

北太平洋에서의 冬季航行安全에 關한 研究

尹点東* · 權種浩* · 朱載勳* · 許龍範** · 崔明植***

A Study about Securing Safe Sailing on the Sea Route of the North Pacific Ocean in Winter Season

Jeom-Dong Yoon · Jong-Ho Gwon · Jae-Hun Joo · Yong-Bum Huh
Myeong-Sik Choi

목 차

V. 大型船의 耐航性能에 對한 檢討

1. 不規則 海面에서의 外力과 船體運動(橫揺)
2. 不規則 海面에서의 外力과 船體의 縱強度
3. 船體가 받는 應力에 對한 考察
4. 安全航海를 위한 橫揺角度的 限界 및 應力の 限界
5. 大型船體에 加해지는 실제 應力에 對한 調査

VI. 最適航路上에서의 船體의 橫揺運動 및 縱強度에 對한 數值計算

1. 航路로 선택되는 計算對象 海域
2. 計算에 使用한 氣象 및 海象資料
3. 計算에 使用된 Sample 船

4. 各 海域別 橫揺 및 應力값

5. 各 海域別 橫揺 및 應力값에 對한 檢討
6. 50kt 바람을 0°와 45° 방향에서 받을 때의 船體 橫揺값 및 應力값에 對한 計算
7. 風力別 橫揺角 및 應力값 計算

VII. 安全航行을 위한 限界海面荒度の 設定 및 荒天時의 避航 操船方法

1. 荒天率
2. 풍속에 따른 海面 및 波浪狀態
3. 安全航行을 위한 海面狀態의 限界
4. 荒天時의 最良의 避航操船方法

VIII. 結 論

V. 大型船의 耐航性能에 對한 檢討

선박이 荒天에 조우하면 두가지의 위험에 직면하게 된다. 첫째는 外力이 갖는 에너르기의 크기에 비하여 復原力이 부족하기 때문에 船舶이 전복되는 위험이고 둘째는 선체의 강도부족 그것도 특히 종강도 부족 때문에 생기는 선박의 절손파괴 및 침몰의 위험이다. 일반적으로 말하여 荒天을 만나면 小型船은 前者의 위험에 직면하게 되나 大型船은 後者의 위험에 더욱 노출된다고 볼 수 있다.

그러나 전복에 관여하는 VLCC 등과 같은 거대형선은 예외가 되겠지만 최근에 大洋上에서 많이

운항되고 있는 컨테이너선은 비교적 대형이면서도 전복의 위험이 상당히 크다고 볼 수 있다. 왜냐하면 컨테이너선은 꼭 짜여진 시간에 따라서 움직이기 때문에 荒天을 만나면 침로를 수정하면서 船舶의 안전을 도모하는 행동상의 융통성이 없기 때문이다. 또한 貨物이 채워진 컨테이너를 上甲板에 積載하였을 때는 G점이 상당히 높아지고 船舶은 크기에 비하여 상당히 전복될 수 있는 큰 약점을 가지고 있는 반면 貨物이 채워진 컨테이너를 적게 실었을 때는 큰 波浪이 있는 海面에서는 동조형요를 일으킬 가능성이 있기 때문이다.

소형선박의 전복위험에 대하여는 일반적인 사람

* 正會員, 韓國海洋大學

** 〃, 韓國海技研修院

*** 〃, 木浦海洋專門大學

들도 상식선에서 잘 알고 있지만 수만톤의 대형콘테이너선이 험한 황천에 조우하여 전복된다거나 또는 VLCC 등의 거대형 선박이 격렬한 황천속에서 파괴 침몰하는 것에 대하여는 전문적인 지식을 가지고 있는 사람들도 잘 감지하고 있는 것 같지 않다. 그것은 큰 선박일수록 외관상은 대단히 강하고, 믿음직스럽고 튼튼하게 보이기 때문일 것이다.

그러나 표 1-1에서 보는 바와 같이 1970년 2월 6, 7, 9일 연달아 매일 대형선박이 비슷한 장소에서 파괴 침몰되었고 1980년 12월말경에는 1주일 동안에 대형선박이 전번과 같은 장소에서 수척이 파괴 침몰되었다. 이 사고해역은 일본의 노지마사께 동방 수백마일 해상에 있고 소위 "마의 해역"이라고 불리는 곳이다.

1. 不規則 海面에서의 外力과 船體運動(橫揺)

불규칙 해면에서의 선체운동의 응답특성은 파랑이 갖는 統計的인 특성을 그대로 따르게 된다는 것이 실험적으로 입증되었다. 즉 이러한 特性은 수조시험을 통하여 시험적으로 확인되었고 대양에서 황천항해중인 실선의 선체응답기록을 분석한 결과는 그러한 수조시험 결과를 확실하게 증명하여 주었다.

따라서 파스펙트럼에 Rolling에 대한 Response Amplitude Operator(RAO로 약함)를 적용시키면 Rolling motion spectrum을 얻을 수 있고 불규칙 해면에서의 Rolling motion의 크기를 대략 계산할 수 있다. 즉 Motion spectrum을 수식으로 표시하면 (5.1)식과 같다.

$$S_m(We) = S_\zeta(We) | H(We) |^2 \dots\dots (5.1)$$

단, $S_m(We)$: motion spectrum

$$H(We)^2 : R. A. O$$

단, $H(We)^2$ 은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} RAO &= \left(\frac{\phi_a}{\zeta_a}\right)^2 : \text{횡요시} \\ RAO &= \left(\frac{Q_a}{\zeta_a}\right)^2 : \text{종요시} \\ RAO &= \left(\frac{Z_a}{\zeta_a}\right)^2 : \text{히빙시} \\ RAO &= \left(\frac{S_a}{\zeta_a}\right)^2 : \text{선수상하 운동} \end{aligned} \right\} \dots (5.2)$$

그리고 해당 motion spectrum의 면적 m_0 를 계산하

고 이것을 이용하여 波浪에 대한 선체응답운동을 계산할 수 있다. 횡요에 대하여는 (5.3)식으로 그 크기를 결정한다.

$$\left. \begin{aligned} (\phi)_{1/3} &= 2.000 \sqrt{m_0} : 1/3 \text{ 최대진폭} \\ (\phi)_{1/10} &= 2.545 \sqrt{m_0} : 1/10 \text{ 최대진폭} \\ (\phi)_{1/100} &= 3.336 \sqrt{m_0} : 1/100 \text{ 최대진폭} \end{aligned} \right\} \dots (5.3)$$

2. 不規則 海面에서의 外力과 船體의 縱強盜

선박설계의 기본은 선체에 가하여지는 외력이 선체의 강도를 넘을 때는 선체는 파괴된다는 냉엄한 사실에 두어야 할 것이다. 그리고 그것에 대한 검토의 순서는 다음과 같다.

선체구조에 가하여지는 외력, 그 외력에 대한 선체의 운동응답, 선체운동응답 때문에 선체구조에 발생하는 응력의 순으로서 안전성의 판단은 허용응력치가 기준이 되어야 할 것이다. 선체에 가하여지는 외력으로서의 중력과 부력차에 의한 정하중, 파랑에 의한 동하중 및 충격하중이 있다.

정하중은 비교적 용이하게 잡을 수 있지만 파랑에 의한 변동력은 충분한 정도로 계산 안되는 것이 현재의 상태이다. 선체의 응답계산은 최근에는 유한 요소법을 이용하여 電算機에 의하여 精度있는 계산이 가능하게는 되었다. 그러나 이런 계산을 위하여 절실하게 필요한 해면의 정확한 상태는 아직도 수학 model로 잡을 수 없고, 따라서 문제는 아직도 완전히 해결되지 아니한 단계에 있다. 선체가 받는 총응력을 σ_a 로 표시하면 그 응력은 크게 나누어서 정수중에서의 응력 σ_s (stress in still water)와 파랑때문에 생기는 응력 σ_w (wave-induced stress)로 구분되고 여기에 파랑중에서 선체와 波面이 격돌함으로써 생기는 충격응력 σ_i 와 물이 선체의 갑판에 올라 덮침으로 인하여 생기는 또 하나의 응력 σ_f 가 추가될 것이다.

따라서 다음 식으로 표시되는 σ_a 가 파괴응력을 초과하지 말아야 한다.

$$\sigma_a = \sigma_s + \sigma_w + (\sigma_i + \sigma_f) \dots\dots\dots (5.4)$$

가. 船舶設計의 強度基準

(1) 과거에 있어서의 船體縱強度基準

(ㄱ) 標準 hogging 狀態

선체의 길이와 같은 파장으로 파고가 파장의 1/20인 trochoid파의 파장이 선체중앙에 걸친 경우를

계산기준으로 하였고 정수력학적으로 부력과 중력이 균형을 잡고 있는 것으로 하여 선체응력을 계산하였다. 이 때 화물을 만재하고, ballast, f.o, f.w 등은 선체의 전후부에 실려 있는 것으로 한 것이다.

(L) 標準 Sagging 狀態

과장이 선수, 선미에 걸쳐 있고 화물은 만재되어 있으며 ballast, f.o, f.w 등은 선체의 중앙부에 있다고 가정하였다.

이렇게 하여 總斷力(F_t) 및 總굽힘 moment (M)가 계산되었고 그것들은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} F_t &= F_s + F_w \\ M_t &= M_s + M_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.5)$$

따라서 총굽힘응력 σ_t 및 전단응력 τ_t 는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_t &= \frac{M_t}{Z} \\ \tau_t &= \frac{F_t m}{bI} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.6)$$

단, I : 構成材斷面의 中立軸에 대한 2차 moment

y : 中立軸으로 부터 應力을 구하는 점까지의 수직거리

Z : I/y Section Modulus

m : 응력을 구하는 점을 통하여 水平線上部

의 斷面積이 中立軸에 대하여 갖는 moment

b : 응력을 구하는 점을 통하는 水平線上에서의 板두께의 合計

이러한 관점에서 본 적당하다고 생각되는 설계 응력치(σ_t)는 대략 그림 5-1에 표시한 값이 된다.

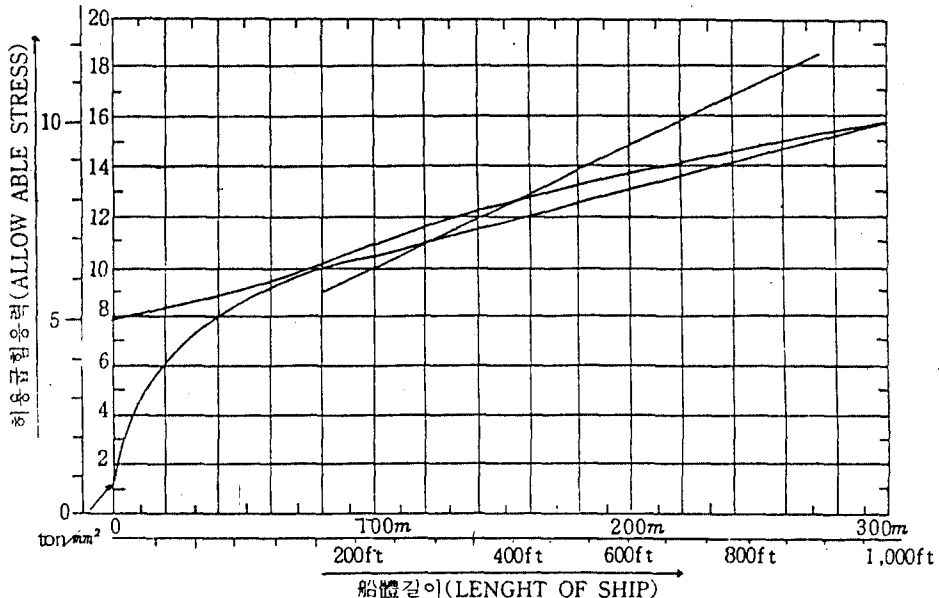
(2) 오늘날의 船體縱強度 計算法

10년 前까지만 하더라도 위와같이 어떤 표준상태를 설정하고 거기서 허용응력값을 결정하는 방법을 모든 유명 선급회사가 채택하고 있었다. 그러나 최근에 와서는 불완전하기는 하지만 통계적인 방법으로 해면상태를 실제의 그것에 상당히 근사하게 처리할 수 있게 되었다고 사람들은 믿고 있으며 또한 선체운동도 Strip Method로써 실선의 그것에 대략 근사하게 계산할 수 있게 되었다고 말할 수 없다. 하지만 거시적인 관점에서 선박에 가하여지는 Moment Spectrum을 만들어서 선체의 강도를 통계적인 처리방법으로 결정하는 것은 가능한 단계에 와 있고 유명 선급협회들은 이러한 방법을 택하고 있다.

$$S_m(We) = S \zeta(We) \left(\frac{M_w}{\zeta_a} \right)^2 \dots\dots\dots(5.7)$$

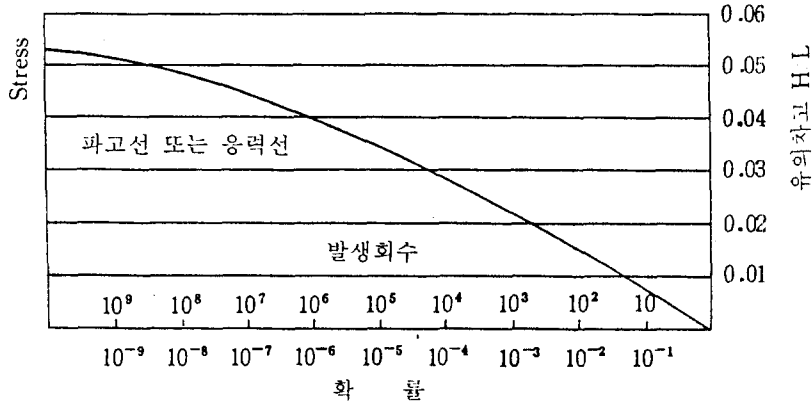
단, S_m : Moment Spectrum

$\left(\frac{M_w}{\zeta_a} \right)$: R. A. O



<그림 5-1> 허용 굽힘 응력도

즉 (5&7)식과 같은 Moment Spectrum을 작성하고 이것을 기초로하여 선박이 모는 기상상태 하에서 일생동안 받을 수 있는 Stress에 관한 확률도표를 작성한다.



〈그림 5-2〉 應力 確率 圖表

예를 들면 그림 5-2는 대서양을 주된 활동범위로 하는 선박이 받을 수 있는 응력에 관한 확률도표라고 하자. 이것을 이용하는 방법은 다음과 같다.

길이 250m의 선박이 파장 250m, 파고 0.035L 즉, 파고 = 0.035 × 250m = 8.8m 높이의 파를 받으면서 항해하는 경우 선체에 가하여지는 응력을 σ_x 라고 하자. 이 선박이 σ_x 의 응력을 받을 확률은 어느 정도의 것인가 계산하여 보자.

이 선박의 일생을 25년으로 잡고 일년의 항해일수를 300일로 잡으면 이 선박의 航海一生 즉, All sea life time = 3600 × 24 × 300 × 25 = 10^{8.8}초이다.

σ_x 의 응력을 발생시키는 파의 파장은 250m이므로 파의 주기 T_w 는, $T_w \approx 12$ 초 정도이다.

그림 5-2에서 보면 0.035L의 파고에 대한 조우회수는 10⁵초 시간 경과에 1회 있으므로 그 조우빈도는 일생동안에 다음과 같다.

$$\text{一生동안 빈도} = 10^{8.8} / (10^5 \times 12) = 562 \text{회}$$

선박의 수명을 현실에 맞추어 20년으로 보면 $10^{8.7} / (10^5 \times 12) = 418$ 회이다. 이 회수는 14.4일 항해하면 한번 만날 수 있는 확률의 파이다. 다시 이 선박이 선체길이의 0.05배 즉, 1/20L의 파고를 받을 수 있는 확률을 보면 25년의 수명으로 하여 $10^8 / (10^{8.8} \times 12) = 0.13$ 회이고 192년만에 한번 만날 수 있는 확률이 된다.

이러한 수치상에서 보면 표준조건을 (1/20) L_w 의 파고에 두고 종강도를 계산한 과거의 방법은 선박이 대형화된 오늘날에는 항해중에 조우할 수 있는 응력을 과대평가한 것이 된다.

일생동안 한번도 만날 수 없는 파를 설계 기준 파로 한다는 것은 말이 안되는 것이다. 따라서 전체적으로 볼 때 새로운 방법에 의하여 계산된 선체의 종강도는 과거의 기준보다 강화할 필요가 없다는 것이다. 그러나, 새로운 방법의 허점은 σ_s 와 σ_w 를 크게 고려하지 않는데 있다.

NK의 rule을 보면 불규칙 해면에서 장기累積 확률 Q의 값이 10⁵이 되는 M_w 를 取하여 종강도 계산의 기준으로 하고 있으며, 실제로는 이렇게 하여 계산한 값보다 약간 낮은 값인 15kg/mm²을 굽힘응력허용한계로 잡고 있으며 진단응력(τ_i)은 그것의 0.8배인 12kg/mm²이내로 하고 있다.

그러므로 그림 5-1이 대형선에 대한 대략의 종강도 설계기준허용응력을 표시한다는 점에서는 옛날이나 지금이나 크게 변함이 없음을 이해할 수 있다.

3. 船體가 받은 應力에 對한 考察

前述한 바와 같이 선체가 받는 실제 총응력(σ_a)은 다음과 같다.

$$\sigma_a = \sigma_s + \sigma_w + (\sigma_i + \sigma_j)$$

가. 靜水中에서의 應力(σ_s)

이것은 하중곡선만 정확히 작성되면 신빙할만한 精度까지 정확히 계산될 수 있다.

나. 파랑에 의한 應力(σ_w)

이것은 해면상태를 어느 정도까지 정확히 잡아 줄 수 있는냐에 따라서 계산의 精度가 결정되는 것이지만 전술한 바와 같이 현재로서는 해면상태를 정확하게 수학적인 model로 처리할 수 없는 단계이고 Wave Spectrum에 의하여 개략적인 해면상태를 파악할 수 있을 뿐이다. 따라서 이것을 기초로 한 파랑에 의한 선체응력도 개략적인 것으로 밖에 볼 수 없다. 그러하더라도 믿을만한 것으로 받아들일 수 있는 단계라고 볼 수는 있다.

다. 衝擊應力(σ_i)

波에 의한 통상의 유체력이나 선체동요 때문에 생기는 통상의 관성력의 변동주기는 선체진동의 자연주기에 비하여 매우 낮기 때문에 선체자체의 동적인 응력유발에 크게 영향을 줄 수 없다. 그러므로 순탄한 해면에서는 선체 girder의 응력은 정력학적인 법칙에 의하여 지배된다. 그러므로 이렇게 서서히 변하는 하중을 준정력학적인 하중 또는 파랑하중이라고 부른다.

그러나 때때로 선박은 매우 급격하게 전개되는 2종류의 동하중을 받게 된다.

(1) 지속상태의 動荷重

항해중에 추진기와 선체 상호간섭작용, 기관에서 선체에 전달되는 운동, 그리고 해면상태가 주는 선체에 대한 기진력등이 선체를 지속적으로 진동시키므로 인하여 생기는 동하중으로 이러한 진동을 Springing이라 부른다.

Springing은 선체가 비교적 짧은 파를 자르면서 항해할 때 파의 운동이 선체의 자연주기와 공진을 일으킬때 크게 생긴다.

(2) 순간적인 動荷重

순간적인 동하중은 Slamming 또는 V字형의 선수에서는 선수의 상하 동요로 인하여 생기며 파랑과 선체운동관성의 갑작스러운 변화때문에 생기는 하중이다.

라. Green Water Flooding에 의한 應力(σ_g)

이것은 해수가 선수갑판에 침입함으로써 생기는 것이고 선체 중요로 인하여 선수가 위로 올라가는

가속도를 가질때 최대가 되고 이때의 선수가속도의 크기는 1g 정도가 된다.

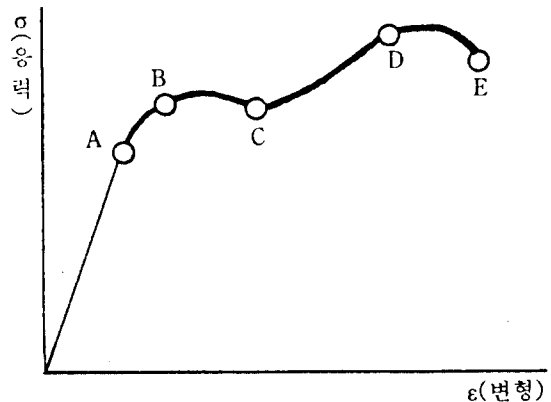
4. 安全航海를 위한 橫搖角度的 限界 및 應力の 限界

가. Rolling 角度的 限界

거의 모든 상선의 복원력 범위는 횡요 약70°이다. 그러나 대각도 rolling을 하면 선창내부에서 화물의 이동이 있기 때문에 복원력 곡선도면에 있는 복원력의 범위를 그대로 安全범위라고 볼 수는 없다. Bulk Cargo에 있어서는 거의 모든 Bulk Cargo의 Angle of Repose가 50°보다 훨씬 적은 30°내외의 범위에 있는 것이다.

Container선에서도 50°정도의 대각도 rolling이 생기면 甲板積한 Container의 전부가 요동을 일으키며 Lashing Bar가 절손되는 사고가 생기기 마련이다. 그러므로 大洋을 항해하는 선박이 50° 이상의 횡요를 반복하면 선체침몰의 위험이 있다고 판단하는 것이 옳을 것이다.

나. 船體가 받을 수 있는 應力(Stress)의 限界
造船用 강재의 붕을 시험재료로 하여 이것에 인장외력을 加하고 절단될 때까지의 상태를 조사하고 응력의 값을 종축에 변형의 값을 횡축에 잡아 그 관계를 표시하면 그림 5·3과 같은 곡선이 된다.



〈그림 5-3〉 Stress-strain diagram

이 그림에서 알수 있는 바와 같이 A점까지의 변형은 응력에 비례하고 OA는 직선으로 나타난다.

이 A점을 비례한계(Proportional limit)라고 한다. A점을 넘어서 응력을 가하면 변형은 응력에 비하여 더욱 커지고 응력변형도는 곡선이 되며 B점을 지나면 응력이 감소되더라도 변형은 줄어들지 않고 늘어나게 된다. 이 B점을 항복점(Yield point)이라고 한다. C점을 지나서 응력을 증가시키면 변형은 빨리 증가하고 D점에서 응력의 최대점을 이루고 이점을 지나면 응력이 감소 되더라도 E점에서 시료봉은 절단 된다. D점을 극한 강도라고 한다.

IACS의 강도기준에 의하면 조선용 강재의 비례한도 응력은 20kg/mm^2 이고 항복점의 그것은 23kg/mm^2 및 극한강도점의 응력은 41kg/mm^2 이다.

따라서 선박이라는 구조물은 안전하게 사용하려면 外力에 의한 응력을 20kg/mm^2 이내로 엄격하게 제한 하여야 한다. 현재의 조선 자료를 사용하여 선박을 건조하는 한 어떤 선박이든간에 20kg/mm^2 이상의 응력을 가하면 변형을 거쳐 파손될 것이다.

5. 大型船體에 加해지는 실제 應力에 對한 調査

선박의 횡요는 가시적이기 때문에 통상적인 항해에서 계절과 항해 해역에 따라 선박이 대개 몇도 정도의 Rolling을 하며 항해하는 것인지 우리는 잘 알고 있으며 반복적인 횡요의 범위는 심할 때 30° 내외가 된다.

그러나 선체에 가해지는 응력은 비가시적인 것이기 때문에 응력계측기로 계측하여 보기전에는 응력의 크기를 알 수 없다.

그러나 대형선이 받는 응력중에는 Bending Moment로 인하여 선체의 중앙부 단면에서 생기는 응력이 가장 큰 값이 되는 것이므로 이것으로 인한 응력과 충격으로 인한 응력 및 Green Water Flooding으로 인한 응력의 합계가 조선용 강재의 비례한도인 20kg/mm^2 이하의 응력이 되면 선체의 안전은 확실하게 보장된다고 보는 것이 옳을 것 같다.

Bending moment로 인한 응력, Slamming이나 Whipping 등으로 인한 충격응력 및 선수에 Green Water가 올라와서 생기는 Green Water Flooding에 의한 응력이 동시에 일어난다고는 생각되지 않

는다. 그러나 안전에 대한 판단기준을 비례한도 응력인 20kg/mm^2 에 두게되면 실제로는 Safty factor를 1로 잡는 것이기 때문에 1보다 큰 Safty factor를 준다는 점에서 이것들이 동시에 발생한다고 생각하고 응력계산을 하는 것이 좋다. 왜냐하면 동하중이나 충격하중이 걸리는 구조물의 설계에서는 안전율을 보통 10 이상으로 잡고 있는것이 구조물을 다루는 분야의 상식이기 때문이다.

가. Bending Moment에 의한 應力(設計應力)

Bending Moment는 Bending moment in still water(M_s)와 Bending Moment induced by wave (M_w)로 구분된다. 대형선의 설계응력은 $(M_s + M_w) \div Z = 15 \sim 16\text{kg/mm}^2$ 정도가 되도록 선각을 설계하는 것이다.

(1) Z값의 산출방법

세계 각국 선급협회의 선체종강도 계산은 IACS의 종강도 최저기준에 관한 통일규칙(Unified Requirement of IACS about Minimum Longitudinal Strength Standard)에서 定한 기준에 따르고 있다.

이 기준에서는 길이 $90\text{m} \leq L \leq 500\text{m}$ 인 장선 중앙부의 갑판 및 용골의 최저단면계수(Z_{min})는 (5·8)式으로 산출한다.

$$Z_{min} = CL^2B(C_b + 0.7) K \text{ (cm}^3\text{)} \dots\dots (5\cdot8)$$

단, L = 길이 (m)

B = 폭 (m)

C_b = 방형비척계수, 단 $C_b \geq 0.60$

C = C_n (신조선)

C = C_s (취항중인 선박) = $0.9C_n$

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

$$= 10.75, 300\text{m} \leq L \leq 350\text{m}$$

$$= 10.75 - \left(\frac{L-350}{100}\right)^{1.5}, 300\text{m} \leq L \leq 350\text{m}$$

K = 1.0 (통상의 조선강재)

(2) M_s 및 M_w 산출식 (ABS rule을 이용)

ABS rule 6·3·2 (Total Bending Moment)를 보면 $M_k = M_s + M_w$ 이고 M_s 및 M_w 는 (5·9) 및 (5·10) 식으로 계산한다.

$$M_s = C_{st} L^{2.5} B (C_b + 0.5) \dots\dots\dots (5.9)$$

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

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

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

$$= [0.544] 10^{-2} \quad 210 < L \leq 250m$$

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

단, L : 선체길이
 B : 선폭
 C_b : 방향비치계수

$$M_w = C_2 L^2 B H_e K_b \dots\dots\dots (5.10)$$

$$C_2 = [2.34 C_b + 0.2] 10^{-2}$$

H_e : 설계파고로서 다음과 같다.
 $H_e = 0.0172L + 3.653 \quad 61 \leq L \leq 150m$
 $= 0.0181L + 3.516 \quad 150 < L \leq 220m$
 $= [4.50L - 0.0071L^2 + 103] 10^{-2}$
 $220 < L \leq 305m$
 $= 8.151$

K_b = 1.0 C_b ≥ 0.80의 경우
 $= 1.4 - 0.5C_b \quad 0.04 \leq C_b < 0.80$ 의 경우

(3) Bending Moment 에 관한 수치계산
 Sample선; D/W : 100,000톤
 L : 250 m
 B : 39.6 m
 d : 15 m
 C_b : 0.825

㉠ M_s [= C_{st}L^{2.5}B (C_b+0.5)] 계산
 $C_{st} = 0.544 \times 10^{-2} = 0.00544$
 $M_s = 0.00544 \times 250^{2.5} \times 39.6 \times (0.825 + 0.5) = 282,073 \text{ ton}\cdot\text{m}$

㉡ M_w [= C₂L²BH_eK_b] 계산
 $C_2 = (2.34 \times 0.825 + 0.2) \times 10^{-2}$

$$\approx 0.02131$$

$$H_e = (4.5 \times 250 - 0.0071 \times 250^2 + 103) \times 10^{-2} = 7.8425$$

$$M_w = 0.02131 \times 250^2 \times 39.6 \times 7.8425 = 413,631 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

M_s 와 M_w의 M_t에 대한 비율
 $M_s \approx M_t$ 의 40%
 $M_w \approx M_t$ 의 60%

(4) 단면계수 Z에 對한 수치계산
 (ABC rule 6.3.1)

$$Z = M_t / \sigma_p \text{ (cm}^2 \cdot \text{m)} \dots\dots\dots (5.11)$$

단, M_t = M_s + M_w
 σ_p = 허용한계 응력

$$\left. \begin{aligned} \sigma_p &= 1.663 - \frac{240-L}{2640} \text{ ton/cm}^2 \\ &61m \leq L \leq 240m \\ &\text{(최대한계 } 16.63 \text{ kg/mm}^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots (5.15)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_p &= 1.663 + \frac{L-240}{4000} \text{ ton/cm}^2 \\ &240m < L \leq 427m \\ &\text{(최대한계 } 17.10 \text{ kg/mm}^2) \end{aligned} \right\}$$

$$Z = 0.01 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \text{ (cm}^2 \cdot \text{m)} \dots\dots (5.13)$$

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

$$C_1 = 10.75 \quad , \quad 300 < L \leq 350m$$

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

Z값은 (5.11) 식과 (5.13) 식에서 큰 값을 택하여야 한다. 그러므로 (5.13) 식에 의하여 단면계수를 구하되 여기서 구한 단면계수 값으로 구한, 응력이 (5.12)의 한계값을 넘을 때는 (5.11) 식에 의한 단면계수값을 선각 설계에 사용하여야 한다.

Sample 선에 관한 Z 값 계산

㉠ (5.11) 식에 의한 계산

$$Z = \frac{(282,073 + 413,631) \text{ Ton} \cdot \text{m}}{(1.663 + \frac{250-240}{4000}) \text{ ton/cm}^2}$$

$$= \frac{695,704 \text{ ton} \cdot \text{m}}{1.6655 \text{ ton/cm}^2}$$

$$= 417,714.73 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}$$

㉞ (5.13) 식에 의한 계산

$$Z = 0.01 \{ 10.75 - (\frac{50}{100})^{1.5} \} 250^2$$

$$\times 39.6 (0.825 + 0.7)$$

$$= 0.01 \times 10.396 \times 62,500 \times 60.39$$

$$= 392,384.02 (\text{cm}^3 \cdot \text{m})$$

그러므로 이 선박에 對한 설계단면계수는

$$Z = 417,714 \text{ cm}^3 \cdot \text{m} \text{ 이다.}$$

(5) 설계응력 (σ_a)

다음의 값이 이 선박의 설계자가 선각설계시에 한 계응력으로 책정한 값이다.

$$\sigma_a = \frac{695,704 \text{ ton} \cdot \text{m}}{417,714 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}}$$

$$= 16.655 \text{ kg/mm}^2$$

이 값은 설계파 파장 250m

$$\text{파고 } H_e = (4.50 \times 250 - 0.0071 \times 250^2 + 103) \times 10^{-2}$$

$$= (1,125 - 443.75 + 103) \div 100$$

$$= 7.84 \text{ m}$$

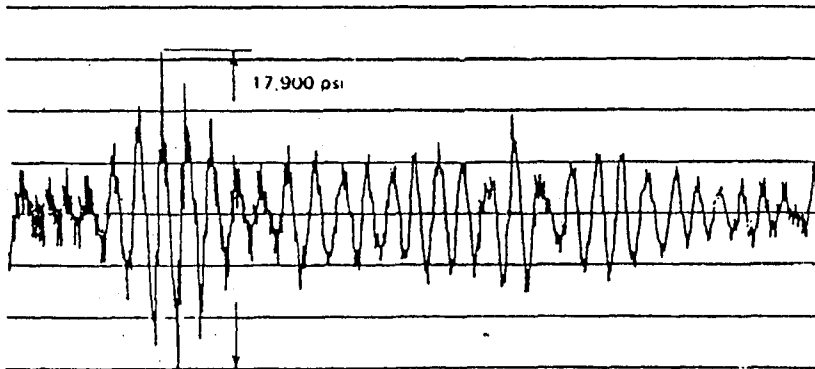
에 대한 응력 즉, 파고 0.031 L에 대한 것이다.

나. 衝擊應力 (σ_i : Impact stress)

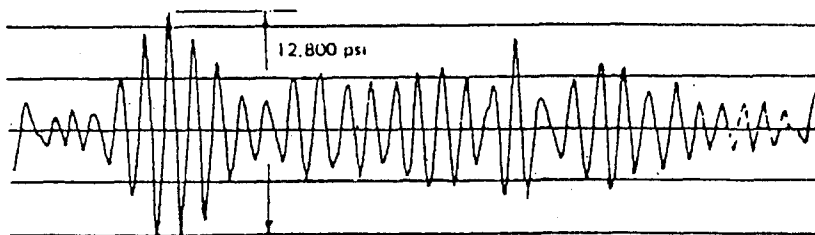
現在の 各國 선급협회의 構造規定은 정수중의 M_s 및 M_w 에 의한 應力만 고려하고 있을 뿐 충격 하중에 대하여는 고려하지 않고 이것은 船體強度의 여유에 흡수시키고 있다.

그러나 실제로 Slamming과 Whipping 등의 충격력에 의한 응력은 M_w 의 수배에 달하는 수가 있다.

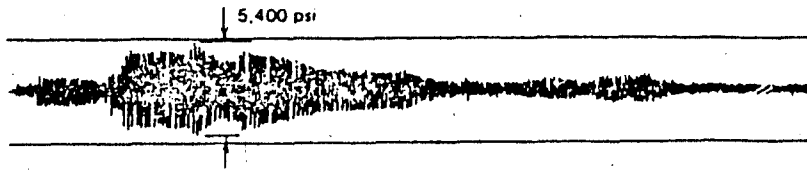
그러나 여기서는 $\sigma_i = \sigma_w$ 정도로 취급하기로 한다. 선체에 가하여 지는 충격하중을 파랑하중 정도로 보는 것은 그림 5.4를 보면 이해할 수 있을 것이다.



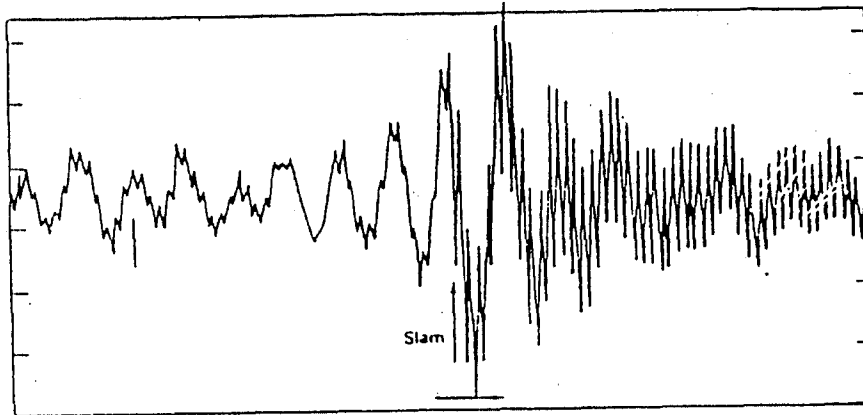
(a) 파랑응력 + 1 절진동 응력



(b) 파랑응력 (주파수 대략 0.1 Hz)



(c) 절진동 (springing) 응력변화 (주파수 대략 0.7 Hz)
선체 중앙부의 지속적인 동하중 및 파랑하중 응력의 비교



<그림 5-4> salmming이 있을시 선체 중앙단면에 걸리는
굽힘응력의 전형도

다. Green Water Flooding에 의한 應力(σ_f)
만제를 한 대형선이 slamming을 일으킴과 동시에 green water flooding을 일으킬 때는 “오노미찌”마루에서 보는 바와 같이 선체에 치명타를 주는 응력을 유발할 수 있다.

이때의 응력의 크기는 $\sigma_f = \sigma_s + \sigma_w + \sigma_f(100\% \sigma_w) + \sigma_f(70\% \sigma_w)$ 정도로 추정할 수 있다.

“오노미찌”마루가 이러한 일발의 衝擊作用 때문에 파괴 침몰되기 전까지는 대부분의 造船學者들은 D/W 50,000톤 정도의 大型船이 slamming을 일으키고 green water를 덮어 쓴다는 것을 믿지 아니하였다.

“오노미찌”마루는 선수방향에서 파랑을 받으면서 감속운항하던 중 선수로부터 10수 미터의 대파를 받고 선수부 선체가 틀리면서 큰 slamming을 일으킨 후 선수부가 수면하부로 내려가면서 대량의 green water을 덮어 썼다. 선수부가 수면상부로 다시 올라왔을 때 선수부 선체는 이미 하방으로

人形態로 굽어져 있었고 후에 선수부가 절단되어 침몰되었다. 이러한 green water flooding이 얼마나 큰 응력을 일으킬 수 있는 것인지 개략적인 수치 계산을 하여 보면 “오노미찌”마루의 사고를 명백하게 이해할 수 있다.

그리고 대형선이라고 할지라도 격렬한 황천속에서는 반드시 제1단계로 heave to에 들어가고 제2 단계로는 scudding 조선을 하는 것이 얼마나 절실하게 필요한 것인지 이해할 수 있다.

(1) 船體가 받는 σ_f 의 計算

길이 250m, 폭 39.6m, C_b 0.825, 水面에서 船首까지의 수직거리 7.4m, d_{15m} 인 D/W 100,000톤의 만재한 선박이 파장 250m, 파고 8m(規則上的 設計波高)인 波를 선수에서 받으면서 8kt 속력으로 항해할 때와 14kt로 항해할 때 선수에서 덮어쓰는 green water flooding 때문에 생기는 moment를 각각 계산하고 이것이 wave bending moment의 몇 %정도가 되는지 계산하고 파고가 파장의 1/20이

될 때도 같은 계산을 하면 각 경우는 다음과 같다.

① 8kt로 항주하는 경우(파고: 8m)

$$T_p = 0.5\sqrt{250} = 8 \text{ sec}$$

$$T_w = 12.7 \text{ sec} \quad T_w$$

$$F_n = 0.08$$

$$\phi = \sin^{-1} \pi(H_w/\lambda) = \sin^{-1} 3.14 \times (8/250) = 5.8^\circ$$

$$h_0 = 8/2 = 4m$$

$$Z_g/h_0 = 0.4$$

$$\psi/\Phi = 0.4$$

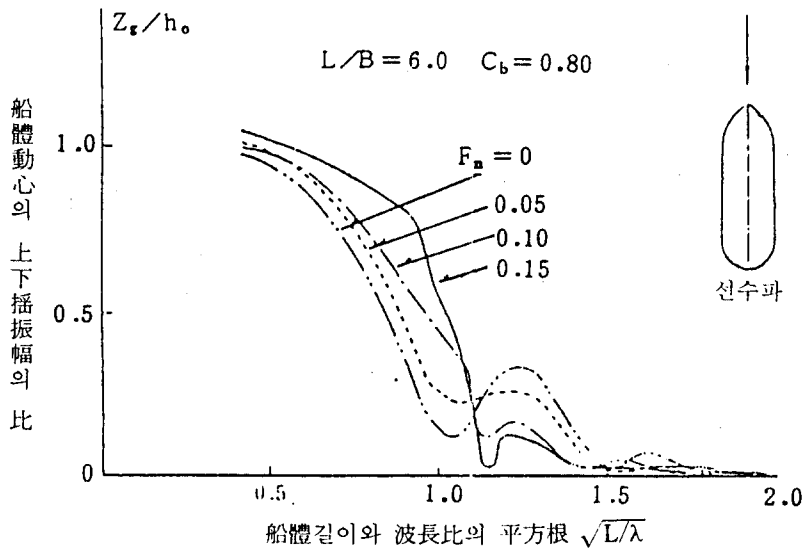
$$Z_g = 0.4 \times 4 = 1.6m$$

$$\psi = 0.4 \times 5.8^\circ = 2.3^\circ$$

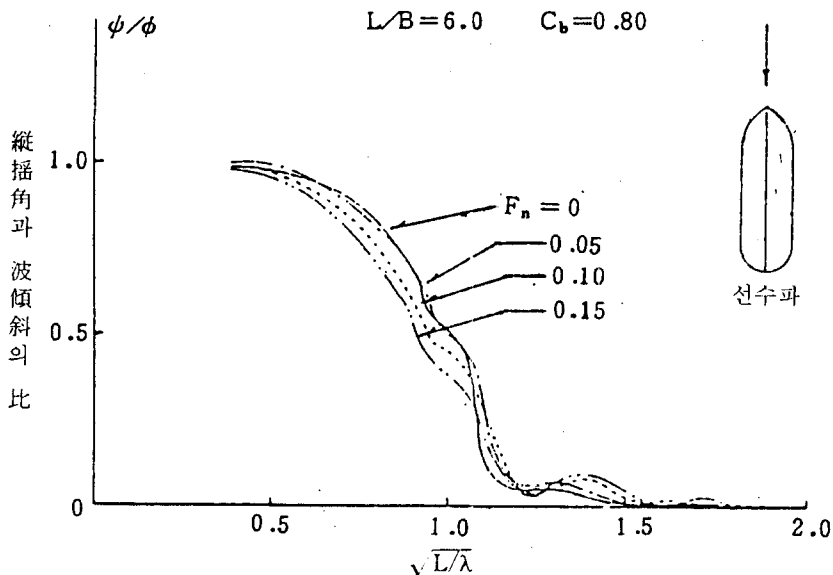
$$Z_e = 125 \times \sin 2.3^\circ = 5.1m$$

$$Z_t = Z_g + Z_e = 1.6 + 5.1 = 6.7m$$

고로 8kt로 항해하는 경우에는 green water flooding은 없다.



〈그림 5-5〉 선수파 받을 때의 heaving 량



〈그림 5-6〉 선수파를 받을 때의 pitching 량

㉔ 14kt로 항주하는 경우 (파고: 8m)

$$\begin{aligned}
 F_n &= 0.145 \\
 Z_g/h_0 &= 0.5 \\
 \psi/\Phi &= 0.5 \\
 Z_g &= 0.5 \times 4 = 2m \\
 \phi &= 0.5 \times 5.8 = 2.9^\circ \\
 Z_\theta &= 125 \times \sin 2.9^\circ = 6.3m \\
 Z_1 &= Z_g + Z_\theta = 8.3m \\
 \text{선속} &= 7.2m / \text{sec} \\
 \text{green water flooding speed} &= 2\pi r / 12.7 \\
 &= (2 \times 3.14 \times 4) / 12.7 = 1.98 \approx 2m / \text{sec}
 \end{aligned}$$

flooding time interval을 $T_p/4$ 로 보아서 2초동안 해수가 들어온다고 가정한다.

$$\Delta_w = 2[39.6 \times (8.3 - 7.4) \times (7.2 + 2)] = 655.8m^3$$

동요로 인한 가속도를 $1g$ 로 보면,

$$\begin{aligned}
 Q_w &= 2 \times 655.8 \times 1.025 = 1,344.4 \text{ ton이 된다.} \\
 M_r &= 125 \times 1,344.4 = 168,050 \text{ ton} \cdot m
 \end{aligned}$$

㉕ ABS rule의 굽힘응력계산 방법에 의한 파랑 응력에 대한 비율

$$\begin{aligned}
 M_r &= 168,050 \text{ ton} \cdot m \text{의 } M_w \text{에 대한 비율} \\
 \text{비율}(\%) &= \frac{168,050 \times 100}{413,631} \approx 41\%
 \end{aligned}$$

㉖ $L/20 = 12.5m$ 의 파고에 대한 계산

$$\begin{aligned}
 \text{① } L/20 \text{ 8kt로 항주하는 경우} \\
 F_n &= 0.08 & \Phi &= 9 \\
 h_0 &= 6.25m & Z_g/h_0 &= 0.4 \\
 \psi/\Phi &= 0.4 & Z_g &= 2.5m \\
 \phi &= 3.6^\circ & Z_\theta &= 125 \times \sin 3.6^\circ = 7.8m \\
 Z_1 &= 10.3m & \text{船速} &= 4m / \text{sec} \\
 \text{green water flooding speed} \\
 &= 2\pi r / 12.7 \\
 &= (2 \times 3.14 \times 6.25) / 12.7 \\
 &= 3.1m / \text{sec} \\
 \Delta_w &= 2[39.6 \times (10.3 - 7.4) \times (4 + 3.1)] \\
 &= 1,631m^3 \\
 Q_w &= 2 \times 1,631 \times 1.025 = 3,343.6 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$M_r' = 125 \times 3,343.6 = 417,950 \text{ ton} \cdot m$$

이것은 設計波高에 의한 M_w 의 100%가 된다.

② 14kt로 항주하는 경우

$$\begin{aligned}
 F_n &= 0.145 & \Phi &= 9^\circ \\
 h_0 &= 6.25m & Z_g/h_0 &= 0.1 \\
 \psi/\Phi &= 0.37 & Z_g &= 3.19m \\
 \phi &= 3.33^\circ & Z_\theta &= 125 \times \sin 3.33^\circ = 7.26m \\
 Z_1 &= 10.5m & \text{船速} &= 7.2m / \text{sec} \\
 \text{green water flooding speed} &= 3.1m \\
 \Delta_w &= 2[39.6 \times (10.5 - 7.4) \times (7.2 + 3.1)] \\
 &= 2,529 \text{ ton} \\
 M_r &= 5,184 \times (125 - 5) = 622,080 \text{ ton} \cdot m
 \end{aligned}$$

이 값은 設計 M_1 에 육박한다.

그리고 이 M_1 때문에 선체가 받는 응력을 계산하여 보면 다음과 같다

$$\sigma_r = \frac{622,080 \text{ ton} \cdot m}{417,714 \text{ cm}^2 \cdot m} = 14.9 \text{ kg/mm}^2$$

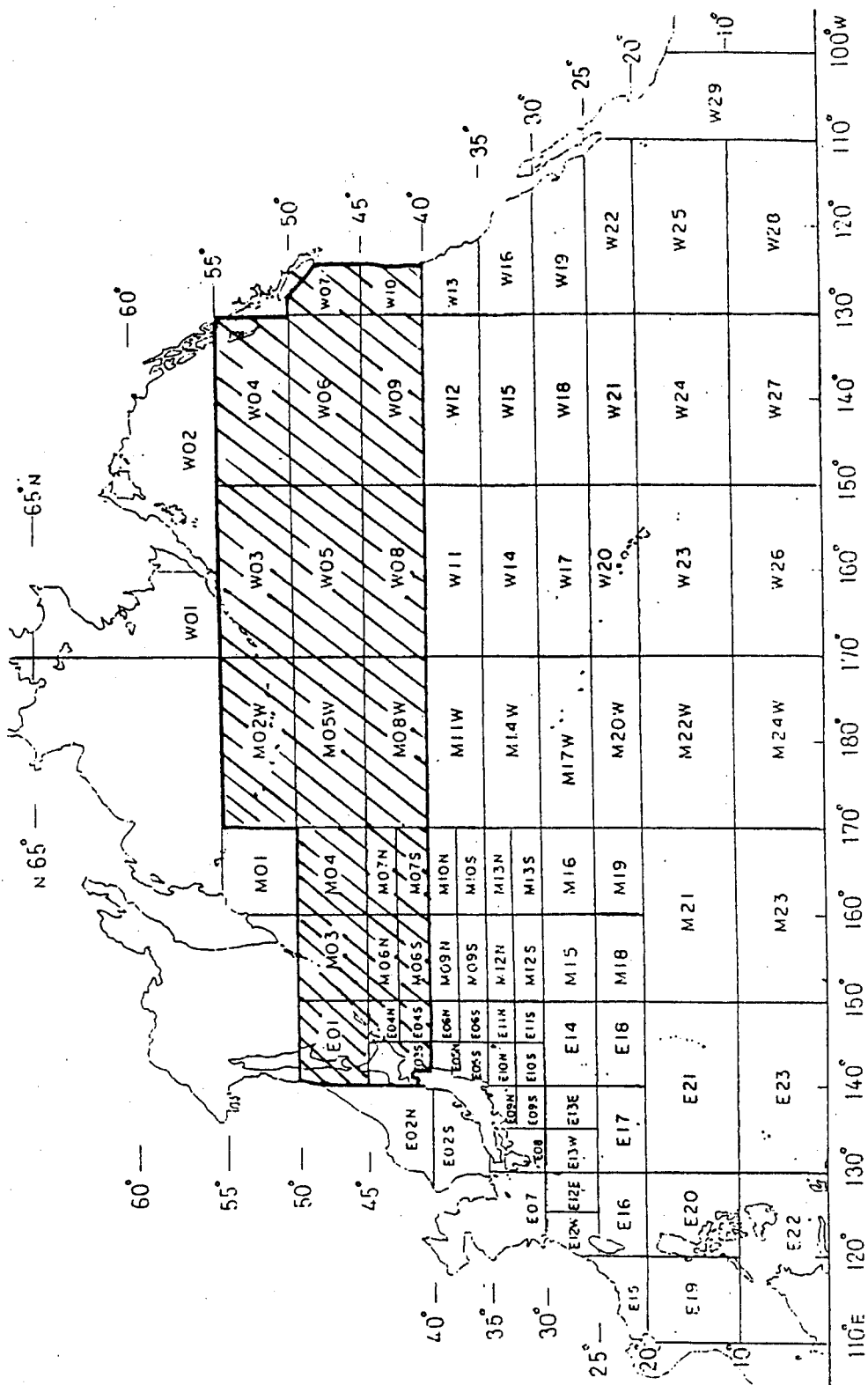
그러므로 설계시의 응력 $\sigma_a = 16.7 \text{ kg/mm}^2$ 에 이것을 합하면 31.6 kg/mm^2 의 응력이 한꺼번에 선체에 걸린 것이 되고 선체는 일격에 파괴될 수 있음을 알 수 있다.

VI. 最適航路上에서의 船體의 橫遙 運動 및 縱強度에 對한 數值計算

1. 航路로 선택되는 計算對象 海域

冬季 북태평양을 西航하는 선박이 取하는 航路의 대상해역은 前述한 바와 같이 북태평양의 북반구가 되기 쉽다. 미주의 남쪽이나 북쪽에서 극동 쪽으로 西航하는 선박은 북미 서안과 극동사이를 연결하는 대권항로 또는 집성대권항로상을 항해하게 될 것이다. 그것은 그림 6·1 구역에서 빗금친 부분에 해당된다.

예를 들면 미국의 남북쪽에서 극동쪽으로 오는 선박은 그림의 W10, W09, W08, M075, M065, E045 및 E035 아니면 한구역 더 윗쪽을 지날 것이고 북미의 북쪽에서 극동쪽으로 오는 선박은 W구역과 M구역의 어느 해당구역을 통과하여 항해할 것이다.



〈그림 6-1〉 Division of Sea Area into Sub-Zones

2. 計算에 使用한 氣象 및 海象 資料

이 연구의 대상 해역인 북태평양 동계기상 및 해상상태에 관한 자료는 세계기상기구(WMO)가 1964년부터 1973년까지 10년간에 걸쳐서 당해 해역 항행선들로 부터 보고받은 것으로서, 日本의 Ship Research Institute에서 이것을 통계 분석하여 펴낸 "Winds & Waves of the North Pacific

Ocean"을 사용하였다. 그림 6·2참조

3. 計算에 使用된 Sample 船

미주와 극동간에 취항중인 선박의 대표적인 선박으로 Container선, Log carrier 및 Bulk carrier 각 1척을 선정하여 각 해역별로 선체의 횡요 및 응력의 크기를 計算하였으며 Sample선의 제원은 <표 6-1>과 같다.

<표 6-1>

구분 \ 선종	Bulk carrier	Container	Log carrier
LOA	223.91 M	200.70 M	175.22 M
B (MLD)	32.00 M	23.80 M	25.00 M
Depth (MLD)	15.16 M	14.33 M	14.00 M
Summer Draft	10.58 M	8.31 M	10.20 M
Summer D. W	46,855 M/T	18,846 M/T	26,740 M/T
G/T	29,117	17,676	15,187
Draft : F	10.27 M	6.40 M	10.16 M
A	10.29 M	7.58 M	10.48 M
Displacement	56,511 M/T	21,500 M/T	33,379 M/T
G M	3.2 M	1.6 M	0.42 M
Speed	12 Kts	12 Kts	12 Kts

4. 各 海역별 橫揺 및 應력값

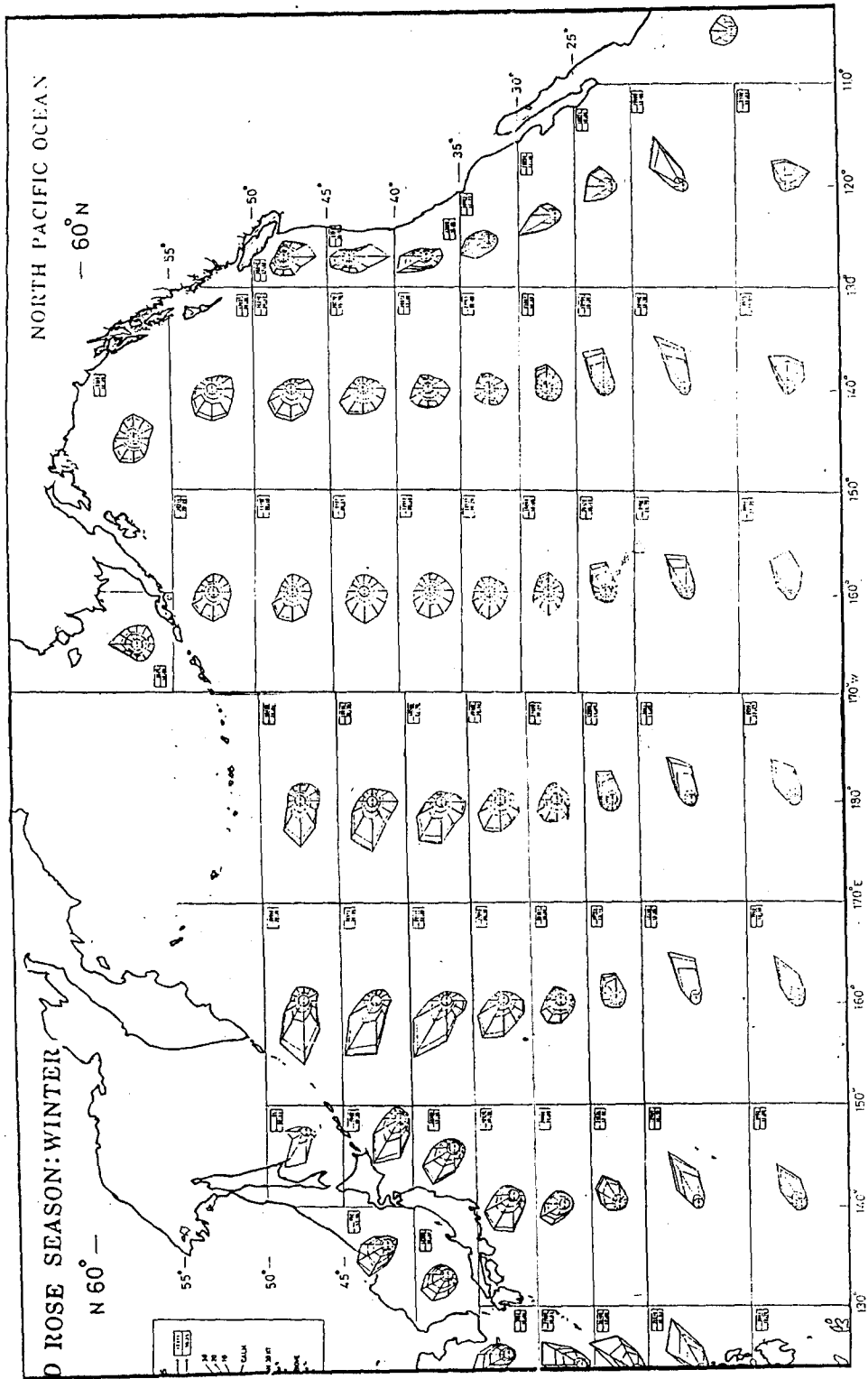
각 해역별로 계산한 횡요값은 <표 6-2>와 같다. <표 6-2>에서 풍속은 각 소해역별 "Wind speed Rose Diagram"에서 主風(Prevailing Wind) 및 主風에 인접한 좌우의 바람을 합하여 3으로 나누어준 평균 풍속을 말한다. 또한 SH는 도표에서 얻은 Significant Wave Height를 말하며 조우각은 대권 또는 집성대권 항로를 기준으로 하여 파랑과 침로에 따라서 결정하였다.(선미방향이 기준)

그리고 바람에 대한 백분율은 3개 風의 백분율의 평균치를 말한다. 이렇게 하여 계산된 횡요값을 도표로 표시하면 그림 6·3, 6·4 및 6·5와 같다. 계산된 응력값은 <표 6-3>과 같고 그것을 그림으

로 표시한 것이 그림 6·6이다.

풍력은 그림 6·2에서 전술한 바와 같이 평균풍속을 얻고 이것을 이용하여 SH를 얻고, 또 이것을 이용하여 Wave Spectrum을 만들고 여기에 RAO를 적용시켜서 횡요각과 응력을 계산하는 방법을 택하여 제반 수치계산을 전산 하였다.

횡요값은 계산상의 값 그대로 사용하였으나 응력값, σ_x 는 $0.4\sigma_w$ 로 하고, σ_y 는 $0.6\sigma_w$ 로 처리하여 계산된 σ_w 에 가산하였고 <표 6-3>에 있는 실제 M_w 값은 이 가산된 값을 말한다. 그리고 이 실제 M_w 에 M_r 을 가하여 단면계수로 나누어서 응력을 계산하였다.



〈그림 6-2〉 冬季 太平洋의 Wind Speed Rose

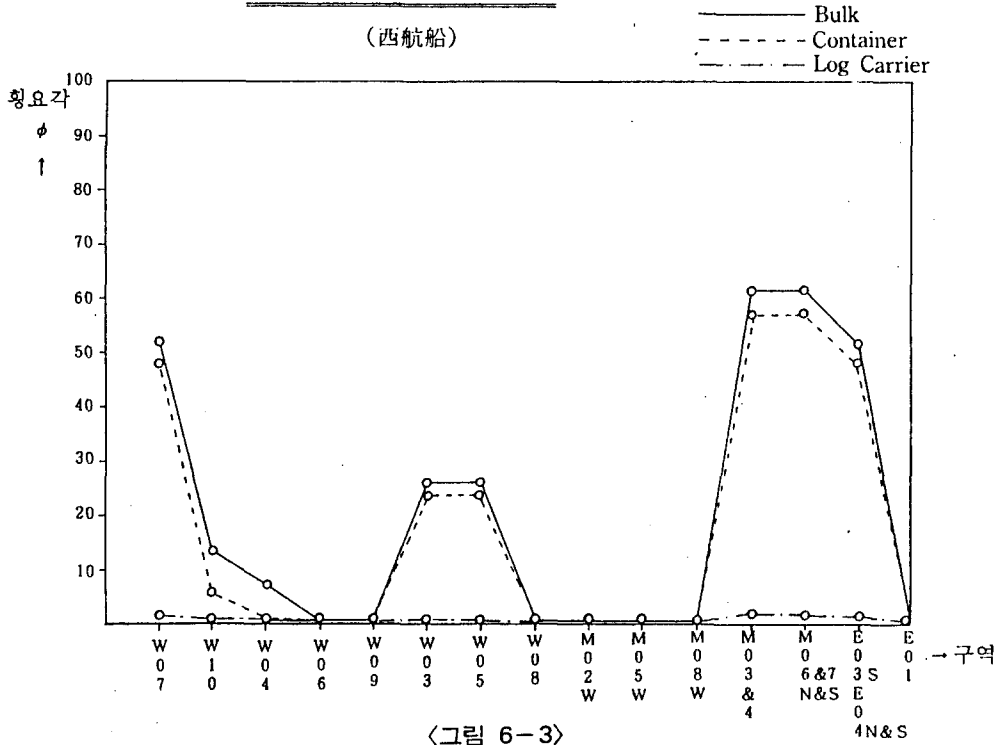
분류	구역			W07			W10			W04			W06			W09		
	DATA	평균풍속 : 50 kt			50			50			50			50			50	
SH: 38' 침로: 90 침로: 90			38 135			38 165			38 180			38 180			38 180			
확률 : 4.3			5.7			6.0			5.5			5.3			5.3			
船 種	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L
φ 평균	32.4	30.1	0.8	8.4	3.7	0.5	4.7	0.6	0.5	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0
φ 1/3	51.8	48.1	1.3	13.5	5.9	0.7	7.5	1.0	0.7	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
φ 1/10	65.9	61.2	1.6	17.1	7.5	0.9	9.6	1.3	0.9	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.1
φ 1/100	86.3	80.2	2.1	22.5	9.8	1.2	12.5	1.7	1.2	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	0.1
분류	구역			W03			W05			W08			M02 W			M 05 W		
	DATA			50			50			50			50			50		
			38 150			38 150			38 180			38 180			38 180			
			4.8			5.3			5.3			8.7			8.7			
船 種	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L
φ 평균	16.2	15	0.3	16.2	15	0.3	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0
φ 1/3	25.8	24	0.6	25.8	24	0.6	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
φ 1/10	32.9	30.5	0.7	32.9	30.5	0.7	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
φ 1/100	43.0	40	0.9	43	40	0.9	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	0.1
분류	구역			M 08 W			M03 & 4			M06 N, S M07 N, S			E 03 S E 04 N, S			E 01		
	DATA			50			50			60			50			20		
			38 180			48 90			48 90			38 90			10 90			
			7.1			9.0			9.0			7.3			5.3			
船 種	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L	B	C	L
φ 평균	0.2	0.2	0.0	38.5	35.9	1.1	38.5	35.9	1.1	32.4	30.1	0.8	1.0	0.9	0.2	1.0	0.9	0.2
φ 1/3	0.3	0.3	0.1	61.4	57.3	1.8	61.4	57.3	1.8	51.8	48.1	1.3	1.5	1.4	0.3	1.5	1.4	0.3
φ 1/10	0.3	0.4	0.1	78.1	73	2.3	78.1	73	2.3	65.9	61.2	1.6	2.0	1.8	0.4	2.0	1.8	0.4
φ 1/100	0.4	0.4	0.1	102.4	95.6	3.0	102.4	95.6	3.0	86.3	80.2	2.1	2.6	2.3	0.5	2.6	2.3	0.5

〈표 6 - 2〉

※ B : Bulk carrier φ 평균 : 평균횡요
 C : Container φ 1/3 : 유의횡요
 L : Log carrier φ 1/10 : 1/10최대횡요평균
 SH : 유의파고 (ft) φ 1/100 : 1/100최대횡요평균
 침로와 파사이의 각

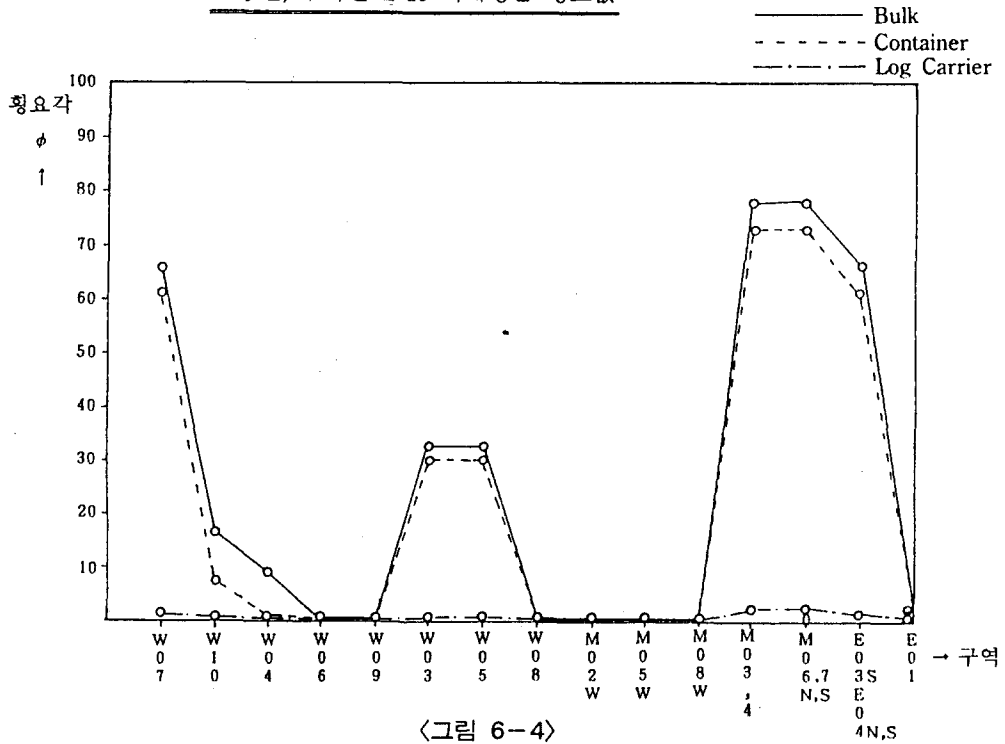
선종별, 구역별 유의 횡요값

(西航船)



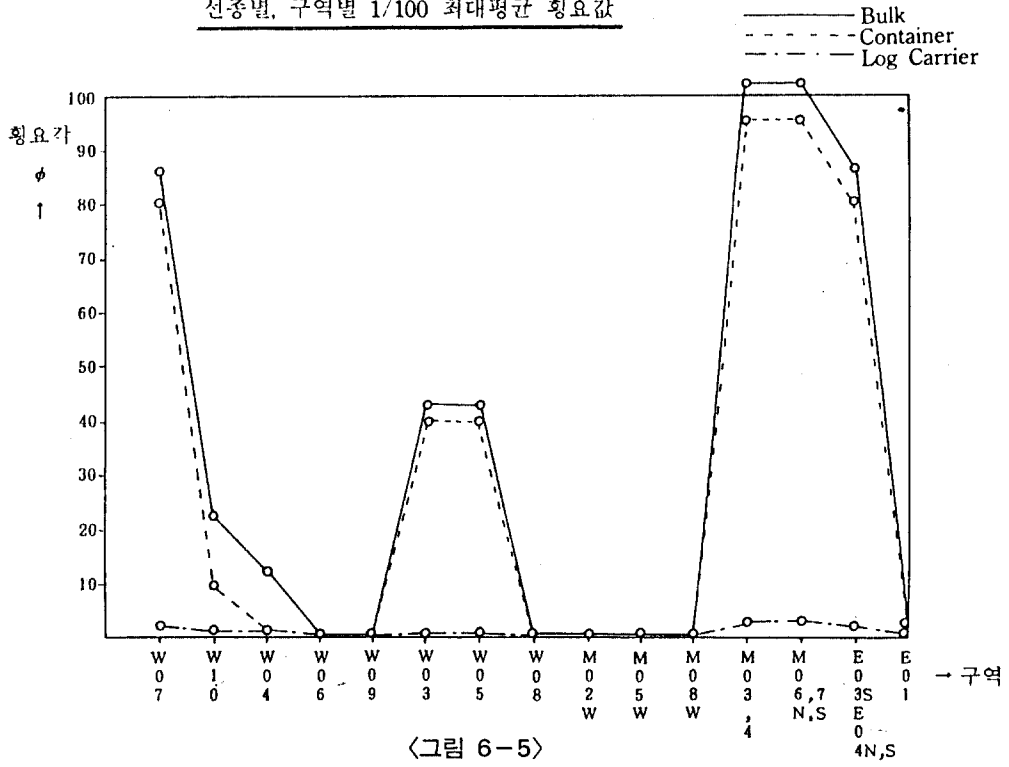
<그림 6-3>

선종별, 구역별 1/10 최대평균 횡요값



<그림 6-4>

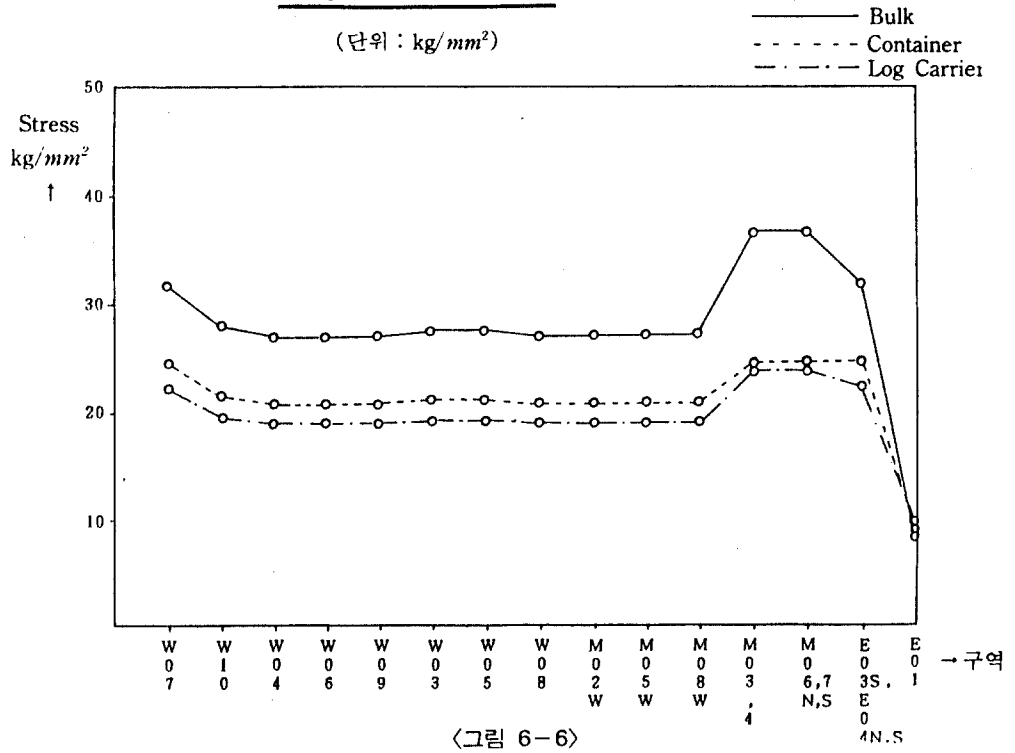
선종별, 구역별 1/100 최대평균 횡요값



〈그림 6-5〉

Longitudinal Stress Curve

(단위 : kg/mm²)



〈그림 6-6〉

〈표 6-3〉 Bending Moment 및 Stress

※ ① 여기의 Bending Moment는 "Mean of the 1/100 height"의 Hogging BM과 Saggign BM 중 큰 쪽의 것으로 사용하였으며 Hogging과 Saggign BM의 표시는 표에서 (H) 및 (S)로

표시됨.(단위 M-ton)

② Stress M_s 에 실제 M_w 를 합한 것에 의한 값과 실제 M_w 에만 의한 값의 두가지로 적었음.
(단위 : kg/mm^2)

소구역	분 류	Bulk carrier	Container	Log carrier	
W07	B. M	(H) 629,123	(S) 269,783	(S) 191,671	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	31.8	24.5	22.3
		실제 M_w	25.1	18.0	16.1
W10	B. M	(H) 535,812	(S) 225,505	(S) 160,309	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	28.1	21.5	19.6
		실제 M_w	21.4	15.0	13.4
W04	B. M	(H) 510,866	(S) 214,076	(S) 152,199	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.1	20.8	19.0
		실제 M_w	20.4	14.3	12.8
W06	B. M	(H) 507,834	(S) 212,697	(S) 151,220	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.0	20.7	18.9
		실제 M_w	20.3	14.2	12.7
W09	B. M	(H) 507,834	(S) 212,694	(S) 151,220	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.0	20.7	18.9
		실제 M_w	20.3	14.2	12.7
W03	B. M	(H) 520,072	(S) 218,276	(S) 155,180	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.5	21.1	19.2
		실제 M_w	20.8	14.6	13.0
W05	B. M	(H) 520,072	(S) 218,276	(S) 155,180	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.5	21.1	19.2
		실제 M_w	20.8	14.6	13.0
W08	B. M	(H) 507,834	(S) 212,697	(S) 151,220	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.0	20.7	18.9
		실제 M_w	20.3	14.2	12.7
M02 W	B. M	(H) 507,834	(S) 212,697	(S) 151,220	
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.0	20.7	18.9
		실제 M_w	20.3	14.2	12.7

소구역	분 류		Bulk carrier	Container	Log carrier
M05 W	B. M		(H) 507,834	(S) 212,697	(S) 151,220
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.0	20.7	18.9
		실제 M_w	20.3	14.2	12.7
M08 W	B. M		(H) 507,834	(S) 212,697	(S) 151,220
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	27.0	20.7	18.9
		실제 M_w	20.3	14.2	12.7
M03 M04	B. M		(H) 745,677	(S) 269,783	(S) 210,684
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	36.5	24.5	23.9
		실제 M_w	29.8	18.0	17.7
M06 N,S M07 N,S	B. M		(H) 745,677	(S) 269,783	(S) 210,684
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	36.5	24.5	23.9
		실제 M_w	29.8	18.0	17.7
E03 S, E04 N,S	B. M		(H) 629,123	(S) 269,783	(S) 191,671
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	31.8	24.5	22.3
		실제 M_w	25.1	18.0	16.1
E01	B. M		(H) 33,908	(S) 44,302	(S) 29,740
	Stress	설계 M_s + 실제 M_w	8.1	9.5	8.7
		실제 M_w	1.4	3.0	2.5

5. 각 海域별 橫揺 및 應力값에 對한 檢討

가. 橫揺에 對한 檢討

北太平洋에서 대권항로에 가까운 항로를 취할 때 횡방향에서 오는 강풍에 조우하는 구역은 미국서 출항할때 통과하여야 하는 W07, W10 해역과 극동가까이 왔을때 통과하여야 하는 M08, M03, M06, M07 및 E03 등이다. 이 구역에서 강풍을 받을 때는 반드시 침로를 수정하여 대각도 횡요를 피하여야 함을 그림 6·5에서 잘 나타내고 있다.

나. 應力에 對한 檢討

북태평양에서는 어느 항로를 취하는간에 50kt 정도의 강풍이 일으키는 파랑에 조우하면 Scudding을 하여 파랑을 선미방향에서 받지 않으면 안된다는 것을 <표 6-3>과 그림 6·6은 잘 말하여 준다. 그렇지 않으면 선박은 조난을 당할 것이라는 것이 거의 확실하다. 각 구역에서 西航船이 50kt

정도의 바람을 받을 수 있는 확률에 관한 문제는 다음의 적당한 기회에 연구하기로 한다.

6. 50kt 바람을 0°와 45°방향에서 받을때의 船體 橫揺값 및 應力값에 對한 計算

50kt의 바람을 0°와 45° 방향에서 받으면서 12.5 kt로 Scudding 할 때의 선체 횡요값과 응력값은 <표 6-4> 및 <표 6-5>와 같다. 단, 응력계산값은

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma_s + \sigma_w + \sigma_f + \sigma_i \\ &= \sigma_s + \sigma_w + 0.4\sigma_w + 0.6\sigma_w \\ &= \sigma_s + 2\sigma_w \end{aligned}$$

에서 σ_f 와 σ_i 를 절반씩 감하여 $\sigma_s = \sigma_s + 1.5\sigma_w$ 로 처리하였다. 즉 Scudding 시 Green Water Flooding에 의한 응력과 Impact에 의한 응력은 선수방향에서 바람과 풍랑을 받을 때 값의 반으로 하여 계산하였다.

〈표 6-4〉 풍력 50 kt, 유의파고 11.5m 일 때의 횡요각

조 우 각 0°				조 우 각 45°		
선 종	광 석 선	콘테이너선	원 목 선	광 석 선	콘테이너선	원 목 선
평 균	2.7	2.7	0.5	9.2	5.0	0.7
1/3	4.3	4.4	0.8	14.7	8.0	1.2
1/10	5.5	5.6	1.0	18.7	10.1	1.5
1/100	7.2	7.3	1.4	24.5	13.3	2.0

〈표 6-5〉 풍력 50 kt, 유의파고 11.5m 일 때의 Scudding 시의 응력값

조 우 각 0°				조 우 각 45°		
선 종	광 석 선	콘테이너선	원 목 선	광 석 선	콘테이너선	원 목 선
평 균	11.5	7.7	4.0	7.0	6.2	3.3
1/3	14.0	12.4	6.4	11.2	9.9	5.3
1/10	17.9	15.8	8.2	14.2	12.6	6.7
1/100	23.5	20.6	10.6	18.5	16.5	8.0

7. 風力별 橫揺각 및 應力값 計算

풍력 30kt, 35kt, 40kt 및 45kt 때의 횡요각 및 응력값은 〈표 6-6〉 및 〈표 6-7〉과 같다.

〈표 6-6〉 정횡과 및 선속 12kt 때의 1/100 최대 횡요각

선종 \ 풍속	30 kt	35 kt	40 kt	45 kt
광 석 선	12°	39°	56°	75°
콘테이너선	11°	36°	52°	69°
원 목 선	1°	1.1°	1.4°	1.8°

〈표 6-7〉 파랑을 선수 25° 방향에서 받을 때의 1/100 최대 선체 응력 (선속 12.5kt)

선종 \ 풍속	30 kt	35 kt	40 kt	45 kt
광 석 선	16 kg/mm ²	20 kg/mm ²	25 kg/mm ²	29 kg/mm ²
콘테이너선	14 kg/mm ²	16 kg/mm ²	20 kg/mm ²	25 kg/mm ²
원 목 선	10 kg/mm ²	14 kg/mm ²	15 kg/mm ²	18 kg/mm ²

VII. 安全航行을 위한 限界海面荒度の 設定 및 荒天時의 避항 操船方法

오늘날의 여러가지 經濟的인 여건하에서는 복원성 및 강도면에서 현재의 선박이 갖는 감항성능보다 우수한 감항성능을 갖는 선박을 건조한다는 것은 사실상 불가능한 일이라고 생각된다.

이러한 사정을 고려할 때 우리는 현재의 선박이 어느 정도의 荒度を 가진 황천항해를 무사히 견디면서 항해할 수 있는가를 아는 것이 안전항해 성취를 위하여 제일 중요한 일임을 알 수 있다. 海面의 荒度を 표시하는 기준은 현재로서는 무엇 보다도 Beaufort Scale로 표시되는 풍력 및 해면상태가 최량의 표준이 된다고 본다. 그리고 선체가 할 수 있는 rolling의 한도는 50°이내의 범위(Log carrier 또는 광석전용선 제외)에서 응력의 한도는 조선용 연철의 비례한도 응력인 20kg/mm²정도가 되어야 할 것이다.

1. 荒天率(또는 황천계수)

선급 규처에 따라서 계산되는 대형선의 설계응

력은 $\sigma_t = \sigma_s + \sigma_w$ 이다. 그러나 이 중에는 Green water flooding에 의한 σ_f 나 또는 Slamming 등에 의한 충격응력 σ_i 는 포함되어 있지 않고 이러한 여분의 응력들은 설계시의 안전율에 포함시키고 있다함은 전술한 바와 같다. 그렇기 때문에 선체가 항해중에 받는 응력이 설계응력의 몇배까지 허용될 수 있는가를 아는것은 안전조건상 필요 불가결한 일이다.

$\sigma_r = \sigma_t + \sigma_i$ 라 두고 σ_r 을 Rough sea에 의한 추가응력이라고 하면 선박이 실제로 받는 응력은 $\sigma_s = \sigma_t + \sigma_w + \sigma_i = \sigma_t + \sigma_i$ 가 된다. 여기서 σ_r/σ_s 의 비를 황천처리계수라 부르기로 하고 C_r 로 표시한다. 선박이 받을 수 있는 응력의 한계는 $C_r \times \sigma_t \leq 20\text{kg/mm}^2$ 의 범위가 되어야 할 것이다. 일반적으로 대형상선의 설계응력 σ_t 는 16kg/mm² 정도가 되므로 $C_r \times 16\text{kg/mm}^2 \leq 20\text{kg/mm}^2$ 가 대형선이 감내할 수 있는 응력의 한계가 된다.

대략의 계산으로 황천처리계수를 계산하면 C_r 는 <표 7-1>과 같은 값이되고 선박의 항해동요상태에 따른 황천처리계수는 <표 7-2>와 같다.

<표 7-1> 응력추정시 처리하여야 할 계수

($\sigma_t = \sigma_s + \sigma_w$ 로 할 때)

응 력 (σ)	설계 $\sigma_t = \sigma_s + \sigma_w$		황 천 σ_r	
	σ_s	σ_w	σ_r	σ_i
비 율	0.4 ($\sigma_s + \sigma_w$) 0.4 σ_t	0.6 ($\sigma_s + \sigma_w$) 0.6 σ_t	0.4 (0.6($\sigma_s + \sigma_w$)) 0.24 σ_t	0.6 (0.6($\sigma_s + \sigma_w$)) 0.36 σ_t
실 제 응 력 σ_{Ai}	0.4 σ_t	1.0 σ_t	1.24 σ_t	1.36 σ_t
황천률 또는 황천 처리 계수	$C_{r0} = 0.4$	$C_{r2} = 1.0$	$C_{r3} = 1.24$	$C_r = \sigma_i$ $C_{r1} = 1.36$ $C_{r5} = 1.6$

<표 7-2> 해면상태와 황천률

(응력추정시 사용)

해 면 상 태	파가 없고 잔잔한 해면	파가 있으나 감관에 물이 올라오지 않고 슬래밍이 없음	파가 크고 감관을 해수가 덮침	파가 크고 해수가 감관을 덮치지 않으나 슬래밍 있음 (공전상태)	파가 크고해수가 감관을 덮치고 슬래밍을 함
황천 처리 계수	$C_{r0} = 0.4$	$C_{r1} = 1.0$	$C_{r2} = 1.24$	$C_{r3} = 1.36$	$C_{r4} = 1.6$

2. 풍속에 따른海面 및 波浪상태

Beaufort scale에 따른 풍속 및 해면의 파랑상태는 <표 7-3>과 같다.

<표 7-3> 풍속에 따른海面 및 파랑상태 (길이ft 단위)

Wind				Sea						
뷰포트 풍력 계급	해면상태	풍속 범위 (kt)	풍속 (kt)	Wave Height			평균 주기	평균 파장 (ft)	최소 웨이치 (mile)	최소풍속 지속시간
				h_{av} (ft)	$h_{1/3}$ (ft)	$h_{1/10}$ (ft)				
7	Moderate gale	28-83	28	8.9	14.3	18.2	7.5	212	230	20
			30	10.3	16.4	20.8	8.0	250	280	23
			30.5	10.6	16.9	21.5	8.2	258	290	24
			32	11.6	18.6	23.6	8.6	285	340	27
8	Fresh gale	34-40	34	13.1	21.0	26.7	9.1	322	420	30
			36	14.8	23.6	30.0	9.6	363	500	34
			37	15.6	24.9	31.6	9.9	376	530	37
			38	16.4	26.3	33.4	10.2	392	600	38
			40	18.2	29.1	37.0	10.7	444	710	42
9	Strong gale	41-47	42	20.1	32.1	40.8	11.3	492	830	47
			44	22.0	35.2	44.7	11.8	534	960	52
			46	24.1	38.5	48.9	12.3	590	1110	57
10	Whole * gale	48-55	40	26.2	41.9	53.2	12.9	650	1250	63
			50	28.4	45.5	57.8	13.4	700	1420	69
			51.5	30.2	48.3	61.3	13.8	736	1560	73
			52	30.8	49.2	62.5	13.9	750	1610	75
			54	33.2	53.1	67.4	14.5	810	1800	81
11	Storm *	56-63	56	35.7	57.1	72.5	15	910	2100	88
			59.5	40.3	64.4	81.8	15.9	985	2500	101
12	Hurricane*	64-71	> 64	>46.6	74.5	94.6	17.9			

3. 安全航行을 위한 海面상태의 限界

VI 장의 構搖와 應력에 關한 수치계산에서 보면 30~35kt까지의 풍력이 일으키는 海面상태는 선박이 파랑을 선수방향에서 받으면서 안전항해가 가

능함을 알 수 있다. 황천처리계수를 이용한 應력 기준의 대형선 선체안전율을 계산은 <표 7-4>와 같다.

<표 7-4> 大型船體安全率 (DMT 5만톤 이상),
設計強度 16kg/mm²에 대한 것

海象 標準	바다가 잔잔하고 파랑이 없는 상태	파랑이 크나 갑판에 해수가 덮치지 않고 슬래밍 없는 상태	파랑이 크고 갑판상에 해수가 덮치나 슬래밍은 없는 상태	파랑이 크고 갑판상에 해수는 덮치지 않으나 슬래밍이 있는 상태	파랑이 크고 해수가 갑판상을 덮치며 슬래밍이 생기는 상태
極限強度 (43 kg/mm ²)	43/0.4 σ _t = 6.7	43/16 = 2.7	C _{r2} 적용 43/(1.24×16) = 2.2	C _{r3} 적용 43/(1.36×16) = 2.0	C _{r4} 적용 43/(1.6×16) = 1.7
항복점 (23 kg/mm ²)	23/0.4 σ _t = 3.6	23/16 = 1.4	23/(1.24×16) = 1.2	23/(1.36×16) = 1.1	23/(1.6×16) = 0.9
比例限度 (20 kg/mm ²)	20/0.4 σ _t = 3.1	20/16 = 1.3	20/(1.24×16) = 1.0	20/(1.36×16) = 0.9	20/(1.6×16) = 0.8

선박이라는 구조물과 사용환경의 성질상 선박의 안전표준은 비제한도의 강도점인 20kg/mm²(mild steel)에 두어야 한다. 만재상태를 기준으로 하여 대형선체의 강도를 생각할 때 갑판상에 해수가 덮치기 시작하면 安全率は 1밖에 안되는 것이고 해수가 덮치고 슬래밍이 시작되면 선체는 파괴된다. 이러한 점에서는 소형선의 안전률이 훨씬 크다.

<표 7-4>를 보면 대형선의 선체강도에 대한 안전률은 우리가 생각하는 것보다 훨씬 작고 선체라는 구조물은 운항환경조건에 비추어 보면 대단히 취약한 구조물이라는 것을 알 수 있다. 이러한 값에 비추어 볼 때 이외로 대형선 선체파손 해난사고가 적은 데 놀라움을 금할 수 없다. 이것은 일선의 선장들이 맹렬한 태풍권을 잘 피하여 항해하고 있기 때문이다.

그러면 어느 정도의 海面상태까지 선체는 건디어 낼 수 있을까하는 의문이 제기된다. VI 장의 수치계산을 따르면 풍력계급 8의 중단계의 풍력이 주는 海面상태로 부터 절실한 위험이 있을 것으로 판단된다. 현행 ABS rule 上에서 길이 250m가 되는 선박에 대한 선체파괴를 계산하여 보면

$$H_w = (4.50L + 0.0071L^2 + 103) 10^{-2} = 7.84m$$

이고 선체길이의 1/32에 해당하는 波高이다.

실제해면에서 비교적 정확하게 파고와 파장관계를 나타내는 식으로 생각되는 $H = 0.607\sqrt{L_w}$ 의 식을 이용하여 L_w 250m에 對한 파고를 계산하면 H = 9.6m 이고 이것은 0.038 L에 해당된다. 이 파고의 출현확률은 10⁻⁵ 정도이고 파의 주기 12.7sec를 기준으로 선박의 一生 동안 이러한 波의 출현빈도를 계산하면 약 81회 정도가 된다. 이것은 매 航海年中 4회 정도의 빈도이고 실제로 우리가 항해하면서 안전을 위하여 최선을 다하여 피항하지 않으면 큰 위험이 수반되는 경험회수와 비슷하다. 이러한 크기의 波가 풍력 7의 말단계로 부터 많이 출현한다는 것을 <표 7-3>은 잘 표시하고 있다.

4. 荒天時의 最良의 避航操船方法

이상의 論述을 통해 살펴볼 때 대형 外洋 항행선의 大洋에서의 황천피항 조선에 대하여 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

- 가. Beaufort scale로 7이 되는 바람과 해면상태에서 부터 필히 속력을 타효유지 가능 속력으로 낮추고 Heave to 조선을 하여야 한다.
- 나. Beaufort scale로 8이 되는 해면상태에서 부터는 Heave to를 중지하고 Scudding 조선을 하여야 한다.
- 다. 북태평양에서 西航하는 선박에게 가장 극렬한 위험을 주는 해역은 북미 서안을 통과할 때 항과하여야 하는 W04, W06, W07, W08 등의 구역과 극동에 가까이 있을 때 항과하여야 하는 M03, M04, M06, M07 및 E03, E04 구역이 된다.

VIII. 結 論

以上の 論述을 통하여 살펴볼 때 大型船舶의 冬季 北太平洋에서의 安全航海 및 荒天操船에 對하여 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

1. 航路에 關하여

- (1) 冬季 北太平洋에서 東航船은 큰 危險없이 航海가 可能하다.(大圈 또는 集成大圈航路)
- (2) 冬季 北太平洋에서 西航船의 最適航路는 Unimak Pass 부근의 北方航路가 되는 경우가 많다.
- (3) 南方航路를 택할 때는 30°N 以南까지 내려오는 것이 좋다.
- (4) 冬季 北太平洋에서 西航하는 船舶에게 상당한 危險을 주는 海域은 北美西岸의 W04, W06, W07 및 W08 등의 區域이고 가장 極렬한 危險을 주는 海域은 캄차카 半島 부근의 M03, M04, M06, M07 및 極東北方의 E03, E04 등의 區域이다.

2. 荒天時 避航操船에 關하여

- (1) Beaufort Scale로 7이 되는 氣象 및 海象狀態로 부터 船速을 舵効維持可能速력으로 낮추고 heave to 操船을 하는 것이 좋다.
- (2) Beaufort Scale로 8이 되는 氣象 및 海象狀態로 부터는 heave to를 中止하고 Scudding 操船을 하여야 한다.

- (3) 모든 船舶은 極렬한 荒天속에서 正橫에서 오는 大波浪을 避할 針路를 잡아야 하며 特別히 夜間에 이러한 海面狀態에 조우할 우려가 있을 때에는 Scudding 등으로 미리미리 安全한 避航操船을 取하는 것이 安全運航上 좋다.

3. 船舶의 耐航性能에 關하여

오늘날의 大型商船은 經濟的인 理由로 極렬한 荒天속에서 構造上의 安全性이 完全하게 確保될 수 있는 程度로 強力하게 建造된 船舶은 아니다.

이러한 點은 船長이나 陸上의 船舶會社 運航管理責任者가 共히 알아야 할 重要한 事項이다.

參 考 文 獻

- 1) 尹點東, 巨大型船 操船論, 亞成出版社, 釜山, pp.78-98, 1983.
- 2) 尹點東, 船舶運用의 理論과 實務, 第一文化社, 釜山, pp.166-185, 1983.
- 3) 閔丙彦, 海洋氣象學, 亞成出版社, 釜山, pp. 133-136, 377-390, 1973.
- 4) 梁在穆, 海洋學, 太和出版社, 釜山, pp.189-200. 1976.
- 5) 俞洪善, 海洋物理學概論, 集文堂, 서울, pp. 156-182, 1982.
- 6) 李錫祐, 物理海洋學通論, 集文堂, 서울, pp.91-130, 1983.
- 7) 大韓民國水路局, 大洋航路誌, 洪元商社, 서울, pp.26-35, 1967.
- 8) 日本海技協會, 船長의 運航技術管理, 成山堂, 東京, pp.1-14, 1985.
- 9) 永田豐, 海流의 物理, 講談社, 東京, pp.38-45.
- 10) Rameswar Bhattacharyya, Dynamics of Marine Vehicles, Jhon Wiley & Sons Co., New York, pp.121-170, 1972.
- 11) Group of Authorities, Principles of Naval Architecture, Shipbuilding and Drydock Co., New York, pp.235-268, 1977.
- 12) William L. Donn, Meteorology, New York, pp. 399-408, 1951.

- 13) Stephen Pond, Introductory Dynamic Oceanography, William Clowes & Sons., London, pp. 119-123, 1978.
- 14) Yoshifumi TAKAISHI 外 3名, Winds and Waves of the North Pacific Ocean, Ship Research Institute, Tokyo, p.8,11,38, 1980.
- 15) Franklyn Cole, Introduction Meteorology 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, pp.179-272, 1975.
- 16) George J. Haltiner & Frank R. Martin, Dynamical and Physical, McGraw-Hill, New York, pp.415-453, 1957.
- 17) H. V. Sverdrup 外 2名, The Ocean-their physics, Chemistry & General biology, Prentice-Hall, Englewood, N. J., pp.431-515, 1954.
- 18) 少田建 外 6名, ウェザールーティンクの現状と将来, 航海ジャーナル5號, pp.14-23, 1981.
- 19) 須田建 外 5名, 冬季 北太平洋における ウェザールーティンク, 日本航海學會論文集, 67號, pp.149-154, 1982.
- 20) 田中一雅, 鑛石運搬船の船首底衝激による“過波 振動曲げモーメントと 波浪曲げモーメント かう 具と 可航限界に つこ,” 日本航海學會論文集, pp.137-143, 1982.
- 21) 田中岩吉 外 5名, “ラクン 材輸送上の 安全性に關する 實驗的研究,” 日本航海學會誌, pp. 51-59, 1959.
- 22) 半澤正男, “海況予報 と 海難,” 日本航海學會誌 第87號, pp.50-54, 1987.
- 23) 田中一雅, “船體縦強度に おける耐航性につんこー北太平洋 波浪 デークによる検討,” 日本航海學會誌 第88號, pp.41-47, 1987.
- 24) 美浦匡彦, “冬季 北太平洋 横斷航海一特に 西航横斷航海に つんこ,” 日本航海學會誌 第62號, pp.1-8, 1979.
- 25) 井上篤次郎, “波の 異常波高に つんこ,” 日本航海學會誌 第49號, pp.35-39, 1976.
- 26) 岩田直榮, “經驗的 北太平洋航路に つんこ,” 日本航海學會誌 第70號, pp.32-37, 1981.
- 27) 須田建 外 5名, “冬季 北太平洋に おける ウェザールーティンク”の手法に つんこ” 日本航海學會誌 第65號, pp.135-149, 1981.
- 28) 三井敏夫, “冬季 北太平洋 西航大型船こ” 遭遇した 荒天體驗 かうの 提言,” 日本航海學會誌 第76號, pp.38-48, 1983.
- 29) 須田建 外 3名, “冬季 北太平洋に おける 高層 奇想と 波浪分布,” 日本航海學會誌 第81號, pp.25-36, 1984.