



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

침몰선박의 잔존유 회수 시스템 최적화에
관한 연구

A Study on Optimization of Remaining Oil Recovery System

from Sunken Vessels



2017년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과

심 유 택

본 논문을 심유탉의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 국 승 기 (인)

위원 이 은 방 (인)

위원 김 광 수 (인)

위원 최 재 혁 (인)

위원 윤 종 휘 (인)



2017년 2월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	v
List of Figure	vii
Abstract	x

제1장 서 론

1.1 배경 및 목적	1
1.2 자료 및 방법	4
1.3 범위 및 방향	5

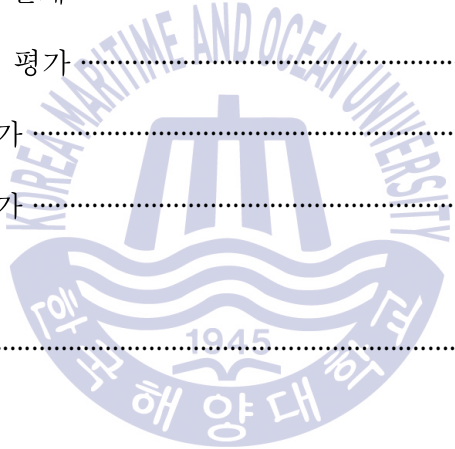
제2장 우리나라 침몰선박 관리 현황

2.1 해양사고 현황	8
2.1.1 발생 현황	8
2.1.2 침몰사고 현황	10
2.2 침몰선박 현황	11
2.2.1 발생 현황	11
2.2.2 선종별 현황	12
2.2.3 톤수별 현황	12
2.2.4 해역별 현황	13
2.2.5 100톤 이상 침몰선박 현황	13

2.3	침몰선박의 해양환경 위해요소	15
2.3.1	항행장애물 측면	15
2.3.2	해양환경 오염 유발 측면	16
2.4	침몰선박 관리현황	18
2.4.1	침몰선박 관리 체제	18
2.4.2	침몰선박 위해도 평가	20
2.4.3	침몰선박 조사 사례분석	23
2.4.4	현행 침몰선박 관리제도 및 개선방안	26
2.5	침몰선박 잔존유 회수 의사결정 절차	31
2.5.1	잔존유 회수 의사결정 절차	31
2.5.2	의사결정 절차 단계별 고려사항	35
제3장 침몰선박 잔존유 회수 시스템		
3.1	일반적인 잔존유 회수 시스템	39
3.1.1	사전 조사작업 과정	39
3.1.2	잔존유 회수작업 과정	41
3.2	잔존유 회수작업 사례 연구	46
3.2.1	국내 사례	46
3.2.2	국외 사례	61
3.2.3	사례별 특징 및 적용기술	78
3.3	침몰선박 잔존유 회수 시스템 최적화의 필요성	84

제4장 침물선박 잔존유 회수 시스템 최적화

4.1 개발 방향 및 설계 방안	87
4.1.1 개발 방향	87
4.1.2 설계 방안	88
4.1.3 시스템의 구성	89
4.2 최적화 잔존유 회수 시스템의 설계	92
4.2.1 회수작업 환경조사 단계	92
4.2.2 회수작업 실행 단계	108
4.2.3 사후 조치 단계	121
4.3 시스템의 실효성 평가	123
4.3.1 정성적 평가	123
4.3.2 정량적 평가	126
제5장 결 론	129
참 고 문 헌	133
감사의 글	137



List of Tables

Table 1 Marine accident statistics by ship type	9
Table 2 Marine accident statistics by accident type	10
Table 3 Sunken vessel statistics	12
Table 4 Sunken vessel statistics by ship type	12
Table 5 Sunken vessel statistics by ship size	13
Table 6 Sunken vessel statistics by sea area	13
Table 7 Sunken vessel statistics by ship type & size	14
Table 8 Sunken vessel risk assessment & management plan	21
Table 9 Sunken vessel risk assessment factor & index	22
Table 10(a) Considerations for each steps of decision making procedure in remaining oil recovery from sunken vessel	36
Table 10(b) Considerations for each steps of decision making procedure in remaining oil recovery from sunken vessel(continued)	37
Table 11 Comparison of underwater working method	78
Table 12 Comparison of remaining oil quantity measurement method ..	80
Table 13 Comparison of extraction hole tapping method and technic ..	81
Table 14 Comparison between heating and washing method	82
Table 15 Comparison of remaining oil extraction method	83
Table 16 Cases of remaining oil recovery from sunken vessel at the World War II	86
Table 17 Comparison of under water working method	92
Table 18 Comparison of oil & water interface measurement	100

Table 19 Using equipments for surveying seabed surrounding sunken vessel ·· 105

Table 20 Working expenses of remaining oil recovery of “No.1 Yuil” ···· 126



List of Figures

Fig. 1 Flowchart of the study	7
Fig. 2 Situation image of sunken vessel	24
Fig. 3 Fuel & cargo loading condition plan	25
Fig. 4 The map of decision-making procedure of remaining oil recovery from sunken vessels	34
Fig. 5 Work-class ROV used in remaining oil recovery of N0.1 Yuil ·	49
Fig. 6 ROLS with Base Plate	50
Fig. 7 Releasing ROLS after attached Base Plate	51
Fig. 8 3D image of sunken vessel“Kyungshin”	55
Fig. 9 Launching diving bell for saturation diving	57
Fig. 10 Connection diagram of RGB-Skid during “Kyungshin” project ·	59
Fig. 11 Storage tank used in remaining oil recovery work of“Kyungshin” ·	60
Fig. 12 Position of the ships around “Erika”	65
Fig. 13 Pumping system principle of remaining oil recovery of“Erika” ···	66
Fig. 14 MT “Prestige”broken in two	70
Fig. 15 Flow rate vs. height of fuel in tank according to exit diameter ···	74
Fig. 16 Special designed Hot tapping machine for “Prestige” project ···	75
Fig. 17 Shuttle bag used in remaining oil recovery work of “Prestige” ···	76
Fig. 18 Designing plan of optimized remaining oil recovery system ···	89
Fig. 19 Block diagram of optimized remaining oil recovery system from sunken vessels	91

Fig. 20 Bounce diving	93
Fig. 21 Saturation diving	93
Fig. 22 Atmospheric Diving Suit	93
Fig. 23 Observation ROV	94
Fig. 24 Work-class ROV	94
Fig. 25 Method of drilling hole & sounding with Testing-stick	96
Fig. 26 Calculation method of oil-water interface in remaining oil tank of sunken vessel by oil sampling	97
Fig. 27 Oil Sampling Tool	98
Fig. 28 Neutron Backscatter - Multiphase interface level measurement	99
Fig. 29 Construction profile of measuring tool & standpipe attached measuring tube way	102
Fig. 30 Conceptual diagram of using measuring tool	103
Fig. 31 3D image of sunken vessel	104
Fig. 32 Arrangement of ADCP on seabed	106
Fig. 33 Combined drill and thread making bolt	111
Fig. 34 Hot tapping procedure	112
Fig. 35 Steam convection heater	114
Fig. 36 RGB-Skid for heating and pumping system designed by SMIT	115
Fig. 37 Corrugated hose for inside heating	116
Fig. 38 Schematic layout of DIFIS system	117

Fig. 39 Diagram of pump capacity under high viscosity 118



A Study on the Optimization of Remaining Oil Recovery System from Sunken Vessels

Shim, Yoo Tack

Department of Coast Guard Studies

Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

It is known that there are about 2,000 sunken vessels within jurisdictional waters in Korea. If the remaining oil, however, might be spilled out of tanks by whatsoever reason of hull corrosion, strong current, external shock by passing vessels and/or fishing activities and so on, it is expected that serious damages might happen biologically, ecologically, socioeconomically as spilled oil affects the sensitive areas such as shore and near-shore waters with a lot of fishing ground, aquaculture, amenities and industrial facilities.

Korean government enacts relevant laws and regulation on the control and management of sunken vessels providing details of risk assessment and risk-reducing measures, and have the Korea Maritime Environment Corporation conduct on-site control and management. Nevertheless, The remaining oil recovery system from sunken vessels is required to be optimized to apply to any kind of situation, considering that the recovery techniques vary according to shape of ship on seabed and surrounding

meteorological and sea state.

In this regards, the author studied to design the optimized remaining oil recovery system, examining its current management system domestically and internationally and also 4 case-studies. As a results of the studies are;

First, with reference to the recent statistics, it has been reported that there are 2,153 sunken vessels in the Korean costal waters as of 2015, of which 81.2% of them are fishing vessels and 273 vessels are over 100ton.

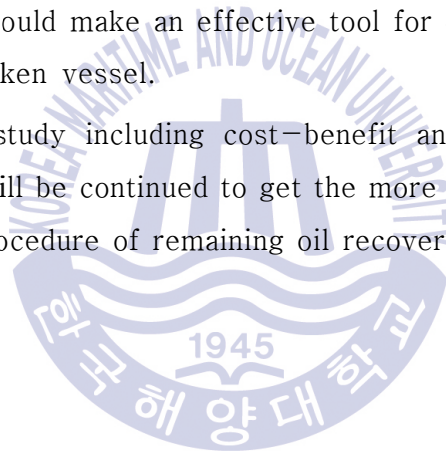
Under the Maritime Environment Management Act(hereafter “MEMA”), it is stipulated that in order to effectively manage the status of sunken vessels in Korean waters. However, the MEMA has been criticized for its inconsistency and irrationality, for instance, under the evaluation criteria of risk assessment, while there are many items that are listed for quantitative score evaluation, only the quantity of remaining oil and keel clearance are considered the most important and hence receive the most number of points. Therefore, the author has suggested that it is necessary that the MEMA needs to be reevaluated for its overall effectiveness and according to be rectified/amended.

Second, conducted several case-studies in order to examine the procedures of remaining oil recovery on global scale, which include the sunken tanker “No.1 Yuil-Ho”(1998) and “kyungshin-Ho”(2011) cases in Korea as well as “Erika”(2000) and “Prestige”(2003~2004) cases overseas. According to these case-studies, it was found that the methodologies that were employed for remaining oil recovery differed significantly from one another. Moreover, it was also found that the effectiveness of remaining oil recovery relied heavily on the status of the sunken vessel and its surrounding environment and therefore, the author concluded that it would be worthwhile to create an all inclusive system which optimizes various available recovery methods for most situations, so that the implementer may choose the most appropriate method for given situation.

Third, being based on foresaid studies and examinations, the author designed the optimal model with 3 main components of recovery environments, recovery practices and post management, each of which is composed of applicable elements in details related to the recovery work of remaining oil from sunken vessels, and then evaluated the effectiveness of model applying to oil recovery work from sunken tanker No.1 Yuil-Ho done in 1998. Moreover the author created a new measuring method of remain oil-water interface used by standpipe.

According to the result of effectiveness evaluation, optimized recovery system has been proven and confirmed to be useful for making action plan and managing and executing the recovery work, therefore this optimized oil recovery system would make an effective tool for conducting oil recovery operation from sunken vessel.

Finally, further study including cost-benefit analysis and quantitative score calculation will be continued to get the more advanced and improved decision making procedure of remaining oil recovery from sunken vessels.



제1장 서론

1.1 배경 및 목적

국제적인 경제의 성장은 보편적으로 해상물동량의 수요를 창출하며 이에 부응하여 해상 교역을 위한 선박량과 그에 따른 해상 교통량의 증가를 가져오게 된다.

최근 선박량의 증가추세는, World Fleet Statistics(IHS Fairplay, 2014)의 자료를 보면 2014년 현재 세계 총 선박량은 약 11억6천7백만G/T로서 2008년의 8억3천만G/T와 비교해 볼 때 불과 6년 만에 40%이상 증가되었고, 선종별로 보면 해상교통량과 밀접한 관계가 있는 화물선의 증가율이 전체 증가율과 거의 동일한 40%이다. 그 중에서도 기타액체화물선(382.9%), 컨테이너선(43.6%), LNG선(43.1%), 화학약품선(33.7%)이 상당한 폭으로 증가하였고 원유선도 25%의 증가율을 보였다.

이러한 선박량의 증가는 해상교통량의 증가로 이어져 해난사고의 발생 가능성이 높아지고, 화물선 중 증가율이 높은 선종의 대부분이 기름, 케미칼 등의 액체화물 운반선박으로, 만약에 운항 중 해상에서 충돌, 좌초 등 해난사고가 발생하면 선체 손상으로 인해 화물로 선적하고 있던 기름, 케미칼 등이 대량으로 해상에 유출되어 대형 해양오염을 유발할 가능성 또한 높아질 개연성을 가지게 된다. 특히 여러 유형의 오염원 중 유조선 사고에 의한 기름 유출량은 전 유출량의 13%에 지나지 않지만, 대부분의 유조선 사고가 연안역에서 발생하고 또 일시에 수만~수십만톤이 유출되기 때문에 해양환경에 심각한 타격을 준다.(윤, 2014)

한편 총톤수의 증가는 선박의 대형화로 인한 영향으로도 생각할 수 있겠으나

선박이 대형화되면 적재용량 또한 증가하므로 사고 발생 시 유출에 의한 해양 오염의 피해규모는 더 커질 수 있다는 점에서 기름유출로 인한 위해도는 높아졌다고 볼 수 있을 것이다.

그리고 최근 교역량의 꾸준한 증가와 운항채산성 향상의 목적으로 컨테이너 선 및 산화물선의 대형화, 고속화 추세가 계속됨에 따라, 기름 및 액체화물을 운반하지 않는 선박도 연료소모량의 증가로 이전보다 더 많은 연료유 등의 기름 적재가 필요하게 되어 이러한 대형 선박의 사고 시 적재된 다량의 연료유 유출에 의한 해양오염 유발 위해도 또한 증가되었다고 볼 수 있다.

해상에서 선박이 항행 또는 정박 중 악천후에 조우하거나 충돌, 좌초, 전복 등의 해난사고가 발생하면 선체의 손상 등으로 복원력이 상실되어 사고선박은 침몰하여 해저로 가라앉게 된다. 이러한 선박 침몰사고가 발생하면 사고 진행 과정에서 선박에 실려 있던 화물유 및 연료유는 사고발생 시점에 해상으로 즉각적인 유출이 일어나고, 만일 사고 선박이 2차적으로 해저에 침몰하게 되면, 침몰과정 및 해저 침몰상태에서 지속적인 수중 유출이 일어나게 된다.

그러나 선박에 실려 있던 화물유와 연료유 등의 기름은 사고 진행과정에서 해상 및 수중에서 모두 유출되지 않고 해저에 가라앉은 후에 기름 탱크 내부 및 격벽 또는 외판 등의 선체 구조에 따라 일정 장소에 갇혀 남아 있을 가능성이 높다.

근래에 침몰한 선박들은 거의 모두가 추진기관 및 동력기계의 연료로 기름을 사용하고 있으므로 화물로서 기름을 선적하지 않은 선박의 경우도 침몰선박의 내부에는 적던 많던 일정량의 잔존유가 존재하고 있다고 보아야 하며, 특히 그 중 유조선은 원유 또는 제품유를 화물로 적재하고 있으므로 이 경우에는 침몰 선박 내에 갇혀있는 기름의 양이 더 많아질 것으로 추정할 수 있다.

2015년 현재 우리나라 연안에 가라앉아 있는 침몰선박은 총 2,153척에 달하여 전체 침몰선박 내에 남아있는 잔존유를 합하면 그 양이 상당할 것으로 추정된다.

침몰선박은 그 위치와 수심, 주변 해역 여건에 따라 기름유출의 위험 뿐 만 아니라 다양한 해양환경 위해요소로 작용하므로 인양하여 제거하는 것이 가장

좋은 방법이지만, 인양작업을 시행하는 경우에도 침몰선박에 남아있던 잔존유는 작업과정에서 유출되어 해양오염을 야기할 가능성이 다분하므로 이를 방지하거나 사전에 제거하여 회수하는 작업의 시행을 필요로 한다.

또한 해저에 가라앉은 침몰선박은 시간이 경과함에 따라 선체 각부의 부식이 진행되어 사고 및 침몰과정에서 생긴 선체 손상부위가 확장되거나 취약부위의 파공 등 새로운 손상이 발생하여 간혀있던 기름이 다시 유출될 수 있고, 항행선박의 직접적인 접촉, 강한 해류 및 조류의 영향이나 태풍으로 인한 급격한 충격 또는 어로작업 중 그물의 접촉으로 해저 착지자세가 바뀌거나 선체 변형이 일어날 경우에는 침몰선박 내부에 간혀있던 기름이 일시에 대량으로 유출되어 대형 해양오염사고를 유발할 가능성이 상존한다. 따라서 침몰선박의 경우 해상교통 및 해역이용 상의 장애 여부와 함께 잔존유 유출가능성 등 해양환경의 위해요소를 파악하여 적절히 대응할 필요가 있다.

침몰선박의 위치가 해상교통에 지장을 주지 않는 곳이거나 통행 상 충분한 여유 수심이 확보되는 곳이고, 침몰선박이 기름유출 외 해양환경에 2차적으로 오염을 유발할 다른 위해요소의 심각성이 크지 않다면, 경제성을 고려하여 침몰선박 내 잔존유만 회수하고, 선체는 인양하지 않고 그대로 놓아두는 것이 합리적인 조치의 한 방법일 수 있다. 그리고 설사 침몰선박을 제거하여야 할 경우 역시 인양작업 시행과정에서 잔존유가 유출될 위험이 있으므로 인양 전 잔존유를 회수하는 작업을 필요로 할 것이다.

침몰선박 내부의 잔존유를 회수하는 작업은 대부분이 수중에서 행하여지므로 고도의 기술과 특수한 장비가 사용되며, 만약에 작업 중 기름이 유출되면 2차적인 해양오염을 인위적으로 발생시키는 결과를 초래하게 되어 주변 해양환경은 물론 인근 해안을 오염시키는 심각한 피해를 야기하게 되므로 침몰선박의 상태와 주변 해양여건을 충분히 고려하여 사전에 작업계획을 치밀하게 수립하고 최적의 잔존유 회수방안을 선정하여 시행하여야 한다.

또한 효율적이고 성공적인 잔존유 회수작업의 시행을 위해서는 작업에 수반되는 다양하고 복잡한 연관업무가 사전 준비를 통하여 시행되어야 하고 때로는 동시에 진행되기 때문에 작업시행 각 단계별로 검토 또는 고려하여야 할 사항

과 작업방법 및 기술·장비의 선정 등에 필요한 잔존유 회수 시스템에 따라 실행계획을 수립하고 시행하여야 한다.

그러나 침몰선박 잔존유 회수작업이 시행된 사례를 살펴보면 잔존유 회수 시스템의 부적합으로 인하여 전반적인 작업여건의 조사와 작업방법의 검토 및 적정 실행계획 수립이 결여된 채로 작업이 시행되어 적지 않은 시행착오를 초래함으로써 작업공기와 비용의 증가는 물론 안전측면과 목표달성에 상당한 지장을 초래한 경우가 많았음을 알 수 있다.

따라서 침몰선박의 상태 및 주변 해양환경 등의 작업 여건은 매우 다양할 수밖에 없으므로 잔존유 회수작업의 성공적인 목표달성을 위해서는 관건인 수중 작업 방법 및 장비, 기술의 선정과 작업시행 각 단계의 실행계획을 수립하고 시행하는데 사용하는 시스템을 다양한 작업여건과 상황에서 적용이 가능하도록 최적화할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 국내에는 단지 소형 영세 잠수업체만 난립하고, 침몰선에 의한 오염사고가 드물게 발생하다보니 지금까지 잔존유의 과학적·체계적 회수기술 개발에 대한 민·관의 관심과 투자가 거의 전무하였다. 이에 따라 이 분야의 전문기술은 후진국 수준에서 벗어나지 못함으로 인해, 향후 침몰선으로부터의 대량의 기름유출사고가 발생하면, 전적으로 국외의 기술에 의존할 수 밖에 없는 것이 현실이다.

본 연구는 이점에 착안하여 침몰선박 잔존유 회수 의사결정 및 시행절차를 검토하여 제시하고, 국내외에서 시행된 잔존유 회수작업 사례를 조사하여 작업에 선정되어 사용된 다양한 기술과 방법의 타당성 및 시행과정에서 발생한 문제점 분석을 통하여 회수 시스템의 최적화 필요성을 도출하고, 침몰선박의 잔존유 회수작업의 시행 각 단계별 계획수립과 시행에 적용하는 침몰선박 잔존유 회수 시스템을 다양한 작업환경과 상황에서 활용이 가능하도록 최적화하여 개발하고 효율적인 작업시행을 위한 도구로 유용하게 사용함으로써 성공적인 침몰선박의 잔존유 회수가 이루어질 수 있도록 하는데 목적이 있다.

1.2 자료 및 방법

본 연구를 위하여 우선 정부의 공식 통계자료와 관련 법령 및 연구보고서를

활용하여 우리나라 연안에 실재하는 침몰선박의 척수와 분포현황 및 침몰사고의 유형을 조사·분석하여 우리나라 침몰선박의 현황을 파악하고, 현행 침몰선박 관리 정책과 현황 및 향후 추진계획을 검토하여 침몰선박 정보관리 및 위해도 평가 방법의 문제점을 파악하고 개선 방향을 연구하였다. 또한 침몰선박의 잔존유 회수 의사결정과 작업 시행절차를 검토하고 개선방안을 제시 하였다.

다음은 잔존유 회수 시스템 최적화의 필요성과 최적화 방안 도출을 위하여 일반적으로 적용하는 잔존유 회수 시스템을 살펴보고, 국내·외에서 시행된 대표적인 잔존유 회수작업 사례를 조사하여 사례별로 회수 기술과 장비가 선정된 개연성과 시행결과 분석을 통해 적용 타당성을 검토함으로써 다양한 작업환경과 상황 하에 이루어지는 잔존유 회수작업의 실행계획 수립과 시행에 효율적으로 적용할 수 있도록 회수 시스템을 최적화할 필요성에 대하여 검토하였다.

마지막으로 잔존유 회수작업에 적용할 수 있는 잔존유 회수 시스템의 최적화를 위해 침몰선박 상태조사를 비롯한 작업환경 조사단계와 작업준비와 시행에 관한 실행계획의 수립에 따른 실행단계 및 작업 종료 후 시행하여야 할 조치단계의 3단계 구성의 최적화된 잔존유 회수 시스템을 설계하여 개발하고, 기 시행된 사례에 적용하여 실효성을 평가하였다.

1.3 범위 및 방향

본 연구는 다음과 같이 전체 5장으로 구성되어 있다.

먼저 제1장에서는 연구의 배경 및 목적에 대하여 설명하고 사용한 자료와 연구 방법 및 범위와 방향에 대하여 서술하였다.

제2장에서는 우리나라 연안의 침몰선 현황을 알아보기 위하여 해역별, 선종별, 톤수별 분포현황과 침몰사고의 유형을 조사하고 침몰선박의 관리현황과 해양환경에 2차 오염을 유발할 가능성이 있는 침몰선박의 위해도 저감대책을 수립하기 위해 현재 시행하고 있는 침몰선박의 위해도 평가방법을 검토하고 개선 방향을 제시하였다.

제3장에서는 일반적인 잔존유 회수 시스템의 구성과 내용을 알아보고, 실제 기 시행한 사례별 특징과 잔존유 회수작업 시 선정되었던 작업방법을 조사하여

잔존유의 추정과 실측방법, 선체 천공, 잔존유의 가열방법, 잔존유 회수와 탱크 세척에 관한 방법, 회수유 처리방법의 기술과 장비 선정 등 일반적인 회수 시스템 적용에 따른 시행결과 및 문제점을 분석하고 사전조사와 작업시행 및 사후 조치의 각 단계별 계획수립과 시행에 관한 회수 시스템의 최적화 필요성을 검토하였다.

제4장에서는 최적화된 회수 시스템의 개발과 설계를 위한 방향을 설정하고 시스템을 3단계로 구성한 후 각 단계별 시행과정을 세부사항별로 나누어 개발하고, 개발된 회수 시스템을 시행사례에 적용하여 실효성을 평가하였다.

제5장에서는 본 연구의 성과를 요약하여 정리하고 개발하여 제시한 잔존유 회수 시스템 최적화의 한계와 향후 보완하여야 할 점에 대한 추가적 연구의 필요성에 대하여 언급하였다.

본 연구에 있어 전반적인 연구절차는 Fig. 1과 같다.



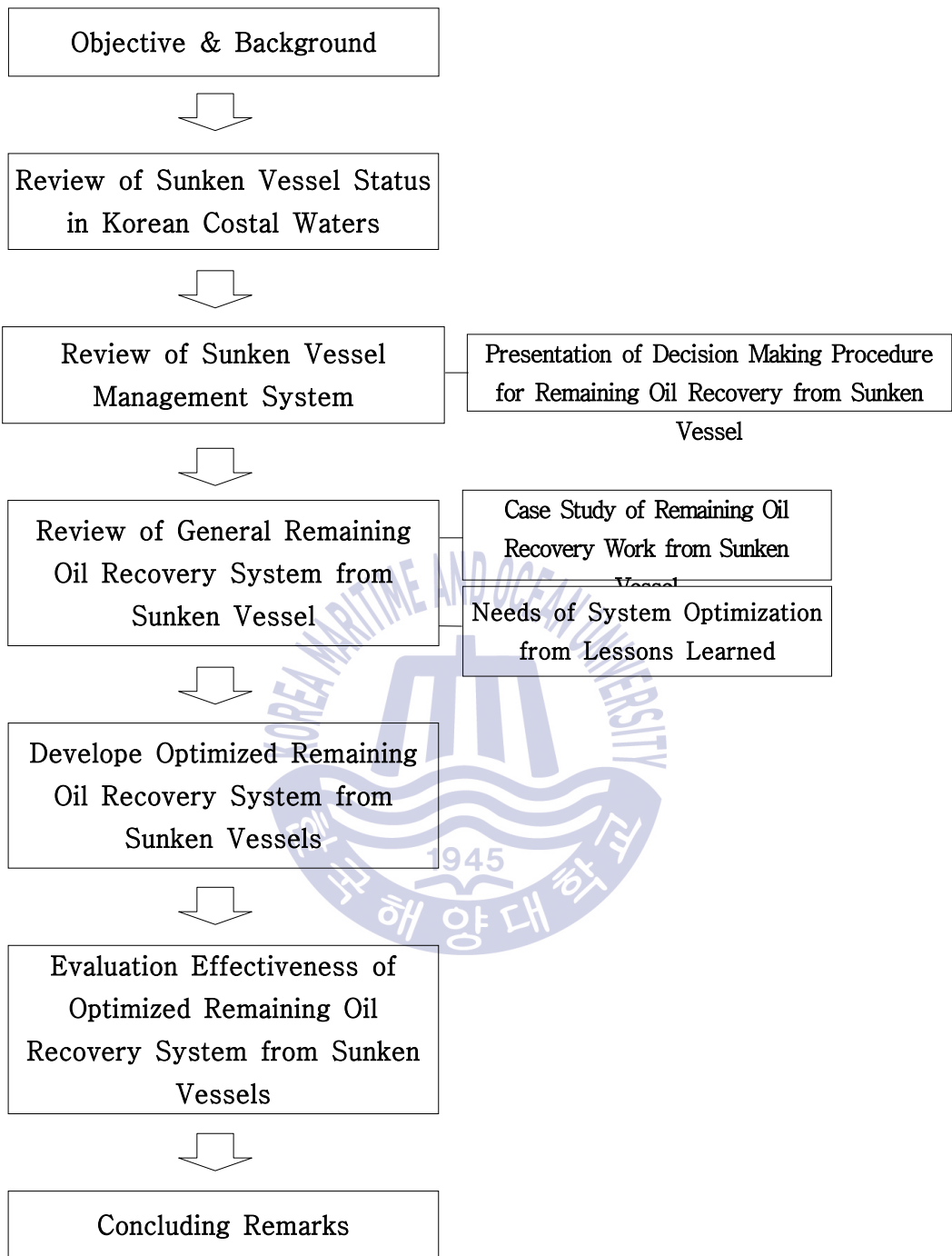


Fig. 1 Flowchart of the study

제2장 우리나라 침몰선박 관리 현황

2.1 해양사고 현황

해양에서 발생하는 선박의 사고에 대해 우리나라의 법률에서 정의하고 있는 바를 보면 조난사고란 선박 등의 침몰, 좌초, 전복, 충돌, 화재, 기관고장 또는 추락 등의 사고로 선박의 안전이 위협에 처한 상태를 말하고(수상에서의 수색·구조등에 관한 법률 제2조, 국민안전처 소관 법률), 해양사고라 함은 해양 및 내수면에서 발생한 선박의 구조·설비 또는 운용에 관련하여 인명 또는 선박이나 육상시설·해상시설이 손상된 사고, 선박이 멸실·유기, 행방불명된 사고 및 충돌·좌초·전복·침몰되거나 조종할 수 없게 된 사고와 해양오염 피해가 발생한 사고(해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률 제2조, 해양수산부 소관 법률)로 정의하고 있다.

2.1.1 발생 현황

해양수산부 해양안전심판원의 자료에 따른 1998년부터 2015년까지 발생한 해양사고 현황을 보면 총 23,048건으로 년 평균 1,280건이 발생하였고, 선종별 사고발생은 어선이 16,255건으로 70.5%를 차지하여 가장 많고 화물선(1,943건, 8.4%), 예선(1,133건, 4.9%), 유조선(623건, 2.7%)여객선(397건, 1.7%)의 순이다.

Table 1은 선종별 해양사고현황이다.

Table 1 Marine accident statistics by ship type

Year/ Type	Passenger ship	Cargo ship	Fishing ship	Tanker	Tug	Other ship	Total
1998	13	73	700	34	28	88	936
1999	15	97	781	24	41	83	1,041
2000	15	93	586	14	25	47	780
2001	13	116	537	23	40	50	779
2002	13	132	509	17	46	58	775
2003	10	120	483	28	51	75	767
2004	20	130	734	24	67	95	1,070
2005	8	99	657	24	37	59	884
2006	17	110	584	43	53	58	865
2007	13	96	495	31	55	69	759
2008	21	74	864	27	59	76	1,121
2009	17	110	1568	33	70	305	2,103
2010	22	133	1380	45	97	265	1,942
2011	22	118	1573	43	86	297	2,139
2012	32	109	1315	45	104	249	1,854
2013	29	107	839	52	78	201	1,306
2014	51	111	1029	51	102	221	1,565
2015	66	115	1621	65	94	401	2,362
Total	397	1,943	16,255	623	1,133	2,697	23,048

* source : MOF, 2015

2.1.2 침몰사고 현황

2008년부터 2015년 사이에 발생한 해양사고 총 12,296건 중에서 침몰사고는 286건으로 2.3%를 차지하였다.

Table 2는 유형별 해양사고현황이다.

Table 2 Marine accident statistics by accident type

Year/Type	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total	
Collision	135	240	242	260	196	175	180	235	1,428	
Contact	18	19	28	32	33	23	19	28	172	
Aground	53	88	148	120	113	91	96	84	709	
Capsize	13	47	38	58	39	32	35	32	262	
Fire/Explosion	32	89	82	84	105	79	97	100	568	
Sunk	21	38	50	65	41	21	19	31	255	
Missing	0	2	1	0	11	2	1	0	17	
D a m a g e	Engine	415	727	571	652	489	290	339	703	3,483
	Propeller	44	71	30	49	55	35	33	135	317
	Rudder	31	65	42	37	37	27	56	83	295
	Equipment	2	7	4	5	4	4	9	3	35
	Distress	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Facility	2	1	4	4	3	3	4	2	21
Life Damage	17	25	32	84	60	45	113	144	376	
Safe Navigation Disturbance	141	288	217	234	227	191	205	331	1,503	
Marine Pollution	0	4	6	8	11	18	52	53	99	
Others	24	104	132	117	149	57	72	137	655	
Total	948	1,815	1,627	1,809	1,573	1,093	1,330	2,101	10,195	

* source : MOF, 2015

2.2 침몰선박 현황

해상에서의 조난사고와 해양사고를 막론하고 선박이 해양에서 사고에 조우하면 선박에 적재되어 있던 화물유 또는 연료유 등의 기름은 해상에 유출되어 해양오염사고를 일으키기 쉽다. 사고선박이 1차적인 사고원인으로 바로 침몰하거나 2, 3차적인 원인에 의해 침몰로 이어져 해저에 가라앉게 되면 적재되어 있던 기름은 그 양의 많고 적음을 막론하고 일부는 침몰선박 내부에 갇혀 남아있게 된다. 이러한 잔존유는 지속적으로 유출되거나 선체구조에 갇혀 있다가 외부여건의 변화에 따라 일시에 대량으로 유출되어 2차적인 해양오염을 유발하는 잠재적 위해요소로 남아있게 된다.

따라서 우리나라 연안의 침몰선박의 종류와 빈도 및 분포를 조사하고 형태별 현황을 분석하여 침몰선박으로부터의 잔존유 유출에 의한 2차 오염발생 가능성과 해양환경 위해도를 검토하였다.

2.2.1 발생 현황

침몰선박과 관련한 우리나라의 법령은 해양환경관리법, 해사안전법, 선박 입출항법 및 공유수면관리법 등이 있으며 각 법령의 취지에 따라 침몰선박을 항행장애물, 방치선박, 장애물 등으로 달리 부르고 있어 침몰선박의 관리에 혼선을 빚어왔다.

이러한 문제점을 해결하고 일관성 있는 기준을 설정하여 침몰선박 관리체계를 확립하기 위하여 관리주체인 해양수산부는 해양환경관리법 및 침몰선박관리규정을 개정하고 여기에 정하는 바에 따라 각 지방해양항만수산청이 지방해양안전심판원 및 지방해양경비안전본부에 요청하여 확인한 침몰선박 현황자료가 포함된 침몰선박현황을 보고하게 하고, 해양환경관리공단에 침몰선박 관리사업을 수행케 하여 관리 시스템을 유지하도록 하였다. 따라서 현재 침몰선박에 관한 정보는 일원화된 상태이다.

해양수산부의 침몰선박 현황 자료에 의하면 1983년부터 2015년 9월말까지 우리나라 연안에서 침몰된 모든 선박은 총 2,870척이며, 이 중 인양된 침몰선박

532척과 공해 또는 타국에서 침몰된 선박 184척을 제외하면 현재 국내 침몰되어 있는 선박은 2,153척이다. Table 3은 우리나라 연안 침몰선박 현황이다.

Table 3 Sunken vessel statistics

Classification	Total	Sunken	Wreck Removal & Others			
			Sub Total	Wreck Removal	International (Foreign)Water	Others
Ship(Number)	2,870	2,153	717	533	184	0

* source : MOF, 2015

2.2.2 선종별 현황

국내에 침몰되어 있는 2,153척을 선종별로 분류하면 어선이 전체의 81.2%인 1,748척으로 가장 많고, 화물선이 5.2%인 111척, 예선과 부선이 5.7%인 123척이며, 선종이 미상인 선박이 4.5%인 97척이다.

Table 4는 침몰선박의 선종별 현황을 표시한 것이다.

Table 4 Sunken vessel statistics by ship type

Ship Type	Total	Tanker	Cargo ship	Gas Carrier	Chemical Tanker	Tug	Passenger	Barge	Fishing Ship	Others	Unknown
Number	2,153	5	111	2	2	71	12	52	1,748	53	97

* source : MOF, 2015

2.2.3 톤수별 현황

국내 침몰선박을 크기별로 구분하면 10톤 미만의 침몰선박이 전체 침몰선박의 47.7%(1,027척), 10톤 이상 100톤 미만의 선박이 39.4%(848척), 100톤에서 1,000톤 미만의 선박이 9.6%(206척), 1,000톤에서 10,000톤 미만의 선박이 69척, 10,000톤 이상의 선박이 3척이다.

Table 5는 현재 침몰된 선박의 톤수별 현황이다.

Table 5 Sunken vessel statistics by ship size

Classification	Total	Under 10Tons	10~100Ton	Over 100Tons
No. of Ship	2,153	1,027	848	278

* source : MOF, 2015

2.2.4 해역별 현황

2,153척의 침몰선박은 남해(42.3%, 910척)와 서해(37%, 797척)에 주로 분포되어 있으며, 동해는 전체의 20.8%인 446척이 침몰되어 있다.

특히 동해 해역에는 대부분이 어선이며, 화물선과 유조선은 서해 해역보다는 주로 남해 해역에 침몰되어 있는 것으로 나타났다. Table 6은 우리나라 연안에 침몰되어 있는 선박의 해역별 현황이다.

Table 6 Sunken vessel statistics by sea area

Area	Total	East Sea	West Sea	South Sea
No. of ship	2,153	446	797	910

* source : MOF, 2015

2.2.5 100톤 이상 침몰선박 현황

침몰선박 내의 남아있는 잔존유의 양은 보편적으로 선박의 크기에 비례하여 더 많이 남아있을 가능성이 높으므로 100톤 이상의 침몰선박 현황을 별도로 알아보면, 해당 침몰선박은 총 278척으로 선종별로 보면 화물선이 96척으로 34.5%를 차지하여 가장 많고 두 번째로 어선이 83척으로 29.9%의 비율을 보이고 있다. 다음으로 부선(42척, 15.1%)과 예선(12척, 4.3%)순으로 파악된다.

톤수별로 나누어보면 1천 톤 미만은 206척으로 74.1%를 차지하고 1천 톤에서 3천 톤 사이가 54척(19.4%), 3천 톤에서 5천 톤 사이가 8척(2.9%), 5천 톤에서 1만 톤 사이에 7척(2.5%)이 있고 1만 톤 이상은 3척으로 1.1%의 비율을 보인다.

100톤 이상 선종 및 톤수별 현황은 Table 7과 같다.

Table 7 Sunken vessel statistics by ship type & size

Classification	Passenger	Cargo ship	Tanker	Gas ship	Chemical Tanker	Fishing ship	Barge	Tug	Other	Unknown	Total
Under 10tons	4	1				964	2	1	25	30	1,027
10-50	3	10				474	6	46	15	36	590
50-100	1	4				227	2	12	3	9	258
Sub Total	8	15	0	0	0	1,665	10	59	43	75	1,875
100-1,000	2	49	2	1	2	83	29	11	5	22	206
1,000-3,000	1	34	1	1			11	1	5		54
3,000-5,000		6	1				1				8
5,000-10,000	1	4	1				1				7
Over 10,000		3									3
Sub Total	4	96	5	2	2	83	42	12	10	22	278
Grand Total	12	111	5	2	2	1,748	52	71	53	97	2,153

* source : MOF, 2015

2.3 침몰선박의 해양환경 위해요소

해난사고가 발생하면 사고의 상황에 따라 인명의 피해, 화물과 선체의 손상 또는 멸실로 인한 경제적 피해는 물론 기름 등의 유출로 인한 해양환경의 오염

피해 등이 발생한다.

그 중 침몰사고는 선체와 화물의 일부 또는 전부가 해저에 가라앉게 되어 선박의 항행에 지장을 주거나 침몰상태에서 선박 내에 남아있는 기름 등의 유출로 2차적 해양오염을 유발하는 등 해양환경에 위해를 줄 가능성이 있다.

이러한 침몰선박의 해양환경 위해요소에 대해 구체적으로 살펴보고자 한다.

2.3.1 항행장애물 측면

침몰선박 또는 침몰선박으로부터 분리된 선박의 일부는 선박항행에 장애가되는 물건으로써 해사안전법 및 동 법 시행규칙상의 항행장애물에 속한다.

여기에는 항행장애물을 발생시킨 선박의 선장, 선박소유자 또는 선박운항자(항행장애물제거책임자)는 지체 없이 그 항행장애물의 위치와 위험성 등을 해양수산부장관에게 보고하고 항행장애물을 제거하도록 책임을 지우고 있다.

만약 항행장애물제거책임자가 제거하지 않을 때는 제거를 명할 수 있고 명령을 이행하지 않거나 항행장애물이 위험성이 있다고 결정된 경우에는 해양수산부장관이 직접 제거할 수 있도록 하였는데, 이때 항행장애물의 위험성 결정에 필요한 사항을 요약하면, 항행장애물의 크기·형태 및 상태, 선적화물과 기름의 종류 및 양, 그리고 침몰된 경우 침몰상태, 해당 수역의 수심 및 해저 지형, 조류 및 기상 등 수로조사 결과, 기타 선박 통항에 관련한 사항과 해역의 특성 등이다.

이러한 점을 고려하여 침몰선박의 항행장애물 측면의 위해도는 아래와 같이 정리할 수 있다.

- 1) 침몰선박의 침몰위치가 항로상에 위치하고 침몰선박의 최상부와 해수면까지의 여유수심이 선박 통항에 지장을 초래하거나 항행선박이 침몰선박과 접촉사고를 일으킬 위험
- 2) 침몰선박이 위치한 수역이 수심의 분포 및 해안·해저지형, 조류·해류 및 기상 등의 영향으로 항행에 지장을 초래할 위험
- 3) 침몰선박 수역이 주변 통항대, 해양시설 및 항만시설에 인접하여 직·간접

적으로 영향을 끼칠 위험

- 4) 침몰선박 수역의 선박통항 밀도 및 빈도가 높아 이로 인한 통항선박의 사고 발생 가능성이 증가할 위험
- 5) 침몰선박이 IMO가 지정한 특별민감해역 또는 「1982년 해양법에 관한 국제연합협약」 제211조 6항에 따른 특별규제조치가 적용되는 수역에 위치하여 그 제정 취지를 훼손할 가능성이 높아지는 위험

2.3.2 해양환경 오염 유발 측면

해상에서 선박이 악천후나 충돌, 좌초 등의 원인으로 침몰하게 되면, 선적한 유해물질 및 화물유 또는 연료유 등의 기름은 사고당시 해상 또는 침몰과정에서 수중으로 유출되기도 하지만 일부는 침몰선박의 해저 착지자세 및 선체 구조 등에 따라 특정 공간에 갇히게 되어, 유출되지 않고 침몰선박 내부에 남아 있게 되는 경우가 일반적이며, 때로는 침몰 후에도 선체의 파공 또는 손상부위를 통하여 기름이 지속적 또는 간헐적으로 유출되어 해상에 부유하는 경우도 드물지 않다.

침몰선박 잔존유량이 상당하고 주변여건에 따라 소량의 기름이 지속적 또는 간헐적으로 유출되는 경우에는 수년 내지 수십 년 이상 장기적으로 유출이 계속되는 경우도 있다.

1988년 포항 호미곶 동방 5마일 해상에서 악천후로 인하여 침몰한 유조선 경신호의 경우는 잔존유 회수작업이 종료된 2011년까지 침몰선으로부터의 유출된 기름이 해상에 부유하여 육안으로 확인할 수 있는 정도의 지속적인 유출이 23년 간 진행되었던 대표적인 예로 들 수 있다.

그럼에도 불구하고 잔존유 회수작업을 통하여 경신호로부터 최종적으로 회수한 기름의 양은 약 634kl로써 상당히 많은 양의 기름이 침몰선박 내에 남아있었던 것으로 판명되어 그대로 놓아두었을 경우 잔존유의 유출은 상당기간 더 계속될 수 있었고, 언젠가는 선체 및 주변여건의 변화에 의해 일시에 대량유출될 위험을 안고 있었다고 볼 수 있다.

이와 같이, 침몰선박의 잔존유는 침몰선박의 상태와 주변 해양여건에 따라

매우 다양한 상황에 놓이게 되므로 일정한 형식이나 양상으로 분류하거나 추가적인 유출 위험의 존재 여부를 판단하는 것이 매우 어렵거나 불가능할 수도 있다.

그러나 기름이 일단 침몰선박으로부터 유출이 되면 필연적으로 해양환경을 오염시키는 위해요소로 작용하고 주변 해·육상 환경에 직접적인 피해를 줄 뿐 아니라 오염물질의 제거와 환경 복원 등에 엄청난 비용과 노력을 들여야만 한다.

침몰선으로부터 기름 등의 유해물질이 유출되어 해양환경 등의 오염 유발 측면의 위해요소를 정리해 보면 다음과 같다.

- 1) 침몰선박 부근 수역 및 인근 해안가의 오염으로 인한 직접적인 피해 위험
- 2) 양식장, 양어장 등 기르는 어업의 생산 활동에 피해를 초래할 위험
- 3) 유출 기름의 직접적인 접촉에 의한 바다 새 등 야생동물의 피해 위험
- 4) 해수욕장, 리조트 등 해양 휴양·위락시설의 오염으로 인한 관광 및 지역경제에 피해를 끼칠 위험
- 5) 발전소 등 중요 임해 산업시설의 가동에 영향을 끼치는 피해 위험
- 6) 기타 유출된 유해물질과 기름등의 제거 및 환경의 복원을 위해 소요되는 비용과 노력 발생 우려

2.4 침몰선박 관리현황

우리나라의 침몰선박 관리는 해양수산부 주관하에 해양환경관리법에 정한 바에 따라 침몰선박으로 인하여 발생할 수 있는 추가적인 해양오염사고의 예방을 위하여 침몰선박에 대한 정보의 체계적 관리, 해양오염사고 유발 가능성에 대한 위해도 평가 및 위해도 저감대책을 실행하고 있다. 여기에서 침몰선박이

라 함은 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」 제2조제1호의 해양사고로 해양에서 침몰된 선박을 말한다.

해양수산부의 침몰선 관리 종합계획(해양수산부, 해양환경정책관, 2016)에 의하면 침몰선박에 대한 현장조사를 통한 정확한 현장관리 및 오염발생 위험성을 평가하고 2차 해양오염 예방을 위한 선제적 위해도 저감조치를 시행하며 향후 침몰선박 발생 시 체계적인 대응 및 조치를 위한 관리체계를 정비하는 등 침몰선박 관리 시스템 재구축을 통한 정보관리 효율을 개선하는데 중점을 두고 2015년부터 현장조사가 시급한 23척의 침몰선박을 대상으로 단계적인 현장조사와 현장조사 결과 기름유출 등의 피해가 우려되는 경우 인양, 잔존유 제거 등의 조치를 시행하기로 계획하고 있다.

2.4.1 침몰선박 관리 체제

우리나라에서 현재 시행하고 있는 침몰선박의 관리 및 조치에 관한 법률은 해양환경관리법 제83조의2(침몰선박 관리), 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률 제6조(방치된 선박 등의 제거), 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 제40조(장애물의 제거) 및 해상안전법 제28조(항행장애물 제거) 및 제30조(국내항의 입항·출항 등 거부)가 있다. 이 중 해양환경관리법은 침몰선박의 정보관리 및 위해도 저감에 초점이 맞추어져 있고 그 외 법률은 침몰선박의 제거를 중심으로 규정되어 있어 그 목적의 성격상 약간의 차이가 있다고 할 수 있다.

침몰선박의 체계적인 관리를 규정하고 있는 해양환경관리법을 세부적으로 살펴보면, 동법 제83조의2(침몰선박 관리)에 해양수산부장관이 침몰선박에 대한 정보의 체계적인 관리 및 침몰선박의 해양오염 유발 가능성에 대한 위해도 평가를 시행하여 위해도 저감대책을 실행하도록 하고 침몰선박 위해도 저감 조치에 드는 비용은 침몰선박의 소유자가 부담하며 소유자가 불명확할 경우에는 해당선박을 처분하여 비용에 충당하도록 규정되어 있다.

해양환경관리법 시행령 제60조의2(침몰선박에 대한 위해도 저감대책의 실행 비용 등)는 침몰선박의 소유자가 부담하는 비용의 범위를 정하고 침몰선박의 소유자를 알 수 없는 경우의 조치에 따른 비용 충당과 공매절차에 관하여 규정

하였다.

그리고 동법 시행규칙 제47조의2(위해도 평가 등)에는 침몰선박의 해양오염사고 유발 가능성에 대한 위해도 평가에 대한 구체적인 평가항목 및 평가항목별 평가점수를 별표 16의2에 정하여 두고, 해양환경관리공단으로 하여금 침몰선박 등에 관한 자료의 수집·분석 및 위해도 평가에 필요한 업무를 수행하게 할 수 있도록 하고, 위해도 평가 결과에 따라 침몰선박을 집중관리 대상선박, 일반관리 대상선박 및 관리대상 제외선박으로 구분하여 지정하여 침몰선박에 대한 정보를 관리하도록 하고 있다.

또한 동법 시행규칙 제47조의3(위해도 저감대책의 실행)에서는 침몰선박에 대한 위해도 저감대책의 실행여부를 결정하고 실행을 결정하였을 경우, 위해도 저감대책의 구체적인 내용을 결정하도록 하고 있다. 또한 침몰선박 중 집중관리 대상선박에 대하여 해양환경관리공단으로 하여금 해당 침몰선박의 상태 등과 해양오염사고 유발 가능성에 대한 정밀조사 계획 수립 및 필요한 조치를 시행하게 할 수 있도록 하고, 일반관리 대상선박에 대하여는 해양오염사고 유발 가능성에 대한 자료의 수집·분석 및 침몰선박의 적재화물 및 주변해역 특성 등 해양오염과 해양안전에 미치는 영향 등에 관한 정보를 관리하도록 하게 하였다.

동법 시행규칙 제47조의4(위해도 저감대책 비용의 산정 및 부과)에서 저감대책의 실행에 드는 비용의 산정기준과 침몰선박의 소유자가 부담하여야 할 비용의 확정 및 고지에 관하여 규정하였으며 제47조의5(침몰선박에 관한 정보 관리)에서는 해양경비안전본부장이 해양수산부장관에게 소정양식의 침몰선박 정보 현황의 작성 제출하도록 명시하고 있다.

아울러 해양수산부는 해양환경관리법 제83조의2에 따른 침몰선박의 체계적인 관리를 통하여 침몰선박에 의해 발생할 수 있는 추가적인 해양오염과 해양사고를 예방함으로써 해양환경의 보전과 항행선박의 안전을 확보함을 목적으로 침몰선박관리규정(해양수산부 훈령 제110호, 2013.9.9. 시행)을 발령하여 침몰선박 현황보고와 관리대상 침몰선박에 대한 조치 및 자료의 관리에 대해 규정하고 있다. 이 규정은 동 훈령 발령 후의 법령이나 현실여건의 변화 등을 검토하여

이 훈령의 폐지, 개정 등의 조치를 2015년 3월 2일까지 하도록 되어있어 현재 개정을 위한 검토를 진행 중에 있다.

2.4.2 침몰선박 위해도 평가

앞에서 살펴본 바와 같이 1983년부터 2015년 9월 현재까지 우리나라 연안에 침몰된 선박은 총 2,153척으로, 총톤수 100톤 이상의 중·대형 선박이 13%(9278척), 유조선, 화물선 등 위해 우려 선박이 6%(132척)이며 해역별로는 남해안에 가장 많은 42%(910척)가 분포되어 있다.

이들 침몰선박은 해양환경관리법 시행규칙에 정하여진 양식에 따라 선박종류, 선박규모, 잔존기름, 여유수심, 해역환경 민감도, 유출가능성 및 해상 교통환경 등 총 7개 평가항목의 세부항목별로 평가지수에 따른 점수를 부여하는 방식으로 위해도 평가를 시행하여 총 100점 만점에 60점 이상은 집중관리 대상선박으로, 60점미만 40점 이상 선박은 일반관리 대상선박으로 하고 40점미만 선박은 관리대상 제외선박으로 분류한다.

이 중 집중관리 및 일반관리 대상선박은 침몰선박 관리규정 제7조(관리대상 침몰선박에 대한 조치 등)에 따라 침몰선박 관리대책을 마련하여 시행하도록 되어있다. 위해도 평가점수에 따른 침몰선박의 구분과 관리대책은 Table 8과 같다.

Table 8 Sunken vessel risk assessment & management plan

Classification	Grade	Measures to be taken
High risk	Over 60	<ul style="list-style-type: none"> •Search position, Survey of ship's status •Survey of remaining oil and freight •Review possibility of incident preparation •Making detail survey plan
Medium risk	$60 < \alpha \leq 40$	<ul style="list-style-type: none"> •Collecting and management relation information for preparation incident from sunken vessels considering surrounding water
Low risk	Under 40	-

침몰선박 관리종합계획(해양수산부, 해양환경 정책관, 2016)에 따른 2015년 9월 현재 침몰선박 위해도 평가결과 현황을 보면 76척이 국가 관리대상 선박으로 지정되어 있고, 그 중 32척이 현장 정밀조사대상으로 선정되어 현장조사를 실시 중에 있다.

Table 9는 해양환경관리법 시행규칙 별표 16의 2에 규정되어 있는 침몰선박의 위해도 평가항목 및 세부 평가항목별 평가지수를 나타낸 평가 양식이다.

Table 9 Sunken vessel risk assessment factor & index

Items of assessment	details per item		Evaluation index		remarks
			percentage	Score	
Ship type	Oil tanker, Dangerous good carrier		5%	5	
	general cargo ship			4	
	Towing/working/fishing vessels			3	
	Barge and others			2	
	Unknown			1	
Ship size	≥ 10,000T		5%	5	
	< 10,000T, ≥ 5,000T			4.5	
	< 5,000T, ≥ 3,000T			4	
	< 3,000T, ≥ 1,000T			3	
	< 1,000T, ≥ 500T			2	
Remaining oil (including fuel oil), Hazardous liquid substance, Explosive gas	≥ 1,000kl		35%	35	
	≥ 100kl			28	
	≥ 50kl			21	
	≥ 10kl			10.5	
	< 10kl			3.5	
	0kl			0	
Clearance depth	Radioactive substance		25%	35	
	< 15m			25	
	< 20m			20	
	< 25m			12.5	
	< 30m			5.0	
Environment sensitivity	≥ 30m		10%	0	
	Fishing ground/aquaculture			10	
	National park/Clean water area			8	
	Beach/Amenities			6	
	Conservation area			4	
	National special facility area			2	
Probability of discharge	others		10%	1	
	Ship age at the time of incident	≥ 20Y		4	
		≥ 10Y		3	
		≥ 5Y		2	
		< 5Y		1	
	Lapse time since incident	≥ 25Y		6	
		≥ 20Y		5	
		≥ 15Y		4	
		≥ 10Y		3	
		≥ 5Y		2	
< 5Y		1			
Traffic environment	Port in-out fairway		10%	10	
	Within port limit or nearby			8	
	Anchorage			6	
	other fairway			4	
	others			2	

* source : Marine Environment Management Act, Enforcement Regulation, Table 16-2

2.4.3 침몰선박 조사 사례분석

해양수산부는 2014년에 관리대상 선박 총 76척 중에서 집중관리 선박 12척과 일반관리 선박 중 추정 잔존유량이 200kl 이상 선박 11척 및 일반관리 선박 중 추정 잔존유량 100kl 이상이고 양식장 등 피해 우려지역에 침몰된 9척 등 총 32척을 현장조사가 시급한 것으로 판단하여 현장조사 대상선박으로 선정하고 2015년부터 단계별 현장조사를 실시 중이다.

2015 침몰선박 관리사업 최종보고서(해양환경관리공단, 2016)에 따르면 2015년에 시행한 시범조사는 해양환경관리공단 주관으로 퍼시픽프레드호, 제7해성호 및 제현호 등 3척을 대상으로 이루어졌고, 조사의 내용 및 범위는 대상 침몰선박의 자료 수집·분석 및 해역 특성을 조사하고 침몰선의 현장 정밀조사를 통하여 선체손상과 화물 및 연료유 추정 적재상태를 파악하고 구조 안전성 연구를 수행한 후 현장 조사대상 침몰선박의 위험도를 평가하는 것이다. 현장조사는 2015년 7월부터 12월까지 서해 및 남해에서 진행되었으며 그 중 제현호는 현장 잠수조사를 추가로 실시하였다.

이러한 조사는 선박의 제원과 항행정보 및 사고 당시의 정황적 정보만으로 추정한 침몰선박의 상태를 현재 시점에서 구체적으로 파악하고 주변 여건을 포함한 광범위한 내용의 관련정보를 수집하여 종합적으로 분석함으로써 현실적인 해양환경 위해도 평가가 가능하여 실효성 있는 위해요소 저감대책을 수립할 수 있는 자료로 활용할 수 있으므로 매우 바람직하다.

조사과정에서 획득한 중요한 정보는 적절한 분석과 처리과정을 거쳐 활용이 편리하도록 정리 및 가공되어 향후 침몰선박의 관리에 유용할 것으로 보인다.

정보 자료 중 다중빔 음향측심기를 사용하여 얻은 침몰선박 영상 자료, 침몰선박의 영상과 해저지형 자료를 후처리 가공하여 침몰선박 현황정보, 침몰 후 상태도, 선체손상 추정 상태도, 화물 및 연료 적재 상태도를 작성한다.

Fig. 2는 침몰 후 상태도의 예를 보여준다.



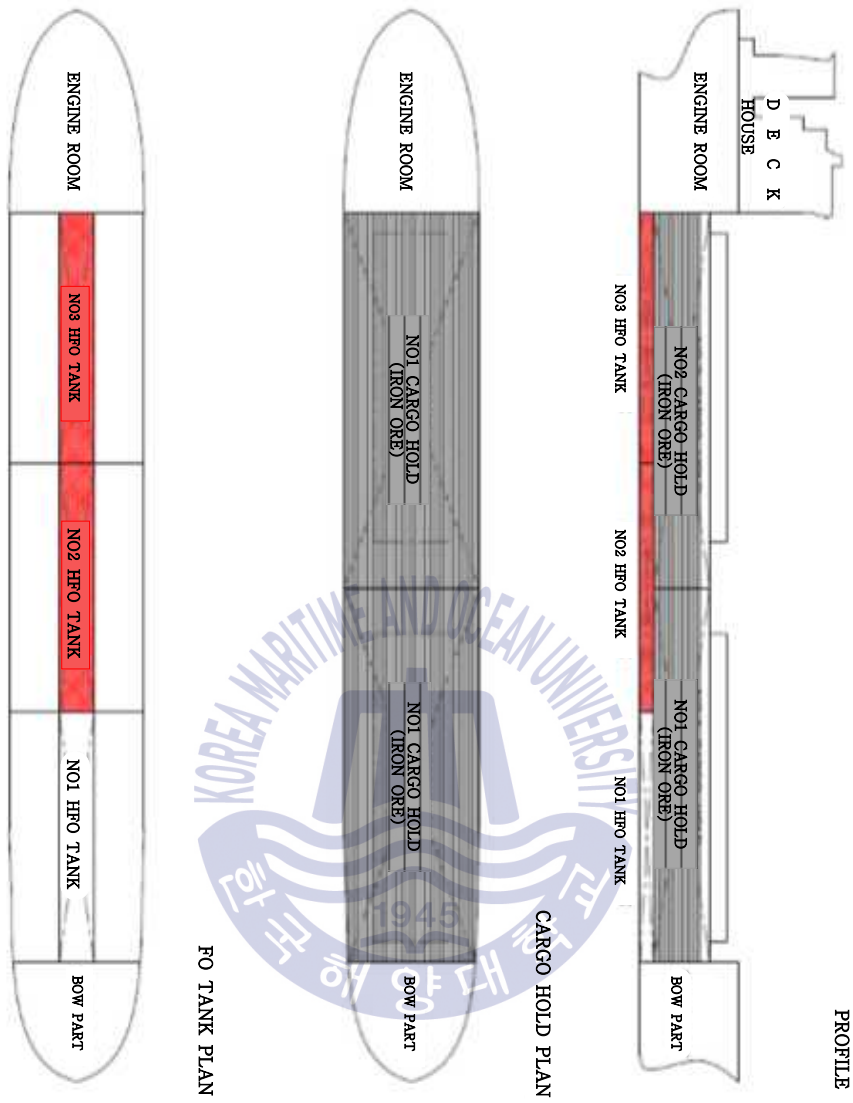
source : KOEM, 2016

Fig. 2 Situation image of sunken vessel

Fig. 3은 화물 및 연료 적재 상태도의 예이다.

침몰선박의 잔존유량 중 잔존 연료유 추정을 위하여 기초자료가 되는 침몰선박의 연료 적재량 및 소모량을 논리적으로 계산한 점은 침몰선박의 연료유에 대한 정보가 없는 경우에 유용하게 활용될 것으로 보인다.

조사의 결과를 근거로 새롭게 시행한 위해도 평가 총 점수는 64.5~72점으로 3척 모두 집중관리 선박 대상으로 재확인되었다.



source : KOEM, 2016
Fig. 3 Fuel & cargo loading condition plan

2.4.4 현행 침몰선박 관리제도 및 개선방안

우리나라에서 현재 시행하고 있는 침몰선박의 관리는 침몰선박에 대한 정보 관리와 각 침몰선박의 해양오염 유발 가능성에 대한 위해도를 평가하고 필요 시 위해도 저감대책을 실행하게 되어있다.

그러나 현행 제도에는 몇 가지 미비하거나 개선하여야 할 부분이 있어 이를 구체적으로 살펴보고자 한다.

2.4.4.1 침몰선박의 정보관리 측면

예전에는 침몰선박의 정보가 해양안전심판원, 해양경비안전본부, 국립해양조사원 등 각 기관별로 따로 관리되고 있어 정보의 상이 및 누락 등으로 정보관리에 혼선을 초래하였던 점은 2013년 감사원 특정감사 이후 해양수산부로 통합 관리되고 있다.

각 기관별 침몰선박 정보의 일원화 과정을 살펴보면, 먼저 해양안전심판원의 경우 1991년부터 2013년까지 심판원에서 관리하고 있는 해양사고데이터 중 선박 침몰사고를 대상으로 선박번호, 선박명, 선종, 총톤수, 사고일자, 사고위치, 사고개요, 재결서번호 등의 정보를 심판원으로부터 제공받고, 국민안전처 해양경비안전본부로부터는 2006년부터 2013년까지의 구조불능 상태의 선박정보를 제공받아 해양수산부 침몰선박 관리시스템상의 일치여부를 1대1 검증작업을 통해 해양수산부 침몰선박 관리시스템의 정보와 일원화 하였다.

국립해양조사원의 경우는 비정기적으로 수로측량 및 항행통보 등에 따라 침몰선박의 정보를 해도에 기입하고 있어 수로조사 및 항행통보가 이루어진 후 각각의 선박명 및 톤수 등 침몰선박에 대한 상세 정보를 확인할 수 없기 때문에 침몰위치의 단순 비교분석 자료로만 활용되었다.

이러한 과정을 거쳐 기존 침몰선박 정보관리의 일원화는 마무리되었다.

침몰선박의 보고체계는 침몰선박관리규정에 따라 각 지방해양수산청장은 침몰선박의 발생사실을 인지하거나 보고 받았을 때, 매 분기별로 침몰선박 현황(총괄) 및 침몰선박 조사보고서를 즉시 해양수산부 장관에게 제출하도록 하고

이 경우 지방해양경비안전본부(지역해양경비안전서 포함) 및 지방해양안전심판원에 침몰선박의 현황자료를 요청하여 함께 제출하도록 하였으며, 이미 보고된 침몰선박 중 인양·제거 또는 잔존기름·유해액체물질·포장유해물질의 회수작업 등이 완료되었을 경우에는 5일 이내에 침몰선박조치완료보고서를 해양수산부 장관에게 제출하게 하여 신속한 침몰선박 정보관리가 될 수 있도록 하는 한편, 해양환경관리법 시행규칙에 국민안전처 해양경비안전본부장은 침몰선박에 대한 정보 요청 시 선박개요, 사고개요, 화물 및 연료유 정보, 기타 항목의 정보를 해양수산부 장관에게 제출하도록 명시함으로써 기관 간 정보의 공유와 일원화가 원활히 이루어 질 수 있도록 하였다.

현재 침몰선박 관리시스템은 PC환경에서 운영되는 단독 시스템으로 해양수산부 해양환경정책과와 해양환경관리공단 방제기획팀에서 각 한 대씩 보유하여 정보를 관리하고 있으며, 각 시스템의 데이터는 해양환경관리공단에서 업데이트하는 자료를 시스템 간 동기화하여 유지하고 있다.

침몰선박 관리시스템의 데이터베이스 구조를 보면, 총9개 분야로 나누어져 있고 최소 입력이 요구되는 정보요소는 기본정보, 사고정보, 침몰선박 정보, 종결상황 등이다. 이 중 기본정보와 종결상황 정보를 통해 침몰선박 통계정보의 자료가 만들어 진다.

침몰 후 해양오염 유발 가능성에 대한 위해도 평가에 매우 중요한 항목인 잔존기름(연료유 포함), 유해액체물질, 폭발성 가스 등의 정보는 화물의 종류와 양, 화물의 비중, 적화목록 등과 함께 화물정보 분야에 포함되어 있다. 적재화물 및 연료유는 종류별로 상세한 입력이 가능하도록 세분화되어 있어 정확한 데이터 관리가 용이하다. 이러한 점들은 침몰선박의 관리 측면에서 매우 유용할 것으로 판단된다.

그러나 문제는 일부 선박 적재물 정보, 특히 연료유 등에 대한 정보의 파악 자체가 어렵다는 점이다.

그 이유는 선박의 침몰로 승조원이 퇴선 할 경우에는 항해일지를 비롯한 주요 서류들을 반출하여야 함에도 불구하고 해상 악천후 등 당시의 긴박한 상황으로 인하여 실제로는 선박에서 필수적으로 비치하여야 할 서류 중 선박의 주

요 적재물과 기관 운전에 관련한 정보가 담겨있는 항해 일지, 기관일지, 화물선 적에 관한 서류와 출입항 및 일일 선박상태 보고서(Arr./Dep./Daily Condition Report) 등이 침몰선박과 함께 멸실되는 경우가 많고 선박 출입항신고서 서식에도 연료유 적재량의 항목이 빠져있어 공식자료가 없는 실정이므로 선주나 대리점 및 생존 선원의 진술 등에 의존할 수밖에 없어 그 정확성이 결여되거나 아예 정보가 없는 경우도 있으며 침몰사고 발생 시 조사과정에서 침몰 직전 출항 시의 연료유 적재량 확인이 누락되는 경우가 발생하기 때문인 것으로 볼 수 있다.

이러한 점을 보완하기 위해서는 선박 출입항신고 서식에 연료유 적재량 항목을 포함시키거나 연료유 적재상태에 관한 보고서를 첨부하게 하는 등 제도적 장치의 마련이 필요할 것으로 보인다.

2.4.4.2 침몰선박의 위해도 평가 측면

침몰선박은 해양환경관리법 제83조의2에 따라 해양오염유발 가능성에 대한 위해도 평가를 하도록 되어있다. 그 평가항목 및 평가항목별 평가점수는 시행규칙 제47조의2에 명시되어 있는 것과 같이 선박종류, 선박규모, 잔존기름, 여유수심, 해역환경민감도, 유출가능성 및 해상 교통환경의 총 7개 분야로 평가하고 그 평가결과에 따라 집중관리 대상선박, 일반관리 대상선박 및 관리대상 제외선박으로 구분하여 지정, 관리하도록 되어있다.

그러나 위해도 평가 항목별 평가점수 배분율이 잔존기름(35%) 및 여유수심(25%) 항목에 상당히 편중되어 있고, 특히 잔존기름은 그 양을 정확하게 알기가 매우 어려워 위해도 평가에 있어 가장 중요한 항목임에도 불구하고 여러 가지 상황을 고려하여 추정된 수치가 대부분으로 관리대상 선박의 분류에 상당한 편차를 가져올 우려가 있다. 그리고 평가점수를 세부항목 구간으로 나누어 부여하는 방식이므로 정량적인 위해도 평가에 모순을 초래할 수도 있을 것이다. 극단적이지만, 예를 들면 잔존기름량 49kl와 50kl는 무려 10.5점의 차이가 난다. 잔존기름량의 정확성은 차치하고라도 점수는 계산식에 의해 부여하여야 합리적일 것으로 생각된다. 이점은 선박규모 항목도 동일한 관점에서 보아야할 것이다.

또한 해역환경 민감도는 민감시설이나 지역의 종류에 의한 가중치보다는 해당 민감요소의 중요도를 감안한 인접거리와 개소의 수에 의한 평가가 합리적일 것이고, 선박종류 항목은 선종에 의한 구분에 더하여 화물 적재 여부가 감안되는 것이 바람직하다.

유출가능성 항목은 사고 전 선령과 사고 후 경과기간을 세부항목으로 평가하고 있다. 5년을 단위로 구간을 정한 평가방식도 문제가 있지만 현재 유출되고 있는 경우가 고려되고 있지 않다. 물론 유출 정도가 미미하여 큰 문제가 되지 않을 수도 있겠지만 현재 기름 등이 유출되고 있는 침몰선박의 상태를 유출가능성 평가에 반영하지 않는다는 것은 모순이 아닐 수 없을 것이다.

이러한 여러 가지 관점에서 볼 때 위해도 평가방식은 그 목적인 침몰선박의 해양오염사고 유발 가능성의 평가를 보다 구체적이고 합리적으로 측정할 수 있도록 평가항목의 개선정과 평가지수의 산출방식이 개선된 새로운 평가시스템이 필요할 것으로 판단된다.

2.4.4.3 관리대상 침몰선박의 조치에 대한 의사결정 측면

해양환경관리법 제83조의2 제3항에 따라 해양수산부장관은 침몰선에 대한 위해도 저감대책을 실행하도록 되어있다. 우선 위해도 평가를 거쳐 관리대상 선박으로 지정된 선박은 2차 오염사고 유발 가능성이 높은 선박으로 간주하여야 할 것이므로 합당한 위해요소 저감대책의 수립과 시행은 필연적으로 진행되어야 할 후속 절차이다.

저감대책의 수립을 위해서는 해당 침몰선박의 현재 상태에 대한 정밀조사가 선행되어야 함은 물론이고 그 조사 결과에 따라 조치에 대한 의사결정이 이루어져야 할 것이다. 침몰선의 조치는 인양하여 근원적인 위해요소를 제거하는 방안, 위해요소를 선별적으로 제거하되 선체는 인양하지 않고 그대로 두는 방안 등 여러 가지가 있을 수 있다. 이러한 방안은 침몰선의 위치 및 오염유발 가능성 등에 좌우 되겠지만, 경제성과 작업시행 용이성에 대한 고려도 매우 중요한 의사결정의 요소가 될 것이다.

따라서 관리대상 선박의 저감대책 수립과 실행은 위해도 평가의 후속 절차로

별개로 이루어져야 하며, 조치에 대한 의사결정은 오염유발 가능성과 함께 시급성, 경제성 및 작업시행에 필요한 기술 및 위험성 등을 고려하여 합리적인 방안이 결정될 수 있도록 적합한 의사결정 도구와 절차가 마련되어야 할 것이다.



2.5 침몰선박 잔존유 회수 의사결정 절차

침몰선박의 위해도 평가 결과의 점수가 높게 나오고(40점 이상), 해양오염 유발 가능성이 농후하다면 관리대상 선박으로 지정됨과 동시에 위해도 저감대책을 마련하여 시행하게 된다.

위해도 저감대책은 침몰선박 정보와 위해요소를 면밀히 분석하고 침몰선박의 위치, 상태, 및 시급성 등을 충분히 감안하여 마련되어야 하고 필요 시에는 실제 침몰선박 상태와 주변 해양환경 여건 등의 확인을 위한 현장 조사작업을 선행하는 것이 바람직하다.

대표적인 위해도 저감대책으로는 위해요소를 원천적으로 제거하기 위해 침몰선박을 인양조치 하는 방안과 오염 유발의 주요 원인이 되는 유해물질과 기름 등의 위해요소를 제거하고 선체는 그대로 두는 방안의 2가지로 크게 나눌 수 있을 것이다. 그러나 침몰선박의 인양 시에도 인양작업 과정에서 잔존유 등의 유출이 우려되므로 잔존유의 회수 등 사전 조치 및 유출될 경우의 대책을 준비하여야 한다. 따라서 침몰선박의 위해도 저감대책의 시행에서 침몰선박의 잔존유의 회수 등 조치방안은 반드시 고려되어야 할 사항이다.

이때 잔존유 회수에 관한 의사결정은 매우 중요한 사항이며 이러한 의사결정은 사전에 충분히 검토되어 마련된 절차를 통해 결정하여야 한다.

2.5.1 잔존유 회수 의사결정 절차

침몰선박의 잔존유를 회수하는 것은 많은 비용과 위험이 수반되는 고난이도 작업으로서 회수작업의 시행 여부에 대한 의사결정은 합리적인 절차에 따라 신중히 결정되어야 한다. 이러한 절차는 정보 수집 및 분석을 비롯한 각 단계별로 충분한 검토를 거쳐 최종적인 시행 여부 및 시행 시기 등에 관한 결정이 이루어 질 수 있도록 마련되어야 한다.

잔존유 회수 의사결정을 위한 절차를 단계별로 나누어 살펴보기로 한다.

2.5.1.1 정보 수집·분석 단계

침몰선박의 제원과 운항 및 사고관련 정보와 주변해역 및 해저상태 등에 관한 정보를 가능한 한 광범위하게 수집하고 이러한 정보를 세밀히 분석하여 잔존유의 상태를 추정, 인양 시행 여부, 회수작업 시행 타당성 및 가능성 등 각 절차 단계의 진행 상 합리적인 결정을 내릴 수 있도록 필요한 정보를 수집하여 분석한다.

2.5.1.2 잔존유 상태 추정·분석 단계

침몰선박의 사고 발생 당시 유류 적재량을 근거로 1차적으로 사고 시 발생한 해상 기름유출량과 침몰선박의 선체 손상부위, 해저 착지자세 등 침몰선박의 상태를 고려한 침몰과정 및 침몰 후 유출되었을 기름량을 감안하여 침몰선박 내 잔존유의 존재 여부 및 잔존유량과 잔존유 분포상태를 추정하고, 추가 유출 가능성 정도 및 유출 시기, 유출 예상량과 오염발생 규모 등을 예측한다.

2.5.1.3 인양 필요성 검토 단계

침몰선박의 위치가 항로 상 또는 선박의 통항이 빈번한 수역 내에 있고 여유 수심이 충분하지 못하여 해상 통항에 장애를 초래할 경우 및 수역의 특성 상 침몰선박의 제거가 필요한 경우에는 침몰선박의 인양이 고려될 수 있다. 만약 침몰선박의 인양이 결정될 경우에도 인양작업 과정에서 잔존유의 유출 등으로 인한 해양오염 유발 가능성은 상존하므로 유출 가능성 정도에 따라 인양 전 잔존유의 제거 여부는 검토되어야 할 것이다.

2.5.1.4 잔존유 제거 타당성 검토 단계

침몰선박이 해상 통항에 장애가 되지 않아 꼭 인양하여 제거할 필요는 없다고 판단될 경우에는 잔존유 제거의 타당성에 대하여 검토하여야 한다.

여기에는 잔존유 유출 가능성 정도와 유출 시기 및 유출 양상의 예측을 통한 2차 오염의 심각성과 함께 침몰선박의 위치를 고려해 볼 때 기름 유출 시 해양 환경에 미치는 피해 및 해안 표착 가능성 등이 감안되어야 하고 잔존유 제거에

소요되는 경제적 비용과 혜택도 분석 되어야 한다. 또한 사회적으로 미치는 영향도 검토요소 중 하나이다.

2.5.1.5 잔존유 회수 가능성 검토 단계

침몰선박의 잔존유 제거가 타당하다고 판단되면 추가적으로 잔존유 회수가 가능한지를 검토하여야 한다. 아무리 잔존유 제거가 타당하다 하더라도 현실적으로 잔존유를 제거할 수 있는 구체적인 방법이 없다면 시행을 할 수 없기 때문이다.

해저에 침몰한 선박은 충돌, 좌초 등 1차적 침몰원인에 의하거나 침몰과정 중 수중에서의 선체 거동 및 해저와의 충돌로 인해 상당한 선체의 손상 및 변형이 일어나고 선박의 구조, 해저의 지리적 환경, 해저 착지자세 등에 따라 침몰선박의 상태와 잔존유의 분포가 달라지므로 현장조사 시행 전에는 잔존유 회수 가능성을 판단하기가 매우 어렵다.

현장조사는 다중빔 음향측심기를 이용하여 획득한 영상정보를 후처리한 침몰선박의 3차원 영상정보를 활용하여 침몰선박의 해저 착지자세 및 손상상태 등을 확인하고 침몰선박 주변해역의 해저지형을 감안하여 침몰선박의 현재 상태 및 잔존유 분포상태를 추정할 수 있다. 경우에 따라서는 보다 정밀한 정보의 확인을 위한 실 해역 잠수조사가 필요할 때도 있다.

이러한 정보를 바탕으로 추정한 침몰선박의 상태와 잔존유 분포상태를 감안할 때 현실적으로 잔존유 회수를 위한 기술적인 접근이 가능한지를 종합적으로 검토하여 최종적인 잔존유 회수 가능성을 판단하여야 할 것이다.

2.5.1.6 잔존유 회수 결정 단계

위와 같은 단계를 거쳐 최종적으로 침몰선박 내 잔존유를 회수하기로 결정되면, 다음 단계로 잔존유를 어떻게 회수할 것인지를 계획하고 실행할 준비를 하여야 하는데 이 또한 미리 세밀하게 검토되어 마련된 실행계획에 따라 진행하여야 될 것이다. 구체적인 잔존유 회수 실행에 관하여는 제4장에서 논하기로 한다. Fig. 4는 침몰선박 잔존유 회수 의사결정 절차도이다.

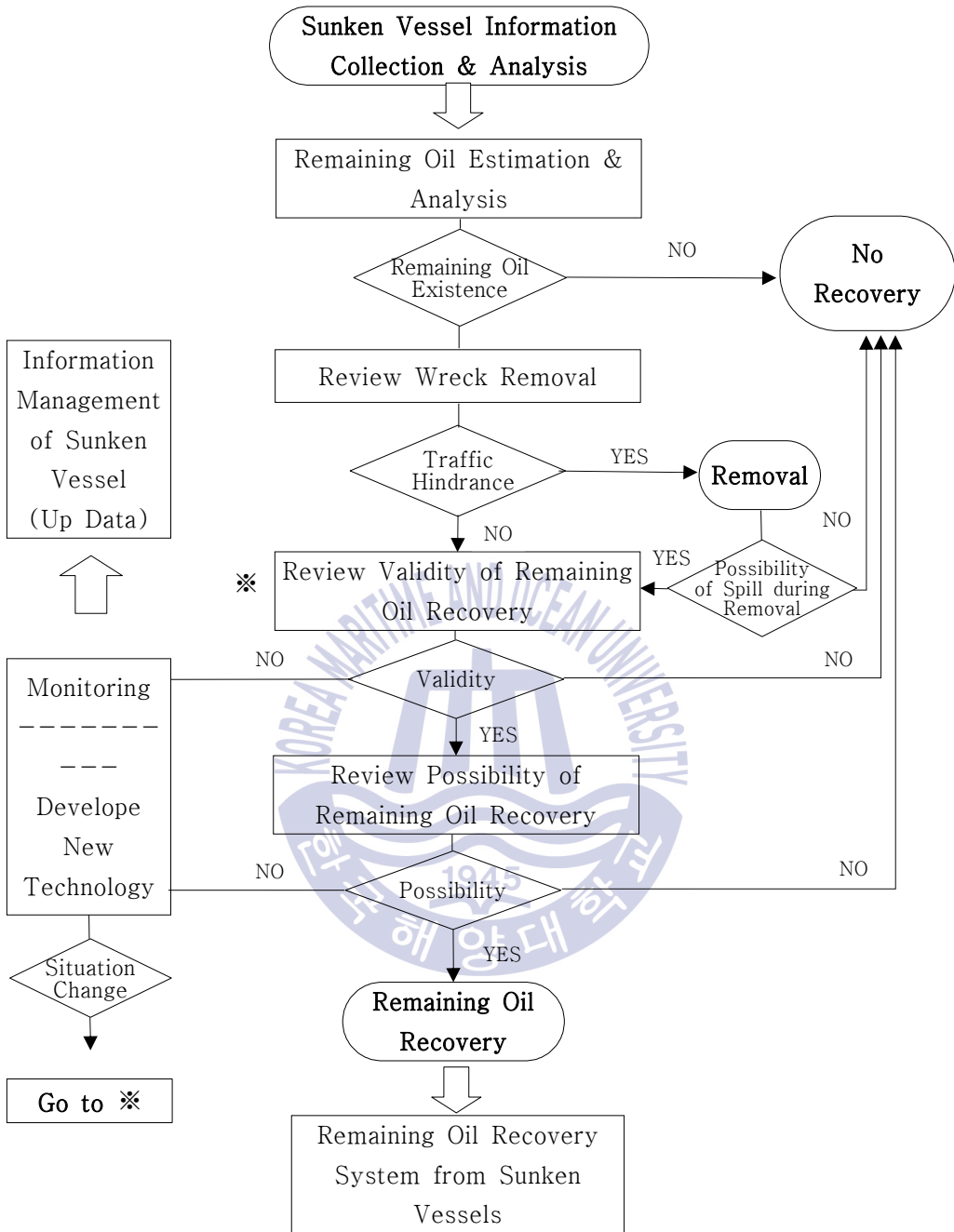


Fig. 4 The map of decision-making procedure of remaining oil recovery from sunken vessels

2.5.2 의사결정 절차 단계별 고려사항

위와 같이 침몰선박의 잔존유를 회수할 것인지의 의사결정은 절차에 따라 각 단계별 검토를 통해 진행한다. 이때 단계별로 필수적으로 검토하여야 할 고려사항의 파악은 매우 중요한 사항이다.

Table 10은 각 단계별 검토 시 고려하여야 할 사항을 정리한 것이다.



Table 10(a) Considerations for each steps of decision making procedure in remaining oil recovery from sunken vessel

Steps	Considerations	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Informations of sunken vessel 	<ul style="list-style-type: none"> -Ship's Particulars/Registration -Bunkering/Dep./Arr. etc. Shipping information -Drawings/Daily report/Records etc. -Cargoes/Bunker/Shipments information -Accident sequence/Loss/Damage states -Marine oil spill/Pollution status -Survey report of sunken vessel status
<p>Information collection & analysis Step</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sea area information around sunken vessel 	<ul style="list-style-type: none"> -Sunk down position/depth/tide etc. -Traffic volume/Zone/Harbor/Anchorage -Marina/Power plant etc. Environmental sensitive facility -Sea farm/Marine products/Fishing ports -Geography/Environment/Ecology/Meteorology of sea area -Near shore type/Wild habitat
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Information of seabed geography & underwater environment 	<ul style="list-style-type: none"> -Topography/Seabed form/Gradient etc. -Underwater environment as Current/Water temperature/Visibility/Sedimentation/Obstacles etc. -Ecological environment as Animals & plants lived seabed

Table 10(b) Considerations for each steps of decision making procedure in remaining oil recovery from sunken vessel(continued)

Remaining oil status estimation & analysis Step	◦ Condition before sunk down	<ul style="list-style-type: none"> -Oil storage position/Quantity at the accident time -Ship's damage by the accident -Oil spill condition at sea
	◦ Estimation of remaining oil quantity & distribution	<ul style="list-style-type: none"> -Considering status of sunken vessel as hull damage/Pose of landing at seabed -Analysis remaining oil status with ship's drawings
	◦ Spillage prediction of remaining oil	<ul style="list-style-type: none"> -Review possibility of spillage with remaining oil data as kind/distribution/hull damage -Considered the point of corrosion level/possibility of seabed conditions change
Needs of wreck removal reviewing Step	◦ Ship's traffic disturbing factor	<ul style="list-style-type: none"> -Traffic zone/Traffic volume -Secure enough clearance depth with sunken vessel
	◦ Character of sea area	<ul style="list-style-type: none"> -Environmental sensitive area/special restrictions applying sea area
Validity of remaining oil recovery reviewing Step	◦ Seriousness & urgency of secondary pollution	<ul style="list-style-type: none"> -Level of possibility for remaining oil spillage -Prediction of time & quantity of spill
	◦ Damage prediction of oil spillage	<ul style="list-style-type: none"> -Possibility of drifting ashore & damage of shoreline environment
	◦ Social & economic factor	<ul style="list-style-type: none"> -Cost-benefit analysis -Considerations of social issues
Possibility of remaining oil recovery reviewing Step	◦ Working condition & recovery technic	<ul style="list-style-type: none"> -Hull structure/Seabed geography/Landing pose/Obstacles etc. -Working expenses/Current technic etc. considered working situation
	◦ Make decision "no recovery"	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoring status of sunken vessel -Information management of sunken vessel
Remaining oil recovery making decision Step	◦ Make decision "recovery"	<ul style="list-style-type: none"> -Execution of remaining oil recovery system from sunken vessel

제3장 침몰선박 잔존유 회수 시스템

침몰선박의 잔존유 회수 시스템을 광의로 해석하면 침몰선박 관련 법령 및 관리주체와 잔존유 회수 의사결정 및 회수작업 시행을 포함한 잔존유와 관련된 모든 제도와 절차를 총 망라한 일련의 시스템으로 볼 수 있다.

그러나 본 연구는 침몰선의 잔존유 회수작업 시행 과정에서 다양한 작업환경에 활용이 가능한 과학적이고 합리적인 작업방법 및 기술·장비의 선정 등과 관리를 위한 최적화된 회수 시스템 개발이 목적이므로, 침몰선박의 잔존유 회수 의사결정이 이루어진 후 회수작업의 효율적인 시행을 위한 계획수립과 시행에 필요한 시스템으로 그 범위를 한정해서 설정하였다.

침몰선박 내부에 남아있는 잔존유를 제거 및 회수하는 작업을 시행할 경우 작업의 실행계획 수립과 구체적인 시행 및 관리를 위한 잔존유 회수 시스템은 일반적으로 작업환경에 관련된 전반적인 사항을 조사하는 부분과 조사결과를 바탕으로 작업계획을 수립하고 잔존유를 회수하는 부분의 2부분으로 크게 나누어 볼 수 있다.

이 장에서는 이러한 회수작업의 조사 및 시행의 일반적인 잔존유 회수 시스템에 대하여 살펴보고, 실제 시행한 회수작업 사례 연구를 통하여 사례별 특징과 선정 기술의 효과 및 적정성을 검토하여 시스템 적용 상 문제점에 대해 분석하고 문제점 보완을 위한 일환으로 회수 시스템의 최적화 필요성을 검토하고자 한다.

3.1 일반적인 잔존유 회수 시스템

침몰선박의 잔존유 회수 시스템은 작업을 위한 사전 조사와 잔존유를 해상으로 회수하는 작업으로 나누어 적용하는 것이 보통이다.

이러한 시스템은 침몰선박의 상태 및 작업여건에 따라 일부 달라질 수 있겠으나 일반적으로 다음과 같이 구성된다.

3.1.1 사전 조사작업 과정

침몰선박의 잔존유 회수작업은 침몰선박의 상태와 해저지형 등 작업여건에 직접적인 영향을 받게 되므로 사전에 세심한 조사가 필요하다. 이 중에는 통계자료나 관련 정보의 파악 및 분석으로 가능한 부분도 있지만 실제 잠수작업을 통해 확인하거나 샘플을 채취하여 분석하여야 하는 것도 있다.

그리고 수중에서 행하여야 하는 잠수작업은 다이버가 직접 잠수하여 시행할 것인지, 아니면 ROV 등 수중 장비를 사용할 것인지를 우선 결정하여야 한다. 때에 따라서는 이 둘 모두를 사용할 수도 있을 것이다.

이러한 사전조사는 그 결과에 따라 작업방법 및 기술 적용, 장비의 선정, 작업공기 등에 상당한 영향을 끼치고 잔존유 회수작업의 기본 방침의 결정과 실행 시 안전도와 효율성 검토의 기초자료 확보를 위한 수단으로서 빠짐없이 신중하게 시행하여야 하며, 시행하여야 할 사항은 다음과 같다.

3.1.1.1 작업해역 기상 및 해상상태 조사

작업해역의 기상 및 조류, 해류 등의 조사 결과는 작업의 적정 시행 시기를 판단하고 해상작업기지선의 묘박, 수중작업의 용이성과 장비를 선정하는데 유용하게 사용된다. 특히 수중작업은 작업 준비와 지원 및 작업 연속성에 따라 작업효율과 직결되므로 이 조사는 중요한 사항으로 간주된다.

조사는 당해 국가의 기상청과 수로국의 자료(지난 10년 이상 기간의 평균)를 활용하여 조사하고 필요시에는 현장조사를 병행한다.

조사에 포함하여야 할 항목은 다음과 같다.

- 1) 기온, 풍향, 풍속, 일기, 강수량, 수온, 파고 등(년 중 월별 평균)
- 2) 조류, 해류, 취송류 등 해수유동 관련 정보
- 3) 태풍 내습 시기 및 빈도
- 4) 기타 지역의 기상 특이사항

3.1.1.2 해저 환경 및 지형·지질 조사

침몰선박이 위치한 해저의 환경과 지질을 조사하는 과정으로 잔존유 회수작업의 대부분이 수중에서 시행되고 경우에 따라 침몰선박 주변 해저의 준설 등을 필요로 하므로 작업환경과 관련한 다음과 같은 사항을 조사한다.

- 1) 수온, 수심, 수중시계, 유속 등
- 2) 수심 분포 및 해저 지형, 지질
- 3) 침몰선박 주위의 접근 및 장비 운용에 장애가 되는 지형지물 존재여부

3.1.1.3 침몰선박 상태조사

잔존유의 회수방법에 가장 많은 영향을 미치는 것이 침몰선박의 상태파악이다. 따라서 가능한 범위 내에서 상세한 조사가 이루어져야 하며 조사할 사항은 다음과 같다.

- 1) 작업 대상선박의 확인
- 2) 침몰선박의 해저 착지자세
- 3) 선체 손상 상태
- 4) 작업여건 조사
- 5) 기름유출 진행상황 파악 및 조치 사항

3.1.1.4 잔존유 분포 조사 및 잔존유량 측정

침몰선박 내 잔존유의 분포상태와 잔존유량의 조사는 본 작업의 범위와 시행 순서 및 방법을 확정하는 중요한 작업과정이다.

침몰선박의 사고과정에서 수집된 정보에 의해 추정하였던 잔존유량과 분포상태를 실제로 조사하여 확인하고 조사 결과를 바탕으로 회수대상 개소와 회수를 위한 장비 및 기술을 선정하여 작업계획을 최종적으로 확정한다. 따라서 침몰선박의 상태와 작업여건을 충분히 고려한 적합한 방법으로 시행되어야 하고 정확성에 대한 신뢰도를 확보하여야 한다.

만약에 기름이 선적되었던 구역에 기름이 존재하지 않을 것으로 추정된다 할지라도, 그 구역의 최상부가 완전히 개방되어 기름이 모두 유출되었다는 확신이 없는 한, 기름이 남아있지 않다는 증명을 위해 잔존유량의 측정은 시행되어야 할 것이다.

이 조사의 세부 시행과정은 다음과 같다.

- 1) 선체손상 및 착지자세를 감안한 잔존유 존재 위치 추정
- 2) 침몰선박 상태 및 작업효율을 감안한 잔존유량 측정 방법 선정
- 3) 잔존유량 측정을 위한 선체 천공위치 지정 및 작업 공간 확보
- 4) 잔존유량 측정 및 샘플 채취
- 5) 조사결과를 취합·정리한 잔존유 분포 및 잔존유량 현황 도면 작성

3.1.2 잔존유 회수작업 과정

잔존유 회수작업을 위한 사전조사가 모두 이루어졌다면 회수를 위한 작업과정으로 진행된다. 사전조사 결과로 얻어진 정보를 바탕으로 회수작업의 시행에 적합한 장비와 기술이 선정될 것이고 각각의 작업은 필요한 준비를 거쳐 착수한다.

이러한 잔존유 회수작업 과정은 상황에 적합한 계획에 따라 일정한 순서를 정할 수 없고 또한 작업진행 중 예상하지 않은 상황에 조우하여 수정되거나 변경하는 경우도 많으나 가능한 한 많은 양의 잔존유를 효율적으로 회수하기 위해 잔존유가 남아있는 구역의 최 상부에 어댑터를 부착하고 천공하여 잔존유를 가열한 후 회수용 호스를 연결하고 펌핑하여 회수하는 과정은 대동소이하고 일반적으로 다음과 같은 과정으로 시행한다.

3.1.2.1 선체 외판 천공

선박에 선적되는 화물유나 연료유 및 윤활유 등은 저장을 위한 지정 탱크에 탑재되며 탱크는 기름 주입 및 배출을 위한 파이프라인과 및 증발가스 배출관이 연결되어 있으나 밸브 폐쇄, 손상 또는 부식 및 선체상태 등의 이유로 이들을 이용한 탱크 내 잔존유 회수 가능성은 매우 희박하다.

따라서 침몰선박의 상태를 감안하여 잔존유가 남아있는 구역의 최상부를 Hot Tapping 기술을 적용하여 천공 및 펌핑하는 경우가 대부분이다.

아울러 잔존유 가열 및 펌핑 시 발생할 수 있는 탱크내의 압력변화를 방지하여 항상 주변 수압과 동일하게 유지시키기 위한 목적으로 설치하는 통수관(Standpipe) 삽입용 천공과 히팅 장치의 설치를 위한 천공도 함께 시행한다.

이러한 천공 작업의 일반적인 시행순서와 주안점은 다음과 같다.

1) 천공 위치의 선정

- 잔존유 존재구역의 최상부의 위치를 선정하고 만약 그 위치가 접근이 어렵거나 선체 내외부의 구조물, 강도, 부식상태 및 굴곡 등의 사유로 천공이 불가하거나 시행 상 안전에 문제가 있다면, 그러한 사항을 고려하여 최상부에 가장 근접한 위치를 선정

2) 천공 및 어댑터 설치를 위한 전 처리 및 확인

- 장애물 제거 및 표면 처리
- 내부재 위치 확인

3) 천공용 밸브 내장 어댑터 부착

4) 천공기 장착 및 천공

5) 밸브 차단 및 천공기 탈거

6) 펌프, 가열장치 및 통수관 연결용 파이프 설치

7) 잔존유 회수구역 및 용도 표시

3.1.2.2 잔존유 가열

침몰선박은 해저에 침몰하여 체류하는 동안 상대적으로 낮은 온도의 해수와 장기간 접촉하므로 내부의 잔존유도 해저의 해수온도와 동일한 온도를 유지한다. 따라서 유동점 이하로 온도가 떨어지거나 점도가 높아져서 펌핑이 원활하게 이루어지기가 어려운 경우가 많다. 이러한 경우에는 잔존유의 원활한 회수를 위해 잔존유를 가열하는 작업이 필요하다.

잔존유의 가열은 히터를 삽입하거나 스팀을 주입하는 등 다양한 방법이 있는데 각 방법에 따라 장비의 설치 및 작업 과정이 달라진다.

일반적으로 잔존유 가열작업 시행은 다음과 같은 과정을 거치게 된다.

- 1) 잔존유량 측정과정에서 입수한 샘플의 온도와 성분분석
 - 목표 온도 설정 및 소요시간 계산
 - 침몰선박 위치의 수심에 따른 펌핑 시 열 손실 감안
- 2) 가열방법 선정
 - 잔존유 특성 및 설치 적합성을 고려한 가열 장비 및 방법의 선정
- 3) 가열장비 설치 및 가열

3.1.2.3 잔존유 펌핑

잔존유의 펌핑은 통상적으로 침몰선박의 잔존유 회수용 파이프에 펌프를 설치한 후 호스를 연결하여 해상작업 기지선으로 밀어 올리는 방법으로 시행한다. 이때 적절한 토출압력 유지를 위하여 흡입구의 밸브를 조작하고 펌핑상태와 잔존유 또는 세척수의 종류에 따라 펌프를 적합한 용량으로 교체하기도 한다.

이 과정에서 이루어지는 펌핑 준비와 작업 과정은 다음과 같다.

- 1) 어댑터에 연결된 잔존유 회수용 파이프에 펌프를 설치
- 2) 펌프 토출구에 호스를 연결

- 3) 잔존유 온도 측정
- 4) 밸브를 개방하고 펌프를 작동하여 펌핑 시행
- 5) 필요 시 밸브를 적절히 조작 또는 적정 용량의 펌프로 교체

3.1.2.4 탱크 세척

잔존유의 회수가 어느 정도 이루어 지고나면 펌핑되는 회수유에 물이 섞여 나오기 시작하고, 시간이 경과할수록 물의 양이 점점 더 많아지게 된다. 이때에는 펌핑을 일시적으로 중단하고 흡입구 주변으로 기름이 모일 때를 기다려 재 펌핑을 시도하는 Settling 과정을 수차례 반복하여 잔존유를 최대한으로 회수한다.

이러한 과정을 거쳐 회수되는 잔존유의 량이 현저하게 줄어들면 대부분의 잔존유가 회수된 것으로 간주하고 남아있는 소량의 잔존유와 탱크 내부에 부착되어 있는 잔존유를 회수할 목적으로 탱크를 세척하는 작업을 시행한다.

탱크 내부의 세척상태는 육안으로 측정이 불가하므로 사전에 세척절차와 회수된 세척수의 상태 수준은 정하여 두고 그 범위에 도달할 때까지 반복하여 시행한다.

일반적인 세척작업의 과정은 다음과 같이 이루어진다.

- 1) 고온의 세척용 온수를 준비
- 2) 탱크 내에 고온수를 주입 또는 순환
- 3) 일정시간이 경과할 때까지 대기
- 4) 회수된 세척수의 기름 농도 또는 육안 식별로 상태 확인
- 5) 정하여진 수준에 도달할 때까지 반복
- 6) 최종 확인 후 종료

3.1.2.5 회수유 보관 및 처리

펌핑하여 회수된 잔존유는 해상작업 기지선 내에 보관하였다가 처리를 위하

여 육상 또는 이송을 위해 동원된 선박으로 이적한다. 침몰선박으로부터 회수되는 잔존유는 기름뿐만 아니라 물과 함께 섞여서 올라오게 되고 특히 세척과정에서 대부분 물이 회수되기 때문에 회수되는 유성혼합물 전체양은 잔존유량에 비해 상당히 많아지게 되는 것이 보통이다.

이러한 점을 감안하여 일반적으로 시행하는 회수유 보관 및 처리과정은 다음과 같다.

- 1) 회수유 보관 장소를 지정
- 2) 회수가 완료된 후 보관된 회수유를 이적 조치
- 3) 유수분리 탱크와 회수유 보관 장소 세척



3.2 잔존유 회수작업 사례 연구

지금까지 일반적인 잔존유 회수 시스템의 구성과 작업과정을 살펴보았다. 그러면 실제 시행된 회수작업은 어떻게 진행되었는지를 각 사례별 연구를 통하여 알아보고 사례별 특징과 진행과정 및 적용기술을 분석하여 침몰선박으로부터 잔존유 회수방법 등을 선정하는 회수 시스템의 최적화를 위한 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

3.2.1 국내 사례

국내에서 시행된 침몰선박의 잔존유 회수작업은 적지 않은 케이스가 있겠으나 그중 비교적 가까운 시점에 심해에서 대규모로 시행된 제1유일호와 경신호 케이스를 대상으로 사례분석과 연구를 진행하였다.

3.2.1.1 제1유일호 사례

1. 사고 발생 및 회수작업 추진 경과

유조선 제1유일호(1,591G/T)는 1995년 9월 20일 23:40 경 Bunker-C유 2,870kl, Bunker-Bdb 20kl, 기타 L.O. 등 약 7kl를 적재하고 울산항을 출항, 광양항으로 향하던 중 다음날인 9월 21일 04:55경 선위확인 소홀 등 항해부주의로 남형제도 북단 수중 암초에 좌초되어 구조 예인하던 중 침몰하였다. 좌초 시 좌현측 수면 하 외관이 파공되어 화물유 중 약 1,000~1,500kl가 유출된 것으로 추정되며, 이 유출사고로 인하여 가덕도 및 거제도 동남부 해안 일원이 기름에 오염되었다.

또한 침몰 후에도 침몰지점의 해상에는 제1유일호로부터의 유출로 추정되는 기름이 지속적으로 부유하는 현상이 관찰되어 침몰선박 내 잔존유 유출로 인한 추가오염 소지가 있다는 이유로 IOPC Fund는 유류오염 피해보상액의 40%를 지급 유보하고 있는 실정이었다. 이러한 상황에서 정부는 침몰선박 제1유일호의 잔존유를 제거하여 상존하고 있는 오염요인을 제거함과 동시에 잔여 피해 보상 문제를 해결한다는 방침 아래 1998년 제1유일호의 잔

잔유 회수작업을 시행하기로 결정한 것이다.

침몰선박의 상태 및 해저 환경조사는 작업시행의 시급성으로 인해 별도로 시행하지 않고 침몰선박의 위치만 확인한 후 바로 잔존유 회수작업이 착수되었다.

잔존유 회수작업은 1998. 6. 29부터 8. 30까지 시행되었으며 회수된 기름은 Bunker-C 664.4kl로 집계되었다.

2. 침몰선박 현황

1) 선박 제원

- 선명 : 제1유일호
- 선종 : 유조선(Product Carrier)
- 톤수 : 1,591G/T
- L x B x D : 75m x 12m x 6m
- 적재화물 : Bunker-C 2,870kl
- 소유자 : 유일해운(주)
- 선령 : 침몰당시 14년

2) 사고 발생일 및 장소

- 사고 일자 : 1995년 9월 21일
- 침몰 장소 : 북형제도 정남방 약 1.0Mile
(34°54'48"N, 128°58'54"E)

3) 침몰선박 상태

- 수심 : 약 78m
- 저질 : mud
- 자세 : 선수 방위 240°(T), 좌현 약 84°경사, 해저 약 4m 함몰 상태
- 추정 잔존유량 : 약 1,500~1,800kl

3. 잔존유 회수작업 시행 및 결과

- 1) 수행 기관 : 해양수산부(주관), 한국해양오염방제조합
- 2) 수행 업체 : 네덜란드, SMIT TAK社
- 3) 작업 기간 : 1998. 6. 29 ~ 8. 30
- 4) 회수유량 : Bunker-C 664.8kl

4. 제1유일호 잔존유 회수작업의 특징

1) 수중작업 방법의 선정

본 작업에는 수중작업 시 다이버를 사용하지 않고 수중에서 행하여지는 모든 작업을 ROV(Remote Operating Vehicle)를 사용하여 시행하는 방법을 선정하였다. 이 방법은 수중작업 여건이 허용되는 한 24시간 작업이 가능하고 다이버가 투입되지 않으므로 인명손상의 위험이 없어 작업시간과 안전 면에서 탁월한 장점이 있으나 비교적 수중환경의 영향을 많이 받고 원격 조종되기 때문에 정밀을 요하는 작업이나 비상상태 대응 및 즉각적인 현장 대응조치가 어렵다는 단점이 있다.

Fig. 5는 제1유일호 잔존유 회수작업에 사용된 ROV의 모습이다.



source : KMPRC, 1999(a)

Fig. 5 Work-class ROV used in remaining oil recovery of N0.1 Yuil

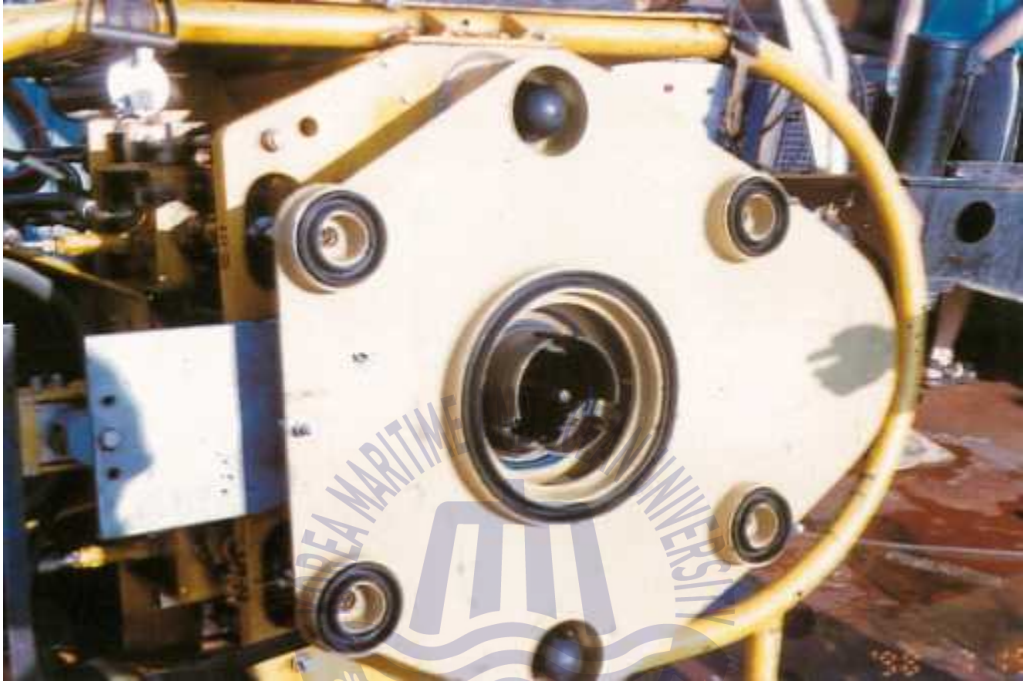
2) 선체 외판 천공과 잔존유 펌핑 방법

본 작업의 수중작업을 모두 ROV로 시행하기로 결정됨에 따라 선체 외판 천공작업 역시 ROLS(Remote Off Loading System)를 사용하여 시행되었다. ROLS는 잔존유 회수용 펌프가 내장되어 있는 천공 시스템으로 밸브가 설치되어있는 Base Plate를 장착하고 천공위치에 접근하여 Base Plate를 선체에 부착한 후 Hot Taping 방식으로 천공하면 펌프가 자동적으로 연결된다. 펌프가 연결되면 Base Plate의 밸브를 개방하여 바로 펌핑작업이 가능한 침몰선박 잔존유 회수 전용장비이다. 물론 이 장비도 모든 작동은 원격조종으로 이루어지고 수중에서의 이동은 ROV를 사용하여 이루어진다.

ROLS는 천공과 펌핑의 연속작업이 가능하도록 설계되어 효율적인 면에서 우수하지만 자체 기동을 할 수 없고 회수용 호스가 연결된 상태로 기

동이 이루어져야 하므로 지정된 장소로의 접근이 원활하지 못한 단점이 있다.

Fig. 6은 ROLS에 Base Plate를 장착한 모습이다.



source : KMPRC, 1999(b)

Fig. 6 ROLS with Base Plate

Fig. 7은 선체에 Base Plate 부착 후 ROLS가 이탈하는 장면이다.



source : Frank Mohn Flatoy AS, ROLS, 2003(a)

Fig. 7 Releasing ROLS after attached Base Plate

3) 작업시행 상 문제점

무인 잔존유 회수장비인 ROLS는 해상작업기지선과 여러 가닥의 전원 케이블, 유압 호스 및 잔존유 회수용 호스와 수중 작업위치를 조정, 유지 및 선상 회수를 위한 와이어가 연결되어 있어 ROV에 의한 위치 이동 시 수시로 연결 와이어를 조정해 주어야 하므로 원활한 거동이 어렵고 해상 상태에 따라 작업에 제약을 받게 되어 해상의 기상이 작업 공기에 상당한 영향을 끼친다.

아울러 천공 및 회수를 위한 Base Plate 부착 시에 ROV는 ROLS를 잡고 있어야 하므로 ROV의 위치가 ROLS 후방 근접거리에 고정될 수밖에 없어 작업진행의 감시가 어려운 것도 시스템 상 문제점으로 파악된다. 실제로

본 작업 중 Base Plate 부착 작업 중 ROV의 Umbilical Line이 Base Plate와 외판 사이에 끼인 상태로 천공이 되어 ROV가 유실된 사고가 발생하였다.

또한 사전조사 과정 없이 잔존유 회수작업이 착수되어 모든 화물유 탱크를 일일이 천공하여 펌핑 후 잔존유 유무를 확인하여 필요이상의 상당한 작업공기가 소요되었다고 볼 수 있다.

5. 작업과정에 적용된 기술 및 장비

본 작업에 적용된 기술 및 장비를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 해상 작업기지선 : 현대 B-1003호(Flat Barge, 11,000 G/T)
- 2) 수중작업 방법 : ROV 및 ROLS를 이용한 무인 잔존유 회수 시스템
- 3) 잔존유량 측정 방법 :
침몰선박 조사결과 손상 식별 탱크를 제외한 잔존유 존재 추정 전 탱크 펌핑하기로 결정되어 미 시행
- 4) 선체 외판 천공 방법 : ROLS를 사용한 Base Plate 부착 및 Hot Taping
- 5) 잔존유 가열 방법 : 회수용 호스 내부 히팅
- 6) 잔존유 펌핑 : ROLS 장착 펌프 사용
- 7) 회수유 관리 : 해상작업선 내 저장탱크

3.2.1.2 경신호 사례

1. 사고 발생 및 회수작업 추진 경과

유조선 경신호는 1988년 2월 23일 울산 울주군 온산항에서 Bunker-C유 약 2,560톤을 선적하고 출항하여 묵호항으로 항해하던 중 다음날인 2월24일 새벽에 해상 악천후를 조우하여 선수부가 침수되어 인근 포항항으로 입항을 시도하던 중 오전 7시경 조난신호를 마지막으로 침몰하였다.

침몰당시 해상에 유출된 기름은 포항시와 인근 4개 군에 걸쳐 약 42km의 해안선을 오염 시켰다. 해상 유출 및 해안에 부착된 기름의 방제는 유출 직후부터 시행되었으나 침몰선박 부근의 해상에 수중으로부터 지속적으로 기름이 부상하여 추가적인 해양오염 위험 요인으로 부각되자 정부는 우선적으로 침몰선박의 기름 유출구 밀폐조치의 시행이 필요한 것으로 판단하고 3월 17일 포항해양경찰대(현 포항해양경비안전서)와 한성살베지(주)간에 침몰선박 경신호 기름 유출구 밀폐공사 계약이 체결되어 한성살베지(주)는 3월 18일부터 4월 20일까지 밀폐작업을 시행하였다. 그러나 작업종료 후 현장 확인 결과 기름이 계속 유출되고 있음이 확인되어 5월18일부터 7월 5일까지 2차 밀폐작업을 추가로 시행하여 총2차례에 걸쳐 26개소의 기름 유출구를 밀폐하였다.

7월 5일 유출구 밀폐작업이 끝난 후 기름 유출상태가 현저히 감소함에 따라 해상 방제작업을 종료하였고, 해안에 부착된 기름의 방제는 7월 30일 공식적으로 종료되었다.

그 이후에도 2011년 잔존유 회수작업이 시행될 때까지 침몰선박 상부 해상에서는 소량의 기름이 부상하여 확산 및 소멸되는 현상이 간헐적으로 관측되었으나 대규모 오염사고로 이어지지는 않았다. 그러나 상당기간이 경과하였음에도 기름 유출이 지속되는 점으로 미루어보아 침몰선박 내에 상당한 잔존유가 남아있을 것으로 추정되어 정부는 2001년과 2006년, 2차례에 걸쳐 한국해양연구원에 의뢰하여 일시적인 대량 기름유출의 위험도를 평가하기 위한 침몰선박 상태 조사를 시행하였다.

2차례에 걸친 조사결과 침몰선박으로부터 소량의 기름유출 현상을 확인할 수 있었고 침몰선체의 상태는 비교적 안정적이거나 2010년 이후에는 선체 갑판 상부 철판의 부식정도 심화로 인한 추가 손상 또는 손상부위의 확대가 우려되므로 현재 유출되고 있는 기름의 양이 증가할 가능성이 있다는 결론을 내렸다. 침몰선박 내에 남아있는 잔존유량은 손상부위와 관련 정보를 고려할 때 약 300~400kl의 잔존유가 남아있을 것으로 추정하였다.

이러한 조사결과에 따라 침몰선박의 잔존유 회수작업의 필요성은 명백해졌으나 경신호가 침몰한 당시의 사고처리 및 피해보상이 종결되었으므로 작업 예산의 확보문제가 관건으로 대두되어 작업의 시행이 지연되어오던 중 2009년 차년도 예산에 반영되어 2010년~2011년 2개년에 걸쳐 경신호의 잔존유 회수작업을 시행하게 되었다.

잔존유 회수작업은 2010. 5. 27부터 10. 16까지 약 4개월 반 동안의 침몰선박 상태 및 해저환경 정밀조사를 거쳐 2011. 6. 20부터 7. 15까지 시행되었다. 조사작업 중에는 현재 기름이 유출되고 있는 유출구의 밀폐와 현저한 유출 우려가 있는 부위의 유출 예방 조치를 시행하고 잔존유량을 실측하는 작업이 병행되었다. 잔존유 회수작업의 결과로 회수된 기름은 Bunker-C 약 634kl이다.

침몰선박의 현황과 잔존유 회수작업 시행 및 결과는 다음과 같다.

2. 침몰선박 현황

1) 선박 제원

- 선명 : 경신호
- 선종 : 유조선(Product Carrier)
- 톤수 : 999.58G/T
- L x B x D : 68.0m x 11.5m x 5.75m
- 적재화물 : Bunker-C 2,560.88kl
- 소유자 : 경신해운
- 선령 : 침몰당시 18년

2) 사고 발생일 및 장소

- 사고 일자 : 1988년 2월 24일
- 침몰 장소 : 대보등대 동방 약 3.5Mile
(36°05'50"N, 129°37'09"E)

3) 침몰선박 상태

- 수심 : 94~98m
- 저질 : mud
- 자세 : 선수 방위 220°(T), 직립상태, 선수방향 약 8°종경사, 선수일부 해저 함몰
- 추정 잔존유량 : 약 300~400kl

Fig. 8은 경신호의 침몰상태를 3D영상으로 구현한 것이다.



source : KOEM, 2011(a)

Fig. 8 3D image of sunken vessel "Kyungshin"

3. 잔존유 회수작업 시행 및 결과

- 1) 수행 기관 : 해양수산부(주관), 해양환경관리공단
- 2) 수행 업체 : 네덜란드, SMIT社
- 3) 작업 기간 : 2010. 5. 27~10. 16(조사작업), 2011. 6.20~ 7. 15(회수작업)
- 4) 회수유량 : Bunker-C 634kl

4. 경신호 잔존유 회수작업의 특징

1) 수중작업 방법의 선정

본 작업사례에서는 수중작업 방법이 포화잠수 기술을 이용한 다이빙 방법이 채택되었다. 그 배경은 앞서 2001년과 2001년도에 시행된 침몰선박 사전조사 시 ROV를 사용하여 획득한 영상자료가 침전물의 심한 부유현상으로 정보의 판독이 어려울 정도로 선명도가 떨어져 ROV를 이용한 무인 수중작업의 효율성에 문제가 있을 수 있고, 침몰선박의 자세가 직립 상태인 관계로 잔존유 회수를 위한 천공위치가 탱크의 최상부 위치인 상갑판이 되어야 하는데 상갑판의 대부분에 화물유 pipeline이 설치되어 있어 작업 공간이 협소하여 무인 회수장치의 운용에 무리가 있다는 점이 감안되었을 것으로 분석된다.

그리고 최근 Diving Bell과 감압챔버 등을 사용한 심해 잠수기술의 비약적인 발전으로 수중 작업시간의 제약이 극복되어 작업 공기 측면의 문제가 해결된 점도 반영되었을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 경신호 잔존유 회수작업에 사용된 Diving Bell의 진수장면이다.



source : KOEM, 2011(b)

Fig. 9 Launching diving bell for saturation diving

2) 침몰선박 상대 사전조사와 잔존유 회수작업의 분리 시행

본 사례의 경우 침몰선박의 상대 조사와 잔존유 회수작업을 분리하여 시행하였는데 이는 여러 가지 측면에서 상당히 많은 이점이 있었다고 분석된다. 우선 침몰선박의 잔존유가 지속적으로 유출되고 있는 상황에서 유출구 밀폐를 통한 유출 차단으로 위해도를 조기에 감소시키는 효과가 있었고 작업환경의 상세한 조사와 잔존유량 실측을 시행함으로써 확증된 정보를 바탕으로 한 잔존유 회수작업의 충분한 사전 준비와 계획이 가능하였으며 주요 작업위치의 표시 및 장애물 제거 등 잔존유 회수작업을 위한 사전 조치까지 이루어져 불과 1개월 미만의 기간에 잔존유 전량의 회수가 성공적으로 이루어질 수 있었던 것으로 분석된다.

단, 이러한 분리 시행은 동시 시행에 비해 작업 기간 및 비용이 증가한다는 단점이 있으나 장기간 방치되었던 침몰선박의 경우 잔존유가 없을

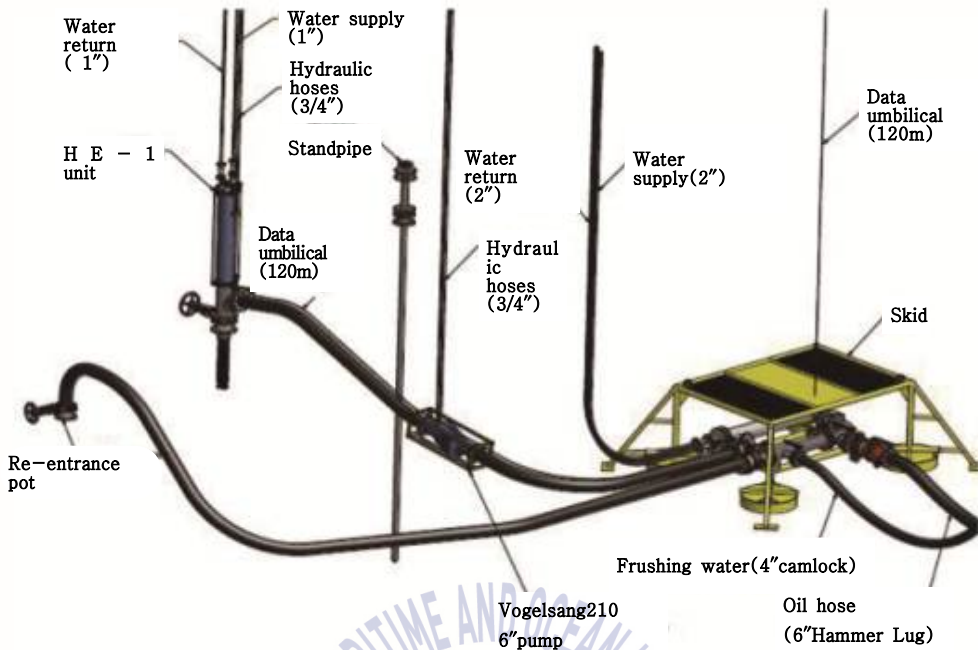
수도 있다는 점을 고려해 볼 때 여건과 예산이 허락한다면, 조사와 회수작업의 분리 시행이 보다 합리적인 방안일 것으로 판단된다.

3) 잔존유 가열방식

본 사례에서 사용된 잔존유 가열방식은 1단계로 잔존유 탱크의 상부에 설치된 코일히터로 가열된 잔존유를 펌핑하여 침물선박 선측 해저에 설치한 2단계 히터로 보내어 재가열하고 고온으로 가열된 잔존유를 다시 잔존유 탱크로 순환시켜 가열하는 2중 가열방식을 적용하였다. 또한 2단계 히터가 내장되어있는 RGB-Skid는 잔존유의 히팅과 가열된 잔존유(또는 세척수)의 흐름을 변환할 수 있는 메니폴드가 장착되어 작업공정에 따라 순환 및 펌핑을 조정할 수 있도록 설계되어 효율적으로 작업을 진행할 수 있도록 하였다. 이런 점은 각 공정 과정 진행을 연속적으로 쉽게 전환할 수 있어 매우 유용하게 사용된 것으로 분석된다.

Fig. 10은 경신호의 잔존유 회수작업에 사용된 2단계 히터인 RGB-Skid의 호스라인 구성도이다.





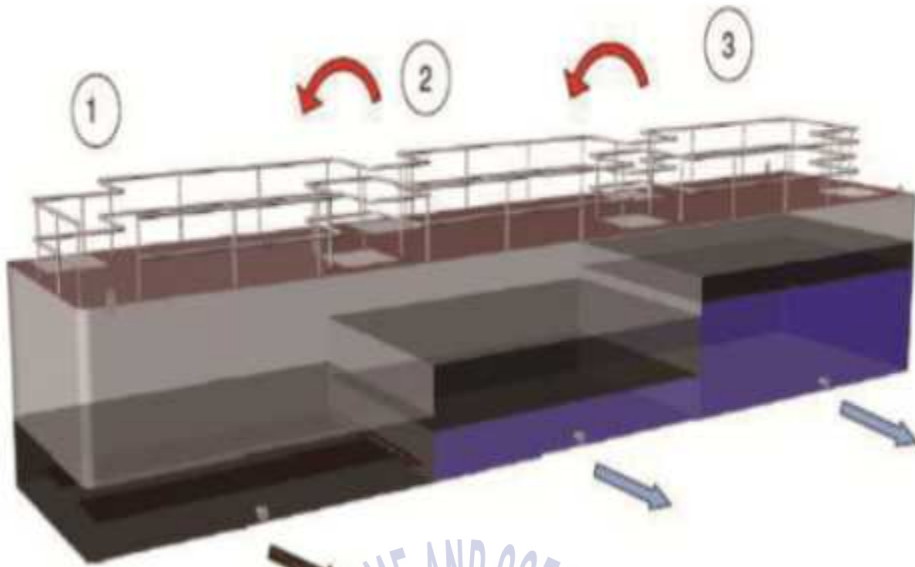
source : KOEM, 2011(c)

Fig. 10 Connection diagram of RGB-Skid during “Kyungshin” project

4) 회수유의 관리

본 사례의 작업과정에서 주목할 점은 회수한 잔존유의 관리를 꼽을 수 있다. 회수되는 잔존유는 처음에는 기름만 회수되다가 어느 정도 펌핑이 진행되면 물이 섞여 올라오게 되는 것이 일반적이고 Settling 과정과 탱크 세척과정에서는 대부분 물이 펌핑되므로 회수된 유성혼합물의 양은 상당히 증가하게 된다. 회수된 유성혼합물은 그 양이 증가할수록 더 많은 저장 공간을 필요로 하고 전량 육상으로 이송하여 처리하여야 하므로 처리비용도 증가한다. 본 작업에서는 회수유를 1차적으로 유수분리탱크에 모아 비중차를 이용하여 기름과 물을 분리시킨다. 물과 분리된 기름은 갑판 상에 설치한 저장탱크로 이송하고 물은 가열장치를 거쳐 잔존유 탱크의 세척수로 사용하여 재순환 시키는 방법을 적용하였다. 이 방법은 회수된 유성혼합물의 양을 줄이는데 매우 효과적으로 사용된 것으로 분석된다.

Fig. 11은 경신호 잔존유 회수작업에 사용된 유수분리 탱크 개념도이다.



source : KOEM, 2011(d)

Fig. 11 Storage tank used in remaining oil recovery work of“Kyungshin”

최종적으로 육상에 이적된 유성혼합물의 총량은 약 868kl로 그 중 기름이 634kl이며 물은 234kl에 불과하였다. 이는 유사한 작업사례인 제1유일호의 결과인 회수총량 2,368kl 중 기름 665kl, 물 1,703kl과 비교해 볼 때 환경보호와 비용절감 면에서 괄목할만한 성과로 판단된다.

5) 작업시행 상 문제점

본 작업사례는 전반적으로 철저한 조사와 계획 하에 원활히 진행되어 우수한 작업사례 중 하나로 손꼽힌다. 그러나 작업과정에서 적용된 잔존유의 실측방법은 외관 천공을 통해 육안으로 직접 확인하는 방법으로 확실하다는 장점은 있으나 천공과 측정을 반복하는 과정이 복잡하고 번거로우며 장시간이 소요되고 작업 중 유출 유발 위험면에서도 불리하며 선체 함몰부위의 측정이 불가하거나 준설을 필요로 하는 등의 단점이 있어 이 점을 보완 및/또는 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

5. 작업과정에 적용된 기술 및 장비

본 작업에 적용된 기술 및 장비를 요약하면 다음과 같다.

1) 해상 작업기지선 : SMIT Borneo(Accommodation Work Barge, 7,323G/T)

Union Boxer(Tug Boat, Bollard Pull 90Ton)

2) 수중작업 방법 : Saturation Diving

3) 잔존유량 측정 방법 : 외관 천공 및 실측

4) 선체 외관 천공 방법 : Adapter + Hot Taping

5) 잔존유 가열 방법 : Subsea Heating System

6) 잔존유 펌핑 : RGB-Skid Control System + Vogelsang i210 Pump

7) 회수유 관리 : 해상작업기지선 내 유수분리탱크 및 저장탱크

3.2.2 국외 사례

국외에서 시행된 대규모 침몰선박의 잔존유 회수작업의 대표적인 사례로는 1999년 프랑스 근해에서 침몰한 유조선 Erica호와 2002년 스페인 근해에서 침몰한 유조선 Prestige호 사례를 들 수 있다. 이 두 유조선 침몰사고는 해상에서 엄청난 기름이 유출되어 해양환경을 오염시키고 침몰한 후 상당한 잔존유가 남아있어 대규모 회수작업이 시행된 사례이다. 특히 Prestige호의 경우는 수심 3,000m 이상의 심해에서 작업이 이루어져 새로운 기술과 장비가 사용된 사례로 볼 수 있다.

3.2.2.1 Erika호 사례

1. 사고 발생 및 회수작업 추진 경과

물타선적 유조선 Erika호는 프랑스 Dunkirk항에서 Heavy Fuel Oil 31,000 ton을 선적하고 이태리의 Livorno항으로 항해하던 중 1999년 12월 11일 Biscay Bay 부근에서 풍력 8~9, 파고 6m의 악천후를 조우하여 선장은 선체 구조상의 문제가 발생하여 선적화물의 탱크 간 이송을 시도 중이나 통제 불가능상태이며 Donges항으로 침로를 변경하여 저속항해하고 있다는 긴급비상전문을 프랑스 당국에 발신하였다. 12일 아침 06:05경 선장은 조난신호를 보내왔고 Erica호는 곧 두 동강으로 부러지기 시작하였다. 악천후 하의 매우 어려운 상황임에도 불구하고 프랑스 당국은 즉각적으로 구조작업에 착수하여 선원들은 프랑스 해군 구조헬기를 이용하여 무사히 구조되었다.

오전 8:15(현지시각) Erika호는 Penmarch'(Southern Brittany) 남방 30마일 공해상에 완전히 두 동강이 나면서 당시 약 7,000~10,000톤의 기름이 해상에 유출되었다. 선수부분은 그날 밤에 사고발생 위치 부근에 침몰되었고 표류 중이던 선미부분은 12일 오후 2:15 프랑스 Belle-Ile섬으로 접근하지 않도록 구난 예인선으로 예인 중 오후 2:50경 침몰하였다. Erika호는 두 동강으로 나누어져 각각 침몰하여 서로 10km정도 떨어져서 120m 수심의 해저로 가라앉았다.

프랑스 세관과 해군의 항공감시 결과 유출된 기름은 약 3,000톤으로 추정되는 15km 길이의 기름띠가 동쪽방향으로 1.2kt로 이동하고 있음을 보고하였고 같은 날 5~8cm 두께의 기름띠 여러 개가 해안과 평행을 이루며 계속 표류 중임을 알려왔다. 그러던 중 사고 11일 후인 23일 프랑스 해안에 첫 유출유 표착이 발견되었고 이후 인근 해안과 섬의 기름표착이 계속하여 보고되었다. 그리고 당시 100km/h의 강풍과 높은 조수위로 해안 절벽의 10m가 넘는 높이까지 기름에 오염된 곳도 있었다. 사고발생 14일 후인 26일에는 더욱 오염범위가 확산되어 두께 5~30cm의 점도가 높은 기름층이 수m의 폭으로 해안을 뒤덮었고 최종적으로 프랑스 대서양연안 약 400km를 오염시켰

다.

침몰선박의 조사는 침몰 직후부터 프랑스 해군의 소해정이 시행하여 두 부분의 침몰위치는 정확히 파악되었다. 아울러 ROV로 선수부분의 영상을 촬영하였으나 낮은 수중 시정과 비교한 ROV의 시야범위에 비교한 침몰선체의 크기에 따른 사유로 침몰선박의 상태파악에 어려움이 있었다.

12월 31일에는 보급선 Abeille-Supporter호가 ROV를 사용하여 침몰선박의 상태조사에 착수하였고 2000년 1월 1~2일 사전조사가 이루어져 해저의 침몰선박의 공식적인 위치가 밝혀졌다. 침몰선박의 정밀조사는 운항자 Total Fina사가 용선한 조사선 Marianos호에 의해 시행되었고, 이로서 침몰선박의 잔존유 회수를 위한 방법을 결정하기 위한 정확한 정보의 수집이 이루어졌다.

침몰선박은 Penmarch' 남방 약 30마일, Belle-Ile 서방 50마일에 위치해 있고 해저는 평활한 빨, 모래지형이고 조류는 0.8kt 미만이다. 수심은 선수부분이 114m, 선미부분은 128m이고 잔존유 회수작업의 중요한 감안요소인 해저 수온은 1월에 9℃로 측정되었고 여름철에도 12℃를 넘지 않는다.

선수부분의 해저 착지자세는 완전히 뒤집어져서 해저 면에 반듯하게 놓여져 있으며 뒷부분의 전단부위를 제외하고는 굴곡이 심하지 않아 전반적으로 양호하였으며,

선미부분은 직립자세이고 주변 해저 면에는 선체가 전단될 때 찢어져 나온 금속 판재와 선박의 잔해물이 흩어져있고, 선체와 갑판 외부는 전부의 파열된 선체부위를 제외하고는 온전한 상태이며 후미갑판은 더 양호한 상태로 해저로부터 30m의 높이에 위치하여 있는 것으로 조사되었다.

Total Fina사는 프랑스 정부의 지휘 하에 Erika호에 간혀있는 화물유 및 연료유에 의한 위험을 감소시키기 결정하였고, 조사결과 안전과 해양환경 보호 측면에서 잔존유의 회수가 최선의 방안으로 제시되었다.

Erika호의 잔존유 회수작업은 2000년 6월 5일부터 9월 5일까지 3개월에 걸쳐 시행되었으며 회수한 기름량은 주 펌핑작업 시 약 10,000ton과 추가로

시행한 세척작업 시 1,200ton으로 총 11,200ton의 Heavy Oil을 회수하였다.

침몰선박의 현황과 잔존유 회수작업 시행 및 결과는 다음과 같다.

2. 침몰선박 현황

1) 선박 제원

- 선명 : M/T Erika
- 선종 : Oil Tanker
- 톤수 : 19,666G/T
- 전장 : 184.0m
- 흘수 : 10.90m
- 적재화물 : Heavy Fuel Oil 31,000 tons
- 소유주 : Tevere Shipping(Malta)
- 용선주 : Total Fina
- 건조일 : 1975년(선령 : 침몰당시 24년)

2) 사고 발생일 및 장소

- 사고 일자 : 1999년 12월 11일
- 침몰 장소 : 프랑스 Penmarch 남방 약 30마일

3) 침몰선박 상태

- 수심 : 선수부 ; 114m, 선미부 ; 128m
- 저질 : muddy sand
- 자세 : 선수부 ; 완전히 뒤집힌 상태, 선미부 ; 직립 자세
- 추정 잔존유량 : 약 11,000tons

3. 잔존유 회수작업 시행 및 결과

1) 수행 기관 : 프랑스 정부

2) 수행 업체 :

- French-Norwegian consortium
- Coflexip / Stena Offshore/ Stolt Offshore

3) 작업 기간 : 2000. 6. 5 ~ 9. 5

4) 회수유량 : Heavy Fuel Oil 약 11,200tons

4. Erika호 잔존유 회수작업의 특징

1) 수중작업 방법의 선정

본 사례에서는 수중작업 방법을 ROV와 다이버를 동시에 사용하는 방법을 채택하였다. 일반적인 정찰과 장비의 설치는 ROV를 사용하여 시행하고 침몰선박의 상태에 따라 ROV의 접근이 어려운 곳은 다이버를 투입하여 진행하는 방식으로 시행하였다.

Fig.12는 Erika호의 잔존유 회수작업을 위하여 동원한 선박 배치도이다.



source : <http://www.cedre.fr/en/spill/erika/pumping.php>

Fig. 12 Position of the ships around "Erika"

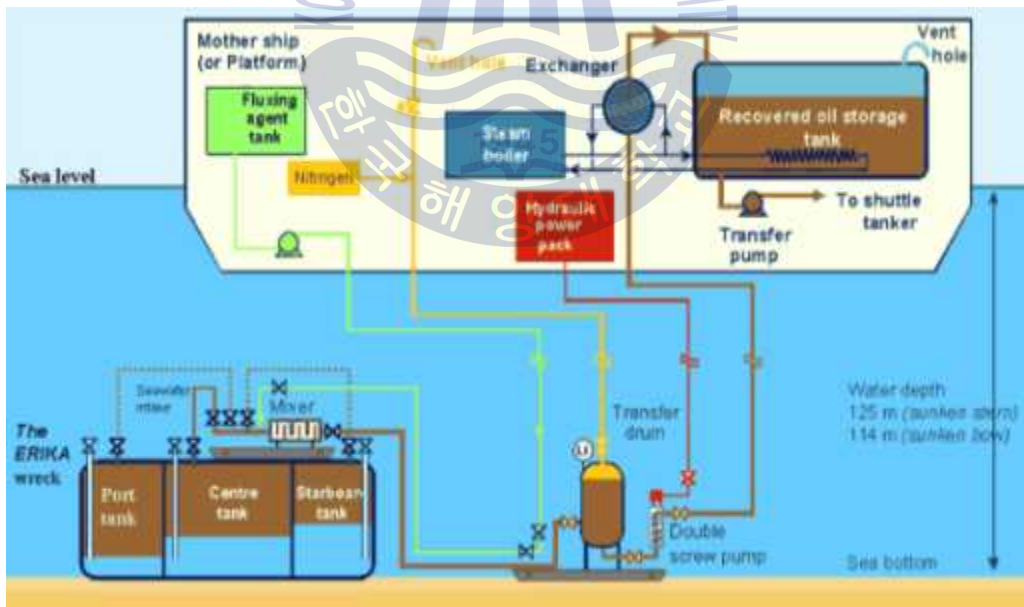
2) 잔존유의 회석 및 중간탱크 이송

잔존유는 침몰선박과 침몰선박 부근 해저에 설치한 중간 수집탱크 간의 유체역학적 압력차를 이용하여 자동적인 흐름에 따라 중간탱크로 이송되고 상대적인 압력저하를 조정하여 이 상태를 유지한다. 이때 기름의 흐름을 원활하게 할 목적으로 환경에 무해한 희석제(methyl ester of rapeseed)를 투입하고 고정 혼합기를 사용하여 섞어 주는데 혼합기는 혼합물이 잔존유 탱크에서 흘러나오자마자 중간 수집탱크에 도달하기 전까지 순간적으로 작동한다. 이러한 방법은 Erika호의 선체가 상당히 노후 되어 약해진 까닭으로 작업 중 세심한 주의를 요하기 때문인 것으로 분석된다.

3) 잔존유 펌핑

일단 중간탱크에 모인 기름과 희석제의 혼합물은 2중 스크류 펌프를 사용하여 해상 작업기지선으로 밀어 올려 연속적인 회수가 이루어진다.

Fig. 13은 Erika호의 잔존유 회수작업 방법을 나타낸 그림이다.



source : <http://www.cedre.fr/en/spill/erika/pumping.php>

Fig. 13 Pumping system principle of remaining oil recovery of "Erika"

4) 희석제를 사용한 잔존유 탱크 세척

유조선의 화물탱크는 구조 상 내부에 거더(girder)가 설치되어 있어 고점도의 잔존유는 쉽게 펌핑되지 않고 남아있게 될 가능성이 있다. 본 사례에서는 이점을 감안하여 탱크 내에 희석제(methyl ester of rapeseed)를 주입하고 희석된 잔존유를 탱크 최상부에 설치한 펌프로 희석제가 펌핑될 때까지 회수한 후 최종적으로 희석제를 펌핑하는 방법을 사용하였다.

5) 작업 시행 상 문제점

침몰선박 Erica호는 침몰당시 선령 24년의 노후 유조선으로 탱크의 강도를 고려하여 충분한 주의를 기울여 탱크의 손상을 방지하는 방법으로 작업을 시행할 필요가 있어 중간탱크를 설치하고 압력차를 이용한 1차 이송 후 해상 작업기지선으로 펌핑하는 2단계의 작업방법을 채택한 것으로 분석된다. 결과적으로 성공적인 작업성과를 거두었으나 압력차를 이용한 이송은 적정압력의 유지가 중요한 관건이며 이러한 사항은 매우 세심한 주의를 요하는 작업이므로 난이도가 높아 위험성도 컸을 것으로 분석된다.

또한 기름의 원활한 흐름과 세밀한 탱크 세척을 위하여 친환경적이라 하지만 또 다른 희석제가 인위적으로 투입된 점은 바람직하다고 볼 수는 없을 것으로 판단된다.

5. 작업과정에 적용된 기술 및 장비

본 작업에 적용된 기술 및 장비를 요약하면 다음과 같다.

1) 해상 작업기지선

- Diving Support : CSO Constructor(DP), Seaway Kestrell(DP)
- Oil Pumping : Crystal Ocean

2) 수중작업 방법 : ROV 및 Saturation Diving

3) 잔존유량 측정 방법 : 실시하지 않음

- 4) 선체 외판 천공 방법 : Hot Taping
- 5) 잔존유 탱크 세척 방법 : 희석제(methyl ester of rapeseed)를 사용한 세척
- 6) 잔존유 펌핑
 - 압력차를 이용하여 중간탱크로 이송 후
 - Double-screw pump를 사용하여 회수
- 7) 회수유 관리
 - Oil Pumping 선박으로 회수 후
 - = Temporary Storage 선박으로 이적

3.2.2.2 Prestige호 사례

1. 사고 발생 및 회수작업 추진 경과

바하마 국적 유조선 Prestige호(42,820 G/T)는 Russia, St. Petersburg항에서 Heavy Fuel Oil 77,000 ton을 싣고 Spain, Gibraltar로 항해하던 중 2002년 11월 13일 Cape Finisterre(Galicia, Spain)로부터 약 27마일 떨어진 해상에서 악천후에 조우하여 우현 발라스트 탱크 외판에 손상을 입고 선체가 25°경사되어 적재된 화물유 일부가 해상에 유출되는 사고가 발생하였다.

침몰의 위협을 감지한 선장은 스페인 항만당국에 구조요청과 함께 선박이 항만에 입항할 수 있도록 허가를 요청하였으나 거절되었고 오히려 스페인의 영해에서 벗어날 것을 명령받았다. 이에 선장은 항로를 북으로 바꾸어 프랑스 쪽으로 접근하려 하였으나 프랑스 항만당국으로부터 거절되었다. 하는 수 없이 선장은 해상이 잔잔한 아프리카 쪽으로 선박을 이동하기로 결정하고 항해를 시작하였으나 이 항로는 포르투갈의 영해를 통과하여야 하는데 이 또한 포르투갈 항만당국으로부터 통항이 거절되고 급기야 포르투갈 해군

의 저지로 선박을 다시 돌릴 수밖에 없게 되었다. 상황이 이렇게 전개되자 선장은 Galicia 당국을 설득하여 Dock로의 입항허가를 기대하고 스페인 영해로 되돌아갔다. 그러나 스페인은 계속하여 입항을 거부하고 Galicia 해안으로부터 떨어질 것을 반복적으로 명령하였다.

이러한 상황이 진행되는 동안 Prestige호의 선체손상은 계속되는 악천후로 심각한 상태로 진전되었고 이 시점에 선장과 일부 사관을 제외한 선원은 구조되었다. 그러나 선장은 엔진을 정지하고 스페인 해안으로부터 멀리 떨어지라는 항만당국의 명령을 거절하였다. 이에 스페인 항만당국은 Prestige호에 승선하여 선장을 구류하고 자체 엔지니어로 하여금 엔진을 가동시켰다. 11월 14일 16시부터 Prestige호는 2척의 예인선에 의해 스페인 해안으로부터 멀리 떨어질 목적으로 예인되었다.

예인 중 시행한 SMIT Salvage사의 구난 시도에도 불구하고 결국 11월 19일 오전 8시경 두 동강으로 부러져 Vigo(Spain) 서방 133마일 해상에서 3,500m이상 수심의 심해에 침몰하였다. Fig. 14는 Prestige호의 침몰장면이다.





source : Photo credit Captain Frank Marmol

Fig. 14 MT“Prestige”broken in two

Prestige호에 선적된 화물유는 침몰시점에 약 15,000~20,000톤이 유출된 것으로 추정되었으나 추후 시행된 조사와 잔존유 회수작업 결과를 감안하면 약 64,000톤이 유출된 것으로 밝혀졌다. 해상에 유출된 기름은 Galicia 해안에 빠른 속도로 표착되기 시작하였고 결국 약 250km의 스페인과 인접 프랑스 해안을 오염시켰다.

침몰된 선수부분의 수심은 3,840m, 선미부분은 3,560m이며 서로 3,000m 떨어져 있고 침몰 이후 하루에 약 130톤의 잔존유가 침몰선박으로부터 유출되고 있었다. 2002년 스페인 정부는 침몰선박으로부터 유출되는 기름의 양을 감소시키기 위한 작업을 시행하였는데 이 작업은 프랑스 IFREMER연구소의 유인잠수정 Nautilus호를 사용하여 2002년 12월부터 2003년 2월 사이에 20차례 이상의 수중작업의 시행으로 하루 유출량을 130톤에서 2.2톤으로 감소시키는데 성공하였다.

Prestige호가 침몰한 직후 스페인 정부는 과학자문위원회를 발족하여 이러

한 문제를 해결하기 위한 조치를 시작하였고 위원회는 2003년 2월 13일 제출한 보고서에서 첫 번째 방안으로 침몰선박의 잔존유 회수작업의 시행을 권고하고 유출유의 밀폐를 두 번째 대안으로 제시하였다. 잔존유량은 당시 약 38,000톤으로 추정하였다. 이에 따라 스페인 정부는 Repsol YPF(스페인 석유회사)에 Shuttle을 이용한 잔존유 회수의 기술개발과 시행방안 수립을 요청하였고 이에 따라 Repsol YPF사는 4월 24일 스페인 정부와 계약을 체결하고 Action Plan을 제출하여 2개월 후 스페인 정부가 승인함에 따라 2003년 7월 4일 Prestige호 침몰 현장에 작업 선박을 투입하여 작업에 착수하였다.

잔존유 회수작업은 2004년 여름까지 시행되어 약 13,000톤의 기름을 회수하였고 최종적으로 침몰선박에 남아있는 잔존유는 1,700톤 정도로 추정되나 더 이상의 잔존유 회수는 필요하지 않을 것으로 판단하여 이 부분은 결국 생물학적 분해방법을 적용하여 처리하였다.

침몰선박의 현황과 잔존유 회수작업 시행 및 결과는 다음과 같다.

2. 침몰선박 현황

1) 선박 제원

- 선명 : M/T Prestige
- 선종 : Oil Tanker
- 톤수 : 42,820 G/T (81,589 DWT)
- 전장 : 243.0m
- 선폭 : 34.4m
- 깊이 : 18.7m
- 흘수 : 14.0m
- 적재화물 : Heavy Fuel Oil 77,000 tons
- 소유주 : Mare Shipping(Liberia)
- 건조일 : 1976년(선령 : 침몰당시 26년)

2) 사고 발생일 및 장소

- 사고 일자 : 2002년 11월 19일

- 침몰 장소 : Vigo(Spain) 서방 133마일

3) 침몰선박 상태

- 수심 : 선수부 ; 3,840m, 선미부 ; 3,560m

- 추정 잔존유량 : 약 38,000tons

3. 잔존유 회수작업 시행 및 결과

1) 수행 기관 : 스페인 정부

2) 수행 업체 : Repsol PYP

3) 작업 기간 : 2003. 7. 4 ~ 2004. summer

4) 회수유량 : Heavy Fuel Oil 약 13,000tons

4. Prestige호 잔존유 회수작업의 특징

1) 수중작업 방법의 선정

본 사례에서는 침몰선박이 위치한 곳이 수심 3,000m 이상의 심해인 관계로 모든 수중작업은 ROV를 사용하는 방법으로 시행되었고 안전상의 이유로 다이버에 의한 방법은 배제되었을 것으로 분석된다.

2) 잔존유량 계측

잔존유량의 계측은 Thermal Neutron Tool을 사용하여 시행되었다. 이 장비는 선체 외판을 관통하여 열중성자를 주사하면 유체를 통해 활동 시 에너지가 감소하고 유체의 성질에 따라 강도가 달라지는 감마 방사선이 방출되는 원리를 이용한다. 이 방법은 기름에서 높게, 물에서는 매우 낮게 나오는 탄소와 산소 비율의 측정이 가능하여 물과 기름의 경계면을 알아낼 수 있다.

30회 이상의 유수 경계면 측정이 9일에 걸쳐 시행되었고 그 결과 선미 부분에는 약 700톤의 잔존유만 남아있는 것으로 판명되어 결국 선수부분에 13,000톤의 잔존유가 있는 것으로 밝혀졌다. 이 유수경계면 측정방법은

이러한 수심의 심해 침몰선박의 탱크에 최초로 적용된 의미 있는 전례로서 유사한 상태의 침몰선박 연구의 한 방향을 제시한 것으로 볼 수 있다.

3) 잔존유 회수방법

본 사례는 3,000m 이상의 심해에서 처음으로 시도하는 잔존유 회수작업이므로 실행계획을 수립한 Repsol사는 심해 수중작업의 경험이 있는 회사와 연구기관과의 협력체계를 구축하고 작업여건에 적합한 새로운 기술 및 장비를 개발하여 적용할 방침을 세우고 세밀한 시행준비를 하였다. 일단 기본적인 회수방법은 기름의 중력차를 이용하여 부상시키는 원리를 적용하여 침몰선박의 상부를 Hot-taping방법으로 천공한 후 2중 밸브를 설치하고 밸브를 개방하여 잔존유가 부상하면 기름을 Shuttle Bag에 모아 해면으로 자연적으로 부상시키고 해상에 부상한 Shuttle Bag을 수거하는 방법을 사용하였다

시행된 구체적인 작업방법은 다음과 같다.

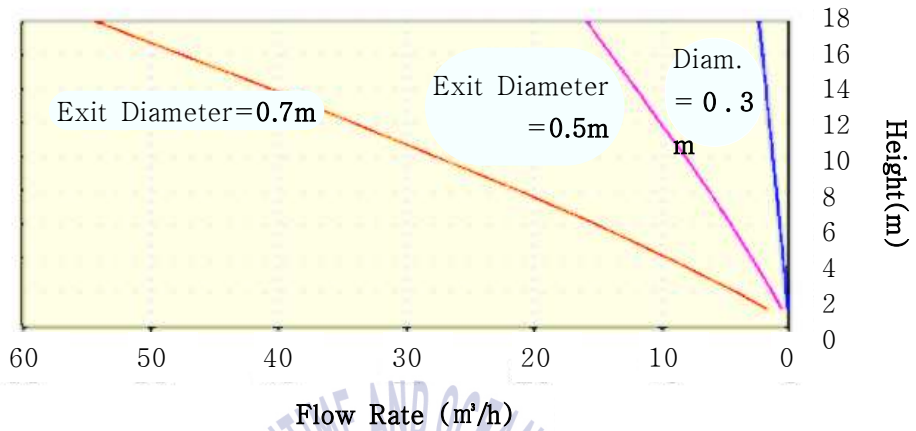
- 유출구 밀폐부위의 점검 및 보강

침몰선박의 잔존유 회수작업에 앞서 11일간에 걸쳐 작업용 ROV로 기시행한 선수부분 11개소와 선미부분 4개소의 유출구 밀폐부위 상태를 점검하고 보강하는 작업을 선행하였다. 그 결과 시행 전 하루 700kg의 유출량을 10kg이하로 줄일 수 있었다.

- 잔존유의 거동 연구

침몰선박이 수심 3,830m의 심해에 위치해 있으므로 393bar의 압력과 2.6℃의 수온에 의해 잔존유의 점도는 엄청나게 증가할 것이다. 따라서 잔존유의 부상속도와 천공가능 최대 직경을 계산하기 위한 잔존유의 점도 추정 실험이 진행되었다. 이와 관련한 실험과 계산 결과 잔존유의 점도는 약 1천8백만 centipoises로 계산 되었고 엄청난 점도에도 불구하고 잔존유의 유체 거동이 유지되고 낮은 속도로 흐를 수 있을 것으로 판단 되었으며 이 자료를 토대로 회수를 위한 천공 시 최대 가능 직경을 계산하였다.

Fig.15는 유출구 크기에 따른 탱크 내 기름의 높이와 유출량의 상관관계를 나타낸 그래프이다.



source : REPSOL YPF, 2003(a)

Fig. 15 Flow rate vs. height of fuel in tank according to exit diameter

– 극심해 천공장비의 개발

이 장비는 Prestige호의 갑판 상부에 고정되어 직경 70cm의 회수구를 뚫고 회수구는 남겨진 2중 밸브에 의해 폐쇄된다. 이 천공장비는 Prestige호의 잔존유 회수작업을 위해 극 심해에서 큰 직경의 천공작업을 안전하게 시행할 수 있도록 세계 최초로 개발되어 사용되었다.

Fig. 16은 특수 설계하여 제작되어 Prestige호 작업에 사용된 천공장비이다.



source : REPSOL YPF, 2003(b)

Fig. 16 Special designed Hot tapping machine for “Prestige”project

- 잔존유 회수용 Shuttle Bag의 사용

침물선박의 회수구를 통해 부상되는 잔존유를 포집하여 해면으로 떠올리는데 사용되는 250m³ 용량의 Flexible Shuttle Bag이 시범 제작되어 테스트 중 잔존유의 주입과 해면 부상에 약간의 문제점이 발견되어 알미늄 재질의 Shuttle Bag으로 대체하여 작업에 사용되었다.

Fig. 17은 Prestige호 작업에 사용된 Shuttle Bag의 모습이다.



source : <https://www.youtube.com/user/MarisEnvironmental>

Fig. 17 Shuttle bag used in remaining oil recovery work of“Prestige”

- 해면 부상 Shuttle Bag의 회수

잔존유로 채워진 Shuttle Bag이 해면으로 부상하면 해상에 대기 중인 Dock Barge에 의해 수거되고 육상으로 이동하여 처리한다.

5) 작업 시행 상 문제점

수심이 거의 4,000m에 달하는 심해에서의 잔존유 회수작업은 많은 작업 여건 상의 제약으로 시행이 매우 어려울 수밖에 없을 것이다. 따라서 펌핑 방법의 적용이 적절하지 않다는 판단 하에 중력을 이용한 회수방법이 채택됨에 따라 마지막 단계인 탱크의 세척작업을 시행하기가 여의치 않았을 것이며 그 결과로 약 1,700톤의 잔존유가 남게 된 것으로 분석된다.

그러나 최종적으로 남은 잔존유를 생물학적 분해방법을 적용하여 처리

한 점은 다시 생각해 보아야 할 문제이다. 현재 다양한 생물학적 분해방법이 개발되어 있으나 실제 기름오염 현장에 적용되지 못하는 주원인은 이러한 생물학적 분해방법 적용할 경우 분해과정에서 특정 미생물의 급격한 증식 등으로 인하여 해양환경에 미치는 또 다른 영향이 검증되지 않았기 때문이다. 이러한 면에서 잔존유의 처리를 생물학적 분해에 의존한 시도는 재고의 여지가 있을 것으로 판단된다.

5. 작업과정에 적용된 기술 및 장비

본 작업사례에 적용된 기술 및 장비를 요약하면 다음과 같다.

1) 해상 작업기지선

- ROV Operation Support : “Polar Prince”
- Shuttle Bag recovery : “Enterprise”(Dock Barge)

2) 수중작업 방법 : ROV

3) 잔존유량 측정 방법 : Thermal Neutron Tool

4) 선체 외판 천공 방법 : Hot Taping

5) 잔존유 탱크 세척 방법 : Bio-remediation

6) 잔존유 펌핑 :

- 중력을 이용하여 Shuttle Bag에 포집 후
- Shuttle Bag을 해면에 자연 부상시켜 회수

7) 회수유 관리 :

- 해면 부상 Shuttle Bag을 Dock Barge 선박으로 수거 육상 이송 처리

3.2.3 사례별 특징 및 적용기술

앞에서 살펴본 사례들은 우리나라와 외국에서 비교적 최근에 시행한 대규모 침몰선박 잔존유 회수작업들이다. 잔존유 회수작업에 사용되는 기술과 장비는 침몰선박의 상태, 해저환경 등에 따른 작업여건 및 사안의 긴급성에 따라 선정되는 것이 일반적이며 때로는 소요비용이 감안되기도 한다.

여기에서는 침몰선박의 상태와 작업여건에 따른 시행방법의 선정을 중심으로 각 사례별로 적용된 기술과 장비 등을 비교·검토하여 선정 시 고려사항과 사유를 분석하고자 한다.

3.2.3.1 수중작업 방법

각 사례별 수중 작업방법과 선정 시 고려사항 및 선정사유를 비교하여 검토해 보면 수심, 접근 용이성과 작업의 안전도, 연속성, 수중시정, 침전물의 부유 특성, 기타 작업여건에 따라 적절히 선정하게 되고 경우에 따라서는 2가지 이상의 방법을 병행하여 채택하고 있음을 알 수 있다.

Table 11은 수중작업방법 비교표이다.

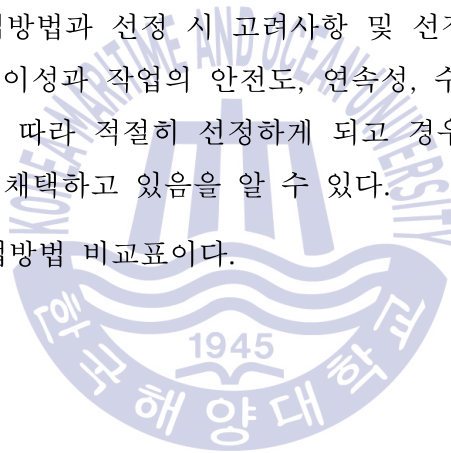


Table 11 Comparison of underwater working method

Considerations & Working method		No.1 Yuil	Kyungshin	Erika	Prestige	
I N F O R M A T I O N	WORN-OUT	Sinking period	3Y	23Y	6M	9M
		Age at accident	14Y	18Y	24Y	26Y
	ACCESSIBILITY	Obstacles	-	Fishing net etc.	-	-
		Upper-deck space	Not necessary to approach	Not enough space by cargo pipes	Enough working space	Enough working space
		Burying	Under seabed 4m	F'cle partly broken & buried	-	-
	CONDITION AT SEABED	Depth	78m	94~98m	Fore 114m Aft 128m	Fore 3,840m Aft 3,560m
		Seabed	mud	mud	muddy sand	clay, sand, rock
		Landing Pose on seabed	Port side 84°	Up right, 8° by the head	Fore 180° downside up Aft up right	Up right
	APPLYING METHOD	Technic	Remote controlled operation	Saturation diving	Remote controlled + Saturation diving	Remote controlled operation
Equipment		ROV	Diving Bell/ Decompression Chamber	ROV + Diving Bell/ Decompression Chamber	ROV	
Reason of selection		Easily approaching & continued working time	Considered installing space of extraction valve and method of measurement of remaining oil	Sat. diving was done at difficult place for approaching as hull broken face	Securing safety at working condition of very deep sea (over 3,500m)	

3.2.3.2 잔존유량 측정방법

각 사례별 잔존유량 측정방법을 비교해 보면 잔존유량 측정 작업도 수중작업의 일부이기 때문에 특별한 이유가 없는 한 수중작업 방법에 연관하여 선정됨을 알 수 있다. 다만, 작업 시행의 시급성과 전체적인 작업계획에 따라 이 과정이 생략되기도 하고 선체구조와 손상 및 시행 상 문제점과 용이성이 고려될 수도 있을 것이다.

Table 12는 사례별 잔존유량 측정방법 비교표이다.

Table 12 Comparison of remaining oil quantity measurement method

Considerations & working method		No.1 Yuil	Kyungshin	Erika	Prestige
I N F O R M A T I O N	Under water working method	ROV	Saturation Diving	ROV+ Sat. Diving	ROV
	Recovering urgency	Limited working period	Normal	Urgent	Urgent
	Measuring range	8 Cargo Tk F.O/L.O Tk	8 Cargo Tk F.O/L.O Tk	NO DATA	NO DATA
A P P L Y I N G M E T H O D	Technic	Not implement	Drilling & measuring by diver	Not implement	Neutron BackScattering (NBS)
	Equipment	-	Drilling Machine	-	Thermal Neutron Tool
	Reason of selection	All oil Tanks were pumping out without pre-measurement under limited working conditions	According to working method in underwater (Sat. diving)	Do not implement due to urgent situation	Securing safety at working condition of very deep sea (over 3,500m)

3.2.3.3 선체 천공방법

침몰선박의 잔존유 회수는 해난으로 인한 선체의 손상, 변형 및 해저 착지 자세에 따라 침몰선박에 장착된 설치를 이용한 회수가 불가능한 경우가 대부분이므로 수밀구조의 선체로부터 잔존유를 회수하기 위해서는 천공을 하여 회수구를 확보하여야한다. 따라서 각 사례에서는 모두 Hot tapping 방식의 천공 방법을 선정하여 시행하였고 천공작업과 함께 회수구의 개폐가 가능한 밸브가 장착된 어댑터나 Base Plate를 동시에 부착할 수 있는 특수 장비를 사용하였다. 천공의 크기는 사용하는 펌프와 호스 및 유출 정도에 따라 적절히 시공된 것을 알 수 있다. Table 13은 사례별 천공작업 기술 및 방법 비교표이다.

Table 13 Comparison of extraction hole tapping method and technic

Considerations & working method		No.1 Yuil	Kyungshin	Erika	Prestige
I N F O R M A T I O N	Under water working method	ROV	Saturation Diving	ROV+ Sat. Diving	ROV
	Hole position	Stb'd shell plate & bottom	Upper Deck	Upper Deck & Bottom	Upper Deck
	Open & shut device	Base Plate	Adapt installed valve	Connector installed valve	Connector installed valve
A P P L Y I N G M E T H O D	Technic	Hot-tapping			
	Equipment	ROV + ROLS	Tapping machine by diver	Tapping machine by ROV	Tapping machine by ROV
	Reason of selection	According to working method in underwater			
	Characteristic	Auto-closing valve installed on base plate when ROV retraction	Valves controled by diver		Applied natural oil floating method (Hole dia.=70cm)

3.2.3.4 잔존유 가열 및 탱크 세척

잔존유의 가열의 목적은 잔존유 온도를 상승시켜 점도를 낮추어 회수가 원활하게 될 수 있도록 하는 작업이다. 따라서 스팀이나 전기히터 등 외부에서 에너지를 공급하여 가열하는 방법이 일반적이거나 경우에 따라 점도를 낮추는 다른 방법이 사용되기도 하는데 Erika호의 사례에서는 희석제 혼합방법이 선정되었다. 잔존유 회수 후 탱크의 세척작업은 탱크 내부에 달라붙어 있는 잔존유를 추가로 회수하는 과정으로 잔존유 가열과 동일한 방법으로 시행하는 것이 일반적이다. Table 14는 잔존유 가열 및 탱크 세척방법 비교표이다.

Table 14 Comparison between heating and washing method

Considerations & working method		No.1 Yuil	Kyungshin	Erika	Prestige	
T I N F O R M A	Kind of oil	Bunker-C		Heavy Fuel Oil		
	Seawater temperature	12~14°C	4~5°C	NO DATA	2.6°C	
	Depth	78m	94~98m	Fore 114m Aft 128m	Fore 3,840m Aft 3,560m	
A P P L Y I N G M E T H O D	Heating	Tech.	Heating inside of recovery hose	Circulation of remaining oil	Apply viscosity degradation method	Not implement
		Equip.	Steam Boiler	Electric or steam heater		
	Tank washing	Tech.	Injection hot water	Hot water circulation	Injection diluent (methyl ester of rapeseed) and mixing with oil	Bio-remediation
		Equip.	Steam Boiler	Steam Boiler		
	Reason of selection	Heating recovery hose only under condition of warm sea water	Efficient up & preventing loss of heat with circulating	Secure safety due to worn-out hull condition	Hard to supply heating energy under very deep sea working condition & natural floating recovery method	
Characteristic	-	Installed heating & circulating device near sunken vessel on the seabed	Used diluent for viscosity degradation	Used bio-remediation without tank washing		

3.2.3.5 잔존유 회수(Extraction)

잔존유 회수작업은 본 작업의 주 과정으로 다양한 준비과정을 거쳐 최종적으로 잔존유를 뽑아 올리게 된다. 일반적으로는 회수구에 펌프를 설치하고 회수용 호스를 연결하고 회수구 밸브를 개방한 후 펌프를 가동시켜 해상으로 밀어 올리게 되는데 Prestige호 사례처럼 매우 수심이 깊은 심해에서는 호스 연결과 펌프의 토출능력 문제로 상당한 애로가 있어 기름의 중력을 이용한 회수방법이 선정되기도 한다.

Table 15는 사례별 회수(extraction)방법 비교표이다.

Table 15 Comparison of remaining oil extraction method

Considerations & working method		No.1 Yuil	Kyungshin	Erika	Prestige
I N F O R M A T I O N	Depth	78m	94~98m	Fore 114m Aft 128m	Fore 3,840m Aft 3,560m
	Recovery method	Pumping			Natural oil floating
	Stand pipe	Installed		Not installed	Installed
A P P L Y I N G M E T H O D	Technic	Pumping		Hydrostatic pressures difference	Extraction by Gravity
	Equipment	ROLS with Framo pump	Vogelsang i210	Double screw pump from Spare tank	Shuttle Bag
	Reason of selection	Using ROLS	Common method	Superannuated hull condition	Very deep sea work

3.3 침몰선박 잔존유 회수 시스템 최적화의 필요성

앞에서 살펴본 잔존유 회수작업의 사례에서 알 수 있듯이 침몰선박의 잔존유는 그 양상이 사고의 원인과 경위에 따라 매우 다양하고 시간이 경과하여도 자연적으로 감소하거나 소멸되지 않고 그대로 남아있게 되어 언젠가는 유출되어 해양환경에 위해를 끼칠 가능성을 항상 내포하고 있다.

따라서 이러한 침몰선박 잔존유의 위해성을 관리·통제하고 근원적으로 제거하기 위한 노력이 필요하고 이를 위한 구체적인 계획을 수립하여 시행함으로써 해양환경의 보호가 효과적으로 이루어질 수 있을 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위해서는 평소 사고의 예방활동이 선행되어야 하겠으나 일단 사고가 발생되었을 경우 상황을 정확히 파악하고 적합한 대응을 위한 의사결정이 이루어져야 할 것이며 결정된 방침에 따라 합리적이고 과학적인 계획을 수립하여 시행되어야 할 것이다.

제2장에서 조사한 바와 같이 우리나라 연안에는 2015년 현재 2,153척의 크고 작은 침몰선박이 산재해 있고 이 침몰선박의 잔존유 역시 해양환경에 끼칠 수 있는 위험이 상존하고 있다. 그리고 해상을 통한 기름의 운송이 지속되는 한 또 다른 대형 오염사고의 발생과 이로 인한 침몰선박의 잔존유 문제가 부각될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 2007년 채택되어 2015년 발효된 나이로비협약에 따라 향후 발생하는 난파물의 제거는 선주의 책임으로 시행될 가능성이 높아졌지만 제거를 요구할 경우 제거의 시행 과정을 주목할 필요가 있고 또한 Erika호 및 Prestige호 사례에서 볼 수 있듯이 인접 공해상 또는 영해에서 초대형 사고가 발생하면 관련 국가가 어쩔 수 없이 개입하여야 하는 경우가 발생할 수 있으므로 여기에 대응할 수 있는 방안의 필요성은 자명하다.

따라서 현존하는 침몰선박 잔존유의 위험성을 관리·통제하고 향후 발생할 수 있는 상황에 신속하고 합리적으로 대응할 수 있는 제도적 장치가 마련되어야 하며 잔존유 회수 의사결정이 이루어진 후 회수작업의 효율적인 시행을 위한 계획수립과 실행을 위한 시스템을 사전에 구축하여야 한다.

그러나 잔존유 회수는 침몰선박의 상태 및 주변 해양환경에 따른 작업여건과

상황이 매우 다양한 형태로 나타나므로 일반적으로 구축된 시스템을 각 케이스에 적용이 가능하도록 최적화할 필요가 있다. 이러한 잔존유 회수 시스템의 최적화를 위해서는 다양한 회수환경을 감안하여 작업여건에 적합한 작업방법과 기술 및 장비를 선정하고 작업의 각 단계별 실행계획을 수립하여 효율적으로 시행할 수 있도록 과학적이고 합리적인 최적화 방안의 연구를 통하여 개발할 필요가 있을 것으로 판단된다.



제4장 침몰선박 잔존유 회수 시스템 최적화

해양에서 해난사고가 발생하여 선박이 침몰하게 되면 초기 사고 진행과정에서 해상에 기름이 유출되고 침몰한 후에도 선박의 내부에 갇혀 남게 되는 잔존유는 상황에 따라 다시 유출되어 해양환경을 오염시킬 수 있는 위해성을 가지게 된다. 이러한 위험은 언제 현실적으로 나타날지 모르므로 생태계의 시한폭탄(Ecological time bomb)으로 불린다. 실제로 세계 2차 대전 때 침몰한 선박으로부터 잔존유가 유출되어 회수작업이 시행된 경우도 적지 않다.

Table 16은 세계 2차 대전 시 침몰한 선박에서 잔존유가 유출되어 회수작업이 시행된 사례이다.

Table 16 Cases of remaining oil recovery from sunk vessel at the World War II

Ship's name		USS Mississinewa	SS Jacob Luckenbach	S/S Princess Kathleen	Brigadier General M.G. Zalanski
Sinking	Date	Nov. 20 1944	July 14 1953	Sep. 7 1952	Sep. 26 1946
	Place	Uliti Atoll, Micronesia	San Francisco, USA	Point Lena, Alaska, USA	North Coast British Colombia
Oil spill reported	Date	Aug. 2001	Nov. 2001	Feb. 2010	Sep. 2003
	Spill detection	Found out by sport diver	Oiled birds discovered	Oil sheen observed	USCG report
Remaining oil recovery	Period	Jan.~Mar. 2003	May~Oct. 2003	June 2010	Nov.~Dec. 2013
	Quantity	NSFO 1.8 million gallons	The available oil	FO 130,000gallons	Bunker-C 11,623gallons

이러한 침몰선박이 시간이 경과하거나 상황이 바뀔에 따라 잔존유가 유출되거나 유출 위해도가 증가하면 대책을 수립하여 시행하여야 하고, 만약에 침몰선박을 인양하기로 결정되었다면 인양 전에 잔존유를 제거할 필요가 있다.

이러한 경우에 필요한 침몰선박의 관리 및 위해도 평가를 통한 잔존유 회수 의사결정의 절차와 단계별 고려사항에 대하여는 제2장에서 검토한 바 있다.

일단 잔존유를 제거하여 회수하기로 결정되면 회수작업의 구체적인 실행계획 수립과 시행을 위한 회수 시스템을 적용하여야 하므로, 일반적으로 적용하는 시스템에 관한 연구와 실제 시행된 국내외 대규모 잔존유 회수 작업사례 조사 분석 결과를 토대로 잔존유 회수 시스템의 최적화 필요성을 제3장에서 다루었다.

이 장에서는 잔존유 회수작업의 실행을 위한 계획 수립과 시행에 필요한 잔존유 회수 시스템을 다양한 작업환경에 적용이 가능도록 최적화된 시스템을 개발하여 제시하고 그 실효성을 평가하고자 한다.

4.1 개발 방향 및 설계 방안

4.1.1 개발 방향

침몰선박의 잔존유 회수는 2차적인 기름유출로 인한 해양오염의 위해요소를 선제적으로 제거하여 해양환경을 보호하려는 목적으로 시행한다. 따라서 작업 시행 중 잔존유 유출의 위험을 최소화하고 가능한 한 많은 잔존유를 제거하여 회수할 수 있도록 과학적이고 합리적으로 개발된 회수 시스템을 필요로 한다.

따라서 잔존유 회수 시스템은 최선의 실행계획을 수립하고 시행 중 작업을 관리하는데 실효적이며 다양한 작업환경에서 활용이 가능하도록 개발되어야 하므로 다음과 같이 개발 방향을 설정하였다.

- 1) 기본방침 및 작업 실행계획 수립에 유용한 도구로서 활용할 수 있을 것
- 2) 작업 시행 상 준비 및 관리를 위한 전반적인 기능이 포함될 것
- 3) 다양한 작업환경에서 적용이 가능하도록 할 것

4) 개발된 시스템의 실효성을 평가하여 신뢰성을 확보할 것

4.1.2 설계 방안

잔존유 회수 시스템은 실행계획 수립과 시행 및 관리 과정에서 실제로 활용될 수 있고 사전에 검토 및 고려하여야 할 사항이 빠짐없이 반영되어 시행착오와 안전사고를 미연에 방지하고 정확한 의사결정을 하는데 유용하게 활용될 수 있도록 설계되어야 한다.

따라서 성공적인 잔존유 회수 작업에 실효성 있고 유용한 회수 시스템을 개발하기 위해 다음과 같은 사항을 주안점으로 설계에 반영하였다.

- 1) 작업의 시행 순서에 따라 단계별로 설계하여 전반적인 흐름을 이해하고 필요한 사전 준비에 차질이 없도록 한다
- 2) 각 단계별 세부 시행과정의 준비 및 검토사항을 세밀히 파악하여 반영
- 3) 작업방법 및 기술, 장비의 선정에 감안할 요소와 특성을 상세히 기술
- 4) 사례연구 결과를 분석하여 시행착오와 문제점 보완사항을 반영
- 5) 수립된 계획의 적정 시행 시기에 관한 사항을 명시
- 6) 작업 현장의 관리체계, 운영조직 및 안전관리에 관한 사항 반영
- 7) 시스템 구성 요소 간 연관성을 강조
- 8) 작업 종료 후 사후관리의 중요성을 감안하여 시행 단계에 포함
- 9) 기타 작업 중 비상상황 대응계획 등 필요사항 포함

이러한 주안점을 중점적으로 감안하여 최적화된 잔존유 회수 시스템을 설계하였다. Fig. 18은 시스템의 설계 방안을 그림으로 나타낸 것이다.

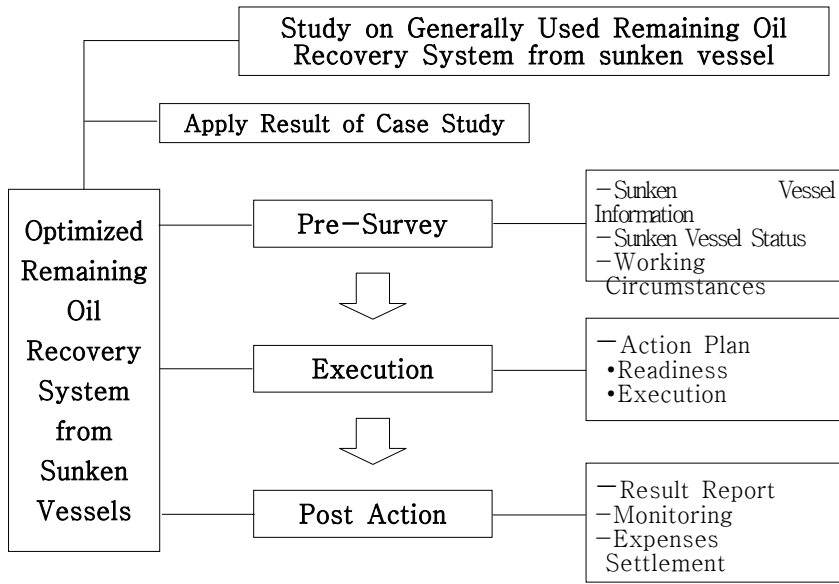


Fig. 18 Designing plan of optimized remaining oil recovery system

4.1.3 시스템의 구성

시스템은 기본적으로 잔존유 회수작업의 진행에 따른 3단계로 설계하고 단계별 각 과정의 세부사항으로 나누어 구성하였다.

4.1.3.1 제1단계(잔존유 회수작업 환경조사)

침몰선박에서 현재 진행되고 있거나 유출될 우려가 있는 잔존유의 상태를 파악하고 침몰선박의 상태를 비롯한 제반 해저 작업여건과 관련한 정보를 수집하는 과정으로, 이러한 과정에서 획득한 자료를 바탕으로 회수작업을 시행하는 범위와 방법 등에 관한 기본 방침을 결정한다.

따라서 침몰선박 상태의 조사와 유출 및 밀폐 상태의 확인 및 잔존유량의 측정을 시행하고, 수심측정, 해저 지질학적 조사, 기상 및 해양 물리학적 조사를 통하여 작업을 시행하는데 필요한 자료의 수집과 분석에 따른 작업방법의 선정에 관한 사항 및 다음단계인 실행계획 수립에 필요한 사항으로 구성하였다.

4.1.3.2 제2단계(작업 실행계획 수립)

잔존유 회수작업을 실제로 시행하기 위한 구체적인 방법과 일정을 포함한 실행계획을 수립하고 실행한다.

이 계획은 준비와 시행의 2부분으로 나누어 구성하고 그 중 하나인 준비과정에 필요한 사항으로 선체의 천공 및 펌핑, 원활한 회수를 위한 잔존유의 가열 등 점도를 낮추는 방법, 펌핑 후 탱크의 세척, 회수유의 보관 및 처리 등 작업 여건을 고려한 최적의 기술 및 장비의 선정과 적용 예정인 각 작업방법의 실효성 및 안전성의 검증, 선정된 작업방법이 작업 중 예기치 못한 난관에 봉착하여 작업이 불가능한 사태발생 경우의 대안 마련 등의 사항으로 구성하였다.

다음으로 시행과정에서는 준비과정에서 검토하여 결정한 사항을 토대로 작업 시행자와 계약을 체결 후 현장 작업 운영지침과 동원된 자원의 관리 및 작업진행에 필요한 보급과 지원계획 수립, 작업 중 발생할 수 있는 돌발적인 상황을 대비한 비상대응계획 수립 등 작업에 착수하여 진행하는데 필요한 제반 사항으로 구성하였다.

그리고 작업의 실행을 원활하게 진행하기 위한 관계기관의 협력체계 구축 및 기술, 법률 자문기구의 활용에 관한 사항도 함께 구성하였다.

4.1.3.3 제3단계(사후조치)

작업이 종료된 후 현장조직을 철수하고 작업결과를 평가하여 보고서를 작성·보고하며 작업 현장을 일정기간 모니터링하고 작업 중 발생한 각종 비용을 정산하는 등 사후조치를 위하여 시행하여야 할 사항으로 구성하였다.

Fig.19는 시스템의 전체적인 구성을 나타낸 것이다.

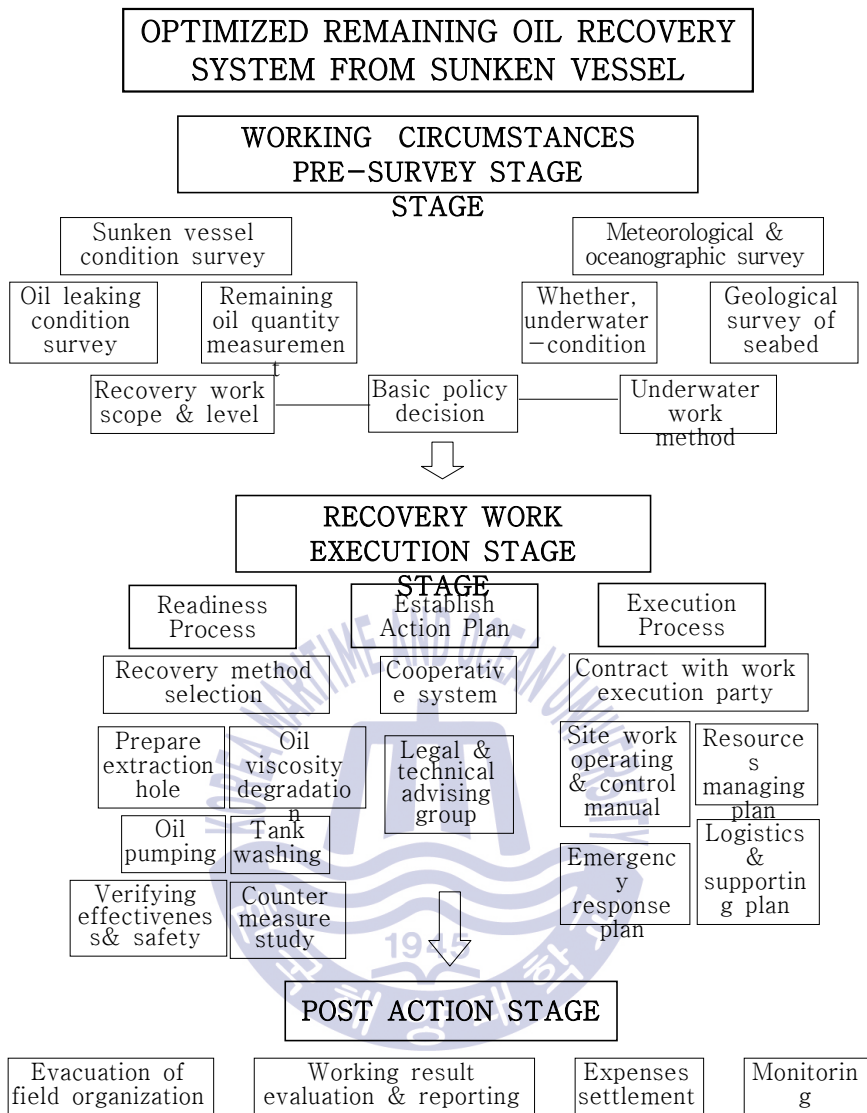


Fig. 19 Block Diagram of optimized remaining oil recovery system from sunken vessels

4.2 최적화 잔존유 회수 시스템의 설계

4.2.1 회수작업 환경조사 단계

4.2.1.1 수중작업 방법의 선정 과정

회수작업과 관련하여 잔존유의 현황 및 작업여건 등의 조사를 시행할 경우에는 침몰선박의 위치, 특히 수심과 조류 및 해류 등에 따라 효과적인 조사방법을 선택할 필요가 있는데 일반적으로 다이버에 의한 방법과 ROV를 이용한 원격 조사방법이 있다. 이 2가지 방법은 어떤 방법이 더 우수하다기 보다는 수중 작업여건에 따라 더 적합한 방법이 선택되어야 할 것이며, 때로는 둘 중 어떤 방법을 선택하여 시행하더라도 주 작업 중 일부 작업의 보조 수단으로 두 방법을 함께 사용하는 것도 고려하여야 한다. Table 17은 수중작업 방법 비교표이다.

Table 17 Comparison of under water working method

Function	Commercial Diving			ROV	
	Bounce	Saturation	ADS	Observation	Work-class
Depth	60m	300m	610m	1,000m	2,000~3,500m
Working hour	50min.	Max Record 43days	6hrs	No Limit	
Characteristic	Simple equipment & less manpower	Long term working is possible but need many supporting equipment	Relatively long term working is possible but need special equipment	Light weight & simple operation	Straightforward action & relatively stable position keeping is possible at sight
Strength	Immediate reaction is possible against emergency situation & can manipulated operation			It have advantage of long term working at deep sea & excellent in securing safety	
	Fig. 20	Fig. 21	Fig. 22	Fig. 23	Fig. 24



source : www.commercialdivinginstitute.com

Fig. 20 Bounce diving



source : www.professionaldivingacademy.com

Fig. 21 Saturation diving



source : Wikipedia, ADS

Fig. 22 Atmospheric Diving Suit



source : www.oceaneering.com

Fig. 23 Observation ROV



source : www.oceaneering.com

Fig. 24 Work-class ROV

4.2.1.2 잔존유 현황 조사 과정

잔존유가 유출되고 있거나 유출될 경우 해양환경에 위해를 끼칠 가능성과 영향의 정도를 감안하여 위해도를 평가하고 그 결과에 따라 작업시행의 시급성과 규모를 판단하는 기준이 된다. 따라서 침몰선박의 잔존유의 유출현황과 종류 및 잔존유량 추정 등은 잔존유의 실재적 또는 잠재적 위해도 평가를 위한 구체적인 자료로 활용되므로 가능한 한 정밀한 조사가 이루어져야 한다.

1. 잔존유 유출 현황 및 유출구 밀폐 상태 조사

침몰 후 지속적인 기름의 유출이 있다면 유출구의 위치와 기름이 유출되는 양상 및 단위시간당 유출량을 측정하고 유출구의 밀폐방법을 강구하여야 한다. 유출구의 밀폐작업이 시행되었다면, 그 상태를 조사하여 추가적인 밀폐작업 시행의 필요성과 상태를 안정적으로 유지하기 위한 보완방법을 검토하여야 한다. 이러한 조사결과는 필요시 상황 변화의 비교가 가능하고 잔존유 회수작업 시행 시 참고자료로 활용할 수 있도록 상세한 기록으로 남겨두어야 한다.

2. 잔존유의 유종 및 특성 파악

침몰선박의 화물유 선적 및 출항 보고서 등을 참조하여 잔존유에 관한 정보를 입수하고 가급적이면 잔존유 현황조사 시 샘플을 채취하고 분석하여 유종과 특성을 파악한다. 특히 잔존유의 비중과 동점도 및 유동점은 잔존유 회수작업 시행 시 가열, 펌핑, 세척에 직접적인 연관이 있으므로 정확한 정보를 입수하도록 하여야 한다.

3. 잔존유량 추정 및 실측

침몰선박의 잔존유량 추정 및 분포상태는 회수작업을 시행함에 있어 회수 방법의 선정과 범위, 시행시기 등을 결정하는데 기본이 되는 가장 중요한 정보가 되므로 상황이 허락하는 한 정밀하고 충분한 조사가 이루어져야 한다.

잔존유량의 추정은 침몰선박이 사고 직전 최종 출항지의 화물유와 연료유의 탑재량을 기준으로 사고 발생시점까지의 소모량을 감안한 상태에서 사고 당시 해상오염사고의 방제상황 자료를 통한 해상 유출량과 침몰선박의 유출 현황 조사에 따른 침몰 후 유출구 밀폐 전까지의 유출량을 고려하여 추정하는 것이 일반적이나 이것을 정확히 계산하기는 거의 불가능에 가깝기 때문에 침몰상태에서의 잔존유량 실제 측정을 필요로 한다. 침몰선박의 잔존유량을 추정할 경우 추정 잔존유량은 다음과 같은 공식으로 계산할 수 있다.

$$RO_q = OO_q - CO_q - SO_q - (SR \times 24 \times D)$$

단,

RO_q : Remain Oil Quantity , OO_q : Onboard Oil , CO_q : Oil Consumption

SO_q : Spilled Oil at Sea , SR : Ave. Spill Rate(kl/hr) , D : Duration(day)

1) 천공 측정법

침몰선박의 잔존유량 측정방법은 선체 천공을 통한 측정방법과 열 중성자를 이용한 비파괴 측정방법이 있다.

선체 천공을 통한 방법은 잔존유가 남아있을 것으로 추정되는 선체구조의 최 상부에 드릴로 천공을 하여 기름이 들어 있는지를 확인한 다음 하방으로 일정 간격을 두고 순차적으로 드릴 천공하고 기름이 관측되지 않는 천공 위치에 “ㄱ”자 형태의 Testing Stick을 삽입한 다음 회전시켜 측정 천공 위치 상부의 기름 층까지의 거리를 계측한 다음 최상부 위치에서 측정 천공 위치까지의 거리에 계측 거리를 감해주면 최상부 위치에서 유수 경계층까지의 거리를 측정할 수 있다. 기름 측정용 드릴 구멍은 기름 확인 후 Drill-thread-bolt로 밀봉한다. 이 방법은 다이버에 의해 비교적 간단하게 천공 및 기름유무 확인이 가능하고 유수 경계면 계측이 이루어지므로 가장 신뢰도가 높고 정확한 방법이기도 하나, 드릴 천공을 유수 경계면 측정 가능위치까지 연속적으로 반복하여야 하므로 번거롭고 시간이 많이 걸리며 유수 경계면이 선체의 해저함몰 위치에 있거나 장애물로 인하여 측정이 불가능한 경우에는 적용을 할 수 없다는 단점이 있다.

Fig.25는 선체 천공을 통한 잔존유 계측작업 모습이다.



source : KOEM, 2011(e)

Fig. 25 Method of drilling hole & sounding with testing-stick

2) 시료채취 분석 방법

또 다른 유수 경계면 측정방법에는 Oil sampling tool을 이용하여 압력 측정 및 샘플을 채취하여 유수경계면을 계측한 후, 선체 도면을 이용하여 잔존유량을 계산한다. 각 탱크는 2군데를 천공하는데, 우선 가능한 한 탱크의 최하부와 최상부의 위치를 선정한다. 그 이유는 하부는 물 부분에, 상부는 기름부분에 위치하기 위해서이다. 다음은 압력계로 탱크내의 압력과 탱크외부 수중압력과의 압력차(ΔP)를 측정한다. 계측한 압력차(ΔP)와 샘플링한 기름의 비중을 분석하면 탱크 내 잔존유와 물의 용적을 구할 수 있는데, 우선 다음과 같은 등식으로 탱크내의 유수경계면을 계산한다.

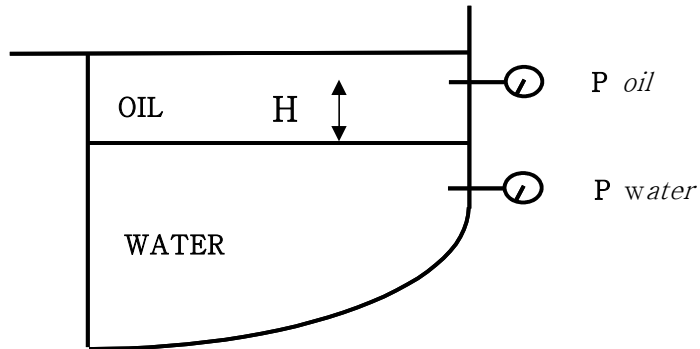
$$H = \frac{P_{water} - P_{oil}}{SG_{water} - SG_{oil}}$$

단, H = 유수경계면에서 탱크상부까지의 높이

P_{water} = 주변의 수중압력, P_{oil} = 탱크내부의 압력

SG_{water} = 물의 비중, SG_{oil} = 기름의 비중

Fig. 26은 유수경계면 측정방법을 나타내었다.



source : Frank Mohn Flatoy AS, OST, 2003(a)

Fig. 26 Calculation method of oil-water interface in remaining oil tank of sunken vessel by sampling

이 방법은 잔존유의 샘플을 채취하여 분석하므로 잔존유의 특성을 동시에 파악할 수 있고, 적은 수의 천공으로 잔존유량 측정이 가능하여 편리하고 유용하나 Oil Sampling Tool이라는 특수한 장비를 사용하여야 하고, 천공위치가 정확하지 않으면 오차가 발생할 수 있다는 단점도 있다.

Fig. 27은 Framo사의 Oil sampling tool의 모습이다.



source : Frank Mohn Flatoy AS, OST, 2003(b)

Fig. 27 Oil sampling tool

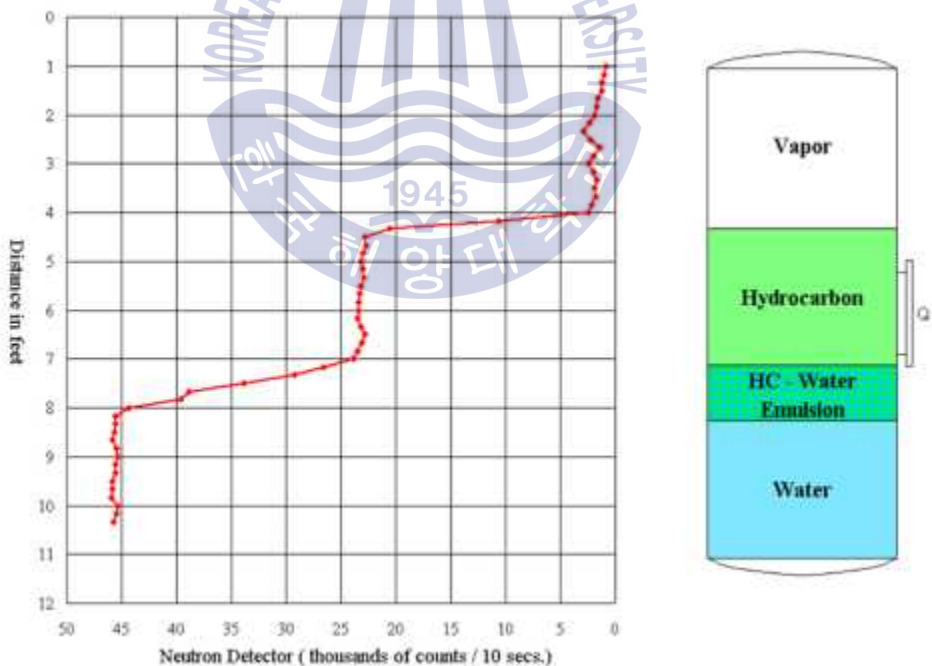
3) 비파괴 측정법

그 외에 비파괴 측정 방식으로 중성자 후방산란 (NBC : Neutron Backscattering) 기술을 이용하여 유수 경계면의 위치를 측정하는 방법이 있다.

이 방법의 원리는 선체외관을 투과하여 고속의 중성자를 주사하면 이들 중성자는 내부 물질의 핵들과 충돌하게 되고 이러한 많은 충돌에 따라 일부 중성자는 탐지기로 반향 되는데, 충돌 시 대부분의 에너지를 소모하여 속도가 느려진 중성자들이 탐지된다. 충돌과정에서 가벼운 원자와 충돌하면 무거운 원자와 충돌한 경우보다 더 많은 에너지가 소모되고 계기의 반응이 내부 물질의 가벼운 원자의 밀도에 더 민감한 원리를 이용한 기술로 유수 경계면을 측정한다.

이 방법은 선체의 천공 없이 유수 경계면 측정이 가능하므로 간편하나 장비가 매우 고가이고 특수한 장비라는 단점이 있다.

Fig. 28은 Neutron Backscatter를 이용하여 유수 경계면을 측정한 결과를 나타낸 것이다.



source : www.towerscan.com

Fig. 28 Neutron Backscatter - Multiphase interface level measurement

이러한 여러 방법에 의하여 유수경계면의 위치가 계측되면 탱크 구조 및 선체 경사도를 감안한 3D Modeling을 구현한 후 탱크의 용량을 고려하여 잔존유량을 산출하게 된다. 비파괴 측정방법은 특수한 장비의 동원이 필요하여 비용이 고가이고 측정된 잔존유량을 직접 확인하는 것이 곤란하다는 점 때문에 일반적인 경우에는 많이 사용되지 않고, 수중 작업의 시행을 다이버를 이용하는 방법으로 선정하였을 경우에는 소형 천공장비 외에는 특수한 장비를 필요로 하지 않으므로 드릴을 이용한 천공작업을 통하여 다이버가 직접 유수경계면을 계측하는 것이 정확하고 간편한 방법이라 할 수 있다. 그러나 여러 번의 천공작업을 반복적으로 시공하여야 하며 선체 구조나 해저 함몰 등의 사유로 계측을 위한 천공이 어려울 수도 있다.

Table 18은 잔존유 탱크 내 유수경계면 계측방법 비교이다.

Table 18 Comparison of oil-water interface measurement

Method	Through the Hole Making		Nondestructive Measurement
	Drilling	Oil Sampling	
Equipment	Drill & Testing-Stick	Oil Sampling Tool	Neutron Backscattering Gauge
Characteristic	Checking & measuring the remaining quantity by small drilling hole	Oil & seawater sampling by remote operated equipment (OST) - Pressure & density	Nondestructive measurement system
Strength	Simple & most precise measurement	sampling of only 2points(Low & upper)	Can apply to very deep sea or in case of difficult drilling
weakness	Need many repeated drilling & can't apply at approaching prohibited places	To make error easily due to not accurate drilling position & can't apply at approaching prohibited places	Need very expensive & special equipment

4) 통수관을 이용한 잔존유 유수경계면 측정법(Measuring method for oil-water interface in the remaining oil tank of sunken vessel used by standpipe)

위에서 살펴본 바와 같이 잔존유의 유수 경계면 측정방법은 각각의 특징이 있어 침몰선박 주변의 작업 환경에 따라 적절한 방법을 채택하여 시행하여야 한다. 그러나 복합적인 장애요소가 있는 경우에는 한가지 방법만으로는 계측이 불가능할 수도 있을 것이다. 따라서 어느 환경에서도 적용이 가능하고 측정이 간편하면서도 공기에 지장을 초래하지 않는 계측방법에 대해 연구할 필요를 느껴 저자는 다음과 같은 새로운 방법을 고안하였다.

우선 새로운 방법은 기존 방법의 단점을 보완할 수 있고 적용 시 실질적인 목표달성과 효율적인 면에서 우수하여야 하므로 연구 방향을 아래와 같이 설정하였다.

- (1) 특수한 장비를 필요로 하지 않을 것
- (2) 운용이 간편하고 수중에서 조작성이 가능할 것
- (3) 침몰선박의 다양한 상태에서 적용이 가능할 것
- (4) 작업진행에 추가적인 공기가 소요되지 않을 것

이러한 점을 고려하면 잔존유 회수작업 중 필수적으로 시행하는 작업과정과 연계하여 잔존유 유수 경계면 계측이 이루어질 수 있다면 상당히 효율적일 것이라는 점에 착안하여 잔존유 탱크 내의 압력 변동을 방지할 목적으로 각 탱크별로 설치하는 통수관(Standpipe)을 이용한 계측방법을 고안하고 “통수관을 이용한 유수 경계면 측정법”(Measuring method for oil-water interface in the remaining oil tank of sunken vessel used by standpipe)로 명명하였다.

잔존유 회수작업 과정에서 잔존유를 펌핑하면 밀폐구조의 탱크 내부의 감압으로 펌핑에 지장이 있을뿐더러 압력차에 의한 선체 손상이 우려되고, 또한 잔존유의 점도를 저하시키기 위한 가열이나 탱크 세척 시에는 반대로 탱크 내 온도 상승 또는 온수의 주입에 따라 압력이 증가하므로 이러한 탱크 내부 압력차를 해소하기 위하여 주변 해수가 탱크 내부로 자유롭게 들어가고 나올 수 있도록 통수관을 설치하게 된다. 통수관을 설치할 때는 통수관이 잔존유층을 통과하게 되므로 통수관 내부에 잔존유의 진입을 방지하기 위하여 끝단을 가벼운 캡(Cap)으로 막고 설치 후 압축공기를 불

어넣어 캡을 제거하여 해수가 유통되도록 한다.

이러한 통수관은 잔존유를 회수하는 각 탱크마다 설치되어야 하므로 잔존유 회수를 위한 흡입구 설치 이전에 유수 경계면 측정관을 삽입할 수 있도록 설계된 특수 통수관을 먼저 탱크 최하부 위치까지 내려서 설치하고, 통수관 내부에 독립적인 구조로 부착되어 있는 측정관로에 눈금이 표시된 측정관을 통수관의 끝단까지 내린 후 측정관내부로 압축공기를 주입한 후 측정관 상부의 관측용기를 통하여 해상으로 연결되어 있는 호스의 밸브를 개방하면 대기압과 잔존유 탱크의 압력차에 의해 측정관으로 탱크 내부 유체가 흡입되기 시작하고 관측용기를 통하여 기름이 흡입되는지를 확인할 수 있다. 기름이 흡입되지 않으면 일정간격으로 측정관을 뽑아 올린 상태에서 압축공기의 주입과 밸브 조작을 반복하여 기름의 흡입이 관측용기에서 확인되면 그때의 관측관 길이를 계측하면 잔존유 유수경계면의 위치를 측정할 수 있다.

이 방법은 잔존유 회수작업 과정에서 필히 설치하여야 할 통수관을 미리 설치한 후 이것을 이용하므로 별도의 추가 작업을 필요로 하지 않고, 통수관에 부착되어있는 측정관로에 측정관을 삽입하는 간단한 조작으로 각 탱크의 유수경계면 측정이 가능하므로 공정을 단축시키는 효과도 기대할 수 있다.

아울러 펌핑 진행 중 또는 펌핑 완료 후 탱크 내 잔존유량 재측정 및 잔존유 유무를 확인할 경우에도 언제든지 측정관만 다시 삽입하면 계측이 가능하므로 매우 편리하게 활용될 수 있을 것이다.

Fig 29는 측정관 장치 및 측정관로 부착 통수관의 구조도이고, Fig. 30은 측정장치 사용 개념도이다.

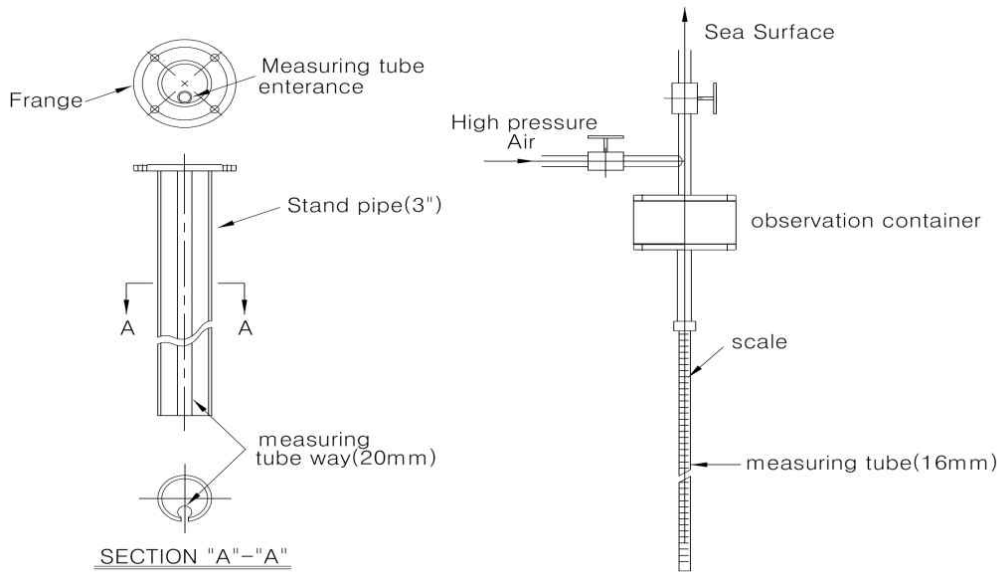


Fig. 29 Construction profile of measuring tool & standpipe attached measuring tube way

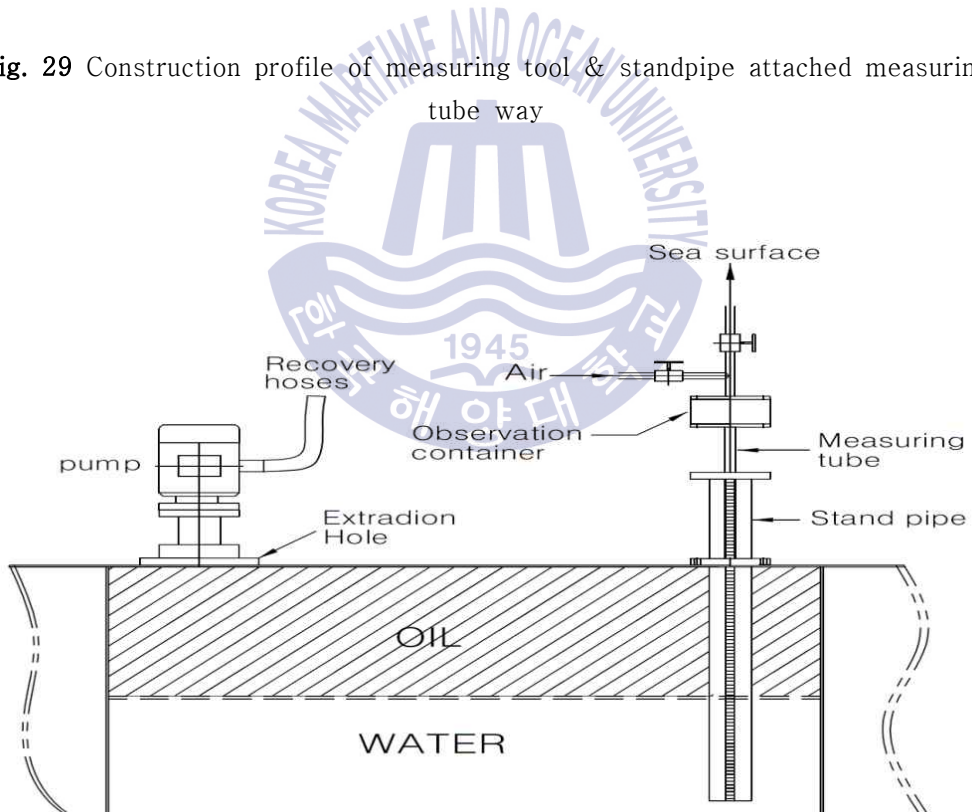


Fig. 30 Conceptual diagram of using measuring tool

4.2.1.3 회수작업 여건 조사 과정

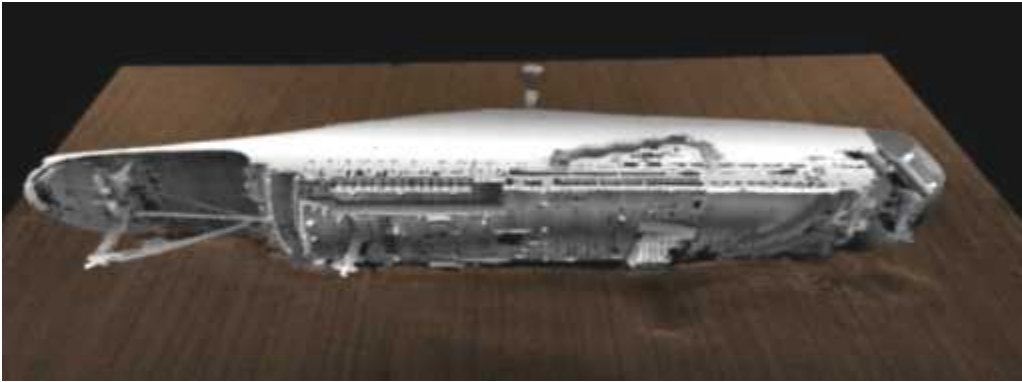
작업시행에 관련된 제반 여건의 조사는 작업의 난이도와 작업 중 직면할 수 있는 예상 문제점을 검토하고 효율적인 작업방법의 선정과 범위를 결정하여 작업시행의 기본 방침을 수립할 수 있는 유용한 정보로 활용된다.

회수작업의 여건 조사는 다음의 사항이 조사되어야 할 것이나 상황에 따라 필요할 경우 추가되어야 한다.

1. 침몰선박의 상태 조사

침몰선박의 손상부위, 정도 및 형태, 선체의 강도, 해저 착지자세 및 함몰 정도 등 침몰선박의 전반적인 상태 조사는 향후 잔존유의 추가적인 유출 가능성을 판단하고 시행할 회수작업의 방법과 범위 및 적정 시행시기를 결정하는데 필요한 자료를 획득하는 과정이다. 이 자료들은 작업의 기본적인 방침의 결정은 물론이고 구체적인 시행방법에 까지 영향을 끼치게 되고, 무엇보다도 시행 중 발생할지도 모르는 시행착오를 방지하고 대안을 강구하는데도 필요하므로 매우 중요하게 다루어져야 한다.

이 조사과정은 무인 원격조정 ROV나 다이버에 의한 수중작업 방법을 사용하여 선체의 외관 및 손상부위를 정밀조사하고 때로는 해상에서 다중빔 음향측심기를 이용한 선체탐사를 시행하여 선체영상정보를 수집하고 컴퓨터 프로그램을 이용하여 분석·처리 후, 침몰선박의 관련 도면을 참고한 형상화와 보정을 거쳐 3차원 선체영상 이미지를 구현한다. Fig. 31은 3차원 선체정밀영상 이미지의 예이다.



source : KIOST, 2015(a)

Fig. 31 3D Image of sunken vessel

이러한 조사의 결과로 획득한 정보를 바탕으로 선체의 손상 정도와 해저 착지 자세 및 함몰 정도 등 침몰선박의 전반적인 상태를 파악하여 작업 시행과 관련한 방침과 실행계획을 수립하고, 실측한 잔존유량과 침몰선박의 자세를 감안한 잔존유 분포상태 및 최상부 작업위치 확보 가능성, 장애물 등을 검토하여 구체적인 작업 방법과 기술, 장비 등을 선정하는데 참고한다.

2. 침몰선박 주변 작업구역의 해저 지형 및 지질 조사

침몰선박이 위치한 해저의 지형과 지질 조사는 선체가 안정적인 상태인지, 침몰선박의 접근에 장애가 되는 지형은 없는지와 작업 중 필요할 수도 있는 준설 등 작업 시 참고자료로 활용된다.

Table 19는 침몰선박 주변 해저 조사에 사용하는 장비 목록이다.

Table 19 Using equipments for surveying seabed surrounding sunken vessel

Suver Item	Equipment
Position at surface of the sea	GPS system
Geographical features of seabed	Multi-Beam Echo Sounder
Acoustic image explore on seabed	Side Scan Sonar system
Sedimentary layer explore	Sub-Bottom Profiler
Surface deposit	Grab
Core sediment	Piston Corer

* source : KIOST, 2015

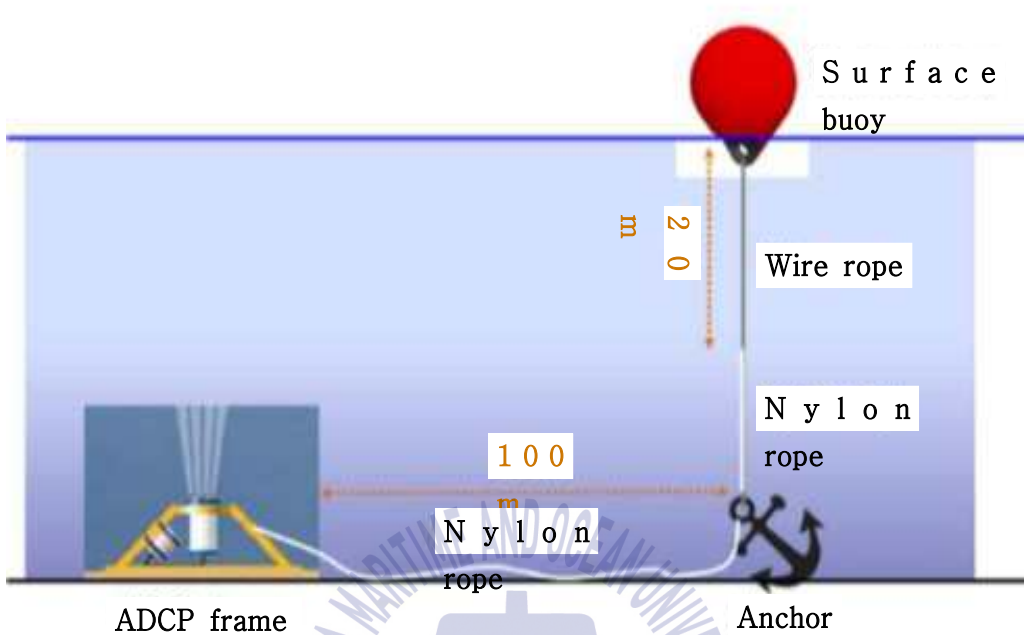
3. 해상 및 수중 작업환경 조사

수중에서의 작업과 관련이 있는 수심, 온도, 시정 및 수층 유속을 조사하여 작업 시행에 참고자료로 활용한다. 여기에는 해상의 기상과 조류, 파랑 등 해상 작업지원 환경의 조사도 포함된다. 일단 관측 자료를 입수하여 분석하고 필요시에는 해역의 특성 파악을 위한 실측 조사를 시행한다.

대개 해상의 기상과 관련한 강수, 풍향, 풍속, 파랑 등은 기상청 또는 해양조사원의 수년 또는 수십년 간의 관측 자료를 사용하여 분석하며 이것은 작업 시행 적정 시기와 기간을 판단하는데 유용하다.

수중 환경조사는 조사사항별 목적에 적합한 다양한 측정 장비를 사용하여 시행하며, 특히 조류가 상당히 강한 수역의 수층 별 유속에 관한 자료는 조석표와 해류도 만 으로는 판단하기가 쉽지 않으므로 실측에 의한 자료가 필요한데 음파의 도플러 효과를 이용한 다층음향도플러 유속계(ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler)를 사용하면 다양한 수층의 최강 및 평균 유속을 정밀하게 측정할 수 있고, 동시에 수심과 수온의 측정이 가능하여 매우 유용하다.

Fig. 32는 ADCP의 해저 배치도이다.



source : KIOST, 2015(b)

Fig. 32 Arrangement of ADCP on seabed

4.2.2 회수작업 실행 단계

4.2.2.1 회수작업 실행계획 수립 과정

회수작업의 준비 및 시행은 회수작업 환경조사 단계에서 획득한 제반 정보와 자료를 기반으로 충분한 검토를 거쳐 사전에 실행계획을 수립하고 그 계획에 따라 시행하여야 한다. 작업은 일반적으로 적정한 시행시기와 기간이 한정되는 경우가 대부분이므로 시행 중 긴급히 발생하는 상황에 의해 변경되는 경우를 제외하고는 실행계획의 일정에 따라 진행되어야 한다.

전반적으로 추진할 실행계획은 준비와 시행과정으로 구분하여 수립하고, 두 과정은 서로 긴밀히 연관되어 있으며, 각 세부사항의 순서에 따라 적정 시행시

기와 조건이 충족되는지를 감안하는 등 면밀한 검토를 통하여 계획을 수립하고 작업 진행에 따라 수시로 점검하고 필요시 보완하여 전반적인 진행에 차질이 없도록 한다.

1. 회수작업 준비에 관한 계획

회수작업 시행 중 필요한 제반사항을 검토하여 작업방법 선정에 필요한 검증, 안전 관리, 비상대응계획과 기타 작업 지원 사항에 대한 계획을 수립한다.

2. 회수작업 시행에 관한 계획

회수작업 방법을 최종적으로 선정하고 계약 체결을 위한 진행계획을 수립한다. 아울러 현장운용 지침과 관리 및 행정절차 등에 관한 계획수립을 검토하고 원활한 진행에 필요한 관계기관 협조체계 구축과 자문기구 구성 계획을 수립한다.

3. 전체 작업진행 일정표 작성

회수작업의 실행계획은 각 사항의 연관성과 적정 시행 시기를 감안하여 전반적인 진행에 차질이 없도록 로드맵을 작성하여 수시로 진행사항을 확인하고 필요시 적절히 수정·보완한다.

4.2.2.2 회수작업 준비 과정

회수작업의 본격적인 착수에 앞서 시행하여야 할 다양한 준비사항이 있다. 이러한 사항은 적절한 시기에 맞추어 시행되지 않으면 회수작업 전반에 영향을 끼치며 시기가 지나면 시행이 불가하여 준비가 미흡한 상태로 작업을 진행할 수밖에 없는 상황을 초래할 수 있으므로 실행계획 수립 시 충분히 감안하고 일정에 따라 시행하여야 한다. 그리고 준비과정에서는 작업 시행과정의 진행과 유기적인 관계가 있으므로 수시로 작업의 진행 상황을 파악하여 적절히 조정하는 것이 필요하다.

1. 작업방법의 검토

작업시행과 관련하여 고려하고 있는 작업 방법과 기술 및 장비에 대하여 작업환경 조사결과를 토대로 실효성과 안전측면을 검토하고 필요시 검증을 위한 시험, 현장조사, 기술용역 등을 시행한다.

2. 안전관리 및 비상대응계획

또한 안전한 작업을 위한 현장 안전관리 계획을 수립하고 작업 중 발생할 수 있는 유출 기름의 방제, 악천후 시의 피항, 작업자의 의료 및 구호, 화재, 작업구역 주변 항행선박 및 어로행위 통제 등 긴급 상황 발생에 신속히 대처할 수 있는 각 사항별 대응계획과 시나리오에 의한 훈련계획을 수립한다.

3. 작업현장 운영계획

회수작업 주관기관과 시행처의 작업 실행조직을 편성하고 실행계획에 따른 업무를 분장하여 시행할 세부 운영계획을 수립한다.

세부 운영계획의 내용은 설정된 기본방침에 입각하여 원활한 작업현장 관리를 위한 현장근무요령, 보고, 회의, 일지, 통신, 기록물 등의 시행과 관리에 관한 지침을 제정과 작업현장에 필요한 인력, 선박, 장·설비, 작업자 및 관계자 승·하선, 보급 등 지원체계를 구축을 위한 계획을 포함하여 수립한다.

4. 기술 연구 및 법률 검토

작업 시행 중 직면할 수 있는 당면과제 해결방안 및 대안 모색에 필요한 기술 연구를 시행한다.

아울러 작업 시행 및 계약에 관련한 법률 검토를 시행한다. 특히 작업과 관련하여 많은 법적 규제에 따른 인·허가절차 및 사전 조치가 필요하므로 세심한 부분까지 검토가 이루어져야 하며, 사전 검토가 소홀하여 누락될 경우 작업진행에 막대한 지장을 초래할 수 있으므로 주의해야 한다.

또한 작업 수행업체와의 계약은 기본방침의 이행을 전제로 하여야 하고

작업의 범위, 계약의 이행, 책임 소재, 작업대금의 지급 등 중요한 기본적인 사항은 물론이고 용어의 해석, 보험, 작업방법의 변경 등 작업 중이나 종료 후 분쟁의 소지가 없도록 체결하여야 하므로 세밀한 검토가 필요하다. 특히 외국업체와 계약을 할 경우에는 법률체계가 다를 수 있고 국제적인 상 관례가 국내법과는 상이한 점이 많아 사전에 충분히 검토하여야 한다.

4.2.2.3 회수작업 시행 과정

회수작업 방법이 최종적으로 결정되면 작업수행업체와 계약을 체결하고 작업에 착수하게 되는데 이때에는 작업현장과 시행처와 주관기관은 많은 인력과 장비가 동원되어 다양한 임무를 수행하므로 전체적으로 조화를 이루어 운영될 수 있도록 필요한 조치를 하여야 한다. 아울러 작업시행 현장의 관리·운영과 지원을 원활히 이루어지도록 미리 수립된 계획에 따라 시행하여야 한다. 다만 작업이 진행됨에 따라 여러 가지 변수가 생길 수 있으므로 계획에 반영되지 않은 사항은 가능한 한 기본방침과 전체 작업 실행계획의 범주 내에서 유연하게 대처하여야 할 것이다.

1. 세부과정별 실행방법의 선정

각 업체별로 제안한 회수방법은 사전 기술 검토를 거쳐, 앞서 시행한 작업 환경조사의 결과를 감안할 때 사업의 목적을 달성하는데 가장 적합하다고 판단되는 회수방법으로 선정될 것이다. 회수작업의 각 세부과정에서 적용할 기술과 장비 중 일부가 실효성이 떨어지거나 작업공기와 소요비용의 불리, 안전측면의 위험성 등으로 변경 또는 보완이 필요한 경우에는 계약 이전에 기술협상을 통하여 조정한다.

1) 수중작업 방법

작업 시행 시의 수중작업 방법의 선정은 작업환경 조사 결과에 직접적으로 영향을 받게 된다. 그러나 앞서 제4.2.1절 회수작업 환경조사 단계의 수중 작업방법의 선정에서 살펴본 바와 같이 수중 작업에 사용되는 방법은 각각의 장단점이 있어 여기에서 말하는 방법은 주로 사용하는 방법이

라는 것이고 모든 수중작업을 선정할 방법 한가지만으로 할 수 없는 경우도 있으므로 세부적인 작업과정에 따라 최적의 방법을 적용할 수 있는 여지를 남겨두어야 한다. 그러나 작업진행 중 갑작스런 방법의 변경은 비용은 물론이고 변경된 작업을 위한 장비 및 인원의 수배에 많은 시간이 소요되므로 합의가 쉽지 않아 실행하기가 어렵게 된다. 따라서 이 점은 반드시 계약사항에 포함되어야 분쟁의 소지가 없을 것이며, 계약 당사자 간 이견이 있을 경우에는 세부작업 과정별 수중작업 방법을 명시하고 작업이 불가능할 경우에 변경 또는 보완될 수 있도록 하는 것이 합리적일 것이다. 아울러 각 방법의 단점을 최대한 보완할 수 있는 추가적인 장비의 증설과 운영체계를 제안하여 예상되는 문제점에 대비할 수 있도록 조치할 필요가 있다.

2) 잔존유 회수구 확보 방법

잔존유를 펌핑하여 회수하기 위해서는 잔존유를 뽑아 올릴 수 있는 회수구를 확보하여야 하는데 여기에는 크게 2가지 방법으로 나누어 볼 수 있다.

우선 첫 번째는 화물유 Pipeline, 환기구(Ventilator), 측심관(Sounding pipe) 등 탱크와 연결되어있는 선체 구조물을 회수구로 이용하는 방법이다. 이 방법은 추가적인 장치의 설치작업이 필요 없어 간단하고 편리하나, 침몰사고 시 손상과 노후정도에 따라 작업 시행 상 위험이 따르고 설사 안전한 작업에 지장이 없는 상태일지라도 밸브 폐쇄 또는 침몰선박의 해저 착지자세에 따른 경사에 의한 잔존유 분포 형태에 따라 회수구로 사용할 수 없는 경우가 많다. 또한 회수용 호스 연결 시 구조물의 일부를 절단하거나 분리하여야 하므로 공정상 일시적인 기름의 유출을 방지하기가 어렵다는 문제점이 있다.

두 번째는 선체구조물의 이용이 위험하거나 불가능할 경우 잔존유가 남아있는 탱크의 최 상부 위치를 천공하여 회수구를 확보하는 방법이다. 이 방법은 침몰선박의 경사에 의한 잔존유 분포형태에 따라 잔존유 탱크의 최상부위치와 가장 근접한 장소를 천공하고 회수구를 설치하여 작업하므로 선체의 경사상태와 관계없이 잔존유를 최대한 회수할 수 있다는 장점

이 있다. 그러나 최상부위치가 선체 구조나 장애물로 인해 작업이 용이하지 않은 경우도 있을 수 있기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안을 강구할 필요가 있다. 예를 들면 천공위치의 외판이 손상에 의한 심한 굴곡이 있는 경우 또는 선체 외·내부 구조상 천공이 불가할 경우에는 근접한 설치 가능 위치를 선택하여 천공하고 회수구로 공기를 주입하여 회수구 상부의 기름을 회수구까지 밀어 내리는 Air Cushion 방법을 사용하거나 회수구 내부로 상부 기름에 도달할 수 있는 구조의 보조 파이프를 삽입하여 회수하는 방법 등 회수구 상부에 남아있는 잔존유를 추가로 회수하는 방법을 강구하여야 한다. 특히 이중저나 이중선체 구조로 인하여 외판의 천공만으로 잔존유의 접근이 불가능할 경우에는 외판 내부에 존재하는 잔존유 탱크의 격벽을 추가로 천공할 수 있는 특수장비의 사용을 고려하여야 한다.

2가지 방법 중 대체로 많이 사용되는 방법은 두 번째인 천공을 통한 회수구 확보방법이며 이 경우의 천공작업은 일반적으로 Hot Tapping 기술이 사용된다. Hot Tapping 기술은 파이프를 통한 액체나 가스의 공급의 중단 없이 증설 또는 수리가 가능하도록 개발된 기술로 잔존유 회수구 확보 시 기름의 유출을 방지하는데 적합한 기술이다. 따라서 거의 모든 회수구 천공작업에는 이 기술이 사용되고 있으며, 예전에는 천공 Adapter를 선체에 직접 용접한 후 천공기를 사용하여 천공하였으나 근래에는 Drill-Tap-Bolt의 기능을 복합적으로 가진 특수 Bolt를 사용하여 Adapter를 외판에 부착하는 기술이 개발되어 매우 편리하게 사용되고 있다.

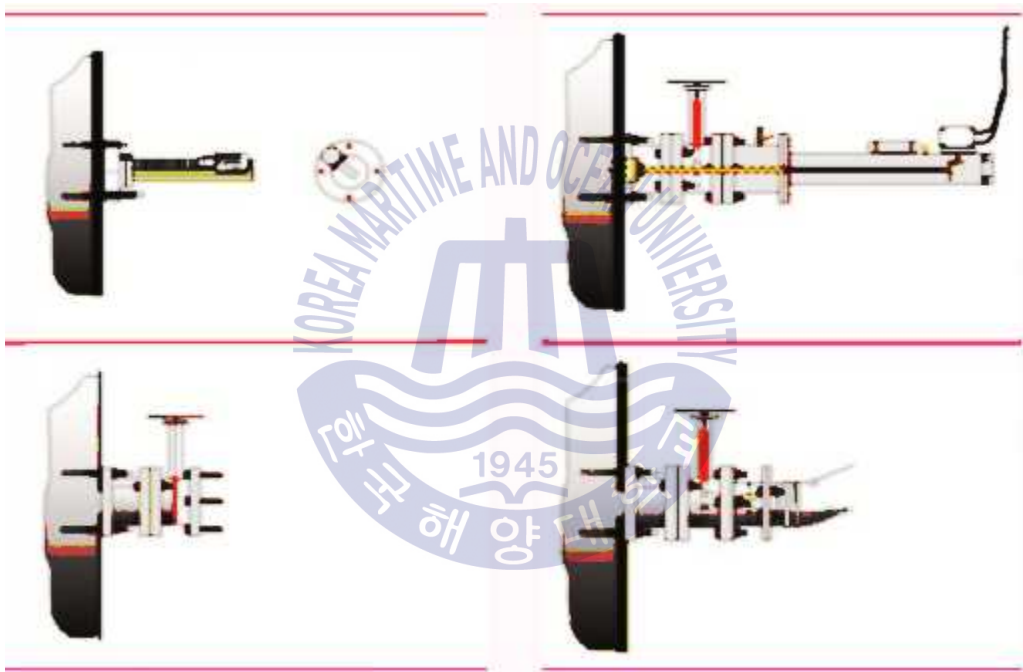
Fig. 33은 Drill과 Thread 가공 기능을 가진 특수 Bolt의 모습이다.



source : Frank Mohn Flatoy, ROLS, 2003(b)

Fig. 33 Combined drill and thread making bolt

회수구를 확보하는 순서는 Hot tapping 장비로 차단 밸브가 장착된 Adapter를 선체에 부착하고 Hole Saw 또는 Milling Blade로 천공하여 회수구를 확보한 후 밸브를 닫아 기름의 유출을 차단한 다음에 Hot Tapping 장비를 철거하고 Adapter의 끝단에 호스를 연결한 후 밸브 개방 및 펌핑을 시행한다. Hot Tapping 장비는 작업 목적과 여건에 따라 다양하게 개발되어 있으며 때로는 특수한 용도에 따라 적합한 형태 및 기능을 가진 특수한 장비를 새로 개발하여 사용하기도 한다. Fig. 34는 일반적으로 사용하는 Hot Tapping 기술을 이용한 천공방법의 원리를 나타내었다.



source : KOEM, 2011(f)

Fig. 34 Hot tapping procedure

3) 잔존유의 점도 저감 방법

침몰선박의 잔존유는 침몰 후 주변의 해수에 의해 냉각되어 일정 시간이 경과되면 해수온도와 같게 된다. 해수온도는 수심에 따라 낮아지는 것이 일반적이며 기름의 점도는 온도와 반비례하므로 심해로 갈수록 해저의

해수온도는 더욱 낮아지게 되고 침물선박의 잔존유 점도는 상대적으로 높아지게 될 것이다. 잔존유의 점도가 높아지면 회수효율이 저하되고 기름 층 가운데 Waterway가 형성되는 등 펌핑을 어렵게 만드는 요소로 작용하고, 탱크 내부구조에 따라 격리된 기름의 유동이 이루어지지 않아 탱크 내 잔류기름이 많아질 우려가 있다. 따라서 원활한 회수작업을 위해서는 잔존유의 점도를 저감시킬 필요가 있다.

잔존유의 점도를 낮추는 방법은 대체로 2가지를 생각할 수 있는데 점도가 낮고 기름과 잘 섞이는 다른 액체를 주입하여 희석시키는 방법과 잔존유를 가열하여 점도를 낮추는 방법이다.

첫 번째, 잔존유를 희석하는 방법은 점도가 낮은 비지속성 기름 등을 주입하고 혼합하므로 비교적 간단한 공정으로 잔존유의 점도를 떨어뜨릴 수 있으나, 회수하여야 할 기름의 양이 증가하고 주입 및 혼합과정에서 탱크 내 압력 상승으로 인한 기름 유출의 위험이 있으며 이러한 이유로 앞에서 살펴본 Erika호 사례에서는 환경에 무해한 Methyl ester가 사용된 것이다. 그러나 근본적으로 또 다른 오염물질을 인위적으로 해양에 투입한다는 면에서 부정적인 의견이 있을 수 있으므로 이 방법의 사용은 잔존유 가열방법이 불가능한 경우에 한정하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

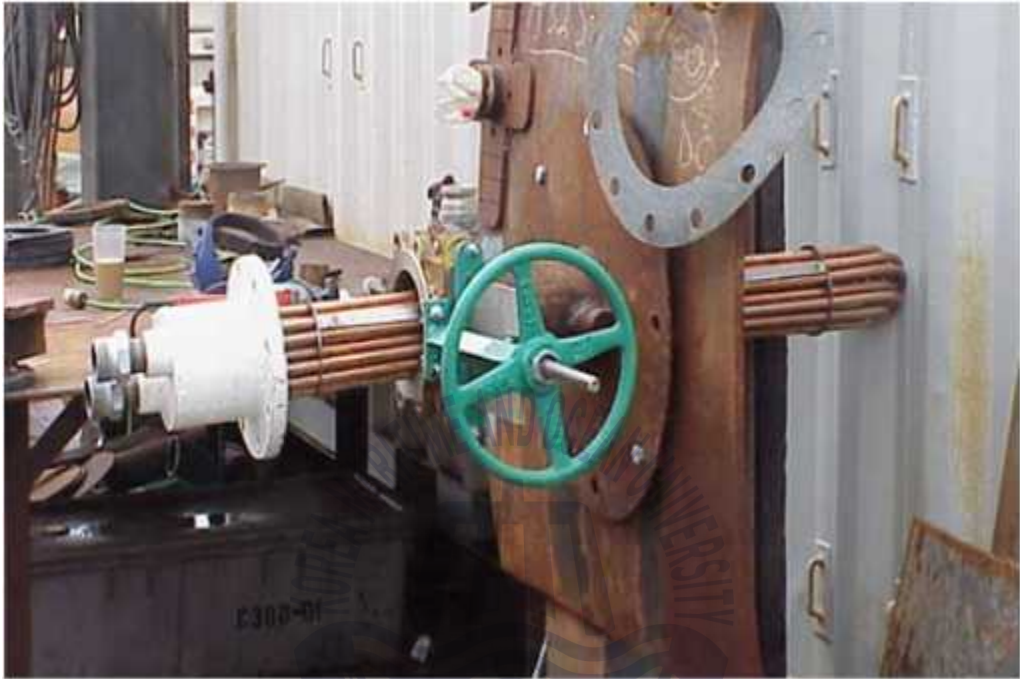
두 번째, 잔존유를 가열하는 방법은 일반적으로 사용되는 방법으로서, 가열장비와 방식에 따라 몇 가지로 나눌 수 있다.

가열에 사용되는 에너지는 전기와 고압스팀이 많이 사용되며 우선적으로 고온고압 스팀을 탱크내부로 주입하여 직접 가열하는 방법이 있다. 이 방법은 해상 작업선에서 침물선박까지 별도의 스팀라인을 연결하여 시행하므로 주입과정에서 해수의 냉각작용으로 열 손실이 있고 탱크내부의 열 전달 효율이 떨어진다는 단점이 있어 종래에는 많이 사용되었으나 최근 가열장비 및 시스템이 개발된 이후에는 많이 사용되지 않는 추세이다.

가열 장비를 이용한 방식에는 사용 장비에 따라 전기 또는 스팀히터를 잔존유 탱크 내로 삽입하여 잔존유를 직접 가열하는 방식과 잔존유를 흡입하여 가열 후 탱크로 다시 순환시키는 폐쇄회로를 구성하고 순환과정에서 열교환기로 가열하는 방식이 있다.

탱크 내 잔존유를 직접적으로 가열하는 히터 방식은 비교적 시공은 간

편하나 잔존유량이 많을 경우에는 장시간을 요한다는 단점이 있어 이 경우에는 한 탱크에 다수의 히터를 설치하기도 한다. Fig. 35는 잔존유 가열에 사용되는 히터의 한 종류인 Steam Convection Heater이다.



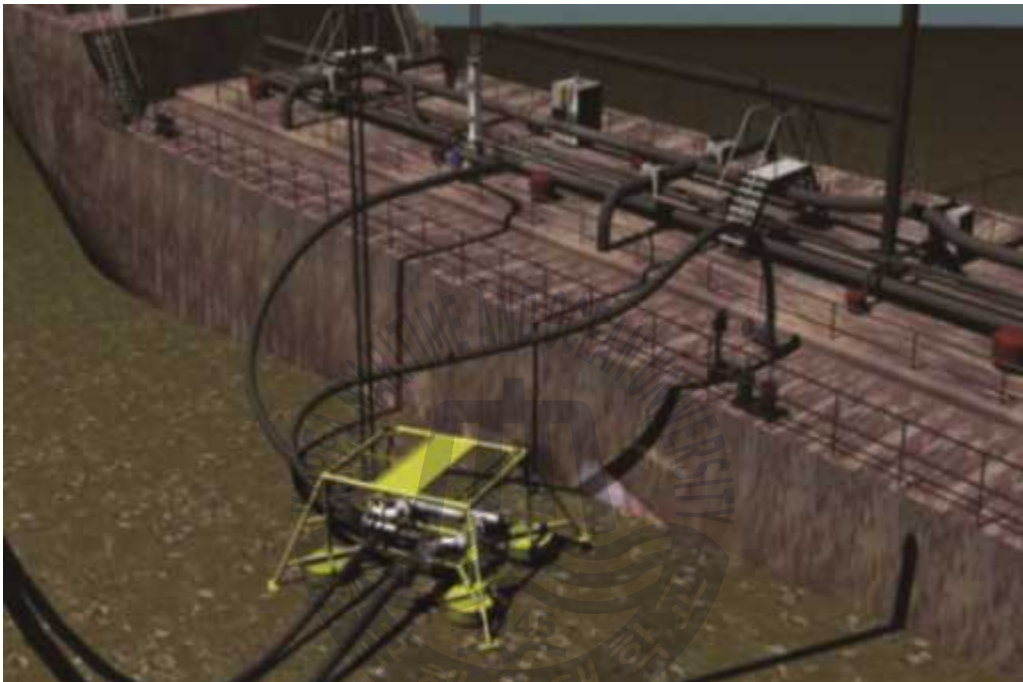
source : Titan Maritime LLC, 2010

Fig. 35 Steam convection heater

잔존유를 순환시켜 열교환기로 가열하는 방식은 히터를 사용하는 방식에 비해 효율성 면에서 우수하지만 폐쇄회로를 구성하여야 하므로 공정이 복잡하고 순환과 펌핑을 위해 밸브를 일일이 조작하여야 한다는 점에서 시행이 까다롭다. 그리고 열교환기를 해상 작업선에 설치하는 경우에는 회로가 길어지고 해수에 의한 냉각작용으로 저 수심 작업에는 효율이 떨어진다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 열교환기를 침몰선박에 근접한 해저면에 설치하여 운용하는 시스템도 개발되어 사용하고 있는데 이 시스템은 순환을 위한 폐쇄회로에 온도감지 센서를 부착하고 펌핑회로와 연결하여 일정온도에 도달하면 밸브를 조작하여 점도가 낮아진 기름을 바로 펌핑할 수 있도록 설계되어 매우 효율적인 운용이 가능하다. 때로는 최초 잔존유

의 흡입을 위해 회수구 주변 잔존유의 가열은 히터로 한 다음 열교환기에 의한 순환가열방식을 병행하여 사용하기도 하는데 이 방법은 고점도 기름의 회수 시에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

Fig. 36은 SMIT사에서 개발하여 경신호의 잔존유 회수작업에 사용한 RGB Skid의 설치 개념도이다.



source : KOEM, 2011(g)

Fig. 36 RGB-Skid for heating and pumping system designed by SMIT

그 외, 잔존유의 점도가 흡입하기 어려울 정도가 아닐 경우에는 회수효율 향상을 위해 회수용 호스를 내부 히팅이 가능한 특수 호스를 사용하기도 한다.

Fig. 37은 내부 히팅 특수 호스의 한 종류이다.



source : KOEM, 2011(h)

Fig. 37 Corrugated hose for inside heating

4) 잔존유 회수방법

잔존유 회수를 위한 회수구가 확보되면 잔존유를 회수하여 제거하여야 하는데 여기에 사용되는 방법은 비중차를 이용한 자연부상 수거방법과 호스를 통해 펌핑하여 회수하는 방법의 2가지로 나눌 수 있다.

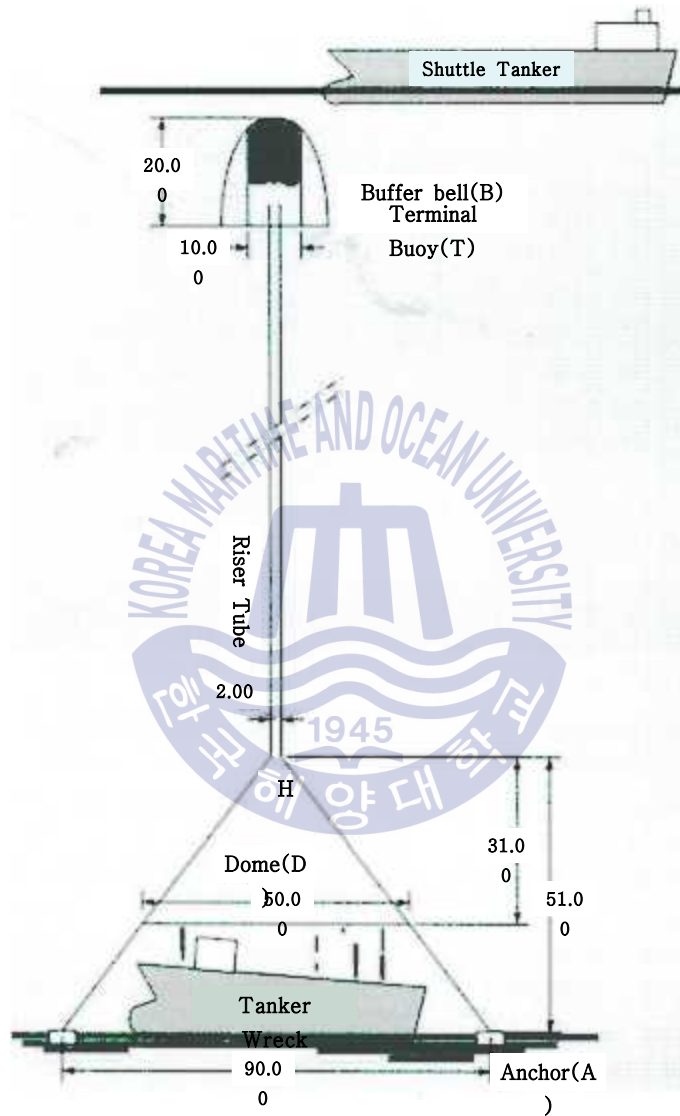
첫 번째는 기름과 물의 비중차를 이용하여 자연적으로 기름을 부상시키고 부상하는 기름을 용기에 모아 해상으로 띄워 올린 후 이것을 회수하여 처리하는 방법이다. 이 방법은 수십 수천 미터의 매우 깊은 심해에 위치한 침몰선박의 경우 해상까지의 연결 호스와 펌프의 양정이 너무 길어져서 설치 및 사용이 곤란한 경우에 사용을 고려할 수 있으나 잔존유의 낮은 온도에 따른 고점도 상태의 기름이 자연 부상하는 시간이 지나치게 길어질 수 있고, 포집용기를 수압과 압력 변화를 견딜 수 있도록 특수하게 제작하여 사용하여야 하는 등 많은 연구를 할 필요가 있다. 이 방법은 Prestige호의 잔존유 회수에 적용되어 성공적으로 시행된 전례가 있다.

기름을 자연 부상시켜 포집 및 회수하는 방법 중 다른 방법은 침몰선박의 직 상부에 Dome을 설치하고 Dome의 정점에 Rising Tube를 설치한 후 해수면 부근에 Terminal Buoy를 띄우고 그 내부에 설치된 Buffer bell에 기름을 모은 후 Shuttle Tanker로 회수하는 방법이다.

이 방법을 DIFIS(Double Inverted Funnel for Intervention on Ship-wreck)

라고 부르며 Prestige호의 잔존유 회수방법의 대안으로 개발된 후 연구를 거쳐 개발된 방법이다.

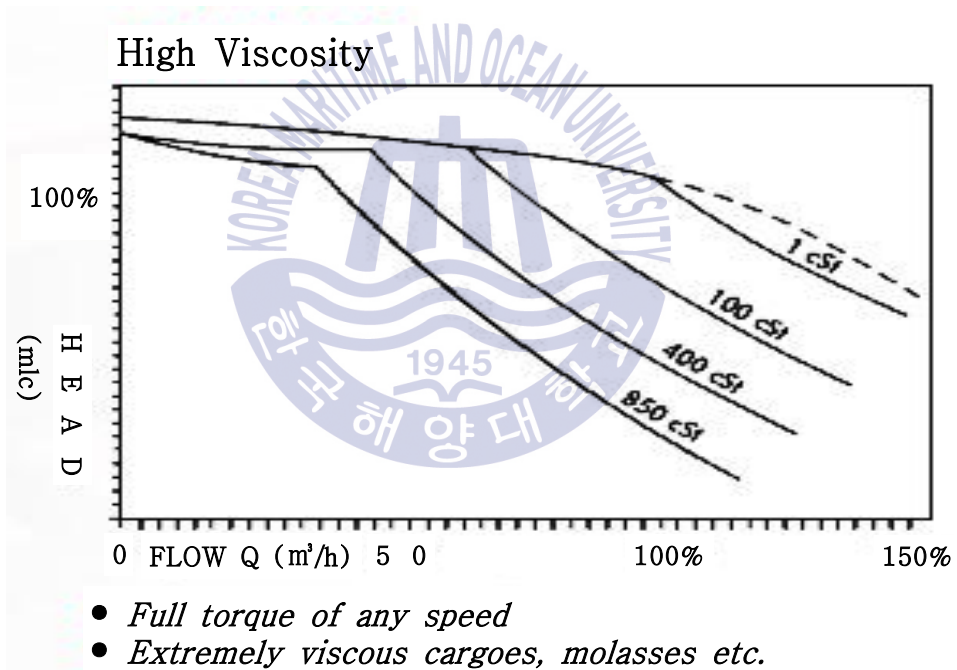
Fig. 38은 DIFIS를 이용한 회수방법의 개념도이다.



source : www.DIFIS.eu

Fig. 38 Schematic layout of DIFIS system

두 번째 방법은 일반적으로 많이 사용되는 펌프를 이용하여 직접 펌핑하여 회수하는 방법이다. 펌프는 설치 장소에 따라 해상 작업선 상에 설치하여 뽑아 올리는 방법과 잠수펌프로 밀어 올리는 방법으로 나눌 수 있는데 진공펌프를 사용하여 해상에서 펌핑하는 방법은 펌프의 특성 상 약 10m 이내의 얕은 수심에서 사용되고 더 깊은 수심에서 잔존유를 회수할 때는 Gear Type, Rotary Lobe Type 또는 Screw Type의 용적펌프나 원심 펌프가 사용된다. 수중 잠수펌프를 사용할 경우에는 회수구로부터 해상의 작업선까지의 높이에 적절한 양정능력을 보유한 펌프를 선정하여야 하고 이때 기름의 점도에 따라 줄어드는 양정과 토출량을 감안하여 실용상 발휘되는 펌프의 용량과 회수용 호스의 직경이 고려되어야 한다. Fig. 39는 은 점도에 따라 변화하는 펌프의 실제 용량을 나타낸 도표이다.



source : Frank Mohn AS, Cargo Pumping System

Fig. 39 Diagram of pump capacity under high viscosity

5) 잔존유 회수 후 탱크 처리방법

잔존유의 회수가 가능한 범위 내에서 전량 회수되었다고 판단되는 시점에 계약 당사자 간에 사전 합의된 종료기준 및 절차를 적용하여 작업진행 결과를 확인한 후 해당 탱크의 작업종료가 선언된다.(Kang, et al., 2014.)

따라서 작업종료의 상태가 되려면, 주된 잔존유의 회수작업이 완료되었다고 판단되더라도 기름의 점성이 높은 경우에는 탱크 내벽에 부착되어 있는 기름과 탱크 내부구조 상 펌핑이 어려운 곳의 기름은 충분한 회수가 이루어지지 않고 남아있을 가능성이 많으므로 이러한 기름을 최대한 회수하거나 처리하는 과정을 거치게 된다. 이 과정에서는 탱크 내부를 세척하는 방법과 생물학적으로 처리하는 방법 및 유결화제로 안정화 시키는 방법 등이 사용된다.

우선 첫 번째로 탱크 내부를 세척하는 방법은 탱크에 온수나 스팀을 주입하여 탱크 내부의 온도를 올려서 기름의 유동성을 높이고 물과 함께 회수하는 방법이다. 이 방법의 진행과정은 펌핑과 Settling을 일정 주기로 반복 시행하고 회수되는 유성혼합물의 상태를 육안 확인 또는 성분 분석하여 일정 수준에 도달하면 종료하게 된다.

두 번째는 잔존유 샘플을 사용하여 테스트를 거쳐 선정된 기름을 분해하는 작용을 하는 박테리아 등 미생물을 탱크 내부에 주입하여 자연적인 생물학적 분해가 되도록 처리하는 방법이 있는데 Prestige호의 사례에서 채택되었다. 그러나 이 방법은 현장 적용 시 실효성을 확인할 수 없고 특정 미생물의 과다 증식으로 인한 해양생태계의 영향을 예측하기 어려운 점 등으로 바람직하다고 볼 수 없는 측면이 있다.

세 번째로는 유결화제 등 기름처리제를 탱크 내에 주입하여 처리하는 방법인데 이 방법 역시 기름이 없어지게 하는 것이 아니므로 유출 시 위해요소로 작용할 수 있으며 기름과 잘 섞이게 하는 것이 어려워 실효성이 떨어질 수 있다는 문제점이 있어 잘 채택하지는 않는다.

2. 작업 수행자와 계약 체결

잔존유 회수에 사용되는 기술과 장비 등을 검토하고 나면 여러 가지의 방법을 제시한 수행업체 중 가장 합리적인 회수방법을 제시한 업체와 계약을 체결하여 실행하게 되는데 이때에는 회수방법과 동원 장비의 적정성은 물론 소요비용과 공기, 안전성, 기름 유출 등 작업 중 발생할 수 있는 비상상황에 대한 대책 등 작업 수행 전반에 걸친 계획의 적정성 및 실효성을 검토하여 업체를 선정하고 계약을 체결한다.

아울러 기본방침에 따른 작업의 범위와 종료 조건, 대금지급 방법, 작업지연과 사고 발생 시의 책임소재, 작업 중 및 종료 후 기름유출 시를 대비한 보험가입 등을 명확히 규정함으로써 추후 분쟁이 발생하지 않도록 세심한 부분까지 검토하여 계약을 체결하도록 하여야 한다. 만약에 제시한 계획과 조건이 검토한 내용과 일치하지 않을 경우에는 수차례의 협상을 통하여 이견이 없도록 조정하고 이를 계약 조항에 반영하도록 한다. 이러한 과정에서는 전문적인 기술 조언과 특수한 상 관례나 법률적인 부분의 검토를 함께 시행할 필요가 있으므로 적절한 인원으로 협상단을 구성하여 진행하는 것이 좋다.

3. 현장 운영계획의 시행

계약이 체결되어 잔존유의 회수작업 착수를 위한 준비가 완료되면 현장 작업을 위한 선단 및 장비가 현장에 동원되기 전에 작업을 원활하게 진행할 수 있도록 회수작업 준비과정에서 수립된 운영계획에 따라 필요한 조직을 구성하고 현장근무요령에 따른 행정절차에 필요한 제반사항을 준비하고 현장작업의 지원을 위한 인원 및 장비를 동원하여 배치하고 인·허가사항 등 기타 필요한 사전조치를 시행한다. 아울러 수립된 안전관리 및 비상대응계획에 따라 시행 상 필요한 조치와 훈련을 실시한다.

이러한 운영계획의 시행은 계획수립 이후 여건의 변화 또는 체결한 계약 조건 등에 따라 변동될 수 있으므로 시행 시 적절하게 조정하거나 수정할 필요가 있다.

4. 협력체계 구축

사전에 철저히 검토하고 계획된 작업일지라도 실행과정에서 예기치 못한 난관에 봉착할 경우가 많다. 따라서 중요한 의사결정을 요하거나 난관을 극복하기 위한 기술적인 조언 및 관계기관의 적극적인 협조와 지원이 필요할 것이다. 따라서 이러한 상황에 대비하여 의사결정을 위한 협의체와 관계기관의 협력체계를 구축하고 기술과 법률에 관한 사항을 조언할 수 있는 전문가그룹을 구성하여 운영하는 것이 필요하다.

4.2.3 사후 조치 단계

4.2.3.1 현장조직 철수 과정

현장에서 회수작업이 종료되면 현장운동을 위한 인원 및 선박과 장비 등을 철수하고 필요한 사후조치를 시행한다. 이때 사후 정리가 미흡할 경우 민원의 발생 등 불미스러운 결과를 초래할 수 있으므로 주의하여 시행한다.

4.2.3.2 작업 결과 평가 및 보고 과정

회수작업이 종료되면 작업결과를 종합적으로 취합하여 상세한 작업시행 과정과 작업성과를 평가한 보고서를 작성하여 주관기관에 보고한다. 이 보고서는 잔존유 회수작업 시행사례로 유사한 작업을 시행하는데 참고자료로 유용하게 활용될 것이다. 이 보고서에는 작업의 목적과 범위, 작업 시행 경과, 작업성과 및 평가, 추후 진행사항과 일정 등의 사항이 포함되어야 하고 보고서 내용과 관련한 증빙서류나 참고자료를 함께 첨부한다. 이러한 보고서는 작업과 관련한 모든 사항을 종합적으로 정리되어 만들어질 백서의 주요한 부분이 된다.

아울러 작업현장의 지자체 및 관련 행정기관에 작업의 결과 및 성과를 보고하고 어민단체 등 관계 지역단체에게도 설명회를 개최하여 작업결과를 알리는 것이 필요하다.

4.2.3.3 침몰선박 현장 모니터링 과정

작업 종료 후 일정기간 동안 주기적으로 작업현장을 모니터링하여 추가적인 기름의 유출 여부 등을 확인하여 결과를 기록하고 기간이 종료되면 모니터링 과정과 결과를 종합하여 기록물을 첨부하여 최종 보고한다.

4.2.3.4 비용정산 과정

작업 수행업체와의 계약에 의한 용역비 및 작업시행에 수반된 시행처와 현장 조직 운영비, 연구용역비, 보급물품 및 선박·장비 사용료 등을 포함한 작업 시행과 관련하여 발생한 제 비용을 예산과 맞추어 정산한다. 이때 발생되었으나 청구가 지연된 사항 및 추후 발생이 예상되는 부분을 감안하여 명시하고, 향후 보상과 관련하여 청구 및 보전하여야 할 사항에 대해서도 증빙서류와 함께 정리한다.



4.3 시스템의 실효성 평가

침몰선박의 잔존유를 효과적으로 회수하기 위해 필요한 계획의 수립과 시행 방법 및 작업의 관리를 위한 잔존유 회수 시스템은 작업의 단계를 크게 잔존유 회수환경 조사와 회수 실행 및 사후 조치의 3단계로 나누고, 각 단계별로 세부 과정의 시행에 관한 사항으로 구성하여 제시하였다.

잔존유 회수작업은 작업 환경의 다양성에 따라 적용 기술 및 장비의 적합성을 고려하여 검토되고 그 실효성을 검증하여 실행방법이 결정되므로 잔존유 회수 시스템의 각 구성요소에 대한 평가는 절대적인 기준의 설정과 공학적으로 계산된 정량적 평가가 어렵고 선행된 연구 자료도 있지 않다.

따라서 기 시행된 작업 중 국내에서 최초로 시행한 심해 침몰선박 잔존유 회수작업인 제1유일호의 작업 사례를 선정하여, 회수환경 조사단계와 실행단계의 시행에 본 시스템을 적용할 경우 개선할 수 있는 사항을 분석하여 정성적인 부분과 정량적인 부분의 실효성을 평가하고자 한다.

4.3.1 정성적 평가

앞서 제3장에서 살펴본 바와 같이 제1유일호의 회수작업은 비록 미량이기기는 하지만 잔존유의 해상유출 현상이 지속되는 중이었으나 유출구의 밀폐조치 및 작업 환경에 대한 조사 없이 바로 회수작업을 착수하였다. 따라서 작업 실행 중 소량의 기름유출사고 및 많은 시행착오가 발생하였고 작업 공기가 지연되었다. 이 사례에 최적화된 회수 시스템을 적용하여 개선될 수 있는 점을 정성적으로 평가하였다.

4.3.1.1 수중 작업방법의 선정 과정

제1유일호의 수중 작업방법을 ROV를 이용한 조사와 회수작업 방법으로 선정하여 시행되었다. ROV에 의한 작업은 심해에서 장시간의 작업에 유리한 점이 있으나 모든 작업이 원격조정에 의해 이루어지므로 상황에 대한 즉각적인 대응이 필요할 경우에는 미세한 조정에 한계가 있고 예측하지 못한 작업에 필요한

장비가 미리 장착되어 있지 않으면 ROV를 해상으로 회수하여 조치한 후 다시 투입하여야 하므로 특히 사전 조사가 충분하지 못한 상황에서는 대처능력이 떨어져 불리하다.

이러한 100m 정도의 수심에서 상세한 환경조사가 이루어지지 않은 상태의 수중 작업방법은 예측하지 못한 상황에 즉각적인 대처가 필요한 경우에 해당하므로 최적화 시스템이 적용되었다면 포화잠수방법이 선정되었을 것이고 시행착오를 줄여 효율적인 작업실행이 가능하였을 것으로 분석된다.

4.3.1.2 잔존유 현황조사

잔존유의 유출 현황을 파악하여 유출구를 봉쇄하고 잔존유량의 측정과 분포 상태를 파악하는 조사는 잔존유 회수작업의 가장 핵심적인 조사이다. 그러나 제1유일호의 작업에는 이러한 과정 없이 회수작업에 바로 착수하여 많은 문제점이 나타났다.

우선 잔존유가 지속적으로 유출되고 있는 상황에서 작업 시행 중에 기름유출을 중단시킬 수 있는 여건이 마련된 상황에서도 유출구의 밀폐작업이 시행되지 않은 점은 잔존유 회수작업의 기본 취지와 맞지 않아 보이며, ROV에 의한 침몰선박의 상태조사는 시행되었으나 잔존유량의 측정이 이루어지지 않아 파공이 확실히 발견된 탱크를 제외한 모든 탱크의 상,하부 2곳에 ROLS를 사용하여 잔존유 회수용 및 해수 유입용 Base Plate를 각각 부착하는 작업을 하여야 했고 이 과정에서 많은 시간이 소요되었다.

실제로 총 8개의 화물창 중 파공이 확인된 1번 좌현을 제외한 7개 탱크에서 3개 탱크에서는 잔존유가 없어 필요 없는 작업을 시행한 결과가 되어 전체 공정이 상당히 지연되는 원인이 되었다. 두 말할 나위 없이 최적화 시스템에서 제시한 잔존유 유출현황 및 유출구 밀폐, 잔존유의 유종 및 특성 파악, 잔존유량의 실측 등 잔존유의 현황조사가 시행되었다면 비교적 간단한 작업으로 상당한 공정의 단축과 회수작업의 효율적인 시행이 가능하였을 것으로 분석된다.

4.3.1.3 회수작업 여건 조사

침몰선박 제1유일호의 해저 착지자세는 좌현으로 약 84°전도되어 선체하단 일부가 해저 뺨에 함몰된 상태였다. 따라서 각 탱크의 잔존유 회수구의 확보는 우현 외판과 선저부 이므로 비교적 용이하게 시공할 수 있는 상태로 추정되어 큰 어려움이 없었을 것으로 판단된다.

그러나 2kt의 조류와 0.5m 내외의 시야는 ROV의 정상적인 작동에 많은 장애를 가져와 원활한 작업진행이 되지 않은 것으로 분석된다. 또한 해상작업 여건인 기상과 파도의 영향으로 ROV 및 ROLS의 진수가 불가능하여 지체된 일수도 상당히 많았던 것으로 분석할 수 있다.

촉박한 작업일정으로 작업 시기 선택의 폭이 넓지 않았던 점은 일면 이해되나 그럴수록 짧은 기간 내에 회수작업이 완료될 수 있는 방법을 선정되어야 하였을 것으로 판단된다.

이러한 면에서도 최적화 시스템의 적용으로 해양 및 수중 작업여건이 조사되었다면 작업여건에 가장 유리한 방법이 선정되어 실효성 있는 작업의 실행이 가능하였을 것으로 분석된다.

4.3.1.4 회수작업 실행 단계 세부과정별 실행방법의 선정

회수작업의 실행단계는 준비와 시행과정의 계획을 수립하고 각 과정별 세부사항을 시행하는 단계이다. 제1유일호의 회수작업 실행단계의 진행을 살펴보면 이 단계 중 세부과정별 실행방법의 선정에 문제가 있음이 발견된다.

제1유일호의 회수작업은 ROV와 ROLS를 사용하는 방법으로 실행되었다. 이 작업방법으로 잔존유를 회수작업 중 중요한 2건의 사고가 발생하였는데, 그 중 하나는 잔존유 펌핑 중 강한 조류와 해상 기상의 악화로 ROLS가 Base Plate로부터 이탈되어 잔존유가 유출된 사고이고 다른 하나는 ROLS를 사용하여 천공작업 중 Base Plate 안쪽으로 ROV의 Umbilical Line이 포개진 채로 Milling Blade를 회전시켜 ROV가 유실된 사고이다.

이 두 사고의 원인을 분석해 보면 ROLS에 부착된 카메라는 작동부위를 감시

할 수 있는 위치에 고정되어 설치되어 있고 ROV의 카메라는 회전이 가능하여 다각도의 감시가 가능하나 전방의 ROLS에 의해 시야가 제한된 관계로 사고발생 상태를 사전에 감지하지 못하여 일어난 사고로 판단된다.

이 점은 수중작업방법의 선정과 관련하여 모델에서 제시한 각 방법별 단점을 보완하는 조치를 사전에 강구하였다면 방지할 수 있었을 것이라 분석된다.

4.3.2 정량적 평가

제1유일호의 잔존유 회수작업은 1998. 6.25부터 8. 29까지 총 66일간 진행되었다. 그리고 제3오성호의 작업과 동시에 시행되었으므로 제3오성호 작업경비와 공동경비를 제외한 작업비용은 54억9천9백만원으로 집계되었다. Table 20은 제1유일호의 작업비용을 세분하여 표시한 것이다.

Table 20 Working expenses of remaining oil recovery of "No.1 Yuil"

(Unit : 1,000,000won)

Classification	Total	NO.1 Yuil	No.3 Osung	Expense of cooperation
Grand total	12,970	5,499	5,467	2,004
Hire (Ship & heavily equipment)	2,188	819	1,243	126
Service charge (execution expense at working site)	7,755	3,766	3,931	58
purchase equipment & materials	1,480	547	96	837
Charges	314	51	92	335
Insurance	164	-	-	164
Fuel expense	158	51	49	58
Recovery oil disposal expense	526	236	4	286
Total expenses	385	29	52	304

* source : KMPRRRC, 1999

이 중 회수작업 수행 직접경비인 용역비와 선박 및 장비임차료는 45억8천5백만원이다.

여기서 순수한 회수작업 기간에 발생한 1일당 소요비용은 아래 식으로 계산할 수 있다.

$$E_d = \frac{E_t}{D} = \frac{4,580,000,000}{66} = 69,393,939$$

단, E_t = 총 소요비용, D = 작업 소요일수, E_d = 1일당 소요비용

따라서, 제1유일호의 순수한 회수작업 기간 중 1일당 소요비용은 약 7,000만원이다.

한편, 회수작업 기간 총 66일 중 화물창 7개소의 Base Plate 부착 및 펌핑 기간은 43일(7. 11 ~ 8. 22)이 소요되어, 화물창 1개당 소요된 평균작업일수는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$D_{ave} = \frac{D_t}{T_w} = \frac{43}{7} = 6.14$$

단, D_t = 총 작업일수, T_w = 작업 탱크 수, D_{ave} = 탱크 당 평균작업일수

따라서, 화물창 1개소의 Base Plate 부착 및 펌핑에 소요된 평균 기간은 약 6일로 계산할 수 있다.

그리고 펌핑 결과 화물창 3개소에서는 잔존유가 없는 것으로 판명되었으므로 만일 모델에서 제시한 화물창의 잔존유량 실측이 사전에 시행되었다면 3개 화물창의 Base Plate 부착 및 펌핑에 소요된 공기를 단축할 수 있었을 것이다.

잔존유 실측에 필요한 소요기간을 2일로 감안한 공기 단축일수는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} D_s &= D_{ave} \times T_e - D_c \\ &= 6\text{일} \times 3\text{개} - 2\text{일} = 16\text{일} \end{aligned}$$

단, D_s = 공기 단축일수, T_e = 빈 탱크 수, D_c = 실측 소요일수(2일)

그러므로 공기 단축에 따른 비용 절감액은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{sav} &= D_s \times E_d \\ &= 16\text{일} \times 7,000\text{만원} \end{aligned}$$

단, E_{sav} = 비용 절감액, 위에서 D_s = 공기 단축일수, E_d = 1일당 소요비용
이것은 결과적으로 총 11억2천만원의 비용을 절감할 수 있다는 결론이다.

만약, 유일호 잔존유 회수작업에 최적화시스템이 적용되었다면 작업 공기의 단축과 안전 확보의 정성적 효과와 더불어 비용절감의 정량적 효과가 있을 것으로 평가되며 이것은 전체 회수작업 수행경비 54억9천9백만원의 20.4%에 해당하는 규모이다.

따라서 이러한 평가를 통하여 최적화 잔존유 회수 시스템의 정량적 실효성을 입증할 수 있었다.



제5장 결 론

우리나라 연안역에는 선박의 충돌, 좌초, 전복 등 해양사고로 인해 2천여척의 침몰선이 다량의 기름을 적재한 채 여기저기 산재해 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 침몰선에 갇혀있는 잔존유는 시간의 경과와 함께 수중 선체의 부식 진행과 강한 해류 및 조류의 영향 또는 항행선박과 어로행위 등으로 인한 외부충격 등 침몰선박의 상태와 주변여건의 변화에 따라 탱크 외부로 유출될 가능성이 있고, 어떤 원인으로든 잔존유가 유출될 경우 인근 어장이나 해양위락시설 및 주요 입해 산업시설 등이 분포되어 있는 해안지역까지 영향을 미쳐 심각한 생물·생태적 피해뿐만 아니라 사회경제적 손실이 발생하게 된다.

우리 정부는 이러한 잔존유의 해양환경 위해성에 주목하여 해양환경관리법을 개정, 보완하고 침몰선박관리규정을 제정하여 침몰선박의 위해도 평가와 필요한 위해도 저감대책을 수립하여 시행하도록 하였다. 그리고 해양환경관리공단으로 하여금 침몰선박 중 집중관리 및 일반관리 대상선박에 대하여 침몰선박의 상태 등과 해양오염사고 유발 가능성에 대한 정밀조사 계획 수립 또는 자료의 수집·분석, 적재화물 및 주변해역특성 등 해양오염과 해양안전에 관한 영향 등에 관한 정보를 관리하게 하고 있다.

이같은 적극적인 침몰선박의 관리정책은 제도적 측면에서는 긍정적으로 평가할 수 있지만, 과거 시행된 침몰선 잔존유 회수 작업 사례를 통해 현장실행적인 측면을 평가하면, 잔존유 회수시스템의 부적합으로 인하여 전반적인 작업여건의 조사와 작업방법의 검토 및 적정 실행계획 수립이 결여된 채로 작업이 시행되어 적지 않은 시행착오를 초래함으로써 작업공기와 비용의 증가는 물론 안전측면과 목표달성에 상당한 지장을 초래한 경우가 많았음을 알 수 있다.

그러므로 잔존유 회수작업의 특성과 현실을 감안해 볼 때, 잔존유 회수작업의 계획 수립 및 시행과 관리에 필요한 시스템의 구축은 더욱 절실하다고 볼

수 있으며 잔존유 회수 작업여건은 각 케이스마다 다양한 환경과 상황에 따라 감안되어야 할 요소가 상당히 달라지고 일반적으로 사용하는 시스템으로는 충분하지 못한 경우가 많으므로 회수작업의 실효성 향상을 위하여 시스템을 최적화하여 적용할 필요가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 우리나라의 침몰선 현황 및 관리체계조사와 함께 침몰선 회수작업 사례연구를 포함한 현행 침몰선 잔존유 회수시스템 조사·분석을 통해 잔존유 회수 시스템의 최적화 필요성과 그 방안을 도출하여 다양한 작업여건에서 유용하게 적용할 수 있는 최적화된 침몰선박 잔존유 회수시스템을 개발하고자 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 최근의 침몰선 현황 통계자료에 의하면, 2015년 현재 우리나라 관할해역에는 2,153척의 선박이 해저에 침몰해 있으며, 이 들 중 어선이 전체의 81.2%로 가장 많고, 톤수면에서는 10톤 미만의 소형선이 대부분을 차지하지만 100톤 이상의 선박도 278척 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 침몰선의 분포는 남해가 가장 많고(910척), 그 다음으로 서해(797척) 및 동해(446척) 순인 것으로 나타났다.

우리나라의 침몰선의 관리체계는 해양환경관리법, 해사안전법, 선박입출항법 및 공유수면 관리 및 매립에 관한 법률 등에 침몰선 관련 조문이 제정되어 있고, 이 중 주요 법령인 해양환경관리법에는 침몰선박의 관리, 위해도 평가, 위해도 저감대책의 실행, 저감대책 비용의 산정 및 부과 등이 자세히 규정되어 있다. 그러나 현행 규정중 위해도 평가항목에서 점수 배분율이 잔존기름 및 여유수심 항목에 상당히 편중되어 있고, 또한 해역환경민감도 및 유출가능성 항목에도 불합리한 점이 있어 향후 이에 대한 재검토 및 수정·보완이 요구된다.

둘째, 현행 침몰선의 잔존유 회수작업의 절차 및 과정을 살펴보기 위하여 국내에서 시행된 제1유일호(1995년)와 경신호(2010년), 국외에서 시행된 “Erica”호(2000년)와 “Prestige”호(2003~2004년)를 대상으로 사례연구를 실시하였다. 각 사례들의 특징을 비교분석한 결과 당시의 침몰선 상태, 해양기상 상태 및 지형 특성에 따라 수중작업방법, 잔존유량 측정방법, 선체 천공방법, 잔존유 가열 및 탱크 세척방법, 잔존유 회수방법 등이 서로 간에 상당한 차이가 있음이

나타났다. 그리고 이들 사례조사 결과는 잔존유 회수는 침몰선박의 상태 및 주변 해양환경에 따른 작업여건과 상황이 매우 다양한 형태로 나타나므로 일반적으로 구축된 시스템을 각 케이스에 적용이 가능하도록 최적화할 필요성이 있음을 보여주고 있다.

셋째, 우리나라의 침몰선 관리 현황과 과거의 침몰선의 잔존유 회수작업에 대한 조사·분석 결과를 바탕으로 침몰선박 잔존유 회수시스템을 최적화하기 위하여 잔존유 회수환경 조사, 잔존유 회수 실행 및 사후조치의 3단계로 설계하고 각 단계별 시행과정을 세부사항으로 나누어 준비와 계획 수립에 필요한 요소를 설정하고 작업여건에 따라 선정할 수 있도록 구성하였다. 또한 연구과정에서 잔존유 유수 경계면 측정방법을 새로이 고안하였다. 이어서 마지막으로 본 연구에서 개발한 「침몰선 잔존유 최적화 시스템」을 “제1유일”호 시행사례에 적용·평가한 결과, 정성적·정량적인 실효성이 입증되었다.

본 연구결과로 잔존유 회수에 최적화하여 개발한 시스템은 향후 기존 침몰선박의 위해도 저감을 위해 시행되거나 새롭게 발생하는 침몰선박의 잔존유 회수작업을 시행하는 경우, 다양한 작업환경을 고려하여 각 시행단계에 필요한 계획수립과 실행 시 적용하는 회수 시스템을 최적화하여 개발되었으므로 시행착오의 최소화와 안전하고 효율적인 작업의 수행을 가능하게 함으로서 해양환경위해요소에 선제적으로 대응하는 작업 목표의 달성과 공기단축 및 비용절감의 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 잔존유 회수작업 시행에 관한 의사결정에 반드시 감안되어야 할 비용·편익분석 및 객관적인 판단을 위한 정량적 점수 환산 방안은 향후 지속적인 연구가 필요하며, 침몰선박 관리에 필요한 정보의 수집을 위한 보다 개선된 시스템의 구축에 관해서도 연구를 계속해 나갈 계획이다.

아울러 침몰선박의 잔존유 회수 시스템 최적화에 관한 연구를 진행하면서 느낀 점 중 하나는 현재 우리나라 연안에 산재해 있는 침몰선박은 필요한 현장조사와 정보의 보완을 거쳐 합리적으로 분류하여 관리하고 중장기 계획에 의한 침몰선박의 위해요소 저감대책이 시급히 마련되고 시행되어야 한다는 것이다.

현재 집중관리 대상으로 지정된 침몰선박 중 1~2척에서 만이라도 일시에 대

량으로 기름이 유출되는 사고가 발생되면 그 피해규모는 엄청날 것이고, 오염에 따른 사회적, 환경적 측면까지 고려한다면 우선순위에 따른 고 위험 침몰선박의 현장조사와 조사결과를 토대로 잔존유 회수를 포함한 저감대책을 가급적 조속히 실행하도록 하고 단계별로 전 침몰선박의 합리적인 관리에 대한 중장기 계획 수립과 예산확보가 필요할 것이다.



참 고 문 헌

1. 강광구, 심유택, 강신영, 2014. 국내 침몰유조선 회수작업의 합리적 종료절차 제안. *한국해양학회지*, 38(4), p381.
2. 법제처, 국가법령정보센터, 2015. 침몰선박관리규정.
3. 심유택, 2004, *침몰선으로부터 잔존유 회수 방안에 관한 연구*. 석사학위논문. 한국해양대학교.
4. 장우진, 2015. *선박 연료유 잔존량 추정모델을 이용한 침몰선박 위해도 평가개선 연구*. 석사학위논문. 부경대학교.
5. 정대울, 정영석, 2007. 2007년 난과물제거협약의 주요내용 및 채택의의. *해사법연구 제19권 제2호*, pp.77-104.
6. 윤중휘, 2014. *기본 해양오염방제*. 다솜출판사.
7. 한국해양과학기술원(KIOST), 해양방위연구센터, 2015, 세월호 선체처리 기술검토를 위한 현장조사용역 결과보고서. (a)p.168, (b)p.33.
8. 한국해양오염방제조합(KMPRC), 1999. 침몰선 잔유제거작업 백서. (a)p.390, (b)p.394.
9. 해양수산부(MOF), 2015. 2016. 해양수산 주요통계.
10. 해양수산부(MOF), 해양안전심판원, 2015, 해양수산부 통계자료.
11. 해양수산부(MOF), 2015, 침몰선박 데이터베이스.
12. 해양수산부(MOF)(해양환경정책관), 2016. 침몰선박 관리 종합계획.
13. 해양환경관리공단(KOEM), 2016. 2015 침몰선박 관리사업 최종보고서.
14. 해양환경관리공단(KOEM), 경신호사업단, 2011. 경신호잔존유제거사업 백서(푸른바다를 위한 약속). (a)p.169, (b)p.276, (c)p.301, (d)p.292, (e)p.178, (f)p.279, (g)p.285, (h)p.279.
15. Fanch Cabioc'h, Cedre, Brest, France, Commander Nedellec, Ceppol,

- French Navy, Commissaire Lambert, Maritime Prefecture, Brest, France, 2005. Erika vs Prestige : Two similar accidents, two different responses. The French case. *2005 International Oil Spill Conference*.
16. Fivos Andritsos, Panagiotis A. Konstantinopoulos, Konstantinos J. Charatsis, 2006. Recuperation of Oil Trapped in Ship–Wreck : the DIFIS Concept.
 17. Frank Mohn Flatoy AS, Oil & Gas Division, 2003. TECHNICAL DESCRIPTION Oil Sampling Tool – OST. (a)p.5, (b)p.4.
 18. Frank Mohn Flatoy AS, Oil & Gas Division, 2003. TECHNICAL DESCRIPTION Remote Operated Offloading System – ROLS. (a)p.7, (b)p.6.
 19. Frank Mohn AS, CARGO PUMPING SYSTEM.
 20. Huge Parker & Tosh Moller(ITOPF), 2008. SUNKEN OIL AND THE REMOVAL OF OIL FROM SUNKEN WRECKS. *INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE*.
 21. Ir. H. Cozijn, 2009. The DIFIS Project. Boegbeeld. Available at: www.DIFIS.eu
 22. Ivan Covic, Anamarija Simunac, Jelena Veza, Merica Sliskovic, Gorana Jelic–Mrcelic, 2013. Method of Pollution Removal after Tanker “Erika” Accident. *Transaction on Maritime Science*.
 23. Jacqueline Michel, Trevor Gilbert, Jon Waldron, Charles T. Blocksidge, Dagmar Schmidt Etkin, Robert Urban, 2005. Potentially Polluting Wreck in Marine Water, An Issue Paper Prepared for the 2005 International Oil Spill Conference.
 24. Jeffrey Harrington, 2003. The Prestige Oil Spill Disaster and its Implications,

International Environmental Law.

25. Jorge Zaragoza, 2008. RESPONSE AND REMEDIATION OF THE “PRESTIGE”. In: Organization for Security and Co-operation in Europe. *TECHNICAL WORKSHOP ON OIL SPILL RESPONSE & REMEDIATION*, TURKMENBASHY, 10–11 March 2008.
26. KR, 2001. Technical Information NO.2011–IMO–09, Korea Register of Shipping, Daejeon.
27. Rean Monfils, Trevor Gilbert, Sefanaia Nawadra, 2006. Sunken WWII Shipwreck of the Pacific and East Asia : The need for regional collaboration to address the potential marine pollution threat. *Ocean & Coastal Management* 49 (2006). pp.779–788.
28. Renier van der Bichelear, 2010. SMIT SALVAGE OIL RECOVERY OPERATION.
29. REPSOL YPF, 2003. Recovery of Fuel from the Prestige Tanker. (a)p.13, (b)p.14.
30. Thomas Hofer, 2003. Tanker Safety and Coastal Environment : Prestige, Erika, and what else?, Tanker Safety Leading Article, *ESPR* 10 (1).
31. Titan Maritime LLC, 2010. M/T KYUNGSHIN Oil Removal Concept.
32. Tony Hart, Thermo Fisher Scientific, 2014. Neutron backscatter versus gamma transmission analysis for coke drum applications.
33. Unified Command: Princess Kathleen, AK Department of Environmental Conservation, 2010. Oil removal commences on Point Lena Wreck.

3

4

<http://www.professionalmariner.com/.../1946-wreck-off-British-Colum...>

35. <https://www.youtube.com/user/MarisEnvironmental>
36. Wikipedia, Atmospheric diving suit.
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_diving_suit
37. Wikipedia, Newtsuit. Available at:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Newtsuit>
38. Wikipedia, Remotely operated underwater vehicle.
Available at:
https://en.wikipedia.org/.../Remotely_operated_underwater_vehicle
39. Wikipedia, Saturation diving.
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Saturation_diving
40. Wikipedia, Trimix(breathing gas).
Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trimix_\(breathing_gas\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Trimix_(breathing_gas))
41. www.gdiving.com/project/328
42. www.interspill.org/previous-events/.../case_challenges_doc.pdf
43. www.kcdta.or.kr (사)한국산업잠수기술인협회<산업잠수관련정보<잠수
기술
44. [www.oceaneering.com/product
&services/subsea/ROVservices/ROVsystem](http://www.oceaneering.com/product&services/subsea/ROVservices/ROVsystem)
45. [www.towerscan.com/Level_Measurement/Towerscan_Case_Exemples/
Neutron backscatter-Multiphase_Level_Measurement](http://www.towerscan.com/Level_Measurement/Towerscan_Case_Exemples/Neutron_backscatter-Multiphase_Level_Measurement)

감사의 글

한편의 논문을 마무리하면서 다방면에 걸쳐 도움을 주신 많은 분들께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

본 논문의 연구계획부터 최종 마무리까지 연구과정 전반에 걸쳐 열정적으로 이끌어 주신 윤종휘 지도교수님께 무한한 감사와 존경을 표합니다.

그리고 심사과정에서 세심한 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 이은방 교수님, 국승기 교수님, 최재혁 교수님, 목포해양대학교 김광수 교수님께 진심으로 감사드립니다.

연구 자료 준비와 논문 집필과정에 많은 도움을 주신 해양환경관리공단 임직원 여러분, 그리고 각별한 지원을 해 주신 해양환경교육원 동료 모두에게 고마운 마음을 전합니다. 특히 경신호 프로젝트를 함께 수행한 최성환 팀장, 강광구 차장의 독창적 시각의 주제 분석과 조언은 큰 힘이 되었고, 교정과 발표준비를 도와준 이강민 후배에게도 감사드립니다.

평소 많은 관심과 따뜻한 배려로 힘이 되어준 이상호, 이장훈 선배님, 류찬열, 류신 사장 부자, 김종창, 정성일 사장, 그리고 동생 김찬호, 사위 윤동일에게도 고마움을 전합니다.

마지막으로 내 인생의 가장 큰 보람인 상업, 상희 두 아이와 그동안 항상 헌신적으로 뒷바라지를 해준 사랑하는 아내 박기춘에게 이 논문을 바칩니다.