

# 국내 침몰유조선 잔존유 회수작업의 합리적 종료절차 제안

강광구\* · 심유태\*\* · † 강신영

\*, \*\* 해양환경관리공단, † 한국해양대학교 교수

## A Proposition on Reasonable Termination Procedure in Remaining-oil Recovery Work from a Sunken Tanker in Korean Territory

*Kwang-Gu Kang\* · Yoo-Taek Shim\*\* · † Sin-Young Kang*

*\*,\*\* Korea Marine Environment Management Corporation, Seoul 135-870, Korea*

*† Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea*

**요 약** : 선박 침몰사고 중 유조선이 침몰한 경우에는 일반적으로 대형 유류오염사고를 예방하기 위해 잔존유를 회수해야만 한다. 그러나 수중작업의 특성상 이러한 잔존유 회수작업 완료 후 육안으로 완료 상태를 확인하기 곤란하므로 합리적인 회수작업 종료절차 수립이 매우 중요하다. 본 연구에서는 국내에서 실제 이루어진 두 차례의 잔존유 회수작업 사례(제1유일호 및 제3오성호, 경신호)의 서로 다른 회수방법에 따른 작업종료 절차의 상호 비교분석을 통해 합리적 작업종료 절차를 제안하였다. 구체적으로 과거 적용된 방법 및 기술을 조사하여, 작업의 신속성, 안전성, 경제성 등 다양한 각도에서 상호 비교분석을 하였다. 본 연구에서 제안한 잔존유 회수작업 종료절차는 화물유 탱크별 잔존유 회수 및 세척작업 진행 중 독립검정사가 만족할만한 수준에서 화물유 탱크별 선체 최상단부분의 잔존유 유무를 막대로 확인하고, 선체 최상단부 또는 해치를 개방하는 순서로 단계별로 구분되어 진행된다. 또한, 각 단계별 진행과정은 발주자, 작업수행자, 독립검정사 상호간 협의에 따라 탄력적 적용이 가능토록 설계되었다.

**핵심용어** : 침몰유조선, 잔존유 회수, 수중작업, 잔존유 회수방법, 종료절차

**Abstract** : In case of sunken tankers, remaining-oil recovery operation should be conducted due to possible oil spill accident. However, the deep sea operation make difficulties in checking the completion of remaining oil recovery process, therefore the work termination procedure is very important. In this paper, a reasonable work termination procedure through the comparison and analysis of two cases(Youil No.1 and Osung No.3, Kyung-Shin) which were performed in different method, using disparate equipment. By investigating previously applied methods and techniques, work speed, safety and expenses were compared. The proposed ending procedure of the remaining-oil recovery project is to recover the remaining oil from each cargo tanks and to clean up such tanks whilst an independent surveyor proceeds to a confirmation procedure whereby said surveyor checks out whether any remaining oil exists by putting a stick in each cleaned up tanks and opening up the hatch cover of the tanks or the top place of the tanks to confirm the cleanness of oil. Such procedure shall be done through discussion by the ordering party, contractor and the independent surveyor all together with a flexible application.

**Key words** : sunken tanker, remaining-oil recovery work, underwater work, oil recovery work method, termination procedure

### 1. 서론

2012년 말 기준 국내에 입·출항 하는 선박은 약 197,000척이며 이 중 원유를 운반하는 선박은 약 3,000척이다. 또한, 석유제품을 운반하는 선박도 약 40,000척으로 국내에 연간 입출항하는 선박 중 유조선의 비율은 약 22%에 달한다(KOSIS, 2007). 국내 여러 지역의 항만에서는 지금도 하루 평균 약 120여척의 유조선이 계속해서 입출항하고 있으며, 이 유조선들은 항해 부주의, 돌발상황 발생 등의 특정사유로 인해 언제든지

좌초되거나 침몰될 수도 있다.

1992년 국제해사기구에서는 1989년 알래스카 연안 1600km를 기름으로 오염시킨 엑슨 발데즈호 유류오염사고를 계기로 MALPOL 협약을 개정, 1993년 7월 이후 건조되는 5000kℓ급 이상의 모든 유조선의 이중선체를 의무화하도록 했다(IMO, 1994). 1993년 MALPOL 협약이 발효됨과 동시에 이중선체로 건조된 유조선이 좌초하거나 침몰하게 되는 경우 선체가 쉽게 파공되지 않을 가능성이 높아짐에 따라 화물유 탱크 내 저장된 기름이 해상으로 유출되지 않은 채로 온전히 심해로 침몰

\* 일반회원, koemkang@gmail.com 02)3498-8533

\*\* 일반회원, ytshim@koem.or.kr 051)400-7701

† Corresponding author : 종신회원, sykang@kmou.ac.kr 051)410-4323

(주) 이 논문은 “심해 침몰유조선 잔존유 회수작업 종료절차에 대한 합리적 증대방안”이라는 제목으로 “2013 한국항해항만학회 추계 학술대회(한국해양수산연수원, 2013.10.23.-25, pp. 29-31)”에 발표되었음.

할 가능성도 높아졌다.

기술적·경제적 측면에서 합리적 작업종료 절차의 표준화 과정은 매우 중요한 의미를 가질 수 있다. 왜냐하면, 기술적 측면에서는 통상적으로 국외 대형 구난업체가 작업주체이므로 국내 정서와 맞지 않는 부분이 있다. 예를 들면, 신뢰를 기반으로 독립된 검정인의 작업종료 선언만으로 모든 작업이 종료되는 국외 작업사례에서의 일반적 작업종료 기준은 가급적 작업종료 상태를 물리적으로 확인하고자 하는 국내 정서에는 맞지 않을 수 있다. 하지만 수중작업이라는 특성상 잔존유의 완전한 제거를 직접 눈으로 확인하는 것은 매우 곤란하다.

또한, 이와 맞물려 자칫 작업이 지연되어 선단 및 장비 유지만으로도 하루 평균 약 2~3억원이 소요될 수 있는 침몰선 잔존유 회수작업은 매순간의 신속한 의사결정이 작업과정에서 경제적으로도 매우 중요한 부분을 차지한다. 따라서 발주자와 작업수행자간 상호 납득할만한 합리적 수준의 작업종료 절차에 대한 사전 정립은 매우 중요한 의미를 가지고 있다.

이에 따라 국내에서 이루어진 두 차례의 침몰유조선 내 잔존유 회수작업에 대한 작업 진행과정 및 종료절차의 비교를 통해 합리적인 잔존유 회수작업에 대한 종료절차를 도출해 제안하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

전 세계 여러 지역에서 침몰하는 유조선 내 잔존유 회수작업의 절차 및 기술을 글로벌 구난업체마다 작업여건 및 환경적 요인에 맞게 조금씩 상이하게 적용하고 있지만 KMPRC(1998)와 KOEM(2011a)의 보고서를 종합하면 일반적으로 적용되는 잔존유 회수작업의 진행절차는 다음과 같은 5단계로 정리할 수 있다(Fig. 1).

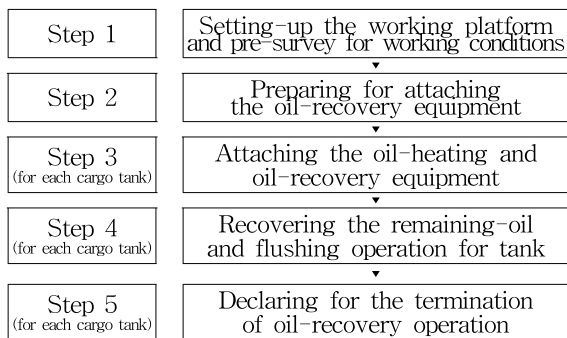


Fig. 1 General procedure for remaining-oil recovery work from a sunken tanker

과거에도 국내의 작업사례를 바탕으로 우리나라에서 적용하기에 적합한 침몰선 잔존유 회수방법에 대한 선행연구(Shim, 2004)가 이루어진 바 있다. 이 선행 연구에서는 회수방법 및 적용기술에 대한 연구도 일부 포함되어 있었으나 연구의 핵심은 침몰선 내 잔존유를 위해요소로 간주하고 ‘유출유

봉쇄, 잔존유 회수, 침몰선 인양’이라는 3가지 잔존유 제거방안에 대한 의사결정 과정이었다. 이 중 잔존유 회수로 잔존유 제거방안이 결정되었을 경우 본 논문에서 제안하는 침몰선 잔존유 회수작업의 합리적 종료절차를 적용할 수 있을 것이다.

### 2.1 해상기지선 설치 및 작업여건 조사

우선 잔존유 회수작업 진행을 위해 각종 필요장비 및 작업인력을 탑재한 해상기지선(working platform)이 유조선 침몰지점 해상 상단에 설치된다. 해상기지선은 해상에서의 위치고정 능력이 매우 중요하므로 보통 묘박을 통해 위치를 고정시키는 바지선 또는 묘박 없이 위치고정이 가능한 DP선박이 주로 사용된다. 해상기지선의 설치가 성공적으로 완료되면 사전 계획된 잠수사 또는 ROV(Remotely-Operated Vehicle)를 해저로 투입시켜 침몰유조선 주변 작업여건 및 주변 환경을 조사하게 되며, 필요시 선체 침몰상태 등을 감안하여 화물유 탱크별 선체 내 잔존유 유무를 파악하게 된다(Choi et al., 2003).

### 2.2 잔존유 회수장비 장착 사전 준비작업

잔존유가 확인된 화물유 탱크별 잔존유 회수작업을 본격적으로 진행되기 위해 우선 탱크 표면에 잔존유 회수 관련장비 장착을 위한 천공위치를 표시하게 된다. 이 작업이 진행되는 도중 폐그물, 어망 등의 장애물 등으로 인해 정상적인 작업이 곤란하다고 판단되면 반드시 장애물이 사전에 제거되어야만 한다. 이후 사전에 표시된 천공위치에 천공작업을 실시하고 해상기지선과 연결된 유회수용 호스 등의 잔존유 회수 주요장비를 선체표면에 장착하게 된다.

### 2.3 해수 유입구 및 탱크 가열장비 장착

잔존유 회수에 필요한 주요장비의 장착이 완료되고 나면 회수작업 진행 전 반드시 고려되어야 하는 사항이 있다. 바로 잔존유 가열시 부피팽창으로 인한 탱크내부 압력 유지와 저온 현상으로 인해 고형화 된 잔존유의 유동성 확보이다. 화물유 탱크 내 일정한 압력유지를 위해서는 선체하단에 해수유입구(inlet valve)를 설치하거나 또는 갑판 상단에 화물유 탱크 내부 바닥의 해수부분까지 연결된 통수관을 설치하는 것이 보통이다. 그리고, 심해 저온으로 인해 점도가 높아져 현저히 떨어진 잔존유의 유동성은 일반적으로 탱크 내부에 Hot tap 공법 등을 활용해 화물유 탱크를 천공 후 고온의 스팀라인을 모아 제작되는 가열봉을 삽입하는 방식으로 펌핑 가능한 점도를 확보하게 된다(IMO, 2010).

### 2.4 잔존유 회수 및 탱크 세척작업

이렇게 1개의 화물유 탱크에 대한 천공작업 후 주요장비 장착, 해수유입구 또는 통수관 설치 등의 잔존유 회수를 위한 준비작업이 완료되면 본격적인 회수작업을 시작하게 된다. 화물유 탱크와 해상기지선간 연결된 유회수용 호스를 통해 일정한

펌핑(pumping) 압력을 유지하며 잔존유를 회수하게 되며, 이러한 회수작업은 일정시점이 지나면 기름과 해수가 섞여 나오는 현상이 발생된다. 이 때 잔존유 회수작업은 잠시 중단되며 해상 기지선의 고온수를 탱크 내 주입하여 순환시키는 방법 등을 사용하여 탱크 내부벽면 등에 부착된 잔존유를 세척하게 된다.

### 2.5 잔존유 회수작업 종료 선언

화물유 탱크별 내부 잔존유 회수가 가능한 범위 내에서 전량 회수되었다고 판단되는 시점에 발주자와 작업수행자간 사전 합의된 종료기준 및 절차를 적용하여 작업진행 결과를 확인 후 해당 화물유 탱크에 대한 작업의 종료가 선언된다. 하지만 모든 침몰유조선 잔존유 회수작업은 침몰선의 상태 등 수중 작업여건을 직접 확인하기 전까지는 구체적 작업 종료기준 및 절차를 상호 합의하기가 매우 곤란하다. 따라서, 일반적으로 국외 잔존유 회수작업에서 통용되는 방식인 제3의 독립검정사를 활용하는 방식이 주로 사용되지만, 이는 독립검정사의 경험과 판단력에 전적으로 의지해야만 한다.

## 3. 국내 침몰유조선 잔존유 회수작업 사례 비교분석

화물유 탱크에 기름을 적재한 채 해저로 침몰한 유조선의 잔존유 회수방법 및 기술은 선종 및 작업환경에 따라 다양한 형태로 계획되어 현장에 맞게 적용되고 있다. 이를 작업주체를 기준으로 크게 두 분류로 나누면 ROV를 활용한 잔존유 회수방법과 잠수사를 활용한 회수방법으로 구분된다. 이 두 가지 잔존유 회수 작업기법은 각각의 장단점을 가지고 있으며, 공교롭게도 국내에서 실시된 유일한 두 차례의 70m 이상 심해에 침몰한 유조선 내 잔존유 회수작업이 이 두 가지 방법이 각각 적용되어 이루어졌다. 이에 따라 본 연구에서는 이 두 작업사례에 각각 적용된 잔존유 회수작업별 진행된 작업 종료절차를 비교분석해 보았다.

### 3.1 제1유일호 및 제3오성호 잔존유 회수작업 개요

1998년에 거제도 주변에서 이루어진 침몰유조선 제1유일호와 제3오성호 잔존유 회수작업은 ROV와 ROLS(Remotely Operated Lightening System)라는 무인 잔존유 회수장비를 통해 진행되었다(KMPRC, 1988). 작업방법 및 진행절차의 개요는 다음과 같다.

우선, 해상기지선이 잔존유 회수작업 대상 침몰유조선 상단 해상에 설치가 완료된 후 ROV를 투입하여 트랜스폰더(transponder)가 선박 주변에 설치되었다. 트랜스폰더는 침몰유조선 주변에 설치되어 ROV 투하시 트랜스폰더에서 발생하는 무선전파를 통해 침몰유조선 및 ROV의 위치 확인을 용이하게 해주는 장치이다. 트랜스폰더 설치작업이 완료되고 나면 곧바로 다시 ROV를 투입하여 원활한 작업 진행을 위한 침몰유조선 선체 주변의 장애물을 파악·제거하고 선체의 위치 및

침몰상태를 확인하였다.

이후 ROV를 활용하여 본격적인 잔존유 회수작업을 진행시키기 위해 ROV가 천공 후 유회수용 호스를 연결시킬 위치에 직접 마킹(marking)을 실시 후 ROV를 활용해 ROLS를 마킹된 위치에 밀착시키고 유회수용 호스 연결을 위한 베이스플레이트를 선체에 부착하였다. 베이스플레이트 부착이 완료되면 ROLS를 작동시켜 천공작업을 실시하였고, 천공작업이 완료된 후 해상기지선과 연결된 유회수용 호스를 통해 선체 내 잔존유를 회수하였다. 이 작업을 진행함에 있어 회수작업 중 탱크 내부가 진공상태가 되는 것을 막기 위해 Fig. 2와 같이 사진에 해수 유입구를 탱크 하단부분에 미리 만들어 놓았다(Frank Mohn Flatoy AS Oil & Gas Division, 2003).

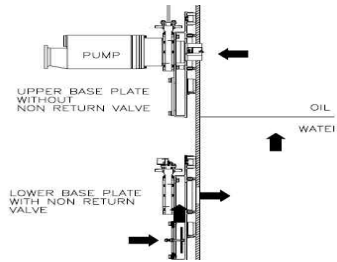


Fig. 2 The conceptual diagram for setting-up base plate on oil storage tank surface

또한, 주변의 낮은 수온으로 인하여 점성이 높아진 경우 유회수구 주변에 오히려 가열된 기름을 주입하여 유회수구 주변 잔존유의 점도를 낮추었으며, 유회수용 호스 내부에 얇은 관을 삽입하여 스팀(steam)을 통과시켜 고점도 잔존유로 인한 호스 압착을 예방하였다(Fig. 3).

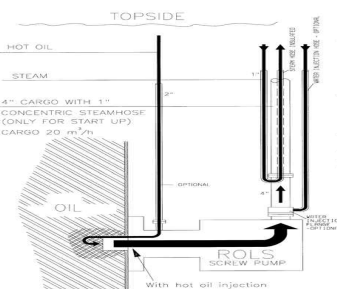


Fig. 3 The conceptual diagram for heating-up remaining-oil inside of tank by ROLS

1개의 화물유 탱크 상단에 부착된 ROLS를 통해 잔존유 회수작업이 안정적으로 진행되기 시작하면 ROV는 또 다른 화물유 탱크로 이동해 동일한 방법으로 ROLS 부착을 위한 또 다른 천공위치를 선정하고 마킹작업을 다시 시작하게 된다.

앞서 ROLS가 설치된 화물유 탱크 내 잔존유 회수가 거의 완료되어 기름이 아닌 해수가 다량 섞여 회수되기 시작하면 해상기지선에서 미리 가열된 고온수로 해당 화물유 탱크 세척작업을 실시하였다. 이 작업의 목적은 탱크 벽면과 구석부분에 부착된 잔존유를 탈착시키기 위한 작업으로, 작업 실시 후

에는 기름이 화물유 탱크 내 해수와 분리될 수 있도록 일정한 시간동안 대기하게 된다. 일정시간 대기 후 기름과 해수가 충분히 분리되었다고 판단되는 시점에 분리된 잔존유에 대한 회수작업을 다시 시작하며, 이러한 작업을 몇 차례 반복하면서 해당 화물유 탱크에 대한 잔존유 회수작업이 마무리 되었다.

### 3.2 경신호 잔존유 회수작업 개요

경신호에 적용된 잔존유 회수방법(KOEM, 2011b)과 제1유일호 및 제3오성호 잔존유 회수방법의 가장 큰 차이점은 수중작업 전 과정을 ROV가 아닌 잠수사를 활용하여 진행했다는 점이다. 또, 잔존유의 고점도 특성을 사전에 파악하여 화물유 탱크 내부 가열작업의 중요성을 인식하고 탱크 내부를 1, 2차에 걸쳐 폐쇄회로 형태로 재가열하는 원리의 획기적 가열공법을 적용시켰다는 점이 다르다.

경신호에 적용된 회수방법 및 절차는 우선 제1유일호 및 제3오성호 작업에서와 같이 침몰유조선 상단 해상에 해상기지선을 설치하고, 잠수사를 투입하여 선체 및 주변에 트랜스폰더를 설치하였다. 이 작업이 완료되고 나면 곧바로 잠수사를 다시 투입하여 침몰유조선의 주변을 살핀 후 선체 상단부 각종 장애물 및 뿔의 제거작업을 실시하였다. 잔존유 회수장비 설치가 가능해진 갑판 최상단 부위에 1단계 가열장비(히터) 장착을 위해 베이스플레이트 부착하고 천공작업이 실시되었다. 이후 갑판 최하단 부위에 2단계 가열장비 장착을 위한 베이스플레이트를 부착하고 다시 천공작업을 실시하였다. 또한, 갑판 상단 1단계 히터가 설치된 반대편 지점에 화물유 탱크 내부 최 하단부의 해수와 연결되는 관(통수관)을 설치하여 잔존유 가열시 잔존유의 부피가 팽창하여 발생할 수 있는 탱크 내 압력증가를 사전에 예방하였다.

이렇게 잔존유 가열 및 회수장비의 장착을 위한 모든 사전준비 작업이 완료되고 나면 우선 1단계 히터를 해상기지선으로부터 하강시켜 갑판 최상단 부위에 설치하였고, 2단계 가열장비가 장착된 스킴드를 선체 옆 해저면에 안착시켰다. 이후 1, 2단계 가열장비를 침몰유조선 선체상단에 부착된 2개의 베이스플레이트와 연결시켰다(Fig. 4).

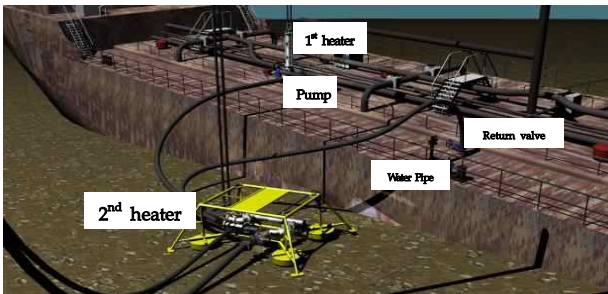


Fig. 4 The conceptual diagram for setting-up remaining-oil recovery equipment on Kyung-Shin

그래서 침몰유조선 선체와 해상기지선간 연결된 모든 잔존유 회수장비의 장착이 완료되고 나면 해상기지선 상단에서 1

단계 히터를 작동시켜 1단계 가열장비를 통해 가열된 잔존유를 2단계 히터로 이송하고, 2단계 히터로 이송된 잔존유는 다시 한 번 가열코일을 지나가며 재차 가열되었다. 두 차례에 걸쳐 가열된 잔존유는 리턴밸브를 통해 다시 탱크 내부로 주입되었다. 이러한 폐쇄회로 형태를 잔존유로 순환 가열하는 잔존유 가열장비를 활용하여 화물유 탱크 내 잔존유의 높은 점도를 전체적으로 낮추어 회수작업에 필요한 유동성을 충분히 확보하였다.

이러한 방법으로 회수대상 화물유 탱크 내부를 계속해서 재순환 가열을 실시하며 일정시간이 경과하면 어느 순간 2단계 가열장비를 통과하는 잔존유의 온도가 60℃ 이상까지 올라가게 된다. 이 때 2단계 히터에서 해상기지선으로 연결된 유회수용 호스를 서서히 개방하게 되면 60℃까지 가열되어 유동성이 충분히 확보된 잔존유는 해상기지선 상단 유수분리탱크로 신속히 이송된다.

회수된 잔존유는 해상기지선 상단에 설치된 Cascading 방식으로 제작된 유수분리탱크에 저장되었다. Cascading 방식으로 설계된 유수분리탱크는 기름과 물을 분리시킨 후 기름은 기름저장용 탱크로 이송되었으며, 기름이 섞인 오염된 해수는 탱크 바닥면에 가열코일이 설치된 별도의 저장탱크로 분리되어 회수작업의 마지막 단계인 세척작업에 활용되었다.

화물유 탱크 내 잔존유 회수가 거의 완료되면 우선 탱크 내부의 해수를 활용하여 재순환 가열을 다시 실시하였고, 탱크 내 물과 기름이 분리되도록 일정시간 대기시킨 후 다시 회수작업을 재개하였다. 또 다시 해수가 발견되면 앞서 설명한 유수분리탱크 내 분리 저장된 오염된 해수를 60℃까지 가열하여 화물유 탱크 내부를 세척하였다. 세척작업 후 물과 기름이 분리되도록 일정시간 놓아두었다가 다시 회수작업을 반복 개시하게 된다. 두 차례의 이런 세척작업을 마지막으로 해당 탱크의 잔존유 회수작업은 마무리되었다.

### 3.3 두 작업사례의 작업 종료절차 비교

제1유일호 및 제3오성호의 경우 앞서 말한 바와 같이 글로벌 구난업계에서 일반적으로 통용되는 작업종료 절차를 적용하였다(KMPRC, 1988). 이는 발주자와 작업수행자로부터 완전히 독립된 제3의 독립검정사의 판단에 의해 화물유 탱크별 잔존유 회수작업이 진행되고 종료된다. 여기에는 제3의 독립검정사가 작업을 진행함에 있어 발주자와 작업수행자 양측 어느 쪽에도 구속되지 않고 독립성과 상황판단의 자율성이 보장되어야만 한다는 전제조건이 필요하다. 제1유일호 및 제3오성호의 경우에도 제3의 독립검정사가 회수작업의 완료여부를 판단하고 종료를 선언하였다. Fig. 5에 진행 절차가 도시되어 있다. 당시 이런 독립검정사를 활용한 잔존유 회수작업 종료절차는 발주자와 작업수행자 상호간 신뢰를 기반으로 한 종료절차로써 국내 정서에는 다소 익숙하지 않은 방식이었다. 왜냐하면 발주자가 원하는 수준까지 작업이 완료되었는지에 대한 직접적인 확인이 불가하였으며, 작업 종료에 대한 모든 판

단을 전적으로 독립검정사에게만 의존해야 했기 때문이다.

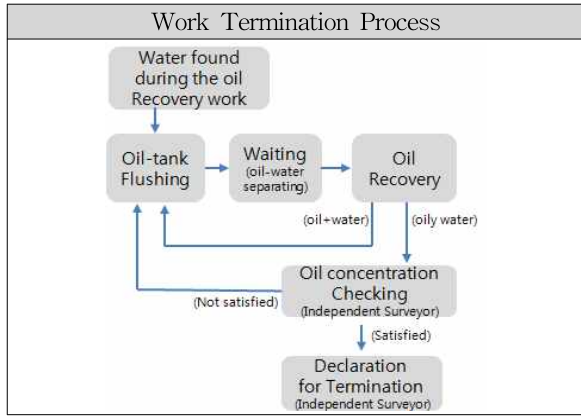


Fig. 5 The termination procedure for remaining-oil recovery work on M/T Youil No. 1 and M/T Osung No. 3

반면, 경신호 작업사례의 경우에는 발주자와 작업수행자 상호간의 합의에 의해 작업 종료절차가 수립되어(KOEM, 2011b), 이 절차에 따라 발주자 및 작업수행자 상호간 합의에 의하여 작업 종료가 결정되었다. 이 종료절차는 화물유 탱크별 완전한 작업종료를 확인하기 위해 탱크내부 세척 후 회수되는 유성혼합물 농도를 우선 확인하고, 선체측면 최상단 부분을 천공 후 막대로 재확인하며, 마지막으로 해치덮개를 개방하여 탱크 내 잔존유가 전량이 모두 회수되었다는 사실을 발주자와 작업수행자 상호간 잠수사의 헤드카메라를 통해 최종 확인 과정을 거친다. Fig. 6에 실제 경신호 작업 중 확인하는 장면들이 나와 있다.



Fig. 6 The pictures of checking the recovery work termination on M/T Kyung-Shin

작업 종료절차와 관련된 작업의 완결성을 평가하기 위해 앞서 설명한 두 작업사례의 화물유 탱크별 작업종료 기준 및 방법에 대해 비교해보면, 우선 제1유일호 및 제3오성호의 경우 작업수행 주체가 ROV라는 이유로 제3의 독립검정사를 선정하여 작업 종료절차를 정하고 이를 토대로 발주자와 작업수행자로부터 완전히 독립되어 합리적인 수준에서 종료를 선언하는 방식으로 작업이 완료된 반면, 경신호의 경우 작업수행 주체가 로봇이 아닌 잠수사로서 발주자와 작업수행자간 합의를 통해 결정된 3단계에 걸친 물리적 확인방법이 적용되었다. Fig. 7에 진행 절차가 간략하게 도시되어 있다. 물론, 독립검정사에 의한 정성적 판단에 의한 작업종료를 확인한 제1유일호 및 제3오성호 작업사례보다는 물리적이고 직접적인 확인절차가 적용된 경신호 작업사례가 작업의 완결성 측면에서는 월등하다고 볼 수 있다.

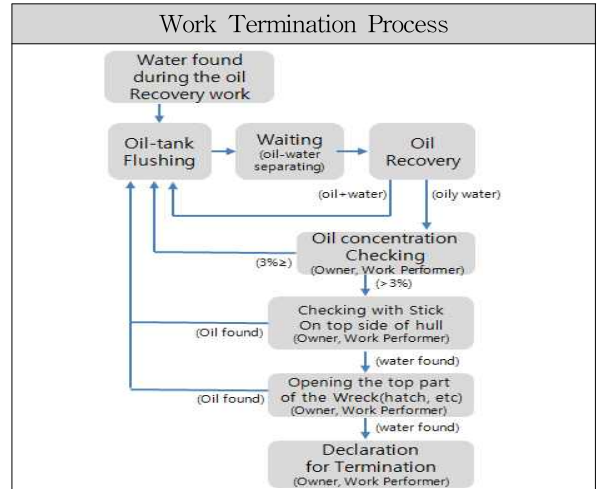


Fig. 7 Termination procedure for remaining-oil recovery work on M/T Kyung-Shin

하지만, 이러한 수중에서의 잔존유 회수작업에 대한 물리적 확인은 작업현장 상황에 따라서는 ROV로도 시도할 수 있다는 가능성을 완전히 배제할 수 없으므로 발주자의 확인 요구 수준 및 작업수행자, 독립검정사의 기술적·상황적 판단을 충분히 고려할 때 경신호 작업사례 종료 확인절차를 단계별로 적용할 수 있는 탄력적인 작업종료 절차가 필요할 것으로 사료된다.

두 작업사례에 적용된 잔존유 회수작업 종료절차에 대한 장단점은 Table 1과 같다.

Table 1 Comparing features for work termination procedure applied to two cases

	M/T Youil No.1 & M/T Osung No.3	M/T Kyung-Shin
System employed	ROLS (Remotely Oil Lightering system)	DOLS (Diving Oil Lightering system)
Checking way	Qualitative Judgment	Direct Confirmation
Declaration for work termination	by Independent Surveyor	by Owner & Work Performer
Features	Fast work progress Apply to both (ROV & Diving) Uncertainty for the tank condition empty	Direct confirmation for tank empty High satisfaction of Project owner Apply to only diver

### 3. 국내 침몰유조선 잔존유 회수작업에 대한 합리적 종료절차 제안

향후 국내 침몰유조선 잔존유 회수작업에는 작업의 완결성을 비롯한 여러 측면을 고려할 때 경신호 작업사례에 실제 적용된 작업종료 절차를 절차적용의 탄력성 측면을 고려하여 일부 보완한 Fig. 8에 도시된 절차를 따를 것을 제안한다. 다만, 침몰유조선의 침몰상태, 작업주체에 따른 적용한계, 발주자의 요구수준에 따라 경신호 작업사례에 적용된 작업종료 절차가 적용이 불가능하거나 불필요한 경우가 발생할 수 있으므로,



발주자, 작업수행자, 독립검정사가 상호 합의를 통해 현장에서 단계별 작업종료 검증절차 진행여부를 상황에 따라 탄력적으로 결정하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

## 5. 결 언

본 논문에서 제안한 국내 침몰유조선 잔존유 회수작업시 합리적 종료절차에 대한 내용은 국내에서 실제 이루어진 두 차례의 침몰유조선 잔존유 회수작업에 적용된 절차를 상호 보완한 것이다. 향후 이 절차가 조업 및 항로에 방해가 되거나 자칫 추가유출로 인한 대형 오염사고를 유발할 수 있는 위험한 상태의 심해 침몰유조선 내 잔존유를 제거하는 작업이 신속하게 추진되는데 기여하고, 국내 유조선 침몰사고별 탄력적 적용이 가능한 작업종료 절차의 표준으로 활용되기를 기대해 본다. 하지만, 다소 수중작업과 관련된 기술적인 부분에 초점이 맞춰져 있으므로 향후 정책적인 부분에 초점을 맞춰 전문가 추가검토 및 협의가 필요할 것으로 사료된다.

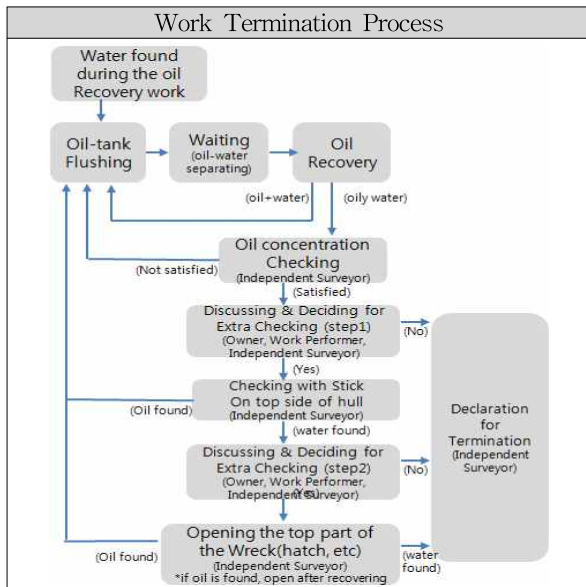


Fig. 8 The procedure for standard termination procedure of remaining-oil recovery work from a sunken vessel in Korea

본 연구를 통해 설계된 국내 침몰선 잔존유 회수작업 종료절차는 우선 앞서 설명한 국내에서 이루어진 두 차례의 잔존유 회수작업에 활용된 기술을 활용하여 잔존유를 회수하던 중 해수가 발견된 순간부터 적용된다. 일단 회수되는 유성혼합물의 대부분이 해수로 확인되는 경우 세척작업을 진행하게 되며, 이러한 세척작업은 독립검정사가 만족할만한 수준까지 계속 이루어지게 된다. 1단계 작업종료 확인절차인 유성혼합물에 포함된 기름농도를 확인하여 독립검정사가 다음단계의 작업종료 확인절차 진행이 적합하다고 판단되면 독립검정사는 발주자와 작업수행자간 작업여건 및 주변환경, 발주자의 요구사항, 작업수행자의 진행 가능성 여부를 종합하여 상호 협의한 후 다음 단계의 종료확인 절차인 선체 최상단부의 잔존유 유무 확인단계로 진행된다. 만약, 협의결과 다음단계로의 진행이 불가하거나 불필요하다고 상호 협의, 판단되는 경우 곧바로 작업종료를 선언하게 된다. 2단계 확인 절차인 선체 최상단부의 잔존유 유무를 독립검정사에 의해 확인 후 잔존유가 확인되면 다시 초기 세척작업 단계로 돌아가게 되며, 잔존유가 확인되지 않는다면 독립검정사는 다시 발주자와 작업수행자와 함께 3단계 작업종료 확인절차의 진행여부를 협의하게 된다. 3단계 확인절차인 선체 최상단부(헤치 등)의 개방을 결정하게 되면 이 또한 독립검정사에 의해 확인되게 되며, 선체 최상단부의 개방이 완료됨과 동시에 최종 작업종료를 선언하게 된다. 하지만, 3단계 작업종료 확인절차에서라도 다시 잔존유가 확인된다면 또 다시 초기 세척작업 단계로 돌아가서 잔존유 회수작업 종료절차 프로세스를 다시 실행하게 된다.

## References

- [1] Choi, H. J. et al.(2003), "A Study on Remotely Off-Loading Techniques from a Sunken Ship", Paper from Consolidated Symposium of Korean Society for Marine Environment, pp. 117-121.
- [2] Frank Mohn Flatoy AS Oil & Gas Division(2003), Technical Description Remote Operated Offloading System ROLS, pp. 5-8.
- [3] IMO(1994), MALPOL 73/78 in the revised Annex I, International Maritime Organization.
- [4] IMO(2010), Technical Guidelines on Sunken Oil Assessment and Removal Techniques, International Maritime Organization, pp. 79-80.
- [5] KMPRC(1998), The White Paper of Sunken Vessel Remaining-oil Recovery Work, Korea Marine Pollution Response Corporation. pp. 101-171.
- [6] KOEM(2011a), The White Paper of Kyung-Shin Wreck Remaining-oil Recovery Project, Korea Marine Environment Management Corporation. pp. 281-323.
- [7] KOEM(2011b), The Final Report of Kyung-Shin Wreck Remaining-oil Recovery Project, Korea Marine Environment Management Corporation. pp. 20-67.
- [8] KOSIS(2007), Vessel entry/departure Statistics, 2012, <http://kosis.kr>.
- [9] Shim, Y. T.(2004), "A Study on Remaining-Oil Recovery Method from a Sunken Ship", Dissertation, Korea Marine and Ocean University, Seoul, Korea.

원고접수일 : 2014년 5월 23일  
 심사완료일 : 2014년 8월 28일  
 원고채택일 : 2014년 8월 18일