

해상교량 건설을 위한 선박통항 안전성 검토요소에 관한 연구-I

박영수* · 박진수** · 고재용*** · 정재용**** · 이 은*****

*한국해양대학교 교수, **한국해양대학교 교수, ***목포해양대학교 교수, ****목포해양대학교 교수, *****중앙해양안전심판원장

A Study on Consideration Factors of Traffic Safety Assessment on the Bridge Design-I

Young-Soo Park* · Jin-Soo Park** · Jae-Yong Ko*** · Jae-Yong Jong**** · Eun Lee*****

*Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

***Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

****Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

*****Korea Maritime Safety Tribunal, Seoul, 120-715, Korea

요 약 : 주교각폭이 넓은 교량을 설치하면 선박의 통항 안전성 측면에서는 유리하겠지만, 지형적인 특성이나 경제성 측면 때문에 충분한 항로폭을 확보할 수 없는 경우도 있을 수 있다. 이러한 선박통항 안전성과 경제성 간에 트레이드 오프(trade off) 관계가 있는 해상교량을 설치하기 위해서, 선박통항 안전성 면에서 고려되어야 할 요소를 해상교통공학적인 측면에서 조사·검토하고, 그 요소들을 평가하여 교통 흐름을 원활하게 하고 해역의 안전을 보장하기 위한 것이 이 연구의 목적이다.

본 연구에서는 해상교통공학적인 측면에서 해상교량 아래로 통항하는 선박의 안전성을 평가하기 위한 교통요소 중 첫 번째 단계로 통항교량과 선박 크기를 검토 요소로 하여 주교각폭을 변수로 해상교통류 시뮬레이션 기법을 이용하여 조선 곤란성 측면에서 선박의 크기별로 평가하였다.

핵심용어 : 주교각폭 설계, 선박통항 안전성, 통항량, 조선 곤란성

Abstract : From the viewpoint of navigation safety, it would be best if it's possible to build a bridge whose main span is wide enough, however, sometimes it may not be possible due to geographical or economic reason.

To construct the bridge on the shipping route, consideration factors for marine traffic safety must be investigated and examined from the viewpoint of marine traffic engineering. This study aims to secure marine traffic safety and maintain smoothly traffic flow through assessment of these factors.

As the first step, examination factors such as traffic volume, ship size and bridge width were assessed quantitatively using marine traffic flow simulation technique.

Key words : Bridge span design, Traffic safety Assessment, Traffic volume, Ship-handling difficulty

1. 서 론

최근 우리나라의 해상에서는 육상과 섬 또는 섬과 섬을 연결하는 해상교량이 건설 중이거나 건설 예정이다. 선박의 통항로에 해상교량이 설치되면 선박통항의 안전성은 당연히 감소하게 되지만, 국가 및 지역의 경제발전을 위해서 설치가 불가피한 경우도 있다. 이러한 선박통항 안전성과 지역 경제성 간에 트레이드 오프(trade off) 관계가 있는 해상교량을 설치하기 위해서, 선박통항 안전성 면에서 고려되어야 할 요소를 해상교통공학적인 측면에서 조사·검토하고, 그 요소들을 평

가하여 교통 흐름을 원활히 하고 안전한 해역을 보장하기 위한 것이 이 연구의 목적이다.

주교각폭이 넓은 교량을 설치하게 되면 선박의 통항 안전성 측면에서는 유리하겠지만, 지형적인 특성이나 경제성 측면 등 때문에 충분한 항로폭을 확보할 수 없는 경우도 있을 수 있다.

따라서 이 논문에서는 해상교통류 시뮬레이션 기법을 이용하여 선박통항의 안전성을 확보하기 위한 통항량 규제와 같은 대안 등을 검토한다. 이 대안의 효과를 검토하기 위하여 환경 스트레스 모델(Kinzo Inoue, 2000)을 적용하여 정량적으로 평가한다.

* 대표저자 : 박영수(정회원), yspark@bada.hhu.ac.kr 051)410-4185

** 정회원, jspark@hhu.ac.kr 051)410-4240

*** 정회원, kojy@mmu.ac.kr 061)240-7129

**** 정회원, jyjong@mmu.ac.kr 061)240-7308

***** 정회원, leeeun@momaf.go.kr 02)3148-6210

2. 해상교통공학측면에서의 검토요소

해상교통공학은 해상에 있어서 교통 흐름의 실태를 파악하여 선박의 행동을 통계적으로 또는 해석적으로 표현하여 그 결과를 항로, 항만 등의 시설의 개선과 적당한 항행 관리와 조선(操船)기술의 개선에 기여하는 기술 분야라고 정의하고 있다(藤井, 1983). 여기서 교통 흐름의 실태를 파악하기 위해서는 그 해역의 통행 교통량, 선박의 종류와 크기 구성 형태, 항행루트와 교차상황, 속도분포 및 도착 시간분포 등의 교통요소들을 분석하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 교량을 통행하는 선박의 안전성을 평가하기 위하여 상기 요소들을 평가하고자 한다. 그 첫 번째로 통행교통량과 선박의 크기를 검토요소로 주요각목을 파라메터로하여 평가한다.

3. 교통류 시뮬레이션 조건

3.1 주요각목 조건

인천 신공항 제 2연육교는 최근 건설교통부와 인천시의 안인 700m의 주요각목을 한국도선사협회 인천지회에서는 1,000m로 확장할 것을 요청하였으며, 거제도과 가덕도를 연결하는 거가대교의 경우 주요각목이 230m와 475m로 계획 중이다. 이러한 현실을 반영하여 본 연구에서는 200m~1,000m의 주요각목을 해상교통류 시뮬레이션의 대상 주요각목으로 설정하였다. 시뮬레이션 대상해역은 항행폭의 길이를 7마일로 설정하였다.

3.2 교량을 통행하는 선박의 발생 조건

선박의 항행은 교량의 주요각목을 양방향으로 통행하는 것(Route 1~Route 2)으로 하였으며, 각 통행로상에 선박통행분포는 정규분포라고 가정하였다. 선박의 크기 구성과 항행 속

력은 현재 교량이 설치되어 있고 많은 선박이 통행하고 있는 일본의 備讚瀬戸해협의 해상교통조사 자료(일본해난방지협회, 1999)를 사용하였다. 시간당 선박 발생척수는 장래 통행량 증가를 예상하여 시간당 10척, 20척, 30척으로 설정하여 Table 1에 제시된 선박 크기별 구성비로 발생시켰다. 선박의 항행속력에 대하여도 Table 1에 나타난 각각의 평균과 표준편차를 갖는 정규분포로 통행 선박의 속력을 설정하였다.

Table 1 Ship Size and Ship Speed in Marine Traffic Simulation

Classification Ship Size	Ship Length(m)			Ship Speed(kts)	
	Average	Deviation	%	Average	Deviation
20-100GT	15.2	5.6	27.1	10.6	2.4
100-500GT	52.4	13.2	46.9	10.7	2.3
500-1,000GT	70.4	7.5	3.6	11.7	2.5
1,000-3,000GT	90.8	10.4	13.8	11.7	2.7
3,000-6,000GT	114.6	46.5	1.5	13.1	2.7
6,000-10,000GT	141.2	12.6	1.7	13.1	2.7
10,000-20,000GT	174.1	15.9	4.0	13.1	2.7
more than 20,000GT	266.0	44.0	1.4	13.1	2.7

3.3 피항 조선을 고려하지 않은 시뮬레이션

본 연구에서는 피항 조선을 고려하지 않은 해상교통류 시뮬레이션을 실시하였다. 이는 각 선박 사이의 마주침에 따른 잠재 부하의 크기를 명확하게 하기 위한 것이다. 즉, 피항 조선을 하지 않는다는 전제하에 선박간의 마주침이 시작하여 끝날 때까지 어느 정도의 부하가 가해지는지를 예측하여, 그것을 개개의 마주침에 있어서 본래 가해진 잠재적 부하로서 정량적으로 표현할 수 있다.

4. 평가모델

4.1 환경스트레스 모델의 적용

본 연구에서는 통행로상의 교통류에 대하여 항행 선박 1척별로 환경스트레스 모델을 적용함으로써 그 해역을 통과하여 소멸될 때까지 통행 루트상에 있어서 개개의 선박에 어느 정도의 조선 곤란성이 가해지는가를 평가하였다. 즉, 시뮬레이션 평가대상 해역을 항행한 선박을 대상으로 각 선박에 가해진 환경스트레스 값의 시계열 데이터를 수집하여, 그 통행로상에 있어서 선박 조종자가 허용할 수 없는 상황 즉 종합 환경스트레스 값이 750 이상이 가해지는 비율 $[P(ES_A \geq 750)]$ 을 구하였다.

4.2 환경스트레스 모델

본 연구에서 적용된 평가모델인 환경스트레스 모델의 개념은 아래와 같다.

환경스트레스 모델은 본선을 둘러싸고 있는 주변환경을 조선환경과 교통환경으로 구분하고, 이 두 환경이 선박조종자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 개발된

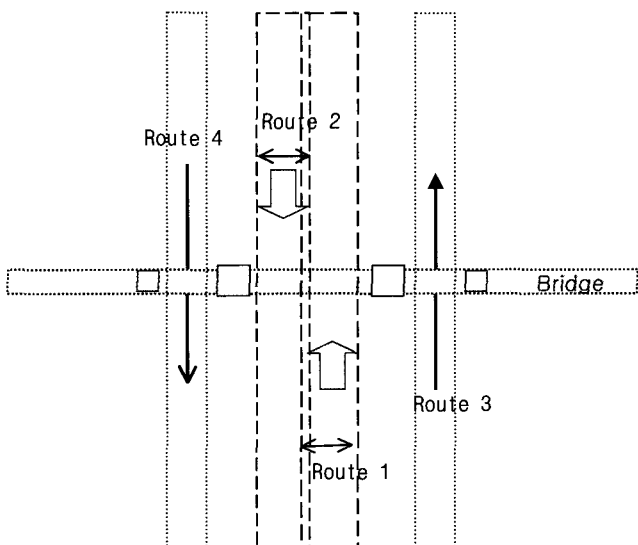


Fig. 1 Bridge Area Condition in Marine Traffic Simulation

모델이다. 이 모델은 조선환경과 교통환경이 선박조종자의 행동을 제약할 때 선박조종자에게 가해지는 부하의 크기를 행동 제약에 따른 조선 곤란감에 기초하여 정량화하였다.

자연조건, 지형조건, 시설조건 등과 같은 조선환경에 의해 제약을 받는 조선수역은 선박조종자의 행동을 제약하는데, 이때 선박조종자가 느끼는 곤란도를 정량화한 것이 조선환경스트레스 모델이다. 한편, 다른 선박의 교통흐름과 같은 교통환경이 조선상의 행동을 제약하게 되는데, 이 때 선박조종자가 받는 조선부담의 크기를 정량화한 것이 교통환경스트레스 모델이다.

이처럼 본선을 둘러싸고 있는 자연조건, 지형조건, 시설조건, 타 선박 등의 환경으로 인해 선박조종자가 느끼는 부담의 크기를 정량화하여 환경요소가 조선곤란성에 어느 정도 영향을 주는가를 지표로 표현할 수 있다. 즉, 환경스트레스모델이란 환경으로 인한 조선곤란도 평가를 위해 개발된 평가모델이다. 주어진 환경에서 잠재하는 위험이 가시화 되어 선박조종자가 받는 환경스트레스의 크기를 「환경스트레스 값」라 한다. 환경스트레스 값은 지형이나 시설물 등 조선환경에 기인하는 스트레스의 크기인 「조선환경스트레스 값(ES value for Land, ES_L치)」와, 타 선박에 기인하는 스트레스의 크기인 「교통환경스트레스 값(ES value for Ships, ES_S치)」로 구성되며, 두 스트레스 값을 종합하여 「종합환경스트레스 값(Aggregation of ES value, ES_A치)」라 한다. 본 연구에서는 주교각폭과 통항 교통량을 고려하기 때문에 ES_A치를 사용한다. 환경스트레스 값과 선박 조종자의 허용기준에 대하여는 참고문헌(Kinzo Inoue, 2000)에 명시되어 있다.

5. 주교각폭과 통항량의 관계

5.1 주교각폭의 확장에 의한 조선 곤란성 감소 효과

동일한 통항 교통량 조건에서 주교각폭의 변화에 따른 선박조종자에게 가해지는 부하가 어떻게 변화할까에 대하여 분석하여 정리한 것이 Table 2이며, 이 표에 나타난 비율은 선박조종자가 허용할 수 없는 부하의 비율인 [P(ES_A≥750)]의 값이다.

Table 2 Ship-handling Difficulty vs. Bridge Main Span Width and Traffic Volume

Traffic Volume per hour / Bridge Span Width	10	20	30	Reduction Ratio(per 10ships)
200m	20.9%	36.0%	51.9%	15.5%
300m	15.0%	27.5%	39.9%	12.5%
400m	13.0%	23.0%	34.0%	11.0%
500m	10.5%	20.8%	31.0%	10.3%
600m	9.3%	18.5%	28.0%	9.4%
800m	8.3%	16.5%	25.2%	8.45%
1000m	7.5%	14.0%	23.0%	7.75%
Reduction Ratio (per 100m)	1.68%	2.75%	3.61%	

Table 2을 그래프 위에 나타낸 것이 Fig. 2이며, 이 그림의 횡축에는 L²환산교통량을, 종축에는 통항 루트상에 있어서 선박조종자에게 있어 허용 불가능한 부하, 즉 종합환경 스트레스 값 750이상이 가해진 비율 [P(ES_A≥750)]을 구하여 주교각폭의 변화와 통항 선박에 가해진 조선 곤란성의 관계를 표시하였다.

교통류 시뮬레이션의 실행에 있어서 목표 발생선박 척수는 1시간당 10, 20, 30척의 L²환산 교통량인 11.03, 22.06, 33.09척으로 하였고 L²환산 교통량으로 기준화할 때의 표준선의 길이는 70m로 하였다.

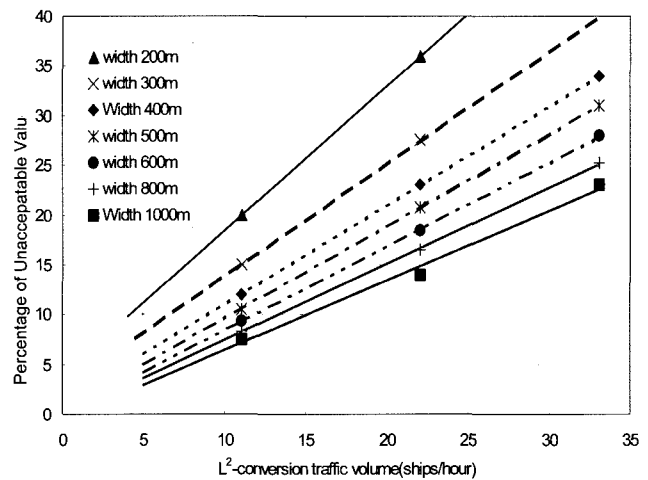


Fig. 2 Ship-handling Difficulty depending on Bridge Main Span Width

위의 Table 2와 Fig. 2로 알 수 있는 것은 정리하면 다음과 같다.

- (1) 통항 교통량이 동일한 경우에, 주교각폭이 넓을 수록 선박조종자에게 가해지는 조선 곤란성은 작다. 예를 들면 시간당 L²환산 통항 교통량이 10척일 경우에는, 주교각폭 400m는 [P(ES_A≥750)]의 값이 10.97%인 반면, 주교각폭 1,000m는 [P(ES_A≥750)]이 6.36%로 약 4.61%의 차이를 보인다.
- (2) 통항 교통량이 동일한 조건에서는 주교각폭을 확장 변경할 경우의 조선 곤란성의 완화 효과는 주교각폭이 넓은 경우보다 좁은 경우가 주교각폭의 확장 효과가 크다. 예를 들면, L²환산 시간당 통항량이 10척일 경우, 주교각폭 800m를 1,000m로 확장할 경우는 [P(ES_A≥750)]의 값이 1.1% 감소 효과가 있는 반면, 주교각폭이 400m를 600m로 확장할 경우는 [P(ES_A≥750)]의 값이 2.6%의 감소 효과가 있어 약 1.5%의 감소 효과에 차이를 보인다.
- (3) 주교각폭 확장 변경에 의한 조선 곤란성 감소 효과는 통항 교통량이 적은 경우보다 통항 교통량이 많을 경우가 더욱 효과가 크다. 예를 들면 주교각폭이 400m에서 600m로 확장할 경우는 L²환산 통항 교통량 10척에서는 [P(ES_A≥750)]의 값이 약 2.6%의 감소 효과가 있고, L²환산 통

항 교통량 20척에서는 $[P(ES_A \geq 750)]$ 의 값이 약 4.1%의 감소 효과가 있다.

교량을 통항하는 선박의 조선 곤란성과 주교각폭의 관계로부터 통항 가능한 설계 기준과 통항 교통량의 관계를 도출할 수 있도록 Fig. 3은 작성되었다.

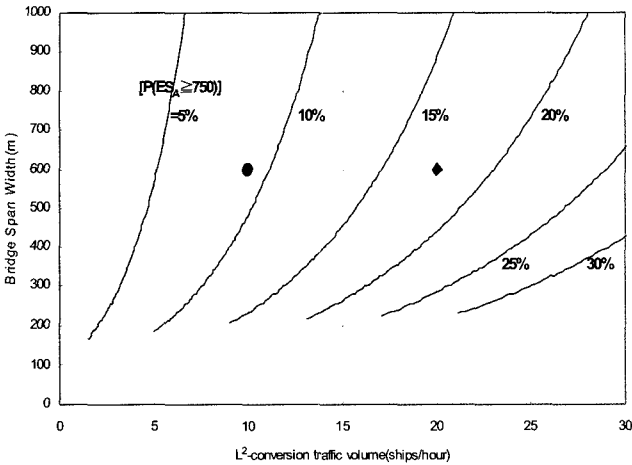


Fig. 3 Design Table of Bridge Main Span Width

예를 들어 Fig. 3에 도시되어 있는 점은 600m의 주교각폭과 통항 교통량을 가지고 표시(●)하였으며, 현재의 교통상황이 시간당 통항척수가 10척인 경우에서는 $[P(ES_A \geq 750)]$ 의 값이 약 9%이다. 그리고 장래 교통량 증가로 인하여 약 2배의 교통량이 증가한다고 하면, 선박 조종자가 조선에서 느끼는 허용 불가능한 값이 약 17.5%정도(◆)가 될 것이다. 바꾸어 말하면 장래의 통항 교통량의 증가로 인하여 조선 곤란성이 증가할 것이며, 이를 극복하기 위하여는 설계 단계에서의 주교각폭 확장 또는 통항 교통량의 통항량 규제(시간적·공간적 규제) 등이 필요하다. Fig. 3을 이용하면 주교각폭 확장과 통항 교통량의 규제간의 관계를 명확히 알 수 있고, 교량 건설시 주교각폭의 통항 안전성 평가에는 반드시 선박 통항량을 고려하여야 한다고 할 수 있다.

5.2 선박의 크기에 의한 조선 곤란성의 차이

동일한 항행 환경에서도 주위 환경에 따라 가해지는 조선 곤란성은 선박의 크기에 따라 상이하여 선박의 크기가 크면 클수록, 또한 선박이 클수록 교통량 증가, 항행폭 감소에 대한 조선 곤란성은 상당히 차이를 보일 것으로 예상된다. 교량 하부를 항행하는 선박의 크기에 따른 조선 곤란성 정도에 대하여 앞에서 산출한 계산 결과를 가지고 분석하였다.

여기에서는 주교각폭이 400m의 경우와 1,000m의 경우를 예시하여 Fig. 4와 같이 나타내었다. 그리고 선박의 크기를 소형선(총톤수 20톤~1,000톤, 평균길이 45m), 중형선(총톤수 1,000톤~10,000톤, 평균길이 115m), 대형선(총톤수 10,000톤 이상, 평균길이 245m)의 3종류로 나누어 정리하였다.

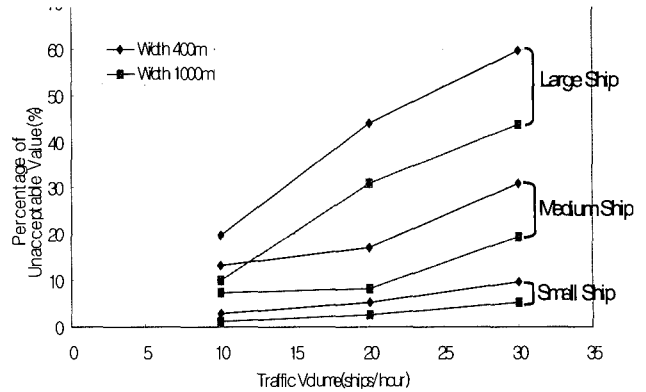


Fig. 4 Ship-handling Difficulty depending on the Ship Size

위 그림에서 알 수 있는 것은

- (1) 주교각폭이 좁을수록 선박의 크기에 관계 없이 조선 곤란성의 값이 높다.
- (2) 동일한 주교각폭일 경우 대형선박의 경우가 조선 곤란성이 높고, 통항량 감소에 따른 조선 곤란성 감소 효과도 높다. 구체적으로 주교각폭이 400m일 경우, 대형선박에서 통항 교통량 10척당 $[P(ES_A \geq 750)]$ 의 20% 감소가, 중형선박에서 15% 감소, 소형선박에서 5% 감소 효과가 있다. 또 주교각폭이 1,000m일 경우, 대형선박에서 15% 감소, 중형선박에서 12% 감소, 3% 감소 효과가 있다.

즉, 대형선박의 조선 곤란성은 통항 교통량이 증가함에 따라 높아지는 것을 알 수 있고, 주교각폭이 좁을수록 더욱 조선 곤란성이 높아지는 것을 알 수 있다.

5.3 교통류 분리의 효과

이러한 조선 곤란성을 감소시키는 방법 중 통항 교통량을 시간적 공간적으로 분리하는 방법을 들 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 1의 주교각의 측면 항로(Route 3~Route 4)에 소형선박의 통항이 가능한 구역이 존재할 때, 교통류를 분리함으로써의 통항 교통량을 공간적으로 분리하는 방법을 채용하였다. 주교각폭의 충분한 확장이 어려운 경우, 교통류를 분리하는 방법으로 소형선박이 주교각의 주항로가 아닌 보조 항로로 분리하는 방안을 생각할 수 있다. 5.2절에서 소형선박의 조선 곤란성 감소 경향은 작지만, 소형선박의 통항량이 많기 때문에 공간적으로 분리함으로써 얻을 수 있는 효과에 대하여 분석하였다. 소형선박의 대상 크기는 항구별로 다소 차이는 있겠지만 본 연구에서는 총톤수 1,000톤 이하의 선박이 측면 보조 항로를 이용하는 것으로 설정하였다.

여기에서는 Table 1을 기초로 주교각폭 500m의 경우와 1,000m의 경우를 예시하여 Fig. 5와 같이 교통류 분리 전후에 조선 곤란성의 감소 효과에 대하여 나타내었다.

이미 건설되거나 또는 건설 중인 교량의 주교각폭의 확장이 어려운 경우, 통항 교통량의 교통류를 분리함으로써 $[P(ES_A \geq 750)]$ 의 값이 조선 곤란성의 감소 효과가 주교각폭 500m와 1,000m의 경우에는 약 3~5% 보인다. 이것을 Fig. 3을 이용하여 대상 항만에 L^2 환산 통항 교통량이 15척, 주교각폭이 350m

인 경우를 생각하면, 1,000톤 이하의 L²환산 선박 통항량 4.68척이 보조항로만을 이용하여 항행하여 주항로의 조선 곤란성의 감소효과는 약 5%이다. 이것은 주교각폭 약 350m의 확장(주교각폭 700m의 조선 곤란성)과 동일한 감소 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 교통류 분리효과는 통항 교통량의 규제와 동일한 역할을 하여 조선 곤란성 감소 효과에 효율적이다.

6. 결 론

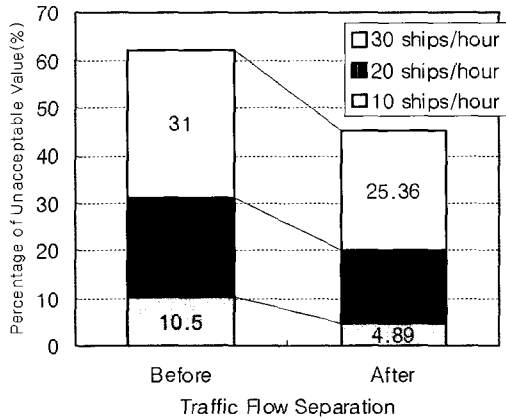
해상교통공학적인 측면에서 교량을 통항하는 선박의 안전성을 평가하기 위해서는 통항 교통량, 선박의 종류와 크기 구성 형태, 항행루트와 교차상황, 속력분포, 도착 시간분포 등의 교통요소들을 평가하여야 한다. 본 연구에서는 그 첫 번째 단계로 통항 교통량과 선박 크기를 검토 요소로 하여 주교각폭을 변수로 조선 곤란성 측면에서 선박의 크기별로 평가하였다.

- 1) 동일한 교량의 주교각폭에서도 통항 교통량의 증감에 따라 조선 곤란성에는 큰 차이를 보이는 것을 정량적으로 평가할 수 있었다. 그래서 교량 건설시 주교각폭 통항 안전성 평가에는 반드시 통항 교통량을 고려하여야 한다.
- 2) 이미 건설되거나 또는 건설중인 주교각폭과 관련하여 통항 교통량을 공간적으로 분산시키는 방법(교통류 분리제도)을 제시하여 주교각폭의 확장과 동일한 효과를 가지는 것을 정량적으로 평가하였다. 본 연구에서 제시한 방법 중 교통류 분리 제도는 완전한 VTS 지원하에서 가능하리라 사료된다.

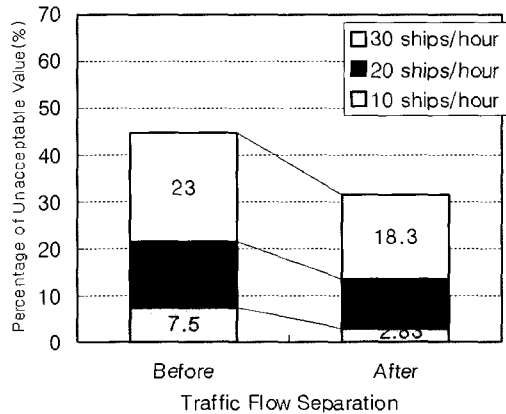
아울러, 이러한 해상교통류 시뮬레이션에서 재현된 교통 상황 중 가장 위험한 선박 마주침 형태를 선박 조종 시뮬레이터에 적용하여 평가하는 것이 더욱 바람직하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Inoue Kinzo(2000): Evaluation Method of Ship handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways, The Royal Institute of Navigation, Volume 53, Number 1, pp.167-180
- [2] 藤井弥平, 卷島勉, 原潔(1983): 海上交通工学, 海文堂
- [3] 日本海難防止協會(1999): 南北備讃瀬戸大橋の緩衝工に関する調査検討研究書, pp.16~31



(a) Case of Width 500m



(b) Case of Width 1000m

Fig. 5 Ship-handling Difficulty Variation due to Traffic Flow Separation on Sub-route

원고접수일 : 2004년 4월 28일

원고채택일 : 2004년 10월 25일