

4기 크레인에 의한 침몰 선체의 인양력 계산

최경식 · 이상갑 · 손경호 · 신맹기
한국해양대학교 조선해양공학부

Calculation of 4 Crane Lifting Forces for a Sunken Ship

KYUNGSIK CHOI, SANG-GAB LEE, KYOUNG-HO SOHN AND MAENG-KEE SHIN
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

KEY WORDS: Salvage 구난, Sunken ships 침몰선, 4 cranes 4기 크레인, Lifting porces 인양력

ABSTRACT: This study focuses on a simple analytical approach to calculate crane lifting forces for a sunken ship. The method takes into account the relation of lifting forces acting in wire rope slings to the inclination of the vessel including the effect of lug positions. The importance of the sunken ship salvage is explained from the statistics of ship casualties during last 15 years. Euler angles are introduced to represent the inclination of a sunken ship in developing the static force and moment equations. Three dimensional examples with one redundant degree of freedom for a GT1500 oil tanker are analyzed and the results show that the information obtained by the method could be useful to salvors to conduct salvage work.

1. 서 론

근래 해상 물동량의 증가와 빈번한 어로활동으로 인하여 충돌, 좌초와 같은 연근해에서의 해난사고가 자주 발생하고 있다. 가까운 예로서 1989년 씨프린스호 좌초로 인한 유류 유출 사건으로 남해안에서는 엄청난 규모의 해양오염과 함께 어장의 황폐화로 인해 막대한 경제적 손실이 발생하였다. 해난사고로 인한 인적, 물적 손실을 최소화하기 위해서는 사고발생후의 신속한 대응과 체계화된 처리과정이 필요함을 가르쳐준 사건이다.

이러한 대형 해난사고 외에도 중소형 선박의 해난사고도 자주 발생하는데 해양경찰청의 국내 해난사고 통계(해양경찰청, 1997)에 따르면 1979년부터 1997년까지 인명피해는 감소추세를 보이고 있으나 선박사고 건수는 여전히 연간 500여 척에 달하는데 이것은 상대적으로 대형 선박의 사고는 줄어들고 있지만 중소형 선박의 해난사고가 증가하고 있음을 암시한다(Fig. 1). 소형 어선이 선종별 해난사고의 절대적인 다수를 차지하고는 있지만 인명보호와 환경오염의 차원에서 볼 때 중소형 유조선이나 여객선 사고에 대한 대응에 더 많은 관심을 가지게 한다.

선박의 해난사고 중 기관고장의 경우를 제외한 좌초, 충돌, 화재, 전복, 침수 등이 실질적으로 사후 신속한 대응이 필요한 급박한 사고유형이라 할 수 있는데 이로 인해 선체가 침몰한 경우 인양작업이 어려워 대체로 선체를 포기하는 경향이였다. 해난사고가 일어났을 때 인명구조율은 거의 90% 이상을 유지해왔는데 선박의 구조율은 73.4%로 대략 사고 발생건수의 1/4에 해당하는 선박이 구난분가로 처리됨을 알 수 있다(Fig. 2). 1996년 한 해 동안 침수와 충돌로 인한 침몰 선박 수는 구난

이 불가능한 전체 선박 수의 64.8%를 차지하고 있다.

하지만 침몰된 선체에서 유류 유출이 계속 진행되거나 여객선과 같이 많은 승객이 선체와 함께 희생된 경우, 그리고 선박이 항만이나 항로 가운데 침몰하여 타 선박의 운항에 위험이 되는 경우에는 신속하게 선체를 인양할 필요가 있다. 현재 국내외를 막론하고 구난업체나 관련기관에서는 공학적인 구난기술에 관심이 많다. 그러나 다양한 선종과 해양환경에 따른 체계적인 구난기술 개발에는 많은 어려움이 있다.

침몰된 선체의 인양시 선체의 어느 지점을 끌어 올릴 것인지를 결정하고, 인양 중 선체의 경사와 크레인의 인양력 사이의 관계를 고려하여 적절한 인장력을 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 국내 해난사고의 추종을 이루는 중소형 침몰 선박의 인양 문제를 다루고 있으며, 선체에 체인을 감아 들어올리는 기존의 인양 방법과는 달리 육상에서 중량물 인양에 많이 사용되는 리그(eye lug)에 연결되는 크레인 4기의 인양력을 결정하는 간략한 계산법을 제시하였다. 그리고 본 연구의 적용사례로서 1500톤급의 침몰 유조선의 인양에 대해 계산하였다.

2. 침몰 선체의 인양 방법

침몰 선박의 인양은 2차 세계대전 전후에 주로 활용되었던 노동집약적이고 경험에 의존하는 방법들이 주로 사용되고 있으며 아직도 현대적인 공학기술을 활용하는 획기적인 기술진전은 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 침몰된 선박의 인양 방법은 크게 선박의 부력을 증가시켜서 선체를 부양하는 방법과 선체를 체인이나 로프를 걸어 직접 들어올리는 인양 방법으

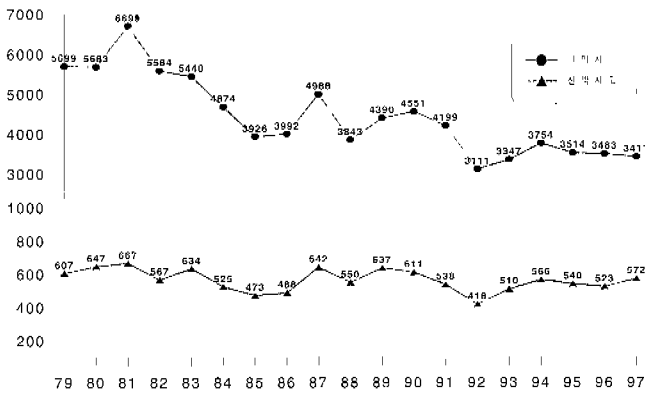


Fig. 1 Yearly occurrence of the sea perils

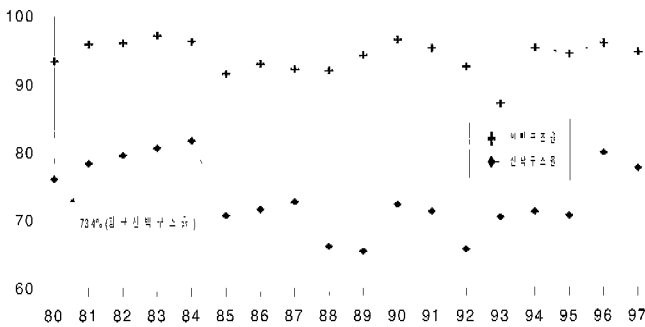


Fig. 2 Rescure rate of the sea perils

로 구별할 수 있다(Bartholomew, 1990; Milwee, 1996; Niemann, 1979).

갑판이 잠기기 않을 정도로 얇은 물에 침몰한 대부분의 선박들은 해수를 빼거나 압축공기를 주입시키면 쉽게 부양시킬 수 있다. 주갑판이 잠기는 정도로 침몰한 선박은 물막이(cofferdam) 공법이 이용되기도 한다. 일반적으로 화물선에 주로 사용되고 창구테두리(hatch coaming) 그리고 기관실 창분 등에 설치된다. 하지만 압축공기를 사용하는 데는 상당한 제한이 따른다. 압축공기가 새지 않을 정도로 선각을 수리하거나 패치를 설치하는 작업은 시간과 비용이 많이 들기 때문이다(Colguhoun, 1991; 1994).

펌프, 물막이, 압축공기를 사용하는 방법들은 모두 선박의 부력을 확보하는 데 관심을 기울이는 반면, 폰툰(pontoon)이나 에어백(air bag), 그리고 해상 크레인을 이용한 직접 인양은 선각의 일부분에 상향집중력을 주어 들어 올리는 방법들이다.

선박의 중량을 지탱할 로프의 개수를 결정할 때는 외판 두께도 고려해야 하며 체인을 선체 밑으로 감기 위해서는 여러 척의 예인선이나 구난선이 동시에 가능되어야 하며 수심이 깊어서 이러한 방법이 불가능할 때는 잠수사를 동원하여 직접 체인이 통과할 위치에 터널을 만든다.

신복된 선박의 구난은 대체로 선체를 똑바로 돌린 후 부양한다. 선체를 바로잡는 작업은 인장용 도르레 장비나 벨러스트와 조수차를 이용해 복원모멘트를 발생시켜 실시한다.

수심이 조금만 깊어도, 예를 들어, 선체 깊이의 2배 이상의

수심이던 부양법은 거의 불가능하고, 인양법이라 할 지라도 부력체를 이용하는 방법은 소형선박에만 제한적으로 적용할 수 있을 뿐이다(Yang, 1984; 1992; Gibbs et al., 1990).

최근에는 대형 해상 크레인을 이용한 직접 인양법이 주로 활용되는 추세이다. 크레인과 체인을 이용하는 방법은 체인을 선체 밑 해저면에 통과시킬 수 있는가에 따라 결정된다. 선체에 체인을 감아 들어올리는 인양 방법은 체인의 정확한 위치 확보가 어려워 인양도중 다시 침몰되는 사태도 많이 발생하며 동원된 크레인의 인양능력도 매우 중요한 변수이다.

이를 위해서 체인이나 로프를 선체에 정확하게 고정시켜 줄 수 있는 장치가 사용될 수 있는데 본 연구에서는 육상에서 중량물 인양에 많이 사용되는 러그(eye lug) 와 크레인 4기를 이용한 방법을 상정하여 크레인의 인양력을 계산하는 방법을 제시한다.

3. 크레인의 인양력 계산

일반적으로 중량물의 인양작업에서 중요한 문제는 무게중심과 크레인의 리깅후크(rigging hook)가 걸리는 위치의 선정이다. 후크의 위치가 무게중심의 연직선 상에 있는 경우 기하학적인 관계를 이용하여 중량물의 하중을 각각의 로프에 분배해 주는 매우 간단한 문제가 된다(Rossnagel et al., 1988). 그러나 인양할 물체가 선박처럼 큰 규모의 대상이라면 문제는 훨씬 복잡해진다. 큰 중량을 들어올릴 수 있는 용량을 가진 크레인의 확보가 쉽지 않으며 1기의 크레인을 사용하는 경우 인양로프가 수평면과 이루는 경사각도가 작아져 로프에 과다한 인장력이 걸리게 되고 인양작업시의 제어도 어려워진다. 적절한 수평각을 얻을 수 없을 때 사용하는 버티보(spreader beam)도 규모가 큰 중량물에 적용하는 데는 제한이 따른다.

따라서, 다중 후크를 이용한 인양 방법, 즉 여러 대의 크레인을 이용하여 중량물을 인양할 수밖에 없는데 (본 연구에서는 4기 크레인 사용) 이 때 크레인의 인양력을 결정하는 것은 정역학으로 결정할 수 없는 부정정 문제로 귀착된다. 부정정 문제의 해결은 평형방정식과 더불어 구성방정식, 그리고 변형의 적합조건을 알아야 기능한데 보와 같은 1차원의 간단한 구조물이라도 부정성의 문제는 다루기가 그리 간단하지 않다. 인양 물체의 구성방정식과 적합조건을 사용하지 않으면 미지수의 개수보다 방정식의 수가 하나 적은 문제가 되어 정역학적인 평형방정식만으로는 1개의 잉여미지력을 가지는 부정정 문제가 되기 때문이다.

하지만 현실적으로 4기의 크레인을 각각 다른 크레인 기사가 능동적으로 제어한다고 하면, 나머지 1개의 잉여 미지력(즉 로프에 걸리는 인장력)은 수어진 크레인 용량의 한도 내에서 크레인 기사가 제어하는 항목이므로 결국 이 미지력은 설계한도 내에서 변하는 외력을 다루는 정정 문제로 취급이 가능해진다.

3.1 평형방정식의 구성

경사효과는 회전에 의해서 무게중심의 위치가 달라지기 때문에 높이를 무시할 수 없는 중량물을 다룰 때 두드러지게 나

타난다. 여러 대의 크레인을 이용하여 중량물을 들어올릴 때 마람이나 파도에 의해 크레인 자체나 크레인 붐(boom)이 움직이는 영향을 무시하더라도, 크레인 사이의 상대적인 조종의 차이에 의해 불균형 문제가 발생하게 되며 중량물은 수평상태를 유지하지 못하게 된다.

일반적으로 3차원 직각좌표계에서 좌표계의 회전은 다음 식으로 표현된다.

$$x'_i = \alpha_{ij} x_j \quad (1)$$

여기서

$$\alpha_{ij} \alpha_{ik} = \delta_{jk} \quad (2)$$

이므로 (1)식의 α_{ij} 는 9개의 방향여현 중 3개만 독립적이다.

오일러 회전각 ψ , θ , ϕ 를 x , y , z 좌표축에 관한 회전행렬의 곱으로 표현하면 다음과 같다.

$$R = R_x(\psi) R_y(\theta) R_z(\phi) \quad (3)$$

여기서

$$R_x(\psi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

좌표축은 그대로 두고 물체를 회전시키는 효과는 축을 회전시키는 방향과 반대 방향의 회전각으로 표현하면 되므로 ψ , θ , ϕ 에 대하여 각각 $-\psi$, $-\theta$, $-\phi$ 와 같이 부호를 바꾸면 (4)식에서 $\sin(\psi, \theta, \phi)$ 에 대해서 $-\sin(\psi, \theta, \phi)$ 로 바뀌면서 고정된 좌표축에 대한 물체의 기울어짐을 표현할 수 있다.

힘과 모멘트의 평형방정식은 다음과 같다.

$$\sum \vec{F} = \vec{0}, \quad \sum \vec{M} = \vec{0} \quad (5)$$

물체에 가해질 각각의 인장력 및 그 위치벡터를 \vec{T}_α , \vec{r}_α (즉 α 는 1, 2, 3, 4 인), 전체 중량 및 그 위치벡터를 \vec{W} , \vec{r}_c 라 하면 (5)식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\vec{W} + \sum_\alpha \vec{T}_\alpha = \vec{0} \quad (6)$$

$$\vec{r}_c \times \vec{W} + \sum_\alpha \vec{r}_\alpha \times \vec{T}_\alpha = \vec{0}$$

여기서

$$\vec{W} = -W \hat{j}, \quad \vec{T}_\alpha = T_\alpha \hat{j} \quad (7)$$

$$\vec{r}_c = x_c \hat{i} + y_c \hat{j} + z_c \hat{k}, \quad \vec{r}_\alpha = x_\alpha \hat{i} + y_\alpha \hat{j} + z_\alpha \hat{k}$$

일정각을 회전한 중량물의 평형을 고려하려면 (6)식에서 인장력을 가할 위치와 무게중심의 위치를 각각 \vec{r}_c 와 \vec{r}_α 대신에 \vec{r}'_c 과 \vec{r}'_α 으로 대체하면 되고 이 때 회전변환식은 다음과 같다.

$$\vec{r}'_\alpha = R \vec{r}_\alpha, \quad \vec{r}'_c = R \vec{r}_c \quad (8)$$

여기서

$$\vec{r}'_\alpha = \begin{bmatrix} x'_\alpha \\ y'_\alpha \\ z'_\alpha \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_\alpha = \begin{bmatrix} x_\alpha \\ y_\alpha \\ z_\alpha \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\vec{r}'_c = \begin{bmatrix} x'_c \\ y'_c \\ z'_c \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_c = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

3.2 평형방정식의 3차원 해

Fig. 3은 4기의 크레인을 이용하여 3차원 중량물을 인양하기 위한 모델을 보여주고 있다. 이 모델은 선박의 무게중심이 중앙에 놓이지 않은 일반적인 경우에 해당된다. T_α 는 크레인에 의한 인장력, $(x_\alpha, y_\alpha, z_\alpha)$ 는 보프가 걸릴 러그의 위치 (여기서 α 는 1, 2, 3, 4 이다), W 와 (x_c, y_c, z_c) 는 선박의 중량과 무게중심의 위치이다. 그리고, 그림에는 나타내지 않았지만 ψ, θ, ϕ 는 각각 x, y, z 축을 중심으로 직육면체를 회전시키는 각으로서 앞에서 오일러 각도를 정의하는 방법과 동일하다.

대단히 복잡한 식으로 표현되기는 하지만 일반적인 경우에 대하여 T_1, T_2, T_3 를 잉여미지력 T_4 로 나타낼 수 있다. 러그의 y 좌표가 모두 d 인 경우로 한정하여 구한 해는 (10), (11), (12)식과 같다. 여기서 d 는 침몰 선체의 상갑판에 러그가 부착된 것으로 생각할 수 있고 90° 로 선복된 경우에는 선측부의 높이라 볼 수 있다.

$$\begin{aligned} T_1 = & (\cos \phi ((T_4(-x_1+x_2) + W(-x_2+x_c)) \cos \phi \\ & + W(d-y_c) \sin \phi) + \sin \theta (W(d-y_c) \cos \phi \\ & + (T_1(x_1-x_2) + W(x_2-x_c)) \sin \phi) \\ & \sin \phi) / ((x_1-x_2)(\cos \phi \cos \phi - \sin \theta \sin \phi \sin \phi)) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} T_2 = & (\cos \phi ((T_1(x_1-x_2)(z_1-z_3) + W(-x_c z_1 \\ & - x_1 z_3 + x_c z_3 + x_2(z_1-z_c) + x_1 z_c)) \cos \phi \\ & - W(d-y_c)(z_1-z_3) \sin \phi) + (-W(d-y_c) \\ & ((x_1-x_2) \cos \theta + (z_1-z_3) \cos \phi \sin \theta) - \\ & (T_1(x_1-x_2)(z_1-z_3) + W(-x_c z_1 - x_1 z_3 \\ & + x_c z_3 + x_2(z_1-z_c) + x_1 z_c)) \sin \theta \sin \phi) \\ & \sin \phi) / ((x_1-x_2)(z_1-z_3)(\cos \phi \cos \phi - \\ & \sin \theta \sin \phi \sin \phi)) \end{aligned} \quad (11)$$

$$T_3 = (T_4(-z_1 + z_3) + W(z_1 - z_c) + (W(-d + y_c) \cos \theta \sin \phi) / (-\cos \phi \cos \psi + \sin \theta \sin \phi \sin \psi)) / (z_1 - z_3) \quad (12)$$

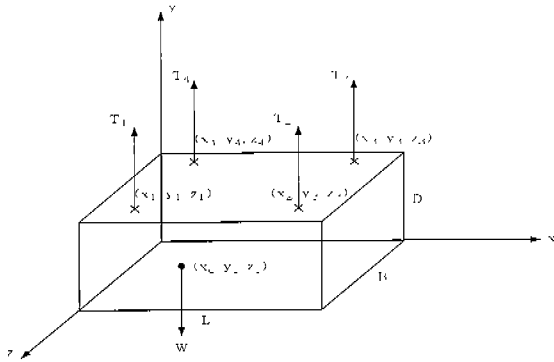


Fig. 3 3-D block model for 4 lifting forces

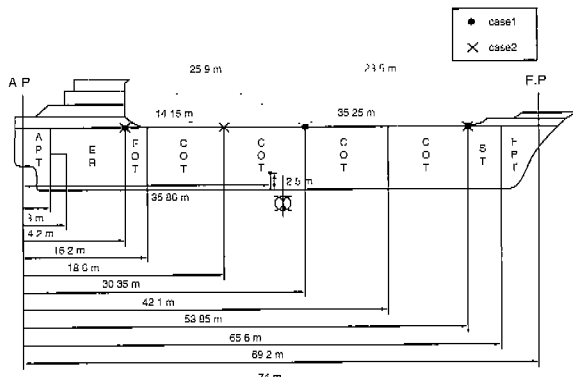


Fig. 4 A sunken ship for example analysis

4. 해석 사례

침몰 선박의 인양작업이 이루어지기 전에 선체의 어느 위치를 얼마만한 인양력으로 들어올릴 것인가를 결정하는 일은 매우 중요하다. 특히 인양중인 선체가 기울어짐에 따라 로프의 인장력은 크게 변동할 수 있으므로 로프의 파단을 방지하기 위한 작업 가이드라인을 제시할 필요가 있다. 크레인 기사는 선체의 경사각과 다른 크레인의 장력을 알 수 있고 동시에 자신의 크레인에 얼마의 장력을 가해야 할 지를 결정할 수 있다.

본 논문에서는 제시한 계산식을 이용한 해석 방법의 유용성을 검증하기 위하여 1500톤급 침몰 유조선에 대하여 3차원의 인양력을 계산하였다. 해석 사례로 사용된 선박은 Fig.4에 나타나 있듯이 길이 82.05m, 수선간 길이 74m, 폭 12m, 깊이 6m, 그리고 만재홀수 5.684m이며 중앙부에 종격벽을 가지고 좌우 각각 4개의 원유저장탱크가 배치되어 있는 연근해용 소형 유조선이다.

계산은 선체가 좌우대칭으로 해저면에 똑바로 (upright) 놓여

있는 경우와 90° 전복(capsized)된 경우에 대하여 각각 수행하였다. 두 경우 모두 모든 구획이 완전히 침수된 경우를 가정하였다. 여기서 완전침수란 선박 내의 모든 공간을 해수로 채우고 있는 것으로 간주한 것이다.

선체구조는 얇은 박판으로 만들어진 탓에 로프를 걸 러그의 부착 위치는 강도상 격벽 부위를 크게 벗어나지 못한다. 그러므로 러그의 위치는 선택할 여지가 몇 가지 없고 각각의 경우를 해석한 후 가장 적절한 위치를 선정하면 된다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 선체가 놓여 있는 상태는 직립인 경우 선수부는 x축의 양의 방향으로 놓여 있고, 선저부는 x-z 평면에 놓여있으며, 원점(axis origin)의 위치는 크기 L, B, D로 이루어지는 선박을 둘러싼 직육면체에서 좌현(port side) 후방 아래 꼭지점으로 삼았고, 전복된 경우는 선수부는 직립의 경우와 마찬가지로 x축의 양의 방향으로 놓여 있고 우현(starboard) 쪽으로 90° 전복되어 선저면이 x-y 평면에 놓여있으며, 원점의 위치는 우현 후방 아래 꼭지점으로 정하였다.

Fig. 6은 T₄의 인장력 변화에 따른 T₁, T₂, 그리고 T₃ 인장력의 변화를 x축을 회전축으로 한 각변화 ψ의 함수로 나타낸 그림이다. T₄가 증가하면 T₂가 증가하는 대신 T₁과 T₃는 감소한다. 즉 인장력이 가해지는 위치와 대각선 방

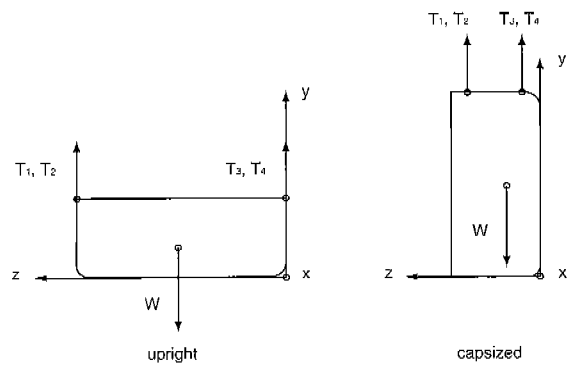


Fig. 5 Initial configurations of a sunken ship

향에 위치한 지점의 인장력이 증가하고 인접한 지점에서는 인장력이 감소한다. 그리고 T₂, T₃와는 달리 T₁은 ψ의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 T₄가 임의로 선정하여 인장력이기 때문에 회전에 의한 효과가 이미 포함되어 있다는 뜻이다.

선체가 우현으로 기울수록 T₂는 감소하고 T₃는 증가하며 1° 경사시 약 5톤의 인장력 변화를 나타내고 있다. 따라서 -6°에서 +6°까지 12° 정도의 진폭을 가지고 선박이 좌우로 경사된다면 약 60톤의 인장력의 변화가 나타나기 때문에 특히 ψ 방향의 경사가 발생하지 않도록 주의를 기울여야 할 것이다. 이에 반해 φ 방향의 경사각은 인장력 변화에 거의 영향을 주지 않는다.

마지막 2개의 그림인 Fig. 8 과 Fig. 9 는 우현 쪽으로 90° 전복된 경우를 나타낸 것인데, Fig. 5 에서 보는 바와 같이 좌현 선체에 인장력을 가하고 있다. Table 1 을 참고하면 T_1 과 T_4 , 그리고 T_2 와 T_3 사이의 간격이 3.56m 에 불과하기 때문에 Fig. 8 에서 보듯이 각도 ϕ 의 변화가 인장력에 미치는 영향이 엄청나다. 1° 경사시 약 27톤의 인장력 변화를 나타내는데 이것은 결국 회전축에 직각인 평면에서 인장력이 작용하는 지점의 거리가 가깝기 때문에 발생하는 것이다. 즉, 무게 중심을 사이에 두고 인장력이 가해지는 지점의 간격이 크면 해당 지점을 포함하는 평면의 회전각 변화가 인장력에 미치는 영향이 작고, 간격이 작으면 그 영향이 크다는 것을 말해 준다.

Table 1 Location of lugs and center of gravity (unit: m)

	x		y		z	
	up	cap	up	cap	up	cap
T_1	16.2	16.2	6	12	12	4.78
T_2	65.6	65.6	6	12	12	4.78
T_3	65.6	65.6	6	12	0	1.22
T_4	16.2	16.2	6	12	0	1.22
W	35.86	35.86	2.5	6	6	2.5

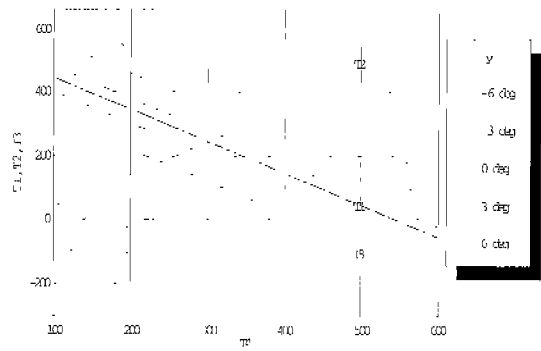


Fig. 8 T_1, T_2, T_3 vs. T_4 with the change of angle ϕ (capsized)

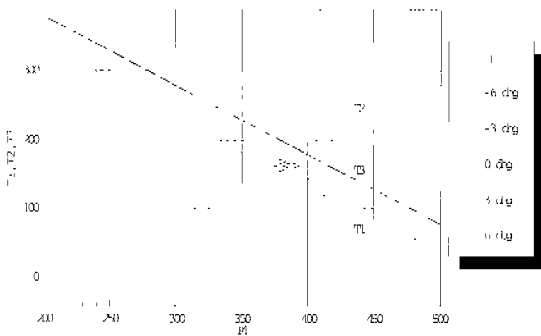


Fig. 9 T_1, T_2, T_3 vs. T_1 with the change of angle ϕ (capsized)

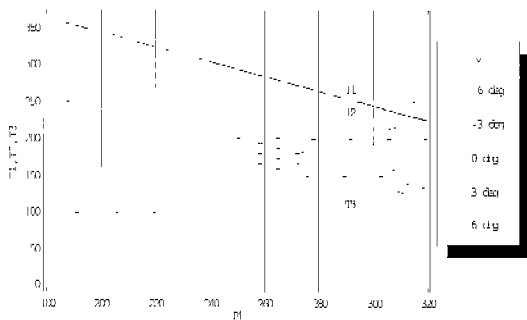


Fig. 6 T_1, T_2, T_3 vs. T_4 with the change of angle ϕ (upright position)

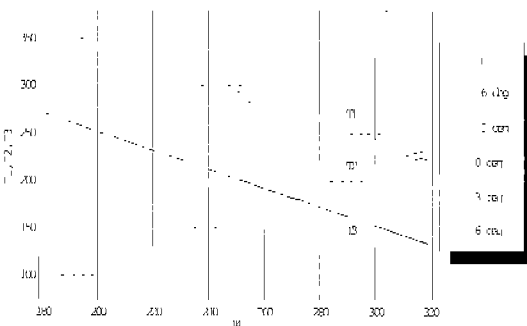


Fig. 7 T_1, T_2, T_3 vs. T_4 with the change of angle ϕ (upright position)

5. 결 론

본 연구에서는 국내 해난사고의 주종을 이루는 중소형 침몰 선박의 인양 문제를 다루고 있으며, 선체에 체인을 감아 들어 올리는 기존의 인양 방법과는 달리 육상에서 중량물 인양에 많이 사용되는 리그(eye lug)에 연결되는 크레인 4기의 인장력을 결정하는 간략한 계산법을 제시하였다. 그리고 본 연구의 적용사례로서 1500톤급의 침몰 유조선의 인양에 대해 계산해 보았다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

3차원 해석을 통해 선박의 길이 방향을 따라 선정된 리그 부착 지점은 선체구조의 특성상 격벽부위로 결정되었고, 이 위치에 가해지는 인장력의 변화는 인접한 위치의 인장력은 서로 반비례하고 마주보는 위치의 인장력은 비례적으로 변화한다는 것을 알 수 있었다. 무엇보다도 리그 사이의 간격은 선체가 이루는 경사각과 밀접한 관계가 있음을 파악할 수 있었다. 따라서 선체 인양시 기본적으로 종방향의 경사보다는 횡방향의 경사에 더 큰 인장력 변화가 유발될 수 있다는 점이다.

본 연구는 침몰 선체의 인양에 관심을 두고 수행되었지만 해석 방법은 육상에서의 중량물 이동에도 사용할 수 있다. 특히 조선소에서 조립된 대형 선체블록을 여러 개의 크레인을 사용하여 운반하고자 할 경우 크레인의 인장력 계산에 본 연

구결과를 이용할 수 있을 것이다.

한편 본 논문에서는 환경하중에 의한 영향을 고려하지 않았기 때문에 선체에 가해지는 인양력이 모두 수직하중이라 가정했다. 그러나 실제로 수평방향의 하중에 의해 선체가 어느 정도 이동하여 인양력은 약간 경사진 하중으로 작용할 것이다.

선체를 인양하려면 수백 톤의 인양력이 필요하기 때문에 수평방향의 이동에 따른 인양력의 변화는 작을 것이라 예상은 되지만 정량적인 확인이 필요하다.

또한, 본 논문의 결과가 실제 인양작업 시 유용하게 활용되기 위하여 인양력이 가해지는 지점의 선각구조의 응력 상태를 검토하여 찢어짐(tearing)이 발생하지 않는 최대 인장강도를 유지할 수 있도록 해야 할 것이다. 아울러 본 해석을 뒷받침하는 실험이나 현장의 사례를 확보하는 지속적인 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원에 의해 수행된 결과이다.

참 고 문 헌

해양경찰청(1988-1997). "해난사고통계분석".

Bartholomew, C. A.(1990). "Mud, Muscle, and Miracles: Marine Salvage in the United States Navy", Naval Historical Center and Naval Sea Systems Command.

Colquhoun, A.(1994). "Raising from the Depths (In the Antipodes)", International Tug and Salvage Conference, pp 85~90.

Colquhoun, A.(1991). "Refloating from a Strand - Practical Naval Architectural Aspects", Proc. of the 11th International Tug Convention Marine Salvage Symposium, pp 155~160.

Gibbs, B., Milwcc, W. I. and Detlev, H.(1990). "Double Hull Tankers - A Salvor's Perspective", Proc. of the 11th International Tug Convention Marine Salvage Symposium, pp 161~167.

Milwcc, W. I.(1996). "Modern Marine Salvage", The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

Nicmann, G. A. F.(1979). "Salvage of Malaysia Kita", Marine Technology Society Journal, Vol. 13, No. 4, pp 22-28.

Rossnagel, W. E., Higgins, L. R and MacDonald, J. A.(1988). "Handbook of Rigging For Construction and Industrial Operations", McGraw-Hill.

Yang, G. L.(1984). "The Theory and Practice of the Refloating Project of the M/V Damodar Ganga", Marine Technology Society Journal, Vol. 18, No. 2, pp 18~25.

Yang, G. L.(1992). "Calculations for Refloating Grounded Ships", Marine Technology Society Journal, Vol. 26, No. 3, pp 39~46.

1999년 11월 24일 원고 접수

2000년 2월 22일 수정본 채택