

묘도-광양간 현수교의 선박충돌 방지공의 위험도 분석 및 안정성 평가

장용채* · 박기철** · 김경택***

* 목포해양대학교 해양시스템공학부, ** 동서대학교 토목공학과 지반공학연구소, ***대림산업(주)

The Risk Analysis and Stability Estimation of Ship Collision Protection of Myodo-Gwangyang Suspension Bridge

Yong-Chai Chang* · Ki-Chul Park** · Kyung-Taek Kim***

* Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

** Research Center for Civil Engineering, Dongseo University

*** Daelim Industrial Company Limited

요 약 : 묘도-광양간 현수교는 광양항에 진입하는 항로에 위치해있으므로 큰 배들에 대하여 충돌 방지공이 필요하다. 본 논문은 선박충돌을 고려하여 위험도 분석과 비선형 수치해석을 실시하였다. 위험도 분석 결과 충돌 방지공 설치 이전에는 연간 파괴확률이 기준치인 0.0001을 초과하여 충돌 방지공이 필요한 것으로 분석되었다. 따라서, 선박의 충돌을 방지하기 위해서 인공섬과 콘크리트 블록으로 만든 방파제 벽을 사용하여 설계하였다. 계획된 충돌 방지공 설치 후 비선형 수치해석 결과 교량에 미치는 하중이 교량의 내하력 이내로 나타나 선박 충돌시에도 교량의 안정성이 확보되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 현수교, 선박충돌, 위험도 분석, 비선형 수치해석, 연간 파괴확률

Abstract : The suspension bridge between Myodo and Gwangyang is located in the main navigation channel to Gwangyang Harbor. So, there is need for the collision protection against large vessels. In this paper, the method of risk analysis and non-linear numerical analysis are conducted to consider the ship collision effects. The results of risk analysis, the annual frequency of collapse is more than the acceptable frequency 0.0001. Therefore, as a ship collision protection, island protection with concrete block quay wall is planned. The ship collision force on the pylon is less than the lateral capacity of pylon from the nonlinear numerical analysis.

Key Words : Suspension bridge, Ship collision, Risk analysis, Non-linear numerical analysis, Annual frequency of collapse

1. 서 론

해항로를 운항중인 선박과 관련된 해양 사고는 해양 환경에 따른 자연적 요인과, 항로, 선박, 그리고 교통 요인 등에 의하여 다양하게 발생하고 있다. 이러한 선박과 관련된 해양 사고 종류 대부분은 해상에서의 선박 기관 손상 사고와 충돌 사고로 나타나고 있다. 선박의 기관 손상에 의한 사고는 대부분 낙후된 소형 어선과 관련된 것이며, 이에 반하여 중·대형급 선박의 경우는 충돌 사고 빈도가 높은 것으로 보고되고 있다.

세계적으로 중·대형급 선박의 선박 충돌과 관련된 연구는 협의의 충돌(Ship-to-ship collision)과 광의의 충돌(Ship-to-offshore structure collision)로 나뉘어 발전되어 왔다. 협의의 충돌 문제는 1950년대 말부터 원유 운반선, LNG 및 LPG 운반선과 같은 위험물 운반선에 관한 충돌이나 좌초에 대한 해난 사고에 대하

여 선박의 압괴 및 Tearing 등 선체 강도에 관한 연구를 주요 대상으로 하고 있다(Minorsky, 1959). 광의의 충돌 문제는 1970년부터 연구가 시작되어 선박과 해상 주요 해양 구조물의 충돌에 관한 문제에 대하여 충돌 하중 산정 및 충돌시 구조물의 거동에 관한 연구를 주요 대상으로 하고 있다. 이러한 협의의 충돌 및 광의의 충돌 발생시 선박의 침몰 및 구조물의 붕괴가 발생하여 인명 손실, 재산 손실 및 환경오염을 유발하게 되므로, 각각의 충돌에 관하여 설계시 다양한 기준이 제시되고 있다.

대상 교량인 광양대교는 선박의 입출항이 빈번한 광양항에 위치하므로 선박 충돌 사고 위험이 높게 평가되고 있다. 특히 대상 해역의 충돌 사고 발생시, 광양항 운영에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되므로 충분한 안전성을 확보할 수 있어야한다.

본 연구에서는 광양항에 설치되는 광양 대교에 대하여 장래 통항 선박예측을 통하여 대형 선박 충돌에 대한 교량의 안정성을 확보하고 대상 교량에 적합한 충돌 방지공 형식 선정을 하고자한다. 이를 위해 충돌하중 산정식을 이용하여 선박충돌에 대한 위험도를 산정하였으며 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 주어진 충돌조건에 대하여 검토하였다.

* 대표저자 : 중신회원geo@mmu.ac.kr 061) 240-7311

** 정희원, kichulpark2001@yahoo.com 010-5656-8135

*** 비희원, kkk3267@dic.co.kr 010-5016-2621

2. 선박충돌 방지공

충돌 방지구조물은 선박충돌에너지가 방지구조물의 손상 등에 의한 교각을 보호할 목적으로 설계하여야 하며, 선박의 크기가 결정되면 선박의 충돌에너지 크기에 따라 방지공의 종류를 결정한다. 방지공의 종류는 돌핀, 인공섬 등의 여러 가지가 있지만, 본 연구에서 사용한 방지공 형식은 기초가 직접 저항하는 형식과 인공섬 형식을 절충하여 항만구조물에 많이 적용되는 콘크리트 블록식 안벽을 이용한 형태로 설계하였다. 이와 같은 형식은 콘크리트 안벽 및 내부의 채움 모래가 선박의 충돌에 있어 충돌하중을 흡수하여 교량으로 전달되는 충돌에너지를 저감시킬 수 있기 때문에 기존의 강성구조 충돌 방지공 형식에 비하여 선박의 파손을 최소화할 수 있는 장점이 있으며, 콘크리트 블록식 안벽형태의 인공섬 조성을 통해 주탑기초인 직경 3.0m인 현장 타설말뚝의 육상시공이 가능하도록 시공성을 확보하였다.

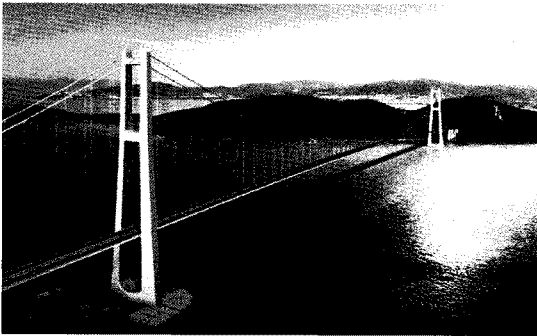


Fig. 1. Myodo-Gangyang suspension bridge.

Fig. 1은 실제 교량에 적용된 콘크리트 블록식 안벽의 시공 사례를 나타낸 것으로 총 연장 2,260m, 주경간장 1,545m의 타정식 현수교로 교량 노선이 광양항 컨테이너 부두로 진입하는 주항로를 가로지르는 위치적 특성을 지니고 있으며 교량 건설로 인한 기존 및 장래 항로 이용에 지장을 주지 않도록 하기 위하여 교량형식, 경간장, 상부공 시공방법 등을 결정하였다.

3. 선박충돌에 대한 위험도 분석

충돌 방지공 설계에 적용된 기준은 세계적으로 광범위하게 적용하고 있는 AASHTO Guide Spec(AASHTO, 1991)에서 규정된 Method II와 국내 케이블강교량 설계지침에 있는 선박충돌에 대한 규정을 기본으로 하였다. 또한 위험도 분석의 설계변수로 사용되는 설계선박은 교통량 분석에 의하여 본 항로의 통항시 만재상태의 선박으로 컨테이너선 210,000DWT하여 최근의 연구를 반영한 위험도 분석(Risk Analysis)을 통하여 수행하였다.

3.1 충돌하중 산정식

특히, 위험도 분석 과정에 사용되는 충격하중산정에 있어서 기존의 AASHTO 산정식은 선박과 선박의 충돌에 대한 산정식이다.

$$P_s = 120 \cdot V \cdot \sqrt{DWT} \quad (1)$$

여기서, P_s = 등가 정적선박 충격하중(단위: kN)

DWT = 선박의 적재 중량 톤수

V = 설계속도(m/s)

교량기초와 같이 강성이 큰 구조물에 대한 충돌의 경우는 상대적으로 작은 하중이 산정되므로, 강성이 큰 벽체(Rigid Wall)와 선박의 충돌에 대한 충돌하중 산정식(Zhang et al., 2004)을 적용하였다.

$$P_s = 10.85 \cdot (DT \times V^2 \times L^{2.94})^{0.33} \quad (2)$$

여기서, DT = 선박의 배수톤수(단위: ton)

V = 설계속도(m/s)

L = 선박의 길이(m)

3.2 선박충돌로 인한 교량부재의 연간파괴빈도

AASHTO 기준에 의한 위험도 분석의 기본방향은 통항선박 및 항로여건을 반영하여 산정하는 연간파괴빈도가 허용연간파괴빈도를 초과하지 않음을 통하여 안전성을 확인한다. 연간파괴빈도($AF_{Failure}$)는 아래 식(3)과 같이 계산된다.

$$AF_{Failure} = \sum (N)(PA)(PG)(PC) \quad (3)$$

여기서, $AF_{Failure}$ = 충돌에 의한 연간교량파괴빈도

N = 선박규모별 통항횟수

PA = 선박의 항로이탈확률

PG = 항로를 이탈한 선박이 교각이나 상판과 충돌할 기하학적 확률

PC = 항로를 이탈한 선박과 충돌할 때 교량이 파괴될 확률

AASHTO 규정에는 없으나 교량붕괴와 무관하게 선박충돌의 가능성을 평가하기 위하여, 식(3)의 좌측 3개항만을 고려하여 연간충돌빈도를 산정하였다.

$$AF_{collision} = \sum (N)(PA)(PG) \quad (4)$$

앞서 언급한 이들 빈도의 산정은 입출항 항로의 두 중심선에서 좌우로 선박길이의 3배 거리 내에 위치한 교각과 상부구조 부재를 대상으로 한다. AASHTO 규정에 의한 허용연간파괴빈도는 보통교량에 있어서는 0.001, 중요교량일 때는 0.0001이며, 본 교량에 있어서는 중요교량이기 때문에 그 기준 값인 0.0001을 적용하였다.

선박의 항로이탈 확률PA는 운항자의 과실, 해상 환경 영향 그리고 기관 손상 등으로 항해 불능 상태가 발생할 확률을 나타낸다. 이러한 사고의 주요 요인은 여러 가지 요인별로 구분할 수 있으며, AASHTO 기준은 이 항목들을 통계적인 방법을 통하여 설계에 적용할 수 있도록 하였다.

선박충돌은 발생사태가 극히 적고, 국내의 경우 관련 자료의 수집에 한계가 있으므로, 아래의 식(5)을 이용한 근사적 방법을 이용하여 산정하였다.

$$PA = BR \times R_B \times R_X \times R_{XC} \times R_D \times R_P \quad (5)$$

이 때, BR은 항로이탈의 기본율로, 연구 대상지역에서는 바지선은 거의 운항되지 않고 있으므로 Table 1의 선박에 대한 기본율을 적용하였다.

Table 1. The base rate of aberrancy

Type	Applied coefficient	
Ship	$BR = 0.6 \times 10^{-4}$	Applied
Barge	$BR = 1.2 \times 10^{-4}$	

R_B는 교량의 위치에 따른 보정계수로 수로영역은 항로의 형상에 따라 직선영역, 전이영역, 꺾임/곡선 영역으로 구분할 수 있다. 본 연구 지역은 $\theta=45^\circ$ 인 꺾임/곡선영역에 해당되며 이에 대한 보정계수 R_B=2.09 이다. 또한, 항로방향에 평행한 조류의 평균유속(V_c)은 0.7m/s(2.52km/hr)이며 이에 대한 보정계수는 식(6)을 이용하여 산정하였다.

$$R_X = 1.0 + \frac{V_c}{19} = 1.14 \quad (6)$$

본 교량은 수로의 직각방향으로 지나가는 특성상 항로방향에 직각한 조류의 평균유속(V_{xc})은 0.0m/s(0.0km/hr)이다. 따라서 항로방향에 직각방향 조류속에 대한 보정계수 R_{xc}는 식(7)에서 보는 바와 같이 1.0이 된다.

$$R_{xc} = 1.0 + V_{xc} = 1.0 \quad (7)$$

통행선박 밀도에 관한 보정계수 R_D는 교량이 설치되는 위치가 대형선박의 통과가 가능한 유일한 수로임을 고려하여 선박통항상태를 고밀도(R_D=1.6)로 보고 보정계수를 상정하여 적용하였다. 또한 도선사 승선에 관한 보정계수(R_P)는 AASHTO

규정상에 없는 보정계수이나, 도선사가 탑승할 경우 사고율은 크게 감소한다는 최근 연구 성과를 반영하여 적용하였다.

광양항은 입출항하는 선박에 대해서는 원칙적으로 도선사 용이 의무화되어 있고, 대한민국 선박이 아닌 선박으로 총톤수 500톤 이상의 선박, 국제항해에 취항하는 대한민국 선박으로 총톤수 500톤 이상의 선박 그리고 국제항해에 취항하지 않는 대한민국 선박으로 총 톤수 1천톤 이상의 선박은 강제도선 대상이다. 따라서 교량에 위협이 되는 모든 선박에 도선사가 탑승한다고 볼 수 있으며, 본 연구에서는 R_P = 0.33을 적용하였다.

기하학적 확률PG는 선박이 정상적인 운항이 불가능한 상태에서 항로를 이탈하여 교량구조물의 기초와 충돌을 일으킬 확률을 의미하며, 정규분포를 이용하여 모형화 하였다. 본 연구에서는 교량이 설치된 위치 좌우측에서 항로방향이 변경되었으며, 이를 해석에 반영하기 위하여 입·출항에 있어 각각 두 개의 경우의 수를 도입하여 기하학적 확률을 산정하였다.

교량의 파괴확률PC는 Table 2와 같이 선박의 충격하중(P)에 대한 교각의 횡방향 내하력(H)의 비율에 의해 결정된다. 여기서, PC는 파괴확률, H는 교각 내하력 그리고 P는 선박충돌에 의해 기초에 전달되는 충격하중을 나타낸다.

Table 2. Probability of collapse

Collision load and load carrying capacity of pier	Failure probability of bridge
$0.0 \leq H/P < 0.1$	$PC = 0.1 + 9(0.1 - \frac{H}{P})$
$0.1 \leq H/P < 1.0$	$PC = 0.111(1.0 - \frac{H}{P})$
$\frac{H}{P} \geq 1.0$	PC = 0.0

3.3 위험도 분석 결과

본 연구 대상교량구조물인 묘도-광양간 현수교에 대한 위험도분석을 수행한 결과 다음과 같다. 충돌 방지공 설치 전에는 허용붕괴빈도수가 묘도측 주탑(PY1)에서는 0.0019, 광양측 주탑(PY2)에서는 0.0032로 나타나 AASHTO 기준에서 제시하고 있는 허용치인 0.0001 을 크게 상회하여 충돌 방지공 설치가 필요한 것으로 나타났다.

반면, 충돌 방지공 설치 이후의 연간파괴빈도 분석결과는 묘도측 주탑이 5.04×10^{-7} , 광양측 주탑이 1.51×10^{-6} 으로 AASHTO 기준에서 제시하고 있는 허용치인 0.0001을 충분히 만족시키는 것으로 나타났다. 즉, 이상의 결과로부터 충돌 방지공 설치로 인한 연간교량파괴빈도 감소효과는 PY1의 경우 1/2,361, PY2의 경우 1/2,265로 분석되었다.

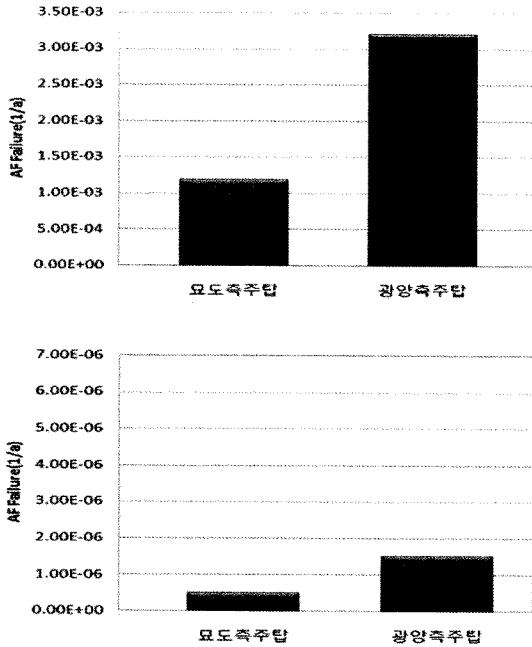


Fig. 2. Results of risk analysis.

(upper: before installation, lower: after installation)

4. 선박충돌에 따른 교량 안전성

4.1 충돌 방지공 및 지반조건

선박과 충돌 방지공의 충돌분체는 충돌순간 선박의 속도와 선박의 질량, 그리고 수리동역학적 추가 질량에 의한 운동에너지의 시간에 대한 변화량으로 나타낼 수 있다(Chunhua, 2001). 충돌시 구조물에 입력되는 선박의 운동에너지는 구조물 및 선박의 변형 에너지에 의해 소산된다. 즉, 운동에너지의 소산은 충돌체 또는 피충돌체의 기하학적 특성 및 재료의 특성에 의해 발생하는 것으로 볼 수 있다.

선박의 충돌에 있어서 선박은 충돌체로서 선박의 용도 및 특성에 따라 선박의 기하학적 특성을 다르게 보유하고 있으며, 그에 따라 충돌시 운동에너지의 소산은 충돌 선박의 종류에 따라 다르게 나타날 수 있다. 또한 피충돌체인 충돌 방지공의 경우 구조적 형식, 사용재료의 특성, 지반조건 등 기타요인에 의해 충돌체인 선박으로부터 입력되는 운동에너지에 대한 충돌 방지공의 흡수에너지가 매우 상이하게 나타날 수 있다. 섬식 충돌 방지공은 교량의 교각 주위에 설치하며, 선박 충돌에 대하여 기존의 타 형식 충돌 방지공에 비해 매우 뛰어난 에너지 흡수 능력을 보유하고 있으며, 설치 해역의 해양파와 조류에 대해 충분히 안전하도록 피복석을 설치하고, 그 내부에 에너지 흡수가 뛰어난 sand 또는 rock을 채워 시공한다.

Fig. 3은 섬식 충돌 방지공에 선박이 충돌하는 경우 발생할 수 있는 거동의 특성을 나타내고 있다.

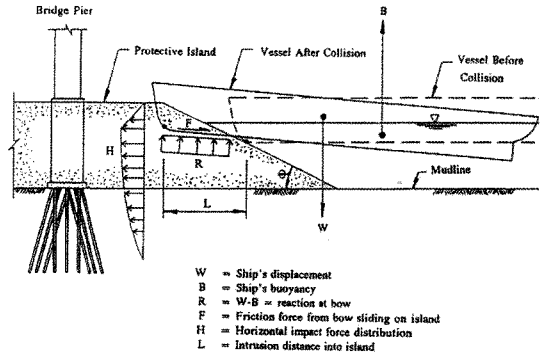


Fig. 3. Mechanism of island protection.

Fig. 4와 Fig. 5는 본 연구 지역의 섬식 충돌 방지공을 나타내고 있는 그림으로 주탑부의 평면도와 단면도 형상을 보여주고 있다. Fig. 4는 묘도측 주탑부를 Fig. 5는 광양측 주탑부를 나타내고 있다.

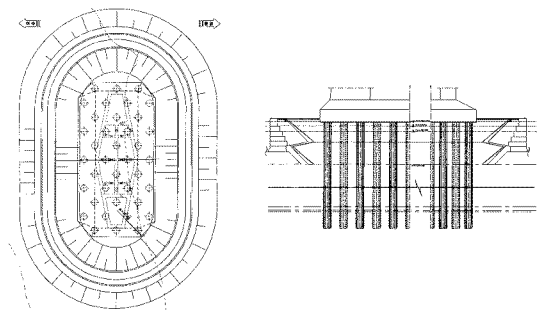


Fig. 4. Island protection(Myodo).

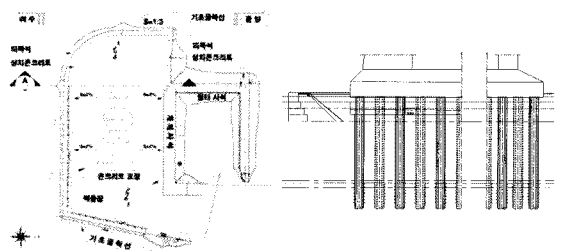


Fig. 5. Island protection(Gwangyang).

Table 3은 섬식 충돌 방지공을 적용한 묘도측과 광양측 하부지반의 적용물성치를 나타내고 있다. 충돌방지공이 계획된 주탑 구간의 하부지층은 수심 8~13m, 연약층 심도 18~21m의 구간으로 안벽식 구조물 및 내부 매립에 의한 안정성확보를 위하여 연약지반 처리를 실시하였다. 연약지반 처리공법은 안벽 아래 기초사석 하부와 안벽 내부 매립모래 하부로 구분하여 선

정하였으며, 안벽하부는 사석기초의 침하방지, 지지력 확보 및 선박충돌시 안벽보호 등을 고려하여 심층혼합처리 공법 중 DCM (Deep Cement Mixing)공법을 적용하였다. DCM 공법은 연약층 내에 시멘트계 고결체를 원지반과 교반 혼합하여 주상 또는 벽식의 개량체를 형성하는 공법으로 개량지반의 강도증대 효과가 커서 블록하부지반의 안정성 확보에 우수한 공법이다(전라남도, 2007).

Table 3. Material properties

Type		γ_t (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	ν
매립재	Sand	18.0	0	25	0.35
	산토	18.0	5	25	0.35
Cohesive soil	Myodo	15.1	10	0	0.45
	Gangyag	15.9	20	0	0.45
Gravel with Sand		19.0	0	28	0.35
Weathered soil		20.0	15	30	0.32
Weathered Rock		21.0	30	33	0.30
Soft Rock		24.0	200	37	0.27
Reinforced Ground (DCM 60%)		19.2 ~ 19.5	175	0	0.40
Reinforced Ground (DCM 40%)		16.7 ~ 17.1	6~12	21.1	0.35

4.2 대상 선박 및 충돌 방지공 모델링

선박은 판과 보강재를 효율적으로 조립한 매우 복잡한 구조물이고, 이동하는 구조물로서는 최대 규모의 구조물이다. 따라서 선체는 부재 수가 매우 많은 복잡한 구조물이므로 충돌 방지공 해석을 위해 개개의 부재를 모두 고려하여 해석하는 것은 비경제적일 것이다. 따라서 해석 대상, 목적, 구조물의 역학적 특성 등을 고려하여 해석법을 실시하였다. 본 연구에서 충돌 해석에서는 광양항 항로의 통항시 만재상태의 선박으로, 설계수심에서 통항 가능한 최대 선박으로 정하였으며 그 제원은 Table 4와 같다.

Table 4. Lateral bearing capacity of pylon and side pylon

구분	Dead weight	Length overall (m)	Beam (m)	Depth (m)	Draft (m)	Maximum knot (m/sec)
PY1	Container ship (210,000)	452.2	62.1	35.1	18.0	3.50
PY2	Cargo ship (80,000)	241.0	35.0	20.0	14.2	3.50

교량구조물의 충돌하중 산정시에 사용되는 충돌속도는 Fig. 6을 이용하여 산정하였다(Larsen, 1993). 여기서, V는 설계충격 속도(m/s), VT는 정상 기상조건에서 수로를 지나는 선박의 운항속도(m/s), Vmin은 최소설계충격속도(m/s)로서 교량이 설치된 곳의 연평균유속보다는 커야 한다. X는 수로의 중심선에서 교각표면까지의 거리(m), XC는 수로의 중심선에서 수로 끝까지의 거리(m)이며, XL은 설계선박 전체 길이의 3배 거리(m)이다. 광양항 내 본 연구 범위에서의 선박운항속도(VT)는 화물선이 4 Knots이며, 컨테이너선이 7 Knots이다.

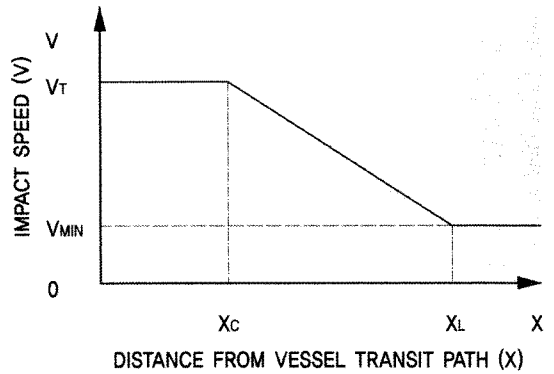


Fig. 6. Design collision velocity distribution.

충돌시 선박에서의 대부분의 변형은 선수 Bulbous Bow 부분에서 발생할 것으로 예상되기 때문에 선수 부분 PY1에서는 45.5m, PY2에서는 24.2m 까지는 상세 모델링을 하였으며, 선측과 선미부분은 Rigid Body로 모델링 하였다. 특히 충돌이 일어나는 Bulbous Bow부분과 Bow-flare 부분에서의 변형을 실제로 묘사하기 위해, 상세 모델링을 실시하여 실제와 같은 강성을 가질 수 있도록 모델링 하였다. 선수 부분의 사용 요소는 실제 선박의 판두께(20mm)를 고려한 Shell 요소를 사용하였으며, 사용한 강재는 일반 구조용강 SS400을 적용하였으며, Table 5에 SS400의 제원을 나타내었다.

이를 ANSYS/LS-DYNA의 Nonlinear Elastic Model중 Plastic Kinematic Model을 사용하여 입력하였다. 선측과 선미는 Rigid Body로 모델링 하였으며, 선박의 진행 방향을 제외하고는 모두 구속시켜 이상화 시켰다.

Table 5. Material properties of SS400

Modulus of elasticity	0.196E+12Pa
Possison's ratio	0.3
Density	7,850kg/cm ³
Yield strength	314Mpa



Fig. 7. Shape of ship modelling(210,000 DWT).

4.3 충돌 방지공 해석결과

충돌 방지공을 해석하기 위하여 본 연구에서 적용한 충돌 방지공의 해석모델은 Solid 모델을 사용하였으며, 저면부 암석층과 콘크리트 블록은 탄성모델을, 보강토 부분과 매립해사 부분은 탄소성 모델을 적용하였다. 또한, 선박의 에너지를 직접적으로 흡수하는 채움사석 부분은 ANSYS/LS-DYNA의 Piecewise Linear Plasticity Model을 적용하여 해석을 수행하였다. 교량구조물에 선박이 충돌을 일으켰을 경우를 가정하여 본 연구대상 구조물을 수치 해석한 결과를 다음과 같다.

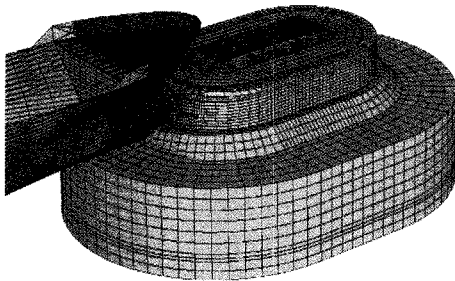


Fig. 8. Collision modelling.

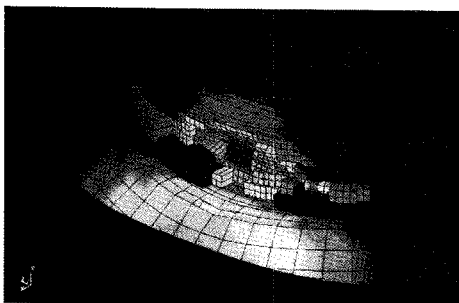


Fig. 9. Deformed shape of ship collision protection.

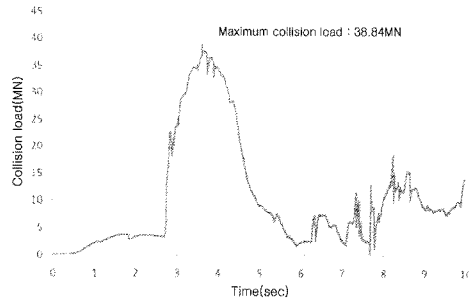


Fig. 10. Ship collision.

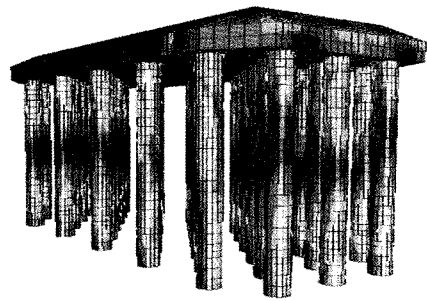


Fig. 11. Distribution of foundation pile stress.

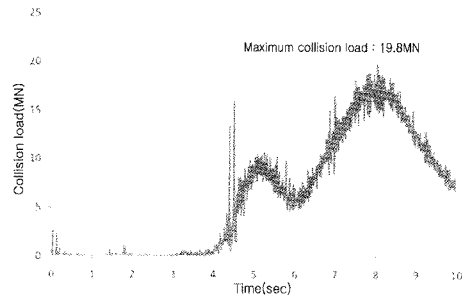


Fig. 12. Foundation.

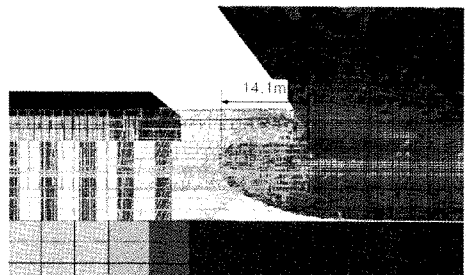


Fig. 13. Punching depth of fore perpendicular.

충돌의 대부분은 초기에 접촉하는 콘크리트 블록에서 발생하였으며, 이후 뒷채움재와의 접촉으로 인하여 충돌에너지가 소산되는 것으로 나타났다. 충돌 후 블록의 변형도를 보면 충돌로 인한 대부분의 에너지는 콘크리트 블록에 의해 흡수되고 이후 2차적으로 뒷채움재와의 충돌에 의해 에너지가 소산된 것으로 나타났다. 충돌 방지공과 선박충돌에 의해 발생하는 충돌하중을 시간경과에 따라 나타낸 그림을 보면 최대 충돌하중은 38.84 MN 으로 나타났으며, 교량기초에 전달되는 최대충돌하중은 19.80 MN으로 최초 발생하중에 비하여 약 48% 감소하여 전달되는 것으로 나타났다.

또한, 선박충돌시 기초파일의 응력분포도를 보면 최대응력의 약 1.64 MPa로 말뚝의 허용응력내인 것으로 나타났다. 대부분 파일에 유사한 응력분포를 보이고 있으나, 충돌선반 선수부 전면에 위치한 파일에서는 응력이 다소 크게 나타난 것을 알 수 있었다. 충돌 후 선수부의 관입깊이를 나타낸 그림에서 충돌 방지공 블록과 교각기초의 최소 이격거리가 20.0m이다. 즉, 선수부의 최종관입깊이가 14.1m로 나타난 것으로 봐서 이는 선박 충돌시에서도 선박과 교각기초와의 직접적인 충돌위험은 없는 것으로 분석되었다. 이상의 해석결과를 정리해서 표로 나타내면 다음 Table 6과 같다.

Table 6. Analysis condition and result of non-linear numerical analysis

Collision vessel	210,000 DWT
Colision velocity	3.5 m/sec
Colision load	38.84 MN
Transmission load	19.80 MN
Stress	1.64 MPa
Punching depth	14.1 m

5. 결 론

묘도-광양간 현수교는 국내 최초로 인공섬을 이용한 안벽식 충돌 방지공을 적용하였으며, 교량 및 선박의 상호손상이 최소화할 수 있도록 설계 검토하였다. 위험도분석결과 충돌 방지공 설치전에는 허용붕괴빈도수가 묘도측 주탑(PY1)에서는 0.0019, 광양측 주탑(PY2)에서는 0.0032로 나타나 AASHTO 기준에서 제시하고 있는 허용치인 0.0001 을 크게 상회하여 충돌 방지공 설치가 필요한 것으로 나타났으며, 충돌 방지공 설치로 인한 연간교량과피빈도 감소효과는 PY1의 경우 1/2,361, PY2의 경우 1/2,265로 분석되었다.

유한요소해석 결과, 충돌 방지공 블록과 교각기초의 최소이격거리가 20.0m이며, 선수부의 최종관입깊이가 14.1m로 나타난 것으로 봐서 이는 선박 충돌시에서도 선박과 교각기초와의 직접적인 충돌위험은 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 전라남도(2007), 여수국가산단 진입도로개설공사(제3공구), 실시설계보고서, pp. 48-56.
- [2] AASHTO(1991), Guide specification and commentary for vessel collision design of highway bridges, Washington, D.C, 128-141.
- [3] Chunhua L.(2001), States wide vessel collision design for bridges, Journal of Bridge Engineering, ASCE, pp. 145-155.
- [4] Larsen, O. D.(1993), Ship collision with bridges-The interaction between vessel traffic and bridge structures, Structural Engineering Documents, pp. 82-87.
- [5] Minorsky, W.(1959), An analysis of ship collisions with reference to nuclear power plants, J. of Ship Res: Vol. 3, No. 2, pp. 1-4.
- [6] Zhang S., Ocakli H. and Pedersen P.T.(2004), Crushing of Ship Bows in Head-on Collision, International Journal of Maritime Engineering, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, pp. 3-5.

원고접수일 : 2009년 03월 30일
 원고수정일 : 2009년 05월 15일 (1차)
 2009년 06월 18일 (2차)
 게재확정일 : 2009년 06월 25일