

심해 침몰유조선 잔유회수 기술

김 성 천*

*KENTEC

〈목 차〉

1. 개 요
2. 사고내용
3. 사전조사
4. 작업조직 구성
5. 작업 방법
6. 작업의 종료 결정
7. 잔유회수작업
8. 방해요소
9. 작업결과

1. 개 요

- 1.1 이 보고서는 지난해 한국해양오염방제조합(KMPRC)이 한국 남해안에 침몰한 연안유조선으로부터 잔유를 제거한 작업과정과 주요 기술사항에 관한 것임
- 1.2 한국 정부(해양수산부)는 화물탱크에 1,000톤 이상의 기름을 적재한 채 침몰되어 있는 침선으로부터 추가 기름 유출의 위험이 있다고 판단하여 1998년 중에 이들 잔유제거사업을 시행하기로 결정하고 한국해양오염방제조합에 침몰선 잔유제거작업의 시행을 지시하였음
- 1.3 한국해양오염방제조합은 1998. 6. 25일부터 1998. 11. 8일까지 135일에 걸쳐 2 척의 침선으로부터 잔존유 제거작업을 성공적으로 종료하였으며, 국제기금(IOPC

FUND)에서 지정한 전문가들에 의하여 두척의 침선으로부터 더 이상 중대한 오염사고의 위험이 없는 것으로 평가되었음

2. 사고내용

2.1 제 1 유일호 (1995. 9. 21)

2.1.1 제1유일호는(1,591 GRT) 약 2,870톤의 중질유를 운송하던 도중 부산 부근의 남형 제도에 좌초되어 이초를 시도, 부산항으로 구조예인하던중 북형제도 정남방 약 1.0마일 해상 70m 수중에 침몰

2.1.2 좌초시 3개의 화물탱와 기관실이 크게 손상되었다고 보고되었음

2.1.3 좌초와 침몰로 발생한 초기 유출로 인근 도서지역뿐 아니라 거제도 동북부 해안, 부산 동서부 해안이 크게 오염되었으며, 이후 추가 유출로 해안가가 오염되었음

2.2 제3오성호 (1997. 4. 3)

2.2.1 제3오성호는(786총톤수) 1,614톤의 중질유를 운송하던중, 통영에 있는 거제도 남쪽의 등가도에 좌초되어 수중 70m의 해저로 침몰하였음

2.2.2 사고즉시 기름이 유출되어 약 50~200톤으로 추정되는 유출유가 사고지역 부근 약 15km²에 걸쳐 퍼졌음. 방제작업은 1997년 4월 12일에 종료되었으나 제3오성호로부터 유출된 기름이 1997년 4월 7일 일본 쓰시마 섬에 도달하여 일본해상보안청은 약 150척의 방제선을 투입, 1997년 4월 7일부터 12일까지 방제작업을 시행하였음. 또한 기름이 쓰시마섬의 북부해안을 덮쳐 어민, 해상자위대와 자원자들에 의해 해안 방제작업이 수행되었음

2.3 두 침선의 주요 특성

(표 2-3)

항목	제1유일호	제3오성호
건조년도	1980	1978
선박길이(LOA)	80.75m	70.34m
선폭	12.00m	10.50m
깊이	6.10m	5.25m
총톤수	1,591톤	1,115톤
중량톤수	2,992톤	1,796톤
침선위치	34° 54.942'N 128° 58.462'E	34° 54.942'N 128° 58.462'E
화물탱크	총8개(좌현/우현 각 4개)	총8개(좌현/우현 각 4개)
화물	Bunker-C	Bunker-C
적재화물량	2,897kl	1,615kl
이증저 여부	단일저	이증저

3. 사전 조사

3.1 제1유일호는 침몰이후 선주측 (P&I Club)에서 고용한 Dronik Consultants Limits 가 '95. 10. 7~10. 21 간 1차 선체조사를 시행하고, 해양경찰서에서 한국기계연구원 선박해양공학연구센터의 기술진과 함께 1996년 10월 22일부터 1996년 11월 20일까지 2차 선체조사를 시행하였음. 그 결과 침선이 우현쪽으로 누워 있으며, 적어도 좌현쪽 화물탱크의 일부가 손상되어 기름이 유출되었거나, 유출되고 있다고 판단하였음. 또한 선저에 심한 손상의 흔적이 있었음

3.2 제3오성호에 대해서는 해양경찰청과 기계연구원에서 ROV와 해역특성 조사장비

등을 이용하여 사고 발생 초기인 4월 7일~30일 1997에 1차 선체 조사를 시행하고 5월 19~29일에 2차 선체조사를 시행하였음. Side Scan Sonar을 이용한 조사 결과 선체는 직립상태로서 선수가 약 330° 방향을 향하고 횡경사는 약 15° 가량 우현 경사된 것으로 확인되었음. 선미 우현측 외판은 좌초시 충격과 손상으로 심하게 굽은 흔적이 있으며, 선체 외판이 심하게 부식되고 선저부에도 좌초시 압초에 손상된 흔적을 발견하였음. 특히 오성호 침몰위치 부근은 어장, 양식장등이 산재한 환경민감지역으로써 가능한 빠른 시간내에 추가유출의 위험을 제거해야 한다는 결론을 내렸음

3.3 침선 해역의 특성

항 목 \ 침 선	제1유일호	제3오성호
해수온도(해저)	12°C ~ 15°C	12°C ~ 15°C
최대 유속(해면)	3Knots	3Knots
최대시정(해저)	1m 미만	3m 미만
저질(해저)	진흙	진흙

3.4 침몰선 잔존유의 특성

항 목 \ 침 선	제1유일호	제3오성호	비고
비중	15.4	22.8	API Gravity @ 60° F
유동점	5°C	6°C	
점도	393cst	105.4cst 1756cst	50°C일때 12°C일때

4. 작업조직 구성

4.1 각 분야별 작업 수행 전문기관 및 전체 작업수행 조직도

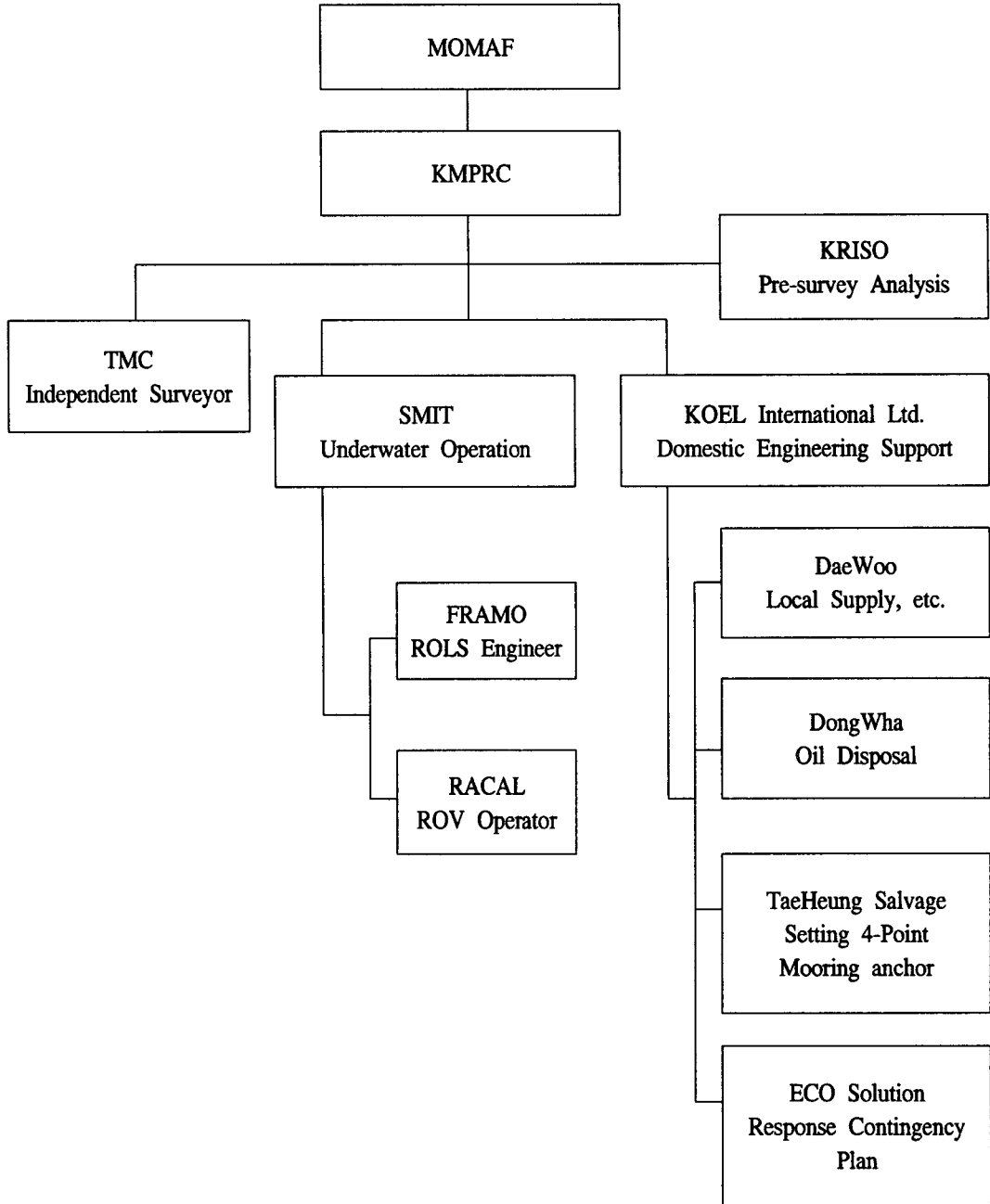


그림 4-1 조직도

4.2 침몰선 잔유제거 작업 현장 조직도

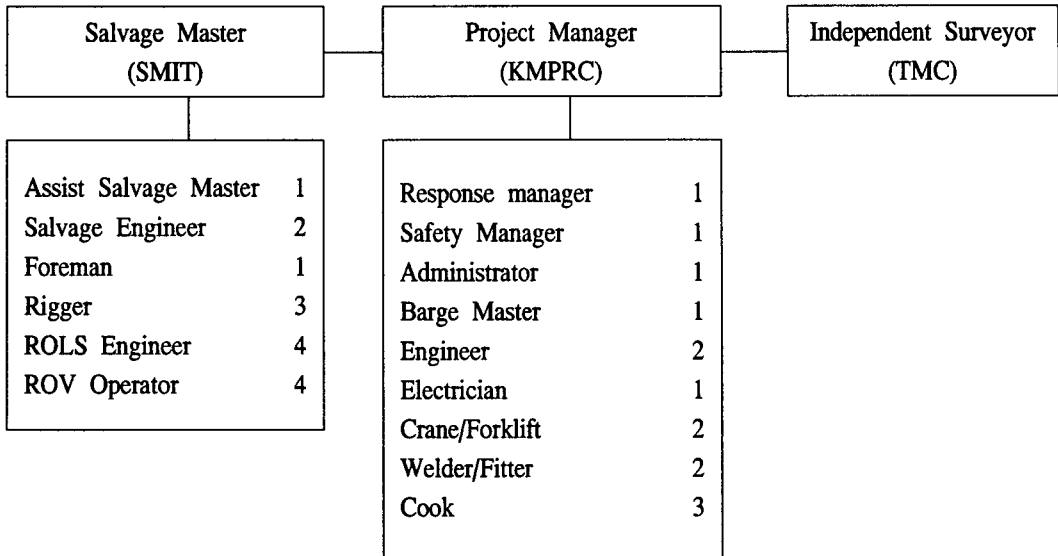


그림 4-2 현장 투입인력

5. 작업 방법

5.1 ROV

두 척의 침선이 수중 70m 깊이에 가라앉아 있기 때문에 Remotely Operated Vehicle(ROV)을 사용하였음. ROV는 Diver을 고용하는 것보다 비용이 절감, 인명 안전 및 하루 24시간 작업이 가능하다는 잇점이 있음

5.2 ROLS

잔유회수 장비로는 원심펌프가 장착되고 선체에 baseplate 부착작업이 가능한 Remote Off Loading System (ROLS)를 사용하였음. 동 장비는 에스토니아호로부터 연료유를 회수할 때 사용되었던 장비로서 6 인치 호스내에 예열라인이 포함되어 있어 잔유가 점도가 높은 기름이라도 예열시켜서 70m 해저로부터 해상작업선 위로 쉽게 회수될 수 있음

5.3 4점 묘박

ROV와 ROLS를 이용한 수중작업을 위하여 11,000 DWT급 평바지를 작업기지선으로 사용하였음. 동 바지를 해상에 고정시키기 위하여 4점 묘박법을 적용하였는 바, 다른 대안으로서 Dynamic Positioning (DP) 선박은 3개의 독립된 위치 유지 시스템이 장착되어 있으나, 임차료 및 유지비가 고가라는 단점을 가지고 있음. 작업해역의 강한 조류를 극복할 수 있는 안정된 4점 묘박법을 위해서 조류와 선수미 방향이 일치하도록 하고, 각 10톤주앵카와 5톤보조앵카를 설치하였음. 10톤앵카와 5톤앵카 사이는 100m 길이의 직경 46mm 와이어 로프를, 10톤앵카와 바지위 윈치 사이에는 직경 72mm 앵카체인 106m와 직경 46mm 와이어로프 200m를 연결하였으며, 작업중 앵카위치를 파악할 수 있도록 각 앵카에는 앵카부이를 연결하고, 와이어로프 끝단에 바지 윈치 와이어로프와 연결 가능하도록 부이를 설치하였음. 수중작업중 바지의 위치고정 및 조류 등에 따른 미세한 위치이동과 태풍 피항시 이묘작업 등의 용이성을 위하여 충분한 holding power을 갖는 무게의 앵카와 강한 조류에도 위치이동이 용이하도록 충분한 pulling power 및 holding power을 갖는 윈치를 설치하였음. 또한 바지의 위치를 감시하고 위치조정을 감지할 수 있는 해상항법시스템(surface navigation system)을 설치하고 4점묘와의 연결해체(unmooring) 및 재연결(remooring)을 위하여 앵카 와이어로프와 바지의 윈치에 감긴 와이어로프를 쉽게 연결 또는 해체 가능하도록 설계하였음

구분	항 목	특 성
앵카	무게	주앵카 10톤 + 보조앵카 5톤
	종류	Stockless Anchor
	배열	주앵카 + 보조앵카
	체인	72Ø 앵카체인 x 100미터
	와이어로프	46Ø 와이어로프 x 200미터
윈치	Pulling Power	30톤
	Holding Power	50톤 이상
	와이어로프 길이	800미터

[4점묘박관련 장비 명세]

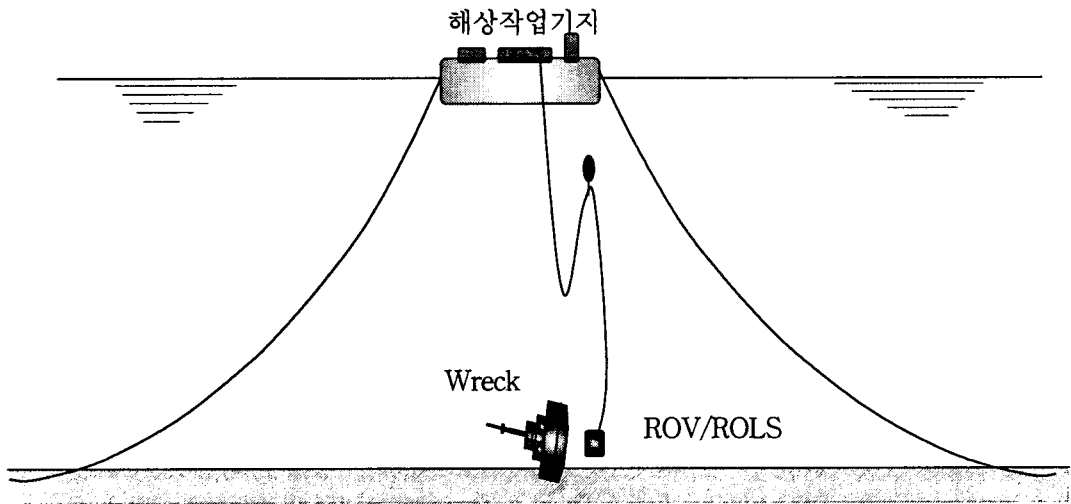


그림 5 작업 개념도

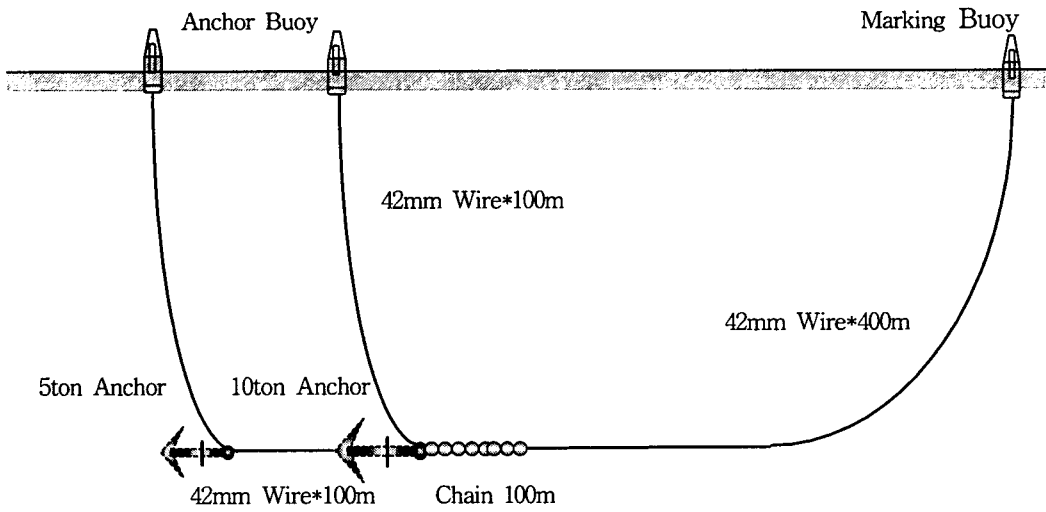


그림 5.3 투묘상태

5.4 해상항법시스템(Surface Navigation System)

4점 표박시 중요한 사항중 하나는 바지의 위치 이동을 항상 감시할 수 있는 시스템인 바, DGPS와 바지의 위치 이동을 컴퓨터 화면상에서 감지할 수 있는 해상항법시스템으로써 이 장비의 설치로 인하여 오차 범위 1m 이내에서 바지의 위치 이동을 감시할 수 있으며, 바지 위치 이동시 필수적인 장치이다. 이것은 GPS, Gyro & Minidom, Transponder와 ROV의 Sonardyne responder 데이터를 종합하여 사무실 컴퓨터에서 바지의 움직임을 감시하는 시스템임

5.5 회수유 이송계획

ROLS로부터 회수한 유성혼합물을 바지의 3, 4, 5번 중앙탱크에 적재후, 기상이 좋은 날 유조부선에 이적하여 육상 폐유처리업자에게 처리토록 하였음. 바지의 각 중앙탱크는 최대 2,000톤을 적재할수 있으므로, 최대 6,000톤의 유성혼합물을 임시 저장할 수 있음

5.6 방제대응 계획

작업도중 발생가능한 기름유출사고에 대비하여 유회수기 2 set 및 오일붐 등을 포함한 방제선 2척을 작업 현장에 24시간/일 배치하고, 비상사고시 해경과 함께 신속하게 방제장비가 동원되도록 준비하였음

6. 작업의 종료 결정

각 탱크의 잔유제거작업 종료 시점을 결정하기 위하여 다음의 단계를 설정하고, 독립 검정인의 판단에 따라 작업 종료증서를 발급하였음

- A. 침선에서 기름을 펌핑하는 동안 계약자는 잔유가 적절하게 펌핑될수 있는 온도로 유지하여야 한다.
- B. 에어쿠션을 탱크내부구조 아래에 주입시켜서 가능한 기름의 수위를 기름흡입구 있는 곳까지 낮춘다.

- C. 표면에서 50° C로 가열한 물을 12시간(또는 적합한 시간)동안 순환시키고 나서 펌핑하여 기름이 나오는지의 여부를 시험한다.
- D. 각 탱크는 12시간동안 Settling 시키고, 잔존유의 배출을 확인하면서 추가 펌핑을 시행한다.
- E. 필요시 단계 B, C와 D를 반복하면서 독립감정인이 합리적으로 기름이 유출되지 않을 것이라고 판단할때까지 펌핑작업을 지속한다.

7. 잔유회수작업

7.1 사전조사

ROV를 이용하여 조사한 선체 상태는 다음과 같음

침선 항목	제1유일호	제3오성호
침선위치	34° 54.972'N, 128° 58.446'E	34° 36.300'N, 128° 34.986'E
선수방향	240°	355°
침선상태	우현 약 84° 경사	좌현 약 3° 경사
손상부위	좌현 1번 화물탱크(파공) 우현 4번 화물탱크(파공) 슬롭탱크(굽힘) 운활유탱크(굽힘)	1번 우현 화물탱크(파공) 2번 우현 화물탱크(굽힘) 3번 우현 화물탱크(파공)

7.2 작업절차

ROV와 ROLS를 이용한 잔유제거작업의 작업 순서는 다음과 같음

- 1) ROV를 이용하여 선체에 baseplate 부착위치 선정
- 2) ROV를 이용하여 부착위치 청소

- 3) 부착위치 표시
- 4) 침선 선체에 ROLS + Inlet(Extract) baseplate 부착
- 5) Inlet baseplate 선체에 고정 4개의 볼트 고정
- 6) ROLS의 절삭기(Milling head)를 이용한 inlet hole 천공
- 7) 기름회수
- 8) 세척작업

7.3 특기사항

7.3.1 제1유일호는 우현으로 전복된 상태로써 우현 화물탱크내의 잔존유회수시에는 동 선박이 single bottom tank인 점을 고려, 우현측 선저에 baseplate를 부착하여 잔유회수작업을 시행하였음

7.3.2 제3오성호는 화물탱크가 주갑판(Main Deck)상부의 Trunk Deck까지 이어져 있어 Trunk deck내의 있을지 모르는 잔존유의 회수작업을 위하여 특별히 고안된 Needle extraction system을 적용하였으며, 이를 위해서 ROLS를 개조하였음. Needle Extraction System이란 ROLS 내부의 펌프와 절삭기계(Milling Machine)를 제거하고 그 안에 U자형 파이프(75mm x 65mm x 6500mm)를 사용하여 Trunk Deck내의 잔유를 제거하는 시스템임

그림 7.3.2 참조

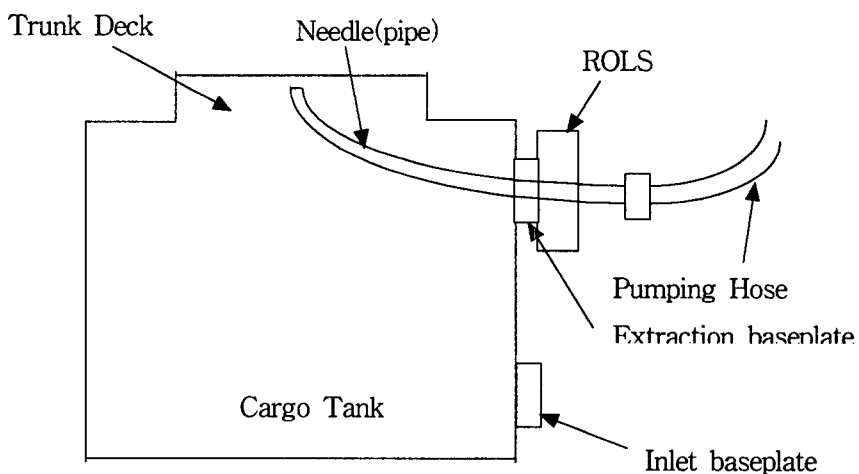


그림7.3.2 Needle Extraction System

8. 방해요소

8.1 조류

두 침선이 있는 해역에는 해상표면에 최대 3노트의 강조류가 흐르고 있어 ROV 및 ROLS를 해상투입(Launching) 및 조종하는데 매우 힘들었으며, 정조(Slack water)를 기다려 작업을 함으로서 작업시간에 제약을 받았음. 또한, 해저의 조류는 해상 표면의 조류 방향과 동일하지 않은 상태에서 최대 2Knot의 유속을 보여 ROV 및 ROLS의 조종이 용이하지 않았으며, 24시간 유속을 확인하여 정조시에만 작업을 시행함으로써 작업기간이 지연되었음

8.2 시정

작업해역의 시정상태가 불규칙적으로 변화하고, 최대시정이 불과 0.5~1M로 제한되어 ROV 및 ROLS의 조종이 매우 힘들었으며, 이로 인하여 작업기간이 지연되었음

8.3 태풍

제3오성호 작업중에만 6호태풍 TODD, 9호태풍 YANNY, 10호태풍 ZEB등 3차례의 태풍이 작업해역에 큰 영향을 미치는 등 기상특보로 인하여 2척의 잔유제거작업 수행중에 작업기지선인 바지가 4차례의 피항을 하여야만 하였음

8.4 부유물

태풍이 지나간 후 또는 폭풍주의보가 해제되어 작업이 재개될 때마다 침선 선체에 어망(Fishing Net), 페로프, 어구등이 얽혀 있어 ROV 및 ROLS 작업에 위험을 주었으며, ROV, 추진기(Truster)등이 이들 부유물로 인하여 손상을 입는 경우도 몇차례 있었던 바, ROV를 사용하여 이들 부유물을 제거하는 작업을 시행하였음

9. 작업결과

9.1 제1유일호

1차례의 소량 기름유출사고가 있었으나 작업해역에 대기중이던 해경 및 조합의 방제선을 이용하여, 효과적인 방제작업을 시행함으로써 피해는 발생하지 않았으며, 1998. 6. 25~8.

29(66일간)동안의 작업으로 각 탱크내에 잔존유의 대부분을 회수하는데 성공하였음

[표 9.1] 각 탱크별 잔존유 회수량(유수분리후 측정)

(Unit : M/T)

Item \ Tank	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		F.O		Slop	계
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S		
Loaded Cargo	305	305	400	400	380	380	350	350	미상	미상	미상	2,870
Recovered quantity	NIL	52	159.2	280	NIL	NIL	NIL	173.6	NIL	NIL	NIL	664.8

9.2 제3오성호

기름유출사고 없이 1998. 9. 1~11. 8(69일간)동안에 각 탱크내 잔존유의 대부분을 성공적으로 회수하였음

회수된 기름의 양이 20톤 정도이며, 좌초 및 침몰시 선체 손상이 심하여 사고당시 대부분의 기름이 유출되었다고 추정됨

[표 9.2] 각 탱크별 잔존유 회수량

(Unit : M/T)

Item \ Tank	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		F.O		계
	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	
Loaded Cargo	195.2	194.9	199.6	199.5	195.4	194.3	217.3	217.9	미상	미상	1,614.1
Recovered quantity	4	NIL	NIL	NIL	16	NIL	NIL	NIL	NIL	NIL	20

9.3 소요비용

두척의 침선으로부터 잔존유를 제거하기 위하여 소요된 총 비용은 12,970백만원으로서 작업기간, 장비, 투입인력에 비하여 비교적 적은비용으로써 작업을 성공적으로 종료하였음