

冬季 北太平洋을 航行하는 大型船舶의 荒天避航操船에 關한 研究

閔 丙 彦* · 鄭 明 善**

A Study on the VLCC's Handling to Avoid Heavy Weather of the North Pacific in Winter.

Byeong-Eon Min · Myeong-Seon Jeong

〈 目 次 〉

Abstract	한 評價 및 避航操船 方案
記號說明	1. 冬季 北太平洋의 海象과 船體 強度에 對한 評價
I. 序 論	2. 避航 操船方案
II. 理 論	V. 結 論
1. 不規則 海面의 數學的인 處理	參考文獻
2. 冬季 北太平洋의 海面狀態	附 錄
III. 船體가 받는 外力에 對한 數值計算	
IV. 冬季 北太平洋의 海象과 船體強度에 對	

Abstract

In the North Pacific Ocean a lot of large waves set up in winter, affected by continued winds and swells owing to severe extratropical cyclones.

Under this sea condition, if the ship is about 100,000L/T (in deadweight capacity tonnage), we can't find the danger involved in the ship at sea apparently. But when we compare the seaworthiness of ship's building strength with the stress given to the hull by waves, we can't insist that the former be more stronger than the latter.

As a result, VLCC is in danger of destroying and cutting for lack of longitudinal strength in heavy weather.

Up to this time, Naval Architects have actively studied the relation between ship's longitudinal strength and waves as a ship's projector; however, actually, they have never made more profound study on the problem of longitudinal strength in relation to navigation.

The main purpose of this thesis is to clarify these vivid actual states of ship's trouble unknown to ship's masters.

* 正會員, 韓國海洋大學

** 正會員, 木浦海洋專門大學

In this thesis we picked up VLCC Pan Yard, a vessel of Pan Ocean Bulk Carrier company's, as a model ship. And in the North Pacific Ocean, we have chosen for this research the basins where the wind speed and the wave height are greater than average.

The data used this thesis are quoted from the "winds and waves of the North Pacific Ocean ('64-'73)", and wind speed more than 30 knots was made use of as an object of this study.

By usinh the ITTC wave spectrum, we found out the significant waves for every 5 knots within the range of 20 knots to 45 knots of wind speed. According to this $H_{1/1000}$ was calculated.

The stress of ship's hull is determined by ship's speed and wave height. We compared the ship's longitudinal strength with a planned wave height by rules of several famous classification societies in the world.

In the last analysis, we found out that ship's present planned strength in heavy weather is not enough.

Finally we made a graph for avoiding heavy weather, with which we studied safe ship's handling in the North pacific Ocean in winter.

記 號 說 明

C_2	: $(2.34 C_s + 0.2)_{10}^{-2}$	S_0	: 船首 上下動
C_s	: 方形 肥癆係數	$S(\omega_w)$: Energy 密度
H_s	: 設計波高	Te	: 遭遇週期
$H_{\frac{1}{n}}$: 通過한 波浪의 數(n)中 最大波高	T_p	: Pitching 週期
H_w	: 波 高	T_w	: 波週期
L	: 垂線間의 길이 (L_{pp})	V	: 漂 速
M_f	: Green Water Flooding 으로 因하여 生기는 굽힘 Moment.	We	: 遭遇波
m_n	: $= \int_0^{\delta} \omega_w \cdot S\zeta(\omega_w) d\omega_w$	λ, L_w	: 波 長
m_0	: Energy 密度의 下部 Spectrum 面積	ω_w	: 角周波數

I. 序 論

冬季 北太平洋은 크게 발달한 溫帶性 低氣壓의 빈번한 통과로 長時間 持續되는 바람과 긴 Fetch의 影響으로 豫想밖의 大波가 생긴다.¹⁾

이러한 海上條件 속에서 D/W 10萬ton 정도의 大型船이라면 外觀上으로 볼때에는 事故의 危險이 없다고 判斷하기 쉽지만 設計強度에 依한 船舶의 堪航力과 波에 의하여 船體가 받는 外力을 比較할 때 모든 海面狀態下에서 前者는 後者보다 強하다고는 결코 말할 수 없다.

이러한 結果로 大型船은 極甚한 荒天 속에서 波浪에 의하여 切斷, 파괴될 危險이 크다.

지금까지는 造船學者들이 船舶設計者의 位置에서 船體縱強度와 波浪과의 관계에 대해서는

研究가 활발히 進行되어 왔지만 實際 航海에 있어서의 操船과 關聯된 安全 問題에 대하여는 깊이 研究된 것이 거의 없다.

本 論文은 一線 船長들이 확실히 이해하지 못하고 있는 이러한 船舶事故의 危險性을 理論的 으로 규명하는데 목적을 두었다.

本 論文은 汎洋專用船(株) 所屬 船舶中 D/W 12萬ton級 大型船 PAN YARD號를 Model化 하고 北太平洋中에서 風浪이 平均的으로 높은 海域(緯度 30°N~50°N, 經度 130°E~170°W)을 研究 범위로 하였다.

이 海域의 海面狀態에 對한 資料는 「北太平洋의 바람과 波浪의 統計圖表('64~'73)」²⁾를 利用하였으며 그中 冬季(12月~2月)의 WIND SPEED ROSE에서 風速 30knot 以上을 計算 처리하였다.

ITTC Wave Spectrum ³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾을 利用하여 風速 20 Knot에서 부터 45 Knot까지를 5 Knot 간격으로 有義波高 (H¹/₃)를 求하고 이것을 要素로 하여 H¹/₁₀₀₀ 最大波高를 計算하였다.

여기서 이 波高가 船速에 따라 波浪에 의하여 船體가 받는 應力을 求하고 世界各國의 有名 船級協會의 規程에 規定된 設計波高에 의한 船舶의 設計強度와 比較 檢討하였다.

그 結果 現在의 船體設計強度로서는 극심한 荒天航海에 있어서는 大型船의 船體強度가 不足 하다는 것을 알았다. 이와 關聯하여 各各의 波高에 對해서 Green Water Flooding에 의한 굽힘 Moment 對 V를 圖面化하고 大型船이 荒天에 遭遇하였을 때 이와 같은 圖面을 利用하여 安全操船을 하는 避航操船 方案에 대하여 考察하였다.

Ⅱ. 理 論

1. 不規則 海面의 數學的인 處理

(1) Wave Spectrum에 의한 海面狀態의 豫則

海上의 波浪을 無限히 많은 正弦波가 중첩되어 이루어진 것으로 생각하고 Wave Spectrum 을 만든다.

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega_w) d\omega_w \dots \dots \dots \textcircled{1}^6)$$

예를 들면 ITTC가 추천하는 Wave Spectrum은

$$S(\omega_w) = \frac{A}{\omega_w^5} e^{-B/\omega_w^4} \dots \dots \dots \textcircled{2}^6)$$

但, $A=8.10 \times 10^{-3}g^2(cm)$

$B=3.11 \times 10^4/(H^1/3)^2(cm^2 \cdot sec)$

(2) 豫想 最大波高

通過한 波浪의 數(n)中에서 가장 큰 波高에 關한 式은 다음과 같다.

$H \frac{1}{n} = 2\sqrt{2 \log n} \times \sqrt{m_0} \dots\dots\dots ③.6'$

(3) Moment Spectrum에 의한 應力值의 豫想

Moment Spectrum을 기초로 하여 船舶이 모든 氣象狀態下에서 一生동안 받을 수 있는 Stress에 關한 確率圖表를 作成할 수 있다.

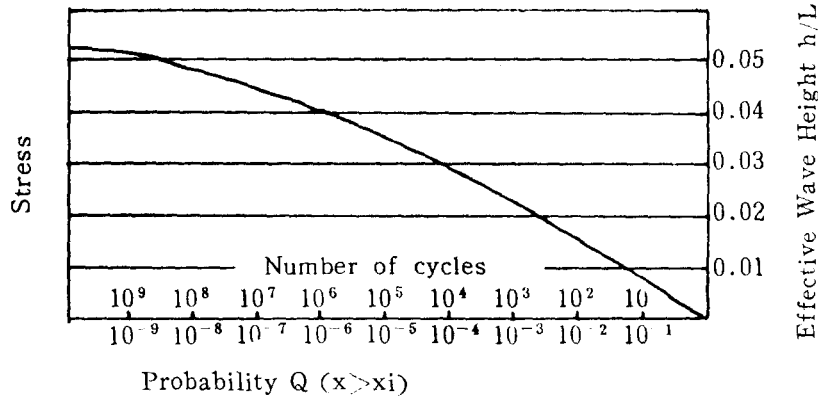


Fig. 1 STRESS PROBABILITY CHART⁷⁾

2. 冬季 北太平洋의 海面狀態

冬季에는 北太平洋上에 크게 발달한 溫帶低氣壓이 變번히 出現하며 특히 日本의 東方洋上 北緯 28°에서 40° 東經 140°에서 西經 160°의 變번에 低壓帶가 넓게 차지하고 있다. 反面 Siberia 大陸上에는 심한 輻射冷却으로 大陸性高氣壓이 크게 발달하여 Aleutian 부근에 中心을 둔 低氣壓과의 사이에 氣壓傾度가 급격해지며 冬季의 典型的인 氣壓配置인 西高東低型이 變번히 그리고 長期間 나타난다. 따라서 北太平洋上의 低壓帶域에서는 偏西의 強風이 우세하며 風浪이 거칠어지므로 이 海或을 航海하는 船舶은 大型船일지라도 難航(특히 西向航路船에 있어서 그러함)이 된다.

冬季 北太平洋上의 氣象과 海象이 船舶의 安全運航에 위협을 주는 氣象學的인 原因을 分析하면 다음과 같다.

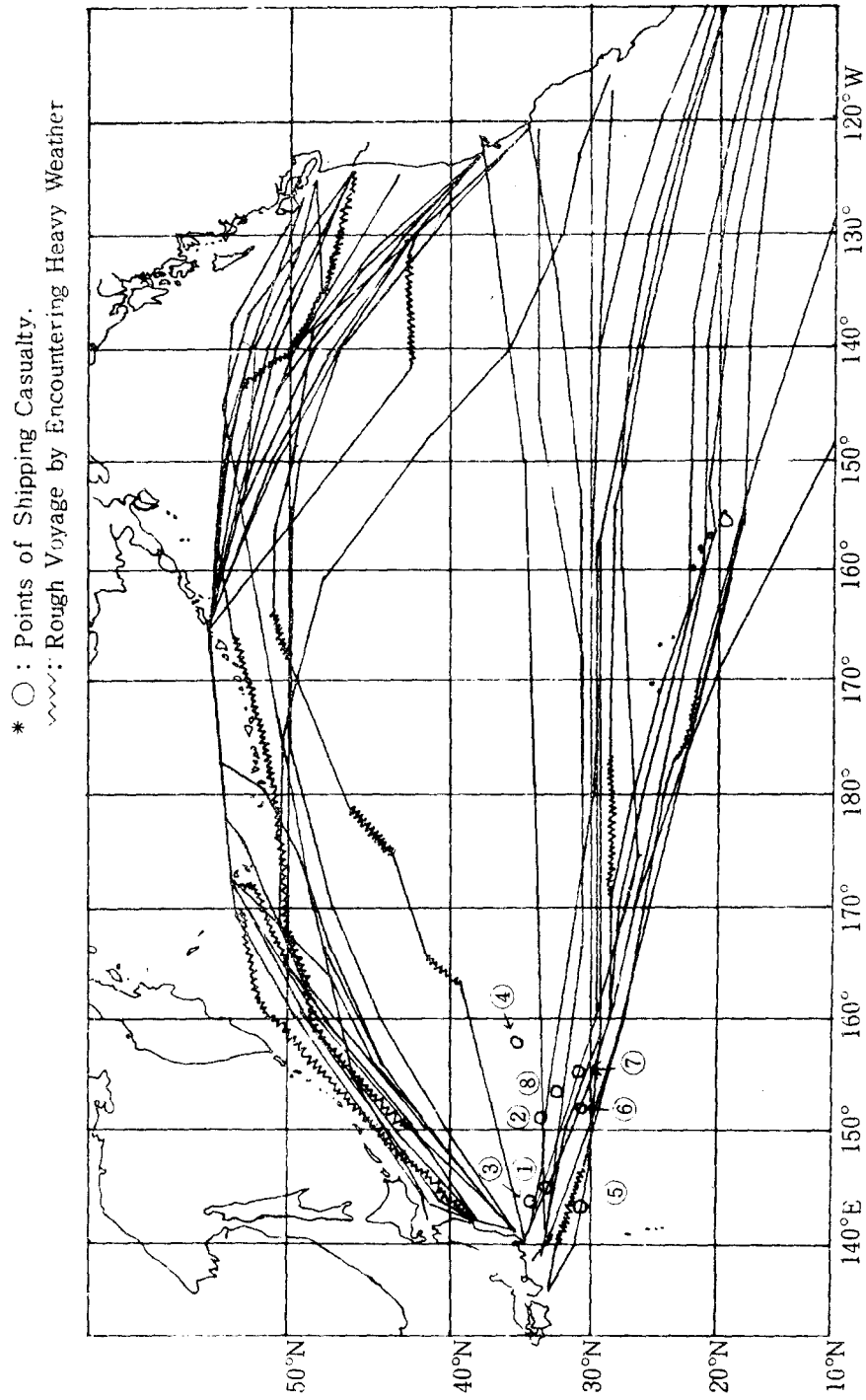


Fig. 2 A Chart Indicating Ship's Navigational Tracks.

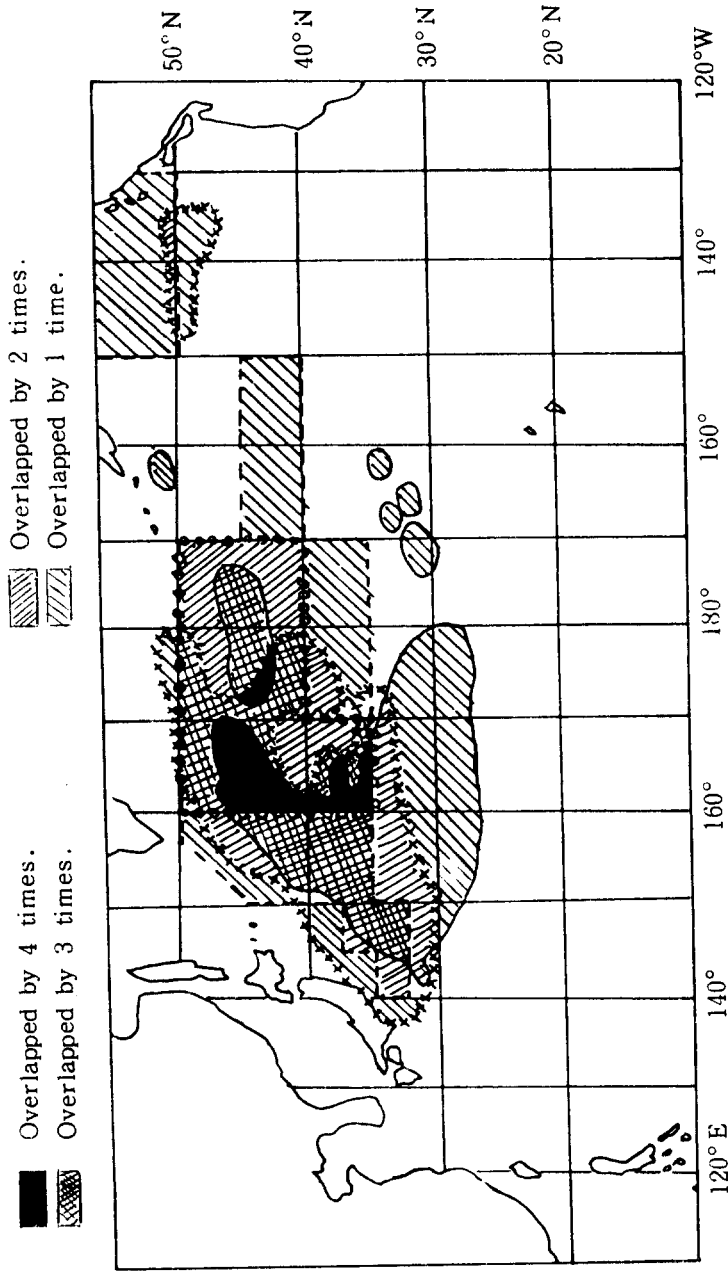


Fig. 3 ; Danger Area for Navigation in Winter.

1. Area Distribution Where Wave Over 10 m Has Been Observed More Than 10 Times in Each Month through 10 Years.
2. Area Distribution Where Strong Winds Over 50 knots Has Been Observed More Than 10 Times in Each Month through 10 Years.
3. Area Distribution Where Mean Wind Speed Over 20 knots Has Been Observed.
4. Area Distribution Where Mean Wave Height Over 3m Has Been Observed.

(1) 上層強風帶

上層 強風帶는 年中 존재하나 겨울에 強하고 여름에 弱하다. 겨울에 北太平洋의 上層 強風帶는 35°N 부근을 中心으로 西에서 東으로 달리고 있으며 그 幅은 대략 1000km나 된다.

低氣壓은 普通 上層 強風帶의 위치에 놓일 때 發達하고 強風帶의 風向을 따라 이동하며 發達한다. 이 強風帶는 溫度分布와도 密接한 關係가 있다.

強風帶는 原來 寒氣와 暖氣 사이에서 發生하는데 北太平洋에서는 寒氣는 北方에 暖氣는 南方에 存在한다. 寒氣와 暖氣의 溫度差는 겨울이 여름보다 훨씬 크다. 冬季의 極부근의 地上溫度는 -50° 以下이며 赤道 부근은 30°C 程度로서 그 溫度差는 80°C 정도나 되지만 夏季에는 極地方의 溫度上昇(約 0°C 정도)으로 그 溫度差는 30°C 정도로 작아진다.

溫度差가 작을수록 寒氣와 暖氣의 境界점의 幅은 좁아지고 클수록 넓어진다. 이 때문에 여름에는 強風帶의 幅은 좁고 겨울에는 強風帶幅의 넓이가 1000km 程度가 되어 地球 自轉에 의하여 강한 西風이 불게 된다. 이로 因하여 北太平洋上 日本 東岸에서는 低氣壓이 發達하고 最盛期를 이루며 海難事故가 發生되는 原因이 된다. 이는 또한 日本 船主協會가 조사한 船長 앙케이트를 보아도 곧 알 수 있다. (Fig. 2)

(2) 北太平洋의 바람과 波의 統計圖表 ('64~'73)²⁾

이 統計圖表는 一般船舶이 目視觀測 data에 의해서 求하여진 것으로 이 目視觀測 data는 波高나 波週期가 不規則적이므로 그 平均値를 直感이나 經驗에 의해서 求해야 한다는 根本的인 欠點을 爲始하여 船舶通航 航路의 粗密에 의한 地或의 季節的 不均衡, 船舶의 荒天避航 等に 따른 荒天 遭遇頻度の 低下 혹은 變動 等を data의 利用時에 留意하지 않으면 안되는 點이 많 이 있다.

그러나 觀測數가 상당히 많아서 統計値로서 利用價値가 充分하다고 思料되어 本 資料中 겨울철인 12月에서 2月까지 3個月間

- ① 平均 波高 3m 以上인 海域
- ② 冬季의 平均 風速이 20 Knot 이상인 海域을 調査 圖示한 것
- ③ 10年間을 통한 10回 以上 10m를 넘는 파고가 觀測된 海域
- ④ 10年間을 통한 10回 以上 50 Knot를 넘는 風速이 測定된 海域

Fig. 3은 上記 海域을 調査 綜合한 것이다.

(3) Wave Spectrum에 의한 豫想 最大波高³⁾⁴⁾⁶⁾

① 風 速

風力階級에서 荒天으로 看做되는 것은 階級 6以上이지만 여기서는 船舶이 航海時 避航與否의 分岐點을 階級 7로 보았다. 그에 對한 相當風速이 28 Knot~33 Knot¹⁾ 이므로 大略 平均해서 30 Knot로 決定하였다.

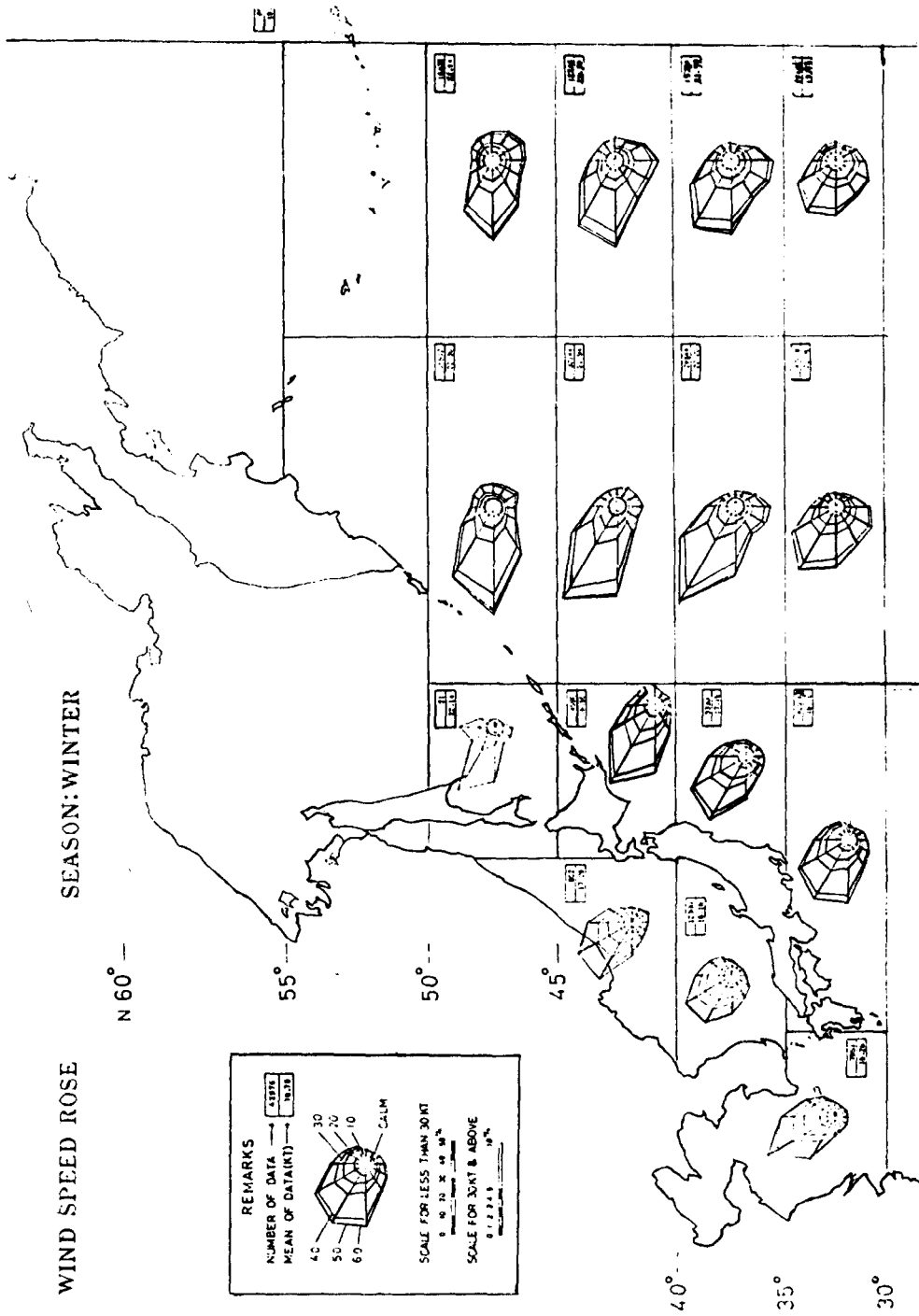


Fig. 4 WIND SPEED ROSE IN WINTER²⁾

階級 7인 30 Knot에 對한 波高는 5.5m이며 이에 準하여 統計圖表에서 겨울철 風速圖를 利用하여 風速 30 Knot 以上만을 調査하여 본 結果 平均 約 19%가 되었으며 主風(Prevailing Wind)의 方向은 主로 W~NW 사이였다.

이는 船舶이 冬季에 3個月間 無休 加동하여 運航하였을 때 90日로 보면 風力 30 Knot 以上 만날 수 있는 日數는 約 17日이 된다. 이것을 10年間(冬季에 限함)으로 하면 170日間을 風速 30Knots 以上의 바람이 불었다는 계산이다.

② Wave Spectrum에 의한 海面狀態 ³⁾⁴⁾⁶⁾

波浪이 無限히 많은 正弦波가 重疊되어 이루어진 것으로 생각하고 ITTC Wave Spectrum 公式을 利用하여 Wave Spectrum을 만든다.

有義波高 對 風速의 ITTC Standard Wave Spectrum에서 風速 30 Knot 일때의 有義波高 ($H_{1/3}$)는 17.7ft 卽 5.4m 이다.

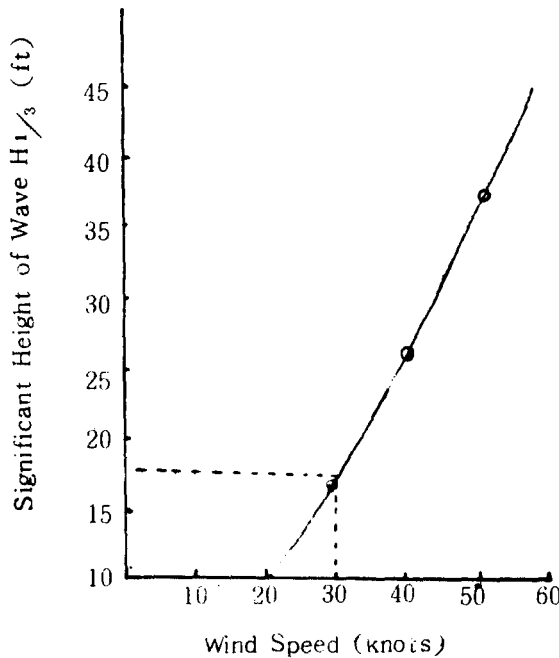


Fig.5 $H_{1/3}$ vs. Wind Speed of ITTC Standard Wave Spectrum. ³⁾⁶⁾

有義波高 5.4 m일때 公式 ②를 利用하여 計算하고 波 Spectrum을 그릴 수 있다.

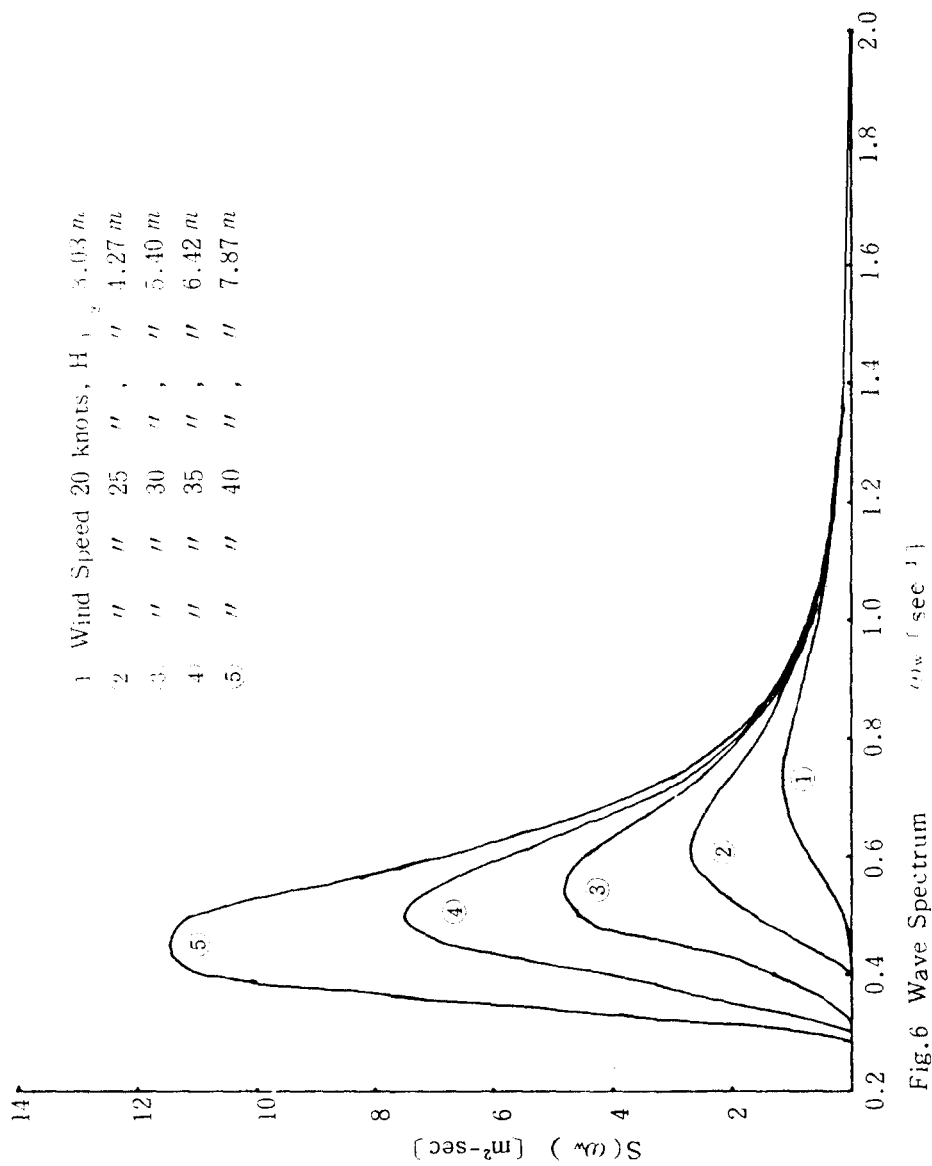


Fig.6 Wave Spectrum

이와 關聯하여 20 Knot에서부터 45 Knot까지 5 Knot 간격으로 $H^{1/3}$ 波高를 求하여 Wave Spectrum을 그려 보다.

여기서 m_0 는 公式 (1)에 依하여 求하며 風速 30 Knot에 對한 m_0 는 $1.842m^2$ 이다.

波浪의 遭遇數에 따른 豫想最大波高는 公式 (3)에 依하여 求하며 風速 30 Knot에 對한 $H^{1/1000}$ 波高는 10.09 m가 된다.

Fig. 1 에서 遭遇回數가 249462인 要素를 應力確率圖表를 利用하여 Effective Wave Height를 求하여 結果 $10^{5.4}$ 이므로 0.038이 되며 이때 $H^{1/1000}$ 波高를 基準으로 한다면 $0.038L = 10.09$ 이므로 L 은 265 m가 되고 T_w 는 선체 長이를 波長으로 보면 $\sqrt{\frac{2\pi L}{g}}$ 이므로 13.0Sec가 된다.

또한 風速 對 有義波高와 關聯하여 다음과 같이 各 風速에 對한 $H^{1/3}$ 을 求하고 ITTC Wave Spectrum에 依하여 m_0 와 $H^{1/1000}$ 波高를 求하여 表로 만들었다.

TABLE 1 Wave Height due to Wind Speed

Wind Speed	Significant Waves($H^{1/3}$)	m_0	Wave Height($H^{1/1000}$)
20 Knots	3.03(m)	0.5607	5.57(m)
25 "	4.27(〃)	1.1353	7.92(〃)
30 "	5.40(〃)	1.842	10.09(〃)
35 "	6.42(〃)	2.590	11.96(〃)
40 "	7.87(〃)	3.7513	14.40(〃)
45 "	9.14(〃)	4.9926	16.61(〃)

Ⅲ. 船체가 받는 外力에 對한 數值計算

本 數值計算에서는 船체가 받는 外力中 Green Water Flooding만을 計算範圍로 하고 이것에 依해서 發生하는 衝擊作用應力이 얼마나 되는지 統計 圖表에서 求한 $H^{1/1000}$ 波高, 배의 長이, 波長(265 m)을 代入시켜 船速別로 計算을 하여 보자.

滿載한 PAN YARD號의 主要目은 다음과 같다.

Table 2. Dimensions of MV. PAN YARD.

Lpp	262 m	L. O. A.	272m
B	39.05 m	Sea Speed	15.29knots
C _b	0.840	Main Deck to	
D/W	120,988L/T	Forecastle Deck	2.5 m
Depth	20.17 m		
Full Loaded Draught	16.14 m		

1. Green Water Flooding에 의한 굽힘 Moment⁽⁴⁰⁾

船速에 따라 波를 各各 船首에서 받으면서 航海할 때 船首에서 떨어뜨리는 Green Water Flooding 때문에 생기는 굽힘 Moment를 求하여 Tab. 3을 만들었다.

그리고 ABS Rule에 依하여 Mw를 求하는 式은

$$Mw = C_2 L^2 B H_c K_b \dots \dots \dots (41) 이고$$

設計波高 8m에 對한 값은 4.64×10^5 ton-m이다.

2. Green Water Flooding에 의한 굽힘 Moment의 分析

Table 3 Bending Moment by Green Water Flooding(ton-m) of V vs. Hw.(unit:10⁵)

Hw \ V(knot)	V(knot)									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8 m	0.84	0.85	1.04	1.00	1.20	1.32	1.35	1.05	1.03	0.91
9 "	1.85	1.97	2.27	2.51	2.61	2.86	2.96	2.71	2.77	2.74
10 "	3.01	3.21	3.61	3.95	4.14	4.54	4.72	4.49	4.62	4.66
11 "	4.23	4.54	5.05	5.52	5.79	6.28	6.54	6.35	6.60	6.66
12 "	5.56	5.96	6.57	7.14	7.52	8.12	8.47	8.31	8.60	8.78
13 "	7.00	7.46	8.24	8.90	9.36	10.04	10.47	10.39	10.76	10.96

Table3는 波高를 一定하게 하고 船速別로 Green Water Flooding에 의한 應力인 Mf(ton-m)를 求하여 만들 것이다.

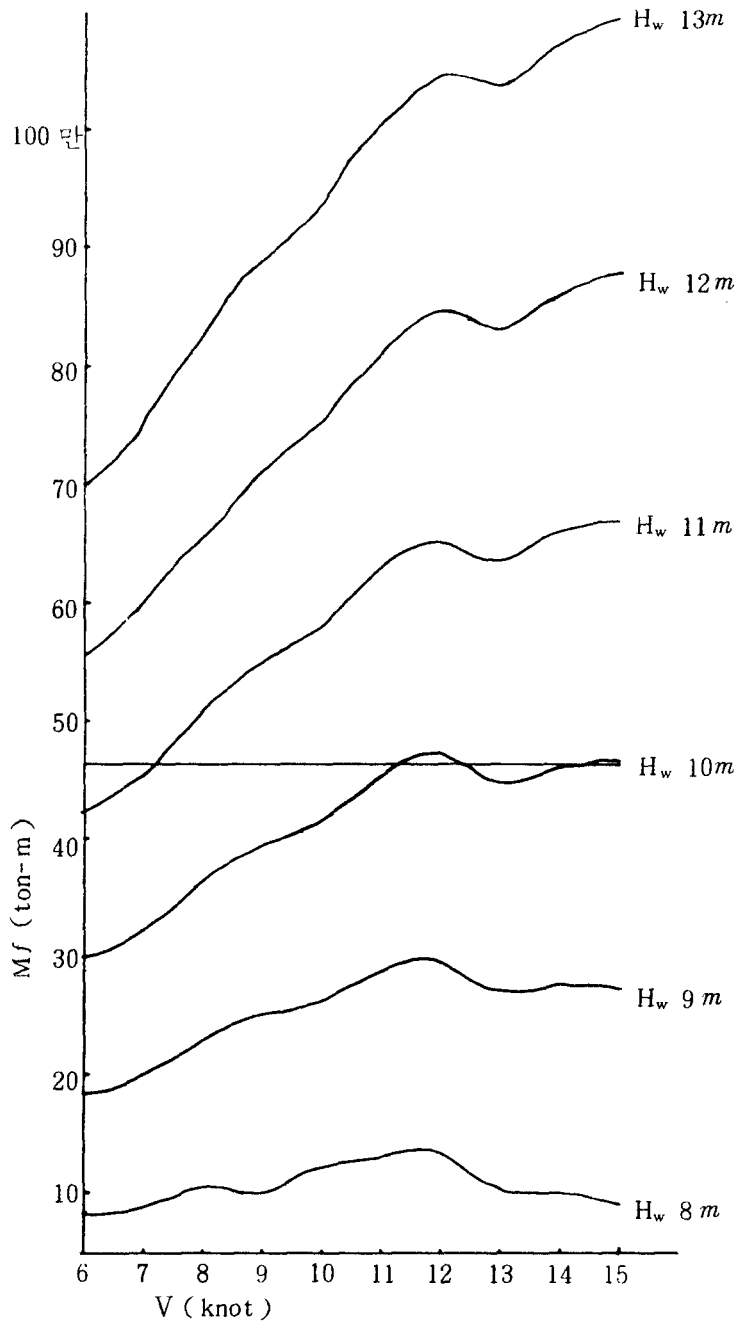


Fig.7 V vs. Mf (Hw: Constant)

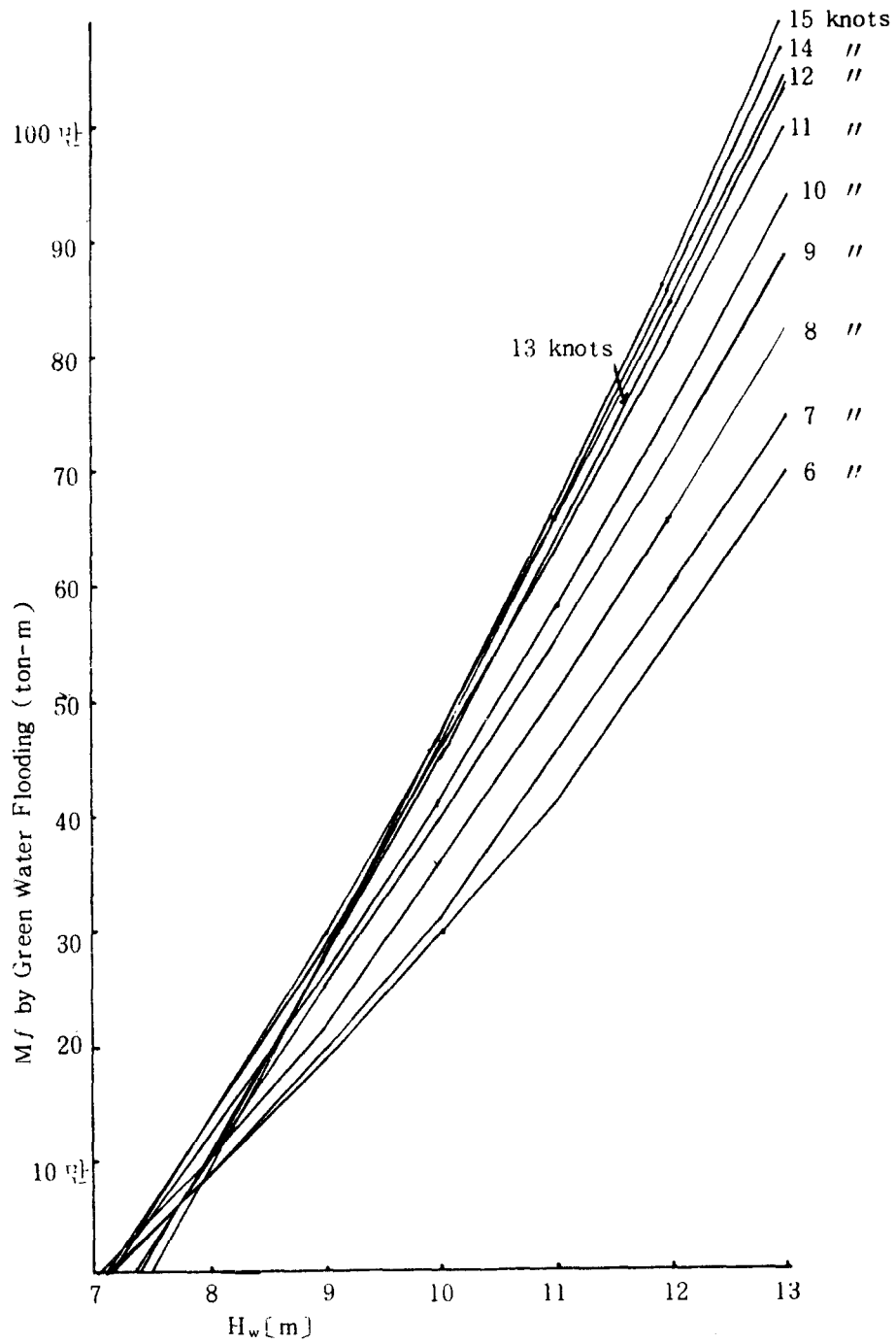


Fig.8 Mf by Green Water Flooding Vs. Hw

여기에서 波高를 一定하게 하였을 때 船速 對 M_f 에 對하여 圖面化한 結果 Green Water Flooding의 M_f 는 波高에 현저하게 影響을 받고 있음을 알 수 있다.

그리고 波高 9m까지는 위험 限界치를 초과하지 않으나 波高 10m에서는 船速 11 Knot 以上은 危險限界를 벗어나고 있다. 그러므로 波高 10m에서는 本 PAN YARO號는 11 Knot 以下로 速力을 낮추어야 하고 波高 11m에서는 7 Knot 以下로 減速시켜야 한다.

다음 Table 3에 의해서 波高 對 M_f 를 圖面化하였다. 여기서는 船速을 一定하게 한 境遇이다. 이 圖面에서는 船速이 增加할지라도 M_f 는 比較的 變化가 적다는 것을 알 수 있다.

그리고 Green Water Flooding이 發生하기 始作하는 分岐點 波高는 7m 內外가 된다.

이 두가지 圖面을 綜合하여 보면 波高가 增加하면 M_f 량은 현저히 增加하나 船速에는 變化量이 작다.

그리고 本 船舶은 10m 以上 波高에는 위험하므로 風力階級 8의 中間 후반에 들어서면 荒天 避航을 하지 않으면 안된다.

Ⅵ. 冬季 北太平洋의 海象과 船体強度에 對한 評價 및 避航 操船 方案

1. 冬季 北太平洋의 海象과 船本強度에 對한 評價

大型船의 船体強度에 對한 安全率은 생각보다 훨씬 약하다. 이러한 취약성에도 불구하고 大型船의 海難事故가 적다는 것은 一線 船長들이 低氣壓을 잘 避하고 있기 때문이다.

여기서 船体는 風力階級 8이상 的 風力이 주는 海面狀態로 부터 絶실한 위험이 있을 것으로 判斷된다.

그 理由는 다음과 같다.

(1) 統計圖表에서 求한 風速은 風力階級 7以上이 約 19%나 된다. 이는 北太平洋 橫斷 航海 日數가 15日이 라면 3日間은 荒天에 遭遇할 確率이며 風速 30 Knot에 對한 $H_{1/1000}$ 波高가 10m 程度이므로 危險이 크다.

(2) 實際로 比較的 正確하게 波高와 波長關係를 나타내는 式으로 생각되는 $H_w = 0.607 \sqrt{L_w}^{3)}$ 를 利用하여 波高를 計算하면 $H_w = 9.9m$ 가 되고 $0.038 \times L$ 에 해당된다. 이 程度의 波高는 風力階級 7의 末尾段階로 부터 자주 출현하고 있다.

(3) 現行 ABS Rule上에서 길이 262m가 되는 船舶에 對한 設計波高는 $H_e = [4.50L - 0.071L^2 + 103]10^{-2} = 8.0m^{4)}$ 이고 船体 長이의 1/33에 해당하는 波高이다.

<Fig.7>에 圖示한 바와 같이 設計波高 8m에, 해당하는 應力과 Wave Spectrum의 $H^1/1000$ 波高 10m에 해당하는 Green Water Flooding의 應力을 比較하여 보면 PAN YARD號의 航海는 船速 11 Knot 以上이면 極히 危險하다.

그러므로 이 危險을 避하기 위해서는 船速을 11 Knot 以下로 減速시켜 Heave to 操船을 하거나 또는 Scudding 操船을 하여 波高가 10m 以下인 海域으로 避航하여야 한다.

여기서 滿船을 전체로 하고 操船者가 視覺적으로 大型船의 強度를 評價하는 方法은 다음과 같다.

- . 冬季 北太平洋上에서 風力階級 7以上이면 危險이 始作되고 8以上이면 危險이 크다.
- . 本 PAN YARD號에서는 波高 10m 以上은 Heave to나 Scudding 操船하여 荒天을 避해야 한다.
- . Green Water Flooding이 始作되면 危險이 始作되고 同時에 Slamming이 發生하면 船體는 파괴될 수 있다.

2. 避航 操船 方案

(1) 冬季 北太平洋의 低氣壓¹⁾

① Aleutian 列島 附近에 中心을 둔 低氣壓은 그 範圍가 半徑 約 1000km 以上이 되며 中心部는 氣壓은 낮으나 바람이 弱하다. 오히려 外周에 強風帶가 形成되어 바람이 強하고 波高가 높다.¹⁾

또한 Bering海는 Fetch가 짧아 Swell의 影響이 적으며 低氣壓 中心의 北側에 있으므로 이를 西航하여 通過하는 船舶은 바람을 船尾方向에서 받을 확률이 높으므로 荒天遭遇 빈도수를 줄일 수 있다.

② 冬季 北太平洋의 低氣壓은 緯度 30°N 附近까지 發達하므로 荒天遭遇 빈도수를 줄이기 위해서는 30°N보다 低緯度로 航海하여야 한다. 물론 操船者는 航程이 길어지는 것을 念頭에 두고 航路를 선정하여야 할 것이다.

(2) 船首 上下動과 遭遇波와의 關係

一般的인 Trochoid 波 理論에 의하여 $Lw=20Hw$ 일때 PAN YARD號가 10 Knot로 航海中 波高 8m에서 부터 13m까지 1m 간격으로 波를 船首에서 船尾까지 30°마다 차례로 받았다고 가정하자.

이와 關聯해서 “船首上下動과 遭遇波와의 關係”⁴⁾⁹⁾ 圖面에서 각 波高에 對한 船首上下動진 폭과 波 진폭 比를 求하고 各各에 對해서 船首上下動을 求하여 Fig. 9를 그렸다.

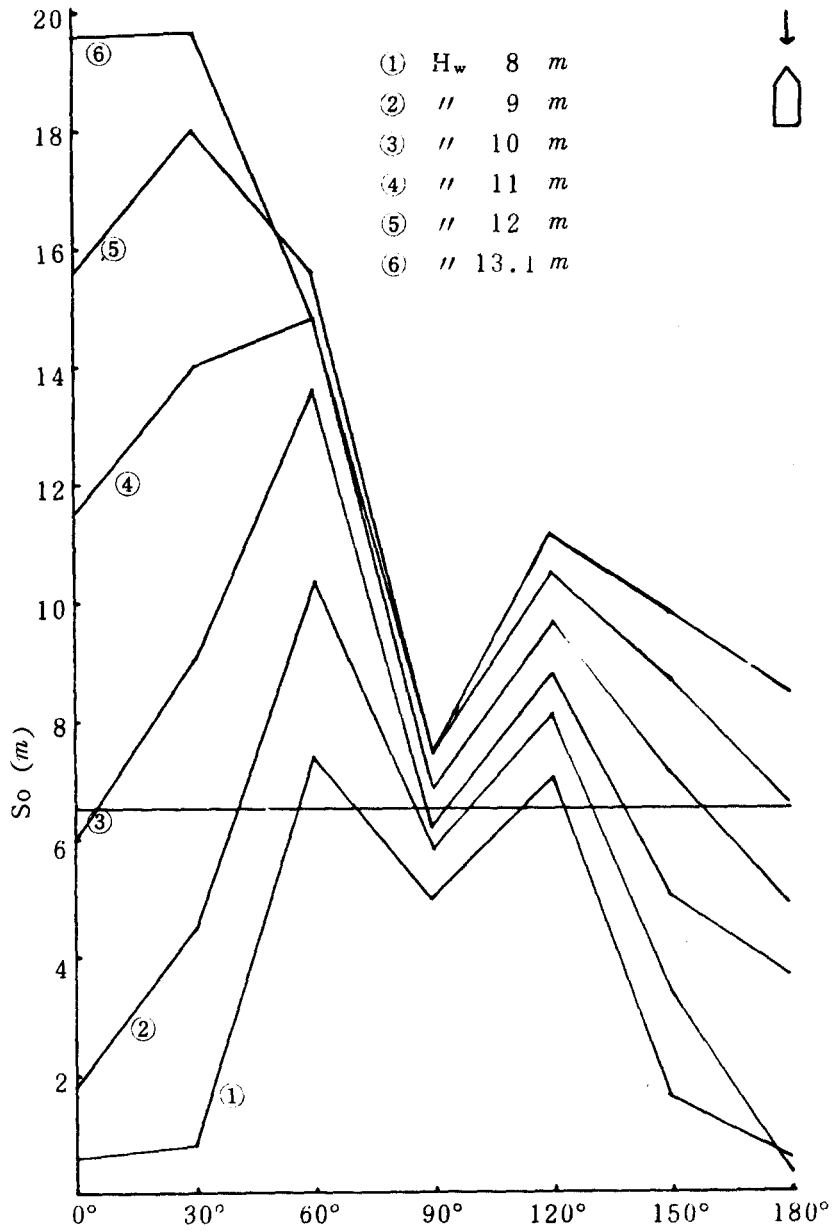


Fig. 9 Relation between S_o and W_e

Fig. 9에서 船首乾舷과 船首上下動을 比較할 때 PAN YARD號는 波高 10m에서 Scudding 操船을 하여야 한다. 即 波高 10m 以下에서는 危險이 극심하지 않으므로 航海가 可能하나 波高 10m 以上에서는 速力을 낮추어 Heave to 操船을 하거나 Scudding 操船을 하여 避航하여야 한다.

여기서 Fig. 9와 같은 圖面을 미치하고 波高를 正確하게 觀測할 수 있는 장비를 船舶에 설치한다면 더욱더 科學的인 避航方法이 可能하리라 믿는다.

V. 結 論

1. 冬季 北太平洋을 橫斷하는 船舶은 Bering海를 通過하든가 또는 緯度 28°N 이하로 航海하면 荒天遭遇 빈도수를 줄일 수 있다.
2. 波高 10m, 波長 265m 程度의 波를 PAN YARD號가 받는다면 速力을 11 Knot 以下로 減速하여 Heave to 操船을 하거나 또는 Scudding 操船을 하여야 한다.
波浪을 받는 方向은 船尾 30°程度의 方向이 安全上 가장 좋다.
3. Green Water Flooding이 始作되면 危險이 始作되고 Green Water Flooding과 同時에 Slamming이 始作되면 船體는 파괴될 危險이 있다.
4. Green Water Flooding에 의한 應力은 波高가 增加함에 따라 급격히 增加하며 速力과도 함수 關係가 있다.
5. 滿載航海時의 D/W 12萬ton級 PAN YARD號는 Gveen Water Flooding의 分岐點 波高를 7m 內外로 볼 수 있다.
6. 船體 動搖時 速力에 따른 加速度 變化 때문에 생기는 應力의 變化는 앞으로 研究 究명하여야 할 重要한 과제이다.

參 考 文 獻

1. 岡丙彦. 海洋氣象學. 韓國海洋大學 海事圖書出版部 부산, PP.199~353 (1973).
2. 北太平洋의 風と 波의 統計圖表 (1964年~1973年). 日本氣象廳 및 NOAA, USA.
3. 尹点東. 船舶 運用의 理論과 實務(操縱論). 第一文化社. 부산, PP.143~185 (1982).
4. 尹点東. 巨大型船 操船論(操船特論). 亞成出版社. 부산, PP.78~98(1983).
5. 朴錫柱. 荒天航海中の 大型船의 縱強度와 操船에 關한 研究. 韓國航海學會誌 第七卷 第1號. 부산 PP.63~81 (1983).

6. Rameswar Bhatthercharyya : "Dynamics of Marine Vehicles" John Witley & Sons, New york PP. 110~152 (1978).
7. 金極天 外 4人, 造船學要論, 文運堂, 서울, PP.155~179 (1983).
8. 大津雅信, 理論船舶工學 (中卷), 海文堂, 東京 P.49.(1971).
9. VLCC研究會 代表 谷初藏, VLCC에 關する 十章 成山堂書店, 東京, PP.99~100 (1977).

APPENDIX

ITTC Standard Wave Spectrum을 利用 20 Knot에서 45 Knot까지 5 Knot 간격으로 $H^{1/3}$ 波高를 求하여 Tab.化 한 것이 Tab. A-1에서 부터 Tab. A-6까지이며 이것을 要素로 하여 Wave Spectrum을 그리고 m_s 를 求하였으며 $H^{1/1000}$ 波高를 各各 求하여 表로 附된 것이 Tab. 1이다.

Tab. A-1 20 knots , 3.03m

$f\omega$ [sec ⁻¹]	B/ω_w^4	$-B/\omega_w^4$	$S(\omega_w)$ [m ² -sec]			(4)×(5)
①	②	③	④	⑤	⑥	
0.2	211.717	0	0	1	0	
0.3	41.821	0	0	4	0	
0.4	13.232	1.79×10^{-6}	1.36×10^{-4}	22.72×10^{-4}		
0.5	5.420	4.43×10^{-3}	0.11	4	0.44	
0.6	2.613	7.33×10^{-2}	0.73	2	1.46	
0.7	1.411	0.244	1.13	4	4.52	
0.8	0.827	0.437	1.04	2	2.08	
0.9	0.516	0.597	0.79	4	3.16	
1.0	0.339	0.712	0.56	2	1.12	
1.1	0.231	0.794	0.38	4	1.52	
1.2	0.613	0.850	0.27	2	0.54	
1.3	0.119	0.888	0.19	4	0.76	
1.4	0.088	0.916	0.13	2	0.26	
1.5	0.067	0.935	0.10	4	0.40	
1.6	0.052	0.947	0.07	2	0.14	
1.7	0.041	0.960	0.05	4	0.20	
1.8	0.032	0.969	0.04	2	0.08	
1.9	0.026	0.974	0.03	4	0.12	
2.0	0.021	0.979	0.02	1	0.02	
			Sum.		16.82	

Tab. A-2 25 knots , 4.27m

B/ω_w^4	$-B/\omega_w^4$	$S(\omega_w)$ [m ² -sec]			(4)×(5)
②	③	④	⑤	⑥	
106.606	0	0	1	0	
21.058	0	0	4	0	
6.663	1.28×10^{-3}	0.10	2	0.20	
2.729	0.065	1.62	4	6.28	
1.316	0.268	2.69	2	5.38	
0.710	0.492	2.28	4	9.12	
0.416	0.660	1.57	2	3.14	
0.260	0.771	1.02	4	4.08	
0.171	0.843	0.66	2	1.32	
0.117	0.890	0.43	4	1.72	
0.082	0.921	0.29	2	0.58	
0.060	0.942	0.20	4	0.80	
0.044	0.957	0.14	2	0.28	
0.034	0.967	0.10	4	0.40	
0.026	0.974	0.07	2	0.14	
0.020	0.980	0.05	4	0.20	
0.016	0.984	0.04	2	0.08	
0.013	0.987	0.03	4	0.12	
0.011	0.989	0.02	1	0.02	
			Sum.	34.06	

Tab. A-3 30 knots, 5.40 m

$f\omega$ [sec ⁻¹]	B/ω_w^4	$-B/\omega_w^4$ e	$S(\omega_w)$ [m ² -sec]	④×⑤	
①	②	③	④	⑤	⑥
0.2	66.658	0	0	1	0
0.3	13.167	1.9×10^{-6}	6×10^{-4}	4	0
0.4	4.166	0.016	1.22	2	2.44
0.5	1.706	0.182	4.54	4	18.16
0.6	0.823	0.439	4.40	2	8.80
0.7	0.444	0.641	2.97	4	11.88
0.8	0.260	0.771	1.83	2	3.66
0.9	0.163	0.850	1.12	4	4.48
1.0	0.107	0.899	0.70	2	1.40
1.1	0.073	0.930	0.45	4	1.80
1.2	0.051	0.950	0.30	2	0.60
1.3	0.037	0.964	0.20	4	0.80
1.4	0.028	0.972	0.14	2	0.28
1.5	0.021	0.979	0.10	4	0.40
1.6	0.016	0.984	0.07	2	0.14
1.7	0.013	0.987	0.05	4	0.20
1.8	0.010	0.990	0.04	2	0.08
1.9	0.008	0.992	0.03	4	0.12
2.0	0.007	0.993	0.02	1	0.02
Sum.			55.26		

Tab. A-4 35 knots, 6.42 m

B/ω_w^4	$-B/\omega_w^4$ e	$S(\omega_w)$ [m ² -sec]	④×⑤	
②	③	④	⑤	⑥
47.159	0	0	1	0
9.315	9×10^{-5}	0.03	4	0.12
2.947	0.052	3.96	2	7.92
1.207	0.299	7.46	4	29.84
0.582	0.559	5.83	2	11.66
0.314	0.731	3.39	4	13.56
0.184	0.832	1.98	2	3.96
0.115	0.891	1.18	4	4.72
0.075	0.928	0.72	2	1.44
0.052	0.949	0.46	4	1.84
0.036	0.965	0.30	2	0.60
0.026	0.974	0.20	4	0.80
0.020	0.980	0.14	2	0.28
0.015	0.985	0.10	4	0.40
0.012	0.988	0.07	2	0.14
0.009	0.991	0.05	4	0.20
0.007	0.993	0.04	2	0.08
0.006	0.994	0.03	4	0.12
0.005	0.995	0.02	1	0.02
Sum.		77.7		

Tab. A-5 40 knots, 7.87 m

$f\omega$ [sec ⁻¹]	B/ω_w^4	$-B/\omega_w^4$ e	$S(\omega_w)$ [m ² -sec]	④×⑤	
①	②	③	④	⑤	⑥
0.2	31.383	0	0	1	0
0.3	6.199	2×10^{-3}	0.64	4	2.56
0.4	1.961	0.141	10.73	2	21.46
0.5	0.803	0.448	11.18	4	44.72
0.6	0.387	0.679	6.81	2	13.62
0.7	0.209	0.811	3.76	4	15.04
0.8	0.123	0.884	2.10	2	4.20
0.9	0.077	0.926	1.22	4	4.88
1.0	0.050	0.951	0.74	2	1.48
1.1	0.034	0.967	0.47	4	1.88
1.2	0.024	0.976	0.31	2	0.62
1.3	0.018	0.982	0.21	4	0.84
1.4	0.013	0.987	0.14	2	0.28
1.5	0.010	0.990	0.10	4	0.40
1.6	0.008	0.992	0.07	2	0.14
1.7	0.006	0.994	0.05	4	0.20
1.8	0.005	0.995	0.04	2	0.08
1.9	0.004	0.996	0.03	4	0.12
2.0	0.003	0.997	0.02	1	0.02
Sum.			112.54		

Tab. A-6 45 knots, 9.14 m

B/ω_w^4	$-B/\omega_w^4$ e	$S(\omega_w)$ [m ² -sec]	④×⑤	
②	③	④	⑤	⑥
23.267	0	0	1	0
4.596	0.010	3.21	4	12.84
1.454	0.234	17.81	2	35.62
0.596	0.551	13.74	4	54.96
0.287	0.751	7.53	2	15.06
0.155	0.856	3.97	4	15.88
0.091	0.913	2.17	2	4.34
0.057	0.945	1.25	4	5.00
0.037	0.964	0.75	2	1.50
0.025	0.975	0.47	4	1.88
0.018	0.982	0.31	2	0.62
0.013	0.987	0.21	4	0.84
0.010	0.990	0.14	2	0.28
0.007	0.993	0.10	4	0.40
0.006	0.994	0.07	2	0.14
0.0045	0.996	0.05	4	0.20
0.0035	0.9965	0.04	2	0.08
0.003	0.997	0.03	4	0.12
0.002	0.998	0.02	1	0.02
Sum.		149.78		