

항만횡단 해상교량의 해양사고 관련 인자 분석을 통한 교량설계안 제안

박영수† · 이윤석* · 박진수** · 조익순*** · 이 은****

†, * 한국해양대학교 운항훈련원 교수, ** 한국해양대학교 항해시스템공학부 교수, *** 한국해양대학교 마린시뮬레이션센터 전임연구원,
**** 한국해양대학교 해사수송과학부 초빙교수

A Proposal of Bridge Design Guideline by Analysis of Marine Accident Parameters occurred at Bridges Crossing Navigable Waterways

Young-Soo Park† · Yun-Sok Lee* · Jin-Soo Park** · Ik-Soon Cho*** · Un Lee****

†, * Professor, Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

** Professor, Division of Navigation System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

*** Researcher, Marine Simulation Center, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**** Visiting Professor, Division of Maritime Transportation Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 최근 세계 각지에서는 선박 통항 수역에 해상교량의 건설 운영, 건설 계획 중에 있어 이 해역을 통항하는 선박에게는 위험요소로 작용하여 해양사고를 유발하고 있다. 이 연구는 미국 및 유럽, 일본을 대상으로 해상교량과 관련한 해양사고 인자 분석을 통하여 해상교량 건설 및 기 설치된 해상교량의 안전한 선박통항을 위하여 필요한 환경 요소가 무엇이며 이 환경 요소가 어떻게 설정되어야 하는지에 대하여 분석하였다. 해상교량과 관련한 해양사고 관련 인자는 선박운항자의 실수 이외에 주경간폭, 통항하는 선박크기, 직선거리, 선박교통량 등이 관련하고 있는 것으로 조사되었다. 해양사고 분석을 통한 최소 해상교량 주경간폭은 300m 이상이며, 선박크기가 150m 이상의 선박이 통항하는 해역에서는 주경간폭이 500m 이상이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 해상교량 진입 직전 직선거리는 최소한 5L(L: 선박의 길이) 이상의 확보를 통하여 해양사고를 최소화하여야 할 것이다.

핵심용어 : 항만횡단 해상교량, 해양사고, 주경간폭, 직선거리, 교통량, 설계안

Abstract : Recently Bridges crossing waterway are constructed in navigable waterway, so marine accidents near bridges navigable waterway often occurred because that has affect dangerous element for . This paper analysed the necessary environmental factors to navigate safely near bridges and how to set up the environmental factors. Marine accidents elements occurred near bridges relate to span of bridge, size of navigating ship, length of straight way and traffic volume except mistake of mariners. As results of marine accident parameter analysis, Span of bridge is necessary more than 300m at least based on marine accident's analysis, and in case of more than ship's Length 150m, span of bridge is necessary more than 500m, 3~4L(L: Ship's Length). Length of straight way before bridge is necessary more than 8L to minimize the marine accident.

Key words : Bridges crossing waterway, Marine accident, Bridge span, Straight way, Traffic volume, Design guidelines

1. 서 론

현재 세계 각지에서는 선박이 통항하는 항해수역에 해상교량이 건설되었거나 건설 계획 중에 있어 항만횡단 해상교량(이후 '해상교량') 하부를 통항하는 선박에게는 위험요소로 작용하여 해양사고를 유발하는 인자로 작용하고 있다. 우리나라에서도 2009년 인천대교의 완성과 더불어 북항대교, 남항대교, 평양대교, 울산대교 등과 같이 선박이 통항하는 항해수역에 활발하게 해상교량이 설치되고 있어, 선박운항자의 실수 및 안전항해에 불충분한 주변환경으로 인하여 해상교량과 충돌

할 위험성을 항상 내포하고 있다.

한편, 선박이 어떤 해역에서 안전한 항해를 하기 위하여 관여되는 요소를 크게 생각해보면 Fig. 1과 같이 선박, 선박을 운항하는 운항자, 이를 둘러싸고 있는 주위환경으로 구분할 수 있다. 이러한 3가지의 구성요소 중 1가지 이상의 기능을 향상시킴으로써 해상에서의 안전을 향상할 수 있다(박 외, 2005). 다시 말하면, 최근 활발하게 건설되고 있는 해상교량 하부를 선박이 안전하게 통항하기 위해서는 선박 조종성능면을 더욱 향상시키든지, 선박운항자의 기량을 더욱 향상시키든지, 교통·지형·정보환경을 안전운항을 위하여 더욱 향상시

† 교신저자 : 박영수(중신회원), youngsoo@hhu.ac.kr 051)410-5085

* 중신회원, lys@hhu.ac.kr 051)410-4204

** 중신회원, jinsoo@hhu.ac.kr 051)410-4240

*** 중신회원, iks23@hanmail.net 032)260-2267

**** 정회원, leeun0808@hanmail.net, 011)9666-0960

키는 방법이 있을 수 있다.

이 연구는 해상교량과 관련한 해양사고 인자 분석을 통하여 해상교량 건설 및 기 설치된 해상교량의 안전한 선박통항을 위하여 필요한 환경 요소가 무엇이며 이 환경 요소가 어떻게 설정되어야 하는지에 대하여 분석하고자 한다.

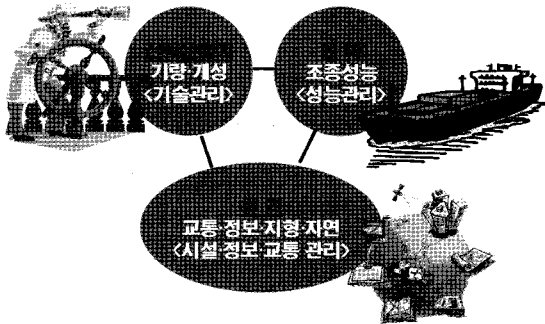


Fig. 1 Three elements for marine safety progress

2. 해상교량관련 해양사고 현황

1960년~1996년까지 전 세계의 해상교량관련 해양사고 중 충돌사고 사례를 살펴보면 Fig.2와 같이 각국의 해상교량설치의 증가와 함께 사고가 계속적으로 증가하고 있다. 1960년대에는 해상충돌사고가 평균적으로 연간 0.5건, 1970년대에는 연간 2.5건, 1980년대에는 연간 6.9건, 1990년대 이후로는 연간 9.7건의 해양사고가 발생한 것으로 분석되어 충돌회수의 증가세를 잘 보여주고 있다(Gluver & Olsen, 1998).

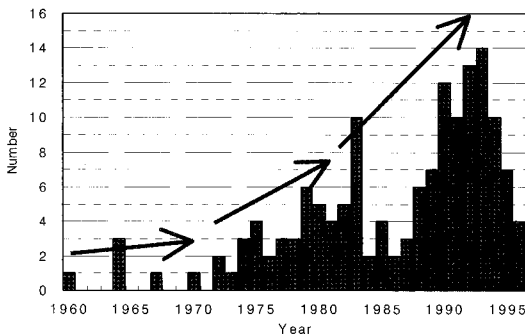


Fig. 2 Number of collision accident occurred near bridge during year of 1960~1996

Fig. 3과 같이 해상교량과 관련한 주요 해양사고 발생지역을 살펴보면 북미지역에서 22건, 유럽 22건, 아시아 및 호주 7건, 남미 1건이 발생한 것으로 밝혀졌다. 그리고 Fig.4와 같이 해상교량과 관련한 주요 해양사고 발생 선종을 살펴보면 화물선이 전체의 약 50%를 차지하고 있으며 다음으로 예인선이 해상교량과 충돌하는 사고가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이 중 해상교량의 교각과 충돌한 사고는 16건인데 비하여 해상교량의 상판과 충돌한 사건이 21건이 발생하여 해상교량 하

부의 가항향로폭 확보와 더불어 해상교량의 가항높이 확보가 필요한 것으로 조사되었다.

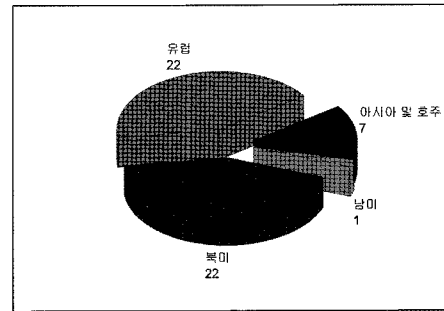


Fig. 3 Area of accident occurrence during 1960~1996

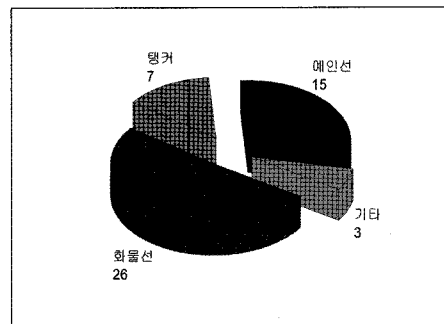


Fig. 4 Ship's type of accident occurrence during 1960~1996

3. 지역별 해상교량관련 해양사고 사례

각국의 해상교량관련 해양사고 사례를 구체적으로 살펴보고 해상교량과 관련한 선박크기별 해양사고, 해상교량 주경간 폭별 해양사고, 해상교량 전후 직선거리별 해양사고 등을 파악하기 위하여 각 지역별 해상교량관련 해양사고 사례를 조사하고자 한다.

3.1 미국·유럽의 해양사고 사례

미국 및 유럽의 해상교량 관련 해양사고 주요사례를 살펴보면 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1 및 Table 2를 살펴보면 동일한 해상교량에서 2번 이상 해양사고가 발생한 곳은 Sunshine Skyway Bridge, Chesapeake Bay Bridge, Southern Pacific Railroad Bridge, Sidney Lanier Bridge, Victoria Railroad Bridge이다. 이러한 해상교량이 존재하는 해역은 통항선박(바지선 제외)에 비하여 주경간폭이 너무 좁고, 특히 Tasman Bridge 및 Sunshine Skyway Bridge와 같이 전체 수역에 비하여 선박항행수역이 좁은 구역에 설치된 교각은 항행불능이 된 선박이 교각 어딘가에 접촉할 위험성을 항상 내포하고 있다고 할 수 있다. 또한 Chesapeake Bay Bridge 및 Pontchartrain Bridge 등과 같이 좁은 스패너로 교각이 서 있는 해상교량에 무인으로 표류하던

Table 1 Examples of collision accident in U.S.A. and European bridge during 1960~1980

충돌 년월일	해상교량명 (주경간폭)	선명 1. 톤수·길이, 2. 적재상태, 3. 항행속도, 4. 배수량 5. 충돌속도	손상정도 (충돌원인)
60.10.25. 22:30	Severn River Railway Bridge	1.자항식 Barge(100t) 2.동력용/알콜오일 4. 알콜+선박450t 5. 3.5kts	1. 붕괴 교각과 기름 폭발에 의하여 큰 손상을 입음 2. 교각이 완전히 파괴되고 스팬이 落橋 * 농무, 조류 3.5kts
60.11.17	San Mateo Hayward Bridge	Point Reyes	1. 아주 작은 손상 2. 방호공의 충돌부는 완전히 파괴되었지만 교각의 손상은 없었음
61.8.5. 10:25	Richmond San Rafact Bridge	Edmond(미해군) 1. 1080t 3. 최대속도28kts 4. 1450t	1. 아주 작은 손상 2. 방호공의 충돌부는 완전히 파괴되었지만 교각의 손상은 없었음 * 타고장
63.9.27	Soraund Bridge (100m)	Privodino(소련) 1. 5000DWT 2. 7000t 적재 5. 0.5kts	1. 선수가 85cm정도 손상 2. 충돌점과 기초부의 2개소 파손.
1963.	Outer Bridge	Mill Spring(탱커) 4. 12,200t	1. 현측 테크가 수개소 손상 2. 교각은 작은 콘크리트 판이 붕괴, 방호 케이슨부분 손상
64.4.6. 야간	Maracaibo Bridge	Esoo Maracaibo(탱커) 1. 3600DWT 4. 47000t 5.1.0kts	1. 상관이 선수에 떨어져 많은 부분 손상 2. 교각붕괴 * 지정항로의 항해, 선위미확인
72.1.1	Parkerburg Railroad Bridge	1. Push Barge (93T)	
72.9.20	Chesapeake Bay Bridge(467m)	1. 예항 Tug Boat	
72.11.7	Sidney Lanier Bridge(76m)	African Neptune 1. 174m(13000t)	1. 교량파손, 자동차 10대 추락 2. 선수부 소량 파손 * 풍속 50kts
75.1.5. 21.28	Tasman Bridge (94m)	Lake Illawarra(화물선) 1. 7300GT 2. 만재 4. 11200t	1. 침몰 승조원 사망 5명, 행방불명 2명 2. 교각붕괴, 스팬이 낙교 * 운항실수
75.12.26	Fraser Bridge (117m)	Swiftsure 1. 200m	
77.2.24	Benjamin Harrison Memorial Bridge(72m)	Marine Floridan 1. 187m(25000t)	
77.7	Tromso Bridge (80m)	- 1. 41m	
1977	Tingstad Bridge(57m)	유조선 1. 1600t	
1978	Berwick Bay Bridge	예부선	
1978	Drammen Bridge(50m)	Thudraland 1. 118m	
78.4.1	Southern Pacific Railroad Bridge	Pushing Tug	
1979	Bridge over Gota River	1. 3000t	
79.10.12	Second Narrows Railway Bridge(152m)	Japan Erica 1. 175m	
80.1.18	Tjorn Bridge (288m)	Star Clipper(화물선) 1. 27000t 2. 공선 3. 6-7kts	1. 일부손상 2. 메인 지간장의 상부 전부 전교, 교량 지지대 일부 파손
80.2.6	Sunshine Skyway Bridge (263m)	- 1. 165m	
80.4.27	Southern Pacific Railroad Bridge	Pushing Tug Boat	
80.5.9. 07:35	Sunshine Skyway Bridge (263m)	Summit Venture(화물선) 4. 약 20000t	1. 2. 교각이 완전히 파괴되어 스팬이 낙교함. 33인 사망 * 시계 0, 뇌우, 풍속 18m/s

Table 2 Examples of collision accident in U.S.A. and European bridge after 1981

충돌 년월일	해상교량명 (주경간폭)	선명 1. 톤수·길이, 2. 적재상태, 3. 항행속도, 4. 배수량 5. 충돌속도	손상정도 (충돌원인)
81.2.19 12:40	Newport Bridge(488m)	Gerd Maersk 1. 171.3m 2. 만재(22,500배럴) 4. 45,000톤 5. 6.0kts	1. 선수 3.5m 손상 2. 교각 서쪽부분 10m 정도 손상 * 심한 안개
1982	Hannibal Railroad Bridge	예부선	
1982	Lorraine Pipeline Bridge	예부선	* 무중, 도선사 부주의
1983	Sentosa Aerial Tramway	Petroleum Drill Ship	* Towing line 문제
83.4.2	Popular Street Bridge	City of Greenville 1. Barge	
83.11.23	Danziger Bridge	Amparo Paola	* 도개교 서측 스팬에 충돌 뒤어나온 한쪽편 도개교 문제
85.2.7	Kruisschans Bridge	- 1. 14689t(174m)	
85.4.8	Sabula Bridge	예부선	
85.4.18	Sabula Illinois Cental Bridge	Pushing Tug Boat	
85.7.17 23:09	Chesapeake Bay Bridge(467m)	캐미컬탱커 1. 22362t(175m)	
85.8.18 13:58	Victoria Railway Bridge	Dredger 1503t(80.5m)	
85.9.21	95th Street Bridge	Bulker 1.10969t(212m)	
85.9.28 4:35	Victoria Railway Bridge	Tanker 1. 640t(57.3m)	
85.10.16	Hook Railway Bridge	화물선 1. 499t(79m)	
85.11.29 11:00	St. Louis de Gonzague Bridge	화물선 1. 13455t(162.2m)	
88.5.3	Sidney Lanier Bridge(76m)	Ziemia Bialostocka 1. 15,643t(185m)	
88.5.6	CSXT Railroad Bridge	1.180m	
89.1.19	Battersea Road Bridge		
89.1.23	Old Highway Bridge	Barge	
89.2.22	Dortmund-Ems Canal Bridge		
89.3.5	Florida Avenue Bridge	- 1. 5747t(154m)	
89.4.11	Wilmarsdonck Bridge	Reefer Carrier 1. 3821t(148m)	
89.10.3	Route 4 Bridge	Tug boat	
89.12.14	Goole Railway Bridge	Tanker Barge	
1993	Claiborn Avenue Bridge	예부선	* Tug Pilot 부주의
1993	CSX/Amtrak Railroad Bridge	예부선	* Tug Pilot 부주의
1994	106th Street Bridge	Tug Boat	
1996	Gere Bridge	Tanker 1. 171m	
2001	Queen Lsabella Causeway	예부선	* 항로이탈, 운항부주의
2002	Oklahoma Bridge	Tug Barge	* Tug Pilot 부주의
2005.4.3	Great Belt Bridge	화물선	* 선회부주의, VTS통제미흡
2005.10.8	Old Managere Bridge	컨테이너선	
2006.8.29	Vincent Thomas Bridge(350m)	화물선	1. 선박 crane이 상판과 충돌 * crane높이 미고려
2007.11.7	S.F. Bay Bridge(650m)	COSCO Busan 1. 5500TEU(247m) 2. 컨테이너	1. 선수우현측 49m 파손 2. 기류 22만여리터 방출

항만횡단 해상교량의 해양사고 관련 인자 분석을 통한 교량설계안 제언

바지선의 충돌사고가 많은 것도 같은 원인이라고 할 수 있다. 교각이 수심이 깊은 곳에 만들어지면 선박은 교각에 접근할 가능성이 있기 때문에, 충돌사고의 위험이 증가하며 Newport Bridge의 교각이 그 예이다. 이와 같은 교각에는 보호시설을 설치할 필요가 있을 것이다. Tjörn Bridge, Sunshine Skyway Bridge, Newport Bridge는 다리를 통과할 부근 항로가 굴곡되어 있다. 해상교량부근에 굴곡항로가 있는 것은 선박의 충돌에 대하여 직접적으로는 문제가 없지만 시계불량과 타의 고장이 발생하면 위험한 상태가 된다(Shoji, 1999).

3.2 일본의 해양사고 사례

Table 3 및 Table 4는 1985년부터 2006년까지 일본에서 조사된 해상교량충돌 관련사고를 조사한 것으로, 일본에서 발생한 해양사고 선박은 전부 500GT미만 선박이며 해양사고를 유발한 원인을 분석해 보면 수로조사 불충분 33.3%, 기상해상 부주의 22.2%, 조선부적절 줄음운항·기타 운항과실·기관취급불량이 각각 11.1%가 원인으로 분석되었다.

Table 3 Marine accident occurred in Japanese bridge-1

사고 일시	해상교량명 주경간폭	총톤수/ 선종	손상정도
85.7.7	大鳴戸橋中瀬橋脚 (鳴門海峡) 850m	498/화물선	선박 : 선수상부가 들어감, 선수창고 침수, 선수하부 선저부 손상 다리 : 잔교부 손상
86.4.1	南北備讃瀬戸工事中の架橋塔柱 990m	491/화물선	선박 : 선수부 양현에 파구가 발생하였으며 들어감 架橋塔柱: H형 강재 파손
86.9.3	荒天鐵道 400m	62/유조선	선박 : 선교, 기관실 일부 손상
89.5.2	老壽橋(横浜)	167/유조선	선박 : 기관실 좌현 상단의 목재부 손상
90.10.11	中川橋(東京·中川)	91/유조선	선박 : 일부 손상 다리 : 형하부분의 접속부 일부 손상
90.12.20	相生橋(750m)	29/터그	
91.7.17	횡단교(京濱運河) 250m	484/화물선	선박 : 선교부근 감관상의 제설비 파손, 선체 우그러짐 다리 : 형하부분 65m 손상
91.10.1	東京만 횡단도로 川崎인공섬防波板	495/화물선	선박 : 선수루 약 5m 우그러짐 防波板 : 3매 파손
91.12.14	天門橋 (熊本縣三角ノ瀬戸)	39/曳船	선박 : 크레인 리더 하단 갑판 접속부 손상 다리 : 송전선 2본 절단

Table 4 Marine accident occurred in Japanese bridge-2

사고 일시	해상교량명 주경간폭	총톤수/ 선종	손상정도
92.1.13	音戸大橋 (廣島縣音戸瀬戸)	19/曳船	선박 : 지브 불 선단부 손상 다리 : 교량철골 손상
92.5.9	天草大矢野橋 (熊本縣柳ノ瀬戸)	199/화물선	선박 : 하부 마스트 손상 레이더 스캐너 현동 파손
92.5.14	深江大橋 180m	91/터그	
92.12.21	LPG 파이프라인 가대교 기반부	366/화물선	가대교: 교각 2기 넘어지고 경사됨 파이프라인 절단
93.9.20	明石海峡大橋 가설중의 교각	496/화물선	선박 : 선수부 파구, 웬드렐 손상

사고 일시	해상교량명 주경간폭	총톤수/ 선종	손상정도
93.12.2	新加賀須野橋 (徳道縣今切港)	198/화물선	선박: 후부 마스트 손상, 마스트 하부 파열
94.3.31	千住大橋	116/유조선	
94.4.10	音戸大橋 (廣島縣音戸瀬戸)	19/曳船(Pusher Barge 연결)	마지: 지브 불 선단부 손상 다리: 교량 리베트 및 수도관, 전선관, 교량등 손상
94.7.26	中の島大橋	497/화물선	선박: 지브선단 손상, 지브 지지 와이어 일부 절단, 크레인 조종실 천정의 활차부분 손상 다리: 형하부 손상
94.11.26	木更津津港内橋 100m	497/화물선	
94.12.29	名港東大橋 (名古屋) 400m	499/화물선	선박: 선수부 파구를 동반하여 들어감 다리: 핸드레인, 작업장, 교각 주위 손상
96.3.8	明石海峡大橋 (건설중의 교각)	100/押船	선박: 선수부 파괴 다리: 교각의 주변 작업장 및 표지등의 일부 손상, 교각 콘크리트 표면이 파손
96.12.11	大矢野橋(天草)	199/화물선	선박: 레이더 마스트 절단, 레이더 스캐너 및 풍향풍속계 등 손상 교각: C1등, 가대 및 전기회로 등 손상
97.1.27	新加賀須野橋 (徳道縣今切港) 210m	446/캐미컬	선박: 선수부 들어감 다리: 교각하부의 교각 조작성 손상
97.7.13	人吉大橋(球磨川)	5/하천단정	선박: 전복하여 전손됨
98.4.13	新加賀須野橋 (徳道縣今切港)	199/유조선	선박 : 좌현 중앙부 부근에 손상 및 우현 선수부에 작은 파구를 동반하고 들어감 기타: 항로표지 폴 1기 손상
2000.5.17	家島橋 180m	199/화물선	
2000.7.14	潮風橋 60m	115/유조선	
2001.3.17	北備讃瀬戸大橋 990m	199/화물선	
2001.9.9	東橋	102/유조선	
2002.1.26	音戸大橋 240m	19/예부선	
2002.6.3	甘日市橋	499/화물선	
2003.10.1	旋回式浮游体橋	198/화물선	
2004.7.16	永代橋	118/여객선	
2005.6.15	北備讃瀬戸大橋 990m	498/화물선	
2006.6.24	若洲橋 170m	20/Barge	

3.3 우리나라 해양사고 사례

1996년부터 2005년까지 최근 10년간 해양안전심판재결록을 기초로 조사한 결과, 2건의 사고가 발생하였으며, 사고 개요를 살펴보면 Table 5와 같다. 이외에도 여름철 태풍으로 인하여 선박이 떠밀려 해상교량과 충돌한 사고도 있었다. 또한 2006년 이후에 발생한 사건에 대하여는 언론보도 등을 통하여 조사된 자료를 기초하여 정리하였으며 아래와 같이 2006년도에 4건, 2007년도에 2건의 사고가 발생한 것으로 파악되었다.

Table 5 Marine accident in Korean bridge during 1996~2005

충돌 년월일	해상교량명	충돌수/ 선종	손상정도
1995.4.8 04:20	영도대교	94톤/ 어선	부산항 영도대교 제2번 교각과 접촉 선박관리소홀
-	구거제대교	72톤(813톤) 예부선	부선의 좌현 선수 모서리가 15번 교각에 접촉 항해계획 미수립, 강한조류 영향, 무리한 항행, 측벽영향
2003.9	영도대교	800톤급/ 어선 2척	유조선(147톤)이 강풍에 침몰되어 타 선박과 충돌, 고정된 밧줄이 풀리면서 어선 2척 영도 대교 상판과 충돌 강풍에 의한 침몰
2006.1	안좌~팔금 간 연도교	내항여객선	연도교 충돌 조타기 고장
2006.3	섬진대교	24톤/ 예인선	교각과 충돌 강한 조류의 영향
2006.8	공사중인 인천대교	콘크리트 타설선	밀물에 밀리면서 동편 13번 교각과 충돌 강한 조류의 영향
2006.8	제1진도대교 (484m)	조사 작업선	조류에 밀려 진도대교 중앙경간부 측면에 충돌 운항부주의
2007.4	제1진도대교	공사 작업선	중앙경간부 측면에 충돌 운항부주의로 조류에 밀림
2007.4	제1진도대교	바지선	울돌목의 강한 유속으로 인하여 떠내려가 진도 대교 상판에 철구조물이 충돌 강한 조류의 영향

우리나라의 사고원인을 살펴보면 선박운항자의 부주의에 의한 운항과실과 같은 인적과실이 대부분을 차지하는 것으로 밝혀졌다. 인천대교(2006년)와 섬진대교 사고(2006년)는 선박운항자의 운항 전 해양사고의 간접적 원인 중 항행수로 조사 불충분이었으며, 영도대교(2003년)는 태풍으로 인한 재해로 인한 사고였다. 또한 진도대교 2건과 거제대교의 경우에는 선박운항자의 운항부주의에 의한 사고였으며 선박의 관리소홀로 인하여 영도대교 충돌사고가 발생하기도 하였다. 그리고 신안군 연도교의 경우에는 조타기 고장으로 발생한 사고였다.

4. 해상교량관련 해양사고인자

해상교량과 관련한 해양사고 인자(선박운항자 과실 제외)를 도출하기 위하여 현재 해상교량이 많이 설치되어 있는 미국 및 유럽과 일본의 사례를 중심으로 한 Table 1~ Table 5를 기초로 분석하고자 한다.

4.1 해상교량 주경간폭과 해양사고의 관계

Fig. 5는 해상교량의 주경간폭별 해양사고 발생현황에 대하여 조사하여 분석한 것이다. 해양사고 중 해상교량 주경간폭이 조사된 34건에 대하여 살펴보면 해상교량관련 해양사고 약 90%가 해상교량 주경간폭 500m 미만에서 발생하고 있으며, 이 중에서 주경간폭 200~300m(26.5%) > 100m 미만(23.5%) > 100~200m(20.6%) 순으로 사고가 많은 것으로 밝혀졌다.

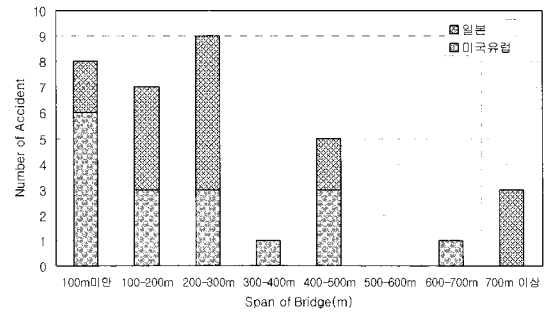


Fig. 5 Number of accident related bridge per bridge's span

4.2 선박크기 및 해상교량 주경간폭과의 해양사고 관계

Fig. 6과 같이 해상교량과 관련한 해양사고를 선박크기별로 살펴보면 미국·유럽의 경우는 Tug Boat와 같은 100GT미만 선박사고가 가장 많고, 그 다음으로는 10,000~50,000GT 사이의 선박이 해상교량과 충돌하는 사고가 많은 것으로 조사되었다. 그리고 일본의 경우는 100~500GT급 선박의 사고가 31.3%로 가장 많은 것으로 분석되었다. 전체적으로 보면 500GT 미만의 소형선박이 66.2%를 차지하고 있을 정도로 소형선박의 해양사고가 많은 것을 알 수 있다.

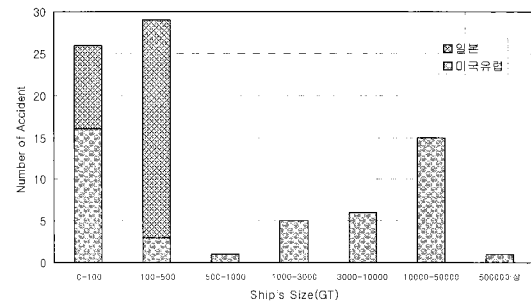


Fig. 6 Number of accident related bridge per ship's size

Fig. 7은 해상교량관련 해양사고 현황을 주경간폭과 선박길이와의 관계를 보기 위하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 해상교량관련 해양사고 발생현황 중 선박길이 150m 이상의 선박 대다수가 주경간폭 500m 미만에서 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 선박길이 50m 미만의 소형선박은 주로 주경간폭 400m 미만에서 발생(전체의 72%는 주경간폭 250m 미만에서 발생)하고 있는 것을 알 수 있다.

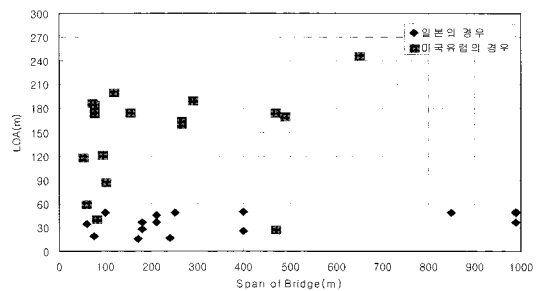


Fig. 7 Relationship between ship's length and bridge's span

Fig. 8은 선박길이에 대한 주경간폭 비율에 대한 해양사고 현황을 보여주는 것으로 미국과 유럽의 경우에는 대부분이 선박길이의 3L이하에서 사고가 많이 발생하였고, 일본은 선박길이의 4L이상에서 대부분 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 일본의 경우에는 해상교량관련 모든 해양사고가 500GT 미만의 소형선박인 관계로, 선박길이에 대한 주경간폭 비율이 상당히 크게 나타나고 있으며 이는 선박운항자의 운항과실에 기인한 것으로 사료된다. 이러한 운항자의 과실을 제외하고 선박크기 및 주경간폭을 고려한다면 선박길이에 대한 주경간폭이 4L 이상이면 해양사고 발생율이 매우 낮은 것을 알 수 있다.

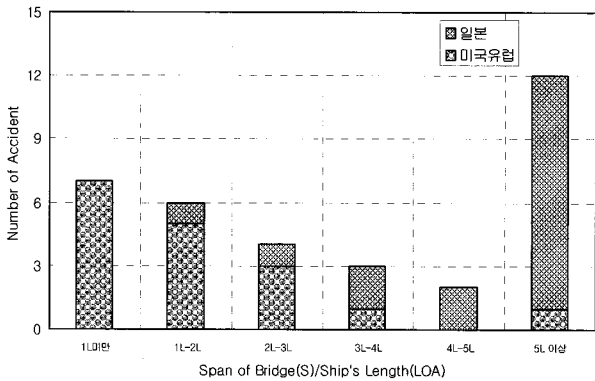


Fig. 8 Accident number based ratio between ship's length and bridge's span

4.3 교량진입 직선거리와 해양사고 관계

Fig. 9는 해상교량과 관련하여 발생한 해양사고 중 선박톤수가 100GT 이상을 대상으로 하여 해상교량 진입 전후 직선거리와 선박길이를 파라미터로 한 해양사고 현황을 나타낸 것이다. 이 그림에서 선박 길이의 5배(5L) 이하에서 발생한 사고가 41.2%, 6L 이하에서 발생한 사고는 약 59%, 7L 이하 약 65%로, 대부분 사고(약 88%)는 선박길이의 8배(8L) 이하일 경우 발생하는 것으로 분석되었다. 진입직선거리가 15L 이상에서 발생한 해양사고는 기상불량(풍속 50kts) 및 협소한 해상교량 주경간폭을 가진 긴 직선항로에서 발생한 사고로 조사되었다.

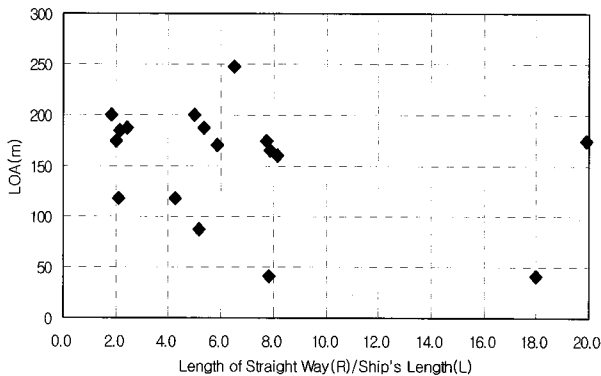


Fig. 9 Accident status based ratio between ship's length and bridge's straight way's length

4.4 기상·해상상태와 해양사고와의 관계

기상·해상상태가 불량할 경우에 해상교량을 통항하기에는 선박운항자에게 조선부담감이 더욱 높아질 것으로 판단되며 이에 기인한 해양사고도 발생할 것으로 사료된다. Table 6은 지역별로 발생한 주요 해양사고 건수 중에 해·기상상태 불량으로 기인한 해양사고 수를 조사한 것으로 지역별로 많은 차이가 나고 있으며 우리나라의 경우가 해·기상상태 불량으로 발생한 사고가 많다. 이는 지형적으로 강한 조류가 있는 서해안을 중심으로 해상교량이 설치되어 있기 때문이다. 특히 강한 횡조류로 인하여 발생한 해역에서 동일한 사고가 2회 이상 발생 시에는 미국 및 유럽의 경우와 동일하게 교량위치 등에 재점검이 필요할 것으로 사료된다.

Table 6 Feature of marine accident from heavy weather

	해양사고 건수	해기상 불량 기인 건수	특 징
미국 유럽	57	7(12.3%)	시정불량에 의한 해양사고 대부분. 좁은 주경간폭을 가진 해상교량과의 사고 대부분
일본	36	8(22.2%)	사전 수로조사 불충분으로 인한 지형적 특징 파악 불충분 대다수
한국	7	9(77.8%)	강한 횡조류에 의한 예부선(작업선)의 해양사고 대부분

4.5 해상교량 주경간폭과 해상교량 진입직선거리 관계

Fig. 10은 해상교량 주경간폭과 해상교량 진입직선거리를 통하여 해양사고가 발생한 지점들을 연결한 것이다. 이 그림에서 해양사고 미발생구역(Safe Zone)이라고 표시된 부분은 해양사고 분석결과 사고가 발생하지 않은 해역으로 해상교량 주경간폭 및 해상교량 진입직선거리를 설정할 경우 기초자료로 사용할 수 있다.

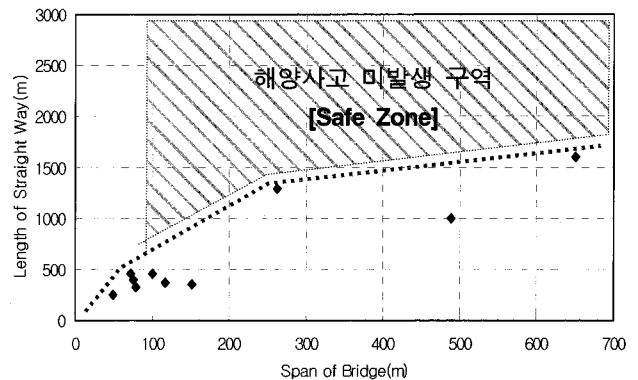


Fig. 10 Relationship between straight way's length and bridge's span

4.6 해상교량 주경간폭과 통항 교통량 관계

해상교량 주경간폭과 통항 교통량과의 관계를 기초로 한 해양사고 결과 자료는 없기 때문에 교통량과 주경간폭과의 관계를 선박운항자의 조선부담감 측면에서 분석한 연구(박, 2004)로 추정해 보면(잠재적 위험도를 계산한 값의 10%는 선박운항자가 조선하면서 흡수하는 조선위험도이므로(謝외2, 2005)이 값을 기준으로 함), Fig.11과 같이 시간당 5척(L^2 환산) 선박통항이 있을 경우 주경간폭 250m 정도 이상이 필요하고, 시간당 10척의 통항이 있을 경우에는 주경간폭이 약 500m 정도가 필요하며, 시간당 15척 통항이 있을 경우 주경간폭이 1,000m 정도 필요할 것이다.

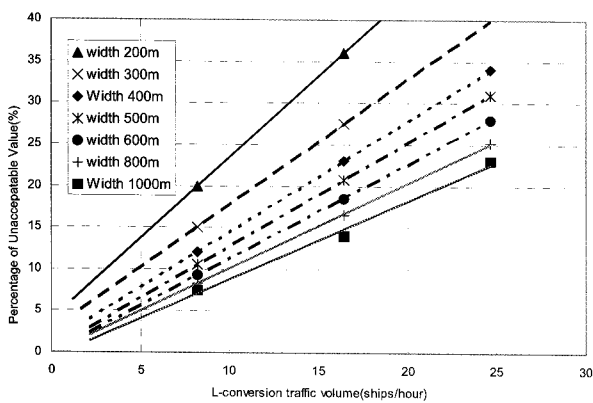


Fig. 11 Ship-handling difficulty depending on bridge main span width

4.7 해양사고 관련인자를 기초로 한 교량설계안

미국 및 유럽, 일본 등의 해상교량과 관련 해양사고 분석을 통하여 도출한 교량설계 기초 안은 아래와 같다.

- ① 해상교량 주경간폭은 교통량과 관계가 있고 시간당 선박통항척수(L^2 환산값)가 5척 이상일 경우 250m 이상, 10척 이상일 경우 500m 이상, 15척 이상일 경우 1000m 이상을 기초로 설정하는 것이 바람직하다.
- ② 해양사고 분석을 통한 최소 해상교량 주경간폭은 300m 이상이다. 또한 해상 및 기상 지역별 특징을 고려하여야 할 필요가 있다.
- ③ 선박크기가 150m 이상의 선박이 통항하는 해역에서는 해상교량이 500m 이상이 필요할 것이다. 이는 선박길이에 대한 주경간폭이 최소한 3~4L이 필요할 것으로 판단되기 때문이다.
- ④ 해상교량 진입 직전 직선거리는 8L 이상의 확보를 통하여 해양사고를 최소화하여야 할 것이다.
- ⑤ 해상교량 주경간폭과 해상교량 진입 직전 직선거리와 관계에서 해양사고 미발생 구역을 조합할 수 있는 다이어그램(Fig.10)을 제시하였다.

5. 결 론

세계 각지에서는 선박 통항 수역에 해상교량의 건설 운영, 건설 계획 중에 있어 여기를 통항하는 선박에게는 위험요소로 작용하여 해양사고를 유발하고 있다. 이 연구는 미국 및 유럽, 일본을 대상으로 해상교량과 관련한 해양사고 인자 분석을 통하여 해상교량 건설 및 기 설치된 해상교량의 안전한 선박통항을 위하여 필요한 환경 요소가 무엇이며 이 환경 요소가 어떻게 설정되어야 하는지에 대하여 아래와 같이 제시하였다. 그리고 해상교량과 관련한 해양사고 관련 인자는 선박운항자의 실수 이외에 주경간폭, 통항하는 선박크기, 직선거리, 선박교통량 등이 관련하고 있는 것으로 분석되었다.

- ① 해양사고 분석을 통한 최소 해상교량 주경간폭은 300m 이상이며, 선박크기가 150m 이상의 선박이 통항하는 해역에서는 주경간폭이 500m 이상이 필요하다. 이는 선박길이에 대한 주경간폭이 최소한 3~4L이 필요할 것으로 판단되기 때문이다.
- ② 해상교량 진입 직전 직선거리는 8L 이상의 확보를 통하여 해양사고를 최소화하여야 할 것이다.
- ③ 해상교량 주경간폭은 시간당 선박통항척수(L^2 환산값)가 10척 이상일 경우 500m 이상, 15척 이상일 경우 1000m 이상을 기초로 설정하는 것이 바람직하다.
- ④ 해상교량 관련 해양사고 분석결과 지역적 특성에 따라 해양사고 발생현황이 상이하므로, 이러한 지형적 특성에서 기인하는 해상상태 및 기상상태를 고려(특히 우리나라 서해안 해역)하여 교량 건설을 결정하여야 한다.

후 기

일본에서의 해상교량관련 해양사고 사례 자료를 수집하여 제공하여 주신 日本東海大學(Tokai University) Tsugane Masanory(津金正典)교수님에게 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 박영수, 박진수, 고재용, 정재용, 이은(2005), "해상교량 건설을 위한 선박통항 안전성 검토요소에 대한 연구-I", 한국항해항공학회지 제29권 제1호, pp.71-75.
- [2] 박진수, 박영수, 이형기(2005), 해상교통공학, 한국해양대학교 해사도서출판부, pp. 10.
- [3] 박진수, 박영수, 조익순(2007), "해상교량 건설시 해상교통 안전 확보방안", 제22차 해양사고방지 세미나, 해양안전심판원, pp.3-25.
- [4] 謝洪淋, 井上欣三, Cemil Yurtoren(2005), "潛在環境負荷と殘存環境負荷の關係について-I, -直線狀航路における數量關係の推定-", 日本航海學會論文集, No.112, pp.95-100.

- [5] 庄司邦昭, 若生知己(1986), "橋梁に對する船舶衝突事故例の解析, 日本航海學會學會誌", No.87, pp.75-83.
- [6] 庄司邦昭(1999), "橋梁に對する船舶衝突事故例調査と新素材橋脚防護施設", 社團法人日本船長協會, 船長第116號, pp52-68.
- [7] Gluver, H., and Olsen, D.(1998), "Ship Collision Analysis, Proceeding of International Symposium on Advances in ship collision", pp.3-11.
- [8] Shoji, K.(1990), "On the Effect of Curved Channel near the Bridge upon the Safe-Manoeuvring of Ship", 日本航海學會論文集, No.82, pp.153-164.

원고접수일 : 2008년 6월 10일
심사완료일 : 2008년 10월 17일
원고채택일 : 2008년 12월 23일