

Human Error가 주된 원인의 하나가 되었던 몇가지 대형 해난사고 사례의 분석

윤점동* · 권종호* · 서영완*
임방남** · 김종훈** · 이동섭***

The Case Study of Several Great Sea Disasters
due to Human Error

*Joem-Dong Yoon · Jong-Ho Gwan · Young-wan Seo
Bang-Nam Yim · Jong-Hum Kim · Dong-Sop Lee*

目 次

Abstract

서 론

I. “Continental Friendship”호의 좌초사고

II. “Honam Jade” 호의 축초 및 기름 유출사고

III. “충용호”의 좌초사고

IV. “대양 Family”호의 좌초사고

V. “한진인천”호의 침몰사고

VI. “보운 1호”의 선저 접촉사고 원인 분석

VII. “현대 New World”호의 좌초사고

Abstract

The transportations of most of cargoes in world trade have been fulfilled through sea lanes and it seems this trend will not change in near future.

Nowadays, in view of the technical aspects of merchant vessels, they are continuously enlarged in hull size and greatly specialized in structure for the cargo spaces and dramatically automatized in navigating, piloting, cargo operating and various other operations, which unavoidably require high technicals in operating the modern merchant vessels.

On the contrary to the trend of requiring of operating high technicals, the capabilities of crew on board have been gradually declining in technical competence and thier morale for accomplishing their duties on board vessels has greatly failed down compared with that of old days.

The above result inevitably brings many problems in operating modern vessels and causes accidents which are avoidable through good competence and high morale of the crew.

We intend to analyze the causes of several great sea accidents with which it seems some human errors are connected more or less directly or indirectly. We hope that this study could suggest some measures which help to prevent the recurrence of similar accidents by Korean ship's crews.

* 정회원, 한국해양대학

** 한국해양대학 대학원

*** 한국해기연수원

서 론

오늘날 국제무역에 있어서 물품의 수송은 그 대부분이 선박에 의하여 이루어지고 있고 우리나라도 산업발달로 경제규모가 커짐에 따라 우리나라 항구를 출입하는 선박의 척수 또한 증가하고 있는 추세이다.

상선의 기술적인 운항이라는 측면에서 고찰하여 볼 때 오늘날 범 세계적인 해운산업의 특징의 하나는 다음과 같이 말 할 수 있다. "현대 국제무역에 종사하고 있는 선박은 크기에 있어서 대형화, 구조면에서 전용화 및 설비면에 있어서 고도로 자동화된 20세기말 산업기술의 총집합체라고 말 할 수 있고, 그 운항도 고도의 기술을 요하는 측면이 현저히 높아지고 있는 반면, 이것을 운항하는 요원의 인간적인 재능의 능력 및 자기직업에 대한 사명감, 긍지 및 업무수행에 대한 투지는 점점 저하일로에 있고, 이것이 선박안전운항의 큰 문제점으로 대두되고 있다." 대형 해난사고가 발생시는 이것으로 인하여 야기되는 인명 및 재화의 손실은 가히 천문학적인 수치에 달한다고 볼 수 있다. 어떤 경우든 간에 대형 해난사고의 원인을 규명할 때 사고선박의 조건과 자연조건(기상 및 해상상태와 지리적인 조건 등)을 고려하여 사고의 원인을 찾는 몇 가지의 수치계산을 하여 보면 확실하다고 생각 되는 일반적인 원인을 찾아 낼 수 있다.

그러나, 이러한 원인분석과 결론에서 우리가 가능한 한 피하여야 하고 또한 유의할 사항은 다음과 같은 것이라고 생각한다. 피하여야 할 사항은 "사고의 원인이 이렇게 명백한데 선장 또는 항해책임사관은 이것을 피하는 방법을 강구하지 아니 하였다. 그러므로 명백하게 잘못된 것이다."라는 결론이다. 왜냐하면 해난사고의 원인은, Table 위에서 결과를 놓고 연구분석할 때는 확실하게 나타난다고 할 수 있지만 해난으로 연결되는 조선과정에서는 조선을 책임지고 있는 사람이 그러한 인과관계를 잘 감지할 수 없는 것이 보통이기 때문이다. 그리고 우리가 유의해야 할 점을 대형 해난사고의 원인이 명백하게 드러났으면 그와 같은 해난사고가 재발하지 않도록 대책을 강구하는 일이다. 여기서 필자는 우리나라 선박 또는 선원과 관계되었

던 대형 해난사고 중에서 직·간접적으로 Human error가 그 사고발생의 주 원인이 되었던 몇 가지 사례를 연대순으로 기술하면서 원인을 분석하고 동일유형의 해난사고 재발방지대책의 강구에 도움을 주고자 한다.

I. "콘티넨탈 후렌드 쉽"호의 좌초사고

1. 선박의 개요

국 적 : 리베리아
G/T : 33,200 톤
DIESEL : 16,000 HP
L. O. A : 215m
Bm : 32m
Draft : 4.45m (선수), 4.75m (선미)

2. 사고의 개요

MOC소속의 Continental Friendship 호가 울산 현대 미포 조선소에서 수리를 끝내고 동수리 조선소의 DOCK MASTER 지휘하에서 DOCK SAILOR 및 DOCK SIDE TUG의 보조를 받으면서 수리 조선소 선거로 부터 출거하여 출항하다가 전하만 남쪽 방파제에 좌초한 사고로 법적인 쟁점은 동사고로 인한 선체 수리비 및 기타 비용을 누가 부담하느냐 하는 것이었다.

3. 조선의 개요

"콘티넨탈 후렌드 쉽"호는 총톤수 33, 200톤, 전장 215m, 폭 32m, 깊이 18m, 기관마력 16,000 BHP 인 리베리아 국적의 상선이다. 동 선박은 울산 현대 미포 조선소 제5번 선거에서 수리후 1979년 2월 22일 11시 55분에 선거를 출거하여 남쪽 방파제 북단을 스치고 12시 17분에 동 방파제 밖에서 좌초하였다. 당시는 폭풍주의보가 발효되어 있었고 강한 북동풍이 불고 있었다.

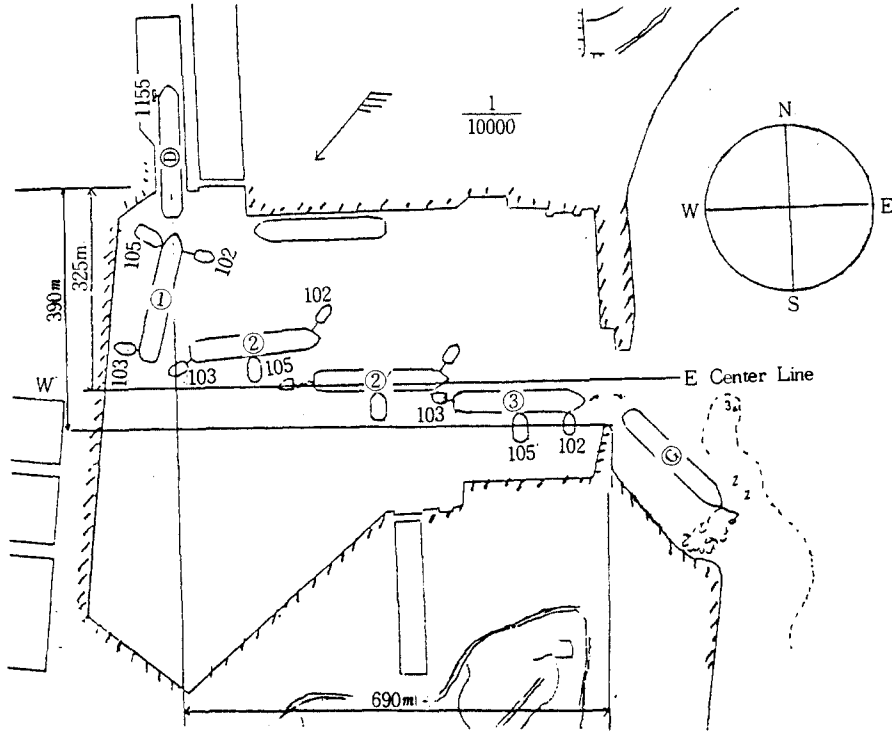
조선의 개요는 다음과 같다.

11시 55분에 출거 그림 1의 ①의 위치에서 표시한 것과 같이 예선 102호 (2,600 마력), 103호 (2,600 마력) 및 105 호 (3,200 마력)의 보조를 받아서

항 출구쪽으로 선회를 시도하였다. 선회 후 예선은 동 그림 ②의 위치에서와 같이 자세를 바꾸어 회두를 억제한 후 103호 예선은 타력으로 조절하고 102호 및 105호 예선은 회두와 압류를 막았다. (동 그림②' 위치)

항 출구로 진행중 압류가 잘 잡히지 않자 ②'의 위치에서 102호는 좌현 선수에서 끄는 것을 중지

하고 우현 선수로 옮겼다. 102호는 우현 선수에서 105호는 우현 중앙에서 이 선박을 좌현쪽으로 밀었으나 전하만 남쪽 방파제 복단에 압류되어 12시 15분에 동선의 선미가 방파제 복단을 스치고 지나갔고, 12시 17분에 방파제 밖의 천소에 좌초하였다. 방파제를 스쳐 지나가기 전에 105호는 본선에서 이탈하였다.



〈그림 I-1〉

4. 사고의 원인 분석 및 결론

C호가 선거를 출거하여 방파제 밖에서 좌초될 때까지의 제반 선박조종운동을 계산한 결과에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 전하항은 조선상 위험이 제일 큰 협소한 수역의 하나이다.

(2) 당시는 폭풍주의보가 이미 발효되어 있었고 이러한 때 33,000 총톤이나 되는 C호를 공선 상태로 출항시키는데 예선 3척은 부족하였다. 대형 선을 조선할 때 풍속이 10m/sec 정도이면 돌풍을

25%를 예상하고, 풍속이 20m/sec 정도이면 돌풍을 50%를 예상하여 증대된 풍력에 대비하는 것이 조선상의 기본 원칙이고 또한 모든 조선 지침서에서 그렇게 기술하고 있다. C호가 출항할시의 기상상태는 풍력계급 7정도였다. 이것은 C호의 Log Book에도 그렇게 기재되어 있다. 풍력 계급 7의 바람을 풍속 13.9~17.1m/sec범위의 바람이다. 돌풍을 무시하더라도 102호, 103호 및 105호 3척만의 예선으로서는 회두를 억제하면 압류가 생기고 압류를 억제하면 회두가 생기게 된다.

(3) 회두는 제어되었는데 압류를 제어하지 못한

것이 사고의 직접적인 원인이다.

(4) 회두와 압류를 동시에 제어하기 위하여는 예선이 척수로도 부족하였고, 마력으로도 충분치 못하였다. 2,600마력 정도의 예선 한척이 더 있어야 항내에서 이러한 일이 가능하였다.

II. "Honam jade"호의 축초 및 기름유출 사고

1. 선박의 개요

선 명 : 호남 제이드
 G/T : 83,819톤
 Diesel : 30,900 HP
 L. O. A. : 316 m
 Bm : 49.5 m
 Draft : 18.97 m(Even Keel)
 Cargo : 원유 182,582 톤

2. 사고의 개요

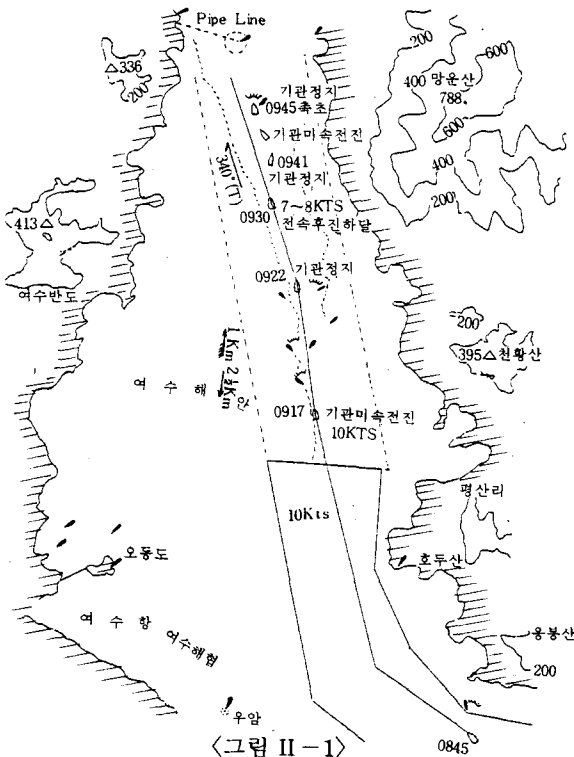
리베리아 국적의 원유선 "호남제이드"호는 원유 182,582톤을 적재하고 1983년 2월 6일 사우디아라

비아의 주아이마항을 출항하여 한국 여수 삼일항을 향하였다.

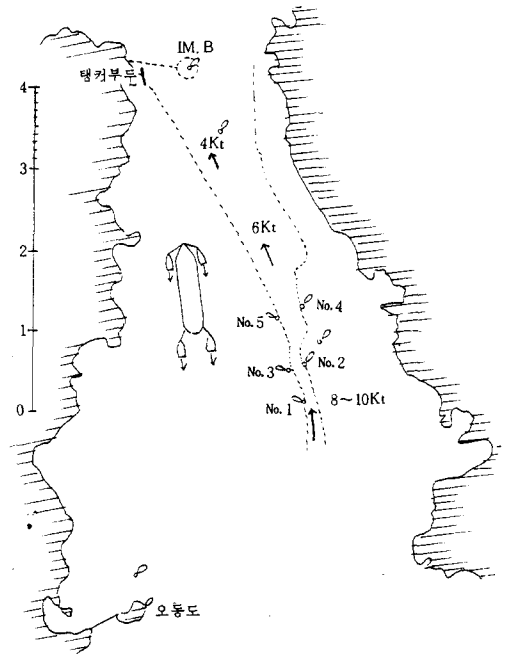
동선박은 동 2월 28일 08시 45분에 여수의항에서 도선사를 승선시키고 동 도선사의 조선 지휘하에 호남정유 원유부두에 접안하기 위하여 삼일항의 원유부두를 향하던 중 동일 09시 45분에 삼일항 입구의 원유부두 전방에 있는 13.2미터의 암초에 접촉하여 제 4번 및 제 5번 선창에 손상을 입고 약 200톤의 원유를 유출시켜 부근 해안을 크게 오염시킨 대 해난사고이다.

3. 조선의 개요

1983년 2월 28일 08시 45분에 여수 외항에서 도선사가 승선하여 약 10Knot의 속력으로 삼기등표 전방까지 항해하였으며 여기서 slow ahead 및 dead slow ahead engine 을 명하였다. 그러나 09시 30분경 본선 선장이 도선사에게 속력이 빠르다고 수차 주의를 환기 시키므로 도선사는 암초전방 1.3 마일 지점에서 약 3분 동안 full astern engine을 걸고 선수는 상당한 회두 타력을 갖고 우전하기



<그림 II-1>



<그림 II-2>

시작하였다. 그리하여 도선사는 09시 34분경 slow ahead engine, hard port를 명하여 선박을 원래의 340도 침로상에 위치 시키려는 시도를 하였다. 09시 36분경 선수는 005도에서 일단 멈추어지고 09시 41분경에는 선수가 320도가 되어서 기관을 정지하였으나 선수는 계속하여 좌현으로 회두하였고 09시 43분경에는 305도로 되었다. 이때 선박은 암초쪽으로 밀려 있었으므로 09시 44분경에는 slow ahead, hard st'd를 명하여 kick을 이용하여 암초와 접촉을 피하려 하였으나 09시 45분에 선박의 우현선저 후반부가 축초되었다.

4. 사고의 원인 분석

여러가지 방법으로 조선의 모든 단계에서 조종운동을 계산한 결과는 크게 보아서 과속에 대한 대책의 미흡에 있다. 이 해난사고가 생길 당시 4,200마력의 예선 3척과 3,500 마력의 예선 1척이 부두전방에 대기하고 있으면서도 호남 제이드와 같은 대형 유조선이 원유를 만재하고 항입구의 협수로로 통과하는 곳에 나가서 만약의 경우에 대비하고 태세를 전혀 취하지 아니하였다.

호남 제이드와 같이 대형 원유 만재 선박은 당연히 그림 II-2와 같은 자세로 입항수로를 향해 하여야 옳았을 것이다.

III. “충용호“의 좌초사고

1. 선박의 개요

국 적 : 한국
 G/T : 16,262톤
 L. O. A : 177m
 Bm : 23m
 Draft : 14.55m
 Cargo : 24,420톤(대두)
 Disel : 11,850HP

2. 사건의 개요

쌍용해운 주식회사 소속 기선 “충용호”는 수선간장 길이 167m, 넓이 22.9m, 선창의 높이 14.5m,

총톤수 16,262톤(용적단위), 재화중량톤수 26,572톤(무게단위)의 선박이다. 이 선박은 미국의 서해안 “타코마”항에서 콩 24,420톤을 적재하고 1984년 12월 1일 00시 10분에 동항을 출항하여 대만의 서안에 있는 “타이쑹”항을 향하였다. 출항시 선수흘수는 10.15m, 선미흘수는 10.35m였고 총 배수톤수는 33,000톤이었다.

1984년 12월 21일 새벽 동 선박이 대만의 복단에 도착하였을 때는 심한 황천으로 목적항인 “타이쑹”항의 외항에서는 선박을 항내로 안전하게 인도할 도선사를 승선시킬 수 없는 형편이 되었다. 그리하여 동 선박은 도선사의 승선문제에 있어서 보다 안전하다고 생각되는 대만 복단의 “Keelung” 외항에서 “타이쑹”항의 도선사를 승선시킨 후 120해리 서남쪽으로 떨어져 위치한 “타이쑹”항으로 향하기로 결정하였다.

1984년 12월 21일 10시 13분 동 선박은 “Keelung”항 입구를 진침로 187도로 보면서 접근하다가 입구로부터 거리 약 1.15마일 되었을 때 미속으로 전진작동 하던 기관을 정지하였다.(그림 III-1 참조)

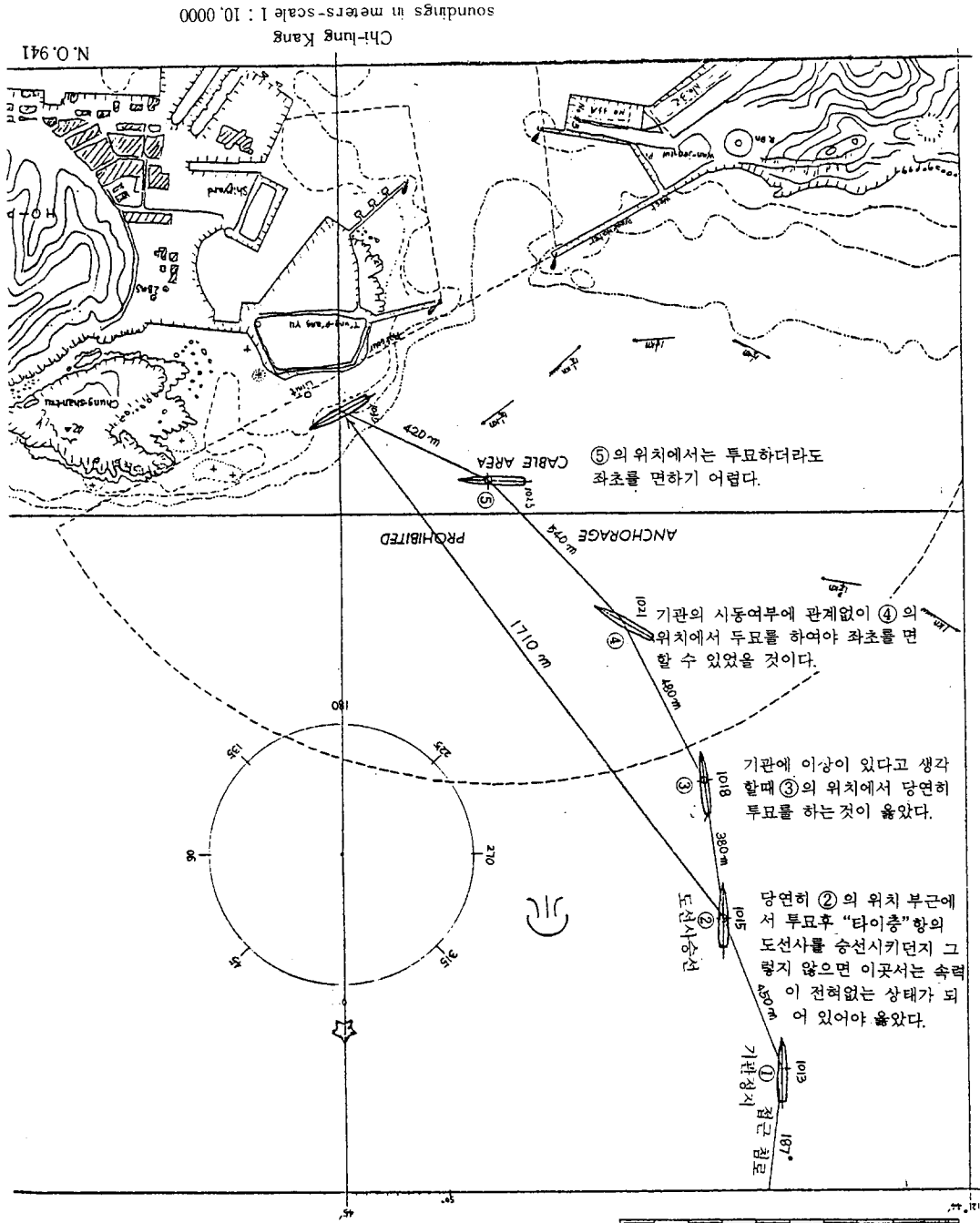
그리하여 10시 15분에 “타이쑹”항의 도선사를 승선시켰으며 이때 동 선박은 “Keelung”항 입구 방파제 끝단으로부터 거리 약 0.9마일 지점에 있었으며 선수 방향은 “Keelung”항 쪽을 향하고 있었고 선속은 7.5Knot정도 였다. 도선사는 선교에 도착하자마자 후진기관 시동을 하달하였으나 기관이 작동되지 아니하였다. 7.5Knot의 전진타력은 상당히 큰 것이었고, 바람은 강한 북풍으로 선미 방향에서 불고 있었으며 이러한 상황에서 선박은 순식간에 “Keelung”항 외항의 암초에 부딪혀서 좌초되었다. 좌초한 시각은 1984년 12월 21일 10시 30분 이었고 도선사 승선후 15분이 경과한 시간이었다. 이때 동 선박은 투묘를 함으로써 좌초를 피할 수 있는 조치를 취하지 아니 하였다.(좌초에 관한 상세한 경위는 그림 III-1을 참조 바람)

3. 조선의 개요

충용호는 1984년 12월 21일 10시 13분경 “Keelung”항 입구를 진침로 187도로 진행하다가 그림 1의 ② 위치에서 도선사를 승선시키고 후진기관을

사용하여 "Keelung" 항 외항을 빠져 나오려 하였으나 기관 역전이 걸리지 아니하였다. Astern engine 이 걸리지 아니 하였을 때 충용호는 그림

III-1의 ③, ④ 또는 ⑤의 어느 위치에서 투묘를 당연히 하여야 하였으나 그러한 조치를 취하지 아니하였다.



<그림 III-1>

4. 결론

“Keelung” 외항에서의 충돌호의 조종운동을 단계적으로 계산한 결론은 다음과 같다.

(1) 선박은 황천인데도 필요이상의 속력으로 특별한 이유없이 육안에 너무 가깝게 접근하였다. 왜냐하면 거리상 1,368m, 시간상 8분 30초의 여유 밖에 없었기 때문이다.

(2) 항내 또는 항계부근에서의 투묘 금지 구역은 정상적인 상태에서 투묘를 하지 말라는 것이지 해난이나 인명 구조를 위한 투묘를 금지하는 것은 아니다.

그러므로 “충용호”가 명백하게 좌초라는 큰 위험을 앞두고 투묘를 하지 아니한 것은 이 좌초사고의 직접적인 원인이 된다.

(3) “충용호” 주 기관의 고장은 이 좌초사고의 직접적인 원인이 되지 못하고 간접적인 원인 밖에 되지 않는다.

(4) 따라서 “충용호” 좌초사고의 원인은 동 선박을 부주의하게 운항한 선장의 항해 과실에 있다고 사료된다.

IV. “대양 웨에미리(D/FAMILY)”호의 좌초사고

1. 선박의 개요

(1) 개원

- 국적 : 한국
- L.O.A. : 312m
- 선폭 : 47.5m
- 선심 : 24.1m
- 배수톤수 : 216,445KT
- 재화중량톤수 : 183,572KT

(2) CAPE TOWN 도착시의 condition

- 흘수 : 선수 16.24m, 선미 17.20m
- 화물 : 철광석 161,927KT

(3) ANCHOR 투하시의 제반조건

- 앵카무게 : 16.9 톤
- 묘쇄치수 : 100m
- 묘쇄 1 절의 무게 : 약 10톤
- 해저저질 : 암반

수심 : 46m

투묘상태 : Half shackle on deck의 cock bill 상태에서 투묘

2. 사고의 개요

D/FAMILY 호는 SEPETIBA에서 한국 포항으로 오는 철광석 162,000KT을 싣고 한국으로 항해하는 도중 CAPE TOWN에서 선박의 수리를 위하여 수심 46m, 저질 암반의 해역에 1986년 3월 29일 22시 50분에 투묘하였으나 앵카의 손상으로 인한 파주력 부족으로 30일 08시 33분에 좌초되어 화물 및 선박은 전손처리되었고 화주측 보험회사에서 앵카의 결함때문에 본선은 이미 감항성이 없었다고 주장하면서 변상을 요구 하였다. 이에 대하여 선박회사에서는 앵카는 이상이 없었는데 선장이 앵카를 잘못 투하하여 앵카가 파손되었고 이것은 CREW'S NEGLIGENCE 이므로 선주는 면책되어야 한다는 사건이다.

3. 제반 수치 계산 방법

심해투묘시 앵카가 파손되거나 묘쇄가 절단되는 등의 위험성을 검토하는 계산에서는 앵카가 투하될 때 물에 의한 압력 저항이나 마찰저항 등의 유체력은 고려하지 않는 것이 상례이나 여기에서는 정확성을 기하기 위하여 앵카가 투하될 때 CROWN 저면에 생기는 압력저항과 앵카 및 묘쇄의 마찰 저항을 구체적으로 고려하였다. 묘쇄에 걸리는 압력저항은 거의 무시해도 좋을 것이나 묘쇄의 마찰저항을 계산할 때 속력항을 1,825승 하는 대신 2승을 하여줌으로써 압력저항을 마찰저항 속에 포함시켰다. 윈드라스에 걸리는 마찰저항은 이것이 걸리는 전체 힘의 10%로 가정하였다.

4. 심해투묘의 일반원칙

심해투묘는 수심에 따라서 다음의 3종으로 구별하여 투묘한다. 그리고 이러한 수심에서는 투묘수칙을 엄격하게 이행하지 않으면 앵카 및 묘쇄의 분실 내지는 이것들의 손상을 가져오는 것이 보통이다.

(1) 30m 정도의 수심에서의 투묘

앵카의 CROWN 이 해저 위 약 5m 이내의 거리 까지 도달하도록 CHAIN CABLE 을 WALK BACK 한 연후에 WILD CAT 의 LOCKING PIN 을 빼고 극히 미소한 후진 타력으로 BRAKE 를 이용 묘쇄를 신출한다.

(2) 50m 정도의 수심에서의 투묘

CHAIN CABLE 을 WALK BACK하여 앵카의 CROWN 이 해저에 닿도록 한다. WILD CAT 의 LOCKING PIN을 넣은 채로 두고 윈드라스를 조작하여 극히 미소한 후진 타력으로 필요한 길이의 묘쇄를 신출한다.

(3) 80m 정도의 수심에서의 투묘

선체를 완전히 정지시키고 CHAIN CABLE 을 WALK BACK하여 앵카의 CROWN 이 해저에 닿도록 LOCKING PIN을 넣은 채 소요량의 묘쇄를 신출한다.

5. 결론

앵카를 신조할 시는 제조자는 반드시 낙하 검사를 실시한다. 이때 검사의 요령은 앵카를 강관위 4m의 높이에서 강관을 향하여 자역 낙하케 한다. 이때 앵카에 손상이 생기면 그 앵카는 제조 검사에 불합격되는 것이다.

D/F 호는 해저로부터 46m의 높이에서 해저 암반위에 앵카를 자연낙하 시켰다. 이때 물의 저항이 있기 때문에 앵카가 해저에 도달할 때의 속력은 13 m/sec 된다. 이 속도로 부터 공기중에서 암반위에 앵카를 자연 낙하 시킨것으로 생각하고 낙하 높이를 계산하면 낙하 높이는 8.6m가 된다. 이 높이는 제조 검사 높이의 2.15 배나 된다. 따라서 D/F 호의 앵카 파손의 원인에 대한 결론은 다음과 같다.

(1) D/F호의 선장은 투묘하여야 할 해역의 수심이 46m 이고 해저 저질이 암반임에도 불구하고 DEEP SEA ANCHORING의 원칙을 모두 무시하고 통상의 방법으로 투묘하였다.

(2) D/F 호의 앵카는 13m/sec 속도로 해저 암반위에 떨어졌으며 어떠한 형태로든 해저 암반의 돌출부가 앵카의 CROWN에 격돌할때는 앵카는 파괴된다.

왜냐하면 앵카 재질의 전단 극한 강도는 23kg/mm² 정도인데 실제로 걸렸던 응력은 60kg/mm²로 계산되며 앵카 CROWN에 암반의 돌출부가 격돌할 때를 상정하여 충격치로 파괴를 계산하여도 앵카 재질의 파괴 충격치는 10~11kg·m/cm²실제로 걸린 충격치는 23.6 kg·m/cm²나 된다. 따라서 돌출 암반부가 앵카에 격돌하게 되면 어떠한 경우든 간에 여러가지 계산의 결과는 앵카가 파괴된다는 것을 확실하게 명시하여 준다.

(3) 따라서 D/F 호의 앵카 파손은 깊은 수심에서 심해 투묘의 안전 수칙을 이행하지 않은 부주의가 야기 시킨 사고이다.

V. “한진인천”호의 침몰사고

1. 선박의 개요

선 명 : “한진인천”
총톤수 : 17,676 톤
선 종 : 컨테이너 전용선 1.150 TEU
길이 및 폭 : 200.6m × 23.8m
선속 및 주기 마력 : 18.5 Kont, 18,800HP
진수년월일 : 1979. 8. 30 (현대중공업)
승조원수 : 21명
흘 수 : 선수 640m, 선미 7.58m

2. 사고의 개요

(1) “한진인천”호의 최종입항 및 출항

“한진인천”호(이하 H 호로 약칭함)는 1987년 2월 4일 미국의 서해안에 있는 시애틀항에 입항하여 양하를 끝내고 내용물이 든 40ft 컨테이너 200개, 또한 내용물이 든 20ft 컨테이너 28개와 40ft 공콘테이너 137개, 20ft 공콘테이너 26개 총 391개의 컨테이너를 선적하고 2월 5일 09시에 시애틀항을 출항하여 부산을 향하였다.

(2) 최후의 항해 및 실종경위 (그림 V-1, 2 및 3 참조)

H호는 1987년 2월 5일 09시 미국의 시애틀항을 출항하여 그림 V-1 및 2와 같은 경로를 거쳐서 부산을 향하여 2월 13일 12시까지 항해하였다.

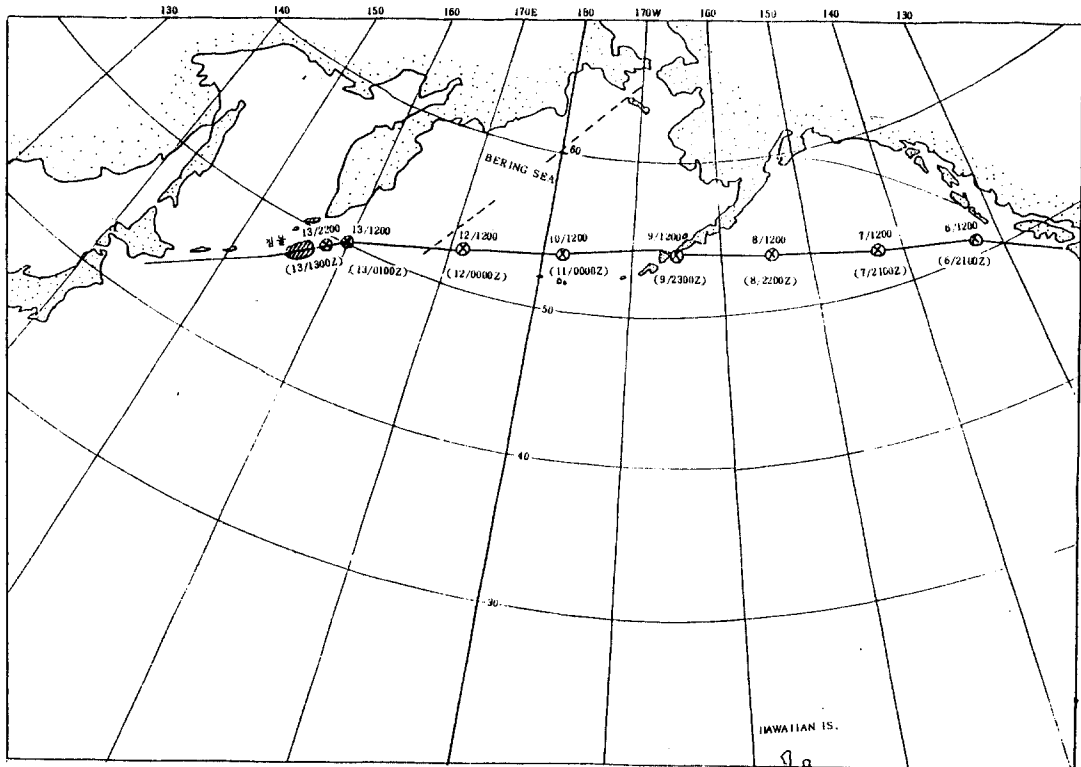
H호는 2월 13일 22시에 “위치 49.5N, 158.0E, 파고 7미터, 풍속 40~50노트의 강풍속에서 8노트의 선속으로 저속항해중임”을 최후 소식으로 남기고 2월 14일 이후에는 위치보거나 기타 통신을 남기지 아니하고 실종되었다.

(3) 침몰 확인 경위(그림 V-3 참조)

1987년 2월 13일 H호가 타전한 최종의 위치로부터 방위 164°, 거리 32마일 떨어진 위치인 49.00N, 158.19E에서 2월 15일 11시 55분에 일본의 어선 텐유마루가 H호 승무원 (3등항해사)의 시체와 구명복을 발견하였다. 또한 2월 16일 12시 5분에 48.00N, 158.25E의 위치에서 미국공군소속의 수색항공기가 H호의 컨테이너 3개와 구명정 1척이 표류중임을 확인하였고, 2월 16일 15시경에 일본의 자위대소속의 수색항공기가 48.58N, 158.25E에서 길이 29Km, 폭 10Km의 oil spill을 발견하였다. 이상의 여러가지 사실로 미루어 H호는 황천으로 인하여 침몰되었음이 확인되었다.

3. 침몰사고의 발생일시 및 위치의 추정(그림 V-3 참조)

H호가 13일 22시 타전한 위치는 캄차카반도의 최남단 서남방에 있는 Ostrov Paramushir 도의 최남단과 거의 같은 위도이고, 이섬의 최남단으로부터 106°, 거리 104마일 떨어져 있는 곳이다. H호가 위치를 타전한 시각, 부근의 이 지역 기상도를 보면 이 때의 풍력 8~9이고 풍향을 WNW 또는 W 방향이다. H호는 230°부근의 침로를 잡고 있었을 것이므로 13일 20시경까지는 H호는 강풍속이지만 그래도 캄차카남단과 Ostrov Paramushir 섬의 차폐역할때문에 비교적 약한 swell을 받았을 것으로 생각된다. 그러나 20시경 이후는 훨씬 큰 swell을 받으면서 항해하였을 것이다. 왜냐하면 20시 이후에는 swell을 막아주는 육지가 없어지고 대양의 큰 swell이 그대로 왔을 것이기 때문이다. 이 swell은 거의 우현 정황방향에서 왔을 것이나 야

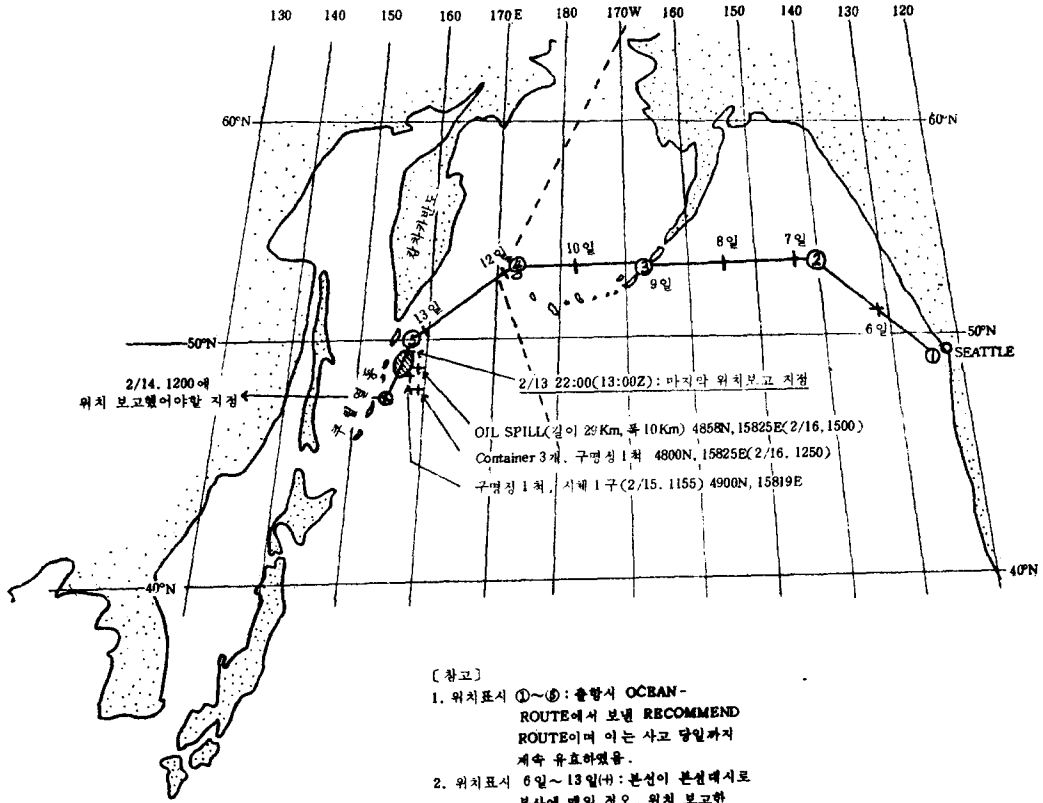


(그림 V-1)

간이고 황천이기 때문에 swell의 방향은 알아볼 수도 없었을 것이다.

H호의 3등항해사가 구명동의를 착용하고 시체가 발견되었다는 점과 H호의 life boat, container

및 oil spill 이 발견된 위치에서 판단하여 보면 H호가 침몰된 시간은 대략 14일 0200-0300시 사이가 될 것으로 추정되고 위치는 49°N, 157.5°E 부근일 것으로 추정된다.



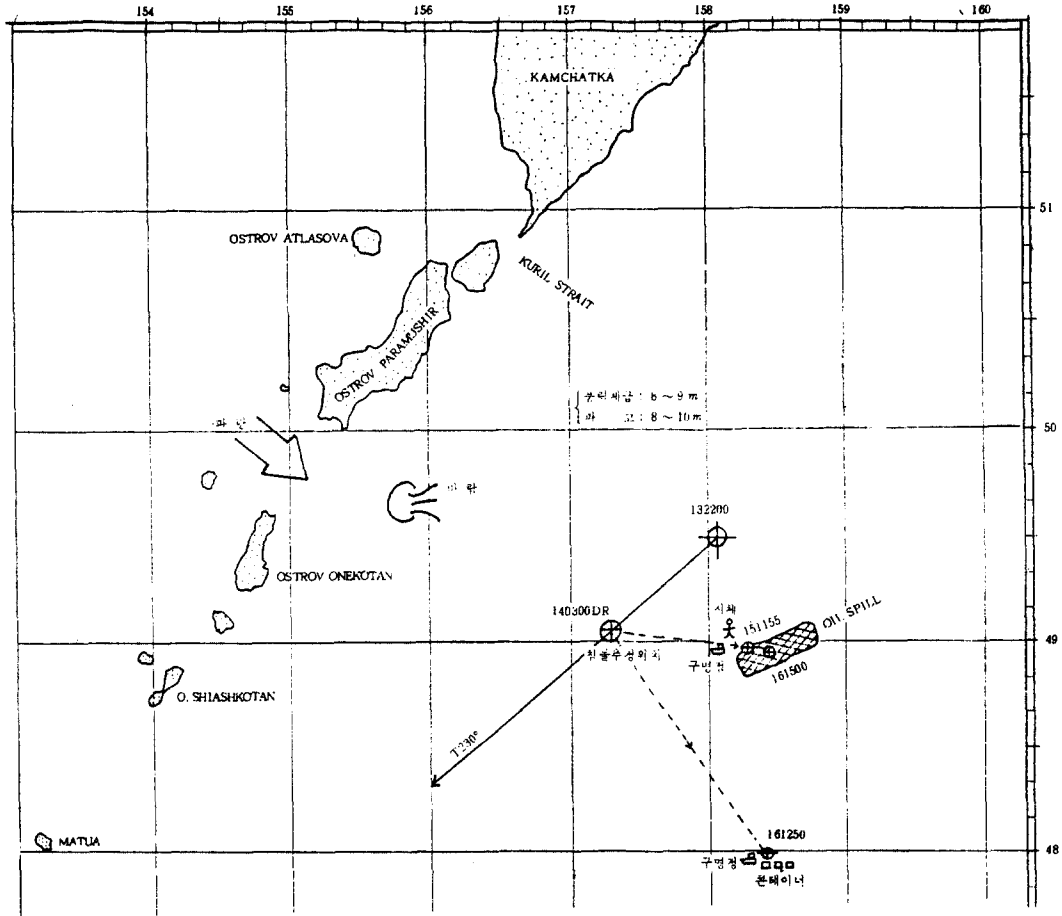
- [참고]
1. 위치표시 ①~⑤: 출항시 OCEAN-ROUTE에서 보낸 RECOMMEND ROUTE이며 이는 사고 당일까지 계속 유효하였음.
 2. 위치표시 6일~13일(하): 본선이 본선대로서 본사에 매일 경우, 위치 보고한 지점

※ 조난 위치, 시점 추정

- ① 2/13, 22:00(13:00Z)에 위치 49.30N, 158.00E, SP'd:8Kts, 풍향·풍속: SW 50Kts, 마고 7M로 본사에 보고함.
- ② 사고 위치 추정: 위의 최종 위치 보고점에서 OCEAN ROUTE의 권고선로 230°(T)로, SP'd 8Kts로 함께 하였으면 다음날 위치 보고 해야할 지점은 위에 표시한 바와 같으며, 부유물(발견물) 및 당시 풍향을 고려하면 빗금친 부분(●)이 사고 해역임.(49°N, 157.5°E 부근)
- ③ 당시 기상등 추정

분류	근거	OCEAN ROUTE 자료	기상대(2/14, 0900 현재)	HJ REPORT (해 1300Z)	Fax(131200Z)	선체 운동 계산위한 사용치
WIND		WSW 8	W 25M/SEC 이상	SW 50Kts	W 30-55Kts	WSW 45 Kts
Hw		7M	9M 이상	7M		위의 풍속에 의한 H계산값: 9.97M
Co		230°				230°

(그림 V-2) H호의 항적 및 사고 약도

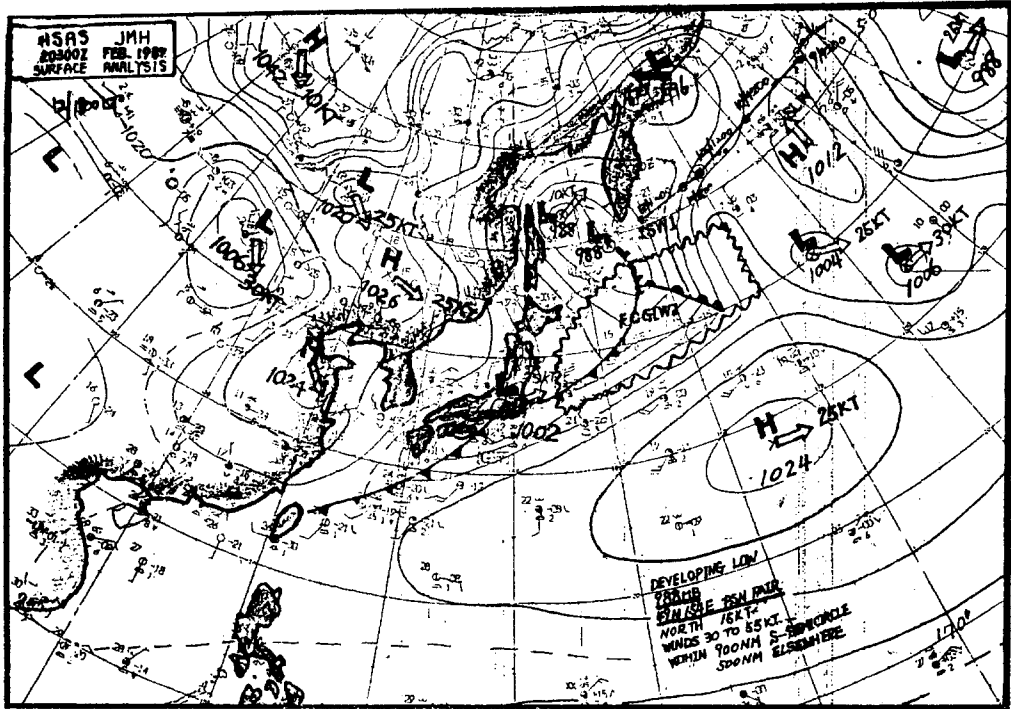


(그림 V-3) H호의 침몰 추정 위치

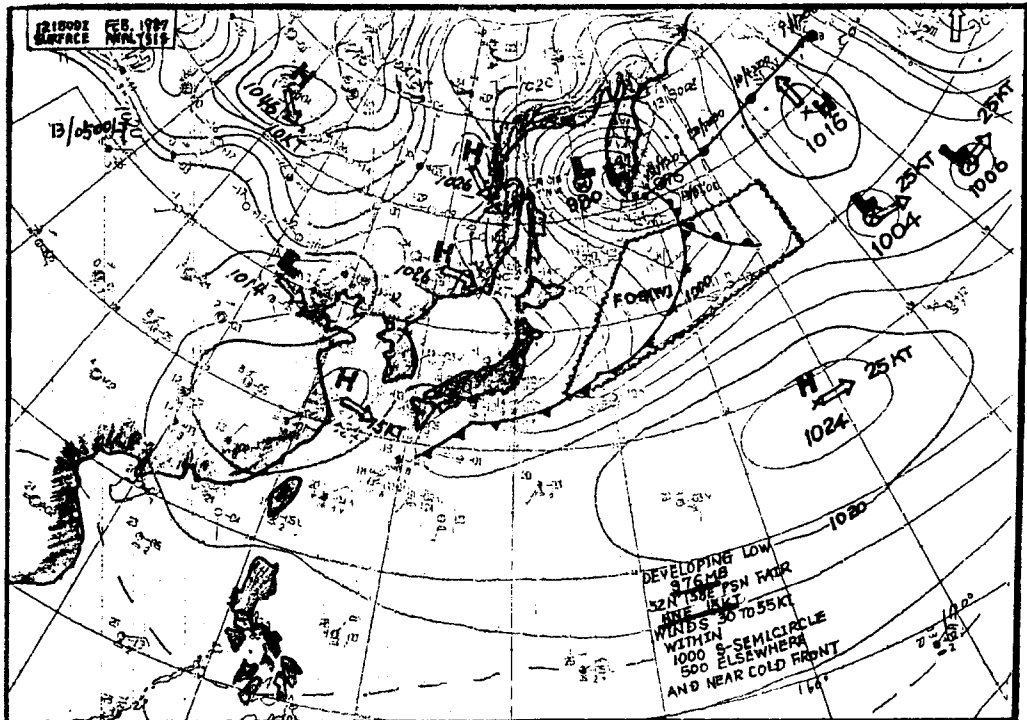
4. “한진인천”호가 조우한 황천의 내용 검토(그림 V-4, 5, 6, 7, 8 및 9 참조)

그림 V-4는 2월 12일 18:00시(선박시간)의 기상도이고 H호의 18:00시 위치도 표시되어 있다. 이 당시 “한진인천”호 침몰의 전방 500마일 해상에 988미리바의 저기압이 위치하여 있고 북으로 매시 15Knots의 속도로 이동하고 있었으며, 남쪽 반원은 900마일 권내에서 30~55노트(강풍)가 불었고 다른 반원에서는 500마일 이내에서 같은 크기의 강풍이 불었다. 13일 05시(선박시)의 기상 조건은 그림 V-6과 같고 H호는 캄차카반도를 거

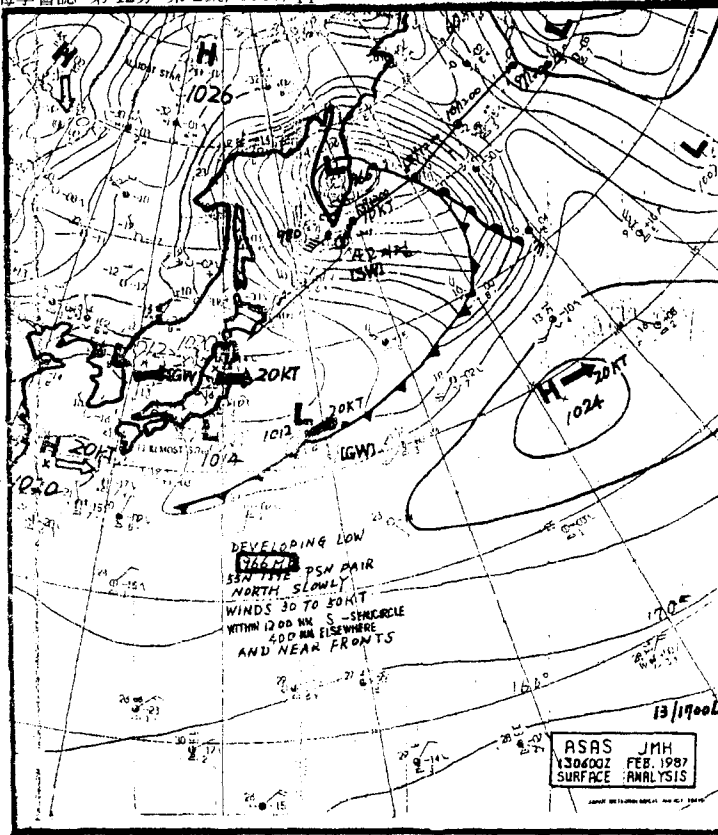
의 벗어나는 위치에 있었다. 그림 V-7 및 8을 보면 2월 13일 22:00시와 14일 03:00시 사이에 H호는 점점 발달되면서 중심기압이 966미리바로 내려가 있는 태풍의 남쪽반원에 있었고 태풍 중심과의 거리는 300마일 정도이고 바람은 풍력계급 8~9정도 되는 서풍을 받고 있었다. 그림 V-9를 보면 이 당시 H호는 우현 정황부근의 방향에서 8~10미터 정도 높이의 대파랑을 받았음을 알 수 있다. 따라서 H호는 강풍을 동반한 대파랑 때문에 전복 침몰된 것이 거의 확실하다는 것을 알 수 있다.



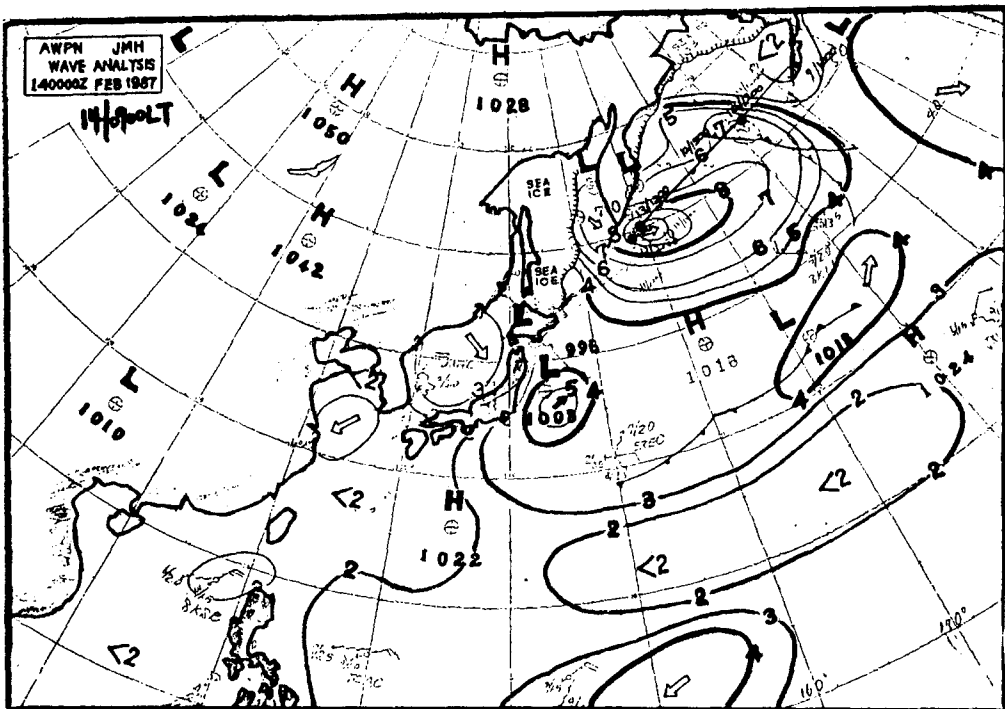
(그림 V-4)



(그림 V-5)



(그림 V-8)



(그림 V-9)

5. 결론(그림 V-10 참조)

“한진인천”호의 침몰 실종 사고에 대하여 침몰의 여러가지 가능한 원인을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

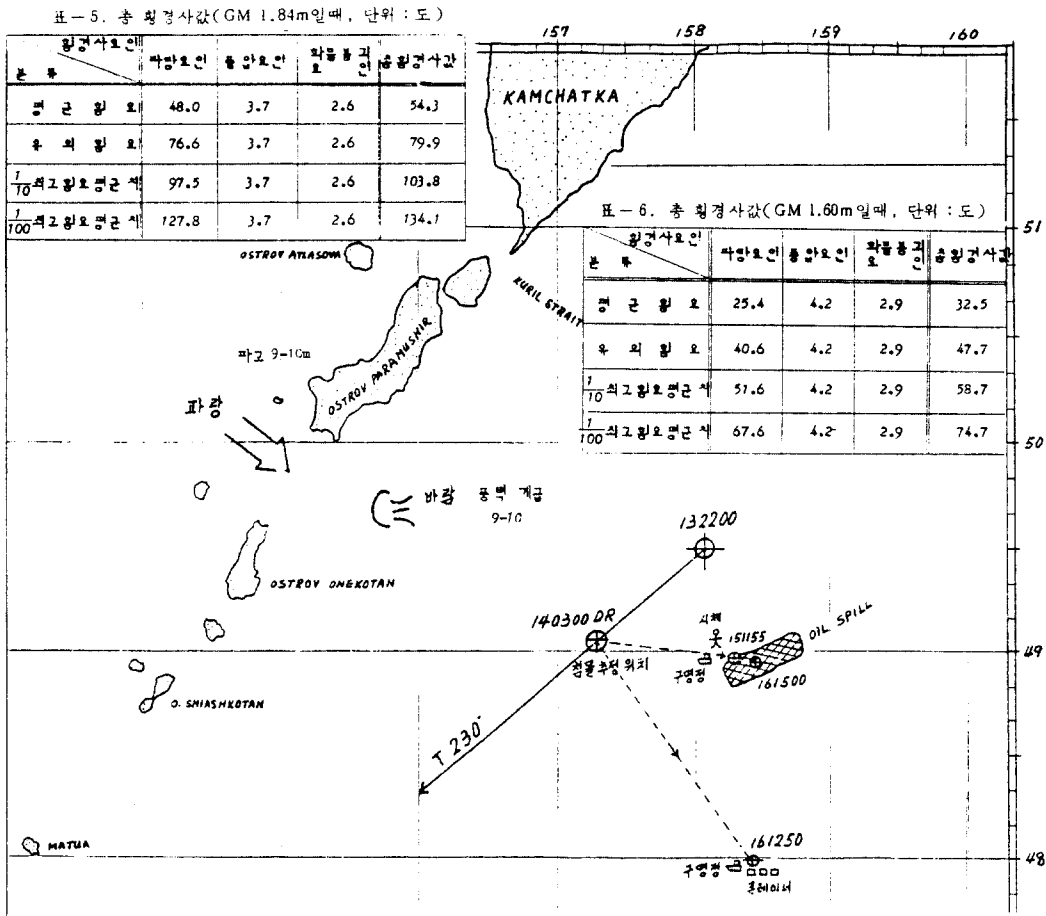
(1) H호는 사고 당시 진침로 230°내외의 침로를 잡고 항해하고 있었으며, 바람은 우현정횡전방에서 Beaufort scale로 9~10이었으며, 파랑은 우현정횡방향에서 오고 있었으며 파고는 9~10m 정도였다.

(2) H호의 침몰원인은 대각도 rolling 때문예 선박이 전복되었기 때문이다. 대각도 rolling의 원인은 Ostrov Onekotan 섬과 Ostrov Paramushir섬 사이로부터 밀려오는 파고 9~10m 정도의 대형 정횡파에 선박이 동조되었기 때문이다.

(3) H호는 대각도 rolling으로 갑자기 전복되었기 때문에 SOS를 타전할 시간이 없었고, 사전에 그와 같은 rolling에 적절하게 대처하지 못한 것은 야간의 황천속에서 대파를 받고 있었기 때문에 파의 도래방향을 정확히 파악하지 못하였기 때문이다.

(4) H호의 침몰 시간은 14일 02:00시에서 14일 03:00시 사이가 된 것으로 추정되며 전복 침몰위치는 49°N, 157.5°E 부근이다.

(5) H호의 두개의 구멍정이 발견된 장소가 사고 추정위치로 부터 각기 방향이 크게 다른 이유는 구멍정이 모선으로부터 이탈된 시간과 장소가 각기 다르다는 것을 암시하는 것이며 이러한 점으로 미루어 볼 때 H호는 전복후에도 상당한 시간동안 부상하여 있었다고 추정된다.



(그림 V-10)

VI. “보운 1호”의 선저 접촉사고 원인 분석

1. 선박의 개요

국 적 : 한국
 전 장 : 145m
 수선장 : 135m
 선 폭 : 19.8m
 선 심 : 12.0m
 경하중량톤 : 4,479 톤
 배 수 톤수 : 20,550 톤
 재화중량톤 : 16,071 톤

2. 사고의 개요

울산항에서 방카 C 및 A를 적재하고 동 항을 출항하여 인천을 향함. 1987년 3월 2일 12시 12분에 인천 입항 수로인 045도의 침로상에서 좌현측으로 이탈 항해하다가 장안서 서북방의 11.3미터의 천소에 접촉통과하였다. 그리하여 우현 선저 No 1, 2, 3 및 4의 탱크가 파열되어 상당량의 기름을 유출한 큰 오염사고가 생기게 되었다. 사고 당시의 선속은 대략 10Kont 였다.

3. 본선의 출입항 Condition

울산 출항 홀수 F : 9.60m
 A : 10.00m
 M : 9.80m
 인천 입항 홀수 F : 9.68m
 A : 9.86m
 M : 9.77m

4. 조석에 따른 천소의 수심계산(해도수심 11.3m)

11.3m로 표시된 해도의 수심은 1987년 3월 2일 12시 12분의 조석에 따른 정정이 필요하다. 정정수치계산에 사용된 표준항은 인천이며 사고 지점은 풍도를 기준으로 하여 계산한다.

	H. W	L. W
표준항(인천)의 조시	06 ^h 50 ^m	12 ^h 50 ^m
+ 조시차	-20 ^m	-20 ^m
풍도의 조시	06 ^h 30 ^m	12 ^h 30 ^m

표준항의 조고	882cm	-42cm
표준항의 평균수면	464	464
-(M. S. L, Zo)		
M. S. L 에서 높이	418	-506
표준항에 대한 풍도의		
×) 조고비	0.9	0.9
풍도에 있어서 M. S. L		
로부터의 수면 높이	376.2	-455.4
+ 풍도에 있어서의 Zo	432.0	432.0
풍도의 조고	808.2cm	-23.4cm
	(3월 2일 06 ^h 30 ^m)	(12 ^h 30 ^m)

H.W. - L.W. = 06hour, 12^h 30^m (L. W) - 12^h 12^m = 18^m
 고조의 높이(808.2) + 저조의 높이(23.4) = 831.6cm
 12^h 12^m에 대한 수정
 831.6 × 0.01 (표치) = +8.316cm
 그러므로 -23.4 + 8.316 = -15cm
 사고 당시의 수심 : 11.3 - 0.15 = 11.15m

5. 항주로 인한 선수침하량 계산

이러한 계산에는 우선 Froude number 및 h/d의 비 계산이 중요한 요소가 된다.

(1) Froude number (Fn)

$$= \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{10 \times 0.514}{\sqrt{9.8 \times 135}} = 0.14$$

(2) 수심을 기준한 Froude 수 (Fnh)

$$= \frac{V}{\sqrt{gh}} = \frac{10 \times 0.514}{\sqrt{9.8 \times 115}} = 0.49$$

(3) h/d = $\frac{11.15}{9.77} = 1.14$

선수침하량의 수치계산은 거대형선 조종론 (윤점동저)의 Page 64-73에 근거하여 계산한다.

(1) 일본 선박기술연구소 모형실험자료에 의한 선수침하량 계산 (p.64 그림 3.1 근거)

$$0.5\% \times 135 = 0.5 \times 135 / 100 \\ = 0.68 = 68\text{cm}$$

(2) 동경대학의 모형실험자료에 의한 선수침하량 계산 (p.66 그림 3.2 근거)

$$0.5\% \times 135 = 68\text{cm} : \text{평균침하량}$$

$$0.3\% \times 135/2 = 20\text{cm} : \text{trim에 따른 침하량}$$

$$\text{선수총침하량} = 68 + 20 = 88\text{cm}$$

(3) E.O.Tuck의 이론에 의한 선수침하량 계산
(p.67의 3.1 및 3.2식 근거)

$$Z = 0.257 \times 1.46 \times (20,600 + 1.025) / 135^2 = 44\text{cm}$$

$$Q = 0.275 \times 1 \times (20,600 + 1.025) / 135^3 = 0$$

$$\text{침하량} = 44\text{cm}$$

(4) 최근 일본 등지에서 사용되고 있는 수표에 근거한 선수침하량 계산

(p.72 표 3.2 근거)

$$10.5 - 8.4 = 2.1$$

$$10.5 + 2.1 = 12.6 \quad \bar{A} = 13.6$$

$$12.6 + \quad = 13.6$$

$$\bar{A} = 13.6 \text{으로부터 } 0.76$$

$$\text{침하량} = 76\text{cm}$$

(5) Kobe 상선대학의 수치표에 의한 선수침하량계산 (이 수치표는 최악의 경우를 상정한 값들이다. p.73 표 3.3 근거)

$$0.84 - 0.685 = 0.157$$

$$0.84 + 0.157 = 0.999$$

$$0.999 + 0.157/5 = 1.03$$

$$1.03\% \times 135 = 1.03 + 135/100$$

$$= 1.39$$

$$\text{침하량} = 1\text{m } 39\text{cm}$$

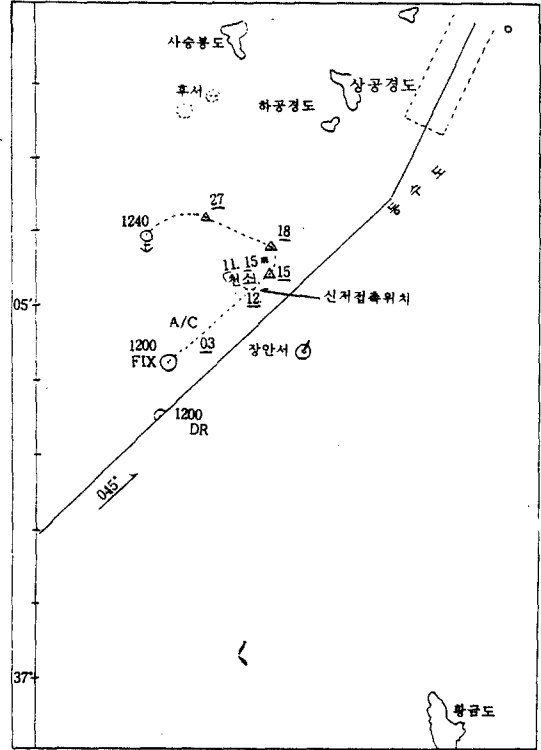
6. 결론

선수침하량 계산은 위에서 본바와 같이 어느 방식을 사용하더라도 정확한 계산이 불가능한 것이다. 그러므로 제일 크게 계산된 1m 39cm의 침하량을 근거로 하여 Bottom touch 여부를 알기 위한 계산은 다음과 같다.

$$\text{수심} - \text{선수흘수} = 11.15 - (9.68 + 1.3)$$

$$= +8\text{cm}$$

즉, 여유수심은 8cm 밖에 없고 약간의 Pitching이나 Rolling이 있으면 즉시 Bottom touch가 예상되는 것이다. 또한 계산자체에 항상 오차가 있는 것이다. 그러므로 본 사고는 선수침하로 인한 Bottom touch라고 판단된다.



〈그림VI - 1〉

VII. “현대 뉴 월드”호의 좌초 사고

1. 선박의 개요

(1) 제원

국 적 : 한국
총톤수 : 101,486톤
전 장 : 309m
선 폭 : 50m
기 관 : 디젤 16,400 마력

(2) 사고 당시의 Condition

흘 수 : F : 17.19m , A : 17.76m
적재톤 : 193,476L/T (석탄 및 철광석)
배수량 : 약 235,000톤
조 류 : SW, 약 3.5Knots
저 질 : 모래
풍향 및 풍속 : NNE, 5~6m/s

2. 사고의 개요

광석/석탄 운반선인 “현대 뉴 월드” 호는 Baltimore, Norfolk 항에서 석탄 100,114 L/T과 Brazil의 Ponta da Madeira 항에서 광석 93,362 L/T (Total 193,476 L/T)을 적재하고, 1987년 3월 27일 13시 30분 임시 수리한 Engine의 예비 실린더 라이너를 수급받아 완전히 수리를 마치고 출항하기 위하여 외항 묘지(부두에서 약 60마일)에 묘박 대기하였다.

4일후 도착된 실린더 라이너는 너무 무거워서 외항까지 운반이 곤란하였다. 내항의 묘박지에서 이것을 받고자 회항하던중, 도선사의 조종미숙으로 폰타 다 마데이라 등대로 부터 진방위 322도, 거리 2.95마일 지점의 해도상 수심 15.9m의 천소에 좌초 되었다.

그후 각종 방법으로 이초를 시도하였으나 양하 및 이적이 불가하였으므로, 선저의 손상으로 침수되어 구조 불가능한 상태에 이르게 되었으며 결국은 전손처리 되었다.

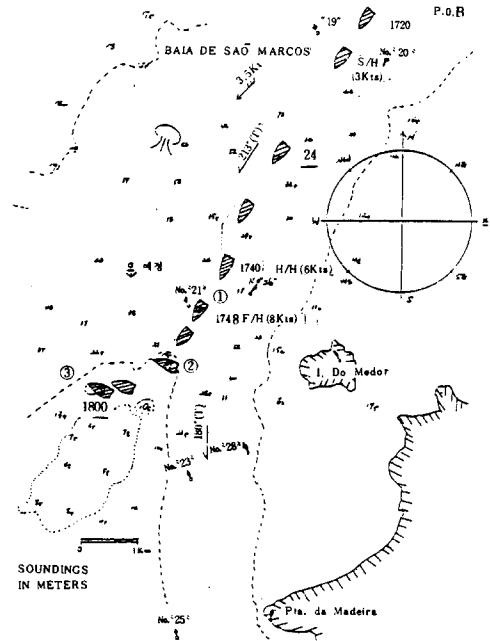
3. 조선방법 및 사고 원인

투묘 예정 지점의 수심은 약 40m 이며 정선미 방향에서 약 3.5 Knts의 조류를 받고 있었으므로, 도선사는 타력을 감안하여 선수를 180°선회시키고 선수에서 조류를 받으면서 정지상태의 투묘를 시도하고자 하였다. 그러나 도선사는 거대형선의 선회 종거 및 횡거를 추산하지 못하여, 그림에서 보는 바와같이 21번 부표를 통과 (① 지점) 하면서 전속 우현전타를 시도하여 ⚓ 표시된 예정 투묘 지점에 향하고자 하였다. 한편 21번 부표의 약 1000m 전방에 17.5m의 천수구역 (②)이 있으며 20m의 등심선도 넓게 분포하고 있었다. 이선박의 경우, 조종성지수로도 거의 정확한 조종운동을 계산할 수 있지만 비슷한 선박에 대한 선회종거 및 횡거를 갖고 선회종거와 횡거를 추정하여 보면 종거 (Advance) 약 1000m, 횡거 (Transfer) 약 400~500m에 달하고 있다.(윤점동 저 거대형선 조종론 p.17 참조)

따라서 21번 부표를 통과하면서 전속 전진 우현전타하는 경우 천수구역에 들어가는 것은 필연적이

며, (일반선박에서도 종거는 선체 길이의 3~4 배) 선회방향에서 약 3.5Knts의 조류를 받고 있었으므로 선체는 더욱 천수구역으로 밀렸다고 생각된다.

1차적으로 수심 17.5m (② 지점)에서 선저와 접촉하여 회두가 중단 되었고, 다시 회두 되면서 15.9 m (③ 지점)에 좌초 될 수 밖에 없었다.



〈그림Ⅷ-1〉

4. 결론 및 대책

본 사건은 조선자가 거대형선의 조종특성을 잘 이해하지 못하였던것이 으뜸가는 원인이다.

첫째, 만재상태에서 이 정도의 거대형선의 추종성 지수는 대단히 크다. 통상 자선길이의 3~5배만큼 전진한 후 (선수각이 거의 변하지 않으면서) 서서히 선수각이 변하게 되는 점에서 유의하여야 할 것이다.

둘째, 거대형선은 묘박지 부근에서 거의 모든 경우 흘수의 제한을 받게 되므로 천수의 영향을 고려하여 조선하여야 할 것이다.

본 좌초 사고는 참으로 어처구니 없는 사고라고 생각된다.

별첨 : 사고분석을 위한 제반 수식

1. Continental Friendship호에 관한 수식

(1) 횡방향 운동방정식

$$(m+m_v) \frac{dv}{dt} = C - 1.6 \times \frac{1}{2} \rho L d v^2$$

$$m' \frac{dv}{dt} = C - n v^2$$

$$m' : m + m_v$$

$$c : \text{압류력}$$

$$n : \text{물의 저항 계수}$$

$$t = \frac{m'}{n} \cdot \frac{1}{2\sqrt{c/n}} \log \frac{\sqrt{c/n} + v}{\sqrt{c/n} - v} + c_1$$

$$t = 0 \quad v = 0, \quad c_1 = 0$$

$$t = \frac{m'}{n} \cdot \frac{1}{2\sqrt{c/n}} \log \frac{\sqrt{c/n} + v}{\sqrt{c/n} - v}$$

(2) 횡방향으로 이동한 거리 계산식

$$\left(\begin{array}{l} \frac{0.416+v}{0.416-v} = e^{\frac{t}{69}} \\ \frac{c+v}{c-v} = e^{\alpha_1 t} \\ S = \frac{c}{\alpha_1} \log \frac{c_2}{c^2 - v^2} \end{array} \right.$$

단, $c = 0.416$

2. Honam Jade 호에 관한 수식

(1) 풍압에 의한 회두 모멘트 계산식

$$M_a = R_a \sin \alpha (l_c - l_a)$$

(2) 풍압 계산식

$$R_a = \frac{1}{2} \rho_a c_a v_a^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta)$$

(3) 유압 계산식

$$R_w = \frac{1}{2} \rho_w c_w v_w^2 L d$$

$$\text{단, } h/d : 1.1$$

(4) 유압 모멘트 계산식

$$M_w = \frac{1}{2} \rho_w c_w v_w^2 L^2 d$$

(5) 타력, 항주거리에 대한 계산식

$$\frac{(m+m_x)}{9.8} \frac{du}{dt} = -R_0 \left(\frac{u}{u_0}\right)^2$$

$$t = \frac{u_0^2 (m+m_x)}{9.8 R_0} \left(\frac{1}{u} - \frac{1}{u_0}\right)$$

단, $R_0 = T = \frac{\text{BHP (or SHP)} \times 75 \times 0.65}{0.514V \times 1000}$

(6) 진출거리 계산식

$$S = \frac{u_0^2 (m+m_x)}{9.8 R_0} \text{Log} \frac{u_0}{u}$$

3. 충용호에 관한 수식

(1) 타주거리(S) 계산식

$$S = \frac{u_1^2 (m+mr)}{9.8 R_1} \text{Log} \frac{u_1}{u}$$

(2) 충용호가 "keelung" 방파제에 밀렸을때의 타주 속도 계산식

$$1.15 \times 1852 = \frac{u_1^2 (m+m_x)}{9.8 R_1} \text{Log} \frac{7.5}{u}$$

(3) 기관정지로부터 방파제에 밀릴때까지 요하는 시간(t) 계산식

$$t = \frac{u_1^2 (m+m_x)}{9.8 R_1} \left(\frac{1}{u} - \frac{1}{u_1}\right)$$

(4) 기관 전속 역전후 선체정지시까지의 진출거리(S) 계산식

$$S = \frac{u_1^2 (m+m_x)}{9.8 R_1} \text{Log} \left| \sec C \tan^{-1} \sqrt{\frac{R_1}{T_a}} \right|$$

단, $u_1 = 6.4 \times 0.514$, $R_1 = 14.3$ 톤
 $T_a = 71 \times 0.75 - \text{선수방향 풍압력} = 50$ 톤

(5) 기관전속 역전하여 선체가 정지할 때까지 요하는 시간(t) 계산식

$$t = \frac{R_1}{u_1 T_a} - \frac{u_1^2 (m+m_x)}{9.8 R_1} \tan^{-1} \sqrt{\frac{R_1}{T_a}}$$

4. 대양 Family호에 관한 수식

(1) 낙하 운동에 관한 수식

$$(m+m_y) \frac{dv}{dt} F_a + F_c - \frac{F_a + F_c}{10} - \frac{1}{2} \rho A V^2 / 1,000$$

$$= 0.3048 f B v^{1.825} / 1,000 \dots \dots \dots (1)$$

단,

- | | | | |
|----------------|------------------|----------------|----------------|
| m | : 앵카 및 체인케이블의 질량 | F _a | : 앵카에 걸리는 힘 |
| m _y | : 부가질량으로 10%로 가정 | F _c | : 체인케이블에 걸리는 힘 |

- A : 앵카크라운의 압력면 B : 앵카 및 체인의 총 마찰면적
 v : 앵카낙하속도 P : 해수의 중력단위 밀도 104.6 kg · sec²/m⁴
 f : 마찰저항계수

5. 한진 인천호의 사고분석에 관한 수식

(1) 횡요계산 방법

당시의 해면의 파고가 $P(H_i) = \frac{2H_i}{H^2} e^{-H_i^2/H^2}$ 으로 표현되는 이론적 Rayleigh 분포를 이루고 있는 것으로하여 다음의 과정에 따라 계산 하였다.

단, $\left\{ \begin{array}{l} P(H_i) : H_i \text{의 파고가 존재할 확률 밀도} \\ H^2 = \frac{\sum [(x_i)^2 \times f(H_i)]}{\sum [f(H_i)]} \\ f(H_i) : H_i \text{의 파고의 발생빈도} \end{array} \right.$

(a) Standard wave spectrum의 계산

이는 ITTC에서 추천한 다음의 식을 사용하였다.

$$S\xi(W_w) = \frac{A}{W_w} e^{-B/W_w^4}$$

단, $\left\{ \begin{array}{l} W_w : \text{요소파들의 각 주파수 [rad/sec]} \\ A = 8.10 \times 10^{-3} g^2 \\ S\xi(W_w) : \text{Spectral Density [ft}^2 \text{- sec]} \\ B = 33.56 / (H)_{\frac{1}{3}}^2 \\ (H)_{\frac{1}{3}} : \text{유의 파고 (ft)} \end{array} \right.$

위의 식에서 $S\xi(W_w)$ 를 구하여

$$W_e = W_w \left(1 - \frac{W_w}{g} \cdot V \cdot \cos \mu \right)$$

$$S\xi(W_e) = \frac{S\xi(W_w)}{\left[1 - (4W_e/g) V \cdot \cos \mu \right]^2} \text{ 를}$$

적용하여 최종적으로

$$m_0 = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} S\xi(W_e) \cdot f(\mu_w) d\mu_w dW_e \text{로서}$$

파고의 계산을 하였다.

당시의 $(H)_{\frac{1}{3}}$ (유의 파고 : Significant Wave Height)를 구해본 결과 32.7ft(-9.97M)가 되어 우리나라 기상대의 추정치 "9M 이상"과 비교해 볼때 타당한 값임을 알았다.

(b) RAO (Response Amplitude Operator)계산

위의 (1)에서 구한 Encountering Wave Spectrum에 적용할 RAO는 다음과 같다.

$$RAO = \left(\frac{\phi_a}{\xi_a} \right)^2 \text{이며}$$

$$\frac{\phi_a}{\xi_a} = \mu \phi \frac{W_w^2}{g} = 57.3 \sin \mu$$

$$\text{단, } \left\{ \begin{aligned} \mu\phi &= \frac{\phi_a}{\phi_{st}} = \frac{1}{\sqrt{(1-\wedge^2)^2 + 4K^2\wedge^2}} \\ \wedge &= \frac{We}{W\phi} \\ W\phi &= \sqrt{\frac{\Delta GM_T}{I'_{xx}}} = \sqrt{\frac{\Delta GM_T \cdot g}{\Delta' K_{xxx}^2}} \doteq \sqrt{\frac{\Delta GM_T \cdot g}{1.15 \Delta' K_{xxx}^2}} \\ K_{xxx} &= \sqrt{\frac{g \cdot GM_T}{I'_{xx}}} \cdot T_s \\ T_s &\doteq \frac{0.8 B}{\sqrt{GM_T}} \quad K = \frac{D}{W\phi} \\ D &= \frac{b}{2a} = \frac{b}{2I'_{xx}} = \frac{b}{2 \cdot \frac{\Delta}{g} \cdot K_{xxx}^2} \\ A\phi &= \frac{\xi_a}{\phi_a \left(\frac{B_n}{2}\right)} = d\phi \left(\frac{We^2 B_n}{2g}\right)^2 \end{aligned} \right.$$

(2) Bending Moment 계산

$(M_w)_a = 2 m_w \rho g L^2 B \xi_n$ 이므로
Frequency Response Function은

$$\frac{M_w}{\xi_a} = 2 m_w \rho g L^2 B \xi_a$$

따라서 Bending Moment RAO = $\left(\frac{M_w}{\xi_a}\right)^2$

$$\text{단, } [m_w = A_1 C_w + A_2 \frac{L}{T} + A_3 \frac{K_{yy}}{L} + A_4 \frac{L}{B} + A_5 \frac{V}{\sqrt{L}} + A_6]$$