한국항해항만학회지 제29권 제5호, pp. 377~382, 2005 (ISSN-1598-5725)
Journal of Korean Navigation and Port Research

파랑중 선박의 운동을 고려한 갑판적 컨테이너의 Securing 및 Lashing 하중 계산 (I)

윤현규* · 이경중* · 양영훈*

*한국해양연구원 해양안전방제연구본부

Calculation of Securing and Lashing Loads of Containers on the Deck of a Ship in Waves (I)

Hyeon-Kyu Yoon · Gyeong-Joong Lee* · Young-Hoon Yang**

**Maritime Safety & Pollution Control Lab., KRISO/KORDI, Daejeon 305-600, Korea*

요 약 : 파랑중을 운항하는 선박은 항상 파도의 영향을 받아 운동을 하게 된다. 특히 컨테이너선과 같이 갑판위에 화물을 많이 운송하는 선박의 경우에는 여러 방향의 운동형태 중에서 횡동요가 화물의 안전에 가장 큰 영향을 미친다. 이러한 선박에서는 컨테이너의 이동 및 전도를 방지하기 위하여 Securing과 Lashing을 하게 되는데, 적절한 시스템의 선정을 위하여 각각에 작용하는 하중들의 정확한 평가가 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 갑판적 컨테이너들의 연결부에 작용하는 Securing 하중과 Lashing 와이어에 작용하는 힘에 대한 계산식을 유도하고, 몇 가지 Lashing 패턴에 대하여 계산을 수행하였다.

핵심용어 : 파랑, 횡동요, 컨테이너, Securing, Lashing

Abstract : *A ship runs with various modes of motion due to waves. Among the modes, roll mainly influences on the safety of cargos on the deck of container ship. In order to protect cargo shifting and turning, securing and lashing system are generally installed. In that case, it is necessary that the force and moment at the connection point of containers should be estimated. Therefore we derived mathematical equations to calculate the forces of securing points and lashing wires. Also we calculated those forces and moments about various lashing patterns.*

Key words : *Wave, Roll, Container, Securing, Lashing*

1. 서 론

파랑 중 운항하는 선박은 전진방향의 운동(surge) 뿐만 아니라 좌우동요(sway), 상하동요(heave), 횡동요(roll), 종동요(pitch), 선수동요(yaw)를 계속하게 된다(Lloyd, 1989). 파도에 의한 운동이 커지게 되면 적재화물의 안전, 승선자의 승선감 및 작업능률에 큰 영향을 미치게 된다. 특히 컨테이너선과 같이 갑판 위에 많은 화물을 적재한 선박의 경우에는 작은 운동이 높이 적재된 컨테이너에 큰 힘을 야기시킬 수 있다. 현재 들어 경제적인 목적상 대형 컨테이너선이 건조되어 운항되고 있는데, 이때 종동요 주기가 횡동요 주기의 반이 되어 선수파중에서도

파라메트릭 횡동요(Parametric rolling)(Rojas et al., 2005)가 발생하여 컨테이너가 유실될 수 있으며, 선박의 과도한 운동에 의하여 적재된 컨테이너가 이동하게 되면, 이 영향이 더욱 더 선박을 불안정하게 만들어서 전복에 이르게 할 수 있다. 또한 컨테이너선이 운항하는 동안 황천과 같은 기상조건의 변화 때문에 몇 개의 컨테이너가 유실되는 경우도 종종 일어나서, 해운사와 보험사 간의 분쟁 사례가 되고 있다.

바다에는 항상 파도가 존재하므로, 근본적으로 외란을 없애는 것은 불가능하다. 따라서 적재된 컨테이너의 이동 및 전도를 방지하기 위하여 다양한 형태의 Securing 및 Lashing 시스템이 사용되고 있다(KASCO, 1999 ; Lloyd 2005). 파랑중 운항하는 선박에 적재된 컨테이너의 Securing 및 Lashing 시스템에 작용하는 하중을 예측할 수 있다면, 필요한 장치들에 대한 설계를 적절하게 수행할 수 있다.

갑판위에 높게 적재된 컨테이너들은 선박의 동요에 따라 작용력이 변화하고, 이를 정도 높게 추정하기 위해서는 파랑중 선박의 운동을 예측할 수 있어야 한다. 또한 많은 컨테이너들 사이에 작용하는 내력들을 모두 구하기 위해서는 힘과 모멘트의 정적 평형식 만으로는 불가능한 부정정 시스템이 된다. 따라서 각각의 컨테이너들을 집중질량으로 모델링하여 다물체 동력학 문제로 다룰 수도 있으나, 이 때도 강성값 등의 고려 및 매우 작은 시간간격에 대하여 계산을 수행하여야 하는 문

* 대표저자 : 윤현규(정회원), hkyoon@kriso.re.kr 042)868-7292
** 정회원 : gjlee@kriso.re.kr 042)868-7289

제가 있다.

본 논문에서는 불규칙파 중을 운항하는 선박에 대한 운동값을 2차원 포텐셜 이론과 스트립법을 통하여 계산하였다(윤 외, 2004). 컨테이너에 작용하는 힘은 적재된 인접열 간에는 전달되지 않는다고 가정한 후, 힘과 모멘트의 평형식으로부터 계산하는 단순한 방법을 제안하였다. 또한 적절한 가정을 통하여 Securing 장치인 Twistlock과 Lashing 와이어에 작용하는 하중 계산식을 유도하고, 2층으로 적재된 기본적인 Lashing 패턴 4가지 경우에 대하여 계산을 수행하였다.

2. 파랑중 선박의 운동방정식

선박의 운동방정식은 선박에 작용하는 유체력을 표현하기에 용이한 선박고정좌표계에 대하여 기술하고, 선박의 운동궤적 및 자세각은 공간고정좌표계에 대하여 표현한다(Fig. 1).

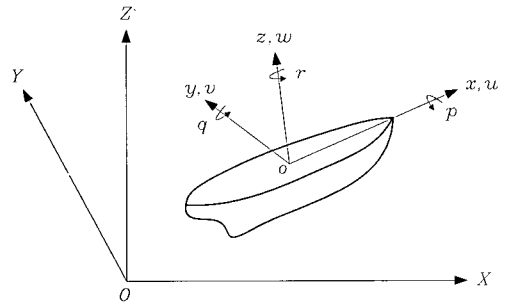


Fig. 1 Definition of coordinate systems and motion variables

선박고정좌표계의 요소들로 표현된 선박의 운동방정식을 기술하기 위하여 운동변수를 식(1)과 같이 표현하자. 속도 성분 벡터 $\underline{v}$, $\underline{\omega}$에 대한 기호정의는 Fig. 1에 나타내었고, 각변위 벡터 $\underline{\eta}$는 순서대로 횡동요각, 종동요각, 선수동요각이다.

$$\underline{v}=\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix},\quad \underline{\omega}=\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix},\quad \underline{\eta}=\begin{bmatrix} \Phi \\ \Theta \\ \Psi \end{bmatrix} \tag{1}$$

선박의 병진 운동과 회전 운동 성분을 나타내는 $\underline{v}$, $\underline{\omega}$의 동적 모델은 Newton 제2법칙으로 식(2)와 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned} m\underline{v}' &= \underline{f}_I+\underline{f}_H+\underline{f}_S+\underline{f}_E \\ I\underline{\omega}' &= \underline{m}_I+\underline{m}_H+\underline{m}_S+\underline{m}_E \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 I는 선박의 질량관성모멘트 행렬(Fossen, 1994)이고, 하첨자 I, H, S, E는 각각 Coriolis 힘과 원심력, 파랑력을 포함한 동유체력, 정유체력, 파랑을 제외한 바람, 조류 등에 의한 환경 외력을 의미한다. 벡터 우상단의 ′ 기호는 벡터 요소들의 시간변화율, 즉 가속도 및 각가속도 성분들을 의미한다.

선박에 작용하는 Coriolis 힘과 원심력, 그것들에 의한 모멘트를 벡터형태로 표현하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \underline{f}_I &= -m\left[\underline{\omega}\times\underline{v}+\dot{\underline{\omega}}\times\underline{r}_G+\underline{\omega}\times(\underline{\omega}\times\underline{r}_G)\right] \\ \underline{m}_I &= -\left[\underline{\omega}\times(I\underline{\omega})+m\,\underline{r}_G\times(\dot{\underline{v}}+\underline{\omega}\times\underline{v})\right] \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, $\underline{r}_G$는 선박고정좌표계에 대한 선박 무게중심의 위치벡터이다.

동유체력은 추력, 직진 및 조종 운동시 선박에 작용하는 힘, 파랑에 의한 힘으로 구분할 수 있다. 파랑에 의한 힘은 선형이론에 의하여 다시 파강제력인 Froude-Krylov 힘과 산란력(Diffraction force), 선박의 운동에 의한 방사력(Radiation force)으로 중첩하여 표현할 수 있다. $\underline{f}_H$를 성분별로 나타내면 다음과 같다.

$$\underline{f}_H = \underline{f}_W+\underline{f}_M \tag{4}$$

여기서, $\underline{f}_W = \underline{f}_{W_I}+\underline{f}_{W_R}+\underline{f}_{W_D}$

$$\underline{f}_M = [\,X_M\ Y_M\ Z_M\ K_M\ M_M\ N_M\,]^{\mathrm{T}}$$

식(4)에서 추력 성분은 X_M에 포함시키고, 선박이 직진하는 경우라면 $\underline{f}_M$에서 추력과 저항 성분을 제외한 힘은 모두 0이 된다. 즉 조종 운동시 작용하는 힘은 선박이 표류하거나, 선회하는 경우만 작용한다.

식(4)의 파랑에 의한 힘은 다음과 같이 성분별로 나타낼 수 있다. 입사파에 의한 압력 성분(p)을 가상의 수면하 선체 표면에 대하여 적분하면 Froude-Krylov 힘을 계산할 수 있다.

$$(\underline{f}_{W_I})_j = \int n_j p\,dS \tag{5}$$

여기서, n_j는 선체 표면에 수직한 단위벡터의 j방향 성분이다. j는 선박의 6자유도 운동 방향을 나타낸다.

산란력은 방사력과 선체 표면에서의 산란 경계조건에 의하여 다음식으로 계산된다.

$$(\underline{f}_{W_D})_j = -\rho i\omega_e\int\phi_j\Phi_{Dn}\,dS+\rho U\left[\int\Phi_j\Phi_{Dn}\,ds\right]_{\mathrm{rear}}^{\mathrm{front}} \tag{6}$$

여기서, $\rho, \omega_e, \Phi_j, \Phi_D$는 각각 유체 밀도, 조우주파수, 방사 및 산란 포텐셜을 의미한다.

방사력은 여러 주파수에 대하여 얻어진 부가질량 계수와 파랑감쇄 계수로 표현되는 충격응답함수와 운동변수의 상승 적분(Convolution integral)으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \underline{f}_{W_R} &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)\dot{\underline{x}}(t-\tau)\,d\tau \\ &= A(\infty)\ddot{\underline{x}}(t)+\int_0^t L(\tau)\dot{\underline{x}}(t-\tau)\,d\tau \end{aligned} \tag{7}$$

여기서, $L(t)=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}B(\omega)\cos\omega t d\omega$

$A(\infty)$: 무한대 주파수에서의 부가질량 계수 행렬

$B(\omega)$: 주파수 ω에서의 파랑감쇄 계수 행렬

$\dot{x}=[u\ v\ w\ p\ q\ r]^T$

선박의 중력과 부력 벡터는 지구고정좌표계에 대하여 $W=[0\ 0\ -W]^T, B=[0\ 0\ B]^T$ 으로 나타내면, 선박고정좌표계에 대한 정유체력 성분은 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} f_S &= C_n^b(-W+B) \\ m_S &= r_G\times(C_n^b W)+r_B\times(C_n^b B) \end{aligned} \tag{8}$$

여기서, r_B는 부심의 좌표이고, C_n^b은 지구고정좌표계에서 표현된 벡터를 선박고정좌표계에서의 벡터로 표현해주는 변환행렬이다(Fossen, 1994).

부력은 수면하 선체 표면에 대한 정압을 적분하여 계산하면 파도에 의한 부력 변화를 정확하게 고려할 수 있다.

3. 컨테이너에 작용하는 힘

3.1 기본 가정

컨테이너들 간의 연결점 또는 Securing장치와 Lashing 와이어에 작용하는 힘을 계산하기 위하여 복잡한 특성을 단순하게 모델링할 필요가 있다. 앞서 언급한 바와 같이 연결점에서의 부재 특성을 고려하여 변위를 계산하면, 각 연결점에서의 하중을 구할 수 있지만, 상당히 많은 입력자료가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 주어진 문제를 간략화하여 힘과 모멘트 평형조건식 만을 이용하여 중요한 연결점 위치에서의 하중만을 계산하는 식을 유도하기로 한다. 이를 위하여 다음과 같은 가정을 하기로 한다.

① 컨테이너는 Fig. 2와 같이 중앙에 질량이 집중되어 있는 강체이다.
② 컨테이너는 길이방향으로 미끄러지거나 전도되지 않는다.
③ 선박의 전후방향, 종방향 운동은 컨테이너의 관성력에 영향을 준다.
④ 컨테이너의 인접 적재열 간에는 충분한 공간이 있어서, 힘과 모멘트 전달이 없다.
⑤ Lashing 와이어의 초기 장력은 0이고, 양쪽으로 지지된 경우 한쪽에서 수직방향 힘이 중력의 반대 방향으로 작용하는 경우에만 그쪽 와이어에 장력이 작용한다.
⑥ Securing 장치는 Twistlock 만을 고려하고, Securing 되어 있는 경우는 적재층간의 간격이 충분히 커서 횡방향 작용력은 모두 Securing 장치로만 전달된다. 또한 Securing 장치는 양쪽에 위치하지만, 수평 작용력은 마찰력 경우와 마찬가지로 중앙부 한점에 작용한다.
⑦ Securing 되어 있지 않은 경우는 마찰력이 충분히 커서 미끄러짐은 없다.
⑧ 선박은 완벽하게 침로를 유지하면서 운항한다.

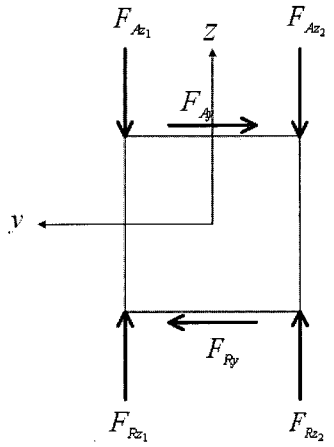


Fig. 2 External surface force acting on a container

3.2 Securing 하중

컨테이너의 표면에 작용하는 힘은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 하첨자 A, R은 각각 상 · 하층 컨테이너가 작용하는 힘이다. 컨테이너들 간에 작용하는 수평방향 힘은 Securing이 되어 있는 경우는 Twistlock에 걸리는 힘이고, 그렇지 않은 경우는 마찰력이다.

Lashing 와이어가 걸려 있지 않은 경우의 힘과 모멘트 평형식은 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} F_{I_y} &= F_{G_y}+F_{A_y}+F_{R_y} \\ F_{I_z} &= F_{G_z}+F_{A_{z1}}+F_{A_{z2}}+F_{R_{z1}}+F_{R_{z2}} \\ M_I &= \frac{b}{2}[(F_{A_{z1}}-F_{A_{z2}})+(F_{R_{z1}}-F_{R_{z2}})-F_{A_y}+F_{R_y}] \end{aligned} \tag{9}$$

여기서, 하첨자 I, G는 각각 선박의 운동에 의한 컨테이너의 관성력과 중력성분을 나타내고, b는 컨테이너의 폭 또는 높이이다.

관성력 성분과 중력 성분은 각각 식(10),(11)과 같다. 이때 앞절의 가정과 같이 선수동요 성분은 없다.

$$\begin{aligned} F_{I_y} &= m_c(\dot{v}-wp-y_c p^2-z_c\dot{p}+x_c qp) \\ F_{I_z} &= m_c[\dot{w}-uq+vp-z_c(p^2+q^2)-x_c\dot{q}+y_c\dot{p}] \\ M_I &= I_{x_c}\dot{p} \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} F_{G_y} &= -m_c g\cos\Theta\sin\Phi \\ F_{G_z} &= -m_c g\cos\Theta\cos\Phi \end{aligned} \tag{11}$$

여기서, m_c, I_{x_c}는 각각 컨테이너의 질량, 원점이 컨테이너의 무게중심이고 길이 방향에 대한 질량관성모멘트이다. 또한 g는 중력가속도이다.

컨테이너가 선박의 운동에도 불구하고 원래의 위치에 있기 위해서 아래쪽 컨테이너에서 작용하는 힘 F_R은 식(9)를 통해서 구할 수 있다. 다시 아래쪽 컨테이너에 작용하는 힘을 식(9)를 통하여 계산할 때, 위쪽 컨테이너가 아래쪽 컨테이너에 작용하는 힘 F_A는 위쪽 컨테이너에서 계산한 F_R과 크기는 같고 부호만 반대이다.

3.3 Lashing 와이어에 작용하는 힘

식(9)를 통하여 아래쪽 컨테이너의 작용력 F_R을 구할 때, 컨테이너가 자중에 의한 마찰력으로 미끄러짐이 없는 경우, $F_{R_{z1}}$ 또는 $F_{R_{z2}}$가 0보다 작을 수는 없다. 만약 이러한 경우가 발생한다면 컨테이너의 한쪽에서 눌러주는 힘이 없으므로 전도되어 버릴 것이다.

이러한 경우 Lashing 와이어가 있다면 와이어가 눌러주는 힘을 제공해 주고, 와이어의 장력이 작용하는 쪽에는 아래쪽 컨테이너로 힘이 전달되지 않을 것이다. Fig. 2의 왼쪽이 이러한 경우라면 식(9)의 미지수 $F_{R_{z1}}$은 0이 되고, 미지수를 왼쪽 와이어에 작용하는 장력(F_L)으로 새로이 설정하면 힘과 모멘트의 평형식은 식(12)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{I_y} &= F_{G_y} + F_{A_y} + F_{R_y} + F_L\cos\alpha \\ F_{I_z} &= F_{G_z} + F_{A_{z1}} + F_{A_{z2}} + F_{R_{z2}} - F_L\sin\alpha \\ M_I &= \frac{b}{2}[(F_{A_{z1}} - F_{A_{z2}}) - F_{R_{z2}} - F_{A_y} + F_{R_y} \\ &\quad + F_L(\cos\alpha - \sin\alpha)] \end{aligned} \tag{12}$$

여기서, α는 Lashing 와이어와 양의 y축이 이루는 각이다.

식(12)의 경우와 달리, 오른쪽 와이어에 장력이 걸리는 경우 식(12)의 표현식은 다음과 같이 소폭 변화된다.

$$\begin{aligned} F_{I_y} &= F_{G_y} + F_{A_y} + F_{R_y} + F_L\cos\alpha \\ F_{I_z} &= F_{G_z} + F_{A_{z1}} + F_{A_{z2}} + F_{R_{z1}} - F_L\sin\alpha \\ M_I &= \frac{b}{2}[(F_{A_{z1}} - F_{A_{z2}}) + F_{R_{z1}} - F_{A_y} + F_{R_y} \\ &\quad + F_L(\cos\alpha + \sin\alpha)] \end{aligned} \tag{13}$$

4. 계산 결과 및 고찰

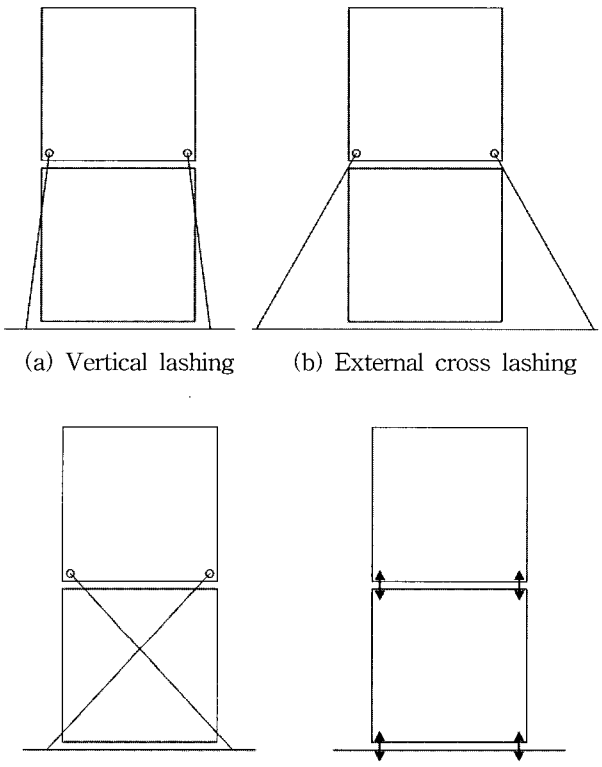
4.1 대상 선박

대상 선박은 9000TEU급 컨테이너선(김 외, 2004)이고, 주요 제원을 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 Scantling 값이 실제값이고, 좀더 횡동요가 많이 발생하는 조건을 만들어 주기 위하여 Light 조건을 임의로 설정하였다. Light값은 밸러스트 상태보다는 20,000 m^3 정도 배수용적이 큰 상태이다.

Table 1 Principal particulars of the object ship

항 목	값	
	Scantling	Light
길이 (L_{pp})	292.5 m	
폭 (B)	45.6 m	
흘수 (T)	14.5 m	8.0 m
배수용적 (∇)	119,604 m^3	70,000 m^3
방형계수 (C_B)	0.67	0.66
메타센터높이 ($\overline{GM}$)	2.6 m	6.0 m

4.2 계산 조건



(a) Vertical lashing (b) External cross lashing

(c) Internal cross lashing (d) Twistlocks only

Fig. 3 Basic lashing and securing patterns

Securing과 Lashing 시스템은 Fig. 3과 같이 컨테이너는 2층 으로 적재되었고, 형태는 4가지 기본 패턴들이다. 실제로 대상선박이 상당히 큰 컨테이너선이므로 컨테이너는 2층 이상으로 적재될 것이지만 본 논문의 목적이 계산방법의 제안에 있으므로 단순하게 2층 적재의 경우만 고려하기로 한다. 컨테이너의 무게는 10톤이고, 상단 컨테이너의 z방향 무게중심이 선저로부터 35 m 위에 있고, y방향은 -20 m 이다.

선박은 Scantling 경우에 설계속도인 25 knot로 운항하고, 유의파고는 10 m, 파랑은 파입사각이 90° (좌현으로부터 우현 방향)인 횡파에 대하여 계산을 수행하였다. Light 경우에는 속도가 10 knot, 유의파고는 12 m, 횡파 조건에서 수행하였다.

실제적으로 유의파고 12 m는 너무 과도한 환경조건이지만 큰 횡동요를 유발시켜서 본 논문에서 제안하는 계산법을 검증하기로 한다. 불규칙파의 생성을 위해서 ITTC 파랑 스펙트럼 (Bhattacharyya, 1978)을 사용하여 10개의 주파수들에 대한 파성분의 진폭을 구한 후 중첩하여 사용하였다.

4.3 계산 결과 및 고찰

불규칙 횡파 중에 침로를 유지하면서 운항하는 선박의 시간에 따른 횡동요각 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 선박이 대형 컨테이너선이므로, scantling 상태에는 횡동요가 크게 일어나지 않는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5에는 scantling 상태에의 상하 컨테이너의 바닥면에 작용하는 힘을 도시하였다. 힘은 컨테이너의 무게로 무차원하였다. Fig. 5. (a),(b)를 종합해 보면 아래쪽 컨테이너가 위쪽 것의 무게만큼 힘을 추가로 받는 것을 알 수 있고, scantling 상태에서는 자중에 의한 힘으로 충분히 전도 모멘트를 지탱하고 있는 것을 볼 수 있다. 왜냐하면 위쪽 컨테이너의 양쪽에 작용하는 수직 방향 힘이 모두 0보다 크기 때문이다. 또한 아래쪽 컨테이너가 위쪽 컨테이너의 무게를 지탱하고 있기 때문에 선박 운동에 따라 양쪽 모서리에서의 힘 변화가 크게 된다. Fig.5.(c)에 도시한 수평방향 힘이 컨테이너간의 마찰력 보다 크게 되면 수평이동이 일어나게 된다. 또한 Fig. 3의 Twistlock으로 Securing을 하는 경우는 양쪽 lock에서 도시한 수평방향 힘이 작용하므로, 이 하중을 고려하여 lock의 강도를 선정하여야 한다.

Fig. 6에는 Table 1의 Light 경우와 Fig. 3.(a)의 Vertical lashing에 대한 Lashing 와이어에 작용한 무차원 장력을 도시하였다. 선박의 횡동요(Fig. 4)는 좌현쪽이 조금 크므로 컨테이너의 우측에 부착된 와이어에만 장력(F_{L_2})이 작용하였고, 횡동요가 크게 일어났을 때만 짧은 시간 동안 장력이 작용하였다. 컨테이너의 자중이 상당히 크고, 선박의 선수동요 운동을 제한하였으므로, 운동에 의한 관성력이 비교적 작아서, 와이어에 큰 장력이 오랫동안 작용하지 않는 것을 볼 수 있다.

Table 2에는 Lashing 와이어에 가장 큰 장력이 작용하는 시점인 126초에서의 Fig. 3의 Lashing 패턴에 따른 장력과 수평방향 반작용력을 나타내었다. 장력의 크기 측면에서는 Vertical lashing이 가장 우수하며, 수평방향 반작용력을 줄이는 효과도 동시에 얻기 위해서는 External cross lashing이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

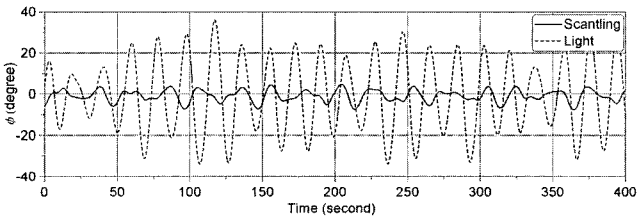
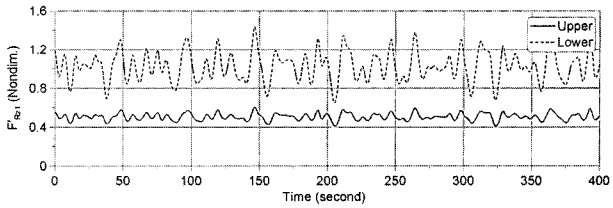
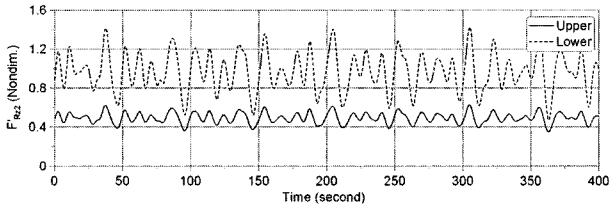


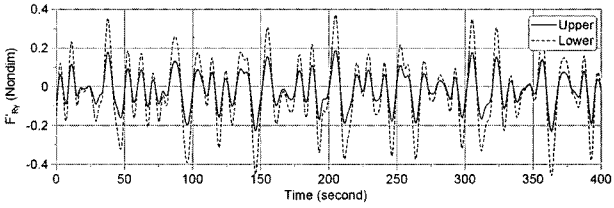
Fig. 4 Roll angle of container ship listed in Table 1



(a) Vertical reaction force at left lower corners



(b) Vertical reaction force at right lower corners



(c) Horizontal reaction force at bottom surface

Fig. 5 Nondimensional reaction force in case of scantling condition

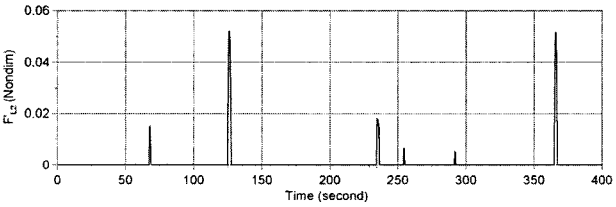


Fig. 6 Nondimensional tension of lashing wire in case of light condition and vertical lashing pattern

Table 2 Nondimensional tension and reaction force when tension is exerted at lashing wire of Fig. 3's three patterns

Lashing pattern / Force	Vertical	External cross	Internal cross
Tension (F'_L)	0.05216	0.07265	0.07265
Reaction (F'_{R_y})	-0.7961	-0.7538	-0.8566

5. 결 론

파랑 중 운항하는 선박의 6자유도 운동을 포텐셜 이론과 스트립법을 이용하여 수학적으로 정식화하고, 계산을 수행하였다. 대상선박은 대형 컨테이너선이고, 계산된 운동을 고려하여 수직 적층된 갑판적 컨테이너들 간에 미치는 Securing 하중과 Lashing 와이어 장력을 계산하였다.

이를 위하여, 적절한 가정을 도입하여 문제를 단순화한 후 힘과 모멘트의 평형식으로부터 컨테이너의 양쪽 모서리에 작용하는 수직방향 힘들과 바닥면에 작용하는 수평방향 힘을 계산하는 식을 유도하였다. 또한 Lashing 와이어가 없는 경우 전도 조건을 가정하여, 와이어가 있는 경우에 대한 장력 계산식을 제안하였다. 제안식들을 통하여 계산을 수행한 결과, 전체 시스템의 물리적인 특성을 어느 정도는 반영하고 있는 것으로 판단되었다. 따라서 제안된 식은 Securing 장치나 와이어의 강성값 등이 없어도 하중과 장력을 계산할 수 있는 단순식이므로, 적은 개수의 변수들을 이용하여 개략적인 평가에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로, 수평방향의 커넥터가 연결되어 있는 경우 및 좀 더 복잡한 Lashing 패턴에 대해서도 계산이 가능하도록 제안된 식을 확장하여야 한다. 또한 바람 등의 환경 외력의 추가도 고려하여야 한다.

후 기

본 논문은 과학기술부 민군겸용기술개발사업 “파랑중 수상선의 자세제어장비 기술개발(PN00700)” 과제에서 지원하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 김선영 외 (2004), "차세대 선박의 조종성/안전성 평가기술 개발 (II)", KRISO 연구보고서, UCN00370-2433

[2] 윤현규, 이경중, 이창민 (2004), "자세제어장비를 장착한 선박의 파랑중 운동 모델링 및 시뮬레이션", 한국항해항만학회지, 제28권, 제5호

[3] 한국검사정공사(KASCO) (1999), "Cargo Securing Manual"

[4] Bhattacharyya, R. (1978), "Dynamics of Marine Vehicles", John Wiley & Sons

[5] Fossen, T.I., (1994) "Guidance and Control of Ocean Vehicles", John Wiley & Sons

[6] Germanischer Lloyd (2005), "Rules & Guidelines 2005 - Ship Technology - Part IV"

[7] Lloyd, A.R.J.M. (1989), "SEAKEEPING: Ship Behavior in Rough Weather", ELLIS HORWOOD LIMITED

[8] Rojas, L.P. and Belenky, V.L. (2005), "A Review of the 8th International Conference on the Stability of Ship and Ocean Vehicles (STAB 2003)", Marine Technology, Vol.42, No.1, pp.21~30

원고접수일 : 2005년 4월 1일
원고채택일 : 2005년 6월 16일