

교량의 선박충돌 설계

Ship Collision Design of Bridges



이 성 로*

*목포대학교 건설공학부 토목공학전공 교수

1. 머리말

우리나라는 삼면이 바다로 둘러 싸여 있고 3천개 이상의 크고 작은 섬을 갖고 있다. 이에 따라 육지와 도서, 또는 도서간의 연결이나 항만을 가로지르는 해상교량 및 구조물의 건설이 증가하고 있으며 내륙에도 한강수계를 비롯하여 대하천에 이르기까지 많은 교량이 가설되어 있다. 따라서 해상교량 및 구조물의 기초가 항로상에 위치할 경우 통항 선박과의 충돌 가능성 또한 증가하고 있다. 이러한 교량구조물과 선박과의 충돌사고 시 사회인프라의 손실은 물론 폐유유출에 의한 해상환경오염과 인명 손실의 위험이 지대하다. 그러나 몇몇 대형 해상교량의 경우만 미국 시방서 등을 기준으로 하여 선박충돌을 설계에 반영하는 경우가 전부이며, 교량의 선박충돌에 대한 실용적 연구가 본격적으로 이루어지지 않고 있다. 도로교 설계기준(2003)상의 충돌하중에 관하여는 ①자동차의 충돌, ②유복 등의 충돌, ③선박의 충돌을 고려하여야 한다고 명시되어 있다. 보편적인 교량설계상의 ①,②항은 많이 고려하고 집하지만 선박충돌을 고려하여 교량을 설계하는 일은 흔히 있는 문제가 아니다. 그러나 연륙교, 연도교 및 대하천을 횡단하는 교량건설이 증가 추세에 있는 현재 하천, 항로상 또는 항로 근처에 교각을 설치하여 선박과 충돌할 우려가 있는 경우 선박 통과 소요폭, 형하고의 면밀한 검토가 있어야 한다. 교량의 선박충돌설계에 대해 상

세하게 기술하고 있는 AASHTO LRFD 설계기준에서도 세 가지의 설계방법 즉, Method I, Method II, Method III에 의하여 선박에 의한 충돌이 예상되는 항로상에 건설되는 교량 구조물은 선박에 의한 충돌하중에 견딜 수 있게 설계되거나, 방호물, 계선말뚝, 통로 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. 그림 1은 AASHTO 설계기준에서의 설계방법을 나타낸 것이다.

설계 선박은 교량의 중요도 등급과 선박, 교량 및 항로의 특성에 의하여 결정되며, 교량의 각 교각과 경간구조부재에 대해 선박충돌 위험도평가에 의하여 계산한 추정연간과피빈도가 그 구조부재의 허용기준을 만족하여야 한다. 적절한 형하고를 만족하게 되면 교량의 교각부재가 선박충돌에 대해 안전하도록 설계되어야 한다. 이러한 경우 설계선박이 결정되면 선박의 적재중량톤수, 충돌속도 등에 의해 등가 정적선박충격하중을 계산하고 선박에 의한 충격으로부터 하부구조물과 기초의 전반적인 안정성

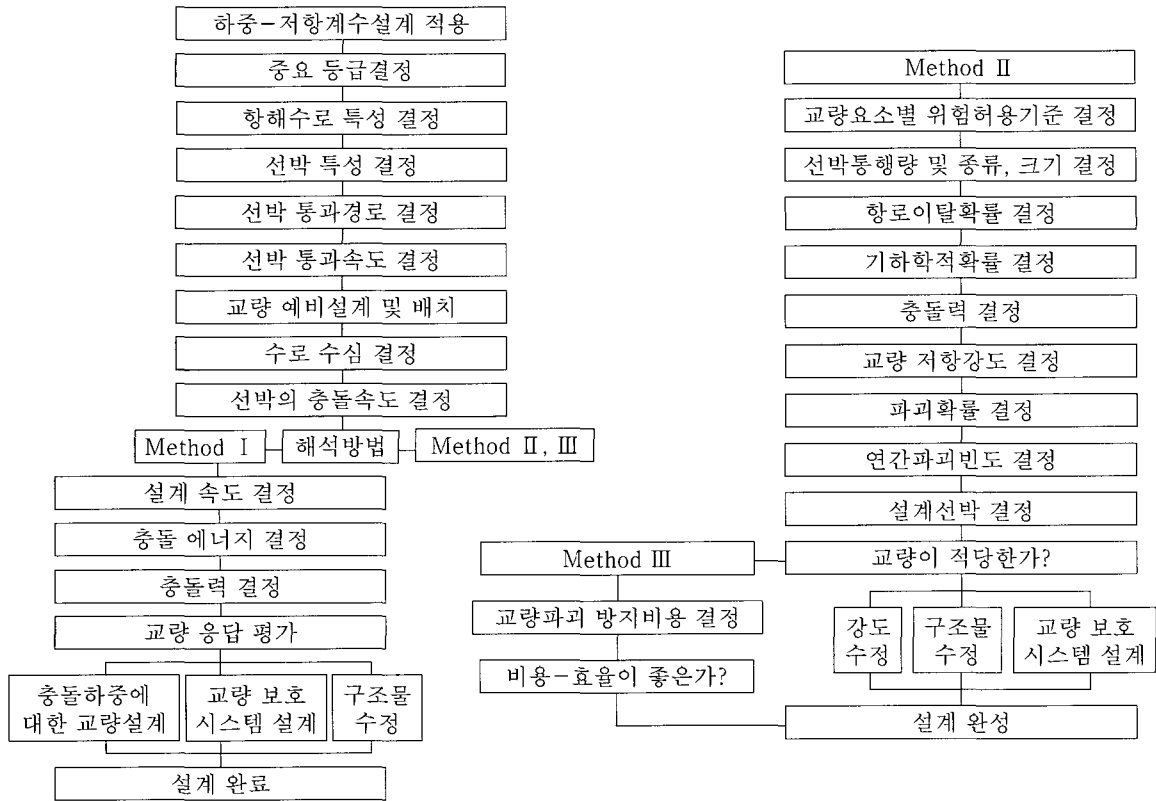


그림 1 설계절차에 대한 Flow Chart

을 만족하고 또한 모든 국부적인 충돌하중에 대해 하부구조물 부재들의 건전성이 확보되도록 설계하여야 한다. 따라서 항로상의 교량에 대한 설계시 설계선박의 결정은 중요한 요소가 된다. 이에 대해 교량의 선박충돌 설계에서 고려해야 할 선박충돌위험과 설계선박선정, 선박충돌력, 선박충돌방호공에 대한 주요 내용을 정리하였다.

2. 선박충돌에 대한 연구동향

선박충돌과 관련된 많은 연구는 주로 선박과 선박과의 충돌이나 선박의 좌초 등을 주요 연구대상으로 하고 있으며 조선공학 분야에서 활발하게 수행되었다. 선박의 충돌에 대한 선체강도의 연구는 1950년대 말 원자력선내의 용기를 타선박의 충돌로부터 보호하기 위하여 효율적인 구조를 갖추기 위한 목적으로 시작되어(Minorsky, 1959) 근래에는 원유운반선, LNG 및 LPG 운반선 등과 같은 위험화물 운반선의 경우에는 충돌이나 좌초와 같은 재난사고로 인하여 해양오염 및 선각거더의 붕괴라는 문제가 대두되고 있기 때문에 이에 대한 연구가 진행되고 있다.

교량구조물의 충돌에 대해서는 해동시 유빙이나 홍수시 부유물들에 의한 충돌하중에 대하여 교량의 하부공을 보호하는 시설의 설계정도에 대하여 연구되었다. 그러나

1960년부터 전 세계적으로 많은 나라에서 발생한 선박 및 바지선의 교량충돌사고 기록자료 등을 보면, 항로상 선박통행량의 급격한 증가, 항로를 통과하는 교량의 계획 및 건설 사례 증가, 1960년이래 25년 이상 교량 설계시 선박충돌하중 미고려, 교량의 불충분한 선박통과 소요폭 등의 요인으로 선박충돌 사고가 많이 발생함을 알 수 있다(Frandsen, 1983, 1991). 이러한 사고들로 인해 항로를 가로지르는 교량의 안전성 확보에 관심이 모아지게 되었고 여러나라에서 기존 교량의 선박충돌에 대한 취약성 평가, 신설 교량에 대한 설계기준 정립, 선박충돌에 대한 규약과 시방서 개발과 관련한 연구가 수행되었다(NPRA(1982), TC(1982), USNRC(1983), Knott (1990), Frandsen(1991)). 특히 1980년 미국의 플로리다에서 발생한 Sunshine Sky Bridge의 붕괴사고(그림2,3 참조)로 인하여 선박과 해상교량의 하부구조와의 충돌에 대한 연구가 활성화되었다. 이러한 노력을 바탕으로 미국의 연방고속도로국은 1988년 최초로 시방서에 이를 도입해야 한다는 결론을 내리고 1991년에 선박과 교량의 충돌에 대한 시방서를 제시하였다(AASHTO(1991)).

선박충돌에 대한 해석은 2개의 부분, 즉 외부역학 및 내부역학의 해석으로 나누어진다. 외부역학에서는 충돌선박의 강제운동과 주변 유체의 효과를 고려함으로써 충

들에 의한 충격량과 에너지소산을 다루며 내부역학에서는 충돌시 선체의 파손에 의해 소산되는 에너지에 의한 손상과 구조응답을 해석한다. 위의 두가지 역학문제는 독립적으로 수행할 수 있다.

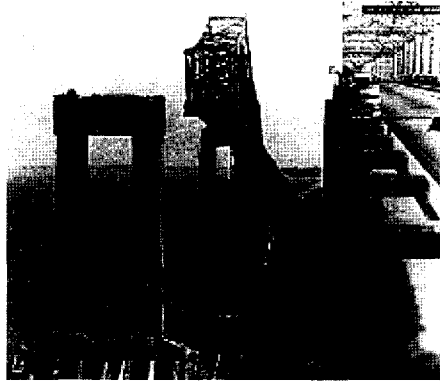


그림 2 Sunshine Skyway Bridge

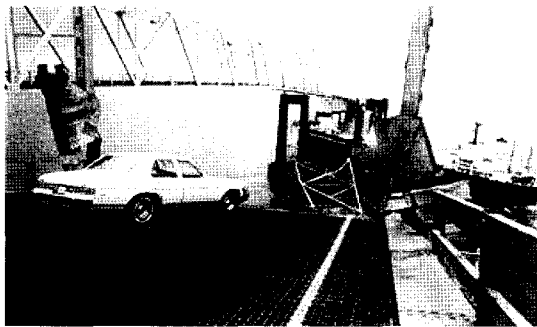


그림 3 Sunshine Skyway Bridge

외부역학에 대한 연구는 Petersen and Pedersen(1981), Simonsen(1997), Suzuki *et al.*(2000) 등에 의해 수행되었으며, 운동방정식 또는 에너지보존법칙, 운동량 원리를 이용하여 선박충돌에 의한 에너지소산을 해석하였다.

내부역학에 대한 연구는 선박 충돌과 좌초를 포함하며 소성변형, 파괴역학, 마찰 등을 해석하는 방법에 따라 간편식을 이용하는 방법부터 비선형 유한요소 해석에 이르기 까지 해석 모델링과 계산과정이 차이가 난다. Minorsky (1959), Akita *et al.*(1972)는 원자력선의 충돌에 대한 해석을 간편식을 이용하여 해결하였고, Reardon and Sprung (1996), Suzuki *et al.*(1999), Pedersen and Zhang(2000)은 Minorsky의 연구결과를 발전시켰다. 또한 Pedersen *et al.*(1993), Wang *et al.*(1998), Chen(2000) 등은 설계에 적합하도록 내부역학에 대한 간편 해석법을 발전시켰다. 이로부터 선박충돌에 대한 문제를 선박-선박 충돌 뿐만 아니라 선박-플랫폼 충돌, 선박-교량 충돌 등에 대한 적용이 수월하게 하였다. 수치해석에 대한 연구는 초기의

간편 유한요소해석(Ito *et al.*(1992))에서 재료의 대변형, 비선형 등을 충분히 고려하는 비선형 유한요소해석(Amdahl *et al.*(1995), Kitamura(1996), Kuroiwa(1996))으로 발전되고 있다.

3. 선박과 교량의 충돌위험

3.1 선박충돌위험

일반적으로 선박의 충격에 의해 발생하는 최악의 경우의 하중을 지탱할 수 있는 교량구조물을 설계하는 것은 불가능하다. 그러나 선박의 충격에 의해 교량 구조물에 작용하는 부가하중의 빈도를 추정하는 것은 가능하며, 이로부터 허용기준을 만족하는 설계를 선택할 수 있다.

교량의 선박충돌 설계에서 대상선박은 선박의 통행량(N)으로부터 결정되며, 교량의 각 교각과 경간구조부재에 대해 선박충돌 위험도평가에 의하여 계산한 추정 연간 파괴빈도가 그 구조부재의 허용기준을 만족하여야 한다. 선박충돌에 대한 교량의 붕괴위험 허용기준은 국가법규와 대형교량과 관련하여 일부의 경우에만 수립되어 있으며, 일반적으로 100년동안 년 0.0001~0.001수준이다. 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

3.2 항로이탈확률(PA)

항로이탈확률 PA는 항로상에서 장애물을 피하는데 실패할 확률이다. PA값의 추정은 1970년대 초기부터 많은 연구자들에 의해 수행되었으며 특히, AASHTO(1991)에서는 항로이탈확률의 크기를 수로굴곡부, 횡방향 흐름, 종방향 흐름, 교통밀도에 따라 수정인자로 조정하고 있다. 항로이탈확률은 다음과 같이 구할 수 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 : 선박의 통과경로에 평행한 유속에 대한 보정계수

R_{XC} : 선박의 통과경로의 직각방향 유속에 대한 보정계수

R_D : 통행선박의 밀도에 대한 보정계수

항로이탈의 기본율 (BR)은 다음과 같다.

•배의 경우 : $BR = 0.6 \times 10^{-4}$

•바지선의 경우 : $BR = 1.2 \times 10^{-4}$

그림 4에 나타낸 수로영역에 대한 교량의 상대적인 위치에 관련된 교량위치에 따른 보정계수 (R_B)는 다음과 같다

•직선영역 : $R_B = 0.1$ (3)

•전이영역 : $R_B = 1 + \frac{\theta}{90^\circ}$ (4)

•꺾임/곡선 영역 : $R_B = 1 + \frac{\theta}{45}$ (5)

여기서, θ : 그림 2에 나타낸 꺾임 혹은 곡선영역의 회전각도 (단위: 도)

배의 통과경로에 평행한 유속에 대한 보정계수 (R_C)는 다음과 같다

$$R_C = 1 + \frac{V_C}{19} \quad (6)$$

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

수로에서 배의 통과경로에 직각방향 유속에 대한 보정

계수 (R_{XC})는 다음과 같다.

$$(R_{XC}) = 1.0 + 0.54 V_{XC} \quad (7)$$

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

$$R_D = 1.6$$

3.3 기하학적 확률(PG)

선박이 충돌 코스로 향해할 확률, 즉 기하학적 확률 PG는 일련의 환경들의 함수로 지역적인 조건에 따라 크게 달라진다. AASHTO에서는 역사적인 선박과 교량 충돌 데이터에 근거하여 교량 부근에서 사고 선박의 향해 항적을 모델링 할 때 그림 5와 같은 정규분포를 사용하고 있으며, 분포의 표준편차 σ 는 선박의 길이와 같고 평균 μ 의 위치는 향해 수로의 중심선이라고 가정하였다. 즉 왕복항로의 경우에는 입항항로와 출항항로의 중심선은 각 수로의 절반이다.

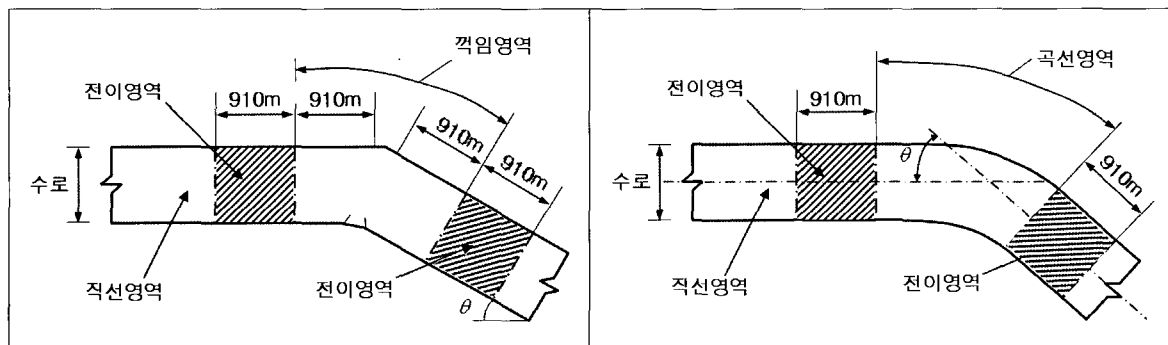


그림 4 교량 위치에 대한 수로영역

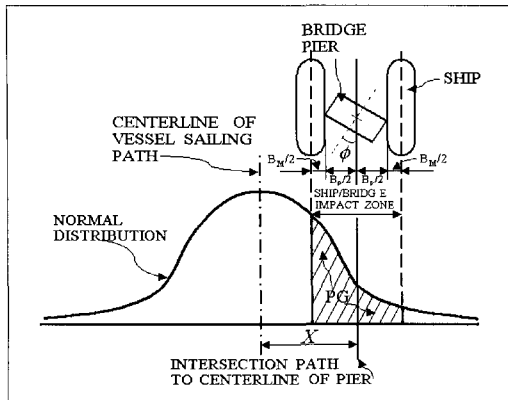


그림 5 교각충돌의 기하학적 확률의 정의

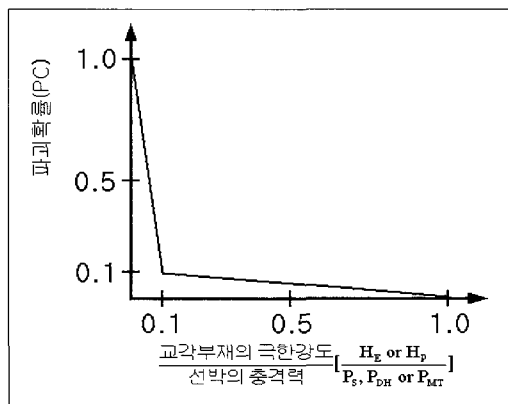


그림 6 파괴확률의 분포

3.4 붕괴 확률(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, 그림 6과 같은 분포형상을 가진다.

$$\bullet 0.0 \leq H/P < 0.1 \text{ 이면, } PC = 0.1 + 9 \left(0.1 - \frac{H}{P} \right) \quad (8)$$

$$\bullet 0.1 \leq H/P < 1.0 \text{ 이면, } PC = 0.111 \left(1.0 - \frac{H}{P} \right) \quad (9)$$

$$\bullet \frac{H}{P} \geq 1.0 \text{ 이면, } PC = 0.0 \quad (10)$$

여기서, P : 선박충격하중

H : 수평하중에 대한 교량 구조물의 횡저항 강도 (H_P or H_S)

3.5 설계선박 결정

설계자는 교량 구조물의 수평강도를 적절하게 가정하여 연간파괴빈도를 산정하게 되며, 이로부터 허용기준을 만족하는 교각의 최적 수평강도를 찾아낼 수 있다. 수평강도가 결정되면, 그 결과로부터 설계선박을 선정할 수 있다. 선정방법은 해당부재의 설계수평강도를 충격력으로 가정하고, 해당부재의 설계속도를 적용하여 등가의 적재중량톤수(DWT)를 산정하는 것으로 선박충돌해석 등의 상세해석에 사용한다.

4. 교각에 가해지는 선박 충격력

선박충돌시 교량 구조물에 가해지는 충격하중을 결정하는 것은 매우 복잡하며, 선박의 규모나 선수의 구조적 형상, 충돌속도, 수로 및 교량의 형상 등의 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 1976년 Woisin은 원자력선박이 다른 선박에 충돌하였을 때의 안정성을 검토하기 위한 물리모델 실험을 실시하였으며, 이로부터 선박의 규모에 대한 충돌하중을 그림 7과 같은 삼각형 확률분포함수로 나타내었다. 이러한 데이터에 기초하여 실험자료의 지속적인 분석을 통해 전체 충돌하중분포의 70분위수를 사용한 평균충돌하중식을 제안하였다. 식(11)은 선박과 교각이 정면충돌하는 경우에 교각에 작용하는 충격력이다.

$$P_S = 1.2 \times 10^5 \sqrt{DWT} \quad (11)$$

여기서, P_S : 선박 충격력(N)

v : 설계속도(m/s)

DWT : 선박의 적재중량 톤수

하부구조물의 설계를 위한 등가정적하중은 항해수로의 중앙선과 평행한 방향으로 설계충격하중의 100%, 또는 항해수로의 중앙선과 수직인 방향으로 설계충격하중의 50%를 각각 독립적으로 작용시켜야 하며, 선박과의 접촉에 노출되어 있는 하부구조물의 모든 부재는 작용하는 하중을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 선수의 돌출부, 경사 또는 flair거리(overhang, rake or flair distance) 등은 선박과의 접촉에 노출되어 있는 하부구조물의 위치를 결정하는 중요한 요인이며, 선수가 파손되어 하부구조의 퇴행부분과 접촉하는 경우도 고려되어야 한다.

위에서 규정된 두 가지 설계의 경우에 있어서 충격하중은 하부구조물에 다음과 같이 작용되어야 한다. 전체적인

안정을 위해서 설계충격하중은 그림 8과 같이 수로의 평균 수위 높이에서 집중하중의 형태로 가해지며, 국부적인 충돌에 대하여 설계충격하중은 그림 9와 같이 이물깊이에 대하여 등분포 수직선상의 하중으로 가해진다. 허부구조물에 충격하중이 가해질 수 있는 접촉면적을 결정하는데 있어서 선수의 형태는 전방으로 경사됐다고 가정한다.

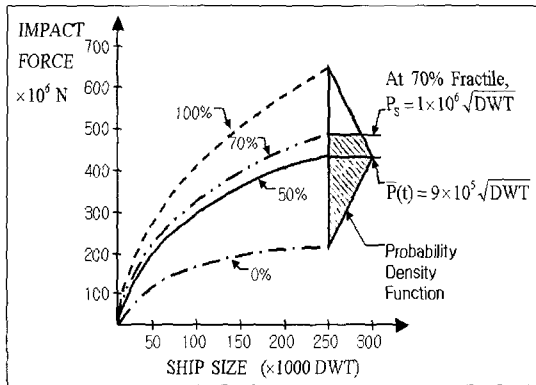


그림 7 충격하중의 삼각형 확률분포

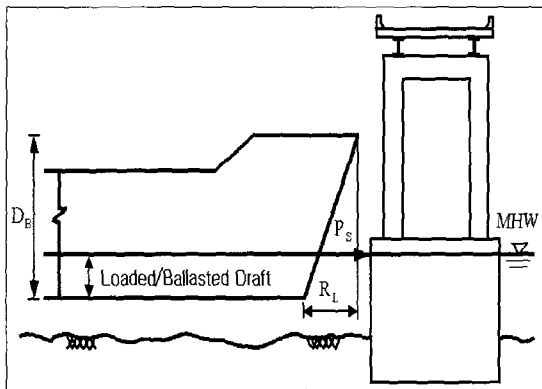


그림 8 교각에 작용하는 집중충격력

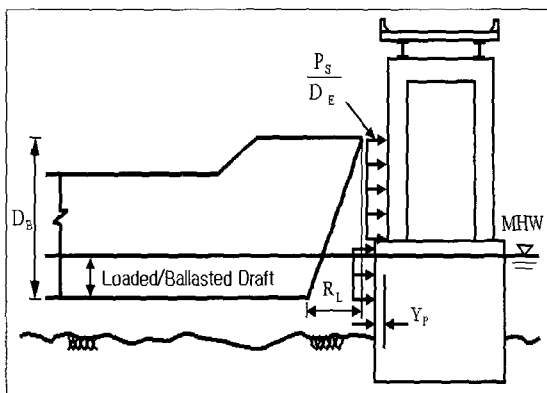


그림 9 교각에 작용하는 선박의 선충격력

1991년 덴마크에서는 Great Belt Bridge Project에서 Pedersen *et al*(1993)의 수치자료를 근거로 한 세부적이

고 포괄적인 선박의 충돌하중을 규정하였다. 이러한 연구를 통해 밝혀진 동적 특성들로부터 등가 정적분석에 근거한 설계에서 사용하는 충돌하중은 평균 충돌하중보다는 최대 충돌하중을 사용해야 한다는 결론을 내렸다. 이러한 결과를 바탕으로 분석적 충돌 사례의 결과에 근거하여 500DWT~300000DWT사이의 일반적인 상선에 대하여 최대 선수 충돌하중을 간편하게 추정할 수 있는 경험식을 제안하였다.

$$F_{bow} = F_o \cdot \bar{L} [\bar{E} + (5.0 - \bar{L}) \bar{L}^{0.6}]^{0.5}$$

for $\bar{E} \geq \bar{L}^{2.6}$ (12)

$$F_{bow} = 2.24 F_o [\bar{E} \bar{L}]^{0.5}$$

for $\bar{E} \leq \bar{L}^{2.6}$ (13)

여기서, P_{bow} : 최대 선수충돌력(MN),

F_o : 참조 충돌력 (=210MN)

$\bar{L} = L_{pp}/275 m$, L_{pp} : 선박길이(m),

$\bar{E} = E_{imp}/1425 MNm$,

E_{imp} : 소성변형에 의해 흡수되는 에너지 ($= \frac{1}{2} m_x v_o^2$)

m_x : 종방향운동에 대한 질량과 부가질량(5%)[$10^6 kg$]

5. 충돌 방호공

선박과 교각의 충돌위험을 줄이거나 없애기 위하여 방현재, 파일지지시스템, 돌핀시설, 인공섬시설, 부유식보호시스템 또는 이들을 조합한 방호시스템을 설치하여 교각을 보호할 수 있다.

5.1 방현재(Fender) 시스템

방현재는 비교적 작은 충돌하중으로부터 구조물을 보호하기 위한 장치로 교각기초의 전면이나 이를 보호하기 위한 구조물에 부착하여 사용된다. 방현재는 사용하는 재료에 따라 목재, 고무, 콘크리트, 강철방현재로 분류할 수 있으며, 해당재료의 역학적 성질을 이용하여 선박의 충돌에너지가 힘, 전단, 변형 등에 의하여 소산될 수 있도록 설계된다.

목재방현재는 수직재와 수평재를 망 형태로 구성하여 사용되며, 고무방현재는 성형 또는 조립에 의해 다양한 형태로 사용된다. 콘크리트방현재는 두껍지 않은 중공박스의 형태로, 강철방현재는 박스형태로 배열·조립된 프레

임과 브레이싱에 얇은 판을 부착하여 사용된다. 이들 방현재는 개별적으로 사용되기도 하며, 두가지 이상의 재료가 조합되어 사용되기도 한다. 그림 10, 11은 일반적인 형태의 콘크리트 박스 방현재 및 강철방현재를 나타낸 것으로 선수의 손상이나 불꽃발생을 방지하기 위하여 목재와 조합된 형태로 사용되고 있다.

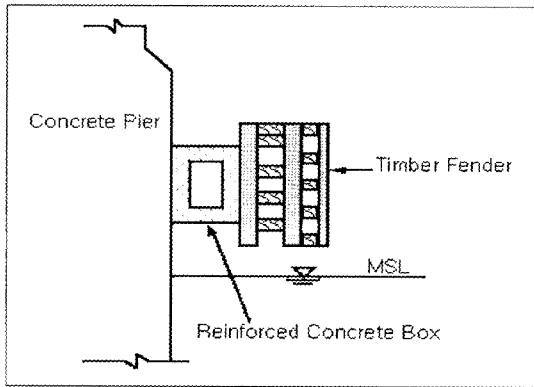


그림 10 콘크리트 박스 방현재

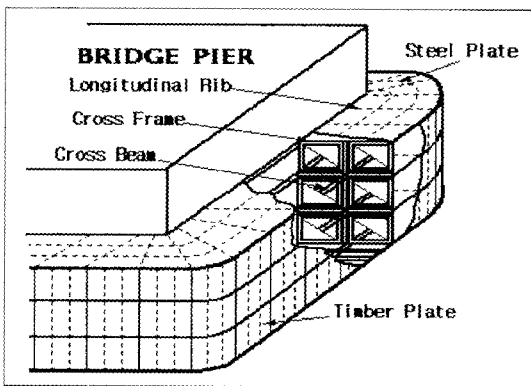


그림 11 강철 방현재

5.2 파일지지 시스템

파일지지 시스템은 독립적인 하나의 수직파일이나 단단한 덩개에 의해 연결된 파일그룹의 형태로 사용된다. 파일 그룹은 주로 휨에 의해 에너지가 흡수되는 수직파일이나 압축과 휨에 의해 에너지가 흡수되는 경사파일들로 구성된다. 선박 충돌하중에 의해 파일의 소성변형이나 손상이

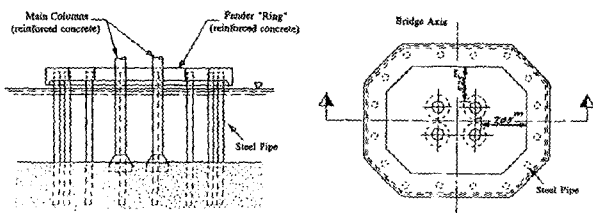


그림 12 파일지지 시스템

발생하며, 이는 선박이 교각과 충돌하기 전에 선박을 저지시키거나 충돌하중이 교각의 저항강도 이하가 되도록 감소시킨다. 그림 12는 파일지지 시스템의 일반적인 형태를 나타낸 것이다.

5.3 돌핀보호시설

돌핀은 비교적 큰 선박의 정박이나 교각의 보호에 사용되며, 일반적으로 구축된 강재시트파일을 타입하고 내부를 석재 또는 모래로 채워 상부에 콘크리트 캡을 덮는 원형셀의 형태로 만들어진다. 돌핀구조물의 설계는 충돌시 발생하는 에너지변화를 고려하여 이루어지며, 설계의 목표는 소성 대변형이 허용되는 상황에서 충돌에 의한 상부 최대변위가 돌핀 지름의 1/2이하가 되도록 한다. 에너지가 소산되는 과정은 선수의 파손, 선수의 들림, 선박과 돌핀의 마찰, 선박과 수로바닥과의 마찰, 돌핀의 이동, 돌핀의 회전 등에 따라 발생한다. 그림 13은 선박이 돌핀에 충돌하여 에너지가 소산된 상태를 나타낸 것이며, 그림 14는 Sunshine Skyway Bridge의 돌핀 보호시설 시공사례를 보여주고 있다.

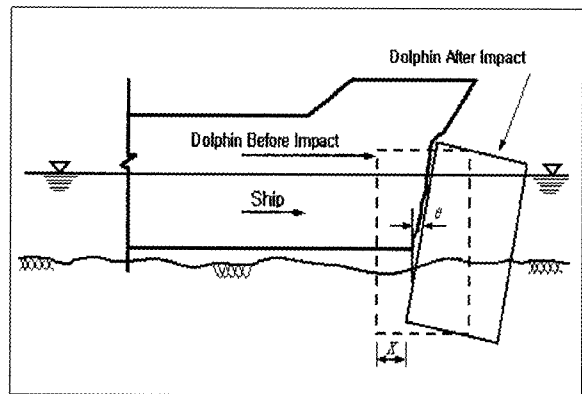


그림 13 선박과 돌핀에 의한 에너지 소산

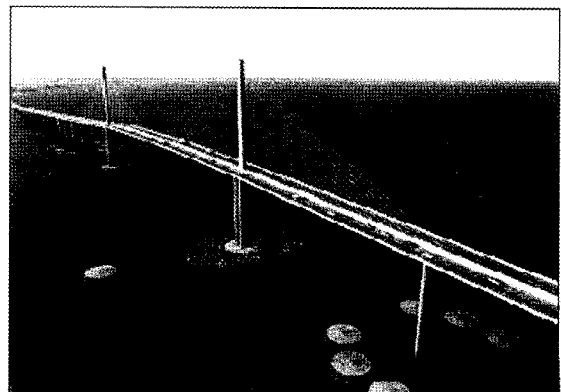


그림 14 돌핀 보호시설 시공사례

5.4 인공섬 보호시설

인공섬 보호시설은 교각 주위로 모래나 암석 등의 코어로 구성되며 두꺼운 피복체를 사용하여 파랑, 조류, 결빙에 의한 섬의 유실을 막는다. 인공섬을 통해 교각에 전달되는 선박 충돌하중은 교각이나 교각기초의 외부저항 능력을 초과하지 않아야 하며, 인공섬의 크기는 충돌로 인해 선박이 섬을 관통하더라도 교각과의 물리적인 접촉이 없도록 해야 한다. 그림 15는 선박이 인공섬에 충돌하여 에너지가 소산된 상태를 나타낸 것이며, 그림 15는 전형적인 인공섬 보호시설의 일반적인 형태를 나타낸 것이다.

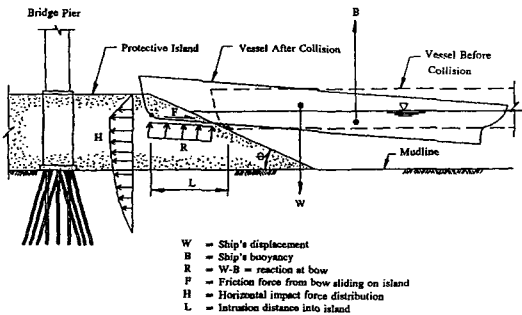


그림 15 선박과 인공섬에 의한 에너지 소산

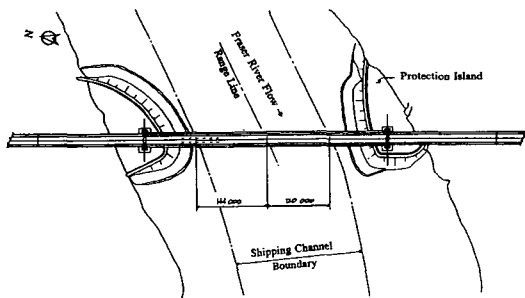


그림 16 인공섬 보호시설

5.5 부유식 보호시스템

부유식 보호시스템은 높은 인장력을 가지는 케이블을 사용하여 작은 하중과 큰 변형으로 선박의 에너지를 흡수하는 장치로, 수심이 비교적 깊은 곳에 위치한 교각이나 기초를 보호하는 경우 상당히 경제적이다. 대표적인 형태로는 케이블을 해저면에 고정시키고, 부표에 의해 케이블을 교각 주위에 위치하도록 하는 Cable Net Systems과 교각 전면에 대형 푼툰을 설치하는 Anchored Pontoons, 해저면에 고정된 구조물을 이용하여 충돌코스로 진행하는 선박의 방향을 바꾸는 Floating Shear Booms가 있다. 그

림 17, 18은 Cable Net Systems과 Anchored Pontoons의 일반적인 형태를 나타낸 것이다.

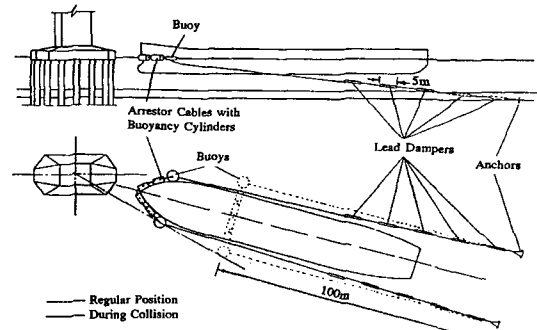


그림 17 Cable Net Systems

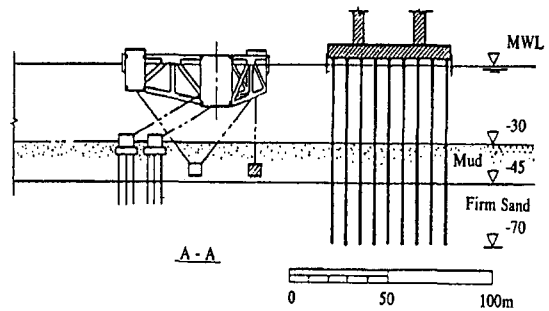


그림 18 Anchored Pontoons

5. 맺음말

1960년부터 미국과 유럽 등지에서 수십 건의 교량과 선박 또는 바지선의 충돌사고가 보고 되었지만, 그동안 국내에서는 내륙수로가 발달하지 않았고 해상교량의 건설이 많지 않았던 관계로 선박충돌에 대한 설계에 큰 관심이 없었다고 볼 수 있다. 하지만 건설교통부의 통계에 의하면 우리나라도 전국 도로망이 지속적으로 확충되면서 교량수가 해마다 늘어서 2003년 12월말 현재, 교량이 총 22,117개에 달하고 있다. 또한 2001년 일반국도 노선의 전면적 조정을 통해 국토자원의 효율적 이용과 지역균형발전의 기반을 마련하면서 특히 서해안과 남해안 도서지방을 연결하는 국도노선의 연장과 신설로 대규모 장대교량의 건설이 줄을 잇고 있다. 이와 함께 이런 교량들의 아래를 통과하는 수상교통량도 날로 증가추세에 있어 우리나라도 바지선이나 선박 충돌과 같은 사고가 결코 남의 일이 아니라고 생각된다. 우리나라의 토목기술 특히 특수교량이 포함된 장대교량의 설계 및 시공기술이 많이 발전하여 장대교량 건설에 기술적인 어려움이 없다고 생각되나,

선박충돌과 같이 특수하중에 대한 설계와 충돌 대비책의 연구개발이 미흡한 것이 현실이다. 선박의 충돌에 대한 대비책의 목적은 항로를 이탈한 선박에 충돌로 인한 교량 구조물의 치명적 손상을 최소화 하는 것이다. 이를 위해서는 수로와 선박에 대한 다양한 정보와 함께 충돌에 의한 교량의 구조적 거동을 충분히 파악하여야 한다. 또한 효과적인 대비책을 마련하기 위해서는 선박의 충돌을 미연에 방지하는 충돌방지시스템과 교량 구조물을 보호하기 위한 방호시스템의 구축이 필요하다.

참 고 문 헌

1. 도로교표준시방서(부록:하중저항계수설계편)(1996), 건설교통부.
2. 도로교설계기준(2003), 건설교통부.
3. 多室型緩衝工の設計要領(案)(1980), 本州四國連絡橋公團.
4. AASHTO(1991), *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*, February.
5. Amdahl, J.(1983), *Energy Absorption in Ship-Platform Impacts*, Division of Marine Structures, University of Trondheim, Report No. UR-83-34, Trondheim, Norway, September.
6. Chen D.(2000), *Simplified Ship Collision Model*, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
7. Frandsen, A. G.(1983), *Accidents Involving Bridges*, IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures, Copenhagen.
8. Frandsen, A.G. and Langsoe, H.(1980), *Ship Collision Problems: I.Great Belt Bridge and II. International Enquiry*, IABSE Periodica No.2.
9. 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.
10. Fujii, Y. and Shiobara, R.(1978), The Estimation of Losses Resulting from Marine Accidents, *Journal of Navigation*, Vol.31, No.1.
11. Ito H., Kondo K., Yoshimura N., and Kawathima N.(1992), A Simplified Method to Analyze the Sstrength of Double Hulled Structures in Collision, *J. of the Society of Naval Architects of Japan*; 160:266-74.
12. Kitamura, O.(2002), FEM Approach to the Simulation of Collision and Grounding Damage, *Marine Structures*, Vol. 15, pp403-428.
13. Knott, M.A. and Larsen O. Damgaard(1990), *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..
14. Larsen, O. Damgaard(1983), Ship Collision Risk Assessment for Bridges, *IABSE Colloquium on Ship Collision with Bridges and Offshore Structures*, Copenhagen.
15. Minorsky W.(1959), An Analysis of Ship Collisions with reference to Nuclear Power Plants. *J. of Ship Res*; 3(2): 1-4.
16. Nordic Committee for Structural Design(1987) Recommendations for Loading and Safety Regulations for Structural Design, NBK-Report No.55.
17. Pedersen P.T.(1994), Ship Grounding and Hull-Girder Strength. *Marine Structure* 7: 1-29.
18. Pedersen P.T., Valsgard S., Olsen D., and Spangenberg S.(1993), Ship Impacts: Bow Collisions. *International J. of Impact Engineering*;13:163-57.
19. Pedersen, P.T., Zhang, S.(1998), On Impact Mechanics in Ship Collisions, *Marin Structures 11*, pp.429-449.
20. Saul, R. and Svensson, H.(1982), *On the Theory of Ship Collision against Bridge Piers*, IABSE Periodica 2, pp.29-40.
21. Suzuki, K., Ohtsubo H., and Sajit, K.S.(2000), *Evaluation Method of Absorbed Energy in Collision of Ship with Collision Resistant Structure*, Ship Structure Symposium on Ship Structures for the New Millennium Supporting Quality In Shipbuilding, Arlington, VA, 13-14 June.
22. Transport Canada(1982), *Vulnerability of Bridges in Canadian Waters*, Canadian Coast Guard,

January.

23. US National Research Council(1983), *Ship Collisions with Bridges. The Nature of the Accidents, Their Prevention and Mitigation*, National Academy Press, Washington D.C..
24. Woisin, G.(1971), Ship-structural Investigation for the Safety of Nuclear Powered Trading Vessels, *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft*, Volume 65, Berlin, Heidelberg, New York, p. 225-263. 