

해양오염 위험지수와 방제능력을 고려한 방제선 재배치 전략에 관한 연구

송윤희¹, 이기환^{2*}

¹부산대학교 경영학과 강사, ²부산대학교 무역학과 강사

A study on the relocation strategy of the control line considering the marine pollution risk index and control capacity

Youn-Hee Song¹, Gi-Whan Lee^{2*}

¹Lecturer, Department of Business Administration, Pusan National University,

²Lecturer, Department of International Trade, Pusan National University

요 약 해양 유류오염 및 유출량 증가에 따라 방제능력을 추가로 확보에는 많은 위험이 있다. 현재 해역에 배치된 방제선을 재배치하여 유효능력을 개선하고 부족한 해역에 배치하고자 하고자 해양오염지수를 도출하고 해역별 해양오염지수 대비 방제능력을 비교하여 방제선 배치의 적절성을 검증하였다. 해양오염을 유발하는 항목에 대한 해역별 수치에 전문가 집단에서 도출한 가중치를 곱하여 해양유류 오염위험지수를 도출하였다. 해역별 해양오염 위험지수(F) 대비 방제능력(A)이 부족한 해역은 목포(F:13.4, A:1.9), 부산(F:14.3, A:6.4), 여수(F:21.5, A:16.6)이고, 여유있는 해역은 마산(F:5.9, A:13.3), 군산(F:1.7, A:8.3), 제주(F:2.7, A:6.9)이다. 따라서 해양오염 위험도에 비례한 표준화된 방제능력을 제고하기 위해 방제능력 여유 해역인 마산, 군산, 제주의 방제선을 방제능력 부족해역인 목포, 부산, 여수으로 재배치되어야 함을 시사한다.

주제어 : 해양오염, 해양오염 위험지수, 방제능력, 방제선, 방제선 재배치

Abstract The numbers of occurrences and the amount of spills of marine oil pollution have increased, and accordingly, it is necessary to secure additional control capabilities. Therefore, it was intended to present an empirical basis for improving the overall idle capacity through the relocation of control ships existing in each region. First, the marine pollution index was derived and the control capability compared to the marine pollution index of each region was compared to examine the appropriateness of the deployment of control ships. The marine oil pollution risk index was derived by multiplying the nine items that cause marine pollution by the weight derived by experts. We checked the control capacity (A) compared to the marine pollution risk index (F) for each sea area. Mokpo (F:13.4, A:1.9), Busan (F:14.3, A:6.4), and Yeosu (F:21.5, A:16.6) are the areas that lack control capabilities compared to the marine pollution risk index. On the other hand, the areas that have room for control compared to the marine pollution risk index for each sea area are Masan (F: 5.9, A:13.3), Gunsan (F:1.7, A:8.3), and Jeju (F:2.7, A:6.9). Therefore, for improving the standardized control capacity proportional to the risk of marine pollution nationwide, it is suggested that the control ships of Masan, Gunsan, and Jeju should be relocated to Mokpo, Busan, and Yeosu, which lack control capacity.

Key Words : marine pollution, marine pollution risk index, control capabilities, water surface cleaner, water surface cleaner relocate

*Corresponding Author : Gi-Whan Lee(leegiwhan@gmail.com)

Received April 6, 2022
Accepted May 20, 2022

Revised May 10, 2022
Published May 28, 2022

1. 서론

우리나라는 수출입 의존도가 높은 산업구조, 세계 제2위의 석유 수입국, 세계 7~8위의 해운국, 세계 제1위의 조선업 강국이다. 우리나라 해역은 해상 물동량 비중이 높고, 석유 소비와 유류 물동량이 지속적으로 증가하고, 선박의 대형화 추세로 연안 해역에서 대형 유류오염 사고의 발생 위험이 높다. 또한 복잡한 리아스식 해안구조, 왕복성 조류가 강한 연안 특성으로 대량의 기름이 유출될 경우 인근 해역으로 빠르게 이동·확산되어 해역을 광범위하고 심각하게 오염시킬 수 있는 매우 취약한 해양환경 조건을 갖고 있다. 따라서 사고발생시 현장 상황 및 유출 물질에 따라 기름의 이동·확산 상황이 매우 상이하게 나타나고 있다. 유출된 기름은 해양생태계 및 밀집된 어장·양식장 등의 해양자원을 장기적으로 파괴하는 한편, 산업·경제·레저활동 등의 기능을 상실시켜 막대한 환경적·경제적 손실을 초래하고 이에 대한 피해복구·보상비용을 가중시키게 된다.

지난 5년간(2017~2021년) 동안 우리나라 연안에서 발생한 오염사고 건수는 1,356건에 유출량은 1,711kl에 달한다[1]. 해양 유류오염으로 인한 사회·경제적 손실은 해양 환경을 원상태로 복구에 필요한 방제비용과 직접적인 해양생물 피해가 있다. 해양 수질의 저하로 연안 양식장의 어자원 손실과 어민에게 직접적인 피해뿐만 아니라 장기적으로 해양 생태계가 파괴되어 원상복구가 거의 불가능하거나 원상회복이 되더라도 막대한 시간과 비용을 수반한다.

해양오염에 따른 피해를 최소화하기 위해서는 신속한 초동초치, 효율적인 방제전략 수립, 방제자원의 신속한 동원이 필수적이다[2].

우리나라는 전국의 주요 항만에 방제선을 배치하여 해양오염사고에 대비하고 있다. 항만에 배치된 현행 방제선이 해상 교통량 및 항만시설 등의 항만 환경의 변화를 반영하고 있는지를 검증한 연구는 미흡하다.

이에 본 연구는 현재 배치된 방제선의 방제능력을 확인하고 해역별로 다양한 해양오염 위험율이 반영되었는지를 분석하여 방제능력의 효율적 재배치를 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 방제선 배치 선행연구

해양오염 사고 발생건수와 유출량은 비례하지 않지만[3], 해상 유류오염사고 발생 건수 및 유출량은 일정하게 유지 및 감소 추세에 있는 반면 위험·유해물질은 지속적으로 증가하고 있다[4,5]

선박유형 및 사고해역별로 위험도 평가에서[6,7] 나아가 해역, 선박유형 및 사고 유형별로 위해요소를 분류하여 위험도가 높은 사고 시나리오에 대한 위험제어는[8] 확률이 높은 특정 사건에 해당할 뿐이다.

방제능력은 해양오염 사고 발생 후 사흘간 기름을 걷어 낼수 있는 능력으로 해양환경관리법에서는 사고 발생시 기름유출에 따른 피해가 커질 수 있는 선박과 유류시설 운영자에게 방제선을 배치하도록 하고 있다. 방제선 배치는 해양유류오염에 대처하여 해양환경을 유지 및 보호하고자 하는 공익가치를 실현해야 한다[9-11].

방제선 배치는 사고초기 유출 원인을 제거하거나 확대요인을 사전 차단하는 긴급구난 대응책이다[12].

기존의 가능 최대 유류 유출량 기반으로 수립된 방제자원배치를 개선한 연구는 항만 이용실태와 위험요인을 기준으로 항만 위험도를 등급화하여 방제선을 재배치하거나[13], 과거 사고에 근거한 유류유출 피해 민감자원 분포 및 계절적 생태적 경제적 민감도를 반영한 유류오염 위험도를 기준으로 방제선을 재배치하는 것이다[14,15].

2.2 해양오염 위험도

위해는 사람, 재산이나 환경 등에 손상을 초래할 가능성을 지닌 상황이고 위험도(risk)는 독성물질에 노출됨으로써 악영향을 받게 될 개연성(probability)이다. 위해요소는 해양오염사고를 일으키는 원인이 될 수 있는 항목과 사고의 결과로 피해를 입을 수 있는 항목으로 구성된다.

해양오염과 관련된 위해요소는 저유·계류시설, 유조선 교통량·유류물동량, 해난·해양오염사고 등의 해역의 현황과 항만, 항로, 묘박지, 기상, 해상상태, 어업, 수산업, 위락시설 등의 해역의 지리·환경적 조건이다.

2.3 환경민감도지수

환경민감도지수(ESI : Environmental Sensitivity Index)는 미국 해양대기관리청(NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration) 개발하였다. 유류오염 취약 요인에 대한 정보를 바탕으로 방제책임자가 해양오염사고 방제전략의 수립 및 실행시 효율적인 방제작업을 할 수 있도록 하고, 해양오염사고로 인한 피해, 자연자원에 미치는 영향을 예상함으로써 피해 분석 및 의사결정을 지원한다.

2.4 방제정보지도시스템 항목

우리나라 방제정보지도시스템에 포함된 항목은 해안선 형태(Shoreline Classification), 생물자원(Biological Resources), 사회·경제자원(Human Resources), 방제자원(Clean-up Resources), 해양 위해요소와 관련한 환경민감도지수이다. 이 중에서 환경민감도 지수는 해역 지리·환경적 조건인 사후 민감도 항목이 포함되어 있다.

3. 해양오염 위험지수 항목

3.1 해양오염 기준 항목 도출

해양오염 위험지수는 해양 오염사고와 항만 환경의 위험을 반영하여 산출된다[2, 16, 17]. 해양오염 위험지수는 선박교통량, 유조선 등의 위험화물 물동량, 과거 사고 발생 등에 관한 수년간의 변화 추이를 파악하고 기름 등의 저장시설, 환경관리해역 및 어장 등의 환경 민감 요소의 존재 여부 및 규모 등을 항만별로 조사하여 항만에 대한 위험성을 등급화하는 것이다.

하민재 외[16]은 지역별 해상 기름회수능력을 선박 통항량, 기름 물동량, 기름유출량, 기름저장용량, 양식업 면적, 환경관리 해역 규모, 해수욕장 이용객 수의 7개 항목으로 정규화하여 계층분석과정으로 가중치를 적용하여 권역내 지역별 위험도를 산출하였다. 산출된 위험도를 바탕으로 권역내 확보해야 하는 해상 기름회수능력인 7,500kl를 해당 지역의 위험도에 따라 해상 기름회수능력을 결정하여 지역별 적정 해상 기름회수능력을 제시하였다. 해상 기름회수능력이 과하게 설정된 인천, 군산, 목포, 부산지역의 기름회수능력이 권역내 다른 지역으로

Table 1. Relative Ocean Pollution Risk

Relative Risk	Sea area
the best (10% more than)	Yeosu(20.3), Ulsan(17.9), Busan(17.1)
upper(5~10%)	Incheon(9.1), Pyeongtaek(7.1), Pohang (5.7), Tongyeong (5.1)
middle(2.5~5%)	Taeon(4.6), Mokpo(3.2), Changwon(3.1)
lower(2.5% less than)	Donghae (2.0), Gunsan(1.6), Jeju(1.4), Wando(0.8), Seogwipo(0.7), Boryeong(0.5), Sokcho(0.4)

Ministry of Public Safety and Security(2015)

부산·배치되었고, 권역 중심인 대산 1,475kl, 여수 375kl, 울산 475kl 증가하는 것으로 나타났다. 해양사고의 원인적인 측면뿐만 아니라 환경·경제적인 측면까지 고려하여 제시된 지역별 해상기름회수능력 설정치는 현행 기준에 의한 설정치보다 균형적인 배치분포를 보이는 것으로 나타났다.

국민안전처[17]는 전국을 17개 해역으로 나누어 해역별 선박 입출항 빈도와 기름 물동량을 기준으로 해양오염 위험등급을 최상~하의 4개 등급으로 해양오염 위험지수를 산출하였다. 해양오염 위험지수는 지난 30년간 전국에서 발생한 중질유 오염사고 3478건(총 4만 5259kl 유출)을 통계 분석한 결과와 2014년 전국 항만별 화물선 입·출항 빈도와 유류 물동량을 반영했다. 연구 결과 여수 해역(여수해양경비안전서 관할 해역)의 해양오염 위험지수가 가장 높은 것으로 나타났다. 우리나라 전체 해양오염 위험의 20.3%를 여수 해역이 차지한다. 울산과 부산 해역으로 위험지수는 각 17.9%와 17.1%로 나타났으며, 이들 3개 해역의 해양오염 사고위험은 다른 해역과 뚜렷하게 차별이 날 정도로 높게 나타난 반면, 속초 해역은 해양오염 위험이 가장 낮고, 이어 보령·서귀

Table 2. Oil Pollution Risk Assessment of Prior Studies

item	Ha Min-jae et al. (2013)	Ministry of Public Safety and Security (2015)	Marine Environment Corporation (2016)
1	Vessel traffic volume (16%) / 2006-2011	Ship arrival and departure frequency (25%) / 2014	Vessel traffic volume (16%) / 20 years
2			Vessel capacity (12%) / 15 years
3	Oil traffic volume (31%) / 2012	Oil traffic volume (25%) / 2014	Dangerous cargo volume (31%) / 20 years
4		Accident frequency (25%) / 30 years	Number of pollution accidents (10%) / 15 years
5	Oil spillage (10%) / 2006~2011	Accident frequency (25%) / 30 years	Oil spillage (10%) / 15 years
6	Oil storage capacity (12%) / 2013		Oil storage capacity (12%)
7	Aquaculture area (18%) / 2010		Number of fishing licenses (7%)
8	Environmental management area size (7%) / 2013		Environmental management area size (7%)
9	Number of beach users (6%) / 2010		
계	7 items (100%)	4 items (100%)	8 items (105%)

포·완도 해역으로 상대적 위험도는 1%에도 미치지 않았다. 우리나라 최악의 해양오염사고가 발생한 태안은 2007년 허베이 스프리트호 오염사고 이외에는 특별한 사고가 발생하지 않아 위험지수 4.6%로 “중” 등급에 분류된다.

해양오염 위험지수는 해양오염 사고빈도(25%), 사고 규모(25%), 선박 입출항 빈도(25%), 기름 물동량(25%)의 단순합으로 계산하였다.

해양환경공단[18]은 항만 위험도는 항만의 직접적 위험요소(선박 통항량 및 선박량, 위험화물 물동량, 위험물 저장시설 등)와 간접적 위험요소(과거 오염사고 실태, 어업권, 환경보존해역 규모 등) 등을 주기적으로 파악하여 항만 위험도 산정의 최신화가 필요하다. 항만 위험도 평가는 ① 항만별 선박 통항량, ② 항만별 통항 선박의 선복량, ③ 항만별 위험화물 물동량, ④ 항만별 해양오염사고 발생건수, ⑤ 기름 유출량, ⑥ 항만별 기름저장시설의

분포 현황, ⑦ 항만별 어업권 허가 현황, ⑧ 항만별 환경관리해역 현황으로 하였다. 이러한 항만 위험도 기준에 따르면 대규모 석유화학 산업시설이 위치하고 있는 여수·광양항(1.85), 울산항(1.33), 대산항(1.25)에서 높게 나타나며, 선박 통항량이 많은 부산항(0.95), 인천항(0.83)과 항만시설이 지속적으로 확충되어 대형선 통항량이 증가한 목포항과 제주항(0.49), 관할 수역이 넓고 주변에 어업권 허가건 수가 많은 마산항(0.44) 순으로 위험도 값이 산정되었다. 산정된 위험도에 따라 위험도 값이 가장 높게 나타난 여수·광양항에 대한 각 항만의 상대적 비율을 감안하여 15개의 항만을 4단계의 위험군으로 분류하였다. 최고위험군(여수·광양항의 상대적 비율이 50% 이내인 항만)은 울산항, 대산항, 부산항이고, 고위험군(여수·광양항의 상대적 비율이 25~50% 이내인 항만)은 인천항, 목포항, 제주항, 마산항이고, 중위험군(여수·광양항의 상대적 비율이 10~20% 이내인 항만)은 평

Table 3. Oil contamination risk assessment of this study

item	Classification	detail item	period
1	Hazard probability factor	Number of ships entering and leaving	Average value of past 10 years from 2008 to 2017
2		Capacity of incoming and outgoing ships (tonnage of ships)	
3		Number of marine pollution accidents	
4		Accidental discharge from marine pollution	
5		Oil traffic volume (share of dangerous cargo traffic such as crude oil, petroleum, and petroleum refining products)	
6		Oil storage facility storage capacity (industrial facilities, oil storage stations)	
7	Post-Sensitivity Factor	aquaculture fishery area	As of 2017
8		Environmental Management Area	
9		Number of users of amusement facilities (beach)	

Table 4. Number of ships entering and leaving ports (2008~2017)

sea area	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	Sum	비율
Busan	115,931	100,113	104,995	100,875	100,845	99,249	95,378	98,087	100,197	99,687	1,015,357	28.4
Incheon	41,453	39,982	42,563	39,028	35,162	35,237	35,363	37,560	37,407	36,215	379,970	10.6
Yeosu	56,118	55,084	60,025	60,156	59,431	57,613	59,441	60,808	67,354	66,044	602,074	16.8
Ulsan	55,098	51,019	50,975	51,799	50,502	50,518	51,565	51,525	50,495	48,182	511,678	14.3
Daesan	11,791	12,486	11,462	11,862	12,656	14,089	14,346	15,070	15,957	14,548	134,267	3.8
Masan	22,617	23,269	19,714	19,113	17,750	16,228	14,350	15,849	16,151	12,334	177,375	5.0
Donghae	9,093	8,327	7,396	7,396	7,642	7,271	8,447	8,081	7,961	8,525	80,139	2.2
Gunsan	8,779	9,236	8,968	8,637	8,135	8,712	8,745	8,539	8,022	6,963	84,736	2.4
Pohang	20,453	17,234	17,905	16,789	15,958	14,502	13,984	13,452	13,606	12,908	156,791	4.4
Pyeongtaek	13,756	15,032	18,542	18,841	19,243	18,894	18,591	19,383	19,924	19,442	181,648	5.1
Mogpyo	18,425	19,344	17,657	17,528	18,411	19,234	19,157	19,040	17,344	16,987	183,127	5.1
Jeju	5,893	4,857	4,830	4,390	4,891	5,392	5,542	6,973	14,574	14,722	72,064	2.0
Sum	379,407	355,983	365,032	356,414	350,626	346,939	344,909	354,367	368,992	356,557	3,579,226	100.0

Marine Environment Corporation(2018)

택·당진항, 포항항, 군산항, 동해·목호항이고, 저위험군(여수·광양항의 상대적 비율이 10% 이하인 횡만)은 삼천포항, 옥계항, 장승포항으로 분류하였다.

해양오염 기준 항목을 도출하기 위해 본 연구에서는 표 2.의 선행연구에서 도출된 항목을 바탕으로 해양오염 위해요소와 환경영향도지수를 바탕으로 해양오염 기준을 표 3과 같이 도출하였다.

3.2 해양오염 항목별 해역 자료를 정규화

3.2.1 입출항 선박 수

입출항 선박 수는 부산(28%), 여수(17%), 울산(14%) 순으로 많음을 알 수 있다.

3.2.2 입출항 선박 선복량

선박 선복량은 선박에 적재할 수 있는 중량톤수이고 선박이 가지고 있는 운송능력으로 선박의 총톤수(G/T)이다. 선복량은 부산(26%), 여수(16%), 대산(14%) 순으로 많음을 알 수 있다.

3.2.3 유류 물동량

유류 물동량은 울산(997,922천톤)과 여수(705,311천톤) 해역이 타 해역보다 크게 많음을 알 수 있다.

3.2.4 해양오염 사고 건 수 및 유출량

해양오염 사고 건수는 1위인 부산이 581건(937kl)으

Table 5. Vessel capacity in and out of ports (2008~2017)

(Unit: 1,000 tons)

sea area	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	sum	ratio
Busan	833	852	936	1,027	1,062	1,120	1,107	1,247	1,324,057	1,332,261	2,665,028	26.0
Incheon	312	308	339	333	327	346	350	378	386,789	391,694	781,179	7.6
Yeosu	515	517	568	632	687	711	769	819	852,291	804,564	1,662,078	16.2
Ulsan	3 60	3 56	387	424	442	433	435	438	444,367	451,402	897,080	8.8
Daesan	117,661	128,462	135,644	136,077	140,594	141,113	146,143	160,098	170,986	146,658	1,423,438	13.9
Masan	75	71	76	79	77	73	67	83	88,986	79,899	169,492	1.7
Donghae	46,399	46,239	51,968	55,376	56,478	56,670	57,934	58,509	60,703	53,211	543,489	5.3
Gunsan	67	72	90	85	88	82	82	87	81,148	79,595	161,398	1.6
Pohang	109	96	107	112	112	108	115	113	112,491	115,690	228,959	2.2
Pyeongtaek	155	150	210	251	274	281	287	288	288,147	286,715	576,763	5.6
Mogpyo	69,829	68,773	88,021	89,651	88,943	98,954	101,423	101,975	100,618	79,508	887,697	8.7
Jeju	20	14	16	15	21	43	59	67	150,506	85,648	236,412	2.3
Sum	235,976	245,462	277,981	283,642	289,109	299,945	308,773	323,668	4,061,609	3,906,850	10,233,018	100.0

Marine Environment Corporation(2018)

Table 6. Oil traffic volume (2008~2017)

(Unit: 1,000 tons)

sea area	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	sum	ratio
Busan	8,467	8,262	8,922	8,724	8,137	6,891	6,826	7,767	19,134	28,323	111,453	4.0
Incheon	18,199	20,786	20,844	20,013	20,475	18,840	19,908	25,311	41,684	78,473	284,533	10.2
Yeosu	93,507	85,331	88,245	98,993	99,891	98,622	99,446	111,104	764	15,767	705,311	25.3
Ulsan	108,748	111,395	110,168	130,171	133,720	130,227	130,955	128,790	2,110	15,947	997,922	35.8
Daesan	43,360	45,776	45,470	45,323	47,766	45,160	48,597	54,035	535	42,077	411,580	14.8
Masan	1,690	1,706	1,768	1,676	1,563	1,363	1,302	1,466	1,668	556	14,758	0.5
Donghae	535	575	497	420	530	395	393	415	588	7,088	12,354	0.4
Gunsan	1,879	1,639	1,683	1,698	1,788	1,548	1,319	1,290	1,208	15,374	29,212	1.0
Pohang	656	667	689	698	714	611	560	334	698	8,003	11,414	0.4
Pyeongtaek	21,710	1,153	24,989	1,925	2,804	4,123	3,870	4,539	10,239	50,652	139,533	5.0
Mogpyo	849	888	911	882	883	921	960	943	879	37,450	45,566	1.6
Jeju	510	516	555	544	556	575	581	653	570	18,194	23,280	0.8
Sum	299,455	278,028	304,053	310,370	318,114	308,666	314,158	336,313	80,077	317,904	2,786,916	1

Marine Environment Corporation(2018)

로 2위인 목포의 305건(705kl) 보다 크게 앞서지만 유출량을 본다면 오히려 여수(1,545kl)에 많이 못 미침을 알 수 있다.

3.2.5 기름저장 시설 용량

기름저장 용량은 여수(33.9%), 울산(26.53%), 마산(15.45%), 대산(14.26%)의 4개 지역이 90%를 차지함을 알 수 있다.

3.2.6 양식장 수와 면적

양식장 면적은 해양경찰청의 방제정보 지도상의 해역별 어업권과 국립해양조사원의 어장정보도를 참고하여 12개 주요 항만 주변에 허가된 어업권 현황을 반영하였다.

일반 방제선의 평균 속력인 10노트(knot/hour)를 기준하여 각 항만에서 약 3시간 도달거리(반경 15마일)에 위치한 어업권을 추출하였다. 어업권 허가 건수가 많은

지역은 주로 남해안에 위치, 마산항 주변이 170건으로 전체의 12.5%를 차지하여 가장 많고, 삼천포항 주변이 165건(12.1%), 여수·광양항 주변 160건(11.7%), 대산항 주변 131건(9.6%), 포항항 주변 105건(7.7%), 인천항과 목포항 주변 각각 95건(각 7.0%), 군산항 주변 80건(5.9%) 등으로 파악되었다.

3.2.7 관리해역 면적

해양환경관리법 제15조(환경관리해역의 지정·관리), 해양수산부고시 제2000-3호(환경보전해역 및 특별관리해역 지정, 2000. 2. 14)에 근거하여 육상을 제외하고 해양에 한해 관리해역의 면적을 산출하였다.

환경보전해역은 해양환경상태가 양호한 해역을 지속적으로 보전할 필요가 있는 해역이고, 특별관리해역은 해역별 해양환경기준의 유지가 곤란하고, 해양환경보전에 현저한 장애가 있거나 장애를 미칠 우려가 있는 해역이다.

Table 7. Number of marine pollution accidents and spillage (kl) (2008~2017)

sea area		08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	sum	ratio
Busan	no. cases	89	56	62	52	66	66	51	51	47	41	581	0.22
	flow	110	6.9	3.3	23.4	25.3	79.3	610.8	7.1	46.3	24.9	937.3	0.17
Incheon	no. cases	26	33	28	16	12	11	11	22	7	19	185	0.07
	flow	10.7	16.9	240	12.1	89.5	3.6	3.9	5.1	0.2	6.9	388.9	0.07
Yeosu	no. cases	32	21	42	36	29	25	30	24	30	28	297	0.11
	flow	260.4	5.2	40.8	6.9	1.4	9.6	1,114	6.6	5.4	3.6	1453.9	0.26
Ulsan	no. cases	13	18	19	27	17	21	27	29	19	19	209	0.08
	flow	0.6	1.9	85.3	31.2	62.5	120	5.2	203.7	126.6	89.6	726.6	0.13
Daesan	no. cases	5	19	17	9	2	10	9	8	22	19	120	0.05
	flow	1.2	47.1	7.5	3	0.1	1.1	4.3	8.5	24.2	3.2	100.2	0.02
Masan	no. cases	29	29	24	25	14	23	23	37	36	33	273	0.10
	flow	9.2	6	128	1.7	1.1	79.4	34.3	57.2	5.4	2.0	324.3	0.06
Donghae	no. cases	2	12	23	12	10	12	4	8	18	13	114	0.04
	flow	0.1	0.9	5.6	1.9	1.5	118.3	0.3	1.7	9.0	5.8	145.1	0.03
Gunsan	no. cases	12	16	15	13	22	5	5	11	13	7	119	0.05
	flow	1.6	1.5	2	2.1	24.5	1.5	1.1	26.1	3.3	0.6	64.3	0.01
Pohang	no. cases	18	29	8	23	12	14	9	7	7	10	137	0.05
	flow	4.2	6.9	3.7	29.6	117	129.6	0.7	2.4	5.4	7.5	307	0.06
Pyeongtaek	no. cases	0	0	0	7	14	10	6	11	9	10	67	0.03
	flow	0	0	0	28.9	1.5	1	0.5	9.9	0.7	10.2	52.7	0.01
Mogpyo	no. cases	22	28	42	36	36	29	21	19	29	43	305	0.12
	flow	14.6	2.4	5.2	226	64.6	81.3	224.4	13.9	5.0	68.2	705.6	0.13
Jeju	no. cases	10	21	47	21	11	16	13	20	27	29	215	0.08
	flow	22.2	14.9	79.4	1.5	24.8	2.4	1.7	121.6	47.1	7.3	322.9	0.06
Sum	no. cases	258	282	327	277	245	242	209	250	264	271	2625	1.00
	flow	434.8	110.6	600.8	368.3	413.8	627.1	2,001	463.8	278.6	229.8	5528.6	1.00

Table 13. Relative importance of each marine pollution risk item

	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.
A. Number of ships entering and leaving	1.0	3.0	0.3	2.0	0.3	0.5	0.5	2.0	5.0
B. Total tonnage of incoming and outgoing ships	0.3	1.0	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	6.0
C. Dangerous cargo volume	3.0	4.0	1.0	8.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0
D. Number of Pollution Accidents Sent	0.5	2.0	0.1	1.0	0.3	0.5	0.3	1.0	2.0
E. Pollution accident oil spillage	3.0	3.0	0.5	4.0	1.0	3.0	4.0	5.0	6.0
F. Oil storage capacity	2.0	3.0	0.3	2.0	0.3	1.0	0.5	2.0	2.0
G. Sea farm area	2.0	2.0	0.3	3.0	0.3	2.0	1.0	3.0	2.0
H. Environmental Management Area	0.5	2.0	0.2	1.0	0.2	0.5	0.3	1.0	2.0
I. Number of beach users	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	1.0
Sum	12.5	20.2	3.2	22.0	4.9	11.3	11.7	20.0	31.0

Table 14. Derivation of weights for each marine pollution risk item

	가	나	다	라	마	바	사	아	자	차	카	가중치
A. Number of ships entering and leaving	0.08	0.15	0.10	0.09	0.07	0.04	0.04	0.10	0.16			0.09
B. Total tonnage of incoming and outgoing ships	0.03	0.05	0.08	0.02	0.07	0.03	0.04	0.03	0.19			0.06
C. Dangerous cargo volume	0.24	0.20	0.31	0.36	0.41	0.26	0.34	0.25	0.16			0.28
D. Number of Pollution Accidents Sent	0.04	0.10	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.06			0.05
E. Pollution accident oil spillage	0.24	0.15	0.16	0.18	0.21	0.26	0.34	0.25	0.19			0.22
F. Oil storage capacity	0.16	0.15	0.10	0.09	0.07	0.09	0.04	0.10	0.06			0.10
G. Sea farm area	0.16	0.10	0.08	0.14	0.05	0.18	0.09	0.15	0.06			0.11
H. Environmental Management Area	0.04	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06			0.05
I. Number of beach users	0.02	0.01	0.06	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03			0.03
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 15. Weighted average for each marine pollution risk item

	가	나	다	라	마	바	사	아	자	차	카	Sum	Average
A. Number of ships entering and leaving	0.09	0.08	0.12	0.30	0.02	0.13	0.07	0.02	0.07	0.08	0.09	1.07	0.10
B. Total tonnage of incoming and outgoing ships	0.06	0.07	0.04	0.03	0.04	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.65	0.06
C. Dangerous cargo volume	0.28	0.21	0.16	0.18	0.07	0.12	0.19	0.27	0.26	0.26	0.26	2.26	0.20
D. Number of Pollution Accidents Sent	0.05	0.08	0.23	0.05	0.11	0.20	0.16	0.15	0.05	0.05	0.05	1.19	0.11
E. Pollution accident oil spillage	0.22	0.13	0.21	0.08	0.16	0.32	0.29	0.25	0.23	0.23	0.22	2.35	0.21
F. Oil storage capacity	0.10	0.13	0.08	0.04	0.18	0.08	0.15	0.07	0.10	0.10	0.10	1.11	0.10
G. Sea farm area	0.11	0.13	0.05	0.13	0.18	0.02	0.03	0.05	0.12	0.11	0.12	1.06	0.10
H. Environmental Management Area	0.05	0.10	0.06	0.11	0.18	0.03	0.03	0.10	0.06	0.06	0.06	0.83	0.08
I. Number of beach users	0.03	0.06	0.05	0.08	0.06	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.47	0.04
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	11.00	1.00

Criteria Decision Making ; MCDM)을 지원하기 위해 개발된 기법이다. 문제를 계층구조로 만들어 각 계층의 쌍대비교를 통해 가중치를 설정하여 최하위 계층의 우선 순위를 종합하는 분석절차를 거친다. 의사결정의 목표나 평가기준이 다수이며 복잡한 경우에 상호 관련성이 적은 배타적 대안들을 체계적으로 평가할 수 있으므로 해양오염 위험지수를 도출하기 위해 AHP를 사용하였다.

3장에서 도출한 9가지 항목의 최종 목표를 바탕으로 구성하였다. 9가지 항목의 평가기준에 대한 쌍대비교를 위해 해양오염방제 분야에 전문성을 지닌 정부, 공기업, 연구기관, 민간방제업에 종사하는 전문가 집단의 20명을 대상으로 설문조사 실시하였다. 전문가 집단의 의견을 반영하고 도출된 가중치는 9개 항목간의 상대적 중요도를 표 13.과 같이 나타냈다.

9개 항목간의 상대적 중요도 합이 1이 되도록 각 항목별 값의 합으로 나누어 합산하는 정규화과정을 거친 후 정규화된 값은 각 항목별 위험도 가중치를 표 14.에서 알 수 있다.

전문가 응답의 일관성을 검증하기 위해 응답자 17명 중 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)이 0.1 이상 응답자를 제거한 후 일관성 지수를 충족하는 11명(가~카)의 쌍대비교 결과를 바탕으로 하위 수준에서부터 단계별로 가중치를 구한 후 평균값은 표 15.에서 알 수 있다.

항목별 위험도 가중치 평균은 기름유출량 0.21, 위험 화물 물동량 0.20, 기름유출량 0.15, 오염사고 건수 0.11, 기름저장용량, 양식장 면적, 입출항 선박 척수 각 0.10, 환경관리해역면적 0.08, 입출항 선박 톤수 0.06, 위탁시설 이용객 수 0.04 순으로 계산되었다.

4.2 각 해역별 해양오염 위험지수 도출 과정

11명의 전문가 집단의 쌍대비교에서 계산한 정규화된 가중치 평균값 표 15.과 12개 해역의 9가지 항목별 정규화 점수 표 12. 를 곱하여 합산한 해역별 해양오염 위험지수를 표 16.에서 알 수 있다. 표 16.에서 산출된 위험지수를 권역별로 3개로 분류해 보면 (대산권역, 인천 8.8, 대산 7.6, 평택 2.6, 군산 1.7), (여수권역, 여수 21.5, 목포 13.4, 제주 2.7), (울산권역, 울산 15.8, 부산 14.3, 마산 5.9, 동해 2.9, 포항 2.8)으로 나타났다. 세 권역 모두 공통적으로 중심 지역이 가장 높은 위험지수를 가짐을 알 수 있다.

해역별 방제능력은 해양환경공단의 기름회수용량 총량인 8,981kl 대비 해역에 배치된 기름회수용량 비율과 해역별 위험지수는 관련성을 비교한 결과 해역별 위험지수 대비 방제능력을 표 17.에서 알 수 있다.

Table 16. Risk index by sea area

item weight sea area	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.	I.	
	0.1	0.06	0.20	0.11	0.21	0.10	0.10	0.08	0.04	1.00
Busan	28.4	26.0	3.8	24.4	18.9	0.77	0.8	11.1	52.0	14.3
Incheon	10.6	7.6	8.7	7.4	8.3	5.6	1.1	28.5	2.6	8.8
Yeosu	16.8	16.2	6.0	11.7	31.6	42.3	13.5	28.4	0.6	21.5
Ulsan	14.3	8.8	54.9	7.7	6.7	34.4	0.3	2.7	2.7	15.8
Daesan	3.8	13.9	16.9	3.9	1.4	12.2	5.4	0.0	14.7	7.6
Masan	5.0	1.7	0.7	9.1	5.7	0.14	7.2	6.7	0.0	5.9
Donghae	2.2	5.3	0.6	4.1	2.8	0.5	3.8	0.0	21.8	2.9
Gunsan	2.4	1.6	0.6	4.8	0.8	0.76	3.4	0.0	0.0	1.7
Pohang	4.4	2.2	0.3	6.1	6.4	0.13	2.0	0.0	3.8	2.8
Pyeongtaek	5.1	5.6	6.7	2	0.7	2.6	0.6	0.0	0.0	2.6
Mogpyo	5.1	8.7	0.4	11.6	13.6	0.23	61.6	22.6	1.8	13.4
Jeju	2.0	2.3	0.2	7.6	3.2	0.18	0.5	0.0	0.0	2.7
Sum	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 17. Control ability compared to marine pollution index

managem nt agency	number of control lines	A	B	A / 8981	B / 8580	D	F
Busan	10	579	340	6.4	4.0	17.1	14.3
Incheon	4	710	660	7.9	7.7	9.1	8.8
Yeosu	3	1490	1,440	16.6	16.8	20.3	21.5
Ulsan	6	1502	1,440	16.7	16.8	17.9	15.8
Daesan	3	843	840	9.4	9.8	4.6	7.6
Masan	7	1197	1600	13.3	18.6	8.2	5.9
Donghae	3	509	500	5.7	5.8	2.4	2.9
Gunsan	5	743	580	8.3	6.8	2.1	1.7
Pohang	2	211	200	2.3	2.3	5.7	2.8
Pyeongtaek	4	410	340	4.6	4.0	7.1	2.6
Mogpyo	2	167	160	1.9	1.9	4.0	13.4
Jeju	5	620	480	6.9	5.6	2.1	2.7
Sum	54	8981	8580	100	100	100	100

A : marine environment Management Corporation oil recovery capacity
 B : statutory oil recovery capacity
 D : Ministry of Public Safety and Security Pollution Index
 FF : Pollution index in this study

따라서 해양오염사고에 대한 초기 대응능력 제고를 위해서 해역위험도 지수와 공단의 방제능력이 반영되어야 한다. 표 17.에 의하면 해역별 해양오염지수 대비 방제능력(기름회수능력) 부족 지역은 목포, 부산, 여수 해역이다.

- 목포 : 해양오염 위험지수(13.4) > 방제능력(1.9)
- 부산 : 해양오염 위험지수(14.3) > 방제능력(6.4)
- 여수 : 해양오염 위험지수(21.5) > 방제능력(16.6)

반면 해역별 해양오염지수 대비 기름회수능력이 여유 있는 지역은 마산, 군산, 제주 해역이다.

- 마산 : 해양오염 위험지수(5.9) < 방제능력(13.3)
- 군산 : 해양오염 위험지수(1.7) < 방제능력(8.3)
- 제주 : 해양오염 위험지수(2.7) < 방제능력(6.9)

표 17.를 권역별로 해양오염지수 대비 방제능력의 차이를 비교해 보면 여수권은 해양오염 위험지수 대비 공단 방제능력이 크게 낮게 나타났고, 반면에 울산권 및 대산권은 해양오염 위험 지수 대비 공단 방제능력이 다소 높게 나타남을 알 수 있다.

- 여수권역(여수, 목포, 제주) :

해양오염 위험지수(37.6) > 공단 방제능력(25.4)

- 울산권역(울산, 부산, 마산, 동해, 포항) :

해양오염 위험지수(41.6) < 공단 방제능력(44.4)

- 대산권역(인천, 대산, 평택, 군산) :

해양오염 위험지수(20.8) < 공단 방제능력(30.2)

따라서 전국적으로 해양오염 위험도에 비례한 평균화된 방제능력을 제고하기 위해 방제능력 여유 지역인 마산, 군산, 제주 해역의 방제선을 방제능력 부족지역인 목포, 부산, 여수 해역으로 재배치가 고려되어야 함을 알 수 있다. 나아가 방제선 재배치에서 권역별 방제능력 차이를 고려한다면 여수권역(목포, 여수)의 큰 부족을 대산권역(마산, 군산)으로 해소하면서 제주해역의 초과능력을 활용할 수 있을 것이다. 재배치에서 남은 부산해역은 울산권역의 초과능력을 흡수한다면 부족능력을 다소 해소할 수 있을 것이다.

5. 해양오염 위험지수 활용 및 제언

방제선 추가 배치는 대규모의 인적·물적 투자가 필요하므로 현행 방제역량을 대폭적으로 확충한다는 것은 예산·시간상 제약이 따른다는 점을 감안할 때 방제역량의 재배치는 비용 대비 효과가 크다.

따라서 기름의 해양 유출에 따른 비용 대비 해양오염 사고 피해 저감 편익을 분석하고 해역별 해양오염지수를 개발하여 해양오염지수 대비 방제능력을 비교하여 합리적인 방제선 재배치를 제안하였다.

분석결과 해양오염 위험도에 고려한 방제선 재배치는 방제능력 여유 지역인 마산, 군산 해역의 방제선을 방제능력 부족지역인 목포, 여수 해역으로 이동하면, 대산권역(마산, 군산)의 방제여유능력을 여수권역(목포, 여수)의 방제부족능력을 해소할 수 있다. 울산권역의 방제여유능

력으로 부산해역의 방제부족능력을 다소 해소할 수 있다.

본 연구에서 제안된 방제선 배치는 현행 방제역량보다 해양오염의 원인과 더불어 위해사고 개연성과 사후 민감도 요소가 반영되었다. 현재 해역별로 할당된 방제선을 재배치하여 해양오염지수와 방제능력의 총량적 균형을 달성한다면 방제선에 대한 추가적인 투자없이 효율적인 방제서비스를 제공할 수 있다.

아울러 상대적으로 소액 예산으로 방제역량 향상을 이룰 수 있는 드론 및 무인항공기·무인선박을 활용하여 유류 이동에 따른 오염가능 지역을 공간적으로 확인하고 최적의 해상 방제전략을 수립해야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Korea Coast Guard(2022). <http://www.kcg.go.kr/kcg/si/sub/info.do?page=2804&num=02&mi=2804>
- [2] J. Y., Mok(2001). National Oil Pollution Response System : Current Issues and Policy Recommendation, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 7(2), pp.105-121.
- [3] C. S., Lim(2018). Analysis on causes and responses to marine accidents - focusing on Busan and Incheon ports, Chung-ang University, Master's thesis
- [4] H. K., Choi, C. W., Ha, B. C., Kim(2020). A Study on the improvement of Hazardous and Noxious Substances Accidents Response System by Sea. Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy, 23(3), pp.173-180.
- [5] J. M., Jeong, S. S., Hong, C. K., Kim, K. Y., Bang, J. Y., Chun, J. H., Yoon(2020). Analysis on Trend of Marine Oil Spill for Improvement of Marine Pollution Response System, Proceedings of the Korean Society of Marine Environment and Energy Conference, pp.1449-1450.
- [6] G. S., Kim(2013). Overview of Major Oil Spill at Sea and Details of Various Response Actions. Analysis of Marine Oil Pollution Incidents in Korea, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 19(5), pp.467-475
- [7] Y. S., Kim(2016). Principal Component Analysis on Marine Casualties Occurred at Korean Littoral Sea in Recent 5 Years, Research on fisheries and marine education, 28(2), pp.465-472.
- [8] H. S., Jung(2015). A Study on the Risk Assessment of Marine Oil Pollution Accidents, Sungkyunkwan University Ph.D. thesis
- [9] S. D., Kim(2018). Constitutional Survey on the protection of maritime environmental right and the

national goal of marine environmental conservation – finding constitutional limits on the marine pollution response system –, public law research, 19(4), pp.237–269

- [10] J. W., Lee(2018). A Study on the Legal Nature of the Duty to Arrange Spill Clean-up Equipment and the Issue on the Justification of Its Privatization, Maritime Policy Research, 33(2), pp.83–119.
- [11] H. K., Choi, C. W., Ha, B. C., Kim(2020). A Study on the improvement of Hazardous and Noxious Substances Accidents Response System by Sea, Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy, 23(3), pp.173–180.
- [12] H. J., Choi(2018). A Study to Strengthen Capabilities of Marine Casualty Emergency Salvage, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, pp.106–110.
- [13] D. J., Jang, D. J., Kim, W. Y., Kim(2017). A Study on the Improvement for Port Placement of Response Vessel, Journal of the Society for Marine Environmental Safety, 23(7) pp.810–819.
- [14] C. K., Kim, J. Y., Chun, J. H., Yoon, H. M., Kim, K. Y., Bang, S. S., Hong(2020). Improving the ability to prepare for and respond to marine pollution accidents using oil pollution risk assessment, Proceedings of the Korean Society of Marine Environment and Energy Conference, pp.1448–1448.
- [15] M. J., Lee, H. J., Kim(2009). A Study on the Pollution Risk Assessment of Oil Spill Accidents, International Journal of Ocean System Engineering, 23(1), pp.24–30.
- [16] M. J., Ha, J. H., Yoon(2013). A Study on the Setting of Regional Oil Recovery Capacity On Water in Korea, The Korean Society of Marine Environment & Safety, 19(6), pp.606–611.
- [17] Ministry of Public Safety and Security(2015). Research service on the enactment of laws on marine pollution control, Korea Legal Research Institute.
- [18] Marine Environment Corporation(2016). A study on rationalization measures such as control line arrangement standards, Chonnam National University
- [19] Marine Environment Corporation(2018). Research on system improvement to improve the control service service. Pusan National University Industry–Academic Cooperation Foundation.
- [20] H. E., Kang, S. C., Kim, T. W., Lee, M. K., Chang, A. Y., Lee(2021). Examining the Strategic Priorities for Smart City Project with Analytic Hierarchy Process Based on a Survey of Potential Residents, Journal of Digital Convergence, 19(12), pp.243–253.
- [21] S. W., Hae, D. M., Lee(2022). Analysis of relative importance and priority of decision-making factors in accelerator selection of startups using AHP technique, Journal of Digital Convergence, 20(2), pp.127–140.

송 윤 희(Youn-Hee Song)

[정회원]



- 2002년 8월 : 부산대학교 대학원 (경영학 박사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 경영학과 강사
- 관심분야 : 서비스품질
- E-Mail : songyh@pusan.ac.kr

이 기 환(Gi-Whan Lee)

[정회원]



- 2013년 8월 : 부산대학교 대학원 (경제학 박사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 무역학과 강사
- 관심분야 : 국제경영, 국제경제
- E-Mail : leegiwhan@gmail.com