

바지선 구조변경이 계류력 변화와 안정성에 미치는 영향

박정홍* · 김광훈** · 문병영***† · 장택수****

Changes of Mooring Force due to Structural Modification of a Barge Ship

Jung-Hong Park*, Kwang-Hoon Kim**, Byung-Young Moon***†, Tak-Soo Jang****

Key Words : Mooring force analysis(계류력 해석), Floating body dynamics model(부체 동역학 모델), Numerical analysis(수치해석), Two-dimensional analysis(2차원해석), Barge ship(바지선)

ABSTRACT

Structural modifications of a ship may cause a fatal accident such as sinking and wrecking of ship. Especially, barge ship can be easily reconstructed to load more bulk cargo. In this study, for a real accident case, change of mooring force due to structural modification was analyzed to evaluate accident risk. A two dimensional dynamic model for the barge ship was constructed to compute mooring forces with related to floating motion. The equation of motion was established in Matlab code and buoyancy was calculated by using direct integration of submerged volume. The results showed that wind force, current force, and mooring force after rebuilding was approximately 4.3 kN, 14 kN, 1,561 kN respectively. The maximum force of mooring force according to the length of mooring cable were 1,614 kN at 30 m of mooring cable. Thus, an arbitrary modification of ship lead instability and unreliable result so that illegal rebuilding of ship should be avoided.

1. 서 론

부선, 즉 바지선은 골재 채취, 화물 운송 등에 주로 사용되고 있다. 그리고 교각, 해안 구조물 등의 공사를 위해서 바다에서 운용하는 경우도 많다. 바다는 강에 비해 파도가 높고 바람이 세기 때문에 해상 일기가 나쁜 경우에는 바지선을 운용하기 어려우며 게다가 바지선은 자체 추진력이 없기 때문에 해양환경에 대한 대응이 늦고 사고에 취약할 수 있다.

또한, 바지선은 운용상에 있어 선박운전자의 운용능력과 책임이 기타 선박에 비해 낮고 따라서 운용상의 안전에 대한 전문적 조치가 이루어지지 못하여 표류나 좌초 등의 사고가 발생하고 있다. 심지어 열악한 해양환경으로 피항하여 계류 중인 상태에서도 바지선의 운용 미숙으로 계류삭(mooring cable)이 파단되어 표류 및 침몰에 이르는 경우도 있다.⁽¹⁻²⁾ 이와 같은 상황들에 대하여 바지선의 운동과 더불어 계류력에 대한 문제로 인하여 사고가 발생하였을 때 사고의 원인규

명과 재발방지를 위한 대책이 필요하다.⁽³⁻⁴⁾

복잡한 해양환경에서 발생하는 선박사고는 당시상황에 대한 정확한 데이터 수집의 어려움과 더불어 돌풍, 파도의 형태 등이 매우 불규칙하여 실제상황에 가깝게 모델링하고 해석하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 다양한 바지선 사고 사례들 가운데 바지선의 구조변경이 계류력 변화에 미치는 영향을 분석하기 위해 실제 발생한 사고 바지선의 제원을 이용하고 환경 조건과 파의 형태는 수학적으로 모사하여 이론적 검증을 수행하는 형태로 연구를 수행하고자 하였다. 대상 바지선은 2010년 서해에서 높은 파도를 피해 피항한 상태에서 계류삭이 절단되어 해상으로 표류하였고 이후 암석에 좌초되어 침몰하였다.

본 연구에서는 바지선의 구조변경에 따른 계류안정성 변화를 비교하기 위해 단순한 형의 형태를 가지는 바지선을 강체의 부유체로 가정하였고 빠르고 효율적인 동역학 해석이 가능하도록 수치해석 모델을 개발하고자 하였다.⁽⁵⁻⁸⁾ 해석 모델은 수치해석에 보편적으로 많이 사용하고 있는 매트랩(Matlab, MathWorks, U.S.A.)을 이용하였다.

* 부산대 기계공학부 BK사업단
** 부산대 기계기술연구원
*** 군산대 조선해양공학과
**** 부산대 조선공학과
† 교신저자, E-mail : moonby20@gmail.com

2. 연구방법

2.1 사고선박 제원

본 연구에서 대상으로 한 바지선은 개조전 457톤 바지선이었으며 Fig. 1(a)와 같이 선미부는 예인선이 접안할 수 있는 형상을 가지고 있었다. 그러나 임의 구조변경을 통해 접안부 상판을 덮어 선적화물을 적재할 수 있는 선적면이 선미방향으로 확대되었다. 그리고 상부갑판에 있던 데크하우스 구조물은 Fig. 1(d)와 같이 2층 높이로 높아지면서 선미방향으로 이동하였다. 선체에 대한 주요 치수는 Table 1과 같다.

2.2 구조변경 전후 부력중심 계산

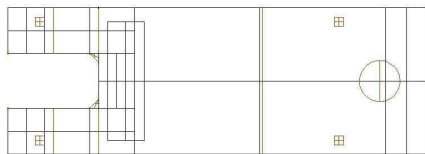
해석을 수행하기에 앞서 구조변경 전후의 부력 중심을 계산하였다. 구조 변경전 바지선의 중량은 457톤으로 미리 알고 있는 값이므로 배의 잠긴 부피를 계산하여 부력중심을 쉽게 계산하였다. 구조 변경후의 부력중심은 화물을 선적하지 않은 상태에서 장시간 형성된 물의 수면선(Fig. 2)을 이용하

Table 1 Barge specifications before rebuilding

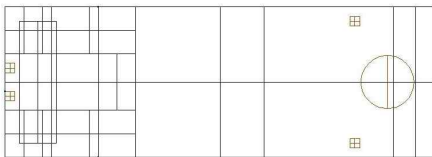
Item	Value	Item	Value
Width(m)	16	Weight before rebuilding (ton)	457
LOA(m)	46.1	Maximum buoyancy(ton)	2110.7



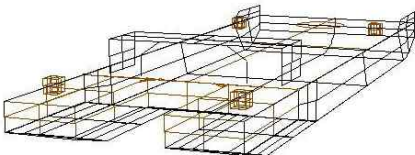
Fig. 2 Separated volume sections for the barge to calculate the center of buoyancy



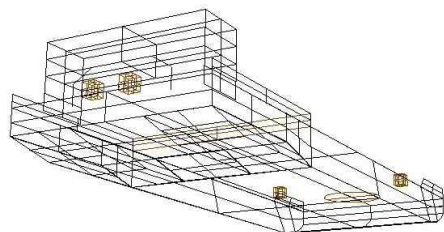
(a) Top view(before)



(b) Top view(after)



(c) Oblique view(before)



(d) Oblique view(after)

Fig. 1 Geometric changes of the Barge ship after structural modifications

Table 2 Estimation of barge weight after rebuilding

Item	Value	Item	Value
Draft at stern (m)	1.3	Upper water hull volume (m ³)	1585.8
Draft at stem (m)	0.5	Under water hull volume (m ³)	524.8
Estimated weight (ton)	524.8	Weight difference between before and after (ton)	67.8

여 체적을 계산하고 부력 중심을 계산하였다. Table 2는 선수와 선미의 잠긴 깊이를 측정된 값들과 이를 이용하여 추정된 배의 중량을 나타내었다. 측정시 선미가 선수에 비해 0.8 m 더 잠긴 상태였으며 이것은 데크하우스가 구조 변경으로 선미방향으로 이동함으로써 생긴 불균형 때문이다. 그리고 수평면을 기준으로 보았을 때 배가 약 1° 기울어져 있었다. 부피 계산 결과 구조 변경전 중량이 457톤에서 구조 변경후 524.8톤으로 67.8 톤 증가한 것으로 계산되었다.

과도가 일지 않고 있는 안정 상태에서 바지선의 부력 중심을 계산하였다. Fig. 3과 같이 A1~A3까지 크게 세부분으로 나누어 사다리꼴법을 이용하여 면적을 계산하고 폭을 곱하여 체적을 구하였다. 각각의 부피는 각 부분별로 계산을 용이하게 하기 위해 Table 3과 같이 세부영역으로 더 세밀히 나누어 계산하였다. 그리고 바지선의 부력 중심을 계산한 결과를 나타내었다. 부력중심의 변화는 Fig.4와 같이 데크하우스의 크기변경과 선미방향으로의 이동으로 인해 개조전과 비교하여 선미방향으로 3.83m 이동하였고 아래로는 거의 변화가 없었다.

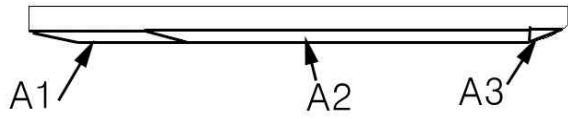


Fig. 3 Separated volume sections for the barge to calculate the center of buoyancy

Table 3 Calculation of volumetric center from the summation of separated sections

Part	Sub	Area	Volume	Center of x	Center of y	Volume moment of x	Volume moment of y
A1	A11	1.7	16.9	2.67	0.56	45.0	9.5
	A12	5.1	50.6	7.00	0.42	354.3	21.3
	A13	1.7	16.9	11.33	0.28	191.2	4.7
	Sum	8.4	84.4	7.00	0.42	590.5	35.6
A2	A21	3.4	54.0	12.67	0.56	683.9	30.4
	A22	25.8	413.0	29.30	0.42	12101.7	174.2
	Sum	29.2	467.0	27.38	0.44	12785.6	204.6
A3	A31	0.8	12.1	45.20	0.70	546.9	8.4
	A32	0.1	1.8	45.20	1.06	79.3	1.9
	Sum	0.6	10.3	45.20	0.63	467.7	6.6
Total	38.3	561.7	24.65	0.44	13843.7	246.7	

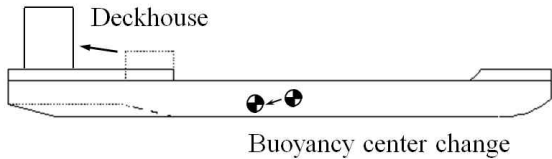


Fig. 4 Buoyancy center change before and after rebuilding

3. 동역학 모델링

3.1 기본 가정

바지선의 계류상태를 가정하면 바지선은 풍향 및 조류의 방향에 대해 일직선상에 위치하게 된다. 그리고 좌우동요가 다른 방향의 운동에 비해 크지 않다고 가정하면 바지선의 계류 해석 모델을 2차원으로 간략화 할 수 있다. 본 연구에서는 동역학적 시뮬레이션을 이용하여 바지선의 계류력 해석에 초점을 맞추어 바지선의 구조변경 등이 선체의 운동 안정성에 미치는 영향을 파악하는 것이 목적이므로 2차원 모델을 구축하여 수치해석을 수행하였다.

해석 대상으로 한 계류 모델은 파향에 평행으로 전후단 대칭 1점 계류된 바지선 부체(floating body)이며, 모델링시 다음과 같은 기본 가정을 설정하였다. 첫째, 바지선은 선체의 변형이 없는 강체로 가정한다. 둘째, 계류삭의 유체력과

수중 무게는 무시하고 부체에 작용하는 외력은 풍력, 중력, 항력, 계류력 및 파력을 고려한다. 셋째, 계류삭의 신장과 바지선의 변형은 무시하고 바지선의 운동은 전후 동요(surging), 상하동요(heaving), 종동요(pitching)를 고려한다.

3.2 운동방정식

부유체의 운동 및 작용력을 계산하기 위하여 운동 방정식을 도출하였다. 부력 등의 계산은 부피 계산을 통하여 선체 개조 전후의 부력 변경 사항이 반영될 수 있도록 하였다. 기본적으로 좌표계를 기준으로 자유물체도는 Fig. 5와 같다.

수평면을 기준으로 임의의 각도 θ 만큼 기울어져 있을 때 부력 B와 선박의 자체하중 W는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{B} &= B \sin \theta \vec{i} + B \cos \theta \vec{j} \\ \vec{W} &= -W \sin \theta \vec{i} - W \cos \theta \vec{j} \end{aligned}$$

선체의 무게 중심과 부력을 받고 있는 체적에서의 부력 중심점 BC의 위치벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{r}_{CG} &= \vec{r}_B - \vec{r}_{CM} \\ r_{CG} &= (x_b - x_{cm}, y_b - y_{cm}) \end{aligned}$$

위의 자유물체도로부터 x와 y축 운동과 z축으로 일어나는 회전 운동 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} m_b \ddot{x}_{CM} &= W_x + B_x = B \sin \theta - W \sin \theta \\ &= (B - W) \sin \theta \\ m_b \ddot{y}_{CM} &= W_y + B_y = B \cos \theta - W \cos \theta \\ &= (B - W) \cos \theta \\ I_r \ddot{\theta} &= \vec{r}_{CG} \times \vec{B} = -B_y r_{CGx} \vec{k} + B_x r_{CGy} \vec{k} \\ &= -B_y r_{CGx} \cos \theta + B_x r_{CGy} \sin \theta \end{aligned}$$

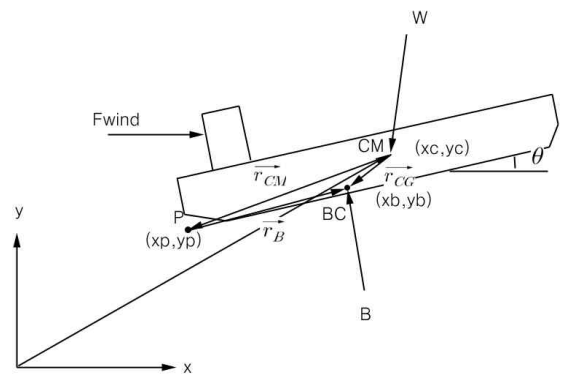


Fig. 5 Free body diagram

정리하여 나타내면 다음과 같다.

$$D_x = \frac{B}{L} \{ (x_{cm} - x_b) \cos \theta + (y_b - y_{cm}) \sin \theta \}$$

유체위에서 힘이 가해지는 방향에 대하여 반대방향으로 발생하는 항력(drag force)을 고려하기 위해 다음과 같이 운동 방정식에 항력항을 추가하였다.

$$m_b \ddot{x}_M = (B - W) \sin \theta - D_x \\ = (B - W) \sin \theta - 2\alpha_1 W (y_{cgb} - \min(c_i)) \dot{x}$$

여기서, $2\alpha_1 W (y_{cgb} - \min(c_i)) \dot{x}$ 를 A, $\alpha_2 LW$ 를 B'로 두면 다음과 같다.

$$m_b \ddot{x}_{cm} = (B - W) \sin \theta - A \dot{x} + F_{win} \cos \theta \\ m_b \ddot{y}_{cm} = (B - W) \cos \theta - B' \dot{x} - F_{win} \sin \theta$$

윗식을 정리하여 나타내면 운동방정식은 아래와 같다.

$$I_r \ddot{\theta} = B(-r_{cgx} \cos \theta + r_{cgy} \sin \theta) - D_x r_{cgy} + D_y r_{cgs} \\ = B(-r_{cgx} \cos \theta + r_{cgy} \sin \theta) - A \dot{x} + B' \dot{y} \\ - F_{win} y_{cm} \cos \theta + F_{win} x_{cm} \sin \theta$$

바지선에 작용하는 풍압력 및 조류력은 유체저항력으로 바람과 조류의 세기가 일정하다는 가정을 적용하여 계산하였다⁽⁹⁾. 풍압력 D_w 는 다음과 같이 정의된다.

$$D_{x,w} = \frac{1}{2} \alpha_w \rho_w V_{\infty,w}^2 S_{x,w}$$

여기서, α_w : 바람에 의한 항력계수, ρ_w : 유체인 공기의 밀도, $V_{\infty,w}$: x축방향의 풍속, $S_{x,w}$ 는 바람과 맞닿는 바지선의 종단면 넓이, α_w 는 바람과 접하는 부분의 단면 형상에 따른 값으로 바지선의 종단면은 납작한 사각형이므로 1.2를 사용하였다.

조류 및 해류에 의한 항력과 배의 움직임에 의한 유체항력(D_s)의 식은 다음과 같다.

$$D_{x,s} = \frac{1}{2} \alpha_{s1} \rho_s S_{x,s} (V_{cm,x}^2 + V_{\infty,s}^2)$$

여기서, α_{s1}, α_{s2} : 해류에 의한 항력계수, ρ_s 는 해수의 밀도, $V_{cm,x}, V_{cm,y}$ 는 바지선의 무게중심에 대한 x축과 y축 방향 속도, $V_{\infty,s}$ 는 조류 및 해류의 속도, $S_{x,s}, S_{y,s}$ 는 바지선이 수면에 잠긴 부분에 대한 종단면과 횡단면 넓이다.

3.3 파도에 의한 부력 계산

구성된 운동 방정식에서 부력벡터는 Fig. 6과 같이 입력되는 파(예: sin파)의 함수(F_1)와 바지선 형상함수(F_{2i})사이의 면적을 부피로 환산하여 각각의 부력을 계산하였다. 즉, 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\int F(x) dx = \sum_i \int \{ F_1(x) - F_{2i}(x) \} dx \\ = \sum_i \int \{ \sin x - (a_i x + b_i) \} dx$$

여기서, i 는 바지선 하단면의 형상함수가 구간별로 다르기 때문에 이를 나타낸 것이다.

또한, Fig. 7 같이 B1, B2, B4는 수면에 잠겨 부력이 발생하는 부분이지만 B3는 (-)음의 값을 갖는 부분으로 물리적으로 부력이 없는 부분이다. 따라서 최종적으로 부력계산은 다음과 같이 계산하였다.

$$B = \begin{cases} \int F(x) dx, & \text{if } B \geq 0 \\ 0 & , \text{if } B < 0 \end{cases}$$

3.4 파도의 주기와 파고에 따른 계류력과 부유체 운동 검증

해상의 상태는 수시로 변화하기 때문에 바람의 세기, 파도의 형상 등 각종 변수를 정확히 구현하는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서는 비교 해석의 목적에 맞도록 파도의 형상을 단

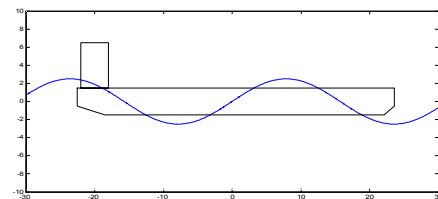


Fig. 6 Wave function

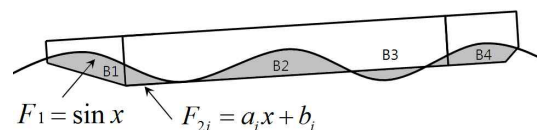


Fig. 7 Buoyancy calculation for sine wave

순화하였다. 따라서 파도를 주기적인 너울성 파도로 가정하고 앞 절에서 묘사된 Fig. 6과 같이 정현파를 기본 파형으로 설정하였다.

$$W(t, x) = \frac{T}{2} \sin(\omega t + \kappa x)$$

여기서, T는 주기, ω 는 각속도를 의미한다. κ 는 파장을 결정하는 계수이다. 기본값으로 T는 4, ω 는 2, κ 는 0.2로 설정하였다.

바지선에 처음부터 과도한 파도를 가하면 수치적 오류가 발생하므로 바지선에 가해지는 파도는 1~3초 동안 점진적으로 증가하며 발생시켰다. 파도는 기본 파형에 1~3초 동안 점진적으로 증가한 후 3초 이후에는 일정한 값을 가지는 경사 함수를 곱하여 생성시킬 수 있으므로 이를 적용하여 바지선의 운동이 시간에 따라 자연스럽게 일어날 수 있도록 하였다.

파도에 따른 선체 운동을 시뮬레이션하기 위해 파고를 4 m, 각속도는 2 rad/s, 전달속도 0.1592 rad/m를 적용하였을 때 선체 운동을 Fig. 8에 나타내었다.

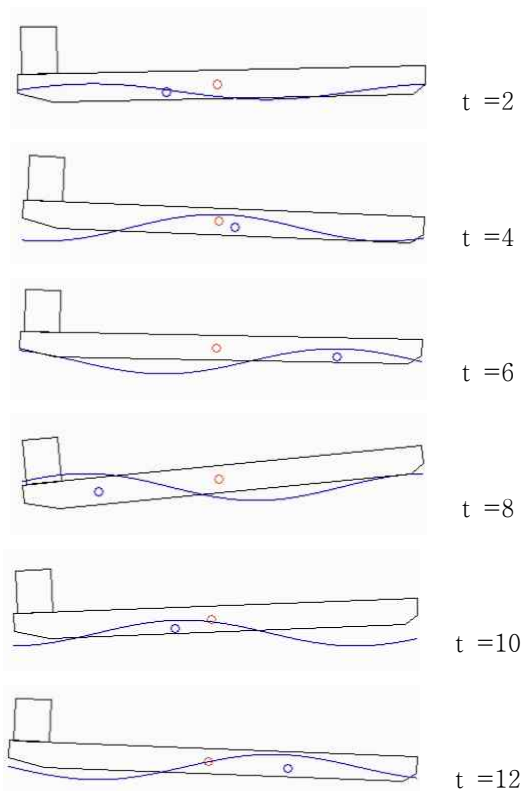


Fig. 8 Validation of barge motion with sine wave function

4. 구조변경에 따른 계류력 변화 결과

4.1 풍압력과 조류력에 의한 계류력 변화

바지선의 구조변경에 따른 계류력 변화를 Table 4에 나타내었다. 계류력은 계류삭의 길이를 50 m로 설정하였을 때의 값이다. 구조변경에서 풍압력에 영향을 크게 미치는 요소는 데크하우스였다. 구조 변경전 단층이었던 구조가 변경 후에는 2층 높이로 높아져 항력이 약 500 N 증가하는 요인이었다. 그리고 조류력에 의한 영향은 바단에 가라앉은 부분이 많을수록 증가하는데 구조변경과 데크하우스의 선미부 이동으로 선체가 선미 아래로 1° 기울어져 구조 변경 전에 비해 약 6000 N이 증가하였다. 이러한 바람과 조류의 영향으로 인해 계류력은 약 90 kN 증가하였다.

4.2 계류삭 길이에 따른 계류력 분석

바지선의 구조변경에 따라 계류력을 계산하기 위하여 다음과 같은 환경을 가정하였다. (1) 바지선이 바람과 파도에 의해 충분히 영향을 받아서 충분한 장력이 걸려있는 상태를 초기 상태로 두었다. 이 경우는 계류력에 의하여 더 이상 바람이나 파도에 의하여 횡축(x축)으로 이동이 없는 상태를 의미한다. (2) 계류삭의 길이가 50 m일 때 그 무게는 약 1500 kg으로 배의 무게 524 ton의 약 0.3%이고 특히 바다골재를 실었을 때 무게 약 1500 ton의 0.1% 정도밖에 되지 않는다. 따라서 계류삭의 무게는 바지선의 운동을 해석할 때 고려하지 않는다. (3) 계류삭은 이미 충분히 늘어져있다고 가정하였으므로 계류삭이 해저와 바지선을 직선으로 연결되어 있다고 가정하고, 그 기울기와 늘어난 길이를 이용하여 계류삭에 걸리는 장력을 계산하였다.

Table 5는 바다골재를 실은 바지선에 대하여 계류삭의 길

Table 4 Calculation of volumetri

Item	Before rebuilding	After rebuilding
Wind force(N)	3780	4302
Current force(N)	8197	14517
Mooring force(kN)	1471	1561

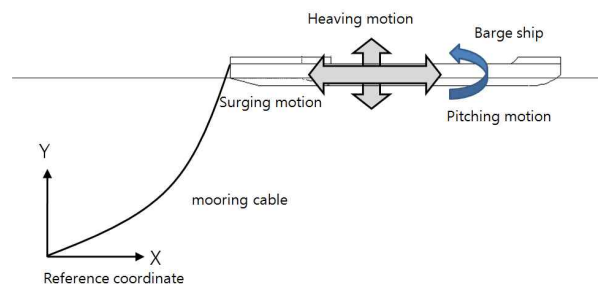


Fig. 9 Moored barge motion

Table 5 Calculation of volumetric center from the summation of separated

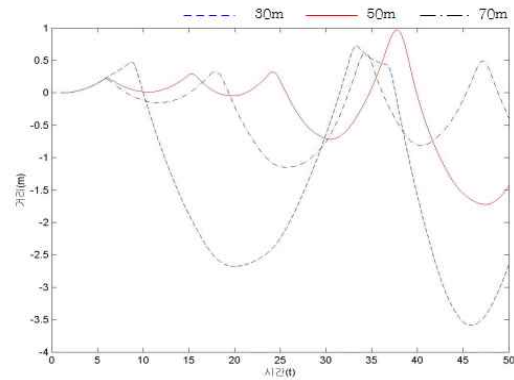
Mooring cable length	Max. force (kN)	Range of Motion(m)		
		Horizontal (x)	Vertical (y)	Rotation (rad)
30 m	1614	-3.59~0.72	-5.94~0	-0.762~0.251
50 m	1125	-1.97~0.99	-5.13~0	-0.506~0.441
70 m	1158	-1.15~0.62	-4.76~0	-0.525~0.436

이에 따라 발생하는 계류력의 최대값과 바지선의 운동을 정리한 것이다. 사고난 바지선의 경우 닻이 끊어진 후 남은 계류사의 양으로 보아 계류를 위해 사용한 계류사의 길이를 30~50 m로 추정하였다. 이는 파도와 바람이 심한 경우 해상에 바지선을 정착시키기에는 그 길이가 부족할 것으로 판단되며, 이를 확인하기 위하여 계류사의 길이를 각각 30, 50, 70 m로 하여 바지선의 운동을 시뮬레이션 하였다.

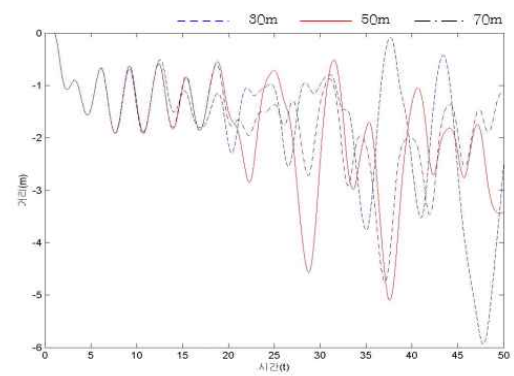
최대 계류력은 50초 동안 발생한 계류력의 최대값을 나타낸다. 이동거리는 바지선의 무게중심의 횡방향(x) 종방향(y)의 변위이며 회전각은 바지선의 무게중심의 회전운동에 대한 각도변위를 나타낸다. 모든 데이터는 50초간 시뮬레이션하여 얻은 결과이다. 앞의 결과에서 y축 방향의 최대값이 0로 일정한 것은 바지선의 무게 중심의 초기값을 해수면으로부터 약 1m 가량 위에 두었기 때문이다.

계류사의 길이에 따른 최대 계류력을 비교한 결과 계류사가 가장 짧은 30 m 일 때 최대 계류력이 가장 높은 1614 kN이었다. 계류사가 50 m와 70 m일 때는 각각 1125, 1158 kN으로 계류사 길이 30 m에 비하여 약 28~30% 감소하였다.

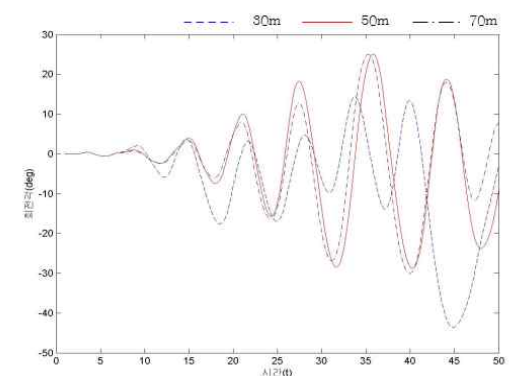
Fig. 10과 같이 계류사의 길이에 따른 바지선의 운동을 살펴보면 30 m일 때 횡방향(x)과 종방향(y)의 운동범위가 가장 크고 계류사의 길이가 증가 할수록 두 방향의 운동범위가 모두 감소하였다. 일반적으로 계류중인 선박은 닻이 고정된 곳에서 계류사의 길이만큼 일정한 거리를 유지하게 된다. 선박이 수면위에 떠있어야 하므로 파도의 변위에 따라 종방향의 위치는 크게 바뀌지만 그 변위의 크기에 따라 일반적으로 계류력이 증가하지는 않는다. 계류사가 바닥과 이루는 각이 10도 내외이므로 종방향보다는 횡방향의 길이변화가 계류사의 길이변화에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다. 따라서 횡방향 길이변화가 가장 큰 30 m 길이의 계류사에서 가장 큰 계류력이 발생하였다. 계류사가 30 m인 경우 해수의 깊이가 10 m에 비해 작은 값으로 x축방향의 움직임을 잡지 못하는 경향이 있다. 이에 따라 약 45 초 근방에서 과도한 x축 운동과 함께 y축 운동 및 회전운동각의 변화가 최대가 됨으로 이때 최대 계류력이 발생한 것을 볼 수 있다. 이에 비해 계류사가 가장 긴 70 m의 경우 비교적 안정된 운동성을 보였다. 그 중간인 50 m의 경우 병진운동(x축과 y축 방향의 운동)과 회전운동 모두 초기에 안정된 운동성을 보이다가 30초 이후 병진



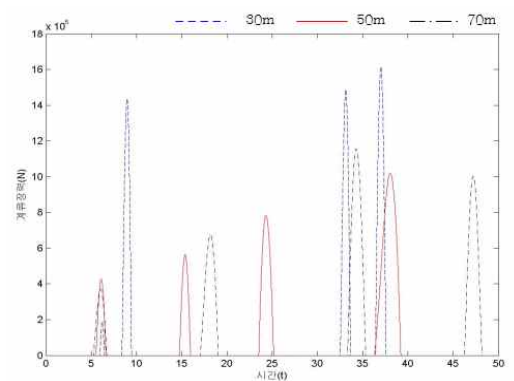
(a) Displacement of x(m)



(b) Displacement of y(m)



(c) Angular displacement (degree)



(d) Mooring force (N)

Fig. 10 Mooring forces according to the length of mooring cable

운동이 다소 불안한 경향을 보인다. 이는 회전각으로 설명할 수 있는데 회전운동이 계속 증가하다가 35초 부근에서 최대 회전 운동을 보이고 다시 감소하는 것을 볼 수 있다(Fig.10(c)). 따라서 회전운동이 병진운동에 영향을 끼침을 알 수 있으며 회전운동이 감소하는 것으로 봐서 병진운동도 계속 증가하기 보다는 감소할 것으로 예측된다.

Fig. 10(d)와 같이 시간에 따른 계류력을 비교해보면 계류삭에 걸리는 힘이 지속적으로 가해지는 것이 아니고 띄엄띄엄 발생하는 것을 알 수 있다. 마지선이 바람과 조류 혹은 해류에 의해 힘이 가해지는 방향으로 운동하다가 닻에 의해 운동을 저지당하면서 계류력이 발생하기 때문이다. 계류력에 의하여 닻이 있는 방향 즉 바람과 조류에 의한 운동방향의 반대방향으로 운동할 때는 계류삭에 힘이 걸리지 않는데, 이는 계류삭이 와이어이기 때문에 길이방향으로 늘어날 때만 힘이 발생하기 때문이다.

5. 결 론

실해상의 환경적 조건은 정확한 계측이 어렵기 때문에 정확한 모델링 및 해석이 어렵고 사고시 객관적 판단이 어렵다. 본 연구에서는 이와 같이 실해상에서 일어난 마지선의 사고 사례를 이용하여 마지선의 구조변경이 계류력에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 본 해석 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 바다골재를 적재하지 않은 경우 마지선에 작용하는 풍압력과 조류 항력 및 계류력은 개조 후 각각 4300 N, 14,517 N, 1,561 kN이며, 이는 개조 전과 비교하여 각각 13.8, 77.1, 6.1% 증가하였다. 바다골재를 실은 경우 개조의 영향보다는 바다골재에 의해 증가된 관성모멘트나 유체항력이 더 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(2) 계류삭의 길이가 해수면의 깊이에 비해 충분히 길지 못하면, 계류삭에 걸리는 장력이 크게 증가하여 계류삭의 피로파괴의 원인이 될 수 있다. 본 해석에서는 계류삭의 길이가 30 m인 경우 1,614 kN의 장력이 작용하며, 이는 충분한 길이로 예측되는 100 m인 경우 688 kN에 비해 약 235% 큰 값으로 나타났다.

(3) 시뮬레이션에서 사석이 약 1,000 ton 정도 실려 있는 경우 해수가 갑판부를 덮을 가능성이 크며, 선박의 해치가 열려있는 경우 해수의 침투가 마지선의 침몰에 직간접적인

영향을 끼칠 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 대상으로 한 사고 선박의 계류력 상실에 관하여 선체 개조가 중요 원인이 될 수 있을 것으로 사료되며, 사고 당시의 실해상 상황에 대한 자료를 적용한다면 급격한 외력의 증가 등 계류삭 장력 계산에 정확도를 높일 수 있다. 따라서, 불필요한 선체의 구조변경은 선체의 운동성을 변화시키며 선체의 안정성을 유지하는 계류삭의 장력에 영향을 미칠 수 있으므로 피해야 한다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

참고문헌

- (1) 김태호, 2004, “부설 수심의 변화에 따른 과량중 원통형 부체의 운동 및 계류삭 장력 해석,” 한국어업기술학회지, Vol. 40, No. 4, pp. 360~366.
- (2) 정동호, 김현주, 문덕수, 박한일, 최학선, 2004, “수평가진에 의한 계류라인의 장력응답 해석,” 한국해양환경공학회지, Vol. 7, No. 4, pp. 185~191.
- (3) 이승건, 강동훈, 2003, “일점계류된 선박의 불안정 거동 방지에 관한 연구,” 한국항해항만학회지, Vol. 27, No. 2, pp. 193~198.
- (4) 이호영, 박홍식, 신현경, 2000, “과량중 계류된 선박의 표류 감쇠에 관한 연구,” 한국해양공학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 17~22.
- (5) 이상무, 김용철, 김영환, 홍석원, 김훈철, 1986, “계류삭의 비선형운동특성해석에 관한 연구,” 대한조선학회지, Vol. 23, No. 1, pp. 3~13.
- (6) 이호영, 신현경, 염재선, 2000, “불규칙파 중에서 돌핀 계류된 바가지식 해상공장에 대한 비선형 응답 해석,” 한국해양공학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 1~8.
- (7) 최항순, 조일형, 1989, “항만내 계류선박의 수평운동 해석,” 한국해양공학학회지, Vol. 1, No. 1, pp. 81~86.
- (8) 조일형, 최항순, 1992, “항만내 과도응답과 계류선박의 운동해석(I),” 대한조선공학회지, Vol. 29, No. 2, pp. 38~47.
- (9) P. M. Gerhart, R. J. Gross, and J. I. Hochstein, 1993, “Fundamentals of Fluid Mechanics, SE,” Addison-Wesley.