

침몰 유조선 경신호의 추가 해양오염 가능성에 관한 연구

최혁진⁽¹⁾, 변성훈⁽²⁾, 이문진⁽²⁾, 강창구⁽²⁾

Analysis of the risk of further oil spill from Sunken Tanker, "Kyung-Shin"

by

Hyuek-Jin Choi⁽¹⁾, Sung-Hoon Byun⁽²⁾, Moon-Jin Lee⁽²⁾ and Chang-Gu Kang⁽²⁾

요 약

본 논문은 1988년 2월에 포항 앞바다에서 침몰한 총톤수 995톤의 유조선 경신호에 대한 수중 조사 작업과 그 결과를 다루고 있다. 조사는 경신호에 의한 추가 해양오염가능성을 파악하기 위하여 2001년 9월에 약 10일간의 일정으로 수행되었으며 첨단 해양조사장비인 ROV와 유인잠수정, 초음파 두께 계측장치 등을 이용하여 선체상태와 기름의 유출상황, 선체외판의 부식상태 등을 조사하였다. 조사 결과, 선체에서 계속적으로 소량의 기름이 유출되고 있는 것으로 확인되었으며 선체의 부식 상태 조사를 위해 선체의 일부에서 선체 두께 측정이 이루어졌다. 조사 결과와 기존 사고 보고서의 내용을 바탕으로 잔존유의 양을 추정하였을 때, 조사당시 선체에는 약 600kl의 기름이 잔존하고 있는 것으로 추정되었으며 향후 선체외판의 부식으로 인해 잔존유가 추가 유출될 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 이와 함께 유출유 확산 예측시뮬레이션을 통해 특정한 기상상태에서는 유출된 기름이 주변해역을 오염시킬 수 있는 가능성을 확인하였다.

Abstract

This paper presents the results of a ten-day long survey for assessing the possibility of further oil spillage from the sunken tanker, Kyung-Shin(995 G/T), which had sunken in the East Sea, off Pohang City, in February 1988. The survey was conducted using remotely operated vehicle(ROV), manned submersible and ultrasonic thickness gauge in September 2001. The external inspection by the optical camera shows that small scale oil spill has been continued from the sunken ship. It's hull thickness was also measured at several points of the ship, using an ultrasonic sensor for assessing the current corrosion status of the sunken ship. Taking into account the results of this survey and the existing salvage report, it is estimated that the remaining oil in the tanker is approximately 600 kl, and this oil could be leaked into marine environment due to continuous severe corrosion if no preventive is taken.

Keywords: Sunken Tanker, Oil Spill, Salvage, Corrosion, Kyung Shin Ho.

(1) 정희원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양안전방제연구본부, hjchoi@kriso.re.kr

(2) 정희원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양안전방제연구본부

1. 서 론

유조선 경신호는 1988년 2월 24일 온산 쌍용정유에서 저유황 벵커C유 2,560kl(12,800드럼)를 적재하고 출항하여 북호 쌍용양회로 항해중 당일 07시 41분경 과적과 황천으로 북위 36도 05분 50초, 동경 129도 37분 09초 지점에 침몰하였다. 침몰 후 계속되는 기름의 유출을 방지하고자 국내의 기술과 장비를 동원하여 1988년 3월 18일부터 동년 7월 7일까지 총 89일간 유출공 밀폐작업을 실시하였다.

그러나 밀폐작업 이후에도 계속해서 소규모의 기름띠가 해수 표면에서 관찰되어 왔으며, 특히 침몰한 상태에서 부식에 의한 선체 파괴로 탱크 내에 남아있는 잔존유의 추가 유출이 우려됨에 따라 선체 상태에 대한 정밀 조사의 필요성이 제기되어 왔다.

이에 따라 해양수산부와 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(KRISO/KORDI)에서는 경신호에 대한 정밀조사를 추진하게 되었다.

본 논문에서는 경신호의 정밀조사 결과에 바탕을 두고 잔존유의 유출에 따른 추가 해양오염 가능성 등에 관한 연구 결과를 기술하였다.

2. 침몰 유조선 경신호의 사고경위 및 선체 정밀조사

한국해양연구원에서는 침몰선박에 의한 해양환경 오염 방지 및 해양안전 확보를 목적으로 1999년부터 침몰선박 관리시스템 구축 연구를 추진해왔다. 본 연구에서는 1999년 측면주사탐사기(Side Scan Sonar)를 이용하여 경신호의 선체를 확인하였으며, 이를 바탕으로 2001년 9월 18일부터 26일까지 첨단 조사장비를 이용하여 정밀조사를 수행하였다.

2.1 사고경위 및 유출공 폐쇄작업

경신호는 1970년 4월 일본에서 진수되었으며, 1982년 선미부 거주구역을 부분 개조한 후 파나마 국적으로 우리나라 국내 취항 중 1986년 9월 우리나라 국적의 “경신호”로 변경하여 운항하였다. 유조선 경신호는 갑판하 선수로부터 좌우 선수창, 좌우 묘쇄창, 선수 코퍼담(Cofferdam), 좌

우 1번 ~ 4번 유조창과 펌프실, 기관실, 선미 코퍼담, 선미창이 배치된 단저구조의 유조선이다. 경신호의 주요 제원은 다음과 같다.

- 총톤수(G/T) : 995.41 ton
- 선체길이(LBP) : 68.33m
- 폭(MLD) : 11.5m
- 깊이(MLD) : 5.75m
- 흘수(DLWL) : 4.975m

경신호의 침몰사고로 인한 기름 유출은 침몰한 다음날부터 침몰해점을 중심으로 남북에 걸쳐 갈색과 무지개색 유층의 넓고 긴 형태로 확산되기 시작하였다. 침몰된 경신호로부터 유출된 기름은 포항시를 비롯하여 영일, 영덕, 월성군 등 1개시 3개군 15개면 58개 어촌계의 해안선 약 42km(어장 약 2,000ha)를 오염시켰다[1],[2].

침몰 유조선 경신호의 기름 유출공 폐쇄 작업은 1차로 1988년 3월 20일부터 4월 23일 실시되었으며, 2차 폐쇄 작업은 1988년 5월 17일부터 7월 5일까지 수행되었다. 1차 폐쇄 작업은 4점묘박(FPMS, Four Point Mooring System)으로 작업모션을 침몰선 상부에 고정시킨 후 심해 잠수장비(SDC, Submersible Diving Chamber)에 잠수사(혼합기체잠수)가 탑승 침선까지 하강하여 밀폐작업을 수행하는 방법으로 수행하였으며, 2차 밀폐작업은 잠수사가 수상 작업모션의 감압 탱크(DDC, Deck Decompression Chamber)내에서 감압한 후 수중 작업용 캡슐(PTC, Personal Transfer Capsule)로 이동, 캡슐을 침선까지 하강하여 밀폐작업을 수행하였다. 사고당시 밀폐작업을 수행한 작업자가 포항해양경찰대에 제출한 작업일지와 결과보고서를 바탕으로 침몰 경신호의 유출부위 및 유출공에 대한 밀폐작업에 대한 결과를 종합하면 Fig. 1과 같다[3],[4].

2.2 선체 위치수색 및 정밀조사

2.2.1 선체 위치수색

침몰 유조선 경신호의 위치수색은 1999년 10월 19일부터 21일까지 측면주사탐사기를 이용하여 수행되었다. 침몰선체의 위치는 북위 36°05.485, 동경 129°38.185로서 사고당시 해군에서 조사된 위치와 근접하다. 측면주사탐사기를 이용한 경신호의 위치수색 결과는 Fig. 2와 같다[5].

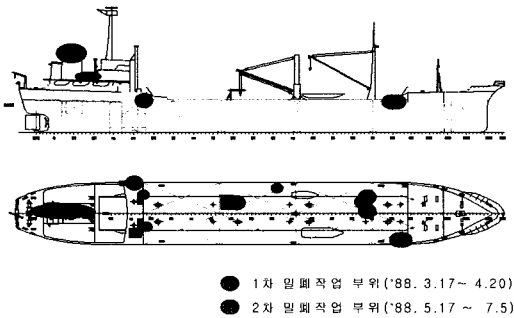


Fig. 1 Sealed point of Kyung Shin in 1988.

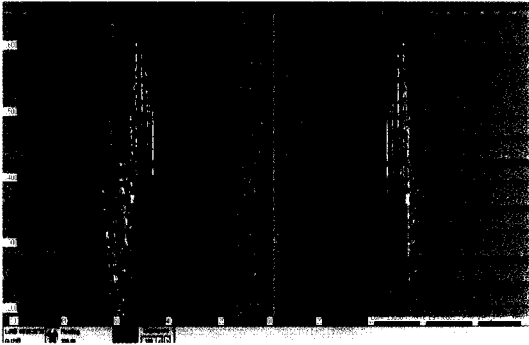


Fig. 2 Sonar image with Range 100m of Kyung Shin.

2.2.2 선체 정밀조사

1999년 위치수색 결과 선체가 해저면에 노출되어 있는 것이 확인됨에 따라, 경신호 선체 내의 잔존유의 유출에 따른 추가 해양오염사고 가능성을 종합적으로 판단하고, 향후 처리대책 마련을 위해 본 선박의 선체 정밀조사를 실시하게 되었다. 정밀조사는 침단조사 장비인 심해 작업용 무인잠수정과 1인승 유인잠수정, 각종 해양관측장비를 이용하여 2001년 9월 18일부터 9월 26일까지 실시되었다. 조사 작업은 해양조사 전용 선박을 모선으로 하였으며, 수중조사 작업에 많은 경험을 보유한 외국인 전문가 2인을 포함하여 연 인원 185명이 투입되었다.

가. 조사방법 및 투입장비

▷ 조사방법

- Depth Sounder와 Sub-Bottom Profiler에 의한 선체 위치수색 및 촬영
- DGPS 및 Navigation System을 이용한 지원모선 묘박
- ADCP와 CTD를 이용한 해역특성 조사
- 무인/유인잠수정에 의한 선체 정밀조사
- ▷ 조사장비 : 무인/유인잠수정 및 관측장비
- 원격 조종 중작업용 무인잠수정(ROV, HYSUB25, KRISO)
- 1인승 유인잠수정(Pathfinder, Subsea Tech)
- Sub-Bottom Profiler, Doppler Current Profiler 1 set
- CTD 1 set, Navigation System 2 set
- ▷ 조사 지원모선 : 이어도호(KORDI)
- 전 장 : 48.95 m, 형 폭 : 8.60 m
- 형심(상갑판) : 4.00m, 총톤수 : 450톤(국제)
- ▷ 조사인원
- 연구원 : 8명
- 외국 전문가 : 2명(캐나다 ISE사)
- 유인잠수정 : 4명, 승조원(선원) : 13명

나. 조사항목

- 침몰선체 확인
- 장애물 조사
- 해저면 저질종류
- 선체 경사상태
- 외판 손상상태 및 파공부위 폐쇄상태
- 갑판 손상상태 및 부식상태
- 잔존유 유무확인, 잔존유 유출상태 및 유출가능성

2.3 정밀조사 결과

2.3.1 선체확인 및 선체형상

경신호의 위치는 1999년 수색된 결과와 차이 없이 동일 지점(북위 36°05.485, 동경 129°38.185)에서 발견되었으며, 지원모선에 탑재된 Depth Sounder와 Sub-Bottom Profiler로서 확인하였다 (Fig. 3 참조).

2001년 9월 18일부터 9월 26일까지 조사된 결과를 종합하면 다음과 같다.

- 수심 : 약 98m ~100m, 선수각 약 220도
- 종경사도 : 선수방향으로 약 8도

Fig. 4는 경신호의 경사도를 가늠할 수 있는



Fig. 3 Depth sounder image of Kyung Shin.



Fig. 4 Image of side hull(starboard) by an ROV.

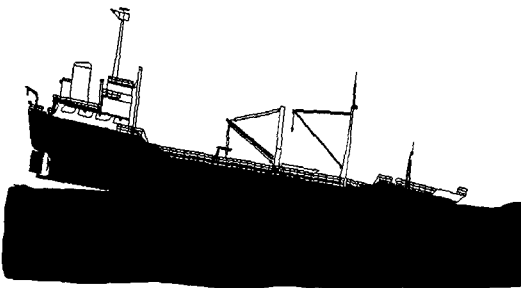


Fig. 5 Sketch of the current state of Kyung Shin(2001. 9).

촬영결과이며, 조사결과를 종합하면 경신호의 수중 선체형상은 Fig. 5와 같이 추정할 수 있다.

2.3.2 갑판상부 및 부식상태 조사 결과

대부분의 선체외판에 많은 장애물이 부착되어 있어 정확한 선체외판의 손상부위는 확인되지 못하였으나, 부착생물이 붙어 있지 않은 곳에서는 선명한 페인트 색을 확인할 수 있었다.

선체외판의 부식상태 조사는 선수 수선면 상부와 선체 중앙부(3번 우현탱크 하부) 등 2개 지점을 브러쉬로 부착생물과 페인트를 제거한 후 초음파 두께 측정 장치를 이용하여 두께 측정을 실시하였다. 선수부분에서는 두께가 8.15mm로 건조당시 두께 11mm와 비교하면 평균 2.85mm, 선체 중앙부에서는 10.75mm로 건조당시 두께 11mm와 비교하면 최대 0.25mm의 부식이 진행된 것으로 조사되었다. 갑판상부의 측정은 두꺼운 침전물과 로프, 그물 등의 장애물로 인하여 측정이 불가능하였으나, 육안 관측결과 파이프와 밸브 등이 온전한 형태를 유지하고 있었으며, 확인된 파이프와 밸브에 페인트가 아직 남아 있는 상태로 보아 부식상태는 심하지 않은 것으로 판단된다 (Fig. 6 참조).

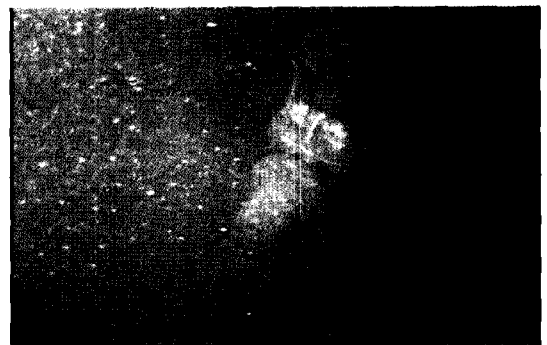


Fig. 6 Hand rail and valve on the starboard oil tank.

2.3.3 기름의 잔존 가능성

현재 침몰해점을 기준으로 불규칙하고 간헐적으로 기름방울이 수면으로 부상한 후 아주 얇은 유막(은백색)을 형성하여 길이 1~2마일, 20m~30m의 폭으로 외해쪽(북동방향)으로 방산되는 형태를 나타내고 있다.¹⁾ 또한 Fig. 7과 같이 수중에서 무인잠수정이 선체 중앙부에서 4번 탱크 방향으로 진행되는 가운데 부상중인 기름방울이 확인됨에 따라 침몰해역 수면에서 외해 쪽으로 확산되고 있는 기름띠는 경신호에서 유출되고 있는 것으로 추정할 수 있다. 이상과 같이 수면상의 기름 확산상황과 선체 정밀조사 중 발견된 기름방울 등을 고려하면 지금도 선체 내에 기름이 잔존하고 있는 것으로 판단된다.

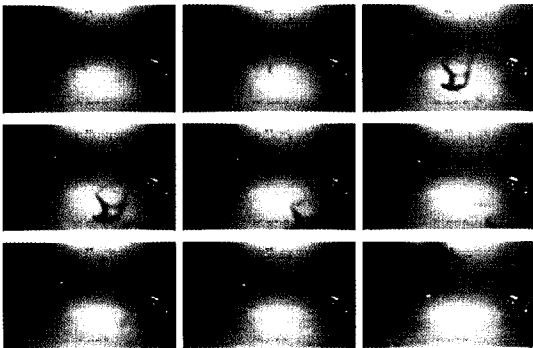


Fig. 7 Oil drops near the Sunken Ship.

2.3.4 잔존유량 추정

본 연구에서는 경신호 침몰선체내에 남아 있을 것으로 추정되는 기름의 양을 사고당시의 일일 오염상황보고서와 밀폐작업 시 조사된 선체 손상상태, 유출공 밀폐작업 결과 보고서, 선체 선수부와 해저면과의 충돌에 따른 충격의 영향으로 선체내부 격벽의 손상가능성 검토 결과를 바탕으로 추정하였다.

Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 기름 유출공에 대한 밀폐 작업은 선체 특정 부분에서 집중적으로 이루어졌으며, 따라서 선체 내부 격벽의

파괴가 일어나지 않았을 경우 탱크 내에 여전히 기름이 잔존하고 있을 가능성을 보여준다. Fig. 8은 Fig. 1과 밀폐 작업 보고서 등을 바탕으로 경신호 내에 기름이 잔존할 가능성이 높은 구역을 나타낸 그림이다. 이러한 주요 기름 유출 부위와 사고 보고서에 나타난 유출량 추정 자료를 바탕으로 추정하였을 때 침몰 유조선 경신호에는 1988년 7월 5일 현재 최대 680kl의 기름이 잔존하고 있었을 것으로 추정되며, 그 후 13년이 경과하면서 간헐적으로 유출된 기름 양을 고려하면 현재 최대 약 600kl의 기름이 선체 내에 남아 있을 것으로 추정된다[6],[7]. 그러나 본 추정결과는 현실적으로 어려운 탱크별 직접 계측에 따른 결과가 아니므로 현존하는 기름의 양과는 차이를 가질 수 있다.

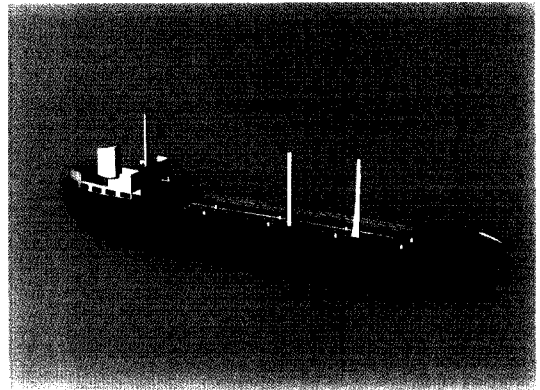


Fig. 8 Conceptual image of the remaining oil in Kyung Shin.

3. 잔존유 추가 유출 및 해양오염 가능성 분석

3.1 경신호의 부식 상태 조사

현재 경신호 내에 남아있는 것으로 추정되는 잔존유의 추가 유출 가능성을 진단하기 위해서는 경신호의 부식 상태를 정확하게 파악하는 일이 매우 중요하다. 특히 해수 중에서의 선체 부식

1) 현재 침몰해점에서 확산되고 있는 기름을 채취하여 해양환경공정시험방법 제32항 유출유증 포화탄화수소류 식별방법으로 성분분석한 결과 경시변화 영향을 받은 상태이지만 경신호 사고당시 분석한 해상유출유 시료와 유사한 기름으로 판별되었음.

특성은 해수가 갖는 물리적 특성과 해수 내에 포함되어 있는 다양한 화학 물질들의 작용으로 육상에서의 부식 특성과 다르며 이로 인해 선체의 부식이 촉진될 가능성이 높으므로 좀 더 면밀한 검토가 필요하다.

경신호의 부식 상태 추정을 위해서 본 조사 연구에서는 무인잠수정(ROV)에 장착된 초음파 두께 측정 장비를 활용해 직접 수중에서 경신호의 선체 두께를 측정하고 이와 함께 유사 선박의 선체 두께 측정 자료를 분석하여 실제 측정 결과와 비교 검토하였다.

3.2 경신호의 부식 추정 - 유사 선박 두께 측정 결과 분석

경신호가 침몰하기 전의 부식 추정을 위해서는 운항 중인 선박에 대하여 2년마다 도크에서 실시하는 선체 두께 측정 자료를 사용하면 쉽게 부식 통계를 얻을 수 있겠으나 경신호가 침몰된 후 많은 시간이 경과하여 아쉽게도 경신호에 대한 두께 측정 자료는 입수할 수가 없었다. 그 대신 경신호와 유사한 선박들에 대한 두께 측정 자료를 바탕으로 부식을 추정하고자 하였다. 수집된 두께 측정 자료는 침몰할 당시의 경신호와 유사한 선령을 갖는 총 5척의 유조선에 대한 검사 자료이며 Table 12)은 이러한 선박들의 선령과 부위별 측정 지점의 개수를 정리한 것이고 Table 2는 선박별, 부위별 선체 두께 측정 자료의 평균값과 표준 편차를 정리한 것이다.

선박들의 두께 측정 결과에 대한 통계적인 분석 및 이에 관련된 부식 속도의 확률적 분포에 관한 연구들은 선급의 규정 및 선체 설계에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 이미 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 선체의 부식 속도에 대한 최근의 연구 결과들은 부식 속도의 확률 분포가 Weibull 확률 밀도 함수의 형태를 갖는 것을 보여주며 이는 벌크 운반선의 부식 속도에 대한 유사 연구에서도 입증되었다(Paik 외[1998]). Weibull 누적 확률 분포 함수는 식(1)과 같다.

$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

여기서 확률 변수 X 는 부식 속도를 나타내고

α 와 β 는 각각 Weibull 확률 분포의 scale, shape 계수이다. 또 Weibull 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$f_X(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

그러나 이러한 기존의 연구들은 대부분 선박의 부위별로만 확률 분포의 계수 α , β 를 구하였다. 즉, 서로 다른 선박들에 대한 측정 자료 집합을 가지고 확률 분포의 파라미터를 구하더라도 선박의 같은 부위끼리는 α , β 의 값이 매우 유사하게 나타난다는 가정을 바탕으로 두고 있다. 그러나 이러한 개념은 부식에 영향을 미치는 조건들을 고려해볼 때 다소 자연스럽지 못하다. 알려진 바와 같이 부식은 온도, 용존 산소, 염분 등의 부식 환경 조건에 크게 영향을 받으며 선체 부식의 경우에는 선체 표면의 부식 방지 코팅도 부식 속도에 큰 영향을 끼치게 된다. 그리고 이러한 부식 환경 조건은 같은 부위라도 선박들의 주요 운항 조건 및 선체 코팅 등의 차이로 인하여 선박별로 차이가 있을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 특징들도 함께 고려하기 위하여 부식 측정 자료들을 선박별로 분류하여 확률 분포를 구하였다.

수집된 두께 측정 자료로부터 Weibull 확률 분포의 파라미터를 구하기 위하여 Y 에 대한 Rank regression을 이용하여 Weibull 확률 분포를 선형 방정식으로 변환하였다. 다음 식은 선형 방정식으로 변환된 Weibull 확률 분포를 나타낸 것이다.

$$Y = \beta X - \beta \ln \alpha \quad (3)$$

여기서 $X = \ln x$, $Y = \ln[-\ln(1 - F_X(x))]$ 이다. 각각의 선박의 부위별 부식에 대한 상대 도수를 구한 후 이 식에 대입하여 최소 사승법으로 α 와 β 를 구하였다. Fig. 9은 이와 같은 방법을 이용해 선박 3의 Port Shell Plate에 대한 Weibull 확률 분포를 구한 것이다. Fig. 9에서 볼 수 있는 것과 같이 선박 3(Port Shell Plate)의 부식속도는 Weibull 확률 분포에 매우 근사하게 나타났으며, 다른 선박의 자료들도 대부분 Weibull 확

2) Table의 내용 중에 -는 측정되지 않았거나 해당 선박에 없는 경우를 의미한다.

Table 1 Number of gathered data from thickness measurement of ships similar to Kyung Shin.

	선박 1	선박 2	선박 3	선박 4	선박 5	합 계
선령	26년	20년	21년	22년	21년	
Trunk deck	-	140	84	-	48	272
Upper deck	104	59	71	128	63	425
Bottom plate	32	136	47	55	48	318
Port shell plate	-	212	226	200	206	844
Stbd shell plate	-	207	223	197	204	831

Table 2 Average and standard deviation of thickness reduction of ships in Table 1.

	선박 1	선박 2	선박 3	선박 4	선박 5	평균
선령	26년	20년	21년	22년	21년	
Trunk deck	-	0.2/0.4	0.31/0.18	-	0.29/0.22	0.25/0.32
Upper deck	0.24/0.17	0.31/0.35	0.25/0.13	0.5/0.08	0.34/0.24	0.34/0.22
Bottom plate	0.07/0.1	0.15/0.12	0.31/0.23	0.5/0.08	0.24/0.18	0.24/0.18
Port shell plate	-	0.22/0.21	0.35/0.23	0.54/0.21	0.55/0.82	0.41/0.47
Stbd shell plate	-	0.38/0.59	0.39/0.25	0.56/0.19	0.59/0.92	0.48/0.57

Table 3 Parameters of the estimated Weibull distribution(β/a).

	선박 1	선박 2	선박 3	선박 4	선박 5
Trunk deck	-	0.324/0.064	1.529/0.296	-	1.024/0.255
Upper deck	1.104/0.204	0.691/0.279	1.690/0.228	7.573/0.480	1.189/0.316
Bottom plate	0.704/0.044	1.184/0.120	2.119/0.301	6.894/0.480	1.219/0.617
Port plate	-	0.917/0.181	1.214/0.350	2.807/0.631	0.524/0.329
Stbd Plate	-	0.688/0.269	1.365/0.398	3.313/0.658	0.499/0.313

를 분포에 근사하게 나타냈다. 그러나 선박별로 Weibull 누적 확률 분포의 형태는 다소 상이하게 나타났는데 이는 선박별로 확률 분포의 계수가 다소 차이가 있음을 보여준다. 앞서 설명한 바와 같이 Weibull 확률 분포는 scale 및 shape 계수에 의해 결정되며 Table 3은 각각의 선박들의 부식 속도 Weibull 확률 분포에 대한 계수를 정리한 것이다. 이를 그래프로 나타내면 Fig. 10, 11과 같다. Fig. 10은 추정된 Weibull 확률 분포 계수들을 선박별로 분류하여 표시한 것이고 Fig. 11은 부위별로 분류하여 표시한 것이다. Fig. 10에서와 같이 선박별로 분류하였을 때 Weibull 계수들이 보다 응집된 형태로 나타났다. 이는 부식 속도 확률 분포 계수가 선박별로도 상이한

차이를 나타내고 있음을 보여준다.

경신호의 침몰 전 부식 상태를 추정하기 위해서 Table 2와 3으로부터 최대 평균 부식(CASE MAX)을 나타내는 계수와 최소 평균 부식(CASE MIN)을 나타내는 계수 그리고 계수들의 평균값을 사용한 경우(CASE AVE)에 대하여 각각 부식 평균과 표준 편차를 계산하였다. 여기서 계수들의 평균값을 사용한 경우(CASE AVE)는 상/하위 25%를 버리고 평균값을 계산하였다. 이때의 shape/scale계수는 각각 (0.499/0.313), (0.704/0.044), (1.195/0.303)이었다. Fig. 12는 이와 같은 세 가지 경우에 대한 확률 밀도 함수를 나타낸 그림이다. CASE MAX의 경우에서 보다 부식 크기의 범위가 넓게 나타남을 보여준다. 이

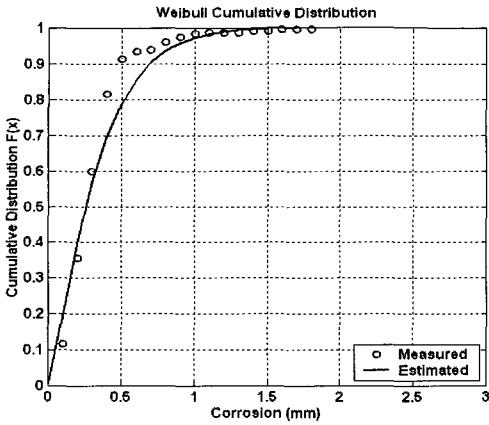


Fig. 9 Weibull parameter estimation and cdf for SHIP 3(Port side shell plate).

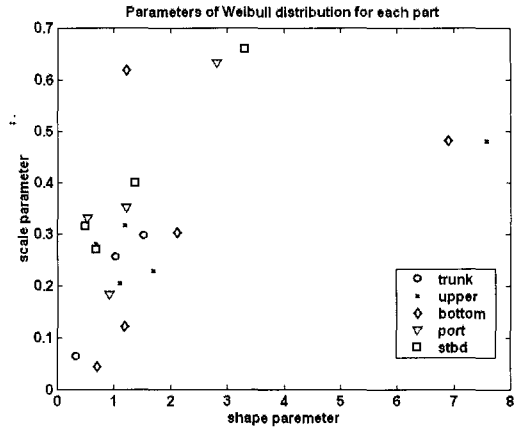


Fig. 11 Estimated parameters of Weibull distribution for each part.

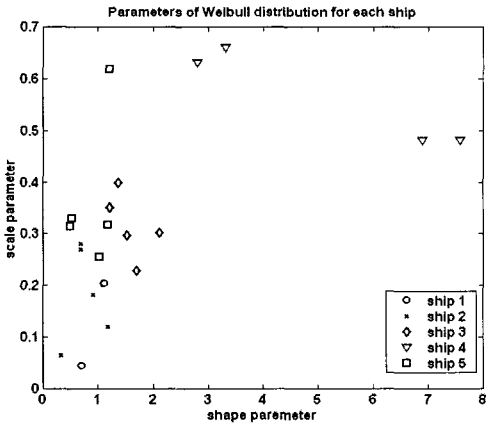


Fig. 10 Estimated parameters of Weibull distribution for each ship.

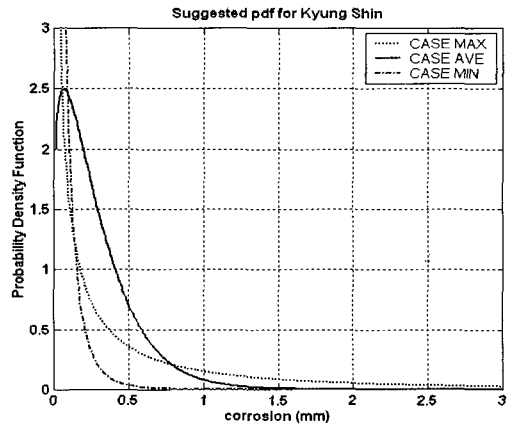


Fig. 12 Suggested probability density function for Kyung Shin.

렇게 구해진 shape, scale 계수를 사용해 부식의 평균값과 표준편차를 구하면 다음과 같다.

부식 추정 결과 (평균 / 표준 편차)

- CASE MAX : 0.63 / 1.41 (mm)
- CASE AVE : 0.29 / 0.24 (mm)
- CASE MIN : 0.06 / 0.08 (mm)

3.3 경신호 선체 두께 측정

경신호의 부식 상태를 평가하기 위해서 정밀 조사 기간 동안 투입된 무인잠수정(ROV)에 초음파 센서를 탑재하여 실제 선체 두께를 측정하였다. 그러나 선체 주변에 산재된 많은 장애물들로 인하여 선체 전체에 대한 많은 횡수의 측정이 사실상 불가능하였고 선수부와 선체 중앙부의 side shell plate 일부에 대해서만 측정이 이루어졌다. Fig. 13과 Fig. 14는 각각 경신호 정밀 조사 과정 중에 선수부와 선체 중앙부에서 선체 두께 계측 작업을 수행하고 있는 것을 촬영한



Fig. 13 Thickness measurement(Forward).

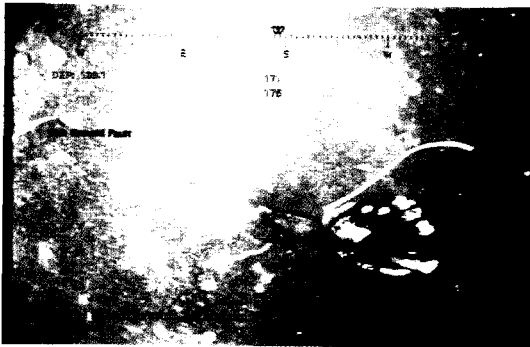


Fig. 14 Thickness measurement(Midship).

장면이다.

사용된 두께 계측 시스템은 영국 Cygnus사의 제품으로 오차는 0.1 mm이다. 선수부에서는 총 5회의 측정이 이루어졌으며, 선체 중앙부에서는 총 43회의 측정이 이루어졌다. 선수부와 선체 중앙부에서 측정 횟수의 차이가 크게 나는 것은 조사 현장에서 선수부 근처에 많은 장애물이 산재되어 있어서 ROV의 접근이 용이하지 않았고, 또 안정적인 자세에서 측정이 어려웠기 때문이다. 각각의 측정 결과에 대한 평균과 표준편차 계산 결과는 다음과 같다.

부식 측정 결과 (평균 / 표준 편차)

선수부 : 2.850 / 1.501 (mm)
 선체 중앙부 : 0.250 / 0.048 (mm)

측정 결과의 표준 편차를 고려할 때 선수부에서의 측정 결과는 다소 오차가 많이 포함되어

있는 것으로 여겨지며 선체 중앙부에서의 결과가 신뢰도가 높은 것으로 판단된다.

3.4 부식 추정 결과와 실제 측정 결과의 비교

앞서의 결과들을 종합하여 유사 선박에 의한 부식 추정 결과와 실제 측정 결과를 비교해보면 경신호 선체 중앙부의 두께 감소가 최대 평균 부식을 고려한 CASE MAX보다는 매우 작게 나타났다으며, 평균적인 확률 분포 계수를 사용한 CASE AVE에 가까운 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 실제로 Fig. 14와 15에서 볼 수 있는 바와 같이 수중 카메라를 통해 본 경신호의 외부는 선체 외부 도료가 아직 상당부분 남아 있었고 부식이 크게 진행되지 않은 것으로 판단되었다. 물론 부식 추정 결과는 침몰 전의 부식 상태만을 추정한 것이므로 다소 오차가 있을 수 있으나 해저면에서의 부식 속도가 수상 근처나 수중에서보다 매우 작게 나타나는 점을 고려하였다[8],[9].

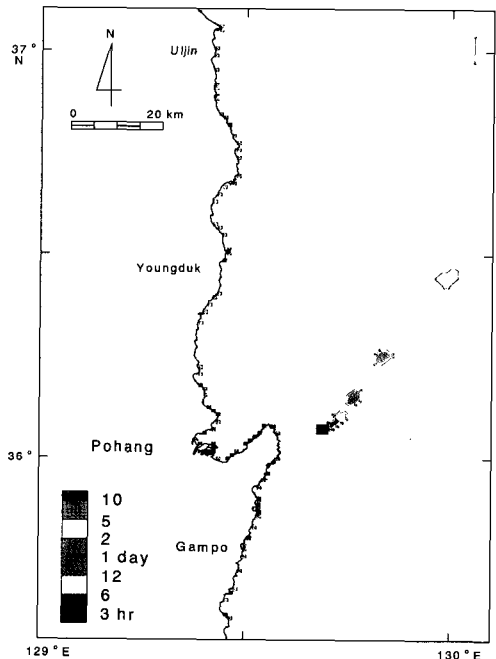


Fig. 15 Result of oil spill simulation. (Average condition, winter)

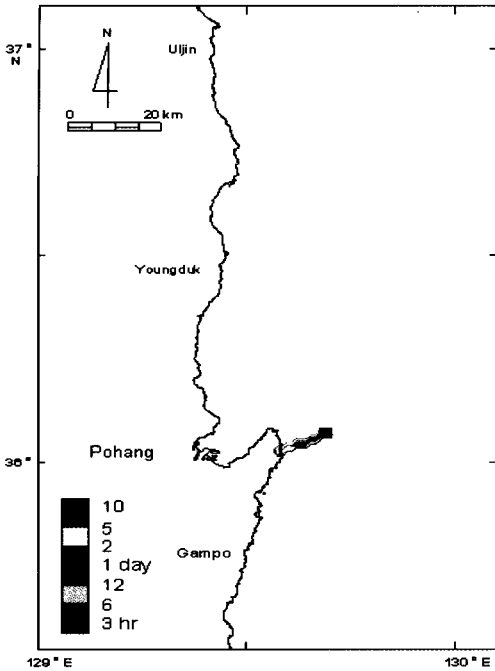


Fig. 16 Result of oil spill simulation.
(Input wind speed : NE 15m/sec)

3.5 추가 해양오염 가능성 분석

경신호에서 유출량이 증가하여 주변 해양을 오염시킬 가능성에 대한 분석은 경신호 침몰지점 주변해역의 해역특성(바람, 수온, 해수 유동)을 바탕으로 1986년부터 1995년까지 10년간 평균적 바람상태에서의 유출유 확산 시뮬레이션 결과와 악천후 또는 태풍과 같은 특정상황에서의 유출유 확산시뮬레이션 결과를 바탕으로 수행되었다. 본 연구의 유출유 확산 예측 시뮬레이션은 한국 해양연구원에서 개발된 유출유 확산 예측 시뮬레이션 시스템을 활용하였다[10]. 분석 결과 평균적 바람상태에서는 정도의 차이는 있지만 사계절 모두 유출유가 북동방향으로 확산되고 해안으로는 부착하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 15 참조). 특정상황에서는 시뮬레이션 조건을 8 방위(북풍, 북동풍, 동풍, 남동풍, 남풍, 남서풍, 서풍, 북서풍)에서 5%이상의 바람이 지속적으로 작용하는 경우로 설정하였으며, 시뮬레이션 결과, 북동풍, 동풍, 남동풍이 지속적으로 나타나는

경우에 한하여 바람의 세기와 시간의 차이는 있지만 유출유가 해안에 부착하는 것으로 결과가 나타났다(Fig. 16 참조). 이 결과는 사고당시의 기상상태(사고당시 기상(최대) : 북동 14%~18%, 1988. 3. 14)에 따른 유출유 해안부착 상황과 일치한다.

4. 결 론

본 조사연구에서는 선체 정밀조사에 국내에서는 처음으로 첨단조사 장비인 심해 작업용 무인잠수정과 1인승 유인잠수정을 활용하였으며, 선체 정밀조사 결과와 사고당시 기름 유출상황 및 유출원 폐쇄작업 상황, 선체 손상가능성 검토 결과를 바탕으로 잔존량 산정과 잔존 기름의 유출량 증가 가능성에 대한 분석을 하였다. 또한, 유출유 확산 예측 시뮬레이션을 통해 잔존유의 유출에 따른 해양오염 가능성을 분석하였다. 본 연구를 통해 수행된 침몰 유조선 경신호에 대한 정밀조사 결과와 추가 해양오염 가능성에 대한 평가 결과는 다음과 같다.

- ① 침몰선체 위치 및 상태
 - 경신호 선체위치는 대보동대에서 동쪽으로 약 3.5마일 떨어진 북위 36°05.485, 동경 129°38.185 지점이며, 주변 수심은 98m~100m이다. 갑판상부에는 전체적으로 약 10cm~15cm의 높이로 침전물과 펠로 덮여 있으며, 폐그물과 로프가 산재되어 있다.
 - 초음파센서를 이용 선체외판의 부식량을 측정한 결과 수선면 하부에서는 건조당시(11mm)보다 약 0.25mm, 수선면 상부에서는 약 2.85mm의 부식이 진행된 것으로 나타났다.
- ② 잔존유 유출상태
 - 현재 경신호 침몰해점을 기준으로 불규칙하고 간헐적으로 기름방울이 부상하여, 아주 얇은 유막(은백색)의 길이 1~2마일, 20m~30m의 폭으로 외해쪽(북동방향)으로 확산(방산)되는 형태를 나타내고 있다. 그리고 수중 조사중인 무인잠수정이 기름방울을 확인함에 따라, 경신호 침몰해역 수면의 기름띠는 경신호에서 유출되고 있는 것으로 추정된다.
- ③ 잔존유 추정량
 - 경신호에는 1988년 7월 5일 현재 최대 680kl

의 기름이 잔존하고 있었을 것으로 추정되며, 그후 13년이 경과하면서 간헐적으로 유출된 기름 양을 고려하면 현재 최대 약 600 kL의 기름이 선체내에 남아 있을 것으로 추정된다. 그러나 본 산정결과는 현실적으로 어려운 탱크별 직접 계측에 따른 결과가 아니므로 현존하는 기름의 양과는 차이를 가질 수 있다.

④ 유출량 증가 가능성

- 외력의 영향 즉 태풍이나, 선박과의 충돌, 묘박, 어선의 어로 행위 등의 외력의 영향으로 유출량이 증가할 가능성은 매우 적다.
- 선체가 놓여있는 상태를 고려할 때 선수·선미의 손상부위가 서서히 확대되고, 내부 격벽 등의 선체구조 부재에 손상이 발생하여 유출량이 증가할 수 있다. 현재 경신호 선체의 부식은 아직 급격히 진행되지 않은 것으로 판단되나, 시간이 경과할수록 증가되는 선체 두께 감소에 의해 구조 강도가 저하되므로 현재 보다 유출량이 증가할 가능성이 있다.

⑤ 추가 해양오염발생 가능성

- 평균적 바람상태에서는 정도의 차이는 있지만 사계절 모두 유출유가 북동방향으로 확산되고 해안으로는 부착하지 않는 것으로 나타났다.
- 특정상황에서는 북동풍, 동풍, 남동풍이 5% 이상 지속적으로 나타나는 경우에 한하여 바람의 세기와 시간의 차이는 있지만 유출유가 해안에 부착하는 것으로 결과가 나타났다.

후 기

본 논문은 해양수산부의 연구용역과제로 한국해양연구원에서 수행중인 “침몰선박 관리시스템 구축” 2001년 연구결과와 한국해양연구원에서 일반사업으로 수행중인 “해난사고 예방 및 구난체계 구축 사업”의 일부임을 밝히며, 본 과제의 수행에 많은 도움을 주신 해양수산부, 해양경찰청, 포항 문화방송, 조사선 이어도호, C&T, 한국해양기술, 한국선급 등 모든 관계자 여러분께 이 자리를 빌어 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- [1] 동해지방해난심판원, “기선 경신호 침몰사건”, 재경서, 1989. 12.
- [2] 해양경찰청, “경신호 해양오염사고”, 해양오염방제(92), 1992. 11., 52~67.
- [3] 포항해양경찰대, “경신호 침몰사고 유출상황 1일보고서(문서)”, 1988. 2.24~1988. 6. 2.
- [4] 한성살베지, “경신호 유출원 밀폐보고서(작업일지)”, 1988. 7.
- [5] 강창구·최혁진 외, “침몰선박 관리시스템 구축 연구”, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구보고서 BSM99902-2186, 1999. 11.
- [6] 강창구·최혁진 외, “침몰선박 관리시스템 구축 연구”, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구보고서 UCM00240-2346, 2001. 12.
- [7] 최혁진·변성훈 외, “침몰 유조선 경신호 정밀조사 연구”, 한국해양환경공학회 2002 춘계학술대회 논문집, 2002. 5., 61~69.
- [8] F. L. LaQue, “Marine Corrosion Causes and Prevention”, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- [9] L. J. Korb and D. L. Olson, Co-Chairman, ASM Handbook, Vol. 13 Corrosion, ASM International, 1992.
- [10] M. J. Lee, C. G. Kang, H. J. Choi and S. G. Kang, “Development of a Real-time Prediction System of High-density Oil Dispersion”, Third R&D Forum on High-density Oil Spill Response, IMO 2002. 3.
- [11] R. E. Melchers, “Corrosion Uncertainty Modeling for Steel Structures”, Journal of Constructional Steel Research Vol. 52, 1999.