

인천대교 선박 충돌에너지 분석을 통한 선박의 통항안전 속력에 관한 연구

이창현* · 이홍훈** · 김득봉** · 김철승** · 박성현**†

*, ** 목포해양대학교

A Study on Safe Vessel Traffic Speeds Based On a Ship Collision Energy Analysis at Incheon Bridge

Chang-Hyun Lee* · Hong-Hoon Lee** · Deun-Bong Kim** · Chol-Seong Kim** · Seong-Hyun Park**†

*, ** Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 인천대교는 인천국제공항과 송도국제도시를 연결하는 길이 13.38 km, 경간 800 m의 대형 교량으로 시간당 73.8(vessel/hour)척의 선박이 통항하고 있다. 본 연구에서는 인천대교 건설 시 설계되었던 인천대교 충돌방지공의 안전기준을 바탕으로 인천대교를 통항하는 선박의 중량에 따른 안전한 통항 속력을 제시하고자 한다. 연구방법은 AASHTO LRFD에서 제시한 선박 충돌에너지와, 선박 충돌 속도, 수리동적질량계수를 고려하여 통항 선박의 안전 속력을 제시하고자 한다. 인천대교의 충돌방지공은 10만DWT급 선박이 10노트로 통항 할 수 있도록 설계되었다. 본 연구에서는 대상선박(30만DWT급)의 선속조건 및 화물 상태의 비교 분석을 통하여 각각의 충돌에너지에 따른 제한 속력을 산정하는 방식으로 통항 선박의 안전 속력을 제시하였다. 또한 해당 수역의 조위에 따른 통항 선박의 안전 속력을 추가적으로 분석하였다. 대상선박(30만DWT급)을 통한 연구 결과 최대 15만DWT급 선박이 평균조위 이상의 수심에서 최대 7노트 속력으로 운항이 가능한 것으로 나타났으며, 경하상태(Ballast condition)에서는 최대 8노트의 속력으로 인천대교를 통항할 수 있는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 인천대교, AASHTO LRFD, 충돌 방지공, 선박 충돌에너지, 선박 충돌 속도, 수리동적질량계수

Abstract : Incheon Bridge is 13.38 km long with an 800 m span, connecting Incheon International Airport and Songdo International City, Per hour 73.8 vessels navigate this space. The purpose of this study was to suggest a safe passing speed based on the displacement of a vessel based on the safety criteria of Incheon Bridge's anti-collision fence, which was designed during its initial construction. As AASHTO LRFD suggested, vessel collision energy, vessel collision velocity, and the hydrodynamic mass coefficient were considered to derive a safe vessel traffic speed. Incheon Bridge's anti-collision fence was designed so that 100,000 DWT vessels can navigate at a speed of 10 knot. This research suggests a safe speed for vessel traffic through a comparative analysis of an experimental ship's (300,000 DWT) speed and cargo conditions, regulation speed has been calculated according to the collision energy under each set of conditions. Additionally, safe traffic vessel's safe speed was analyzed with reference to tidal levels. Results from the experimental ship showed that a vessel of maximum 150,000 DWT is able to pass Incheon Bridge at a maximum of 7 knots with an above average water level, and is able to pass the bridge with a maximum of 8 knots under ballast conditions.

Key Words : Incheon Bridge, AASHTO LRFD, Anti-collision fence, Vessel collision energy, Vessel collision velocity, Hydrodynamic mass coefficient

1. 서 론

인천대교는 인천국제공항과 송도국제도시를 연결하는 총 연장 13.38 km의 대형 해상교량으로 시간당 선박 통항량은

73.8(vessel/hour)척이 통항하고 있다(Yoo et al., 2013). 인천대교 설계보고서(Incheon Bridge Corporation, 2009)에 의하면 주경간장은 800 m이며, 선박통과 구간은 항로폭 625.5 m, 높이 74.0 m를 확보하여 선박의 왕복운항이 가능하도록 설계되었다. 주탑의 기초는 직경 3.0 m의 현장 타설말뚝이 적용되었고, 방호구조물은 지름 25.0 m의 돌핀이 적용되었다.

* First Author : chlee@mmu.ac.kr, 061-240-7185

† Corresponding Author : shpark@mmu.ac.kr, 061-240-7171

인천대교주식회사는 인천대교 설계 시 미국 AASHTO LRFD (2012)의 설계기준과 선박 항해 시뮬레이션을 통하여 2009년 인천대교를 건설하였지만, 인천대교의 설계 안전성(Choi and Yoo, 2005; Lee et al., 2006; Ha et al., 2011; Jung et al., 2014)에 대한 연구는 인천대교 건설 이전부터 최근까지 꾸준히 이어지고 있다. Bae and Lee(2013)는 인천대교주식회사에서 인천대교 건설 시 고려되었던 10만톤 선박의 통항 속력에 대한 민감도를 분석하였으나, 운항자 입장에서 대형 선박이 인천대교를 통항 할 경우 재화중량 및 수심변화에 따른 구체적인 선박 통항 속력에 대한 연구는 아직까지 이루어지지 않았다.

항해수역에 설치되는 모든 구조물은 선박 통항에 위험물이기 때문에, 선박이 충돌할 경우 구조물의 손상 또는 파괴가 발생하게 된다. 이러한 위험에 노출된 가장 중요한 구조물은 항로를 가로지르는 교량일 것이다. 충돌방지공은 항해 중 기상 악조건, 야간 및 운무 등으로 인한 식별오인, 항로 이탈 및 기관고장으로 인하여 선박이 교량구조물에 충돌하는 위험을 방지하기 위하여 설치한다(Lee et al., 2008).

본 연구에서는 국내 교량 건설 시 고려되고 있는 AASHTO LRFD 에서 제시한 선박 충돌 에너지 분석 방식을 통하여 통항 선박의 속력과 수심변화에 따른 수리동적질량계수를 고려한 인천대교 선박충돌방지공이 건널 수 있는 최대 선박 충돌 에너지에 대한 비교 분석을 통하여 선박의 재화중량톤 및 통항선박의 흘수에 따른 선박 통항 안전 속력을 제시하였다. 이러한 연구는 각 항만에 건설된 교량에 대하여 현행 통항하고는 있는 선박에 대한 안전성과 항만에서 제시하고 있는 제한 속력에 대한 안전 통항 속력을 검증 할 수 있을 것이다.

2. 대상선박 선정

대상선박은 인천대교를 통항하는 선박의 화물적재 중량과 흘수에 따른 선박 통항 안전 속력을 제시하기 위하여, 인천대교를 통항하는 선박 중 흘수가 가장 깊은 30만DWT급 VLCC 선박을 선정하였으며, 이 선박의 제원은 Table 1과 같다. 대상선박의 화물적재에 따른 흘수는 Full Cargo(20.8 m), Half Cargo(12.5 m), Ballast Condition(9.6 m)이며, 이 값을 기준으로 각각의 수리동적질량계수를 산정하였다.

Table 1. Experimental ship's specifications

Cargo condition	DWT	Draft	LOA	Wide	Depth
Full cargo	300,000	20.8m			
Half Cargo	159,524	12.5m	336.6m	59.6m	22.0m
Ballast Cond.	98,393	9.6m			

대상선박에 대한 충돌에너지를 산정하기 위하여 선박의 충돌속도 및 흘수에 따른 수리동적질량계수를 아래와 같이 각각 산정하였다.

2.1 충돌속도 산정

충돌속도를 산정하기 위하여 Fig. 1과 같이 AASHTO LRFD 에서 제시한 방식을 사용하였다.

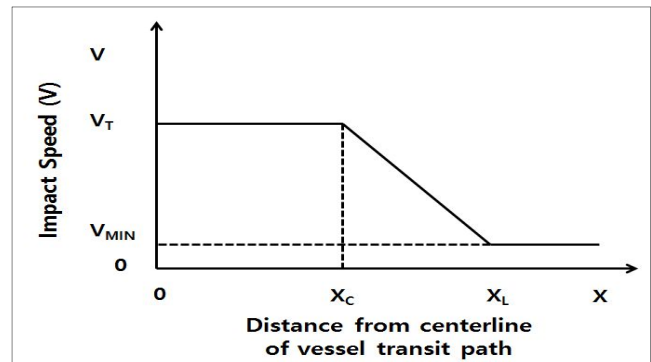


Fig. 1. Design Collision Velocity Distribution.

- 여기서, V : 선박 충돌 속도(m/s)
- V_T : 선박 운항 속도(m/s)
- V_{MIN} : 유속(m/s)
- X : 충돌방지공과 항로의 거리(m)
- X_C : 항로의 거리(m)
- X_L : 통항 선박 LOA의 3배 거리(m)

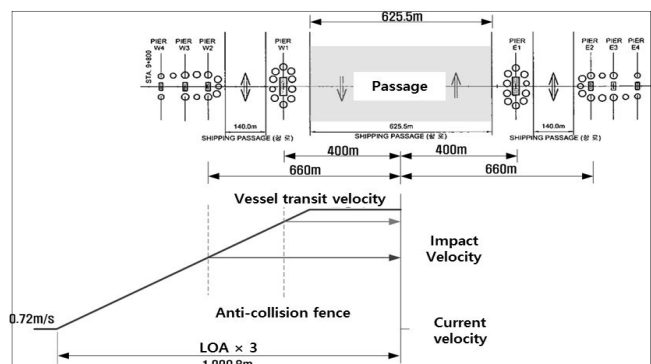


Fig. 2. Design Incheon Bridge Collision Velocity Distribution.

인천대교 선박 충돌에너지 분석을 통한 선박의 통항안전 속력에 관한 연구

Fig. 2와 같이 인천대교의 충돌방지공 좌우 간격은 800 m이며, 평균유속(V_{MIN})은 0.72 m/s이다. 따라서, 대상선박이 6 knot로 인천대교를 일방향으로 통항하는 경우 항로의 폭(X_C)은 312.75 m(항로폭 625.5 m/2), 충돌방지공까지의 거리(X)는 400 m, 통항선박 LOA 의 3배 값(X_L)을 대입하여 충돌속력을 계산하면 식(1)에 의해서 V 값은 2.073 m/s가 나오며 여기에 유속을 더하면 최종 충돌속력은 2.793 m/s가 산정된다.

$$V = \frac{(V_T - V_{MIN}) \times (3L - X)}{X_L - X_C} \quad (1)$$

이에 따른 대상선박의 충돌속력은 양방향 통항시 Table 2와 같고, 일방향 통항시 Table 3과 같이 산정되었다.

Table 2. Collision Velocity to Two-way passing

LOA (m)	Bridge Distance (m)	Current Velocity (m/s)	Transit Velocity (m/s)	Collision Velocity (m/s)
336.6	200	0.72	3.09(6knot)	2.847
			3.60(7knot)	3.304
			4.12(8knot)	3.771
			4.63(9knot)	4.229

Table 3. Collision Velocity to One-way passing

LOA (m)	Bridge Distance (m)	Current Velocity (m/s)	Operation Velocity (m/s)	Collision Velocity (m/s)
336.6	400	0.72	3.09(6knot)	2.793
			3.60(7knot)	3.240
			4.12(8knot)	3.694
			4.63(9knot)	4.141

2.2 수리동적질량계수에 따른 선박 배수톤수 산정

국내에서 교량을 보호하기 위한 충돌방지공을 건설 시 식(2)와 같이 미국의 AASHTO LRFD에서 제시한 선박의 충돌에너지 산정하는 방식을 사용하고 있다.

$$KE = 500 C_H W (V)^2 \quad (2)$$

여기서, KE : 선박의 충돌에너지(Jule)

W : 선박의 배수톤수(Displacement Tonnage)

V : 선박의 충돌 속도(m/sec)

C_H : 수리동적질량계수(Hydrodynamic Mass Coefficient)

AASHTO LRFD에서는 선박의 충돌에너지 산정 시 선박이

충돌할 경우 선박의 질량 이외에도 선박을 둘러싸고 있는 물의 질량이 추가적으로 반영하기 위하여, 선박 흘수에 따른 수리동적질량계수(Hydrodynamic Mass Coefficient : C_H)를 적용하여 선박의 배수톤수(Displacement Tonnage)를 수정 산정하고 있다.

선박의 흘수 및 수심에 수리동적질량계수 산정 방식은 다음과 같다.

- Large underkeel clearances ($\geq 0.5 \times \text{Draft}$) : $C_H = 1.05$

- Small underkeel clearances ($\leq 0.1 \times \text{Draft}$) : $C_H = 1.25$

상기 식에 따라 인천대교의 수심 14.4 m를 기준으로 대상선박의 화물상태에 따른 수리동적질량계수를 고려한 선박의 배수톤수는 Table 4와 같다.

Table 4. Considering the Hydrodynamic Mass Coefficient of Amended Displacement

Cargo condition	DWT	Displacement	C_H	Amended Displacement
Full cargo	300,000	343,178	1.25	428,973
Half Cargo	159,524	202,702	1.05	253,378
Ballast Cond.	98,393	141,571	1.05	148,650

3. 선박 충돌에너지 비교 분석

3.1 선박속력에 따른 충돌에너지 비교

인천대교 주식회사는 인천대교를 건설시 Table 5와 같이 10만DWT급 선박이 10 knot(5.14 m/s)로 양방향으로 운항하다가 항로를 이탈하여 주탑과 충돌할 상황을 고려하여 인천대교를 보호할 수 있는 충돌방지공을 설치하였다(Incheon Bridge Corporation, 2008). 이 경우 AASHTO LRFD에서 제시한 식(1)에 의하면 충돌속도는 4.5 m/sec이고, 충돌에너지는 1,164 MJ로 산정이 된다.

Table 5. Ships specifications of 100,000 DWT

DWT	Displacement	LOA	Wide	Depth
100,000	112,341	246.8m	42m	12.2m

AASHTO LRFD에서 제시한 식(1)을 이용하여 인천대교 건설 시 고려되었던 10만DWT급 선박의 충돌에너지 1,164 MJ를 기준으로 본 연구의 대상선박인 30만DWT급 선박의 화물적재량과 선속 변화에 따른 충돌에너지를 분석한 결과 Fig. 3과 같이 나타났다. 대상선박의 통항속력은 Incheon Regional Office of Oceans and Fisheries(2015)에서 고시한 VLCC의 인천

대교 항행최고속력 기준을 고려하여 6~9 knot 범위의 조건을 비교 분석하였다. 산정된 결과에 의하면 대상선박이 인천대교를 화물 비중 60%를 선적하고 6 knot(3.09 m/s)로 통항 할 경우, 화물 비중 38.5%를 선적하고 7 knot(3.60 m/s)로 통항 할 경우, 화물 비중 24.5%를 선적하고 8 knot(4.12 m/s)로 통항 할 경우에 안전하게 인천대교를 통항 할 수 있는 것으로 분석되었다. Full Cargo에 대한 비교는 화물 비중 60%인 상태에서 6 knot로 통항 할 경우 기준 충돌에너지 1,164 MJ을 초과하기 때문에 비교 대상에서 제외하였다.

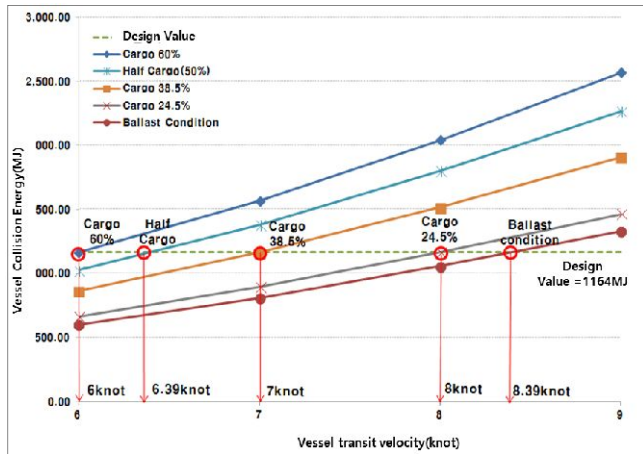


Fig. 3. Variation of Collision Energy depending on the Vessel transit Velocity and Cargo conditions.

3.2 재화중량에 따른 최대 선속검토

대상선박에 대한 재화중량에 따른 최대선속을 검토하기 위하여 AASHTO LRFD에서 제시한 수리동적질량계수(C_H) 산정방식을 이용하여 재화중량에 따른 수정배수톤을 Table 6과 같이 산정하였다. 화물에 대한 비중은 실험선박의 Full cargo 상태를 기준으로 선정하였다.

Table 6. Variation of Displacement on the Cargo condition & Amended Displacement on the Hydrodynamic Mass Coefficient

DWT	Displacement	C_H	Amended Displacement	Cargo condition
110,000	165,242	1.25	206,552	36.0%
120,000	174,607	1.25	218,259	40.0%
130,000	183,972	1.25	229,965	43.3%
140,000	193,337	1.25	241,671	46.7%
150,000	202,702	1.25	253,378	50.0%
160,000	212,067	1.25	265,084	53.3%
170,000	221,432	1.25	276,790	56.6%

수리동적질량계수에 따른 수정된 배수톤수를 기준으로 AASHTO LRFD에서 제시한 식(1)을 적용하여 선속별 화물 적재량에 따른 충돌에너지 분석결과는 Fig. 4과 같이 분석되었다. 이에 따른 분석 결과 대상 선박이 화물 비중 36%(12만 DWT)를 초과하여 7knot 이상의 선속으로 인천대교를 통항할 경우 기준 충돌에너지 1,164MJ을 초과하는 것으로 나타났다.

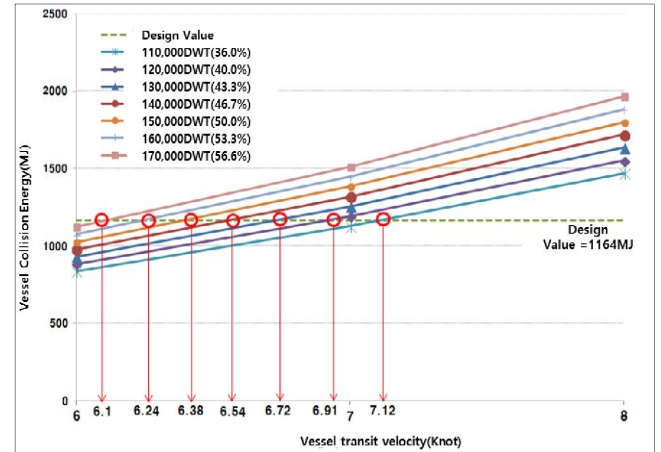


Fig. 4. Variation of Collision Energy depending on the Vessel transit Velocity and Cargo conditions.

3.3 수심변화에 따른 최대 선속검토

수리동적질량계수는 선박의 흘수 및 수심과의 관계에 따라 변화 한다. 따라서 조위 차에 의해 바뀌는 수심을 고려하기 위하여 고조시에 대한 수리동적 질량계수의 변화와 그에 따라 선속에 미치는 영향을 분석하였다. Table 7은 인천항의 고조시조위(H.H.W) 24.4m를 기준으로 재화중량톤에 따른 흘수를 고려한 수리동적질량계수(C_H)이다.

Table 7. Variation of Hydrodynamic Mass Coefficient on the Tide

DWT	Cargo condition	Ships Draft	0.5D	H.H.W (m)	Under Keel Clearance	C_H
110,000	36.0%	10.2	5.1	24.4	14.2	1.05
120,000	40.0%	10.8	5.4	24.4	13.6	1.05
130,000	43.3%	11.4	5.7	24.4	13.0	1.05
140,000	46.7%	12.0	6.0	24.4	12.4	1.05
150,000	50.0%	12.5	6.3	24.4	11.9	1.05
160,000	53.3%	13.2	6.6	24.4	11.2	1.05
170,000	56.6%	13.8	6.9	24.4	10.6	1.05

Table 8은 수리동적질량계수를 고려한 재화중량톤에 따른 수정배수톤을 산정한 표이다.

인천항의 고조시조위(H.H.W)시 인천대교를 통항하는 선박의 크기를 고려하여, 수리동적질량계수에 따른 수정된 배수톤을 기준으로 AASHTO LRFD에서 제시한 식(1)에 따라 선속별 화물 적재량에 따른 충돌에너지 분석결과, Fig. 5와 같이 나타났다. 대상선박이 화물 비중 50%(15만DWT)를 초과하여 7 knot 이상의 선속으로 인천대교를 통항할 경우 기준 충돌에너지 1,164 MJ을 초과하는 것으로 분석되었다.

Table 8. Variation of Displacement on the Cargo condition & Amended Displacement on the Hydrodynamic Mass Coefficient

DWT	Displacement	C_H	Amended Displacement	Cargo condition
110,000	165,242	1.05	173,504	36.0%
120,000	174,607	1.05	183,337	40.0%
130,000	183,972	1.05	193,170	43.3%
140,000	193,337	1.05	203,004	46.7%
150,000	202,702	1.05	212,837	50.0%
160,000	212,067	1.05	222,670	53.3%
170,000	221,432	1.05	232,504	56.6%

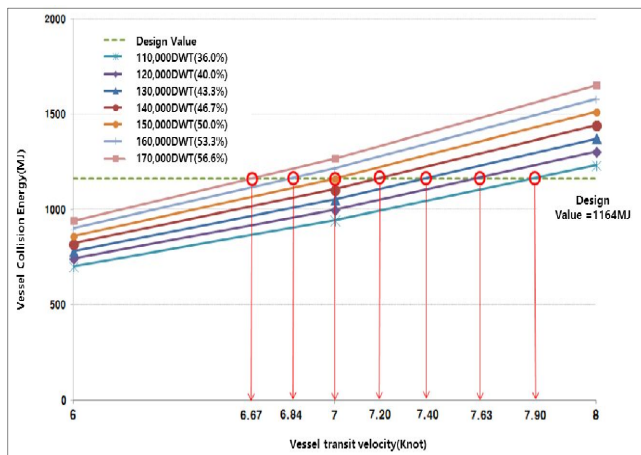


Fig. 5. Variation of Collision Energy depending on the Vessel transit Velocity and Cargo conditions.

또한 인천대교 부근의 간조시조위(L.L.W) 15.1 m와 고조시조위(H.H.W) 24.4 m에 수정된 배수량에 따른 인천대교 통항 가능한 선속의 변화를 비교 분석하였다. Table 9는 인천항의 간조시와 고조시의 인천대교 통항 가능 선속을 비교 검토한 표로써, 간조시에는 대상선박이 화물 비중 36%(11만DWT)를 초과하여 7 knot 이상의 선속으로 인천대교를 통항할 경우 기준 충돌에너지 1,164 MJ을 초과하는 것으로 나타났다.

Table 9. Variation of Limitation Velocity on the Tide of L.L.W & H.H.W

DWT	Cargo cond.	Amended Displacement		Collision Energy (MJ)		Limitation Velocity (knot)	
		L.L.W	H.H.W	L.L.W	H.H.W	L.L.W	H.H.W
110,000	36.0%	206,552	173,504	1,127.40	947.02	7.12	7.90
120,000	40.0%	218,259	183,337	1,191.30	1,000.69	6.91	7.63
130,000	43.3%	229,965	193,170	1,255.20	1,054.36	6.72	7.40
140,000	46.7%	241,671	203,004	1,319.09	1,108.04	6.54	7.20
150,000	50.0%	253,378	212,837	1,382.99	1,161.71	6.38	7.00
160,000	53.3%	265,084	222,670	1,446.88	1,215.38	6.24	6.84
170,000	56.6%	276,790	232,504	1,510.78	1,269.05	6.10	6.67

4. 한계조건 검토

4.1 Half Cargo에서의 선속별 한계조위 검토

제3장에서 선박속력, 재화중량, 수심에 따른 선박 충돌에너지 분석 결과 인천항이 고조시 대상선박이 최대 화물 비중 50%(15만DWT)까지는 7 knot 이상의 선속으로 인천대교를 통항할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 본 장에서는 대상선박이 화물 비중 Half Cargo 상태(홀수 12.5 m)에서 선속별 한계조위를 검토하였다. Table 10은 대상 선박이 화물 비중 Half Cargo 시 인천항의 조위에 따른 수리동적질량계수(C_H)를 산정한 표이다.

Table 10. Variation of Hydrodynamic Mass Coefficient on the Tide

Classification	Tide	0.5D	D.L	Clearance	C_H
Approx. H.H.W	24.4	6.3	9.27	11.9	1.05
H.W.O.S.T	23.7	6.3	8.62	11.2	1.05
H.W.O.M.T	22.6	6.3	7.50	10.1	1.05
H.W.O.N.T	21.5	6.3	6.37	9.0	1.05
M.S.L	19.7	6.3	4.64	7.2	1.05
L.W.O.S.T	18.0	6.3	2.90	5.5	1.25
L.W.O.M.T	16.9	6.3	1.77	4.4	1.25
L.W.O.N.T	15.8	6.3	0.65	3.3	1.25
Approx. L.L.W	15.1	6.3	0.00	2.6	1.25

Table 11은 Table 10에서 산정된 수리동적질량계수(C_H) 기준으로 조위에 따른 수정배수톤을 산정한 표이다. Table 12는 Table 12와 Table 13을 기준으로 대상선박이 Half cargo 상태에서 조위에 따른 제한선속을 검토한 결과로써, 평균조위(M.S.L)까지는 7 knot의 선속으로 인천대교를 통항 할 수 있는 것으로 분석되었다.

Table 11. Variation of Amended Displacement on the Tide

Classification	DWT	Displacement	C_H	Amended Displacement
Approx. H.H.W			1.05	212,837
H.W.O.S.T			1.05	212,837
H.W.O.M.T			1.05	212,837
H.W.O.N.T			1.05	212,837
M.S.L	150,000	202,702	1.05	212,837
L.W.O.S.T	(Half cargo)		1.25	253,378
L.W.O.M.T			1.25	253,378
L.W.O.N.T			1.25	253,378
Approx. L.L.W			1.25	253,378

Table 12. Variation of Limitation Velocity on the Collision Energy

Classification	Collision Energy by ship speed (MJ)			Limitation Velocity (knot)
	6knot	7knot	8knot	
Approx. H.H.W	862,57	1,161.71	1,513.32	7.000
H.W.O.S.T				
H.W.O.M.T				
H.W.O.N.T				
M.S.L				
L.W.O.S.T	1,026.86	1,382.99	1,801.57	6.385
L.W.O.M.T				
L.W.O.N.T				
Approx. L.L.W				

4.2 고조시와 평균조위시 최대 DWT 검토

Incheon Regional Office of Oceans and Fisheries에서 고시한 인천항·경인항 선박통항규칙에 의하면 화물중량 16만톤 이상을 선적한 VLCC는 인천대교 부근에서 선속을 6knot 이하로 통항하도록 규정되어 있다. 따라서 대상선박이 고조시와 평균조위시 Incheon Regional Office of Oceans and Fisheries에서 고시에 따른 제한속력을 비교 분석하였다. Table 13은 고조(H.H.W)시와 평균조위(M.S.L)시 대상선박의 재화중량에 따른 수리동적질량계수(C_H)를 산정한 표이고, 이를 기준으로 Table 14와 같이 재화중량에 따른 수정배수톤을 산정하였다.

Table 14에서 산정된 수정배수톤을 기준으로 고조시와 평균조위시 충돌에너지 분석 결과 대상선박이 인천대교를 7knot로 운항할 경우 Table 15와 같이 최대 허용 재화중량은 150,427DWT로 산정되었다. 따라서 대상 선박이 평균조위 이상의 수심에서 7knot로 인천대교를 통항 할 경우 대상선박의 화물 비중이 50%(15만DWT) 상태까지는 안전한 통항이 가능한 것으로 분석되었다.

Table 13. Variation of Hydrodynamic Mass Coefficient on the DWT

DWT	Ships Draft	0.5D	Tide (m)	Under Keel Clearance	C_H
150,000	12.5	6.3	24.4~19.7	11.9~7.2	1.05
160,000	13.2	6.6	24.4~19.7	11.2~6.5	1.25
170,000	13.8	6.9	24.4~19.7	10.6~5.9	1.25
180,000	14.4	7.2	24.4~19.7	10.0~5.3	1.25
190,000	14.9	7.5	24.4~19.7	9.5~4.8	1.25
200,000	15.5	7.8	24.4~19.7	8.9~4.2	1.25
210,000	16.1	8.1	24.4~19.7	8.3~3.6	1.25
220,000	16.7	8.4	24.4~19.7	7.7~3.0	1.25

Table 14. Variation of Amended Displacement on the DWT

DWT	Displacement	C_H	Amended Displacement
150,000	202,702	1.05	212,837
160,000	212,067	1.25	265,084
170,000	221,432	1.25	276,790
180,000	230,797	1.25	288,496
190,000	240,162	1.25	300,203
200,000	249,527	1.25	311,909
210,000	258,892	1.25	323,615
220,000	268,257	1.25	335,322

Table 15. Variation of Vessel transit Velocity 7 knot on the Maximum DWT

Vessel transit Velocity	Collision Velocity (m/s)	Allowed Displacement	Allowed amended Displacement	Max. DWT
7knot	3,304	213,257	203,102	150,427

5. 결론

본 연구에서는 인천대교 건설 시 고려되었던 Model Ship 10만DWT급 선박이 인천대교를 10 knot로 교행 하였을 경우의 충돌에너지 1,164 MJ과 대상선박 VLCC 30만DWT급 선박이 인천대교를 교행 하였을 경우의 충돌에너지를 비교 분석하는 방식을 통하여 인천대교 통항 선박의 적재중량에 따른 안전 속력을 검토하였다. 충돌에너지 비교 분석 결과 16만 DWT급 이상 선박이 7knot를 초과하여 인천대교를 통항하는 것은 어려운 것으로 분석되었으며, 대상선박의 한계조건 분석 결과 30만DWT급 선박이 Half cargo 조건에서는 평균조위

(M.S.L) 이상에서는 7 knot의 선속을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 Ballast condition 상태로 인천대교 통항 시에는 8 knot 속력으로 항행이 가능한 것으로 분석되었다.

인천항·경인항 선박통항규칙에 의하면 VLCC 선박이 16만 DWT 이상 적재시 선속 6 knot 이내로 인천대교를 통항하도록 하고 있다. 본 연구에서 인천대교에 설치된 충돌방지공이 견딜 수 있는 충돌에너지를 기준으로 VLCC 30만DWT급 선박의 통항 속력 분석 결과 인천항·경인항 선박통항규칙에서 제시한 선박 통항 속력의 한계 내에 있었다.

그러나 선박은 조종성능을 제어하기 위한 최소 필요 속력인 Minimum steering speed가 있다. Minimum steering speed가 제공되지 않으면 선박의 움직임을 제어할 수 없기 때문에 자칫 대형 선박사고를 일으킬 수도 있다. 따라서 선박이 통항 할 수 있는 교량을 건설하는 경우 그 항만을 통항하는 선박 중 흘수가 가장 깊고 화물적재 중량이 가장 큰 선박의 Minimum steering speed를 감안하여 항만에서 제시한 제한속력으로 통항 할 수 있도록 충돌방지공을 건설해야 할 것이다. 이는 교량에서 발생할 수 있는 선박 충돌 사고에 대한 위험을 방지 할 수 있는 가장 효율적인 방법일 것이다. 또한 통항 선박의 안전 확보를 위해서 설계 기준을 초과하는 선박의 운항이 예상될 경우 반드시 확인 또는 점검될 수 있는 관련 법령 및 제도적인 장치·절차 등이 필요할 것이다. 본 연구를 통해서 추가로 향후 항만에 건설하게 될 교량에 대하여 선박이 통항 할 수 있는 최대 통항 속력 및 항만의 제한 속력의 한계치를 검증할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 AASHTO LFRD에서 제시한 보관법에 의한 약산식을 이용하여 교량을 통항하는 선박에 대한 안전 속력을 제시하였다. 향후 선박이 항해 중 자체적으로 발생하는 Sinkage, Trim, Squate 현상과 같은 제약조건에 따른 한계를 포함하여 분석의 정확성을 보완할 것이다. 또한 인천대교와 같이 국내 항만의 선박이 통항하고 있는 교량에 대한 추가적인 분석을 통하여 교량을 통항하는 선박의 안전을 위한 정책적인 연구를 계속 진행할 예정이다.

사 사

이 연구는 목포해양대학교 산학협력단 학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

References

- [1] AASHTO LFRD(2012), American Association of State Highway and Transportation Officials Load-and-resistance factor design, pp. 138-156.
- [2] Bae, Y. G. and S. L. Lee(2013), Ship Collision Risk, Assessment and Sensitivity Analysis for Sea-crossing Bridges, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 5, pp. 1753-1763.
- [3] Choi, Y. W. and T. H. Yoo(2005), Design of Incheon Bridge, Korean Society of Civil Engineers, pp. 39-47.
- [4] Ha, S. B., J. I. Kim, D. J. Sung and H. M. Shin(2011), Nonlinear Finite Element Analysis of Incheon Bridge considering time-dependent behavior of concrete pylon, Korea Concrete Institute, pp. 531-532.
- [5] Incheon Bridge Corporation(2008), Incheon Anti collision fence Structural design(1/3), p. 252.
- [6] Incheon Bridge Corporation(2009), Incheon Bridge project design report, pp. 58.
- [7] Incheon Regional Office of Oceans and Fisheries(2015), Incheon Port·Gyeongin port vessel traffic regulation, annex 3, http://www.portincheon.go.kr/NoticeCenter/NoticeNews_02_view.asp?idx=2142&pageone=1&sltem=subject&sStr=통항규칙&dept_code=tot.
- [8] Jung, H. J., T. H. Yang, H. K. Kim, D. J. Moon and K. N. Kim(2014), Analysis Monitoring Data on Dynamic Response of Incheon bridge for a Long Span Bridge in Service Using Vehicle Load test, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 2014. 10, pp. 747-748.
- [9] Lee, J. H., K. S. Kwak, J. S. Yoon, Y. K. Lee and J. H. Kim(2006), Bridge scour monitoring on main piers of Incheon Grand bridge, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 2006. 10, pp. 4406-4409.
- [10] Lee, M. J., H. S. Kim, J. H. Park(2008), The Planning and Risk analysis of Ship collision Protections, Yooshin Technical bulletin, Vol. 14, pp. 44-53.
- [11] Yoo, S. R., C. Y. Jeong, C. H. Kim, S. H. Park and J. Y. Jeong(2013), A Study on Evaluation of Marine Traffic Congestion based on Survey Research in Major Port, Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, pp. 483-490.

Received : 2016. 02. 01.

Revised : 2016. 03. 11. (1st)

: 2016. 03. 29. (2nd)

Accepted : 2016. 10. 27.