

선박통행량에 따른 교량의 선박충돌 설계강도

Design Strength of Bridges against Ship Collision according to Vessel Traffic

이성로 · 이병화 · 강성수

Lee, Seong Lo · Lee, Byung Hwa · Kang, Sung Soo

ABSTRACT

An analysis of the annual frequency of collapse(AF) is performed for each bridge pier exposed to ship collision. AF is computed for each bridge component and vessel classification. The summation of AFs computed over all of the vessel classification intervals for a specific component should equal the annual frequency of collapse of the component. The designer should use judgment in developing a distribution of the vessel frequency data based on discrete groupings or categories of vessel size by DWT. In the present study the effect of vessel classification on the annual frequency of collapse in the ship collision risk assessment is investigated by illustrative numerical examples based on the vessel frequency data of the domestic harbor. The DWT interval for larger vessels has more effect on the ship collision risk. Therefore the expert judgement in determining the larger DWT interval is required because the design impact lateral resistances of bridge components depend on the ship collision risk.

1. 서론

우리나라는 성수대교 붕괴사고와 같이 교량 붕괴사고가 있었지만 아직 선박충돌에 의한 사고는 발생하지 않았다. 그러나 미국 등 내륙수로가 발달한 나라와 해협이 많은 유럽 등지에서 바지선이나 선박의 충돌에 의한 교량붕괴사고들이 있었다. 우리나라에서도 최근 해상교량 및 구조물의 건설증가로 인해 선박과의 충돌 가능성이 증가하고 있다. 따라서 선박이 강풍이나 이상운항 등으로 교각에 충돌할 경우 방충역할을 할 수 있는 교각충돌 방지공 또는 교각 보호공을 설치하여 사고를 방지하여야 하며, 선박과 충돌할 우려가 있는 교량은 선박 통과 소요폭, 형하고 등의 면밀한 검토가 있어야 한다.

본 연구에서는 선박의 통행량이 교량 구조부재의 설계강도 결정에 미치는 영향을 검토하였다.

*정회원, 목포대학교 건축조경토목공학부 토목공학전공 · 교수 · E-mail : sllee@mokpo.ac.kr

**정회원, 목포대학교 대학원 토목공학과 · 석사과정

***정회원, 목포대학교 대학원 토목공학과 · 박사과정

2. 선박과 교량의 충돌 위험

교량 부재의 연간 파괴빈도(AF)는 식 (1)과 같으며, 전 교량에 대한 모든 부재의 AF를 합하여 선박충돌에 대한 교량의 연간 파괴빈도를 구한다.

$$AF = N \cdot PA \cdot PG \cdot PC \quad (1)$$

여기서, AF : 선박 충돌에 의한 교량 부재파괴의 연간빈도

N : 형태, 크기, 및 하중조건에 의해 분류된 수로를 이용하는 연간 선박의 수

PA : 선박의 항로이탈 확률

PG : 항로를 이탈한 선박이 교각이나 상판과 충돌할 기하학적 확률

PC : 항로를 이탈한 선박과 충돌할 때 교량이 파괴될 확률

항로이탈확률(PA)은 항로상에서 장애물을 피하는데 실패할 확률이다. PA값의 추정은 1970년대 초 기부터 많은 연구자들에 의해 수행되었는데 특히, US Guide Specification(Knott et al.1990)에서는 항로 이탈확률의 크기를 수로굴곡부, 횡방향 흐름, 종방향 흐름, 교통밀도에 따라 수정인자로 조정하고 있다.

기하학적 확률(PG)은 선박이 충돌 코스로 향해갈 확률, 즉 일련의 환경들의 함수로 지역적인 조건에 따라 크게 달라진다. US Guide Specification에서는 역사적인 선박과 교량 충돌 데이터에 근거하여 교량 부근에서 사고 선박의 향해 항적을 모델링 할 때 정규분포를 사용하고 있으며, 분포의 표준편차 σ 는 선박의 길이와 같고 평균 μ 의 위치는 향해 수로의 중심선이라고 가정하였다. 즉 왕복항로의 경우에는 입항 항로와 출항 항로의 중심선은 각 수로의 절반이다.

파괴확률(PC)은 항로를 이탈한 선박이 교량에 충돌하여 교량이 파괴될 확률로서 복합적인 것으로 선박의 크기, 종류, 형태, 속도, 방향, 질량 및 충돌특성에 따라 결정된다. 또한 충돌충격하중에 저항하는 교각과 상부구조의 강성과 내하력의 특성에도 좌우된다.

설계선박을 결정할 때에는 각 교각과 경간구조부재에 대한 설계 선박을 선택하여야 한다. 이때 그 설계 선박보다 큰 선박에 대하여 추정 연간파괴빈도가 그 구조부재의 허용기준보다 작아야 한다. 설계 선박은 교량의 중요도등급과 선박, 교량 및 항로의 특성에 의하여 결정되는데, 교량 구조부재의 예상 연간파괴빈도(AF)와 허용기준을 비교하는 해석절차, 즉 확률론에 근거한 해석절차에 의한다.

3. 선박 충돌 위험도 평가

3.1 교량 제원

본 연구에서 대상으로 한 교량 구조부재는 3경간 연속 타정식 현수교로 주경간교 연장 900m (200+500+200)의 강상판 상형교이다. 수로의 폭 250m, 항로는 양방통행으로 설계되었으며, 주탑에서 수심은 선박이 좌초하지 않을 만큼 충분한 수심 20m 이상으로 하였고, 수로를 향해하는 선박의 일반적인 평균 속도는 6.5m/sec, 수로의 연평균 유속은 0.15m/sec로 하였다. 교각의 폭은 16m이고 교량의 중요도는 "중요"이며 선박충돌에 대한 교각의 수평설계강도는 100MN으로 가정하였다.

3.2 선박 통행량의 분류

선박의 통행량은 교량을 통과하는 수로의 상태에 따라 왕래하는 선박의 수를 결정하여야 하고 또한 중량톤(DWT)에 의하여 이산화 된 선박크기의 등급에 근거하여 선박 빈도 자료의 분포를 판단하여야 한다. 일반적으로 선박 분포를 구하는데 사용된 중량톤의 간격은 100,000DWT보다 작은 선박들에 대해서는 20,000DWT를 넘지 않아야 하며, 50,000DWT를 초과하지 않을 것을 추천하고 있다

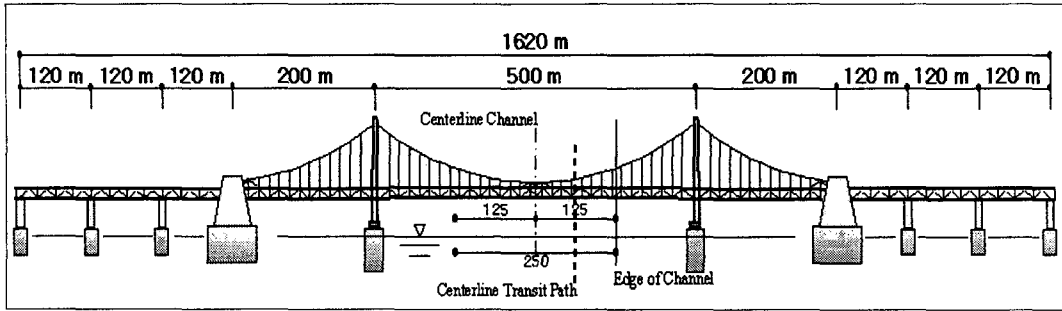


그림 1 교량의 제원

(AASHTO 1991). 본 연구에서는 대형 선박의 통행량이 지속적으로 늘고 있는 광양항의 선박통행량을 대상으로 선박통행량을 분류하였다.

항만정보시스템에서 제공하는 선박통행량은 다음과 같이 톤급별로 분류하여 척수와 총톤수를 나타내고 있는데 선박통행량에 따른 교량의 선박충돌 설계강도를 산정하기 위해서는 각 톤급별로 대표톤수와 척수 또는 평균값이 필요하다.

표 1 항만운항정보시스템에서 제공하는 기존 데이터(2003년)

톤급별	척	총톤수
10,000 - 15,000	673	8,477,640
15,000 - 20,000	532	9,132,126
20,000 - 25,000	343	7,657,630
25,000 - 30,000	514	13,995,902
30,000 - 50,000	432	17,188,076
50,000 - 60,000	330	17,552,690
60,000 - 75,000	172	11,878,518
75,000 - 100,000	163	13,562,980
100,000 톤이상	186	24,875,953
합 계	3,345	124,321,515

위의 표 1은 기존 데이터이고 톤급별 총톤수를 만족하는 각 톤급별 대표톤수와 척수를 계산하는 방식에 따라 표2~표5와 같이 선박통행량을 분류하였다. 선박톤급이 10,000~15,000인 경우를 보면 A형은 총톤수를 톤급의 작은 톤수(10,000)로 나눈 값을 선박의 척수로 사용하였고, C형은 총톤수를 톤급의 큰 톤수(15,000)로 나워서 나온 값을 척수로 하였다. 그리고 평균I(B)형은 평균값으로 각 통행량에 따른 총톤수를 선박수로 나눈 값을 평균톤수로 나타낸 값이다. 또한 표5의 평균II는 대형톤수(53,000톤이상)에 대해서 B형의 경우와 같게 놓고 작은 톤수에 대해서는 톤급분류를 축약한 경우이다.

3.3 연간파괴빈도 계산

2003년 기준 광양항의 선박 통행량을 기초로 하여 교량의 선박충돌 연간파괴빈도 허용기준을 만족하는 교각의 수평설계강도를 주요 해석변수로 하였다. 허용기준은 하부구조 교체비용 중 주탑의 교체비용을 50%로 가정하면 주탑의 연간파괴빈도 허용기준은 각각 25%가 된다. 따라서 주탑의 연간파괴빈도 허용기준은 0.000025가 된다.

각각의 주탑의 연간파괴빈도는 식(1)에 의해 계산하였다. 그리고 계산된 연간파괴빈도가 연간파괴빈도 허용기준을 만족하도록 교각의 수평설계강도를 결정하였다. 연간파괴빈도를 만족하는 교각의 수평설계강도는 A형은 188MN, C형은 226MN, 그리고 B형과 평균II의 수평설계강도는 각각 214MN으로 동일한 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과에서 선박 통행량 분류를 A, B, C, 평균II로 구분하여 살펴보면 선박크기가 작고 척수가 많은 A형에 비해 선박크기가 크고 척수가 작은 C형이 보다 큰 수평설계강도(Hp)가 필요하다는 것

을 알 수 있다. 또한, 평균 I (B)와 평균 II에서 차이는 없는 것으로 나타났는데 이는 평균 I 과 평균 II에서 선박크기가 작은 등급의 선박통행량이 선박충돌위험도 평가에 영향을 주지 않기 때문이며, 따라서 통행량 분류시 평균톤수에 대한 등급의 간격을 크게 설정(평균 II)하여도 무방한 것을 알 수 있다.

표 2 A형 통행량

Size	N
10,000	848
15,000	609
20,000	383
25,000	560
30,000	573
50,000	351
60,000	198
75,000	181
100,000	249

표 3 C형 통행량

Size	N
15,000	565
20,000	457
25,000	306
30,000	467
50,000	344
60,000	293
75,000	158
100,000	136
150,000	166

표 4 평균 I (B형)

Size	N
12,000	673
17,000	532
22,000	343
27,000	514
39,000	432
53,000	330
69,000	172
83,000	163
133,000	186

표 5 평균 II

Size	N
14,000	1205
30,000	1289
53,000	330
69,000	172
83,000	163
133,000	186

4. 결론

본 연구에서는 선박의 통행량이 교량 구조부재의 설계강도 결정에 미치는 영향을 검토하였다. 검토 결과 선박톤급에 대해 동일한 총톤수를 만족하더라도 선박의 대표톤수를 크게 할수록 선박충돌하중을 만족하는 교각의 수평설계강도가 크게 나타났다. 즉, 대표톤수의 크기가 해당톤수의 선박수보다 교량의 선박충돌위험도에 더 큰 영향을 주고 있다. 또한 교각의 설계강도를 결정하는데 작은 톤급의 선박 통행량은 영향을 미치지 않으므로 작은 톤급의 분류간격은 허용범위 내에서 크게 정하고 큰 톤급의 분류간격은 작게 정하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10144-0)지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 도로교표준시방서(부록:하중저항계수설계편), 건설교통부, 1996.
2. 도로교설계기준, 건설교통부, 2003.
3. AASHTO, Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, February, 1991.
4. Knott, M.A. and Larsen O. Damgaard, Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publ. No. FHWA-RD-91-006, Dec. 1990.
5. Norwegian Public Roads Administration, Report on Vulnerable Bridges Crossing Navigable Waters (in Norwegian), Oslo, 1982.
6. Frandsen, A.G., Olsen, D., Fujii, Y. and Spangenberg, S., Ship Collision Studies for the Great Belt East Bridge, Denmark, IABSE Symposium on Bridges-Interaction between Construction Technology and Design, Leningrad, 1991.