

## 선박조종 시뮬레이션을 이용한 용원수로 통항 안전성 평가에 대한 연구

김세원† · 김원욱\* · 조경민\*

### A Study on Traffic Safety Assessment at Youngwon waterway by Ship handling simulator

Se-Won Kim† · Won-Ouk Kim\* · Keoung-Min Jo\*

**Abstract** : In order to effective transportation of goods in Busan new port, it is a plan to build railroad bridge across the Youngwon waterway. Basically ship-handling operators have a mental difficulty and hazardous for navigation under bridge which is constructed across on the fairway. Therefore this study aims to propose the traffic safety assessment of navigation under the bridge by using ship-handling simulator and also investigate the bridge design regulations of certain countries on the fairway.

**Key words** : 용원수로, 선박조종 시뮬레이션, 주경간장, 근접도, 소형여객선

## 1. 서 론

### 1.1 연구 목적

부산신항 건설로 물동량 증가에 따른 원활한 수송을 위하여 용원수로를 횡단하는 철도교량을 가설할 예정이다. 현재의 용원수로는 좁고 심한 만곡을 가지고 있어 소형여객선을 제외하고는 타 선박의 운항이 거의 없는 상태이다. 그러나 이 연구에서는 현재 가덕도와 용원을 정기 운항하는 소형여객선이 용원수로를 이용할 것을 예상하여 안전하게 교량 하부를 통항할 수 있도록 하기 위하여 제시된 3가지 철도교량 배치안중 최적 항로 배치안을 구하고자 한다. 이를 위하여 각종 규정에 따른 이론적 검토 및 선박조종 시뮬레이션을 활용하여 실질적인 검토를 실시하고자 한다.

### 1.2 연구 방법

이 연구에서는 용원수로를 이용하게 될 예상 선박 중 최대급인 총톤수 약 30톤의 소형여객선을 대상선박으로 설정하고, 선박조종 시뮬레이터의 최고 수준인 Norcontrol사의 FMSS (Full Mission Simulator System)를 이용하여 실시간 반복 통항 조종 후 선박의 운항 안전성을 통계적인 방법으로 확인하도록 한다. 그리고 이와 함께 수역시설에 대한 각종 자료를 통한 이론적 검토도 병행한다. 이 연구의 대상인 선박 및 시나리오의 환경조건 그리고 각 철도교량 배치안은 아래와 같다.

대상선박은 <표-1>과 같이 향후 용원수로 이용이 예상되는 최대크기의 여객선으로 하고, 선박조종 시나리오에 따른 환경조건으로는 조류는 <표-2>와 같이 실제 측정된 자료를 이용하였으며, 바

† 책임저자(한국해양대학교 항해시스템공학부), E-mail : swkim@mail.hhu.ac.kr

\* 한국해양대학교 마린시뮬레이션센터

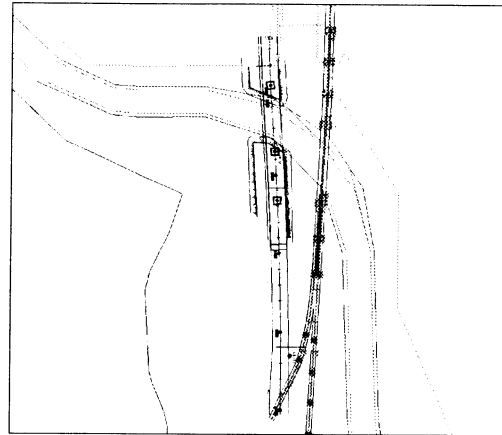
람의 경우는 일반 소형선 운항 제한 풍속인 26kts 보다 낮은 소형 여객선 운항 최대 풍속인 약 20kts 를 적용하였다.

<표-1> 대상선박의 상세

선박	전장	선폭	흘수
상세			
30톤급	약 21.31m	약 4.64m	약 1.7m / 1.9m

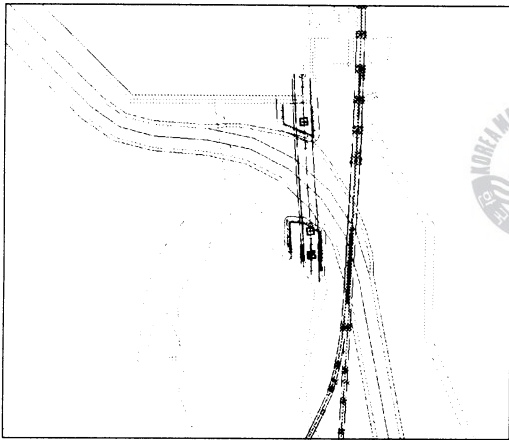
<표-2> 시나리오의 환경조건

바람 및 조류의 실시조건	조류	바람
	창조류 350° - 0.4노트 낙조류 140° - 0.4노트	

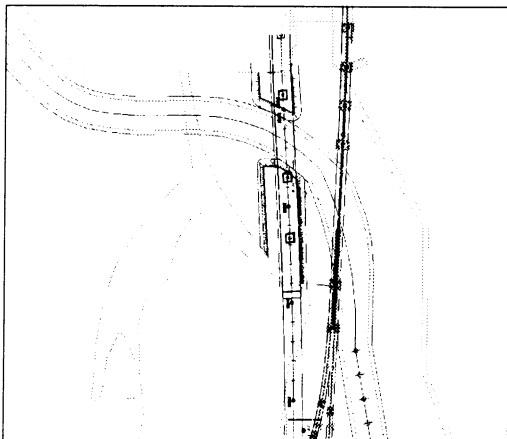


<그림-3> 제 3 배치안

제1배치안은 항로폭이 약60m로 총 3개안중 가장 넓은 곡률반경을 가지고 있으나 곡률반경이 125m, 206m, 358m로 일정하지 않다. 제2배치안은 제1배치안보다 항로폭이 넓지 않고(40m) 곡률반경 또한, 206m, 358m로 일정하지 않다. 제3배치안은 항로폭은 30m로 3개의 배치안중 제일 좁지만 곡률반경이 206m로 일정하다.



<그림-1> 제 1 배치안



<그림-2> 제 2 배치안

## 2. 이론적 검토

수로폭은 총 3개의 배치안이 모두 설계기준을 만족하므로, 이 연구에서는 수로 만곡부 및 교랑에 있어서 필요 주경간장에 대한 이론적 검토를 하고자 한다. 단, 모든 이론적 검토는 상선을 위주로 하였기 때문에 조종성이 양호한 소형 여객선의 경우에는 훨씬 유리한 환경조건으로 판단된다. 이 부분은 선박조종 시뮬레이션을 실시하여 검토하기로 한다.

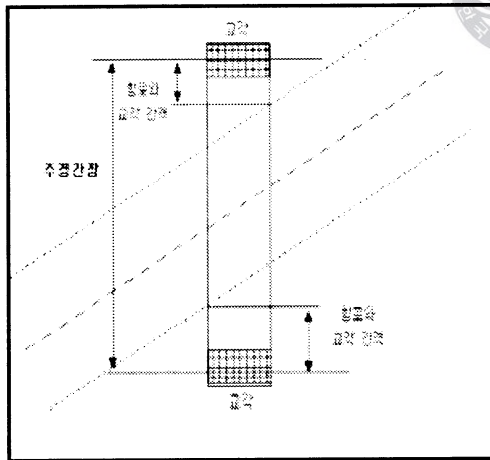
### 2.1 항로의 만곡부

일본 및 우리나라의 항로 설계 지침에 따르면 “만곡부에 있어서 항로 중심선의 교각은 그림에서와 같이 대체로 30도를 넘지 않는 것이 바람직하다. 30도를 초과하는 경우에는 항로 만곡부 중심선의 곡률반경이 대상 선박의 선체길이의 4배 이상이어야 하며, 동시에 항로폭이 적정 이상 확보되어야 한다. 다만, 스포츠 또는 레크레이션 및 레

저용으로 사용되는 요트, 모터보트 등 선회성능이 양호한 선박을 대상으로 하는 경우 및 항로표지 및 신호등에 의하여 안전하고 원활한 조종이 가능하도록 되어있는 경우에는 그러하지 아니하다”[1] 라고 규정하고 있어서 대상선박의 전장 21.31m의 4배인 85.24m의 곡률반경이 필요하다. 이 연구에서의 3개안은 206m~358m의 곡률반경을 가지므로 모두 만족함을 알 수 있다.

## 2.2 AASHTO규정에 대한 연구 검토[2]

AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서 발간한 "Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges"의 Volume I Final Report Section 8에 교량의 주경간장은 대상선박의 2~3L배보다 짧으면 선박에 의한 충돌이 생길 수도 있다고 기술하고 있다.



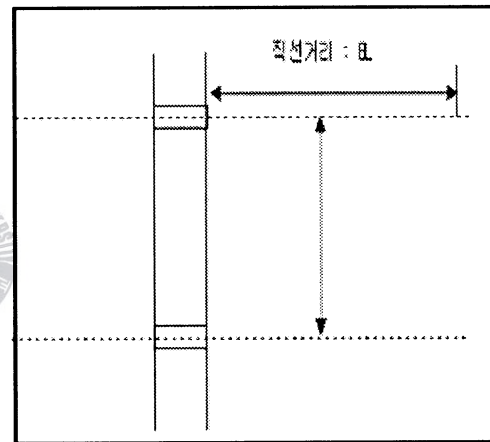
<그림-4> 필요 주경간장

그러므로 용원수로 횡단 진입 철도교량의 경우, 주경간장은 42.62~63.93m보다 짧아서는 안된다는 것을 알 수 있다. 그리고 항로의 폭에 교각폭의 2~3배를 더한 만큼 넓어야 한다고 규정하고 있는데 빈번한 항로는 전장의 두 배를 요구하므로  $2L + [\text{교각폭} \times 2 \text{ 혹은 } 3(\text{교각 두개})] = 56.62\text{m}$  혹은  $63.62\text{m}$ 임을 알 수 있는데 이 규정은 교각에 진입하는 직선거리는 고려하지 않았음을 밝혀둔다. 즉,

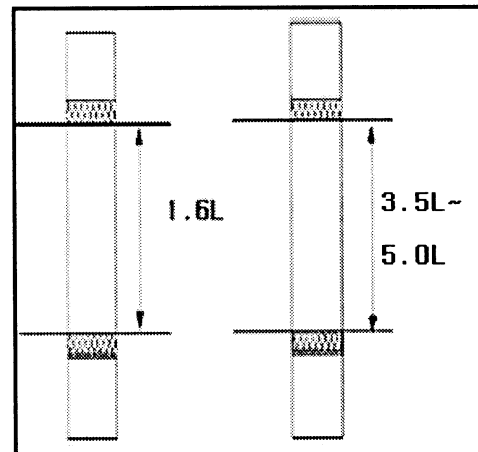
최소값은 42.62m, 최대값은 63.92m이므로 이론적으로는 주경간장은 만족하는 것으로 나타났다.

## 2.3 IABSE규정에 대한 연구 검토[3]

이 규정을 적용하면 용원수로 횡단 진입 철도교량의 경우는 왕복 통행시 주경간장 74.59m~106.55m, 그리고 교량 진입 직선거리는 170.48m가 필요함을 알 수 있다. 즉, 교량 진입 직선거리는 만족하지 못하나 주경간장은 거의 만족하는 것으로 나타났다.



<그림-5> 제한수역의 편도 통행시 필요 직선거리



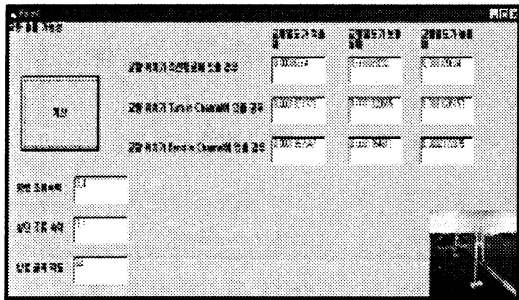
<그림-6> 제한수역의 왕복통행시 필요 직선거리

이상과 같이 국제적으로 통용되고 있는 항로설계 기준의 주요규정을 적용한 결과를 종합하여 보면, AASHTO규정의 연구 검토에 의하면 100m의 주경간장은 만족하며, IABSE규정에 의하면 교량 진입 직선거리는 만족하지 못하나 주경간장은 거의 만족하는 것으로 나타났다. 즉, 주경간장은 만족하나 교량 진입 전후 만곡에 의한 진입 직선거리는 부족함을 알 수 있다. 그러나 이는 조종성능이 좋은 소형 여객선에는 적용되지 않는 사항이므로 선박조종 시뮬레이션을 이용하여 재검토하도록 한다. 그리고 교량 AASHTO의 규정에는 연간 교량 충돌 가능성을 다음과 같은 식으로 표현한다.

$$PA=BR(R_B)(R_C)(R_{XC})(R_D) \quad (\text{식.1})$$

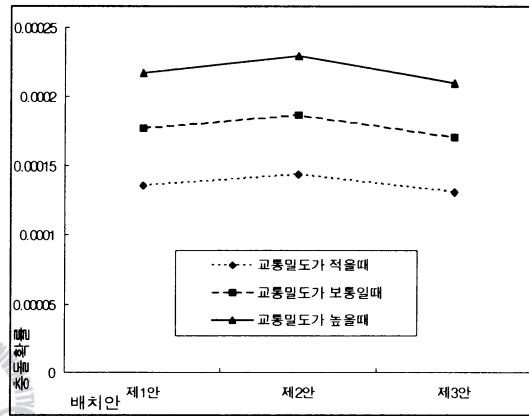
여기서,

- ① BR (기준 이탈율)  
선박의 경우 :  $0.6 \times 10^{-4}$   
바지의 경우 :  $1.2 \times 10^{-4}$
- ②  $R_B$  (교량 위치에 관련된 보정계수)  
직선항로의 경우 : 1.0  
직선 만곡부의 경우 :  $(1 + \theta/90^\circ)$   
곡선 만곡부의 경우 :  $(1 + \theta/45^\circ)$
- ③  $R_C$  (항로에 평행한 조류 속도)  
 $(1 + \text{조류속력}/10)$
- ④  $R_{XC}$  (항로를 횡단하는 조류 속도)  
 $(1 + \text{조류속력})$
- ⑤  $R_D$  (선박 교통밀도에 따른 보정계수)  
적음 : 1.0  
보통 : 1.3  
많음 : 1.6



<그림-7> 계산의 예

<그림-7>과 같은 연간 교량 충돌 가능성(PA)을 구하는 프로그램을 이용하여 각 안에 대한 PA를 구하여 보면 <그림-8>과 같은 결과를 얻었다. 즉, 제3안이 가장 침범가능성이 적은 것으로 나타났다. 이때 제1안의 경우 만곡각도는 44°, 제2안은 49° 그리고 제3안은 41°로 적용하여 검토하였다.

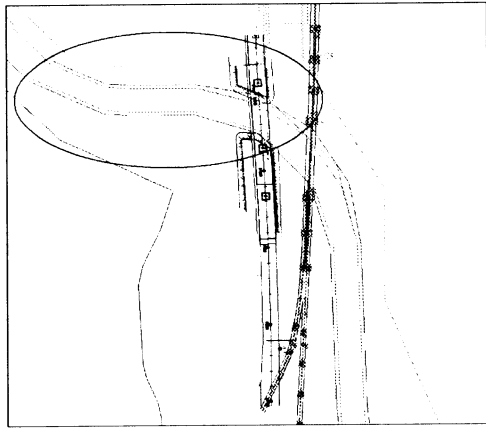


<그림-8> 배치안별 교량 침범 가능성

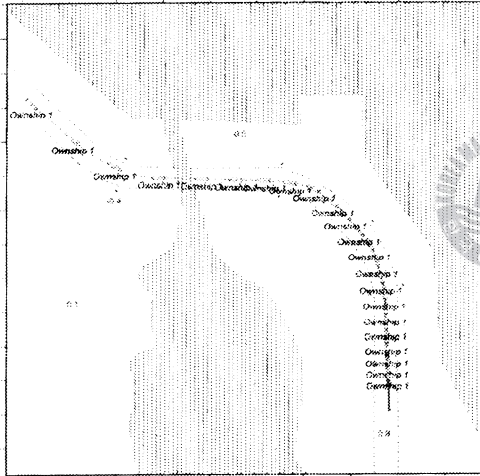
### 3. 선박조종 시뮬레이션 검토

#### 3.1 침범 예상 수역 검토

침범확률 파악의 경우 선박조종 시뮬레이션을 수차례 실시한 후, 그 결과를 이용하여 각 안들에 대하여 가장 침범을 많이 한 지점을 파악하였다. 그래서 침범회수가 가장 많은 곳을 침범확률이 가장 높은 곳으로 판단하였다. 그 결과 대부분 점(A)에서 점(B) 구간사이에서 침범회수가 가장 많이 나타났다. 이 결과에 따르면 각 시나리오별에 의한 유의적인 차이는 거의 없는 것으로 나타났으나, 교항은 단독운항보다 어려운 것으로 판단되며, 입항의 경우에는 낙조류시 보다는 창조류시가, 출항의 경우는 그 반대로 창조류시보다 낙조류시가 약간 어려운 것으로 나타났다. 그 이유는 선박운항 중 선미에서 조류가 오는 순조를 받게 되면 타효가 떨어지기 때문으로 판단된다. 그 결과 <그림-9>와 같은 위험수역을 파악하였으며, 실제 선박조종 시뮬레이션 결과는 <그림-10>과 같다.



<그림-9> 위험 예상구역



<그림-10> 실제 침범의 예

### 3.2 주관적 평가

조종자는 선박조종 종합시스템의 최종 실행자이다. 이 시스템 속에서 선박 조종자는 지형, 항로 표지, 조류, 바람 및 선박의 운동특성 등을 종합적으로 인식하고, 이를 기초로 한 판단을 거쳐 적절한 선박제어 방법을 도출한다. 조종자가 정보를 종합하고 이를 근거로 제어량을 결정하는 과정은 사람에 따라 다르다. 같은 조건, 예를 들어 선속이나 조류에 대한 지각 정도도 다르고 그에 따르는 제어량도 기술과 전략에 따라 다르게 나타나게 된다. 특정 해역, 특정 부두에의 접·이안 및 입·출항 조종과 관련하여 선박의 특성에 따라 개개의

조종자가 느끼는 심적 부담도, 조종의 숙련도는 서로 다르다. 결국 선박을 조종하는 것은 조종자이므로 조종자의 주관적 검토는 그 어떤 검토보다 중요하다고 할 수 있다. 이에 이 연구에서는 <표-3>과 같은 설문지를 작성하여 검토하였으며, 그 결과 배치안별 차이는 없었으나 용원수로를 이용한 여객선의 교항은 곤란한 것으로 판단된다. 그리고 입항의 경우 낙조류시보다 창조류시가 어려운 것으로, 출항의 경우는 창조류시보다 낙조류시가 어려운 것으로 나타났다. 그 이유는 조류가 선박에 뒤에서 오는 순조일 경우 다른 경우에 비해 타효가 떨어지기 때문이다.

<표-3> 조종자 설문지

시나리오 번호	시나리오 조건	
조종자 성명	소 속	
직 책	면 허	
승 선 경력		
조종자가 느끼는 위험감	-3 : 아주 위험하다 -2 : 위험하다 -1 : 약간 위험하다 0 : 판단곤란 +1 : 약간 안전하다 +2 : 안전하다 +3 : 아주 안전하다	
조종자가 느끼는 선박제어의 어려움	-3 : 선박을 조종하기가 아주 어렵다 -2 : 어렵다 -1 : 약간 어렵다. 0 : 판단곤란 +1 : 약간 쉽다 +2 : 쉽다 +3 : 아주 쉽다	
조종자 코멘트		

## 4. 결 론

이 연구에서는 용원수로에 대하여 수역시설에 대한 이론적 검토 및 선박조종 시뮬레이터를 사용

하여 선박 운항의 안전성을 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다. 단, 이 연구에서는 2차원 시뮬레이션을 실시하였으므로 교각과 같은 구조물에서의 심리적 부담감은 적용되지 못하였음을 밝혀둔다.

- ① 각종 교량 설계에 대한 규정에는 일부 미흡한 것으로 나타났다. 하지만 이것은 일반 상선을 기준으로 한 규정들이므로 조종성능이 우수한 소형 여객선의 경우는 이 규정의 적용이 훨씬 유리할 것으로 판단된다. 그리고 3개의 배치안에 대한 이론적 침범가능성 검토 및 시뮬레이션 결과 운항상 곡률반경이 일정한 제3안이 가장 적합한 것으로 판단된다.
- ② 선박조종 시뮬레이션을 위하여 최악의 상태로 설정한 환경조건인 바람 20kts, 조류 0.4kts에서의 대상 여객선 운항은 가능한 것으로 판단된다. 단, 이 이상의 해상조건에서는 인명의 안전을 최우선으로 하는 여객선의 경우 운항을 제한하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- ③ 선박조종 시뮬레이션에 의해 검토된 사항으로 기존에 가덕도행 여객선간의 상호 교행은 곤란한 것으로 판단된다. 이 소형여객선의 경우는 수로통과 시간이 길지 않으므로 적절한 운항시간 조절을 통한 시차통항이 바람직하다고 판단된다.

- ④ 좁고 만곡이 심한 수로를 안전하게 운항하기 위해서는 적절한 위치에서의 변침조종이 아주 중요하다. 그러므로 적절한 위치에 항로표지의 배치가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 연구는 (주) Ocean Space의 위탁과제로서 수행되었다.

## 참고문헌

- [1] (社)韓國港灣協會, “港灣 및 漁港 設計基準”, p. 638, 2000
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials, “Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges”, pp. 40-42, 1991
- [3] International Association for Bridge and Structural Engineering, “SHIP COLLISION WITH BRIDGES”, pp. 13-14, 1993