

해상교량의 설계선박 선정

Design Vessel Selection of Maritime Bridges

이 병 화* 배 용 귀** 이 성 로*** 이 계 희****

Lee, Byung-Hwa · Bae, Yong-Gwi · Lee, Seong-Lo · Lee, Gye-Hee

Abstract

In this study ship collision risk analysis is performed to determine the design vessel for collision impact analysis of the bridge. Method I in AASHTO LRFD bridge design specifications is a semi-deterministic analysis procedure for determining the design vessel. Method II which is a more complicated probability based analysis procedure is used to select the design vessel for collision impact. The AF allocation by weights seems to be more reasonable than the pylon concentration allocation method because AF allocation by weights takes the design parameter characteristics quantitatively into consideration although the pylon concentration allocation method brings more economical results when the overestimated design collision strength of piers compared to the strength of pylon is moderately modified. Therefore more researches on the allocation model of AF and the selection of design vessel are required.

1. 서론

도로교 설계기준(2003)에서는 충돌하중에 관하여 자동차의 충돌, 유목 등의 충돌, 선박의 충돌을 고려하여야 한다고 명시되어 있다. 또한, 교량의 선박충돌설계에 대해 상세하게 기술하고 있는 AASHTO LRFD 설계기준에서도 세 가지의 설계방법 즉, Method I, Method II, Method III에 의하여 선박에 의한 충돌이 예상되는 항로상에 건설되는 교량 구조물은 선박의 충돌하중에 견딜 수 있게 설계되거나, 방호물, 계선말뚝, 또는 다른 안전을 위한 시설에 의해서 적절히 보호되도록 하고 있다. 특히 Method II에 의한 설계는 확률기반해석을 통하여 선박의 형태, 크기, 및 하중조건에 의해 분류된 수로를 이용하는 연간 선박의 수, 선박의 항로이탈확률, 항로를 이탈한 선박이 교각이나 상판과 충돌할 기하학적 확률, 항로를 이탈한 선박과 충돌할 때 교량이 파괴될 확률을 고려함으로써 교량의 선박충돌위험도를 평가하고 위험도평가 결과로부터 설계선박을 합리적으로 산정할 수 있는 방법이다.

본 연구에서는 대형 선박이 통행하는 해상교량에 있어 선박충돌위험에 노출되어 있는 교량 구조부재에 대한 설계선박을 선정하는 일련의 해석적 연구를 수행하였다. 연구내용으로는 연간 파괴빈도 허용기준의 분배방법에 의한 영향과 선박통행량 및 교각의 배치 및 항로의 특성 등에

* 목포대학교 대학원 토목공학과 · 석사과정

** 목포대학교 대학원 토목공학과 · 석사과정

*** 정희원, 목포대학교 건설공학부 교수

****정희원, 목포해양대학교 해양시스템공학부 조교수

의한 영향 검토와 Method I에서 설계선박(이하, 설계선박 I)과 Method II에 의한 설계선박(이하, 설계선박 II)의 선정 및 비교를 들 수 있다.

2. 선박과 교량의 충돌 위험

2.1 선박충돌에 의한 교량부재의 연간파괴빈도

전 세계적으로 선박과 교량의 충돌에 대한 여러 가지 형태의 위험도 평가모델이 개발되었다. 실질적으로 이 연구들은 식 (1)과 유사한 모양에 근거하는데, 이는 어떤 특정한 교량 구조 부재와 관련된 교량의 연간파괴빈도 AF를 계산하기 위한 것이다. 연간파괴빈도의 역수 1/AF는 연(years) 단위의 재현기간과 같다. 특정 구성부재에 대하여, 각 선박 등급별로 계산된 AF의 총합은 그 구성부재의 연간파괴빈도이다. 교량 부재의 연간 파괴빈도는 다음과 같이 산정하며, 전 교량에 대한 연간파괴빈도는 모든 부재의 AF를 합하여 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 항로이탈확률

PG :항로를 이탈한 선박이 교각이나 상판과 충돌할 기하학적 확률

PC :항로를 이탈한 선박과 충돌할 때 교량이 파괴될 확률

2.2 연간파괴빈도 허용기준의 분배

항로상의 교량은 선박의 충돌에 대해 교각의 수평내하력이 확보되도록 설계되어야 하며 교각과 경간 구조부재들 간에 연간파괴빈도(AF)의 허용기준을 분배시키는 것은 설계자의 판단에 근거한다. 바람직한 방법은 주된 해석영역에 위치한 구조물의 교체 비용에 근거하거나 구조부재의 예상 연간파괴빈도를 고려한 가중치에 근거하여 교각과 경간부재에 위험도를 배분하는 것이다. 케이블 교량이나 PSC 교량에서 교각 등 부재의 붕괴가 교량 전체의 붕괴를 가져오는 직렬시스템에서의 허용기준 분배는 다음과 같이 고려할 수 있다. 직렬시스템 신뢰성해석에서 시스템의 허용 연간파괴빈도는 요소의 허용 연간파괴빈도의 합이 된다.

$$AF_s^* = \omega_i AF_i^* \quad (2)$$

여기서, AF_s^{*} : 시스템의 허용 연간파괴빈도

AF_i^{*} : 요소 i의 허용 연간파괴빈도

요소 i의 가중치 w_i는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$w_i = \frac{AF_i}{\sum AF_i} \quad (3)$$

여기서, AF_i = N · PA · PG · PC

2.3 설계선박 결정

설계선박 I은 “중요교량”에 대해서는 최대선박의 통행량으로부터 50번째와 전체 통행량의 5% 중 작은 값에 해당하는 등급이고 “보통교량”에 대해서는 최대선박의 통행량으로부터 200번째와 전체 통행량의 10% 중 작은 값에 해당하는 등급이다.

설계선박 II는 선박충돌위험도를 고려한 확률기반 해석에 의해 결정된다. 설계자는 교량 구조물의 수평내하력을 적절하게 가정하여 연간파괴빈도를 산정하게 되며, 이로부터 허용기준을 만족하는 최적의 설계 수평내하력을 찾아낼 수 있다. 합리적인 설계수평내하력이 결정되면, 그 결과로부터 설계선박II를 선정할 수 있다. 선정방법은 해당부재의 설계수평내하력을 충격력으로 가정하고, 해당부재의 설계속도를 적용하여 등가의 적재중량톤수(DWT)를 산정하는 것으로 선박충돌해석 등의 상세해석에 사용한다. 이렇게 설계선박II가 결정되면 선박의 DWT, 충돌속도 등에 의해 등가 정적선박충격하중을 계산한다.

3. 선박 충돌 위험도 평가

3.1 교량 제원

해석에 사용된 교량 구조부재는 3경간 연속 사장교로 선박충돌의 위험이 있는 주요해석영역은 전체 교량구간에서 두경간교 1300m(300+700+300)를 포함하여 총 1780m의 구간으로 설정하였다. 항로폭은 양방향 통행이 가능하도록 550m로 설정하였으며, 항해하는 선박의 일반적인 평균속도는 6.17m/s, 수로의 연평균 유속은 0.15m/s로 하였다. 교량의 중요도 등급은 “중요”로 가정하였으며, 하부구조의 형태는 수로의 흐름 등을 고려하여 직사각형 기초를 사용하였으며, 주탑의 경우 25m×40m, 교각의 경우 15m×20m로 가정하였다. 그림 3.1은 해석에 사용된 교량 구조부재의 단면도로 교각 부재별 위치를 번호로 구분하였다.

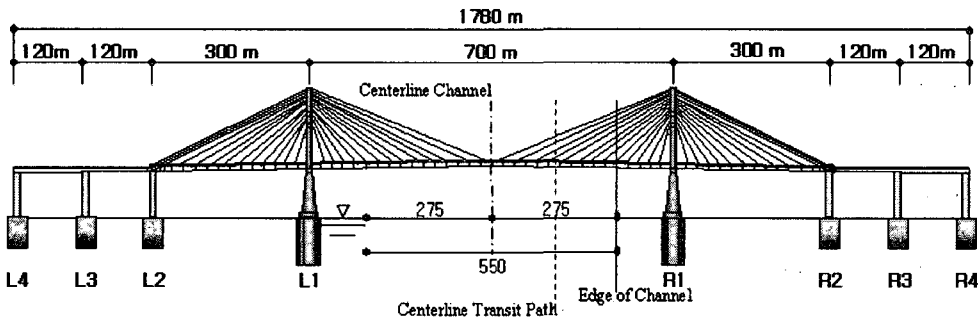


그림 3.1 교량 구조부재의 일반도

3.2 분배모델을 이용한 연간파괴빈도

3.2.1 연간파괴빈도

동일한 교량에 대하여 선박의 연간운행 횟수(N)와 항로이탈확률(PA)은 같은 값을 가지지만 선박충돌의 기하학적 확률(PG)과 파괴확률(PC)은 대상선박의 길이, 교량 중심으로부터 거리 등의 영향을 받기 때문에 교량구성부재는 각기 다른 연간파괴빈도 값을 가지게 된다. 먼저, 선박의 연간운행횟수는 100으로 가정하였으며 항로이탈확률은 다음과 같이 계산하였다.

$$PA = (BR)(R_B)(R_C)(R_{XC})(R_D) = 0.0000987 \approx 0.0001 \quad (4)$$

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

$$R_C = 1 + \frac{V_C}{19} = 1 + \frac{0.54}{19} = 1.028, \quad R_D = 1.6$$

기하학적 확률은 선박의 전체길이와 폭 그리고 하부구조의 폭에 의해 결정되며, 하부구조의 폭은 해수면이 고조위시 주탑(혹은 교각)을, 저조위시 기초를 통과하므로 상대적으로 큰 값인 기초의 폭을 사용하여 표 3.1과 같이 선정하였다.

표 3.1 선박충돌의 기하학적확률

교각	L4	L3	L2	L1	R1	R2	R3	R4
PG	0.0035	0.0104	0.0256	0.1170	0.1170	0.0256	0.0104	0.0035

선박이 교각과 충돌하여 파괴될 확률은 교각의 수평내하력 (H_p)과 선박의 규모 및 속도에 따른 충격력 (P_s)의 비율에 의해 결정된다. 설계속도 (V_T)는 12knot(=6.17m/s), V_{min} 은 0.3knot (=0.15m/s)로 가정하였으며, 항로의 중심으로부터의 거리에 따라 각각의 교각위치에서의 설계속도를 선정하였다. 하부구조물의 수평내하력은 부재의 중요도를 고려하여 주탑 50MN, 교각 25MN으로 가정하여 표 3.2와 같이 계산하였다.

표 3.2 선박충돌 시 파괴확률

교각	L4	L3	L2	L1	R1	R2	R3	R4
V(m/s)	0.78	1.84	2.89	5.51	5.51	2.89	1.84	0.78
P(MN)	29.78	69.66	109.53	209.21	209.21	109.53	69.66	29.78
H/P	0.84	0.36	0.23	0.24	0.24	0.23	0.36	0.84
PC	0.0178	0.0712	0.0858	0.0846	0.0846	0.0858	0.0712	0.0178

위와 같은 절차에 따라 연간파괴빈도(AF)를 구할 수 있으며, 표 3.3은 교량의 하부구조부재에 따른 연간파괴빈도의 선정 결과를 나타낸 것으로, 전체 부재에 대한 부재별 연간파괴빈도의 가중치를 백분율로 환산하여 주요해석영역에 따른 허용기준을 표현한 것이다.

표 3.3 연간파괴빈도의 분배

교각	L4	L3	L2	L1	R1	R2	R3	R4
$AF_{calculate}$	0.0000006	0.0000073	0.000022	0.0000977	0.0000977	0.000022	0.0000073	0.0000006
분배율	0.24	2.88	8.52	38.35	38.35	8.52	2.88	0.24
$AF_{allocate}$	0.0000002	0.0000029	0.0000085	0.0000384	0.0000384	0.0000085	0.0000029	0.0000002

3.2.2 부재별 연간파괴빈도 허용기준

해석 예와 같이 설계자는 선박충돌의 위험이 있는 주요해석영역에 대하여 선박과 교량 및 수로 특성 등을 고려한 합리적인 분배모델을 만들어 낼 수 있다. 그러나 대상선박의 크기나 교량과 수로가 이루는 각도 혹은 기초의 수평내하력이 달라지는 경우 연간파괴빈도는 부재별로 다르게 선정되며 분배모델 또한 달라진다.

동일한 선박에 대해서도 주탑-교각의 수평내하력의 비율에 따라 다른 H_p 를 가지게 되는데, 이는 H_p 의 변화로 인해 붕괴확률(PC)이 달라지게 되어 그에 적합한 새로운 허용기준을 만들어 내기 때문이다. 이러한 변화의 경향은 설계선박이 커짐에 따라 주탑 분배율은 감소하고 교각의 분배율은 증가하는 형태로 나타나며, 특히 수평내하력의 비율이 2:1인 경우에 더 심하게 나타난다. 연간파괴빈도 허용기준 분배는 동일한 교량에 주탑 집중모델을 적용할 때 주탑의 수평내하력이 AF분배모델을 적용할 경우보다 작게 평가되지만 교량의 구조부재별 수평내하력의 비율을 선박충격력비에 의해 결정하는 것이 합리적인 형태의 분배모델을 만들 수 있다.

그림 3.2는 대상선박에 따른 AF 분배모델을 백분율로 나타낸 것으로 선박의 규모(DWT)가 커질수록 교량전체구간에 대한 영향도가 커지는 것을 알 수 있는데, 이는 기하학적 확률과 파괴확률 산정 시 DWT가 커짐에 따라 설계속도의 분포 및 정규분포의 표준편차(σ)가 각각 3LOA와 LOA만큼 확대되기 때문이다. 그림 3.3은 교량과 수로가 이루는 각도에 따른 변화를

나타낸 것으로 각이 커짐에 따라 교량의 유효길이가 $\cos\theta$ 배로 감소하므로 교량전체 구간에 대한 영향이 커지게 된다. 그림 3.4에서는 교각의 수평내하력이 커지면서 $H_p \geq P_s$ 인 부재들로 인해 주탑에 대한 집중도가 커지는 것을 알 수 있으며, 그림 3.5에서는 주탑의 수평내하력이 커지면서 파괴확률이 낮아지고, 이로 인해 교량전체구간에 대한 영향이 커지는 것을 알 수 있다.

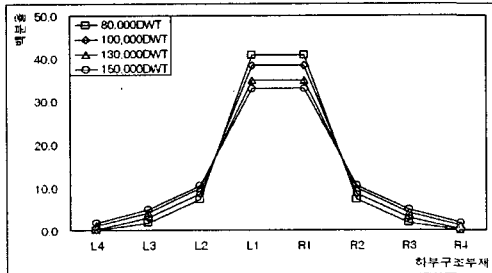


그림 3.2 대상선박에 따른 AF 분배

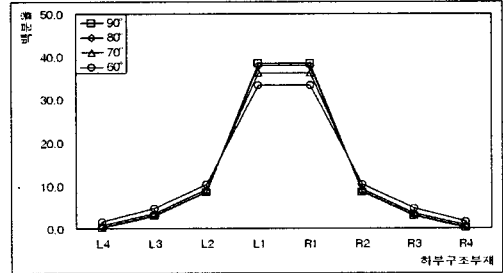


그림 3.3 수로각도에 따른 AF 분배

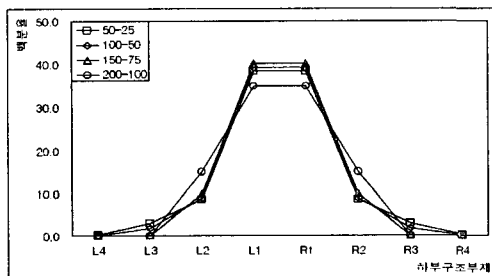


그림 3.4 수평내하력에 따른 AF 분배

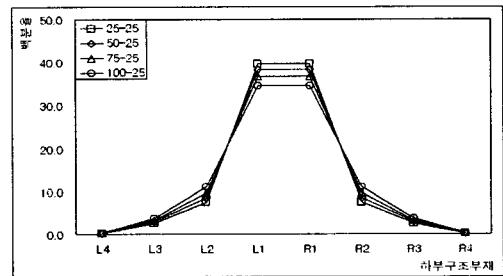


그림 3.5 수평내하력 비율에 따른 AF 분배

3.3 분배모델을 적용한 통행량에 따른 설계선박 선정

3.3.1 선박통행량 분류

기존의 연구(이성로, 2004)에 의하면 선박크기가 작은 등급의 선박통행량이 선박충돌위험도 평가에 영향을 주지 않기 때문에 본 연구에서는 국내 항만운항정보시스템에서 제공하는 인천항(2003년)의 선박톤수에 따른 통행량의 평균톤수에 대한 등급 간격을 크게 설정하고 50000DWT 이상의 통행량에 대해서는 통행자료에서 제시하는 각 구간의 대표톤수를 설정하였다. 표 3.5는 각 등급별로 대표하는 톤에 대해 분류하여 다음과 같이 정리하였다.

표 3.5 통행량 분류

Size(DWT)	N
14,000	1,873
30,000	1,351
53,000	139
67,000	4
93,000	83
109,000	60
합 계	3,510

3.3.2 연간파괴빈도의 분배 및 설계선박 선정

설계선박은 교량의 중요도 등급과 선박, 교량 및 항로의 특성에 의하여 결정되며, 교량의 각 교각과 경간구조부재에 대해 선박충돌 위험도평가에 의하여 계산한 추정 연간파괴빈도가 그 구조부재의 허용기준을 만족하여야 한다. AF분배모델에서 허용기준은 사용가능한 변수를 모두 고려하기 때문에 수평내하력도 허용기준을 변화시키는 요인이 된다. 따라서 수평내하력과 연간파괴빈도를 함께 고려하여 시행착오법을 수행해야 하며 임의의 수평내하력이 결정되면 설계선박 I에 의해 분배율이 결정되고, 부재의 연간파괴빈도는 전체선박의 연간파괴빈도의 합으로 표현된다. 해석예로 사용된 교량에서는 L1, L2의 설계 수평내하력 산정 시 충격력 비를 적용하였으므로 같은 설계속도의 변수를 가지게 되며, 설계 선

박의 크기 또한 거의 같다.

다음 표 3.6은 설계 수평내하력을 계산하기 위한 과정중의 연간파괴빈도 분배와 허용기준을 나타낸 내용이며 표 3.7과 표 3.8은 반복계산을 통하여 허용기준을 만족하는 최종설계 수평내하력을 주탑과 교각으로 분류하여 나타낸 것이다.

표 3.6 설계 수평내하력에 의한 허용연간파괴빈도의 분배결과

주탑 = 162MN, 교각 = 87MN

$AF_{calculate}$	L4	L3	L2	L1	R1	R2	R3	R4
109,000	0	0	0.0000047	0.0000199	0.0000199	0.0000047	0	0
93,000	0	0	0.0000047	0.0000203	0.0000203	0.0000047	0	0
67,000	0	0	0.0000001	0.0000002	0.0000002	0.0000001	0	0
53,000	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma AF_{calculate}$	0	0	0.0000095	0.0000404	0.0000404	0.0000095	0	0
분배율	0	0	9.6	40.4	40.4	9.6	0	0
$AF_{allocate}$	0	0	0.0000095	0.0000404	0.0000404	0.0000095	0	0

표 3.7 설계 수평내하력에 의한 주탑의 연간파괴빈도

$H_p=162MN$

구분	Size	N	PA	PG	PC	AF	ΣAF
주탑 (L1, R1)	109,000	60	0.0001	0.1158	0.0290	0.0000199	0.0000199
	93,000	83	0.0001	0.1115	0.0222	0.0000203	0.0000402
	67,000	4	0.0001	0.0989	0.0064	0.0000002	0.0000404
	53,000	139	0.0001	0.0967	--	--	--
	30,000	1351	0.0001	0.0840	--	--	--
	14,000	1873	0.0001	0.0713	--	--	--

표 3.8 설계 수평내하력에 의한 교각의 연간파괴빈도

$H_p=87MN$

구분	Size	N	PA	PG	PC	AF	ΣAF
교각 (L2, R2)	109,000	60	0.0001	0.0272	0.0293	0.0000047	0.0000047
	93,000	83	0.0001	0.0261	0.0226	0.0000047	0.0000094
	67,000	4	0.0001	0.0227	0.0068	0.0000001	0.0000095
	53,000	139	0.0001	0.0221	--	--	--
	30,000	1351	0.0001	0.0188	--	--	--
	14,000	1873	0.0001	0.0155	--	--	--

본 연구에서는 주탑-교각에 충격력비를 고려하여 분배모델을 생성하였다. 기존연구자료(이성로, 2004)에서 각각의 다른 주탑-교각의 H_p 를 적용시킬 수 있지만 H_p 의 변화로 인해 붕괴 확률(PC)이 달라지게 되어 그에 적합한 새로운 허용기준을 만들어내기 때문에 주탑보다는 교각에 분배율이 커지게 된다. 그러므로 부재별 수평내하력의 비율을 충격력비로 사용하는 경우 합리적인 형태의 분배모델을 만들 수 있으며, 이로부터 주탑-교각의 적절한 H_p 및 설계선박 Π 를 선정할 수 있다.

표 3.9 수평내하력 및 설계선박 결정

분류	$H_p(MN)$	$AF_{allocate}$	$AF_{calculate}$	설계선박 Π	충격력비
주탑(L1, R1)	162	0.0000404	0.0000404	59,596 DWT	1.85:1
교각(L2, R2)	87	0.0000095	0.0000095	59,189 DWT	

3.4 선박통행량 분류에 따른 설계선박 비교

위의 예제에서 선박충돌에 대한 위험도를 교각의 위치별로 각각 계산하였으며 설계 수평내 하력을 이용한 설계선박Ⅱ를 선정하였다.

본 연구에서는 선박통행량 분류에 따라 중대형 선박이 많은 경우와 대형선박이 많은 경우에 대해 Method I에 의한 설계선박 I, Method II에 의한 설계선박Ⅱ의 결과를 비교, 검토하였다.

표 3.10과 그림 3.7~3.8에서 케이스별로 설계선박 I은 각각 60,000DWT이며 전체 통행량은 1,000대로 같지만 중대형선박의 통행량이 서로 다른 경우의 Method II에 의한 설계선박Ⅱ의 선정결과를 보주고 있다. 전체적으로 대형선박에 비해 중형선박의 통행량이 상대적으로 많기 때문에 충돌위험도가 낮게 평가되고 설계선박Ⅱ는 설계선박 I과 비교하여 상당히 작게 선정되는 것을 알 수 있다. 케이스별로는 대형선박의 통행량이 설계선박 선정에 부분적으로 영향을 주고 있다.

표 3.10 중대형 선박통행량(DWT)

구분	10,000	20,000	30,000	60,000	90,000	120,000	150,000	설계선박Ⅱ
Case I	500	300	70	110	20	0	0	32,000
Case II	500	300	60	100	30	10	0	37,000
Case III	500	300	50	105	20	15	10	41,000
Case IV	500	300	40	115	15	15	15	44,000

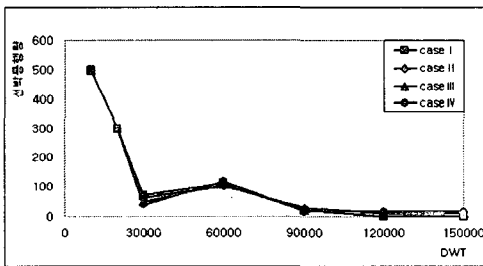


그림 3.7 중대형 선박의 통행량 변화

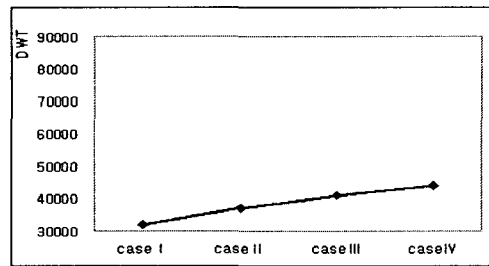


그림 3.8 중대형 선박통행량에 대한 설계선박Ⅱ

또한 표 3.11과 그림 3.9~3.10에서는 90,000DWT~150,000DWT의 대형선박 통행량이 많은 경우 통행량 변화에 따른 설계선박Ⅱ를 선정하였다. 케이스별로 설계선박 I이 120,000DWT가 되도록 통행량을 조정하였다. 전체 통행량은 1,000대로 같게 가정하였으며, 그림 3.10의 보인바와 같이 중대형 선박통행량의 변화와는 달리 대형 선박의 많은 통행량으로 인해 전체적으로 설계선박Ⅱ가 크게 선정되었다.

표 3.11 대형 선박통행량(DWT)

구분	10,000	20,000	30,000	60,000	90,000	120,000	150,000	설계선박Ⅱ
Case I	400	200	100	100	100	90	10	63,000
Case II	400	200	100	90	90	100	20	78,000
Case III	400	200	100	80	80	110	30	82,000
Case IV	400	200	100	70	70	120	40	86,000

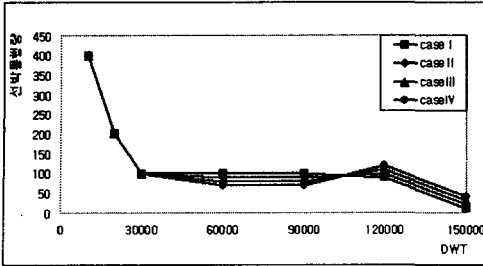


그림 3.9 대형 선박의 통행량 변화

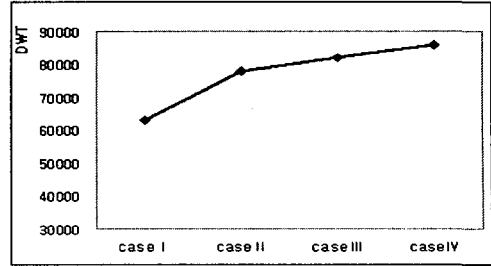


그림 3.10 대형 선박통행량에 대한 설계선박 II

표 3.12에서는 Method I에 의한 설계선박 I을 각각 Case I은 60,000DWT, Case II는 90,000DWT, Case III는 120,000DWT, Case IV는 150,000DWT로 한 경우에 대하여 Method II에 의한 설계선박 II의 선정결과를 나타내었다. 해석결과에 의하면 설계선박 II는 일반적인 경우 Method I에 의한 설계선박 I보다 작게 선정되고 있음을 알 수 있다.

표 3.12 설계선박 I 과 설계선박 II의 비교

구분	10,000	20,000	30,000	60,000	90,000	120,000	150,000	설계선박 II
Case I	400	200	140	220	30	10	0	47,500
Case II	400	200	140	130	90	30	10	48,000
Case III	400	200	140	100	80	50	30	70,000
Case IV	400	200	140	70	70	70	50	80,000

4. 결론

해상교량의 교각과 경간구조부재에 대해 선박충돌 위험도평가에 의하여 계산한 연간파괴빈도가 그 구조부재의 허용기준을 만족하여야 하며 선박에 의한 충격 및 모든 국부적인 충돌하중에 대해 하부구조물 부재들의 건전성이 확보되도록 설계하여야 한다. 이때 설계선박은 교량의 중요도 등급과 선박, 교량 및 항로의 특성에 의하여 결정된다.

본 연구에서는 충돌위험분배모델을 이용하여 해상교량의 설계선박을 선정하였다. 연구 결과에 의하면 연간파괴빈도 허용기준 분배는 교량의 구조부재별 수평내하력의 비율을 충격력비로 사용하는 경우 합리적인 형태의 분배모델을 만들 수 있다. 또한, 중대형선박과 대형선박의 통행량에 따라 설계선박 I이 같더라도 설계선박 II가 다르게 결정되며, 대부분의 경우 설계선박 I에 비해 설계선박 II가 작게 선정되고 있다. 따라서 설계선박 I은 설계선박 II에 비해 보수적 평가로 볼 수 있고 교량설계에서 선박충돌을 고려할 경우에는 설계선박 II가 보다 합리적이라 볼 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 도로교표준시방서(1996)(부록:하중저항계수설계편), 건설교통부.
2. 이성로,배용귀(2004) “교량의 선박충돌 위험 및 교각의 설계강도”. 대한토목학회 정기 학술대회, Vol.4C, 강구조학회세미나, 대한토목학회, pp.79-88.
3. 이성로,이병화,강성수(2004) “선박통행량에 따른 교량의 선박충돌위험”. 대한토목학회

회 정기 학술대회, (CD), 대한토목학회, pp.2014-2017

4. AASHTO(1991), *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*.
5. Frandsen, A.G., Olsen, D., Fujii, Y. and Spangenberg, S.(1991) “*Ship Collision Studies for the Great Belt East Bridge*”, Denmark, IABSE Symposium on Bridges-Interaction between Construction Technology and Design, Leningrad.
6. Fujii, Y.(1987) “*The Estimation of Losses Resulting from Marine Accidents*”, Journal of Navigation. Vol.31.
7. Larsen, O. Damgaard(1983) “*Ship Collision Risk Assessment for Bridges*”, IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures, Copenhagen.