

항로횡단교량의 해상교통안전에 관한 연구

김창제* · 강성진¹ · 김종성 · 이승화
한국해양대학교 · ¹한국해양수산연수원

A Study on the Marine Traffic Safety of Bridge crossing Coastal or Inland Waterway

Chang-Je Kim*, Song-Jin Gang¹, Jong-Sung Kim and Seung-Hwa Lee

Korea Maritime University, Busan 609-791, Korea

¹Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 608-080, Korea

ABSTRACT: In this study, the straitway under a bridge and the main span of the bridge etc were investigated. Vessel collision with the bridge structures should not occur because of particular navigation difficulties created by the presence of the bridge. In addition to the width of channel, therefore, a physical or a psychological distance should be added in consideration of the main span of the bridge. It is desire that the straitway under the bridge inbound or outbound exceed 5 times the length L of the largest vessel which is designed to pass under the bridge, and the main span of the bridge do 3 times the length of the largest vessel.

Key words : straitway, main span, bridge, length of the largest vessel

서 론

최근에 육상운송을 원활하게 하기 위해 육지와 섬, 만의 입구, 섬과 섬, 또는 항만 입구의 양측을 연결하거나, 운하를 가로지르는 항로횡단교량이 많이 건설되고 있다. 유럽과 미주 등에서는 지리적 및 경제적 여건 때문에 오래 전부터 이런 항로횡단교량이 상당히 많이 설치되어 운용되고 있다. 우리나라는 인천국제공항 제 2연육교, 거가대교 등 항로횡단교량이 계획 중 또는 건설중이다. 대부분의 항로횡단교량은 항로상에 건설되므로 항로상에서 해상교통의 원활한 흐름을 위해 항로횡단교량 하부의 수

심, 항로폭, 교량전후의 직선항로 및 공중간격이 충분히 또한 적절히 유지되어야 한다. 교량은 한번 건설되면 100년이상 사용될 수 있도록 설계되어야 하며, 교량설계에는 교량자체의 미래의 교통량이나 내구수명이 고려되어야 함은 물론이고 항로횡단교량일 경우, 항로상의 미래의 해상교통량, 선박크기 및 속력 등이 추가로 고려되어 육·해상교통이 원활하게 유지되도록 해야 할 것이다. 최근의 교량건설기술의 발달은 교량하부로 대형선박을 통과하게 할 수 있도록 해상횡단교량의 교량스팬(교각중심간의 거리: 주경간)을 2km정도까지 가능하게 하였

*Corresponding author: kimc@hanara.kmaritime.ac.kr

다. 그러나 건설자의 입장에서는 건설비의 과다함과 안전성의 문제 때문에 교량스팬을 가능하면 짧게 하는 것이 바람직할 것이다. 일반적으로 기존의 항로횡단교량은 교량스팬이 해상교통안전을 유지하기 어려울 정도로 충분히 넓지 못하며, 또한 새로 건설되는 많은 항로횡단교량은 경제적인 이유 때문에 교량스팬에 제약이 따른다.

항로를 가로지르는 교량은 교량하부를 통과하는 선박의 항행에 큰 부담이 되며, 일반적으로 항로횡단교량 부근의 해양사고에 의해 선박과 승무원, 교량과 교량사용자 등의 인명 피해 및 경제적 피해는 물론이고 환경파괴까지 발생할 수 있으며, 심지어는 항로, 교량 또는 연결항만(도시)의 마비를 초래할 수 있다. 그러나 선박이 상당한 주의를 기울이며 항로횡단교량 주변을 항행함에도 불구하고, 35명의 사망자가 발생한 1980년 미국의 Sunshine Skyway 교량사고, 170명의 사망자가 발생한 1983년 러시아의 Volga River Railway Crossing 교량사고 등 세계적으로 1년에 평균한 번 정도의 선박과 교량구조물의 충돌사건이 발생하고 있다(Larsen, 1993). 선박과 교량구조물의 충돌은 항해과실 또는 항해자의 기술결함의 결과로서만 발생해야지, 교량존재에 의한 항행의 특별한 곤란 때문에 발생해서는 안된다. 즉, 교량의 존재 자체가 해상교통안전에 저해요소가 되어서는 안된다.

항로 횡단교량의 해상교통안전에 관한 연구는 덴마크(Bay,1998), 미국(AASHTO,1991) 및 일본(伊勢灣海難防止協會, 2000) 등지에서 활발히 수행되고 있으나 주로 교량안전에 초점을 맞추고 있다. 또한 각 국가마다 해상교통안전을 확보하기 위한 항로설계기준은 서로 다르며 검토할 여지를 많이 남기고 있다.

따라서 이 연구에서는 선박과 교량구조물의 충돌, 항로횡단교량주변의 해상교통환경 등에 관한 기존의 연구를 고찰하여, 항로횡단교량의 해상교통안전을 확보하기 위한 교량스팬, 교량전후의 직선향로 등의 최저요건을 검토하고자

한다.

교량주변의 항행환경

선박과 선박조종자에 관련되는 항행환경(伊勢灣海難防止協會, 2000)을 조종환경과 교통환경으로 분류할 수 있으며, 조종환경은 자연외란(조류, 파랑, 바람 등), 자연지형(천소, 육안 등), 인위시설(호안, 방파제, 브이 등), 장애물(어망, 부유물 등) 등 자선의 운동에 물리적으로 영향을 주어 자선의 조종행동을 물리적으로 제약하는 환경. 그리고 교통환경은 자선 주위에 존재하는 타선과 타선의 움직임에 의해 형성되는 교통흐름과 같이 역시 자선의 조종행동에 제약을 주는 환경이다. 즉, 타선과의 관계에 의해 형성되는 교통환경과 교통환경 이외의 환경을 조종환경으로 볼 수 있다.

한편, 교량주변의 항행환경에 있어서는 교량이 인위시설이며, 앞에서 언급한 바와 같이 교량존재에 의한 항행의 특별한 곤란 때문에 선박과 교량구조물의 충돌이 발생해서는 안된다. 따라서 해상교통안전에 미치는 교량존재의 영향이 중요하기 때문에 Table 1.과 같이 항행환경을 자연환경, 선박환경, 항로환경 및 교량환경으로 분류한다.

Table 1. Traffic Environment around Bridge

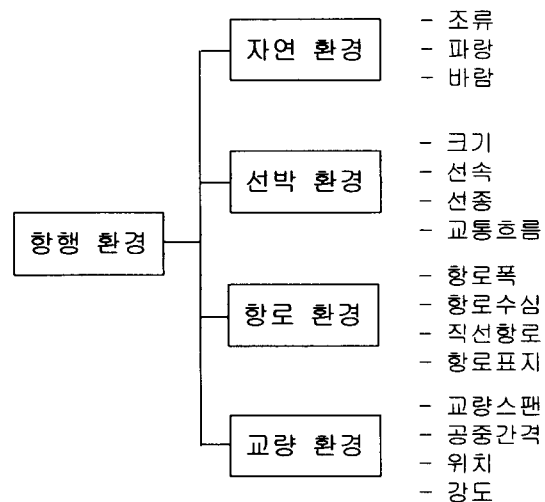


Table 1.에서 알 수 있는 바와 같이, 자연환경은 조류, 파랑 및 바람 등으로 구성되며, 일반적으로 항로환경, 선박환경 및 교량환경 등 다른 환경에 직간접으로 영향을 미치며, 인위적인 조절이 쉽지 않다.

그리고 선박환경은 크기, 선속, 선종 및 교통흐름 등으로 구성되며, 경제 성장과 주변의 개발계획 등을 고려하여 예측될 수 있다. 일반적으로 최대항행선박이 정해지면 그 선박이 통항할 수 있도록 항로환경 및 교량환경이 조절된다.

또한, 항로환경 및 교량환경은 인위적인 조절이 가능하며, 전자는 수심, 항로폭, 직선항로 및 항로표지 등, 후자는 교량스팬, 공중간격, 교량배치 및 강도 등으로 구성되며, 이 연구에서는 인위적으로 개선하기가 비교적 쉬운 이 두 환경을 고찰하고자 한다.

항로 환경

유럽지역을 중심으로 하여 전세계적으로 널리 사용되고 있는 항로설계 지침인 PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) Rule (ICORELS of PIANC, 1980)은 주로 유럽지역의 항만 및 항로 설계 전문가, 선체운동에 관한 연구자 및 항해전문가들로 구성된 PIANC에 의해 1980년도에 발표된 것으로서, 항로의 수심, 항로의 배치, 항로의 폭, 그리고 선회수역의 크기 및 배치에 관한 설계 지침이다. 미국의 경우 항로를 설계할 때 미육군 공병대에서 1983년에 발표한 항로설계를 위한 지침을 이용하고 있다. 이 항로설계 지침에는 항로의 수심, 항로의 폭과 배치, 선회수역의 크기 및 수심에 관한 가이드라인을 제공하고 있다. 일본의 항로설계 지침은 크게 항로와 정박지 두 부분으로 나누어져 있으며, 항로편에서는 항로 만곡부의 위치, 항로의 폭 및 수심을 다루고 있고, 정박지 편에서는 정박지의 면적, 돌제와 돌제 사이의 박지의 폭, 선회수역의 크기, 정박지의 수

심에 대해 다루고 있다. 한편 우리나라는 일본과 동일한 항로설계지침(한국항만협회, 2000)을 사용하고 있다.

항로폭과 항로수심

항로폭은 선박길이 L 또는 선박폭 B를 기준으로 나타낸다. 선박의 운동특성과 선박길이는 밀접한 관계가 있으며(有村, 1993), 충돌의 위험도는 선박길이에 거의 비례한다(藤彌 등, 1993)는 점을 고려하여 왕복항로폭을 선박길이(6B=L(藤彌 등, 1981))로 환산하여 Table 2.에 나타낸다.

Table 2.에서 항로폭은 선박길이 0.7L-2.2L이며, 또한 항행로부근에 장애물이 없는 경우의 값이라 판단된다. 항행로상에 해상횡단교량 등과 같은 장애물이 존재하는 경우에는 (1)탁월풍, 조류, 교각형상에 의한 조류변화, (2)선박의 속력, 조종성능, 정지성능, (3)선박 조종자의 심리적 영향 등을 충분히 고려하여 항로폭을 확보해야 한다고 권고한다(AASHTO, 1991).

Table 2. Width of Channels

각종 기준	권고안
항만 및 어항 설계기준	1.5L-2.0L
Port Engineering	1.1L-1.5L
PIANC	0.7L-2.2L

한편, 교통량에 따른 혼잡도의 관점(구, 1997)에서 항로폭을 정하면 표준선박의 선정 등의 문제가 있기 때문에 항로폭이 과소평가될 가능성이 있다.

항로수심은 최대항행선박 만재시 흘수, 트림, 선체침하, 선체동요 및 준설오차 등을 고려하여 약최저저조면으로부터 항로바닥까지로 정해지며, 최소한 최대항행선박 만재시 흘수의 1.2배 이상이어야 한다(Larsen, 1993).

직선항로

교량부근이 굴곡항로이면 선박과 교량의 충돌에 대해서 직접적인 문제는 없지만, 시계불량이나 엔진 및 조타기 등의 고장때문에 위험한 상태로 빠질 수 있다(壓司,1990, 壓司와若生, 1986). PIANC rule(ICORELS of PIANC,1980)에 권고된 교량전후의 직선항로에 관한 규정을 살펴보면 다음과 같다.

(1)항행로상에서는 변침이 매우 위험한 요소의 하나이므로, 가능하면 직선항로가 되도록 설계하는 것이 바람직하다. (2)만곡부와 만곡부 사이의 직선항행로는 가능하면 최대항행선박의 10L 이상이 되어야 한다. (3)항로횡단교량 등이 존재하여 항행로가 좁아지는 경우, 최대항행선박의 5L 이상 되는 직선항로를 그 경계전후에 두어야 하며, 그 구간에는 양질의 항로표지를 설치하여야 한다. 즉, 만곡부, 교량 등의 장애물이 존재하는 경우, 최대항행선박의 5L 또는 10L이상을 장애물전후에서 직선항로로 해야 한다고 권고한다.

한편, 항로횡단교량주변에서의 직선항로와 관련된 해양사고(壓司와若生, 1986)는 대부분 직선항로D가 8L이내인 경우에 발생하였다(Fig. 1.참조). 즉, 교량전후에서 직선항로가 각각 최대항행선박의 8L이상 되어야 교량의 안전을 확보할 수 있다는 것을 의미한다. Fig. 1.에서 실선으로 연결된 ○은 교량의 양방향에서의 직진거리가 다르며, 어느 쪽으로부터 교량에 충돌하였는가가 불명한 사고 예이다.

선박영역이론에 의하면 협수로 등에서는 6L(Larsen ,1993, 藤彌 등, 1981) 또는 5L(伊勢灣海難防止協會, 2000)의 폐쇄영역이 필요하다.

따라서 왕복항로일 경우 교량 전후의 직선항로는 각각 최소한 5L이상이어야 한다.

Great Belt Crossing(Bay, 1998)전후의 직선거리는 각각 2,500m로 8.3L (L은 160,000DWT선박일 경우 약 300m)이다.

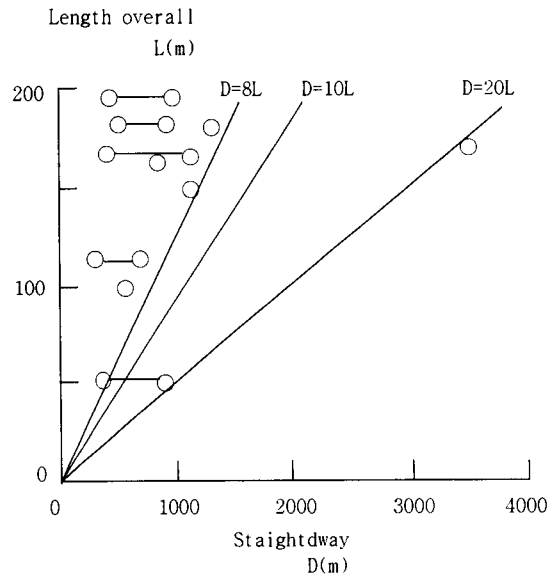


Fig. 1. Colliding Ship's Size and Straitway

교량환경

교량은 항행선박에게는 장애이기도 하고 좋은 물표이기도 하다. 해상교통안전을 고려하면, 교량의 교각수는 가능하면 적게, 교량의 수평폭(교량스팬) 및 수직폭(공중간격)은 가능하면 넓게 해야 한다. 선박이 교량과 충돌하면, 교량은 교각의 붕괴, 상부구조물과 통행중의 차량 등이 추락하여 인명피해 및 재산피해가 커질 수 있다. 교량은 사회적/생존적, 보안/방위 측면에서 중요교량과 일반교량으로 분류할 수 있다(AASHTO, 1991). 중요교량은 선박충돌에 의한 충격후에도 계속 교량의 기능을 유지할 수 있어야 한다. 그리고 교량설계시에는 교량붕괴의 위험, 교량사용자의 안전, 선박의 안전 및 환경오염의 위험 등을 고려하여야 한다.

교량스팬과 공중간격

충돌의 위험은 항행수역의 수평거리에 결정적으로 좌우되므로, 교량스팬은 기술적으로 경제적으로 허용될수 있는 최대라야 한다.

항만 및 어항 설계기준(한국항만협회,2000)에서 항로폭은 $(1.5-2.0)L$ 인데 항로폭 바깥쪽 끝단에 바로 교각이 들어서도 항행안전이 확보될 수 있다는 직관적으로 납득하기가 어렵다. 앞에서 서술한 바와 같이 교량의 존재 자체는 해상교통안전의 저해요소가 되어서는 안된다. 따라서 교각중심으로부터의 심리적 이격거리(伊勢灣海難防止協會,2000) $1L$ 을 왕복항로 양측으로 각각 고려하면 교량스팬은 $(3.5-4.0)L$ 이 된다. 이격거리는 물리적 이격거리와 심리적이격거리로 나눌 수 있으며, 물리적 이격거리는 유체역학적 관점에서 물리적으로 구조물주변의 흐름(Iwai and Shoji, 1976, 岩井와壓司, 1979)때문에 위험한 상황에 빠지지 않는 최소한 필요한 거리이며, 심리적 이격거리는 선박조종자가 구조물로부터 최소한 멀어져야 하는 심리적인 거리로 대형선일 경우 심리적 이격거리가 물리적 이격거리보다 크다.

한편, 항로횡단교량주변에서의 교량스팬과 관련된 해양사고(壓司와若生, 1986)는 대부분 교량스팬 s 가 $3L$ 이내인 경우에 발생하였다(Fig. 2 참조). 즉, 이것은 교량스팬이 최소한 최대항행선박의 $3L$ 이상 되어야 함을 의미한다.

선박영역이론(Larsen, 1993, 藤淵 등, 1981)에 의하면, 선박은 안전항해를 위해서 다른 선박, 고정구조물 또는 얽은 곳 등으로부터 어떤 거리를 유지하고자 하며, 이 거리는 선속, 시계, 만남형태 및 많은 다른 항행환경에 따라 변한다. 협수로 등의 왕복항로에서, 측방향으로 $1.6L$ (왕복은 $3.2L$), 분리대의 폭 $(0.3-1.8)L$ 및 교각폭(원통형 교각은 직경) b 를 고려하면 교량스팬은 $(3.5-5.0)L+b$ 가 된다.

따라서 왕복항로일 경우 교량 스펠은 최소한 $3L$ 이상이어야 한다.

Great Belt Crossing(Bay, 1998)의 교량스팬은 $780m(2.6L)$ 로 계획되었으나, 최종적으로 $1624m(5.4L)$ 로 바뀌었다.

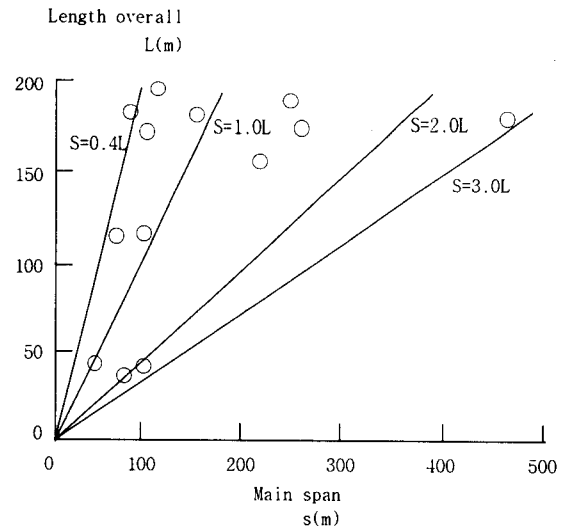


Fig. 2. Colliding Ship's Size and Main Span of Bridge

항만 및 어항 설계기준(한국항만협회,2000)에 의하면, 항로횡단교량이 건설되는 경우(1)선박의 마스트높이, 선박의 트림, (2)조석, 파고, (3)선박 조종자의 심리적 영향 등을 충분히 고려하여 공중간격을 확보해야 한다고 권고한다. 공중간격은 최대항행선박 공선시 선박의 높이, 트림, 선체침하, 선체동요 및 심리적 영향 등을 고려하여 약최고고조면으로부터 교량 하부까지로 정해진다.

교량배치

교량의 존재가 항행의 저해요소가 되어 선박과 교량구조물이 충돌을 일으켜서는 안된다. 따라서 교량의 배치(Larsen, 1993)에 있어서 가능하다면 (1)혼잡한 해상교통수역을 피할 것, (2)얽은곳 및 횡조류가 있기 때문에 항행에 어려운 위치를 피할 것, (3)교량통과 전에 직선이고 만곡부가 없는 적절한 길이의 항행로 일 것, (4)교량은 항행로와 직각일 것, (5)항행수역의 중앙과 항행수로의 중앙선은 일치할 것, (6)통제불능선박이 없힘없이 직접 교량구조물에 도달하지 않도록 교각이 얽은 곳에 위치할 것 등에 주의하여 한다.

결 론

이 연구에서 항로횡단교량부근의 항로수심, 항로폭, 직선항로, 교량스팬, 공중간격 및 교량 배치 등이 검토되었다.

교량스팬은 기술적으로 경제적으로 허용될수 있는 최대라야 하나, 건설자의 입장에서는 건설비의 과다함과 안전성의 문제 때문에 교량스팬을 가능하면 짧게 하려고 할 것이다. 선박과 교량구조물의 충돌은 교량존재에 의한 항행의 특별한 곤란 때문에 발생해서는 안된다는 점 등을 고려할 때, 교량스팬은 최소 3L이상, 교량전후의 직선거리는 최소 5L이상 확보해야 할 것이다.

참고문헌

구자윤. 1997. 협수로의 교통량에 따른 혼잡도평가에 관하여-부산(가덕)신항만 개발에 따른 가덕수도의 혼잡도 평가를 중심으로-, 한국항해학회지 제21권, 제 2 호, pp. 19-40.

한국항만협회. 2000. 항만 및 어항설계 기준(상권), pp.637-661.

American Association of State Highway and Transportation Officials. 1991. Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridge, Vol. I : Final Report, 122pp.

Bay J. 1998. The Great Belt Crossing, Proceedings 10 INSLC, pp. 20.1-20.5.

ICORELS of PIANC. 1980. Optimal Lay-out and Dimensions for the Adjustment to large Ships of Maritime Fairways in Sallow Seas, Seastrights and Maritime Waterways, Report of Working Group 4 of PIANC, Brussel, Belgium.

Iwai A and K Shoji. 1976. On the Effect of Wind around the Pier upon

the Course-keeping of Ship, 日本航海學會論文集, 55号, pp. 77-86.

Larsen O D. 1993. Structural Engineering Documents 4, Ship Collision with Bridges, The Interaction between Vessel Traffic and Bridge Structures, 131 pp.

藤彌井平 · 卷島勉 · 原潔. 1981. 海上交通工學, 海文堂, 204pp.

岩井聰 · 壓司邦昭. 1979. 橋脚周りの流況變化が接航する船の保針におよぼす影響について, 日本航海學會論文集, 61号, pp. 163-172.

壓司邦昭. 1990. 橋梁附近の屈曲水路が船の安全航行におよぼす影響について, 日本航海學會論文集, 82号, pp.153-164.

壓司邦昭 · 若生知己. 1986. 橋梁に對する船舶衝突事故例の解析, 日本航海學會誌, 87号, pp. 75-83.

有村信夫 · 山田一成·管澤 忍·池上二郎. 1993. 船舶諸元特性の統計解析關一考察, 日本航海學會論文集, 89号, pp.237-243.

伊勢灣海難防止協會. 2000. 伊勢灣口道路に係る伊良湖水道等航行安全研究會報告書, 859pp.