

## 운송 바지선의 예인안정성에 관한 모형시험 및 수치해석 연구

남보우\* · 홍사영\* · 김진하\* · 최성권\* · 김종욱\*\*

\*선박해양플랜트연구소

\*\*현대중공업(주)

### Experimental and Numerical Study on Towing Stability of Transportation Barge

Bo Woo Nam\*, Sa Young Hong\*, Jin Ha Kim\*, Sung Kwon Choi\* and Jong-Wook Kim\*\*

\*Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon, Korea

\*\*Hyundai Heavy Industry Co. Ltd., Ulsan, Korea

**KEY WORDS:** Towing stability 예인 안정성, Barge 바지선, Towline 예인줄, Model test 모형 시험

**ABSTRACT:** This paper presents the results of an experimental and numerical study on the towing characteristics of a barge. A series of model tests were carried out at the Ocean Engineering Basin of KRISO. A model with a 1:50 scale ratio was constructed out of wood. First, force coefficient tests were performed in order to obtain the surge, sway, and yaw force coefficients of the barge. The focus was the effect of skeg on the force coefficients. The stability parameter was calculated from the force coefficients. Next, towing tests in calm sea were carried out with different towline lengths and towing speeds. The trajectories of the barge and the towline tensions were measured during the tests. The measured trajectories were compared with numerical simulation results using a cross-flow model. The towing stability of the barge in a calm sea is discussed in detail.

## 1. 서 론

예인(Towing)을 통한 이송작업은 단독 또는 복수의 예인선(Tug)이 예인줄(Towline)로 연결된 부선(Towed ship)을 끌고 가는 형태로 이루어진다. 이때 예인 시 거동특성은 부선의 수면하부 형상, 스케그의 유무, 예인속도, 예인줄 제원 등의 다양한 조건에 의해 영향을 받는다. 잘못 설계된 예인작업(Towing operation)은 부선의 과도한 평면 운동을 야기하여 근해에서의 충돌사고로 이어질 수 있으며, 예인줄에 과도한 장력을 유발할 수 있다. 또한 예인선의 불필요한 추력소모로 인하여 비경제적인 이송작업으로 이어질 수 있다. 이를 막기 위해서 예인작업에 대한 선행 평가를 통해 올바른 이송 설계를 진행할 필요가 있다.

예인 작업 시 부선의 안정성을 평가하는 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 모형 시험을 통해 예인안정성(Towing stability)을 직접 평가하는 방법이며, 다른 하나는 부선의 운동을 수학적모델로 근사하여 수치 시뮬레이션을 수행하는 방법이다. 모형시험을 이용한 경우 추가적인 수치 계산 없이 직접적으로 예인안정성을 판별할 수 있는 장점이 있다. 하지만 Latorre(1998)이

지적한 바와 같이 모형선과 실선의 축척비에 따른 효과(Scale effect)로 인해 실선보다 모형선에서 저항이 과도하게 발생하며, 이는 예인시 거동이 실제보다 안정적으로 평가하게 하는 요인이 된다. 즉, 모형시험 결과를 실선으로 확장 적용할 때 주의가 요하게 된다. 후자의 경우 부선에 대한 운동 모델이 확립이 되면 다양한 환경 조건에 대해 용이하게 예인안정성을 평가할 수 있는 장점이 있지만, 운동 모델에 필요한 유체력 미정계수 또는 항력 계수들을 정확히 산정할 필요가 있다. 이를 위해서 추가적인 실험 또는 CFD(Computational fluid dynamics) 계산이 보완적으로 수행되어야 한다.

예인 안정성과 관련된 기존 연구로는 Yasukawa et al.(2006)에 의해 2가지 바지선의 예인안정성에 대한 수치해석 연구를 조종운동방정식을 이용하여 수행한 바 있다. Fitriadhy and Yasukawa(2010)은 풍하중 하에서의 예인안정성에 대한 수치해석 연구를 진행하였다. Nam et al.(2013)은 조종운동 모델과 Cross-Flow 모델을 이용하여 바지선의 예인안정성에 관한 수치 시뮬레이션을 진행하고, 두 수치해석 모델 모두 모형시험 결과와 비교했을 때 예인안정성에 관한 신뢰도 있는 결과를 제시

Received 11 March 2014, revised 10 April 2014, accepted 11 April 2014

Corresponding author Sa Young Hong; +82-42-866-3930, sayhong@kriso.re.kr

© 2014, The Korean Society of Ocean Engineers

It is noted that this paper is revised edition based on proceedings of Annual Autumn Conference of KSOE 2012 in Busan.

함을 보여준 바 있다.

본 연구에서는 바지선의 예인 시 거동특성을 살피고자 일련의 모형시험 및 수치해석 연구를 진행하였다. 모형 시험에서는 유체항력 계측시험과 예인 시험이 수행되었다. 이 때 스케그의 유무에 따른 예인 안정성 특성과 예인줄의 길이 및 예인속도에 의한 예인 시 거동특성 변화를 중점적으로 검토하였다. 비교를 위해 Cross-flow 모델 기반의 수치해석 결과를 같이 제시하였으며, 수평면 거동과 예인줄에 걸리는 장력에 대해 비교를 수행하였다. 일련의 모형시험 및 수치해석 연구를 통해 바지선의 예인안정성에 미치는 여러 인자들의 영향에 대해 고찰을 수행하였다.

## 2. 모형시험

### 2.1 바지선 모형

정수 중 예인 바지선의 거동 특성을 파악하고자 선박해양플랜트연구소(KRISO) 해양공학수조(Ocean engineering basin)에서 모형시험을 수행하였다. 실험모델은 현대중공업이 운용하고 있는 Maritime swift barge를 고려하였으며 (Fig. 1), 축척비 1:50의 목재 모형을 제작하여 시험에 사용하였다. 실선과 모형선의 주요제원은 Table 1에 정리하였다. 바지선 선미에 있는 두 개의 스케그(Skeg)는 Fig. 1(b)와 같은 형상을 가지고 있으며, 길이가 약 6.5m이다. 본 모형시험을 위해 스케그는 알루미늄을 이용하여 만들었으며, 스케그의 유무에 의한 영향을 검토하기 위

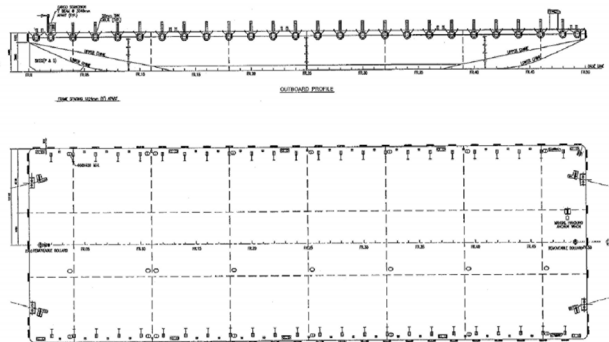
Table 1 Marine characteristics of Maritime Swift Barge

Item	Prototype	Model
LOA (m)	76.200	1.524
B (m)	24.384	0.488
D (m)	4.880	0.098
T (m)	3.800	0.076
Displ. (ton)	6555.000	0.052

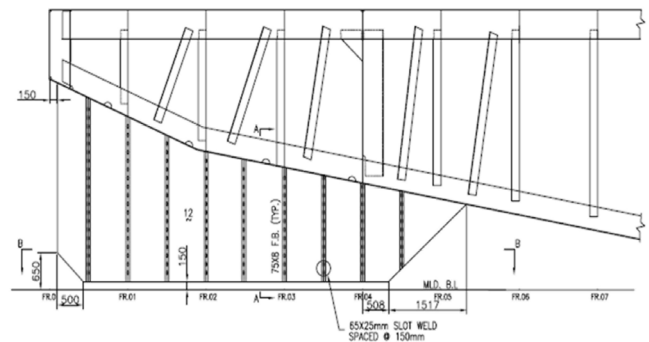
하여 탈부착이 가능하도록 제작하였다. 모형의 선수동요 관성반경은 Fig. 1(c)에서처럼 Bifilar suspension method를 이용하여 5%이내의 오차 범위 내에서 조정하였다.

### 2.2 모형시험 조건

모형시험은 유체 항력계측시험과 예인시험 두 가지로 나누어 진행되었다. 먼저 2축 로드셀을 중앙부에서 선수와 선미방향으로 0.5m 떨어진 위치에 설치하고 바지선을 예인하며 유체항력을 계측하였다. 이 때 0도부터 180도까지 10도 간격으로 선수각을 바꾸어 가며 전후, 좌우 방향의 힘과 선수동요 모멘트를 계측하였다. 예인 속도는 1.543, 2.572, 3.601m/s (3knots, 5knots, 7knots)를 고려하였다. 이 때 상하동요와 종동요, 횡동요는 구속하지 않고 자유롭게 움직일 수 있도록 로드셀을 취부하였다. Fig. 2(a)는 항력계측시험 모습을 보여주고 있다.



(a) Hull

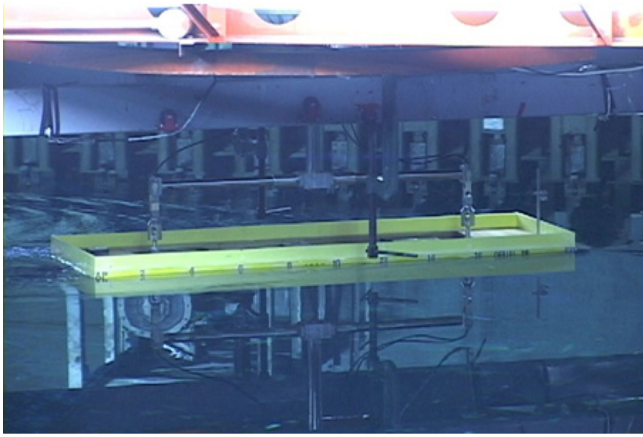


(b) Skeg

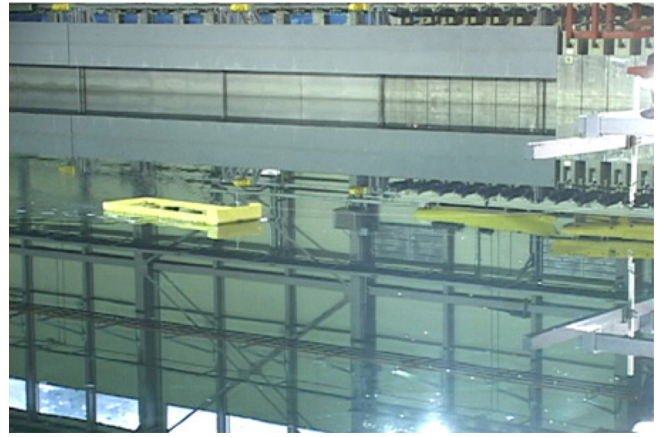


(c) Experimental model

Fig. 1 Maritime swift barge



(a) Force coefficient test



(b) Towing test

Fig. 2 Snapshots for model test

예인시험에서는 Fig. 2(b)에서처럼 정수 중 예인줄에 연결된 바지선을 CPMC(Computerized planar motion carriage)를 이용하여 일정한 속도로 예인하는 시험을 진행하였다. 이 때 예인줄은 바지선의 앞 쪽 끝단에 매달았으며, 초기 변위를 주기 위하여 발사대를 정중양보다 바지선의 폭만큼 벗어난 위치에 설치하였다. 예인시험 중에는 바지선의 6자유도 운동과 예인줄의 장력을 계측하였으며, 예인속도는 두 가지 (2.572m/s, 3.601m/s)를 고려하였다. 스케그의 유무에 따른 바지선의 수평면 거동특성 및 예인줄의 장력을 계측하였으며, 예인줄을 바지선 길이의 1배와 2배로 바꾸어가며 예인안정성에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

### 3. 수치 시뮬레이션

저속 운동 가정아래 Wichers(1988)이 제안한 Cross-flow model을 이용하면, 예인 바지선에 대한 저주파수 평면 운동방정식은 식(1)~(5)와 같이 표현될 수 있다. 이 경우 바지선의 전진속도는 입사하는 조류로 대체되어 고려되며, 선체에 작용하는 유체력은 항력계수에 의한 준정상 조류력(Quasi-steady current force)과 Cross-flow에 의한 동적 조류력(Dynamic current force)의 합으로 표현된다(Wichers, 1988).

$$(m+a_{11})\ddot{x}_1 - (m+a_{22})\dot{x}_2\dot{x}_6 = F_{Tx} + \frac{1}{2}\rho L d V_{cr}^2 C_{1c}(\psi_{cr}) - (a_{22}-a_{11})V_c \sin(\psi_c - x_6)\dot{x}_6 \quad (1)$$

$$(m+a_{22})\ddot{x}_2 + (m+a_{11})\dot{x}_1\dot{x}_6 = F_{Ty} + \frac{1}{2}\rho L d V_{cr}^2 C_{2c}(\psi_{cr}) - (a_{22}-a_{11})V_c \cos(\psi_c - x_6)\dot{x}_6 + X_{2D} \quad (2)$$

$$(I_z+a_{66})\ddot{x}_6 = M_{Tz} + \frac{1}{2}\rho L^2 d V_{cr}^2 C_{6c}(\psi_{cr}) + X_{6D} \quad (3)$$

$$X_{2D} = \frac{1}{2}\rho d C_{2c}(90^\circ) \int_{AP}^{FP} [-(v_r + \dot{x}_6 l)((v_r + \dot{x}_6 l)^2 + u_r^2)^{1/2} + v_r V_{cr}] dl \quad (4)$$

$$X_{6D} = \frac{1}{2}\rho d C_{2c}(90^\circ) \int_{AP}^{FP} [-(v_r + \dot{x}_6 l)((v_r + \dot{x}_6 l)^2 + u_r^2)^{1/2} + v_r V_{cr}] dl \quad (5)$$

여기서  $C_{1c}$ ,  $C_{2c}$ ,  $C_{6c}$ 는 무차원화된 조류력 계수이며, 조류의 입사각(또는 바지선의 진행방향)의 함수이다.  $V_c$ 와  $\psi_c$ 는 각각 조류 속도와 방향에 해당하며, 조류속도는 예인속도( $U$ )와 동일하다.  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_6$ 는 각각 전후, 좌우, 선수동요이며, 이때 전후동요는 예인속도가 제외된 성분이다.  $X_{2D}$ 와  $X_{6D}$ 는 Cross-flow에 의한 동적 조류력 성분이며, 이에 대한 좀 더 자세한 설명은 Wichers(1988)에서 발견할 수 있다.  $V_{cr}$ 와  $\psi_{cr}$ 은 선체의 운동을 고려한 상대 조류 속도와 방향에 해당하며, 식(6)~(9)와 같이 정의된다.  $u_r$ 과  $v_r$ 은 선체의 상대속도에 해당한다.

$$V_{cr} = (u_r^2 + v_r^2)^{1/2} \quad (6)$$

$$\psi_{cr} = \tan^{-1}(-v_r/u_r) \quad (7)$$

$$u_r = \dot{x}_1 - V_c \cos(\psi_c - x_6) \quad (8)$$

$$v_r = \dot{x}_2 - V_c \sin(\psi_c - x_6) \quad (9)$$

### 4. 결과 및 고찰

#### 4.1 항력계수

항력계측시험을 통해 바지선에 작용하는 전후방향, 좌우방향 힘과 선수동요 모멘트를 계측하였다. 계측된 유체항력을 Fig. 3에 도시하였다. 스케그에 의한 영향을 검토하기 위하여 스케그의 유무에 의한 항력계수를 같이 제시하였다. Fig. 3(b)를 보면 스케그가 있을 경우 바지선에 작용하는 좌우방향 측면력( $F_y$ )은 스케그가 없는 경우보다 20%~40%가량 증가하였음을 확인할 수 있다. 이러한 측면력의 증가는 선수동요가 발생했을 때 반작용 모멘트를 발생시키기 때문에 예인 안정성을 향상시키게 된다. 또한 스케그가 없는 경우 90도를 중심으로 측면력이 작아

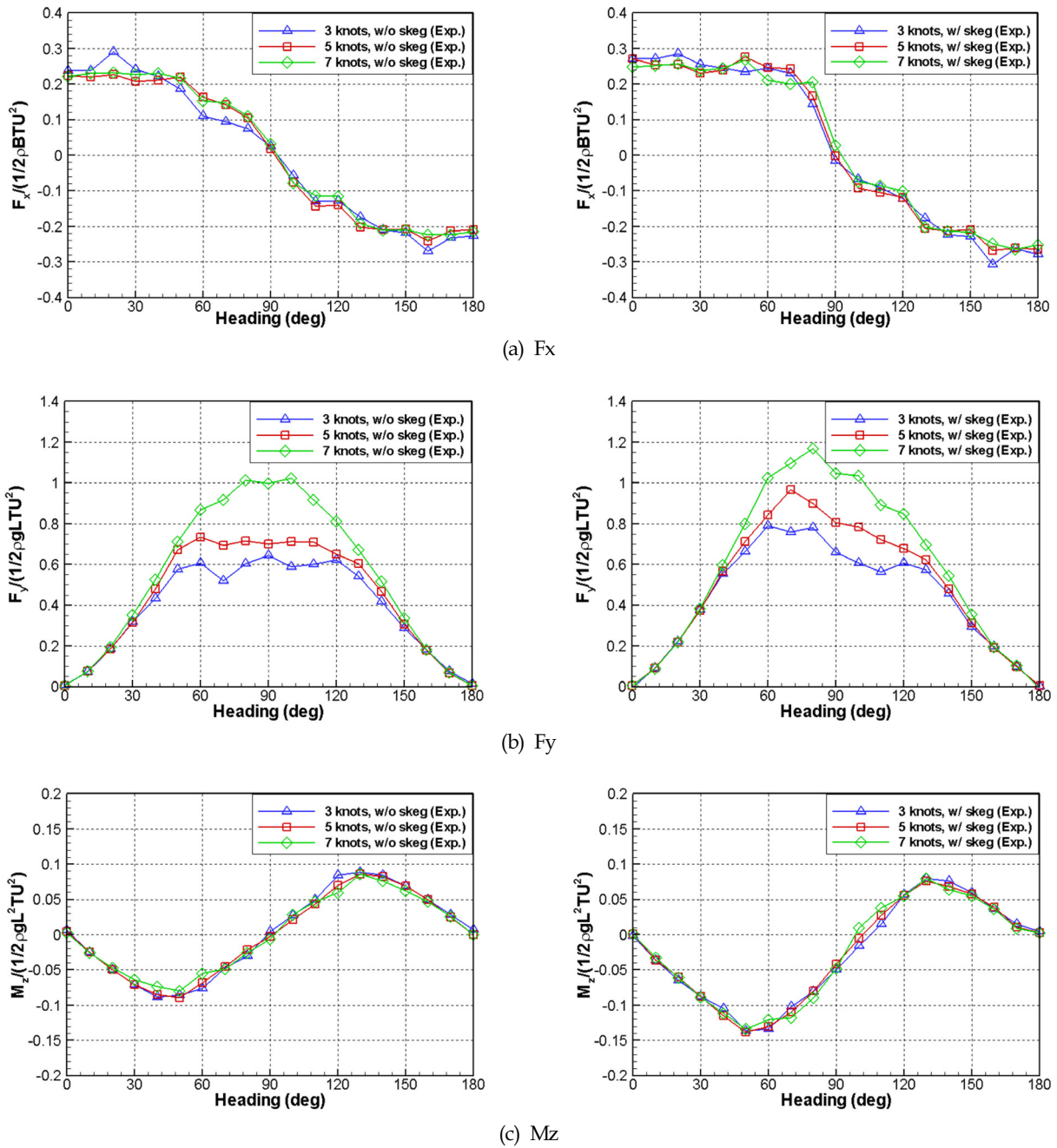


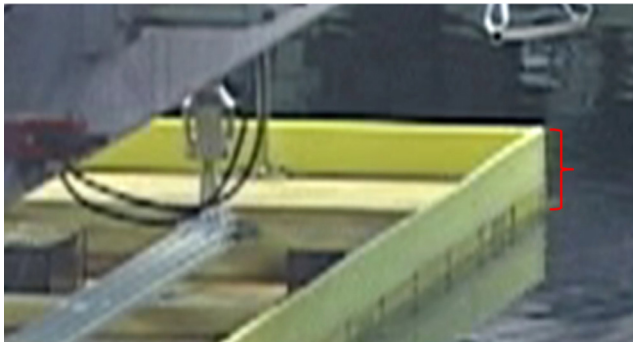
Fig. 3 Force coefficient of a barge without skeg (left) and with skeg (right)

따라 대칭적으로 발생하는 경향을 보이지만, 스케그가 있는 경우 90도 이하의 각도에서 더 큰 측면력이 발생하였다. 이는 후방에 위치한 스케그에 작용하는 유체력에 의해 90도 이하 각도에서 바지선에 작용하는 측면력이 상대적으로 크게 증가하였기 때문이다. 반면 Fig. 3(c)를 보면 스케그를 부착함에 따라 90도 이상의 각도에서는 양의 모멘트( $M_z$ )가 상대적으로 다소 줄어드는 경향을 보여주고 있으며, 90도 이하의 각도에서는 음의 모멘트가 크게 증가하였다. 특히 180도 근방에서의 모멘트 곡선의 기울기를 보면 스케그를 장착함에 따라 기울기가 낮아졌음을 알 수 있다. 이는 바지선이 앞으로 전진할 때 선수동요를 유발

하는 작용 모멘트가 줄어들음을 의미하기 때문에 예인 안정성에 좋은 결과로 이어지게 된다.

유체항력의 무차원화 계수는 전반적으로 좌우방향 측면힘 (Lateral force,  $F_y$ )을 제외하고는 예인속도와 관계없이 유사한 값을 보여주었다. 다만 측면힘의 경우 선속이 증가할수록 항력 계수도 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이는 예인속도에 따라 바지선의 횡방향 자세가 변화하여 측면방향 투영면적이 증가하였기 때문이다. Fig. 4는 이러한 선속에 따른 Heel각도의 증가 경향을 건현의 크기를 통해 보여주고 있다. 선속이 3.601m/s일 경우 1.543m/s일 때 보다 더 작은 건현이 관찰되며, 이는 더 많은





(a) 90 deg, 1.543 m/s



(b) 90 deg, 3.601 m/s

**Fig. 4** Comparison of freeboard height of barge

면적이 수면 하부에 노출되었음을 의미한다.

Table 2는 항력계수로부터 도출된 유체력 계수들을 두 가지 보간법에 따라 제시하고 있다. 여기서  $N_v'/Y_v'$ 는 측면력과 선수동요 모멘트의 비를 나타내는 안정성 인자(stability parameter)로써 작은 값을 가질수록 예인안정성이 좋아짐을 의미한다. 보간법에 상관없이 스케그를 부착함에 따라 예인안정성이 향상되었음을 안정성 인자를 통해 확인할 수 있다. 하지만, Sine함수를 이용해서 보간했을 때 안정성 인자 값이 Piecewise-Linear 보간법을 이용했을 때보다 다소 크게 산출되었다. 특히 스케그가 있는 경우에는 약 3배가량이 커지게 됨을 볼 수 있다. 이러한 차이는 뒤에 제시될 예인 시 부선의 거동특성에 중요하게 영향을 줄 수 있다.

#### 4.2 예인 안정성(1) : 스케그 효과

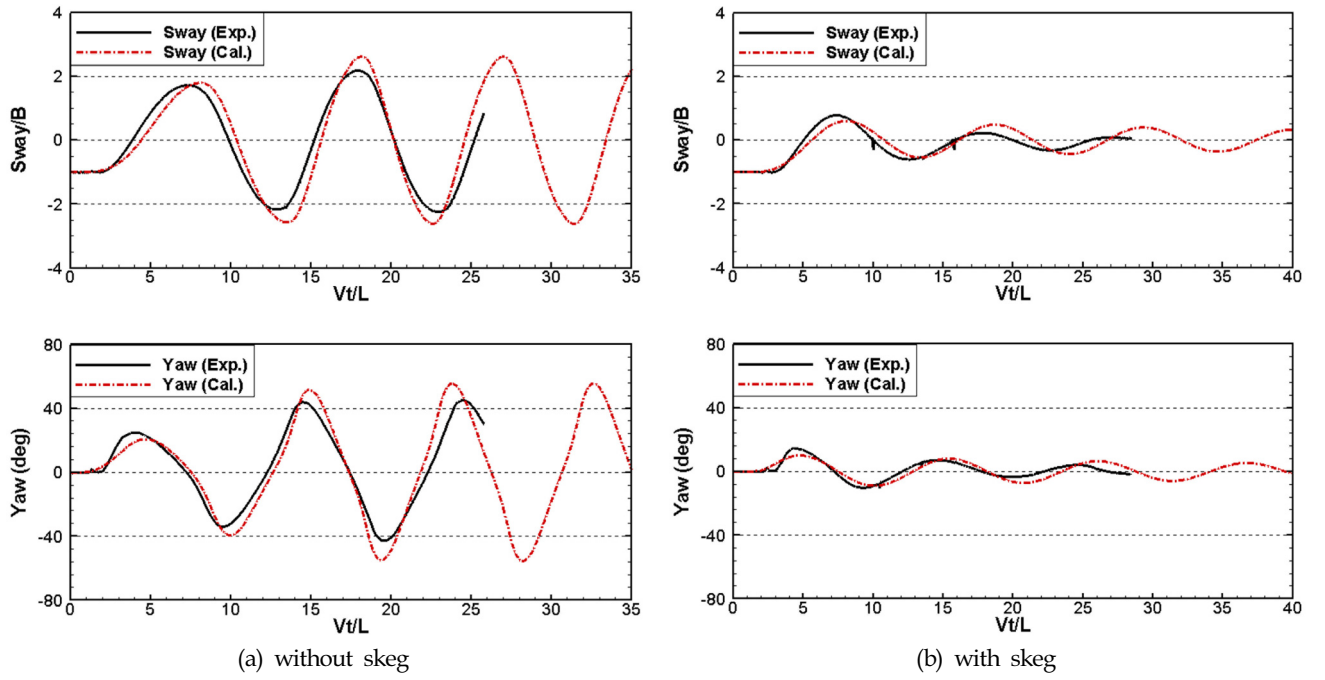
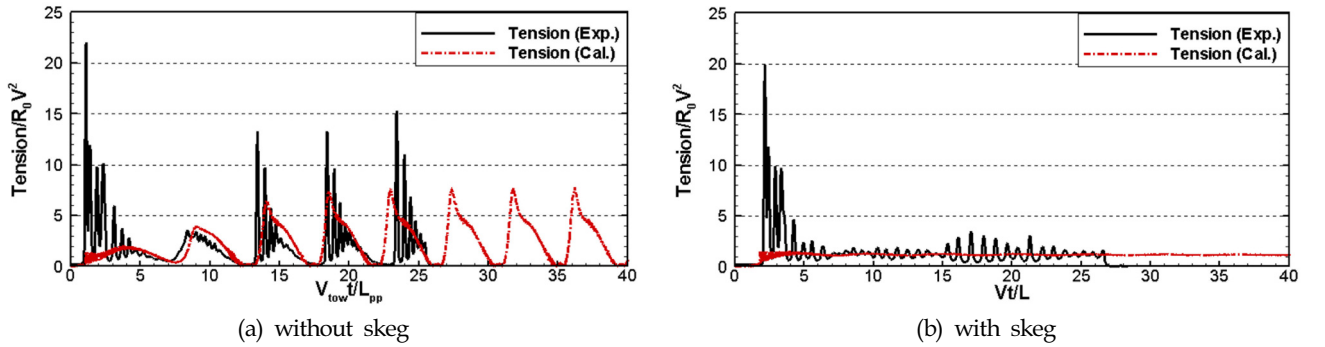
스케그 유무에 따른 바지선의 좌우동요와 선수동요 시계열을 Fig. 5에 보여주고 있다. 스케그가 없는 경우에 바지선의 좌우동요는 바지선 폭의 약 2.5배가량 발생하며, 선수동요는 주기적으로 약  $\pm 50$ 도 움직이는 Slewing(또는 Fishtailing) 운동을 한다. 반면 스케그가 있을 경우에는 바지선의 수평면 거동은 급격하게 줄어들며 점차 안정을 찾아간다. 이러한 수평면 거동은 스케

그를 취부함에 따라 예인안정성이 크게 향상되었음을 확인해 주고 있다. 수치계산 결과에서도 스케그 부착됨에 따라 수평면 거동이 크게 줄어드는 경향을 잘 보여주고 있다. 다만, 수치 시뮬레이션에 의한 결과가 모형시험 보다 전반적으로 다소 크게 예측해주고 있으며, 이는 부선에 대한 현 Cross-flow 수치 모델이 실제보다 감쇠력을 적게 추정해주고 있다고 사료된다.

Fig. 6은 스케그 유무에 따른 예인줄에 걸리는 장력을 도식하고 있다. 스케그 없는 경우 선수각이 전환되는 시점에서 예인줄에 큰 장력이 유발되는 것을 볼 수 있다. 반면 스케그가 있는 경우 장력변화가 미미하고, 일정한 저항값에 대응되는 장력이 주로 발생한 것을 볼 수 있다. 이러한 관찰은 스케그를 부착함에 따라 수평면 운동 뿐만 아니라 예인줄의 장력을 크게 낮출 수 있음을 의미한다. 저항값( $R_0 V^2$ )을 기준으로 봤을 때 스케그가 없는 경우에는 정수 중 저항의 약 7~8배에 해당하는 예인력이 요구되는 반면, 스케그가 있는 경우에는 저항의 2배 가량의 예인력을 이용하여 바지선이 예인될 수 있음을 알 수 있다. 모형시험에서 계측된 예인줄 장력 시계열을 보면 짧은 주기의 진동을 연속적으로 볼 수 있는데, 이는 예인줄에 달린 무게추에 의하여 공진이 발생했기 때문이다. 본 수치계산에서는 예인줄을 단순 스프링-댐퍼 모델을 이용해서 모사했기 때문에 이러한

**Table 2** Comparison of force coefficients and towing stability parameter

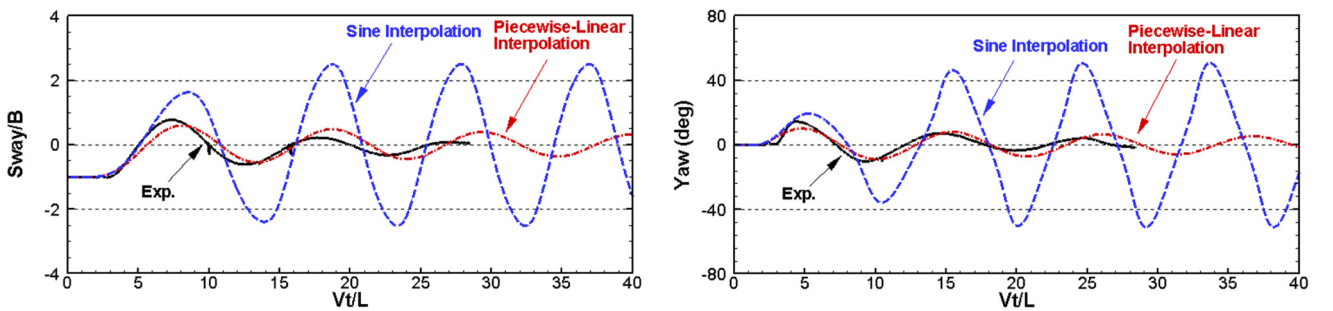
	Sine Interpolation		Piecewise-Linear Interpolation	
	w/o skeg	w/ skeg	w/o skeg	w/ skeg
$Y_v' = \frac{Y_v}{1/2\rho L du_0}$	-0.3646	-0.4645	-0.4354	-0.5672
$Y_r' = \frac{Y_r}{1/2\rho L^2 du_0}$	0.0	0.0	0.0	0.0
$N_v' = \frac{N_v}{1/2\rho L^2 du_0}$	-0.1605	-0.1606	-0.1432	-0.0630
$N_r' = \frac{N_r}{1/2\rho L^3 du_0}$	-0.0686	-0.0686	-0.0583	-0.0671
$\frac{N_v'}{Y_v'}$	0.4402	0.3457	0.3289	0.1111
Interpolation function	$C_{2c} = C_{y1}\sin(\psi_{cr}) + C_{y3}\sin(3\psi_{cr}) + C_{y5}\sin(5\psi_{cr})$ $C_{6c} = C_{n1}\sin(\psi_{cr}) + C_{n2}\sin(2\psi_{cr}) + C_{n3}\sin(3\psi_{cr})$			


 Fig. 5 The effect of skeg on trajectories of towed barge ( $L_{towline} = L$ ,  $V = 2.572\text{m/s}$ )

 Fig. 6 The effect of skeg on towline tension ( $L_{towline} = L$ ,  $V = 2.572\text{m/s}$ )

공진특성이 관찰되지는 않는다. 모형시험 결과에서는 초기에 과도한 장력이 유기되는데, 이는 초기 가속도 구간에서 발사대에서 잡고 있던 바지선이 출발하는 과정에서 발생한 천이 응답으로 볼 수 있다.

Fig. 7은 항력계수에 대한 보간법에 따라 수치해석 결과를 비

교하여 제시하고 있다. Sine 보간법으로 근사했을 경우에는 모형시험 결과와 많은 차이를 보이는 반면, Piecewise-Linear 보간법을 이용한 경우 모형시험과 일치도 높은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 앞서의 안정성 파라미터에서 고찰한 바와 유사하게 보간법에 따라 예인안정성 수치 시뮬레이션 결과가 달라질 수


 Fig. 7 Comparison of simulation results with different interpolation scheme (w/o skeg,  $L_{towline} = L$ ,  $V = 2.572\text{m/s}$ )

있음을 의미한다. 또한 동시에 정확한 수치 시뮬레이션을 위해서는 항력계수 데이터가 정도 높게 예측될 필요성이 있음을 시사한다.

#### 4.3 예인안정성(2) : 예인줄 길이 및 예인속도 효과

예인줄(Towline)의 길이와 예인속도(Towing speed)는 부선의 수평면 운동 주기 및 크기에 영향을 준다. Fig. 8은 두 가지 예인줄 길이와 예인속도 조건에 대한 바지선의 수평면 운동 결과를 제시하고 있다. 동일한 예인속도 조건에서 예인줄이 길어질수록 부선의 Slewing 운동 주기가 늘어나게 되며, 이로 인해 좌우운동 진폭이 증가하는 경향을 보임을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 Fig. 9의 수치 시뮬레이션 결과에서도 분명히 관찰된다.

Slewing 운동의 한 주기( $T_s$ )동안 바지선이 진행방향으로 이

동한 거리( $VT_s/L$ )를 slewing distance라고 정의했을 때, 예인속도가 증가할수록 slewing distance가 증가하는 특성을 Fig. 8에서 확인할 수 있다. 예인속도 2.572m/s 조건(Fig. 8(a))에서 slewing distance가 약 7.8이지만, 예인속도 3.601m/s 조건(Fig. 8(b))에서는 10.7에 해당한다. 이러한 증가는 근본적으로 예인속도의 변화로부터 기인한 결과로 볼 수 있다.

Fig. 10는 예인줄 길이에 따른 장력 변화를 비교하여 제시하고 있다. 긴 예인줄을 이용한 경우 장력이 다소 감소했음을 확인할 수 있으며, 이는 Fig. 11의 수치계산결과에서도 분명히 관찰된다. 수치계산에서는 바지선길이의 1배부터 3.5배까지 예인줄을 증가시켰을 때, 예인속도나 스케그의 유무와 상관없이 예인줄 장력이 점차 감소하는 경향이 나타났다. 스케그가 있을 경우 바지선 길이의 약 2.5배 이상이 되면 장력은 최소가 되었으

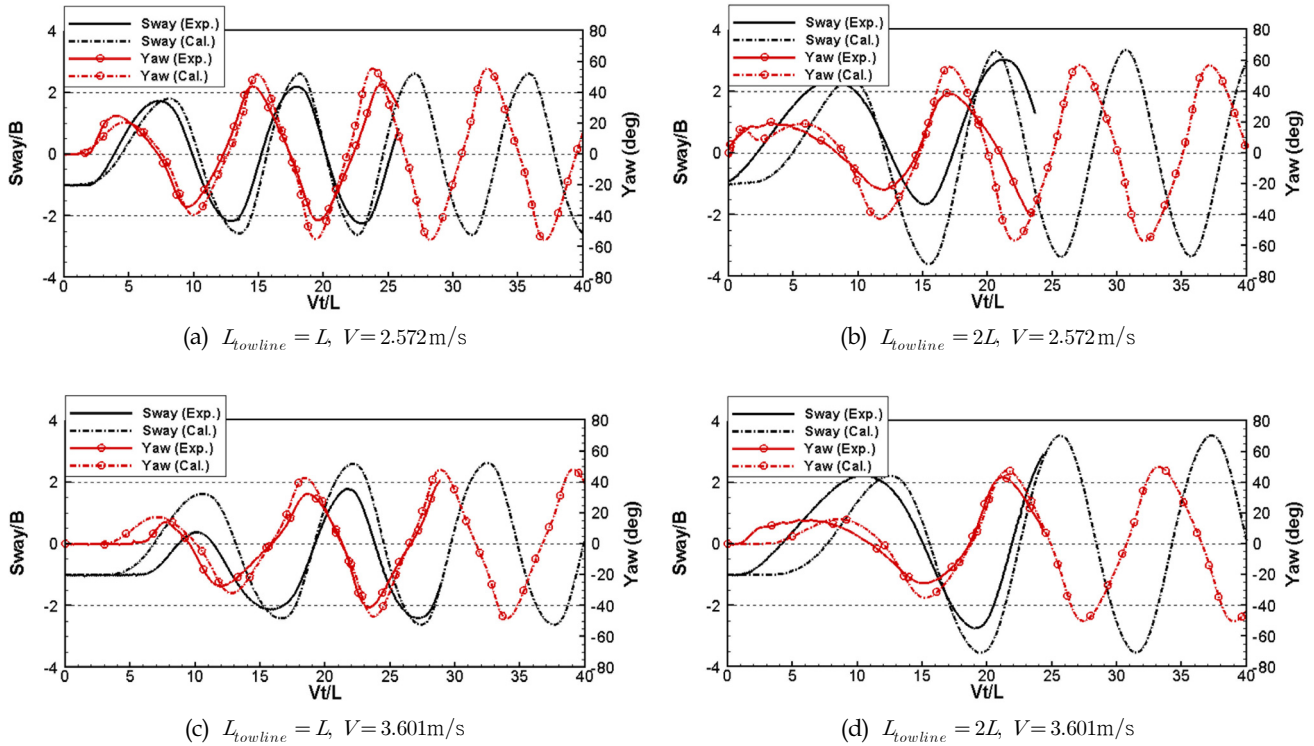


Fig. 8 The effect of towline length on trajectories of towed barge from model tests

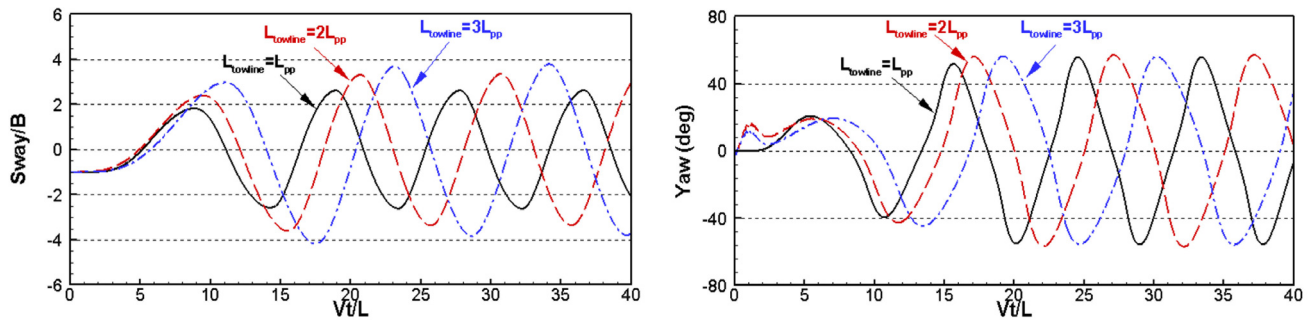


Fig. 9 Comparison of sway(left) and yaw(right) motion of the barge with different towline lengths from present numerical simulations ( $V = 2.572 \text{ m/s}$ )

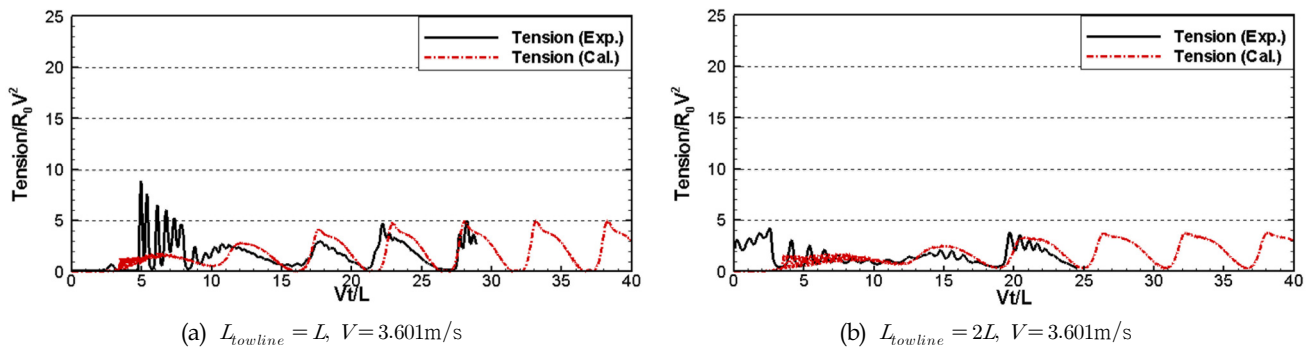


Fig. 10 The effect of towline length on towline tension

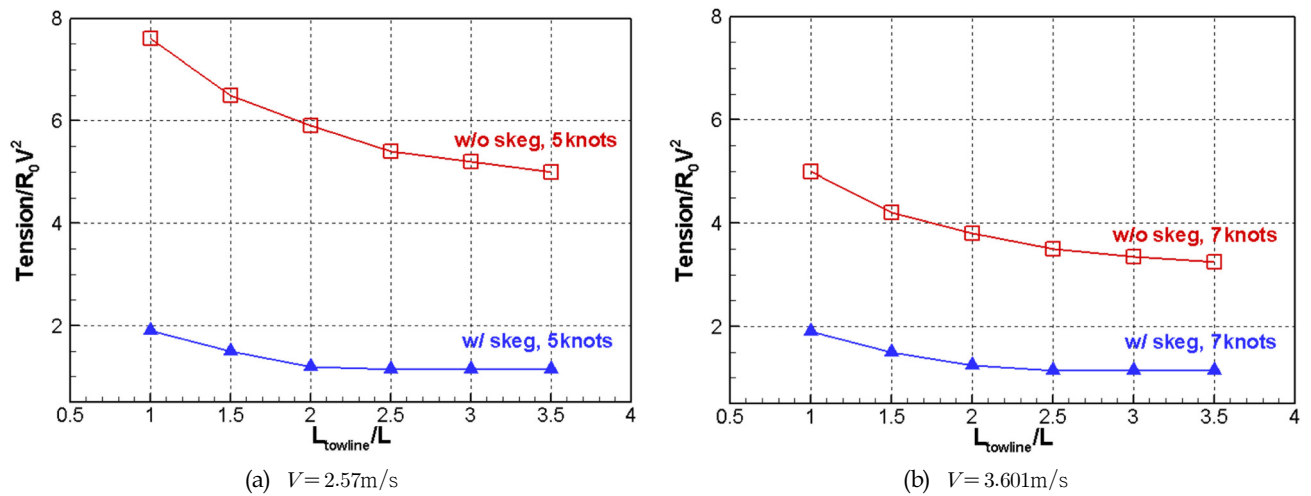


Fig. 11 Comparison of towline tension with different towline length from numerical simulations

며, 그 값은 정수 중 저항값에 대응된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 운송 바지선의 예인안정성에 관한 인련의 모형시험 및 수치해석 연구를 수행하였다. 예인작업에 관련된 다양한 설계인자에 대해 예인안정성에 미치는 영향을 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 스케그를 부착함에 따라 바지선의 수평면 거동은 급격하게 줄어들어 안정을 찾아가는 경향을 보였으며, 예인줄 및 예인속도에 관계없이 예인안정성이 향상되었다. 또한 수평면 거동의 감소로 인하여 예인줄에 걸리는 장력도 급격히 감소하였다. 이러한 스케그의 영향은 측면력과 모멘트의 항력계수에서도 관찰할 수 있으며, 안정성 파라미터를 산출함으로써 스케그 유무에 따른 예인안정성 향상 특성을 살펴볼 수 있었다.

(2) 예인줄이 길어질수록 부선의 Slewing 운동 주기가 늘어나게 되며, 이로 인해 바지선의 좌우운동 진폭이 증가하는 경향을 보인다. 또한 예인속도가 증가하게 되면 Slewing distance가 길어지며, 또한 바지선의 좌우운동 진폭이 증가하는 경향을 보인다. 반면 예인줄이 길어짐에 따라 예인줄의 장력은 낮아지며,

수치계산결과에 따르면 스케그가 있을 경우 바지선 길이의 약 2.5배 이상이 되면 예인줄 장력은 최소가 되었다.

(3) Cross-flow 모델 기반의 수치해석 기법을 이용할 경우 본 바지선에 대한 예인안정성 특성을 잘 모사할 수 있었다. 다만, 항력계수에 대한 보간법에 따라 수치 시뮬레이션 결과가 달라질 수 있기 때문에 이에 대한 신중한 선택이 요구되어 진다.

## 후 기

본 연구는 선박해양플랜트연구소에서 수행중인 산업통상자원부 산업원천기술개발사업 “해저 및 해상생산플랜트 설치설계 핵심기술 개발” (No.10038598) 과제의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- Latorre R., 1998. Scale Effect in Towed Barge Course Stability Tests. Ocean Engineering, 15(4), 305-317.
- Nam, B.W., Park, J.Y., Hong, S.Y., Sung, H.G., Kim, J.W., 2013. Numerical Simulation of Towing Stability of Barges in Calm Water. Journal of Ocean Engineering and



Technology, 27(1), 67-73.

Fitriadhy, A., Yasukawa, H., 2010. Slewing Motion Characteristics of a Towed Ship in Steady Wind. Proceedings of the 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2010-20673).

Wichers, J.E.W., 1988. A Simulation Model for a Single Point Moored Tanker. Marine Publication, No. 797.

Yasukawa, H., Hiritaka, H., Nakamura, N., Matsumoto, Y., 2006. Simulation of Slewing Motion of a Towed Ship. Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 4, 137-146.