

論 文

# 航海中 船舶 積載貨物의 動的 安全性 評價에 관한 研究

김 철 승\* · 김 순 갑\*\*

On the Evaluation of the Dynamic Safety of the Ship's Cargo at Sea

*Chol-Seong Kim · Soon-Kap Kim*

〈 목 차 〉

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Abstract                      | 3. 2 RACKING 하중에 대한 강도                   |
| 1. 서론                         | 3. 3 적재 위치에 따른 STACKING 및 RACKING 하중의 분석 |
| 2. 화물의 동적 안전성 평가 요소           | 3. 4 위험 판정 요소의 선정                        |
| 2. 1 동적 안전성 평가 요소의 채택         | 4. 화물의 동적 안전성 평가                         |
| 2. 2 해양파 스펙트럼                 | 4. 1 평가방법 및 한계치                          |
| 2. 3 동적 안전성 평가 요소의 분산치        | 4. 2 한계표준편차                              |
| 2. 4 수치계산 조건                  | 4. 3 평가치                                 |
| 2. 5 적재 위치에 따른 상하, 좌우 방향의 가속도 | 4. 4 위험도                                 |
| 3. 화물의 동적 안전성 평가를 위한 위험 판정 요소 | 5. 결론                                    |
| 3. 1 STACKING 하중에 대한 강도       | 참고문헌                                     |

## Abstract

One of the most important missions that are imposed on merchant ship at sea is to accomplish the safe transportation of cargo loaded. Recently, a study on the seakeeping performance has been carried out on the development of evaluation system related to the synthetic safety of a ship at sea. The seakeeping performance is the ship's ability sailing at, and executing its mission against adverse environmental factors successfully and safely. Until now, however, there has not been any method of quantitative evaluation on the dynamic safety of the ship's cargo loaded. In this regards, this paper has introduced the evaluation method of dynamic safety of the ship's cargo.

\* 정회원, 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 석사과정  
 \*\* 정회원, 한국해양대학교 해사수송과학부 교수

In order to evaluate the dynamic safety of cargo, the vertical and lateral acceleration which causes the collapse, racking and local structure failure of cargo was adopted as the evaluation factors in the ship's motions.

The response amplitude of ship's motions in regular waves is manipulated by NSM (New Strip Method) on a given 2,700 TEU full container vessel under the wind forces of 7, 8 and 9 Beaufort scale. Each response of ship's motions induced by NSM was applied to short-crested irregular waves for stochastic process on evaluation factors and then the vertical and lateral acceleration of each cargo was compared with significant amplitude of each acceleration.

A representative dangerous factor was determined by comparing permissible values of stacking and racking forces occurred typically to the vertical and transverse directions with the container strength required on ISO 1496 at the positions of forecabin, poop and ship's midship respectively.

Through the occurrence probability of the determined factor by Rayleigh's probability density function, the dangerousness which limits loads on container's side wall as an evaluation was applied in judging of the danger of the ship's cargo loaded.

## 1. 서 론

대양을 항해하는 선박에 부여되는 임무는 불규칙한 해상에서 바람, 파랑 등의 외력에 대응하여 선체, 화물 및 인명의 안전을 확보하며 선박을 운항하여 항해의 목적을 달성하는 것이라고 할 수 있다. 파랑중을 항해하는 선박의 종합적인 안전도를 평가하는 일반적인 방법으로 내항성능 평가를 이용하는 방법이 있으며 이것은 선체, 승무원 및 탑재기기로 이루어진 인간-기계 시스템에 대한 선박의 파랑중 성능평가를 말한다. 내항성능 평가에 관하여 최근까지 연구되어진 방법으로는 기존의 내항성능 평가 요소 사이의 상관관계를 밝혀 한 요소를 기준 요소로 내항성능을 종합적으로 평가할 수 있는 방법과 선박운항자들의 감각적인 면을 고려한 중요 운동과 횡요 운동을 평가 요소로 채택하여 신뢰성 공학적 이론을 바탕으로 평가치를 계산하는 방법 및 선박종류별 또는 각 적재상태에 따른 선박 고유능력에 맞추어서 내항성능을 평가하는 방법 등이 있다.<sup>(1, 4)</sup> 한편, 황천시의 피항 조선의 상태에 관한 앙케이트 조사에 의하면, 선박운항의 책임자인 선장은 황천과 조우시에 선박의 종합적인 안전에 앞서 상선 고유의 임무인 화물의 안전한 수송에 먼저 관심을 갖고 자신의 경험적인

판단과 기량에 의존하여 적당히 침로와 선속을 조정하여 위험을 회피해 왔다는 것을 알 수 있다.<sup>(5)</sup>

최근에 건조되어 운항되고 있는 선박들은 각종 운항 자동화 장비들의 탑재와 더불어 항해기술도 첨단 장비들을 사용함으로써 시간, 장소, 해상에 관계없이 수시로 정확한 선위를 구할 수 있으며, 기상 및 해상 분석과 이에 따른 예보 시스템의 발달로 수신된 기상, 해상 정보에 의해 선박운항자는 자신이 향후 어떤 기상과 해상을 조우할 것인지를 미리 예측할 수 있게 되었다. 따라서, 적재화물의 현재 상태와 다가올 미래 해상에 대한 화물의 안전 여부를 미리 예측하여 고도의 안전성을 가지고 최적의 항로와 속력을 택하여 가장 경제적인 해상 수송을 하기 위하여는 각 위치에 적재된 화물의 동적 거동을 정확히 파악함과 더불어 황천과 조우시에 선박운항자가 객관적이고도 정량적인 방법으로 적재화물의 동적 안전성을 파악할 수 있는 평가방법의 개발이 요구되어 진다.

항해중 선체동요로 인하여 선박에 적재한 화물의 안전한 수송을 방해하는 위험현상으로는 청파현상 (Deck Wetness), 선체 대동요 및 과대항가속도 등에 의한 화물의 붕괴 및 이동에 의한 손상 등을 들 수 있다. 이 중에서 화물의 붕괴 및 이동에 직접적인 영향을 미친다고 판단되는 파랑 중

에서의 화물의 동하중을 구하기 위하여 선박 임의의 위치에서 상하, 좌우 방향의 가속도를 화물의 동적 안전성 평가요소로 채택한다.

본 연구에서는 항해중 동적 하중으로 인한 화물의 손상과 밀접한 관련이 있는 건 화물선 중에서 화물이 규격화되어 있어 선박 각 위치에서 화물의 동적 거동을 용이하게 비교할 수 있는 컨테이너선을 채택하여 화물의 동적 안전성 평가를 실시해 보았다. 먼저, 과량 중에서 선박의 6 자유도 운동 응답치를 NSM (New Strip Method)으로 구하고, 이를 불규칙 해상상태에 적용하여 화물의 동적 안전성 평가 요소로 채택한 상하, 좌우 방향 가속도의 확률과정을 구한다. 그리고 이에 대한 1/3 유의 진폭치를 사용하여 선박의 종 방향, 횡 방향 및 상하 방향으로 각각 적재된 화물에 걸리는 상하, 좌우 방향의 가속도를 비교 검토하여 선박 각 위치에 적재된 화물의 동적 거동을 분석한다. 그리고 컨테이너 강도 중에서 상하, 좌우 방향으로 발생하는 전형적인 위험현상인 Stacking 하중 및 Racking 하중에 대한 강도를 선택하고, 이에 대하여 ISO에서 규정된 허용치와 선체 각 위치에 적재된 컨테이너가 받는 각각의 하중치와의 비교를 통하여 평가 요소 중에서 컨테이너 화물의 대표적인 동적 안전성 위험 판정 요소를 결정한다. 그리고 결정된 평가 요소에 대한 한계 가속도 및 한계발생확률을 설정하고 임의의 위치에 적재된 컨테이너의 동적 안전성을 위험도로서 판단하는 방법을 적용하여 선박운항자가 각 선속 및 해상상태에서 화물의 안전성을 정량적으로 판단할 수 있도록 하는 평가방법을 제안하였다.

## 2. 화물의 동적 안전성 평가 요소

### 2.1 동적 안전성 평가 요소의 채택

불규칙한 해상을 항해하는 선박에서 바람과 파랑 등의 외력으로 인해 발생하는 위험 현상은 크게 다음 두 가지로 나눌 수가 있다.

첫째 풍파로 인한 속도 저하에 따른 조종불량으로 야기되는 타선과의 충돌 및 좌초 위험, 프로펠

러 노출에 따른 주추진 기관의 레이싱과 슬래밍에 의한 선저 및 갑판 장비의 손상 그리고 과대한 중압힘 모우먼트에 의한 선체의 파손 등 선박 자체에 손상을 주는 것이 있다. 그리고 둘째로는 청파현상 (Deck Wetness), 선체 대동요 및 과대한 상하, 좌우 방향의 가속도 등에 의한 화물의 붕괴 및 이동에 의한 손상 등 적재 화물의 안전한 수송에 방해가 되는 것이다.

적재 화물의 안전한 수송에 방해가 되는 위험 현상 중에서도 청파현상은 갑판적 화물 및 선체 일부분에 국한되어 발생하고, 선체 대동요로 인한 위험 현상은 중력가속도의 성분에 관련되어 있어서 결국 상하, 좌우 방향으로 미치는 가속도에 중력성분에 대한 영향을 동시에 고려할 수 있다고 생각된다. 따라서, 선체운동에 관련된 연구결과로써 선박의 초기 설계 단계에서 많이 응용되고 있으며 선박구조물과 탑재기기의 취부강도 및 성능을 파악하여 선박의 항행한계를 결정할 수 있고, 특히 화물의 동적 안전성 판단에 필요한 적재물의 고박강도 및 적재물에 작용하는 하중을 검토할 수 있는 선박의 상하, 좌우 방향의 가속도를 평가 요소로 채택한다. 그리고 이를 사용하여 화물의 이동에 의한 손상 및 붕괴에 직접적인 영향을 미친다고 판단되는 적재 화물의 동하중을 구하고, 선박 길이 방향, 폭 방향, 깊이 방향으로 적재된 화물에 대해 각각의 위치에서 상하 및 좌우 방향의 가속도를 비교 검토한다.

### 2.2 해양파 스펙트럼

바람에 의해 발생한 파를 완전발달파라 하고, 불규칙한 해상상태를 해석하기 위하여 일반적으로 해양파를 다음과 같이 가정한다.

- 1) 일정한 주기로 측정된 파고의 분포는 정규분포를 따른다.
- 2) 파고의 극치분포는 Rayleigh 분포를 따른다.
- 3) 불규칙한 파의 파형은 서로 다른 파장과 파고를 가진 여러 규칙파의 중첩이다.

위와 같은 가정하에 해양학자들은 여러 가지 이론적인 해양파 스펙트럼을 제안해 왔다. 여기에서는

1964년 국제 선체구조회의(ISSC)에서 채용한 장파정 해양파 스펙트럼인 Modified Pierson-Moskowitz 형 스펙트럼을 사용하였다.<sup>(6)</sup>

해양파 스펙트럼을  $S_{\zeta}(\omega)$  이라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$S_{\zeta}(\omega) = A\omega^{-5} \exp(-B\omega^{-4}) \quad (1)$$

여기에서, 계수 A, B는 어떤 해상 상태에서 다음 식을 만족하도록 결정되어진다.

$$H_{1/3} = 4\sqrt{m_0} \quad : \text{유의 평균파고} \\ T_0 = 2\pi(m_0/m_1) \quad : \text{유의 평균파 주기} \quad (2)$$

식 (2)의  $m_0, m_1$ 은 다음 식에 의해 구해진다.

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S_{\zeta}(\omega) d\omega \quad (3)$$

결국, P-M (Modified Pierson-Moskowitz)형 Spectrum은 다음과 같이 된다.

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{\pi}{2} \cdot 0.11(H_{1/3})^2 T_0 \left(\frac{T_0}{2\pi}\omega\right)^{-5} \\ \exp\left\{-0.44\left(\frac{T_0}{2\pi}\omega\right)^{-4}\right\} \quad (4)$$

여기에서, Beaufort Scale에 따라서 표현한 각 해상상태에서 유의 파고의 크기와 평균파 주기는 Table 1과 같다. 한편, 장파정파 (Long Crested Wave) 스펙트럼과는 달리 실제 해상에 가깝게 표현하기 위하여 파도의 방향까지를 고려한 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega, \theta)$ 를 다방향파 스펙트럼 또는 단파정파 (Short Crested Wave) 스펙트럼이라 한다.

파 스펙트럼의 방향성 분포가 파의 평균 진행 방향에 대해  $-\pi/2 \sim \pi/2$  범위에서 분포하고 그 이외의 범위에서는 Zero로 가정하면 방향 성분을 고려한 단파정 해양파 스펙트럼은 다음과 같이 표현된다.<sup>(7)</sup>

$$S_{\zeta}(\omega, \theta) = S_{\zeta}(\omega) \cdot f(\theta) \quad (5)$$

여기서  $f(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta$  (단,  $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ ) 라 하면,

$$S_{\zeta}(\omega, \theta) = \frac{2}{\pi} S_{\zeta}(\omega) \cos^2 \theta \quad ; \\ \left(\text{단, } -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right) \\ = 0 \quad ; \text{ 그 밖의 경우} \quad (6)$$

단,  $\theta$ 는 파의 평균 진행 방향과 요소파가 이루는 각도

만남 주파수와 파도의 원주파수 사이에는  $\omega_e = \omega(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \chi)$ 의 관계가 성립하므로 만남 주파수  $\omega_e$  영역의 만남파 스펙트럼의 계산은 다음과 같이 된다.

$$\frac{d\omega_e}{d\omega} = 1 - \frac{2\omega V}{g} \cos \chi \\ d\omega_e = \left(1 - \frac{2\omega V}{g} \cos \chi\right) d\omega \quad [\text{rad/sec}] \quad (7)$$

파도의 원주파수  $\omega$ 와 이에 대응하는  $\omega_e$ 를 갖는 스펙트럼 아래의 면적은 크기가 서로 같아야 하므로

$$S_{\zeta}(\omega) d\omega = S_{\zeta}(\omega_e) d\omega_e \\ S_{\zeta}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega) \frac{d\omega}{d\omega_e} \quad (8)$$

따라서,

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{S_{\zeta}(\omega)}{1 - (2\omega V/g) \cos \chi} [m^2 \cdot \text{sec} / \text{rad}] \quad (9)$$

Table 1 Beaufort Scale and Wave characteristics

| Beaufort Scale | Mean Wave Period $T_0$ (sec) | Significant Wave Height $H_{1/3}$ (m) |
|----------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 7              | 8.90                         | 5.30                                  |
| 8              | 10.30                        | 7.10                                  |
| 9              | 11.70                        | 9.21                                  |
| 10             | 13.10                        | 11.50                                 |

### 2.3 동적 안전성 평가 요소의 분산치

선박이 단파정 불규칙 파중을 일정 속도로 일정한 침로  $\chi$ 를 유지하여 항해하고 있는 경우, 선체 운동 응답계산을 위한 N.S.M. (New Strip Method)에 의해 구해진 임의의 평가 요소의 확률과정  $X_i(t)$ 의 주파수 응답함수를  $H_{x_i}(\omega, V, \chi - \theta)$ 라 하면 P-M형 스펙트럼  $S_{x_i}(\omega, \chi)$ 는 다음과 같다.<sup>(8)</sup>

$$S_{x_i}(\omega, \chi) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |H_{x_i}(\omega, V, \chi - \theta)|^2 \cdot S_{\zeta}(\omega, \theta) d\theta \quad (10)$$

또한, 확률과정  $X_i(t)$ 의 분산치  $\sigma_{x_i}^2$ 는 다음과 같다.

$$\sigma_{x_i}^2(\chi, V, S) = \int_0^{\infty} S_{x_i}(\omega, \chi) d\omega \quad (11)$$

식 (11)의 분산치를 변화시키는 변수는 선박과 파와의 만남각 ( $\chi$ ), 선박의 속도 ( $V$ ), 해상상태 ( $S$ )가 된다. 스펙트럼이 식 (10)과 같이 표현될 경우에 임의의 평가 요소의 확률과정  $X_i(t)$ 는 다음과 같이 표현되어 진다.

$$X_i(t) = \int_0^{\infty} \sqrt{2S_{x_i}(\omega, \chi)} d\omega \cdot \cos(\omega t + \phi_i) \quad (12)$$

단,  $\phi_i = \epsilon_i(\omega) + \gamma_i$ 이고  $\gamma_i$ 는  $0 \sim 2\pi$ 까지 랜덤하게 일양분포하는 위상각이다. 한편, 평가 요소의 분산치를 구하기 위한 좌표계는 파랑 중에서 선체 운동 응답치를 구하기 위해 사용된 좌표계를 이용한다.

#### 2.3.1 상하 방향의 가속도

선체의 임의의 위치  $P(x, y, z)$ 에서 일어나는 상하 가속도  $A_r(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_r(t) &= \ddot{z}_G(t) - (x - x_G) \ddot{\theta}(t) + y \ddot{\phi}(t) \\ &= A_{r_z}(t) \cos(\omega_e t + \epsilon_{A_r}) \end{aligned} \quad (13)$$

단,  $A_{r_z}(t) = \sqrt{A_{r_z}^2 + A_{r_y}^2}$

$$A_{r_z} = -\omega_e^2 \{ z_a \cos \epsilon_z - (x - x_G) \theta_a \cos \epsilon_\theta + y \phi_a \cos \epsilon_\phi \}$$

$$A_{r_y} = -\omega_e^2 \{ z_a \sin \epsilon_z - (x - x_G) \theta_a \sin \epsilon_\theta + y \phi_a \sin \epsilon_\phi \}$$

$$\epsilon_{A_r} = \tan^{-1}(-A_{r_y}/A_{r_z})$$

$x$  =  $x$ 가  $x_G$ 보다 선수 쪽이면 “-”

$y$  = Weather side가 “+”

$\ddot{z}_G(t)$  = 상하운동의 가속도

$\ddot{\theta}(t)$  = 종운동의 가속도

$\ddot{\phi}(t)$  = 횡운동의 가속도

$A_{r_i}(t)$ 의 무차원화한 진폭응답함수  $H_{A_{r_i}}(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} H_{A_{r_i}}(t) &= A_r(t) / (\zeta_a \cdot g/L) = \\ &= \sqrt{A_{r_z}^2 + A_{r_y}^2} \cos(\omega_e t + \epsilon_{A_r}) \end{aligned} \quad (14)$$

단,  $A_{r_z} = \{ -\omega_e^2 / (g/L) \} \{ H_Z \cos \epsilon_z - K(x - x_G) H_\theta \cos \epsilon_\theta + Ky H_\phi \cos \epsilon_\phi \}$

$$A_{r_y} = \{ -\omega_e^2 / (g/L) \} \{ H_Z \sin \epsilon_z - K(x - x_G) H_\theta \sin \epsilon_\theta + Ky H_\phi \sin \epsilon_\phi \}$$

$$\epsilon_{A_r} = \tan^{-1}(-A_{r_y}/A_{r_z})$$

$$H_Z = \frac{Z_a}{\zeta_a} : \text{상하운동 진폭응답함수}$$

$$H_\theta = \frac{\theta_a}{K \zeta_a} : \text{종운동 진폭응답함수}$$

$$H_\phi = \frac{\phi_a}{K \zeta_a} : \text{횡운동 진폭응답함수}$$

$A_\theta(t)$ 의 주파수 응답함수를  $H_{A_\theta}(\omega_e)$ 라 하면  $A_\theta(t)$ 의 스펙트럼  $S_{A_\theta}(\omega_e)$ 는 다음 식 (15)와 같다.

$$S_{A_t}(\omega_e) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_{A_t}(\omega_e)|^2 \cdot (g/L)^2 \cdot S_{\zeta}(\omega_e, \theta) d\theta \quad (15)$$

그리고, 상하 가속도  $A_b(t)$ 의 분산치  $\sigma_{A_t}^2$ 은 다음 식 (16)과 같다.

$$\sigma_{A_t}^2 = \int_0^{\infty} S_{A_t}(\omega_e) d\omega_e \quad (16)$$

### 2.3.2 좌우 방향의 가속도

선체의 임의의 위치  $P(x, y, z)$ 에서 일어나는 좌우 가속도  $A_t(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_t(t) &= y_G''(t) + (x - x_G)\ddot{\phi}(t) \\ &\quad - (z - z_G)\ddot{\phi}(t) + g \cdot \sin \phi(t) \\ &= A_{t_s}(t) \cos(\omega_e t + \varepsilon_{A_t}) \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{단, } A_{t_s}(t) = \sqrt{A_{t_x}^2 + A_{t_y}^2}$$

$$\begin{aligned} A_{t_x} &= -\omega_e^2 \{y_a \cos \varepsilon_y + (x - x_G)\phi_a \cos \varepsilon_{\phi} \\ &\quad - (z - z_G)\phi_a \cos \varepsilon_{\phi} - (g/\omega_e^2)\phi_a \cos \varepsilon_{\phi}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{t_y} &= -\omega_e^2 \{y_a \sin \varepsilon_y + (x - x_G)\phi_a \sin \varepsilon_{\phi} \\ &\quad - (z - z_G)\phi_a \sin \varepsilon_{\phi} - (g/\omega_e^2)\phi_a \sin \varepsilon_{\phi}\} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{A_t} = \tan^{-1}(-A_{t_x}/A_{t_y})$$

$z = z$ 가  $z_G$ 보다 상방에 있을 때를 “+”

$$y_G''(t) = \text{좌우운동의 가속도}$$

$$\ddot{\phi}(t) = \text{선수운동의 가속도}$$

$g \cdot \sin \phi(t)$  = 선체가 횡경사할 때 발생하는 중력가속도의  $y$ 축 방향의 성분

$A_t(t)$ 의 무차원화된 진폭응답함수  $H_{A_t}(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_{A_t}(t) &= A_t(t)/(\zeta_a \cdot g/L) = \\ &= \sqrt{A_{t_x}^2 + A_{t_y}^2} \cos(\omega_e t + \varepsilon_{A_t}) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } A_{t_x} &= \{-\omega_e^2/(g/L)\} \{H_y \cos \varepsilon_y \\ &\quad + (x - x_G)KH_{\phi} \cos \varepsilon_{\phi} - (z - z_G)KH_{\phi} \cos \varepsilon_{\phi} \\ &\quad - (g/\omega_e^2)KH_{\phi} \cos \varepsilon_{\phi}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{t_y} &= \{-\omega_e^2/(g/L)\} \{H_y \sin \varepsilon_y \\ &\quad + (x - x_G)KH_{\phi} \sin \varepsilon_{\phi} - (z - z_G)KH_{\phi} \sin \varepsilon_{\phi} \\ &\quad - (g/\omega_e^2)KH_{\phi} \sin \varepsilon_{\phi}\} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{A_t} = \tan^{-1}(-A_{t_x}/A_{t_y})$$

$$H_y = \frac{y_a}{\zeta_a} : \text{좌우운동 진폭응답함수}$$

$$H_{\phi} = \frac{\phi_a}{K\zeta_a} : \text{선수운동 진폭응답함수}$$

$A_t(t)$ 의 주파수 응답함수를  $H_{A_t}(\omega_e)$ 라 하면  $A_t(t)$ 의 스펙트럼  $S_{A_t}(\omega_e)$ 는 다음 식 (19)과 같다.

$$\begin{aligned} S_{A_t}(\omega_e) &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_{A_t}(\omega_e)|^2 \\ &\quad \cdot S_{\zeta}(\omega_e, \theta) d\theta \end{aligned} \quad (19)$$

그리고, 좌우 가속도  $A_t(t)$ 의 분산치  $\sigma_{A_t}^2$ 은 다음 식 (20)과 같다.

$$\sigma_{A_t}^2 = \int_0^{\infty} S_{A_t}(\omega_e) d\omega_e \quad (20)$$

## 2.4 수치계산 조건

수치계산에 사용된 대상 선박은 현재 운항되고 있는 Lpp = 226.7m의 2,700 TEU급 Full Container 선이며, 그 제원 및 주요 목은 Table 2와 같다. 대상 선박은 40FT 컨테이너를 갑판상에 660개, 화물창에 674개만큼 적재한 상태이며, 컨테이너 한 개당 총중량(Metric Ton)은 20.0 MT/FEU (4TRon Deck) 및 30.0 MT/FEU (In Hold) 상태이다.



Table 2 Principal Particulars of the Container Ship used for Experiment

| ITEMS                            |                      | DIMENSION |
|----------------------------------|----------------------|-----------|
| Length P.P.                      | L <sub>pp</sub> (m)  | 226.7     |
| Breadth                          | B (m)                | 32.2      |
| Depth                            | D (m)                | 19.0      |
| Mean Draft                       | d <sub>m</sub> (m)   | 11.655    |
| Displacement Volume              | (m <sup>3</sup> )    | 56,915.6  |
| Block Coefficient                | C <sub>b</sub>       | 0.6489    |
| Length-Breadth Ratio             | L/B                  | 7.04      |
| Breadth-Draft Ratio              | B/D                  | 2.76      |
| Height of C.G.                   | KG(m)                | 14.346    |
| Metacentric Height               | GM(m)                | 0.775     |
| Rolling Period                   | T <sub>R</sub> (sec) | 24.96     |
| K <sub>yy</sub> /L <sub>pp</sub> |                      | 0.3044    |
| K <sub>xx</sub> /B               |                      | 0.3370    |

화물창에 적재된 컨테이너의 경우 Cell 구조에 의하여 컨테이너의 수평 이동이 억제되므로 계산에 사용된 컨테이너는 Fig.1과 같이 갑판상 선수, 선미 및 선체 중앙에 적재된 컨테이너 중에 상하, 좌우 방향으로 12곳을 채택한다. 컨테이너 적재 위치의 표시로는 예를 들어, Bay No. 02, Slot No.00, Tier No. 81의 경우에는 P 01로 적부 위치를 나타내며, 그 곳의 상하, 좌우 방향의 가속도의 1/3 유의진폭치는 Av1, At1 등으로 표시하기로 한다.

## 2.5 적재 위치에 따른 상하, 좌우 방향의 가속도

1/3 유의진폭치를 사용하여 컨테이너의 적재 위치에 따른 상하, 좌우 방향의 가속도를 비교한다. 선체 가속도의 확률과정  $X_i(t)$ 는 Gauss 분포이고, 그 극치분포가 Rayleigh 분포를 따른다고 가정하면, 분산치  $\sigma_{x_i}^2$ 를 이용하여 임의의 위치에서 상하, 좌우 방향 가속도의 1/3 유의진폭치를 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>(9)</sup>

$$A_{i/3} = 2.002\sqrt{\sigma_{Ar}^2} \quad (\text{상하 방향의 가속도})$$

$$A_{i/3} = 2.002\sqrt{\sigma_{Al}^2} \quad (\text{좌우 방향의 가속도})$$

(21)

## 2.5.1 선박 길이 방향의 적재 위치에 따른 계산결과

상하 가속도의 경우, Fig. 2~7 (a)에서 선체 중심선상 하단에 적재된 컨테이너 (Av1, Av2, Av3) 및 (b)에서 좌현 하단에 적재된 컨테이너 (Av7, Av8, Av9)에 각 선속, 해상상태 및 파와의 만남각에 따른 상하 가속도의 1/3 유의진폭치를 표시한다. 길이 방향의 적재 위치에 따른 상하 가속도의 크기는 선미, 선수에서 크게 발생하고 선체 중앙에 적재된 경우에 상당히 작게 발생하는 경향을 보인다. 선수미에 적재된 컨테이너의 경우는 파와의 만남각이 180°에서 0°쪽으로 갈수록 상하 가속도의 크기가 작아지고, 선체 중앙에 적재된 컨테이너의 경우 파와의 만남각이 120°일 때 가장 큰 수치를 보이며 추파 및 추사파 상태에서는 비교적 작게 나타나는 경향이 있다. 길이 방향의 적재 위치에 따른 상하 가속도의 차이는 만남각이 180°에서 60°까지는 비교적 크게 나타나며 60°에서 0°로 갈수록 차이는 미소하게 나타난다. 선속에 의한 영향은 선속을 22.92 Knots (Fn = 0.25)에서 18.33 Knots (Fn = 0.20)로 감속하였을 경우에 길이 방향의 적재 위치에 따른 상하 가속도의 발생 경향은 파와의 전 만남각에서 감속하지 않을 때와 비슷한 경향을 보이며 크기는 선속을 줄이면 약간 작아지는 경향이 있다. 좌우 가속도의 경우에도 선수, 선미에 적재한 컨테이너에서 크게 발생하고 선체 중앙에 적재된 컨테이너에서 작게 발생하는 경향을 보인다. 각 적재 위치에서 파와의 만남각이 30°에서 가장 크게 발생하고 횡파에서 추사파 상태까지가 비교적 크며 180°쪽으로 갈수록 작게 나타난다. 또한, 추파 및 추사파 상태에서는 길이 방향의 적재 위치에 따른 좌우 가속도의 차이는 거의 없으며 180°에서 90° 사이에서 선수미보다 선체 중앙에 적재된 컨테이너에 발생하는 좌우가속도가 작게 나타나는 차이가 있다. 선속을 감속하였을 경우에는 각 적재 위치에서 파와의 만남각이 90°상태에서 가장 크게 나타나고 추파 및 추사파 상태에서는 상당히 감소하는 반면에 180°에서 90°까지는 선속에 의한 영향은 비교적 작게 나타나고 있다.



2.5.2 선박 폭 방향의 적재 위치에 따른 계산 결과

수치계산 결과 좌우 가속도의 경우에는 폭 방향의 적재 위치에 따른 영향은 나타나지 않는다. 상하 가속도의 경우, 적재 위치에 따른 미소한 차이를 가지고 있으며 이것은 Fig. 2~7 (a)에서 선체

중심선상에 적재된 컨테이너 (Av1, Av2, Av3)와 (b)에서 좌현에 적재된 컨테이너 (Av7, Av8, Av9)를 각각의 베이에서 상호 비교함으로써 알 수 있다. 좌현의 만남각 별로는 180°에서 90°까지는 좌현쪽에 적재된 컨테이너에 걸리는 상하 가속도가 선체 중심선상에 적재된 컨테이너에 걸리는

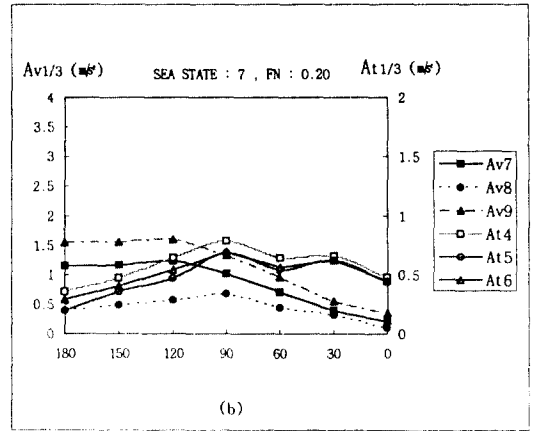
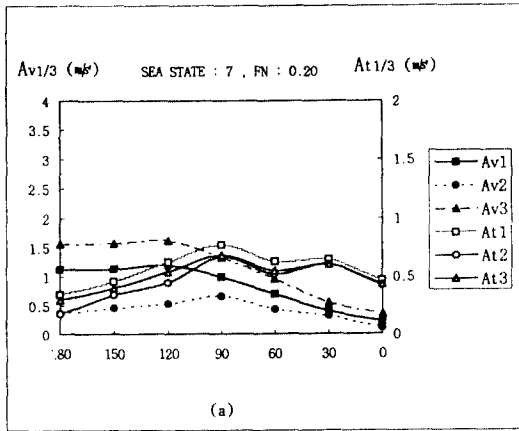


Fig. 2 Comparison of Vertical and Lateral Acceleration at Each Position

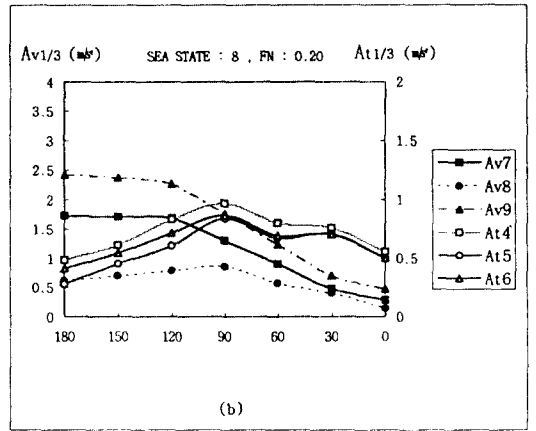
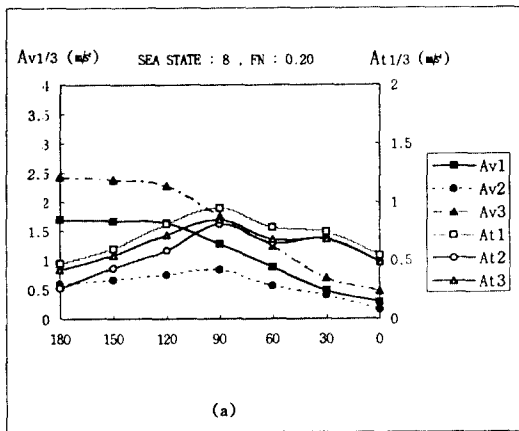


Fig. 3 Comparison of Vertical and Lateral Acceleration at Each Position

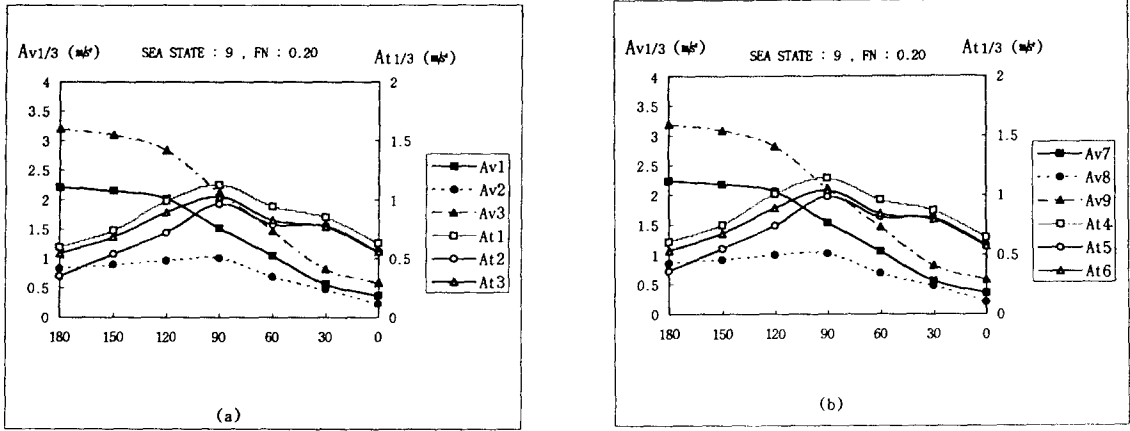


Fig. 4 Comparison of Vertical and Lateral Acceleration at Each Position

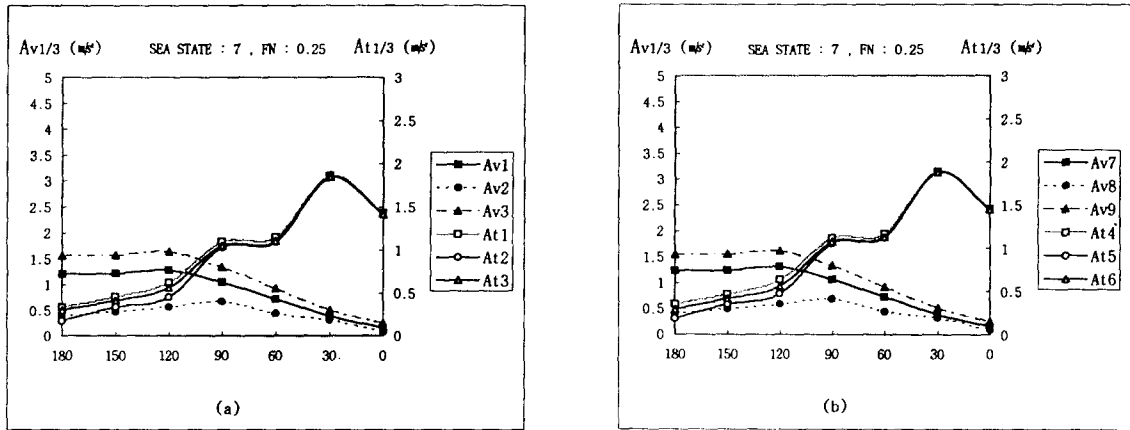


Fig. 5 Comparison of Vertical and Lateral Acceleration at Each Position

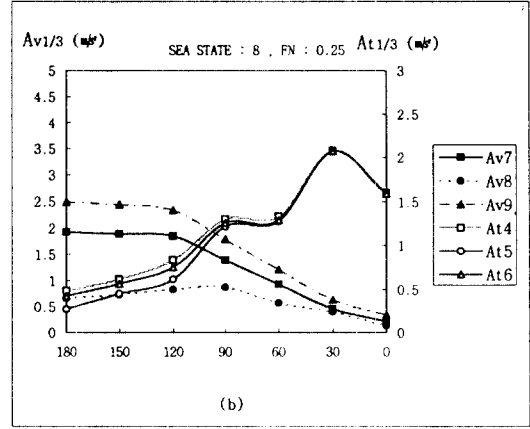
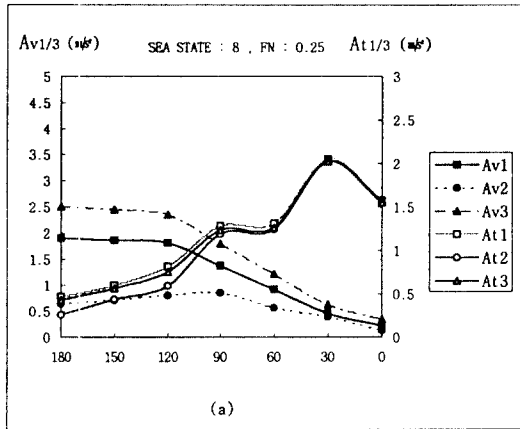


Fig. 6 Comparison of Vertical and Lateral Acceleration at Each Position

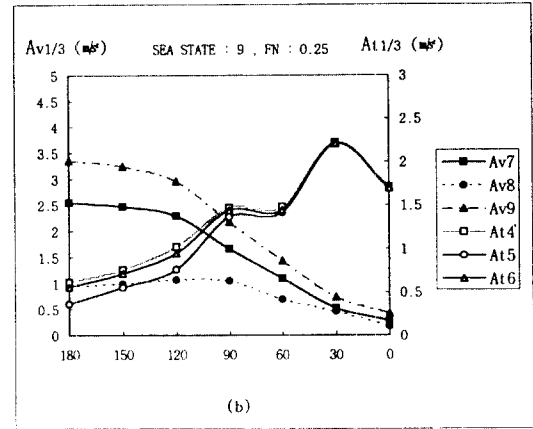
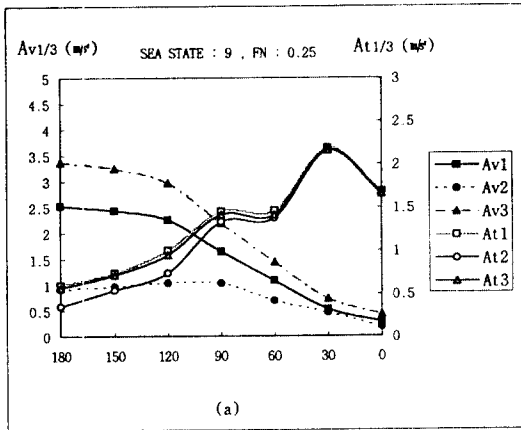


Fig. 7 Comparison of Vertical and Lateral Acceleration at Each Position

가속도보다 약간 크게 발생하고 추파 및 추사파 상태에서는 이와는 반대의 경향을 보이고 있다.

2.5.3 선박 길이 방향의 적재 위치에 따른 계산 결과

상하 가속도의 경우에는 상하 방향의 적재 위치에 따른 차이는 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

좌우 가속도의 경우 Fig. 2~7 (a)에서 선체 중심 선상 하단에 적재된 컨테이너 (At1, At2, At3)와 (b)에서 선체 중심선상 상단에 적재된 컨테이너 (At4, At5, At6)를 각각의 베이에서 상호 비교해 보면, 하단보다 상단에 적재된 컨테이너에 걸리는 좌우 가속도가 전 만남각에 대해서 약간 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하여 보면 상하 및 좌우 가속도의 발생 경향은 길이 방향의 적재 위치에 따라서 상당한 차이를 보이며 폭 및 깊이 방향의 적재 위치에 따라서는 그다지 큰 차이를 보이고 있지 않다. 또한 상하, 좌우 가속도 모두 파와의 만남각이 180°에서 90°까지는 각 적재 위치별로 상당한 차이를 보이거나 추파 및 추사파 상태에서는 미소한 차이를 보이는 경향이 있다. 선속에 의한 영향으로서는 감속하였을 때에 상하 가속도보다 좌우 가속도가 크게 감소한다는 것을 알 수 있다.

### 3. 화물의 동적 안전성 평가를 위한 위험 판정 요소

ISO 규격에 의한 컨테이너의 강도에 관하여는 ISO 1496에 규정되어 있으며 다음과 같이 두 가지로 나뉘어 진다.

첫째는 화물이 든 컨테이너를 이동하거나, 적재하거나, 몇 단으로 쌓을 경우에, 컨테이너 자체가 압쇄되거나 Corner Fitting간에 왜곡이 생겨서 Spreader에서 이탈되는 일이 없고, 외부에서 받는 힘에 어느 정도 견디는가 하는 점이다. 그리고 둘째로는 컨테이너에 화물을 적재하였을 때의 Floor 강도와 화물의 이동이나 선박의 동요 및 철도에서 차량 연결시에 화물이 컨테이너 벽을 충격하는 하중에 견딜 수 있는 내부 강도를 가지고 있는가 하는 점이다.<sup>(10)</sup>

본 장에서는 갑판상에 적재한 각각의 컨테이너에 미치는 상하, 좌우 방향의 하중을 비교 검토하기 위하여 ISO에 명시되어 있는 컨테이너의 강도 중에서 붕괴 사고의 전형적인 원인이 되는 Stacking 하중 및 Racking 하중에 대한 외부 강도를 채택한다. Stacking 및 Racking 하중에 대한 불규칙 파랑 중에서 동하중은 상하, 좌우 가속도의 1/3 유의 진폭치를 사용하여 각 선속, 해상 상태 및 파와의 만남각별로 파악한다. 또한, 실제 각 위치에 적재된 컨테이너에 미치는 하중을 비교 분석하고 ISO에서 규정한 허용 하중치와 비교를 하여 평가 요소 중에서 대표적인 동적 안전성 위험 판정 요소를 채택한다.

#### 3.1 Stacking 하중에 대한 강도

컨테이너 위에 컨테이너를 쌓아 올릴 때는, 컨테이너의 전 중량이 네 모서리(Corner Post)에 의하여 지지된다. ISO 규정에 컨테이너 한 개의 하중은 동하중에 대한 안전율을 곱하여 최대 총중량의 1.8배로서 한 컨테이너의 강도는 그 위에 같은 컨테이너를 5단(Tier) 쌓았을 때 견딜 수 있어야 하므로 컨테이너의 한 모서리는 최대 총중량의 2.25배의 하중에 견디도록 설계되어야 한다.

ISO에서 규정한 40 FT형 Standard Container의 허용 하중은 약 69 ton이며, 선체 각각의 위치에 적재된 컨테이너의 한 모서리에 걸리는 Stacking 하중은 다음과 같이 계산되어 진다.

Stacking 하중 ( $W_s$ ) =

$$\frac{1}{4} \times \frac{W_0(g + A_{r/3})}{g} \quad (\text{ton}) \quad (22)$$

단,  $W_0$ 은 계산에 사용된 컨테이너의 상단에 적재된 컨테이너의 중량

#### 3.2 Racking 하중에 대한 강도

컨테이너를 갑판상에 2단 이상 적재했을 때, 최하단에 적재된 컨테이너의 상부 Corner Fitting이 Anchor Point를 통하여 받는 폭 방향의 수평 집중하중이며, 선박이 동요했을 때 상부에 적재된 컨테이너에 의하여 하부 Corner Fitting이 받는 하중에 대한 강도이며, ISO에 규정한 40FT Standard Container의 Anchor Point 1개당 허용 하중은 15.3 ton이다. 그리고, 계산에 사용된 각각의 컨테이너의 Anchor Point 1개당 받는 Racking 하중은 다음과 같다.

Racking 하중 ( $W_r$ ) =

$$\frac{1}{4} \times \frac{W_0 \times A_{r/3}}{g} \quad (\text{ton}) \quad (23)$$

단,  $W_0$ 은 계산에 사용된 컨테이너의 상단에 적재된 컨테이너의 중량

3.3 적재 위치에 따른 Stacking 및 Racking 하중의 분석

각 선속 (Froude Number = 0.20, 0.25) 및 Beaufort Scale로 표시한 해상상태 (Sea State : 7, 8, 9)에 대한 각각의 하중을 계산하고, 이 중에서 Stacking 및 Racking 하중이 가장 크게 발생하는 적재위치인 좌현 하단의 중방향에 따라 적재된 컨테이너 P 07, P 08, P 09에 대한 값을 Table 6에 표시한다. Table 6과 같이 해상상태 9, 선속 Fn = 0.25 상태에서 Stacking 및 Racking 하중이 가장 크게 나타나는 좌현 선미 P 09에 적재된 컨테이너의 경우에 Stacking 하중은 만남각 180° 에서 ISO 허용 하중의

Table 3 Stacking and Racking Forces at Sea State 9  
Fn : 0.20 , Sea state : 9 단위 (ton)

| 적재위치<br>만남각 | P07            |                | P08            |                | P09            |                |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | W <sub>s</sub> | W <sub>r</sub> | W <sub>s</sub> | W <sub>r</sub> | W <sub>s</sub> | W <sub>r</sub> |
| 180°        | 12.280         | 0.604          | 16.301         | 0.529          | 19.881         | 0.828          |
| 150°        | 12.223         | 0.752          | 16.405         | 0.814          | 19.720         | 1.040          |
| 120°        | 12.095         | 1.009          | 16.523         | 1.104          | 19.320         | 1.366          |
| 090°        | 11.571         | 1.147          | 16.560         | 1.473          | 18.245         | 1.565          |
| 060°        | 11.071         | 0.961          | 16.052         | 1.207          | 17.239         | 1.265          |
| 030°        | 10.566         | 0.869          | 15.720         | 1.193          | 16.252         | 1.180          |
| 000°        | 10.364         | 0.643          | 15.313         | 0.860          | 15.889         | 0.847          |

(a)

Fn : 0.25 , Sea state : 9 단위 (ton)

| 적재위치<br>만남각 | P07            |                | P08            |                | P09            |                |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | W <sub>s</sub> | W <sub>r</sub> | W <sub>s</sub> | W <sub>r</sub> | W <sub>s</sub> | W <sub>r</sub> |
| 180°        | 12.598         | 0.609          | 16.431         | 0.537          | 20.131         | 0.869          |
| 150°        | 12.515         | 0.757          | 16.517         | 0.824          | 19.949         | 1.096          |
| 120°        | 12.334         | 1.019          | 16.632         | 1.132          | 19.517         | 1.455          |
| 090°        | 11.698         | 1.477          | 16.597         | 2.036          | 18.335         | 2.159          |
| 060°        | 11.116         | 1.487          | 16.060         | 2.104          | 17.201         | 2.159          |
| 030°        | 10.532         | 2.228          | 15.705         | 3.300          | 16.121         | 3.298          |
| 000°        | 10.279         | 1.716          | 15.257         | 2.539          | 15.644         | 2.531          |

(b)

약 1/3의 값이 나타나며, Racking 하중의 경우에는 만남각 30°에서 약 1/4의 값을 나타내고 있다. 따라서, 본 연구에서 사용한 대상선의 경우에는 모든 적재 위치에서 상하, 좌우 가속도의 1/3 유의진폭치에 대한 동하중을 고려한 Stacking 및 Racking 하중은 ISO에서 규정한 허용 하중에 비해 비교적 낮은 수치를 나타내 보이고 있다. 그리고 중방향의 적재 위치에 따른 각 하중의 크기는 선미, 중앙, 선수 순서이며 이것은 각 하중의 크기가 상단에 적재된 컨테이너의 중량에 따라서 크게 좌우되기 때문이라고 판단된다. 각 적재 위치별로 Stacking 하중의 경우 만남각 180°에서 가장 크게 발생하고 Racking 하중의 경우 추사과 및 횡과에서 비교적 크게 일어난다. 선속에 의한 영향으로는 Stacking 하중의 경우에 선속을 낮추었을 때에도 비교적 영향이 적으나 Racking 하중의 경우에는 추과 및 추사과 상태에서 감소하였을 때에 상당히 감소하는 경향을 보인다.

3.4 위험 판정 요소의 선정

선박의 내항성능에 관한 연구에서는 컨테이너의 내부 강도로 규정되는 화물 자체의 이동 및 붕괴로 인한 위험에 대하여 선박의 안전성을 평가하고 있다.(11) 본 연구에서도 위에서 검토한 컨테이너의 외부 강도인 Stacking 및 Racking 하중에 대한 수치계산을 실시한 결과 ISO 규정의 허용 하중에 비해 비교적 낮은 수치를 나타내고 있으며 그 특성상 갑판상 하단에 적재한 컨테이너에만 국한되어 크게 발생하고 있다. 따라서 컨테이너 화물의 동적 안전성 평가 기준으로서 컨테이너의 내부 강도가 허용 하중을 초과하는 상태를 채택한다. 한편, 실제로 선박에 하중계를 설치하여 동하중을 계측하는 것은 많은 어려움이 있다. 그러므로 질량과 가속도의 곱으로 표현되는 하중을 계측하는 대신에 기존 내항성능 평가 요소로서 사용되고 있고 계측성이 편리한 가속도를 이용하여 컨테이너의 최대 적재 상태에서 허용 하중에 상당하는 가속도를 기준으로 하여 평가하기로 한다.

상하 가속도로 인한 하중은 컨테이너를 5단적

했을 때 동하중에 대한 안전율을 최대 총중량의 0.8배로 하여 컨테이너의 강도가 규정되어 있고, 2,700 TEU 컨테이너선의 경우 갑판상에 4단적 이상으로는 적부를 하지 않으므로 컨테이너 용기 자체의 결함이나 오랜 사용으로 인한 각 부의 마멸로 인한 사고 이외에는 상하 가속도에 의한 위험은 없을 것으로 판단된다. 따라서, 평가 요소 중에서 선박의 좌, 우 방향으로 작용하는 화물의 동하중으로 인하여 컨테이너 측벽 (side wall)에 가해지는 하중을 견딜 수 있는 허용 하중에 도달하는 좌우 가속도를 ISO 규정에 의거하여 위험 판정 요소로 선정한다.

## 4. 화물의 동적 안전성 평가

### 4.1 평가방법 및 한계치

컨테이너 화물의 동적 안전성 평가는 각각 적재된 위치에서의 평가요소가 그 한계치를 초과하는 발생확률로부터 정의되는 평가치와 위험도를 적용하는 방법을 사용한다.<sup>(12)</sup>

평가 요소 중에서 위험 판정 요소로 선정된 좌우 가속도의 한계치는 ISO 규정에서 요구하는 0.6g로 정하는 데, 이것은 선박의 좌, 우 방향으로 작용하는 화물의 동하중으로 인하여 컨테이너 측벽 (side wall)에 가해지는 하중을 견딜 수 있는 허용 하중에 도달하는 좌우 가속도의 값이다. 또한, 그때의 한계발생확률은 Kitazawa 등이 콘테이너선의 파랑중 한계속도에서 정한  $10^{-3}$ 으로 한다.<sup>(11)</sup> 이것은 항구의 평균 고유주기를 약 15초로 하면 4시간에 1회 발생할 때에 상당하는 값이다.

### 4.2 한계표준편차

좌우 가속도의 확률과정  $A_i(t)$ 는 Gauss 분포로, 그 극치분포는 Rayleigh 분포로 근사할 수 있다.<sup>(13, 14)</sup> 임의의 위치에서의 좌우 가속도의 분산치  $\sigma_{A_i}^2$ 이 구해지면, 확률과정  $A_i(t)$ 의 극치가 어떤 일정값  $X_1$ 를 초과할 확률  $Q_{A_i}$ 는 다음과 같이 구해진다.<sup>(15)</sup>

$$\begin{aligned} Q_{A_i} &= \int_{X_1}^{\infty} \left( \frac{X}{\sigma_{A_i}} \right) \exp\left(-\frac{X^2}{2\sigma_{A_i}^2}\right) dx \\ &= \exp\left(-\frac{X_1^2}{2\sigma_{A_i}^2}\right) \end{aligned} \quad (24)$$

이것을 표준편차  $\sigma_{A_i}$ 에 관하여 풀면 다음과 같다.

$$\sigma_{A_i} = \sqrt{\frac{X_1^2}{(-2 \cdot \ln Q_{A_i})}} \quad (25)$$

식 (25)에 좌우 가속도가 그 한계치  $A_{lc}$ 를 넘을 확률인 한계발생확률  $Q_{A_{lc}}$ 를 고려하면, 위험치가 되는 표준편차  $\sigma_{A_{lc}}$ 를 얻을 수 있다.

$$\sigma_{A_{lc}} = \sqrt{\frac{X_{A_{lc}}^2}{(-2 \cdot \ln Q_{A_{lc}})}} \quad (26)$$

### 4.3 평가치

좌우 가속도의 극치분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을  $Q_{A_i}$ 라고 한다. 이 경우, 표준편차로서 무차원화한 한계치의 역수를  $A_i$ 의 평가치  $E_{A_i}$ 라 정의한다.<sup>(12)</sup>

$$E_{A_i} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln Q_{A_i}}} = \left[ \frac{\sigma_{A_i}}{A_i} \right] \quad (27)$$

평가치  $E_{A_i}$ 가 zero가 되면 좌우 가속도  $A_i$ 의 신뢰도는 1이 되고  $E_{A_i}$ 가 무한대가 되면  $A_i$ 의 신뢰도는 0이 된다.

### 4.4 위험도

임의의  $A_i$ 의 주어진 한계발생확률에 관한 한계 평가치를  $E_{A_{lc}}$ 로 하고, 한계 평가치  $E_{A_{lc}}$ 에 대한 평가치  $E_{A_i}$ 의 비를  $A_i$  요소의 위험도라 하면,<sup>(12)</sup>

$$\mu_{A_i} = \frac{E_{A_i}}{E_{A_{lc}}} = \frac{\{A_i/\sigma_{A_{lc}}\}}{\{A_i/\sigma_{A_i}\}} = \frac{\sigma_{A_i}}{\sigma_{A_{lc}}} \quad (28)$$

여기에서,  $\sigma_{A_{lc}}$ 는  $A_i$ 가 위험하게 되는 표준편차이다.

위험도  $\mu_{AI}$ 는 갑판상에 적재된 컨테이너의 각 위치에서 파에 대한 만남각 ( $\chi$ ), 선속(V) 및 해상 상태(S)에 따라서 변화한다.  $\mu_{AI} \geq 1.0$  인 경우 적재된 컨테이너가 위험하고,  $\mu_{AI} < 1.0$  인 경우는 안전하다는 것을 나타낸다. 계산에 사용된 적재 위치는 좌우 가속도가 가장 크게 일어나는 P 10, P 11, P 12를 택하고 그 계산결과는 Fig. 8~10에 나타낸다. Fig. 10에서와 같이 sea state 9에서도

각 위치에 적재된 컨테이너의 위험도는 1.0 이하로 나타나 본 연구에 사용된 대상선의 화물의 동적 안전성은 우수한 것으로 판명된다. 한편, 각 위치별로 위험도를 비교해 보면 선수에 적재된 컨테이너가 가장 위험도가 크고 선체 중앙에 적재된 컨테이너가 안전한 것으로 나타난다. 선속이  $F_n = 0.25$ 일 경우에 추파 및 추사파 상태에서 위험도가 크며 선속을 감속하였을 경우 화물의 위험도는 급격히 작아지고 횡파 상태에서 가장 위험하게 된다는 것을

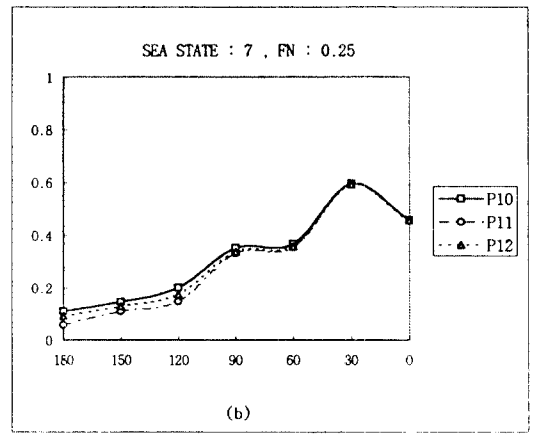
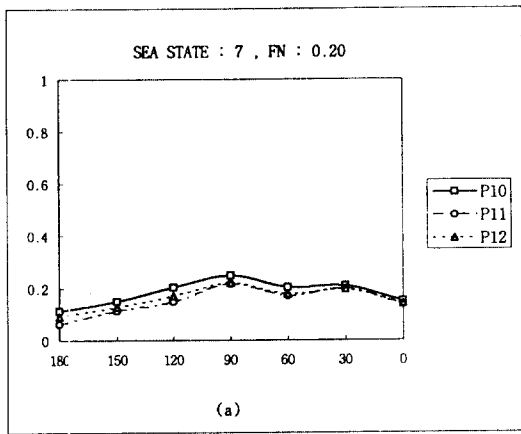


Fig. 8 Dangerousness of the Dynamic Safety on Each Container

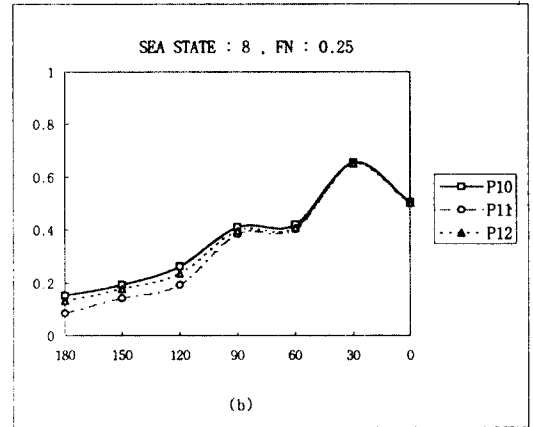
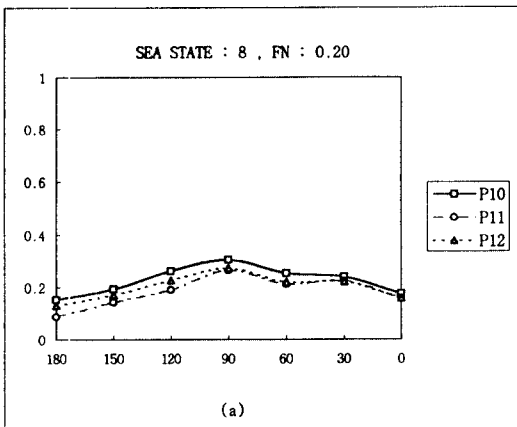


Fig. 9 Dangerousness of the Dynamic Safety on Each Container

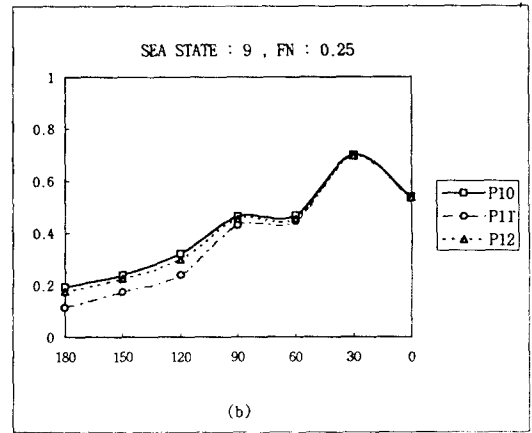
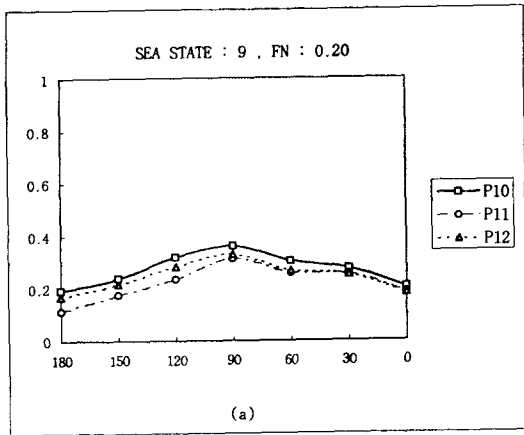


Fig.10 Dangerousness of the Dynamic Safety on Each Container

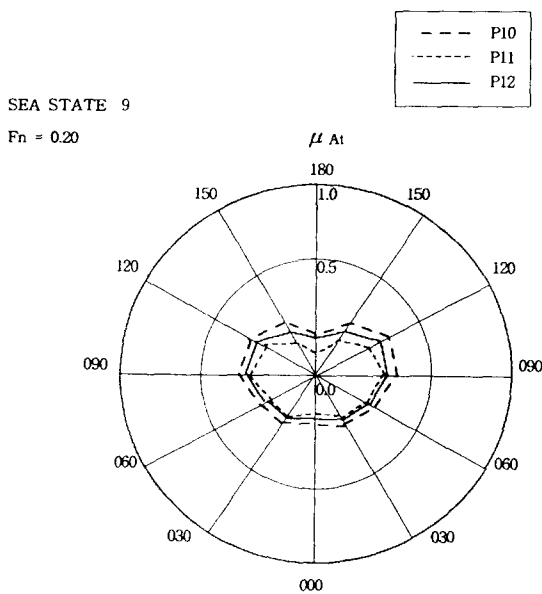


Fig.11 Evaluation Diagram of the Dynamic Safety on Each Container

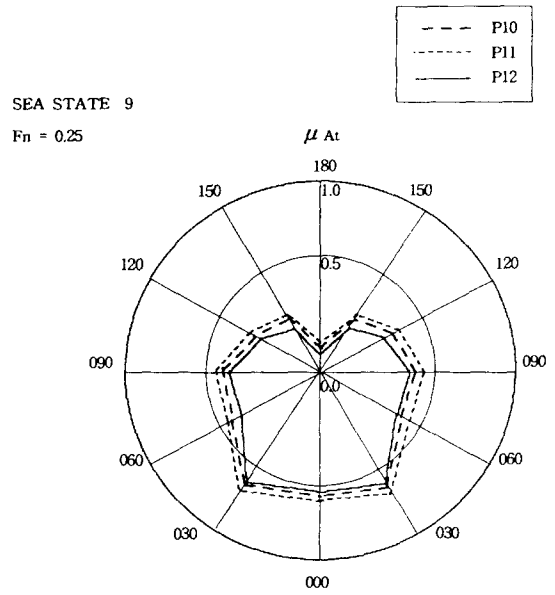


Fig.12 Evaluation Diagram of the Dynamic Safety on Each Container



알 수 있다. 그리고 Fig. 11~12는 화물의 동적 안전성을 평가도로서 시스템을 구성하여 실용화할 경우에 선박운항자가 정량적으로 식별하고 종합적으로 평가하는데 편리하게 활용하기 위한 것이다.

## 5. 결론

파랑 중을 항해하는 컨테이너 선박에 적재된 화물의 동적 안전성 평가를 행한 본 연구의 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 화물의 동적 안전성을 평가하기 위해서 파랑 중을 항해하는 선박에 발생하는 위험 현상 중에서 상하, 좌우 방향의 가속도를 평가 요소로 채택하고, 적재 위치별 평가 요소의 상하, 좌우 방향에 따른 발생 경향을 고찰한 결과 상하, 횡방향의 적재 위치에 따른 차이보다는 종방향의 적재 위치에 따른 영향이 많은 것을 알 수 있다.
- (2) 컨테이너 화물의 붕괴 사고의 원인이 되는 Stacking 및 Racking 하중에 대한 값을 각 적재 위치에서 계산하고 ISO에서 규정한 컨테이너의 강도와 비교하여 평가 요소 중에서 대표적인 위험 요소를 채택할 수 있었다.
- (3) 컨테이너선의 경우에는 좌우 가속도를 동적 안전성 위험 요소로 채택하고 컨테이너 횡격벽 (Side Wall)에 대한 한계치 및 한계발생확률을 설정하여 개개의 컨테이너를 위험도로서 평가하는 방법을 개발함으로써 정량적인 판정에 의해 운항자들이 화물의 동적 안전성을 판별할 수 있는 방법을 제안하였다.
- (4) 일반적으로 화물의 동적 안전성을 평가할 수 있는 방법은 화물종류나 적재 방법 또는 화물의 고박 방법 등에 따라 다르지만 화물의 특성을 고려하여 대표적인 평가 요소를 채택하고 그것에 대한 한계치 및 한계발생확률의 기준화 연구가 선행된다면 화물의 동적 안전성을 정량적으로 평가할 수 있다고 사료된다.
- (5) 본 연구의 평가방법을 적용하여 항해중 화물의 이동 및 붕괴로 인한 해난사고의원인 규명과 화물의 적부계획 수립 단계에서의 반영 및 적재 화물의 고박 방법 등에 관한 대책수립

등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

1. 金順甲·內藤 林·中村彰一 : 船舶의波浪中耐航性能評價에關する研究, 日本造船學會論文集, No.155 (1984), p. 71.
2. 金順甲·孔吉永 : 안전공간 설정에 의한 선박 내항성능의 평가 시스템 개발에 관한 연구, 한국항해학회지, 제16권, 제1호 (1992), p. 13.
3. 金順甲·朴文洙·孔吉永 : 선박 종류에 따른 내항성능 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, 제18권, 제2호 (1994), p. 19.
4. 金順甲·金炳辰·李忠魯 : 벌크선의 적화상태에 따른 항해안전성 평가에 관한 연구, 해사산업연구소 논문집 (1993), p. 123.
5. 細田龍介·國武吉邦·宮本雅史 : 耐航性能評價と評價基準, 運航性能研究會, 第5回シンポジウム, 日本造船學會 (1988), p. 236.
6. 山内保文 : 不規則現象論, 海文堂 (1986), p. 6-29.
7. 福田淳一 : 船體應答の統計的豫測, 第1回耐航性に關するシンポジウム, 日本造船學會 (1969), p. 99.
8. Rameswar Bhattacharyya : Dynamics of Marine Vehicles, John Wiley & sons (1978), p. 331-395.
9. 元浪誠三 : 船體と海洋構造物の運動學, 成山堂 (1992), p. 207.
10. 梁時權·金順甲 : 船舶積貨, 韓國海洋大學校 海事圖書出版部 (1995), p. 418-426.
11. 金順甲 : 선박의 파랑중 내항성능 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, 제11권, 제1호 (1987), p. 67.
12. 北澤孝宗, 黒井昌明, 高木又男 : コンテナ船の波浪中での限界速度, 日本造船學會論文集, 第138号 (1975), p. 269.
13. K.S. Miller : Multidimensional Gaussian Distributions, John Wiley and Sons (1964), p. 36.
14. A.R.J.M. LLOYD : Seakeeping Ship Behaviour in Rough Weather, Ellis Horwood Limited (1989), p. 337-339.
15. 中村彰一 : 耐航性の諸要素, 第1回 耐航性に關するシンポジウム, 日本造船學會 (1969), p. 121.