

목포 연육교 건설에 따른 선박 통항 안전성 평가

양찬수* · 공인영**

*** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Vessel Traffic Safety Assessment for the Construction of the Mokpo Bridge

Chan-Su Yang* · In-Young Gong**

*** Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering/KORDI, Yuseong PO Box 23, Daejeon, 305-600, Korea

요 약 : 현재 목포 북항과 고하도를 연결하는 목포 연육교의 건설이 추진 중에 있으며, 이 교량은 2009년 말에 완공될 예정이다. 항행 수역에 건설되는 교량에 대해서는 선박 운항 측면에서의 안전성 평가가 필수적이지만, 아직 이에 대한 구체적인 지침이 마련되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는, 목포 연육교 평면 배치 계획에 대한 선박 운항 측면에서의 평가 절차를 소개하고, 교량의 계획 단계에서부터 고려되어야 하는 사항들에 대해 검토하였다. 교량의 주경간 등 전반적인 배치 계획에 대한 평가를 위해, 대상 해역에 교량이 건설된 상황을 설정하여 실시간 시뮬레이션(RTS) 및 배속 시뮬레이션(FTS) 등의 운항 시뮬레이션을 실시하였다. 이로부터, 선박과 교각과의 충돌 위험도를 추정하기 위해, 항로상에서의 선박의 항행 궤적 분포는 정규분포를 따른다는 가정 하에 통계적 분석을 수행하였다.

핵심용어 : 교량, 주경간, 실시간 시뮬레이션(RTS), 배속 시뮬레이션(FTS)

ABSTRACT : In A bridge which connects Mokpo North Harbor and Goha Island is going to be constructed until 2009. For the bridges being built in the navigable water area, it is indispensable to carry out vessel traffic safety assessment from the viewpoint of shiphandlers, however, there exist no specific guidelines for the necessary conditions which the bridge designers can rely on.

In this paper, traffic safety assessment procedures for the layout of the bridge is briefly introduced, and the conditions which should be taken into account at the initial design stage of the bridge is surveyed. For the safety assessment of the bridge design, ship navigation simulations, such as RTS(real time simulation) and FTS(fast time simulation), are carried out, the results of which are statistically analysed to estimate the probability of collision between the ship and the pier of the bridge.

KEY WORDS : bridge, main span, real time simulation, fast time simulation

1. 서 론

건설교통부의 통계 현황(www.moct.go.kr)에 따르면, 연도교 10개를 비롯한 연육교 12개(약 17km)의 교량이 연안의 항행 수역에 건설되었다. 그 외에 고속국도로 2000년에 완공된 서해대교(길이: 7310m, 폭: 약 63m, 주경간장: 470m)가 있다(그림 1). 이들 대부분의 교량은 선박의 항행수역에 놓여 있어 선박과의 충돌 위험이 항시 존재하고 있다. 또한, 앞으로도 목포대교를 포함한 교량이 계속해서 항행수역에 건설될 예정이다. 참고로, 이

하에 사용되는 교량관련 용어와 교량 종류에 대해서 선박운항관점에서 필요한 사항을 부록 1과 2에 정리하여 두었다. 지금까지의 교량과 선박의 운항에 관한 연구와 보고서를 살펴보면, 주경간장을 교간장, 중앙 경간장, 최대 경간장, 지간장 등으로, 같은 의미에 대해서도 다양한 용어가 사용되고 있는 것을 알 수 있다(건설교통부, 2004; Yang, 2003; 양·공, 2003; 윤 등, 2003; 해양수산부, 2001). 추가로 현수교와 사장교의 차이에 대해서 설명하였다.

목포에서는 육지와 섬을 잇는 연육교(목포대교) 설치를 계획하고 있다. 그림 2는 목포항 항로 등의 배치상황을 나타내고 있으며, 여기에 2009년까지 건설될 예정인 목포대교의 위치를 삽입하였다. 교량설치 예정지는 고하도의 북단부근(용머리 조축)과 목포 북항 주변을 연결하는 역이다. 이 교량은 앞으로 고하

*대표 저자: 양찬수(정회원), yangcs@kriso.re.kr, 042)868-7276

**중심회원, iygong@kriso.re.kr, 051)868-7261

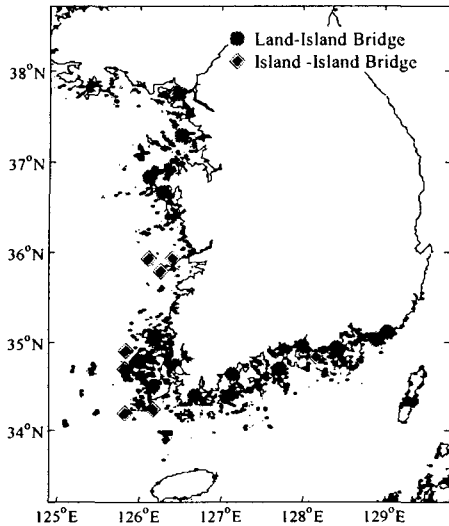


Fig. 1 Status of bridges in navigational waters as of 2002.

도 남서방향에 신의항(2011년까지 단계별 개발)이 개장하게 되면서 발생하게 될 화물의 수송을 담당하게 될 것이다.

목포항의 항만교통정보시스템(PTMS, 그림 2와 3 참조)은 유달산의 아래 남서쪽에 위치하고 있으며, 주로 3대(그림 2의 '⊙' 위치로 몽하도, 화원반도, 외달도)의 레이더정보에 의존하여 선박운항 지원 서비스를 실시하고 있다. 그러나, PTMS 조사 결과, 목포대교는 레이더 음영(陰影)수역에 들어가는 것으로 되어 있다.

항행수역에 있는 교량을 비롯한 해양 구조물은 외력에 비교적 약하며, 선박 운항적 측면에 있어 위험 요소 중의 하나이다. 특히, 연안에 주로 설치되는 교량은 선박과 충돌시 교각의 붕괴와 더불어, 많은 인명 피해를 초래할 가능성이 있으며, 육상과 해상에서의 물류를 차단하게 된다(양·공, 2003; Yang, 2003; Lasen, 1993). 최근의 대형사고로는 2002년 5월 29일 Oklahoma Bridge의 붕괴로, 총 14명이 희생되었다.

목포 연육교 건설에 있어, 통항 최대 선박은 55,000DWT톤급 일반화물선이고, 대상 교량의 주경간장은 500m로 주어졌다(그림 3과 4). 항행수역에 건설되는 교량에 대해서는 선박 운항 측면에서의 안전성 평가가 필수적이지만, 아직 이에 대한 구체적인 지침이 마련되어 있지 않은 실정이다. 이에 우리나라에서는 관련 당사자들이 주어진 조건에 대해서 당시의 정치, 경제, 사회, 문화적 상황을 고려하여 상대적인 교량건설의 선박 운항 안전평가를 수행하고 있는 실정이다.

본 연구에서는, 목포 연육교 평면 배치 계획에 대한 선박 운항 측면에서의 평가 절차를 소개하고, 교량의 계획 단계에서부터 고려되어야 하는 사항들에 대해 검토하였다. 교량의 주경간 등 전반적인 배치 계획에 대한 평가를 위해, 대상 해역에 교량이 건설된 상황을 설정하여 실시간 시뮬레이션(RTS) 및 배속 시뮬레이션(FTS) 등의 운항 시뮬레이션을 실시하였다. 이로부터, 선박과 교각과의 충돌 위험도를 추정하기 위해, 항로상에서의 선박의 항행 궤적 분포는 정규분포를 따른다는 가정 하

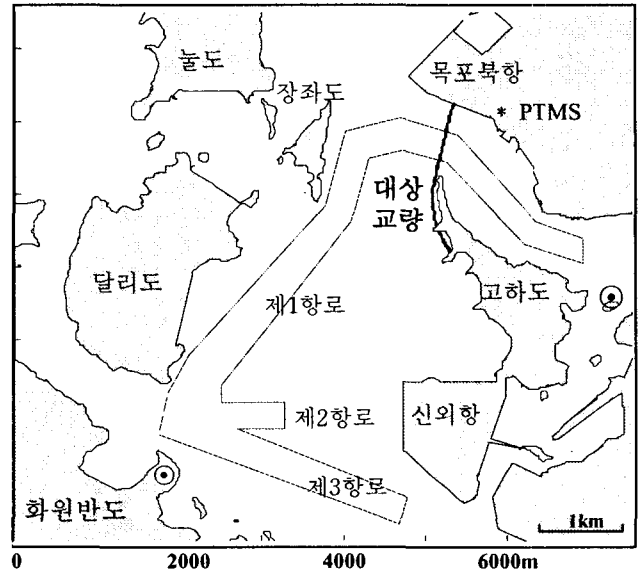


Fig. 2 Map of Mokpo harbor including the Mokpo Bridge tentatively called The symbols(⊙) represents radar sites.

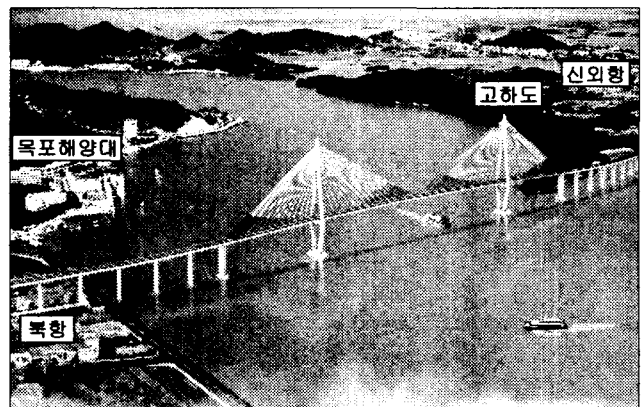


Fig. 3 A bird's eye view image of the Mokpo Bridge

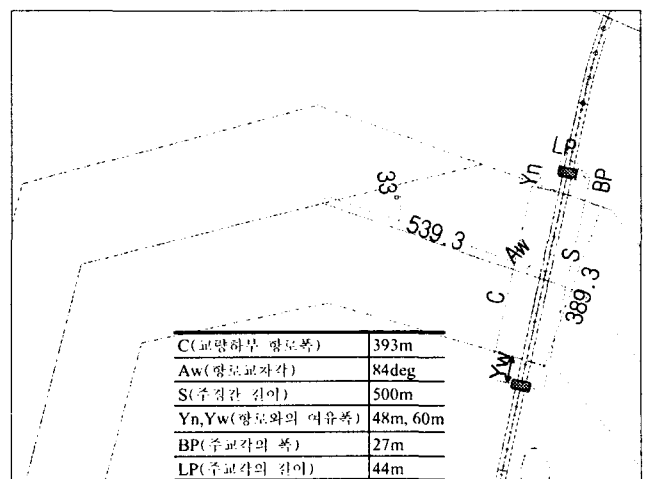


Fig. 4 Channel layout and geometry in the vicinity of the bridge site.

에 통계적 분석을 수행하였다. 이 결과로부터, 주어진 주경간장

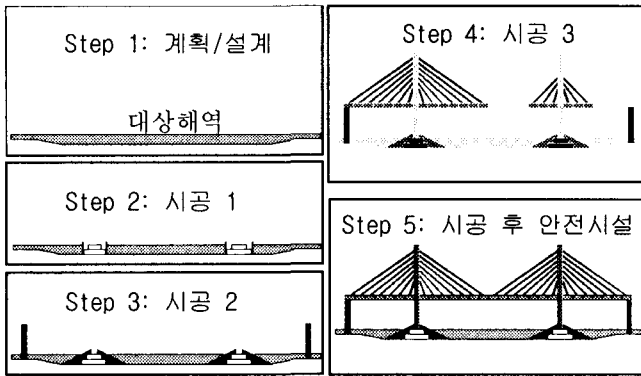


Fig. 5 Construction procedures of bridges with a focus on a navigational safety.

과 교량의 위치에 대한 선박운항 안전성의 향상을 위한 대안을 제시하고자 한다.

2. 교량의 설치단계별 선박 운항적 측면에서의 고려사항

그림 5는 선박의 항행 안전의 관점에서 교량 건설 및 운항 안전성의 검토를 위하여 교량의 설치 단계별로 나타낸 그림이다. 항행수역에 교량이 설치되는 경우, 교량을 통과하는 선박은 추가로 지물(地物)의 영향을 받게 되어 항행의 어려움이 증가되는 것이다. 이에 따라, 교량의 초기 설계 및 계획 단계(그림 5의 Step 1)에서부터 완공 이후에도 선박 통항의 안전성을 검토하여 모든 계획을 수립해야 한다.

2.1 Step 1: 교량 계획 및 초기 설계 단계

선박과 교량의 충돌의 문제를 다루기 시작한 것은 1983년으로, IABSE(International Association for Bridge and Structural Engineering)와 미국 선박충돌에 관한 위원회의 활동에 의해서 이루어졌다. 그 후, 미국 도로 교통안전협회(AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials)는 선박 통항과 교량사이의 관계에 관한 연구를 통해, 고속도로 교량의 선박충돌사고에 대비한 설계 Guide Specification(1991)를 채택하였다(AASHTO, 1991). 이 설계 이론에서, 교량의 일반적인 설계는 선박이 교량과 충돌하여 인명 손실 등 막대한 피해로 이어질 위험을 감소시키자는 것이다. 또한, 이 위험의 감소는 비용 효율적 방법으로 달성되어야 한다는 것이다.

새로운 교량을 건설하고자 하는 경우, 계획을 세우는 단계에서 가능하면 초기에 교량과 선박의 충돌에 관해서 충분히 고려하는 것이 중요하다(AASHTO, 1991; Duan·Chen, 1999; National Research Council, 1983). 그 주된 이유는, 선박충돌의 가능성이 큰 경우 교량건설의 총비용이 크게 변동할 수 있기 때문이다. 따라서 선박의 충돌위험을 사전에 조사하기 위하여 항로 배치와 교량 주변 수역 및 해상교통 특성을 고려하고, 이의 결과를 배경으로 교량의 종류, 위치 그리고 배치를 결정하여야 한다. 하지만, 우리나라의

경우 가장 중요한 이 과정에서의 선박운항관련 전문가의 참여가 거의 이루어지지 않고 있으며, 실질적으로는 사업 수행 계획을 갖고 있는 회사에서 교량의 종류, 위치, 배치를 정한 후 연구기관에 검토를 요청하는 절차를 밟고 있다.

이와 같은 배경에 의해, 본 연구에서는 그림 3과 4에서와 같은 사장교의 배치계획을 바탕으로 형하고(Vertical Clearance)와 항로 폭(가항수역폭)의 평가를 수행하였다. 이 장에서는 형하고의 사용을 소개한다.

형하고는 기준수면과 교량 최하면과의 수직거리이며, 선박 통항을 위해서는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{형하고} = \text{통행선박의 높이(최대 마스트높이)} + \text{여유량} \quad (1)$$

통행 선박으로서는, 이 수역을 항행하는 최대 크기 선박의 경하 상태를 생각한다. 여유량 중에는 파랑에 의한 선체상하운동, 이상 조위에 대한 수위의 여유량, 선체 트림의 영향, 조선상의 심리적 영향에 대한 여유량이 포함된다. 일본의 경우, 대형 교량의 경우 이 여유량은 2m 정도로 하고 있다. 기준 수면은 약 최고고조면(AHHW)으로 약 0.5m이고, 최대 마스트높이는 46.0m(6만총톤급 자동차 운반선)이다. 형하고는 53m로 하였다.

하지만, 우리나라의 경우 교량의 위치를 결정하는 중요한 요소 중의 하나는 지역사회의 문화와 전통의 이해에 있다. 목포의 고하도는 입진왜란 때 이충무공에 의해 전락지로 활용되어 왜적의 침투를 막아낸 곳으로서 이를 기념하기 위해 이충무공기념비(지방유형문화재 39호)가 서 있으며, 목포의 유달산과 함께 충무공의 전설적 일화와 호국 열이 서린 섬이라고 할 수 있다. 또한, 고하도는 목포의 8경중에서 두 가지(용두귀범, 고하선송) 내용의 중심이 되고 있다. 즉, 이와 같은 지역주민의 정서적 배경을 고려한 교량설계가 중요한 변수이었다. 따라서 두 번의 타당성 조사용역결과(목포시, 1997; 기획예산처, 2000), 해저터널 안은 교량건설보다 약 2.6배의 공사비 소요 예상으로, 다른 교량 노선들은 용머리와 고하도를 가로지르기 때문에 용머리 우회하는 노선이 최종 선정되었다.

2.2 Step 2-4: 시공 단계 1-3

그림 5의 Step 2에서 4는 교량의 건설 작업 과정의 예를 나타내고 있다. 교량의 건설 공사 기간 중에도, 공사로 인한 항로의 추가적인 폐쇄는 거의 없으나, 교량의 주교각 기초부 설치 공사 및 갑판의 연결 시 단기간에 걸쳐 일부의 추가적인 채역 점유가 발생할 것으로 예측된다.

따라서, 공사 기간 중에도, 대형선박의 운항이 예상되는 경우에는, 교량 건설 해역 부근에서 대형 선박 간에 조우가 발생하지 않도록 PTMS 등을 이용하여 관제를 수행할 필요가 있다.

2.3 Step 5: 시공 후 안전시설

교량 건설 후의 안전대책으로서, 다양한 형태로 항행환경정보를 제공하고 안전지원하는 예방 대책과 교량과 선박의 충돌에 의한 피해를 최소한으로 하기 위한 방호 대책이 있다.

1) 예방 대책 검토

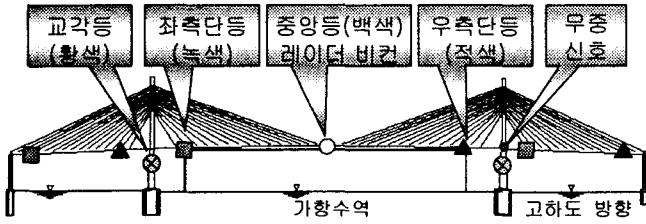


Fig. 6 Installation example on a bridge to aid navigation.

선박이 교각에 충돌하는 상황을 방지하기 위한 예방대책으로, 교량과 항로상의 항로표지, 다양한 형태의 새로운 항행규정의 도입, PTMS 등의 선박 관제 시스템의 시행 등이 포함된다. 항로표지로는, 교량등과 같은 등화, 전파표지, 음향표지, 주간시각표지 등이 있을 수 있다. 그림 6은 목포대교에 대한 설치 예를 보여주고 있다. 교량등으로서의 중심등, 측단등, 교각등 등이 있으며, 주간에도 그 식별이 용이하도록 교량표(Bridge Mark)와 함께 표시할 필요가 있다.

목포 PTMS의 기능을 강화하고, 레이더 음영해역에 대한 대처방안으로 장좌등(교량의 서쪽방향 섬)에 레이더와 CCTV시설을 설치하여 교량하부 동향 선박의 물표추적 장애를 해결하도록 하여야 한다.

2) 충돌 시 방호 대책 검토

선박과 교량의 충돌은 일반적으로 인명사고를 동반하는 경우가 많다(양·공, 2003; Shoji, 1999). 선박이, 엔진이나 타(舵) 고장 등에 의해 교각에 접근할 경우에는, 각종 방호 시설로 선박 충돌을 완화하고 충격력을 흡수할 필요가 있다. 방호시설은 교량의 보호뿐만 아니라, 선박과 주변 환경을 보호하기 위한 것이다. 이러한 충돌 방호 시설에는 여러 종류가 있기 때문에, 대상 선박과 지형적 조건을 고려하여 선정하는 것이 일반적이다.

3. 배속 시뮬레이션

배속 시뮬레이션과 실시간 시뮬레이션을 통해, 주경간 및 교각의 위치 등 교량 건설계획의 타당성을 선박 운항 관점에서 검토하였다. 배속 시뮬레이션을 통해 대상해역의 환경특성(조류, 바람)이 선박에 미치는 영향을 분석하여, 실시간 시뮬레이션 시나리오 자료로 활용되었다. 대상선박은 55,000 DWT급의 일반화물선(전장 218m, 폭 32.3m, 만재흘수 12.9m)으로 설정하였다.

3.1 대상 해역의 항행환경 모델링

목포지방 기상대의 자료(1992-2001)에 의하면 연평균 풍속은 4.1m/sec, 최대풍속은 21.4m/sec이다. 본 검토에서는 선박 출항 통계 기준 및 도선사 협회 목포지회의 의견 등을 고려하여, 일반적으로 항내에서의 선박 운항의 한계값으로 알려진 풍속 30kts를 바람의 최대 풍속으로 설정하였다. 조류분포는 대조시

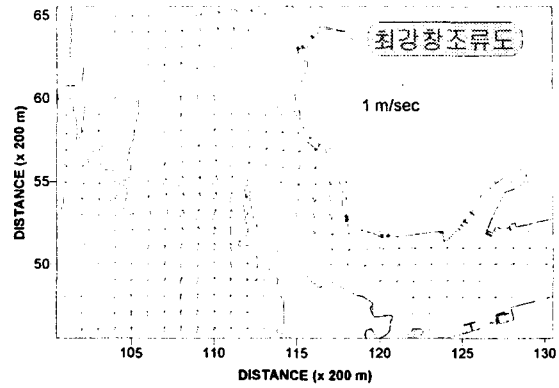


Fig. 7 Channel layout and geometry in the vicinity of the bridge site.

Table 1 Scenario of Fast Time Simulation

입출항	바람		조류
	풍속	풍향	
입항 출항	0 - 30 (5 노트 간격)	N - NW (45도 간격)	정조 강창조 강낙조

(Spring Range)의 창조 및 낙조류 분포를 시뮬레이터 시스템에 입력하여 사용하였다. 그림 7은 최강 창조류 분포도를 도시한 것이며, 조류는 전반적으로 항로방향으로 흐르며, 고하도 북단(용머리 또는 용두) 남측에서 상대적으로 강한 유속이 나타나고 있다.

배속 시뮬레이션은, 표 1에 정리된 것과 같이 336가지 경우의 조합에 대하여 수행되었다. 이러한 배속 시뮬레이션은 고도의 판단 능력을 요구하는 인간의 조선 행위에 대한 재현이 어렵다는 단점이 있는 반면, 인간의 판단을 대신한 자동 운항 알고리즘에 의해, 주어진 상황에 대한 고속의 연산이 가능하여, 상대적으로 매우 많은 경우에 대한 시뮬레이션이 가능하다는 장점이 있다.

3.2 배속 시뮬레이션 결과

그림 8과 9는 55,000 DWT 일반화물선의 입항 및 출항 배속 시뮬레이션시의 궤적 분포를 각각 도시한 것이다. 장좌등 남동측 해역에서, 입출항 궤적 모두 상대적으로 넓은 분포를 보이는 것은, 그 해역에서의 상대적으로 강한 조류에 기인한 것으로 판단된다(그림 7 참조). 또한, 입항 시 교량 통과 직전에 보이는 궤적의 분포는, 선박의 선회가 시작되기 이전의 궤적 분포가 영향을 미친 것으로 판단된다.

입출항시 모두, 모든 풍향과 풍속에 대하여 타 사용량(정조시)의 큰 변화는 보이지 않았으나, 입항 시에 바람의 영향이 상대적으로 강하였다. 입항 시에는 특히, 서풍(W), 남서풍(SW)이 타 사용량을 증가시키며, 북동풍(NE), 동풍(E) 등은 선박의 선



Fig. 8 Trajectory of incoming simulation Fig. 9 Trajectory of outgoing simulation

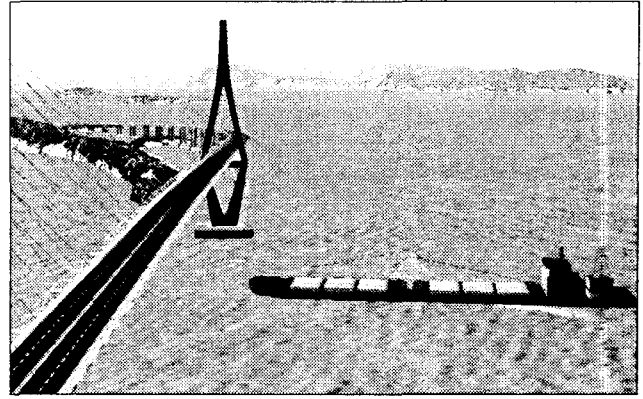


Fig. 12 An Example of real time simulation scene.

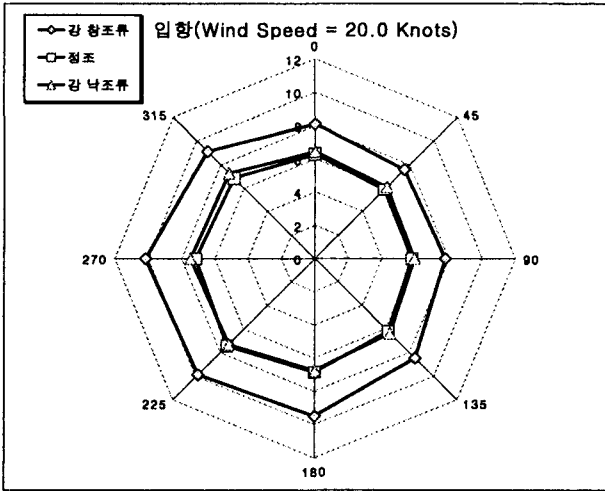


Fig. 10 Average rudder amount used(Entry into port, Wind speed of 20 Knots)

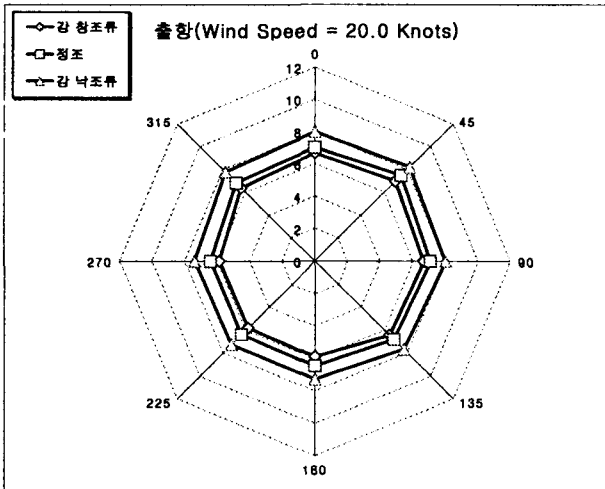


Fig. 11 Average rudder amount used(Departure, Wind speed of 20 Knots)

회를 도와, 풍속이 증가하면서 타 사용량이 오히려 감소하는 현상을 보였다. 출항 시에는 바람의 영향이 그리 크지 않았다.

그림 10과 11은, 조류가 입출항 선박의 운항에 미치는 영향을 파악하기 위해, 타 사용량 변화를 조류 조건과 풍향, 풍속을 변

수로 해서 Polar Plot으로 도시한 것이다. 입항 시에는 창조류가, 출항 시에는 낙조류가 각각 선박의 타 사용량을 전반적으로 증가시키고 있음을 알 수 있다. 또한, 입항시의 창조류의 경향이 출항시의 낙조류의 영향보다 큰 것을 알 수 있다. 입항 시에는 특히, 남풍(S), 남서풍(SW), 서풍(W), 북서풍(NW) 계열의 강한 바람이 창조류와 동시에 존재할 경우에는, 타 사용량이 많이 증가하는 등, 입항시의 선박운항 난이도를 증가시킬 수 있는 조건임을 보여주고 있다. 출항 시에는, 특별히 조류의 영향이 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

4. 실시간 시뮬레이션

실시간 시뮬레이션에서는, 항로폭, 엄밀하게 말하면 주경간장에서 교각폭(BP, 그림 4)을 뺀 가항수역폭에 대한 선박운항 안전성 평가를 수행하였다. 교량의 주교각(주탑)은 항로를 중심으로 대칭 배치되어 있다.

대상 선박이 여러 가지 항행 환경 하에서 입항 및 출항하는 과정에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 대상 해역에서의 해상/기상 조건 등 각종 상황을 변화시키면서, 총 60 가지(입항 28, 출항 32) 경우에 대한 실시간 시뮬레이션을 수행하였다. 이때, 3장의 배속 시뮬레이션 분석 결과를 바탕으로, 바람(20-30kts)과 조류(강창조와 강낙조)의 조합이 선박 운항에 불리하게 작용하는 경우를 중심으로 RTS 시나리오를 구성하는 등, 악조건 위주로 실시간 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 중에는 예선을 사용하지 않았고, 교량 부근에서 타 선박과 조우(遭遇)하는 상황이 발생하지 않도록, PTMS 등에 의하여 관제를 수행한다고 가정하였으며, 따라서 대상선박은 단독으로 교량을 통과한다고 가정하였다.

장좌도와 고하도 사이의 항로 굴곡부 남단 해역은, 준설이 진행 중에 있어, 본 해역이 준설되면 55,000 DWT급의 일반화물선도 필요에 따라서는 본 해역을 이용할 수 있을 것이다. 시뮬레이션 시에는 이러한 사항을 고려하여, 선박 운항자가 필요하다고 판단하는 경우에는, 본 해역에서도 선박이 운항할 수 있도록 대상 해역의 수심을 설정하였다.



Fig. 13 Trajectory of incoming simulation: RTS

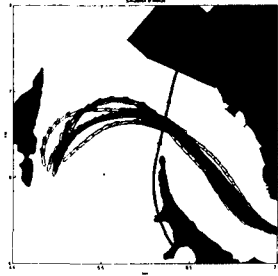


Fig. 14 Trajectory of outgoing simulation: RTS

그림 13과 14는 55,000 DWT 일반화물선의 입항 및 출항 실시간 시뮬레이션시의 궤적 분포를 각각 도시한 것이다. 입출항시 모두 선박 운항 궤적이 상당한 영역에 걸쳐 분포되어 있는 현상을 볼 수 있다.

교량 하부를 포함하여 전반적으로, 출항보다 입항의 경우가 궤적이 더 넓게 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이는, 배속 시뮬레이션 결과 분석에서 예측된 바와 같이, 입항시의 난이도가 출항시의 난이도보다 더 높음을 의미한다. 입항 선박이 선회하고 있는 동안의 약 4-8분간은 최대 타각(35도)을 사용하고 있으며, 그 동안에는 선박 입장에서는 더 이상의 제어 여유를 가지고 있지 못하였다.

출항 시에는, 교량 통과는 별 문제가 없으나, 타 사용시점을 놓칠 경우 장좌도에 선박이 근접하는 문제가 발생할 소지가 있음을 알 수 있다. 최대 타각을 사용하는 구간을 보면, 초기의 변침에 국한되어 있었다.

선박이 항로상을 통항하는 경우, 일반적으로 어떤 항로 단면에서의 선박의 항행 궤적의 분포는 정규분포(Normal Distribution)를 따르는 것으로 알려져 있다(Franz, 1981; Gluver · Olsen, 2001). 본 검토에서는, 선박의 항행수역에 놓이는 교량에 대한 선박의 충돌 위험 분석을 위해 위의 가정에 근거한 통계적 분석 기법을 사용하였다.

55,000DWT급 일반화물선이 단독으로 교량을 통과한다고 가정하고(항로의 중심선을 목표선으로 운항), 교량을 통과하는 순간, 항로의 중심선으로부터 폭 방향의 이격 거리는 정규분포를 한다고 가정하였다. 위의 가정을 사용하면, 정규분포의 누적 확률분포 함수를 이용하여, 그림 15에서와 같이 주교각의 두 끝단(PY1, PY2)과의 충돌 확률을 추정하는 것이 가능하다.

항로상의 특정 단면에서의 선박 항행 궤적의 폭 방향 분포 확률은, 다음과 같은 확률밀도 함수로 표현되는 정규분포로 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp -\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (2)$$

여기서 x : 기준점으로부터 선박 중심의 이격 거리

μ : x 값의 평균

σ : x 값의 표준편차

정규분포의 확률은, $(\mu - 2\sigma)$ 에서 $(\mu + 2\sigma)$ 의 범위에 전체의

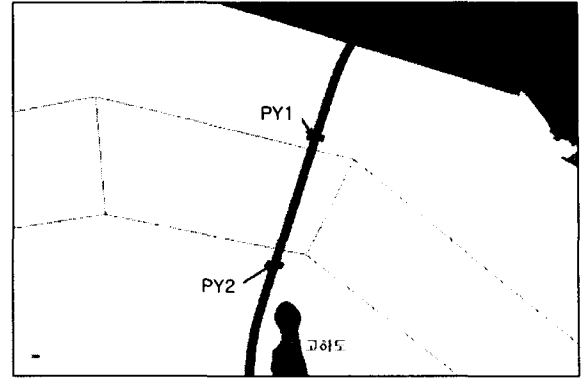


Fig. 15 Locations of reference points (PY1, PY2)

Table 2 Collision probabilities at the locations of PY1 and PY2

주공간장 (m)	확률(PY2, %)	확률(PY1, %)	이동시 평균 (북쪽으로 13m)
350	0.494	1.743	0.539
400	0.164	0.676	0.159
450	0.048	0.233	0.042
500	0.013	0.071	0.01
550	0	0.019	0
600	0	0.005	0

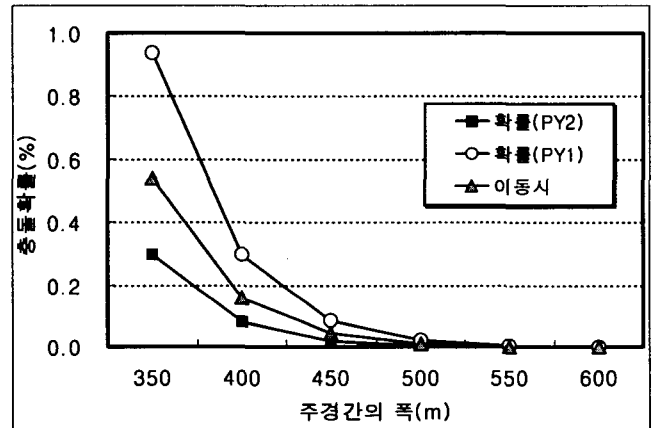


Fig. 16 Collision probabilities at the locations of PY1 and PY2

95%, $(\mu - 3\sigma)$ 에서 $(\mu + 3\sigma)$ 의 범위에 전체의 99%가 포함된다. 따라서 x 를 표준화한 z 에 대한 표준정규분포의 식을 사용하여 충돌확률을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(\geq z) = 0.5 - \int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp -\frac{1}{2}(z)^2 \quad (3)$$

전반적으로, 입항시의 충돌확률이 출항시의 충돌확률보다 큰 것으로 분석되었으며, 입항 시에는 북측 교각(PY1)에의 충돌 확률이 남측 교각(PY2)에의 충돌 확률보다 커지는 것으로 분석되었다. 이로부터 교각의 위치를 현재 계획 위치에서 북쪽으로 약 24m 정도 이동하는 것이 충돌확률을 보다 감소시킬 수

있는 것으로 추정되었다.

선박이 교각에 충돌할 가능성이 있는 가장 높은 확률은, 입항시 북측교각에 대한 충돌 확률인 0.154%이다. 이 값은, TNO (Netherlands Organization for Applied Scientific Research, 네덜란드 응용과학연구소)에서 권장하는 항로침범 확률인 0.1%보다 다소 높은 값이기는 하지만, 55,000 DWT급 대형선박의 실제 입출항 예상 빈도, 표본 추출을 위한 실시간 선박운항 시뮬레이션시 악조건 위주의 시나리오 설정, 대상선박의 조종성능을 불량하게 설정한 것 등을 고려한다면, 실용적으로는 충분한 안전성을 보장하고 있다고 판단된다.

표 2와 그림 16은, 원래 설계의 교각위치(항로를 중심으로 대칭)에서 13m 북쪽으로 평행 이동하는 수정안에 대하여 교량 주경간의 폭이 350m에서 600m까지 변화할 때, 주교각과의 충돌 확률(%)을 입항과 출항으로 분리하여 표시한 것이다. 표에서 0은 확률이 0.001% 미만임을 의미한다. 이로부터 다음과 같은 분석이 가능하다.

- 1) 주경간의 폭이 넓어질수록 충돌 확률은 급격하게 감소한다. 하지만, 주경간의 폭이 500m를 넘어서면, 충돌확률의 감소 추세는 그리 뚜렷하지 않다.
- 2) 교각에의 충돌확률은 출항할 때보다 입항할 때가 더 높다.
- 3) 입항할 때는, 남측 교각보다 북측 교각에의 충돌확률이 더 크다.
- 4) 교각을 현재 위치에서 약 13m 정도 북측으로 이동하면, TNO 에서 권장하는 항로침범 확률인 0.1% 이내의 값을 가지는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 목포항 목포대교에 대해서 선박 운항자적 관점에서 고려해야 될 사항을 검토하고, 교량에 대한 안전 통항을 위해 필요한 제안을 내 놓았다. 다음은 주요 결과를 정리한 것이다.

- 1) 교량의 건설 과정에 있어서, 선박운항적 측면의 고려사항을 검토하였다. 교량의 건설 계획단계에서부터 선박운항전문가의 참여가 이루어지지 않고 있기 때문에, 정해진 교량 위치 및 각종 제원을 가지고 평가하는 실정이다. 따라서, 계획단계에서부터 참여할 수 있도록 하는 것이 교량과 선박의 충돌을 방지하기 위한 첫걸음이라고 본다.
- 2) 대상해역에서 운항하는 55,000DWT급 일반화물선(만재상태)에 미치는 바람의 영향은, 풍속보다는 풍향의 영향이 강한 것으로 분석되었다. 입항시, 남풍(S), 남서풍(SW), 서풍(W), 북서풍(NW) 계열의 강한 바람이 강한 창조류와 동시에 존재할 경우에는, 선박의 운항 난이도가 많이 증가하는 것으로 분석되었으나, 출항 시에는, 특별히 조류의 영향이 크게 나타나지 않았다.
- 3) 전체적으로 입항시의 선박운항에 불리한 조건을 가지는 것으로 판단되었으나, 교각을 현재 위치에서 약 24m 정도 북측으로 이동하면, 입항시 교각에의 전반적인 충돌확률을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었으며, 13m 이동한 경우 0.1% 이내의 값을 가질 것으로 추정된다.

4) 주경간이 500m 이상이고, 본선의 단독 운항이 전제될 경우, 즉, 입항 시에는 장좌도 남단에서부터 교량 통과 후 안정적인 침로를 잡을 때까지, 그리고 출항 시에는 목포 해양대학교 전면 해역에서부터 교량 통과 후 장좌도 남단을 지나 선박이 안정적인 침로를 잡을 때까지, 타 선박과 조우하지 않도록 보장된다면, 입출항은 가능할 것으로 판단된다.

향후, 충돌확률 분석에 있어서 모평균의 추정과 더불어 표본조사의 정확도를 향상시켜갈 예정이다.

후 기

본 논문의 내용은 해양(연) 해양시스템안전연구소에서 기본 연구사업으로 수행중인 “해양위해도 통합관리시스템 기반기술 개발”의 연구결과 중 일부임을 밝힌다. 또한 연구수행에 있어 많은 조언과 도움을 주신 도선사협회 울산지회의 이명식 도선사님과 (주)동강엔텍 조현기 지소장님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 건설교통부(2004), <http://www.moct.go.kr>.
- [2] 기획예산처(2000), 목포 신외항 진입도로(해저터널) 타당성 조사 용역.
- [3] 목포시(1997), 목포 국도대체 우회도로 예비 타당성 조사 연구.
- [4] 양찬수·공인영(2003), 선박과 교량의 상호작용: 일본 오사카항에 있어서 교량과 항행환경 조사, 선박해양기술, 36호, pp.23-29.
- [5] 윤명오·김현중·김중수·성유창(2003), 선박의 교량하 통항 안전성에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제9권, 제2호, pp.31-37.
- [6] 해양수산부(2001), 인천 국제공항 제2연륙교 선박운항 안전성 평가 연구용역.
- [7] Shoji, Kuniaki(1999), 교량에 대한 선박 충돌 사고와 신소재 교각 방호 시설, 日本船長協會「船長」, 제116호, pp52-68.
- [8] AASHTO(1991), Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C..
- [9] Duan, L. and Chen, W.-F. (1999). Bridge Engineering Handbook. CRC Press, p.2000.
- [10] Elzinga, Th. and M.P. Bogaerts, A Simulation Study for LNG Transport by GAS Carrier to Eemshaven, Proceedings of MARSIM 84, 1984
- [11] Franz G. J. Witt(1981), Analysis of Simulated Maneuvers, Proceedings of MARSIM 81, New York.
- [12] Gluver H. and Olsen, D.(2001), Survey of Ship Trajectories in Fehmarn Belt, 2nd International Conference on Collision and

Grounding of Ships, Denmark, pp.13-22.

- [13] Larsen, Ole Damgaard(1993), Ship collision with bridges- the interaction between vessel traffic and bridge structures, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Structural Engineering.
- [14] National Research Council(1983), Ship Collisions with Bridges-The Nature of the Accidents, Their Prevention and Mitigation, National Academy Press, Washington, D.C.,
- [15] Yang, C.S.(2003), Review of Marine Traffic Flow Studies For Vessel Collision Design of Bridges, 2nd Joint Seminar Korea/Japan on Maritime Safety Assessment, pp. 4-1 - 4-4, Mokpo National Maritime University.

부록 1. 용어 정의

이하는 건설교통부의 용어사전을 이용하여 주로 정리하였으며, 아래 그림에서와 같이 경간(經間)과 지간(支間)의 차이는 있으나, 여기서는 편의상 경간만을 사용하기로 한다. 아래 그림에서와 같이 선박운항관점에서 사용하는 선박운항 폭(가항폭)에 대해서 주경간 또는 지간장은 조금 길다.

교량(橋梁, Bridge): 다리라고도 하며, 도로, 철도, 계곡, 호수, 해안 등의 위를 건너거나, 다른 도로, 철도, 수로, 가옥, 시가지 등의 위를 건너는 경우에 이들 위에 가설하는 구조물의 총칭

경간(經間, Span): 교각상단 중심과 교각상단 중심간 거리.

주경간(主經間, Main span): 중앙경간 또는 최대경간이라고도 하며, 주교각에 대한 경간



측경간(側經間, Side span length): 교각상단 중심과 교각상단 중심간거리

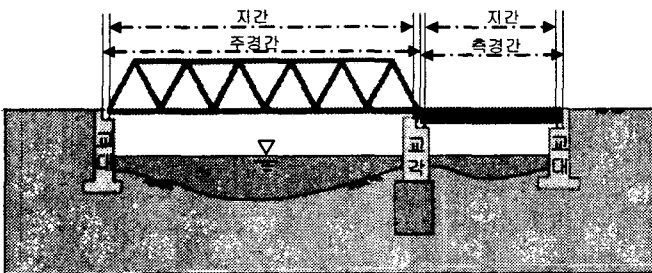
주경간장(主經間, Main span length): 최대경간장 또는 중앙경간장이라고도 하며 주경간의 길이. 선박의 통항을 위한 가항 폭과는 BP(그림 4)만큼 차이가 발생. 실질적으로는, 교각방호시설(충돌방지공 등)을 고려해야하므로 약 2BP정도 차이가 발생.

연육교(連陸橋, Land-island bridge): 교량의 가설위치에 따른 분류로 육지와 섬을 연결하는 다리

연도교(連島橋, Island-island bridge): 교량의 가설위치에 따른 분류로 섬과 섬을 연결하는 다리

교량은 사용재료 혹은 사용목적 등에 다양하게 분류될 수 있으나, 선박의 운항관점에서는 주로 구조형식에 따른 교량을 사용한다. 여기서는 우리나라의 연육교와 연도교로 주로 이용되고 있는 현수교와 사장교의 대해서만 언급하기로 한다.

종류	현수교 (懸垂橋, suspension bridge)	사장교 (斜張橋, cable-stayed bridge)
방식	- 주탑 및 앵커리지로 주케이블을 지지하고 이 케이블에 현수재를 매달아 보강형을 지지하는 교량형식. - 중앙경간 200-500m 정도의 교량에 가장 경제적인 형식.	- 중간의 교각위에 세운 교탑으로부터 비스듬히 내려 드리운 케이블로 주형을 매단 구조물. - 500m 이상의 교량에 가장 대표적인 구조형식
형상		
교량	남해대교, 영종대교, 광안대교, 거금도 연육교 등	진도대교, 돌산대교, 서해대교 등



부록 2. 교량의 구조형식에 따른 분류