

# 激烈한 荒天中에서 避航操船에 關한 理論的인 研究

A Theoretical Study on Safe Manoeuvring in  
Seriously Heavy Weather

許 龍 範

Yong-Beom Heo

〈目 次〉

Abstract	1. 假 定
Nomenclature	2. 計算에 使用된 Sample 船舶
I. 序 論	3. 橫搖計算
II. 理 論	4. 縱方向 Wave-induced bending moment 및 Stress 計算
1. 不規則海面	IV. 數值計算 結果에 對한 考察
2. Wave spectrum	1. 船種別 橫搖特性
3. Encountering wave spectrum	2. 船種別 應力에 對한 考察
4. Respones amplitude operator	V. 結 論
5. Response spectrum	參考文獻
III. 數值計算	

## Abstract

It is appeared that modern merchant vessels have inherent defects when considered from the viewpoint of safe manoeuvring in heavy weather.

In general, ship owners are inclined to take consideration of cost in term of ship's structure or structural strength in persuit of ultimate business goal i.e. maximization of their interests, which in turn makes it difficult to ensure ship's safety in structural aspect in heavy weather.

On account of this incompatibility on the course of ship building, incomplete vessels lacking in strength are built unavoidably and the defect in structural strength must be compensated by proper seamanship in heavy weather. Foreign studies on ship manoeuvring in rough seas have not made a certain limit of rough seas in which defensive manoeuvring should be exerted. Irregular seaways were analyzed and expressed by means of Theoretical Rayleigh Distribution in this paper. Ship motions on irregular seaways were computed by applying Response Amplitude Operator and Strip Theory to that Rayleigh Distribution at sea state of each Beaufort Scale.

Finally the calculation results were classified into several categories of sea state to suggest a criteria or limit of sea state in which proper seamanship must be exerted and following conclusions are drawn.

- 1) Large vessels are inclined to cause structural failure than subversion.
- 2) Container ships and log carriers are to avoid "Head-sea" from 6 and 7 of wind speed on Beaufort Scale respectively.
- 3) In general, large vessels are to maintain "Heave-to" from 7 or 8 of wind speed on Beaufort Scale.
- 4) From 9 of wind speed on Beaufort Scale, large vessels, generally, are to manoeuver at Quartering-sea or Scudding.
- 5) In general, the container vessels of high Breadth to Lenght ratio, enter the dangerous stress region earlier and shows sudden large rolls in heavy seas than other type of ships.
- 6) Log carriers, laden full, shows smaller rolls and longer rolling period in any sea state ordinarily, however once they have began to roll to some degree, it causes sudden and larger rolls than others.

## Nomenclature

- $L$  : Ship's length  
 $B$  : " breadth  
 $T$  : " draft  
 $V$  : " speed  
 $\overline{GM}_T$  : Transverse metacentric height  
 $W_w$  : Circular frequency of absolute wave  
 $W_e$  : Circular frequency of encountering wave  
 $S_\zeta(W_w)$  : Spectral density of absolute wave spectrum  
 $S_\zeta(W_e)$  : Spectral density of encountering wave spectrum  
 $S_\zeta(W_w, \mu_w)$  : Two - dimensional spectral density  
 $m_o$  : Wave Energy spectrum area  
 $\mu$  : Heading angle  
 $\mu_\phi$  : Magnification factor for rolling  
 $\mu_w$  : Encountering wave angle  
 $f(\mu_w)$  : Spreading function  
 $I_{xx}$  : Mass moment of inertia for rolling  
 $\hat{I}_{xx}$  : Virtual mass moment of inertia for rolling  
 $K_{xx}$  : Radius of gyration for rolling  
 $L_w$  : Wave length from crest to crest  
 $\rho$  : Seawater density  
 $g$  : Gravity acceleration

- $\zeta_a$  : Wave amplitude  
 $(M_w)_a$  : Wave induced longitudinal bending moment amplitude  
 $(\phi)_{st}$  : Static rolling amplitude  
 $\Lambda$  : Tuning factor for rolling  
 $K$  : Nondimensional damping coefficient for rolling  
 $\Delta$  : Actual displacement  
 $\Delta$  : Virtual mass  
 $\phi_a$  : Rolling amplitude  
 $M_s$  : Static longitudinal bending moment  
 $\sigma_w$  : Stress by longitudinal wave induced bending moment  
 $\sigma_s$  : Stress by longitudinal static bending moment  
 $\sigma_f$  : Stress by green water flooding effect  
 $\sigma_i$  : Stress by slamming effect  
 $T_s$  : Rolling period in still water  
 $W_\phi$  : Natural frequency for rolling  
 $H_e$  : Designed wave height  
 $a$  : Inertial force coefficient for rolling  
 $b$  : damping force coefficient for rolling  
 $b_n$  : damping coefficient for nth unit length for rolling  
 $B_n$  : Water line breadth for nth section  
 $C_w$  : Water plane area coefficient  
 $K_{yy}$  : Radius of gyration for pitching

- $S_{BM}$  : Bending moment spectrum area  
 $Z$  : Section Modulus  
 $M_t$  : Total bending moment  
 $(\phi)_{ave}$  : Average roll amplitude  
 $(\phi) \frac{1}{3}$  : Average of one - third highest roll amplitude  
 $(\phi) \frac{1}{10}$  : Average of one - tenth highest roll amplitude  
 $(\phi) \frac{1}{100}$  : Average of one - hundredth highest roll amplitude  
 $(BM)_{ave}$  : Average of bending moment  
 $(BM) \frac{1}{3}$  : Average of one - third highest bending moment amplitude  
 $(BM) \frac{1}{10}$  : Average of one - tenth highest bending moment amplitude  
 $(BM) \frac{1}{100}$  : Average of one - hundredth highest bending moment amplitude  
 $(\sigma)_{ave}$  : Average of stress amplitude  
 $(\sigma) \frac{1}{3}$  : Average of one - third highest stress amplitude  
 $(\sigma) \frac{1}{10}$  : Average of one - tenth highest stress amplitude  
 $(\sigma) \frac{1}{100}$  : Average of one - hundredth highest stress amplitude

## I. 序 論

오늘날의 商船은 安全運航이라는 側面에서 볼때에 建造時부터 問題點을 안고 있는 것으로 보인다.

즉 船主의 利潤을 極大化한다는 企業 固有의 目的에 附合하기 爲하여는 可能的 限 船體의 構造 또는 強度의 面에서 經濟性을 考慮치 않을 수 없으며 經濟的인 面만을 重視하면 安全性의 確保가 어려워 진다는



## I. 序 論

오늘날의 商船은 安全運航이라는 側面에서 볼때에 建造時부터 問題點을 안고 있는 것으로 보인다.

즉 船主의 利潤을 極大化한다는 企業 固有의 目的에 附合하기 爲하여는 可能한 限 船體의 構造 또는 強度의 面에서 經濟성을 考慮치 않을 수 없으며 經濟的인 面만을 重視하면 安全性的 確保가 어려워 진다는 점이다.

船舶建造에 있어서의 이러한 兩面性때문에 結果적으로 強度上 不完全한 船舶이 建造되는 것은 必然的이며 荒天航海時에는 이러한 船體強度上的 脆弱點을 適切한 操船方法에 의하여 補完시켜 주어야 하는 것이다.

荒天航海와 關聯한 操船方法에 대하여는 아직 外國의 研究事例에 있어서도 荒天에 따른 明確한 操船方法을 제시하지 못하고 있고 또한 어떤 해난관계 심판이나 재판에서도 操船方法에 關한 明示된 判例도 없다.

本 論文에서는 不規則海面을 Rayleigh 分布로써 把握한 뒤 Response Amplitude Operator 및 Strip Theory를 適用하여 每 Beaufort Scale에 對應하는 海面에서의 船體運動을 計算하였다. 그리고 그 結果를 海面의 荒天에 따라 分類하고 海面의 狀態에 따른 荒天操船方法을 段階別로 提示하였다.

- $S_{BM}$  : Bending moment spectrum area  
 $Z$  : Section Modulus  
 $M_t$  : Total bending moment  
 $(\phi)_{ave}$  : Average roll amplitude  
 $(\phi) \frac{1}{3}$  : Average of one - third highest roll amplitude  
 $(\phi) \frac{1}{10}$  : Average of one - tenth highest roll amplitude  
 $(\phi) \frac{1}{100}$  : Average of one - hundredth highest roll amplitude  
 $(BM)_{ave}$  : Average of bending moment  
 $(BM) \frac{1}{3}$  : Average of one - third highest bending moment amplitude  
 $(BM) \frac{1}{10}$  : Average of one - tenth highest bending moment amplitude  
 $(BM) \frac{1}{100}$  : Average of one - hundredth highest bending moment amplitude  
 $(\sigma)_{ave}$  : Average of stress amplitude  
 $(\sigma) \frac{1}{3}$  : Average of one - third highest stress amplitude  
 $(\sigma) \frac{1}{10}$  : Average of one - tenth highest stress amplitude  
 $(\sigma) \frac{1}{100}$  : Average of one - hundredth highest stress amplitude



## Ⅱ. 理 論

### 1. 不規則海面 ( Irregular Seaway )

波濤위에서의 船體運動을 考察하기 爲하여는 우선 船體運動에 直接的인 影響을 미치는 波濤 그 自體에 對한 正確한 理解를 必要로 한다.

그러나 實際的인 問題로서, 海上에서 船體運動을 일으키는 波는 規則的인 形態를 갖는 Sinusoidal Wave가 아니고 그 波長, 週期, 振幅이 時間과 場所에 따라 變化無變한 심히 不規則的인 波이다.

이러한 海面狀態를 究明하는 데에는 Wave spectrum이 使用된다. 標準 Wave Spectrum의 種類에는 ISSC ( 國際船體構造 會議 ) Spectrum, JO-NCWAP ( 北海合同觀測計劃 ) Spectrum, ITTC ( 國際試驗水漕會議 ) Spectrum 등이 있으나 本 論文에서는 ITTC Standard Spectrum을 利用 하였다.

### 2. Wave Spectrum

實際의 海面은 時와 場所에 따라 심히 不規則的인 波形으로 이루어져 있으나 任의 海面은 0에서  $\infty$ 까지의 各種의 Wave Frequency를 갖는 要素波들이 構成되어 있는 것으로 볼수 있다. 또한 一定한 氣象狀態下에 있는 한 이 要素波들의 單位面積의 平均Energy의 總和는 一定할 것이다. 그리하여 하나의 주어진 海面의 各要素波別 Energy는  $\frac{1}{2} \rho g \zeta^2$  으로 表現되므로 이는 모든 Wave Frequency에 對하여 그림 Ⅱ.2.1의 Energy Spectrum으로 나타내어지며 여기에서 縱軸의 값을  $\rho g$ 로 나눈  $\frac{1}{2} \zeta^2$  값들로 表現한 것이 그림 Ⅱ.2.2의 Wave Spectrum이다.

그림 II.2.2의 Wave Spectrum의面積을  $m_0$ 라고 할때,

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta} ( W_w ) d W_w \dots\dots\dots (II.2.1)$$

가 되며  $\rho g m_0$ 는 Total Energy이다.

그림 ( II.2.1 )

Wave Energy Spectrum

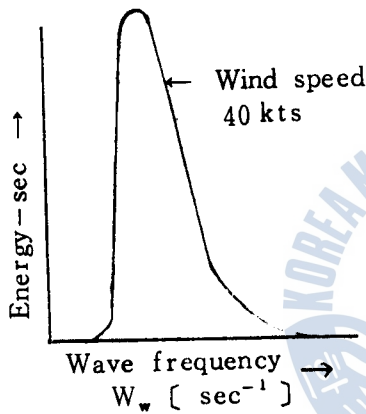
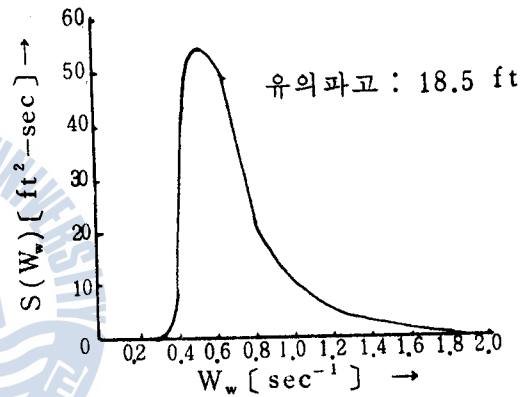


그림 ( II.2.2 )

Wave Spectrum



또한 많은 Wave Record 들에 의한 經驗的인 結果는 Wave Height의 Wave Frequency Distribution은 理論的인 Rayleigh 分布를 이루고 있음이 밝혀졌으므로 이때  $m_0$ 와 Wave Amplitude 또는 Height ( Double Amplitude )와의 關係는 表II.2.1과 같다.

<표 II.2.1>

Waves	Amplitude	Height
Average Wave :	$1.25 \sqrt{m_0}$	$2.5 \sqrt{m_0}$
Average of one - third highest waves :	$2.00 \sqrt{m_0}$	$4.00 \sqrt{m_0}$

Wave	Amplitude	Height
Average of one - tenth highest waves :	$2.55 \sqrt{m_0}$	$5.09 \sqrt{m_0}$
Average of one - hundredth highest waves :	$3.34 \sqrt{m_0}$	$6.67 \sqrt{m_0}$

### 3. Encountering Wave Spectrum

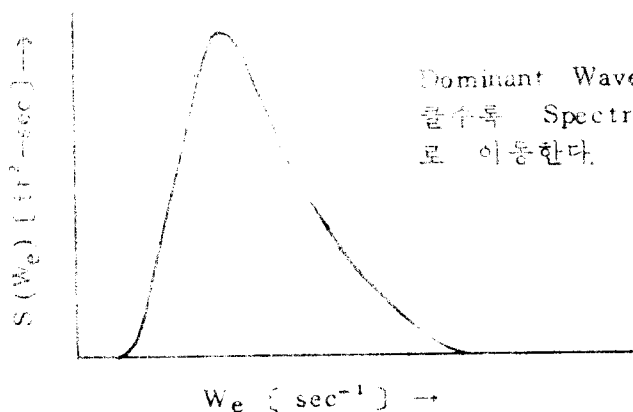
그림 ( II.2.2 ) 의 Wave Spectrum은 Absolute Wave Frequency에 對한 Spectral Density의 값들을 表示한 것이므로 이를 船舶의 針路, 速力에 따른 Encountering Wave Spectrum으로 變更시켜야 實際의 航行船에 使用할 수 있다.

즉,  $W_e = W_w - \frac{W_w^2 V}{g} \cos \mu$  이므로

$$S_g(W_e) = S_g(W_w) \frac{1}{1 - (2 W_w V/g) \cos \mu}$$

로써 종축의 좌표값을 變遷시킨다.

그림 ( II.2.3 ) Encountering Wave Spectrum



Dominant Wave와의 조우각  $\mu_w$ 가 클수록 Spectrum Curve는 우측으로 이동한다.

## 4. Response Amplitude Operator

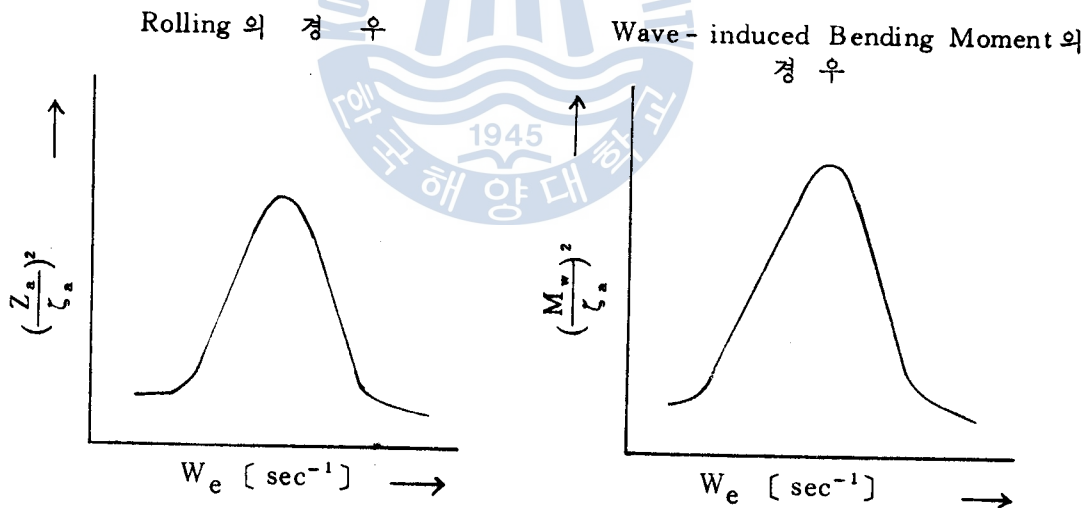
Encountering Wave Spectrum은 각  $W_e$ 에 대한 Wave Amplitude  $\zeta_a$ 의 자승값의  $\frac{1}{2}$ 을 表示한 Spectral Density 이므로 Wave Amplitude  $\zeta_a$ 에 대한 船體의 Rolling Amplitude Ratio 즉,

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

를 자승한 ( $\frac{\phi_a^2}{\zeta_a^2}$ )을 알수 있으면  $\frac{1}{2} \phi_a^2$ 의 값을 각  $W_e$ 에 對하여 表示한 最終的인 Response Spectrum을 얻을 수 있다.

그림 ( II.4.1 )

Response Amplitude Operator ( Transform spectrum ).



한편 Encountering Wave Spectrum을 利用하여 Seaway Bending Moment의 Response Spectrum을 구할 경우는 Frequency Response Function for Bending Moment 즉,

$$\frac{M_w}{\zeta_a} = 2m_w \rho g L^2 B \text{의 자승인 } (\frac{M_w}{\zeta_a})^2 \text{을 Response Ampli-}$$

激烈한 荒天中에서 避航操船에 關한 理論的인 研究

tude Operator for Bending Moment 로 使用한다.

## 5. Response Spectrum

Encountering Wave Spectrum의 Spectral Density와 Response Amplitude Operator를 Rolling 및 Bending Moment의 경우에 對해 各各 攄하면,

$$\text{Rolling의 경우; } \frac{1}{2} \zeta_a^2 \times \left( \frac{\phi_a}{\zeta_a} \right)^2 = \frac{1}{2} \phi_a^2$$

Bending Moment의 경우;  $\frac{1}{2} \zeta_a^2 \times \left( \frac{M_w}{\zeta_a} \right)^2 = \frac{1}{2} M_w^2$  이 되며 이 값들을 Encountering Wave Frequency  $W_e$ 에 대하여 표시한 것이 各各 Roll Response Spectrum 및 Bending Moment Response Spectrum이다.

이 Response Spectrum들은 船體運動을 統計的인 方法으로 解析하는데 있어서 重要的 意味를 갖는다. 왜냐하면 Rolling Motion이나 Bending Moment의  $W_e$ 에 對한 Double Amplitude 分布도 역시 Wave Height의 경우와 같이 理論的인 Rayleigh 分布를 보이기 때문이다.

따라서 이들 Response Curve의 面積들을 각각  $m_0$ ,  $m_{01}$ 라 할때에 Rolling 및 Bending Moment와  $m_0$ 들과의 관계는 杼(II.2.1)과 같게 된다.

즉 Rolling의 경우;

$$(\phi)_{ave} = 1.25 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (II.5.1)$$

$$(\phi)_{\frac{1}{3}} = 2.00 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (II.5.2)$$

$$(\phi)_{\frac{1}{10}} = 2.55 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots ( II.5.3 )$$

$$(\phi)_{\frac{1}{100}} = 3.34 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots ( II.5.4 )$$

Wave - induced ( seaway ) Bending Moment 의 경우,

$$(BM)_{ave} = 1.25 \sqrt{m_{01}} \dots\dots\dots ( II.5.5 )$$

$$(BM)_{\frac{1}{3}} = 2.00 \sqrt{m_{01}} \dots\dots\dots ( II.5.6 )$$

$$(BM)_{\frac{1}{10}} = 2.55 \sqrt{m_{01}} \dots\dots\dots ( II.5.7 )$$

$$(BM)_{\frac{1}{100}} = 3.34 \sqrt{m_{01}} \dots\dots\dots ( II.5.8 )$$



### Ⅲ. 數 值 計 算

#### 1. 假 定

Ⅱ章의 理論에서 Strip Theory 를 適用하는데에는 다음과 같은 假定을 前提로 한다.

첫째, 數많은 種類의 Simple sine Wave 에 對한 船體運動의 合은 그 많은 要素波들의 合成波에 依한 船體運動과 같다.

둘째, 어떤 規則的인 要素波에 對한 船體運動은 이 要素波의 振幅에 對하여 線型으로 變化한다.

以上の 假定들은 激甚하지 않은 波위에서의 船體運動에 對하여 無理없이 適用될 수 있음이 Model Test 에 依하여 밝혀진 바가 있다.

#### 2. 計算에 使用된 Sample 의 船舶

本 論文에서 對象으로한 船舶들은 現實的으로 많이 就航하고 있는 船種中에서 하나씩 擇한 것이며 表(Ⅲ.2.1)과 같은 諸元을 갖고 있다.

<表 Ⅲ.2.1>

區 分 \ 船 種	Bulk Carrier	Container	Log Carrier
L . O . A	223.91 M	200.60 M	175.22 M
B (MLD)	32.0 M	23.8 M	25.0 M
Depth (MLD)	15.16 M	14.33 M	14.0 M
Draft (summer)	10.58 M	8.31 M	10.20 M

區分 \ 船種	Bulk Carrier	Container	Log Carrier
D·W (summer )	46855 噸	18846 噸	26740 噸
G/T	29117 T	17676 T	15187 T
Draft : F	10.27 M	6.40 M	10.16 M
: A	10.29 M	7.58 M	10.48 M
Displacement	56511 噸	21500 噸	33379 噸
GM <sub>T</sub>	3.2 M	1.6 M	0.42 M
Speed	12 kts	12 kts	12 kst

### 3. 橫搖計算

위 2의 표(Ⅲ.2.1)의 船舶에 對한 橫搖計算은 다음의 過程들을 電算 Programming 하여 計算하였다.

#### (1) Standard Wave Spectrum

Irregular Seaway의 Wave Records를 觀測한 資料가 없으므로 ITTC Standard Spectrum을 사용하였다.

그러므로 Absolute Wave Frequency의 Spectral Density를  $S_{\zeta}(W_w)$  라 하면

$$S_{\zeta}(W_w) = \frac{A}{W_w^4} e^{-B/W_w^4} \dots\dots\dots (Ⅲ.3.1)$$

단,  $A = 8.10 \times 10^{-3} \times g^2$  (  $g$  는 重力加速度 )

$$B = 33.56 / (h_{\frac{1}{3}})^2$$

$h_{\frac{1}{3}}$  : Significant Wave Height ( ft 단위 )



激烈한 荒天中에서 避航操船에 關한 理論的인 研究

따라서,  $S(W_w)$  은  $ft^2 \cdot sec$  단위.

(2) Two-Dimensional Encountering Wave Spectrum Area.

2次元의 Encountering Wave Spectrum 의 Spectral Density 는

$$S_{\zeta}(W_e, \mu_w) = S_{\zeta}(W_e) \times f(\mu_w) \text{ 이고}$$

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

$$\begin{aligned} S_{\zeta}(W_e) &= \frac{S_{\zeta}(W_w)}{\left[ 1 - (4 W_e / g) V \cdot \cos \mu \right]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{S_{\zeta}(W_w)}{1 - (2 W_w / g) V \cos \mu} \end{aligned}$$

그러므로 Two-Dimensional Encountering Wave Spectrum Area 는

$$m_{0\zeta} = \int_0^{\infty} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} S_{\zeta}(W_e) f(\mu_w) dW_w dW_e \dots\dots\dots (\text{III.3.2})$$

(3) Response Amplitude Operator for Rolling.

R.A.O for roll =  $\left( \frac{\phi_a}{\zeta_a} \right)^2$  이므로 Roll Response Amplitude Ratio to

Wave Amplitude 인  $\frac{\phi_a}{\zeta_a}$  를 구하면,

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \mu_{\phi} \frac{2\pi}{L_w} \sin \mu = \mu_{\phi} \frac{W_w^2}{g} 57.3 \sin \mu \dots\dots\dots (\text{III.3.3})$$

왜냐하면  $\frac{W_w^2}{g} = \frac{2\pi}{L_w} = K$

$$\text{단, } \mu_{\phi} = \frac{\phi_a}{\phi_{st}} = \frac{1}{\sqrt{(1-\Lambda^2)^2 + 4K^2\Lambda^2}}$$

$$\Lambda = \frac{W_e}{W_\phi}$$

$$W_\phi = \sqrt{\frac{\Delta \overline{GM}_T}{I'_{xx}}} = \sqrt{\frac{\Delta \overline{GM}_T \cdot g}{\Delta' K^2_{xx}}} \doteq \sqrt{\frac{\Delta \overline{GM}_T \cdot g}{1.15 \Delta K^2_{xx}}}$$

$$K_{xx} = \frac{\sqrt{g \cdot \overline{GM}_T}}{2 \pi} \cdot T_s \quad T_s \doteq \frac{0.8 B}{\sqrt{GM}} \quad K = \frac{\nu}{W_\phi}$$

$$\nu = \frac{b}{2a} = \frac{b}{2 \cdot I'_{xx}} = \frac{b}{2 \cdot \frac{\Delta'}{g} \cdot K^2_{xx}}$$

$$b = \int b_n d\xi$$

$$b_n = \frac{\rho g^2}{W_e^3} \left(\frac{B_n}{2}\right)^2 \overline{A^2} \phi \quad \frac{\overline{A} \phi}{\phi_n \left(\frac{B_n}{2}\right)} = \frac{\zeta_s}{\phi_n \left(\frac{B_n}{2}\right)} = d\phi \left(\frac{W_e^2 B_n}{2g}\right)^2$$

(4) Two-Dimensional Roll Response Spectrum Area.

Roll Response spectrum의 Spectral Density  $S_R$  은

$$S_R(W_e, \mu_w) = \left[ S_\zeta(W_e) f(\mu_w) \right] \left[ \text{RAO}(W_e, \mu_w) \right] \quad \text{..... (III.3.4)}$$

이므로 Spectrum Area MOR 은

$$M_{OR} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^\infty S_R(W_e, \mu_w) dW_e, dW_w = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^\infty \left[ S_\zeta(W_e) f(\mu_w) \right] \times \left[ \text{RAO}(W_e, \mu_w) \right] d\mu_w \quad \text{..... (III.3.5)}$$

(5) Rolling Amplitude

위의 식 (III.3.1), (III.3.2), (III.3.3), (III.3.4), (III.3.5)를 Strip Method에 의하여 船體의 종방향으로 8개의 구획을 나누어 積分하고 그 結果를 式 (II.5.1), (II.5.2), (II.5.3), (II.5.4)에 代入하여 表(III.3.1) - (III.3.5)의 값들을 얻었다.

표 (Ⅲ.3.1) 풍력계급 Beaufort Scale 5 ( Fresh breeze : 19 kts ) 때의  
 횡요값 ( 단위 : 도 )      유의파고 : 10 ft      선속 : 12 kts

선종 구분	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$
0°	0.7	1.1	1.5	1.9	0.7	1.0	1.3	1.7	0.1	0.2	0.2	0.3
45°	0.7	1.1	1.5	1.9	0.7	1.0	1.3	1.7	0.1	0.2	0.2	0.3
90°	1.0	1.6	2.0	2.7	0.9	1.4	1.8	2.3	0.1	0.2	0.3	0.4
135°	0.4	0.6	0.7	1.0	0.3	0.5	0.7	0.9	0.0	0.1	0.1	0.2
180°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

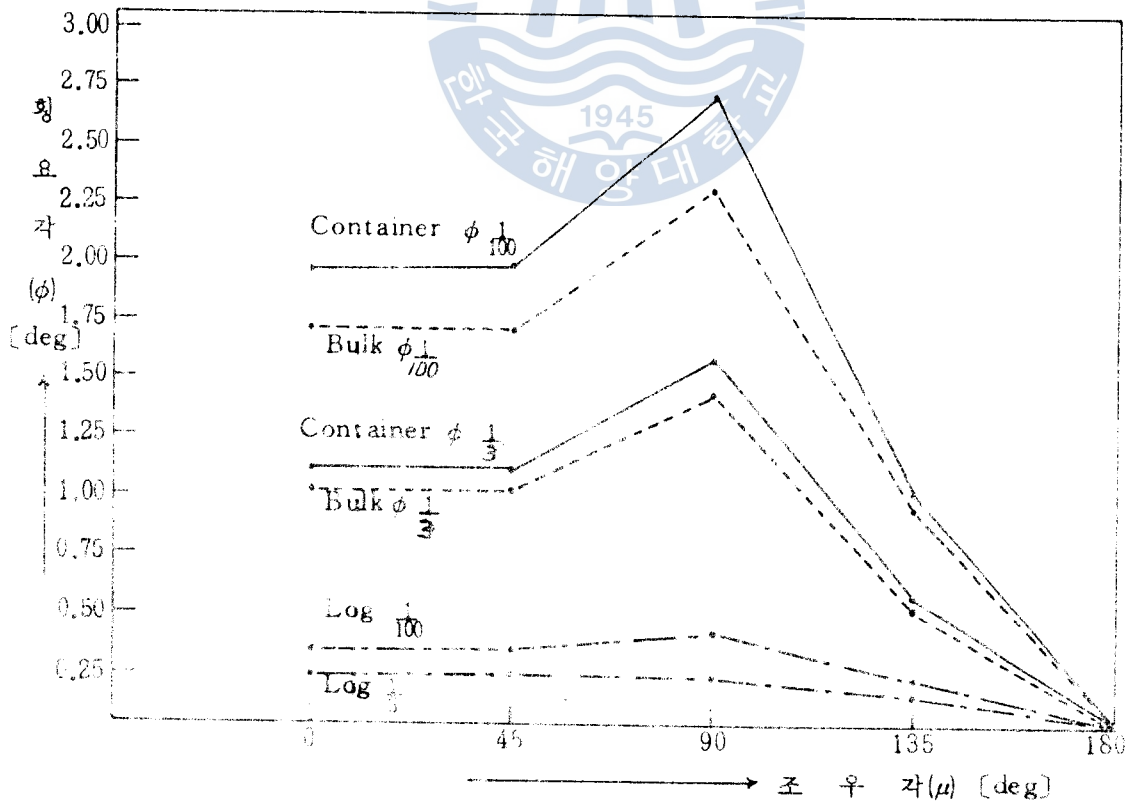


표 (Ⅲ.3.2) 풍력계급 Beaufort Scale 6 (Strong breeze : 25 kts) 때의  
 횡요값 (단위 : 도) 유의파고 : 13.5 ft 선속 : 12 kts

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$
0°	1.0	1.6	2.0	2.6	0.9	1.4	1.8	2.4	0.2	0.3	0,3	0.4
45°	1.0	1.7	2.2	2.9	1.0	1.6	2.0	2.6	0.2	0.3	0,4	0.5
90°	1.9	3.0	3.9	5.1	1.8	2.8	3.6	4.7	0.2	0.3	0,4	0.5
135°	0.6	1.0	1.2	1.6	0.5	0.8	1.0	1.3	0.1	0.1	0,2	0.2
180°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

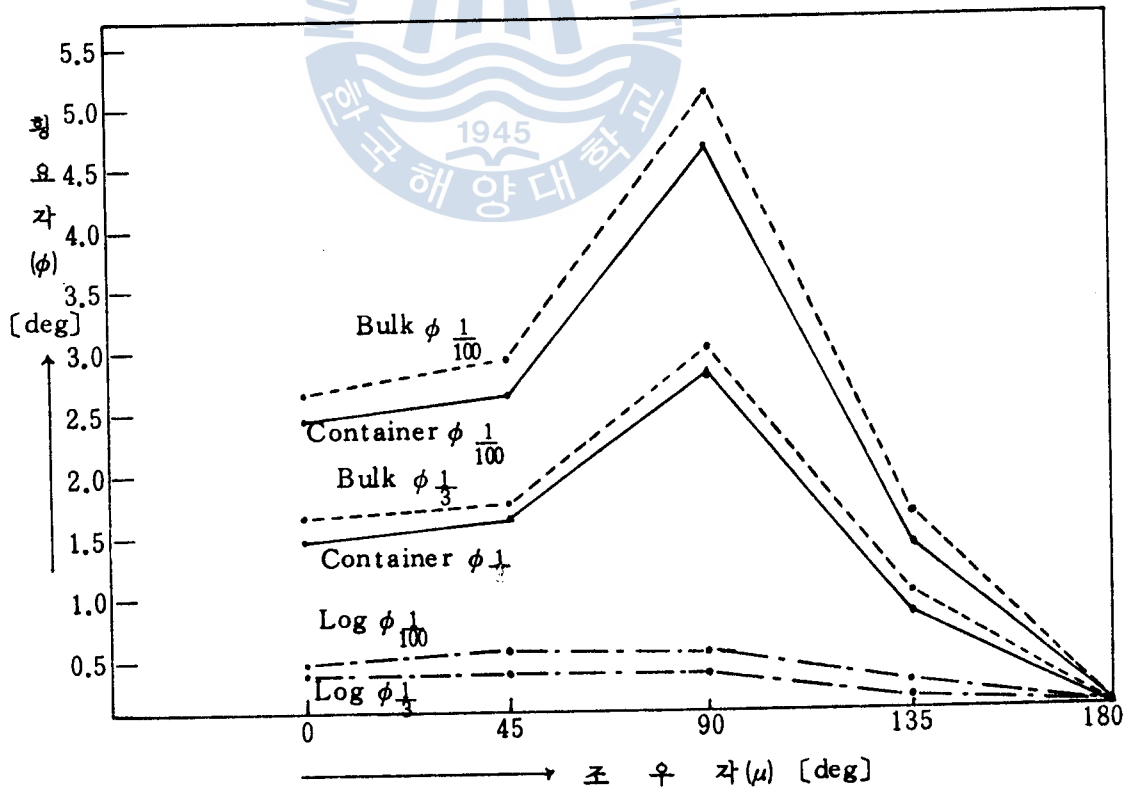


표 (Ⅲ.3.3) 풍력계급 Beaufort Scale 7 (Moderate gale : 31 kts) 때의  
 횡요값 (단위 : 도)      유의파고 : 18 ft      선속 : 12 kts

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$
0°	1.2	2.0	2.6	3.4	1.1	1.8	2.3	3.0	0.2	0.3	0.4	0.6
45°	2.5	4.0	5.1	6.6	1.6	2.5	3.2	4.2	0.2	0.4	0.5	0.6
90°	5.0	8.0	10.1	13.3	5.8	9.3	11.8	15.5	0.3	0.4	0.5	0.7
135°	1.8	2.8	3.6	4.7	0.9	1.5	1.9	2.5	0.1	0.2	0.2	0.3
180°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

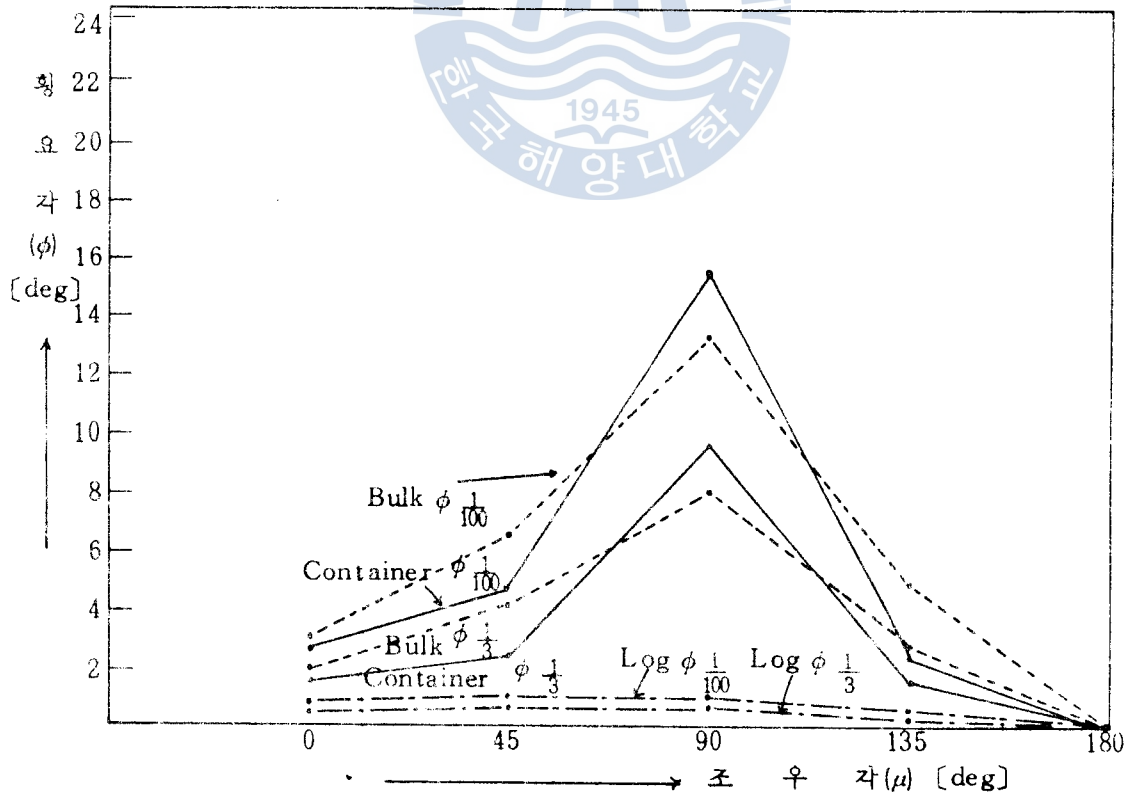


表 (Ⅲ.3.4) 풍력계급 Beaufort Scale 8 (Fresh gale : 37 kts) 때의  
 횡요값 (단위 : 도) 유의파고 : 25 ft 선속 : 12kts

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{\frac{1}{3}}$	$\phi_{\frac{1}{10}}$	$\phi_{\frac{1}{100}}$
0°	1.7	2.7	3.5	4.5	1.5	2.4	3.1	4.1	0.3	0.4	0.6	0.7
45°	5.7	9.0	11.5	15.1	2.9	4.6	5.9	7.7	0.5	0.7	0.9	1.2
90°	11.7	18.7	23.7	31.1	14.7	23.5	29.9	39.1	0.4	0.6	0.7	1.0
135°	4.4	7.1	9.0	11.8	2.0	3.2	4.1	5.4	0.3	0.5	0.6	0.8
180°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

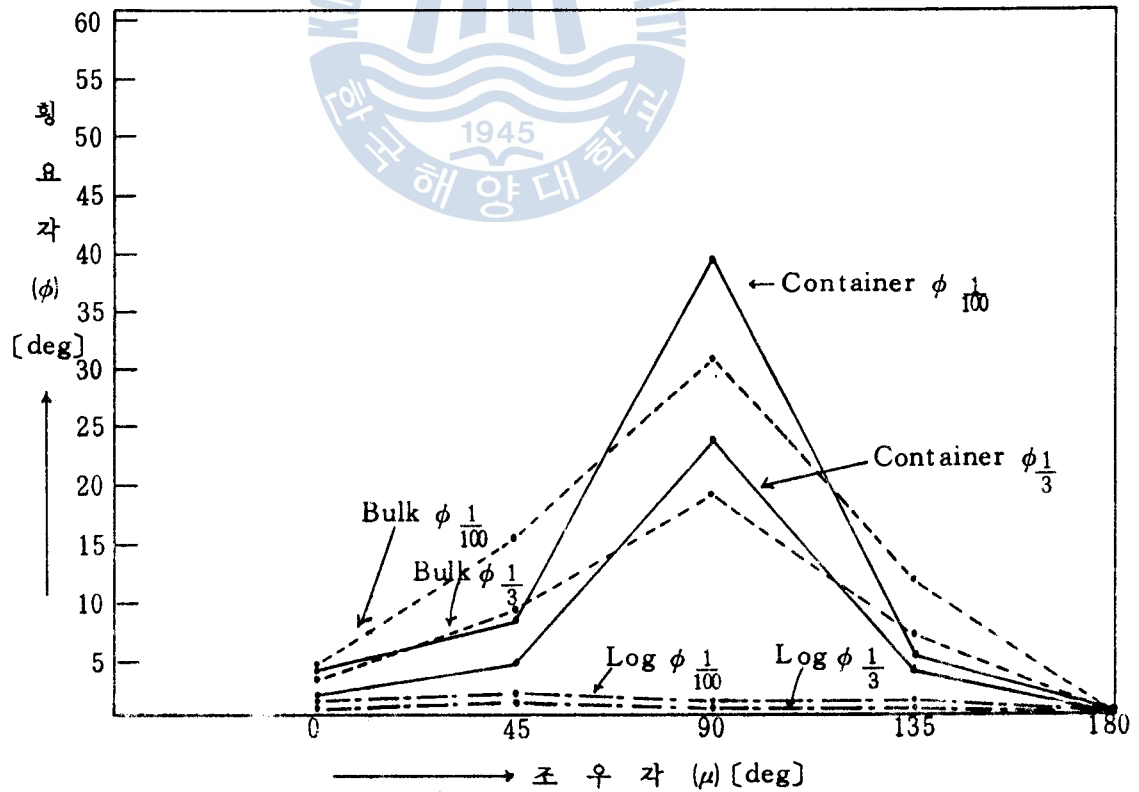
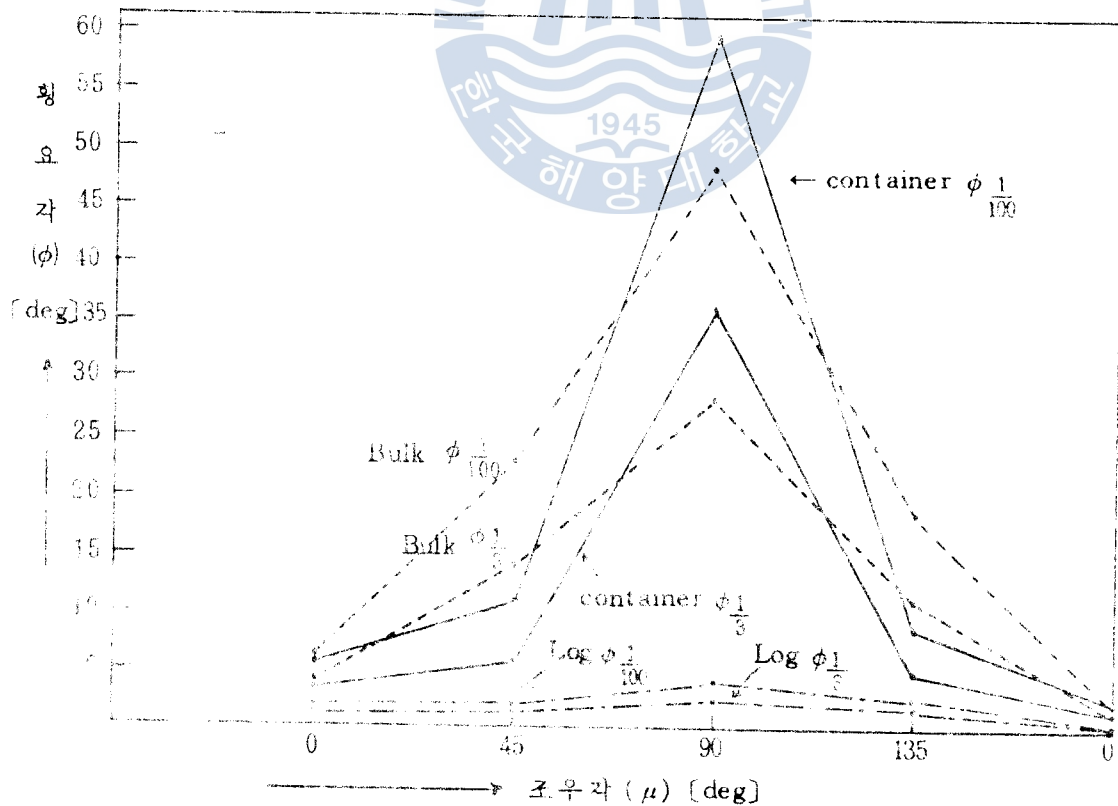


표 (Ⅲ.3.5) 풍력계급 Beaufort Scale 9 (Strong gale: 44 kts) 때의

횡요값 (단위: 도) 유의파고: 33ft 선속: 12 kts

선종 조우각	구분	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
		$\phi_{ave}$	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$
0°		2.3	3.6	4.6	6.1	2.1	3.3	4.2	5.6	0.4	0.6	0.7	0.9
45°		2.7	13.9	17.7	23.1	4.2	6.7	8.6	11.2	0.5	0.8	1.0	1.3
90°		17.9	23.5	36.2	47.5	22.9	36.5	46.4	60.9	1.4	2.2	2.8	3.7
135°		6.9	11.0	14.1	18.4	3.1	4.9	6.3	8.2	1.0	1.7	2.2	2.9
180°		0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0	0	0	0



## 4. 縱方向 Wave - induced Bending Moment 및 Stress 計算

## (1) Absolute Wave spectrum 및 Two - Dimensional Encountering Wave Spectrum.

3 절 橫搖計算의 경우와 同一한 海面 및 船舶이므로 식 (Ⅲ.3.1) 및 식 (Ⅲ.3.2) 에 依하여 Encountering Wave Spectrum의 Spectral Density 를 구한다.

## (2) Response Amplitude Operator

Wave - induced Bending Moment 의 Amplitude 는

$$(M_w)_a = m_w 2\rho g L^2 B \zeta_a \dots\dots\dots (Ⅲ.4.1) \text{ 이다.}$$

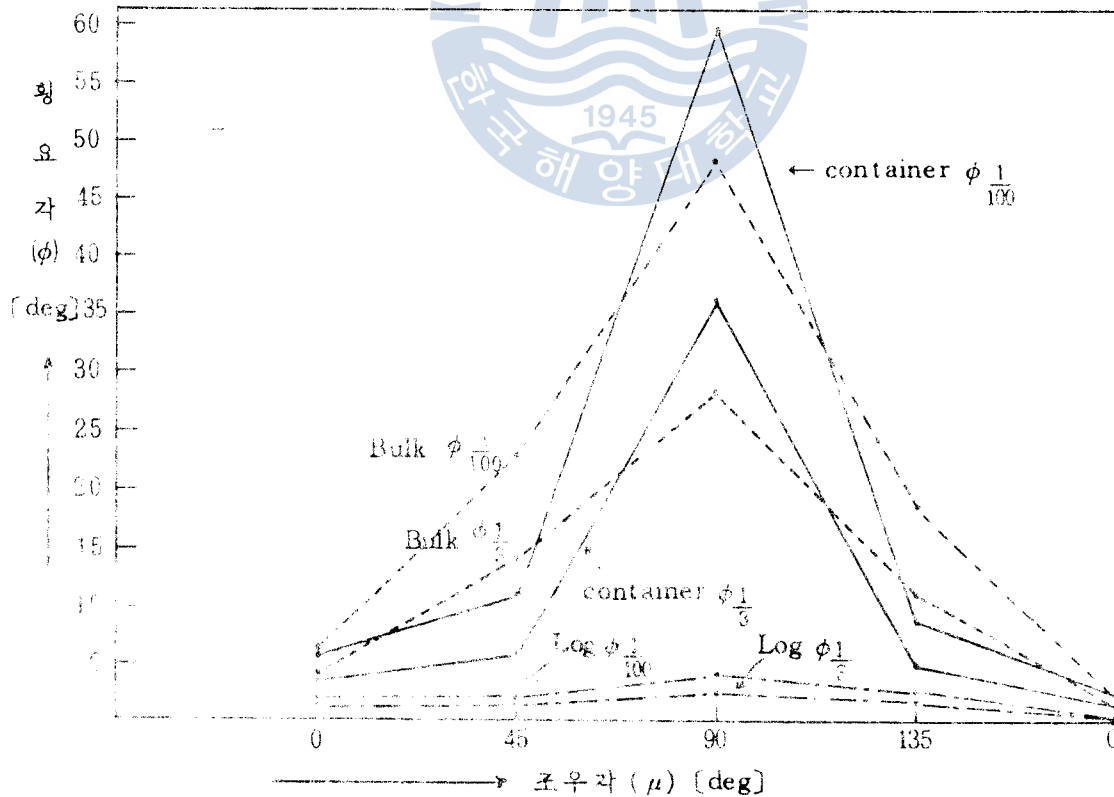




표 (Ⅲ.3.5) 풍력계급 Beaufort Scale 9 (Strong gale: 44 kts) 때의

횡요값 (단위: 도) 유의파고: 33ft 선속: 12 kts

선종 조우각 구분	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\phi_{ave}$	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$	$\phi_{ave}$	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$
0°	2.3	3.6	4.6	6.1	2.1	3.3	4.2	5.6	0.4	0.6	0.7	0.9
45°	6.7	13.9	17.7	23.1	4.2	6.7	8.6	11.2	0.5	0.8	1.0	1.3
90°	17.9	23.5	36.2	47.5	22.9	36.5	46.4	60.9	1.4	2.2	2.8	3.7
135°	6.9	11.0	14.1	18.4	3.1	4.9	6.3	8.2	1.0	1.7	2.2	2.9
180°	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0	0	0	0



## 4. 縱方向 Wave - induced Bending Moment 및 Stress 計算

## (1) Absolute Wave spectrum 및 Two - Dimensional Encountering Wave Spectrum.

3절 橫搖計算의 경우와 同一한 海面 및 船舶이므로 식 (Ⅲ.3.1) 및 식 (Ⅲ.3.2)에 依하여 Encountering Wave Spectrum의 Spectral Density를 구한다.

## (2) Response Amplitude Operator

Wave - induced Bending Moment의 Amplitude는

$$(M_w)_a = m_w 2 \rho g L^2 B \zeta_a \dots\dots\dots (Ⅲ.4.1) \text{이다.}$$

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

$$\text{RAO} = \left( \frac{M_w}{\zeta_a} \right)^2 \text{이다.}$$

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

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ 는 Bending Moment Response Curve의 Coefficient 들로서 "Moor, D.I"가 사용한 것이다.

## (3) Two - Dimensional Wave - induced Bending Moment Response Spectrum Area

이 Spectrum Area를  $S_{BM}$ 이라 하면

$$\begin{aligned} S_{BM}(W_w, \mu_w) &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} S_{BM}(W_w, \mu_w) dW_w d\mu_w \\ &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} [S_{BM}(W_w) f(\mu_w)] \times [RAO(W_w, \mu_w)] \cdot \\ &\quad dW_w d\mu_w \dots\dots\dots (Ⅲ.4.2) \end{aligned}$$

(4) Wave - induced Bending Moment Amplitude

위 식 (Ⅲ.4.2) 를 Strip Method 에 依하여 船體를 縱방향으로 8 개의 구획을 나누어 積分하고 그 結果를 式 (Ⅱ.5.1), (Ⅱ.5.2), (Ⅱ.5.3), (Ⅱ.5.4) 에 代入하여 表 (Ⅲ.4.1), (Ⅲ.4.2), (Ⅲ.4.3), (Ⅲ.4.4), (Ⅲ.4.5) 의 값들을 얻었다.

(5) Stress 의 計算

가. 단면계수

강선의 단면계수 Z 는 ABS Rule 에 依하면 다음의 式 (Ⅲ.4.3) 과 (Ⅲ.4.4) 중 큰쪽으로 정하고 있다.

$$Z = M_t / \sigma_p \text{ (cm} \cdot \text{m)} \dots\dots\dots \text{(Ⅲ.4.3)}$$

단,  $M_t = M_s + M_w$

$\sigma_p$  = 허용한계 응력

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_p = 1.663 - \frac{240 - L}{2640} \text{ ton/cm}^2 \quad (61 \text{ m} \leq L \leq 240 \text{ m}) \\ \sigma_p = 1.663 - \frac{L - 240}{4000} \text{ ton/cm}^2 \quad (240 \text{ m} < L \leq 427 \text{ m}) \end{array} \right.$$

$$Z = 0.01 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \text{ (cm} \cdot \text{m)} \dots\dots\dots \text{(Ⅲ.4.4)}$$

단,  $C_1 = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{1.5} \quad (90 \leq L \leq 300 \text{ m})$

$C_1 = 10.75 \quad (300 < L \leq 350 \text{ m})$

$C_1 = 10.75 - \left(\frac{L - 350}{150}\right)^{1.5} \quad (350 < L \leq 427 \text{ m})$

Still Water Bending Moment  $M_s$  (ABS Rule) 의 기준은

$$M_s = C_{st} L^{2.5} B (C_b + 0.5) \dots\dots\dots (\text{III.4.5})$$

$$\text{단, } C_{st} = \left[ 0.618 + \frac{110 - L}{462} \right] 10^{-2} \quad (61 \leq L \leq 110 \text{ m})$$

$$C_{st} = \left[ 0.564 + \frac{160 - L}{925} \right] 10^{-2} \quad (110 < L < 160 \text{ m})$$

$$C_{st} = \left[ 0.544 + \frac{210 - L}{2500} \right] 10^{-2} \quad (160 < L \leq 210 \text{ m})$$

$$C_{st} = 0.544 \times 10^{-2} \quad (210 < L \leq 250 \text{ m})$$

$$C_{st} = \left[ 0.544 - \frac{L - 250}{1786} \right] 10^{-2} \quad (250 < L \leq 427 \text{ m})$$

Wave - induced Bending Moment  $M_w$  (ABS Rule) 의 기준은

$$M_w = C_2 L^2 B H_e K_b \dots\dots\dots (\text{III.4.6})$$

$$\text{단, } C_2 = (2.34 C_b + 0.2) 10^{-2}$$

$H_e$  는 \_설계 파고로서

$$H_e = 0.0172 L + 3.653 \quad (61 \leq L \leq 150 \text{ m})$$

$$H_e = 0.0181 L + 3.516 \quad (150 < L \leq 220 \text{ m})$$

$$H_e = (4.50 L - 0.0071 L^2 + 103) 10^{-2} \quad (220 < L \leq 305 \text{ m})$$

$$H_e = 8.151 \quad (305 < L \leq 427 \text{ m})$$

조건에서 표(Ⅲ.4.1) - (Ⅲ.4.5)의 實際 Wave - induced Bending Moment를 받는 선박에 미치는 Stress가 되며 이것을 역시 電算 Program에 의해 구한 결과 표(Ⅲ.4.6) - (Ⅲ.4.10)의 값들을 얻었다.



표 (圖. 4.1) 풍력계급 Beaufort Scale 5 ( Fresh breeze : 19 kts ) 때의 Wave - induced Bending Moment. ( 단위 : M - ton ) 유외과고 : 10 ft 선속 : 12 kts

(a) Hogging

선종 구분	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	BMave	BM 1/3	BM 1/10	BM 100	BMave	BM 1/3	BM 1/10	BM 100	BMave	BM 1/3	BM 1/10	BM 100
180°	20,820	33,232	42,288	55,431	25,838	41,243	52,481	68,793	14,093	22,495	28,625	37,522
135°	14,332	22,877	29,112	38,160	13,135	20,966	26,680	34,972	9,095	14,518	18,474	24,216
90°	9,810	15,659	19,926	26,120	8,634	13,782	17,537	22,988	5,996	9,570	12,178	15,962
45°	7,946	12,683	16,140	21,157	6,923	11,052	14,063	18,434	4,808	7,674	9,766	12,801
0°	7,435	11,868	15,102	19,796	6,464	10,317	13,129	17,209	4,488	7,164	9,117	11,951

(b) Sagging의 경우

선종 구분	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	BMave	BM 1/3	BM 1/10	BM 100	BMave	BM 1/3	BM 1/10	BM 100	BMave	BM 1/3	BM 1/10	BM 100
180°	31,082	49,613	63,132	82,754	40,283	64,299	81,820	107,250	25,182	40,195	51,148	67,046
135°	22,601	36,076	45,907	60,175	24,545	39,178	49,854	65,349	16,680	26,624	33,879	44,408
90°	15,667	25,007	31,822	41,712	16,551	26,418	33,617	44,066	11,140	17,782	22,627	29,660
45°	12,728	20,317	25,854	33,889	13,353	21,314	27,122	35,552	8,970	14,317	18,218	23,881
0°	11,919	19,024	24,208	31,732	12,483	19,925	25,355	33,236	8,382	13,379	17,025	22,316

표 (圖 4.2) 풍력계급 10 (Force Scale 6) Strong breeze 20 kts 이하의 Wave headed bending Moment (단위: M-ton) 풍속: 13.5 ft/sec 선속: 12 kts

(a) Hoegsin의 경우

선종 구조각	Bulk Carrier			Container			Log Carrier					
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>			
180°	39,257	62,969	75,735	104,518	39,479	61,413	78,151	102,446	33,359	37,280	47,439	62,183
135°	28,923	49,167	58,747	77,006	22,932	36,699	45,639	61,213	15,172	25,849	32,587	43,109
90°	20,444	32,637	41,623	54,429	15,697	25,055	31,882	41,792	11,119	17,733	22,566	29,579
45°	16,727	26,715	33,995	44,567	12,729	20,217	25,853	33,889	9,322	14,409	18,325	24,020
0°	12,792	25,963	31,891	41,807	11,914	19,618	24,200	31,722	8,448	13,484	17,159	22,492

(b) Saegong의 경우

선종 구조각	Bulk Carrier			Container			Log Carrier					
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>			
180°	64,098	102,312	130,191	170,655	68,264	108,961	138,653	181,748	44,684	71,323	90,758	118,967
135°	48,940	78,117	99,404	130,299	46,877	74,824	95,214	124,806	32,050	51,157	65,097	85,331
90°	35,091	56,011	71,274	93,427	32,729	52,241	66,476	87,137	22,463	35,759	45,503	59,646
45°	28,867	46,076	58,632	76,855	26,698	42,615	54,227	71,081	18,297	29,205	37,164	48,715
0°	27,114	43,279	55,072	72,189	25,026	39,945	50,830	66,628	17,157	27,385	34,847	45,679

표 (Ⅲ.4.3) 풍력계급 Beaufort Scale 7 ( Moderate gale : 31 kts ) 때의  
Wave - induced Bending Moment ( 단위 : M - ton ) 유의파고 : 18 ft 선속 : 12 kts

(a) Hogging 의 경우

선종 구분 조우각	Bulk Carrier					Container					Log Carrier													
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>				
180°	62,210	99,298	126,357	165,630	52,319	83,510	106,267	139,295	33,400	53,312	67,840	88,925	48,030	76,745	97,658	128,010	34,948	55,784	70,905	93,047	24,394	38,936	49,546	64,946
135°	35,049	55,945	71,190	93,316	24,796	39,578	50,364	66,017	17,257	27,544	35,050	45,944	29,026	46,330	57,955	77,279	20,382	32,533	41,398	54,264	14,154	22,593	28,750	37,686
90°	27,311	43,593	55,472	72,713	19,144	30,557	38,884	50,969	13,287	21,209	26,987	35,376	27,311	43,593	55,472	72,713	19,144	30,557	38,884	50,969	13,287	21,209	26,987	35,376
45°																								
0°																								

(b) Sagging 의 경우

선종 구분 조우각	Bulk Carrier					Container					Log Carrier													
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>1/1000</sub>				
180°	109,673	175,057	222,759	291,994	99,833	159,351	202,774	265,798	67,678	108,027	137,464	180,189	87,275	139,306	177,267	232,362	73,161	116,778	148,600	194,785	51,100	81,564	103,790	136,048
135°	64,592	103,100	131,194	171,970	52,410	83,655	106,451	139,537	36,784	58,713	74,713	97,934	53,766	85,819	109,205	143,137	43,128	68,840	87,599	114,825	30,331	48,414	61,607	80,755
90°	50,653	80,851	102,883	134,859	40,514	64,668	82,290	107,866	28,508	45,504	57,903	75,900	50,653	80,851	102,883	134,859	40,514	64,668	82,290	107,866	28,508	45,504	57,903	75,900
45°																								
0°																								



표 (圖) 4) 폭력적일 때 Scale 8 ( Fresh gale : 37 kts ) 때의 Wave - induced Bending Moment ( 일원, Newton ) 을의과고 : 25 ft 선속 : 12 kts

(a) Hogging 의 경우

선종 조우각	Bulk Carrier			Container			Log Carrier		
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/100</sub>
180°	92,725	143,057	188,433	70,389	112,194	142,767	44,625	71,228	90,638
135°	74,646	119,148	161,616	51,431	82,093	104,463	33,959	54,205	68,975
90°	56,086	89,523	113,918	37,931	60,544	77,042	24,671	39,379	50,110
45°	46,922	72,017	95,450	31,620	50,472	64,226	20,731	32,611	41,498
0°	34,057	53,892	70,098	29,307	47,578	60,542	19,226	30,687	39,049

(b) Sagging 의 경우

선종 조우각	Bulk Carrier			Container			Log Carrier		
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/100</sub>
180°	172,039	274,603	349,432	135,150	215,722	274,506	93,874	149,839	190,669
135°	141,288	225,519	286,974	103,374	165,003	209,966	73,372	117,115	149,028
90°	107,268	171,218	217,675	75,608	120,780	153,692	53,974	86,152	109,629
45°	90,177	143,938	183,161	62,763	100,181	127,480	44,849	71,587	91,094
0°	85,174	135,952	172,994	59,078	94,299	119,995	42,235	67,414	85,784

표 (Ⅲ. 4. 5) 풍력계급 Beaufort Scale 9 ( Strong gale : 44 kts ) 때의 Wave - induced Bending Moment ( 단위 : M - ton ) 유의파고 : 33 ft 선속 : 12 kts

(a) Hogging 의 경우

선종 구분 조우각	Bulk Carrier					Container					Log Carrier				
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>100</sub>
180°	118,610	189,322	240,913	315,790	85,001	135,677	172,649	226,309	52,957	84,529	107,563	140,994			
135°	97,665	155,890	198,370	260,025	65,083	103,884	132,193	173,729	41,300	65,922	83,886	109,959			
90°	74,771	119,347	151,869	199,070	48,991	78,198	99,506	130,434	30,544	48,753	62,039	81,321			
45°	63,137	100,777	128,239	168,097	41,145	65,675	83,572	109,546	25,471	40,657	51,737	67,817			
0°	59,709	95,306	121,277	158,971	38,859	62,026	78,928	103,459	24,013	38,328	48,773	63,932			

(b) Sagging 의 경우

선종 구분 조우각	Bulk Carrier					Container					Log Carrier				
	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>100</sub>	BM <sub>ave</sub>	BM <sub>1/3</sub>	BM <sub>1/10</sub>	BM <sub>1/100</sub>	BM <sub>100</sub>
180°	223,630	356,952	454,221	595,396	160,474	256,144	325,943	427,248	112,491	179,555	228,484	299,498			
135°	186,767	298,111	379,347	497,250	125,524	200,357	254,954	334,196	89,493	142,845	181,711	238,266			
90°	143,904	229,695	292,287	383,132	93,154	148,689	189,207	248,031	66,654	106,391	135,382	177,460			
45°	121,717	194,281	247,222	324,061	77,688	124,003	157,794	206,838	55,647	88,823	113,027	148,157			
0°	115,150	183,799	233,884	306,577	73,231	116,890	148,742	194,973	52,467	83,747	106,568	139,691			

한편 선체가 항해중 받는 총응력은  $\sigma_T$ 는  $M_s$  및  $M_w$ 에 의한  $\sigma_s$ ,  $\sigma_w$  외에 Green Water Flooding에 의한 응력  $\sigma_f$ 와 Slamming에 의한  $\sigma_i$ 를 합한 것이므로  $\sigma_T = \sigma_s + \sigma_w$ ,  $\sigma_r = \sigma_f + \sigma_i$ 인데  $\sigma_r \approx 0.6 \sigma_T$ 이므로 표(Ⅲ.4.6) - (Ⅲ.4.10)의 응력계산에는 계산결과의 1.6 배를 기록하였다.

단, 조우각이  $90^\circ$  이상인 경우는 그 절반인 1.3 배로 처리하였다.

표(Ⅲ.4.6) 표(Ⅲ.4.1)의 Bending Moment 중 Sagging Moment 와 Still Water Bending Moment를 합한 값에 의한 Stress.

(단위 :  $kg/mm^2$ )

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$
180°	12.1	13.1	13.9	15.0	13.9	16.2	17.9	20.3	12.8	14.6	15.9	17.9
135°	11.6	12.3	12.9	13.7	12.4	13.8	14.8	16.3	11.8	13.0	13.9	15.1
90°	11.2	11.7	12.1	12.7	11.6	12.6	13.3	14.3	11.1	12.0	12.5	13.3
45°	9.0	9.3	9.5	9.9	9.2	9.8	10.3	10.9	8.8	9.3	9.7	10.3
0°	8.9	9.2	9.4	9.8	9.1	9.7	10.1	10.8	8.7	9.2	9.6	10.1

표 (Ⅲ.4.7) 표 (Ⅲ.4.2)의 Bending Moment 중 Sagging Moment 와  
Still Water Bending Moment 를 합한 값에 의한 Stress  
(단위 :  $kg/mm^2$ )

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\sigma_{ave}$	$\sigma \frac{1}{3}$	$\sigma \frac{1}{10}$	$\sigma \frac{1}{100}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma \frac{1}{3}$	$\sigma \frac{1}{10}$	$\sigma \frac{1}{100}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma \frac{1}{3}$	$\sigma \frac{1}{10}$	$\sigma \frac{1}{100}$
180°	13.9	16.1	17.7	20.0	16.6	20.5	23.4	27.5	15.2	18.4	20.7	24.2
135°	13.1	14.7	15.9	17.7	14.5	17.2	19.2	22.0	13.6	15.9	17.6	20.1
90°	12.3	13.5	14.3	15.6	13.2	15.1	16.4	18.4	12.5	14.1	15.3	17.0
45°	9.7	10.5	11.1	11.9	10.2	11.5	12.4	13.7	9.7	10.8	11.6	12.7
0°	9.6	10.3	10.9	11.7	10.1	11.3	12.1	13.4	9.6	10.6	11.3	12.4

표 (Ⅲ.4.8) 표 (Ⅲ.4.3)의 Bending Moment 중 Sagging Moment 와  
Still Water Bending Moment 를 합한 값에 의한 Stress  
(단위 :  $kg/mm^2$ )

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\sigma_{ave}$	$\sigma \frac{1}{3}$	$\sigma \frac{1}{10}$	$\sigma \frac{1}{100}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma \frac{1}{3}$	$\sigma \frac{1}{10}$	$\sigma \frac{1}{100}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma \frac{1}{3}$	$\sigma \frac{1}{10}$	$\sigma \frac{1}{100}$
180°	16.5	20.2	22.9	26.9	19.6	25.3	29.5	35.6	17.9	22.8	26.4	31.6
135°	15.2	18.2	20.4	23.5	17.1	21.2	24.3	28.7	15.9	19.6	22.3	26.2
90°	14.0	16.1	17.7	20.1	15.1	18.1	20.3	23.4	14.2	16.9	18.8	21.6
45°	10.8	12.3	13.4	15.0	11.5	13.5	15.0	17.1	10.9	12.7	14.0	15.9
0°	10.7	12.1	13.1	14.6	11.3	13.2	14.6	16.6	10.7	12.4	13.6	15.4

표 (Ⅲ.4.9) 표 (Ⅲ.4.4) 의 Bending Moment 중 Sagging Moment 와 Still Water Bending Moment 를 합한 값에 의한 Stress (단위 :  $kg/mm^2$ )

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$
180°	20.1	25.9	30.1	36.3	23.0	30.8	36.4	44.6	21.1	27.9	32.9	40.6
135°	18.3	23.1	26.6	31.7	20.0	25.9	30.2	36.5	18.6	23.9	27.8	33.4
90°	16.4	20.0	22.7	26.5	17.3	21.6	24.8	29.4	16.3	20.2	23.0	27.2
45°	12.5	15.0	16.8	19.4	13.1	16.0	18.1	21.2	12.3	15.0	16.9	19.7
0°	12.3	14.6	16.3	18.8	12.8	15.5	17.5	20.4	12.1	14.6	16.4	19.0

표 (Ⅲ.4.10) 표 (Ⅲ.4.5) 의 Bending Moment 중 Sagging Moment 와 Still Water Bending Moment 를 합한 값에 의한 Stress (단위 :  $kg/mm^2$ )

선종 구분 조우각	Bulk Carrier				Container				Log Carrier			
	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$	$\sigma_{ave}$	$\sigma_{\frac{1}{3}}$	$\sigma_{\frac{1}{10}}$	$\sigma_{\frac{1}{100}}$
180°	22.0	30.6	36.1	44.1	25.5	34.6	41.3	51.1	23.4	31.5	37.4	46.1
135°	20.9	27.2	31.8	38.3	22.1	29.3	34.5	46.8	20.6	27.1	31.8	38.5
90°	18.5	23.3	26.9	32.0	19.0	24.3	28.2	33.9	17.8	22.6	26.2	31.3
45°	14.3	17.3	18.8	21.8	14.2	17.3	20.5	24.3	13.4	16.7	19.1	22.5
0°	13.7	16.3	19.1	22.5	13.9	17.3	19.8	23.4	13.1	16.2	18.4	21.7

## IV. 數值計算 結果에 對한 考察

## 1. 船種別 橫搖特性

Ⅲ章의 表(Ⅲ.3.1) - (Ⅲ.3.5)의 船體橫搖값들중 橫搖가 크게 일어나는 조우각 90°의 경우에 對하여만 代表的으로 使用하는 有意橫搖  $(\phi)_{\frac{1}{3}}$  과  $(\phi)_{\frac{1}{100}}$  을 발췌한 것이 表(Ⅳ.1.1)이다. 그리고 表(Ⅲ.4.6) - (Ⅲ.4.10)의 應力값들중 역시 代表的으로 使用되는 Significant value 와 (BM)  $\frac{1}{100}$  값들을 조우각 180° 즉 Head Sea의 경우만 발췌한 것이 表(Ⅳ.1.2)이다.

표(Ⅳ.1.1) 조우각 90° 때 各海面등급에 對한 有意橫搖  $(\phi)_{\frac{1}{3}}$  및  $(\phi)_{\frac{1}{100}}$  值요값 (단위: 도)

海面 등급	선종 구분	Bulk Carrier		Container		Log Carrier	
		$(\phi)_{\frac{1}{3}}$	$(\phi)_{\frac{1}{100}}$	$(\phi)_{\frac{1}{3}}$	$(\phi)_{\frac{1}{100}}$	$(\phi)_{\frac{1}{3}}$	$(\phi)_{\frac{1}{100}}$
5		1.6	2.7	1.4	2.3	0.2	0.4
6		3.0	5.1	2.8	4.7	0.3	0.5
7		8.0	13.3	9.3	15.5	0.4	0.7
8		18.7	31.1	23.5	39.1	0.6	1.0
9		28.5	47.5	36.5	60.9	2.2	3.7

표(Ⅳ.1.2) 조우각 180° 때 各海面등급에 對한 有意應力  $(\sigma)_{\frac{1}{3}}$  및  $(\sigma)_{\frac{1}{100}}$  값 (단위:  $kg/mm^2$ )

海面 등급	선종 구분	Bulk Carrier		Container		Log Carrier	
		$(\sigma)_{\frac{1}{3}}$	$(\sigma)_{\frac{1}{100}}$	$(\sigma)_{\frac{1}{3}}$	$(\sigma)_{\frac{1}{100}}$	$(\sigma)_{\frac{1}{3}}$	$(\sigma)_{\frac{1}{100}}$
5		13.1	15.0	16.2	20.3	14.6	17.9
6		16.1	20.0	20.5	27.5	18.4	24.2
7		20.2	26.9	25.3	35.6	22.8	31.6
8		25.9	36.3	30.8	44.6	27.9	40.0
9		30.6	44.1	34.6	51.1	31.5	46.1

船種 및 船舶의 貨物積載狀態에 따라 多少차이는 있겠으나 一般的으로 船舶의 復原力감소가  $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 의 橫搖時點에서 일어난다고 볼때에 表(IV. 1.1)에서 Bulk Carrier 와 Container 는 풍력9에서 부터 共히 위험범위 내로 들어간다. 한편 Bulk Carrier는 해상악화에 대하여 필요증가의 양상이 Container에 비하면 완만하나 Container는 풍력8~9의 본격적인 악천후가 됨에 따라 급격한 필요가 커지는 것을 알 수가 있다. 이것은 이 선박들의 諸元인 表(III. 2.1)을 參照하면 구명할 수 있다. 卽 Bulk Carrier의 船幅(33 m)과 船長(223.91 m), 그리고 GM(3.2 m)과 Container의 船幅(23.8 m), 船長(200.6 m), GM(1.6 m)의 關係에서 抽測해 볼 수 있다.

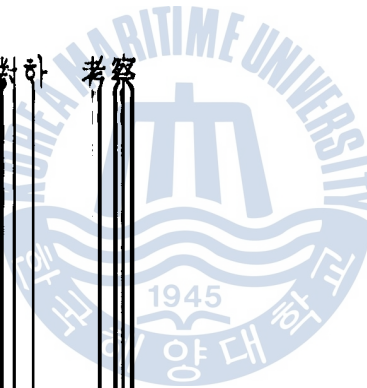
一般的으로 Bulk Carrier는 Container에 비하여 幅長比(L/B)가 낮고 GM이 크므로 低等級의 海上狀態에서도 Container보다 필요는 크나 高等級의 海象에서는 작다. 그러나 Container는 甲板積의 單面인 경우 GM이 작으므로 中等급의 海象에서는 反應의 劇소나 高등급으로 가면 甚수 大 風浪에 堪忍한다. 卽 Container는 表에서 볼때 풍력8~9에서 Bulk의 필요를 훨씬 能加하고 있다. 참고로 1985년 航海學會의 夏季學術세미나에서 韓國 船主 代表인 Container船 船主인 趙先生은 이러한 사실과 事實에도 關係된 事實을 報告한 卽, 海上狀態가 일정등급이상으로 惡化되면 Container船은 이례까지의 필요에 비하여 급격한 필요증가를 요인하고 볼수 있겠다.

한편, 이 장에서 Log Carrier의 경우는 海象이 아무리 惡化되어도 橫搖를 거의 하지 않는 것으로 보인다. 이점은 實務의 經驗과 正確히 一致한다. 그러나 여기에서 求한 橫搖값들은 제일 크게 計算한 것이  $(\phi)_{10}$



로서 횡요를 100 회 觀測했을때 그중에서 가장 큰값이라는 意味밖에 없다. 즉, Most Probable Largest Value 인  $(\phi)_{\frac{1}{1000}}$  이나  $(\phi)_{\frac{1}{10000}}$  를 구한다면 풍력 9 에서도  $(\phi)_{\frac{1}{100}}$  인 60.9 도 보다 훨씬 더큰 횡요가 나올수도 있다. 卽, 原木船은 풍력 8 또는 9 라 하더라도 GM이 일반적으로 작아서 횡요주기가 길고 횡요도 잘하지 않는다는 의미도 있지만 횡요를 하기 시작하여  $(\phi)_{\frac{1}{1000}}$ ,  $(\phi)_{\frac{1}{10000}}$  을 측정할 수 있게 된다면 그때에는 치명적이 고도 급작스러운 대각도 경사가 꺾한번은 생길수도 있다는 잠재적인 위험성을 갖고 있는 것이다.

2. 船種別 應力에 對한 考察







로서 횡요를 100 회 觀測했을때 그중에서 가장 큰값이라는 意味밖에 없다. 즉, Most Probable Largest Value 인  $(\phi)_{\frac{1}{1000}}$  이나  $(\phi)_{\frac{1}{10000}}$  를 구한다면 풍력 9 에서도  $(\phi)_{\frac{1}{100}}$  인 60.9 도 보다 훨씬 더큰 횡요가 나올수도 있다. 即, 原木船은 풍력 8 또는 9 라 하더라도 GM이 일반적으로 작아서 횡요주기가 길고 횡요도 잘하지 않는다는 의미도 있지만 횡요를 하기 시작하여  $(\phi)_{\frac{1}{1000}}$ ,  $(\phi)_{\frac{1}{10000}}$  을 측정할 수 있게 된다면 그때에는 치명적이고도 급작스러운 대각도 경사가 꺾한번은 생길수도 있다는 잠재적인 위험성을 갖고 있는 것이다.

## 2. 船種別 應力에 對한 考察

造船用 强材에 對한 IACS의 船體强度基準은 항복점 (Yielding point) 이  $23 \text{ kg/mm}^2$  이며 극한강도 (Ultimate Strength) 는  $41 \text{ kg/mm}^2$  이다. 따라서 强材의 變形이 일어나기 시작하는 항복점을 초과하는 범위는 表 (IV.1.2) 의 굽은선 아랫부분이 된다. 이에 의하면 Bulk Carrier, Container, Log Carrier 는 각각 風力 7, 6, 6 에서 부터 그한계를 넘어서기 시작하고 있다. 이것은 橫搖의 경우와 比較해 볼때에 좋은 대조를 보이고 있다. 즉, 橫搖는 船舶別로 高等級의 風力 또는 海面에서도 서로 差異가 많으나 應力은 全等級에서 比較的 차이가 작으며 위험한계에 들어 가기 시작하는 等級이 橫搖의 경우보다 2~3等級 낮다. 즉 大型船은 惡天候가 發生時에 전복보다는 過大應力에 依한 切損의 위험이 더 많다는 사실이 움을 시사하는 것이며 또 操船方法에 따라 時期的으로 먼저 올수도 있다는 것을 알려주는 것이다.

## V. 結 論

1. 大型船이 荒天航海時는 전복의 위험보다 船體切損의 위험이 먼저온다.
2. Container 및 Log Carrier는 Beaufort Scale 에 의한 풍력 6, Bulk Carrier는 풍력 7에서 부터 可能的한 Head-sea 를 피한다.
3. 一般的으로 大型船은 風力 7~8에서는 반드시 Heave-to 를 해야 한다.
4. 풍력의 9 이상인 때에는 一般的으로 大型船은 Quartering-sea 또는 Scudding 의 상태가 되도록 操船해야 한다.
5. 一般的으로 幅長비가 큰 Container 船은 海象이 惡化됨에 따라 他船에 比하여 일찍 危險應力範圍에 들어가며 荒天이 심해지면 他船에 比하여 급격히 큰 損害를 보인다.
6. 原木船은 滿載時에는 어떠한 海象에서도 橫搖가 작고, 그 週期도 길어서 위험성을 느끼기는 어려우나 일단 대각도 경사가 있으면 기타의 船과는 比較가 되지 않을 過大한 橫搖로 致命的인 위험을 出 可能性이 尙재하므로 가장 留意해야 한다.

以上の 結果는 實務에서 어느程度 判斷할수 있는 것이겠으나 本研究에 限り 그 經驗을 理論的으로 究明하는에 目的을 둔 것이다. 그러나 Bulk Carrier, Container, Log Carrier의 船種에 對하여 오직 한 隻의 實例을 標準으로 삼기 爲한것으므로 實질 各 船種에 對해 여러隻의 船隻을 多量히 採選되도록 分類하여 보다 精密하고 一般化된 研究가 追後에 있어야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

1. 尹點東, 巨大型船 操船論, 亞成出版社, 釜山, pp. 82 ~ 98.
2. 尹點東, 船舶運用의 理論과 實務, 第一文化社, 釜山, pp. 166 ~ 185.
3. Rameswar Bhattacharrya, Dynamics of Marine Vehicles, John Wiley & Sons Co., New York, pp.30 ~ 34, pp.75 ~ 95, pp.101 ~ 136, pp. 171 ~ 182, pp.365 ~ 368.
4. 任尙 譯, 美國造船學會 編, 基本造船學(下), 大韓教科書株式會社, 서울, pp.954 ~ 969.
5. 元良誠三 監修, 船體と 海洋構造物の 運動學, 成山堂書店, 東京, pp.189 ~ 192
6. 尹點東, 北太平洋에서의 冬季航行安全에 關한 研究, 港都印刷出版社, 釜山, pp.45 ~ 62.
7. 田中一雅, 鑛石運搬船の 船首底衝擊に よる過度 振動曲げ モーメントと 波浪曲げ モーメント から 見た 可航限界に ついて, 日本航海學會 論文集, pp. 137 ~ 143, 1982.
8. 日本海技協會, 船長の 運航技術管理, 成山堂, 東京, pp.1 ~ 14, 1985.
9. Stephen pond, Introductory Dynamic Oceanography, william clowes & Sons., London, pp. 119 ~ 123, 1978.
10. 田中一雅, 船體 縱強度に おける 耐航性に ついて-北太平洋 波浪 データによる検討, 日本航海學誌 第88號, pp.41 ~ 47, 1987.