

해상교통안전을 고려한 해상교량의 적정 위치 및 규모에 관한 연구

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

*, ** 한국해양대학교 운항훈련원 교수, *** 한국해양대학교 대학원, **** 한국해양대학교 실습선 일등항해사,
† 한국해양대학교 항해시스템공학부 교수

A Study on the Proper Location and Scale of Bridges Crossing navigable Waterways Considering the Safety of Marine Traffic

Yun-Sok Lee* · Young-Soo Park** · Un Lee*** · Chang-Hyun Jung**** · Jin-Soo Park†

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

*** Graduate School of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**** Chief officer, Training ship HANBADA, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

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

요 약 : 연안 도서지역의 연결 도로망 확충, 물류시스템의 최적화를 위한 우회 도로의 직선화 등에 따른 해상교량의 건설이 활발하게 추진되고 있다. 사회 기반시설인 해상교량 건설의 필요성 및 타당성에 대해서는 사회적으로 충분한 공감대가 이루어지고 있으나, 해상교량의 위치 및 적정 규모에 대해서는 선박의 통항안전보다는 여전히 경제성의 원칙에 무게를 두고 건설되는 경우가 많다. 본 연구에서는 해상교량의 건설에 있어서 이해당사자간의 사회적인 마찰이 반복되어 왔던 근본적인 원인인 해상교량의 위치 및 적정 규모에 대한 기준을 시공법이나 경제적인 원칙이 아닌 해상교통안전 확보를 고려한 해상이용자 관점에서 분석하여 제시하고자 한다. 해상교량의 적정 규모는 항로의 설계 기준, 국내 해상교량 설계 현황, 해양사고 조사, 해상이용자 설문조사 등의 분석을 통해 각 요소별 최소 기준을 검토하여 선박의 통항안전에 필요한 기준을 도출하였다. 해상교량의 적정 규모에 대한 설계 기준이 없는 국내 실정을 고려할 때 해상교통안전 측면에서 제시된 설계 기준은 향후 교량의 설계 시 초기단계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해상교량, 적정 규모, 설계 기준, 통항안전, 해양사고

Abstract : Recently, considerable number of bridges crossing over navigable waterways are under construction for the connection of coastal islands with mainland and the optimization of logistic system. However, the most planned bridges have been initiated without paying much attention to ships safety aspects but with great emphasis on the economic factors, it has often been confronted with difficult social issues arising from opposing views and conflicts between building bodies and affected port users. The main reason for the conflicts is the lack of standards or specifications on the bridge design. The proper location and scale of sea bridges are suggested in this paper considering fairway design criteria of both domestic and foreign countries, status analysis on the designs of existing and planned bridges, investigation findings of bridge-related marine accidents, the views of pilots and navigators collected through questionnaire. Since there is no general domestic or international design rules on bridge's scale, the design standards proposed in this paper may be useful at initial design stage of bridge.

Key words : Bridges crossing navigable waterways, Scale of bridges, Marine traffic safety, Design standards, Marine accidents

1. 서 론

최근 국가 정책으로 사회 기반시설의 확충에 대한 활발한 투자와 함께 예상치 못한 최악의 태안반도 해양사고 등을 경험하면서 해상교통 안전 확립에 대한 사회적인 중요성이 확산되고 있다. 특히 연안 도서지역과의 도로망 연결, 항만배후도로 직선화 및 최적화 등과 같은 사회기반시설 확충으로 항만 및 주요

항로를 횡단하는 해상교량 건설이 활발히 추진되고 있다.

그러나 아쉽게도 우리나라의 경우 해상교통에 대한 사회적인 공감대는 높은 반면 해상교량 건설시 우선적으로 검토되어야 할 선박의 통항 안전 확보에 필요한 교량의 위치 선정 기준 및 적정 규모와 같은 설계 기준 등이 미비한 실정이다. 이로 인해 해상교량의 건설이 경제성 원리에 의해 시행되고 있어, 해상교량의 설치 위치 및 적정 규모에 대해서는 해상이용자와 적지

* 대표저자: 이윤석(중신회원), lys@hhu.ac.kr 051)410-4204

** 중신회원, youngsoo@hhu.ac.kr 051)410-5085

*** 정회원, leeeun0808@hanmail.net 051)410-4240

**** 중신회원, hyon@hhu.ac.kr 051)410-4206

† 교신저자: 박진수(중신회원), jspark@hhu.ac.kr 051)410-4240

않은 마찰이 반복되고 있다. 이러한 갈등의 근본적인 원인은 해상교통이 가지고 있는 차별화된 고유 특성에 대한 이해가 부족하고, 해상교통안전 관점에서 선박 통항안전 확보에 필요한 교량의 위치 및 적정 규모 등에 대한 명확한 설계 기준 및 관련 연구가 부진하기 때문이다(박 외 2008; 박 외, 2007).

본 연구에서는 해상교량 건설시 이해당사자간의 마찰이 반복되어 왔던 해상교량의 위치 및 적정 규모에 대한 기준을 경제성 원칙이 아닌 해상교통안전 확보에 필요한 최소한의 기술요소들을 고려한 해상이용자 관점에서 제시하고자 한다. 해상교통 측면에서의 해상교량의 위치 및 적정 규모에 대한 제안은 항로의 설계 기준, 국내 해상교량 설계 현황, 해양사고 조사, 해상이용자 설문조사 등의 분석을 통해 각 요소별 안전통항을 위한 최소 기준을 검토하여 도출하였다. 이러한 해상교통안전 측면에서의 설계 기준의 제시는 향후 교량의 설계 시 초기단계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 해상교량 용어의 정의

해상교량의 규모는 일반적으로 Fig.1에서 제시하는 바와 같이 해상부에 건설되는 주각사이의 직선거리인 주경간장으로 표시된다. 다만 주경간장은 교각의 중앙에서 측정하기 때문에 해상교량 하부에 선박이 통항 가능한 항로의 크기를 의미하지는 않는다. 본 연구에서 기술하는 각종 용어를 다음과 같이 정의한다.

- ① 주경간장(Span of bridge) : 해상부에 건설된 중앙 교각의 중심에서 중심까지의 최단 직선거리
- ② 항로폭(Fairway width) : 교량 하부의 실제 선박 통항이 가능하도록 지정한 항로 사이의 최단 거리(선박의 통항로로 주경간장보다 작은 값)
- ③ 직선거리(Straight way) : 해상교량 전후에 설계된 항로의 길이 중에서 일직선으로 설계된 선박 통항 방향의 직선거리
- ④ 교각과의 이격거리(DP: Distance from pier) : 항로의 좌우 측 끝단에서 선박 통항에 지장이 없는 교각 끝단(방충공)까지의 최단 거리
- ⑤ 부두와의 이격거리(DB: Distance from berth) : 선박 통항이 가능한 교각과 인접한 부두시설과의 최단 거리
- ⑥ S(주경간장)/L(선박길이, Loa) : 주경간장과 최대 통항 선박 길이와의 비로 해상교량의 규모를 나타내는 요소
- ⑦ R(직선거리)/L(선박길이) : 해상교량 전후의 직선거리와 최대 통항 선박길이와의 비로 해상교량의 위치 선정의 안전성 여부를 판별하는 요소
- ⑧ DP(교각과의 이격거리)/B(선박 폭) : 교각과의 안전 이격거리와 선박 폭과의 비로 교량하부 소형 선박 및 잠종선의 통항로 판단 요소 및 통항 선박이 교각으로 인한 심리적 안전 이격거리를 판단하는 기준
- ⑨ DB(부두와의 이격거리)/L(선박길이) : 교각과 부두와의 이격거리를 표시하는 요소로 교각과 부두사이의 가항수역을 선박 길이로 나눈 값

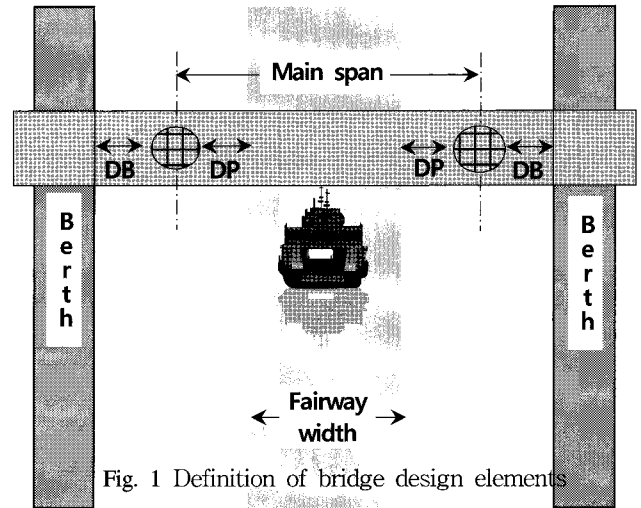


Fig. 1 Definition of bridge design elements

3. 국내외 항로 설계지침 분석(CR)

해상교통시스템의 설계 요소인 수역시설과 관련된 국내 법령은 항만법에 의해 마련된 “항만 및 어항 설계 지침”에 명시되어 있으며, 관련 지침에서 해상교량과 관련된 사항을 종합하여 정리하면 다음과 같다.

3.1 국내 항로 설계 지침

1) 항로 기준

해상교량이 건설되는 해역의 항로 기준에 대해서는 직접적인 명시 규정은 없으며, 일반적인 오픈 해역에 대한 항로 설계 기준은 항로의 길이 및 통항상황에 따라 Table 1과 같이 결정하고 있다.

Table 1 Domestic criteria of fairway

Length of fairway	Traffic situation	Width of fairway
Relatively long	meeting frequently	2.0L
	others	1.5L
Others	meeting frequently	1.5L
	others	1.0L

또한, 통항량이 현저하게 많은 항로나 횡단하는 선박의 항행이 예상되는 항로, 초대형선을 대상으로 하는 항로, 기상·해상 조건의 영향이 심한 항로 등 특수한 항로에서는 상기 일반항로의 폭에 이용 실태를 감안하여 추가적인 여유를 확보하도록 규정하고 있다.

2) 항로배치

우리나라의 항로 배치 계획은 안전 항행, 조선의 용이함, 지형적인 영향, 기상·해상조건 및 관련 시설물들과의 조화를 고려하도록 하고 있으며, 다음 조건을 만족하는 양호한 항로의 설계를 요구 하고 있다.

- ① 가능한 직선 항로일 것
- ② 만곡부가 있을 경우 곡률이 적을 것(30° 미만)
- ③ 폭이 넓고, 수심이 충분 할 것
- ④ 바람, 조류, 기상 및 해상조건이 양호할 것
- ⑤ 항로표지 및 신호설비 등이 잘 정비되어 있을 것

3.2 국외 항로 설계 지침

1) 항로 기준

해운선진국(미국, PIANC, 일본 등)의 항로 설계 기준에 반드시 반영되는 항로 폭 설정에 관한 공통 요소를 종합하여 정리하면 다음과 같다.

- ① 대상선박의 길이 및 폭
- ② 선박 통항량
- ③ 파랑, 조류, 바람 등 기상·환경 요소
- ④ 주변 수역의 이용 상황
- ⑤ 선박간 교행 가능성
- ⑥ 항로 형태의 특수성

주요 국가별 및 연구 제안자에 따른 해운선진국의 항로 폭에 대한 적정 규모를 분석하여 정리하면 Table 2와 같다.

2) 항로배치

PIANC 및 미국의 항로 배치(layout)에 관한 권고 내용을 정리하면 다음과 같으나, PIANC의 경우 교량 전후의 직선거리가 5L 이상이 되도록 직접 명시하고 있다.

- ① 직선 항로 설계 유도
- ② 만곡부 설계 지침(PIANC 5~10L이상, 미국 5L이상)
- ③ 조류 및 바람, 수심의 영향 고려
- ④ 적절한 해상교통시설의 설치
- ⑤ 교량 전후 직선거리 5배 이상(PIANC)
- ⑥ 건설비 및 유지비 고려(미국)

Table 2 Foreign criteria of fairway

Proposer or author	Width of fairway	
	(round trip)	(one way)
本田啓之輔(조선통론)	7.2~8.2B	4.6~5.1B
岩井聰	8~10B	5~6B
United Nations Conference on Trade and Development	7B + 30m	5B
PIANC and IAPH, Cooperation with IMPA and IALA	4.2~14.2B	1.9~7.2B
일본 항로설계지침(선박 및 항로가 확정된 해역)	1.5~2.0L	0.5~1.0L
Gregory P. Tsinker	6.2~9.0B	3.6~6.0B
미국 항로설계지침	5.4~8.5B	2.8~6.2B

* 일본의 경우 항로를 특정할 수 없을 경우 기본 항로폭, 측벽영향 및 교행 영향을 고려하여 별도 설계

3.3 설계지침 분석 종합 결과

국내의 항로설계 지침을 종합적으로 분석하여 항로 배치, 최소 항로 폭 및 형하고로 분리하여 정리하면 다음과 같다.

1) 항로 배치

국내의 설계 지침에서 공통적으로 제시하고 있는 사항들을 정리하면 다음과 같다.

- ① 가능한 직선 항로일 것
- ② 바람, 조류, 기상 및 해상조건이 양호할 것
- ③ 항로표지 및 신호설비 등이 잘 정비되어 있을 것
- ④ 적절한 해상교통 시설의 설치

국내의 항로설계 지침에서 도출된 위의 요소들은 해상교량의 위치 선정에 있어서 반드시 고려해야 될 사항으로 정리할 필요가 있다.

2) 최소 항로 폭(CR)

해상교량의 적정 규모를 직접적으로 명시한 규정은 없으나, 해상교량의 교각이 항행 장애물로 작용한다는 점을 고려할 때 일반 항로 설계 지침보다는 교량 하부의 항로 폭은 보다 안전하게 큰 여유를 갖도록 설계되어야 한다. 국내 설계 지침에 의거 해상교량 하부의 최소 항로 폭을 도출하면, 향후 증가 가능한 해상물동량을 감안하여 왕복통항으로 설계할 경우 최소 항로 폭은 반드시 2.0L 이상이 되어야 한다.

$$S/L \geq 2.0, R/L \geq 5.0 \quad (1)$$

4. 국내 해상교량 설계 현황 분석(Cs)

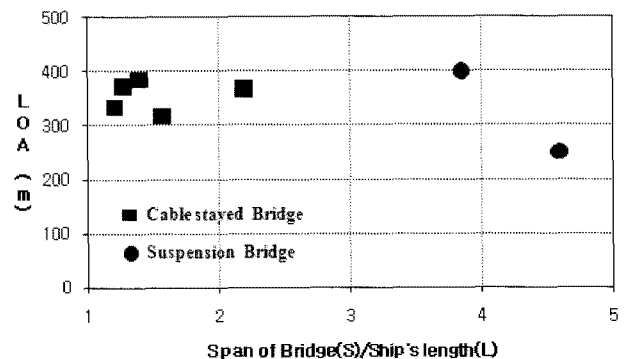


Fig. 2 Analysis of domestic bridge scale

국내 해상교량의 규모는 일반적으로 경제성 원리에 의해 토목 설계 회사가 제시한 교량을 선박조종시뮬레이터를 활용하여 당해 해역에 적합한 통항 형태와 대상 선박을 선정하여 다수의 선박조종시뮬레이션을 수행한 후 선박의 통항 항적을 기초로 항로 침범 확률 또는 충돌 확률을 산출하여 통항안전성 여부를 최종 결정한다. 국내 주요 해상교량의 크기를 분석한 연구(이

의, 2008)에 따르면, Fig.2와 같이 주경간장 대비 선박길이는 교량의 형태별(사장교 및 현수교)로 크게 차이가 있는 것으로 나타났다. 해상교량의 규모 판단 요소인 S/L의 분석 결과, 사장교는 S/L이 1.2~2.2로 작은 반면 현수교의 경우에는 3.8~4.6로 분석되었다. 사장교의 경우 S/L 수치가 작은 이유는 일부 해상교량의 경우 선박의 통행 빈도가 높지 않기 때문에 단독통행을 가정하였거나 최대 통행 선박의 예측에 차이가 있었던 것으로 판단된다.

국내 해상교량의 현황 분석을 통해 도출된 해상교량 하부의 최소 항로 폭을 교량의 형태(C_{S1}: 사장교, C_{S2}: 현수교)에 따라 제시하면 다음과 같다.

$$C_{S1} \geq 2.2L \text{ or } C_{S2} \geq 3.8L \quad (2)$$

그리고 형하고는 선박의 최대 높이가 선형별로 상이하여 국내 해상교량의 현황 분석에서는 일반화된 최소 기준을 도출할 수 없었으나, 최근 선박 설계 기술의 향상으로 통행 선박의 높이가 증가하는 경향을 고려하여 불 때 형하고 설계 기준의 상향 조정이 필요할 것으로 사료된다.

5. 해상이용자 설문조사 결과 분석(CQ)

5.1 설문 조사 현황

해상교량이 이용자에게 미치는 영향, 교량 설계시 우선 검토 사항, 교량의 적정 규모 등에 대한 해상이용자의 의견을 조사·분석하기 위하여 한국도선사협회와 해운선사의 도선사 및 항해사(선장 포함)를 대상으로 설문조사를 실시하여, 회수된 134개(도선사 76명, 항해사 58명)의 설문 결과를 분석하여 정리하면 Table 3과 같다.

5.2 설문조사 결과 분석

1) 해상교량 건설시 최우선 고려 요소 분석

해상교통 안전 측면에서 해상교량 건설 시 가장 중요한 요소는 Fig.3과 같이 도선사와 항해사 모두 교량전후의 직선거리와 선박 통행량이 고려되어야 한다는 의견이 각각 65%, 62%로 지배적으로 나타났다.

또한 항로와의 직각배치, 적정 이격거리, 만곡부 배제 등이 해상교량 건설시 설계에 반영될 필요가 있다. 특히 설문조사 결과에서도 알 수 있듯이 교량 하부를 운항할 때 55.77%의 응답자가 일반적인 교통 상황이라면 교각 사이의 중앙으로 통과한다고 응답했으며, 교각 중앙부의 약간 우측으로 통과나 조기에 침로를 확보한다는 의견도 각각 15%로 분석되었다. 해상교량 전후의 직선거리 확보는 선박운항자 관점에서 가장 중요한 요소 중 하나로 작용하고 있으므로, 해상교량 위치 선정에 있어 반드시 고려해야 될 요소로 판단된다.

Table 3 Analysis of ship operator's questionnaire

Items	Pilot (63 persons)	Navigator (46 persons)
참가 비율	인천(22.2%)>부산(17.5%)>울산(14.3%)>평택(9.5%)>여수(7.9%)>마산(6.3%)>포항>군산>대산	선장 : 30%, 일등항해사 : 35% 이등항해사 : 22% 삼등항해사 : 23%
평균 경력	평균 도선 경력 : 7.5년	평균 승선 경력 : 9.8년
해상교량이 선박통행에 미치는 영향	1) 장애물로 존재 : 90.5% 2) 장소에 의존 : 6.3% 3) 기타 : 3.2%	1) 장애물로 존재 : 69.6% 2) 장소에 의존 : 28.3% 3) 기타 : 2.1%
해상교량 건설시 최우선 고려 사항	1) 직선거리 : 42% 2) 선박 통행량 : 23% 3) 항로와 직각배치 : 15% 4) 적정 이격거리 : 13% 5) 만곡부 배제 : 5% 6) 기타 : 2%	1) 직선거리 : 33% 2) 선박 통행량 : 29% 3) 적정 이격거리 : 15% 4) 항로와 직각배치 : 11% 5) 만곡부 배제 : 9% 6) 기타 : 3%
대상선박의 선정 기준	1) 향후 10년 : 74.6% 2) 향후 5년 : 15.9% 3) 해상특수선 : 4.7% 4) 현행최다통행선박 : 3.2% 5) 현행운항최대선박 : 1.6%	1) 향후 10년 : 63.0% 2) 향후 5년 : 13.3% 3) 현행운항최대선박 : 12.8% 4) 현행최다통행선박 : 6.5% 5) 해상특수선 : 4.4%
교량의 규모 (주경간장/선박길이)	1) 3L 이상 : 39.7% 2) 2L 이상 : 28.6% 3) 2.5L 이상 : 11.1% 4) 4L 이상 : 12.7% 5) 1.5L 이상 : 7.9%	1) 3L 이상 : 34.7% 2) 2L 이상 : 32.6% 3) 2.5L 이상 : 17.4% 4) 1.5L 이상 : 8.7% 5) 4L 이상 : 6.6%
교량직업 직선거리 (직선거리/선박길이)	1) 5L 이상 : 52.4% 2) 7-8L 이상 : 39.6% 3) 기타 : 4.8% 4) 3L 이상 : 3.2%	1) 7-8L 이상 : 56.6% 2) 5L 이상 : 36.9% 3) 기타 : 4.5% 4) 3L 이상 : 2.0%
교각과 항로끝단 이격거리 (이격거리/선박폭)	1) 2B 이상 : 15.9% 2) 3B 이상 : 32.0% 3) 4B 이상 : 27.0% 4) 5B 이상 : 25.1%	1) 2B 이상 : 13.2% 2) 3B 이상 : 39.0% 3) 4B 이상 : 32.6% 4) 5B 이상 : 15.2%
교각과 접안시설 이격거리 (이격거리/선박길이)	1) 1L 이상 : 7.9% 2) 1.5L 이상 : 3.2% 3) 2.0L 이상 : 32.5% 4) 2.5 이상 : 42.1% 5) 3.0L : 14.3%	1) 1L 이상 : 4.4% 2) 1.5L 이상 : 4.2% 3) 2.0L 이상 : 39.1% 4) 2.5L 이상 : 47.8% 5) 3L 이상 : 4.5%

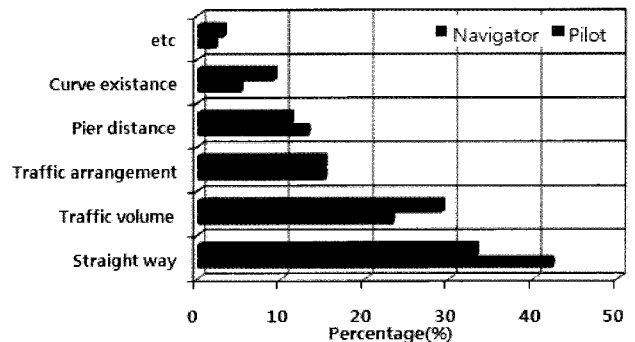


Fig. 3 Safety elements of bridge construction

2) 해상교량의 적정 규모 분석

해상교량의 적정 규모에 대한 분석 결과를 S/L과 R/L 요소로 분리하여, 항목별로 도선사와 항해사 비율을 동시에 제시하면 Fig.4와 같다.

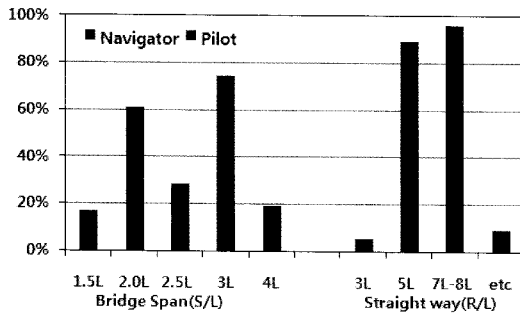


Fig. 4 Results of proper scale of S/L and R/L

해상교량의 적정 규모를 제시하기 위하여 도선사와 항해사의 의견수렴 결과를 다음과 같이 설문조사 항목별 누적 합계가 100%를 초과하는 기준 값을 다음과 같이 분석한다.

$$\sum_{i=1}^n (C_{PQi} + C_{OQi}) \geq 100\% \quad (3)$$

여기서, C_{PQi} : 도선사 설문조사 결과 차지 비율

C_{OQi} : 항해사 설문조사 결과 차지 비율

i : 세부 결정요소(1.5L, 2.0L, 2.5L, 3L, 4L)

위의 방법은 도선사와 항해사의 차지 비율에 대한 누적 분포가 해당 요소의 절반 이상을 초과할 경우 최소 적정 규모로 결정하기 위해 고안한 것이다. 분석 결과 100%를 초과하는 각 세부 요소별 기준은 S/L의 경우 2.5이상(누적 통계 106%)이며, R/L은 7~8이상(누적 합계 191%)으로 검토 되었다. 따라서, 선박운항자의 설문조사 결과에 따른 해상교량의 최소 규모 결정 요소 및 직선거리 요소는 다음과 같이 판단된다.

$$S/L \geq 2.5, \quad R/L \geq 7.0 \sim 8.0 \quad (4)$$

Fig.5는 교각과 항로 끝단까지의 안전 이격거리 및 부두와의 적정 이격거리에 대한 설문조사 결과를 DP/B와 DB/L 요소를 기준으로 나타낸 것이다.

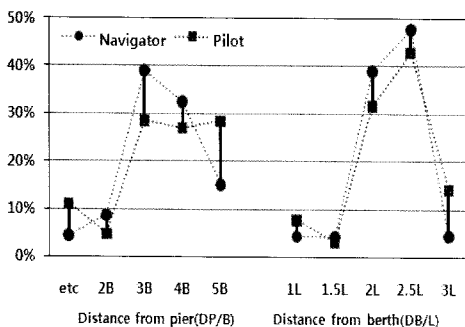


Fig. 5 Results of proper scale of DP/B and DB/L

DP/B는 3이상이 100%, DB/L의 경우에는 2.5이상이 181%로 분석되어, 이를 기초로 최소 기준은 제시하면 다음과 같다.

$$DP/B \geq 3.0, \quad DB/L \geq 2.5 \quad (5)$$

6. 해상교량 관련 해양사고 분석(CA)

미국, 유럽 및 일본 등의 해상교량과 관련된 해양사고 분석(박 외, 2008; 박 외 2005)을 기초로, 표준환산 길이 계수가 1.0인 길이 70m 이상인 선박에 대한 해양사고 결과만을 도출하여 항로폭과 선박 길이를 분석하여 제시하면 Fig.6과 같다.

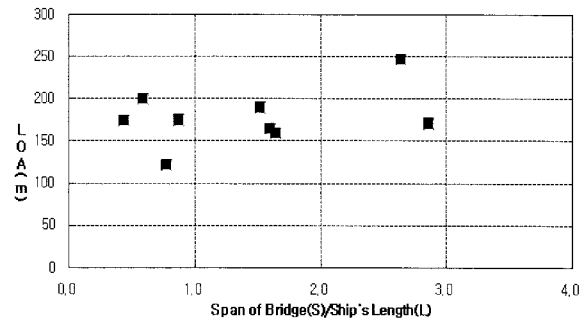


Fig. 6 Result of marine accidents with S/L

교량의 규모에 대해서는 선박의 통항량, 해상 및 기상의 지역별 특징을 고려할 필요가 있으나, 교량으로 인해 발생한 해양사고만을 대상으로 분석할 경우 S/L이 2.0 이하인 범위에서 해양사고가 집중되고 있음을 확인할 수 있다.

다음으로 해상교량 진입항로의 직선길이와 대상 선박과의 관계를 분석하기 위하여 길이가 70m 이상인 선박의 교량과 관련된 해양사고를 분석하면 Fig.7과 같다.

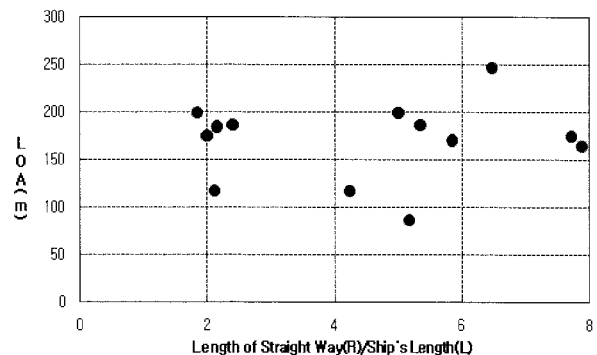


Fig. 7 Result of marine accidents with R/L

위의 결과로부터 해상교량 관련 사고는 주로 교량 진입 직선 직선거리가 8L 미만에서 주로 발생하고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 해상교량의 해양사고 분석을 통한 필요 직선거리를 제시한 연구(Shoji, 1986)와 유사한 결과이다.

해상교량과 관련된 해양사고 분석을 통해 도출된 선박의 크

기와 교량 규모 및 직선거리의 최소 기준은 다음과 같다.

$$S/L \geq 2.9, \quad R/L \geq 8.0 \quad (6)$$

7. 해상교량의 설치 위치 및 적정 규모 제한

7.1 해상교량의 설치 위치 제시

해상교통 안전 측면에서의 해상 및 육상에 설치되는 모든 교각은 선박 통항 및 항만 운영에 지장을 초래하지 않도록 설계되어야 하고, 선박 통항 안전 및 항만 운영에 증대한 지장을 미치는 경우에는 침매터널 또는 장대교량(현수교)으로 건설되는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 해상교통의 안전 확보를 위하여 국내외 항로 설계 지침 등을 분석한 결과를 기초로 해상교량의 적정 위치 결정에 고려해야 될 요소들을 제시하면 다음과 같다.

- ① 선박 통항량이 많은 해역은 가급적 피할 것
- ② 선박통항에 위협요소(천수, 횡방향 흐름 등)가 존재하는 해역을 피할 것
- ③ 해상에 설치되는 교각은 항로 부근 및 선박 항해에 지장이 있는 해역에 설치하지 말 것
- ④ 해상에 설치되는 교각은 교량 인근에 설치된 부두를 이용하는 선박의 통항 및 접이안 조선에 지장을 초래하지 않도록 배치할 것
- ⑤ 교량통과 이전에는 직선이고 다른 방해요소가 없는 적절한 직선길이를 확보할 것
- ⑥ 교량의 배치는 선박의 통항 항로와 가급적 직각이 되도록 할 것
- ⑦ 교량의 주경간장 중심이 항로의 중심과 가능한 일치하도록 할 것
- ⑧ 육상에 설치되는 교각은 현재 이용 중인 부두 운영 및 향후 부두개발 계획 등을 종합적으로 고려하여 계류시설이나 하역시설 등의 운영에 지장을 초래하지 않도록 배치할 것

7.2 해상교량의 적정 규모 및 안전 이격거리 도출

앞에서 해상교량의 적정 규모와 관련된 국내외 항로설계지침, 해상교량 건설 현황 분석, 설문조사 결과, 해양사고 분석에 따른 교량의 최소 기준을 종합하면 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison of each elements

Analysis	S/L	R/L	DP/B	DB/L
국내외 항로 설계지침(C _R)	2.0	5.0	-	-
해상교량 현황 분석(C _S)	사장교 : 2.2 현수교 : 3.8	-	-	-
설문조사 분석 결과(C _Q)	2.5	7~8	3	2.5
해양사고 분석 결과(C _A)	2.9	8	-	-

해상교량의 적정 최소 규모는 다음 식과 같이 각 요소별로

분석한 최소 기준치 중에서 가장 최대치를 기준으로 적용하면 2.9L 이상으로 분석된다.

$$C(S/L, R/L) = \text{Max}(C_R \cdot C_S \cdot C_Q \cdot C_A) \quad (7)$$

다만, 해양사고 분석 결과의 경우 해상교량의 규모가 직접적인 원인으로 작용했다고 단정할 수 없고, 운항자의 인적요소, 교량의 지리적 요소 등이 복합적으로 작용한 결과이고, 교량 건설에 소요되는 막대한 비용 등을 감안하면 사장교의 경우 S/L이 2.5이상이면 선박의 안전 통항은 가능할 것으로 사료된다.

해상교량 전후 구역에서의 항로의 직선거리(R/L)는 가급적 최대로 설계하는 것이 바람직하고, 최소 8.0L 이상의 직선거리가 확보될 필요가 있는 것으로 분석된다. 또한 교량하부의 항로 끝단에서 교각 또는 충돌방지공까지의 이격거리(DP/B)는 소형 선박의 통항로 및 비상해역으로 활용될 수 있도록 항로 양 끝단에서 대상 선박의 3.0B 이상이 확보되어야 한다. 그리고 항로 주변에 부두시설이 있을 경우, 해상교량과 접안시설과의 안전 이격거리는 최소 2.5L 이상이 확보되어야 한다.

7.3 해상교량 건설시 고려해야 될 사항

해상교량의 건설시 선박 통항에 지장을 초래하지 않는 위치 선정 및 적정 규모 이외에 선박운항자의 안전 통항을 위해서는 다음과 같은 사항들이 교량 설계 및 건설시에 종합적으로 검토되어야 한다.

- ① 해상교량으로 발생하는 레이더 영상의 왜곡으로 인한 영향을 최소화하는 구조 설비, 레이더 차폐구역에 대한 장비 설치, VTS 관제 장비의 확충 및 관제사의 증원에 대한 검토가 필요하다.
- ② 선박의 통항이 빈번하고, 해상교량 교각과의 충돌의 개연성이 존재하는 경우에는 교각에 적절한 충돌방지공을 설치해야 한다.
- ③ 해상교량에는 교량표지, 레이콘 등을 설치하고 교각에는 조사등과 같은 적정 해상교통시설을 배치해야 한다.
- ④ 해상교량의 조명은 선박운항자에게 지장을 초래하지 않도록 적절한 배치 방안을 검토해야 한다.
- ⑤ 해상교량의 교각으로 인해 소형 선박이 교각을 우회하여 통항할 경우 소형 선박의 안전 통항이 가능하도록 준설 계획을 수립해야 한다.
- ⑥ 위에서 기술한 내용 이외에 기타 해상교량으로 인해 발생할 수 있는 항행원조시설인 항로표지, 항행관제, 재해예방 및 구난 설비에 대한 종합적인 대책을 수립해야 한다.

8. 결 론

태안반도 해양오염사고를 계기로 해상교통 안전에 대한 사회적 공감대가 높은 반면, 해양사고 발생 개연성이 크고 선박 통항에 막대한 영향을 미치는 해상교량 건설 사업과 관련한 각

중 기술 설계 기준은 미비하여 이해당사간 지속적인 마찰이 반복되고 있다.

본 연구에서는 국내의 항로설계지침, 국내 해상교량 현황 분석, 해상교량 규모 관련 설문조사, 해양사고 조사 분석 등을 기초로 해상교통안전 측면에서 해상교량 설계시 검토해야 될 위치 선정 요소를 제시하였고, 해상교량의 규모와 관련된 교량하부의 가항수역, 부두 및 교각까지의 이격거리 등과 관련된 최소 기준들을 다음과 같이 도출하였다.

- ① 해상교량(사장교)의 선박길이 대비 주경간장은 최소 2.9L이상으로 건설될 필요가 있으나, 건설에 소요되는 비용 등의 경제성을 고려할 때 2.5L이상이면 선박의 안전 통항은 가능할 것으로 사료된다.
- ② 해상교량 진입 직후의 직선거리는 선박의 통항안전에 가장 중요한 요소로 최소 8L이상 확보될 필요가 있다.
- ④ 교량하부의 항로끝단에서 교각 또는 충돌방지공까지의 이격거리는 소형 선박의 통항로 및 비상해역으로 활용될 수 있도록 항로 양 끝단에서 대상선박의 3.0B 이상이 확보될 필요가 있다.
- ⑤ 항로 주변에 부두시설이 있을 경우, 해상교량과 접안시설과의 안전이격거리는 최소 2.5L이상으로 설계하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- [1] 박영수, 이윤석, 박진수, 조익순, 이은(2008), “항만회당 해상교량의 해양사고 관련 인자 분석을 통한 교량 설계안 제안”, 한국항해항만학회, 제32권 10호, pp.743-750.
- [2] 박영수, 박진수, 고재용, 정재용, 이은(2005), “해상교량 건설을 위한 선박통항 안전성 검토요소에 대한 연구”, 한국항해항만학회지 제29권 제1호, pp.71-75.
- [3] 박진수, 박영수, 조익순(2007), “해상교량 건설시 해상교통안전 확보방안”, 제22차 해양사고방지 세미나, pp.3-25.
- [4] 이윤석, 조익순, 조주현, 송재욱(2008), “해상교량 관련 선박조종시뮬레이션 분석”, 한국항해항만학회, 제32권, 제5호, pp.321-326.
- [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.

원고접수일 : 2009년 4월 11일
 심사완료일 : 2009년 6월 29일
 원고채택일 : 2009년 6월 30일