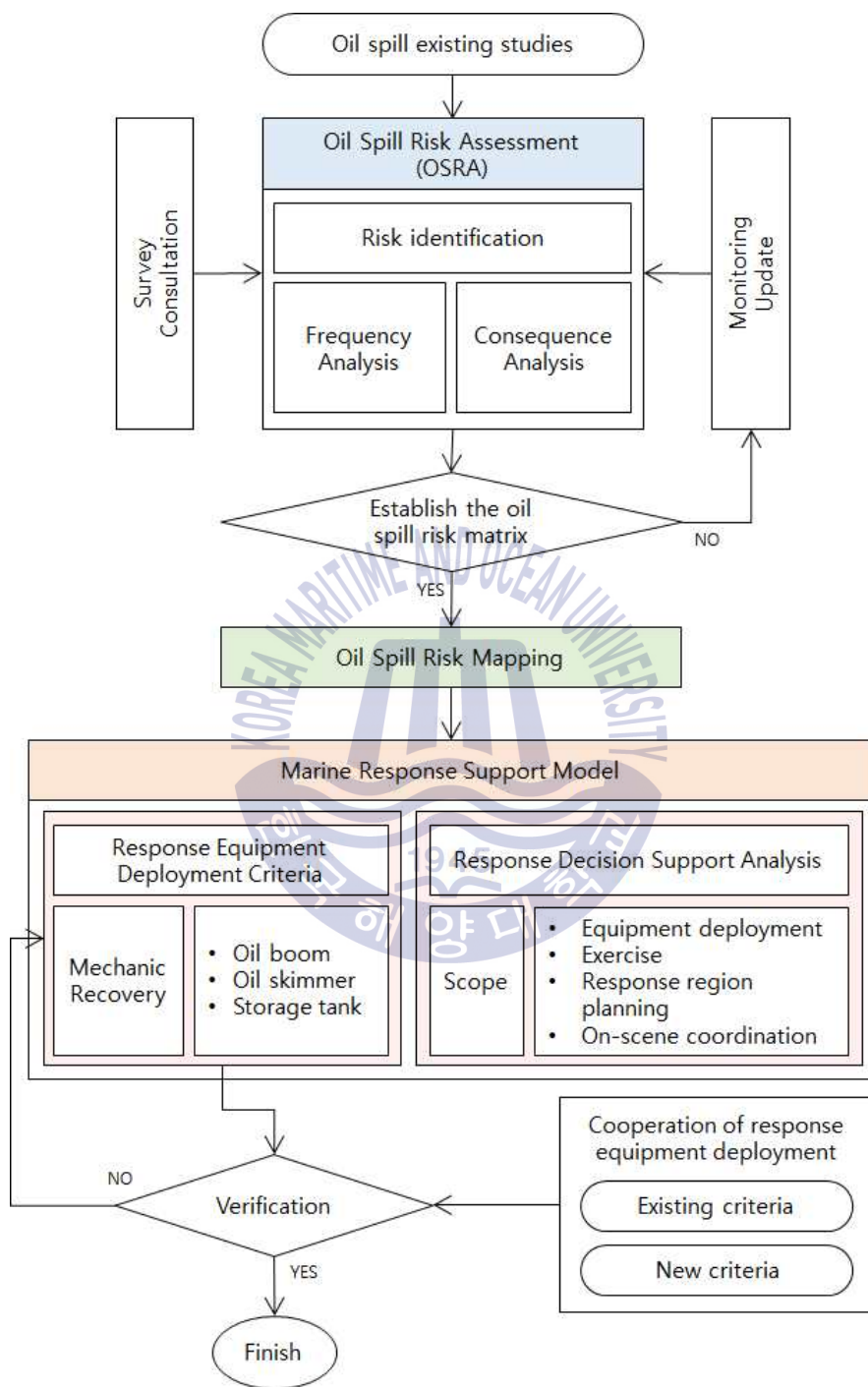


Fig. 1. Study flowchart

1.2.2 연구범위

본 논문은 해양에서 발생한 환경오염사고 중에서 직·간접적으로 환경적, 사회경제적 피해가 가장 빈번하고 광범위하게 발생하는 기름유출사고에 대하여 해역의 위험을 평가하기 위해 사고의 빈도 및 결과에 대하여 매트릭스 분석을 실시하고, 위험도 매핑에 따른 대비 시 해상방제장비의 배분과 대응 시 의사결정을 지원하고자 한다.

공간적 범위는 우리나라 관할해역 375,000km²가 모두 포함되지만, 국가지리정보체계의 항만, 연안, 근해 2,500여 도엽의 해양기본도를 기본으로 하여, 해양공간정보에 대한 부가적인 공간정보에 따라 일부 해역을 포함 및 제외시켰다. 내용적 범위로는 해양에서 인간의 경제활동으로 인한 선박 등에서 발생한 해양오염사고 중 기름유출사고(2004년~2015년)로 한정하며, 선행연구들을 검토하여 기존 연구의 특징 및 한계점을 파악했다.

본 논문은 6장으로 이뤄졌으며, 각 장의 내용은 다음과 같다.

제2장에서는 2004년부터 2015년까지 국내·외에서 발생한 기름유출사고의 현황과 특징을 분석하고 국내 해역에서 발생한 위험선박에서 기인한 기름유출사고 사례를 검토했다.

제3장에서는 기름유출사고의 위험도를 정의하고 해역별 위험도 평가를 위해 사고빈도분석과 사고결과분석을 통한 위험도 수준과 유형을 도출하여 0.2°의 균일한 간격으로 전 해역에 걸친 위험도 매핑을 실시했다.

제4장에서는 분석된 위험도를 기반하여 효과적인 대비활동을 실시하기 위하여 지역별 해상방제 장비배치 기준을 개발하여 신속한 방제활동에 필요한 우선순위 결정을 지원할 수 있는 위험도 기반 의사결정 지원 및 장비배치 모델을 개발했다.

제5장에서는 최악기름유출사고와 권역내 방제장비로 대응이 가능한 최대 기름유출사고를 통해 위험도기반 장비배치 모델과 지역방제시스템과의 효과성에 대하여 검증과 분석을 실시했다.

그리고 제6장에서는 본 연구의 결론을 도출하고 향후 추가적으로 필요한 연구의 방향을 제시했다.



제 2 장 기름유출사고 및 대응사례

2.1 국외 기름유출사고 현황

기름은 상품의 생산에서 인력, 화물의 운송에 이르기까지 글로벌 경제에서 매우 중요한 역할을 하고 있으며 경제활동과 기름소비는 함께 변화되는 정(+)의 관계에 있다. 더욱이 개발도상국은 Fig. 2와 같이 경제활동과 기름 소비가 더욱 뚜렷하게 정(+)의 관계가 나타난다.

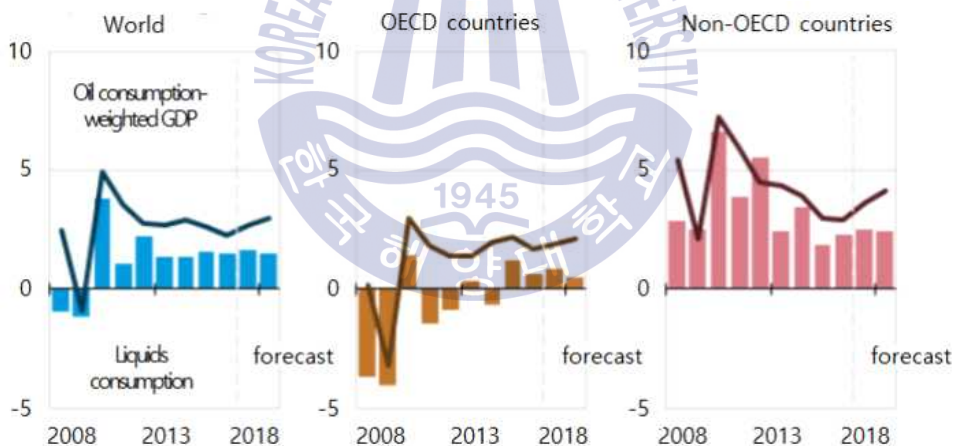


Fig. 2. Changes in liquids consumption and oil consumption

*source : EIA(2017)

석유산업은 역사적으로 해운업 및 정유사에서 기름유출사고의 대비 및 대응을 매우 강력하게 추진한 결과, 지난 30여 년 동안 선박에 기인하여 발생한 주요 기름유출사고는 극적으로 줄어들었다. 이 같은 변화는 원거

리, 환경적 민감도, 잠재적 위험 장소에 대한 연구 및 분석, 활발한 생산 활동에 따른 급속한 경제성장과 일치한다.

전 세계적으로 대량의 기름유출사고는 Fig. 3과 같이 1970년대 연평균 24.5건이었지만 1980년대부터 연평균 10건 이하로 줄어들었으며 1990년대 이후 기름유출사고는 10년 평균 절반가량으로 줄어드는 추세이다. 또한 700톤 이하의 중·소량의 기름유출사고는 1990년대 연평균 28.1건에서 2000년대는 14.9건으로 줄어들었으며, 2010년대(2015년까지)는 5.2건으로 줄어들었다.

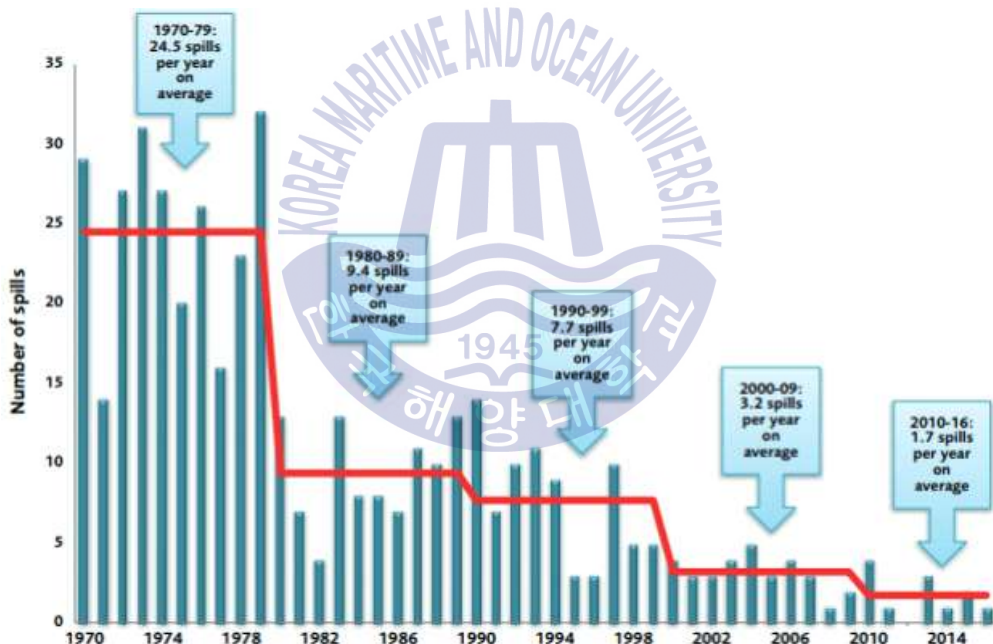


Fig. 3. Number of large spills(>700 tonnes, 1970~2015)

*source : ITOPF(2017)

Fig. 4와 같이 1970년부터 2015년까지 유조선에 기인한 기름유출사고 유출량은 약 572만 톤이며, 1970년대 유출량이 전체의 55.7%를 차지하고 있으

나 꾸준히 감소하는 추세이다. 1980년대는 1970년대의 36.5%수준으로 대폭 감소되었으나 1990년대에는 1980년대와 비슷한 26.5%수준으로 소폭 감소했다. 2000년대는 1990년 수준의 17.3%수준으로 대폭 감소했다. 그럼에도 불구하고 1980년대 이후 20%대를 유지하던 중·소량의 기름유출사고 대비 대량의 기름유출사고는 2010년대에 들어서면서 30%대로 증가했다. 또한, 단일 사고이지만 대량의 기름이 유출되는 사고들이 비규칙적으로 지속해서 발생하고 있다.

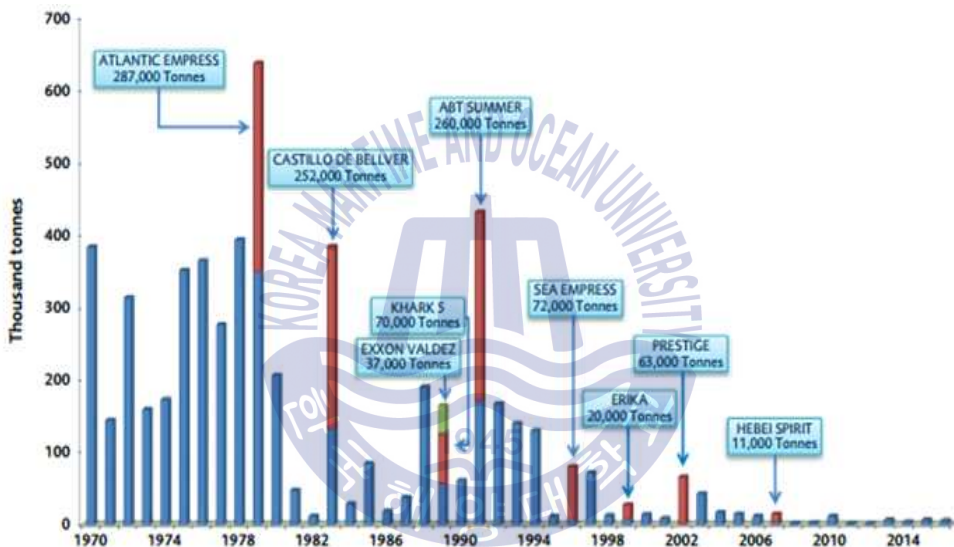


Fig. 4. Quantities of oil spilt >7 tonnes, 1970 to 2015
(spill size rounded to nearest thousand)

*source : ITOPF(2017)

2.2 국내 기름유출사고 현황

우리나라에서 발생한 기름유출 해양오염사고는 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 1980년대 초반(1979년 포함) 연평균 191건에서 1980년대 중반에 들어 연평균 167건으로 소폭 감소했지만 1990년대에 들어서면서 초반에는 311건으로 급등한 후 2000년대 초반 383건까지 지속적으로 증가했으나 2000년대 중반 이후 감소추세로 돌아섰다.

1980년대부터 우리나라는 급속한 경제성장으로 에너지 소비량이 증가함에 따라 원유 도입량이 급증하였고, 운송비가 저렴한 해상으로 화물수송이 집중됨에 따라, 해양오염사고는 2000년 중반 연평균 약 400여건 이상까지 증가했다.

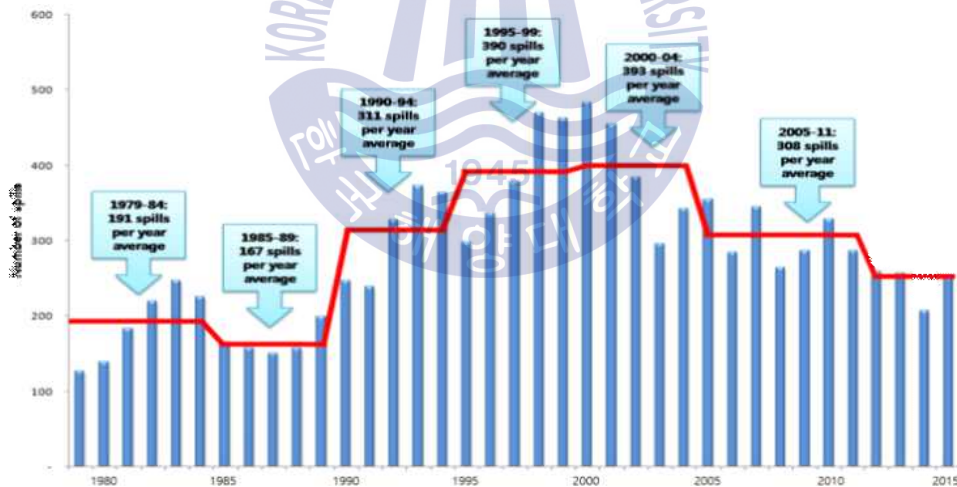


Fig. 5. Number of oil spills per year in Korea (1979~2015)

2000년 중반 이후 국민의 해양환경 보전의식의 향상과 사고예방활동 강화 등으로 점차 감소추세에 있으며, 2011년에도 오염사고에 대한 경각심 고취, 신속한 유류이적 조치 등을 통해 사고 건수 및 유출량의 감소

기조를 이어가고 있다.(해양경찰청, 2012) 그러나 2007년 태안에서의 대형 오염사고 경험 등과 같이 유류물동량, 해상교통량의 증가로 인해 대형 오염사고의 발생가능성은 항상 존재하고 있다.

1979년부터 2015년까지 선박에 기인한 해양오염사고로 인한 기름유출량은 Fig. 6과 같이 약 78,400kℓ로서 일반적으로 연간 최대 4,000kℓ가 넘지 않는 추세이지만 이벤트성 기름유출사고가 발생하는 경향을 보이고 있다. 해양오염물질의 유출량은 약 60%가 1990년대에 발생했다. 1990년대는 1980년대의 482.8%수준으로 대폭 증가했으나, 2000년대는 1990년 수준의 45.7%수준으로 절반 이상 감소했다.

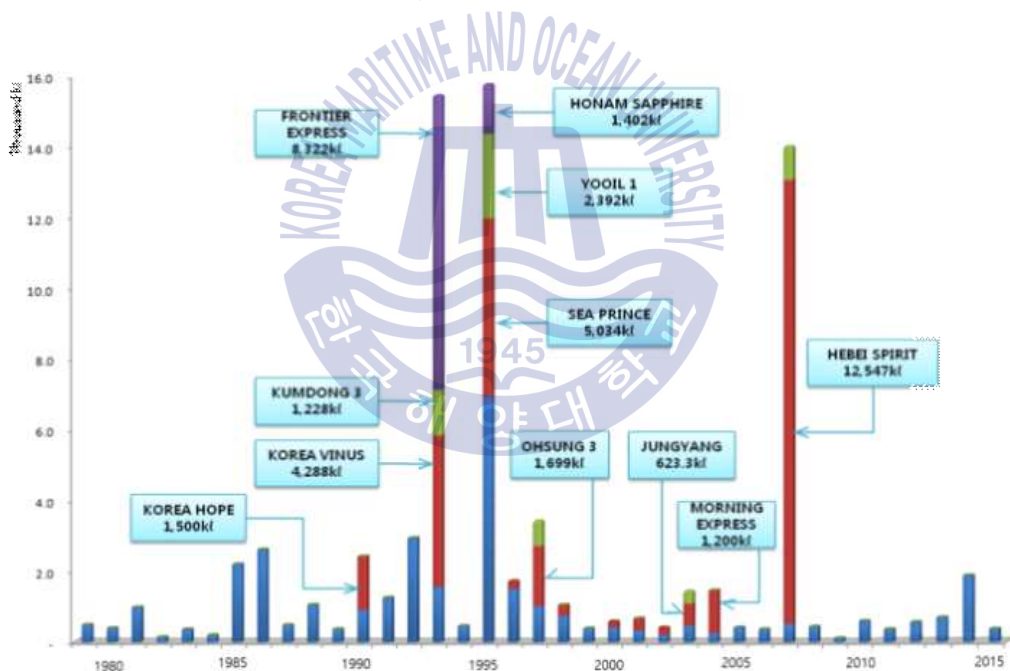


Fig. 6 Quantities of oil spill per year in Korea (1979~2015)

2.2.1 해역별 기름유출사고

우리나라 해역에서는 2004년부터 2015년까지 발생한 총 3,431건의 기름 유출사고가 Fig. 7과 같이 연안을 따라 발생하고 있으며, 여수, 울산, 부산, 인천 등 주요 항만에 집중되어 있다.

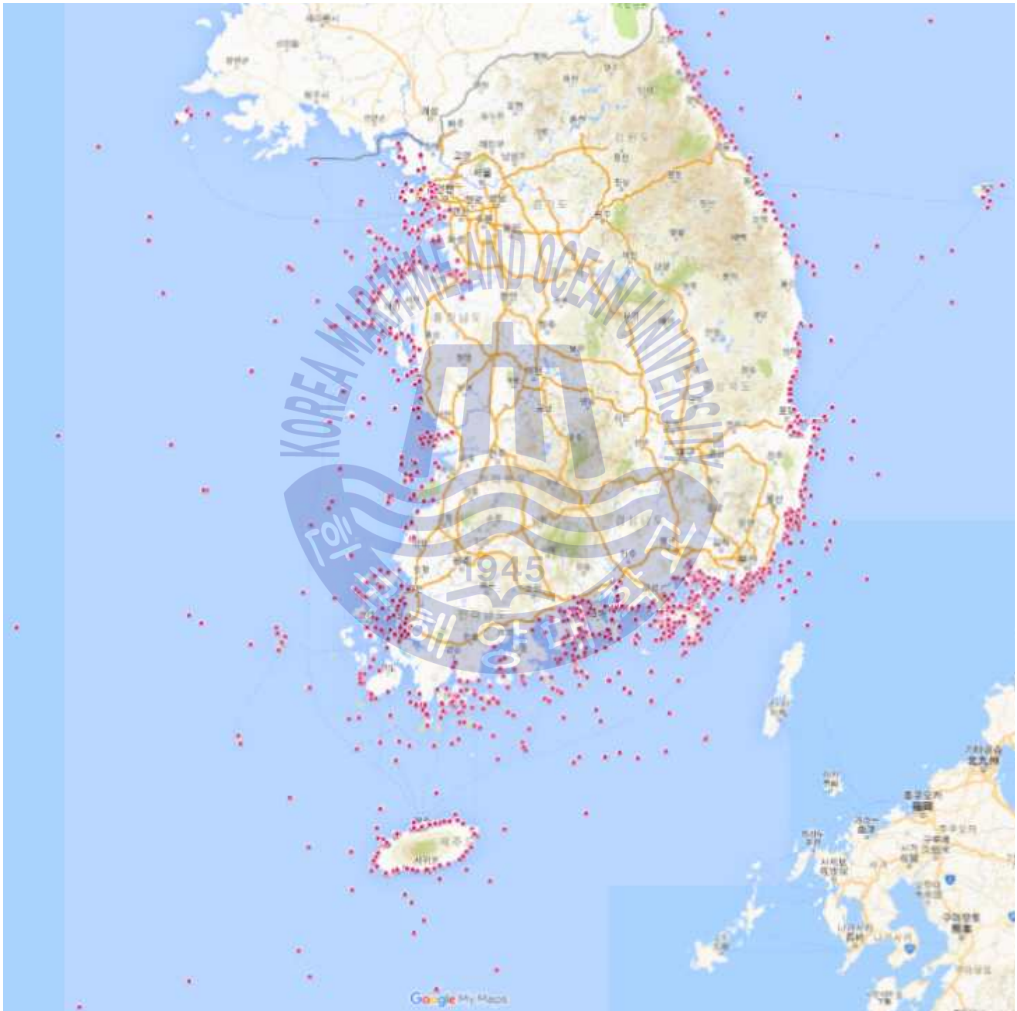


Fig. 7. Location of oil spills in Korea(2004~2015)

지난 12년(2004~2015)동안 해역별로 발생한 기름유출사고는 Table 1에서 보는 바와 같이 2004년 여수, 2007년 태안, 여수, 울산, 2014년 여수에

서 1,000kℓ이상의 유출사고가 발생했으며, 유출사고는 부산(769건), 여수(325건), 통영(330건) 등 대부분의 주요 해역에서 100건 이상의 유출사고가 발생했다.

Table 1. Oil spill accident by sea area(2005~2014)

(Num:number of cases, Quantity:kℓ)

		Sum	Incheon	Pyeongtaek	Taejeon	Boeong	Yeosu	Wando	Mokpo	Gunsan
04	Num	343	22	-	25	-	28	4	18	19
	Quantity	1,461.7	28.1	-	7.5	-	1,232.8	1.8	42.6	19.3
05	Num	355	31	-	20	-	18	10	25	13
	Quantity	410.3	1.6	-	14.7	-	6.9	2.1	36.8	2.0
06	Num	285	21	-	9	-	29	11	15	6
	Quantity	364.7	49.5	-	1.1	-	33.7	1.0	0.7	42.0
07	Num	345	37	-	12	-	35	11	15	12
	Quantity	15,447.5	86.6	-	12,549.9	-	1,569.3	0.5	64.6	1.0
08	Num	265	26	-	5	-	32	12	10	12
	Quantity	435.94	10.7	-	1.2	-	260.4	2.4	12.2	1.6
09	Num	287	33	-	19	-	21	16	12	16
	Quantity	110.8	16.9	-	47.1	-	5.2	1.4	1.0	1.5
10	Num	329	28	-	17	-	42	13	29	15
	Quantity	601.0	239.8	-	7.5	-	40.8	0.5	4.7	2
11	Num	287	16	7	9	-	36	17	19	13
	Quantity	369.1	12.1	28.9	3.0	-	6.9	78.0	148.0	2.1
12	Num	253	12	14	2	-	29	13	23	22
	Quantity	418.7	89.5	1.5	0.1	-	1.4	39.6	25.0	24.5
13	Num	252	11	10	10	-	25	4	25	5
	Quantity	635.0	3.6	1.0	1.1	-	9.6	0.6	80.7	1.5
14	Num	215	11	6	5	4	30	8	13	5
	Quantity	2,001.4	3.9	0.5	3.9	0.4	1,114.1	1.1	223.3	1.1
Sum	Num	3,216	248	37	133	4	325	119	204	138
	Quantity	22,256.1	542.3	31.9	12,637.1	0.4	4,281.1	129.0	639.6	98.6

*source : KCG(2004~2013), MPSS(2014~2015)

*The data for 2015 are omitted because they are statistically processed by region

Table 1. (Cont.)

(Num:number of cases, Quantity:kl)

		Ulsan	Busan	Tong yeong	Chang won	Jeju	Seogwi po	Sokcho	Dong hae	Pohang
04	Num	26	67	41	-	39	-	8	8	38
	Quantity	36.1	38.5	27	-	17.6	-	1.1	1.3	8
05	Num	14	84	55	-	35	-	12	12	26
	Quantity	28.6	68.0	169.3	-	41.2	-	1.2	21.4	16.5
06	Num	19	74	46	-	18	-	14	4	19
	Quantity	16.6	213.4	3.2	-	0.3	-	0.7	0.8	1.7
07	Num	19	102	41	-	37	-	8	6	10
	Quantity	1,030.7	33.2	60.4	-	50.5	-	0.4	0.1	0.3
08	Num	13	89	29	-	8	2	7	2	18
	Quantity	0.6	110.4	9.2	-	22.1	0.04	0.8	0.1	4.2
09	Num	18	56	29	-	14	7	5	12	29
	Quantity	1.9	6.9	6.0	-	14.8	0.1	0.2	0.9	6.9
10	Num	19	62	24	-	22	15	12	23	8
	Quantity	85.3	3.3	127.5	-	23.2	56.2	0.9	5.6	3.7
11	Num	27	52	25	-	13	8	10	12	23
	Quantity	31.2	23.4	1.7	-	0.6	0.9	0.8	1.9	29.6
12	Num	17	66	14	-	5	6	8	10	12
	Quantity	62.5	25.3	1.1	-	15.2	9.6	5.2	1.5	116.7
13	Num	21	66	14	9	7	9	10	12	14
	Quantity	119.9	79.3	78.0	1.4	2.2	0.2	8.0	118.3	129.6
14	Num	27	51	12	11	8	5	6	4	9
	Quantity	5.2	610.8	33.9	0.4	1.1	0.6	0.1	0.3	0.7
Sum	Num	220	769	330	20	206	52	100	105	206
	Quantity	1,418.6	1,212.5	517.3	1.8	188.8	67.6	19.4	152.2	317.9

Fig. 8은 해역별 기름유출사고에 대하여 사고량은 꺾은선 그래프로 유출량은 막대 그래프로 도식화했다. 해역별로 사고량과 유출량에 따라 크게 두 가지 형태로 나타났는데 첫째는 사고량은 적지만 유출량이 많은 형태로 태안, 여수 해역이 있으며 둘째는 유출량은 적지만 사고량이 많은 형태로 부산, 제주해역이 있다.

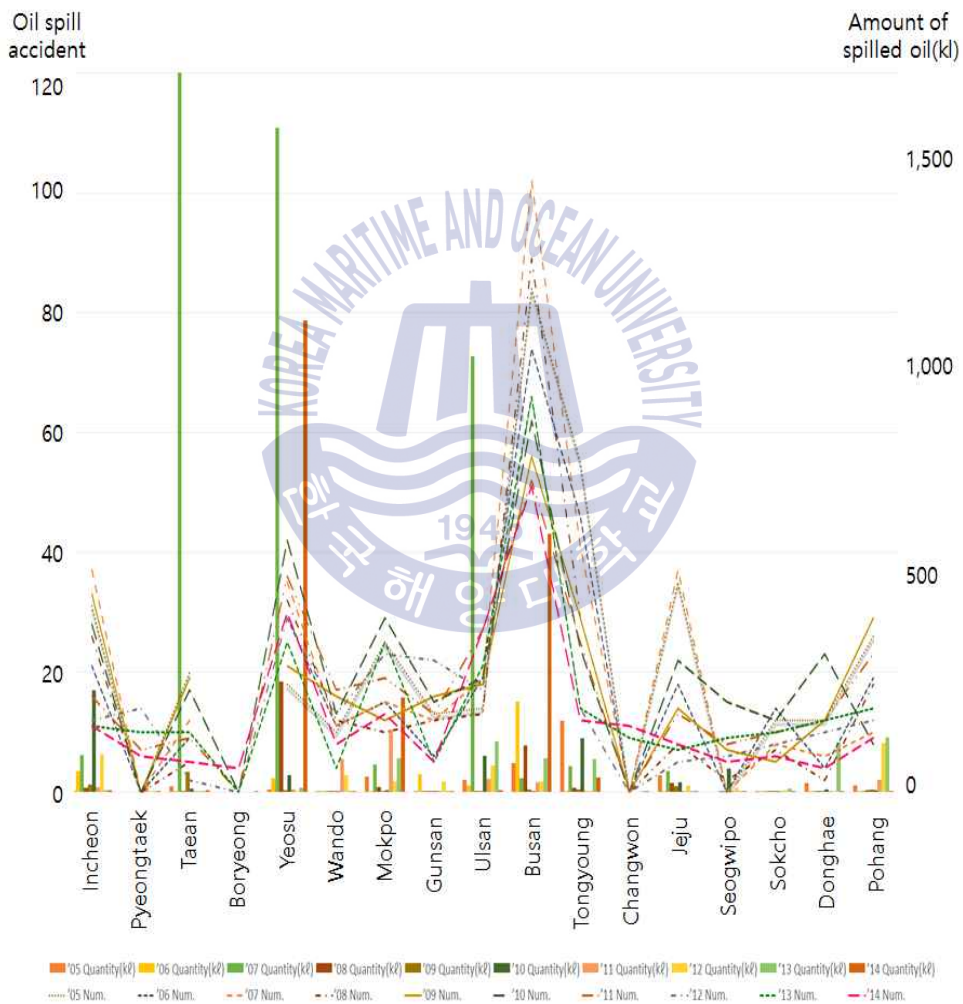


Fig. 8 Oil spills in each port(2005~2014)

2.2.2 원인별 기름유출사고

2004년부터 2015년까지 발생한 기름유출사고 원인은 Table 2와 같이 부주의가 1,861건으로 가장 많았고 해난(833건), 파손(423건), 고의(206건), 기타(143건) 순으로 나타났으며, 유출량은 해난사고에 의한 유출이 21,181kℓ로 전체 유출량의 93.2%를 차지했고 부주의(657.8kℓ), 파손(605kℓ), 고의(264kℓ) 기타 순으로 나타났다.

Table 2. Oil spill accident by cause(2005~2014)

(Num:number of cases, Quantity:kℓ)

		Sum	Careless	Disaster	Intention	Damage	Etc.
04	Num	343	161	107	31	37	7
	Quantity	1,461.7	23.5	1,385.2	34.2	18.4	0.4
05	Num	355	173	121	16	30	15
	Quantity	410.3	62.2	343.5	0.6	1.7	2.3
06	Num	285	117	73	14	74	7
	Quantity	364.7	11.7	128.2	1.2	223.4	0.2
07	Num	345	146	124	23	45	7
	Quantity	15,447.5	14.9	15,367	3.1	61.5	1.0
08	Num	265	141	62	13	22	27
	Quantity	435.9	38.5	342.0	51.5	0.9	3.0
09	Num	287	159	57	25	39	7
	Quantity	110.8	19.4	41.5	45.8	3.4	0.7
10	Num	329	195	67	26	34	7
	Quantity	601.0	94.4	464	17.4	23.8	1.4
11	Num	287	189	47	16	21	14
	Quantity	369.1	87.4	175.8	103.9	1.4	0.6

(Num:number of cases, Quantity:kl)

		Sum	Careless	Disaster	Intention	Damage	Etc.
12	Num	253	171	33	12	27	10
	Quantity	418.7	93.2	297.7	0.6	26.3	0.9
13	Num	252	158	46	10	30	8
	Quantity	635.0	164.0	463.2	1.7	6.0	0.1
14	Num	215	124	35	10	29	17
	Quantity	2,001.4	22.0	1,939.6	2.3	36.7	0.8
15	Num	250	127	61	10	35	17
	Quantity	464.1	26.6	233.3	1.7	201.5	1.0
Sum	Num	3,466	1,861	833	206	423	143
	Quantity	22,720.2	657.8	21,181.0	264.0	605.0	12.4

*source : KCG(2004~2013), MPSS(2014~2015)

2.2.3 배출원별 기름유출사고

2004년부터 2015년까지 발생한 기름유출사고의 주요원인 대부분은 해상을 운항하는 선박에서 기인한 사고이다. Table 3과 같이 선박으로부터 기인된 사고 중 사고량은 어선이 1,333건이 가장 많았고, 유출량은 유조선이 14,409kl로 73.7%를 차지했다.

특히 2007년 15,386.7kl의 유출량 중 12,626.3kl는 유조선에 기인한 단일 사고로 인한 것으로, 이를 제외하면 2,760.4kl 수준으로 한 번의 대량유출 사고의 영향을 보여주는 단편적인 결과 중 하나로 판단된다.

Table 3. Oil spill accident by emission source(2005~2014)

(Num:number of cases, Quantity:kl)

		Total	Vessel					Shore	Etc.
			Sum	Cargo	Tanker	Fishing	Etc.		
04	Num	343	294	39	39	149	67	42	7
	Quantity	1,461.7	1,399.9	66.4	1,222.9	30.3	80.3	61.4	0.4
05	Num	355	298	43	13	183	59	42	15
	Quantity	410.3	331.5	30.1	38.0	149.4	114.0	76.5	2.3
06	Num	285	237	33	26	112	66	41	7
	Quantity	364.7	153.0	58.4	11.4	20.6	62.6	211.5	0.2
07	Num	345	299	47	36	141	75	39	7
	Quantity	15,447.5	15,386.7	140.5	12,626.3	49.3	2,570.6	59.8	1.0
08	Num	265	212	32	23	98	59	28	25
	Quantity	435.9	369.5	3.5	301.1	33.7	31.2	63.7	2.7
09	Num	287	249	36	18	125	70	31	7
	Quantity	110.8	104.9	9.8	7.9	18.4	68.8	5.2	0.7
10	Num	329	285	33	37	140	75	40	4
	Quantity	601.0	585.6	82.1	148.6	130.5	224.4	14.2	1.2
11	Num	287	231	39	25	97	70	46	10
	Quantity	369.1	202.4	60.3	1.4	52	88.7	166.2	0.5
12	Num	253	222	48	32	66	76	26	5
	Quantity	418.7	383.3	221.9	1.0	5.6	154.8	34.6	0.8
13	Num	252	202	26	12	77	87	42	8
	Quantity	635.0	474.3	438.9	2.9	17.8	14.7	160.6	0.1
14	Num	215	165	21	30	54	60	33	17
	Quantity	2,001.4	1,095.8	785.7	38.4	41.3	230.4	904.8	0.8
15	Num	250	214	21	25	91	77	19	17
	Quantity	464.1	458.4	121.4	9.8	21.8	305.4	4.7	1.0

(Num:number of cases, Quantity:kl)

		Total	Vessel					Shore	Etc.
			Sum	Cargo	Tanker	Fishing	Etc.		
Sum	Num	3,466	2,908	418	316	1,333	841	429	129
	Quantity	22,720.2	19,545.4	2,019.0	14,409.7	570.7	3,945.9	1,763.2	11.7

*source : KCG(2004~2013), MPSS(2014~2015)

2.2.4 물질별 기름유출사고

2004년부터 2015년까지 발생한 유출된 기름의 종류별로는 Table 4와 같이 경유가 1,205건(34.8%)으로 가장 많은 사고를 발생했지만, 유출량은 중유가 15,349.8kl로 67.6%를 차지하며 가장 많은 양을 유출되었다.

Table 4. Oil spill accident by type(2005~2014)

(Num:number of cases, Quantity:kl)

		Sum	Heavy oil	Light oil	Bilge	Etc.	Except
04	Num	343	68	128	84	46	17
	Quantity	1,461.7	105.9	1,314.2	7.3	2.6	31.7
05	Num	355	69	141	86	51	8
	Quantity	410.3	123.8	131.7	55.2	24.2	75.4
06	Num	285	60	102	60	47	16
	Quantity	364.7	54.3	77.3	20.1	3.9	209.1
07	Num	345	69	143	63	52	18
	Quantity	15,447.5	12,789.4	160.5	6.6	11.4	2479.6
08	Num	265	76	89	54	36	10
	Quantity	435.9	86.0	280.2	6.3	2.6	60.8
09	Num	287	74	89	61	45	18
	Quantity	110.8	25.7	19.1	6.9	14.8	44.3

(Num:number of cases, Quantity:kℓ)

		Sum	Heavy oil	Light oil	Bilge	Etc.	Except
10	Num	329	57	120	63	52	37
	Quantity	601.0	121.7	357.5	81.3	7.8	32.7
11	Num	287	50	92	60	37	48
	Quantity	369.1	28.8	80.7	10.4	2.1	247.1
12	Num	253	64	66	43	51	29
	Quantity	418.7	66.6	64.0	205.8	28.6	53.7
13	Num	252	54	79	45	46	31
	Quantity	635.0	382.5	81.4	6.2	18.4	146.5
14	Num	215	58	74	25	44	14
	Quantity	2,001.4	1407.9	378.6	165.1	44.8	14
15	Num	250	53	82	47	47	21
	Quantity	464.1	157.2	76.5	7.5	21.5	201.4
Sum	Num	3,466	752	1,205	691	554	267
	Quantity	22,720.2	15,349.8	3,021.7	578.7	182.7	3,596.3

*source : KCG(2004~2013), MPSS(2014~2015)

상기(제2.2절)에서 국내 기름유출사고에 대하여 조사·분석한 결과를 종합하면, 사고 발생장소는 주로 부산, 여수, 통영, 인천 및 울산 등 선박통항량이 많은 해역이며 사고의 원인은 부주의로 인한 사고가 가장 많았고, 해난사고에 의한 유출이 전체 유출량의 96%를 차지했다.

기름유출사고의 대부분은 해상의 선박에서 기인했고, 그 중 어선이 가장 많은 사고를 발생했으며, 기름유출은 유조선이 가장 많이 유출시켰다. 유출된 기름은 경유를 유출시킨 기름유출사고 건이 가장 많았지만, 유출량은 중유가 가장 많이 유출되었다.

2.3 국내 기름유출사고 대응사례³⁾

2.3.1 유조선 Hebei Spirit호 사고

2007년 12월 7일 07:06경, 충남 태안군 원북면 신도 남서방 6마일 해상에서 예인선 2척에 예인되던 11,828톤급 크레인 바지선 삼성1호가 정박 중인 유조선 Hebei Spirit호⁴⁾와 충돌하여 적재된 원유 12,547kℓ(약 10,900톤)가 유출된 사고이다. 유출된 기름은 1995년 Sea Prince호 사고 5,035kℓ 유출량보다 약 2.2배에 달하여 1997년 제3오성호 이후 1,000kℓ 이상 유출되는 대형사고는 10년 만에 발생한 것이다.

사고해역은 3~4노트의 빠른 조류가 흐르기 때문에 오일붐의 효과는 미비했기 때문에 가로림만 및 천수만과 같은 환경민감해역에 2~3중의 오일붐을 설치해 차단효과를 높였다. 또한 전국의 방제활동이 가능한 선박이 동원되어 해상부유기름 회수, 오일붐 설치, 유처리제 및 소화포에 의한 분산처리 등 해상방제활동을 실시했다.

그럼에도 불구하고 방제 및 전략수립에 필요한 전문가 지원이 부족했다. 더욱이 현장 대응조직에서 중요한 결정사항이 있을 때 판단 착오로 인한 피해를 줄일 수 있는 자문을 해줄 수 있는 전문가 활용이 부족했고, 동원시간이 반영된 분산배치가 고려되지 않은 장비배치로 동원 및 방제활동을 효율적으로 실시하지 못했다.

3) 국토해양부(2008), 해양경찰청(2013) 재구성, 사고당시 투입된 조직 등의 명칭은 사고당시의 조직명으로 작성

4) 146,848톤급, 홍콩(중국)선적, 중동산 원유 약 302,640kℓ 적재

2.3.2 화물선 Taiyue호 사고

2011년 7월 3일 08:35경, 인천항으로 입항 중이던 화물선 Taiyue호⁵⁾는 인천광역시 옹진군 울도 서방 0.1마일 해상에서 선수가 암반에 충돌하여 파공되어 해안가 암초에 좌초되었고, 제9호 태풍 무이파 내습 시 선체가 두 동강나면서 완전 침몰되어 적재된 연료유(MDO), 윤활유 및 화물(규산나트륨¹⁾)이 해상으로 유출된 사고이다.

사고 발생 당일 방제21호정에서 오일붐을 1차 300m 전장 후, 사고 2일 차에 해경 및 방제업체가 동원되어 사고선박 주변에 추가로 오일붐을 이중으로 전장했다. 이후 17일 동안 실시한 해상 방제작업 시 사고 인근 해상에 간헐적 분포 되어있는 은백색 유막은 방제업체에서 수시로 흡착 또는 분산 조치하였고, 이 후 사고현장에 경비함정 및 방제정을 배치하여 지속적으로 오염상태를 파악했다.

사고당시 주변 해역이 시정 0.5마일로 시야가 불량한 상태에서 해당 해역이 조수간만의 차가 심하고 암반이 많은 지역으로 보다 세심한 주의가 요구되었다. 또한 선박이 좌초된 사고지점은 만(Gulf)형태의 해안가 암반 지대로 사고초기 방제21호정에 보유 중인 오일붐 300m를 사고선박 주위에 포위전장하여 연료탱크에서 유출되는 기름이 외해로 확산되는 것을 차단하고 오일붐 내에 포집된 기름을 흡착재를 이용 회수하여 주변해역의 피해를 최소화했다.

5) 1,528톤, 중국 선적, 연료유 28.5kℓ(MDO 28kℓ, 윤활유 0.5kℓ)와 화물(규산나트륨) 2,260톤 적재

2.3.3 화물선 Kaishing호 사고

2012년 8월 28일 13:25경, 제15호 태풍 “볼라벤”의 내습으로 인한 강풍 및 너울에 밀려 완도군 약산면 가사리 해수욕장 인근 해안가 암초에 화물선 Kaishing호⁶⁾가 좌초되면서 연료유 탱크가 파공되어 적재된 약 35.4kl B-C유가 유출된 사고이다.

사고 해역은 양식시설물들이 산재해 있어 대형함정들과 방제정을 이용한 해상방제는 불가능했고, 방제업체에서 동원한 어선, 250톤급 이하 경비함정 및 단정만이 방제활동을 실시했다.

해경 기동방제지원 팀원들은 선외기로 어선에 승선하여 오일붐 내에 포집된 기름을 유회수기를 이용하여 기계적 회수작업에 주력하는 한편, 경비함정과 단정들은 간헐적으로 분포되어 있는 유출된 기름에 대해서 유흡작재를 이용하여 흡착회수에 전력을 다 했고, 방제업체와 어민들은 어선을 이용하여 기름 묻은 부유물질과 페스티로폼을 뜰채를 이용, 수거하여 2차 피해를 줄이기 위해 총력을 기울였다.

선체가 약 15도 좌현으로 기울어져 선수부가 암초위에 자리 잡고 있어 곧 상륙할 14호 태풍 “덴빈”으로 인해 사고선박이 언제 기울어져 넘어져 버릴지 알 수 없었고, 사고선박 해역 2마일권내에는 38건 1,000ha에는 양식장 들이 산재해 있어 적재되어 있는 기름이 계속 유출된다면 어민들의 피해가 예상되는 상황에서 해상에 유출된 기름은 사고선박이 좌초되면서 연료유 탱크가 파공되어 선박에 적재된 B-C유가 유출된 것으로 추정하고 선내에 남아있는 기름을 이적하여 오염원을 원천적으로 제거했다.

6) 2.955톤, 캄보디아선적

2.3.4 유조선 GunjangAce호 사고

2010년 8월 12월 22:12경, 거제남단 대병대도 인근해역을 11노트로 항행 하던 GunjangAce호⁷⁾는 레이더 상 0.7마일 거리에 나타난 어선 제1중양호를 발견하고 거제시 대병대도 등표 기점 85도 방향 약 1,300m 해상에서 제1중양호의 구상선수부와 GunjangAce호의 선교 앞 제4번 좌현탱크 부분과 거의 직각으로 충돌했다. 이로 인해 GunjangAce 호는 제4번 좌현탱크 외판에 길이 1.5m, 너비 3m가 파공되어 B-C유 38.6kl가 해상으로 유출되었으며, 제1중양 호는 구상선수부 외판에 15cm의 굴곡 손상되었다.

저시정이라는 위험에도 불구하고 육안으로 보이는 검은 기름은 유흡착재를 사용하여 흡착·회수하고, 방제2호정은 유회수기 및 유흡착재를 사용하여 검은 기름을 회수했다. 그럼에도 불구하고 조류에 따라 북동방향 외해로 이동하는 등 거제 남해 바다는 온통 검은 기름으로 뒤덮여 청정해역을 오염시켰다.

매물도 주변해역은 충돌사고 다발지역이며, 2010년 2월에도 유조선 충돌로 인한 해양오염사고가 발생된 지역으로 이 충돌사건은 짙은 안개로 시계가 매우 제한된 해역을 항해하던 양 선박의 경계를 소홀히 하여 충돌사고가 발생했다. 또한 기름이 부착된 거제남부 해안가는 관광객이 자주 찾는 명소가 많으며, 양식장도 많이 분포해 있어 환경민감도가 높은 지역이라 신중한 방제방법을 선택해야 함에도 불구하고, 주민들의 과도한 방제작업 요구로 고압세척과 자갈세척이 이루어졌다.

7) 496톤, 한국선적

2.3.5 유조선 Ilhae호 사고

2008년 9월 23일 유조선 Ilhae호⁸⁾는 남외항에 정박중인 중국국적 화물선(리천 호)에 유류 공급차 항해 중, 상호 견시 부주의로 충돌하여 105톤 영 호 선수가 Ilhae호 2, 3번 탱크 좌현 홀수선하부에 충격을 가해 길이 4.5m×폭 1.5m가 파공되어 적재된 화물유(병커C유)가 유출되었고, 당시 기상은 풍속 4~6㎞, 파고 0.5~1.0m로 비교적 잔잔한 상태였다.

해상 방제는 약 4일간 작업을 진행했고, 사고선에 2중 포위전장한 오일 붐(200m)내에는 기름이 많이 모여 있어 유회수기를 이용한 기계적 회수에 주력하는 한편 기름확산에 대한 피해를 줄이기 위해 공동어시장 취수구 앞 1,400m, 영도대교 앞 300m, 남항방파제 400m 등 13곳에 오일 붐 3,000m를 설치했다. 18개 방제업체는 7개 해역을 중심으로 기름 흡착수거 및 안벽 세척작업을 실시했다.

부산 남외항 인근해역은 국내 연안여객선, 어선 및 유류 공수급 작업을 하기 위한 중·소형 유조선들의 주요 통항로(부산항 제2항로)로서 선박 입출항이 빈번한 해역이나 남부민동 방파제와 영도 홍등대 사이의 수로가 매우 좁고 최근 남항대교 건설로 인하여 입출항 선박이 항로에 상당한 제약 받는 해역이다.

8) 147톤, 한국선적

2.3.6 화물선 Global Legacy호 사고

2012년 1월 19일 화물선 Global Legacy호⁹⁾는 영일만 17번 표박지에 투표대기 중 기상악화(동해남부 전해상 풍랑주의보)로 앵카가 끌리면서 해안으로 밀려 11:00경 선체좌현이 영일만항 북방파제에 충돌했다. 당시 기상은 15~20%의 강한 북동풍과 4~5m의 높은 파도가 일고 있었으며 시정은 1마일로 풍랑주의보가 발효 중이었다.

2012년 1월 22일 북방파제 내측에 기름이 밀려들어 방제9호정, P-93, 65정과 함께 해상유출유를 유흡착재를 이용하여 흡착 제거작업을 실시했다. 해양환경관리공단 포항지사에서는 방제선 4척(경북939, 962, 301대령호, 청정10호)을 동원해 사고현장 주변에 오일펜스 2,400m를 설치하여 외해로의 유출을 방지하고, 기름이적 작업 주변해상에 오일펜스 1,600m를 추가 전장하여 해양오염사고에 대비했다.

사고해역은 해안선이 단조롭지만, 연안에는 암초와 암반이 산재하여 동절기에 어선좌초 사고가 많이 발생한다. 외해는 대한난류의 영향이 강하고 여름철 해무 발생빈도가 높고, 영일만 입구는 암초가 산재하여 와류의 영향으로 선박해난 사고가 빈번하게 발생하는 지역이다. 이 같은 특징의 해역에서 겨울철 기상악화인 상황에서 16일간의 기름이적 작업을 아무런 사고 없이 성공적으로 수행했고, 구난·방제대책반의 신속한 편성과 탄력적 운용으로 사고현장에 총력 대응 하였으며, 사고 현장에 현장대책본부를 직접 설치하여 효율적인 현장지휘·통제가 가능했다.

9) 29,753톤, 파나마선적

상기(제2.3절)에서 조사한 국내 기름유출사고 대응사례를 통해 다음과 같은 해양오염방제관련 미비점이 노출되어 향후 해양오염방제활동에서 그에 따른 개선 및 보완사항이 요구된다.

첫째, 사고해역의 조수간만의 차, 해안선, 암초 및 안반, 해무발생 등의 환경적 요인뿐만 아니라 주변해역에 민감자원 산재, 사고이력이 있는 사고다발해역, 입출항이 빈번한 해역 등의 해역의 사고발생 이력 등 사고를 발생시킬 수 있는 해역별 위험요인에 대한 인지 및 자료가 부족했다.

둘째, 국가적으로 필요한 방제장비의 소요량은 과학적으로 측정되었으나, 이를 동원시간이 반영된 분산배치가 고려되지 않은 장비배치로 동원 및 방제활동을 효율적으로 실시하지 못했다.

셋째, 현장 대응조직에서 환경적·상황적 조건에 따라 신속하거나 중요한 사항을 결정하기 위해 수많은 데이터가 의사결정권 및 최고의결기관에 제공되더라도, 우선적으로 필요한 조치사항 등에 대한 판단 착오로 인한 피해를 줄일 수 있는 자문을 해줄 수 있는 전문가의 활용 및 지원이 부족했다.

제 3 장 기름유출사고 위험도 평가 및 매핑

3.1 기름유출사고 위험도 요인분석

3.1.1 기름유출사고 위험도 정의

해양에서는 누구든지 선박, 육상 등으로부터 오염물질을 배출해서는 안되며, 기름의 배출을 방지할 수 있는 선체구조 등을 갖추고 있음에도 불구하고 선박의 충돌, 좌초 또는 그 밖의 원인으로 인해 해양사고가 발생하는 경우 예기치 않는 내·외부적 요인에 의해 해양으로 유출될 수밖에 없다. 이처럼 우리나라 모든 해역에서 사고가 발생하여 기름이 유출(배출)되어 피해(손해)를 받게 되는 정도를 Table 5와 같이 기름유출사고 위험도로 정의 할 수 있다. 본 논문에서는 기름유출을 발생시킨 사고 발생빈도(Frequency)와 유출로 인해 발생될 수 있는 피해결과(Consequence)를 매트릭스 분석을 통해 위험도를 정량적으로 산출한다.

Table 5. Oil spill risk definition

Name	Definition
Oil spill Risk analysis	The quantitative figures calculated from the matrix analysis(frequency×consequence) in relation to the accidental discharge of oil into the ocean.

3.1.2 기름유출사고 위험도 필요성

위험평가는 기름유출사고의 대비/대응 전략 수립에 있어서 가장 먼저 수행되어야 하는 단계로서 기름유출사고의 특징을 반영하여 상황에 맞는 전략을 수립할 수 있도록 해야 한다. 위험도를 통해 유출 위험과 유출로 인한 피해를 최소화시키기 위한 방제방법을 찾을 수 있으며, 국가차원의 전략부터 개인시설에 이르기까지 대비/대응 전략을 수립하는데 있어서 기초자료로 활용된다. 긴급계획에서의 위험도 평가는 발생한 기름유출사고에 기반한 대응차원에서의 위험도 평가라고 할 수 있으며, 본 논문의 위험도 평가는 기름유출사고 발생 전 사고이력과 환경적 요인을 사전에 평가 및 매핑하여 대비차원의 전략 수립 및 자원배치, 대응차원의 우선순위 결정 지원 등에 활용함으로써 기름유출사고의 위험과 유출로 인한 피해결과를 감소시키거나 관리할 전략을 모색할 수 있다.

가) 사전 대비/대응 전략 수립

지속적으로 발생하는 기름유출사고에 있어서 대비·대응 방제장비가 여러 가지 이유로 인해 충분하지 못한 한계로 인해 효과적으로 배치할 수 있는 기준이 필요하며, 심각한 환경적, 경제적 피해를 발생시키는 기름유출사고에 대하여 광범위한 인적/물적 자원이 필요하여 다양한 의사결정이 매우 신속하게 이루어져야만 한다. 이 같은 의사결정은 진행상황을 판단할 수 있는 충분한 준비가 되어있을 때, 중요한 의사결정을 내리고 지체 없이 적절한 방제장비를 동원할 수 있다. 사전 대비/대응 전략 수립에 필요한 기능은 대응조직과 함께 적절한 방제장비 및 방제기술이 고려되어야 한다. 단순한 대비/대응 전략으로는 부족하며, 방제과정에서 발생할 수 있는 문제점 및 해결방안을 사전에 파악할 수 있어야 하고, 지리적 범위를 설정하여 기름유출사고의 위험성에 맞춰 대비/대응 전략을 수립해야 한다.

나) 방제 및 보호 우선순위

특히 재난적 기름유출사고가 발생하면 가용할 수 있는 모든 방제장비를 동원하고도 모든 자원을 성공적으로 보호할 수 없기 때문에 보호 우선순위를 사전에 결정해야 한다. 우선순위는 경제적, 환경적 취약 자원에 대하여 사전에 사회적 중요도에 따라 분류해야 하며, 자원보호와 보전의 현실적인 범위 내에서 실현가능성을 고려해야 하며, 상위 우선순위의 자원이라고 할지라도 사고로 인해 이미 오염이 된 경우에는 대응 우선순위가 변경되는 것도 고려되어야 한다. 또한 계절적인 변화도 보호 우선순위를 변화시킬 수 있다.

다) 긴급계획 수립

기름유출사고의 효율적인 대비/대응을 위해 긴급계획을 수립하며, 일반적으로 4단계의 과정으로 구성된다. 먼저 유출 위험성을 판단하고 유출결과를 예측하기 위한 위험성 평가를 하고, 방제역할과 책임을 규정하고 방제작업의 합리적인 근거를 마련하기 위하여 전략적 정책을 마련한다. 이후 사고 시 방제절차를 수립하고 관련정보를 수집하여 목록화시킨다.

3.1.3 기름유출사고 위험도 프레임워크

가) 공간적 범위

기름유출사고 위험도는 우리나라 전 해역에 대한 기본적인 구분할 수 있고, 해역의 기초변수 데이터를 객관적이고 용이하게 확보하기 위해 기름유출사고를 대비·대응할 수 있는 국가기관을 검토하여 선정한 해양경찰청의 관할 해역인 38.0527-123.7480, 32.2333-121.0000, 30.0000-121.0000, 30.0000-125.4166, 32.5000-127.5000, 35.6500-131.3000, 38.6161-132.9972,

38.6187-128.3600을 위험도 산정을 위한 공간적 범위로 설정했다.

나) 해역의 위험 픽셀 설정

기초변수를 확보할 수 있는 17개 해경서를 기준으로 WGS84좌표계를 사용하여 Fig. 9와 같이 균등한 해역으로 구분했다. 기름유출사고 시 국가적 차원의 대비·대응 기관인 해양경찰서의 전국에 배치된 방제정은 8knots부터 12knots의 최고속력으로 운항이 가능하며, 피해최소화를 위해 현장에 도착하려면 최대속력으로 항해하여 출항 후 1시간 이내에 12해리(Nautical mile), 22.224km를 이동할 수 있다. 이를 다시 12분(0.2도)씩 균등하게 분할하여 2,700(60x45)개의 픽셀로 구분했으며, 육지 등을 제외한 1,034개의 픽셀을 Fig. 9의 우측과 같이 설정했다.

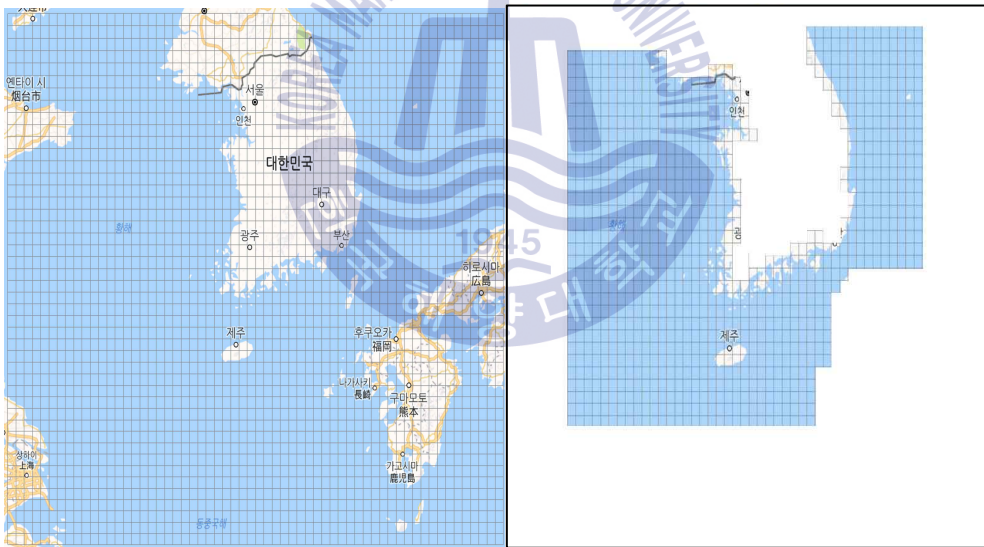


Fig. 9. Shape view(right-full cell, left-setting cell)

이는 향후 방제정을 활용한 대비/대응 전략 수립시 1칸의 픽셀 이동에 약 1시간이 소요되는 것으로 활용할 수 있다. 그러나 사고접수 후 방제정 출항까지의 소요시간, 출항 후 운항속도, 해·기상 조건, 도서 및 해상장애물 등으로 인한 우회항행 등의 여러 변수로 인해 한 칸의 픽셀을 이용

하기 위해서 대략적으로 1시간 30분의 소요시간이 필요한 것으로 설정함으로써 향후 사고해역과 장비배치 해역과의 동원의 소요시간을 산출할 때 활용할 예정이다.

3.1.4 기름유출사고 위험도 평가모델

기름유출사고 위험도를 산출하기 위해서 두 가지 모델을 적용했는데 우선 사고빈도요인과 사고결과요인을 단일점수로 산출하기 위해서 복합지수 모델을 적용했다. 이는 측정요인의 서로 다른 단위를 직접 비교평가할 수 없는 단점을 해소시키고 단일점수로 표현이 가능하다. 두 번째는 도출된 사고빈도 및 사고결과 요인의 점수를 교차분석이 가능한 매트릭스 모델을 적용했다.

가) 복합지수모델

기존에 개발된 분야별 안전(위험)도는 대부분 「1-(위해지수+취약성지수-경감지수)」의 구조로서 총점에서 각 개별지표를 제외시키는 방법으로 산출되는데 개별지표의 각 특성을 잘 반영하는 장점이 있지만 하나의 지수로 종합시키기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 관심대상이 되는 주제에 관한 다량의 정보를 통합하여 용이하게 이해할 수 있고 간단명료한 형식으로 구성하는 유용한 수단으로서 일반적 추세의 파악, 성과목표의 설정, 달성정도의 평가, 정책 우선순위의 정립 등에 유용한 복합지수(Composite indicator)모델을 활용했다. 복합지수는 식 (1)과 같이 일반적으로 개발지표와 가중치를 이용하여 산출된다.

$$CI = \sum_{i=1}^n w_i X_i \quad (1)$$

- CI : 복합지수
- w_i : 가중치 ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$)
- X_i : 개별지표

1) 이론적 구조분석

지수의 정의 및 개념을 명확화하게하기 위해 분명한 하위그룹 및 개별지표의 선택기준을 설정한다. 특히, 복합지수의 구조적 특성상 위험도를 몇 가지 하위 및 부문지표로 설정할 것이지를 결정해야 한다. 또한, 각 하위 및 부문 지표간의 연계는 이론적·실증적으로 정확하게 연계되어야 하며, 지표선택의 명확한 기준이 마련되어야 개별지표가 명확하게 선정될 수 있다.

2) 개별지표 선택

이용 및 활용가능한 개별지표의 특성을 파악하고, 선택한 개별지표의 단위 및 특성을 조정하고 보완한다. 개별지표는 지수의 목적에 맞도록 선정되어야 하며, 필요한 자료를 정확하게 측정가능해야 하고, 해당 자료를 확보하기 위해 큰 어려움이 없어야 한다. 해당 자료의 의미가 충분하고 적절하게 분석될 수 있어야 하고 위험도와의 연계가 가능한 지표가 선택되어야 한다.

3) 개별지표 표준화

복합지수로 구성된 위험도 개발시 각 개별지표의 상이한 측정단위에 대한 표준화를 진행한다. 지표들을 평균과 표준편차로 전환하는 표준점수(Z-score)방법, 각 지표의 범주·순서·크기 등으로 표현하는 범주형 척도 방법(Categorical scale)의 방법, 순위(Racking), 크기조정(Re-scaling) 등을 통한 표준화를 진행한다.

4) 가중치 부여

위험도의 개별지표에 대하여 적절한 가중치를 부여함으로써 지표간의 연계성을 더욱 강화시킨다. 가중치 부여방법은 임의적인 방법, 주관적 방법 및 통계적인 방법이 있다.

5) 최종 점수 도출

표준화된 개별지표에 가중치를 부여한 결과값을 최종적으로 하나의 복합지수로 최종 점수를 도출한다.

나) 위험 매트릭스 모델

위험으로 산정되기 이전 단계부터 정확하고 균형잡힌 해당 정보를 수집하여 기름유출사고 및 대비·대응활동에 대한 전혀 다른 결과의 가능성을 정략적으로 제공해야 하며 위험도는 모든 카테고리에 대한 누적값으로 표현된다. 위험도의 전반적으로 기여하는 주요 요인을 파악하고 제시해야 하고 해역별 가장 높은 수준의 위험도에 초점이 맞춰져야 한다. Fig. 10은 기름유출사고의 빈도와 결과의 제한된 정보에서 단일 평가를 통하여 적절하게 표현된 위험 매트릭스(Risk matrix) 모델이다.

Risk Matrix		Consequence				
		Insignificant	Small	Moderate	Large	Very large
Frequency	>100,000					
	>10,000					
	>1,000					
	>100					
	>10					

Fig. 10. Risk matrix

3.2 기름유출사고 위험도 요인선정

사고빈도와 사고결과에 포함할 요인을 선정하기 위해 사전 대비/대응 전략 수립 시 가장 중요한 방제 우선순위 요인, 환경, 어업 및 양식업, 사회경제적 활동에 대한 기름유출의 영향을 분석한 후, 전문가 설문을 통해 위험요인을 분석하고 객관적인 자료확보 가능여부를 검토했다.

3.2.1 사고 빈도/결과 위험요인 문헌검토

기름유출사고시 유출에 따른 위험에 처한 모든 요인을 대응 전 피해를 입거나, 자원의 부족 등의 원인으로 모두 보호 할 수 없다. 그러나 사고로 인해 피해규모는 대비/대응 전략을 사전에 수립하여 최소화할 수 있다. 따라서 기름유출로 인해 피해(영향)를 받을 수 있는 요인을 구분하여 우선순위에 기초한 위험도 평가요인을 검토했다.

가) 환경에 대한 기름유출의 영향

기름유출의 영향 및 특성은 유종, 유출량, 성상변화, 확산 등 기름의 물리적 특성과 유출 위치, 계절, 해·기상조건 등 환경적 특성에 따라 달라지며, 피해가능해역에 분포한 생물학적 구성, 생태적 중요성 등의 민감도에 따라 피해는 달라진다.

나) 수산업에 대한 기름유출의 영향

어업과 양식업은 중요한 수산업이고 기름유출사고로 여러 가지 측면에서 심각한 영향을 받을 수 있다. 상업적으로 소비되는 동식물들은 기름의 독성과 질식으로 폐사할 수 있다. 수산물은 물리적으로 오염되거나 유취오염으로 인해 불쾌한 냄새를 풍길 수 있다. 어구와 양식장비에 기름이 묻게 되어 어획물이나 자원이 오염되기도 하고, 정화 또는 교체될 때까지 어업활동이 중단되는 위험을 초래할 수도 있다.

이 같은 직접적인 피해 외에도 상업적 활동 중지에 따른 생계의 어려움, 여가활동금지, 수산물 공급주기 혼란 등의 경제적 피해를 지속적으로 발생하며, 소비자들은 피해해역의 수산물의 구입을 꺼릴 것이고, 생물이 실제로 오염되지 않았더라도 시장의 신뢰가 무너짐으로써 추가적인 경제적 손실을 유발한다.

다) 사회경제적 활동에 대한 기름유출의 영향

기름유출로 인해 해양을 이용하는 다양한 분야의 산업 중 수산업과 더불어 관광업은 심각한 손실을 입게 된다. 항만은 폐쇄적인 특징이 있어서 방제활동에는 최상의 조건이지만, 입출항 등의 항만활동에 대한 영향을 최소화하기 위한 선박 항해를 고려해야 한다. 또한 마리나, 산업의 취수설비, 발전소의 담수화장치를 보호하기 위한 대비/대응 전략이 수립되어야 하고 신속하게 실행되어야 한다. 그리고 제염, 해안토목공사, 농업과 같은 경제활동도 영향을 받을 수 있으며, 피해를 최소화할 수 있는 실현가능한 전략을 수립해야 한다. 인구가 밀집된 해안지역의 핵심적인 경제분야인 관광업에 있어서 성수기뿐만 아니라 관광객이 방문할 때 해상과 해안에 기름이 남아있다면 심각한 관광업의 피해를 입을 수 있다. 수영, 레저보트, 낚시 등과 같은 연안활동이 금지되며, 호텔, 식당, 캠핑 등 관광업으로 생계를 이어가는 사업주 및 지역주민들에게 막대한 피해를 끼친다. 사고해역에서 해산물을 제공받거나 직간접적으로 영향을 받는 사업일수록 피해의 범위는 넓어진다. 기름유출로 인해서 사회경제적으로는 관광업, 휴양시설, 항만 등 다양한 분야의 산업에 심각한 손실이 발생하고 적절하고 신속한 대비/대응 전략을 사전에 수립해야 한다.

이같이 기름유출사고로 인해서 영향을 받을 수 있는 환경, 1차산업, 사회경제활동 등의 고려사항은 호텔, 캠핑, 해수욕장, 항만, 양식장 등 Table 6과 같이 구분할 수 있다.

Table 6. Effects of oil pollution on social and economic activities

Factor	Considerations
Tourism	Hotel, Restaurant, Camping
Recreation	Swim, Beach, Cruise boat, Fishing
Port	Marina, Fishing port, Port
Industrial	Construction industry, Shipyard
Intake facilities	Power plant, Desalination plants
Primary production	Salt pond, Agriculture
Culture	Relics

3.2.2 사고 빈도/결과 위험요인 전문가검토

사고빈도와 사고결과의 위험요인을 선정하기 위해 선행연구를 통한 문헌고찰을 실시했다. 파악된 구성개념을 바탕으로 기름유출사고를 발생시킬 수 있는 요인이 포함된 사고빈도 위험요인과 사고로 인해 피해를 입을 수 있는 사고결과 위험요인을 선정하고, 각 위험요인에 대한 적절한 위험수치를 입력할 수 있는 설문지를 개발했다.

가) 전문가 검토 설문지 개발

사고빈도와 사고결과의 위험요인을 파악하기 위해 국내외 문헌고찰을 통해 확인될 수 있는 요인을 선정하였고, 요인선별의 객관적인 타당성을 확보하기 위해 기름유출사고에 대한 연구를 담당하고 있는 교수 1명과 박사 2명에게 의뢰했으며, 설문문형의 이해를 높고, 설문 문장의 내용전달 등의 형식적인 타당성을 확보하기 위해 기름유출사고와 무관한 제3자 비전문가 2명에게 의뢰했다.

본 논문에서는 기름유출사고에 있어서 사고빈도와 사고결과 위험요인에 대한 선행연구와 전문가 검토를 통해 100점 만점으로 위험척도를 부여할 수 있는 방식으로 설문지를 작성했다. 그리고 기름유출사고 관련 경력 및 경험 등과 함께 인적사항에 대한 기초정보를 기입하도록 했다.

위험요인을 구성하는 전체적인 문항들은 Table 7과 같이 사고빈도 요인은 선박요인, 환경요인, 기타요인으로 구분했고 선박요인에 관련된 하위요인으로는 사고발생건, 유출량, 유종, 통항량, 환경요인에 관련된 하위요인으로는 지형특성, 해·기상 조건으로 구성했다. 사고결과 요인은 경제생활요인, 연안활동요인, 연안산업요인, 환경요인, 기타요인으로 구분했고, 경제생활요인에 관련된 하위요인으로는 어업, 양식업, 관광업, 연안활동에 관련된 하위요인으로는 위락장소, 연안사업에 관련된 하위요인으로는 항만, 임해공단, 환경요인에 관련된 하위요인으로는 조류서식지, 해양보호구역으로 구성했다. 그리고 각 요인 개방형 입력이 가능한 기타요인을 통해 직접입력 요인을 포함하여 무순위(Random)방식으로 배열했다.

Table 7. Questionnaire item

Variable	Sub factor	Item
Frequency	Vessel	Accident frequency, Spilled amount, Oil type, Port traffic
	Environment	Shoreline type, Sea & Weather condition
	etc.	Writing if needed
Consequence	Economic	Fishery, Aquaculture, Tourism
	Coast activity	Recreation
	Facilities	Port, Industrial
	Environment	Garnet colony, Marine sanctuary
	etc.	Writing if needed

나) 연구절차 및 자료처리

본 논문을 위한 조사절차는 기름유출사고와 직접적으로 연관이 있는 방제업체 종사자, 해양경찰청, 해양환경관리공단, 대학교수 등 민관학 모든 분야의 전문가를 포함하여 55명에게 우편(전자우편 포함)설문을 실시했다.

설문조사는 2017년 7월 17일부터 8월 2일까지 약 3주간 이뤄졌으며, 우편설문에 앞서 각 분야 전문가에게 전화인터뷰를 통해 설문조사의 목적 등을 설명하고 설문조사의 동의를 받은 후 우편으로 설문지를 전달하고 작성 후 회신을 받았다. 배포한 설문지 55부 중 응답내용이 미비한 2부를 제외하고 총 53부를 수거했다.

다) 설문조사 결과

설문조사를 위한 자료처리 방법은 Windows용 통계프로그램인 IBM SPSS Statistics 20.0을 이용하여 분석했다.

설문의 하위 및 세부요인의 문항 분석을 위해 평균, 표준편차 등을 확인했으며, 신뢰도 분석은 내적 일관성 방법 중 가장 대표적인 Cronbach's- α 를 사용했다. Cronbach's- α 계수는 0에서 1사이의 값을 가지며, 높을수록 바람직하며 반드시 몇점 이상이어야 한다는 기준은 없다. 통계상 흔히 0.8~0.9 이상이면 바람직하고, 0.6~0.7이면 수용할만한 것으로 여겨진다. 그러나 0.6보다 작으면 내적 일관성이 결여된 것으로 받아들여진다. 사고빈도의 내적 일관성에 대한 신뢰도는 0.891로 높게 나타났다. 각 요인별 신뢰도는 0.642에서 0.885사이로 양호했다. 사고결과에 대한 내적일관성은 0.653으로 수용할 정도로 나타났다.

1) 인구통계학적 특성의 빈도분석 결과

설문에 참여한 전문가의 인구통계학적 특성을 파악하기 위해 성별, 연령, 거주지, 근무경력, 방제활동 참여여부, 방제체제에 대한 지식 및 개선

의지 등을 조사했으며, 인구통계학적 특징에 대한 빈도분석 결과는 아래 Table 8과 같다.

빈도분석 결과를 살펴보면 남성이 52명(98.1%)으로 여성 1명(1.9%)보다 절대적으로 많이 참여했으며, 연령에 있어서는 51세 이상 13명(24.5%), 36~40세 12명(22.6%), 41~45세 10명(18.9%), 46세~50세 9명(17.0%), 31~35세 5명(9.4%), 26~30세 4명(7.5%)으로 나타났다. 51세 이상의 고연령대가 가장 많은 이유는 관련분야에서 오랜 기간동안 활동해온 전문가 집단에 대한 특징이 반영된 것으로 사료된다. 거주지역은 부산 13명(24.%), 전남 10명(18.9%), 울산, 세종이 각각 8명(15.1%), 전북 3명(5.7%), 인천, 경기, 경남, 제주가 각각 2명(3.8%), 서울, 충남이 각각 1명(1.9%)으로 나타났다.

기름유출사고에 대한 경력, 지식 및 관심도를 측정한 결과, 기름유출사고와 관련하여 근무한 경력은 10년 이상 31명(58.5%)으로 가장 많았고, 5년~10년 미만 11명(20.8%)으로 5년 이상 베테랑이 약 80%를 차지했으며 86.8%(46명)는 방제활동에 직접적으로 참여한 경험이 있는 것으로 나타났다. 기름유출사고의 대비/대응체제에 대하여 매우 잘 알고 있는 응답자가 31명(58.5%)으로 가장 많았고 주요 내용 정도는 알고 있다 19명(35.8%), 방제체제가 있다는 정도는 알고 있다 3명(5.7%)으로 나타났다. 또한, 기름유출사고의 효율적인 대비/대응체제 개선에 대한 관심이 매우 많은 응답자가 39명(73.6%)으로 절대적으로 높았으며, 약간있다 10명(18.9%), 보통이다 4명(7.5%) 순으로 나타났다.

Table 8. Demographic characteristic

Variable	Answer	Quantity	Percentage	Answer	Quantity	Percentage
Sex	Male	52	98.1	Female	1	1.9
Age	Less then 20	0	0.0	20~25	0	0.0
	26~30	4	7.5	31~35	5	9.4
	36~40	12	22.6	41~45	10	18.9
	46~50	9	17.0	More then 51	13	24.5
Location	Seoul	1	1.9	Busan	13	24.5
	Incheon	2	3.8	Ulsan	8	15.1
	Gyeonggido	2	3.8	Chungcheon namdo	1	1.9
	Gyeongsang bukdo	1	1.9	Jeollabukdo	3	5.7
	Gyeongsang namdo	2	3.8	Jeollanamdo	10	18.9
	Jeju	2	3.8	Sejong	8	15.1
Career	Less then 1year	4	7.5	1~3 years	4	7.5
	3~5 years	3	5.7	5~10 years	11	20.8
	More then 10years	31	58.5			
Response experience	Experience	46	86.8	No experience	7	13.2
Response system knowledge	Very well known	31	58.5	Know about main contents	19	35.8
	Know about response system	3	5.7	Know nothing	0	0.0
Interested in improving system	Much	39	73.6	A little	10	18.9
	Usual	4	7.5	But little	0	0.0
	Nothing	0	0.0			

2) 사고빈도에 대한 위험요인 통계분석 결과

기름유출사고를 발생시킬 수 있는 요인들로 구성된 사고빈도에 대한 설문에서 사고빈도를 측정할 수 있는 중요한 요인에 대한 점수를 측정한 결과 Table 9와 같이 가장 높은 점수는 “사고발생건” 23.25점으로 50명이 최고 70점부터 최저 2점까지 배점했다. 다음으로는 23.11점인 “유출량”으로 사고발생건과 동일하게 50명이 최고 60점부터 최저 5점까지 배점했다. 다음으로는 49명이 17.58점을 부여한 “유종” 이었고, 46명이 14.08점을 부여한 “통항량”으로 나타났다. 관련 전문가는 78.02점을 선택으로 부터 기인한 기름유출사고로 판단했다. 또한 42명이 배점한 “해·기상 조건”이 9.36점, 37명이 배점한 “지형특성”이 8.28점으로 나타났다.

Table 9. The point of frequency subtlety

Risk	Sub factor	Subtlety	Num.of select	Average score	Standard deviation	Min. score (except 0)	Max. score
Frequency	Vessel	Accident	50	23.25	13.75	2	70
		Spilled amount	50	23.11	12.18	5	60
		Oil type	49	17.58	9.53	2	40
		Port traffic	46	14.08	9.07	5	30
	Environment	Geomorphologic	37	8.28	7.73	3	30
		Wether condition	42	9.36	7.39	5	30
	etc.	etc.	6	1.70	6.29	5	40

3) 사고결과에 대한 위험요인 통계분석 결과

기름유출사고가 발생함에 따라 피해를 입을 수 있는 요인들로 구성된 사고결과 위험요인들에 대한 설문에서 사고결과를 측정할 수 있는 중요한 요인에 대한 점수를 측정한 결과 Table 10과 같이 가장 높은 점수는 “양식업”의 27.26점으로 52명이 최고 60점부터 최저 10점까지 배점했다. 다음으로는 20.06점인 “어업”으로 51명이 최고 50점부터 최저 10점까지 배점했다. 다음으로는 해수욕장 등이 포함된 “위락장소”를 50명이 11.92점으로 배점했으며, 발전소, 조선소 등이 포함된 “임해공단”이 7.92점, 철새 등의 “조류서식지”가 7.91점, 호텔, 식당 등이 포함된 “관광업”이 7.47점, “해양보호구역”이 7.32점 순으로 배점이 나타났다.

Table 10. The point of consequence subtlety

Risk	Sub factor	Subtlety	Num.of select	Average score	Standard deviation	Min. score (except 0)	Max. score
C o n s e q u e n c e	Eco nomic	Fishery	51	20.06	9.14	10	50
		Aqua culture	52	27.26	10.12	10	60
		Tourism	38	7.47	6.39	1	20
	Coast activity	Recreation	50	11.92	7.65	1	30
	Facili ties	Port	37	7.08	6.91	3	30
		Industrial	40	7.92	6.32	2	20
	Enviro nment	Garnet colony	44	7.91	5.49	2	25
		Marine sanctuary	38	7.32	6.22	3	20
	etc.	etc.	3	0.57	2.51	10	15

3.3 기름유출사고 위험도 산출

기름유출사고 위험도는 해상에서 발생한 기름유출사고를 발생시키고 피해를 확인할 수 있는 여러 요인들 중 가장 직접적으로 표현할 수 있는 요인을 대상으로 주요항목을 지정했다.

기름유출사고를 발생시킬 수 있는 요인과 그로 인한 피해규모를 확인할 수 있는 여러 요인이 있겠으나 현실적 또는 기술적인 한계로 관련 데이터의 수집이 용이하지 않거나 또는 일부 자료의 경우에는 데이터에 대한 신뢰도가 떨어진다. 또한, 본 논문에서는 기름유출사고를 발생한 해역의 특징을 정형화하여 방제장비를 효과적으로 활용하기 위해 기름유출사고가 발생한 사고량(사고 발생건)과 그로 인한 기름 유출량(소형, 중형, 대형 유출사고 발생건)과 더불어 사고를 유발시킬 수 있는 위험요인과 사고발생으로 환경적·경제적 피해를 입을 수 있는 피해요인에 대한 신뢰도 높은 데이터를 확보하여 산정했다.

3.3.1 기초자료 수집

본 논문에서 사용되는 기초자료는 공신력 있는 기관에서 학술적 목적으로 제공받거나 대국민에게 공개한 보도자료, 통계 데이터를 사용했다.

가) 사고빈도 기초자료

우리나라 해역에서 발생한 기름유출사고 발생현황 자료의 경우 해양경찰청에서 관리하는 통계데이터를 통하여 발생위치 및 관할서, 선종, 유종, 유출량 등의 정보를 학술적 활용 목적으로 제공받았다.

통항량은 국가교통부의 국가물류통합정보센터에서 제공하는 연도별 선박입출항(항, 지역, 선종)에 대한 항만의 통계 데이터를 활용했다.

나) 사고결과 기초자료

해면어업은 어업활동에 대한 어가소득액을 확보하고자 했으나, 어가 소득에 대한 통계 역시 표본검사를 통한 추정금액이며, 지역 단위로 세분화된 데이터를 확보하기 어려운 한계로 인해 해양수산부의 수산정보포털에서 제공하는 어업생산통계를 통해 연도별 일반해면어업의 생산량과 생산금액에 대한 통계 데이터와 국립해양조사원의 국가어항과 지방어항에 대한 위치 데이터를 활용했다.

양식어업은 해양수산부의 수산정보포털에서 제공하는 어업생산통계를 통해 연도별 천해양식의 생산량과 생산금액에 대한 통계 데이터와 국립해양조사원의 양식장 크기(ha) 및 위치 데이터를 활용했다. 양식장 데이터는 국립해양조사원에 Open API데이터로 제공받아 Polygon형식의 위치정보를 대표성을 띠는 Point정보로 변환했다.

해수욕장의 경제적 평가를 고시하고 있는 기관은 없는 것으로 조사되었다. 방문객이 많이 모이는 일부 해수욕장에 대한 추정가치에 대한 연구자료는 있었으나, 가능한 공식적으로 공개되는 자료를 활용했다. 통계청의 국가통계포털에서 제공하는 시군구 기본통계의 해수욕장 방문객에 대한 통계 데이터와 해수욕장에서 1인당 지출한 금액을 발표한 일부 지방정부의 자료를 게시한 미디어 데이터를 활용했다.

항만은 관세청의 수출입무역통계에서 제공하는 항구/공항별 수출입실적을 통해 항만의 출항일 기준 연도별 수출입실적 통계 데이터를 활용했다.

다) 기초자료 수집상의 한계

참고문헌 및 전문가 설문을 통해 위험도 평가를 위해 필요한 위험요인 가운데 공신력있는 기관에서 제공하는 데이터를 확보하고자 했다. 그러나 기초변수로 사용할 수 있는 데이터가 애초에 없거나, 있더라도 매우 개략

적 또는 광범위하게 수집되어 있는 자료로서 기초자료로 활용하기 어려운 부분이 있다.

일례로, 사고빈도분석을 위해 필요한 항로 데이터는 AIS데이터에 기초한 통항흐름도는 있으나, 흐름도에 표시된 항적에 대한 구체적인 데이터는 생산 및 관리가 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 또한 사고결과분석을 위해 가장 객관적이고 비교분석에 있어서 가장 분명하게 비교판단이 용이한 화폐단위를 기준으로 데이터를 확보하고자 했으나, 대부분의 데이터는 과역 지자체 또는 특정지역으로 일괄 통계처리되어 있어서 더욱 세분화된 데이터를 확보하기는 어려운 실정이고, 환경재에 대한 가치평가에 대한 연구자료는 일부 존재했지만 공신력있는 가치평가 자료는 전무한 실정이다.

3.3.2 사고빈도분석(Frequency analysis)

사고빈도는 기름유출사고의 발생량(건)을 기초로 객관적 데이터 확보가 가능한 유종 및 유출량, 통항량으로 구성된 선박요인을 사고빈도의 기초 변수로 선정하여 분석을 실시했다.

가) 기초변수 생성

해역별 사고빈도를 측정하기 위해 사고빈도의 위험요인을 문헌 및 전문가 검토 결과 선박요인(사고발생건, 유출량, 유종, 통항량)이 80.1점, 환경요인(지형특성, 해·기상조건)이 18.1점, 기타요인이 1.8점으로 필요요인의 중요도는 검토되었고, 이중 환경요인과 기타요인은 통계, 계량적 측정 및 비교가 어려운 한계가 있기 때문에 본 논문에서는 선박요인의 세부요인을 토대로 기초변수를 생성했다. 기초변수는 Table 11과 같이 선박에서 기인한 위험요인 기초자료(사고발생건, 유출량, 유종, 통항량)를 고려하여 4개 요인 8개 기초변수로 정리했다.

Table 11. Frequency's basic argument

Variable	Basic argument	Note
Accident	Total accident	The number of total oil spill accident
	Large oil spill potential vessels accident	The number of oil spill accident caused by tanker
Spilled amount	Large scale	The number of accident more then 1,000kℓ spills
	Middle scale	The number of accident from 100 kℓ to 1,000kℓ spills
	Small scale	The number of accident less then 100kℓ spills
Oil type	Persistent oil spill accident	The number of oil spill accident based on crude oil, heavy oil
Port traffic	Total port traffic	The number of vessel entry/ departure
	Large oil spill potential vessels port traffic	The number of cargo ship, container ship(full/semi), tanker entry/departure cargo/container

사고량 요인은 총 사고건과 대량유출 가능선박 사고건으로 산출된다. 총 사고건(Total oil spill accident, TA)은 기름이 유출되는 사고가 해양경 찰청에 신고되어 방제활동이 실시된 사고로서 사고 위치를 파악하여 셀별 로 사고건을 합계하여 식 (2)와 같이 각 셀에서 발생한 기름유출사고 건 으로 산출된다.

$$TA = A_C \quad (2)$$

- A_C = 셀별 기름유출 사고건 수

대량유출 가능선박 사고건(Oil spill accident of large oil spill potential vessels, PA)은 한번의 사고로 인해 대량의 기름유출이 가능성이 높은 유조선과 화물선에 기인한 기름유출사고로서 사고발생으로 해양경찰청에 신고되어 방제활동이 실시된 사고의 위치를 파악하여 셀별로 사고건을 합계하여 식 (3)과 같이 각 셀에서 발생한 유조선 및 화물선에 기인한 기름유출사고 건으로 산출된다.

$$PA = A_V \quad (3)$$

- A_V = 셀별 대량유출 가능선박(유조선, 화물선) 기름유출 사고건 수

유출량 요인은 대형·중형·소형 유출사고 건으로 산출한다. 대형유출 사고건(Large oil spill accident, LS)은 1,000kℓ이상의 기름이 유출되어 해양경찰청에 신고되어 방제활동이 실시된 사고로서 사고 위치를 파악하여 각 셀별로 사고건을 합계하여 식 (4)와 같이 각 셀에서 발생한 1,000kℓ이상 기름유출사고 발생 건, 중형유출 사고건(Medium oil spill accident, MS)은 식 (5)와 같이 100kℓ이상 1,000kℓ 미만 기름유출사고 발생 건, 소형유출 사고건(Small oil spill accident, SS)은 식 (6)과 같이 100kℓ 미만 기름유출사고 발생 건으로 산출한다.

$$LS = V_L \quad (4)$$

$$MS = V_M \quad (5)$$

$$SS = V_S \quad (6)$$

- $V_L = 1,000\text{kl}$ 이상 기름유출 사고건 수
- $V_M = 100\text{kl}$ 이상 $1,000\text{kl}$ 미만 기름유출 사고건 수
- $V_S = 100\text{kl}$ 미만 기름유출 사고건 수

유종 요인은 지속성 기름을 유출시킨 사고발생 건으로 산출된다. 지속성기름 유출 사고건(Oil spill accident of persistent oil, PO)은 원유, 중유가 유출되는 사고가 해양경찰청에 신고되어 방제활동이 실시된 사고로서 사고 위치를 파악하여 셀별로 사고건을 합계하여 식 7과 같이 각 셀에서 발생된 유출사고 건으로 산출된다.

$$PO = A_O \quad (7)$$

- A_O = 지속성 기름(원유, 중유) 사고건 수

통항량 요인은 항만에 입출항하는 선박의 총 통항량과 위험선 통항량으로 산출된다. 우리나라 해역을 항행하는 통항 정보를 토대로 기초자료를 작성하기 위해 연안해역 해상교통 현황도 등 AIS 항적을 제공하는 자료는 있으나, 항적의 정량적인 정보는 제공되지 않고 출항지와 기항지에 기초한 AIS항적을 표시한 자료이기에 통항 중의 정보를 정량적으로 확보하는 것은 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 국토교통부 국가물류통합정보센터에서 제공하는 30곳 항만별 입항 및 출항 수와 선종에 대한 자료를 활용했다.

총 통항량(Total port-traffic of the port, TP)은 식 (8)과 같이 항만을 포함한 각 셀의 입출항 총량으로 산출되며, 대량유출 가능선박 통항량(Port-traffic of large oil spill potential vessels, PP)은 식 (9)와 같이 일반

화물선, 폴 컨테이너선, 세미 컨테이너선, 원유 운반선, 석유정제품 운반선의 입·출항량으로 산출된다.

$$TP = P_P \quad (8)$$

$$PP = P_V \quad (9)$$

- P_P = 셀별 통항량

- P_V = 셀별 대량유출 가능선박(유조선, 화물선, 컨테이너선) 통항량

나) 기초변수의 표준점수(Z점수) 변환

생성된 기초변수는 사고발생에 따라 건(개, 척, 건) 등 변수의 성격에 따라 그 범위가 크게 차이가 나므로 동일한 기준에서의 비교가 불가능하기 때문에 산출된 기초변수를 평균과 표준편차를 이용해 표준정규분포가 될 수 있도록 식 (10)과 같이 표준점수로 표준화했다.

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (10)$$

- x_i = 기초변수 값

- $\bar{x}$ = 평균

- σ = 표준편차

4개 요인, 8개 기초변수의 표준점수 변환을 위하여 연도별 평균과 표준편차를 도출하여 표준점수로 변환하면 Table 12, 13과 같다.

Table 12. Frequency's basic argument average

Year	Accident		Spilled amount			Oil type	Port traffic	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
2004	3.637	2.857	3.626	-	1.000	2.429	15,621	7,547
2005	3.835	2.435	3.835	-	-	2.125	15,671	7,705
2006	3.68	2.636	3.667	-	-	1.967	16,027	7,880
2007	4.434	3.608	4.480	-	1.000	2.225	16,717	8,150
2008	3.686	2.737	3.725	1.000	-	2.808	17,418	8,045
2009	3.675	2.600	3.675	-	-	2.212	16,458	7,955
2010	3.560	2.429	3.589	1.000	-	2.036	16,767	8,395
2011	3.469	2.333	3.457	1.000	-	2.083	16,670	8,434
2012	3.507	2.889	3.493	1.000	-	2.25	16,420	8,182
2013	3.465	1.81	3.486	1.000	-	1.821	16,230	8,090
2014	3.281	2.500	3.361	1.000	-	2.231	15,401	7,636
2015	2.988	2.588	3.012	1.000	-	2.208	15,808	8,068

* I : Total accident

II: Large oil spill potential vessels accident

III: Small oil spill

IV: Middle oil spill

V: Large oil spill

VI: Persistent oil accident

VII: Total traffic

VIII: Large oil spill potential vessels traffic

Table 13. Frequency's basic argument standard deviation

Year	Accident		Spilled amount			Oil type	Port traffic	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
2004	4.377	1.714	1.926	-	0.027	1.313	3,557	1,905
2005	5.566	0.993	2.428	-	-	1.260	3,551	1,914
2006	3.984	1.152	1.741	-	-	0.938	3,646	1,934
2007	5.165	1.814	2.258	-	0.027	1.232	3,764	1,987
2008	5.263	1.355	2.274	0.027	-	1.816	4,023	1,952
2009	3.432	1.139	1.524	-	-	1.396	3,628	1,939
2010	3.962	1.234	1.758	0.027	-	1.258	3,772	2,079
2011	3.456	1.231	1.530	0.027	-	0.864	3,687	2,114
2012	3.965	2.043	1.728	0.027	-	1.146	3,647	2,061
2013	3.914	0.841	1.707	0.038	-	0.879	3,593	2,056
2014	3.231	1.108	1.384	0.060	-	1.046	3,527	2,010
2015	3.303	1.098	1.455	0.027	-	1.101	3,623	2,127

* I : Total accident

II: Large oil spill potential vessels accident

III: Small oil spill

IV: Middle oil spill

V: Large oil spill

VI: Persistent oil accident

VII: Total traffic

VIII: Large oil spill potential vessels traffic

다) 요인별 평균값 산출

요인분석결과 8개의 기초변수는 그 성격에 따라 4개의 요인으로 분류되며 사고발생(Accident quantity, AQ)요인은 식 (11)과 같이 총사고건(TA)과 대량유출 가능선박 사고건(PA)의 산술평균값으로 산출된다. 그 외 유출량(Spilled oil volume, SO)요인, 유종(Oil type, OT)요인, 통항량(Port traffic of the port, PT)요인별 변수들의 산술평균을 통해 식 (12), (13), (14)와 같이 요인평균값을 산출한다.

$$AQ = \frac{TA + CA}{2} \quad (11)$$

$$SO = \frac{LO + MO + SO}{3} \quad (12)$$

$$OT = AP \quad (13)$$

$$PT = \frac{TP + CP}{2} \quad (14)$$



라) 요인합계값 산출

앞서 문헌검토 및 전문가 설문을 통해 위험요인 선정시 확인된 사고빈도의 위험요인별 평균점수를 요인별 중요도로 반영하여 요인평균과 함께 요인합계값을 산출한다. 위험요인별 중요도는 사고량 23.25점, 유출량 21.11점, 유종 17.58점, 통항량 14.08점으로 사고빈도의 위험요인 중 80.1점으로 나타났다. 본 논문에서는 4가지 위험요인만을 사용하게 되므로 여기서 사용할 요인별 중요도는 Table 14와 같이 4가지 위험요인의 중요도를 100점으로 환산한 값을 사용한다.

Table 14. Variable weight of frequency analysis

Variable	Accident (w_1)	Spilled amount (w_2)	Oil type (w_3)	Port traffic (w_4)
Weight	0.2980	0.2962	0.2253	0.1805

위에서 산출된 각 요인별 중요도에 각 요인평균값을 곱해 이를 합산하면 각 요인별 중요도를 고려하여 식 (15)와 같은 요인합계값이 산출된다.

$$Total\ value = w_1 \cdot AQ + w_2 \cdot SO + w_3 \cdot OT + w_4 \cdot PT \quad (15)$$

- AQ = 사고량 요인
- SO = 유출량 요인
- OT = 유종 요인
- PT = 항만의 통항량 요인

마) 백분위 정규화를 위한 목표값 선정

산출된 요인합계값은 표준점수에 한 수치이기 때문에 평균값 0을 기준으로 값이 분포되어 있어서 지수로서 이해가 어려운 한계가 있다 이를 보완하기 위해 목표값을 설정하고 이를 백분위 정규화를 통해 0부터 100까지의 점수로 변환한다. 앞서 산출된 각 해역별 요인합계값은 목표값의 최대 및 최소범위 안에서 포함되어야하며, 해역의 위험도를 산정하기 위해서도 실현 및 가능한 타당성을 가져야 한다. 따라서 변환된 요인합계 중에서 현실성을 강화하기 위해 해당연도부터 최근 3년¹⁰⁾동안의 범위에서 Table

10) 복합지수모델을 사용하고 있는 도로교통공단의 교통안전지수에서 목표값 설정시 최근 5년간의 범위에서 최대 및 최소 목표값을 탐색하고 있음.

본 논문에서는 분석 가능한 데이터가 2004년부터 2015년까지 12년의 비교적 짧은 기간이기 때문에 3년간의 범위로 설정하여 데이터를 분석했기 때문에 최초값은 2004~2006년 범위에서 산정되며 최대/최소 목표값은 2006년부터 2015년까지 산출됨.

15와 같이 2006년부터 2015년까지 최대 및 최소 목표값을 선정했다.

Table 15. Max./Min. target value of frequency analysis(2006-2015)

Year	Max.	Min.	Year	Max.	Min.
2006	30.95234	- 4.26992	2011	25.82941	- 4.43730
2007	30.95234	- 4.26790	2012	29.80518	- 4.43730
2008	32.22402	- 4.26405	2013	30.75919	- 4.43730
2009	32.22402	- 4.31365	2014	30.75919	- 4.40018
2010	32.22402	- 4.31365	2015	30.75919	- 4.38068

바) 사고빈도 최종값 산출

설정된 목표값과 산출된 최대 및 최소 요인합계의 범위 내에서 백분위 정규화된 요인합계를 이용해 최종 사고빈도를 식 (16)과 같이 산출한다. 그리고 산출된 사고빈도는 값이 클수록 위험도가 높다.

$$OSF = \left(\frac{Target(max) - x_i}{Target(max) - Target(min)} \right) \times 100 \quad (16)$$

- OSF = 기름유출사고 사고빈도 위험도
- $Target(max)$ = 최대 요인합계
- $Target(min)$ = 최소 요인합계
- x_i = 해역의 요인합계

사고빈도 결과값은 Table 16과 같이 연도별로 최소 74개에서 최대 91개의 해역에서 최소 74.54점부터 최대 87.86점으로 산출되었다.

Table 16. Max./Min./Average data by sea area(2006-2015)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
max.	89.96	89.97	90.31	89.58	89.22	87.77	89.16	89.46	89.57	89.60
average	88.15	88.15	88.57	88.44	88.40	85.67	87.29	87.64	87.84	87.83
min.	75.32	74.96	74.13	76.22	75.81	71.74	72.85	73.60	77.57	74.91
quantity of cell	78	80	75	78	91	83	75	74	69	84

1) 사고빈도 위험단계 설정

Fig. 11과 같이 나타난 사고빈도 위험도의 연도별 분포를 살펴보면 86점에서 88.5점을 나타낸 셀이 평균 41.1개로 가장 많은 52.22%를 차지했으며, 88.5점에서 90점 39.64%, 86점에서 74점 7.37%, 64점 이하와 90점 이상 0.38%로 나타났다. 2006년부터 2015년까지 10년간 누적 데이터(Fig. 11의 점선)는 212개 셀에서 사고빈도위험도가 나타났으며, 84점 이하의 셀이 83.49%를 차지했다.

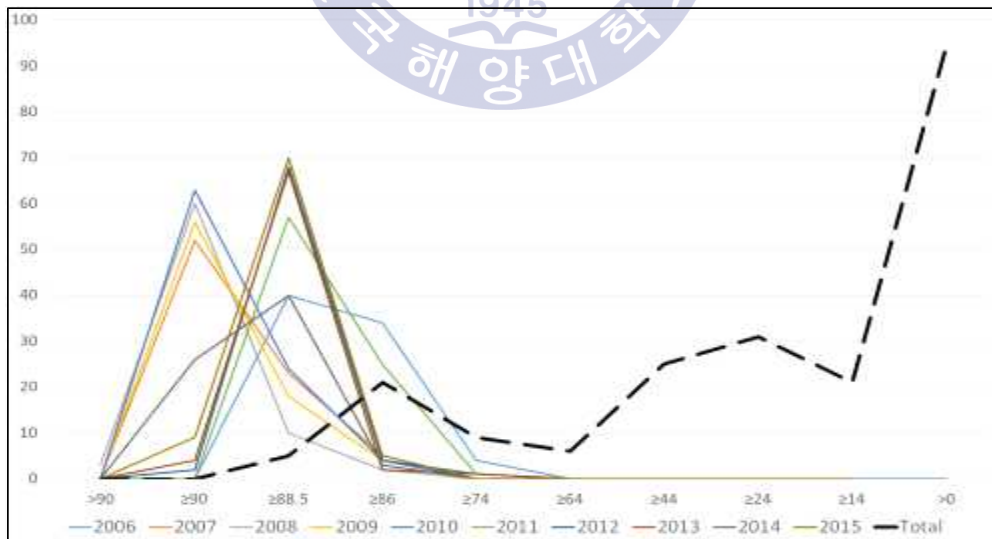


Fig. 11. Frequency risk by sea area

0점부터 100점까지 산출된 사고빈도는 2006년부터 2015년까지 10년 동안 산출된 10년간 위험도 최저 71.74점, 최고 90.31점, 평균 87.80점을 기초하여 정규분포를 통해 희박(Rare)부터 매우 위험(Very likely)까지 5단계로 Table 17과 같이 구분하였고, 1단계는 다시 1-1단계부터 1-5단계까지 5등분했다. 그리고 해역별 위험도를 신속하게 구분할 수 있도록 색깔을 지정해서 표시했다.

연도별 사고빈도 위험도는 88점대를 평균하여 최대 89점대, 최저 74점대로 분포하고 있으나, 10년간 누적데이터를 분석하면 84점대 이하의 위험도를 갖는 해역이 많이 나타나는데 이는 특정 해역에서 지속적이지 않고 단발성 사고가 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

Table 17. Frequency analysis 5level

Level	Frequency	Risk Lv.	Risk Point	Color
1	Rare	Minimum 1-1	$0 \leq f < 14$	Gradation in yellow
		Minimum 1-2	$14 \leq f < 24$	
		Minimum 1-3	$24 \leq f < 44$	
		Minimum 1-4	$44 \leq f < 64$	
		Minimum 1-5	$64 \leq f < 74$	
2	Unlikely	Min.~Aver.	$74 \leq f < 86$	Blue
3	Possible	Average	$86 \leq f < 88.5$	Green
4	Likely	Aver.~Max.	$88.5 \leq f < 90$	Red
5	Very likely	Maximum	$90 \leq f$	Black

2) 해역별 사고빈도위험도

2015년 사고빈도위험도를 5단계 컬러로 구분하면 Fig. 12와 같이 대부분 해역이 평균적인 사고빈도 위험도를 나타내고 있다. 그 중에 서해의 인천, 대산, 군산 해역, 남해의 통영 해역, 동해의 속초, 강릉 해역에서는 위험도가 높게 나타났다.

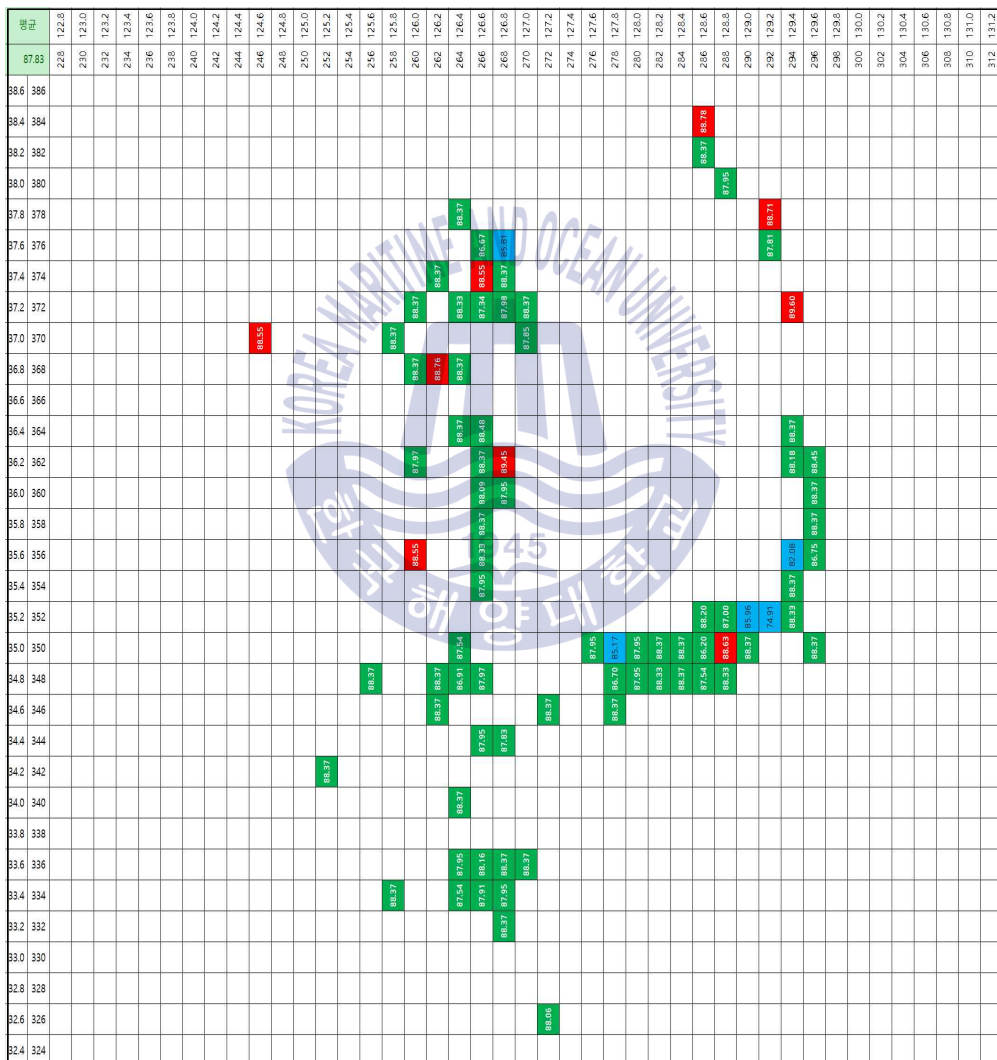


Fig. 12. Oil spill frequency_color(2015)

3) 해역별 사고빈도 누적 위험도

2015년 사고빈도 위험도를 포함하여 2006년부터 사고위험 누적위험도는 Fig. 13과 같이 서해의 대산, 군산 해역, 동해의 속초, 동해 해역이 위험한 해역으로 나타났으며, 인천, 목포, 완도, 여수, 제주, 진해, 포항, 울산, 포항 해역에서는 지속적으로 사고발생의 위험이 있는 것으로 나타났다.

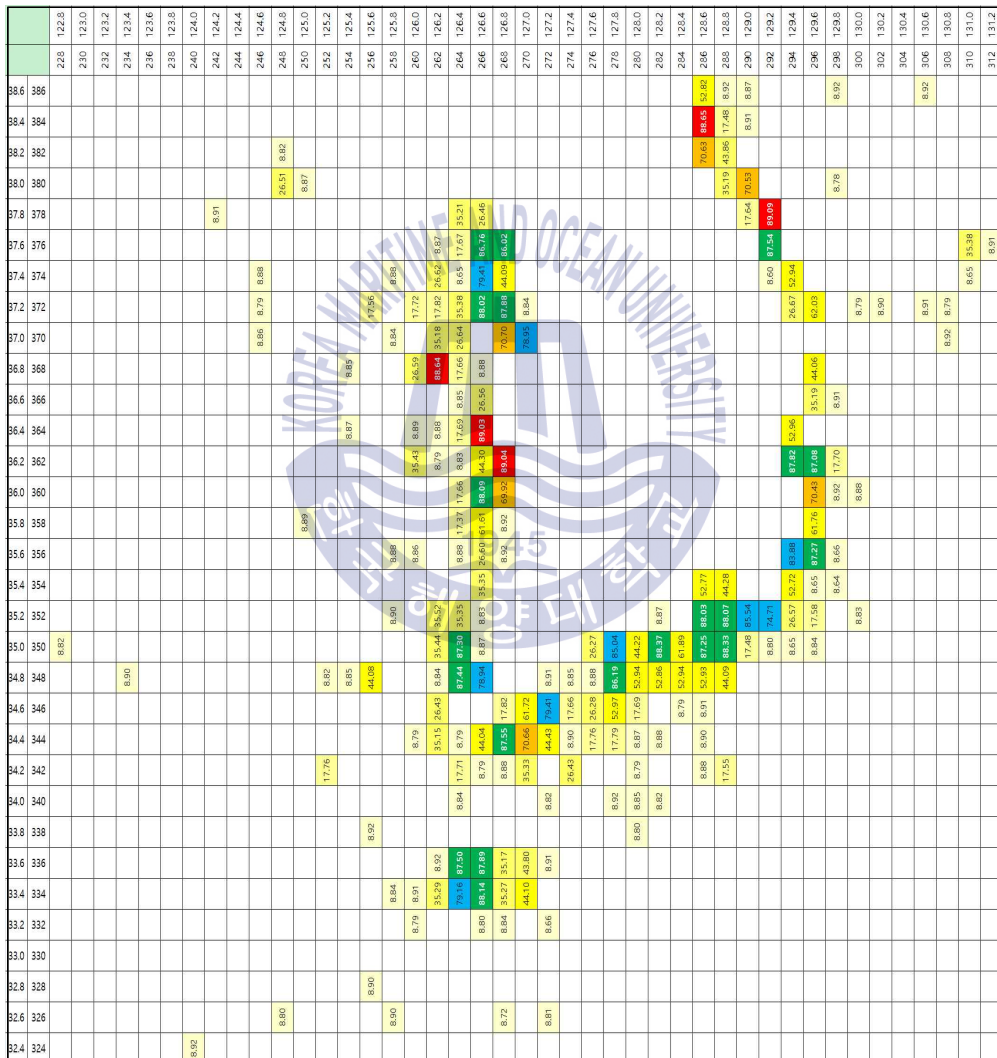


Fig. 13. Oil spill frequency_accumulation(2006-2015)

3.3.3 사고결과분석(Consequence analysis)

사고결과는 기름유출사고로 인해 발생하는 피해규모(화폐단위)를 기초로 객관적으로 데이터 확보가 가능한 해면어업, 양식어업, 해수욕장, 항만 수출입실적을 사고결과의 기초변수로 선정하여 분석을 실시했다.

가) 기초변수 생성

해역별 사고결과를 측정하기 위해 사고결과의 위험요인을 문헌 및 전문가 검토결과 경제활동요인(어업, 양식업, 관광업)이 54.79점, 연안 활동(위락장소) 및 사업(항만, 임해공단) 요인이 20.88점, 환경요인(조류서식지, 해양보호구역)이 11.71점, 기타요인이 2.51점으로 필요요인의 중요도는 검토되었고, 이중 환경요인과 기타요인은 통계, 계량적 측정 및 비교가 어려운 한계와 그 외 요인 중 가격산정이 어려운 요인들은 본 논문에서는 제외하고 기초변수를 생성했다. 기초변수는 Table 18과 같이 경제활동요인(어업, 양식업), 연안활동요인(위락장소), 연안사업요인(항만)을 고려하여 3개요인, 4개 기초변수로 정리했다.

Table 18. Consequence's basic argument

Variable	Basic argument	Note
Economic	Fishery	National and local port fishing industry production by sea area
	Aqua-culture	Aquaculture production based on size(ha) by sea area
Coast activity	Recreation	The amount of consumption in beach
Facilities	Port	Total amount of import and export by port

경제활동요인은 어업과 양식업 생산금액으로 산출된다. 어업은 수산동식물을 포획, 채취 또는 양식하는 사업으로 어업인이 일반해면(연근해)에서 포획, 채취한 어업을 일반해면어업이라고 하며, 수산동식물을 해상, 육상에서 어류, 갑각류, 패류, 해조류, 기타 수산동물 등을 인공적인 방법으로 길러서 거두어 들이는 어업을 천해양식어업이라고 정의¹¹⁾한다. 그에 따라 본 연구에서 경제활동요인의 어업은 일반해면어업, 양식업은 천해양식어업의 데이터를 활용했다.

일반해면어업은 광역시 및 도 단위로 11개 행정구역으로 생산량과 생산금액 통계 데이터와 국립해양조사원¹²⁾에서 제공하는 111개의 국가어항과 246개 지방어항의 위치데이터를 기초하여 행정구역으로 다시 분류하여 동일 행정구역에 포함된 모든 어항의 합계로 생산금액을 나눠서 각 어항별 생산금액을 산출했다. 어항별 생산금액을 각 셀별로 생산금액을 합산하여 어업 생산금액(Fishery product, FP)은 식 (17)과 산출된다.

$$FP = \sum (RP / NP) \quad (17)$$

- RP = 셀별 총 어업생산 금액(원)

- NP = 셀별 어항 수

양식업 생산금액(Aquaculture product, AP)은 천해양식어업으로 제공되는 11개 행정구역의 생산금액을 토대로 국립해양조사원에서 OpenAPI로 제공받은 137,677곳의 양식장 위치데이터를 기초해 행정구역으로 다시 분류했다. 행정구역으로 구별된 양식장 총면적과 천해양식어업을 통해 양식장 총 면적으로 생산금액을 계산하여 해당 행정구역 양식장 1ha 당 생산

11) 해양수산부 수산정보포털 : <http://www.fips.go.kr>

12) 국립해양조사원 개방해 : <http://www.khoa.go.kr/oceanmap/main.do>

금액을 산출했다. 이 금액을 다시 각 양식장 면적에 따라 생산금액을 계산하여 각 셀별 양식장 생산금액을 합산하여 식 (18)과 같이 산출된다. 단, 김, 전복 등 양식품종에 대한 구분은 없이 동일한 생산금액으로 간주했다.

$$AP = \sum ((RA/RG) \times AA) \quad (18)$$

- RA = 셀별 총 양식장 생산 금액(원)

- RG = 셀별 총 양식장 총 넓이(ha)

- AA = 각 양식장 넓이(ha)

연안활동요인은 위락장소 중 해수욕장의 소비금액으로 산출된다. 그러나 해수욕장의 경우 직접적인 실물거래액이 있거나 객관적인 가치를 매기기 어려운 한계로 기름유출사고로 인해 해당 해수욕장을 방문하지 못하고 직간접적으로 소비액만큼 피해가 발생 될 수 있기 때문에 해수욕장을 방문하는 1인당 소비금액을 사고로 인해 발생할 수 있는 결과로 설정했다. 통계청에서 제공하는 시군구 기본통계¹³⁾ 중 216곳 해수욕장 방문객 수에 대한 자료를 활용했으며, 해수욕장 방문객 1인당 소비금액은 공식적으로 제공하는 데이터는 없으나 제주도(2009년, 2010년) 및 해운대(2011년, 2016년)를 방문한 1인당 소비금액을 공개한 지자체 데이터를 인용한 미디어 자료를 통해 확인된 1인당 소비금액에 대하여 산술평균값을 고려하여 해수욕장 소비금액(Amount of consumption in the beach, CB)은 식 (19)와 같이 산출된다.

13) 통계청 국가통계포털 : <http://kosis.kr/wnsearch/totalSearch.jsp>

$$CB = \sum (AC \times NV) \quad (19)$$

- AC = 해수욕장 평균 소비액(원)

- NV = 해수욕장 방문객 수(명)

연안사업요인은 항만의 무역총금액(Trade value, TV)으로 산출된다. 관세청에서 제공하는 항구별 수출입실적¹⁴⁾ 중 24곳의 항구의 출항일 기준의 수입 및 수출액(\$1=1,000원)을 각 셀에 포함된 항구의 총 합산액으로 산출된다.

$$TV = \sum (EP + IP) \quad (20)$$

- EP = 항만 수출 총액(원)

- IP = 항만 수입 총액(원)

나) 기초변수의 표준점수(Z점수) 변환

생성된 기초변수는 모두 금액(화폐단위)으로 단위가 동일하지만, 어업생산금액과 항만생산금액을 단순 비교하기에는 다소 어려움이 따른다. 예를 들어 어업 생산금액이 1억 원이고 항만 생산금액이 10억 원이라고 했을 때, 항만이 어업의 10배만큼 더 중요하다고 비교할 수는 없다. 그렇게 때문에 기초변수를 평균과 표준편차를 이용해 표준점수로 표준화했다. 3개 요인 4개 기초변수의 표준점수 변환을 위하여 Table 19와 같이 연도별 평균과 표준편차를 도출하여 표준변수로 변환했다. 216개 해수욕장은 2016년의 방문객과 1인당 소비금액을 기초하여 각 연도별로 적용했다.

14) 관세청 수출입무역통계 :

https://unipass.customs.go.kr:38030/ets/index.do?menuId=ETS_MNU_00000114

Table 19. Consequence's basic argument average and standard deviation

Year	Average				Standard deviation			
	Fishery	Aquaculture	Beach	Port	Fishery	Aquaculture	Beach	Port
2004	21,930	8,631,947	61,988	22,935,103	11,336	5,024,273	40,950	6,304,229
2005	22,739	9,563,173	61,988	18,216,199	10,366	5,885,339	40,950	4,842,077
2006	23,120	10,235,239	61,988	16,316,988	10,133	6,218,249	40,950	5,677,022
2007	24,688	11,344,267	61,988	19,082,220	10,537	6,915,800	40,950	6,621,914
2008	27,078	4,790,776	61,988	23,520,180	12,098	3,374,173	40,950	7,689,998
2009	30,592	13,094,402	61,988	19,681,334	14,230	8,143,577	40,950	5,950,991
2010	32,871	12,876,921	61,988	24,635,763	15,248	7,665,075	40,950	7,754,573
2011	37,345	12,654,216	61,988	32,339,239	18,708	7,531,472	40,950	9,564,605
2012	33,202	7,083,012	61,988	29,885,665	16,312	5,751,649	40,950	9,528,607
2013	31,492	12,239,776	61,988	30,474,328	14,089	7,285,129	40,950	9,522,860
2014	31,767	13,639,875	61,988	30,922,552	14,213	8,175,872	40,950	9,692,611
2015	31,112	12,244,964	61,988	26,000,622	13,723	7,260,837	40,950	8,572,788

다) 요인합계값 산출

4개의 기초변수를 별도의 요인으로 분류하지 않고 기초변수를 기초하여 앞서 문헌검토 및 전문가 설문을 통해 위험요인 산정시 확인된 사고결과의 위험요인별 중요도를 반영하여 요인합계값을 산출한다.

위험요인별 위험도는 Table 20과 같이 어업 20.06점, 양식업 27.26점, 위

락장소 7.65점, 항만 6.91점으로 나타났다. 본 논문에서는 4가지 위험요인만을 사용하게 되므로 여기서 사용할 요인별 중요도는 4가지 위험요인의 중요도를 100점으로 환산한 값을 사용한다.

Table 20. Variable weight of consequence analysis

Variable	Fishery(w_1)	Aquaculture(w_2)	Recreation(w_3)	Port(w_4)
Weight	0.3025	0.4110	0.1797	0.1068

위에서 산출된 각 요인별 중요도에 각 요인평균값을 곱해 이를 합산하면 각 요인별 중요도가 고려된 요인합계값이 식 (21)과 같이 산출된다.

$$Total\ value = w_1 \times FP + w_2 \times AP + w_3 \times CB + w_4 \times TV \quad (21)$$

- FP = 어업 생산량
- AP = 양식업 생산량
- CB = 해수욕장 소비액
- TV = 항만 무역총금액

라) 백분위 정규화를 위한 목표값 선정

사고빈도분석에서와 동일하게 평균값 0을 기준으로 분포된 표준점수를 목표값을 설정하고 백분위 정규화를 통해 0부터 100까지의 점수로 변환한다. 해역의 위험도의 실현가능성을 보다 현실적으로 적용하기 위해 해당 연도부터 최근 3년 동안의 범위에서 최대 및 최소 목표값을 Table 21과 같이 산정했다.

Table 21. Max./Min. target value of consequence analysis(2006-2015)

Year	Max.	Min.	Year	Max.	Min.
2006	28.67568	- 3.75970	2011	27.92770	- 3.37993
2007	28.67568	- 3.75970	2012	27.78750	- 3.37993
2008	28.67568	- 3.06652	2013	26.53679	- 3.37993
2009	28.66315	- 3.30683	2014	26.97344	- 3.19984
2010	27.92770	- 3.30683	2015	28.95396	- 3.19984

마) 사고결과 최종값 산출

설정된 목표값과 산출된 최대 및 최소 요인합계의 범위 내에서 백분위 정규화된 요인합계를 이용해 최종 사고결과를 식 22와 같이 산출한다. 그리고 산출된 사고결과도 값이 클수록 위험도가 높다.

$$OSC = \left(\frac{Target(max) - x_i}{Target(max) - Target(min)} \times 100 \right) \quad (22)$$

- OSC = 기름유출사고 사고결과 위험도
- $Target(max)$ = 최대 목표값
- $Target(min)$ = 최소 목표값
- x_i = 해당 셀 요인합계값

사고결과 결과값은 Table 29와 같이 연도별로 최소 155개에서 최대 156개의 해역에서 최소 74.30점부터 최대 92.20점으로 산출되었다.

Table 22. Max./Min./Average data of consequence by sea area(2006-2015)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
max.	90.49	90.48	92.18	91.72	91.62	91.41	90.84	91.01	91.66	92.20
average	88.64	88.63	90.56	89.89	89.64	89.42	89.37	88.94	89.63	90.25
min.	76.49	76.90	74.81	77.18	75.80	74.74	74.30	75.93	76.98	78.97
quantity of cell	155	155	155	155	155	155	156	156	156	156

1) 사고결과 위험단계 설정

사고결과 위험도의 연도별 분포를 보면 Fig. 14와 같이 89점에서 91점을 나타낸 셀이 평균 80.2개로 가장 많은 52.26%를 차지했으며, 91점에서 92점 21.29%, 86점에서 89점 20.65%, 66점에서 86점 5.81%로 나타났다. 2006년부터 2015년까지 10년간 누적 데이터(Fig. 14의 점선)는 155개 셀에서 사고결과 위험도가 나타났다.

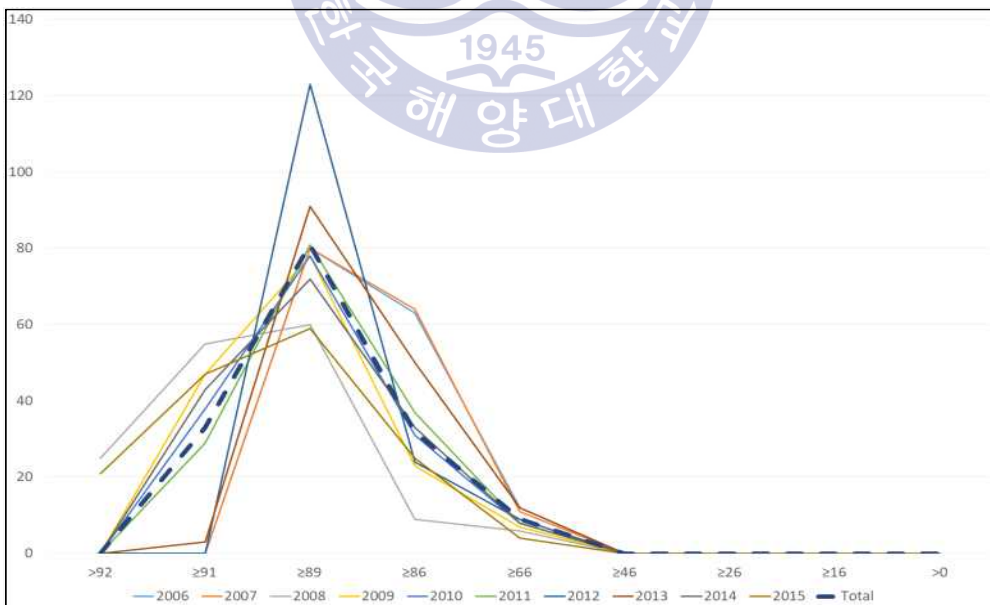


Fig. 14. Consequence risk by sea area

0점부터 100점까지 산출된 사고결과는 2006년부터 2015년까지 10년 동안 산출된 10년간 위험도 최저 74.30점, 최고 92.20점, 평균 89.50점을 기초하여 정규분포를 통해 사소한 피해(Insignificant)부터 매우 큰 (Extreme) 피해까지 Table 23과 같이 5단계로 구분하였고, 1단계는 다시 1-1단계부터 1-5단계까지 5등분했다. 그리고 해역별 위험도를 신속하게 구분할 수 있도록 색깔을 지정해서 표시했다.

연도별 사고결과 위험도는 89~90점대를 평균하여 최대 91점대, 최저 76점대로 분포하고 있으나, 10년간 누적데이터를 분석하면 사고결과의 위험도가 높은 해역이 89~90점대에서 집중되는데 이는 특정해역에서 지속적으로 사고결과 위험도가 나타나는 것으로 판단된다.

Table 23. Consequence analysis level 5

Level	Consequence	Risk Lv.	Risk Point	Color
1	Insignificant	Minimum 1-1	$0 < f \leq 16$	Gradation in yellow
		Minimum 1-2	$16 < f \leq 26$	
		Minimum 1-3	$26 < f \leq 46$	
		Minimum 1-4	$46 < f \leq 66$	
		Minimum 1-5	$66 < f \leq 86$	
2	Minor	Min.~Aver.	$86 < f \leq 89$	Blue
3	Moderate	Average	$89 < f \leq 91$	Green
4	Major	Aver.~Max.	$91 < f \leq 92$	Red
5	Extreme	Maximum	$92 < f \leq 100$	Black

2) 해역별 사고결과 위험도

2015년 사고결과 위험도를 5단계 컬러로 구분하면 Fig. 18과 같이 대부분 해역에서 사고결과 위험도는 평균적으로 나타났지만, 유독 서해는 사고결과가 상당히 크거나(Major), 매우 큰(Extreme) 것으로 나타났다. 또한, 동해 북부해역에서도 사고결과가 상당히 크거나 매우 큰 해역이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

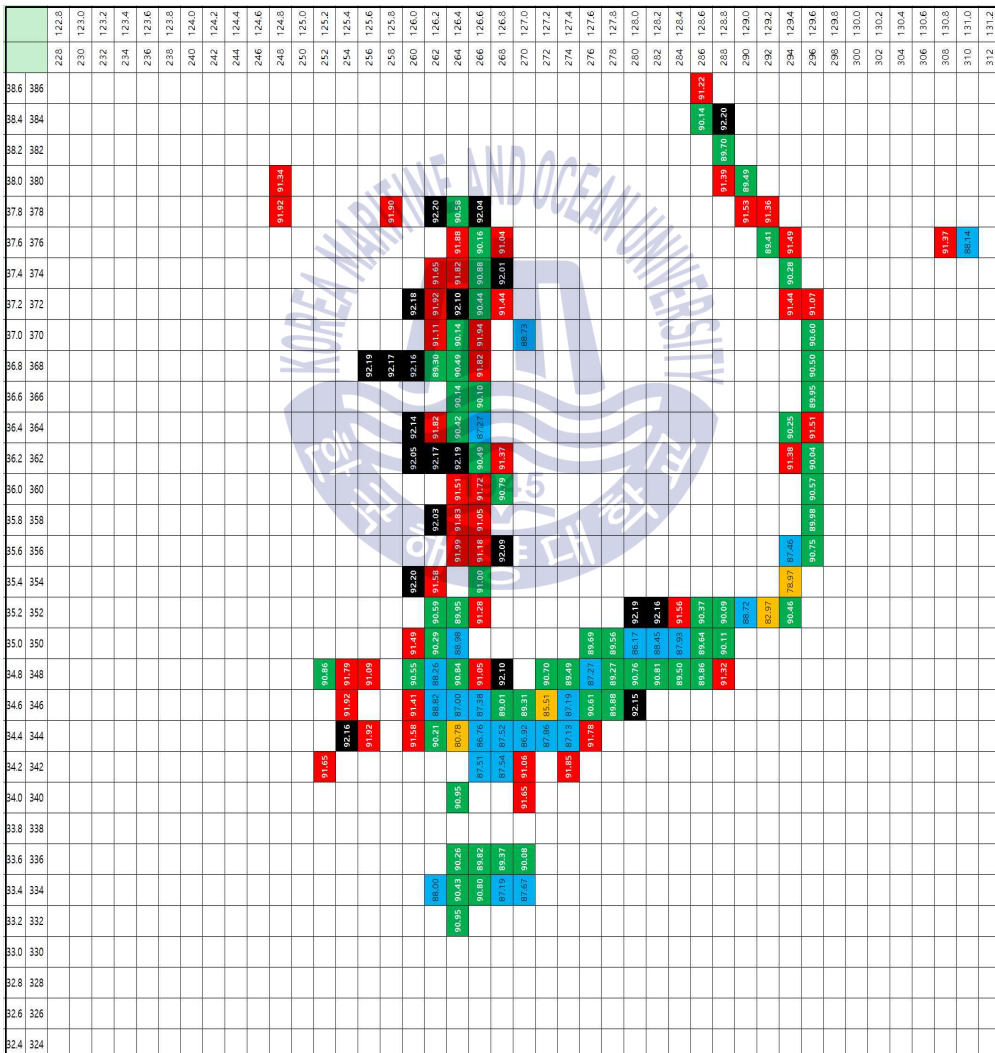


Fig. 15. Oil spill consequence_color(2015)

3) 해역별 사고결과 누적 위험도

Fig. 16과 같이 2015년 사고결과 위험도를 포함하여 2006년부터 사고결과 누적위험도 중 매우 큰(Extreme) 위험의 해역은 없으나, 서해의 중북부 및 전라도 도서지방에서 사고결과가 상당히 큰(Major) 해역이 다수 분포하고 있으며, 남해 일부와 동해 북부 해역에서 사고결과가 상당히 큰 해역이 나타났다.

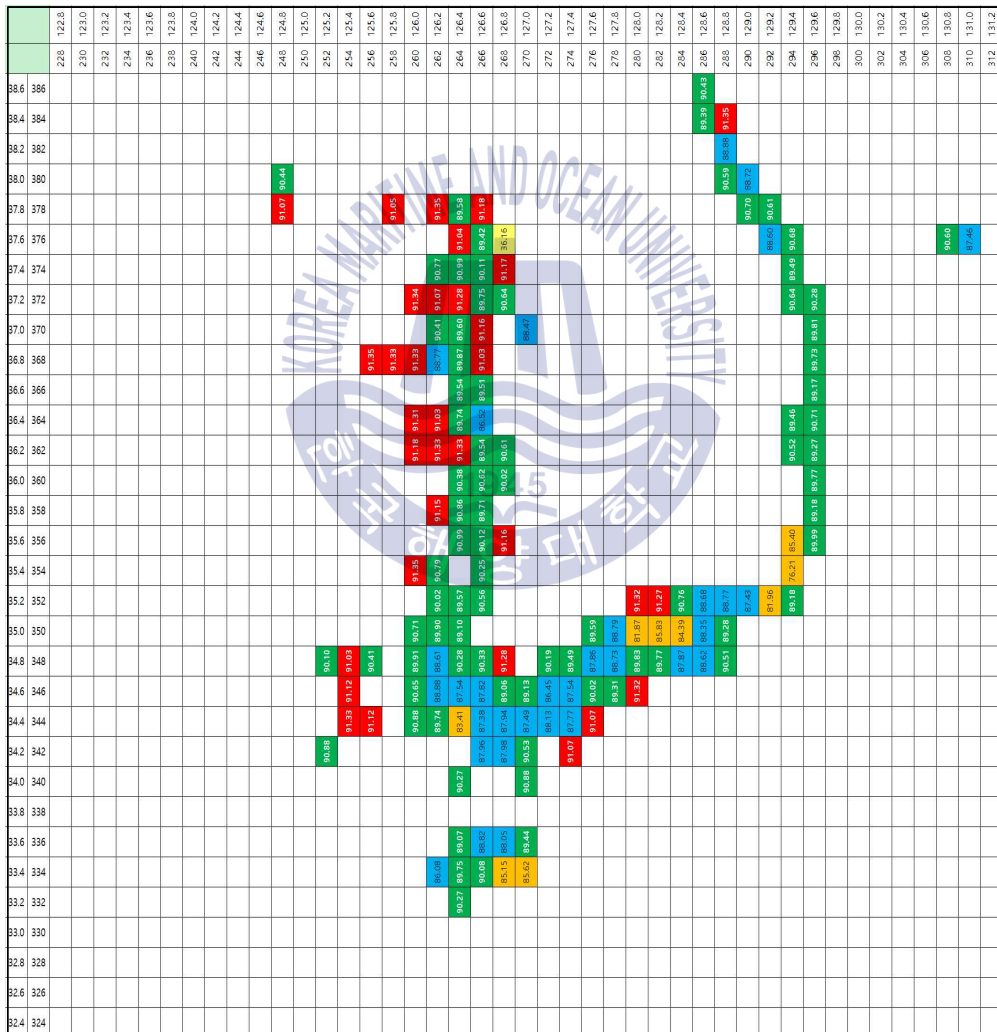


Fig. 16. Oil spill consequence_accumulation(2006-2015)

3.4 기름유출사고 위험도 분석 및 매핑

위험도의 본질과 위험수준을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 위험도의 수준과 수준별 대비·대응 전략 등을 수립하기 위해 위험도를 분석했다. 해역의 위험도를 분석하기 위해 해역별 사고빈도와 사고결과의 조합에 의해 결정되고 분석된다. 앞서 산출된 연도별, 해역별 사고빈도와 유출결과를 반영하여 조합된 매트릭스로 설정하여 해역별 위험도를 표시했으며, 위험 수준 및 환경조건에 맞춰 5가지 카테고리로 정형화시켰다.

3.4.1 위험도 수준 설정

위험도 수준은 식 (23)과 같이 사고빈도 위험과 사고결과 위험으로 나타난 위험도의 조합으로 이뤄진 리스트 매트릭스(Risk matrix)를 통해서 최종 위험도가 산출되며, 각각 5단계의 위험도로 색깔로 구분했다.

$$R = F \times C \quad (23)$$

- R = 기름유출사고 위험도
- F = 사고빈도 위험
- C = 사고결과 위험

위험도 수준을 구분함에 있어 Fig. 17과 같이 최저수준(11)부터 최고수준(55)까지 사고빈도와 사고결과 점수를 기초하여 20점 이상을 Level 5로 매우 심각한 위험도를 선정하고, 10점부터 16점까지는 Level 4, 5점부터 9점까지는 Level 3, 2점부터 4점까지는 Level 2, 1점까지는 Level 1로 위험도를 선정했다. 이는 사고빈도와 사고결과의 위험도를 비슷한 수준으로 교차비교를 통해 위험도 유형을 구분하고 분석하기 위함이며, 산출된 해

역의 위험도는 절대값은 아니며, 위험도 4가 위험도 2의 2배만큼 위험이 높다는 의미가 아니라는 뜻이다.

5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5

Fig. 17. Risk matrix level(5×5)

위험도를 구분한 수준에 따라 향후 방제장비에 필요한 전략적 분석을 실시하기 위해 단계별 위험도의 크기와 대비·대응 수준을 지정해야 한다. Table 24와 같이 1단계는 지역단위에서 대비·대응이 가능한 수용할 수 있는 사소한 위험으로서 관할해역에서 발생한 사고는 관할자원으로도 충분히 대비·대응이 가능하며, 일반적인 사고처리 및 관심(Insufficient)이 필요한 위험도이다. 2단계 위험은 일반적인 사고처리 및 관리로는 대비·대응해야 할 사고가 잦거나, 이벤트성으로 예측이 다소 어려운 중간 수준의 위험으로서 사고에 대한 주의(Minor)가 필요한 수준이다.

3단계부터는 지역단위의 대비·대비뿐만 아니라 지원세력까지도 검토해야 하는 실질적인 위험을 경계(Moderate)해야 하는 단계이다. 더욱이 지역

단위의 대비·대응으로는 불가능해지는 4단계 위험은 반드시 지원세력의 적극적인 협조가 필요한 심각한(Major) 수준의 위험이다. 5단계 위험은 광역 및 국가적인 대비·대응이 필요한 매우 심각한(Extreme) 수준의 위험이다.

Table 24. Oil spill risk level

Level		Risk	Color
1	Insignificant	Response force : local Support : needlessness	Blue
2	Minor	Response force : local Support : consideration	Green
3	Moderate	Response force : local Support : need	Orange
4	Major	Response force : regional Support : necessariness	Red
5	Extreme	Response force : National Support : necessariness	Black

나아가 위험도 수준에 따라 대비·대응 전략수립 시 그에 필요한 방제장비도 효과적으로 배치 및 지원할 수 있다. 위험도가 매우 높거나 높은 해역은 필요 방제장비를 집중하고 지원도 원활이 이뤄져야만 한다. 중간 정도 위험 해역은 지속적인 모니터링과 함께 방제장비 필요시 신속한 방제지원이 가능하도록 설정해야 하며, 위험이 낮은 해역은 방제장비의 집중이나 폭넓은 지원보다는 해당 해역에서 일반적인 대비·대응이 가능한 수준으로 설정한다.

2006년부터 2015년까지 우리나라 해역에서 발생한 기름유출사고의 위험도는 Fig. 18과 같이 해안 및 도서지역에서 벗어난 해역에서는 사고결과의 위험이 없는 단일성 기름유출사고로서 지역단위 대비/대응이 가능한 사소한 위험(Level 1) 해역으로 확인되었다.

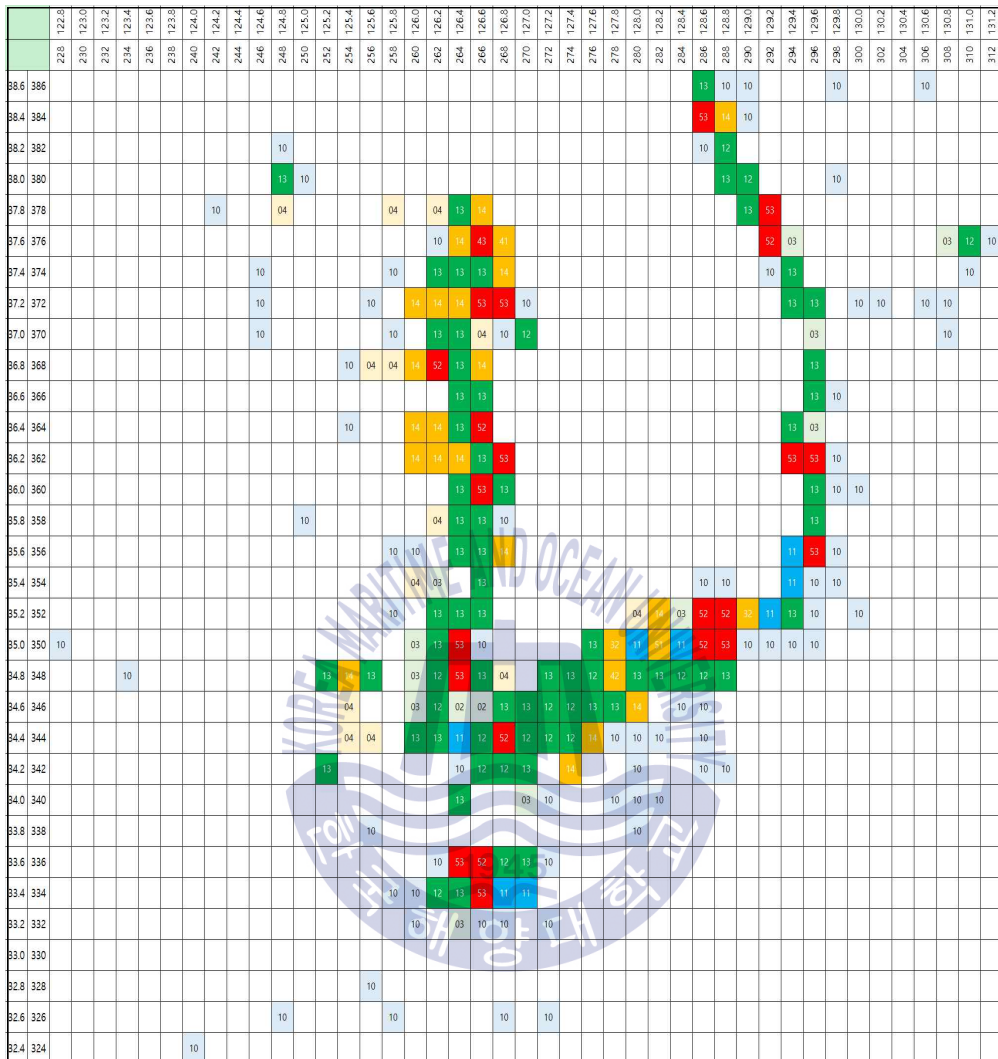


Fig. 18. Oil spill risk matrix(2006-2015)

우리나라 연안 해역은 지역단위 대비/대응이 가능한 중간 수준(Level 2, Green color)의 위험도를 나타냈지만 서해의 중북부해역인 인천, 태안, 군산 해역과 목포 해역, 남해의 완도, 제주, 서귀포, 통영 해역, 동해의 울산, 포항, 강릉, 속초 해역은 지역단위 대비/대응으로는 어려움이 있기 따르며, 지원세력의 협조가 필요한 심각한 수준(Level 4, Red color)의 위험이 있는 해역으로 나타났으며, 인천 근해, 대산, 보령 근해, 신안, 거제도,

여수, 진해, 속초 근해 해역은 기름유출사고 시 지역단위 대비/대응뿐만 아니라 지원세력의 협조를 검토해야하는 경계(Level 3, Orange color)수준의 실질적인 위험을 나타냈다.

3.4.2 위험도 매핑 프로세스

가) 해도데이터

해도는 국립해양조사원, 한국해양조사협회에서 여러 단계로 구분하여 제공하고 있으나, 본 본문에서는 선박운항을 위한 해상의 자세한 정보제공이 아닌 기름오염사고의 위험도를 시각적으로 표시할 수 있도록 기본적인 육상-해상 구분 및 해역표현이 가능한 정도의 해도로써, 안드로이드 기반 스마트기기에서도 원활한 동작이 가능한 성능을 구현하기 위해 Google사에서 제공하는 Google maps API를 이용했다. 또한, 위험도를 표시할 데이터 영역은 우리나라 연안 해역과 Fig. 19와 같이 UNCLOS에 적용되는 인접국가와의 영해, 접속수역, 배타적경제수역 등도 포함했다.

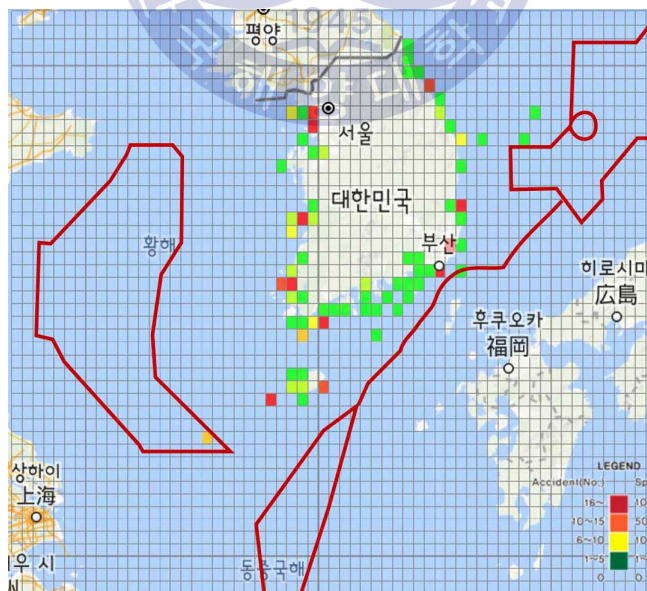


Fig. 19. Data distribution of ENC

나) User Interface 설계

안드로이드 기반의 스마트기기에 구현되는 애플리케이션으로써 가로 고정형으로 화면에 표현된다. 2006년부터 2015년까지 해역의 위험도를 시각화하여 Android 5.1버전(Lollipop)을 사용하는 아이나비 tablet XD10 duo 모델을 통해 해역의 위험도를 확인할 수 있도록 설계했다.

프로그램에서 필요한 아이콘은 최대한 간편하고 손쉽게 사용할 수 있도록 최소화시켰다. 프로그램을 사용하는데 직접적으로 필요한 6개 아이콘을 Table 25와 같이 구성했다.

위치버튼은 연도별 사고위치를 표시하고, 격자버튼은 2,700개로 균등하게 구분된 해역범위를 표시했다. 각 연도를 선택할 수 있는 연도버튼이 있으며, 현재위치는 애플리케이션 사용자의 위치를 화면상에 표시한다. 화면의 zoom in-out시 정북방위가 변경되었을 때 표시되어 방위의 혼동을 방지하고 나침반 버튼을 터치하면 North up으로 지도방향이 전환된다. 화면에 표시된 모든 버튼은 터치형식으로 입력이 가능하며, 손가락을 사용한 two finger zoom, two finger rotate에 의해 지도의 확대, 축소, 회전 및 scroll기능이 가능하다.

Table 25. Icon in the program

No	Icon	Description
1	Location	Accident location by year
2	Grid	Grid indicate
3	Year	Selection by year
4	User location	Location of user
5	Compass	North up view
6	Finger touch	two finger zoom and rotate

3.4.3 해역별 위험도 분석

가) 서해 중북부 해역

Fig. 20과 같이 인천, 평택, 태안, 보령, 군산, 부안 해역과 관련 도서해역으로 구성된 서해 북위 35.6도 이북 해역의 중북부 해역은 매년 지속적으로 사고위험이 있는 주의(Level 4)가 필요한 해역으로 인천, 평택, 대산, 보령 해역에서는 심각한 위험(Level 4)이 있는 해역으로 나타났으며, 그 주변 해역도 경계(Level 3) 수준의 위험이 있는 해역으로 나타났다. 그리고 도서지역이 포함된 외해역에서는 사고는 발생했지만, 사고결과 요인은 없는 위험도가 나타났다.

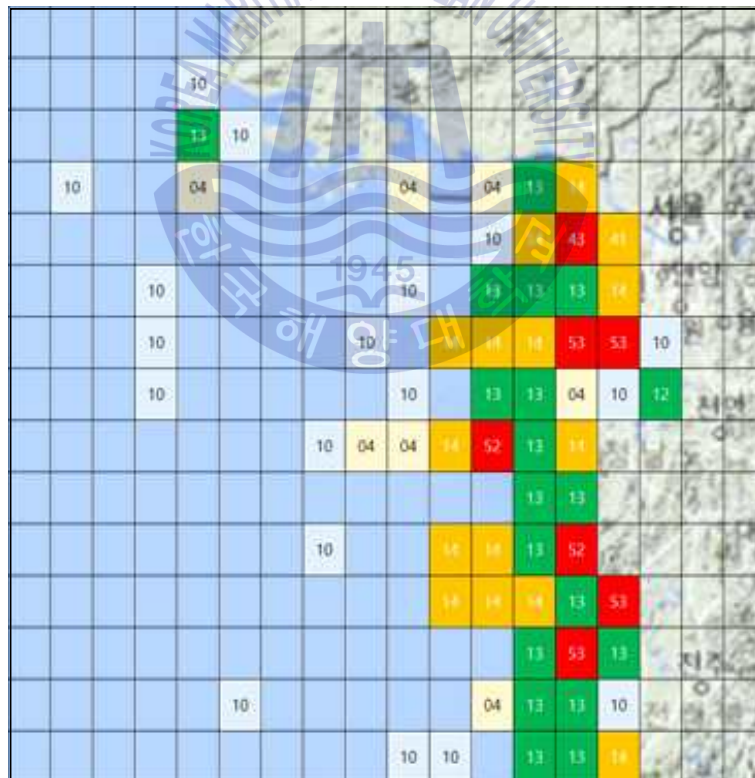


Fig. 20. Mid-north west sea of oil spill risk(2006-2015)

나) 서해 서남부 및 제주 해역

Fig. 21과 같이 목포, 진도, 완도, 고흥, 제주 해역과 관련 도서해역으로 구성된 서해 서남부 및 제주 해역은 관심 및 주의수준(Level 1~2)의 위험도를 보였다. 그러나 목포, 완도, 제주, 서귀포해역에서 심각한 수준(Level 4)의 위험이 나타났고, 신안도서, 거문도 해역에서 경계 수준(Level 3)의 위험을 나타냈다. 목포 먼바다 제주 먼바다에서는 관심 수준(Level 1)의 수용할 수 있는 사소한 위험을 보였다.

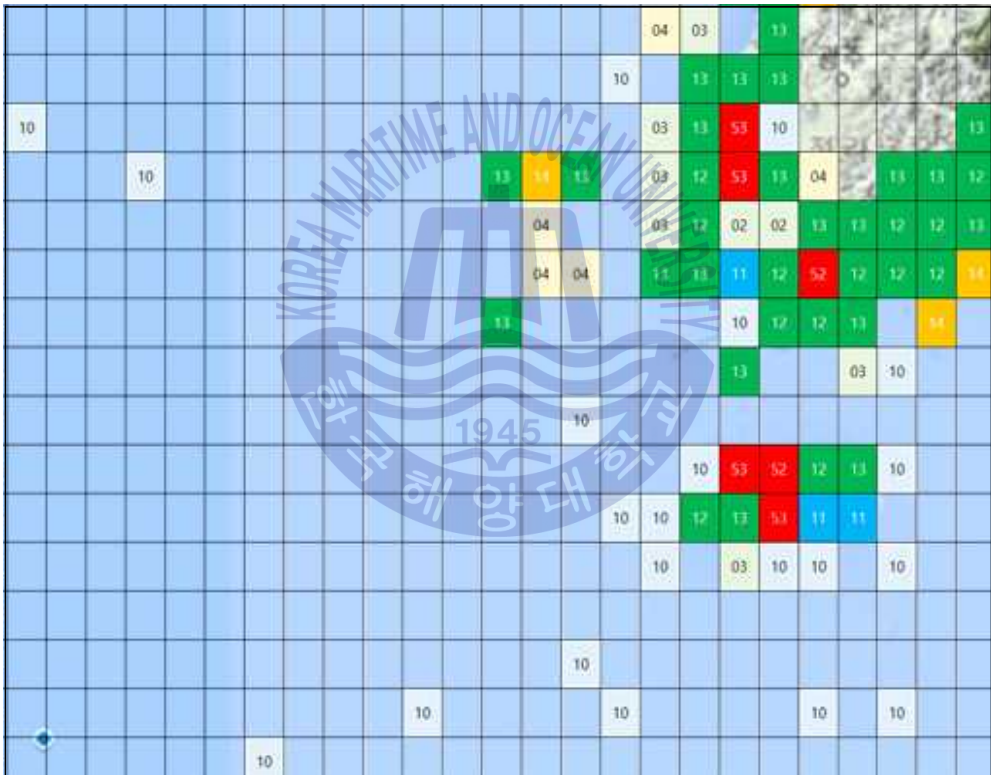


Fig. 21. South-west and jeju sea of oil spill risk(2006-2015)

다) 남해 남동부 해역

Fig. 22와 같이 여수, 남해, 통영, 창원, 부산, 울산 해역과 관련 도서해역으로 구성된 남해 남동부 해역은 항만을 중심으로 경계 수준(Level 2)의 실질적 위험도를 나타냈다. 창원, 마산, 통영 해역으로 진입하는 거제와 가덕도 사이 해역에서는 지역단위 대비/대응으로는 어려움이 있어서 지원세력의 협조가 필요한 심각한 수준(Level 4)의 위험도를 나타냈으며, 연안에 떨어진 해역도 사고는 발생했지만, 사고결과 위험도가 없거나 사고결과와는 있지만 사고발생이 없는 Level 1 수준의 위험도 해역으로 나타났다.



Fig. 22. South-east sea of oil spill risk(2006-2015)

라) 동해 해역

Fig. 23과 같이 속초부터 울산 해역까지 동해안을 끼고 위치한 동해 해역은 속초, 강릉, 포항 해역에서 지역단위 대비/대응으로는 어려움이 있어

서 지원세력의 협조가 필요한 심각한 수준(Level 4)의 위험을 나타냈으며, 속초 근해 해역에서 지역단위 대비/대응 및 지원세력을 검토해야 할 경계 수준(Level 3)의 실질적 위험을 나타냈다.



Fig. 23. East sea of oil spill risk(2006-2015)

마) 전체 해역

우리나라 해역은 Fig. 24와 같이 지역단위 대비/대응으로는 한계가 있기 때문에 지원세력의 협조가 필요한 심각한 수준(Level 4)의 위험은 입출항이 빈번한 인천, 평택, 대산, 보령, 목포, 완도, 제주, 서귀포, 통영, 마산, 창원, 울산, 포항, 강릉, 속초 해역(22곳)에서 나타났다. 또한, 서해 중북부

서남해 도서, 거제도 등 도서가 포함된 해역에서 경계 수준(Level 3)의 위험이 분포하고 있으며, 동서남해 먼 바다는 지속적으로 사고가 발생했지만 피해발생 위험도는 낮은 것으로 나타났다.

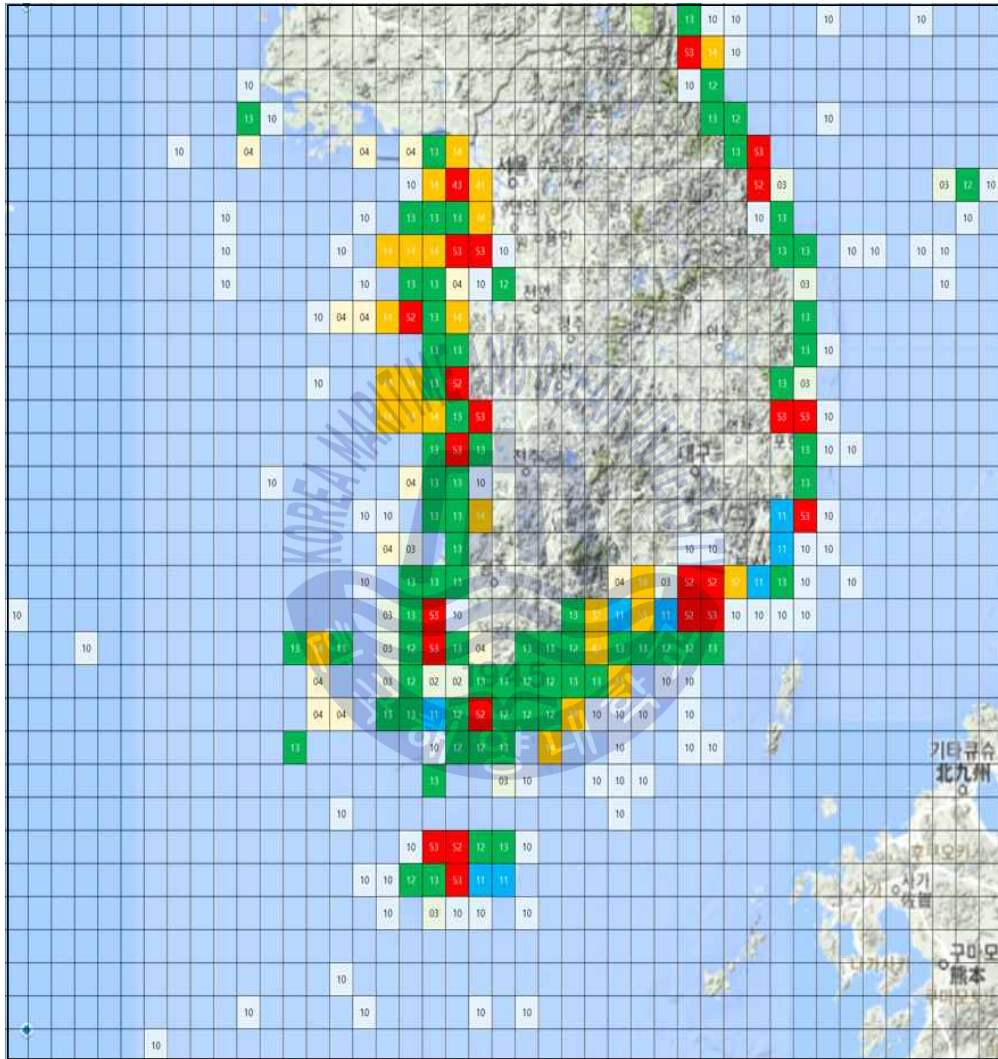


Fig. 24. Oil spill risk on map(2006-2015)

제 4 장 해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델 개발

4.1 해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델 프로세스

4.1.1 해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델 개요

해상방제 의사결정지원 및 장비배치 모델(Marine response decision support and equipment deployment model, 이하 DSED model)이란 기름유출사고가 발생할 수 있는 위험해역을 기름유출사고 발생 전에 파악하고 위험도를 평가하고 분석하여 효과적인 해상방제활동을 가능하도록 사고 발생 전 해역별 해상방제 적정 배치기준과 사고 발생 시 신속한 의사결정 지원을 분석한 모델이다. 이 모델의 주요목적은 신속하고 효과적인 해상방제활동을 위해 위험도 평가를 통한 해상방제장비 배치기준을 설정하여 대비 및 대응시 필요한 우선순위를 신속하게 결정 할 수 있도록 지원하기 위한 것이다.

방제장비에는 다양한 종류와 방법이 있지만, 통상적으로 기름유출사고 발생시 직접적으로 피해를 최소화할 수 있는 방제정을 이용한 유출유 포집 및 분산이 가능한 해상방제의 주요 물적자원이 중심이 된다. 기름유출사고 발생 시 한정된 자원으로 효과적인 활용을 위한 노력을 하고 있으나, 주요항만을 입출항하는 최대위험선박의 최대유출량에 근거한 방제세력 및 지원세력을 대비하고 있다. 물론 기름유출사고가 발생하면 사고발생을 기준으로 유출유의 확산 및 피해규모 등을 고려한 위험도를 평가하

고 방제전략을 수립하지만 기름유출사고의 빈도, 유형, 유출량, 위험요인, 피해가능요인 등이 반영된 사고빈도위험과 사고결과위험이 고려된 해역의 위험 특성에 대한 분석과 더불어 해역의 기름유출 위험도에 따른 방제세력 및 지원세력에 대한 대비전략은 미비한 수준이다.

따라서 본 논문에서는 Fig. 25와 같이 과거 발생한 해역별 기름유출사고와 사고로 인한 피해액을 종합적으로 분석하여 해역별 위험도를 산정하여 필요한 해상방제장비를 산정 및 배치하고, 산정된 대비자원을 사고 발생 시 신속하고 효과적으로 활용하기 위해 해역의 위험요인을 확인하여 방제활동의 우선순위를 신속하게 선정하는데 지원할 수 있는 모델을 개발했다.

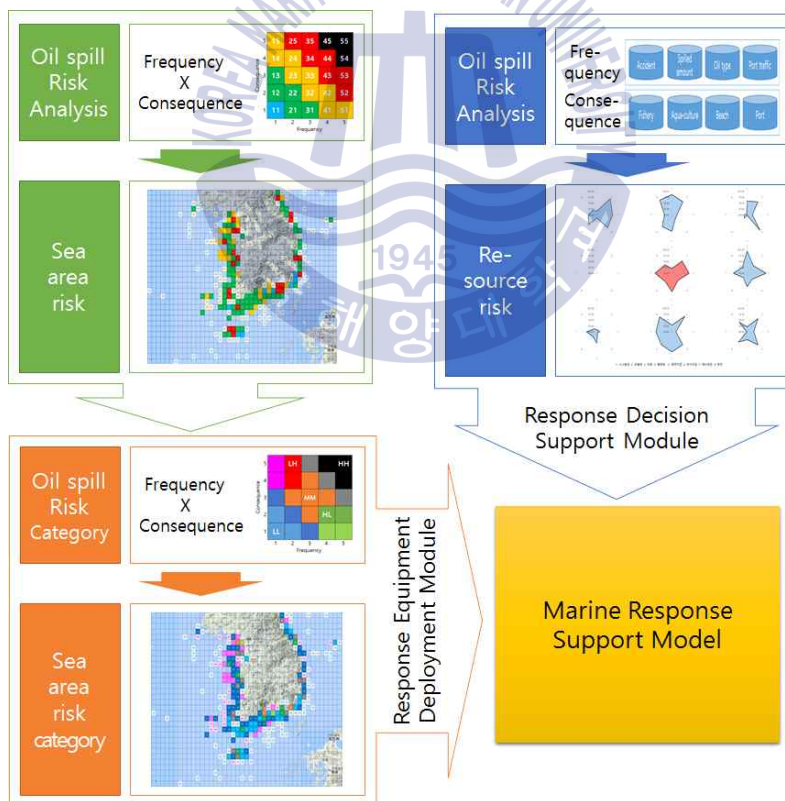


Fig. 25. Marine response support model process

4.1.2 해상방제 방법 및 주요장비 분석

해상에서 기름이 유출되면 해상에서 직접적으로 방제활동이 진행됨과 동시에 해·기상조건 및 유출된 기름의 성상변화 등으로 주변 해안에 부착되기 때문에 해안방제활동도 병행된다. 때로는 여러 조건에 따라 방제작업 없이 자연적 제거 및 분산되는 것을 모니터링하는 자연방산을 실시하기도 한다. 본 논문에서는 해역별 위험도에 따른 해역별 적정 방제장비를 선정하기 위해서 사고발생 후 즉각적으로 해상에서 실시하는 해상방제활동으로 한정하며, 해상방제방법에는 기계적 회수, 유흡착재를 이용한 수거, 유처리제를 이용한 분산, 현장소각 등이 있다.

가) 기계적 회수

기계적 회수는 유출된 기름을 포집할 오일붐(Oil boom), 포집된 기름을 회수할 유회수기(Oil skimmer), 회수된 기름을 저장할 저장탱크(Storage tank)가 필요하며, 주요 해양선진국에서는 가장 우선시하는 방제방법으로 필요수량을 지역별로 보유하도록 규정하고 있다.

오일붐은 해상에 유출된 기름을 포위함으로써 확산 등 이동을 방지하고 회수를 위한 기계적 울타리로서 해상 및 해안에 위치한 적절한 회수지점으로 기름을 유도하고 진공트럭, 펌프, 기타 회수방식으로 제거한다. 항만 입구, 발전소 취수구, 양식시설, 자연보호구역 등 경제적, 환경적으로 민감한 장소에서 기름의 접근을 막거나 회수하기 유리하도록 유도하기 위해 사용된다.

유회수기는 해상 또는 해안에 유출된 기름의 물리·화학적 특성을 변화시키지 않고 회수할 수 있도록 고안된 기계장치이며, 물과 기름의 비중차, 기름의 점성 및 유동 특성을 이용하여 기름을 회수한다.

기름저장탱크는 유회수기로 회수된 기름을 기름회수작업이 진행되는 동안 임시로 저장하는 용기이며, 이송펌프는 유회수기에 의해 회수된 기름을 저장탱크 또는 저장선박으로 이송할 때 쓰이는 이송장비이다.

나) 유흡착재를 이용한 회수

유흡착재는 흡착재에 기름이 부착되면 흡착재 자체를 수거하여 기름을 제거하는 방식으로 여타의 방제기법이 부적합 상황에서 기름을 회수할 수 있는 유용한 수단으로 활용되지만 과도한 폐기물 생성, 방제비용 증가 등 2차적 문제 발생의 우려가 있다.

다) 유처리제를 이용한 분산

유처리제 살포를 통해 유출된 기름의 유막을 분해해서 수중에서 신속히 희석 및 자연 미생물에 의한 분해를 유도함으로써 환경적, 경제적 효과를 거둘 수 있지만, 기름특성, 해·기상조건, 주변환경의 민감도, 규정 등을 복합적으로 고려하여 신중하게 사용되어야 한다.

라) 현장소각

유출된 해상에서 유출된 기름을 소각하여 제거하는 방법으로 1989년 Exxon Valdez호 기름유출사고에서 최초로 시도되어 효과를 확인했으며, 2010년 Deep Water Horizon 기름유출사고에도 적용되어 유출사고 현장에서 광범위하게 사용되며 기름제거에 유용하게 이용되었다.

4.2 위험도 기반 지역별 해상방제 장비배치기준 개발

4.2.1 해상방제 장비배치기준 개념

해상방제장비의 적정수량을 산정하기 위해서는 주 오염원인 선박의 항로를 따라 발생 가능한 최대오염사고 환경을 파악하고 기름유출사고 발생 시 오염될 가능성이 있는 지역은 대비차원에서 산정된 유출량을 기반으로 필요한 방제장비의 확보·동원계획(타지역 장비 포함)을 수립한다. 실제로 미국, 캐나다, 일본, 영국 등 해양선진국은 지역적으로 발생 가능한 각종 오염사고 시나리오를 가정하여, 이에 적합하고 충분한 방제장비를 확보·동원하도록 의무화하고 있다.

우리나라도 최대유출량을 기초하여 지역적 방제시스템을 통한 해상방제 장비가 배치되어 있다. 그러나 최대유출량만 고려된 해상방제장비 배치되었고, 위험도가 고려되더라도 과거 사고빈도, 유조선 입출항 등 위험지수가 높게 나올 수밖에 없는 위험도 분석에 머물고 있다.

따라서 본 논문의 해상방제 장비배치기준을 선정하기 위해 사고빈도와 사고결과를 동시에 반영한 위험도 매트릭스 분석과 해역별 위험도 유형을 추가로 반영함으로써 사고빈도는 높으나 사고결과는 낮거나, 사고결과는 높는데 사고빈도는 낮은 경우처럼 위험도 유형에 기반하여 해역별 위험도가 반영된 해상방제장비 소요수량을 산출하고 배치할 수 있는 기준을 마련했다.

4.2.2 해상방제 장비배치기준 프로세스

가) 지역방제시스템

우리나라는 해상방제장비를 방제효율성 극대화를 위한 필수요인인 지역별 소요 방제장비 및 동원방법 등이 고려되고 있으며, 유조선의 이중선체 도입 등 방제여건이 변함에 따라, 우리나라 해양오염방제 책임기관인 해양경찰청에서는 국가방제능력에 대하여 면밀한 조사하고 해양선진국 시스템과의 비교·분석을 통해, 구체적·효율적·현장실행력 높은 지역방제시스템을 도입하고 있다.

1) 최대유출량

현재 최대유출량은 해당 지역에 입출항 또는 통항하는 최대크기 유조선(또는 화물선)이 충돌·좌초 등의 해양사고로 인한 최대유출사고를 가정한 것으로 Fig. 26과 같이 선박 충돌 또는 좌초 사고시 탱크용량이 큰 구획을 중심으로 손상된다고 가정한 MARPOL방식¹⁵⁾으로 산출된다.

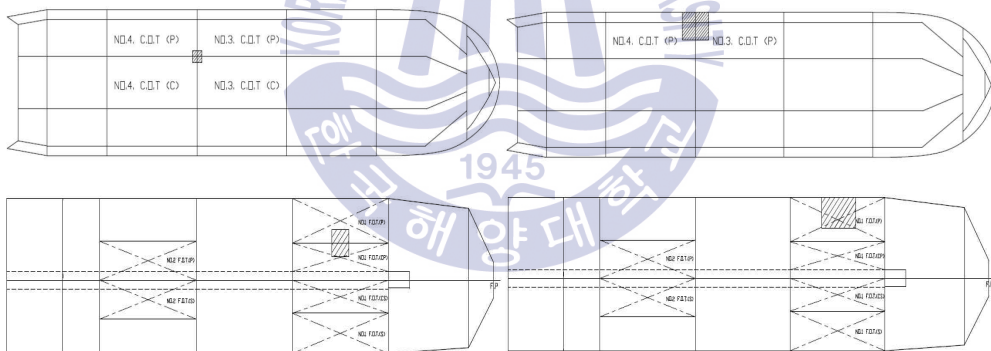


Fig. 26. DWT 330K double hull tanker(Left) G/T 30K Bulk ship(Right)
(▨:damage)

15) 최대유출량 산정방식

- (1) 국제석유산업환경보호협의회(IPIECA) 권고
과거 대형유조선 사고시의 유출량에 대한 통계분석에 의하여, VLCC에서 해양사고시 탱크 2개가 파손되며, 적재된 기름 전량이 유출된다고 가정함
- (2) 일본 산정방식
지역적으로 해당지역에서 발생한 과거 최대오염사고 또는 해당지역 출입항 선박 중 최대유조선에서 재화중량의 9%가 배출된다고 가정함
- (3) MARPOL에 의한 산정방식
73/78 MARPOL 부속서-1 제4장 규칙 제24조 및 25조에서는 유조선의 충돌 또는 좌초 사고시의 선체손상범위 및 가상유출량 산정식을 제시

최대유출량이 입출항 사고, 통항 사고, 통계적 자료 중 최대치로 결정하고, 계산에 의해 구해진 값을 대략적인 근사치로 단순화시킨 주요 항구의 최대유출량은 Table 26과 같이 45,000kl가 된다.

Table 26. Maximum probable spill amount by region

(Unit: kl)

Area	Max.	Area	Max.	Area	Max.
Incheon	8,500	Wando	600	Busan	10,000
Daesan · Taean · Pyoungtaek	45,000	Yeosu	45,000	Ulsan	45,000
Gunsan	3,800	Jeju	800	Pohang	800
Mokpo	8,500	Tongyoung	1,700	Donghae · Sokcho	500

* resource : KCG(2009)

2) 해상방제량

기름이 탱크에서 해상으로 유출되면, 시간경과에 따라 풍화과정을 거치면서 증발 및 자연분산으로 인한 양적 감소와 에멀션(Emulsion)으로 인한 양적 증가와 같이 양적 변화가 진행되며, 확산에 따라 필연적으로 해안에 부착된다. 우리나라는 해양선진국과 같이 풍화과정 및 해안부착량을 고려하여, 유출량의 1/3은 증발, 1/3은 해안방제, 나머지 1/3은 해상방제량으로 취급하고 있다.

3) 해상방제 작업일수

해상에서 기름을 제거하는데 소요되는 작업일수는 사고장소, 유종, 해 · 기상 상태, 회수장치의 종류 및 성능, 작업자의 숙련도, 작업시간 등에 따라 변하는데 기름유출사고 후 민감자원에 대한 방제작업의 효과가 없거나 추가적인 손상이 발생하지 않는 등 여러 가지 상황을 종합적으로 고려해

방제작업 종료가 선언되는데, 수일에서 수개월이 걸리는 방제작업이지만 작업일수기준을 오염방제활동은 신속할수록 효율적임을 감안해서 3일로 설정하고 있다.

4) 1일 해상방제작업시간

해상방제작업은 정해진 작업일동안 1일 24시간 중단없이 연속해서 실시하는 것이 가장 이상적이지만, 해·기상상태, 유막의 형성 및 이동, 풍화 과정에 의한 성상변화, 유성찌꺼기 등 존재 여부, 운용자의 숙련도, 장비의 기름회수능률, 오작동 시 정비 또는 교체 등 여러 요인으로 인해 실질적으로 24시간 유회수기를 운용하는 것은 불가능하다.

또한, 야간에는 유막의 추적 및 감시가 거의 불가능하고 기름의 포집 및 회수작업이 사실상 어렵기 때문에 유출유를 회수할 수 있는 주간의 8시간을 작업시간으로 설정하고 있다.

5) 유회수기 유효회수용량

해상방제활동에서 가장 직접적인 회수방법으로 국가별로 다소 차이가 있지만 구체적 기준이 없다. 우리나라는 어느 해역에서 사고가 발생하더라도 전국에 배치된 방제장비를 약 3일 이내에 사고지점에 동원하는 것을 기준으로 하고 있다.

장비보관장소에 따른 동원시간 차이는 별도로 고려하더라도 재난적 기름유출사고 시에는 모든 방제장비가 동원되지만, 작동환경(항내, 연안역, 외해, 강류역, 천수역 등), 기름의 물리적 특성, 방제선 운항 중 사용 가능 여부 등 사용환경에 따른 기종의 차이, 지역별 비축·보관할 비상용 최소량, 정비/보수 등으로 인한 동원상 제한 등을 고려한 동원율의 개념으로 33%를 적용하여 총유효회수용량을 식 (24)과 같이 산출된다.

$$TRC = T \times 3 \times 8 \times 0.2 \times 0.33 \quad (24)$$

- TRC : 유회수기 총유회수용량(kℓ 또는 ton)
- T : 유회수기 회수용량(명목용량)
- 3 : 해상방제일(day)
- 8 : 1일 작업시간(hour)
- 0.2 : 효율계수¹⁶⁾
- 0.33 : 장비동원률¹⁷⁾

6) 오일붐

오일붐의 소요수량 산정은 설치장소, 유막두께, 설치방식(J/U/V형, 해안 보호용)등으로 인해 일률적인 적용이 매우 어렵고, 각국마다 산정기준을 달리하고 있다. 우리나라는 방제기관에서 보유하고 있는 오일붐 중 오염 장소, 해·기상 상태 등이 고려된 동원율(0.5)을 적용해서 식 (25)와 같이 소요수량이 산정되어 있다.

$$TRB = OWRQ \times 2.5 \div 0.5 \quad (25)$$

- TRB : 오일붐 총 소요수량(m)
- $OWRQ$: 해상방제량
- 2.5 : 1톤당 소요수량¹⁸⁾
- 0.5 : 오일붐 동원률¹⁹⁾

16) 해상 및 기상상태, 유성찌꺼기에 의한 회수율 장애, 작업자의 미숙 운전, 에멀션 정도, 수온 등의 요인 포함

17) 유출유의 종류 및 물리적 특성의 변화, 작동환경(장소 및 해양기상조건 등), 선박에 설치 이용 여부, 전진용으로 이용가능 여부 등 유회수기 선택요인 고려

18) 유막 1cm 두께의 기름을 포위전장한 경우로 가정하면 500m의 오일붐으로 약 200톤을 포집할 수 있음.

19) 오염장소(항내, 외해 등) 및 수심 등의 지형적 조건과 해·기상상태에 따라 적합한 오일붐 선정을 감안

7) 임시저장탱크

우리나라 회수유 임시저장용량에 대한 기준은 미국(1일 유효회수용량 2배)과 캐나다(1일 유효회수용량 3배)에서 적용하고 있는 기준을 참고하여 1일 유효회수용량의 2배로 최소 소요용량이 산정되어 있다.

나) 해역별 위험도 유형 분석

1) 위험도 유형 개념

사고 빈도 및 결과 분석을 통해 산정된 5단계 수준의 위험도 매트릭스를 통해 5가지 유형으로 위험도 유형을 구분했다. 이를 통해 위험도의 특징을 분석하고, 기름유출사고의 유형을 정확하게 판단하고 해역별 특성에 맞는 대비·대응 전략을 통한 방제장비 배치 및 지원 전략을 수립할 수 있다.

대부분 위험은 사고빈도와 사고결과의 범위 내에서 다양하게 발생될 수 있는데, 항해 및 일반적 작업 중 실수로 인해 야기되는 결과로서 피해가 적은 사소한 문제(Minor problem)로 종료되거나, 사고해역뿐만 아니라 전국적인 관심이 집중되는 재난적 결과(Catastrophe result)로 이어질 수 있다. Fig. 27과 같이 보통 사소한 문제를 발생시키는 위험도는 사고빈도가 높고 사고결과는 낮은 유형을 보이고, 재난적 결과를 발생시키는 위험도는 사고빈도는 낮지만 사고결과는 높은 유형²⁰⁾을 보인다.

20) 한국산업안전보건공단(2010), 위험도 분석방법에 관한 지침

보통 사소한 문제(Minor)를 발생시키는 위험도는 재난적(Catastrophe) 결과를 발생시키는 위험도보다 빈도가 높아 잠재적인 위험도는 4가지 유형을 보임.

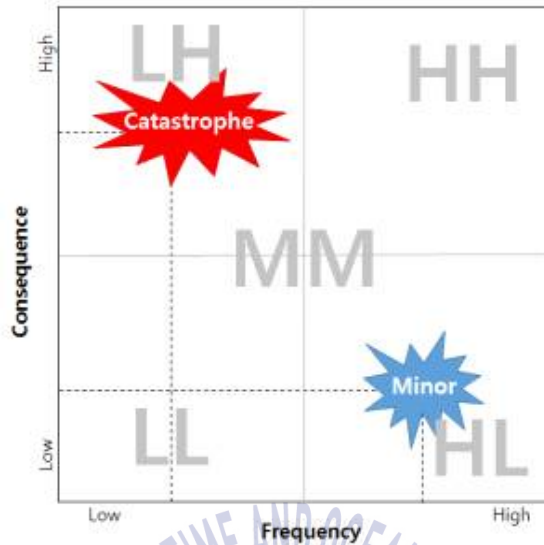


Fig. 27. Risk category

본 논문에서는 위험도 평가를 위해서 위험을 5가지 유형으로 정형화하여 평가했는데, 위험유형은 Table 27과 같이 발생빈도와 유출결과가 낮은 유형(LL유형), 발생빈도와 유출결과가 높은 유형(HH유형), 발생빈도와 유출결과가 중간인 유형(MM유형)과 함께 발생빈도는 낮지만 유출결과가 재난적인 유형(LH유형)과 발생빈도는 높지만 유출결과는 낮은 유형(HL유형)으로 구분했다.

Table 27. Risk category

Category	Feature
LH	Low frequency and High consequence
HH	High frequency and High consequence
HL	High frequency and Low consequence
LL	Low frequency and Low consequence
MM	Middle frequency and consequence

2) 위험도 유형 구분

만성적으로 위험의 발생빈도는 높으나 피해결과는 수준이 낮은 경우(HL 유형)에는 위험의 발생누적이 커지고, 장기간에 걸쳐 영향을 미치므로 장비배치시 기본적인 소요량으로 설정되어야 하고, 나아가 재난적인 결과를 발생시키는 사고에 초점을 맞춰 방제장비 배치전략이 수립되어야 한다.

또한 수년 또는 수십 년에 한번 발생하는 재난적 기름유출사고와 같이 특별한 경우(사고빈도는 극단적으로 적으며, 사고결과는 극단적으로 큰 경우)와 같이 재난적 결과를 발생시키는 위험도(LH유형)와 사소한 문제를 발생시키는 위험도(HL유형)를 분리하여 확인 및 분석해야 한다.

우선, 2006년부터 2015년까지 우리나라 해역의 기름유출사고 위험수준에 따라 위험도 유형을 분석했다. Fig. 28과 같이 1,376개(43×32)의 셀에서 위험이 전혀 없는 1,138개 셀 이외에 사고결과가 발생할 수 있지만 사고빈도는 없는 26개 셀과 사고빈도는 있으나 사고결과가 발생하지 않는 82개 셀이 고려된 6×6 위험도 매트릭스를 활용하여 위험도 유형을 분류했다.

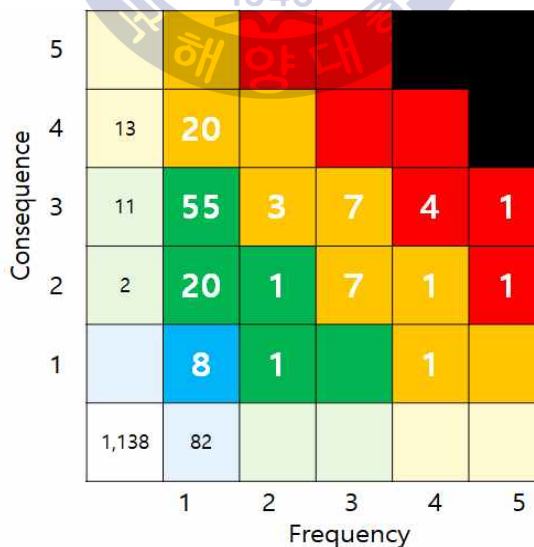


Fig. 28. Number of oil spill risk cells

위험도 매트릭스에서 산출된 위험 셀과 위험도 유형을 중첩해서 확인하면 Fig. 29와 같이 위험도 분석방법에서 제시한 위험도 유형과 유사한 우하향 유형을 보인다.

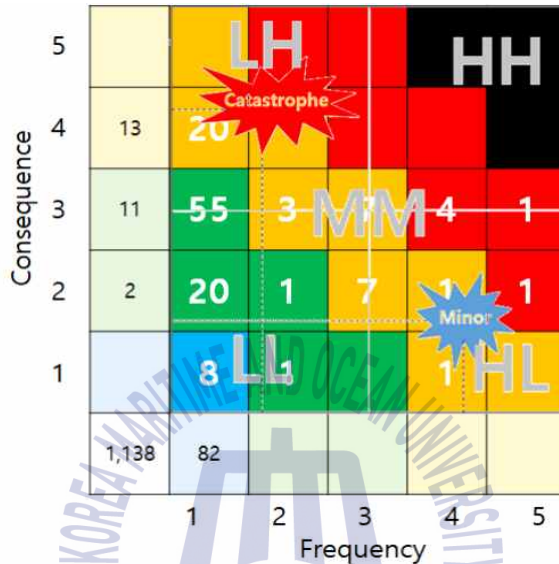


Fig. 29. Overlap of risk cells and category

위험도 유형을 구분하기 위해 먼저 사고빈도와 사고결과가 높은 15점에서 25점까지의 위험도를 가진 HH유형과 사고빈도와 사고결과가 낮은 1점에서 4점까지의 LL유형을 설정했다. 그 외에 좌측 상단부터 우측 하단까지 이르는 우하향에 속한 4점부터 12점까지의 위험도 산출시 사고빈도 및 사고결과 중 점수에 영향을 많이 끼친 비중을 기반하여 LH, HL, MM유형을 선정했다.

사고빈도는 높고 사고결과는 낮은 HL유형과 사고빈도는 낮고 사고결과는 LH유형은 양 끝단에 위치한 4점부터 12점까지 위험도를 가진 각각 4개 범위와 그 가운데 위치한 6점부터 12점까지의 5개 범위를 MM유형으로 선정했으며, 선정된 각 범위를 25개의 매트릭스 위험도에 대한 위험도 카테고리를 구분하여 표현하면 Fig. 30과 같이 구성되며, 기름유출사고의

대비 및 대응에 필요한 심각성을 고려하여 검정(회색)(HH) - 빨강(분홍)(LH) - 주황(MM) - 초록(연두)(HL) - 파랑(연청)(LL)의 5단계로 구분했다. MM유형을 제외하고 위험도에 대한 시각적인 전달을 명확하게 하기 위해 나머지 4개 유형의 색깔은 각 유형에서 채도를 달리했다.

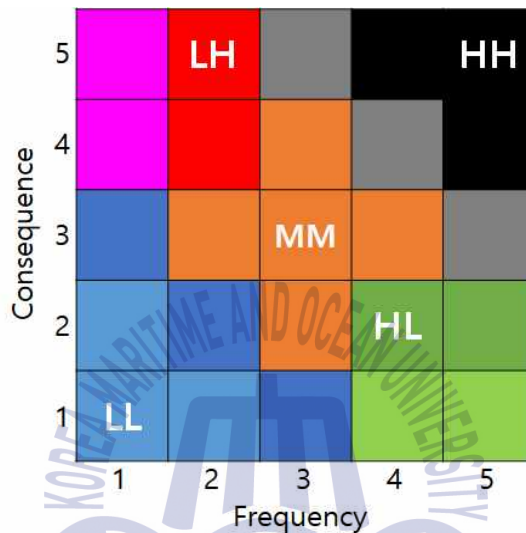


Fig. 30. Risk category type

사고빈도와 사고결과가 모두 높은 HH유형은 재난적 기름유출사고가 발생할 수밖에 없는 해역임을 인지하고 그에 상응하는 방제장비를 갖춰야만 한다. 그리고 사고빈도가 낮아서 쉽게 지나칠 수 있으나, 사고결과가 매우 높아 발생한 기름유출사고가 재난적 피해로 확산될 수 있는 가능성이 매우 높은 LH유형에 유의해야 한다. LH유형 역시 HH유형과 마찬가지로의 대비 및 대응 수준을 갖추는 것이 기름유출사고로 인해 피해를 최소화 시킬 수 있는 전략이 필요하다.

3) 위험도 유형 산출

사고빈도와 사고결과에 대한 위험도 매트릭스 분석을 통해 산출된 위험도를 기초하여 위험도 유형을 분석했다. Fig. 31과 같이 주요 항만을 중심

으로 HH유형의 위험이 나타났으며, 14해역 모두 사고빈도 매우 높은 Level 5이며, 그에 따른 사고결과도 Level 3에 이르는 유형으로 확인되었다. 그리고 그 주변 해역에 걸쳐 사고빈도는 Level 0 또는 1로 매우 낮지만 사고결과는 Level 3 또는 4로 높은 위험을 가진 LH유형이 상당히 분포되어 있다.

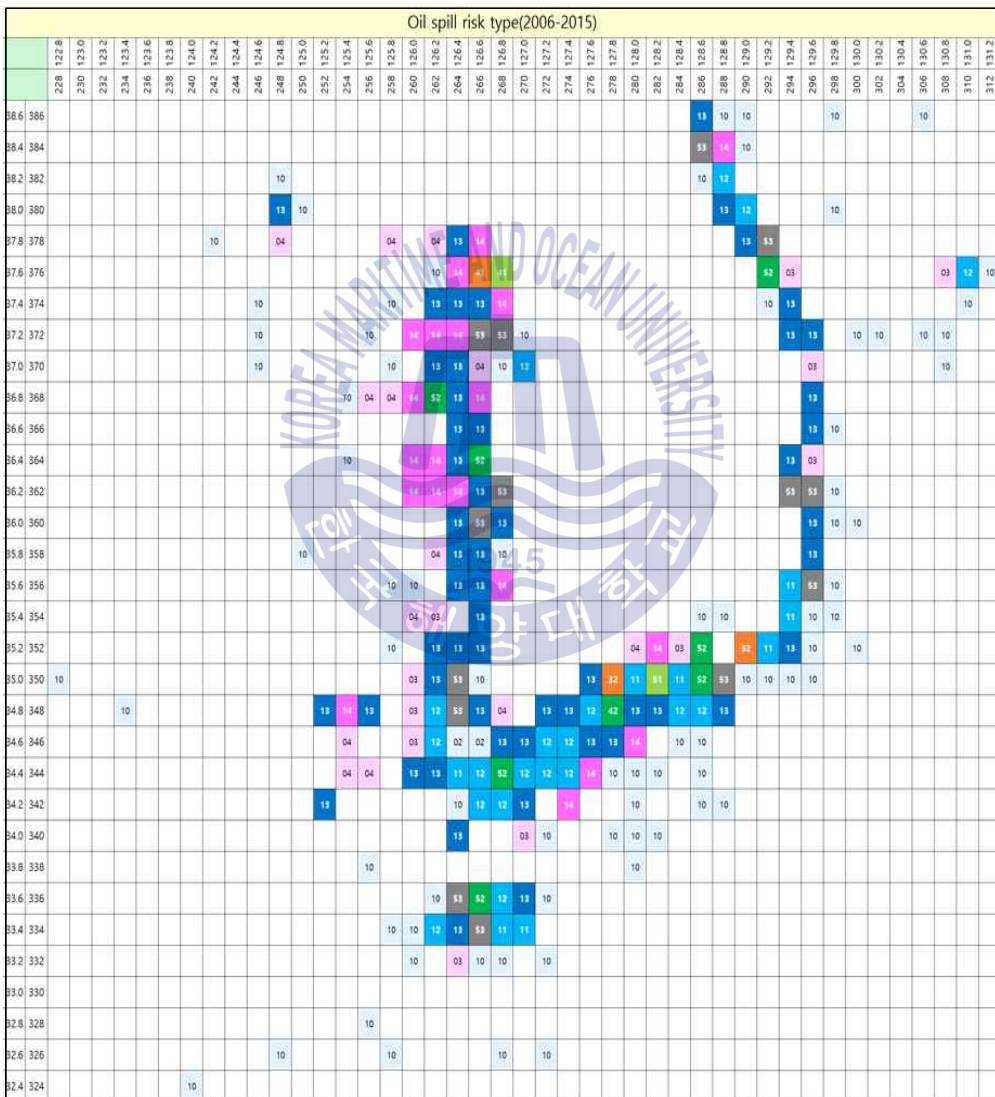


Fig. 31. Oil spill risk category(2006-2015)

위험도 유형을 매핑하면 Fig. 32와 같이 확인할 수 있다. 매우 높은 위험도를 보인 HH유형은 서해(인천, 군산, 목포), 남해(제주, 서귀포, 거제도), 동해(울산, 포항, 동해, 속초)의 주요 항만 해역에서 나타났고, 서해 및 남해 도서 해역에서는 사고빈도는 낮지만 사고결과는 높은 LH유형을 확인할 수 있다.

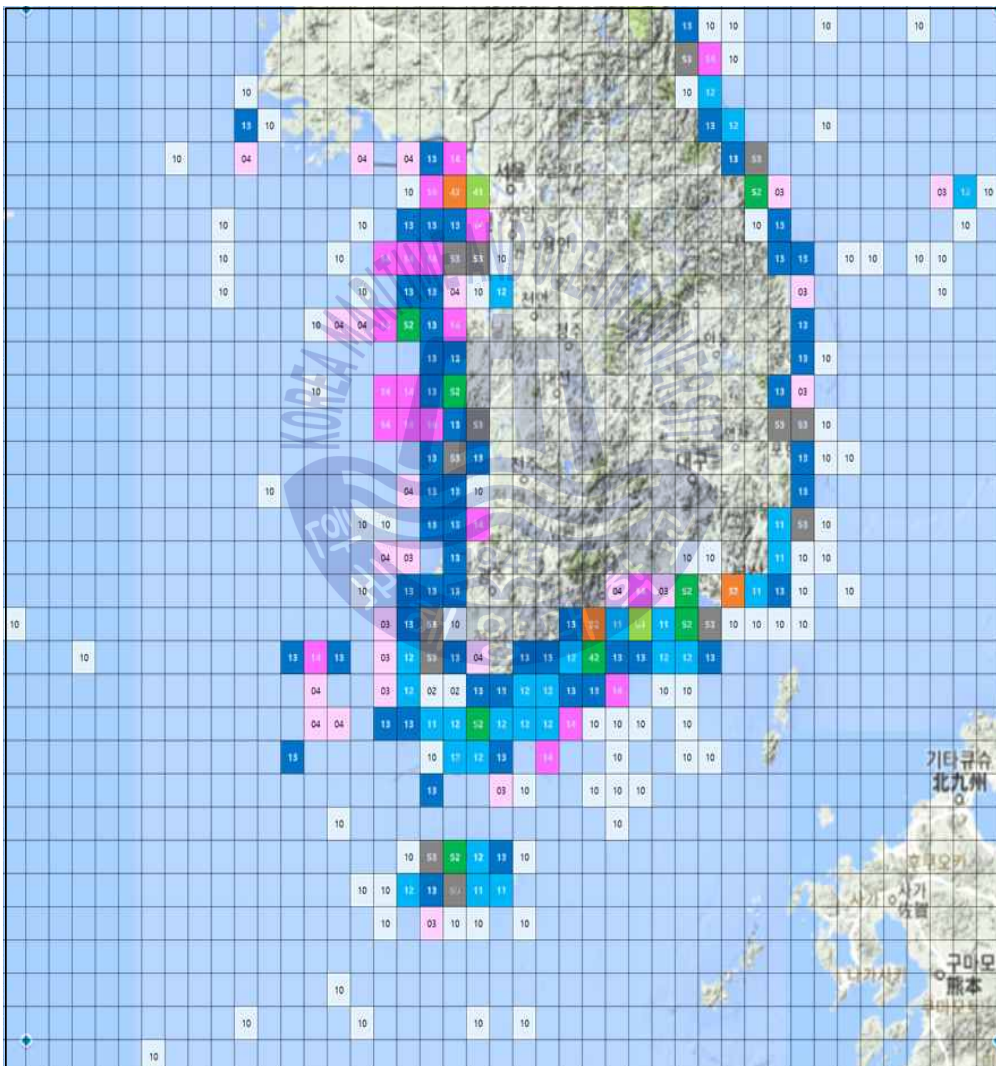


Fig. 32. Oil spill risk category on map(2006-2015)

위험도 유형에 따라 각 해역별 위험도 잠재적 가중치(Risk potential weight)를 산정하여 해역의 위험도를 산출한다. 위험도 잠재적 가중치는 Table 28과 같이 10단계로 0점에서 5점까지 0.5점으로 균등하게 구분했다. 그러나 단계별 점수는 절대적인 값은 아니며, 2.0점(연두) 해역이 4.0점(빨강) 해역보다 50% 덜 위험하다는 의미는 아니다.

해역별 위험도 잠재적 가중치는 각 해역에서 나타난 위험도 해역을 위험도 유형에 따라 계수하여 총점수를 사고해역 개수로 나눈 후 백분위하여 식 (26)과 같이 산출한다.

$$RPW = \frac{\sum(C \times n)}{N} \quad (26)$$

- RPW : 위험도 잠재적 가중치
- C : 위험도유형 점수
- n : 위험도유형 수량
- N : 권역별 총 위험도 수

Table 28. Risk potential weight

Area	Color	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Cell	Point	RPW
	Risk	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0			
W1	Incheon	6	1	5	-	-	1	6	-	-	-	19	1.87	31.04
W2	Daesan	7	1	5	-	1	2	8	-	-	-	24	2.02	33.57
W3	Gunsan	5	-	8	-	1	1	7	-	1	-	23	2.13	35.39
S1	Mokpo	6	3	12	-	-	2	9	-	-	-	32	1.92	31.51
S2	Wando	2	6	4	-	-	1	2	-	-	-	15	1.53	25.14
S3	Yeosu	8	7	6	1	-	1	6	-	-	-	29	1.59	26.01

Area	Color	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Cell	Point	RPW
	Risk	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0			
S4	Jeju	16	4	2	-	-	3	1	-	-	-	26	1.06	17.34
E1	Tong young	7	1	2	-	-	3	-	-	-	-	13	1.27	19.71
E2	Busan	7	2	1	-	-	-	-	-	-	-	10	0.70	10.87
E3	Ulsan	3		2	-	-	1	-	-	-	-	7	1.21	18.85
E4	Pohang	3	-	3	-	-	2	2	-	-	-	10	1.90	29.50
E5	Donghae	13	3	6	-	-	3	3	-	-	-	28	1.36	21.07

*A : Light blue, B : Blue, C : Dark blue, D : Yellow green, E : Green, F : Orange, G : Pink, H : Red, I : Gray, J : Black

위험도 기반의 해상방제장비를 배치하기 위해 우리나라에서 도입하고 있는 지역방제시스템과 함께 해역별 위험도 유형에 따라 설정하고 이에 필요한 고려항목을 정리하면 Table 29와 같다.

Table 29. Marine response resource consideration item based on oil spill risk

Item		Response	Note
Risk level		Risk category(Lv.5)	
Recovery volume on sea		15,000kℓ	$45,000 \times \frac{1}{3}$
Working day		3	
Working hour per day		8	
Oil skimmer	Rate	Efficiency coefficient (0.2)	
	Behavior rate	0.33	
	Number of deployment	Separately	
Oil boom		$\text{Marine response} \times 2.5 \div 0.5$	
Temporary storage		$\text{Recovery volume per day} \times 2$	

4.2.3 위험도 기반 해상방제 장비배치 소요수량 산출

가) 권역별 방제장비 동원방법

권역 내에서 최대 기름유출사고 발생 시 전국의 방제장비를 단계별로 동원하여 해상방제 작업일 동안 해상방제를 통해 해상회수계획량 전량을 회수한다는 목표를 달성하기 위하여 한정된 해상방제장비(방제선, 유회수기, 오일붐, 임시저장탱크 등)이 필요할 때 효과적으로 투입 및 동원될 수 있도록 자원을 배치할 수 있는 소요수량을 산출했다.

우리나라에서 선박의 출입항 척수가 비교적 많은 동해, 포항, 울산, 부산, 마산(진해 및 고현 포함), 여수(광양 및 여천 포함), 목포, 군산, 대산, 평택·당진, 인천 및 제주항 등 12개 항을 중심으로 3개 권역으로 구분하여 지역방제체제를 구축하고 있다.

본 논문에서도 우리나라 지역방제체제를 기반으로 하여 서해권은 대산항을 중심 항구로 인천부터 대산까지 32해리, 대산에서 군산까지 99해리로 구분했고, 남해권²¹⁾은 여수항을 중심 항구로 여수부터 목포까지 151해리, 여수부터 서귀포까지 122해리로 구분했다. 동해권은 울산항을 중심항구로 울산부터 통영까지 92해리, 울산에서 속초까지 191해리로서 5~10knots의 방제선이 1일 내 도착할 수 있는 거리²²⁾를 고려하여, 각 지역을 오염방제 책임기관인 해양경찰서를 중심으로 재편성한 후, 각 지역의 중심 항만과의 거리를 감안하여 Table 30과 같이 3개 권역으로 분류했다.

21) 이 구역은 남해중부에서 서부 해역에 해당하지만, 본 연구에서는 남해권으로 분류함.

22) 국립해양조사원, 해상거리(<http://www.khoa.go.kr/kcom/cnt/selectContentsPage.do?cntId=31307000>)

Table 30. Regional division of ports

Regional	Main port	Area
West	Daesan	Incheon, Taean, Daesan, Pyoungtaek, Gunsan
South	Yeosu	Mokpo, Wando, Yeosu, Jeju, Seogwipo
East	Ulsan	Tongyoung, Masan, Busan, Ulsan, Pohang, Donghae, Sokcho

우선 3개 권역으로 구분된 각 해역에서 기름유출사고가 발생하여 각 지역별 방제활동으로 무리가 있는 것으로 판단되면 사고발생 당일 해당 권역의 방제장비가 동원되고, 2일차에는 근거리에서 있는 권역의 방제장비가 동원되며, 3일차에는 원거리 권역의 방제장비까지 동원되어 3일간의 해상방제 작업일 동안 목표한 해상방제량을 회수할 수 있다.

나) 권역별 해상방제장비 배분

해상방제장비는 3개 권역별 최대 유출량을 산출하여 권역의 최대유출량 중 1/3을 해상기름회수계획량으로 산출했다. 각 해역별 산출값을 합산하여 권역의 총 용량을 산정할 수 있지만, 권역별 최대 해상기름회수계획량을 기반으로 유회수기 기름회수용량, 오일붐 소요량, 임시저장탱크 소요량을 산출했다.

유회수기 회수용량은 해상기름회수계획량과 동일한 유효기름회수용량에 해상방제일(3일), 1일 작업시간(8시간), 효율계수(0.2), 장비동원율(0.33)을 반영하여 산출하는데, 우선 해상기름회수계획량을 각 해역을 산출하여 합산한 값이 아닌 권역 중 최대 해상기름회수계획량(최대유출량의 1/3인 15,000kℓ)을 산출한 후 회수계획량을 전국에 지역적으로 배치된 방제장비가 사고발생 후 사고권역은 1일째부터 3일째까지, 근거리 권역은 2일째부

터 3일째까지, 원거리 권역은 3일째에 권역별로 사고해역으로 동원되기 때문에 권역별 해상기름회수계획량은 7,500kℓ²³⁾가 된다. 권역별 회수계획량에 각 지역별 위험도를 반영하여 백분위 정규화를 통하여 식 (27)과 같이 지역별 해상기름회수계획량을 산출한다.

$$ATR = \frac{w_R \cdot RTR}{100} \quad (27)$$

- ATR : 지역별 해상기름회수계획량(kℓ or ton)
- w_R : 위험도 가중치
- RTR : 권역별 해상기름회수계획량(kℓ or ton)

오일붐 소요량은 유출사고 초기부터, 기름회수작업이 완료되는 종료시점까지 해당 작업을 위해 계속 설치해 두지 않으면 유막의 확산이동으로 인해 기름회수작업이 어렵게 되기 때문에, 다른 권역의 오일붐 동원은 배제하고 권역별로 해당 권역의 최대유출사고에 대응할 수 있도록 최대 해상기름회수계획량, 기름 1톤당 소요수량, 동원율을 고려한 현행 기름회수용량 산출방식과 동일하게 산출했다.

임시저장탱크 용량은 해역별 유회수기 기름회수용량을 기반으로 1일 유효기름회수용량을 산출하고, 회수된 기름과 함께 회수 시 포함되는 다량의 해수를 고려한 2배의 용량을 적용한 현행 회수기름 임시저장용량 산출방식과 동일하게 산출했다.

23) 최대 해상기름회수계획량인 15,000kℓ를 사고해역(3일), 근거리해역(2일), 원거리해역(1일)에서 동원된 방제장비로 전량 회수하기 위해서 사고해역에서는 15,000kℓ÷6일(총작업일수)×3일, 근거리해역은 15,000kℓ÷6일(총작업일수)×2일, 원거리해역은 15,000kℓ÷6일(총작업일수)×1일에 해당하는 방제장비를 대비함에 따라 권역별 해상기름회수계획량은 사고해역에 해당하는 7,500kℓ가 됨.

1) 서해권

인천, 대산·태안·평택, 군산으로 구분되는 서해권에서는 대산·태안·평택 해역에서 45,000kℓ이며 유회수기 기름회수용량은 권역별 해상기름회수장비 소요량인 7,500kℓ로 서해권 해상기름회수계획량 15,000kℓ의 50%에 해당하며, 나머지 50%는 근거리 및 원거리 권역의 지원을 받아야 한다.

해역별 기름회수용량을 최대유출량으로는 대산·태안·평택 해역에 단연 많은 소요량이 필요하지만, Fig. 33과 같이 기름유출사고 위험도 분포를 확인해 봤을 때 W2권역의 대산·태안·평택 해역뿐만 아니라 W3해역(군산)은 최대유출량은 많지는 않지만 사고빈도는 낮고 사고결과는 높은 LH유형(분홍)의 해역이 다수 포함되어 향후 기름유출사고 발생시 피해 규모가 클 것으로 예상되는 해역이 다수 포함되어 있다.

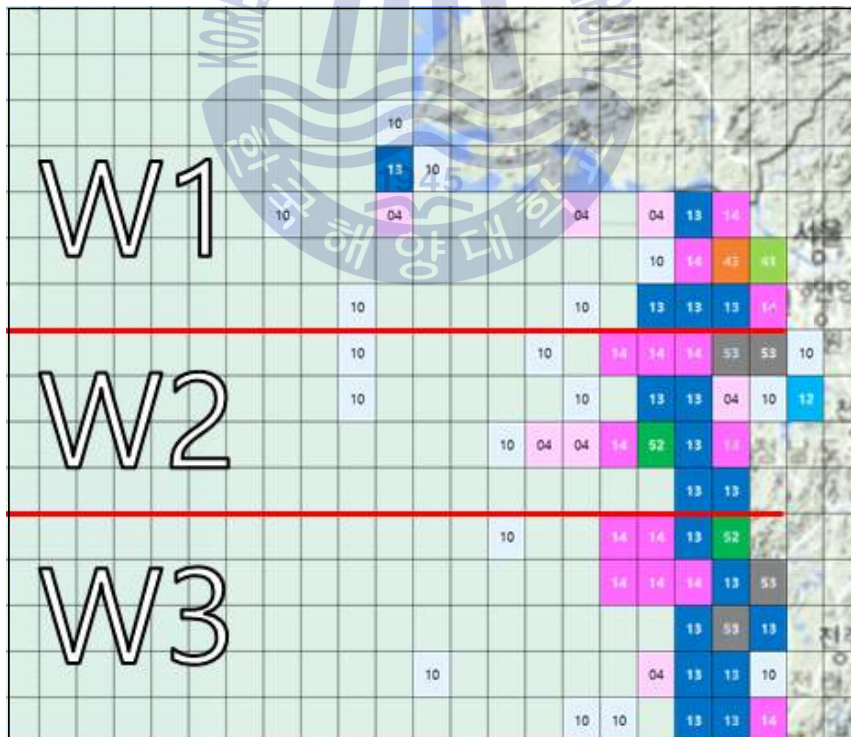


Fig. 33. Risk category of west

해역의 위험도 잠재적 가중치(Risk potential weight)를 고려하여 Table 31과 같이 유회수기 회수용량은 W1 2,328kl, W2 2,518kl, W3 2,654kl로 산출됐다. 그리고 임시저장탱크 소요량(m³)은 5,000kl로 산출되었고, 권역 유회수기 기름회수용량은 3일간 회수하는 용량이지만 임시저장탱크는 회수된 기름과 함께 유성혼합수를 24시간 계속해서 회수된 기름을 저장할 수 있는 1일 유효기름회수용량에 적어도 2배를 저장할 수 있도록 배분하여 W1 1,552m³, W2 1,679m³, W3 1,770m³로 산출했다. 오일붐 소요량(m)은 서해권 최대유출량인 45,000kl를 대응할 수 있도록 해상기름회수계획량 100%를 고려하여 W1 23,279m, W2 25,178m, W3 26,543m로 배분했다.

Table 31. Required on-water response equipments in West region

Area	Max. spilled volume	Recovery planning volume	Recovery capacity (kl)	Oil boom (m)	Temporary storage capacity (m³)
Incheon(W1)	8,500	2,833	2,328	23,279	1,552
Daeasn · Taeann · Pyoungtaek(W2)	45,000	15,000	2,518	25,178	1,679
Gunsan(W3)	3,800	1,267	2,654	26,543	1,770
Sum(Max.)	(45,000)	(15,000)	7,500	75,000	5,000

2) 남해권

목포, 완도, 여수, 제주 · 서귀포로 구분되는 남해권은 여수 해역에서 45,000kl의 최대유출량이 산출되었고, 이를 기초한 해상기름회수계획량은 15,000kl로 나타났다. 유회수기 기름회수용량은 권역별 해상기름회수장비 소요량인 7,500kl로 남해권 해상기름회수계획량 15,000kl의 50%에 해당하며, 나머지 50%는 근거리 및 원거리 권역의 지원을 받아야 한다.

해역별 기름회수용량을 최대유출량으로서는 여수 해역에 단연 많은 소요

량이 필요하지만, Fig. 34와 같이 기름유출사고 위험도 분포를 확인해 봤을 때 S3권역의 여수 해역뿐만 아니라 S1해역(목포)은 최대유출량은 많지는 않지만 사고빈도는 낮고 사고결과는 높은 LH유형(분홍)의 해역이 다수 포함되어 향후 기름유출사고 발생시 피해 규모가 클 것으로 예상되는 해역이 다수 포함되어 있다.

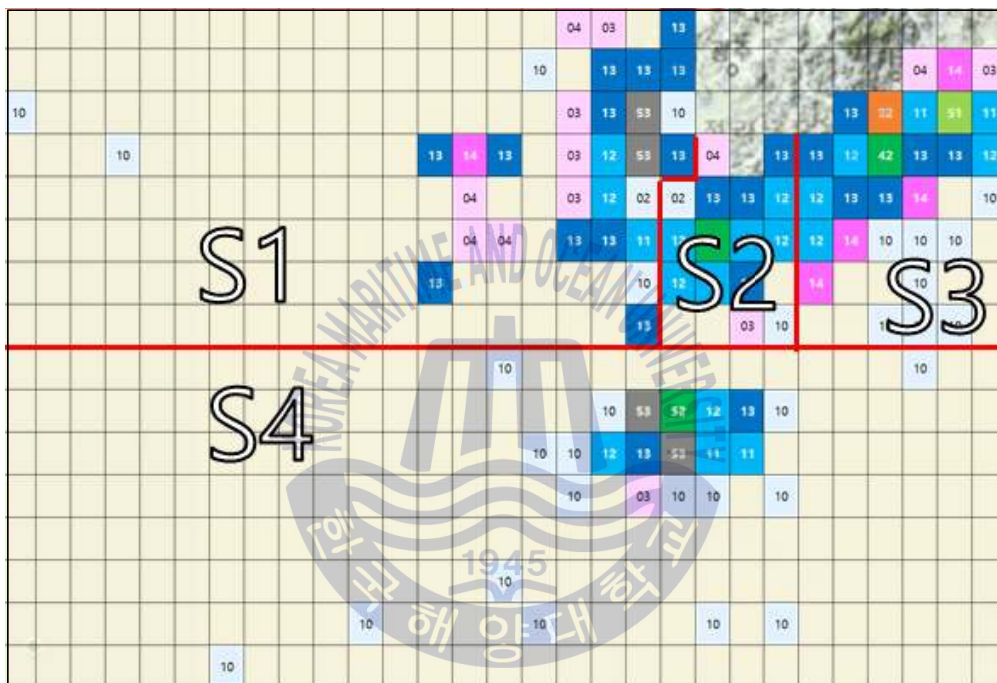


Fig. 34. Risk category of south-west

해역의 위험도 잠재적 가중치(Risk potential weight)를 고려하여 Table 32와 같이 유회수기 회수용량은 S1 2,363kℓ, S2 1,886kℓ, S3 1,951kℓ, S4 1,301kℓ로 산출됐다. 그리고 임시저장탱크 소요량(m³)은 5,000kℓ로 산출되었고, 권역 유회수기 기름회수용량은 3일간 회수하는 용량이지만 임시저장탱크는 회수된 기름과 함께 유성혼합수를 24시간 계속해서 회수된 기름을 저장할 수 있는 1일 유효기름회수용량에 적어도 2배를 저장할 수 있도록 배분하여 S1 1,576m³ S2 1,257m³, S3 1,300m³, S4 867m³로 산출했다.

오일붐 소요량(m)은 남해권 최대유출량인 45,000kl를 대응할 수 있도록 해상기름회수계획량 100%를 고려하여 S1 23,633m, S2 18,855m, S3 19,505m, S4 13,006m로 배분했다.

Table 32. Required on-water response equipments in South region

Area	Max. spilled volume	Recovery planning volume	Recovery capacity (kl)	Oil boom (m)	Temporary storage capacity (m ³)
Mokpo(S1)	8,500	2,833	2,363	23,633	1,576
Wando(S2)	600	200	1,886	18,855	1,257
Yeosu(S3)	45,000	15,000	1,951	19,505	1,300
Jeju, Segwipo(S4)	800	267	1,301	13,006	867
Sum(Max.)	(45,000)	(15,000)	7,500	75,000	5,000

3) 동해권

통영·마산, 부산, 울산, 포항, 동해·속초로 구분되는 동해권은 울산 해역에서 45,000kl의 최대유출량이 산출되었고, 이를 기초한 해상기름회수 계획량은 15,000kl로 나타났다. 유회수기 기름회수용량은 권역별 해상기름 회수계획량인 7,500kl로 동해권 해상기름회수계획량 15,000kl의 50%에 해당하며, 나머지 50%는 근거리 및 원거리 권역의 지원을 받아야 한다.

해역별 기름회수용량을 최대유출량으로는 울산 해역에 단연 많은 소요량이 필요하지만, Fig. 35와 같이 기름유출사고 위험도 분포를 확인해 봤을 때 E1, E4, E5해역에서 사고빈도와 사고결과 위험이 높은 HH해역이 주요 항만을 중심으로 나타났다.

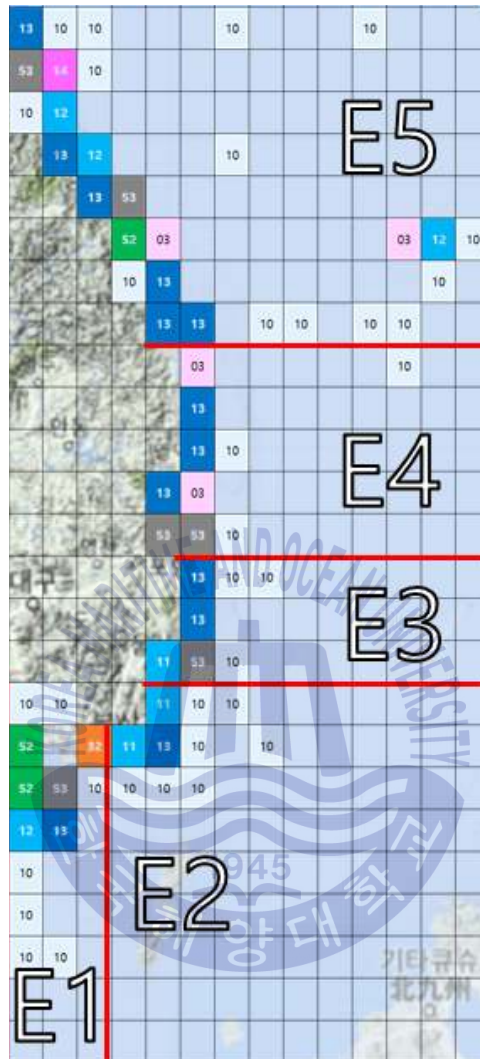


Fig. 35. Risk category of East

해역의 위험도 잠재적 가중치(Risk potential weight)를 고려하여 Table 33과 같이 유희수기 회수용량은 E1 1,478kℓ, E2 815kℓ, E3 1,414kℓ, E4 2,213kℓ, E5 1,580kℓ로 산출됐다. 그리고 임시저장탱크 소요량(m³)은 5,000 kℓ로 산출되었고, 권역 유희수기 기름회수용량은 3일간 회수하는 용량이지만 임시저장탱크는 회수된 기름과 함께 유성혼합수를 24시간 계속해서 회수된 기름을 저장할 수 있는 1일 유효기름회수용량에 적어도 2배를 저

장할 수 있도록 배분하여 E1 985m³, E2 543m³, E3 943m³, E4 1,475m³, E5 1,054m³로 산출했다. 오일붐 소요량(m)은 동해권 최대유출량인 45,000kl를 대응할 수 있도록 해상기름회수계획량 100%를 고려하여 E1 14,780m, E2 8,151m, E3 14,140m, E4 22,125m, E5 15,804m로 배분했다.

Table 33. Required on-water response equipments in East region

Area	Max. spilled volume	Recovery planning volume	Recovery capacity (kl)	Oil boom (m)	Temporary storage capacity (m ³)
Tongyoung · Masan(E1)	1,600	533	1,478	14,780	985
Busan(E2)	10,000	3,333	815	8,151	543
Ulsan(E3)	45,000	15,000	1,414	14,140	943
Pohang(E4)	800	267	2,213	22,125	1,475
Donghae · Sokcho(E5)	500	167	1,580	15,804	1,054
Sum(Max.)	(45,000)	(15,000)	7,500	75,000	5,000

4.3 위험도기반 해상방제 의사결정지원 분석

4.3.1 위험도 기반 해상방제 의사결정지원 개념

가) 의사결정지원

의사결정이론은 1950년대 후반 Herber A. Simon에 의해 최초로 제안된 개념으로서 경영에 있어서 결정자가 문제해결을 위해 가장 적합한 대안을 선택하는 이론이다. 의사결정권자는 주어진 상황과 환경 속에서 해야 할 것과 하지 말아야 할 것을 결정해야 하고, 그 결정에는 기술적인 내용도 중요하지만 규범적이나 당위적인 측면도 고려되어야 한다.

전통적으로 의사결정이론에서는 인간의 의사결정과정은 매우 논리적인 과정으로 대안들 간의 가중치와 우선순위를 정하여 기대효용(Expected utility)을 극대화하는 대안을 선택하는 것으로 받아들여졌다. 그러나 합리적 의사결정이론들이 인간의 인지능력의 한계를 고려하고 있지 못하며, 극히 제한적인 가정에 근거하여 논리를 전개함으로써 현실세계의 의사결정에 이용 가능한 접근법이나 방법을 제시하지 못하고 있다는 합리적 의사결정이론에 한계를 지적했다. 결국, 인간은 불확실성 하에서 확률이론의 법칙에 따라 판단하기 보다는 휴리스틱(Heuristic)²⁴⁾에 의존하여 매우 단순하고 신속한 판단을 하는 존재이다.(재인용 Kim, 2014)

Dror가 주장한 최적모형에서 최적(Optimum)이란 “모든 것이 고려되어 있다.”란 뜻으로 가장 좋은 상태를 뜻으로 진정한 가장 좋은 상태를 의미한다. Dror는 의사결정에 있어서 비록 그것이 비현실적인 것이라 해도 언제나 이상을 갖고 가능성의 영역을 부단히 개척하여 합리적 요인 또는

24) 사람들이 의사결정을 내릴 때 단순화전략, 즉 주먹구구에 의존하게 되는데 이런 단순화 전략을 휴리스틱이라 부름. 휴리스틱은 우리판단을 암묵적으로 제어하는 표준규칙으로서 의사결정을 둘러싼 복잡한 환경에 대처하는 수단으로 역할을 수행함.

국면을 확대 및 발전시켜 평가와 진단을 계속하여 최적 수준에 도달하는 방법이라고 했다.(재인용, 세종시 소방본부, 2014)

상황에 대한 확실성, 위험성, 불확실성 등을 고려해서 의사결정이 이뤄지는데, 기름유출사고에 있어서 예전에는 발생결과에 대해 아무런 정보가 없는 불확실성 가운데 의사결정권자가 결정을 내렸어야 했지만, 현재에는 수많은 정보가 의사결정권자에게 전달된다. 그러나 하나의 의사결정을 위해 결과발생에 너무나 많은 경우를 고려해야하기 때문에 이 중 최선의 결과가 얻어지는 것이 무엇인지를 판단하기가 어려워졌다. 결국, 넘치는 정보를 토대로 선택된 결과가 최선의 결과가 얻어지는 경우에는 문제가 없지만, 최악 또는 피해가 큰 결과가 얻어지는 경우에는 또 다른 피해가 일어날 수 밖에 없다.

기름유출사고에서도 의사결정권자는 방제세력을 효과적으로 운용하기 위해 수많은 상황에서 의사결정을 내리게 된다. 그러나 방제장비, 시간, 권한, 정보수집 등은 매우 제한적이며, 경험부족과 계급구조에 의한 제약이 따른다. 특히 재난적 기름유출사고와 같이 대형이며, 전국민적 관심이 집중되는 사고의 경우 의사결정권자는 더욱 많은 상황적·심리적 상황들에 대한 의사결정에 있어서 제약요인들이 발생한다.

기름유출사고 시 의사결정권자가 현장에서 마주할 시·공간적 변화는 불확실하다. 이는 사고초기에는 사고정보가 부족한 상황에서 방제활동을 개시하면서 수정되는 가운데 상황판단의 오류와 전략수행의 과오가 발생될 수 있으며, 아무리 치밀한 대비대응 전략이 수립되어 있을지라도 하찮은 몇 개의 환경변화로 전혀 다른 전략수립이 필요한 사고로 전개될 수 있다. 의사결정권자는 한정된 인적·물적 자원으로 사고에 대응해야 하므로 사고상황의 전체적인 측면에서 시공간적으로 상대적 우위를 점하기 어렵기 때문에 신속하고 적절한 의사결정은 더욱 중요하게 된다.

나) 위험도 기반 해상방제 의사결정지원

기름유출사고가 발생하면 광범위한 조직 및 담당자에게 다양한 의사결정을 요구하게 되고 사고현장에서는 더욱 신속하고 긴박하게 진행된다. 의사결정권자가 진행상황을 판단할 수 있는 충분한 능력과 정보가 준비되어 있으면, 즉각적으로 적절한 방제활동을 실시할 수 있다. 그러나 넘쳐나는 정보와 함께 신속한 판단을 결정해야 하는 상황 가운데 유출 위험성을 판단하고 유출결과를 예측할 수 있는 위험도를 평가하고, 방제작업의 역할, 절차, 책임을 수립하는 방제작업 및 전략 수립 등을 효과적으로 진행하기에는 어려움이 따른다.

따라서 본 논문에서는 앞 장에서 산출된 위험도 및 매핑 데이터에 기초하여 사고해역 및 주변해역의 위험도와 위험요인을 통해 오염사고현장에서는 방제우선순위 결정, 민감지역 사전보호 결정과 대비계획수립 시 방제장비 소요수량 산정, 지역별 방제장비 배치 결정, 방제정책 및 계획 수립, 방제훈련에 효과적으로 의사결정에 지원하고자 한다.

4.3.2 해상방제 의사결정지원 데이터베이스 구축

가) 데이터베이스 구축방안

해상방제 의사결정지원 데이터는 기름유출사고 시 의사결정권자가 신속하고 효율적으로 의사를 결정할 수 있도록 Fig. 36과 같이 해역별로 사고빈도 및 사고결과 위험요인이 분석된 위험도를 기반한 정보를 활용하여 기름유출사고 위험도 매핑데이터에서 사고해역과 주변해역에 대한 위험요인을 시각화하여 의사결정을 지원한다.

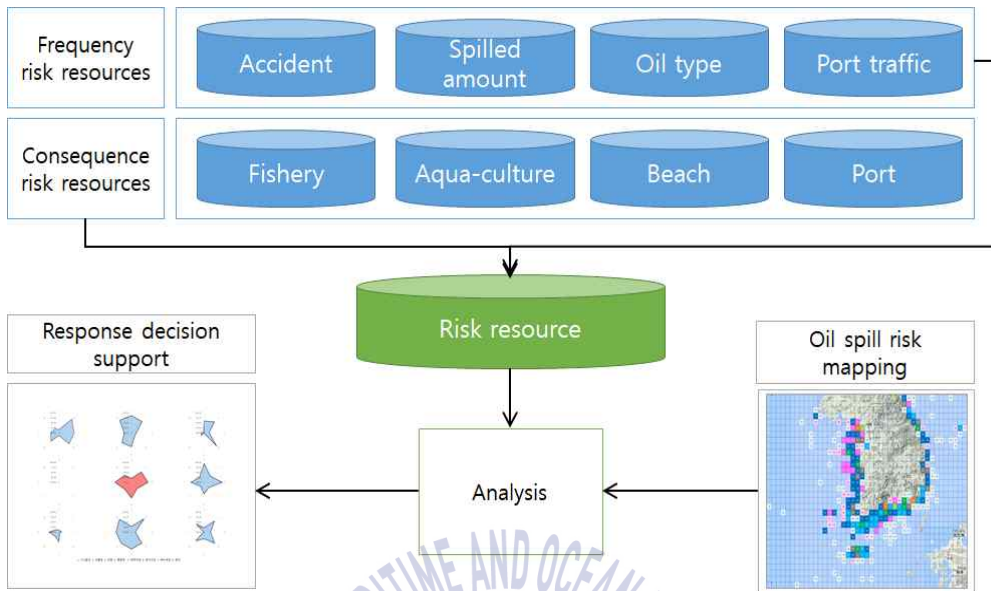


Fig. 36. Module database scheme

기름유출사고가 발생하면 사고의 규모에 따라 대응조직이 편성되고 효율적인 방제활동을 위해 확산모델링, 위성자료, 현장상황 데이터, 해안평가자료 등 자세하고 매우 많은 정보들이 실시간으로 제공된다. 그럼에도 불구하고 의사결정권자가 그 정보들을 하나의 결론을 도출하기까지 시간과 노력이 필요하기 때문에 다양한 정보를 다양한 방제상황에 적용하기에 앞서 위험도 평가 및 매핑에 기반하여 사고해역 및 주변해역의 해역상황을 간단하게 인지할 수 있도록 하여 신속한 의사결정 지원이 이뤄질 수 있도록 설계했다.

나) 위험도 데이터베이스 프로세스

의사결정지원 데이터는 해상방제 장비배치기준에서 위험도를 평가하여 도출된 사고빈도 위험과 사고결과 위험을 통합한 복합지수모델을 통해 산출된 위험요인 데이터를 추출 및 가공하여 의사결정지원 데이터로 활용된다. 데이터 구축과정에서 의사결정에 필요한 각 위험요인은 표준점수로

변환되어 백분위 정규화를 통한 정량적 기초 데이터로 저장되고, 연도별 각 위험요인 데이터가 사용된다.

1) 기초변수 생성

해역별 위험도 평가를 위한 사고빈도위험도와 사고결과위험도 산출에 사용된 사고빈도 위험요인의 사고발생건, 유출량, 유종, 통항량 요인과 사고결과 위험요인의 해면어업, 양식어업, 해수욕장, 항만 요인을 기초변수를 생성했다.

2) 기초변수의 표준점수 변환

생성된 기초변수는 사고발생에 따라 건(개, 척, 건), 사고결과에 따라 화폐금액(원) 등 변수의 성격이 다르기 때문에 평균과 표준편차를 이용해 표준정규분포가 될 수 있도록 표준점수로 표준화했다.

3) 요인별 백분위 정규화

표준화된 기초변수는 평균값 0을 기준으로 값이 분포되어 있어서 지수로서 이해가 어렵기 때문에 목표값을 설정하고 이를 백분위 정규화를 통해 0부터 100까지의 점수로 변환한다. 앞서 산출된 각 요인별 평가점수가 목표값의 최대 및 최소범위 안에 포함시켜 현실성을 강화하기 위해 해당 연도부터 최근 3년의 범위를 설정하고 2006년부터 2015년까지 최대 및 최소 목표값을 산출했다.

4) 요인별 최종값 산출

산출된 최대 및 최소 목표값 범위 내에서 백분위 정규화된 요인별 최종값이 산출되며, 요인별 값은 클수록 위험도가 높다.

4.3.3 해상방제 의사결정지원 프로세스

의사결정지원 프로세스는 의사결정권자가 신속하고 효율적인 방제전략을 수립할 수 있도록 외부에서 제공되는 실시간 통합정보와 더불어 해역의 위험도를 기초하여 최적의 대안을 선택할 수 있도록 의사결정을 지원하는 프로세스이다.

이 프로세스를 활용할 경우, 의사결정권자는 방제활동에 필요한 현장상황 및 예측모델, 동원세력 등 엄청난 양의 데이터를 통합하여 제공받게 되는데 제공받은 데이터 중 가장 먼저 확인하고 결정해하는 사고 해역 및 주변 해역의 위험도를 기초하여 비교/교차 확인이 가능할 수 있도록 위험 및 우선보호 정보를 제공한다.

가) 의사결정지원 구성요인

의사결정지원 프로세스는 Fig. 37과 같이 해역위험도 데이터베이스(DBMS), 사고해역 위험요인 위험도 평가, 주변해역 위험요인 위험도 평가, User Interface(UI), 해역특징으로 구성되어 있다.

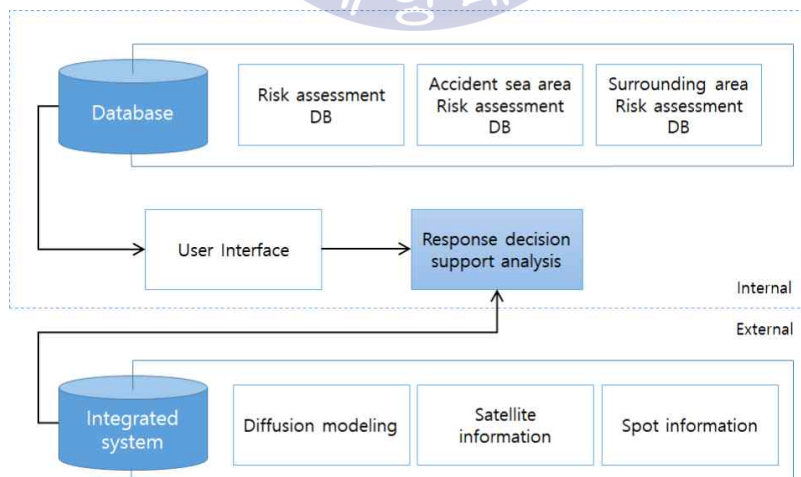


Fig. 37. Model element

의사결정지원 모델은 Fig. 39와 같이 크게 모델 자체적 기능과 외부 정보와 조합되는 기능으로 구분할 수 있다.

우선 자체적 기능으로써 이 기능도 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 해역별로 사고빈도 및 사고결과 위험요인별로 8방향 방사형 그래프를 이용해 정량적 데이터로 확인이 가능하다. 이는 해역별로 방사형 그래프를 이용해서 중앙을 원점으로 방사형으로 100점 만점의 8개 축에 따라 1번부터 4번 축까지는 사고빈도 위험요인, 5번부터 8번 축까지 사고결과 위험요인을 정량적인 점수로 확인할 수 있다.

두 번째는 9개의 방사형 그래프를 통해 사고해역뿐만 아니라 주변해역의 위험요인 확인 가능하다. 중앙에 위치한 5번 그래프는 사고해역에 대한 위험도이며, 5번을 제외한 1번부터 9번까지 그래프는 사고주변해역에 대한 위험도로서 사고해역뿐만 아니라 주변해역에 대한 위험도 및 위험요인 점수를 쉽게 확인할 수 있다.

외부 정보와 조합되는 기능은 풍향 및 풍속, 조류 데이터, 유출유 확산 모델, 위성자료 등 외부정보를 통해 얻어진 정보를 의사결정지원 모델의 사고 및 주변해역의 위험도와 중첩하여 분석함으로써 사고 및 주변 해역의 위험도와 위험도에 영향을 미칠 수 있는 외부 데이터를 함께 파악할 수 있다.

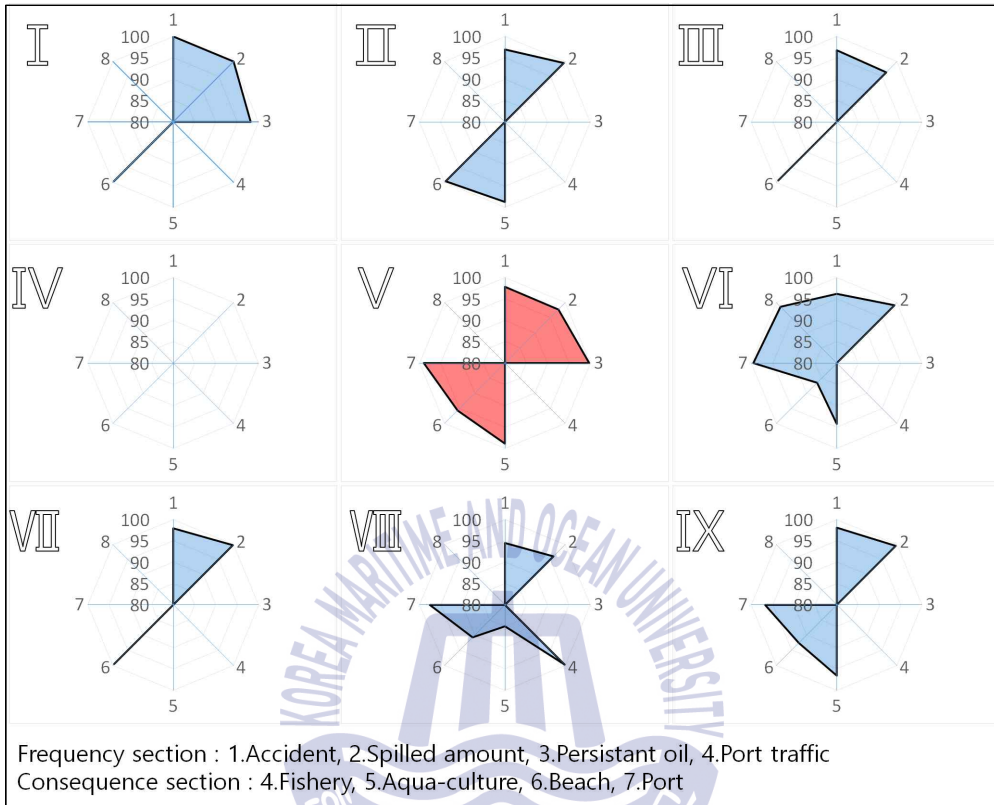


Fig. 39. Response decision support model - User Interface

1) 전반적인 위험요인

사고해역(그래프 V)의 1번 축부터 4번 축까지는 사고빈도 위험요인으로 서 기름유출사고 발생 건(1번), 소·중·대형 기름유출사고 발생 건(2번), 지속성 기름의 유출사고 발생 건(3번) 요인, 5번 축부터 8번 축까지는 사고결과 위험요인으로서 해면어업 피해금액(5번), 양식어업 피해금액(6번), 해수욕장 피해금액(7번) 요인이 매우 높게 나타났다.

IV 해역을 제외하고 모든 해역에서 사고발생과 유출량의 위험도가 높은 해역으로 지속유 기름이 유출되는 사고의 위험도 I 과 V 해역에서 높게

나타났다.

사고로 인해서 피해의 영향이 미칠 수 있는 해면어업의 위험도는 사고 해역뿐만 아니라 II, V, IX해역에서 높게 나타났고, VI, VIII해역에도 위험도가 확인됐다.

그와 함께 양식어업 위험도는 I, II, III, V, VII, IX해역에 높게 나타났으며, VI, VIII해역에서도 위험도가 나타났다. 위락시설인 해수욕장 위험도는 V, VI, VIII, IX에서 높게 나타났고, 항만의 위험도는 VI, IX해역에서 높게 나타났다.

2) 방제활동 우선순위

효과적인 방제활동을 위해서 사전에 방제장비를 배치할 때 위험요인을 검토할 필요가 있다. IV해역을 제외하고는 사고발생과 유출량의 위험도가 매우 높게 나타났으며, 언제든지 사고발생의 위험도가 높은 해역들이다. 나아가 지속성 기름을 유출하는 사고 위험도를 고려하면 I, V해역에 대한 대비가 필요하다.

해상에 진행되는 방제활동과 더불어 양식어업의 위험도가 높은 I, II, III, V, VII, VIII, IX해역은 양식어업의 피해를 줄이기 위해 기름유입을 막을 수 있는 충분한 오일붐을 대비하고 신속한 전장이 가능해야한다.

또한 V, VI, VIII, IX해역에서 높은 위험도를 나타낸 해수욕장 요인과 VI해역에서 높은 위험도를 나타낸 항만 요인은 환경적 피해뿐만 아니라 직접적으로 사회·경제적 피해가 발생할 수 있기 때문에 방제전략 수립에 우선적으로 고려되어야 할 해역이 될 수 있다.

3) 민감자원 우선순위

민감자원은 기름유출사고로 인해서 발생할 수 있는 피해가 환경적, 사

회·경제적으로 매우 크기 때문에 한정된 방제장비로 효과적인 방제활동을 위해 우선순위가 설정되어야 한다.

사고로 인해 해상에 부유하는 기름으로 인해 직접적으로 해상에서의 어로행위와 천해역에 위치한 양식업으로 인해 채취는 어렵게 된다. 따라서 해면어업의 위험도를 나타내는 II, V, VI, IX해역과 양식어업의 위험도를 나타내는 I, II, III, V, VII, VIII, IX해역에서 나타났다. 특히 II, V, IX해역은 해면어업과 양식어업 모두 높은 위험이 있는 해역으로 분석된다.

다) 의사결정지원 활용방안

의사결정 지원모듈은 대비차원과 대응차원에서 활용할 수 있다. 대비차원으로는 효과적인 방제활동을 위한 방제장비 소요수량 및 배치 계획 등으로 활용가능하며, 대응차원으로는 기름유출사고 현장과 주변에 대한 방제우선순위 및 주변 민감지역에 대한 사전보호에 대한 우선순위를 결정할 수 있다.

1) 오염사고 현장

기름유출사고가 발생하면 해상으로 유출된 기름이 정상변화와 함께 지속적으로 확산이동을 한다. 이로 인해서 피해범위는 넓어지고 피해규모는 커질 수 밖에 없기 때문에 충분한 방제장비를 확보하는 것이 바람직함에도 불구하고 현실적으로 현장에서 사용가능한 방제장비는 언제나 부족할 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 사고해역 및 주변해역의 방제활동 우선순위를 결정해야만 한다.

또한, 해상에서 확산되는 유출유는 주변 해안으로 부착 등 영향을 끼치게 되는데 항만, 방파제 등 인공적 구조물뿐만 아니라, 갯벌, 해수욕장, 하구 등 자연적 생태환경에도 직접적으로 영향을 미친다. 이 중 기름으로 인해 해당 해역에서 생존하고 있는 생물과 경제활동 등 사고로 인한 영향

에 민감한 지역을 파악하고 이를 사전에 보호할 수 있는 전략을 수립해야만 한다.

2) 대비계획 수립

해역의 위험도 평가와 유형 분석과 더불어 각 해역에 필요한 방제장비 소요수량과 장비배치를 산정할 수 있는데, 이는 해당 지역 및 권역에 배치한 소요수량에 대한 계획뿐만 아니라 전국적으로 방제장비가 동원되어야 하는 사고에 대비한 소요수량 및 장비배치 계획 수립에도 유효하다.

기름유출사고가 발생하면 배출물질의 성상·거동특성, 어장·양식장 등 해양환경 민감요인의 분포 및 동원 가능한 방제장비 등을 종합적으로 고려하여 방제전략을 수립하고 방제방법을 결정해야 하는데 이를 위해서 사고빈도와 사고결과에 대한 위험요인 데이터를 이용하여 방제전략, 방제방법 및 관계기관의 지원·협조 등을 협의·조정하고 조치결과 등을 검토할 수 있다.

또한 기름유출사고 대응능력 향상 및 전문성 확보를 위하여 관계기관과 합동으로 도상 및 현장훈련을 정기적으로 실시하는데 있어서 사고해역 및 주변해역에 대한 고 위험 요인을 확인하고 중요하고 우선시되어야 하는 방제활동 훈련 및 계획 수립이 가능하다.

제 5 장 위험도 기반 지역별 해상방제 장비배치 평가

5.1 모델평가 개요

5.1.1 모델평가 개념

기름유출사고에 있어서 해역별 위험도를 기반으로 해상방제장비의 효과적인 전략수립을 위해 Fig. 40과 같이 의사결정지원을 기존 지역방제시스템에 해역별 위험도를 반영한 해상방제장비의 소요량 데이터를 이용하여 대상 Case를 설정하여 해상방제장비의 현장도착 소요시간 등을 산출한다.

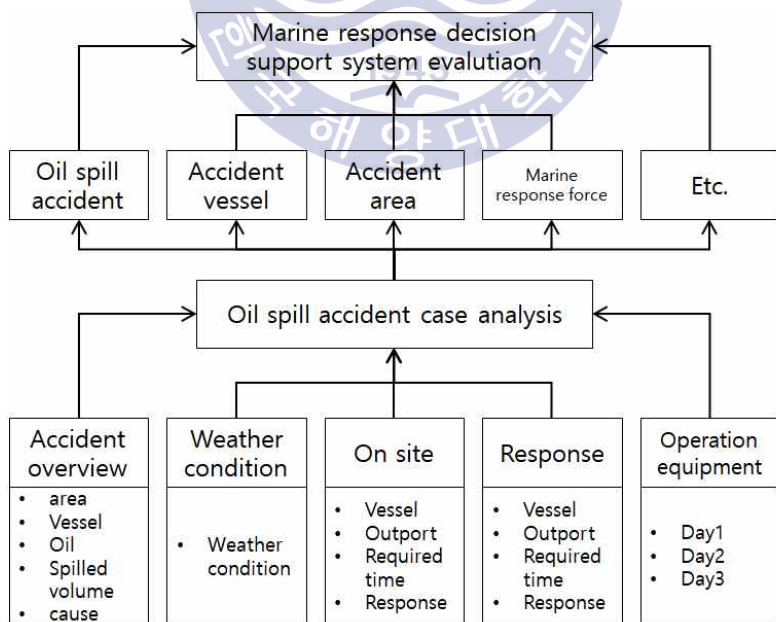


Fig. 40. Evaluation process

모델평가는 MS-Office Excel 2013을 통해 진행되었으며, Excel은 스프레드시트 형식으로 입력된 다량의 데이터를 이용한 복잡한 계산이 용이한 프로그램으로 입력된 데이터의 가공, 계산, 관리가 편리하며, 그래프 등으로 정리하여 작성할 수도 있다.

5.1.2 모델평가 조건 및 변수

모델평가 수행을 위해 Table 34와 같이 기존에 발생한 기름유출사고 중 제2장에서 소개된 6건의 기름유출사고의 특성을 분석하여 분석에 필요한 조건을 사고개요, 기상, 최초 현장도착, 방제세력, 초기대응(3일) 투입장비로 구분하여 조건변수를 산출했다.

Table 34. Evaluation variable

	Accident overview	Weather condition	Earliest arrival on site	Response	Operation equipment
Variable	• Area • Vessel • Oil • Spilled volume • Cause	• Weather condition	• Vessel • Outport • Required time • Response	• Vessel • Outport • Required time • Response	• Day1 • Day2 • Day3

사고개요에는 사고가 발생한 해역, 사고발생 선종, 유출된 기름의 종류 및 용량, 사고발생 원인으로 구분했으며, 기상에는 사고가 발생한 해역의 기상상태가 포함된다. 사고가 발생하고 신고접수 후 대응기관 또는 방제세력이 사고현장에 최초로 도착하는 선종과 해당 방제세력이 수행한 방제방법이 최초 현장도착 조건의 변수로 구분했으며, 이후 방제세력은 대응기관 및 업체의 방제선 도착까지의 소요시간 및 출항지를 방제정 조건의 변수로, 사고발생 후 3일간 투입된 방제장비를 초기대응 조건의 변수로 구분했다.

5.2 평가 모델링 개요

사고유형, 사고선박, 사고해역을 지정하고 기름유출사고 발생 시 기존 지역방제체제에서의 방제장비 투입과 위험도를 고려한 해상방제장비에 대한 검증평가 모델링을 수행했다.

5.2.1 대상 기름유출사고 선정

기름유출사고 규모는 Table 35와 같이 전국적으로 재난적 피해를 발생시킬 수 있는 대형 기름유출사고를 선정하여 최악의 유출로 인해 22,500 kl 또는 45,000kl가 유출되는 사고로 설정했으며, 유출량 중 해상 방제활동을 통해 목표하는 회수량인 7,500kl와 15,000kl를 해상방제량으로 설정했다.

Table 35. Oil spill response cases in east sea

Type	Spilled volume(kl)	Recovery capacity(kl)	Oil type	Vessel type
Large	22,500	7,500	Crude	Tanker
	45,000	15,000		

5.2.2 사고선박 선정

사고선박은 기름유출사고가 발생하면 최악의 유출사고가 될 수 있는 위험이 높은 30만 톤급 이상의 VLCC로 선정했다.

5.2.3 위험도 기반 사고해역 선정

사고해역은 Fig. 41과 같이 앞 장에서 도출된 위험도 중 사고발생위험과 사고피해위험이 높은 HH유형, 사고발생위험은 높지만 사고피해위험은 낮

은 HL유형, 사고발생위험은 낮지만 사고피해위험이 높은 LH유형을 고려하여 유조선의 통항흐름²⁵⁾을 반영하여 사고발생 위험이 높은 사고해역으로 선정했다.

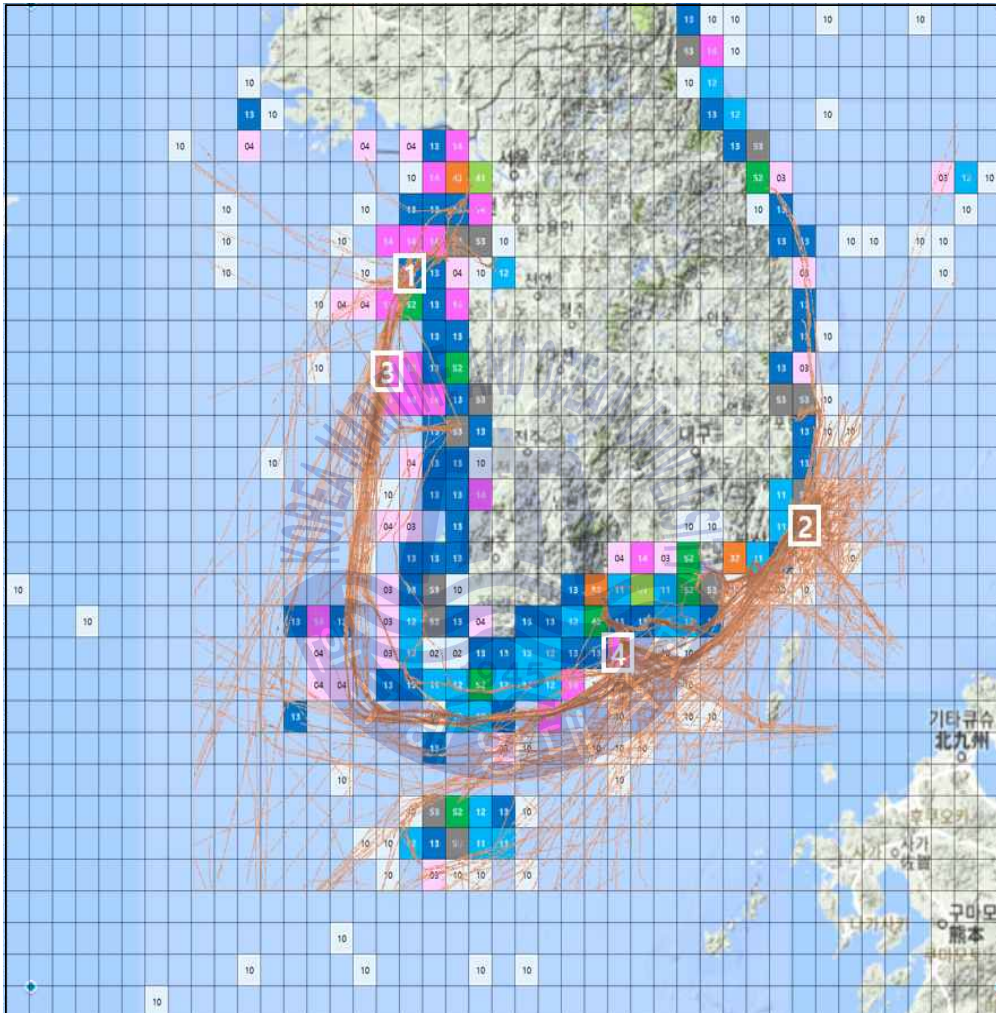


Fig. 41. Oil spill accident case

25) 해양수산부(2015), 2015년 연안해역 해상교통 현황도 - 유조선 통항흐름도

Oil spill accident case 1 은 북위 37.0 °에서 37.2 °, 동경 126.2 °에서 126.4 °에 위치한 충남 태안군 및 도서(가덕도, 백아도 등)를 포함한 해역으로써 Fig. 42와 같이 인천항 방면과 어청도 방면으로 향하는 통항분리대가 위치하고 있지만, 대산항 및 호도 방면으로 향하는 연안항로와 교행하는 해역이 존재하고 있는 해역이다.

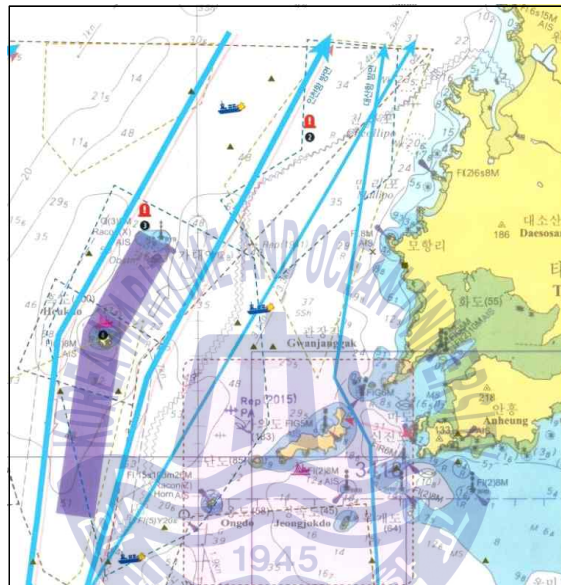


Fig. 42. Case 1 navigation chart

*resource: MMAF(2015)

위험도 유형은 Fig. 43과 같이 사고발생위험은 낮지만 해당 해역 주변 해역은 사고결과 위험이 높은 LH유형이 주변에 존재한 해역이다.



Fig. 43. Oil spill case 1 area

Oil spill accident case II 은 북위 35.4 °에서 35.6 °, 동경 129.6 °에서 129.8 °에 위치한 울산광역시 해역으로 Fig. 44와 같이 울산항 진입수로와 동해 방면으로 향하는 항로가 교차되는 해역으로 울산항 입출항 선박과 강원도 방면으로 향하는 선박의 교항이 불가피한 해역이다.

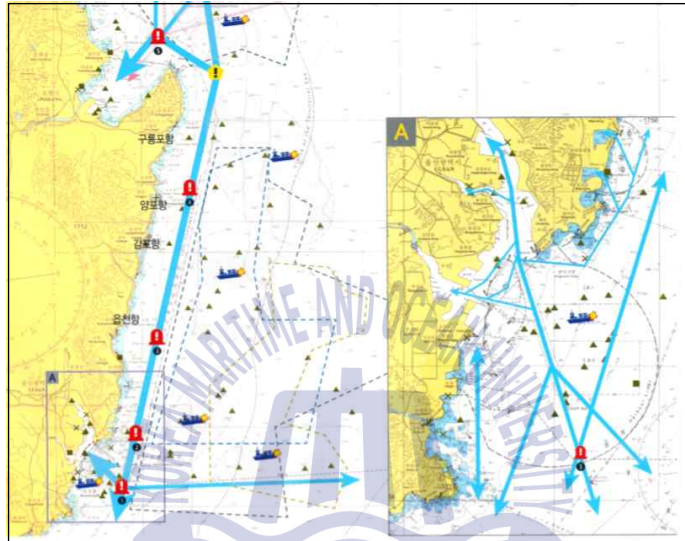


Fig. 44. Case II navigation chart

*resource: MMAF(2015)

위험도 유형은 Fig. 45과 같이 사고빈도와 사고결과가 높은 HH유형으로 진해, 마산, 부산, 포항 해역에 걸쳐 HH유형이 밀집되어 있는 해역이다.



Fig. 45. Oil spill case 2 area

Oil spill accident caseⅢ 북위 36.4 °에서 36.6 °, 동경 126.0 °에서 126.2 °에 위치한 충남 보령시 외연도를 포함한 해역으로써 Fig. 46과 같이 군산항, 군산항, 홍원항, 채석포항 등이 위치하고 있으며, 북으로는 인천, 덕적도항, 남으로 목포, 흑산도 방향으로 향하는 외항 유조선 및 내항 유조선의 통항이 밀집되어 있는 해역이다.

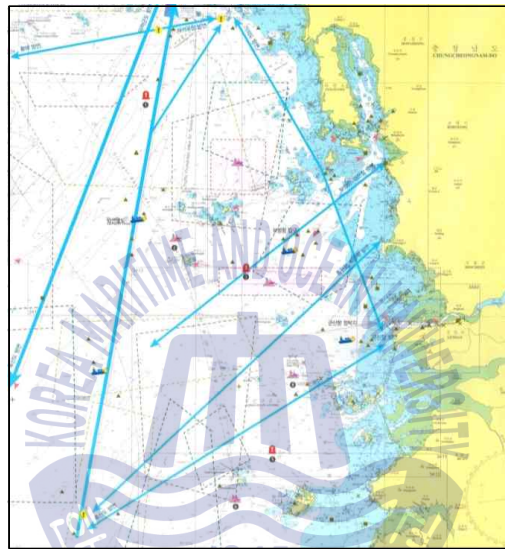


Fig. 46. Case Ⅲ navigation chart

*resource: MMAF(2015)

위험도 유형은 Fig. 47과 같이 사고발생위험은 낮지만 사고결과위험은 높은 LH유형의 해역이다.



Fig. 47. Oil spill case 3 area

Oil spill accident caseⅣ 북위 34.6 °에서 34.8 °, 동경 128.0 °에서 128.2 °에 위치한 전남 여수시 돌산도를 지나 여수시, 남해군, 광양시로 향하는 해역으로 Fig. 48과 같이 광항항 진입수로, 거제-삼천포 내해수로가 포함되어 있고 동으로는 부산, 서로는 삼천포, 남으로는 제주방향으로 향하는 내·외항 유조선의 통항이 밀집되어 있는 해역이다.

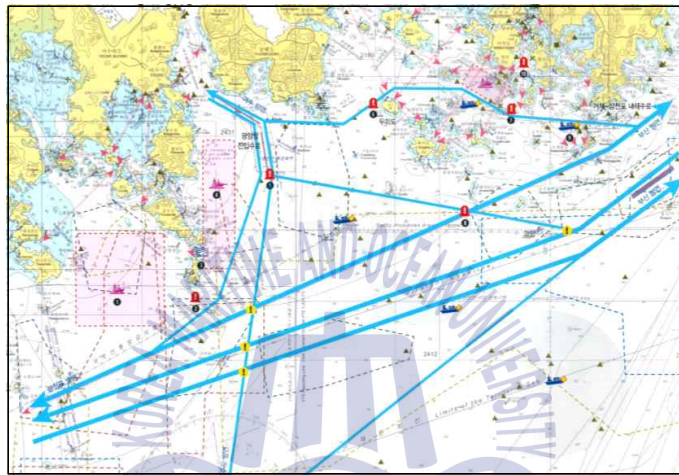


Fig. 48. Case IV navigation chart

*resource: MMAF(2015)

위험도 유형은 Fig. 49와 같이 사고빈도는 낮고 사고결과는 높은 LH유형, 사고빈도는 높고 사고결과는 낮은 HL유형, 사고빈도와 사고결과가 낮은 LL유형의 위험도가 혼재되어 있는 해역이다.



Fig. 49. Oil spill case 4 area

5.2.4 현행 해상회수용량 및 모델 결과 비교

해상방제장비의 동원을 위해 현재 적용하고 지역별 해상회수장비 배치 용량과 본 연구를 통한 새로운 모델을 통해 배치된 기계적 회수 장비 중 유회수기 회수용량을 통해 비교분석을 실시한다. 기계적 회수에 필요한 유회수기 외 오일붐과 임시저장탱크는 유회수기 회수용량에 맞춰 100% 동원 가능한 것으로 설정했다.

Table 36. Comparison of On-water recovery capacity between Existing and New Model

Region		Recovery volume(kl)		Note (B-A)
		Existing model (A)	New model (B)	
West	Incheon	2,833	2,328	-505
	Taeon, Pyeongtaek	3,400	2,518	-882
	Gunsan	1,267	2,654	1,387
	Sum	7,500	7,500	0
South	Mokpo	2,833	2,363	-470
	Wando	200	1,886	1,686
	Yeosu	4,200	1,951	-2,249
	Jeju, Seogwipo	267	1,300	1,033
	Sum	7,500	7,500	0
East	Changwon, Tongyeong	533	1,478	945
	Busan	3,333	815	-2,518
	Ulsan	3,200	1,414	-1,786
	Pohang	267	2,213	1,946
	Donghae, Sokcho	167	1,580	1,413
	Sum	7,500	7,500	0
Total		22,500	22,500	0

5.2.5 그 외 조건

기름유출사고로 인해 해상으로 유출되는 기름은 사고 후 적재유 중 45,000kℓ이 유출되고, 그 중 15,000kℓ를 해상에서 기계적으로 회수한다는 목표를 설정했다.

사고발생 후 가장 먼저 현장에 도착한 해경 경비정은 사고상황 보고 및 사고선박의 오일뿔으로 선체 주변을 전장하며, 각 지역 마련된 방제장비는 100% 동원이 가능한 것으로 가정했다. 또한 각 지역의 방제세력으로부터 사고해역까지의 소요시간은 본 논문에서 설정한 픽셀 이동에 필요한 소요시간을 1셀 당 1시간 30분으로 설정했다.

사고발생 기상조건은 기계적 회수가 가능한 날씨로 가정하고, 사고 발생후 신속히 해당 지역의 가용자원을 현장에 동원하는 것으로 설정했다. 또한 각 지역별로 출동한 해상방제장비는 사고해역에 도착하면 즉각적으로 방제활동을 가능하며, 사고발생 시각 및 사고현장 도착시각과는 무관하게 주간에만 작업을 실시하고, 1일 8시간 3일간 (8시간 × 3일) 방제활동을 진행하는 것으로 설정했다.

5.3 모델검증 결과

5.3.1 기름유출사고 Case I

인천항에서 출항하여 태안군 옹도해역을 향해 중이던 VLCC가 교항하는 화물선과 충돌로 인해 적재된 원유 45,000kℓ가 유출된 사고이다.

기름유출사고가 발생하고 사고의 심각성에 따라 즉각적으로 전국의 방제장비를 총동원 지시 후 가장 근거리에 위치한 태안지역에서 2시간 이내에 지역방제시스템 상 방제장비, 위험도 기반 방제장비의 조건으로 사고 현장에 동원되어 기계적 회수가 진행되었다.

기름유출사고가 발생하여 최초로 현장에 도착한 방제세력은 즉각적으로 방제활동을 시작하며, 다른 지역에서 동원되는 방제장비의 추가시까지 지속적으로 해상에서 유출유 회수작업을 실시하여 목표하는 15,000kℓ까지 회수 가능한 유출량은 Fig. 50과 같은 변화를 나타낸다.

지역방제시스템 상 방제장비는 사고발생 2시간 이내에 태안에서 출동한 3,400kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 인천, 군산 등의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 6,233kℓ(41.6%), 12시간 후 7,500kℓ(50.0%), 24시간 후 10,533kℓ(70.2%), 32시간 후 15,000kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비는 사고발생 2시간 이내에 태안에서 출동한 2,518kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 인천, 군산 등의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 4,846kℓ(32.3%), 12시간 후 7,500kℓ(50.0%), 24시간 후 11,749kℓ(78.3%), 32시간 후 15,000kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비를 활용함으로써 유출유 회수목표량을 달성하기

위한 해상방제 소요시간이 지역방제시스템과 동일하게 나타났다. 이는 동일한 항구에서 출항하기 때문으로 판단된다. 사고 발생 후 9시간까지는 태안, 인천에 1,387kℓ를 더 회수할 수 있도록 배치된 지역방제시스템이 더 유용할 수 있지만, 이후 군산, 목포, 완도, 제주, 여수의 방제장비가 동원됨에 따라 위험도 기반 배치된 방제장비로 사고 발생 22시간이 지난 이후에는 위험도 기반 장비배치 모델이 더 많은 방제세력을 동원할 수 있는 것으로 나타났다.

항만과 가까운 곳에서 발생한 기름유출사고에 있어서 동원초기 Fig. 50의 A부분과 같이 사고 지역 및 권역에서 동원된 방제장비는 지역방제시스템이 집중(태안지역에 집중배치)되어 동원이 가능하지만, 사고발생 10시간 이후부터는 근거리 및 원거리 권역의 방제장비 동원이 Fig. 50의 B부분과 같이 지속적으로 균일하게 동원가능한 것은 위험도 기반 장비배치 모델이 효과적인 것으로 나타났다.

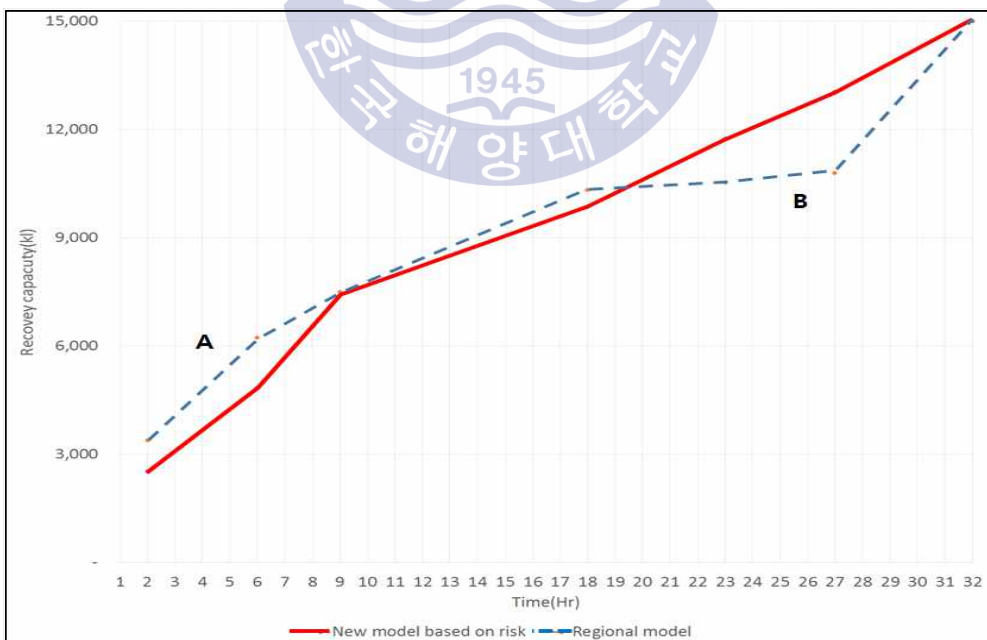


Fig. 50. Cumulative recovery capacity of case 1

5.3.2 기름유출사고 Case II

울산항에 입항하기 위해 항해 중인 연안 유조선이 전방경계(Lookout) 소홀로 인해 입항대기 중인 VLCC와 충돌 후 두 유조선 적재된 원유 45,000kℓ가 유출된 사고이다.

기름유출사고가 발생하고 사고의 심각성에 따라 즉각적으로 전국의 방제장비를 총동원 지시 후 가장 근거리에 위치한 울산지역에서 2시간 이내에 지역방제시스템 상 방제장비, 위험도 기반 방제장비의 조건으로 사고 현장에 동원되어 기계적 회수가 진행되었다.

기름유출사고가 발생하여 최초로 현장에 도착한 방제세력은 즉각적으로 방제활동을 시작하며, 다른 지역에서 동원되는 방제장비의 추가시까지 지속적으로 해상에서 유출유 회수작업을 실시하여 목표하는 15,000kℓ까지 회수가능하는 유출량은 Fig. 51과 같은 변화를 나타낸다.

지역방제시스템 상 방제장비는 사고발생 2시간 이내에 울산에서 출동한 3,200kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 부산, 포항, 통영 등의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 6,533kℓ(43.6%), 12시간 후 7,333kℓ(48.9%), 24시간 후 12,167kℓ(81.1%), 27시간 후 15,000kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비는 사고발생 2시간 이내에 울산에서 출동한 1,839kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 부산, 포항, 통영 등의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 2,229kℓ(14.9%), 12시간 후 5,920kℓ(39.5%), 24시간 후 12,637kℓ(84.2%), 27시간 후 15,000kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비를 활용함으로써 유출유 회수목표량을 달성하기

위한 해상방제 소요시간이 지역방제시스템과 동일하게 나타났다. 해당 권역 회수용량의 87%(6,533kℓ)를 부산과 울산에 집중배치한 지역방제시스템은 Fig. 51의 A와 같이 사고초기 월등히 많은 6,533kℓ를 회수 할 수 있지만, 이후 여수를 제외한 포항, 통영, 통해, 완도, 제주 등의 방제장비 지원은 미약한 것으로 나타났다. 그러나 해당 권역의 위험도를 기반으로 11%(815kℓ) ~ 30%(2,213kℓ)씩 분산배치한 위험도 기반 장비배치모델은 근거리 및 원거리 방제장비의 지속적인 자원 동원의 효과(Fig. 51의 B)가 나타났다.

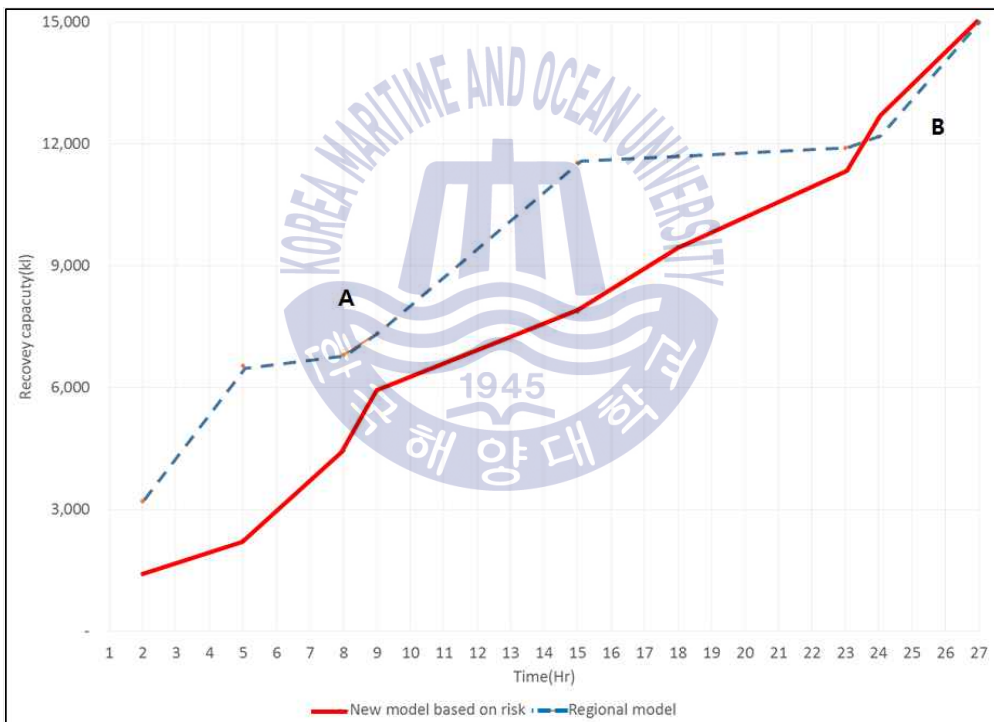


Fig. 51. Cumulative recovery capacity of case 2

5.3.3 기름유출사고 CaseⅢ

인천항으로 입항하기 위해 항행 중인 VLCC가 충남 보령시 외해에서 다른 화물선과 충돌로 인해 적재된 원유 45,000kℓ가 유출된 사고이다.

기름유출사고가 발생하고 사고의 심각성에 따라 즉각적으로 전국의 방제장비를 총동원 지시 후 가장 근거리에서 위치한 태안, 보령 지역에서 6시간 이내에 지역방제시스템 상 방제장비, 위험도 기반 방제장비의 조건으로 사고현장에 동원되어 기계적 회수가 진행되었다.

기름유출사고가 발생하여 최초로 현장에 도착한 방제세력은 즉각적으로 방제활동을 시작하며, 다른 지역에서 동원되는 방제장비의 추가시까지 지속적으로 해상에서 유출유 회수작업을 실시하여 목표하는 15,000kℓ까지 회수가능하는 유출량은 Fig. 52와 같은 변화를 나타낸다.

지역방제시스템 상 방제장비는 사고발생 6시간 경과 후 태안에서 출동한 3,400kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 군산, 인천, 목포 등의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 3,400kℓ(22.7%), 12시간 후 4,667kℓ(31.1%), 24시간 후 10,533kℓ(70.2%), 36시간 후 15,000kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비는 사고발생 6시간 경과 후 태안에서 출동한 2,518kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 군산, 인천, 목포 등의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 2,518kℓ(16.8%), 12시간 후 5,172kℓ(34.5%), 24시간 후 11,749kℓ(78.3%), 36시간 후 15,000kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비를 활용함으로써 유출유 회수목표량을 달성하기 위한 해상방제 소요시간이 지역방제시스템과 동일하게 나타났다.

항만에서 떨어진 근해에서 기름유출사고가 발생하면, 주변의 방제장비가 동원되어야 하는데 동원초기 Fig. 52의 A와 같이 좀 더 많은 방제장비를 동원할 수 있었던 지역방제시스템은 이후 위험도 평가를 통해 고르게 분포된 방제장비보다 균일하고 지속적인 동원을 하지 못하고, 특정 지역(태안, 인천, 여수)에 집중 배치된 지원세력이 도착하기 전까지는 별다른 동원을 받지 못하는 것으로 나타났다. 더욱이 Fig. 52의 B와 같이 위험도 기반 장비배치 모델은 2,000kl 가량을 회수할 수 있는 근거리 및 원거리 방제장비의 지속적인 동원이 가능한 것으로 나타났다.

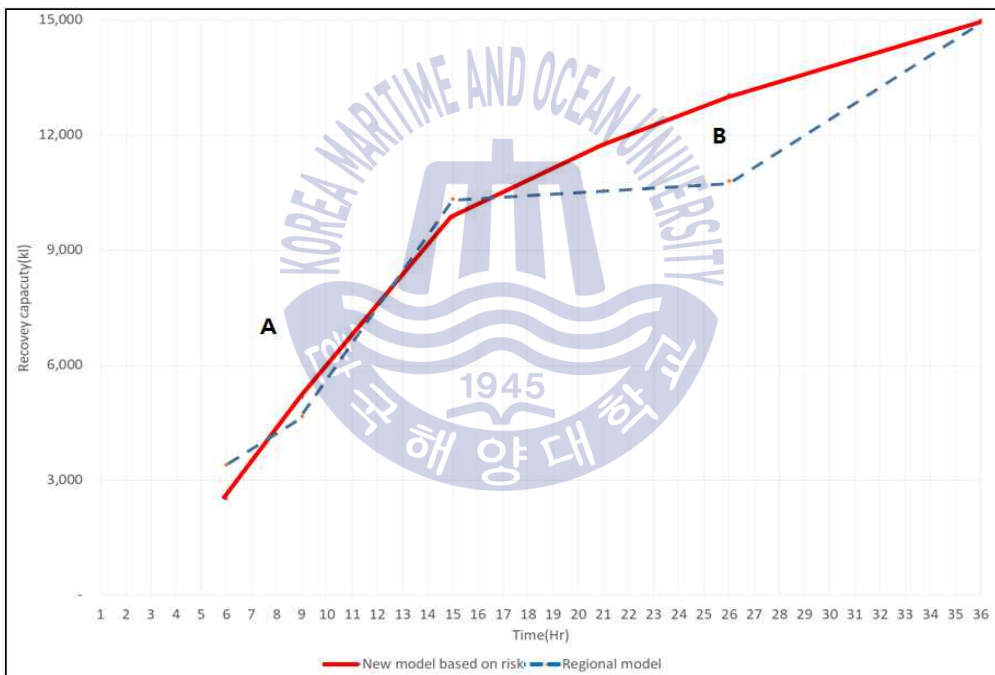


Fig. 52. Cumulative recovery capacity of case 3

5.3.4 기름유출사고 CaseⅣ

광양 삼호중공업 부두에서 출항한 화물선과 인천항에서 울산항으로 항해중이던 VLCC가 횡단하는 관계에서 경계를 소홀히 하고 협력동작을 취하지 않아 전남 여수시 인근해역에서 충돌로 인해 적재된 원유 22,500kℓ가 유출된 사고이다.

기름유출사고가 발생하고 사고상황에 따라 사고해역이 포함된 권역차원의 방제활동이 가능한 유출량으로써 해당권역의 방제장비를 총동원 지시 후 가장 근거리에 위치한 여수 지역에서 3시간 이내에 지역방제시스템 상 방제장비, 위험도 기반 방제장비의 조건으로 사고현장에 동원되어 기계적 회수가 진행되었다.

기름유출사고가 발생하여 최초로 현장에 도착한 방제세력은 즉각적으로 방제활동을 시작하며, 다른 지역에서 동원되는 방제장비의 추가시까지 지속적으로 해상에서 유출유 회수작업을 실시하여 목표하는 15,000kℓ까지 회수가능하는 유출량은 Fig. 53과 같은 변화를 나타낸다.

지역방제시스템 상 방제장비는 사고발생 3시간 경과 후 여수에서 출동한 4,200kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 완도, 제주, 목포의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 4,200kℓ(56.0%), 12시간 후 4,667kℓ(62.2%), 15시간 후 7,500kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비는 사고발생 3시간 경과 후 여수에서 출동한 1,951kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원되고, 완도, 제주, 목포의 방제장비가 동원되어 사고발생 6시간 후 1,951kℓ(26.0%), 12시간 후 5,137kℓ(68.5%), 15시간 후 7,500kℓ 회수가 가능한 방제세력이 동원가능하다.

위험도 기반 방제장비를 활용함으로써 유출유 회수목표량을 달성하기

위한 해상방제 소요시간이 지역방제시스템과 동일하게 나타났다.

항만과 가까운 곳에서 발생한 기름유출사고에 있어서 동원초기 Fig. 53의 A와 같이 지역방제시스템은 권역의 56%가 집중배치된 여수의 방제장비로만 방제활동을 지속해야하며 11시간 이후 목포에 배치된 방제장비의 지원이 가능하다. 그러나 위험도 기반 장비배치 모델은 여수(1,951kℓ), 완도(1,886kℓ), 목포(2,363kℓ), 제주(1,300kℓ)에 배치된 방제장비의 지속적인 동원이 가능한 것으로 나타났다.

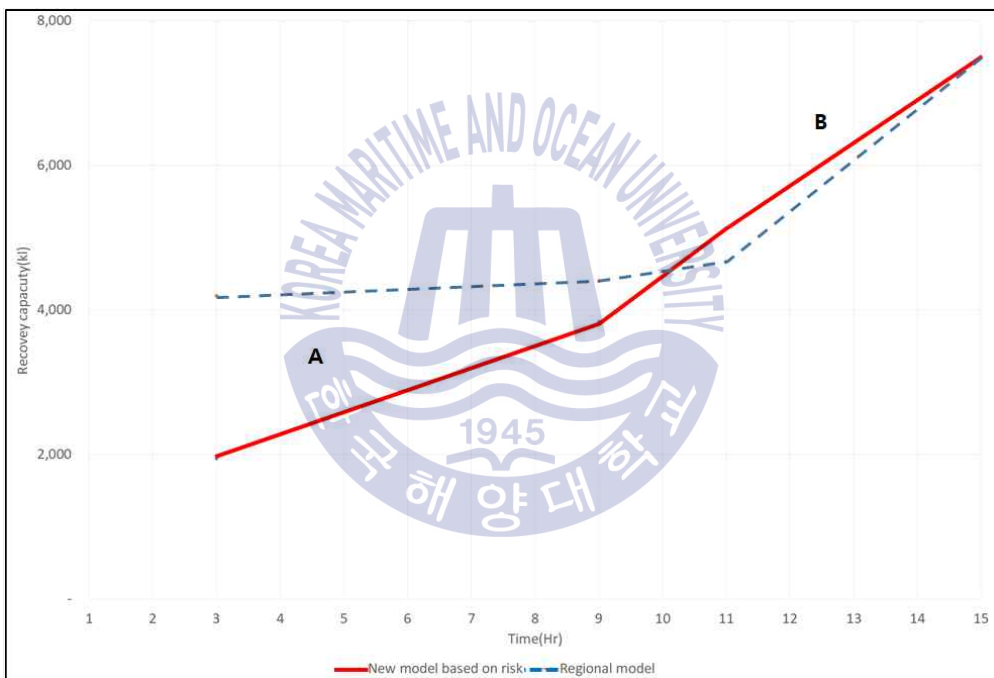


Fig. 53. Cumulative recovery capacity of case 4

5.4 모델평가 분석

기름유출사고로 인한 유출량에 따라 전국적인 동원이 필요한 45,000kl 가 유출된 최악의 상황과 22,500kl로 권역 내 동원이 가능한 상황으로 구분했다. 우선 최악의 상황은 VLCC의 입출항이 빈번하게 일어나는 항구 주변(Case I (태안), Case II (울산)) 해역과 통항로 상(Case III (보령))에서 발생한 기름유출사고이며, 권역 내 상황은 항구 주변이면서 통항로에 위치해서 사고위험이 높은 Case IV (여수)이다.

최악의 상황으로 전국적으로 해상방제장비를 동원해야 하는 상황에서 위험도 평가를 통한 해상방제 지원배치 모델과 지역방제시스템을 동일한 가상의 기름유출사고로 검증한 결과 Table 36과 같이 동일한 시간 안에 사고권역과 근거리 및 원거리 권역에 배치된 자원을 동원할 수 있는 것으로 나타났다.

지역방제시스템을 기초하여 배치된 방제장비의 가장 큰 기조는 대형 기름유출사고에 있어서 목표한 15,000kl 유출유를 해상회수하기 위해서 사고발생 시 해당권역에서 대응하고 순차적으로 근거리, 원거리 권역에서 지원하는 것이다.

지역방제시스템은 최대유출량을 기준으로 권역 내 발생가능 항만에 집중배치 되고 그 외 지역에 분산배치되어 있기 때문에 Case I 및 II와 같이 유조선 등 위험선이 항구 인근 해역에서 기름유출사고가 발생할 경우에는 사고발생 6시간 이내까지는 권역별 특정 항에 방제장비의 50%가 넘도록 집중배치함으로써 위험도 기반 장비배치 모델에 비해 월등히 많은 방제장비를 동원할 수 있지만, 그에 따른 소량이 배치된 지역의 지원은 미비함에 따라 지속적이 방제장비 동원은 어려운 한계가 나타났다.

Table 37. Oil spill response mobilization by cases I ~III

Case \ Hour			<6	<12	<18	<24
Case I	Existing model	Amount(kl)	6,233	7,500	10,533	15,000
		Percent(%)	41.6	50.0	70.2	(32Hr)
	New model	Amount(kl)	4,846	7,500	11,749	15,000
		Percent(%)	32.3	50.0	78.3	(32Hr)
Case II	Existing model	Amount(kl)	6,533	7,333	12,167	15,000
		Percent(%)	43.6	48.9	81.1	(27Hr)
	New model	Amount(kl)	2,229	5,920	12,637	15,000
		Percent(%)	14.9	39.5	84.2	(27Hr)
Case III	Existing model	Amount(kl)	3,400	4,667	10,533	15,000
		Percent(%)	22.7	31.1	70.2	(36Hr)
	New model	Amount(kl)	2,518	5,172	11,749	15,000
		Percent(%)	16.8	34.5	78.3	(36Hr)

두 모델은 동일한 항구에서 동일한 총량(권역별 7,500kl)의 방제세력이 동원되기 때문에 동원까지의 소요시간은 동일한 결과로 이어졌으나 위험도를 평가하고, 이를 기반으로 각 권역 및 권역 내 지역별 방제장비를 새롭게 배치한 본 연구의 모델을 통해 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 통항로 상(Case III(보령)) 발생한 기름유출사고의 경우 사고초기 사고해역까지 동원가능한 방제세력이 부족하여 목표회수량의 20%를 전후하여 동원가능하며, 현재의 지역방제시스템으로는 지속적인 방제장비 동원이 어렵고 더욱이 권역내 방제장비의 동원이 끝난 이후 10시간 이상 추가 동원세력이 없이 방제활동을 실시해야 하는 한계가 드러남에 따라 위험도

기반 방제장비 배치모델이 지속적인 방제장비 동원과 방제활동이 가능한 것으로 나타났다. 지속적인 방제장비의 동원은 동원에 필요한 운용인력도 함께 증원되기 때문에 실질적으로 장비운용률은 더욱 효과적이다.

둘째, 주요 항구가 포함된 해역(Case I (대산), Case II (울산))에서는 최대 유출량을 기반하여 주요 항구에 집중배치된 자원량에 따라 사고 초기 목표회수량의 40% 이상 동원이 가능함에 따라 주요항구만을 고려할 때에는 최대유출량과 동원시간만을 고려하는 것도 효과적이라도 볼 수 있다.

셋째, 그러나 특정 항에 집중배치된 방제장비는 특정 항의 기름유출사고의 특징이 분석되지 못한 채 배치되거나, 특정 항의 상황에 따라 동원이 불가능할 경우 방제활동에 치명적인 위험을 초래할 수 있다.

권역에 배치된 해상방제장비로 유출된 기름을 회수할 수 있는 상황에서 위험도 평가를 통한 해상방제 지원배치 모델과 지역방제시스템을 동일한 가상의 기름유출사고로 검증한 결과 Table 38과 같이 동일한 시간 안에 사고권역에 배치된 자원을 동원할 수 있는 것으로 나타났다.

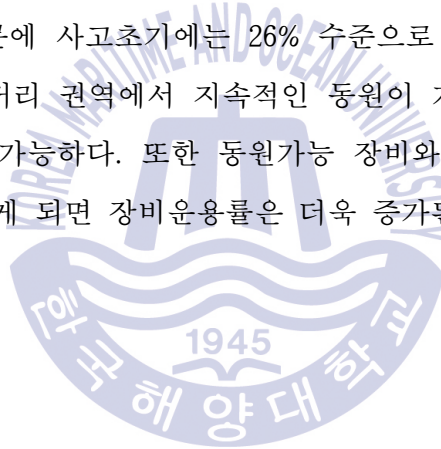
Table 38. Oil spill response mobilization by cases IV

Case		Hour	<6	<12	<18
Case IV	Existing model	Amount(kl)	4,200	4,667	7,500
		Percent(%)	56.0	62.2	(15Hr)
	New model	Amount(kl)	1,951	5,137	7,500
		Percent(%)	26.0	68.5	(15Hr)

22,500kl의 유출사고에서 해상에서 회수할 수 있는 목표량은 7,500kl로서 권역 내 배치된 방제장비로 회수가 가능하다. 권역 내에서도 사고 위험도 높은 해역 중 지역방제시스템 상 최대유출량에 따른 주요 항구와 기

타 항구 간의 장비배치의 편차가 큰 관계 주요 항구인 여수(CaseⅣ) 해역에서 발생한 기름유출사고를 분석했다.

유조선, 화물선 등 대형 선박이 항구 인근 해역에서 기름유출사고가 발생할 경우에는 사고발생 3시간 이내까지 사고해역에 방제장비 동원이 가능하다. 최대유출량을 기반하여 주요 항구에 집중배치된 지역방제시스템은 사고 초기 목표회수량의 50% 이상이 동원될 수 있지만, 지속적인 방제장비의 동원없이 방제활동을 지속해야 하며 단일 지역(여수)의 방제장비만으로 대형 기름유출사고의 방제활동은 어려움이 따를 수 밖에 없는 한계가 발생한다. 그러나 위험도 기반 방제장비 배치모델은 더욱 많은 해역에 분산배치되었기 때문에 사고초기에는 26% 수준으로 대응을 해야 하지만, 권역 내 및 근·원거리 권역에서 지속적인 동원이 가능하기 때문에 더욱 신속한 방제활동이 가능하다. 또한 동원가능 장비와 함께 운용인력도 추가되는 점을 고려하게 되면 장비운용률은 더욱 증가된다.



제 6 장 결 론

해상에서 발생한 기름유출사고가 단순 해상에 뿌려진 기름을 회수하는 작업이 아니라 해역에 분포한 수산물 외에도 생계를 꾸려가는 수산업 종사자와 주변 관광업 등 2차, 3차 피해가 지속됨으로써 사회전반에 걸친 피해가 발생하게 된다. 그에 맞춰 세계 각국에서는 효율적이고 효과적인 대비/대응 전략을 수립하고 있으며, 더욱 많고 자세한 정보를 제공하기 위해 유출유 확산모델뿐만 아니라 더욱 발전된 통합정보시스템 형태로 발전해가고 있다. 그럼에도 불구하고 크고 작은 기름유출사고는 매년 빈번하게 발생하고, 재난적 기름유출사고 역시 특정 패턴없이 발생하고 있다.

따라서 본 논문에서는 과거 기름유출사고 통계를 기반으로 사고량, 유출량뿐만 아니라 유종, 선종 등의 특성이 반영된 사고빈도와 함께 어업과 양식업의 경제활동과 해수욕장 및 항만 입출항에 따른 경제수익을 기반한 경제적 사고결과에 대한 위험도를 평가하고 데이터베이스화하여 사고빈도와 사고결과를 반영한 위험도 분석과 위험도 유형을 통하여 해역별 해상방제 대비자원의 소요수량을 산정하고 지역적으로 다시 배치했다.

아울러, 사고해역과 주변해역에 대한 세부 위험요인을 분석 및 도식화하여 제공함으로써 방제장비의 적정수량 및 배치, 방제훈련 및 정책 등 대비계획 단계, 오염사고현장에서 방제활동 및 민감지역 사전보호의 우선순위를 결정하는 단계에서 신속하고 효과적으로 의사결정을 내릴 수 있도록 지원할 수 있는 연구를 수행했으며, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출했다.

첫째, 기름유출을 발생시킨 사고 발생빈도(Frequency)와 유출로 인해 발생될 수 있는 피해결과(Consequence)를 매트릭스 분석을 통해 기름이 유출(배출)되어 피해(손해)를 받게 되는 해역별 위험도를 정량적으로 산출했다. 사고발생과 그로인한 피해결과를 산정하기 위해 문헌고찰 및 전문가 설문을 통해 위험요인을 분별하고 객관적 데이터 확보가 가능한 위험요인을 선정하여 2004년부터 2015년까지 12년 동안 우리나라 해역에서 발생한 기름유출사고에 대한 사고빈도 및 사고결과분석을 실시했다.

이를 기반한 매트릭스 분석으로 위험도를 5단계로 설정하여 우리나라 해역의 위험도를 산출하고 매핑했다. 우리나라 해역은 지역단위로 대비·대응이 어려워 지원세력의 협조가 필요한 심각한 수준(Level 4)의 위험은 입출항이 빈번한 인천, 평택, 대산, 보령, 목포, 완도, 제주, 서귀포, 통영, 마산, 창원, 울산, 포항, 강릉, 속초 해역(22곳)에서 나타났다. 또한, 서해 중북부 서남해 도서, 거제도 등 도서가 포함된 해역에서 경계 수준(Level 3)의 위험도가 분포했다. 동·서·남해 먼 바다에서는 기름유출사고가 발생하고 있지만 피해발생 위험도는 낮은 것으로 나타났다.

나아가 기름유출사고가 발생하는 사고빈도는 높지만 사고결과는 낮은 위험유형(HL유형), 사고빈도는 낮지만 사고결과는 높은 위험유형(LH유형) 등 위험도 특징이 반영된 위험도 유형을 분석했다. 이를 통해 주요 항만을 중심으로 HH유형(사고빈도 및 사고결과 위험도가 높은 유형)의 위험이 나타났다. 그리고 그 주변 해역에 걸쳐 사고빈도는 Level 0 또는 1로 매우 낮지만 사고결과는 Level 3 또는 4로 높은 위험을 가진 LH유형이 서해에 집중 분포되어 있다.

둘째, 권역 및 지역별로 배분된 해상방제장비는 가상의 대형 기름유출

사고(전국대응, 권역대응)를 통해서 지역방제시스템과 위험도 기반 방제장비 배치모델을 검증한 결과 전국적 및 권역 내 대응해야하는 기름유출사고의 해상회수목표량인 15,000kℓ와 7,500kℓ를 회수하기 위해 해상방제장비를 사고현장까지 동원하는 소요지원시간은 동일하게 나타났다.

그러나 최악의 기름유출사고시 사고 가능성이 높은 주요 항구가 포함된 해역에서 위험도 기반 방제장비 배치모델이 시간의 변화에 따라 통항로 상 발생한 기름유출사고의 경우 사고초기 지역방제시스템과 위험도 기반 해상방제 배치모델이 비슷하게 방제장비를 동원할 수 있다. 추가적인 방제장비 동원에 있어서 위험도 기반 해상방제 배치모델이 해상회수목표량에 도달하기까지 더욱 효율적으로 장비동원이 가능하며, 장비와 함께 운용인력이 추가 배치됨으로써 효과적인 장비운용이 가능하다. 특정 항에 집중됨에 따라 환경적, 지역적 등의 이유로 특정 항의 이용 불가에 따른 위험을 56%에서 33%로 낮출 수 있다.

한편, 유조선과 화물선 등 대형 선박 입출항이 빈번한 주요 항구가 포함된 해역에서는 최대유출량을 기반하여 주요 항구에 집중배치된 자원량에 따라 사고 초기 목표회수량의 40% 이상 집중 동원이 가능하며, 주요항구만을 고려할 때에는 최대유출량과 동원시간만을 고려하는 것도 효과적이라도 볼 수 있다.

셋째, 8개 위험요인을 각 해역별로 구분하여 대비자원을 기름유출사고 발생 시 신속하고 효과적인 방제활동을 위해 해역에 따른 우선순위 선정을 도울 수 있는 해상방제 의사결정지원 모델을 개발했다. 이 모델을 통해 사고해역과 함께 주변 여덟 방위에 위치한 해역에 이르기까지 위험요인 확인이 가능하다.

해역의 위험요인별로 위험도를 파악할 수 있게 됨으로써 유출유 확산모델링, 위성자료, 사고현장자료, 해조류 데이터 등 다양한 정보를 고려하여 사고현장에서 방제전략 수립 및 우선순위 결정에 보다 체계적·과학적으로 선택과 집중을 할 수 있는 대비전략수립에 도움이 될 것으로 사료된다.

향후, 본 논문을 통해 드러난 위험도 구성요인에 대한 정량적 데이터 확보를 통한 사고빈도 및 사고결과에 대한 객관성, 전문성이 강화된 위험도를 산출함으로써 기름유출사고 대비/대응 전략 수립시 효과적이고 효율적인 위험도 지표가 될 수 있는 추가연구가 필요하다.

또한, 위험도 유형 및 해상방제 대응의사결정을 지원하기 위한 정량적 기준을 추가적으로 마련함으로써 위험도 유형에 따른 인적·물적 장비 전략 수립시 객관적인 지표로 활용할 수 있는 모델의 고도화 연구를 진행해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 국립해양조사원, 2017. 개방해 [Online]
<http://www.khoa.go.kr/oceanmap/main.do> [Accessed 10 March 2017]
- [2] 국민안전처, 2015, 2013재난연감, 세종:국민안전처
- [3] 국민안전처, 2015, 2014재해연보, 세종:국민안전처
- [4] 국민안전처, 2015~2016, 2015~2016년도 국민안전처 통계연보, 세종:국민안전처
- [5] 국토교통부, 2017. 국가물류통합정보센터 [Online]
<https://www.nlic.go.kr/nlic/ptsInoutact0040.action> [Accessed 8 April 2017]
- [6] 국토해양부, 2008, Hebei Spirit호 유류오염사고 방제부문 백서, 경기:국토해양부/해양경찰청/충청남도
- [7] 관세청, 2017. 수출입무역통계 [Online]
https://unipass.customs.go.kr:38030/ets/index.do?menuId=ETS_MNU_00000114 [Accessed 20 April 2017]
- [8] 권순명, 2008. 선박사고로 인한 해양유류오염방지 법제연구, 석사학위논문, 경남:창원대학교
- [9] 금중수, 장운재, 2006. 퍼지로직을 이용한 연안해역의 통항 위험성평가, 해양환경안전학회지, 12(1), pp.53-59.
- [10] 김경수, 2014, 해운기업의 선박투자 의사결정 방식에 관한 연구, 석사학위논문, 서울:중앙대학교
- [11] 김동진, 김상열, 2008. A Methodology for Risk Analysis on Ship Accident at Port Area, 해운물류연구, 59, pp.105-121.
- [12] 김종성, 2014. 국가해양환경정책 및 해양오염방제관리에 관한 연구. 석사학위 논문, 강원:강릉원주대학교

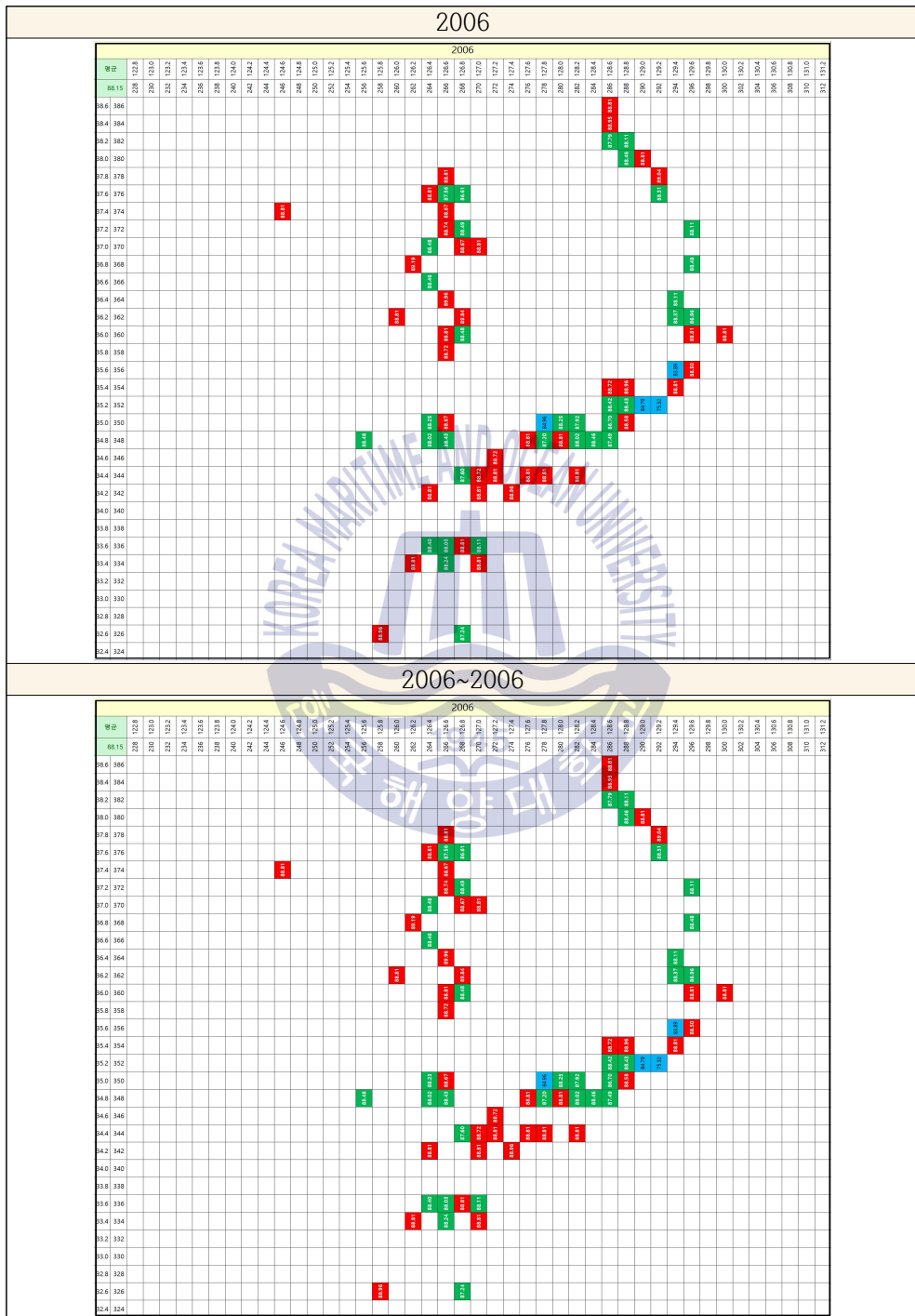
- [13] 김인숙, 2011. 주요국가의 해양오염사고 대응에 관한 비교법적 연구, 한국법제연구원.
- [14] 김화영, 권용휘, 김민주, 김봉기, 2016, 해운대 1인당 5만원 지출...부산 해수욕장 '바가지 물가', <http://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=0300&key=20160805.22006194625> [4 August 2016]
- [15] 노진철, 2008. Hebei Spirit호 기름유출사고의 초기대응과 재난관리의 한계, ECO, 12(1), pp.43-82.
- [16] 노진철, 2009. 국가 재난관리체제의 기능과 한계, 사회과학 담론과 정책, 2(1), pp.115~144.
- [17] 도로교통공단, 2015~2016. 2014~2015년 전국 시·군·구별 교통안전지수, 강원:도로교통공단
- [18] 문정환, 2009. 재난적 해양오염사고에 대비한 국가방제시스템 개선에 관한 연구, 석사학위 논문, 부산:한국해양대학교
- [19] 서우락, 2008. 태안기름유출사고의 방제전략과 교훈, 해양정책심포지움
- [20] 안영훈, 한부영, 류영아, 배정아, 2014, 국가안전지수 개발 연구, 울산:국립재난안전연구원
- [21] 안영훈, 박해육, 2008. 주요 선진국의 재난 및 안전관리체계 비교 연구, 한국지방자치학회, 행정안전부
- [22] 윤순진, 박효진, 2011. 원유유출사고를 둘러싼 위험의 사회적 구성과 위험 정보 소통, ECO, 15(1), pp.7-52.
- [23] 윤종휘, 이은방, 정상태, 이문진, 김광일, 2011, 신개념 방제능력 확충 및 선진화 방안 연구, 서울:해양환경관리공단
- [24] 윤종휘, 조동오, 국승기, 최영로, 김원돈, 조경우, 최동현, 김상구, 2009, 실용적 국가방제능력 산정방안 연구, 인천:해양경찰청
- [25] 원성심, 2010, 울여름 해수욕장 이용 경제효과 530억원, <http://www.mediajeju.com/news/articleView.html?idxno=99356> [7 September 2010]

- [26] 이문진, 2007. 유류 및 위험유해물질 해양오염사고 국가 방제체계 구축방안, 한국해양환경공학회 추계학술대회, pp.62-68.
- [27] 이문진, 강창구, 최혁진, 전태병, 강성길, 오정환, 이승현, 정노택, 김선동, 변성훈, 2004. 국가 재난적 대형 오염사고 대비대응 방안 연구, 인천:해양경찰청
- [28] 이미리, 2010, 제주도 해수욕장 객수 27% ↑...1인당 4만2천원 지출, <http://www.jejusori.net/news/articleView.html?idxno=68589> [8 September 2009]
- [29] 이시재, 2009. 허베이스피리트호 기름유출사고의 사회적 재난 연구, 태안종합학술대회, pp.87~119
- [30] 이시재, 2009. 허베이 스피리트호 기름유출사고의 생태적, 경제적, 사회적 영향 연구, 환경사회학연구, 13(1), pp.127-170.
- [31] 인천교통공사, 2016. 안전관리규정 시행내규.
- [32] 임창호, 노창균, 2006. 방제정보지원시스템 개발에 관한 기초 연구, 한국항해항만학회 춘계학술대회 논문집
- [33] 장시성, 2008. 한국의 재난관리체계 구축방향에 관한 연구, 박사학위 논문, 서울:명지대학교
- [34] 조정호, 2011, 해운대 피서객 1인당 평균 11만2천원 지출, <http://news.hankyung.com/article/2011093042108> [30 September 2011]
- [35] 통계청, 2017. 국가통계포털 [Online]
<http://kosis.kr/wnsearch/totalSearch.jsp> [Accessed 2 March 2017]
- [36] 통계청, 2017, e-나라지표 [Online]
http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1626
[Accessed 3 January 2018]
- [37] 하민재, 2014. 해양환경위해도 기반 해상방제장비 적정성배치모델 개발. 박사학위 논문. 부산:한국해양대학교
- [38] 한국산업안전보건공단, 2010, 위험도 분석방법에 관한 지침.

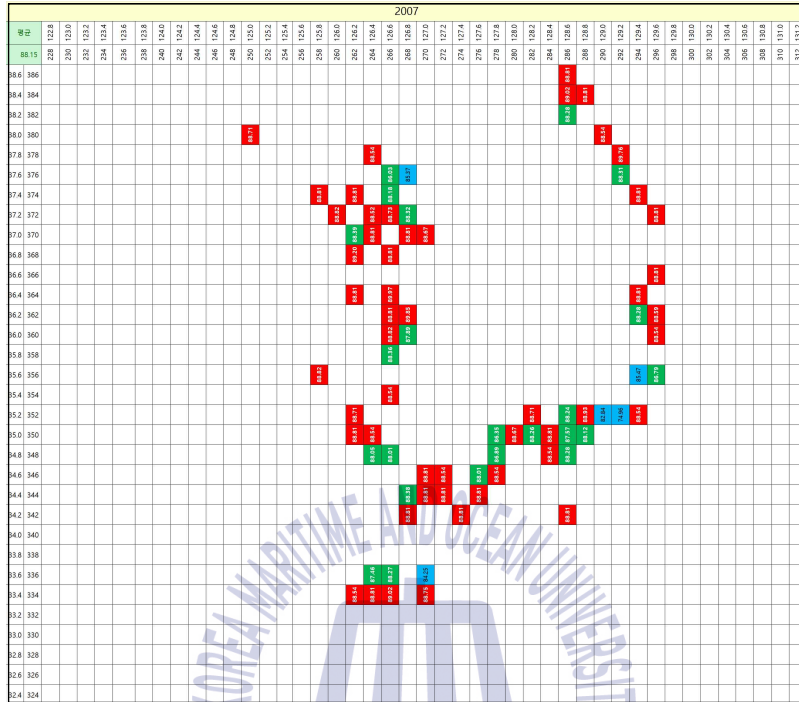
- [39] 한상운, 2008. 한국의 해양유류오염피해에 대한 법적 대응과 과제, 강원대학교 법대·한국법제연구원 공동학술회의, pp.11-43.
- [40] 해양경찰청(KCG), 2007~2013. 2007~2013 해양경찰백서, 인천:해양경찰청
- [41] 해양경찰청(KCG), 2013. 해양오염방제사례집, 인천:해양경찰청
- [42] 해양수산부(MMAF), 2015. 2015 연안해역 해상교통 현황도, 세종:해양수산부
- [43] 해양수산부, 2017. 수산정보포털, [Online]
http://www.fips.go.kr/jsp/sf/ss/ss_fishery_kind_list.jsp?menuDepth=070103 [Accessed 3 February]
- [44] BOEM, 2013, Oil spill risk analysis, U.S. Department of the Interior Bureau of Ocean Energy Management
- [45] EEA, 2003, Environmental indicators: Typology and use in reporting, Copenhagen, European Environment Agency
- [46] Energy Information Administration, 2017. EIA energy report.
- [47] IPIECA, 2013. Guidelines on oil characterization to inform spill planning and decision making. IPIECA
- [48] IPIECA, 2013, Oil spill risk assessment and response planning for offshore installations
- [49] IPIECA, 2017. Oil spill resources [Online]
<http://www.oilspillresponseproject.org/> [Accessed 10 September 2017]
- [50] IPIECA, 2013, Oil spill risk assessment and response planning for offshore installations, IPIECA
- [51] ITOPF, 2017. Oil tanker spill statistics 2016
- [52] NOPSEMA, 2014, Oil pollution risk management, National Offshore Petroleum Safety and Environmental Management Authority

- [53] Portela, 2005, Maritime Casualties Analysis as a Tool to Improve Research about Human Factors on Maritime Environment, Journal= of Maritime Research, 2(2), pp.3-18.
- [54] Queensland transport, 2000, Oil Spill Risk Assessment for the Coastal Waters of Queensland and the Great Barrier Reef Marine Park,
- [55] Ronza A., Felez S., Darbra R.M., Carol S., Vilchez J. & Casal J., 2003, Prediciting the Frequency of Accidents in Port Areas by Developing Event Trees from Historical Analysis, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 16, pp.551-560.
- [56] Rubi Soto Roberts, 2013, Risk management of oil spills onshore case analysis
- [57] Trbojevic V.M. & Carr B.J.. 2000, Risk Based Methodology for Safety Improvements in Ports, Journal of Hazardous Materials, 71, pp.467-480.
- [58] Trucco P., Cagno E., Ruggeri F. & Grande O., 2008, A Bayesian Belief Network Modelling of Organizational Factors in Risk Analysis: A Case Study in Maritime Transportation, Reliability engineering and system Safety, 93, pp.823-834.
- [59] Yang Y.L., Shyu W.H. & Hsu S.F., 2005, Risk Management of International Transportation of Integrated Circuit Products, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, pp.3386-3400.
- [60] Zhang Shuohui, 2011, Risk analysis methods in oil spill contingency plans, Dalian maritime university

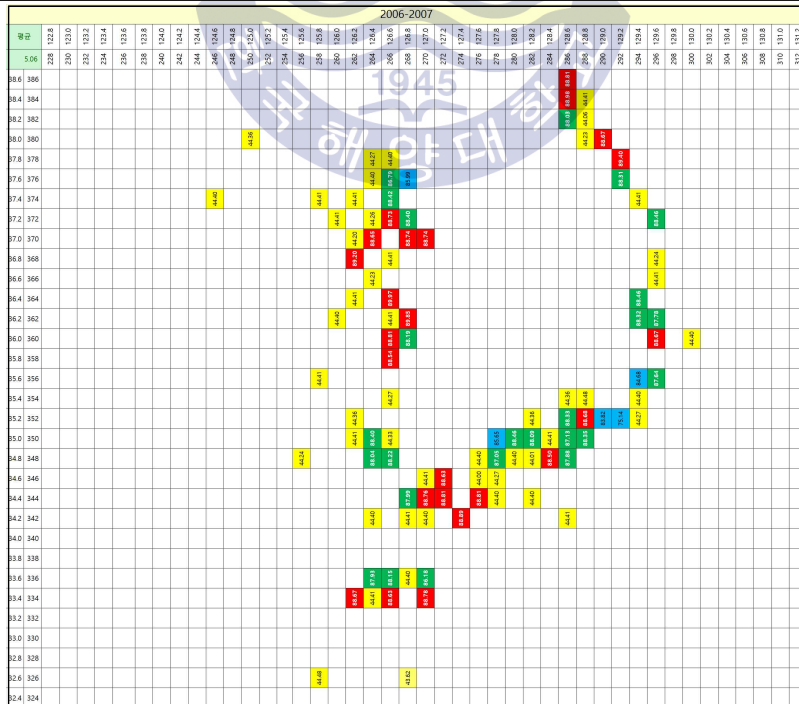
[부록 1] 사고빈도 분석데이터



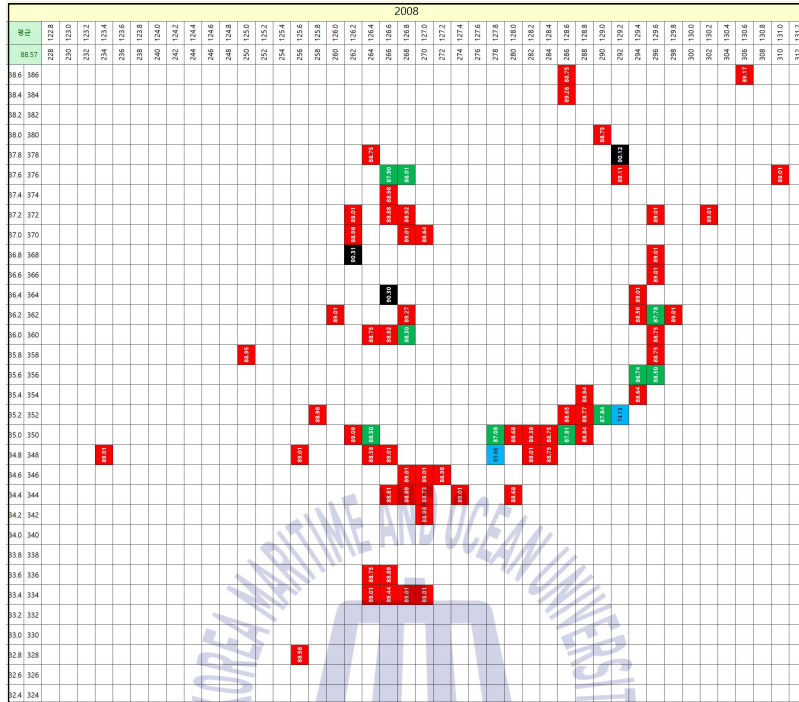
2007



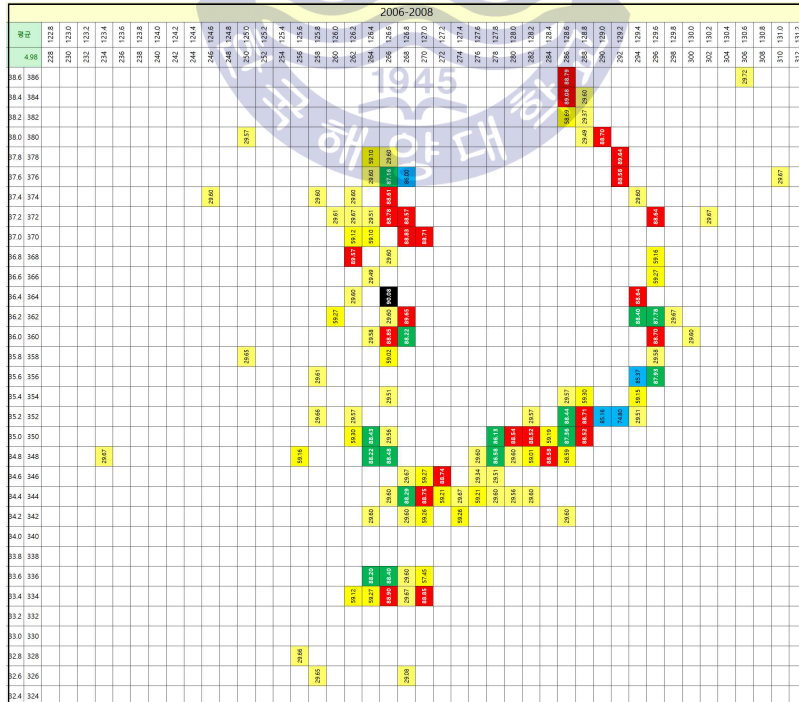
2006~2007



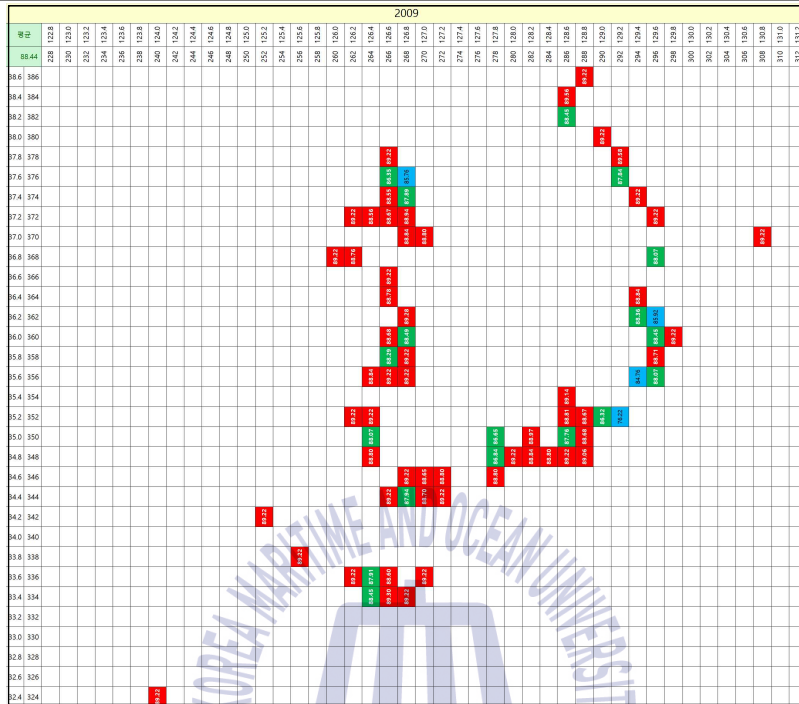
2008



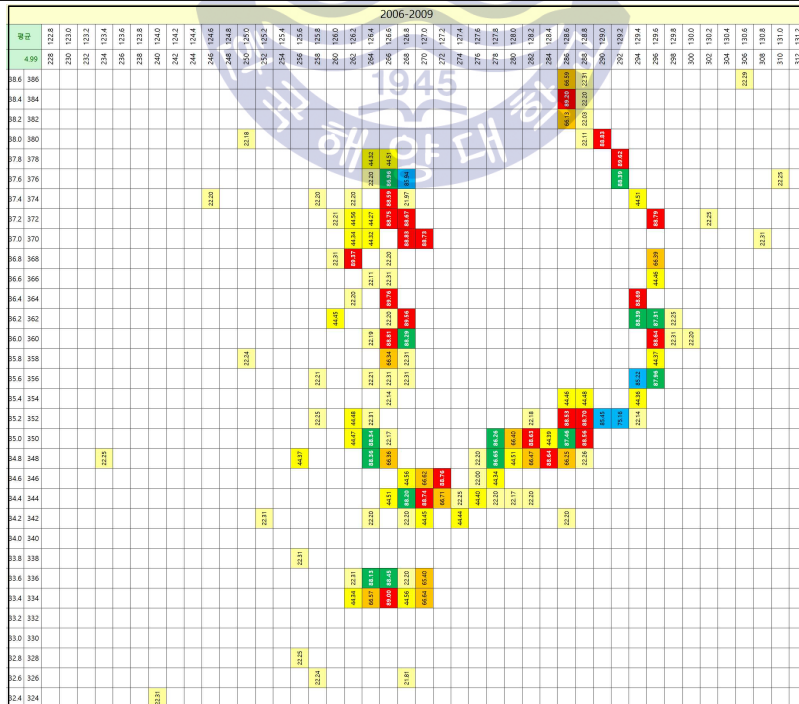
2006~2008



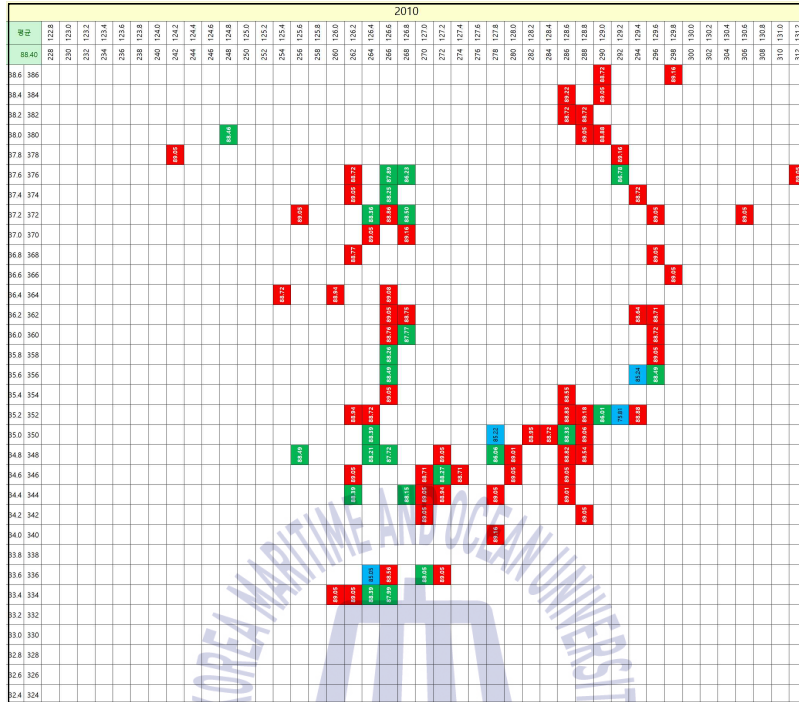
2009



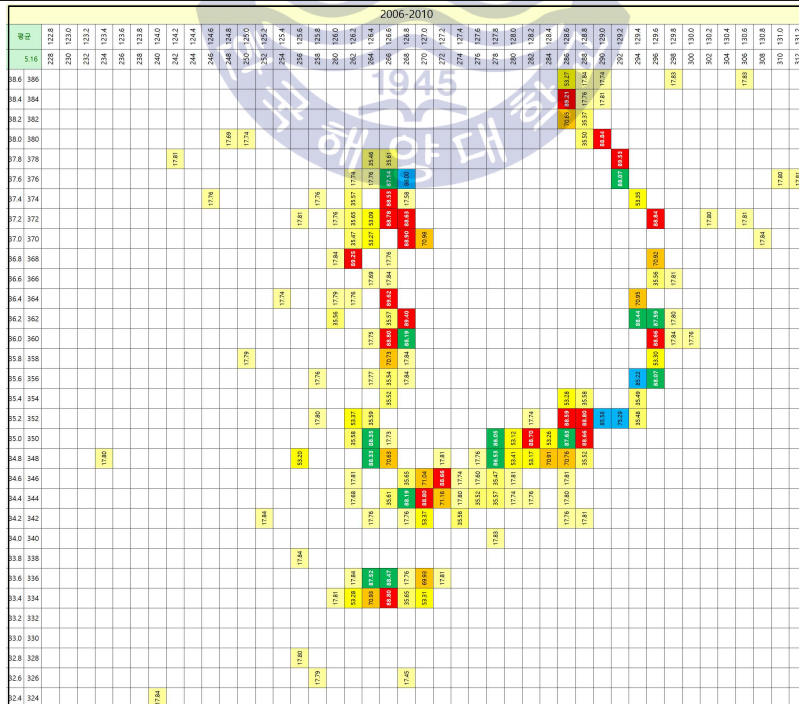
2006~2009



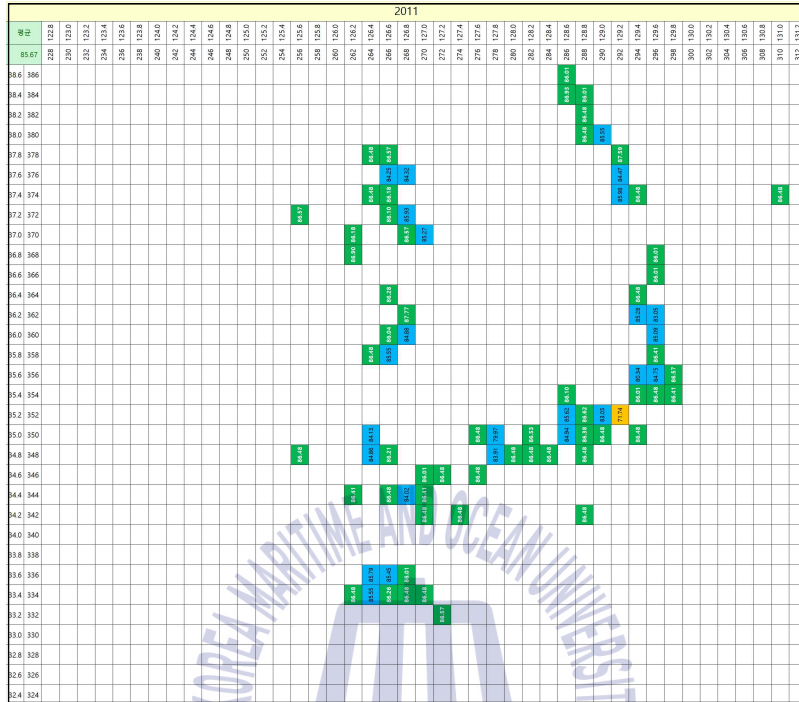
2010



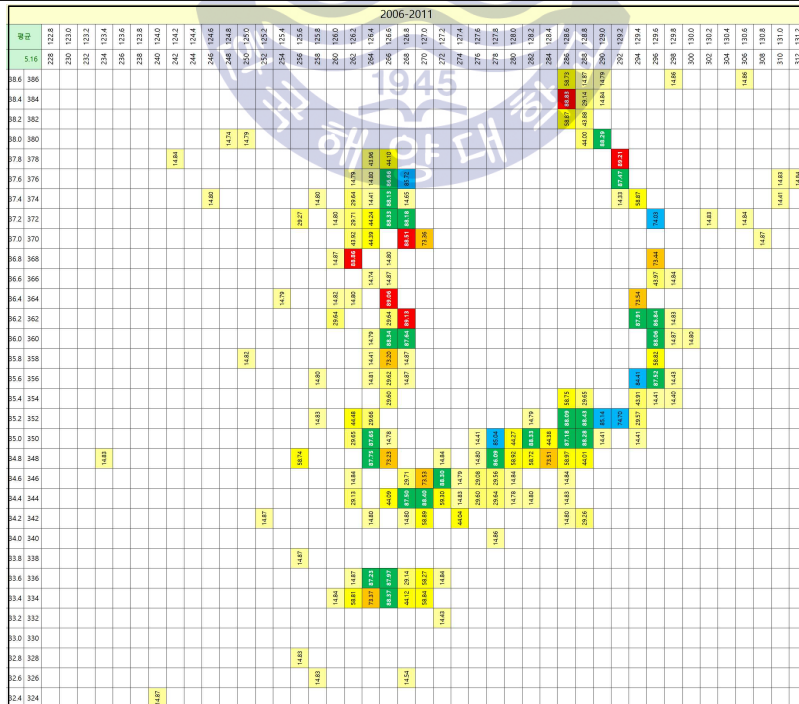
2006~2010



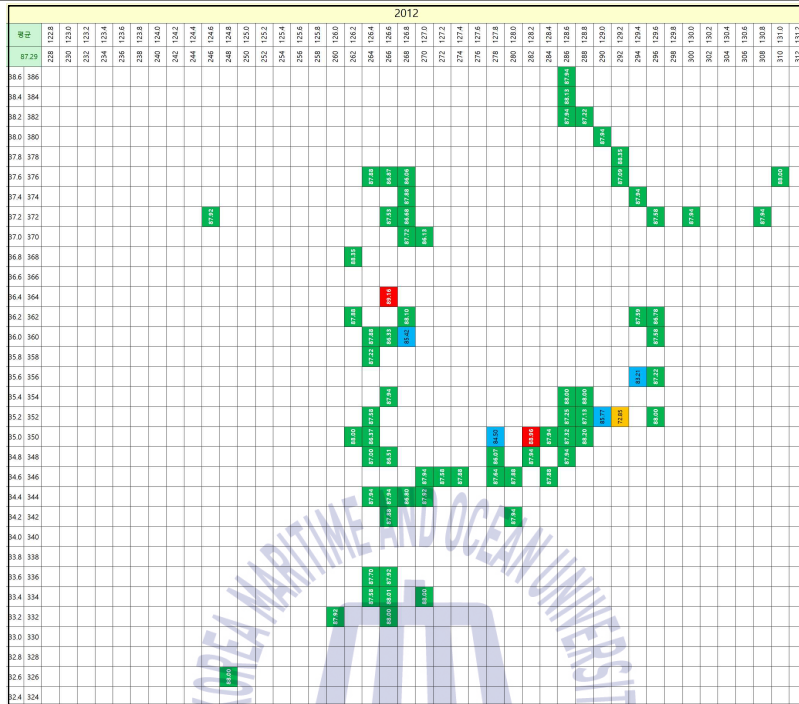
2011



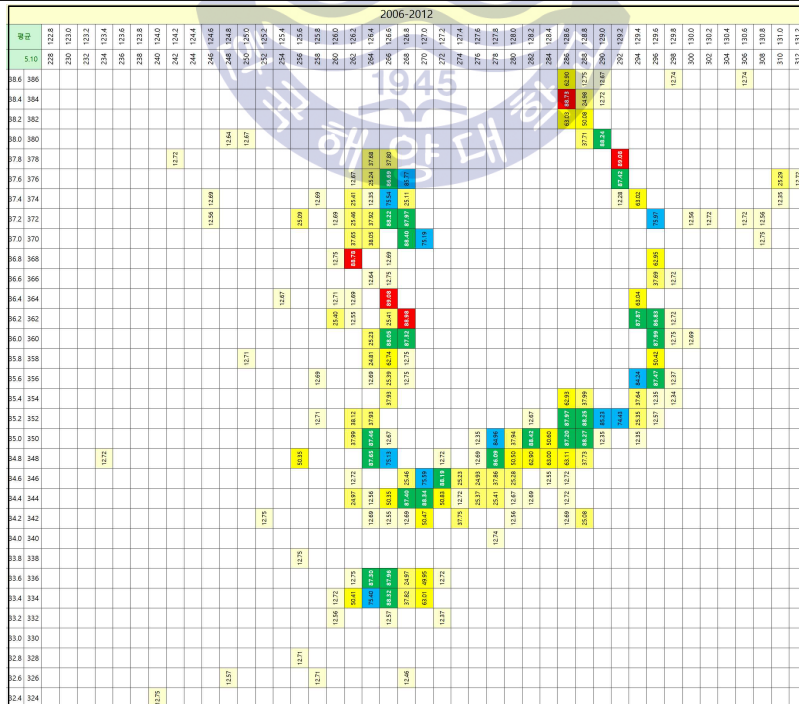
2006~2011



2012



2006~2012



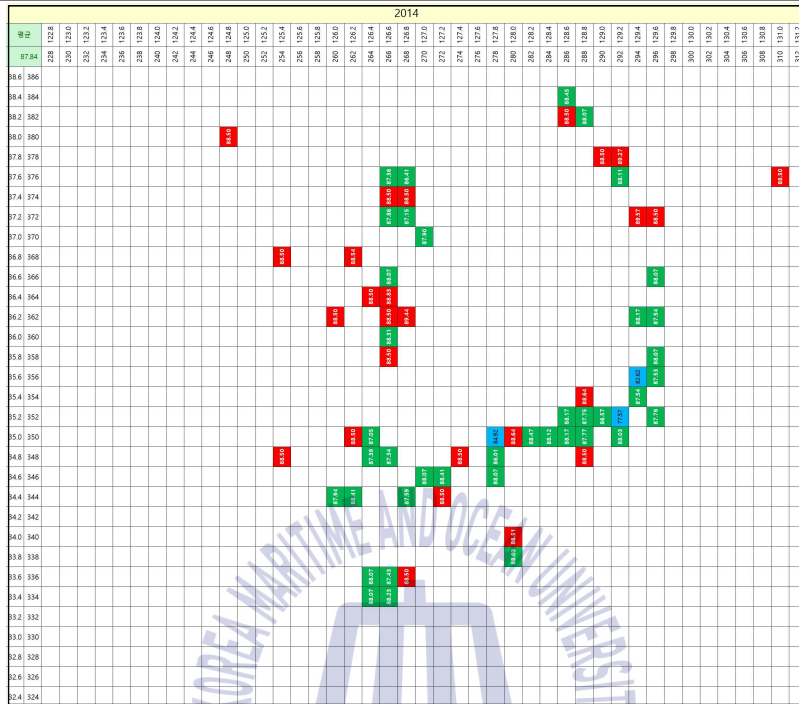
2013

영구	2013
87.64	
38.6	386
38.4	384
38.2	382
38.0	380
37.8	378
37.6	376
37.4	374
37.2	372
37.0	370
36.8	368
36.6	366
36.4	364
36.2	362
36.0	360
35.8	358
35.6	356
35.4	354
35.2	352
35.0	350
34.8	348
34.6	346
34.4	344
34.2	342
34.0	340
33.8	338
33.6	336
33.4	334
33.2	332
33.0	330
32.8	328
32.6	326
32.4	324

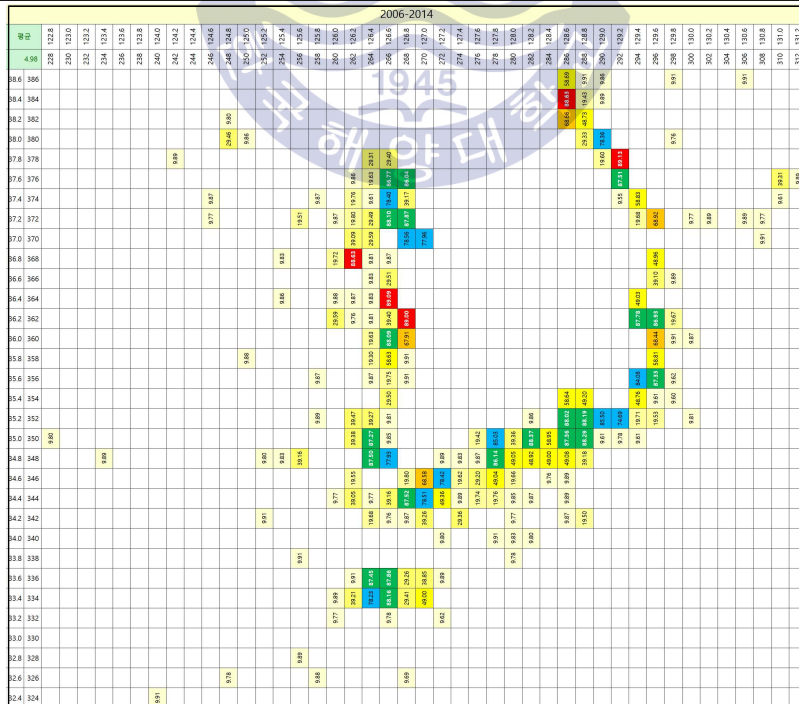
2006~2013

영구	2006~2013
5.06	
38.6	386
38.4	384
38.2	382
38.0	380
37.8	378
37.6	376
37.4	374
37.2	372
37.0	370
36.8	368
36.6	366
36.4	364
36.2	362
36.0	360
35.8	358
35.6	356
35.4	354
35.2	352
35.0	350
34.8	348
34.6	346
34.4	344
34.2	342
34.0	340
33.8	338
33.6	336
33.4	334
33.2	332
33.0	330
32.8	328
32.6	326
32.4	324

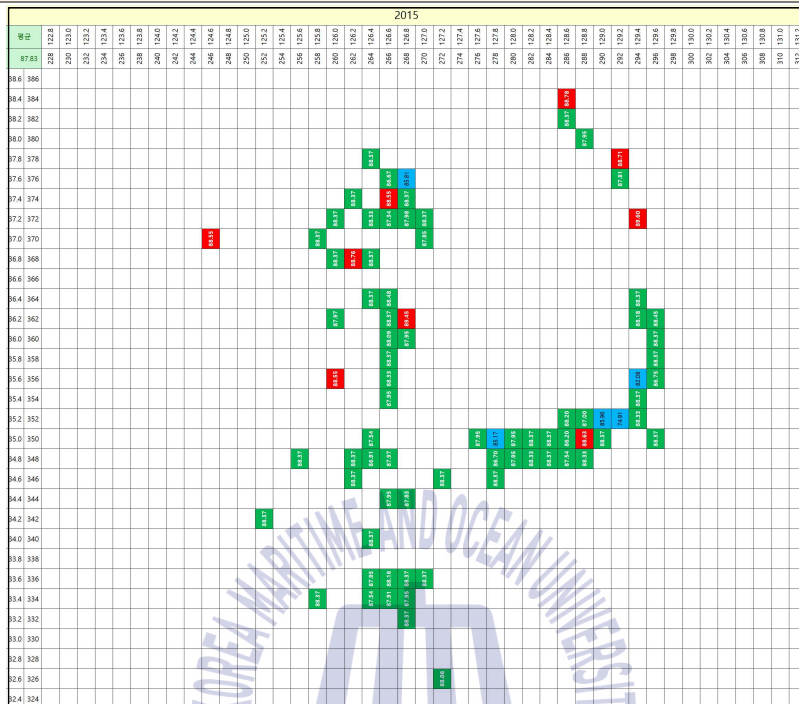
2014



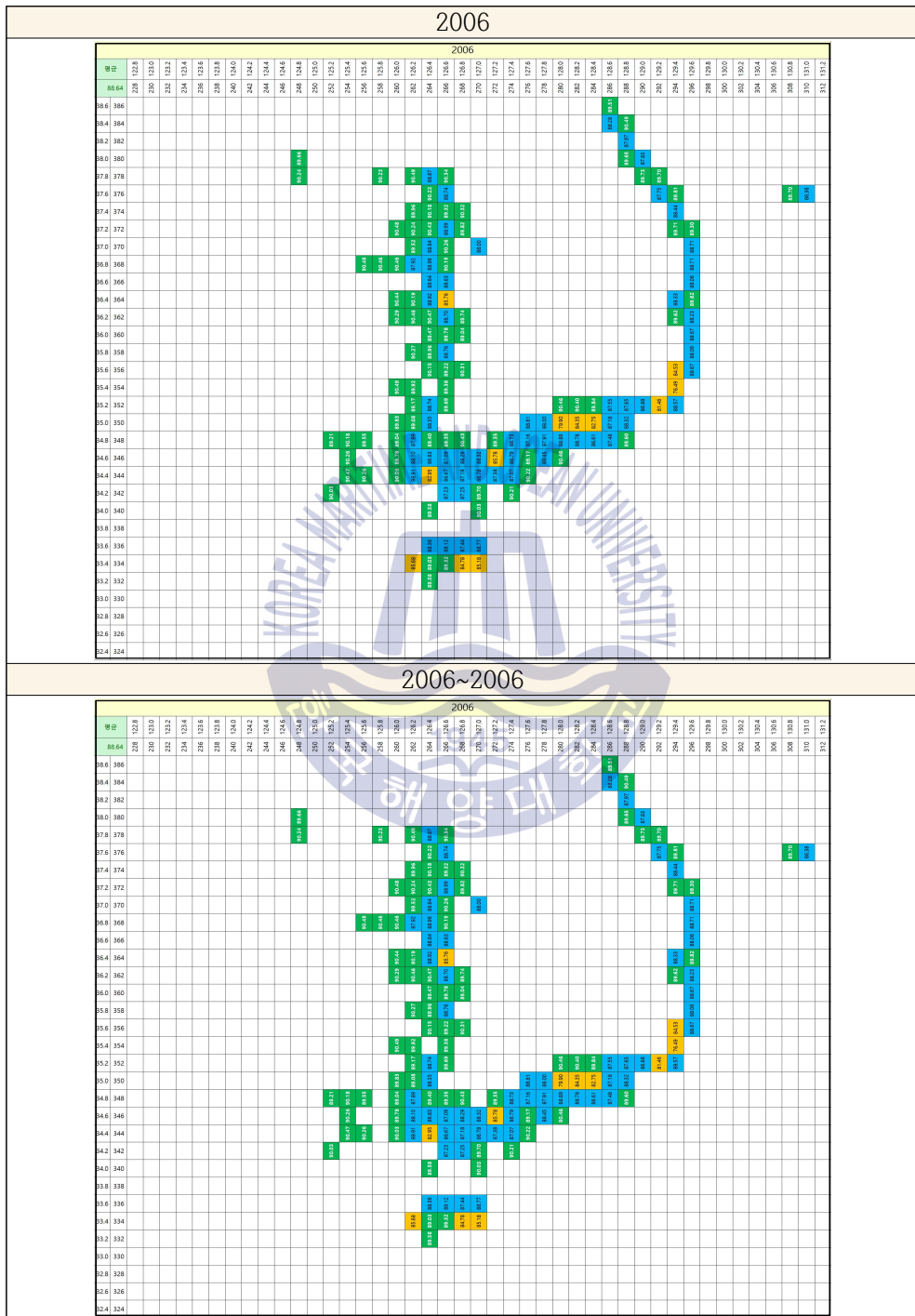
2006~2014



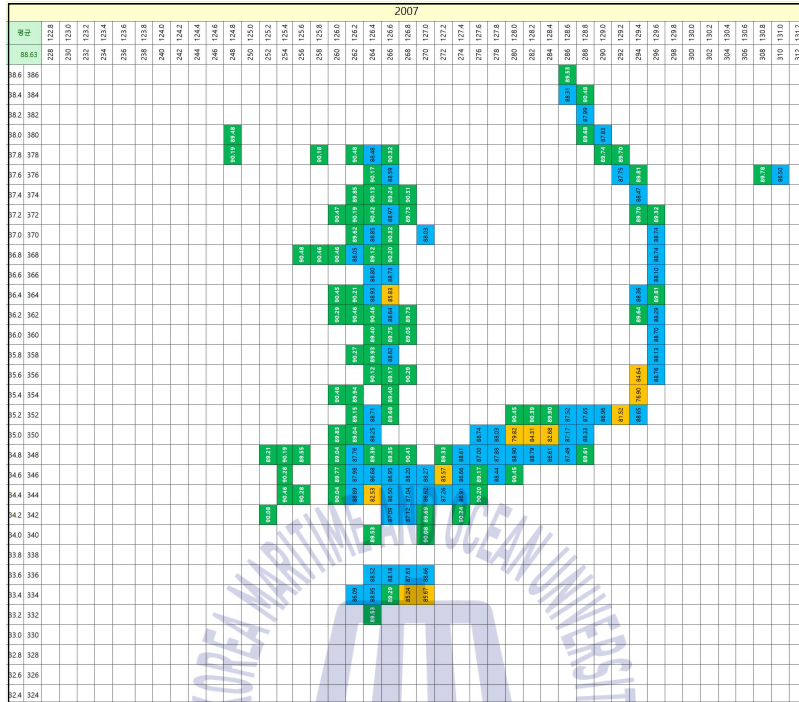
2015



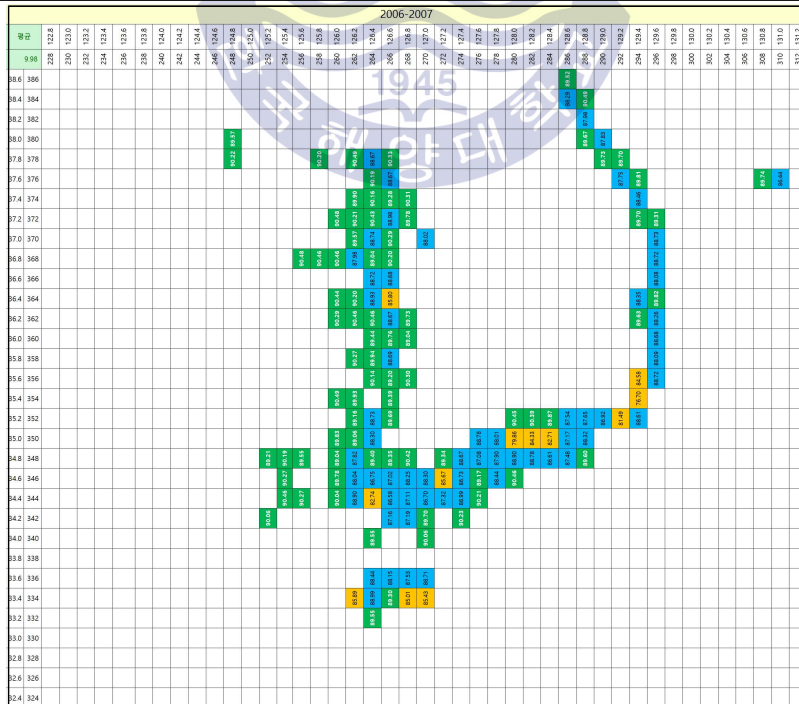
[부록 2] 사고결과 분석데이터



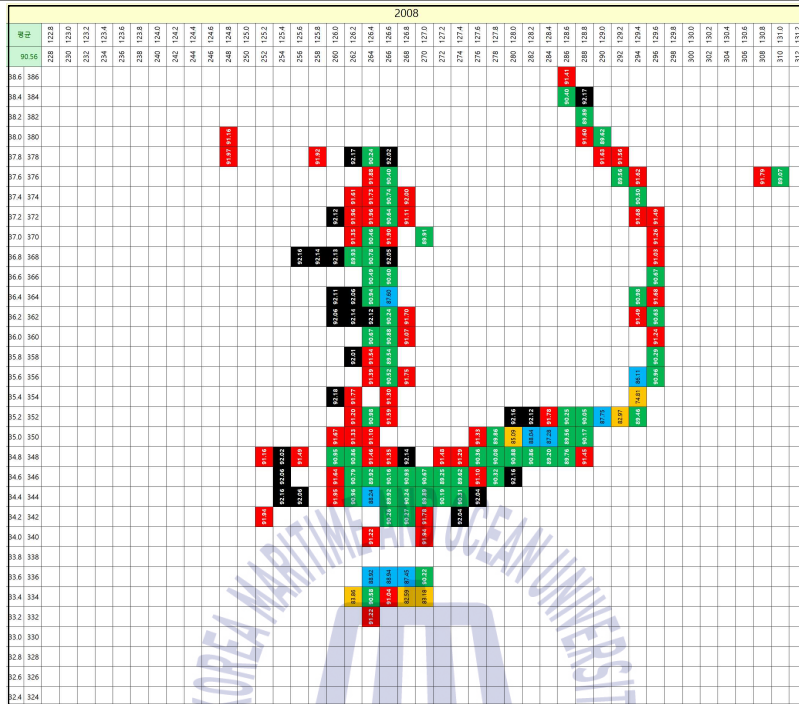
2007



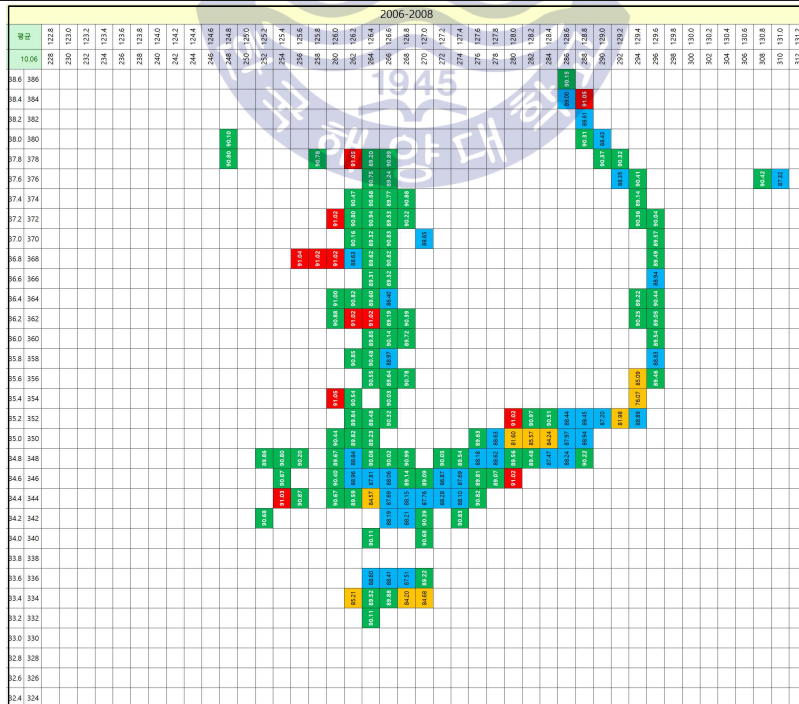
2006~2007



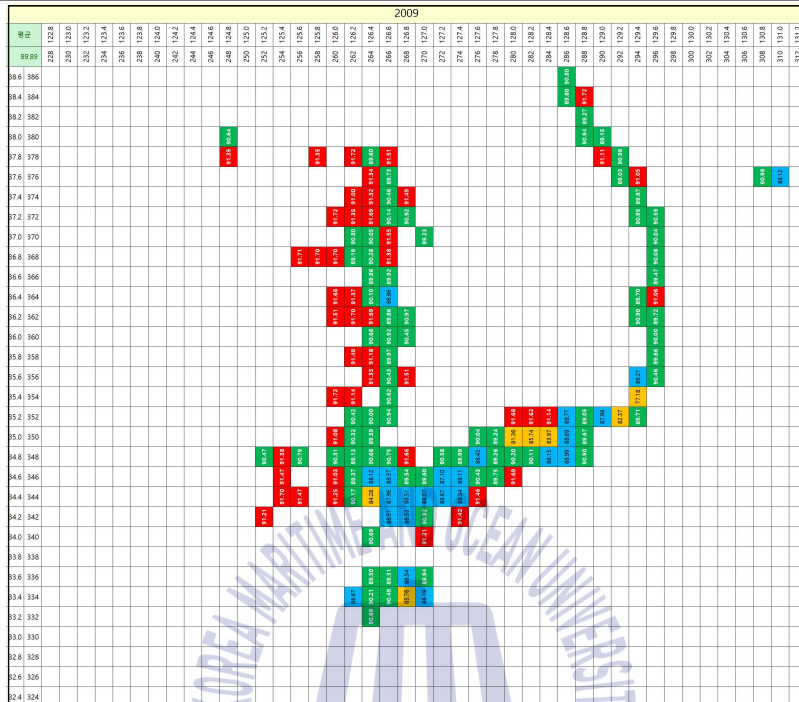
2008



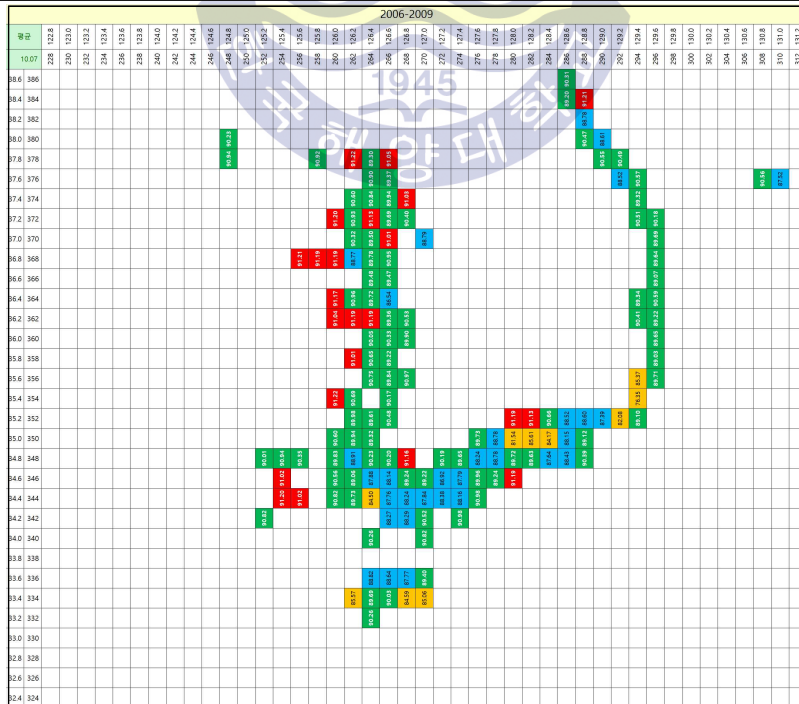
2006~2008



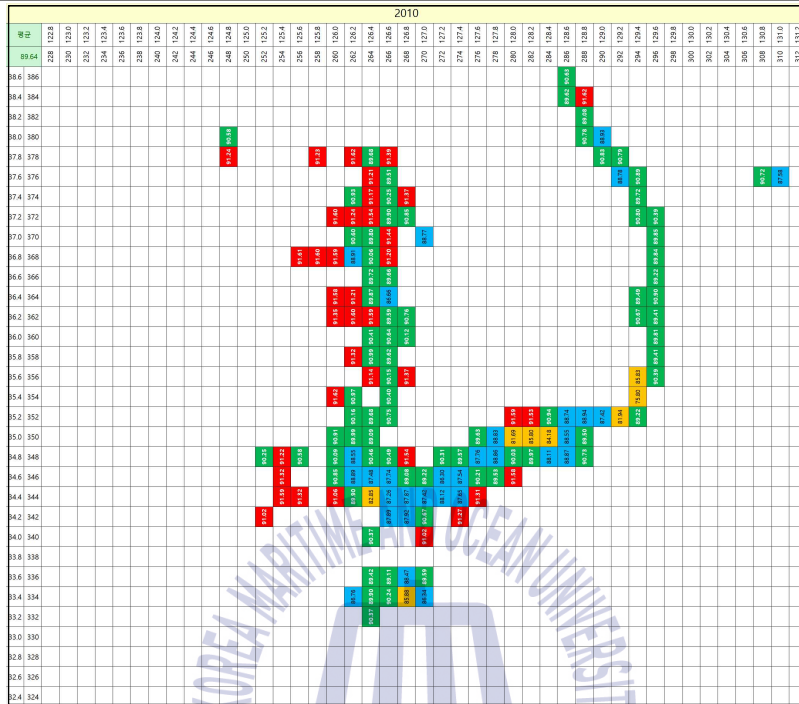
2009



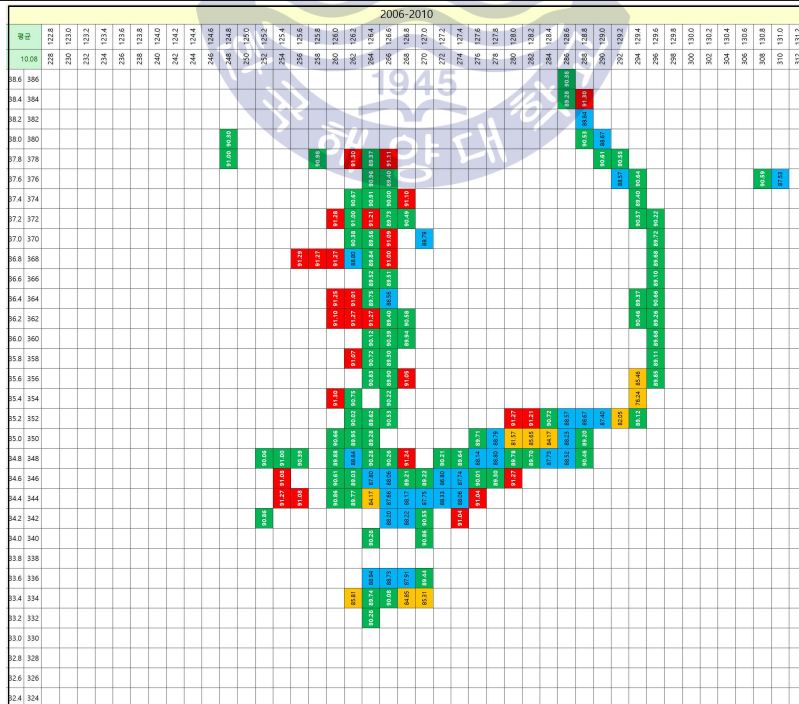
2006~2009



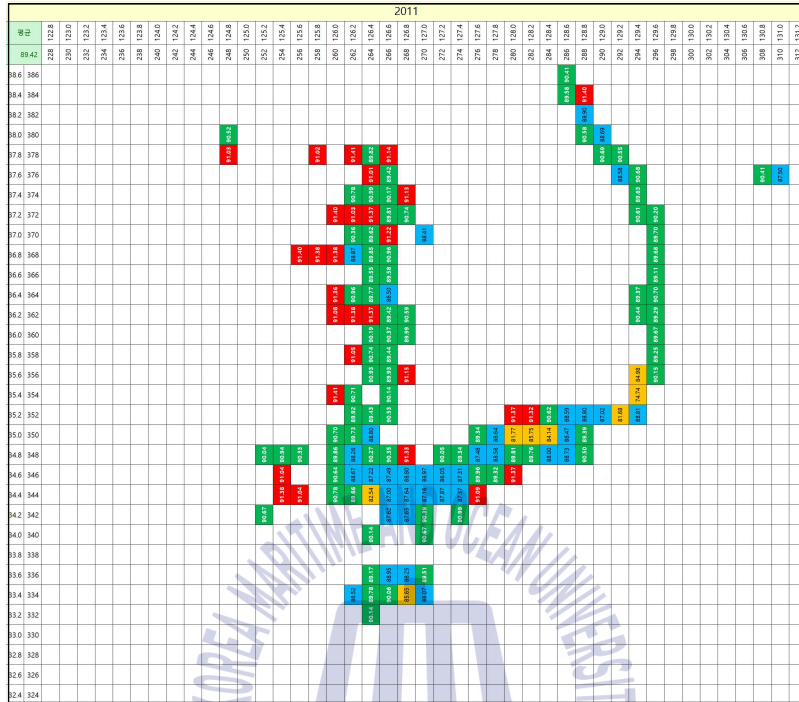
2010



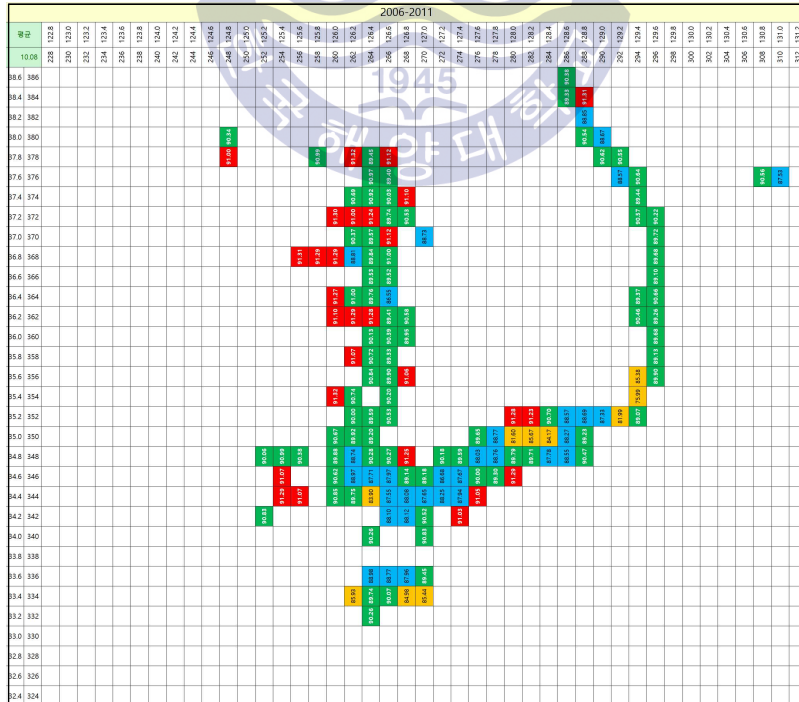
2006~2010



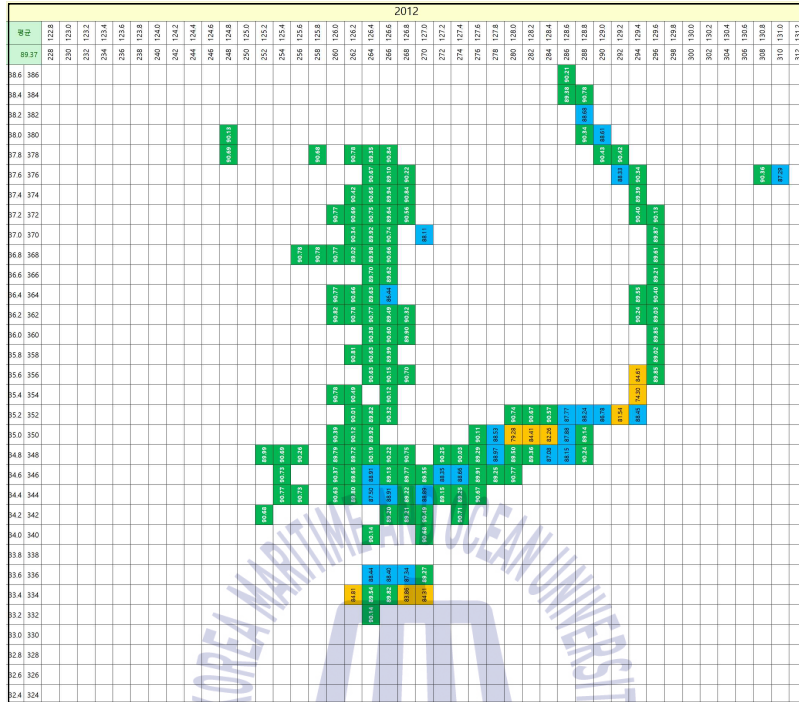
2011



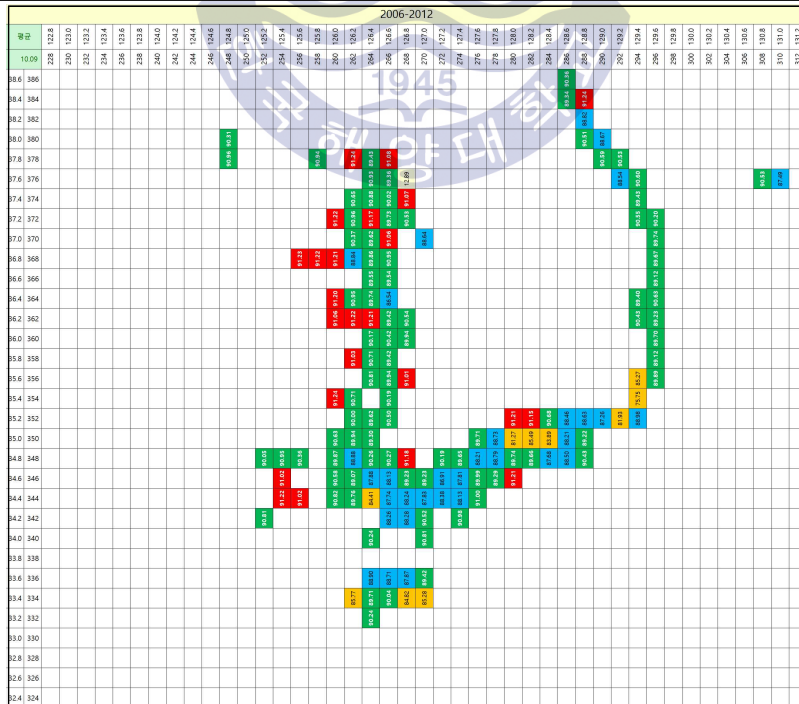
2006~2011



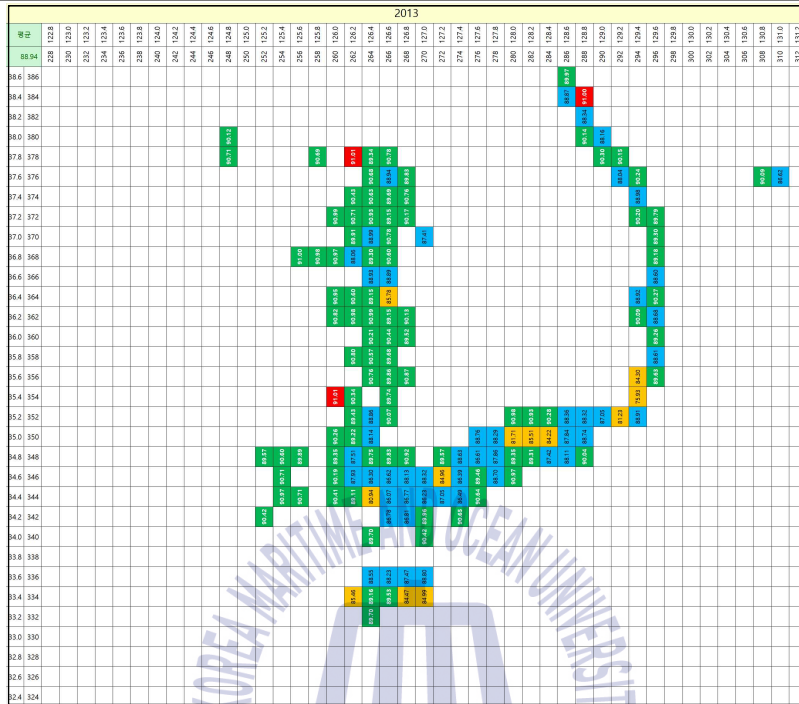
2012



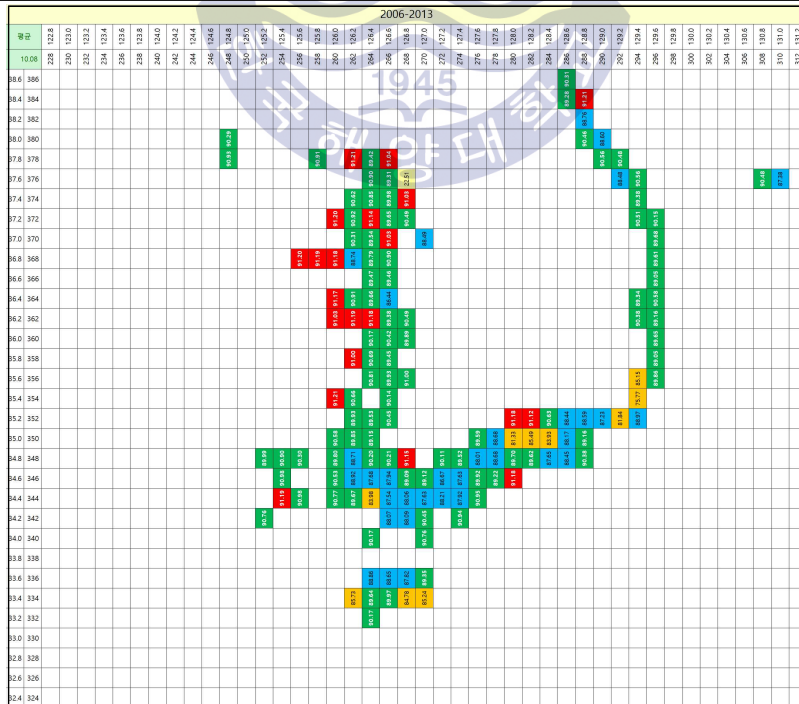
2006~2012



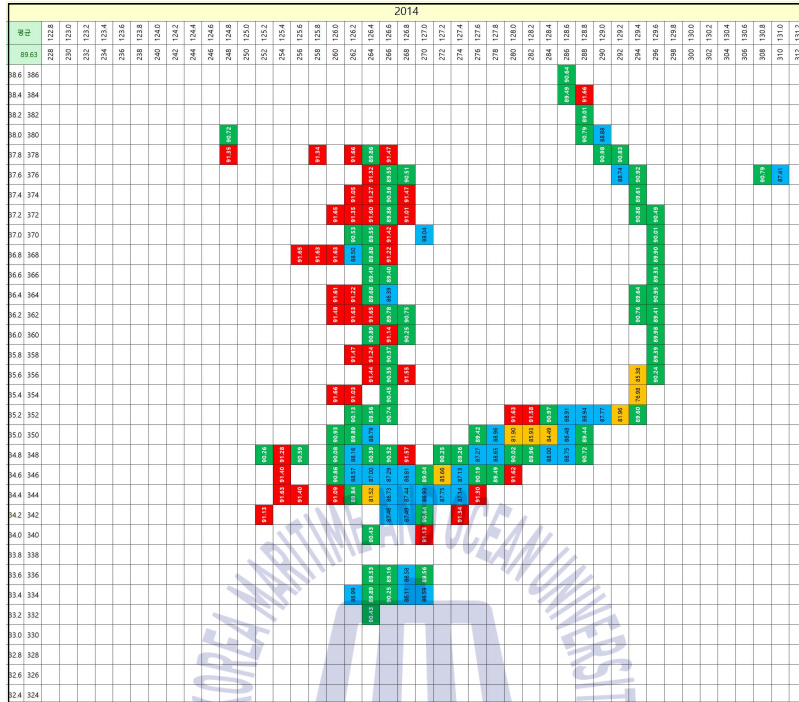
2013



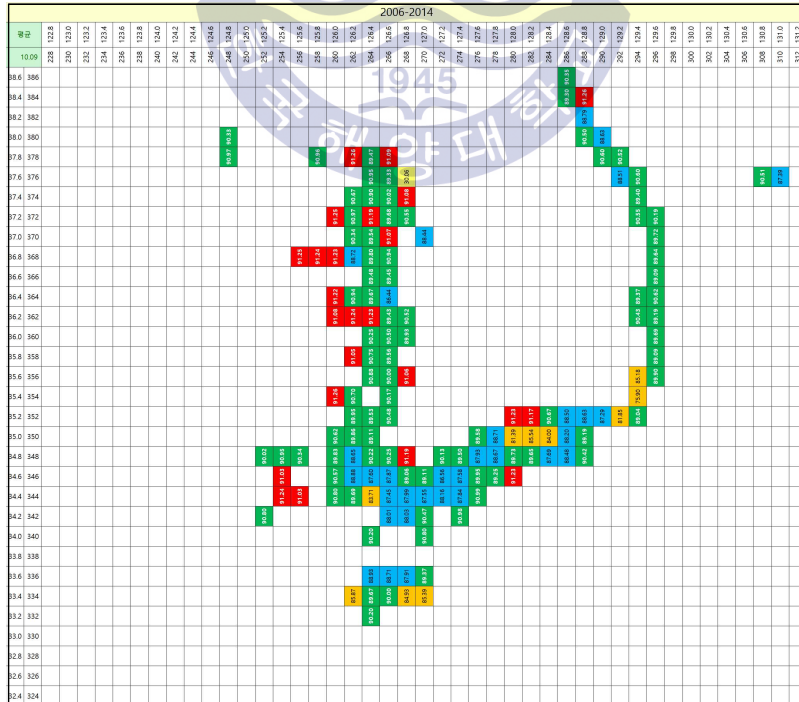
2006~2013



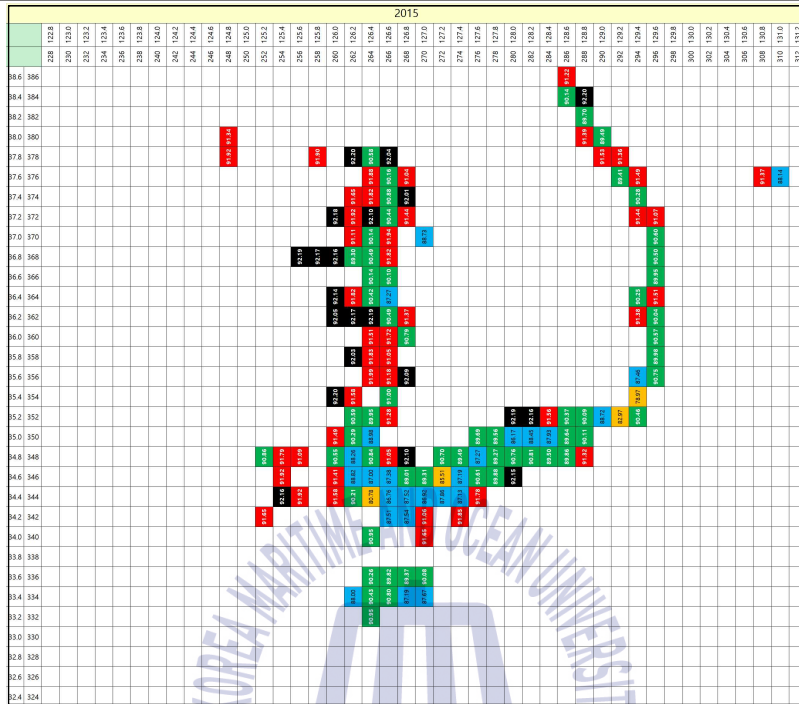
2014



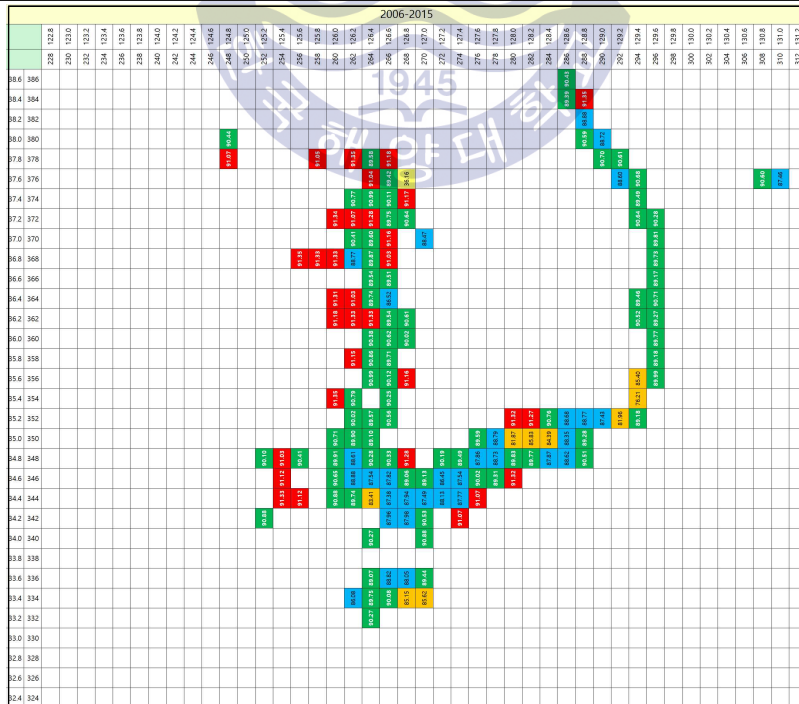
2006~2014



2015



2006~2015



설문조사지

기름유출사고 해역별 위험도 평가(evaluation) 및 사정(assessment)을 위한 위험요소 식별

안녕하세요.

저는 한국해양대학교 대학원 해양경찰학과 박사과정의 문정환입니다.

지난 1995년 Sea Prince호 기름유출사고 및 2007년 Hebei Spirit호 기름유출사고를 통해 우리나라 해역에서도 재난적 기름유출사고가 발생했으며, 해년마다 200건이 넘는 크고 작은 기름유출사고가 국내 연안 및 해역에서 발생하고 있습니다. 이에 기름유출사고에 대한 우리나라 해역별 위험도 평가 및 사정을 통해 효율적인 대비/대응 방제력 수립을 위한 연구를 진행하고 있습니다. 그 일환으로 해역별 위험요소를 식별하기 위한 설문입니다.

조사된 설문내용은 통계처리에만 이용되며, 개인의 비밀은 철저히 보장됩니다. 본 설문은 4페이지(표지 포함)로 총 9문항이며, 바쁘시더라도 약 10분 남짓 소요되는 본 설문조사에 협조하여 주셔서 진심으로 감사드립니다.

Q1. 기름유출사고관련 질문

1. 기름유출사고와 관련하여 근무하신 경력은 얼마나 됩니까?
☐ 1년 미만 ☐ 1년~3년미만 ☐ 3년~5년미만 ☐ 5년~10년미만 ☐ 10년 이상
2. 기름유출사고 방제활동에 직접 참여하신 적이 있습니까?
☐ 있다. ☐ 없다.
3. 기름유출사고 대비/대응체제에 대하여 알고 계십니까?
☐ 매우 잘 알고 있다. ☐ 주요 내용 정도는 알고 있다.
☐ 방제체제가 있다는 정도는 알지만 내용은 잘 모른다.
☐ 전혀 모른다.
4. 기름유출사고의 효율적인 대비/대응체제 개선에 대해 어느 정도 관심을 가지고 있습니까?
☐ 매우 많다. ☐ 약간 있다. ☐ 보통 ☐ 거의 없다. ☐ 전혀 없다.

Q2. 위험도 산정을 위한 위험요소 기준마련 질문

기름유출사고의 위험도를 산출하기 위해 해역별로 발생한 사고 빈도(Frequency)와 사고로 인해 발생하는 피해의 결과(Consequence)를 고려해야 합니다. 해양 선진국에서는 기름유출사고의 빈도와 더불어 피해의 결과가 포함된 위험도 산출 연구가 지속적으로 진행되고 있으나, 국내에서는 사고의 빈도 및 피해의 결과가 포함된 위험도에 대한 연구가 부족한 실정입니다.

Q2는 사고 빈도와 피해 결과에 포함되어야 할 요소들을 파악하고 그에 대한 중요도에 대한 질문입니다.

5. 사고빈도 항목은 사고발생을 유발시킬 수 있는 요소들이 포함됩니다. 사고 “빈도”의 위험요소를 중요도가 높을수록 높은 점수로 배점하여 주시기 바랍니다. 고려요소의 총합은 100점 만점입니다.
(모든 요소가 반드시 포함되어야 하는 것은 아니며, 1점 단위로 배점이 가능합니다. 기타는 예시에 포함되지 않은 요소가 있다면 기입하시고 배점하시면 됩니다.)

예 시	사고발생건	30	유 출 량	28	유 종	22	통 항 량	15
	지 형 특 성		해기상 조건	5	기타()			

↓↓↓ 아래 표에 답변해 주시기 바랍니다. ↓↓↓

사고발생건		유 출 량		유 종		통 항 량	
지 형 특 성		해기상 조건		기타()			

6. 피해결과 항목은 사고가 발생함에 따라 피해를 입을 수 있는 요소들이 포함됩니다. 피해 "결과"의 위험요소를 중요도가 높을수록 높은 점수로 배점하여 주시기 바랍니다. 고려요소의 총합은 100점 만점입니다.

(모든 요소가 반드시 포함되어야 하는 것은 아니며, 1점 단위로 배점이 가능합니다. 기타는 예시에 포함되지 않은 요소가 있다면 기입하시고 배점하시면 됩니다.)

예시	어업	18	양식업	30	관광업 (호텔식당등)		위락장소 (해수욕장등)	26
	항만		임해공단 (발전소, 조선소 등)	20	철새/조류 서식지	16	해양 보호구역	
	기타()							

↓↓↓ 아래 표에 답변해 주시기 바랍니다. ↓↓↓

	어업		양식업		관광업 (호텔식당등)		위락장소 (해수욕장등)	
	항만		임해공단 (발전소, 조선소 등)		철새/조류 서식지		해양 보호구역	
	기타()							

Q3. 일반사항

7. 성별	☐ 남	☐ 여		
8. 연령	☐ 20세 미만	☐ 20~25세	☐ 26~30세	☐ 31~35세
	☐ 36~40세	☐ 41~45세	☐ 45~50세	☐ 51세 이상
9. 거주지역	☐ 서울	☐ 부산	☐ 대구	☐ 인천
	☐ 광주	☐ 대전	☐ 울산	☐ 경기
	☐ 강원	☐ 충북	☐ 충남	☐ 전북
	☐ 전남	☐ 경북	☐ 경남	☐ 제주
	☐ 세종			

Q4. 기탁(조언 및 제안)



★ 질문에 응답해 주셔서 대단히 고맙습니다!! ★

