2018년 한국항해항만학회 추계학술대회
2018년 11월 8일(목)~9일(금) 경주 더케이호텔

LNG 벙커링 바지의 예인력 계산에 관한 연구

오승훈* · 정재환* · 황성철* · 정현우* · 조석규* · 정동호*

*한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Study on the Calculation of Towing Force for LNG Bunkering Barge

Seung-Hoon Oh · Jae-Hwan Jung* · Sung-Chul Hwang* · Hyun-Woo Jung* · Seok-Kyu Cho* · Dong-Ho Jung**

**Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejon, Korea*

요 약 : 본 논문에서는 LNG 벙커링 바지에 대한 예인력을 계산하였다. 친환경 에너지원인 LNG(액화천연가스)의 전환을 위한 인프라로 LNG 벙커링 바지가 개발되고 있다. LNG 벙커링 바지의 경우, 부선의 형태로 개발되고 있으나 향후 운용관점에서 추진기 탑재 개조(Retrofit)를 통한 자항추진을 고려하고 있다. 따라서 LNG 벙커링 바지는 일반적인 예인바지와 비교하여 선박의 선형에 유사하기 때문에 선급의 부선 규칙을 통한 예인력은 과대 추정된다. 이를 극복하기 위해, 정수 중 저항은 Rankine source method를 이용한 조파저항을 고려하여 ITTC 1978 방법에 따라 계산하였고 파랑 중 부가저항은 NMRI의 단파장 보정이 고려된 수정된 방사에너지법을 이용하여 계산하였다. 계산된 정수 중 저항과 부가저항을 통해 예인저항 성능을 선급의 부선 규칙과 비교 검토하였다.

핵심용어 : 액화천연가스, 벙커링 바지, 예인력, 정수 중 저항, 파랑 중 부가저항

Abstract : *In this paper, the towing force is calculated for the LNG bunker barge. LNG bunkering barge is being developed as an infrastructure for the bunkering of LNG(Liquefied Natural Gas), an eco-friendly energy source. In the case of the LNG bunker barge, a self-propulsion is considered through retrofit from an operating point. Therefore, the LNG bunker barge is similar to the shape of the ship as compared to a towed barge, so a rule of the towed barge overestimates the towing force. In order to improve accuracy, the calm water resistance is calculated according to the ITTC 1978 method considering the wave resistance by the Rankine source method. The added resistance in waves is calculated using the modified radiated energy method considering the shortwave correction method of NMRI. The performance of the towing resistances through the calm water resistance and the added resistance in waves was compared with rules of the towed barge.*

Key words : *Liquefied Natural Gas, Bunkering Barge, Towing Force, Calm Water Resistance, Added Resistance in Waves*

1. 서 론

국제해사기구에서 선박의 유해 배출가스 규제 강화로 선박연료로써 친환경 에너지원인 LNG(Liquefied natural gas)의 관심이 높아지고 있다. 하지만 국내에는 선박에 LNG를 공급할 수 있는 LNG 터미널 또는 LNG 벙커링 셔틀과 같은 기반시설(Infrastructure)의 부재로 truck-to-ship을 통한 특정항구에서 벙커링이 제한적으로 수행되고 있다. 이와 같은 기반시설 부재는 선박연료로써 LNG 전환에 걸림돌이 되고 있다. 이 같은 상황을 돌파하기 위해 선박해양플랜트연구소에서는 연안선박 맞춤형 LNG 벙커링 시스템 개발 과제를 통해 LNG 벙커링 바지를 개발 및 건조하여 Fig. 1과 같이 실제 ship-to-ship 벙커링에 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 현재 LNG 벙커링 바지는 예인선에 예인되는 부선이지만 추후 추진기 탑재 및 개조(Retrofit)를 고려한 Propulsion ready로 설계가 진행되고 있다. 일반적인 부선과 비교하여 선형이 선박에 가까운 형상을 띄는 것이 특징이다. 따라서 LNG 벙커링 바지의 예인 용량과 예인삭의 장력 추정은 물론 추진기 탑재 개조 이후, 저항성능을 정확히 추정하는 것이 LNG 벙커링 바지의 운용관점에서 중요하다.

본 연구에서는 초기 개발단계에서 LNG 벙커링 바지의 예인력 계산을 위해 정수 중 저항 및 파랑 중 부가저항의 계산을 수행하였고 선급의 부선 규정과 비교 검토 하였다.

Fig. 1 Ship to ship bunkering

2. 예인 저항 계산법

본 연구에서는 LNG 벙커링 바지 선형 개발의 초기 단계로 정수 중 저항 및 부가저항 계산을 수행하였다. 정수 중 저항 계산을 위해 Fig. 2와 같이 Rakine source method(Bertram, 2011)를 이용하여 조파저항을 계산하였고 마찰저항은 ITTC 마찰곡선과 Van Oortmerseen(1971)의 형상 계수를 이용하여 추정하였다. 파랑 중 부가저항의 경우, NMRI 단파장 보정법(Kuroda, et al., 2008)을 고려한 수정된 방사에너지법(Oh and Yang, 2015)을 이용하여 평가하였다.

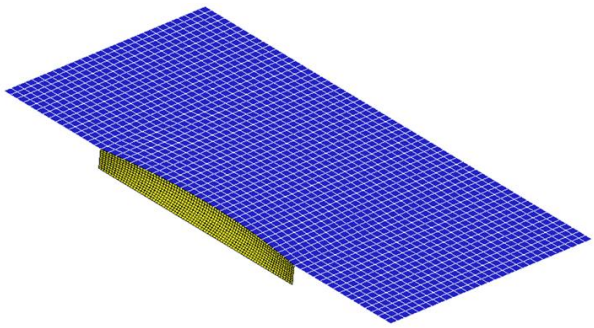

Fig. 2 Panel model of Rankine source method

3. LNG 벙커링 바지의 예인력 계산

본 연구에서는 설계가 진행 중인 LNG 벙커링 바지의 예인력을 계산하였다. LNG 벙커링 바지는 Fig. 3과 같고 주요제원은 Table 1에 나타내었다.

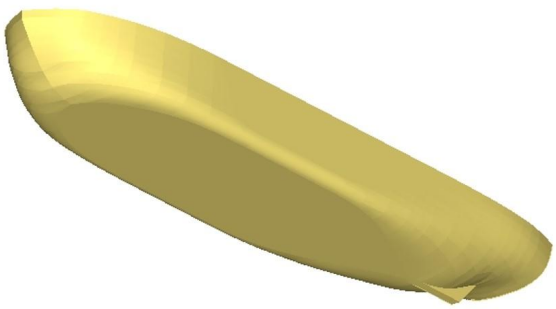

Fig. 3 Three dimensional geometry of hull

Table 1에서 LBP는 수선간장, B는 선폭, TF는 선수흘수, TA는 선미흘수 그리고 Displacement는 선박 배수용적을 의미한다. LNG 벙커링 바지의 설계속도는 8 knots로 계산 조건은 7-9knots까지 0.5 간격으로 수행하였다. 불규칙 상태에서 파랑 중 부가 저항의 경우 해상상태 3-5까지 계산을 수행하였다.

정수 중 저항의 조파저항 계수를 계산하기 위하여 Fig.4와 같이 LNG 벙커링 바지의 요소모델(panel model)을 자유수면과 선체에 대하여 구성하였다.

Table 1 Particulars of LNG bunkering barge

Item	Unit	Design condition
LBP	[m]	43.0
B	[m]	11.0
TF	[m]	2.4
TA	[m]	2.4
Displacement	[m^3]	918.5

LNG 벙커링 바지의 경우, 선수의 수선면 형상이 완만하며 선미 트랜섬이 있기 때문에 별도의 격자조정이 필요하다. 본 연구에서는 자유수면의 선수와 선미에 fillet을 Fig. 4와 같이 2차 다항함수를 이용하여 설정하였다.

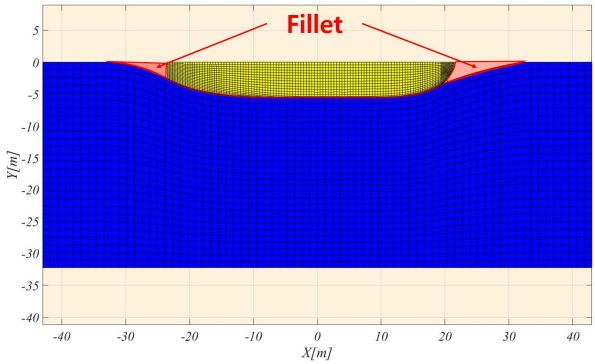

Fig. 4 Panel model for LNG bunkering barge

ITTC 1978방법(ITTC, 2017)인 식 (1)을 따르면 계산된 조파저항계수, 형상계수 그리고 ITTC 마찰곡선식으로 산정한 마찰저항계수를 통해 실선 전저항계수를 산정할 수 있다.

$$C_{TS} = C_W + (1 + k_0)\, C_{FS} \tag{1}$$

계산된 실선 전저항계수를 Fig. 5에 도시하였다.

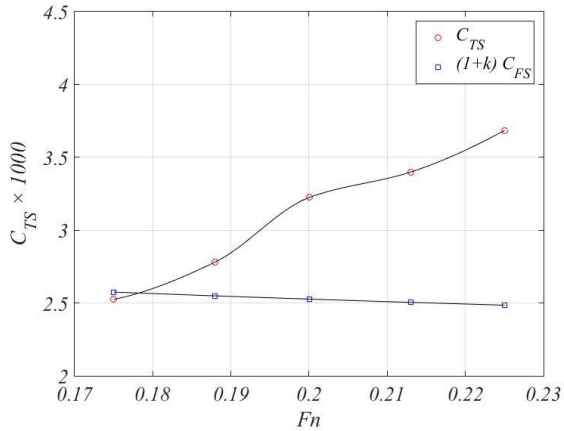

Fig. 5 Total resistance coefficients of LNG bunkering barge

파랑 중 부가저항 계산을 위하여 Fig. 6과 같은 2 차원 단면의 유체력을 이용하는 스트립 방법이 적용되었다. 수정된 방사에너지법(Oh and Yang, 2016)을 이용하여 선박의 상대운동에 대한 부가저항을 계산하였고, NMRI 단파장 보정법(Kuroda, et al., 2008)을 통해 단파장 영역을 보정하였다.

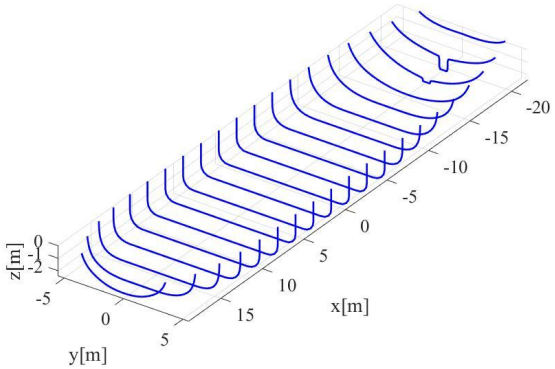

Fig. 6 Section model for strip method

선속에 따른 계산된 부가저항 R.A.O.는 Fig. 7과 같다,

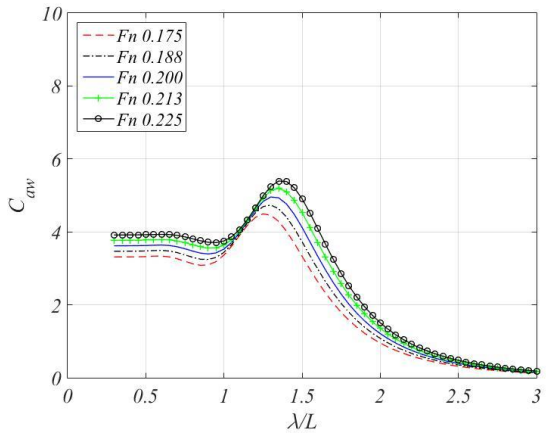

Fig. 7 Added resistance in waves of LNG bunkering barge

계산된 정수 중 저항과 불규칙 파 중 부가저항을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Resistance of LNG bunkering barge

Speed [knots]	R_{TS} [kN]	R_{aw} at SS3 [kN]	R_{aw} at SS4 [kN]	R_{aw} at SS5 [kN]
7.0	9.6	6.0	18.6	41.6
7.5	12.3	6.5	20.0	44.8
8.0	16.1	6.9	21.4	48.0
8.5	19.2	7.3	22.8	51.2
9.0	23.3	7.7	24.1	54.4

여기서 RTS는 선박의 정수 중 저항을 의미하며 Raw는 선박의 파랑 중 부가저항을 의미한다. 설계 선속에서 대하여 해상상태 3(SS3, Hs: 0.88m/ Tp: 7.5 sec.)에서 파랑 중 부가저항이 정수 중 저항 대비 약 43% 정도 발생되며 해상상태 4(SS4, Hs: 1.88m/ Tp: 8.8 sec.)에서는 정수 중 저항 대비 약 133% 까지 증가함을 확인할 수 있다.

계산된 전체 저항을 부선의 선급 규정(KR, 2014)과 비교하였다. 부선의 선급 규정으로 계산된 LNG 벙커링 바지의 예인력은 Table 3과 같다. 설계 속도에서 계산된 정수 중 저항은 약 13 배 가까이 차이가 남을 확인하였다. 파랑 중 부가 저항의 경우, 해상 상태 4(3.5m)를 기준으로 내삽 할 경우 68.7kN으로 계산과 4배 가까이 차이가 난다. 이를 통해 선급 규정은 현장 상황을 신속하게 반영하기에는 용이하나 바지선의 예인력 또는 저항성능을 과대평가하는 것을 확인 할 수 있다.

Table 3 Towing force by rule

Speed [knots]	R_{TS} [kN]	R_{aw}(Hs 1.5m) [kN]	R_{aw}(Hs 3.0m) [kN]	R_{aw}(Hs 4.5m) [kN]
8.0	221.0	9.8	54.0	98.1

4. 결 론

본 연구에서는 LNG의 벙커링 바지의 정수 중 저항과 파랑 중 부가저항을 계산하였다. 계산된 결과를 부선의 선급 규정과 비교하였으며 많게는 약 13배 가까운 차이를 확인하였다. 본 계산 결과를 통해, 부선의 선급 규정은 현장 상황을 신속하게 반영할 수 있지만 많은 오차가 있음을 확인할 수 있다. 이를 통해 목적에 맞는 적절한 예인력 계산법의 선택이 필요하다고 판단된다. 추후 CFD와 모형시험을 이용하여 정수 중 저항 연구를 수행하여 LNG 벙커링 바지의 설계를 검증하고자 한다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 국가개발사업인 '연안선박 맞춤형 LNG벙커링 시스템 개발' (PMS3950)의 결과물임을 밝히는 바입니다.

참 고 문 헌

[1] Bertram, V. (2011), Practical Ship Hydrodynamics, Butterworth-Heinemann, pp. 1-390.

[2] ITTC(2017), ITTC - Recommended Procedure 7.5 - 02 - 03 - 01.4, p. 15.

[3] KR(2014), "부선예항검사 규칙", p. 12.

[4] Kuroda, M., Tsujimoto, M., Fujiwara, M., Takagi, M. (2008), "Investigation on Components of Added Resistance in Short Waves", Jounal of the Society of

Naval Architects and Ocean Engineering, Vol. 8, pp. 171-176.

[5] Oh, S. and Yang, J.H.(2015), “A Study on Estimation of Added Resistance in Waves using Modified Radiation Energy Method and Short Wave Correction Method”, Journal of the Society of Navel Architects of Korea, Vol. 53, No.1, pp. 62-68.

[6] Van Oortmerseen, G. (1971), “A Power prediction method and its application to small ships”, International Shipbuilding Progress, Vol. 12, pp. 397-415.