

“한진인천”호 침몰실종의 원인에 관한 이론적인 연구

윤점동* · 권중호* · 주재훈* · 허용범** · 윤순동***

A Theoretical Study on the Causes of the Sinking Disaster of M/V Hanjin-Inchon

*Jeom-Dong Yoon · Jong-Ho Gwon · Jae-Hun Joo
Yong-Bum Huh · Soon-Dong Yoon*

〈 목 차 〉

서 론	
1. 사고 선박의 제원	4. “한진인천”호가 조우한 황천의 내용 검토 (그림 4, 5, 6, 7, 8 참조)
2. 사고의 개요	5. 황천 운항중인 H호의 안전성에 대한 제반 수치 계산
가. “한진인천”호의 최종 입항 및 출항	가. H호가 조우한 해면 상태에 대한 고찰
나. 출항시의 흘수 및 기타 상태	나. H호의 횡요 각도 계산
다. 최후의 항해 및 실종 경위(그림 1, 2, 3 참조)	다. H호의 선체 종강력 계산
라. 침몰 확인 경위(그림 3 참조)	라. H호가 조우한 해면의 파랑 평균 주기 에서 예측한 사고 시간의 추정
3. 침몰사고의 발생일시 및 위치의 추정(그림 3 참조)	6. 결 론

Abstract

The disasters of west bound vessels have been more frequent than those of east bound ones on the sea routes of the North Pacific Ocean in winter season. M/V Hanjin-Inchon was also west bound in her missing voyage.

The container vessel of 17,676 gross tons, M/V Hanjin-Inchon owned by Hanjin Shipping Co., Ltd in Seoul Korea left Seattle in west coast of U.S.A for Pusan, Korea on the 5th Feb., 1987 and sailed along the exact courses recommended by Ocean Routes until she reported her position and speed as 49—30N, 158—00E and 8 knots to her head office in Seoul by the ship's time 2200 hours on the 13th Feb., 1987. The above message turned out to be last message from her because she had been missing since then leaving no message but only two life boats of her name, three containers cases, large scale of oil slicks and the corpse of her 3rd mate drifting on the sea near the position reported by her last message.

* 正會員, 韓國海洋大學

** " , 韓國海技研修院

*** " , 木浦海洋專門大學

There was no radio station that received any S. O. S message from her and also no one in the world, even in her head office in Seoul had perceived her missing until her distinct missing of sinking was confirmed with the above mentioned remains after several days of 13th Feb.

In this paper, we examined her departure conditions at her last port Seattle checking her loaded status of west bound cargoes and calculated her GM values within appropriate limits.

Obtaining the data of wind forces from weather charts within a certain time period around her missing date, we applied the data to ITTC spectrum formula to get sea status near the Kamchatka peninsular from the 13th to the 14th Feb., 1987.

Finally we calculated her possible rolling degrees and stress exerted on her hull by the impact of rough sea she had encountered.

On the basis of the above calculations, we concluded that M/V Hanjin-Inchon was capsized suddenly with big rollings over 70 degrees among the beam swells of 9—10 meters height and her capsized position to be about 120 miles south off from the southern end of the Kamchatka peninsular.

서 론

어떤 경우든간에 대형 해난사고의 원인을 연구 조사할 때 사고선박의 조건과 자연조건(기상 및 해상 상태와 지리적인 조건 등)을 배합하여 사고의 원인을 찾는 몇 가지의 수치계산을 하여 보면 우리는 언제나 틀림없이 확실하다고 생각되는 원인을 찾아낼 수 있는 것이 보통이다. 그러나 이러한 결과에서 우리가 가능하면 피하여야 하고 또한 유의할 사항은 다음과 같은 것이라고 생각한다.

피하여야 할 사항은 “사고의 원인이 이렇게 명백한데 선장은 또는 항해 책임사관은 이것을 피하는 방법을 강구하지 아니하였다. 그러므로 명백하게 잘못된 것이다”라는 결론이다. 왜냐하면 해난사고의 원인은 테이블 위에서 결과를 놓고 계산하여 연구 조사할 때는 확실하게 나타난다고 할 수 있지만 해난으로 연결되는 조선과정에서는 조선을 책임지고 있는 사람이 그러한 인과관계를 잘 감지할 수 없는 것이 보통이기 때문이다. 그리고 우리가 유의할 점은 어떤 대 해난 사고의 원인이 명백하게 드러났으면 똑같은 해난사고가 재발하지 않도록 대책을 강구하는 일이다.

“한진인천”호가 어떻게 침몰하였는지 실제로

본 사람은 아무도 없다. 여기에서는 침몰의 가장 큰 가능성이 있는 원인을 연구·조사하였을 뿐이다. 몇 개월간의 이러한 연구 조사과정에서 연구자들이 느낀 것은 열심히 해상에서 일하다가 자연력 때문에 인간이 당할 수 있는 최악의 비극을 맞았던 “한진인천”호의 선원들에 대한 한없는 연민이다. 유명을 달리한 “한진인천호”의 선원들 영전에 바다의 동료로서 삼가 명복을 비는 바이다.

1. 사고 선박의 제원

- (1) 선 명 : “한진인천”
- (2) 총 톤 수 : 17,676톤
- (3) 선 종 : 콘테이너 전용선 1,150 TEU
- (4) 길이 및 폭 : 200.6×23.8m
- (5) 선속 및 주기마력 : 18.5 Knot, 18,800 HP
- (6) 진수년월일 : 1979. 8. 30(현대중공업)
- (7) 승조원 수 : 21명

2. 사고의 개요

가. “한진인천호”의 최종 입항 및 출항
 “한진인천”호(이하 H호로 약칭함)는 1987년 2월 4일 미국의 서해안에 있는 시애틀항에 입항하여 양하를 끝내고 내용물이 든 40 ft 콘테이

너 200개, 또한 내용물이 든 20 ft 콘테이너 28개와 40 ft 공콘테이너 137개, 20 ft 공콘테이너 26개 총 391개의 콘테이너를 선적하고 2월 5일 09시에 시애틀항을 출항하여 부산을 향하였다.

나. 출항시의 홀수 및 기타 상태

전부홀수 : 6.40m

후부홀수 : 7.58m

연료유 : 1,712톤

바라스트 : 4,791톤

다. 최후의 항해 및 실종경위(그림 1, 2 및 3 참조)

H호는 1987년 2월 5일 09시 미국의 시애틀항을 출항하여 그림 1 및 2와 같은 경로를 거쳐서 부산을 향하여 2월 13일 12시까지 항해하였다. H호는 2월 13일 22시에 “위치 49.5N, 158.0E, 파고 7미터, 풍속 40~50노트, 강풍속에서 8노트의 선속으로 저속항해중임”을 최후 소식으로 남기고 2월 14일 이후에는 위치보고나 기타 통신을 남기지 아니하고 실종되었다.

라. 침몰 확인 경위(그림 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 덴유마루가 H호 승무원(3등항해사)의 시체와 구명복을 발견하였다. 또한 2월 16일 12시 5분에 48.00N, 158.25E의 위치에서 미국 공군소속의 수색항공기가 H호의 콘테이너 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.

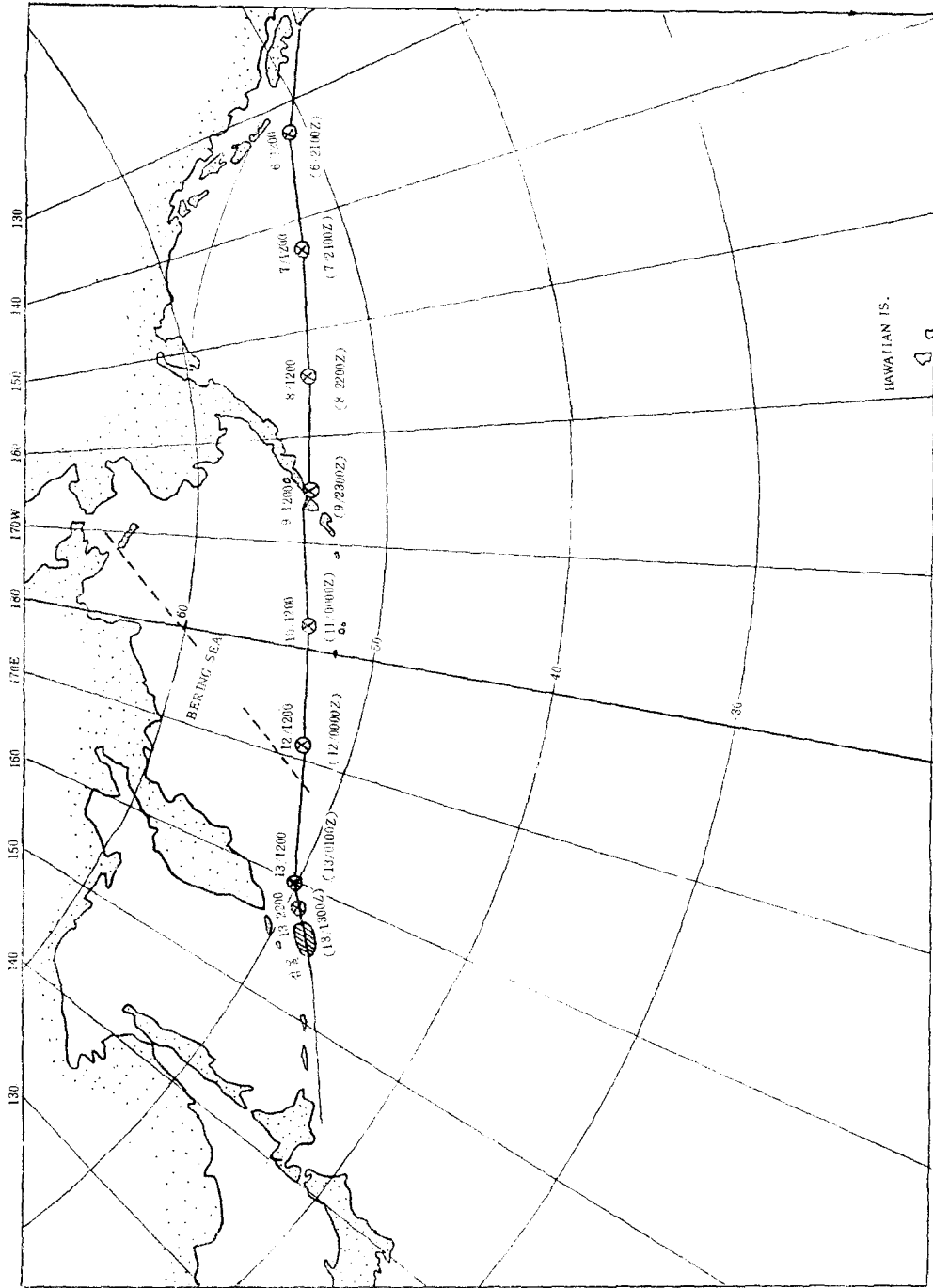
3. 침몰사고의 발생일시 및 위치의 추정(그림 3 참조)

H호가 13일 22시 타전한 위치는 캄차카반도의 최남단 서남방에 있는 Ostrov Paramushir도의 최남단과 거의 같은 위도이고, 이 섬의 최남

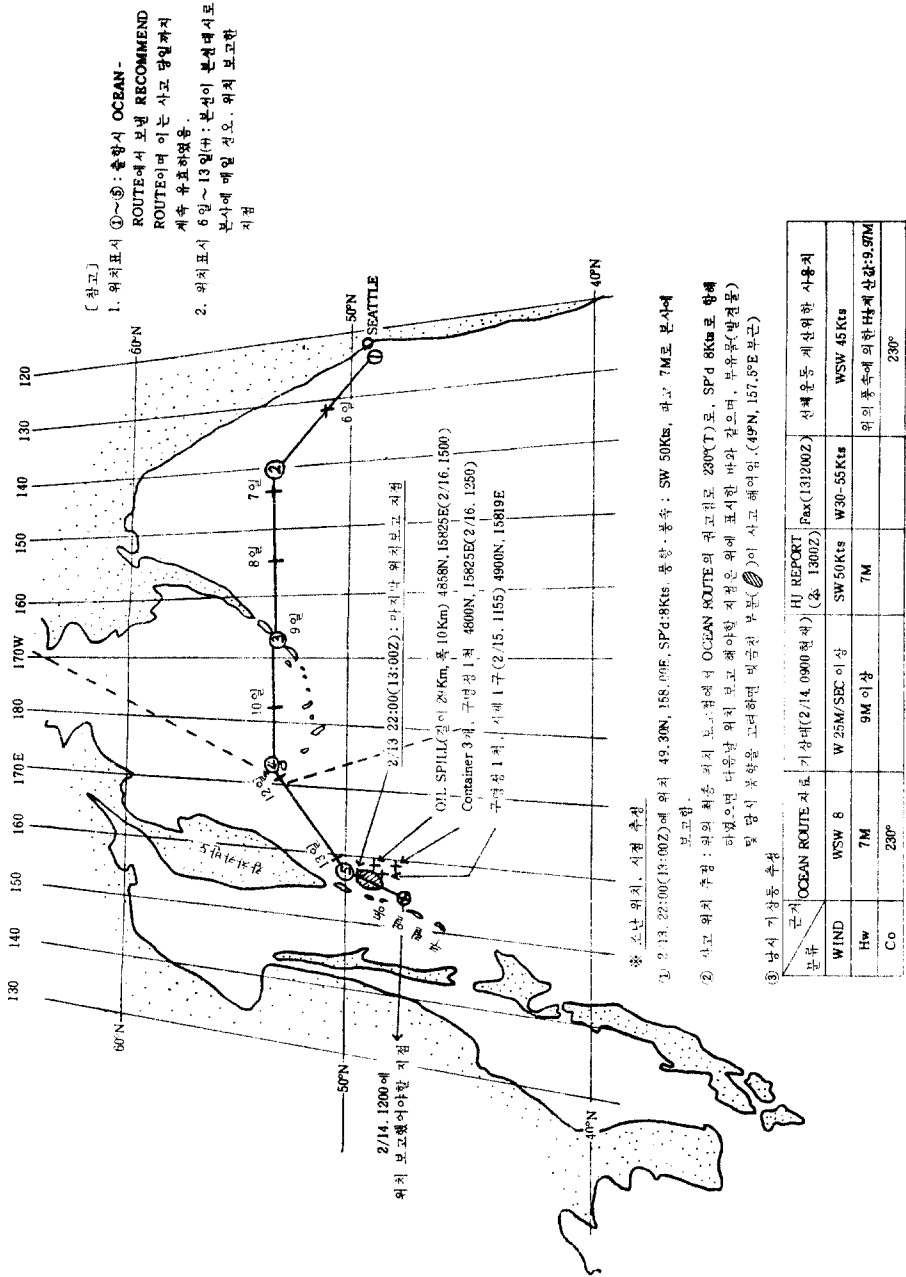
단으로부터 방위 106°, 거리 104마일 떨어져 있는 곳이다. H호가 위치를 타전한 시각 부근의 이 지역 기상도를 보면 이 때의 풍력은 8~9이고 풍향은 WNW 또는 W방향이다. H호는 230° 부근의 침로를 잡고 있었을 것이므로 13일 20시경까지는 H호는 강풍속이지만 그래도 캄차카반단과 Ostrov Paramushir 섬의 차폐역할때문에 비교적 약한 swell을 받았을 것으로 생각된다. 그러나 20시경 이후는 훨씬 큰 swell을 받으면서 항해하였을 것이다. 왜냐하면 20시 이후에는 swell을 막아주는 육지가 없어지고 대양의 큰 swell이 그대로 왔을 것이기 때문이다. 이 swell은 거의 우현 정황방향에서 왔을 것이나 야간이고 황천이기 때문에 swell의 방향은 알아볼 수도 없었을 것이다. H호의 3등항해사가 구명동의를 착용하고 시체로 발견되었다는 점과 H호의 life boat, container 및 oil spill이 발견된 위치에서 판단하여 보면 H호가 침몰된 시간은 대략 14일 02:00—03:00시 사이가 될 것으로 추정되고 위치는 49°N, 157.5°E 부근일 것으로 추정된다.

4. “한진인천”호가 조우한 황천의 내용검토(그림 4, 5, 6, 7, 8 및 9 참조)

그림 4는 2월 12일 18:00시(선박시간)의 기상도이고 H호의 18:00시 위치도 표시되어 있다. 이 당시 “한진인천”호 침몰의 전방 500마일 해상에서 988미터바의 저기압이 위치하여 있고 북으로 매시 15Knot의 속도로 이동하고 있었으며, 남쪽 반원은 900마일 권내에서 30~55노트의 강풍이 불었고 다른 반원에서는 500마일 이내에서 같은 크기의 강풍이 불었다. 13일 05시(선박시)의 기상조건은 그림 5와 같고 태풍과는 지근거리에서 있었다. 13일 11시(선박시)의 기상조건은 그림 6과 같고 H호는 캄차카반도를 거의 벗어나는 위치에 와 있었다. 그림 7을 보면 H호는 이때 약 6m 높이의 파랑을 받고 있었음을 알 수 있다. 그림 7 및 8을 보면 2월 13일 22:00시



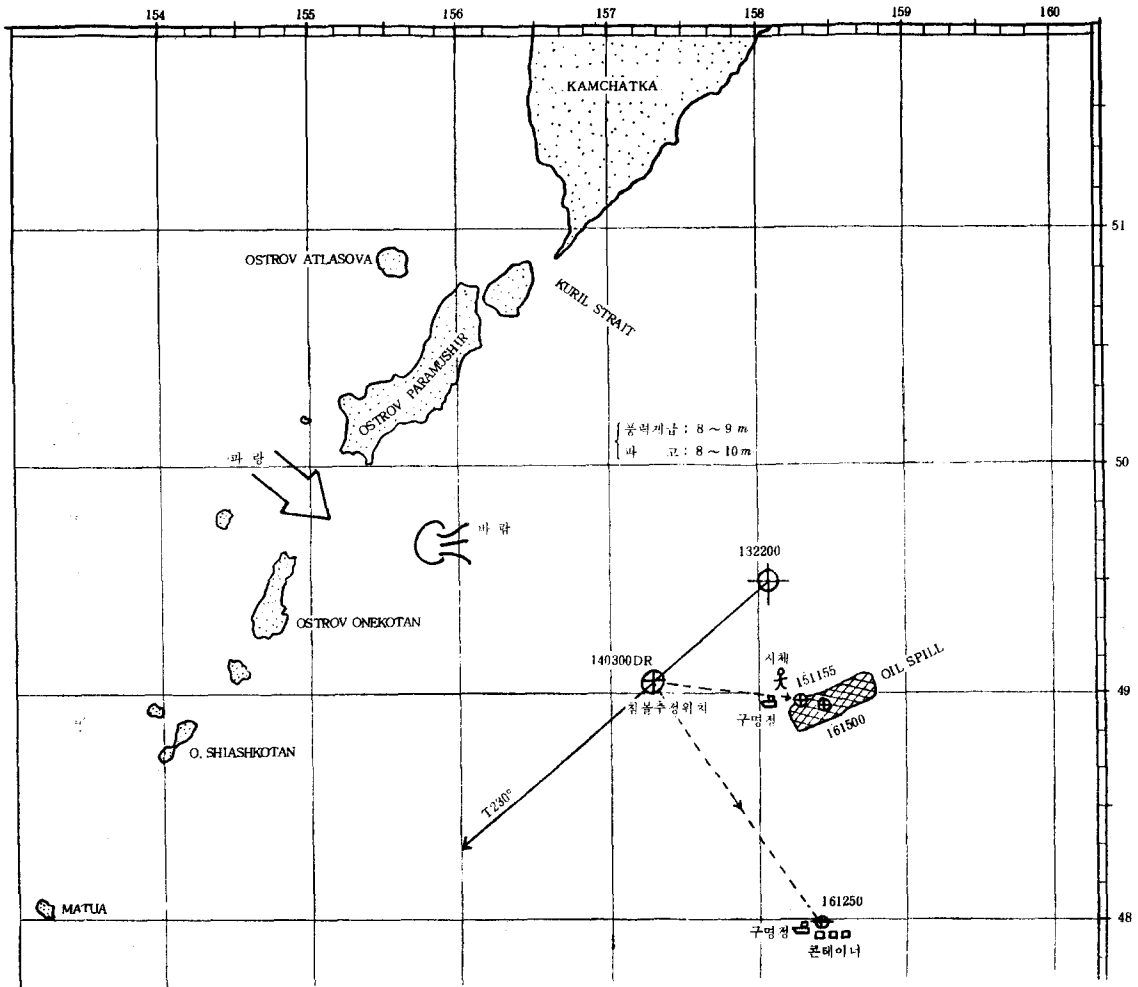
(211)



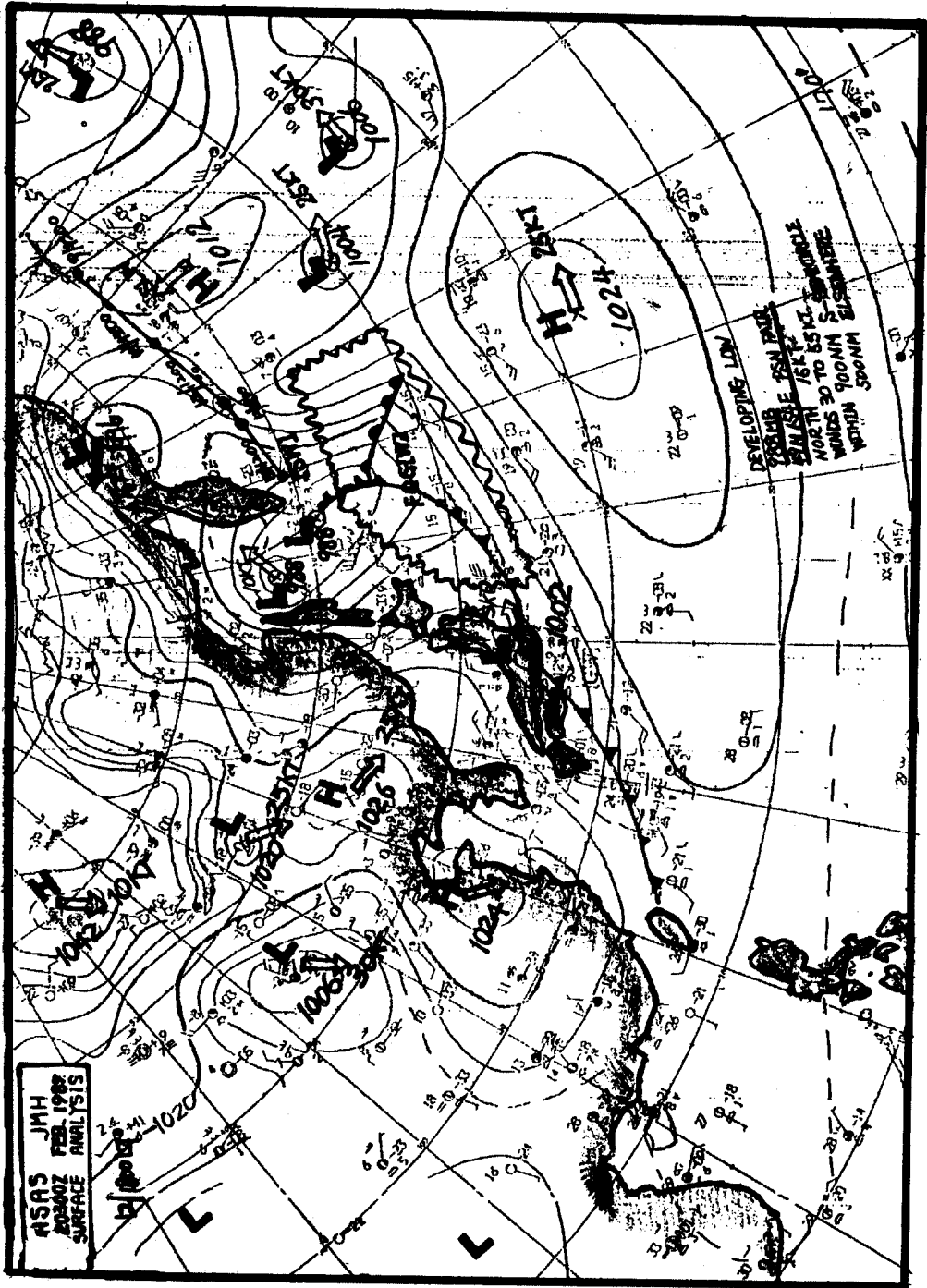
(그림 2) H호의 항적 및 사고 약도

와 14일 03:00시 사이에 H호는 점점 발달되면서 중심기압이 966밀리바로 내려가 있는 태풍의 남쪽 반원에 있었고 태풍중심과의 거리는 300마일 정도이고 바람은 풍력계급 8~9정도 되는 서풍을 받고 있었다. 그림 9를 보면 이 당시 H호

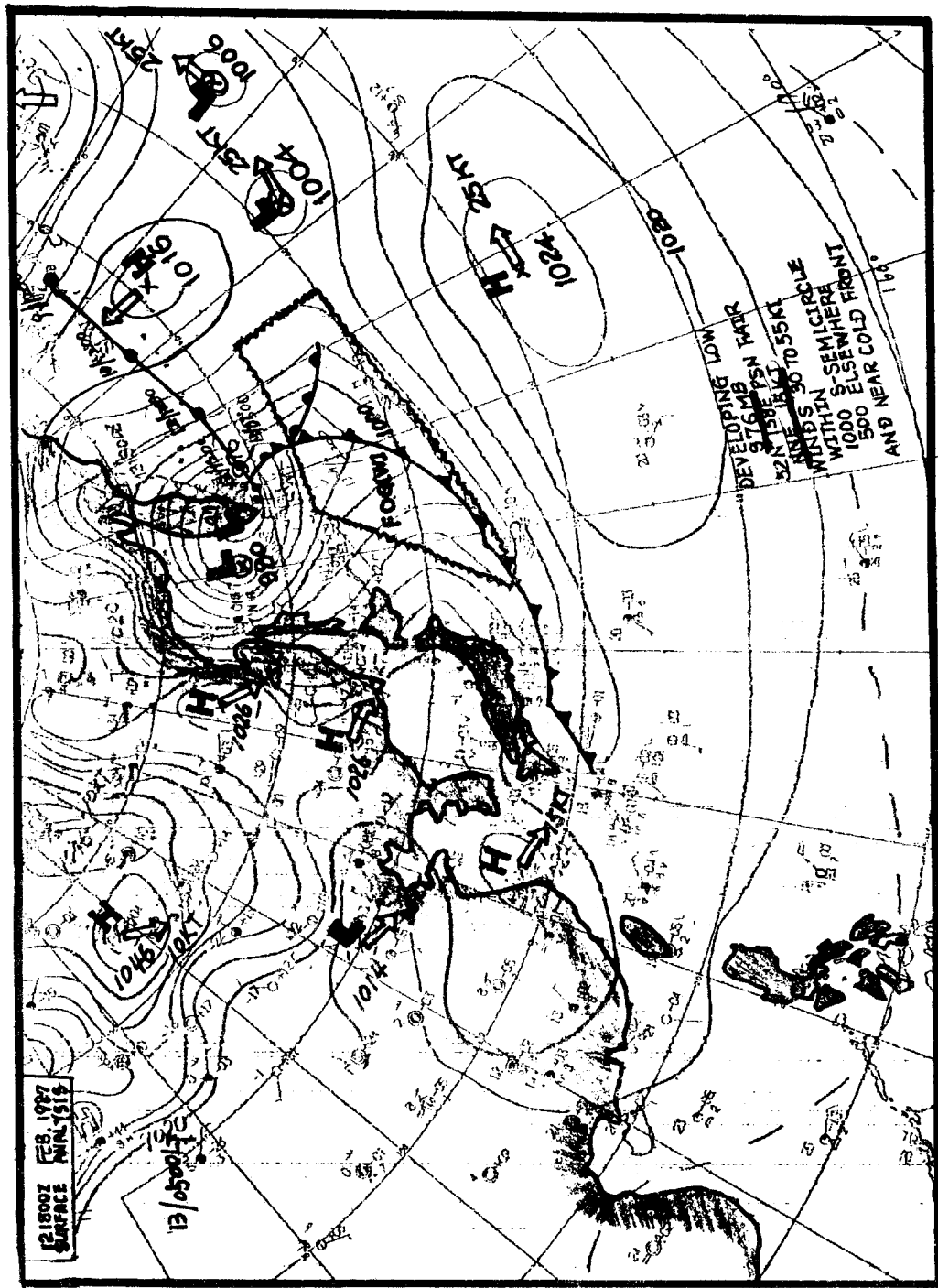
는 우현 정황부근의 방향에서 8~10미터 정도 높이의 대파랑을 받았음을 알 수 있다. 따라서 H호는 강풍을 동반한 대파랑 때문에 건물 침몰된 것이 거의 확실하다는 것을 알 수 있다. 이것에 대하여는 5항에서 계산으로 표시한다.



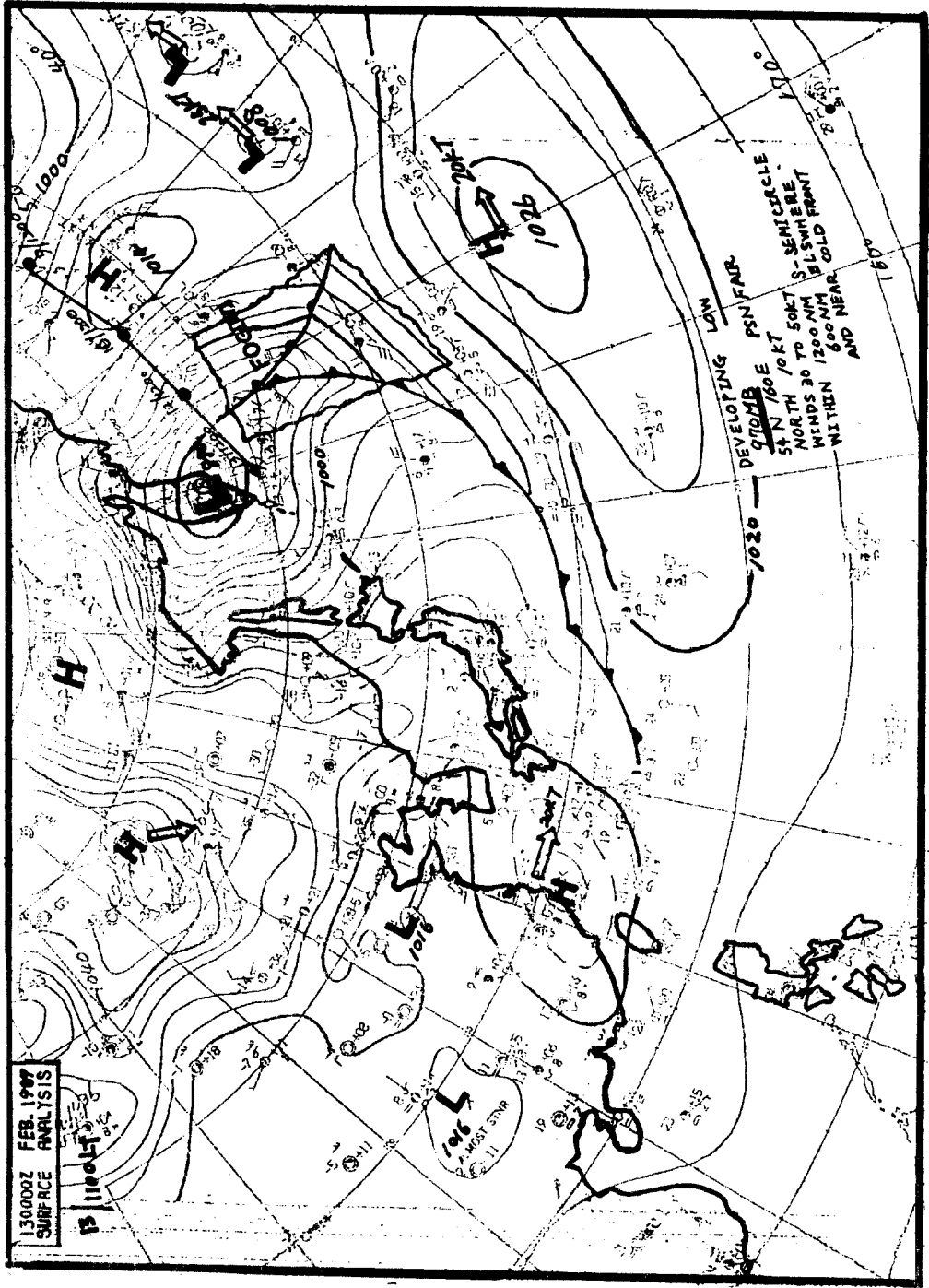
(그림 3) H호의 침몰 추정 위치



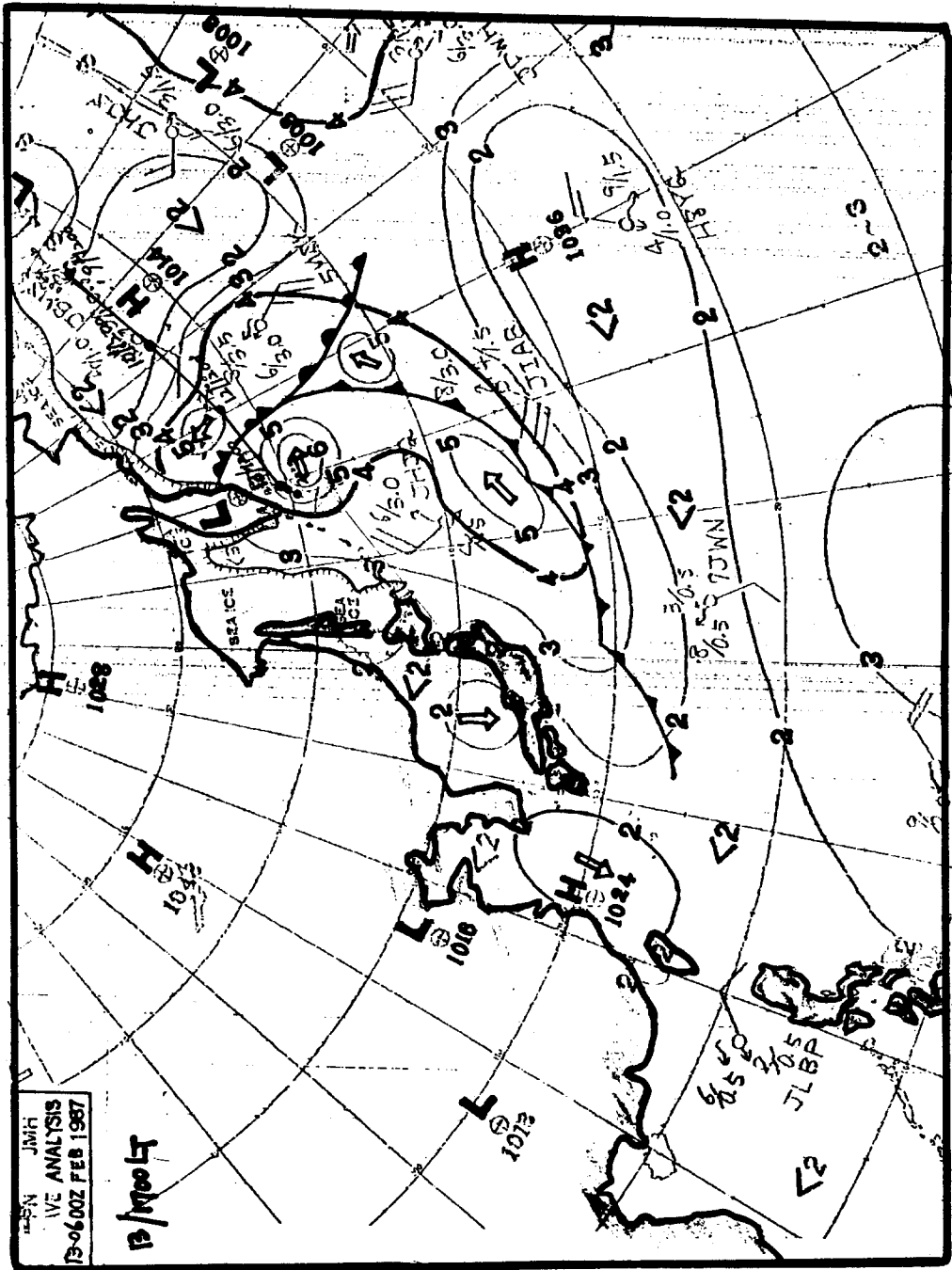
(그림 4)



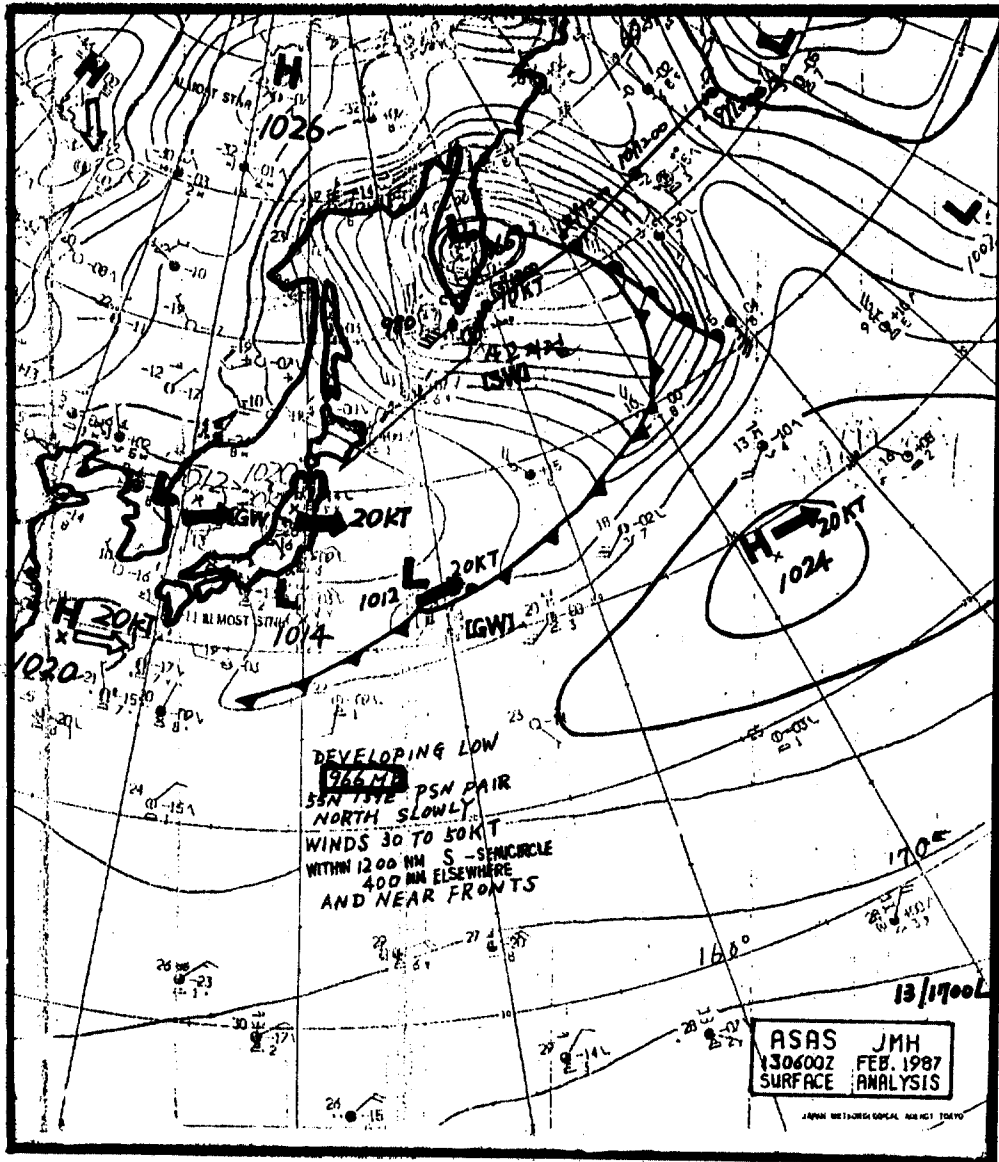
(그림 5)



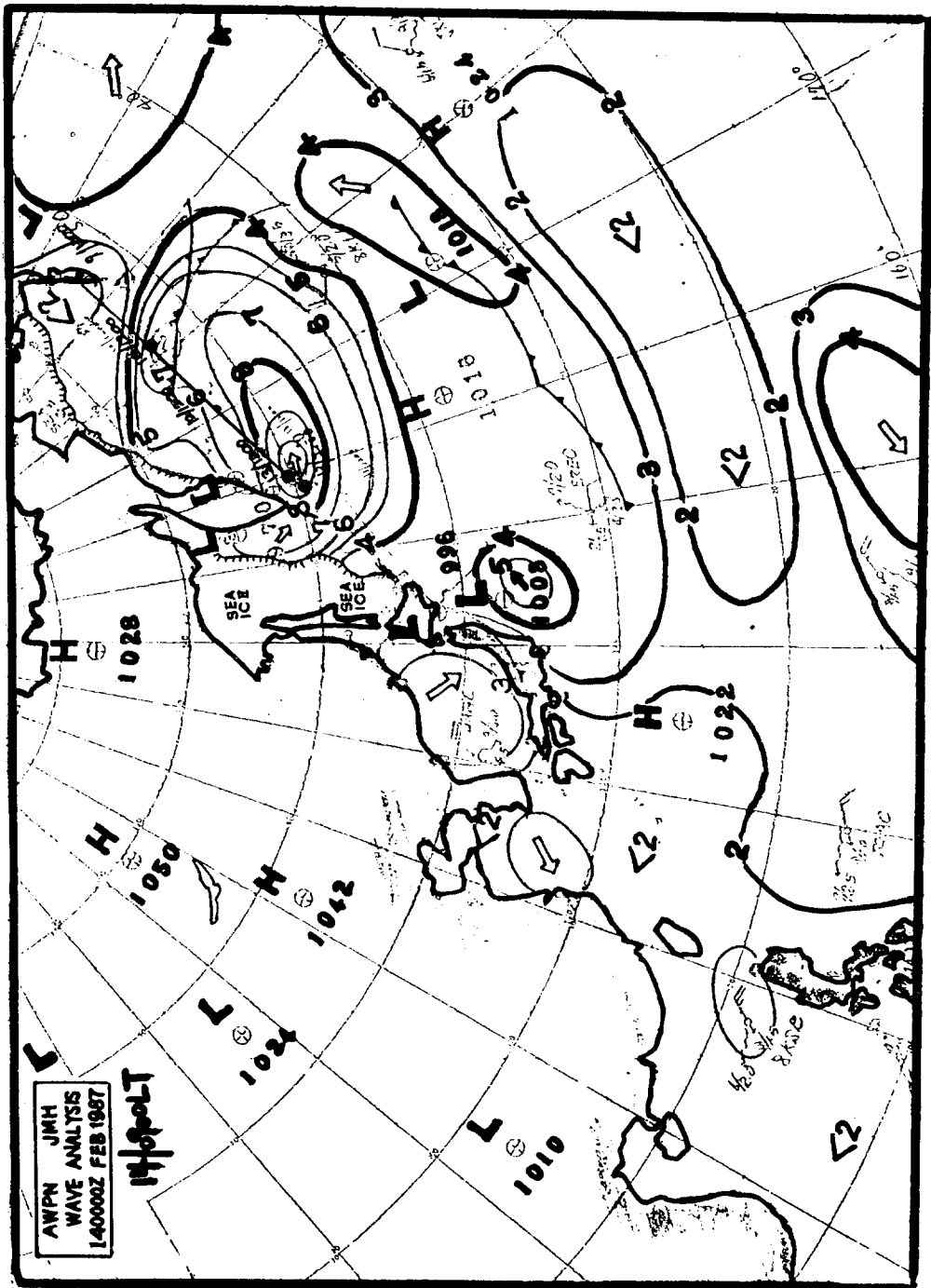
(그림 6)



(그림 7)



(8 린드)



(그림 9)

5. 황천 운항중인 “H”호의 안전성에 대한 제반수치 계산

황천 운항중인 선박은 일반적으로 다음의 두 가지 위험에 직면하게 된다. 첫째는 강풍과 거칠고 큰 파랑을 받아 선박이 전복하는 것이며,

둘째는 큰 파랑위에서 운동하는 선체가 과대한 파랑하중을 받을 경우에 종강력이 부족하여 절손되는 것이다.

가. “H”호가 조우한 해면상태에 대한 고찰
다음은 “H”호 사고시점 전후의 기상을 관련 자료별로 분류 비교한 것이다.

표-1. 사고 당시의 기상추정 자료

분 류	자료근거	OCEAN ROUTE 의 예측	기 상 대 (2. 14. 09:00 현재)	“H”호보고 (2. 13. 13:00z)	팩시밀리기상도(2. 13. 12:00z)	M. V “OCEAN ISLAND” (2. 13. 14:00z)	사고원인 추정 계산을 위하여 사용한 값
		종 향	WSW	W	SW	W	WSW
풍 속		Beaufort Scale. 8 (34—40 kts)	25M/S 이상 (49kts 이상)	50kts	30—55kts	Beaufort Scale. 11 56—63kts	45kts
파 고		7m	9m이상	7m		약 7.6m	위의 45kts 에 의해 계산한 유의 파고 : 9.97m
침 로		230도로 꺾고				240도	230도

※자료 근거중에 M. V. “OCEAN ISLAND”호는 사고해역 부근을 사고당시에 근접하여 항행한 “범양상선”소속의 선박임.

대양상에서 황천시에, 해면의 파랑상태는 일정한 방향에서 규칙적인 파형을 갖고 진행해 가는 규칙파와는 달리, 여러 방향에서 다양한 파고 및 파속을 갖고 움직이는 극히 불규칙적인 파형으로 이루어져 있으므로 앞의 표-1에서 보여주는 파향들은 이러한 파들의 주된 방향일 뿐이다.

따라서 이러한 불규칙 해면상에서 항행하는 선체의 운동을 계산하기 위하여는 그 당시 해면상태에 대한 구체적인 기록(파향별 파고 및 파속의 분포)이 필요하다. 그러나 기록이 없을 때는 당시의 풍속에서 도출한 유의 파고를 이용하여 Wave Spectrum 을 만들고 이것을 이용하여 해면상태를 통계적으로 구하면 실제의 기록을 통하여 얻은 해면의 상태와 거의 비슷한 해면을 얻을 수 있다. 이것에 관한 이론 설명은 이곳에서는 생략한다.

나. H호의 횡요각도 계산

(1) 횡요계산을 위한 H호의 \overline{GM} 값의 범위 결정

H호가 1987년 2월 5일 미국 Seattle 항을 출항할 때의 \overline{GM} 값은 본선에서 계산한 것이 1.60m이었으나 관련자료에 따라 다시 계산한 값은 1.84m이다(별첨 1 참조).

사고 당시의 H호의 정확한 \overline{GM} 은 알 수 없지만 그 값은 여러가지 요인을 감안할 때 1.08m에서 1.84m의 사이에 있는 어느 한 값으로 볼 수 있고 횡요 계산에는 이 범위의 값을 사용하는 것이 타당한 것 같다.

왜냐하면 관련자료에 따라 출항시의 \overline{GM} 값을 계산한 것이 1.84m이나 선체의 동요로 인한 \overline{GM} 감소량 등을 감안하면 감소량이 약 76cm로 계산되므로 1.08m에서 1.84m사이의 값에서 횡요를 계산하는 것이 타당하다고 생각되기 때문이다.

(2) 횡요 계산방법

횡경사 계산에 사용한 해면은 45knots 강풍속에서 생기는 불규칙적인 가상해면이다. 이때의 파고는 Rayleigh 분포에 따른다고 가정하고 Wave Spectrum 을 만들어서 해면상태를 파악하였고 이것으로부터 Motion Spectrum 을 만들어서 전산

처리하는 방법으로 횡요각도를 계산하였다(별첨 2 참조).

(3) 횡요각도의 수치계산

별첨 2의 과정들을 전산 프로그램에 의하여 나. (1)의 GM 범위내의 여러가지 GM 값들에 대해 횡요각도를 계산한 결과는 표-2와 같다.

표-2. GM 변동에 따른 횡요 비교(단위 : 도)

GM 분류 \ 횡요각	1.08m (3.5 ft)	1.20m (3.9 ft)	1.40m (4.6 ft)	1.60m (5.3 ft)	1.84m (6.0 ft)
Average	4.2	6.7	8.0	25.4	48.0
Significant	6.7	10.8	12.8	40.6	76.6
1/10 최고 평균치	8.5	13.7	16.3	51.6	97.5
1/100 최고 평균치	11.2	18.0	21.3	67.6	127.8

(4) 풍압력에 의한 추가 횡경사 계산

H호가 침로 230도, 속력 8kts로 항주시에 45 kts의 우현 정횡방향의 풍압을 받는 경우 GM이 1.08m의 경우와 1.84m인 경우의 추가 횡경사는 표-3과 같다(별첨 3. (1) 참조).

표-3. 풍압에 의한 횡경사 값(단위 : 도)

GM 분류	1.60m의 경우	1.84m의 경우
풍압에 의한 경사	4.2	3.7

(5) 갑판적 콘테이너 붕괴 가상시의 추가 횡경사

갑판에 적재된 20-ft Container 10개가 붕괴되

었다고 가정했을 때 추가 횡경사 값은 표-4와 같다(별첨 3. (2) 참조).

표-4. 갑판적 콘테이너 붕괴에 의한 횡경사 값(단위 : 도)

GM 분류	1.60m의 경우	1.84m의 경우
콘테이너 붕괴시 경사	2.9	2.6

(6) 최종 횡경사값 계산

표-2에 표시된 횡경사 값들중 GM 값이 1.6 m 및 1.84m일 때의 횡요값에 풍압에 의한 횡경사 및 화물 이동에 의한 횡경사 값을 합한 것은 표-5 및 6과 같다.

표-5. 총 횡경사 값(GM 1.84m일 때 단위 : 도)

분류 \ 횡경사 요인	파랑 요인	풍압 요인	화물붕괴 요인	총 횡경사 값
평균 횡요	48.0	3.7	2.6	54.3
유의 횡요	76.6	3.7	2.6	79.9
1/10 최고 횡요 평균치	97.5	3.7	2.6	103.8
1/100 최고 횡요 평균치	127.8	3.7	2.6	134.1

표-6. 총 횡경사 값(GM 1.60m 일 때 단위: 도)

분 류	횡경사 요인	파랑 요인	승압 요인	화물붕괴 요인	총 횡경사 값
평균 횡요		25.4	4.2	2.9	32.5
유의 횡요		40.6	4.2	2.9	47.7
1/10 최고 횡요 평균치		51.6	4.2	2.9	58.7
1/100 최고 횡요 평균치		67.6	4.2	2.9	74.7

다. “H”호의 선체 종강력 계산

(1) 계산 방법

한척의 선박이 파랑위를 항주시 받는 총 B.M (Bending Moment)는 $M_T = M_o + M_w$ 로 계산된다.

단, W_o : Still Water Bending Moment

M_w : Seaway Bending Moment

여기에서 M_o 는 H호가 출항시 계산한 값을 이용하였으며 M_w 는 Strip Method에 의해 계산하였다(별첨 4 참조).

(2) 응력에 대한 수치계산

위의 방법으로 선수파를 받는 가장 최악의 상태에서 M_w (Wave Induced Bending Moment)를 계산하면 표-7 과 같다.

표-7. M_w (Wave Induced Bending Moment)

분 류	B. M	Hogging	Sagging
	B. M(M-Ton)	B. M(M-Ton)	B. M(M-Ton)
평균치		50655.8	46900.2
유의치		80855.2	74860.6
1/10 최대 평균치		102888.3	95260.2
1/100 최대 평균치		134866.6	124867.6

앞에서 구한 Bending Moment 중에 1/100 최대 평균 Sagging B. M 과 H호가 출항시 계산한 Still Water Bending Moment 를 합하면 당시 H호가 선수파를 받을 경우는 $M_T = M_o + M_w = 185668.6$ M-TON 의 Bending Moment 를 받는다.

한편 선체의 B. M에 의해 가해지는 응력은 $\sigma_t = \frac{MT}{Z}$ 이므로 이를 이용하여 응력을 계산하면 총응력은 $\sigma_t = 16.5 \text{ kg/mm}^2$ 이다(별첨-5 참조).

황천 항해시 선수의 Green Water Flooding 과

선수선저의 Slamming 에 의한 추가 응력을 고려하기 위하여 안전률을 생각하면 이들은 각각 $\sigma_f = 0.24 \sigma_t$, $\sigma_i = 0.36 \sigma_t$ 정도가 되므로 황천을 당하였을시 최악조건하에서 받는 응력은 다음과 같다.

$$\text{총응력} = 16.5 \text{ kg/mm}^2 \times 1.6 = 26.4 \text{ kg/mm}^2$$

이 값은 조선용 강재 Mild Steel 의 변형이 일어나는 항복점(Yielding point) 23 kg/mm^2 를 초과하므로 파랑에 의하여 과대한 Bending Moment 를 받아 선체가 파괴될 수 있음을 나타낸다. 그러나 갑작스럽게 침몰되는 것은 아니다.

라. H호가 조우한 해면의 파랑 평균주기에서 예측한 사고 시간의 추정

당시 해상 상태에서 파랑의 Average Zero-Crossing Period

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{m0}{m2}} = 11.7 \text{ 초이다.}$$

단, $m0$ = Wave Spectrum area

$m2$: 2nd moment of wave spectrum area

이러한 파가 1000번 지나가는데 걸리는 시간은 $11.7 \text{ 초} \times 1000 = 11700 \text{ 초}$ 이다.

또 $11700 \text{ 초} \div 3600 \text{ 초} = 3.25 \text{ 시간} = 3 \text{ 시간} 15 \text{ 분}$ 이므로 GM 값이 1.84m이거나 1.6m라고 가정하면 이 시간동안에 H호는 적어도 50~100회 이상의 위험한 상태에 조우한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 H호가 과대한 횡요로 인하여 전복·침몰되었다고 가정하면 H호는 13일 22:00 부터 14일 03:00 사이에 전복되었다는 것은 거의 의심할 여지가 없다.

6. 결 론(그림 10 참조)

“한진인친”호의 침몰 실종사고에 대하여 침몰의 여러가지 가능한 원인을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

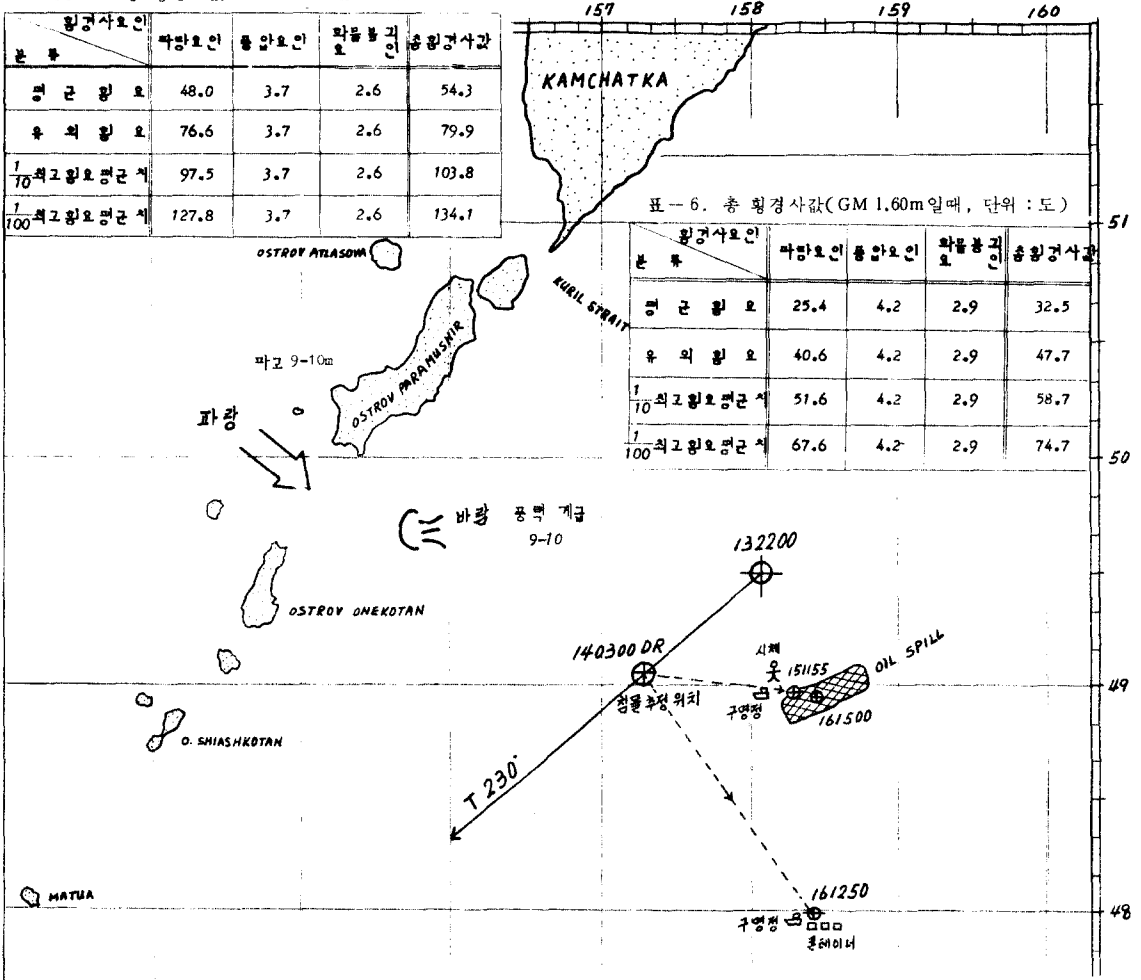
- (1) H호는 사고 당시 진침로 230° 내외의 침로를 잡고 항해하고 있었으며, 바람은 우현 정횡전방에서 Beaufort scale 로 9~10이었으며, 파랑은 우현 정횡방향에서 오고 있었으며 파고는 9~10m 정도였다.
- (2) H호의 침몰원인은 대각도 rolling 때문에 선박이 전복되었기 때문이다. 대각도 rolling의 원인은 Ostrov Onekotan 섬과 Ostrov Paramushir 섬 사이로부터 밀려오는 파고 9~10m정도의 대형 정황파에 선박이 동조되었기 때문이다.
- (3) H호는 대각도 rolling으로 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 침몰시간은 14일 02:00시에서 14일 03:00시 사이가 된 것으로 추정되며 전복 침몰위치는 49°N, 157.5°E 부근이다.
- (5) H호의 두개의 구명정이 발견된 장소가 사고 추정위치로부터 각기 방향이 크게 다른 이유는 구명정이 모선으로부터 이탈된 시간과 장소가 각기 다르다는 것을 암시하는 것이며 이러한 점으로 미루어 볼 때 H호는 전복후에도 상당한 시간동안 부상하여 있었다고 추정된다.

표-5. 총 횡경사값(GM 1.84m일때, 단위:도)

항경사요인	파랑요인	풍압요인	좌돌풍기인	총횡경사값
평균 횡요	48.0	3.7	2.6	54.3
유의 횡요	76.6	3.7	2.6	79.9
$\frac{1}{70}$ 최고 횡요평균치	97.5	3.7	2.6	103.8
$\frac{1}{100}$ 최고 횡요평균치	127.8	3.7	2.6	134.1

표-6. 총 횡경사값(GM 1.60m일때, 단위:도)

항경사요인	파랑요인	풍압요인	좌돌풍기인	총횡경사값
평균 횡요	25.4	4.2	2.9	32.5
유의 횡요	40.6	4.2	2.9	47.7
$\frac{1}{70}$ 최고 횡요평균치	51.6	4.2	2.9	58.7
$\frac{1}{100}$ 최고 횡요평균치	67.6	4.2	2.9	74.7



(그림 10)

圖一

HANJIN CONTAINER LINES

TANK CONDITION

M. V. "HANJIN INCHON"
VOY. NO.: 068W

DATE: 1987. 2. 5
PORT: SEATTLE

TANKS	SDG	FULL COND.		ACTUAL COND.		VERT MUMENT (T.M)	FREE SURFACE (I.P)	LCC (M)	TRIM. MOMENT (T.M)	
		(T) WEIGHT	(M) VCG	(T) WEIGHT	(M) VCG				AFT	FORE
F. P. T. (C)		574.2	6.71	250	3.80	250	88.66			22165
NO. 1 DEEP T. (P)		391.15	4.34	390	4.34	1693	73.87			28809
NO. 1 DEEP T. (S)		391.15	4.34	390	4.34	1693	73.87			28809
NO. 4 W. T. (P)		381.6	4.33	90	2.90	261	44.46		4001	
NO. 4 W. T. (S)		381.6	4.33	90	2.90	261	44.46		4001	
A. P. T. (C)		183.8	8.19	181	8.19	1882	88.58		16032	
STERN B. T. (C)		128.4	10.17				95.66			
TOTAL		2087.2	5.69	1391		6340	232		24034	29783
NO. 1 D. B. T. (P)		227.4	0.92				65.10			14803
NO. 1 D. B. T. (S)		227.4	0.92				65.10			14803
NO. 2 D. B. T. (P)		461.6	0.87				40.32			18611
NO. 2 D. B. T. (S)		461.6	0.87				40.32			18611
NO. 3 D. B. T. (P)		505.4	0.86				13.96			2055
NO. 3 D. B. T. (S)		505.4	0.86				13.96			2055
NO. 4 D. B. T. (P)		505.4	0.86				13.05			2055
NO. 4 D. B. T. (S)		505.4	0.86				13.05			2055
TOTAL		3399.6	0.87	3400		2390			1390	80938
FEED W. T. (P)		72.8	0.98	50	0.93	37	60.35		3017	
FEED W. T. (S)		63.2	1.00	50	0.80	40	60.23		3017	
P. F. W. T. (P)		104.1	12.18	50	10.98	549	89.45		4292	
P. F. W. T. (S)		104.1	12.18	50	10.98	549	89.45		4292	
TOTAL		344.2	7.76	200		1175	200		14578	
NO. 2 W. T. (P)		434.9	6.34	350	5.05		60.25			21087
NO. 2 W. T. (S)		434.9	6.34	350	5.05		60.25			21087
NO. 3 W. T. (P)		130.7	3.00	100	2.20		47.23			4923
NO. 3 W. T. (S)		130.7	3.00	100	2.20		47.23			4923
NO. 5 D. B. T. (P)		430.0	0.88	230	0.65		39.23		12945	
NO. 5 D. B. T. (S)		430.0	0.88	230	0.65		39.23		12945	
H. F. U. S. T. (P)		88.4	8.29	30	8.0		56.94		4665	
H. F. U. S. T. (S)		88.4	8.29	30	8.0		56.94		4665	
TOTAL		2168.0	3.93	172		8644	1700		34546	51620
NO. 5 W. T. (P)		72.3	4.43	50	3.45	123	51.28		2364	
NO. 5 W. T. (S)		72.3	4.43	50	3.45	123	51.28		2364	
D. O. S. T. (C)		31.4	8.66	25	8.20	205	84.35		2108	
NO. 2 D. O. SET. T. (P)		31.5	9.18	20	8.40	16	84.61		1692	
NO. 1 D. O. SET. T. (S)		31.5	9.18	19	8.40	16	84.61		1692	
TOTAL		239.0	6.24	164		899	132		16620	
L. U. SUMP. T. (C)		19.1	1.19	6	0.5	3	61.85		321	
L. U. STUR. T. (P)		25.3	8.99				74.94			
L. U. SETT. T. (S)		25.3	8.99				74.94			
C. U. STUR. T. (S)		20.7	9.12				77.18			
D. G. L. U. SETT. T. (P)		8.0	9.51				79.07			
D. G. L. U. STUR. T. (P)		6.4	9.68				80.57		402	
TOTAL		104.8	7.67	34		183	35		2529	
L. U. CUNT. T. (C)		21.45	1.19				69.47			
COUL. F. D. T. (P)		15.08	1.03				68.11			
F. U. D. T. (S)		5.36	1.05				69.33			
SEPARATED O. T. (S)		12.93	1.12				72.60			
D. G. L. U. PURIF. T. (S)		9.07	9.51							
BILGE T.		34.5	0.95				77.42			
TOTAL		98.39	1.83							
GRAND TOTAL				6901		11012	6889		99895	212341

ITEMS	WEIGHT (T)	V. MOMENT (T.M)	TRIMMING MOMENT (T.M)		FREE SURFACE I x P
			AFT	FORE	
TANK TOTAL	6901	11818	99895	212341	6889
CARGO TOTAL	5423.8	12882		30085	
LIGHT SHIP	882	23853	150800		
CONSTANT	130	2600	2971		
OTHERS					
GRAND TOTAL	22386.8	176153	253666	242426	

TRIM AND STABILITY CALCULATION

DISPLACEMENT 22386.8 T

CORRESPONDING D. (dc) M

BB 1.487 M

BC -0.500 M

BC (BC-BB) -1.987 M

BF M

M T. C. T.M

K M

T. P. C. M

TRIM M

DIFF. (FO) 11240

TRIM = (BC) (1.987) x (DISP.) (22386.8) - (V.M) (11818) = 0.60

F. DRAFT = (dc) () - (T) () - () M

A. DRAFT = (DF) () + (T) () - () M

GM = (KM) (0.022) - (V.M) (176153) + (I.P.) (1009) - (V.84) M

ROLLING PERIOD = () SEC.

별첨—2. 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 것으로 하여 다음의 과정에 따라 계산하였다.

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

(1) Standard wave spectrum의 계산

이는 ITTC에서 추천한 다음의 식을 사용하였다.

$$S_{\zeta}(\omega_w) = \frac{A}{\omega_w^5} e^{-B/\omega_w^4}$$

단, $\left\{ \begin{array}{l} \omega_w : \text{요소파들의 각 주파수} [\text{rad/sec}] \\ A = 8.10 \times 10^{-7} g^2 \\ S_{\zeta}(\omega_w) : \text{Spectral Density} [ft^2 \cdot \text{sec}] \\ B = 33.56 / (H)^2 \\ (H)_{\frac{1}{2}} : \text{유의 파고} [ft] \end{array} \right.$

위의 식에서 $S_{\zeta}(\omega_w)$ 를 구하여

$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{u_w}{g} \cdot V \cdot \cos \mu \right)$$

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{S_{\zeta}(\omega_w)}{\left[1 - (4\omega_e/g) V \cdot \cos \mu \right]^2}$$

를 적용하여 최종적으로

$$m_c = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} S_{\zeta}(\omega_e) \cdot f(\mu_w) d\mu_w d\omega_e$$

로서 파고의 계산을 하였다.

당시의 $(H)_{\frac{1}{2}}$ (유의 파고 : Significant Wave Height)를 구해본 결과 32.7 ft (≒ 9.97m)가 되어 우리나라 기상대의 추정치 “9m 이상”과 비교해 볼 때 타당한 값임을 알았다.

(2) RAO(Response Amplitude Operator) 계산
위의 (1)에서 구한 Encountering Wave Spectrum에 적용할 RAO는 다음과 같다.

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

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \mu \phi \frac{\omega_w^2}{g} 57.3 \sin \mu$$

단, $\left\{ \begin{array}{l} \mu \phi = \frac{\phi_a}{\phi_s} = \frac{1}{\sqrt{(1-\Lambda^2)^2 + 4K^2 \Lambda^2}} \\ \Lambda = \frac{\omega_e}{\omega \phi} \\ \omega \phi = \sqrt{\frac{\Delta GM_T}{I'_{xx}}} = \sqrt{\frac{\Delta GM_T \cdot g}{\Delta Kxx^2}} \\ \equiv \sqrt{\frac{\Delta GM_T \cdot g}{1.15 \Delta Kxx^2}} \\ Kxx = \frac{\sqrt{g \cdot GM_T} \cdot Ts}{I'_{xx}} \\ Ts = \frac{0.8B}{\sqrt{GM_T}} \quad K = \frac{\nu}{\omega \phi} \\ \nu = \frac{b}{2a} = \frac{b}{2 I'_{xx}} = \frac{b}{2 \cdot \frac{\Delta}{g} \cdot Kxx^2} \\ b = \int bnd^2 \quad bn = \frac{\rho g^2}{\omega_e^3} \cdot \left(\frac{Bn}{2} \right)^2 \bar{A} \phi^2 \\ \bar{A} \phi = \frac{\zeta_a}{\phi_a \left(\frac{Bn}{2} \right)} = d \phi \left(\frac{\omega_e^2 Bn}{2g} \right)^2 \end{array} \right.$

(3) Spectral Density of the Response

$$S_R(\omega_e, \mu_w) = [S_{\zeta}(\omega_e) \cdot f(\mu_w)] \cdot [RAO(\omega_e, \mu_w)]$$

이므로 Response Spectrum Area는

$$\begin{aligned} MOR &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} S_R(\omega_e, \mu_w) d\omega_e d\mu_w \\ &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} [S_{\zeta}(\omega_e) \cdot f(\mu_w)] \cdot [RAO(\omega_e, \mu_w)] \\ &\quad d\omega_e d\mu_w \end{aligned}$$

별첨—3

(1) 풍압력에 의한 추가 횡경사 계산(우현 정 횡 풍향시)

$$\text{경사각 } \theta = \tan^{-1} \left(\frac{Pa \times d}{\omega \times GM_T} \right)$$

단, $\left\{ \begin{array}{l} \text{풍압력 } Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot Ca \cdot Va^2 \\ \quad (A \cos^2 \theta_1 + B \sin^2 \theta_1) \\ \rho : \text{공기밀도} (0.123 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4) \\ Ca : \text{풍압계수} (\text{약 } 1.1) \\ Va : \text{상대풍속} (21 \text{ m/sec 에 돌풍률 } 50\% \text{를} \\ \quad \text{가산하여 } 31.5 \text{ m/sec}) \\ \theta_1 : \text{상대 풍향각} (86.2 \text{ 도}) \\ A : \text{수선상부의 선체정면 투영면적} (\text{수현} \\ \quad \text{정형풍일 경우 } 0) \end{array} \right.$

B : 수선상부의 선체 측면 투영면적 (3108.2 5m²)
 d : 풍압중심과 G점간의 수직거리
 \overline{GM}_T : Transverse Metacentric Height

(2) 갑판저 콘테이너 봉피 가상시의 계산

$$\text{경사각 } \theta = \sin^{-1} \frac{M}{M \times \overline{GM}_T}$$

단, M : 20 ft Container 10개의 봉피에 의한 Moment
 W : Displacement
 \overline{GM}_T : Transverse Metacentric Height

별첨-4. Bending Moment 계산

$(M_w)_a = 2 m_w \rho g L^3 B \zeta_a$ 이므로 Frequency Response Function 은

$$\frac{M_w}{\zeta_a} = 2 m_w \rho g L^3 B \zeta_a$$

따라서 Bending Moment

$$RAO = \left(\frac{M_d}{\zeta_a} \right)^2$$

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

를 ITTC 의 Standard Wave Spectrum 에 적용시

켰다.

그 최종식은

$$M_w = \int_{0.3}^{1.0} S(\omega_e) \cdot RAO(\omega_e) d\omega_e \text{ 이며}$$

0.3 ≤ ω_e ≤ 1.0 으로 한것은

0.5 ≤ $\frac{L_w}{L}$ ≤ 3.0 으로 하기 위한 때문이다.

별첨-5. 응력 계산

IACS 의 종강도 최저 기준공식(단, 90m ≤ L ≤ 500m 은 $Z_{min} = CL^2 B(C_b + 0.7) K [\text{cm}^3]$ 이다.

단, $C = 0.9 C_n$

$$C_n = 10.75 - \sqrt{\frac{300-L}{100}}$$

$L = 190\text{m}$
 $B = 23.8\text{m}$
 $C_b = 0.8$
 $K = 1$

이에 따른 계산결과는 $Z_{min} = 11252343.7 \text{cm}^3$ 이

고 응력 $\sigma_t = \frac{M_T}{Z}$ 이므로

$$\sigma_t = \frac{M_o + M_w}{Z_{min}} = \frac{185668.6 (\text{M-TON})}{11252343.7 (\text{cm}^3)} = 16.5 \text{kg/mm}^2$$