

# 교각에 작용하는 선박의 충돌력 산정에 대한 연구

## The Study for the Evaluation of the Ship Collision Force to the Substructure of Bridges

홍 관 영\* · 이 계 희\*\* · 정 현\*\*\*  
Hong, Kwan-Young · Lee, Gye-Hee · Chung, Hyun

### 요 약

최근 국내에서 해상교량 건설이 증가하면서 교량에 충돌하는 선박의 충돌력에 대한 관심도 증가하지만 선박충돌력에 대한 국내 기준은 AASHTO LRFD에 근거를 두고 있는 실정이다. AASHTO LRFD에 의한 선박충돌력은 Woisin의 평균충돌력 개념에 바탕을 두고 있으며, 충돌속도가 증가함에 따라 AASHTO LRFD에서 제시하는 충돌력의 변화곡선을 따르고 있다. 하지만 AASHTO에서 제시된 충돌력 변화곡선은 선박의 최대충돌력 변화곡선과 같이 선형적 변화를 보이는 반면, 본 선박 충돌해석 결과의 평균충돌력은 최대충돌력의 선형적 변화거동과 일치하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 선박의 비선형 충돌해석을 통하여 AASHTO LRFD에 의해 산정되는 선박충돌력의 부적절성을 거론하였다.

**keywords** : AASHTO LRFD, 충돌속도, 평균충돌력, 최대충돌력, 비선형 충돌해석

### 1. 서 론

선박의 충돌력은 해상교량 설계시 중요한 하중조건 중의 하나로서 인식되어져 오고 있다. 하지만 국내 교량 설계시 적용되는 선박의 충돌력은 미국의 AASHTO LRFD 기준서의 충돌력 산정식을 주로 사용하고 있는 실정이다. 이 AASHTO LRFD 기준서에서 제안하는 충돌력은 Woisin의 평균충돌력 개념에 바탕을 두고 있으며, Woisin의 충돌 모형시험에서 최대충돌력이 발생하는 0.1~0.2초의 시간은 구조물에 치명적인 영향을 미치지 못한다는 가정하에 평균충돌력을 계산하였다. 이러한 Woisin의 평균충돌력 개념을 이용하여 Saul과 Svensson은 40,000DWT급 이상의 벌크선이 16knots로 강체와 충돌할 때에 선박충돌력 산정식을 제안하였으며, 이 제안식은 40,000DWT와 160,000DWT급 사이의 선박의 충돌력이 선박의 재하톤수(DWT)의 제곱근에 비례한다는 가정에 근거하고 있다. Saul과 Svensson의 제안식은 이 후 8knots에서 16knots 사이의 충돌속도를 고려하기 위하여 비례적인 환산계수를 적용하였으며, 이 식은 다시 보다 큰 강도를 가진 보다 작은 선박의 수와 보다 작은 강도를 가진 보다 큰 선박의 수가 하중분포 70% 구간에서 거의 같아진다는 가정하에 평균충돌력의 11%가 증가된 선박충돌력 산정식이 최종적으로 AASHTO LRFD 기준서의 선박 충돌력 산정식으로 채택되었다.

따라서 본 연구에서는 LS-DYNA를 활용한 비선형 충돌시뮬레이션을 실시하여 40,000DWT~160,000DWT

\* 정희원 · (주)오션스페이스 과장 kyhong@oceanspace.com  
\*\* 정희원 · 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수 lghlsk@mmu.ac.kr  
\*\*\* (주)오션스페이스 대표이사 hchung@oceanspace.com

급 벌크선이 8knots~16knots로 운항시 발생하는 충돌력을 산정하였으며, 산정된 충돌력을 AASHTO LRFD에 의해 산정되는 선박충돌력과 비교검토하여 국내 해상교량 및 구조물 설계시 적절한 선박 충돌력을 엔지니어가 판단할 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 충돌조건 및 모델링

### 2.1. 충돌 시나리오

본 논문에서는 AASHTO의 선박충돌력 산정식에서 고려된 8knots에서 16knots 범위내의 충돌속도를 8knots, 12knots, 16knots로 3등분하였으며, 40,000DWT, 100,000DWT, 160,000DWT급 벌크선(Bulk Carrier)이 각 충돌속도별로 강체벽에 정면충돌하는 총 9 Case의 충돌해석을 수행하였다.

### 2.2. 대상 선박

본 논문에서 고려된 대상 선박 40,000DWT, 100,000DWT, 160,000DWT급 벌크선(Bulk Carrier)은 AASHTO LRFD의 수리동적질량계수 1.05를 고려하여 수리동적질량의 영향을 고려한 배수톤수(Displacement Tonnage)를 적용하였다.

표 1 대상 선박의 제원

재하중량톤(DWT)	배수톤(DT)	전체길이(L.O.A)	폭	만재흘수
40,000ton	54,184ton	200m	29.9m	11.8m
100,000ton	125,080ton	256m	39.3m	15.1m
160,000ton	192,110ton	292m	45.3m	17.3m

대상 선박은 정면충돌시 선수부에서만 손상이 발생하는 것으로 가정하여, 선박의 선수부는 쉘(Shell)요소로 상세모델링 하였으며, 선미부는 강체(Rigid Body)로 고려하였다. 재료물성은 SS400으로 적용하였으며, 항복점 240MPa 이후의 거동은 표 2의 응력-변형률 관계에 따라 거동하도록 하여 재료의 비선형성을 고려하였고, 변형률 0.3에서 파단에 이르는 것으로 고려하였다.

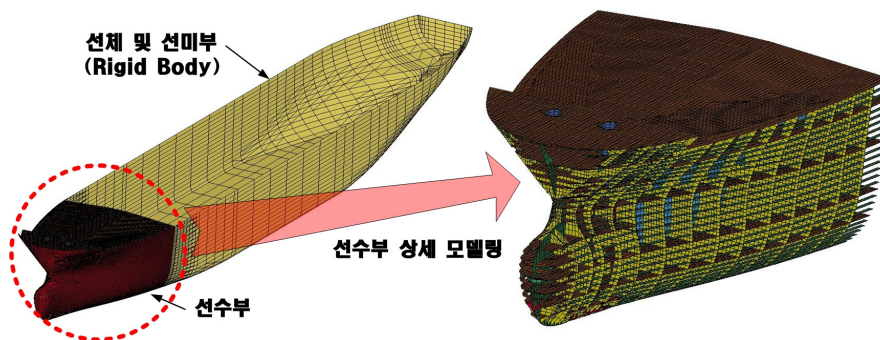


그림 1 대상 선박 모델링

표 2 SS400의 응력-변형률

변형률	0.0000	0.0158	0.1980	0.3000
응력(MPa)	235	245	445	445

### 3. 해석결과의 분석

#### 3.1. 충돌시뮬레이션 해석결과

해석결과에 따른 선박의 충돌력은 시간이력곡선을 통하여 최대충돌력과 충돌시간 동안의 평균충돌력을 산정하여 충돌력의 변화를 분석하였으며, AASHTO LRFD에 의한 충돌력과 비교검토를 위해 평균충돌력은 AASHTO 기준의 통계적 충돌력 산출방법에 근거하여 11%를 증가시켜 산정하였다. 충돌시간은 충돌속도의 변화를 기준으로 충돌시작 시점에서 충돌완료까지로 정의하였다.

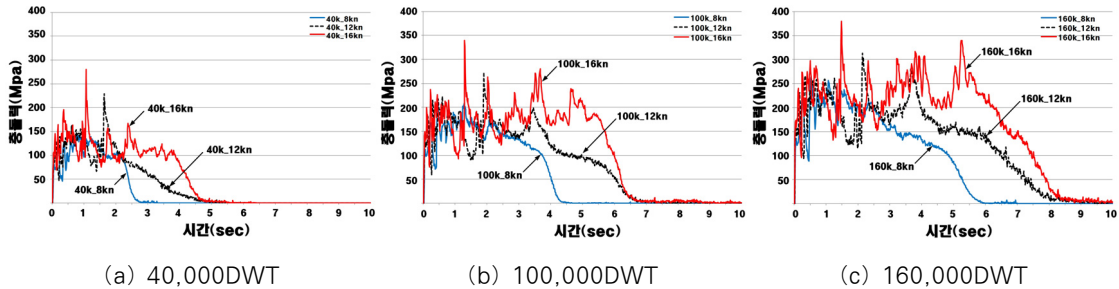


그림 2 충돌력 시간이력곡선

#### 3.2. AASHTO에 의한 충돌력과 비교분석

충돌해석결과, 최대충돌력은 충돌속도와 선박규모가 커질수록 증가하는 것을 확인할 수 있었지만 평균충돌력의 경우 선박규모가 커질수록 증가하는 반면 충돌속도의 변화에서는 뚜렷한 충돌력의 증가를 확인할 수 없었다.(그림 3, 4) 오히려 그림 3과 같이 충돌속도 12knots에서 선박의 충돌력이 일부 감소하다가 충돌속도 16knots에서 충돌력이 다시 증가하는 경향을 보였다. 이러한 충돌속도에 따른 평균충돌력의 거동은 AASHTO의 충돌력(식 1)의 충돌속도에 따른 증가 경향과는 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 그림 3, 4에서 확인할 수 있었다.

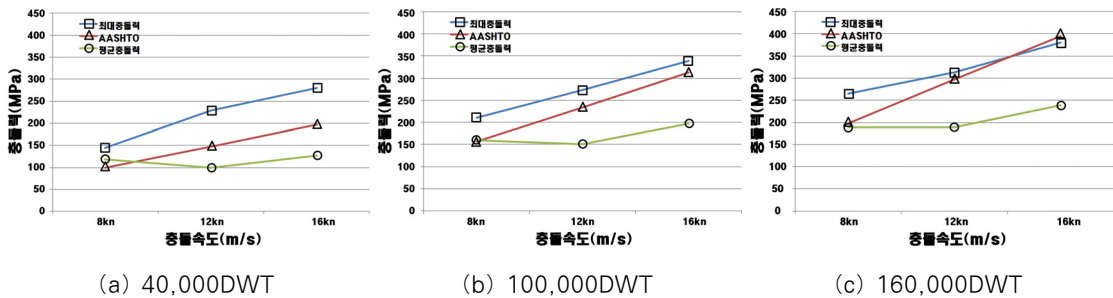


그림 3 충돌속도에 따른 선박충돌력

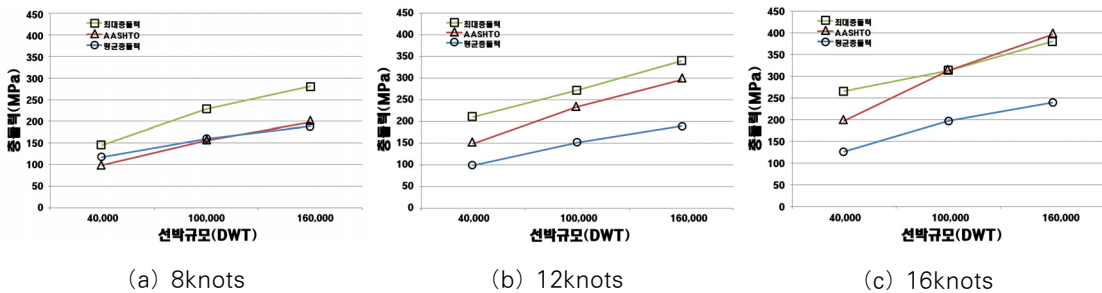


그림 4 선박규모에 따른 선박충돌력

$$P_s = 1.2 \times 10^5 V \sqrt{DWT} \quad (1)$$

이렇게 해석결과와 AASHTO의 충돌력이 상이한 차이를 보이는 것은 실제 충돌상황에서 선박의 충돌에너지가 증가함에 따라 선수부의 수평손상길이가 선박의 충돌력 보다 더 지배적인 증가를 보이기 때문인 것으로 판단되지만, AASHTO에서는 이러한 영향이 충돌력 산정에 적절히 반영되지 않고 충돌속도와 충돌력의 관계를 선형적인 변화로만 규명하였기 때문인 것으로 판단된다.

하지만 선박의 최대충돌력은 앞서 검토결과와 같이 평균충돌력과 상이한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, Woisin의 평균충돌력 개념을 이용하는 AASHTO에 의한 충돌력은 현행과 같이 적용할 경우 충돌속도가 증가할수록 충돌력이 과대평가될 것임을 유추할 수 있었다

그리고 그림 3에서 해석결과와 AASHTO의 충돌력을 서로 직접 비교검토한 결과, 충돌속도가 증가할수록 충돌력이 과대평가 되었으며, 충돌속도가 작아질수록 충돌력이 과소평가되는 경향을 보였다. 또한 선박규모와의 관계에서도 AASHTO의 충돌력은 선박규모가 증가할수록 과대평가되는 경향을 보였으며, 선박규모가 감소할수록 과소평가되는 경향을 보였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 해상구조물 설계시 선박 충돌력 산정에 주로 이용되는 AASHTO LRFD의 충돌력 산정식의 국내 적용의 적절성을 검토하였다. 검토결과, 충돌속도가 증가할수록 평균충돌력은 선수의 수평변위의 선형적인 증가로 인하여 최대충돌력과 같은 충돌력의 뚜렷한 증가 경향을 보이지 않았다. 그러나 AASHTO에 의한 충돌력은 Woisin의 평균충돌력 개념을 이용하고 있지만 충돌속도의 변화에 따른 충돌력은 최대충돌력의 변화거동을 이용하고 있기 때문에 산정된 충돌력은 과대평가 되었으며, 충돌속도가 감소할수록 과소평가 되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 선박규모에서도 똑같이 나타나 선박규모가 증가할수록 AASHTO에 의한 충돌력은 과대평가되었으며, 충돌속도가 감소할수록 과소평가되는 경향을 보였다.

#### 참고문헌

- 도로교설계기준 해설. (2008) 대한토목학회 · 교량설계핵심기술연구단.
- 케이블강교량설계지침. (2006) 대한토목학회.
- 이계희, 고재용, 이성로 (2004) 방호공을 고려한 선박의 충돌하중, 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집, 17(32), pp.193~200.
- 이계희, 홍관영, 고재용 (2005) 중형 충돌시 선박과 방호공의 충돌거동, 대한토목학회 논문집, 25(6A), pp.1133~1141.
- 김중성, 홍관영, 정현 (2006) 선박 충돌에 의한 방파제 구조물의 거동 평가, 한국해양과학기술협의회 학술발표회 논문집, pp.1~4.
- 이상갑, 이정대 (2007) 주변 유체를 고려한 선박 충돌해석 기법 연구, 대한조선학회 논문집, 44(2), pp.166~179.
- AASHTO. (2004) AASHTO LRFD Bridge Design Specification and Commentary.
- AASHTO. (1991) Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridge.
- Larsen O.D. (1993) Ship Collision with Bridge, IABSE AIPC IVBH.