2003년도 해양환경안전학회 추계학술발표회

論 文

선박의 교량 통항 안전성에 관한 연구

윤명오*, 김현종*, 금종수*, 성유창**
*목포해양대학교 교수, **목포해양대학교 대학원

A Study on Traffic Safety of Ship under Bridge

Myung-ou Youn, Hyun-Jong Kim*, Jong-Soo Keum*, Yu-Chang Seong***
* *Professor, Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University*
** *Graduate school of Mokpo National Maritime University,Mokpo 530-729, Korea*

요 약 : 최근 우리나라는 육지와 도서 및 도서간을 연결하는 해상교량을 건설하는 공사가 활발히 이뤄지고 있다. 이러한 교량은 보통 그 하부를 통해 선박이 통항하기 때문에 건설에 앞서 통항교통의 안전성에 관한 충분한 검토가 필요하다. 따라서, 본 연구는 건설예정에 있는 목포대교를 사례로 하여 교량통항의 안전성을 검증한 것으로 이를 위해 인접 수로의 특성을 분석하고 문헌적 검토를 거쳐 선박운항 시뮬레이터를 이용, 그 타당성과 안전성을 평가한 것이다.
핵심용어 : 시뮬레이션, 해상안전, 해상교통, 교간장

Abstract : *In these days, several bridges have been built or under construction over navigational channel in Korea. In these cases there must be careful consideration for the marine safety of vessels to be passed by below the bridge. This paper aims to analyze the factors influencing maritime traffic safety and to figure out ample width of main span of these kinds of bridges through the reference study and FMSS.*
Key words : *simulation, maritime safety, maritime traffic, main span of bridge*

1. 서론

최근 우리나라는 육지와 도서 및 도서와 도서를 연결하는 교량건설사업을 활발히 추진하고 있다. 해상의 교량은 보통 그 하부로 선박의 통항이 이뤄져야 하기 때문에 교량이 선박의 통항안전성을 저해하지 않도록 충분한 검토가 이뤄져야 한다.

외국의 경우 교각과 선박의 충돌로 대형사고가 발생하는 사례가 확인되고 있다. 본 논문은 목포항에 건설중인 신항만 구역과 목포시를 잇는 목포대교 건설사업을 중심으로 하여 교량설계시 선박통항의 안전을 확보하기 위한 고려요소를 문헌조사를 통해 정리하고 시뮬레이션을 통해 그 적정성을 확인하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

2.1 연구의 범위

본 연구의 범위가 되는 대상해역은 목포대교 건설 예정지 부근 해역으로 그 진입하는 항로에 있어서 목포구 진입 후 내항을 향해 정침하는 지점으로부터 목포내항이 시작되는 지점까지로 목포구 부근 항로(34-46.5 N / 126-20.1E)에서 내항 입구 부근(34-46.6N / 126-22.0E) 지역으로 설정한다. 대상 수역을 통항하는 선박의 선종, 출입교통량은 목포항에 출입하는 선박의 입출항 통계, 목포항 운영 및 개발 계획 등을 반영하여 시뮬레이터 조건을 정한다.

2.2 수행절차

교량 하부를 항행하는 선박의 통항 안전성을 분석하기 위해 먼저 항로 및 제반 조건에 대한 정보를 수집 정리하고, 이러한 자료를 기반으로 하여 다음과 같이 시뮬레이션을 실시한다.(김, 2003)

수행절차의 개요는 Fig.1과 같다.

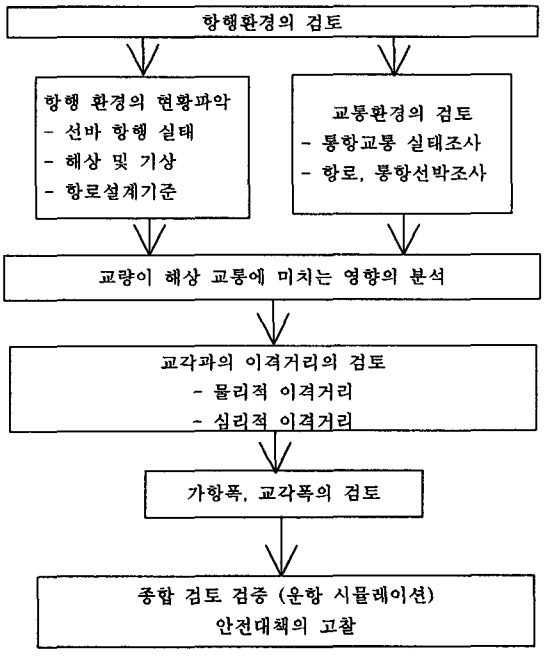

Fig. 1 Procedure of evaluating traffic safety

3. 시뮬레이션 조건

3.1 자연 조건

3.1.1 바람

목포항의 30년간의 기상 기록을 검토한 결과, 탁월풍은 동계에 NNW, 하계에 SE방향으로, 풍속은 대략 폭풍의 범주로 분류되는 30노트를 시뮬레이션시 속도로 정한다.

3.1.2 조류

2001년에 관측한 목포항의 조석, 조류 관측 결과와 1996년도에 국립해양조사원이 간행한 조류도를 근거로 하여, 최강창조류는 100도 방향에 1.5노트, 최강낙조류는 290도 방향에 1.5노트 흐르는 것으로 결정하였다. 유속은 교량 설치 지점부근에서 측정한 자료를 참고하여 실험시 모든 경우에 1.5노트 수치를 사용하기로 정한다.

3.2 해상교통 조건

목포 대교 건설 예정지 부근 해역의 안전성 평가를 위한 시뮬레이션 시에 대상선박으로서 사용될 선박을 정하기 위해 해상 교통량을 분석하였다. 목포구는 그 특성상 외해와의 출입구가 하나뿐인 경우이므로 출·입항 선박의 통계를 가지고도 해상교통량을 상당히 정확하게 추정할 수 있다.(목포해양대학교 해양산업연구소, 2003)

Table 1 Distribution of ship's size

구분 / 년도	입항 (목포) 외항선 척수	입항 (목포) 외항선 톤수	입항 (목포) 연안선 척수	입항 (목포) 연안선 톤수
1993	617	1,251,967	3,318	1,242,913
1994	281	1,376,803	4,104	1,299,916
1995	396	3,143,985	5,542	1,974,203
1996	393	2,730,309	5,321	2,243,520
1997	421	2,300,879	5,434	2,991,448
1998	324	1,777,955	5,792	3,120,587
1999	345	2,257,714	7,031	3,146,347
2000	366	2,526,456	8,752	3,976,821
2001	363	3,104,156	11,379	5,073,268
2002	512	6,232,740	11,647	6,362,761

구분 / 년도	출항 (목포) 외항선 척수	출항 (목포) 외항선 톤수	출항 (목포) 연안선 척수	출항 (목포) 연안선 톤수
1993	615	1,957,490	3,245	1,062,423
1994	275	1,359,896	4,051	1,287,301
1995	401	3,134,406	5,513	1,963,747
1996	402	2,990,418	5,252	2,191,035
1997	444	3,228,157	5,401	2,950,135
1998	347	2,419,437	5,769	3,128,019
1999	354	2,912,292	7,002	3,135,448
2000	370	2,640,184	8,759	3,977,232
2001	376	4,009,998	11,610	5,291,288
2002	523	7,362,412	11,620	6,365,893

Table 1에서 보는 바와 같이 동 기간동안 외항선은 813척으로써 평균 톤수는 7,267톤임을, 연안선의 경우는 연평균 13,654척이 출·입항하였으며, 연안선의 평균 톤수는 460톤으로 나타났다. 2002년 선박의 톤급별 입출항 실적은 Table 2와 같다.

Table 2 Distribution of ship's tonnage

구분 / 톤수 (G/T)	톤급별 입항 선박 척수 (목포) 외항선 척수	외항선 톤수	연안선 척수	연안선 톤수
100톤 미만	9	191	2,689	183,065
500톤 미만	65	27,371	6,163	1,965,462
1,000톤 미만	46	36,399	1,634	1,260,578
3,000톤 미만	110	203,479	878	1,504,613
5,000톤 미만	51	194,542	220	963,054
7,000톤 미만	15	90,065	68	408,814
10,000톤 미만	16	141,618	4	30,689
20,000톤 미만	93	1,390,389	4	46,940
30,000톤 미만	45	1,063,516	-	-
50,000톤 미만	41	1,478,237	-	-
50,000톤 이상	21	1,606,933	-	-

위에서 제시된 출입항 선박들의 통계와 톤급별 실적을 고려하여 최대선형을 5만톤급 선박으로 하고 2만톤급 선박을 교차통항 대상선박으로 하여 목포대교를 통항할 선박 모델을 구성한다.

3.3 항로조건

목포대교 건설예정지 부근 수역은 140도의 선회가 이뤄지는 심한 만곡부로서 만곡부 및 설치교량의 전후에 직선항로를 갖지 못해 교량설치시 충분한 여유수역을 두어 보완할 필요가 있다. 항로폭 산정에 대한 기존 연구자료 및 항로의 적정폭은 Table 4와 같다.

Table 4 Guideline for route width / each country

항로 폭에 관한 지침 및 규정	왕복 항로	대상항로폭
한국 및 일본 항만설계 지침	1.5L ~ 2L	327m ~ 436m
岩井聰	8 ~ 10B	256m ~ 323m
United Nations Conference on Trade and Delvelopment	7B+ 30m	256m
The Joint Working Group PIANC and IAPH, Cooperation with IMPA and IALA	4.2 ~ 14.2B	136m ~ 458m
Gregory P. Tsinker	6.2 ~ 9.0B	200m ~ 300m
점유영역 이론(6~8 kn 감속운항시)	3.5L~ 5L	760m~ 1,100m
일본 해상 안전법	1,400m	1,400m

또한, 항로폭의 산정은 Fig 2에서 보는 바와 같이 교각과 선박간의 물리적, 심리적 이격거리에 의해서 영향을 받게 된다. 물리적 이격거리는 통상 선체길이(L)의 0.5배이며, 심리적 이격거리는 선체길이이상이 되어야만 안전하다고 볼 수 있다. 따라서, 교각의 경간장은 물리적 측면에서 는 선체길이 이상이고, 심리적 측면에서는 선체길이의 2배이상이 되어야 한다. 한편, 해상교통공학적 연구 측면에서 Shoji는 교량과의 충돌사고를 분석한 결과 경간장이 통항 최대 선박 길이의 3배이상을 확보하는 경우 사고 발생 사례가 없음을 확인하였

고, 교량설계의 Guide Speci-fication(미국 운수성)에서는 "교량의 경간장이 선박 길이의 2-3배 이상 확보되지 못하는 경우 선박과의 충돌위험이 크게 증가한다"고 지적하고 있다.(Larsen, 1993)

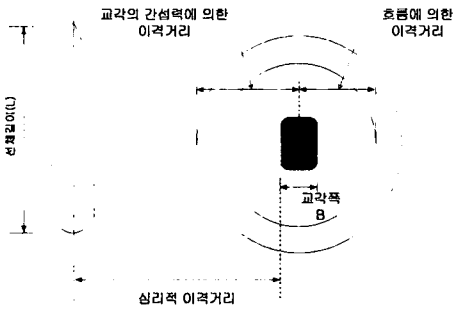

Fig 2 Distance between ship and bridge

위 기준들을 통하여 목포대교 인접 수역의 항로를 분석해 본 결과 Table 5에서 보는 바와 같이 5만톤급 선박에 대해서는 적어도 645m이상의 항로폭이 필요할 것으로 판단되며, 이를 시뮬레이션시 적용하여 그 타당성을 평가해 본다.

Table 5 Width of nav. channel with bridge

이격거리 항목	크기	5만톤급 선박에 적용시
물리적 이격거리	L	214m
심리적 이격거리	2L	430m
해상교통학적 이격거리	3L	645m
종합적 이격거리	3L	645m

3.4 평가방법

3.4.1 선박의 근접도

대상 선박이 항해 중에 항로의 경계, 항만시설, 보조시설, 타 선박 등에 어느 정도 접근하는가를 분석한다. 먼저 근접시 위험이 예상되는 위험기준(선)을 설정하고, 여러번의 시뮬레이션을 실시하여 선체와 이 위험기준(선)과의 최근접거리를 측정한다. 다음으로, 최근접거리에 대한 확률분포를 구하여 평가대상 지점을 침범할 확률을 식(1)에 따라 구한다.

$$\xi = \frac{\mu}{\sigma} \tag{1}$$

μ : 선체와 위험기준과의 최근접거리의 평균
σ : 선체와 위험기준과의 최근접거리의 표준편차

ξ값을 구한 후 위험기준을 침범할 확률(p)을 식(2)를 이용하여 구한다.

$$p = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{\frac{-x^2}{2}} dx \tag{2}$$

3.4.2 선박의 제어도

선박의 제어도는 시뮬레이션 대상수역에서 대상선박의 조종성능, 항만 및 수역배치와 외력조건에 따른 선박 제어의 난이도를 나타낸다. 평가는 선박조종시뮬레이션 실험을 수행한 다음, 선박의 거동 특성에 관련한 자료를 추출하여 통계적 기법으로 분석하여, 선박의 여유제어력, 조타기 사용, 표류량, 추진기 효율성 및 선박의 동적특성을 나타내는 지수들을 산출하여 정량적으로 분석한다.

$$\varepsilon_{RC} = \frac{1}{T} \int_o^T \left[1.0 - \left(\frac{|\delta(t)|}{\delta_{MAX}} \cdot \frac{|RPM(t)|}{RPM_{MAX}} \right) \right] dt \tag{3}$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{T} \int_0^T |\delta(t)| \cdot \frac{|RPM(t)|}{RPM_{MAX}} dt \tag{4}$$

$$\varepsilon_d = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{|\beta(t)|}{\delta_{MAX}} dt \tag{5}$$

ε_{RC} : 여유제어력

ε_r : 타사용지수

ε_d : 표류지수

T : 전체 운항시간
$\delta(t)$: 조타각
$RPM(t)$: 대상선박 프로펠러의 회전수
δ_{MAX} : 최대조타각
RPM_{MAX} : 주기관의 최대 회전수

3.4.3 선박 조종자의 주관적 평가

선박조종 행위는 선박이라는 물적요소와 선박조종자라는 인적요소가 상호작용함으로써 달성되는 것이기 때문에, 주어진 상황에서 선박조종자가 느끼는 심리적 요인도 중요한 변수가 된다. 본 실험시에는 다년간의 선박조종 경험이 있는 선장으로 하여금 시뮬레이션선박의 조종자로 참여하도록 하여 제시된 조건하에서 수회의 모의조종을 실시하게 한 뒤, 표준 조종모델이 될만한 조종사례를 중심으로 조종자가 느끼는 위험도, 선박제어의 난이도, 조종자의 포괄적인 의견 등을 조사한다. 조종자의 주관적 견해에 대해서는 Table 5와 같이 평가 항목별 조선자의 조종부담감의 정도에 따라 점수를 부여하여 평균하는 방법으로 정량화한다.

Table 6 Rating scale on Subjective estimation item

Rating / 구분	1	2	3	4	5	6	7
조종 위험도	아주 안전	안전	약간 안전	위험/안전판단 곤란	약간 위험	위험	아주 위험
조종 난이도	아주 쉽다	쉽다	약간 쉽다	난이도 판단 곤란	약간 어렵다	어렵다	아주 어렵다

4. 시뮬레이션 평가 및 분석

실험 조건에 따라 다음과 같이 4가지 조건으로 나누어 평가하였다.

1) 시나리오 1 :
   5만톤급의 선박 입항, 2만톤급 선박 출항
   풍향 NW, 풍속 30노트,
   조류 100도 방향, 유속 1.5 노트
2) 시나리오 2 :
   5만톤급의 선박 입항, 2만톤급 선박 출항
   풍향 SE, 풍속 30노트,
   조류 290도 방향, 유속 1.5 노트
3) 시나리오 3 :
   5만톤급의 선박 출항, 2만톤급 선박 입항
   풍향 NW, 풍속 30노트,
   조류 100도 방향, 유속 1.5 노트
4) 시나리오 4 :
   5만톤급의 선박 출항, 2만톤급 선박 입항
   풍향 SE, 풍속 30노트,
   조류 290도 방향, 유속 1.5 노트

4.1 시나리오 1

4.1.1 선박의 항적

Table 3는 동계탁월풍인 북풍창조조건에서 입항하는 5만톤급 선박과 출항하는 2만톤급 선박의 항적이다.

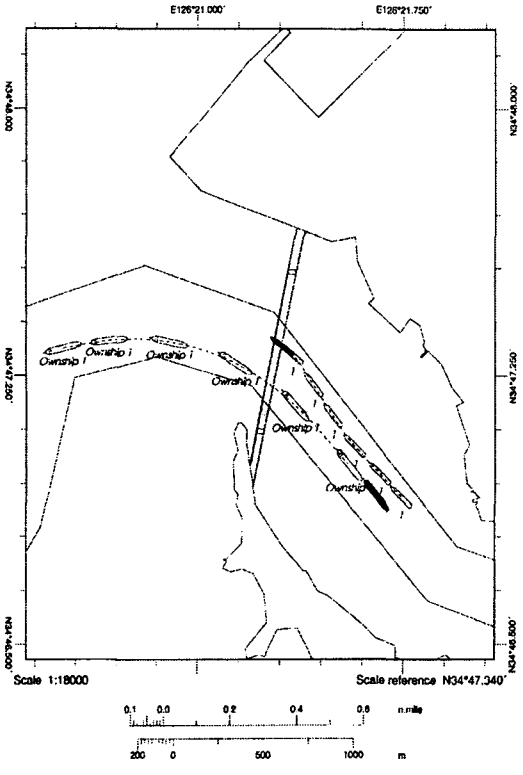

Fig 3 Trace of ship's passage under Bridge

4.1.2 선박의 근접도

Table 6에서 보면 항로 우측 경계선으로부터의 이탈 확률은 0.0008로서 TNO의 보고에 의한 안전한계이내에 들어있다. 주경간장이 500m, 600m인 경우에 교각과의 평균거리는 각각 130m 180m로서 두 경우 모두 교각의 간섭력에 의한 이격거리인 108m를 초과하여 안전한 것으로 판명되었으며, 교각이나 상대선과의 접촉 확률은 두 경우 모두 대체적으로 안전 범위에 들었으나 주경간장이 500m인 경우에는 남측교각이 항로의 경계로부터 좀더 멀어지는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

Table 7 Results of statistical analysis

항로우측경계선			우측교각 (경간장 500m)			우측교각 (경간장 600m)			상 대 선		
평균 거리	표준 편차	이탈 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률
105m	33.04	0.0008	130m	33.04	0.0002	180m	33.04	0.0000	168rn	41.94	0.0000

4.1.3 선박의 제어도

시뮬레이션 결과, Table 7의 수치들을 이용하여 구한 선박의 여유제어력, 조타기 사용지수, 표류량지수 등이 모두 양호하여 선박의 제어에 있어서의 문제는 없는 것으로 판단되었다.

Table 8 Parameters of ship's contrablity

조타각	절대값평균	14.06
	절대값표준편차	9.1
	제곱평균	278.25
조타기사용지수	평균	13.92
	표준편차	9.03
반전타사용횟수		4
선수방위	평균	110.56
	표준편차	21.33
표류지수	평균	0.07
	표준편차	0.05
항적	평균항적면적	2070.47
	최대항적면적	3207.27
	평균항적폭	41.16
RPM	절대값평균	115.82
	절대값 표준편차	15.09
추진기효율성	평균	1.25
	표준편차	0.32
선박의 여유제어량	평균	60.23
	표준편차	25.8
조타면적	우현	6175.4
	좌현	24637.9

4.1.4 선박조종자의 주관적 평가

조종자의 주관적 평가척도에 따라 구한 조종위험도는 5.5이며, 조종난이도는 5.0으로 평가되었다. 조종자의 의견으로는 교각에 의한 조종자의 위험감은 거의 없는데 반하여 교각 부근에서의대각도 변침을 행하는 상대선에 대하여는 상당한 심리적 압박감이 있었으며. 교각 존재에 따른 상대선과의 이격거리를 유지하는데 따르는 어려움등이 있었다.

4.2 시나리오 2

4.2.1 선박의 항적

Fig 4는 하계탁월풍인 남풍낙조조건에서 입항하는 5만톤급 선박과 출항하는 2만톤급 선박의 항적이다.

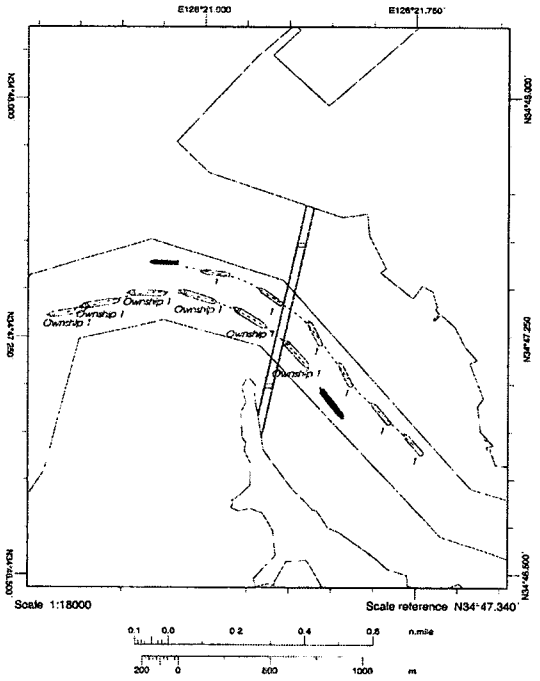

Fig 4 Trace of ship's passage under Bridge

4.2.2 선박의 근접도

Table 8에서 보면 항로 우측 경계선으로부터의 이탈 확률은 0.0009로서 TNO의 보고에 의한 안전한계이내에 들어있다. 주경간장이 500m, 600m인 경우에 교각과의 평균거리는 각각 136m, 186m로서 두 경우 모두 교각의 간섭력에 의한 이격거리인 108m를 초과하여 안전한 것으로 판명되었으며, 교각이나 상대선과의 접촉 확률은 두 경우 모두 대체적으로 안전 범위에 들었으나 주경간장이 500m인 경우에는 남측교각이 항로의 경계로부터 좀더 멀어지는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

Table 9 Results of statistical analysis

항로우측경계선			우측교각 (경간장 500m)			우측교각 (경간장 600m)			상 대 선		
평균 거리	표준 편차	이탈 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률
111 m	35.60	0.0009	136 m	35.60	0.0003	186 m	35.60	0.0000	165 m	47.16	0.0002

4.2.3 선박의 제어도

Table 9의 수치들을 이용하여 구한 선박의 여유제어력, 조타기사용지수, 표류량지수 등이 모두 양호하여 선박의 제어에 있어서의 문제는 없는 것으로 판단되었다.

Table 10 Parameters of ship's contrablity

조타각	절대값평균	6.22
	절대값표준편차	7.94
	제곱평균	100.22
조타기사용지수	평균	6.22
	표준편차	7.94
반전타사용횟수		1
선수방위	평균	105.74
	표준편차	27.26
표류지수	평균	0.07
	표준편차	0.05
항적	평균항적면적	1261.83
	최대항적면적	1910.49
	평균항적폭	31.95
RPM	절대값평균	117.48
	절대값 표준편차	9.92
추기기효율성	평균	1.17
	표준편차	0.17
선박의 여유제어량	평균	82.23
	표준편차	22.69
조타면적	우현	5405.1
	좌현	5592.6

4.2.4 조종자의 주관적 평가

조종자의 주관적 평가척도에 따라 구한 조종위험도는 4.5이며, 조종난이도는 4.5로 평가되었다. 시나리오 1에 비해 조종이 다소 용이하다는 의견과 교각에 의한 조종자의 위험감은 거의 없는데 반하여 상대선에 대하여는 상당한 심리적 압박감이 느꼈다고 평가하였다.

4.3 시나리오 3

4.3.1 선박의 항적

Fig 5는 동계탁월풍인 북풍창조조건에서 출항하는 5만톤급 선박과 입항하는 2만톤급 선박의 항적이다.

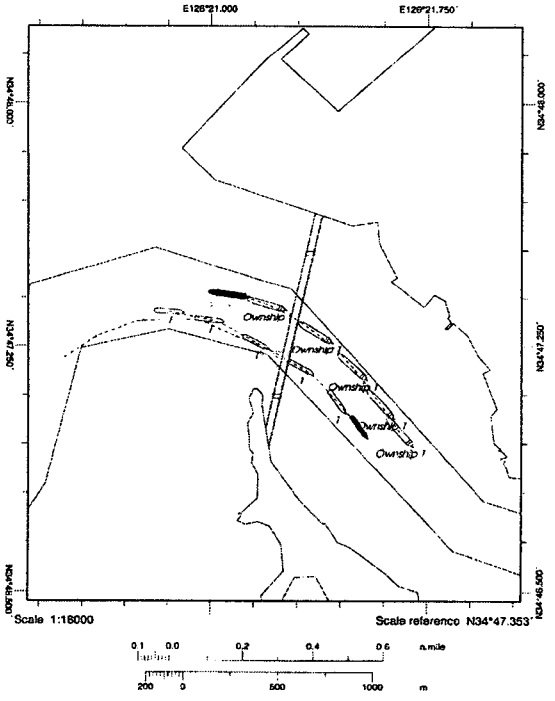

Fig 5 Trace of ship's passage under Bridge

4.3.2 선박의 근접도

Table 10에서 보는 바와 같이 항로 우측 경계선으로부터의 이탈 확률은 0.0000로서 TNO의 보고에 의한 안전 한계 이내에 들어 있다. 주경간장이 500m, 600m인 경우에 교각과의 평균거리는 각각 124m, 174m로서 두 경우 모두 교각의 간섭력에 의한 이격거리인 108m를 초과하여 안전한 것으로 판명되었으며, 교각이나 상대선과의 접촉 확률은 두 경우 모두 0.0000으로서 안전 범위에 들어 문제가 없는 것으로 판단되었다.

Table 11 Results of statistical analysis

항로우측경계선			우측교각 (경간장 500m)			우측교각 (경간장 600m)			상 대 선		
평균 거리	표준 편차	이탈 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률
99m	23.56	0.0000	124 m	23.56	0.0000	174m	23.56	0.0000	201 m	50.22	0.0000

4.3.3 선박의 제어도

시뮬레이션 결과, Table 11의 수치들을 이용하여 구한 선박의 여유제어력, 조타기사용지수, 표류량지수 등이 모두 양호하여 선박의 제어에 있어서의 문제는 없는 것으로 판단되며 입항시의 경우보다 여러가지 측면에서 선박의 제어가 용이한 것으로 분석되었다.

Table 11 Parameters of ship's contrablity

조타각	절대값평균	4.11
	절대값표준편차	5.08
	제곱평균	41.91
조타기사용지수	평균	4.11
	표준편차	5.08
반전타사용횟수		1
선수방위	평균	311.55
	표준편차	16.1
표류지수	평균	0.04
	표준편차	0.03
항적	평균항적면적	1266.02
	최대항적면적	3015.14
	평균항적폭	33.67
RPM	절대값평균	114.97
	절대값 표준편차	16.49
추진기효율성	평균	1.16
	표준편차	0.35
선박의 여유제어량	평균	88.27
	표준편차	14.52
조타면적	우현	4121.5
	좌현	1672.4

4.3.4 조종자의 주관적 평가

조종자의 주관적 평가척도에 따라 구한 조종위험도는 3.5이며, 조종난이도는 4.0으로 평가되었다. 풍조의 영향으로 선회성은 입항의 경우보다 다소 안정되나 역시 조종자의 의도에 따라 조종하기에는 풍조의 양이 약간 높은 것으로 평가하였다.

4.4 시나리오 4

4.4.1 선박의 항적

Fig 6은 하계탁월풍인 남풍낙조조건에서 출항하는 5만톤급 선박과 입항하는 2만톤급 선박의 항적이다.

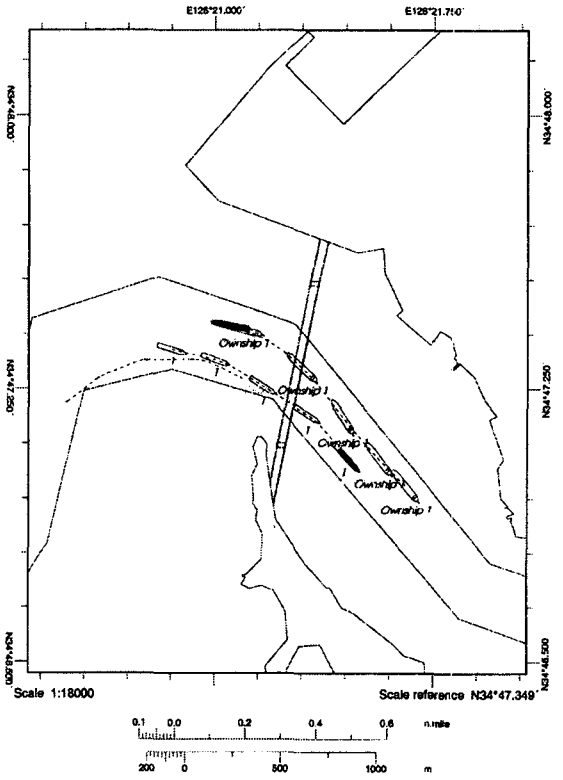

Fig 6 Trace of ship's passage under Bridge

4.4.2 선박의 근접도

Table 12에서 보듯이 항로 우측 경계선으로부터의 이탈 확률은 0.0002로서 TNO의 보고에 의한 안전 한계 이내에 들어있다. 주경간장이 500m, 600m인 경우에 교각과의 평균거리는 각각 142m, 192m로서 두 경우 모두 교각의 간섭력에 의한 이격거리인 108m를 초과하여 안전한 것으로 판명되었으며, 교각이나 상대선과의 접촉 확률은 두 경우 모두 0.0000 으로서 안전 범위에 들어 문제가 없는 것으로 판단되었다.

Table 13 Results of statistical analysis

항로우측경계선			우측교각 (경간장 500m)			우측교각 (경간장 600m)			상 대 선		
평균 거리	표준 편차	이탈 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률	평균 거리	표준 편차	접촉 확률
117 m	32.71	0.0002	142 m	32.71	0.0000	192 m	32.71	0.0000	159m	39.78	0.0000

4.4.3 선박의 제어도

시뮬레이션 결과, Table 13의 수치들을 이용하여 구한 선박의 여유제어력, 조타기사용지수, 표류량지수등이 모두 양호하여 선박의 제어에 있어서의 문제는 없는 것으로 판단되었다.

Table 14 Parameters of ship's contrablity

조타각	절대값평균	9.7
	절대값표준편차	9.04
	제곱평균	173.04
조타기사용지수	평균	9.61
	표준편차	9.07
반전타사용횟수		1
선수방위	평균	312.73
	표준편차	9.09
표류지수	평균	0.07
	표준편차	0.07
항적	평균항적면적	1281.02
	최대항적면적	2664.66
	평균항적폭	32.71
RPM	절대값평균	110.3
	절대값 표준편차	25.25
추진기효율성	평균	1.06
	표준편차	0.43
선박의 여유제어량	평균	72.53
	표준편차	25.92
조타면적	우현	11393.1
	좌현	1338.8

4.4.4 조종자의 주관적 평가

조종자의 주관적 평가척도에 따라 구한 조종위험도는 3.5이며, 조종난이도는 4.0으로 평가되었다. 풍조의 영향으로 선회성은 입항의 경우보다 다소 안정되나 역시 조종자의 의도에 따라 조종하기에는 풍조의 양이 약간 높은 것으로 평가하였다.

4.5 종합적 분석

본 연구에서는 선박이 교량하부를 항행할 때 통항안전성을 평가하기 시뮬레이션 시나리오를 4가지 경우로 구분하여 평가한 결과, 목포대교의 경우 교량 직하부의 현재 항로폭은 450m이며 실제 활용하고 있는 항로의 폭은 약 600m이므로 경간장의 최소폭은 여기에 교각과의 적절한 이격거리를 추가하여 정해져야 한다. 일반적으로 교각경간장을 통항선박 길이의 3배이상이 확보되어야 하며, 수로가 심한 만곡부라는 점이 추가로 고려되어야 한다. 본연구에서는 5만톤선박을 대상으로 시뮬레이션을 한 결과 선박의 통항 안전성을 확보하기 위해서 경간장을 600m이상으로 하는 것이 타당한 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구는 운항 시뮬레이션을 이용하여 목포대교의 실례를 들어 교량하에서의 선박 통항시 운항 안전성에 대해 선박의 물리적 측면 및 조종자의 주관적인 평가를 실시하였다.

평가 순서로서 해상교통 환경을 분석하여 자연 및 수로조건 그리고 대상선박을 결정한 후, 교량하 선박의 운동 특성에 관한 파라미터를 통계/분석하여 각 시나리오에 따른 선박의 근접도 및 제어도를 평가하고, 조종자의 주관적 평가도 병행하였다. 이를 통하여 교량 설치시 해상 교통의 안전에 필요한 경간장을 산출해 내었다. 위와 같은 절차는, 현재 국가적으로 추진중인 각 연육교 사업들과 관련하여 통항 안전성 연구에 많은 도움을 줄 것으로 판단된다.

향후 연구과제로는 교량하 선박의 운항 안전성을 추구하기 위해 항로폭에 관한 연구외에도 항만교통관제센터의 적극적인 이용방안 및 소형연안선을 위한 교각 식별장치와 제한시계내에서 교각을 인지할 수 있는 방안에 관한 연구가 요구된다.

참고문헌

[1] 김우숙 · 윤명오 · 금종수 · 정대득(2003), 「선박 모의 운항」, 효성출판사

[2] 금종수 윤명오 장운재(2001), "연안해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구", 해양환경안전학회지, 통권 제14호, pp.39-48.

[3] 손경호 · 김용민(2001), "시뮬레이터 구축을 위한 2축 2타 선박의 조종운동 수학모델에 관한 연구", 해양환경안전학회지, 통권 제15호, pp.1-16.

[4] 목포해양대학교 해양산업연구소(2003), 목포대교 교각안전성 검토 연구용역

[5] 목포해양대학교 해양산업연구소(2003), 울산신항 개발계획 선박조종 시뮬레이션 연구 용역

[6] 한국해양연구원 (2001), 인천 국제공항 제2연육교 선박운항 안전성 평가 연구용역

[7] 해양수산부 (2000), 항행구역 합리적 조정을 위한 기초연구 용역 중간보고서

[8] 日本 建設省 (2000), 伊勢湾口道路に係る 伊良湖水道等航行安全研究 -望ましい構造物 中心間 距離の検討-

[9] Larsen O. D. (1993), Safety Assessment in Bridge Design, International Association for Bridge and Structural Engineering

[10] William C. Webster(1992), Shiphandling Simulation Application to Waterway Design, National Academy Press

[11] U.S. National Research Council (1994), Minding the Helm, National Academy Press