

선박충돌로 인한 교각의 위험도 분석

Ship Collision Risk Analysis of Bridge Piers

이 성 로*

Lee, Seong-Lo

배 용 귀**

Bae, Yong-Gwi

Abstract

An analysis of the annual frequency of collapse(AF) is performed for each bridge pier exposed to ship collision. From this analysis, the impact lateral resistance can be determined for each pier. The bridge pier impact resistance is selected using a probability-based analysis procedure in which the predicted annual frequency of bridge collapse, AF, from the ship collision risk assessment is compared to an acceptance criterion. The analysis procedure is an iterative process in which a trial impact resistance is selected for a bridge component and a computed AF is compared to the acceptance criterion, and revisions to the analysis variables are made as necessary to achieve compliance. The distribution of the AF acceptance criterion among the exposed piers is generally based on the designer's judgment. In this study, the acceptance criterion is allocated to each pier using allocation weights based on the previous predictions.

요 지

선박충돌의 위험이 있는 교량의 교각에 대해 연파괴빈도 계산을 수행하였다. 이러한 해석을 통해 각각의 교각에 대한 선박충돌 횡방향내하력을 결정할 수 있다. 교각의 횡방향내하력은 선박충돌 위험도 평가로부터 예측된 연파괴빈도와 허용기준을 비교하는 확률기반 해석과정을 통해 결정된다. 해석과정은 교량 각 부재요소에 대한 초기 충돌저항력을 가정하여 계산된 연파괴빈도가 허용기준을 만족하도록 해석변수를 반복 수정하면서 해를 찾는 과정이다. 일반적으로 선박충돌 위험이 있는 교각들에 대한 연파괴빈도 허용기준의 분배는 설계자의 공학적 판단에 근거한다. 본 연구에서는 선박충돌 위험도 평가로부터 사전 계산되는 연파괴빈도 할당 가중치에 의해 각각의 교각에 허용기준을 분배하였다.

Keywords : bridge pier, ship collision, lateral resistance, acceptance criterion

핵심 용어 : 교각, 선박충돌, 수평내하력, 허용기준

* 정회원, 목포대학교 건설공학부 교수

** 학생회원, 목포대학교 토목공학과 석사과정

E-mail: sllee@mokpo.ac.kr, 061-450-2472

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

현재 우리나라는 육지와 도서, 또는 도서간의 연결이나 항만을 가로지르는 해상교량 및 구조물의 건설이 증가하고 있으며 내륙에도 한강수계를 비롯하여 대하천에 이르기까지 많은 교량이 가설되어 있다. 또한 조선기술의 발달과 무역량 증대, 그리고 항해수로 수심 증가 및 수로 폭 확장으로 국내항을 통행하는 선박통행량 증가 및 대형 선박들의 입출항이 증가하는 추세에 있다. 그러나 몇몇 대형 해상교량의 경우만 미국에서 발행된 시방서 등을 기준으로 하여 선박충돌을 설계에 반영하는 경우가 전부이며, 기존 사례의 경우 설계 시에 안이 적당히 제시되고 시공 중에 다시 변경되는 등 일괄적이고 합리적인 설계가 이루어지지 못하여 적정 수준의 안전성을 확보하기 어려운 실정이다. 이러한 현실 속에서 연륙교, 연도교 및 대하천을 횡단하는 교량건설 시에는 선박과의 충돌에 의한 충격하중을 비롯하여 선박 통과 소요 폭, 형하교의 면밀한 검토가 있어야 할 것이다. 그리고 강풍이나 선박의 이상운항 및 표류 등으로 교각에 충돌 가능성이 있을 경우 방충역할을 할 수 있는 교각충돌 방지공 또는 교각 보호공을 설치하여 선박충돌 사고를 미연에 방지하여야 하며 기존 교량 또한 세밀한 검토를 하여야 할 것이다.

도로교 설계기준(2003)에서는 충돌하중에 관하여 자동차의 충돌, 유목 등의 충돌, 선박의 충돌을 고려하여야 한다고 명시되어 있으나 선박충돌의 경우 적용사례가 별로 없고, 일부 대형 해상교량의 경우에만 선박충돌에 대한 설계를 고려하고 있다.

교량의 선박충돌에 대한 위험은 선박충돌위험도모델에 의해 평가되는데 본 연구에서는 해석 예를 통하여 충돌위험 평가과정과 교량, 선박 및 주위환경의 요인에 의한 영향을 검토하였다.

2. 선박과 교량의 충돌위험

2.1 선박과 교량의 충돌 사고

선박과 교량의 충돌사고에 의한 결과는 외관상의 손상에서부터 재난까지의 넓은 범위의 손상이 가능하므로

충돌결과의 모든 예상할 수 있는 범주와 크기를 고려해야 한다. 그러나 이용 가능한 데이터와 수단에 의해 정형화된 위험 수용 절차는 단지 교량의 붕괴 위험과 인명 손상 가능성 정도로 제한된다.

선박의 교량 충돌에 대한 교량 붕괴 위험 수용 기준은 국가법규와 대형 교량과 관련하여 일부의 경우에만 수립되어 있으며, 모든 경우에서 위험 비교 접근법이 사용되어 오고 있다.

위험 수용 기준과 규정이나 일반적인 상태를 나타내는 표준과 비교하는 것은 큰 의미가 없다. 왜냐하면 붕괴 기준은 구조물을 구성하고 있는 각각의 요소의 설계와 부하의 조합에 대한 것이기 때문이다. 규정이나 표준에서 붕괴의 확률은 일반적으로 100년동안 연 0.0001~0.001 수준이다. (Nordic Committee for Structural Design(1987))

2.2 선박과 교량의 충돌 위험

교량은 선박의 충돌력에 대해 교각의 횡방향 내하력이 확보되도록 설계하여야 한다. 이 경우 교량의 연간 파괴빈도를 중요 교량에서는 0.0001, 보통 교량에서는 0.001을 목표로 하여 충돌위험모델(Fransen(1980), Larsen(1983))에 의해 설계 선박에 대한 교각의 단면, 교각의 위치 등이 검토된다. 교량의 극한 횡저항은 교각기초의 지지조건과 소성현지를 고려하여 계산한다. 선박충돌에 의한 교량의 파괴확률은 Fujii(1978)가 제안한 Heinrich Ratio 접근법 또는 확률론적 접근법에 의해 계산한다. 여기서 교각 자체의 강성에 의해 안전성을 확보하지 못할 때 방호 구조물의 설계가 필요하게 된다.

교량 부재의 연간 파괴빈도는 식 (1)과 같이 산정하며, 전 교량에 대한 연간파괴빈도는 모든 부재의 AF

Table 1 교량 붕괴 위험 수용 기준

적용사례	적용교량	붕괴위험
덴마크(1980) Great belt bridge project	도로교	1회/10,000년
	철도교	1회/10,000년
미국 루지애나주(1985) ISO(1987)		0.01/100년
		0.02/100년
미국 연방도로국(1990)	주요교량	0.01/100년
	일반교량	0.1/100년

를 합하여 구한다.

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

여기서, AF : 교량 부재파괴의 연간빈도

N : 수로를 이용하는 연간 선박의 수

PA : 선박의 항로이탈확률

PG : 선박이 충돌할 기하학적 확률

PC : 선박과 충돌할 때 교량이 파괴될 확률

2.2.1 항로이탈확률(PA)

항로이탈확률 PA는 항로상에서 장애물을 피하는데 실패할 확률이다. 특히, AASHTO Guide Specification (1991)에서는 항로이탈확률의 크기를 수로굴곡부, 횡방향 흐름, 종방향 흐름, 교통밀도에 따라 수정인자로 조정하고 있다.

$$PA = (BR)(R_B)(R_C)(R_{XC})(R_D) \quad (2)$$

여기서, BR : 항로이탈의 기본율

R_B : 교량의 위치에 따른 보정계수

R_C : 통과경로 평행방향의 유속 보정계수

R_{XC} : 통과경로 직각방향의 유속 보정계수

R_D : 통행선박의 밀도에 대한 보정계수

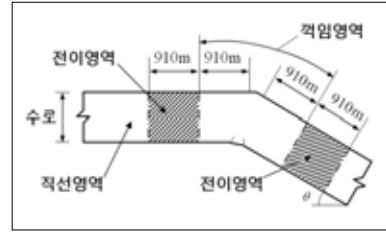
항로이탈의 기본율 (BR)은 다음과 같다.

- 배의 경우 : $BR = 0.6 \times 10^{-4}$
- 바지선의 경우 : $BR = 1.2 \times 10^{-4}$

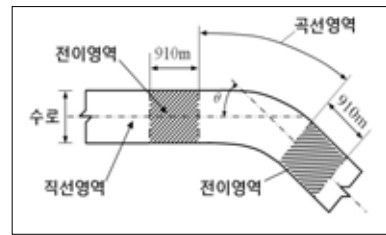
Fig. 1에 나타난 수로영역에 대한 교량의 상대적인 위치에 관련된 교량위치에 따른 보정계수 (R_B)는 다음과 같다

- 직선영역 : $R_B = 1.0$
- 전이영역 : $R_B = 1 + \frac{\theta}{90^\circ}$
- 꺾임/곡선 영역 : $R_B = 1 + \frac{\theta}{45}$

여기서, θ : Fig. 1에 나타난 꺾임 혹은 곡선영역의 회전각도 (단위: 도)



a. 수로의 꺾임부



b. 수로의 곡선부

Fig. 1 교량 위치에 대한 수로영역

배의 통과경로에 평행한 유속에 대한 보정계수 (R_C)는 식 (3)과 같다

$$R_C = 1 + \frac{V_C}{19} \quad (3)$$

여기서, V_C : 배의 통과경로에 평행한 유속성분 (단위: km/hr)

수로에서 배의 통과경로에 직각방향 유속에 대한 보정계수 (R_{XC})는 식 (4)와 같다.

$$(R_{XC}) = 1.0 + 0.54 V_{XC} \quad (4)$$

여기서, V_{XC} : 배의 통과경로에 직각방향 유속성분 (단위: km/hr)

통행 선박의 밀도에 대한 보정계수 (R_D)는 교량에 인접한 수로에서 선박의 통행 밀도에 의해 선정된다.

- 저밀도: 교량 인접부근에서 선박이 서로 만나거나 추월하는 것이 드문 경우

$$R_D = 1.0$$

- 평균밀도: 교량 인접부근에서 선박이 서로 만나거나 추월하는 것이 간혹 있는 경우

$$R_D = 1.3$$

- 고밀도: 교량 인접부근에서 선박들이 일상적으로 만나거나 추월하는 경우

$$R_D = 1.6$$

2.2.2 기하학적 확률(PG)

선박이 충돌 코스로 항해할 확률, 즉 기하학적 확률 PG는 일련의 환경들의 함수로 지역적인 조건에 따라 크게 달라지며 사고기록에 의한 경험 (Olsen et al. (1993), Lund et al.(1992))에 근거하여 다음과 같은 충돌 시나리오가 일반적으로 관심의 대상이 된다.

- 통항하는 동안 정상적인 항해 절차에 따르다가 조종자의 실수 또는 기술적인 결함으로 인해 교량 부근에서 위험에 처한 선박
- 교량 부근에서 연속되는 마주치는 상황 때문에 충돌 회피 동작을 취하는 선박
- 교량에 근접한 항로의 굴곡부에서 방향 변경을 실패한 선박
- 정상적인 항로를 따르지 않은 선박과 정박 또는 계류의 실패, 추진력 상실, 항해장비의 고장, 유빙에 갇힌 상황 등에 의해 교량 쪽으로 표류하는 선박

시나리오 a)에 대한 기하학적 확률은 Fig. 2와 같이 교량 통과전의 선박의 항적 분포와 충돌영역 폭의 함수로 정의되며 4가지 시나리오에서 선박통항의 상대적인 분포는 대상 교량의 위치에 따라 달라진다

AASHTO Guide Specification(Knott et al. 1990)에서는 역사적인 선박과 교량 충돌 데이터에 근거하여 교량 부근에서 사고 선박의 항해 항적을 모델링 할 때 정규분포를 사용하고 있으며, 분포의 표준편차 3/4는 선박의 길이와 같고 평균 1의 위치는 항해 수로의 중심선 이라고 가정하였다. 즉 왕복항로의 경우에는 입항 항로와 출항 항로의 중심선은 각 수로의 절반이다.

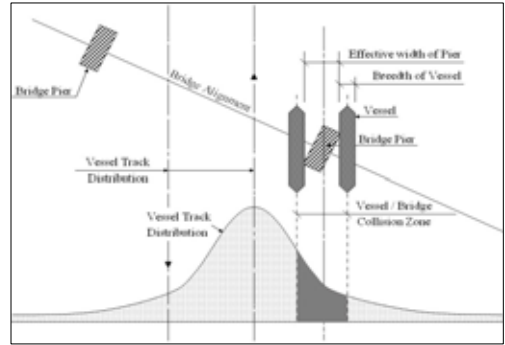


Fig. 2 시나리오 a의 기하학적 확률의 정의

2.2.3 붕괴확률(PC)

항로를 이탈한 선박이 교량에 충돌하여 교량이 파괴될 확률(PC)은 복합적인 것으로 선박의 크기, 종류, 형태, 속도, 방향, 질량 및 충돌특성에 따라 결정된다. 또한 충돌충격하중에 저항하는 교각과 상부구조의 강성과 내하력의 특성에도 좌우된다. 교량파괴확률(PC)은 선박의 충격하중(P)에 대한 교각의 횡방향 내하력(H_p)과 경간의 횡방향 내하력(H_s)의 비율에 따라 다음과 같이 결정되며, Fig. 3과 같은 분포형을 가진다.

- $0.0 \leq H/P < 0.1$ 이면, $PC = 0.1 + 9(1.0 - \frac{H}{P})$
- $0.1 \leq H/P < 1.0$ 이면, $PC = 0.111(1.0 - \frac{H}{P})$
- $\frac{H}{P} \geq 1.0$ 이면, $PC = 0.0$

여기서, P = 선박충격하중

H = 교량 구조물의 횡방향 내하력

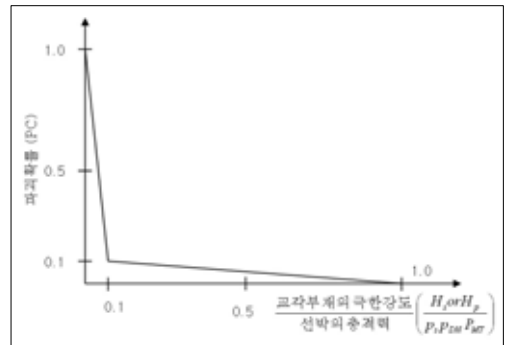


Fig. 3 파괴확률의 분포

2.3 연간파괴빈도 허용기준

교량설계에서 선박의 충돌위험에 노출된 교각과 경간 구조부재들 간에 연간파괴빈도(AF)의 허용기준을 분배 시키는 것은 설계자의 판단에 근거한다. 한 가지 방법은 모든 구조부재들 간의 허용위험도를 같게 분포시키는 것이다. 주요 경간부재들의 중요도와 상대적으로 비싼 보수비를 고려할 수 없기 때문에 이 방법은 보통 바람직하지 않다. 바람직한 방법은 주된 해석영역에 위치한 구조물의 교체 비용에 근거하거나 구조부재의 예상 연간파괴빈도를 고려한 가중치에 근거하여(이성로(2004)) 교각과 경간부재에 위험도를 배분하는 것이다. 케이블 교량이나 PSC 교량에서 교각 등 하부구조부재의 붕괴가 교량 상부구조의 붕괴를 가져오는 직렬시스템에서의 허용기준 분배는 식 (5)와 같이 고려할 수 있다. 직렬 시스템 신뢰성해석에서 시스템의 허용 연간파괴빈도는 요소의 허용 연간파괴빈도의 합이 된다.

$$AF_i^* = w_i AF_s^* \quad (5)$$

여기서, AF_s^* : 시스템의 허용 연간파괴빈도

AF_i^* : 요소 i의 허용 연간파괴빈도

요소 i의 가중치 w_i 는 식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$w_i = \frac{AF_i}{\sum AF_i} \quad (6)$$

여기서, $AF_i = N \cdot PA \cdot PG \cdot PC$

3. 선박 충돌 위험도 평가

3.1 교량 제원

해석에 사용된 교량은 3경간 연속 타정식 현수교로 총연장 1,620m, 주경간교의 연장 900m(200+500+200)의 강상판 상형교이다. 기준선박은 50,000톤으로 가정하였고 충돌위험 해석 대상인 각 교각은 선박이 좌초하지 않을 만큼 충분한 수심을 확보하는 것으로 가정하였다. 수로의 폭은 250m이고 양방향 통행의 각 항로 폭은 125m이며 교량에 수직으로 통행하도록 설계되어 있다. 교량의 중요도 등급은 “중요”로 가정하였다.

하부구조는 주탑의 경우 16m×40m의 기초위에 있으며, 앵커리지는 52m×46m의 기초위에 설치되어 있다. 일반 교각기초는 10m×25m의 크기를 가지고 있는 것으로 가정하였다. Fig. 4는 해석에 사용된 교량 단면도로 교각 부재별 위치를 번호로 구분하였다.

교량의 하부구조부재 L1~L5, R1~R5는 좌우 대칭이며, 단면 등의 역학적 성질이 거의 동일하므로 AF계산 결과는 L1~L5의 부재만을 나타내었다.

3.2 충돌위험도

3.2.1 연간파괴빈도

동일한 교량에 대하여 선박의 연간운행 횟수(N)와 선박의 항로이탈확률(PA)은 같은 값을 가지지만 선박 충돌의 기하학적 확률(PG)은 교량 중심으로부터 선박의 전체길이를 표준편차로 한 표준 정규분포를 이용하

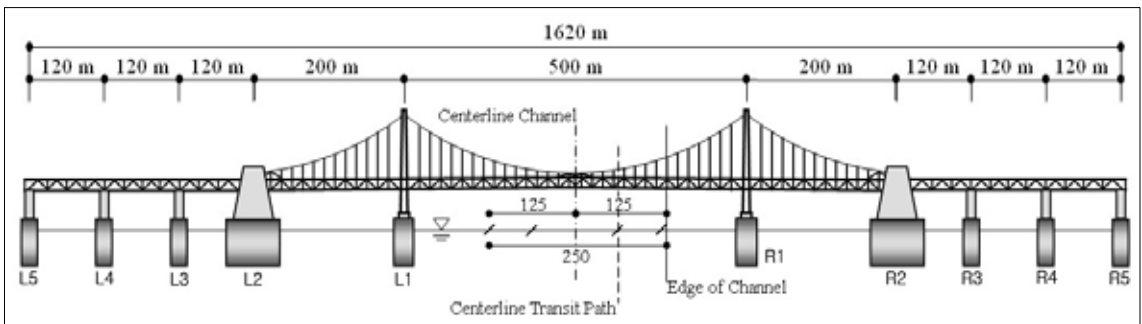


Fig. 4 교량 일반도

며, 파괴확률(PC)은 교량 중심으로부터 거리와 교각의 강도에 따라 다르게 되므로 각각의 부재는 서로 상이한 연간파괴빈도를 가지게 된다. 먼저, 선박의 연간운행횟수는 100으로 가정하였으며 항로이탈확률은 도로교표준시방서(1996) 규정에 따라 다음과 같이 계산하였다.

$$PA = (BR)(R_B)(R_C)(R_{XC})(R_D) = 0.0001051$$

여기서, $BR = 0.6 \times 10^{-4}$, $R_B = 1.0$,

$R_{XC} = 1.0$, $R_D = 1.6$,

$$R_C = 1 + \frac{V_C}{19} = 1 + \frac{1.8}{19} = 1.095$$

기하학적 확률은 전체길이 222m, 폭 32.6m의 50,000DWT 선박을 설계선박으로 사용하였으며 하부구조의 폭은 평균 해수면이 통과하는 면을 사용하여 Table 2와 같이 기하학적 확률을 산정하였다.

선박이 교각과 충돌하여 파괴될 확률은 교각의 수평저항력 (H_p)과 선박의 규모 및 속도에 따른 충격력 (P_S)의 비율에 의해 결정된다. 동일한 선박에 대하여 설계속도 (V_T)는 10m/s, 최저속도 (V_{min})는 0.5m/s로 가정하였으며, 항로의 중심으로부터의 거리에 따라 각각의 교각위치에서의 설계속도를 산정하였다. 하부구조물의 수평저항력은 주탑과 교각을 50MN으로 동일하게 가정하였으며, Table 3과 같이 계산하였다.

위와 같은 절차에 따라 연간파괴빈도(AF)를 산정할 수 있으며, 아래의 Table 4는 교량의 각 하부구조물에 대한 연간파괴빈도의 결과치와 그 값을 백분율로 환산하여 각각의 부재에 분배되는 AF를 나타낸 것이다.

Table 2 선박 충돌의 기하학적 확률

교각	L5	L4	L3	L2	L1
PG	0.0005	0.0026	0.0101	0.0470	0.1020

Table 3 선박충돌시 파괴확률

교각	L5	L4	L3	L2	L1
V(m/s)	0.50	1.10	2.99	4.88	8.03
P(MN)	13.42	29.55	80.26	130.98	215.50
H/P	3.73	1.69	0.62	0.38	0.23
PC	0.0000	0.0000	0.0419	0.0687	0.0853

Table 4 연간파괴빈도의 분배

교각	L5	L4	L3	L2	L1
$AF_{calculate}$	0	0	4.4E-6	3.4E-5	9.1E-5
백분율	0.00	0.00	1.71	13.05	35.23
$AF_{allocate}$	0	0	0.2E-6	1.3E-5	3.5E-5

3.2.2 부재별 연간파괴빈도 허용기준

위의 예제에서 선박충돌에 대한 위험도를 교각의 위치별로 각각 계산하였다. 그러나 설계선박의 크기가 달라지거나 교량과 수로가 이루는 각도, 주탑 혹은 교각의 수평저항력이 달라지는 경우 AF의 크기가 다르게 되며 분배양상 또한다르게 된다.

Fig. 5는 설계선박의 변화에 따른 AF의 분배양상을 백분율로 표시한 것이며, Fig. 6은 교량과 수로의 각도에 따른 변화를 Fig. 7, 8은 교각-주탑간 횡방향 저항력의 변화와 그 비율에 따른 AF분배의 변화를 살펴본 것이다.

Fig. 5에서는 선박의 규모(DWT)가 커질수록 주탑에 대한 분배율은 적어지는 반면 교량전체구간에 대한 영향은 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 기하학적 확률과 파괴확률이 DWT에 대한 함수로 나타나기 때문이다. 즉, DWT가 커짐에 따라 기하학적 확률은 교각쪽으로 분산되며, 각 교각에서의 충격력 및 파괴확률도 커지게 된다. 교각에서의 파괴확률이 커지면 주탑에서의 파괴빈도에 대한 비중이 작아지므로 분배율이 줄어들게 된다.

또한, DWT가 적은 곳에서는 주탑의 변화율이 더 크게 나타나는데 이는 선박의 LOA 감소율의 변화와 AF가 0이 되는 부재들로 인해 주탑의 분배율이 상대적으로 높아지기 때문에 나타나는 현상이다.

Fig. 6에서는 교량과 수로의 각도가 변함에 따라 50,000DWT 선박이 통행할 때의 AF 분배율을 나타내는 것으로 수로와 교량의 각도가 커질수록 주탑에 대한 집중도가 적어지는 것을 알 수 있다. 수로각이 커지면서 변화율도 함께 커지는 것은 AF가 0이 되는 부재들의 영향과 길이가 수로각의 $\cos \theta$ 에 비례하여 감소하기 때문이다.

Fig. 7에서는 교각과 주탑의 H_p 가 커질수록 주탑에 대한 집중도가 커지는 것을 볼 수 있는데 이는 교각의

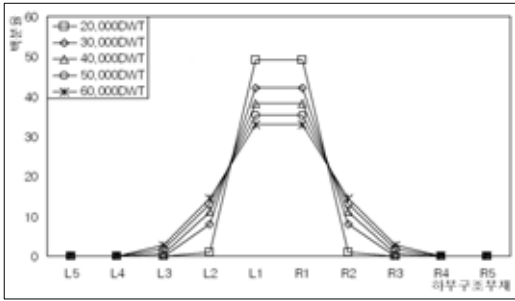


Fig. 5 설계선박의 변화에 따른 AF의 분배양상

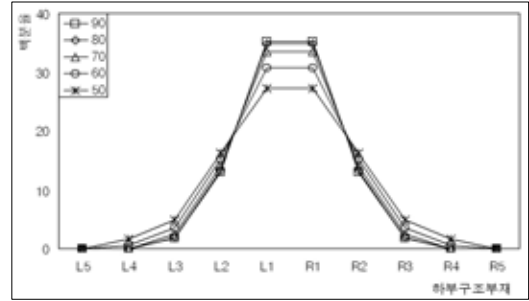


Fig. 6 교량과 수로의 각도에 따른 AF의 분배양상

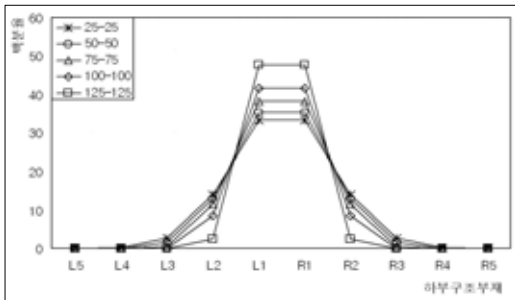


Fig. 7 교각-주탑의 H_p 에 따른 AF의 분배양상

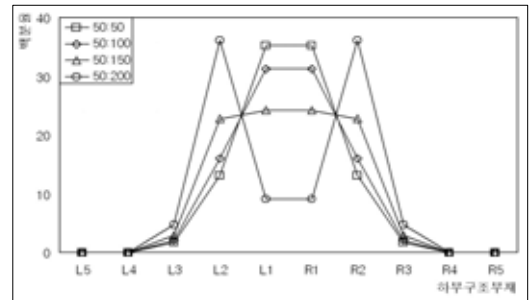


Fig. 8 교각-주탑의 H_p 비율에 따른 AF의 분배양상

H_p 가 P_s 보다 크거나 혹은 거의 근접한 값을 가지기 때문에 발생하는 현상으로 주탑의 AF는 동일한 변화량을 가지지만 교각의 AF변화와 AF가 0이 되는 부재들로 인해 분배율의 변화는 H_p 가 커질수록 증가한다.

Fig. 8에서는 교각과 주탑의 H_p 비율이 커질수록 주탑에 대한 집중도가 적어지며 교각:주탑의 H_p 가 50:200인 경우에는 교각의 영향도가 오히려 높은 AF분배율을 가지는데 이는 주탑의 H_p 가 P_s 에 근접하여 파괴확률이 작아지기 때문에 발생하는 현상이다. 여기서 교각의 AF는 변하지 않지만 주탑의 AF 변화로 인해 분배율이 달라지며, 이로 인해 변화율도 달라진다.

4. 결론

선박충돌에 대한 연간파괴빈도 산정 시 영향을 미치는 요소는 크게 선박, 교량 및 주위 환경의 요인으로 분류할 수 있다. 선박의 요인은 선박의 통행량, 선박의 크기, 충돌속도 등이 있으며, 교량의 요인에는 상판이나 교각의 횡방향 저항력, 교각의 크기, 교각 위치 등

이 있다. 또한 주위환경의 요인은 교량이 놓이는 주변 지형지물의 위치나 수로의 폭, 각도 등이 있으며, 설계자는 이러한 요인들을 충분히 고려해야 한다.

본 연구에서는 교량 각 부재들의 연간 파괴빈도를 고려한 가중치를 이용하여 연간파괴빈도 허용기준을 분배할 때 여러 요인들이 미치는 영향을 검토하였다. 연구 결과에 의하면 가중치를 이용한 허용기준 분배 시 선박의 크기와 속도, 구조물의 횡방향 저항력, 수로의 형상 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받고 있으므로 각각의 교량에 따라 적절한 허용기준을 분배할 수 있는 정확한 모델을 만드는 작업이 필요하며, 특히 구조물의 횡방향 저항력에 의한 영향을 충분히 검토할 필요가 있다. 이상에서 선박충돌 위험이 있는 교량의 교각에 대한 설계선박을 합리적으로 결정할 수 있는 허용기준 분배방법에 대한 기본 연구자료로 활용할 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 도로교설계기준, 건설교통부, 2003.
2. 이성로, 배용귀 “교량의 선박충돌 위험 및 교각의 설계 강도,” 대한토목학회 정기 학술대회, Vol.4C, 강구조학회 세미나, 대한토목학회, pp.79-88, 2004.10.
3. Nordic Committee for Structural Design: Recommendations for Loading and Safety Regulations for Structural Design, NBK-Report No.55, June, 1987.
4. Frandsen, A.G. and Langsoe, H., Ship Collision Problems: I.Great Belt Bridge and II. International Enquiry, IABSE Periodica No.2, 1980.
5. Larsen, O. Damgaard, “Ship Collision Risk Assessment for Bridges” IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures, Copenhagen, 1983.
6. Fujii, Y.: “The Estimation of Losses Resulting from Marine Accidents”, Journal of Navigation. Vol.31. May, 1978.
7. AASHTO, Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, February, 1991.
8. 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.
9. 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.

(접수일자 : 2004년 10월 14일)