

# 강조류에서 중량물 운반 부선의 예인력에 관한 연구

김철승\* · 임금수\*\*†

\* 목포해양대학교, \*\* 목포해양대학교 대학원

## A Study on the Towing Force of Heavy Loaded Barge against Strong Current

Chol-Seong Kim\* · Geug-Soo Rim\*\*†

\* Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

\*\* Graduate school, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

**요 약** : 예인선 A호와 B호가 재킷을 실은 부선을 예인하기 위하여 진도 벽파항에서 출항하여 진도대교 부근 조력발전소 예정지로 운항 중 예인능력을 갑자기 상실하고 진도대교로 표류하여 바지선에 실려 있던 대형 철구조물인 일명 ‘재킷’이 제1진도대교 교각 및 중앙부 상판과 충돌한 사고가 발생하였다. 이 사고로 바지선에 실려 있던 조력 발전소 건설용 철구조물이 진도대교 중앙부 하단지점 바다로 추락했으며 제1진도대교 교각 1개가 일부 파손되고 상판의 바람막이도 세 군데가 구겨지는 등의 피해가 발생했다. 본 연구에서는 상기의 해양사고와 관련하여 부선의 운항경로가 갑자기 바뀌며 예인력을 상실하였던 해역의 시간대별 조류속도를 추정하고, 재킷을 실은 부선을 예인하기 위한 적절한 예인력을 산정함과 동시에 당시 기상 상황 하에서의 부선의 예인 안전성을 검토하고자 한다.

**핵심용어** : 예인선, 부선, 예인력, 강조류, 해양 사고

**Abstract** : A marine collision accident occurred at the Jin-do water way. A barge loaded with heavy equipment of Power Generation Plant was being towed at its side by two tugs “A” and “B” from Byeg-pa harbour to the designated position to be used for power generation plant near Jin-do bridge. The Power Generation Plant was 40-meters high loaded atop the barge. When the “tugs and tow” were approaching the Jin-do the bridge, the two towing tugs lost maneuvering control of the barge and it went off-course, hit first the waterway embankment and finally struck the lower part of bridge’s span and post causing the barge to capsize and sunk its cargo into the sea. The bridge also suffered damages where the top of the Plant struck. At the time of the accident, there was a strong tidal current at the waterway. This paper calculates the safe towing force of barges with heavy loads when traversing in a strong tidal current situation in narrow waterway.

**Key Words** : Tug, Towing barge, Towing force, Strong current, Marine accident

### 1. 서 론

예인선 A호(2800마력), B호(3200마력)가 조력발전용 재킷을 실은 부선(B-1호)을 예인하기 위하여 2007년 4월 22일 진도에 위치한 벽파항에서 출항하여 최종 목적지인 진도대교 부근 조력발전소 예정지로 운항 중 22시 30분경에 예인능력을 상실하고 갑자기 해남군 진도대교방향으로 압류되어 육안에 예인선들이 부딪히고 튕겨지면서 바지선에 실려 있던 대형 철 구조물인 일명 ‘재킷’이 제1진도대교 교각 및 중앙부 상판과 충돌한 사고가 발생하였다. 이 사고로 바지선에 실려 있던 조력 발전소 건설용 철 구조물이 진도대교 중앙부 하단지점 바다로

추락했으며, 또한 제1진도대교 교각 1개가 일부 파손되고 상판의 바람막이 3개소가 부서지는 손상이 발생했다. 본 연구에서는 상기의 해양사고와 관련하여 부선의 운항경로가 갑자기 바뀐 해역의 시간대별 조류속도를 추정하여 압류된 원인을 밝히고, 재킷을 실은 부선을 예인하기 위한 적절한 예인력을 산정함과 동시에 당시 기상 상황 하에서의 부선의 예인 안전성을 검토하고자 한다.

### 2. 대상해역 및 대상선박 제원

#### 2.1 대상해역

연구 대상해역은 진도 벽파항에서 진도대교 부근 조력발전소 예정지까지이며, 항행거리는 약 3.5마일이다. 사고해역은

\* 대표저자 : 종신회원, cskim@mmu.ac.kr, 061-240-7174

† 교신저자 : 종신회원, gsrin@mmu.ac.kr, 061-240-7450

수심에 지장을 받지 않을 정도의 항해 가능한 수로이며 또한 압초 등 특별한 고려사항이 없으므로 사고 당시의 조류에 따른 예인력만을 검토한다. Fig. 1은 연구 대상해역과 조류발전 조감도를 나타낸 것이다.

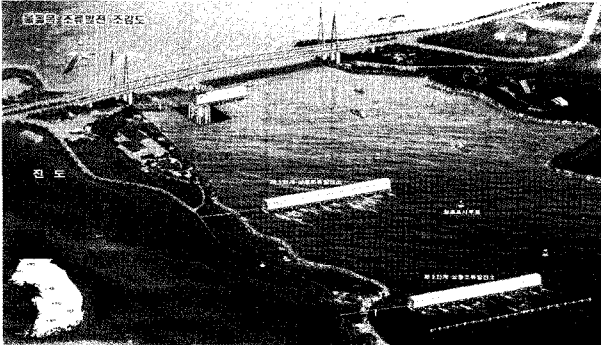


Fig. 1. Aerial view of study area.

### 2.2 대상선박 제원

Table 1은 사고 당시 부선(B-1호)과 예인선 A호 및 B호의 주요 제원 및 특징에 대하여 나타낸 것이며 Fig. 2는 바지선에 실린 재킷의 모습을 보여주고 있다.

Table 1. Specifications of tug and barge

Item	Tug		Barge (B-1)
	A	B	
Gross tonnage	124.0	290.91	2,667
L.O.A(m)	25.79	32.69	81.6
Breadth(m)	8.0	10.0	24
Depth(m)	3.6	4.33	5.3
Draft(m)	d <sub>r</sub> : 1.8m d <sub>b</sub> : 3.4m	d <sub>r</sub> : 2.4m d <sub>b</sub> : 3.8m	Full load draft: 4.0m d <sub>m</sub> : 2.063m
Main engine & power	Diesel eng. 2 sets 2,800B.HP	Diesel eng. 2 sets 3,200B.HP	-
Number of propeller	2 sets	2 sets	-
Wind pressure area of width direction(m <sup>2</sup> )	-	-	445.55
Wind pressure area of length direction(m <sup>2</sup> )	-	-	259.43
Immersion area(m <sup>2</sup> )	-	-	2391.3
Cross section of midship(m <sup>2</sup> )	-	-	49.5

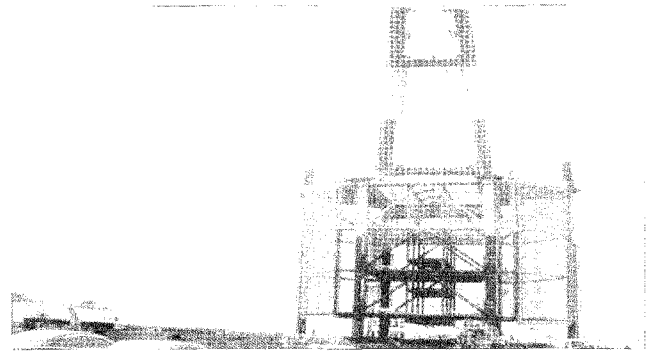


Fig. 2. Loaded Barge with "jacket" for tidal power generation.

## 3. 예인선의 유형 및 예인력 검토

### 3.1 예인선의 유형

예인선의 유형은 일반적으로 다음과 같이 주로 추진기의 형태, 추진기 제작회사, 추진기 또는 조타시스템의 배치 등에 따라 구분되어지며, 통상적으로 재래형 예인선(Conventional tug), Voith-Schneider tugs, Z-peller tugs, 노즐러더 부착 예인선(Kort nozzle tugs), Tractor Tugs 등으로 일컬어진다.

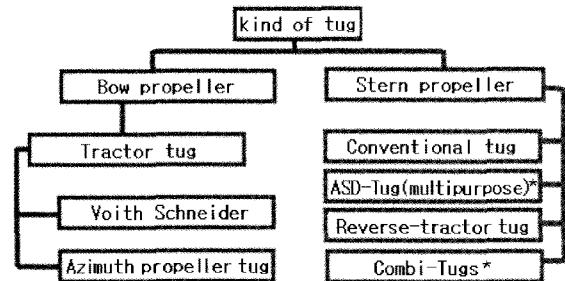


Fig. 3. Types of tugs.

### 3.2 예인선의 유형에 따른 예인력 검토

예인선의 능력을 평가하는 데는 다음과 같이 두 가지 큰 흐름이 있다. 먼저 속력이 있는 상태에서의 능력과 주로 Bollard full(육안 예인력)로 불리는 능력이다.

Table 2는 각각의 추진 형식에 따른 BHP(제동마력) - Bollard full의 비율을 나타낸 것이며, Table 3은 예인선 유형에 따른 제동마력과 육안 예인력과의 관계를 나타낸 것이다.

Table 2. Tug's propulsion and bollard pull

Type of propulsion	Bollard full in tons/100 bhp
Voith schneider	1.15
Open fixed pitch propeller	1.3
Azimuth propellers in nozzles(ahead)	1.35
Fixed/controllable pitch propellers in nozzles(Conventional tugs)	1.5

Table 3. Tug's propulsion type and bollard pull

Tug propulsion type	Bollard pull in tons/100 bhp
Voith schneider tugs	1.0-1.15
ASD tugs	1.15-1.35
Conventional twin screw tugs with fixed /controllable pitch propellers in nozzles	1.25-1.5

Fig. 4는 추력의 정도에 관한 추력 벡터 도표이다. 이 그림은 동등한 마력을 가진 예인선에 대하여 속력이 없는 상태에서 각 방향의 추진능력을 보여주고 있다. 횡 추력 및 프로펠러의 간섭에 의한 영향을 명확하게 도표에서 알 수 있다.

Fig. 4에서 방위 추진기(Z-Peller)를 장착한 예인선의 횡방향 추력은 2개의 프로펠러가 서로 작은 각도로서 조종될 경우 도표에 나타난 값보다도 약간 높은 것으로 조사되었다(Clyde Consultants UK).

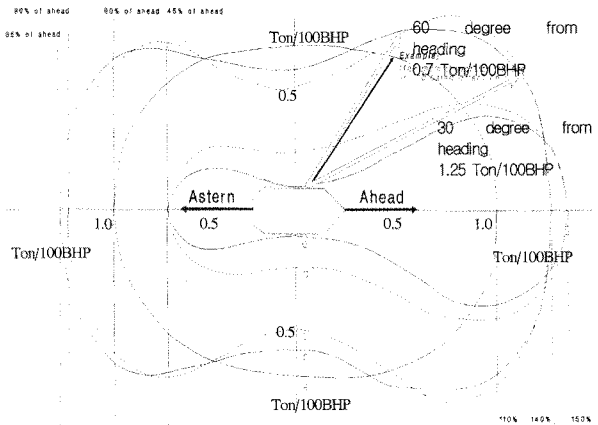


Fig. 4. Thrust vector diagram.

따라서 본 연구의 대상 예인선인 A호 및 B호의 경우, 노즐이 부착된 Reverse Tractor의 예인선(Z-Peller)으로서 대수 속력이 없는 경우에 적용하는 육안 예인력은 전진추력 시에 1.4 Ton/100 BHP, 후진추력의 경우에는 1.25 Ton/100 BHP로, 정횡방향의 추력에는 0.5 Ton/100 BHP를, 전진추력이 선수미 방향과 60도의 경우 0.7 Ton/100 BHP를, 30도의 경우에는 1.25 Ton/100 BHP를 적용하며, 후진추력의 경우 선수미 방향과 60도의 경우 0.6 Ton/100 BHP를, 30도의 경우에는 1.1 Ton/100 BHP를 적용한다(Henk Hensen, 2003).

#### 4. 사고해역에서 부선의 예인 안정성 검토

##### 4.1 부선에 작용하는 외력

###### 1) 정적 육안예인력 검토를 위한 외력

대상 예인선박에 필요한 정적 육안 예인력을 산정하기 위

해서는 환경조건, 즉 바람, 조류, 파랑에 의하여 발생하는 외력을 계산하여야 하며, 본 연구에서 사용한 계산 방법은 다음과 같다.

###### ① 풍하중(Wind forces)

바람에 의해 예인 대상선박에 발생하는 풍하중은 다음 식(1), 식(2), 식(3)과 같이 계산된다.

횡방향 풍하중

$$F_{yw} = 0.5 C_{yw} \rho V_w^2 A_L [N] \quad (1)$$

종방향 풍하중

$$F_{xw} = 0.5 C_{xw} \rho V_w^2 A_T [N] \quad (2)$$

선수운동 모멘트

$$M_{xyw} = 0.5 C_{xyw} \rho V_w^2 A_L L_{BP} [N \cdot m] \quad (3)$$

- 여기서,  $C_{yw}$  : 횡방향 풍하중 계수
- $C_{xw}$  : 종방향 풍하중 계수
- $C_{xyw}$  : 선수운동 모멘트 계수
- $\rho$  : 밀도[공기,  $kg/m^3$ ]
- $V_w$  : 풍속[m/sec]
- $A_L$  : 종방향 풍압면적[m<sup>2</sup>]
- $A_T$  : 횡방향 풍압면적[m<sup>2</sup>]
- $L_{BP}$  : 수선간장[m]

풍하중 계수에 관해서는 여러 형태의 선박들을 대상으로 풍향 및 적재상태에 따른 계수 값이 알려져 있으며, 이 중에서 횡방향 풍하중 계수는 필요한 육안 예인력 계산에 가장 크고 중요하다. 횡방향 풍하중 계수  $C_{yw}$ 는 선박의 형태, 적재상태 및 수면하 높이에 따라 다르지만, 정횡 풍향에서 대략 0.8-1.0 사이에 있으며 대부분의 경우 0.9-1.0의 값을 가진다. 여기서  $C_{yw}$ 를 1.0, 공기의 밀도를 1.28  $kg/m^3$ 으로 하고 상기의 횡방향 풍하중을 Newton으로 환산하면, 정횡 풍향일 경우의 횡방향 풍하중은 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$F_{yw} = 0.64 V_w^2 A_L [N] \quad (4)$$

식(4)에 횡풍조에 의한 안전율 25%의 안전율을 감안하여 적용하면, 횡풍향 하에서의 필요 육안 예인력은 식(5)로 간단하게 구할 수 있다.

$$F_{yw} = 0.784 V_w^2 A_L [N] \quad (5)$$

###### ② 조류력(Current forces)

조류에 의해 예인 대상선박에 발생하는 풍하중과 같은 방법으로 아래와 같이 계산된다.

횡방향 조류력

$$F_{yc} = 0.5 C_{yc} \rho V_c^2 L_{BP} T \text{ [N]} \quad (6)$$

종방향 조류력

$$F_{xc} = 0.5 C_{xc} \rho V_c^2 B T \text{ [N]} \quad (7)$$

선수운동 모멘트

$$M_{xyc} = 0.5 C_{xyc} \rho V_c^2 L_{BP}^2 T \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (8)$$

여기서,  $C_{yc}$  : 횡방향 조류력 계수  
 $C_{xc}$  : 종방향 조류력 계수  
 $C_{xyc}$  : 선수운동 조류력 모멘트 계수  
 $\rho$  : 밀도[해수, kg/m<sup>3</sup>]  
 $V_c$  : 조류 속도[m/sec]  
 $T$  : 흘수[m]  
 $B$  : 선폭[m]  
 $L_{BP}$  : 수선간장[m]

조류력 계수  $C_{yc}$ ,  $C_{xc}$ ,  $C_{xyc}$ 는 선박의 수면하 형태, 흘수, 트림, 선저여유수심 및 조류 방향에 따라 각각 다르지만, 이 중에서 선저여유수심이 각 계수에 미치는 영향이 가장 크다. 또한, 식(6)과 같이 횡방향 조류에 의하여 작용하는 최대 횡방향 조류력이 필요한 육안 예인력 계산에 가장 크고 중요하다. 심해에서(수심/흘수비:6이상) 횡조류에 대한 횡방향 조류력 계수는 약 0.6으로 알려져 있으며, 이것은 만재 원유선에 대한 OCIMF에서 정한 계수(일반적으로 Square bow vessels에서는 0.5를 사용)이다. 단, 사고 해역의 수심은 약 15미터로 부선의 흘수 2.063미터를 감안하면, 수심/흘수비는 약 7.3으로 식(6)의 적용이 가능하다.

### ③ 파력(Wave forces)

사고 해역이 섬 및 육지로 둘러싸인 내해로서 파랑의 주기가 짧고, 파경사가 급격하며 파장이 선박의 길이에 비해 작은 경우에는 선박에 작용하는 파력은 대략적으로 다음과 같다.

$$F_{wave} = 0.5 \rho g L \zeta_a^2 \text{ [N]} \quad (9)$$

여기서,  $\rho$  : 밀도[해수, kg/m<sup>3</sup>]  
 $g$  : 중력가속도[9.8 m/sec<sup>2</sup>]  
 $L$  : 파랑 투형 길이[m]  
 $\zeta_a$  : 파 진폭[m], 파고  $H_s$ 의 1/2  
 $H_s$  : 유의파고[m]

### 2) 동적 육안 예인력 검토를 위한 외력

주어진 환경조건하에서 예인 대상선박이 일정한 속력을 유지하며 항행하기 위해서는 4.1절의 정적 육안 예인력에 다음과 같은 사항이 추가되어 고려되어야 한다(Commander Millwee and Associates).

① 예인 대상선박의 선체에 미치는 마찰 저항  $R_f$

$$R_f = 4.4453 f_1 S (V_s/6)^2 \text{ [N]} \quad (10)$$

여기서,  $f_1$  : fouling 계수  
 (Clean hulls : 0.4, Fouled hulls : 0.85, 보통 0.625 채택)  
 $S$  : 수면하 선체 침수 면적[m<sup>2</sup>]  
 $V_s$  : 정수중 예인속도[knots]

② 예인 대상선박의 선체에 미치는 조파 저항

$$R_{wf} = 15.19 f_2 A_T V_s^2 \text{ [N]} \quad (11)$$

여기서,  $f_2$  : 선체 형상계수  
 (Square bowed Vessels = 0.5)  
 $A_T$  : 중앙 횡단면적[m<sup>2</sup>]  
 $V_s$  : 정수중 예인속도[knots]

③ 예인삭 저항  $R_h$

$$R_h = 4.4453 (0.1 R_f + R_{wf}) \times 9.8 \text{ [N]} \quad (12)$$

## 4.2 부선(B-1호)의 예인 안전성 검토

상기 재킷을 적재한 부선이 진도 벽파항에서 진도대교 부근 조력발전소 예정지 인근해역까지 항행 시에 예인 안전성은 아래의 4가지 경우를 상정하고, 각 경우에 발생하는 필요 정적 육안 예인력 및 동적 육안 예인력과 기 사용된 예인선에서 이용 가능한 예인력을 비교함으로써 사고 해역에서의 부선의 예인 안전성을 검토하고자 한다.

- 사고 발생 인근해역에서 조류와 같은 방향으로 접근하고 있는 경우
- 사고 발생 인근해역에서 접안 예정지로 평행하게 횡 이동하는 경우
- 접안 예정지와 60도 진입각으로 부선을 평행하게 횡 이동하는 경우
- 접안 예정지와 30도 진입각으로 부선을 평행하게 횡 이동하는 경우

1) 사고 발생 인근해역에서 조류와 같은 방향으로 접근하고 있는 경우

사고 발생 인근해역에서 조류와 같은 방향으로 접근하고 있는 경우에 부선에 미치는 외력은 환경조건이 부선의 예인에 가장 열악하게 작용하는 상황을 가정하여 필요한 정적 육안 예인력을 계산하고, 이를 예인선에서 이용 가능한 예인력과 비교하여 부선의 예인 안전성을 판단한다.

① 필요한 정적 육안 예인력과 예인선의 이용 가능한 예인력의 산정을 위해서 부선과 예인선의 위치는 사고 당시의 상황과 동일하게 아래 Fig. 5와 같이 한다.

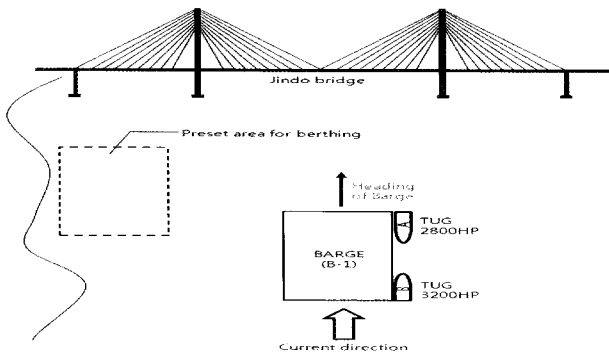


Fig. 5. Required Towing Force during following current.

- ② 풍파의 방향은 부선의 선미에서 선수쪽(종방향)으로 작용하는 것으로 가정하고, 풍속 및 유의파고는 사고당시의 기상 상황을 감안하여 동일하게 풍력계급 3(B.F계급3)에 해당하는 풍속 10 kts 및 유의파고 1.0m를 이용한다.
- ③ 조류력의 계산에 있어서 조류 방향은 부선의 선미에서 선수쪽(종방향)으로 작용하는 순조로 가정하고, 조류 속도를 2 - 8.0 kts까지 변화시키면서 계산한다.
- ④ 필요한 동적 육안 예인력은 조류의 방향이 부선의 항행방향과 같은 순조이므로 별도로 계산할 필요가 없다. 계산 결과는 Table 4와 같고 예인선의 예인력은 79.2톤이며, 필요 정적 육안 예인력은 조류속도가 8.0 kts에 달하여도 36.8톤이므로, 조류방향에 대한 부선의 상대위치가 Fig. 5와 같은 경우에는 예인선 두척의 예인력은 부선이 풍조류에 의하여 압류되지 않을 정도의 충분한 예인력을 확보하고 있다고 판단된다.

Table 4. Required towing force during following current

Current speed (knot)	Current forces (ton)	Wind forces (ton)	Wave forces (ton)	Required static bollard pull(ton)	Towing forces of tug(ton)
2.0	2.1	0.5	2.7	5.3	79.2
4.0	8.4	0.5	2.7	11.6	79.2
6.0	18.9	0.5	2.7	22.1	79.2
8.0	33.5	0.5	2.7	36.8	79.2

2) 사고 발생 인근해역에서 접안 예정지로 평행(90도), 60도 및 30도 진입각으로 횡이동하는 경우

조력발전소 예정지 인근해역에서 접안 예정지로 평행, 60도 및 30도 진입각도로 횡이동하는 경우, 부선에 미치는 외력은 환경조건이 부선의 예인에 가장 열악하게 작용하는 상황을 가정하여 필요한 정적 및 동적 육안 예인력을 계산하고, 이를 예인선에서 이용 가능한 예인력과 비교하여 부선의 예인 안전성을 판단한다.

① 필요한 정적 및 동적 육안 예인력과 예인선의 이용 가능한 예인력의 산정을 위해서 부선과 예인선의 위치는 Fig. 6, 7 및 8과 같이 가장 열악한 상황으로 가정한다.

② 외력 중에서 풍하중 및 파력의 계산에 있어서 풍파의 방향은 부선의 좌현에서 우현쪽(선체 횡방향)으로 작용하는 것으로 가정하고, 풍속 및 유의파고는 사고당시의 기상상황을 감안하여 풍력계급 3(B.F계급3)에 해당하는 풍속 10 kts 및 유의파고 1.0m를 이용한다.

③ 조류력의 계산에 있어서 조류 방향은 부선의 선미에서 선수쪽(종방향)으로 작용하는 것으로 가정하고, 조류 속도를 0-8.0 kts까지 변화시키면서 계산한다.

④ 동적 육안 예인력 산정에 필요한 부선의 횡방향 이동속도는 2.0 kts로 한다.

Table 5에 계산 결과를 나타내었다. 먼저 접안 예정지로 진입각도를 90도로 하고 횡이동하는 경우 예인선의 예인력은 30톤이고, 부선에 선수미방향으로 작용하는 조류에 대항하면서, 부선을 접안속도 2.0 kts 횡이동 시킬 경우에 필요한 동적 육안 예인력은 2.0 kts의 조류가 있는 경우 15.5톤, 6.0 kts의 조류가 있는 경우 32.2톤으로 계산되었다.

접안 예정지로 진입각도를 60도로 하고 횡이동하는 경우 예인선의 예인력은 38.8톤이고, 부선에 선수미방향으로 작용하는 조류에 대항하면서, 부선을 접안속도 2.0 kts 횡이동 시킬 경우에 필요한 동적 육안 예인력은 7.0 kts의 조류가 있는 경우 39.0톤으로 계산되었다.

접안 예정지로 진입각도를 30도로 하고 횡이동하는 경우 예인선의 예인력은 63.2톤이고, 부선에 선수미방향으로 작용하는 조류에 대항하면서, 부선을 접안속도 2.0 kts 횡이동 시킬 경우에 필요한 동적 육안 예인력은 8.0 kts의 조류가 있는 경우 46.9톤으로 계산되었다.

따라서 진입각도 90도에서는 조류가 6.0 kts 이하, 진입각도 60도에서는 조류가 7.0 kts 이하, 진입각도 30도에서는 조류가 8.0 kts 이하인 경우에 예인선은 부선이 풍조류에 의하여 압류되지 않고, 약 2.0 kts를 유지하면서 횡이동이 가능한 예인력을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

Table 5. Required towing power when there is transverse wind from portside and barge direction is 30, 60, 90 degree to port

Current speed (knots)	Required static bollard pull (ton)	Required dynamic bollard pull (ton)	Towing forces 90 deg. (ton)	Towing forces 60 deg. (ton)	Towing forces 30 deg. (ton)
0.0	10.1	13.4	30	38.8	63.2
1.0	10.6	13.9	30	38.8	63.2
2.0	12.2	15.5	30	38.8	63.2
3.0	14.8	18.1	30	38.8	63.2
4.0	18.5	21.8	30	38.8	63.2
5.0	23.2	26.5	30	38.8	63.2
6.0	28.9	32.2	30	38.8	63.2
7.0	35.7	39.0	30	38.8	63.2
8.0	43.6	46.9	30	38.8	63.2

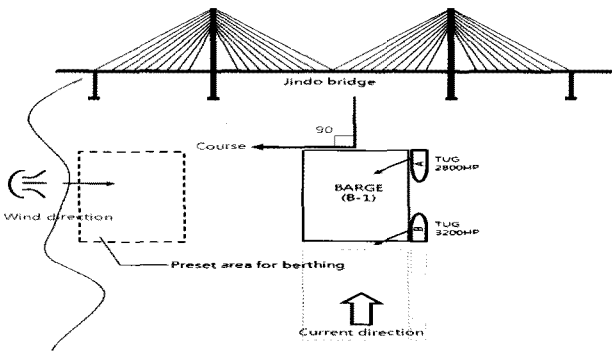


Fig. 6. Required towing force when there is transverse thrust of opposing wind and current directions.

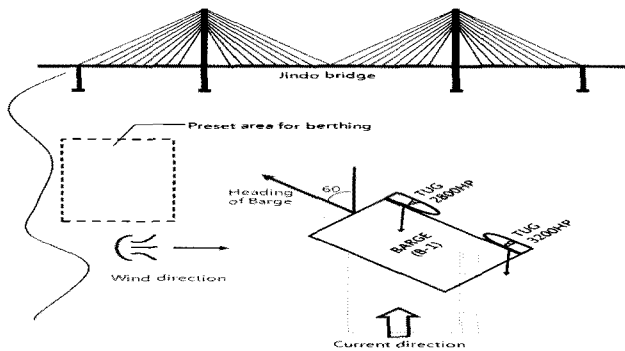


Fig. 7. Required towing power when there is transverse wind from portside and barge direction is 60 deg to port.

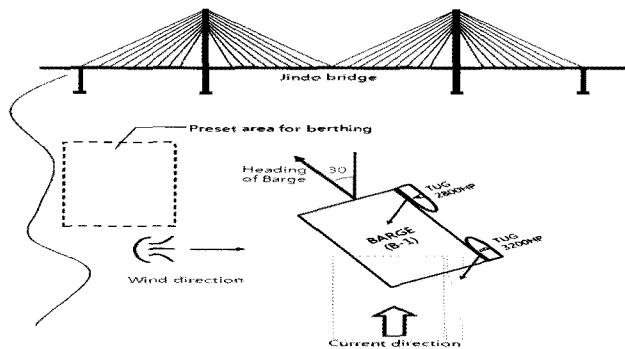


Fig. 8. Required towing force when there is transverse wind from portside and barge direction is 30 deg to port.

### 5. 결론

본 연구는 예인선A호(2800마력), 예인선B호(3200마력)가 재킷을 진도대교 부근 조력발전소 예정지로 예인 중에 발생한 해양사고와 관련하여 재킷을 실은 부선을 예인하기 위한 적절한 예인력을 산정함과 동시에 당시 기상상황 하에서의 부선의 예인 안전성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 사고 발생 인근해역에서 접안 예정지로 조류와 평행하게 2.0kts를 가지고 횡이동 시에 예인선 두 척의 추력 방향이 정횡일 경우(풍력계급 : B.F계급3, 방향은 예인선의 추력 방향과 정반대로 가정) 그 합계가 30톤이므로 조류가 5.5kts 이하인 경우에는 부선이 풍조류에 의하여 압류되지 않고, 약 2.0kts를 유지하면서 횡이동이 가능한 예인력을 가질 수 있었던 것으로 판단된다.

2) 접안 예정지와 진입각을 60도 및 30도로 부선을 평행하게 2.0kts 속력으로 횡이동 시에 예인선의 추력방향이 선수미 60도일 경우 예인력은 38.8톤, 선수미 30도일 경우 63.2톤이다. 따라서 부선에 선수미 방향으로 작용하는 조류에 대항하면서, 압류되지 않고, 예정지에 횡이동이 가능한 예인력을 가질 수 있었던 것으로 판단된다.

부선이 접안 예정지 부근해역에서 회두하는 돌발상황이 발생했다라도 예인선의 선박 운항자가 신속히 예인삭을 풀고 예인력이 최대한 발휘될 수 있도록 예인방법을 변경하고 부선이 조류와 평행하게 위치하도록 하는 등의 적극적인 조치를 취했다면, 재킷을 적재한 부선이 진도대교에 충돌하는 사고를 방지할 수 있었을 것으로 판단된다. 향후 상기의 사고 상황에 대하여 수치 및 선박조종 시뮬레이션을 통하여 보다 명확한 사고원인 분석 및 필요 예인력 등의 검토가 필요하며, 대형구조물 또는 거대부선의 최적 예인방법 등의 연구가 필요하다고 판단된다.

### 참고 문헌

[1] Capt. Henk Hensen FNI(2003), Tug use in port, a practical guide, 2nd edition, the nautical institute, pp. 30-31.  
 [2] Commander Millwee and Associates(USA), Towing by Michael Hancox, Vol. 4, pp. 364-366

원고접수일 : 2011년 05월 13일  
 원고수정일 : 2011년 05월 30일 (1차)  
 : 2011년 06월 17일 (2차)  
 게재확정일 : 2011년 06월 23일