

부산항부산항 접근수역에 대한 海上交通安全性評價에 관한 研究

강영식*, 박영수**, 정재용*, 박진수***

A Study on the assessment of the marine traffic safety
at the Pusan approaching waters

Kang-y.s, Park-y.s, Jung-j.y, park-j.s

Abstract	제4장 평가모델
제1장 서론	제5장 부산항 교통관측조사와 교통류의 재현 및 예측
제2장 해상교통의 안전성평가에 대한 고찰과 평가의 순서	제6장 종합환경 스트레스 평가지표를 이용한 부산항 교통류의 평가
제3장 해상교통현상의 파악과 교통류 시뮬레이션에 의한 해상교통현상의 예측 및 재현에 관한 요소	제7장 결론
	참고문헌

Abstract

Recently, marine traffic engineering has been developed until that possible to estimate a change in traffic flow caused from some transformations of the traffic condition and to assess whether changed traffic condition is can be accepted as a useful thing in navigation or not by computer simulation. This paper's main substance is assessment of the present marine traffic safety at the sea area adjacent to Pusan harbor. Also in this study, it was carried out in order to be convinced of validity of round about TSS to expect changing in traffic flows by the institution of round about TSS and to assess expected traffic flows by using Environmental Stress assessment model.

제1장 서론

해상교통공학은 해상에서 교통흐름의 실태를 자세히 파악하고, 선박의 행동을 통계적으로 또는 해석적으로 표현하여 그 결과를 항로·항만의 환경 개선에 도움이 되게 하는 기술분야이다. 근래

의 해상교통공학의 발전은 마련된 대책에 의하여 변화되는 교통류를 예측하여 평가함으로써, 그 대책의 정당성 유무를 판별하여 대책의 시행여부를 가능하는데 까지도 연구가 진척되고 있어 신뢰성 있는 평가지표와 평가방법이 요구되고 있는 시점이다. 이에 본문에서는 한국최대의 무역항인 부산

* 정희원, 한국해양대학교 대학원

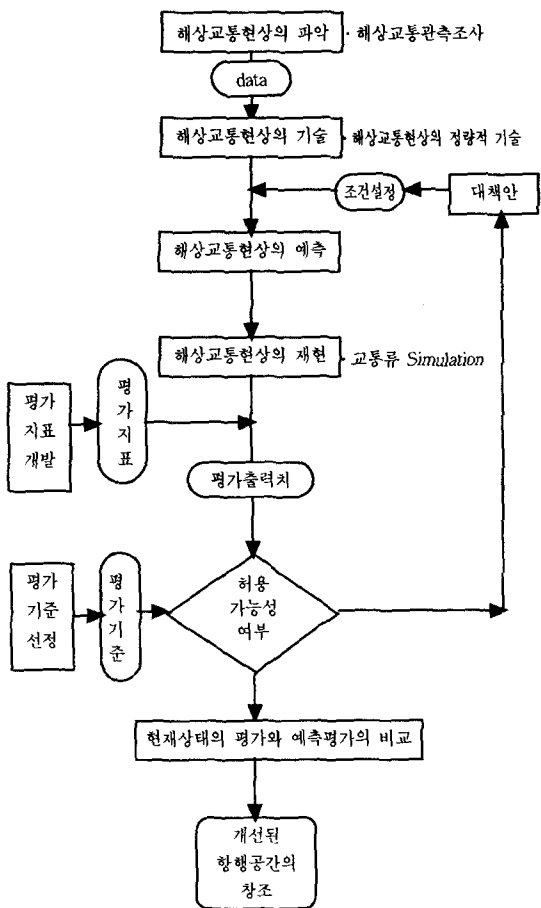
** 정희원, 고베상선대학 대학원

*** 정희원, 한국해양대학교 교수

항을 대상으로 교통관측조사를 실시하고 그 분석을 통해 해상교통류 시뮬레이션을 행하였으며, 현재상황에서 존재하는 이 수역의 잠재적 위협의 평가 및 제안된 대책안에 의해 예측된 교통류의 평가 결과를 비교함으로써, 그 대책안의 타당성 여부를 판별할 수 있는 결과를 제시하고자 한다.

제2장 해상교통의 안전성평가에 대한 고찰과 평가의 순서

어떤 항만에 환경적인 변화가 주어진다면 반드시 그에 따르는 교통류의 변화가 예상된다. 이러한 변화를 정확히 예측하여 현재의 상태와 비교평가



<그림 1> 안전성 평가의 순서도

할 수 있다면, 중요한 항만운영정책 시행에 있어 야기될 수 있는 시행착오를 상당히 줄일 수 있다. 해상에서 변화를 유발할 수 있는 근본적인 요인을 살펴본다면 인적 요인, 기술적 요인, 환경적 요인의 세 가지 요인을 들 수 있다. 다시 말하면, 조선자의 조선기술 향상과, 선박의 성능개선, 항행환경의 개선을 통해 해상교통현상을 좀 더 용이하게 바꿀 수 있는 것이다. 이러한 요소들의 변화로 야기될 수 있는 현상을 예측하여 평가함으로써, 현재의 상태와 비교·평가할 수 있다. 이러한 해상교통현상의 평가는 조사, 분석, 재현, 대책의 제안, 평가, 대책의 검증 등을 통해 이루어진다. 해상교통평가를 순서별로 살펴보면 크게 5단계로 나눌 수 있다. 첫째, '해상교통현상의 파악', 둘째, '교통현상의 체계화', 셋째, '해상교통현상의 예측과' 넷째, '해상교통현상의 재현' 단계이다. 또한 해상교통평가는 그 관점에 따라 안전성, 효율성, 경제성평가로 크게 나눌 수 있다. 본 문에서의 주된 내용은 부산항 진입수로에서의 안정성 평가이므로, 이후의 내용은 안전성 평가의 측면에서 서술한다. 지금까지 설명한 평가의 흐름을 정리하면 <그림 1>과 같다.

제3장 해상교통현상의 파악과 교통류 시뮬레이션에 의한 해상교통현상의 예측 및 재현에 관한 요소

3.1 해상교통현상의 파악

교통현상의 파악은 교통관측조사로 이루어진다. 교통관측조사의 방법은 크게 관측조사와 설문조사로 나눌 수 있다. 관측조사에는 목시관측, 사진관측, 레이더관측 등이 있다. 실제조사에서는 이 세 가지를 병행하여 행하는 것이 보통이다. 설문 조사에는 항만 통계, 선박 통계 등의 지정 통계와 같이 신고 의무자가 보고하는 것과 어떤 목적을 위해 준비된 설문지에 기입하여 회답하는 것, 그리고 면접을 하여 조사자가 기재하는 것이 있다. 관측된 선박의 자료는 선형, 선종 등의 여러 가지 속성으로 구분하여 정리할 필요가 있고, 기호에 의해 구분된

자료를 컴퓨터에 입력하는 것이 일반적이다. 예를 들면, A라는 선박의 총톤수를 나타내는 기호를 Small(1,2,3), Medium(1,2,3), Large(1,2,3)등 과 같이 10단계 정도로 나누어 기록하여 정리한다. 이렇게 정리함으로써 해상교통류의 재현과정에서 재현 모델의 기초가 되는 데이터를 만들어내는 것이 용이해진다. 또한, 관측조사를 할 때, 관측 시간의 결정은 중요한 사항중 하나이다. 년 평균교통량을 정확히 구하려면 1년간 연속관측을 하는 것이 제일 좋지만, 이것은 경제적, 시간적으로 불가능하다. 따라서, 365개의 모집단의 평균치와 표준편차를 N 일간의 관측결과 즉, N개의 표본집단에서 추정할 필요가 있다. 신뢰성이 높은 추정을 하기 위한 N 값에 대해서 이노우에(井上)는 조사시간을 7일로 하면 약 $\pm 25\%$ 이내의 오차를 가지고, 조사시간을 3일로 하면 $\pm 30\%$ 정도의 오차를 가진다는 이론적 설명이 가능하다고 하였다.¹⁾

3.2 시뮬레이션에 의한 해상교통현상의 예측 및 재현

만일 어떠한 해상에서의 교통류가 단순히 2개의 통항경로대의 교차에 의해 이루어져 있다면, 이러한 교통류는 재현의 과정을 거치지 않고도 간단하게 평가할 수 있다. 그러나 해상에서의 교통류는 이렇게 단순히 이루어지지 않는다. 이렇게 복잡한 교통류를 보다 신뢰성 있게 재현하기 위해서 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 기법이 자주 사용되고 있다. 또한 시뮬레이션 기법은 교통현상재현을 위해 필요한 여러 가지 재현요소를 동시에 조합하여 하나의 교통현상으로 표현하는데 용이하다. 각각의 재현요소에는 통항경로대, 통항척수, 통항간격(시간), 선종, 선형, 침로, 속도, 변침, 변속, 피항조선 등이 있다. 통항경로대의 분류는 교통관측조사에서 얻어낸 항적 데이터를 OD별로 분류하여, 항행의 큰 흐름을 몇 개로 단순화시키는 작업을 말한다. 선박의 항행에는 반드시 출발지(Origin)과 목적지(Destination)가 정해져 있다. 따라서 이러한 OD에 의해 대상해역에서 선박의 항적을 분류할 수 있다. 또한, 평가 목적에 따라서 통항경로대의 분류는 선종, 선형, 시

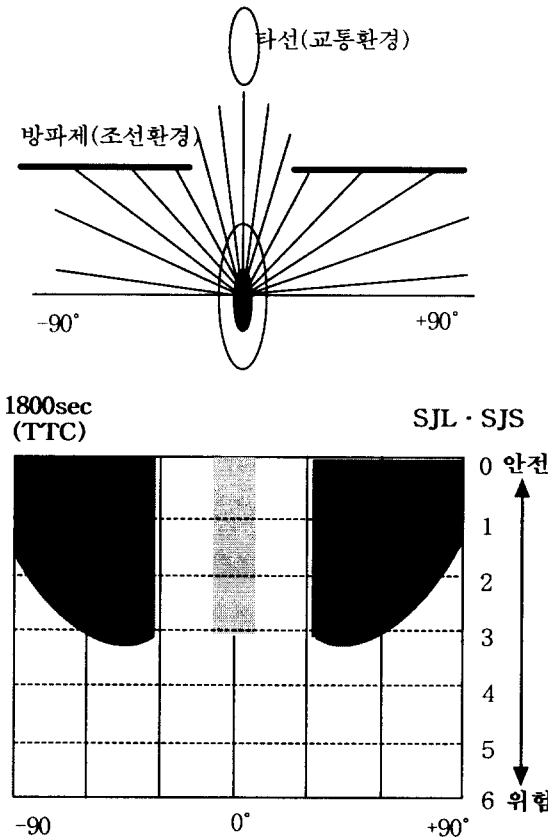
간대 등으로도 할 수 있다. 선박의 발생이라는 것은 한 gate line 상을 한 선박이 통과하는 현상을 컴퓨터계산을 통해 표현하는 것이라고 할 수 있다. 선박을 발생시킬 때는 발생척수(통과척수), 발생시간간격(통과선박과 그 다음 통과선박간의 시간간격), 발생위치분포(통과위치분포), 그리고 선박의 선형구분이 필요하다. 발생척수에 대해서는 교통관측조사로부터 얻어낸 자료에서 선박의 통과척수에 관한 data를 사용하면 되는데, 안전성평가를 목적으로 할 경우에는 가장 교통량이 폭주하는 시간대에 통과척수를 사용하는 것이 좋다. 발생시간간격은 한 선박이 발생된 후 그 다음 선박이 발생할 때까지의 시간간격을 말한다. 한 선박이 어떤 구역을 통과하는 것을 그 선박과 그 후의 선박과는 전혀 관계가 없는 하나의 독립된 현상이라고 가정한다면, 이와 같이 랜덤한 현상을 표현하는데는 주로 포아송(Poisson) 분포가 많이 사용된다. 따라서 일정시간 내에 어떤 구역을 통과하는 선박의 수도 포아송분포에 의해 표현할 수 있고, 선박발생시간간격은 지수분포를 따르게 된다. 그리고, 선박의 조선자는 안전항해와 관련하여 가능한 한 가항수역의 중심으로 항해하려는 습성을 가지고 있다. 또한 이러한 경향은 선박의 크기가 커질수록 즉 조종성이 떨어지는 선박일수록 현저히 나타난다. 실제적으로 항행구역이 제한되어 있는 비교적 좁은 수로 또는 통항분리대가 설치되어 있는 항로를 따라 항행하는 선박의 항적군의 분포를 정리해보면, 정규분포에 근사한 것을 알 수 있다. 따라서 선박의 통과위치분포로는 주로 정규분포가 사용된다. 선박의 크기를 결정하는 것은 관측조사에서 얻은 자료를 분석하여 통항 선박의 크기를 분류하고 각각의 크기에 따른 비율을 정하여 둔다. 통항선박의 크기가 일정한 분포를 따르다면 선형(크기)분포를 작성하여 이 분포에 기초한 난수를 이용하여 결정하는 방법도 있다. 이 과정은 발생한 선박을 항행 시켜서 항적군을 만들어내는 것이다. 선박의 항행을 표현하는데 필요한 요소로는 선박의 침로, 변침점의 결정, 선박의 속력 등이 필요하다. 선박의 침로는 변침점을 결정한 후 현 위치점과 변침점을 잇는 선분이 이루는 각도를 계산함으로써 구할 수 있다. 변침점의 결정은 발생

위치와 같이 직선상 또는 평면상에 난수를 이용하여 변침점 좌표를 결정한다. 선속의 결정은 속력 Check line에서의 관측된 속력을 기초로 이에 해당하는 난수를 이용하여 속력을 결정한다. 일반적으로 관측조사에서 얻어지는 선형별 평균속력과 표준편차에 의해 정규난수를 이용하여 속력을 결정하는 것이 많이 이용된다. 본 연구에서 속력은 모두 12kts로 고정하여 Simulation을 실시하였다. 피항조선은 선박의 행동을 컴퓨터 상에서 표현할 때 매우 중요한 요소중하나이다. 물론 평가의 목적에 따라 그 재현에 정도가 틀려질 수 있고, 꼭 피항조선과 같이 복잡한 요소까지 고려하여 계산된 시뮬레이션이 정확한 결과를 얻는다고는 할 수 없지만,

선박의 행동을 좀더 자세히 표현한다는 관점에서 보면 역시, 피항조선은 고려 되어야 할 요소이다. 본 연구에서는 평가목적상 피항조선은 고려하지 않았다.

제4장 평가모델

본 논문에서는 조선자의 주관적인 의식을 정량화하여 조선관란도로 나타낸 ES 모델을 평가모델로 사용하였다. 조선자는 가항수역이 무한히 넓은 대양항해 시에는 자선 주위에 아무런 장애물이 존재하지 않기 때문에 특별한 부담을 느끼지 않고 조



SJ	내용	ES	판단	허용감
0	매우안전		NEGLI GLI BLE	허용 가능
1	안전			
2	조금안전			
3	어느쪽도 아님	500	MAR GINAL	
4	조금위험	750	CRITI CAL	허용 불가
5	위험	900	CATA STRO	
6	매우위험	1000	PHIC	

$$ESL = \sum_{\phi} \{ w_{\phi} (R/V)_{land} \rightarrow SJL \}$$

$$ESS = \sum_{\phi} \{ w_{\phi} (R/V)_{ship(i)} \rightarrow \max [SJS_j] \}$$

$$ESA = \sum_{\phi} \max \{ SJL, SJS \}$$

<그림 2> ESA 계산개념도

선을 할 수 있다. 그러나, 주위에 장애물이 나타나고 그것을 인식하는 순간부터 조선자는 조선에 대한 부담을 느끼기 시작한다. 특히, 항내와 같이 호안과 방파제 등의 장애물이 존재할 때, 이 조선부담의 크기는 더욱 커지게 된다.井上은 이 부담의 크기를 자신의 주위에 잠재하는 위험이 가시화 될 때까지의 시간여유에 의해 변화하는 값으로 계산하고, 이것을 조선자가 느끼는 위험감으로 치환함으로써, 조선자를 둘러싼 조선환경에서 기인하는 조선상의 곤란감을 정량적으로 표현한 것을 “조선환경 스트레스치”(Environmental stress for land)라고 정의하였다.²⁾ 또한, 조선자는 타선의 존재를 인지했을 때부터, 양 선박간에 잠재하는 충돌의 위험에 대해 부담을 느끼기 시작한다. 여기서, 교통환경 스트레스 모델은 교통환경에 관련하여 조선자가 느끼는 조선부담을, 자신 주위에 존재하는 타선에 대해 자신에게 허용된 조선상의 행동수역의 제약에 따라, 조선자가 어느 정도의 부담을 느끼는가를 정량화 한 것이다. 이것을 “교통환경 스트레스” 치라 한다. 그리고, 이 두가지 스트레스치를 동시에 평가하하고, 각 침로별로 위험감이 큰 스트레스치를 채택하여 큰 것의 위험감의 값에서 형성되는 연결선의 범위를 $\pm 90^\circ$ 의 침로범위에서 합한 것을 그 순간의 종합환경 스트레스치로(ESA) 한다. <그림 2>는 ES모델의 기본개념을 나타내고 있다.

제5장 부산항 교통관측조사와 교통류의 재현 및 예측

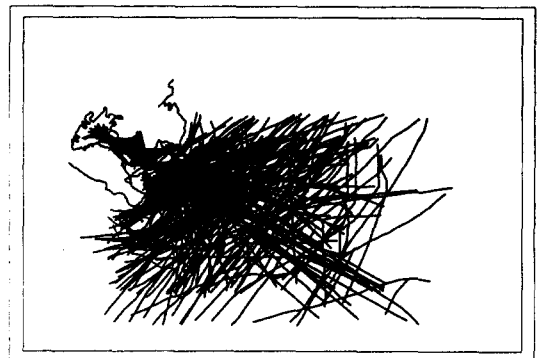
금번에 실시한 교통관측조사는 조도 정상에 위치한 부산 PTMS 관제실에서 관제 모니터 두기를 대역하여 레이더 관측과 목시관측을 병행하여 실시하였다. 관측기간은 2000년 3월 28일부터 동월 31일까지 1일 7시간씩 연속 3일간 관측하여 총 21시간 실시하였다. 관측의 범위와 대상은 부산항 조도방파제로부터 약 10마일 반경에서 통항하는 모든 선박에 대하여 총 10개의 목시선을 설정하여 관측을 진행하였다. 관측은 센터의 레이더 및 관제모

니터 2기, 디지털 비디오 카메라, 쌍안경 등을 이용하여 실시하였고, 센터의 레이더를 통해 모니터에 도시되는 화면을 실시간으로 디지털 카메라로 녹화하여 분석하였다. 관측결과 총 511척의 선박이 관측되었다. 그러나 평가의 목적 상 항내에서 이동한 선박의 항적을 제외한 나머지 277척의 선박의 항적만을 사용하여 분석함으로써 시물레이션에 필요한 data를 추출하였다.

5.1 선박항적분포

<그림 3>는 이번 관측조사에서 관측된 모든 선박의 항적을 나타내고 있다.

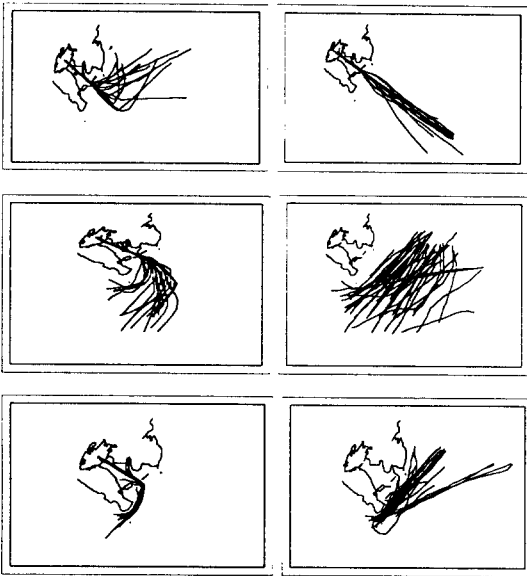
전체 항적을 OD별로 나누어, <그림 4>과 <그림 5>는 각 OD별 항적도를 나타내고 있다. 각 항적도 중 ①~⑥번은 출항·상행하는 선박을 나타내고, ⑦~⑫번은 입항·하행하는 선박을 나타내고 있다. 이렇게 항적이 집중되는 위치에 중점을 두고 전체 항적을 OD별로 나누어 <그림 6>와 같이 총 12개 방향으로 통항경로대를 설정하였다. 통항경로대중 ①~⑥번은 출항, 상행하는 선박을 나타내고, ⑦~⑫번은 입항, 하행 출항하는 선박을 나타내고 있다.



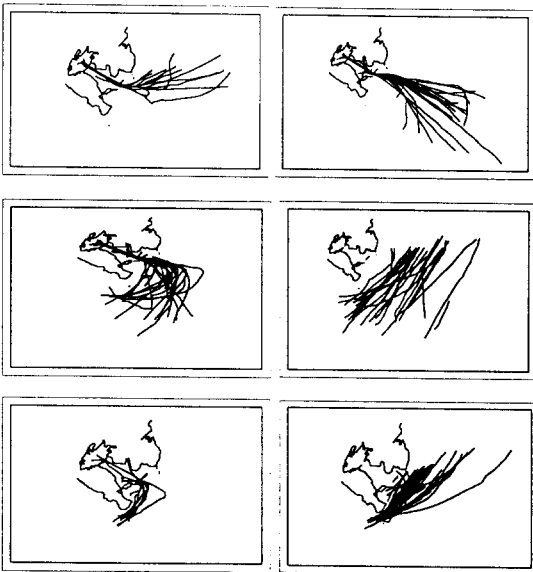
<그림 3> 전체 통항선박항적도

각각의 통항경로대를 OD별로 살펴보면 ①, ⑦번 통항대는 부산에서 동해로 통항하는 선박, ②, ⑧번 통항대는 부산에서 일본방면으로 통항하는 선박, ③, ⑨번 통항대는 부산에서 남해로 통항하는 선박, ④, ⑩번 통항대는 남해에서 동해로 통항하

는 선박, ⑤, ⑪번 통항대는 부산에서 남해로 통항하는 항적중 생도 안쪽으로 통항하는 소형선박, ⑪, ⑫번 통항대는 남해에서 동해방면으로 통항하는 선박중 연안에 근접하여 통항하는 소형선박의

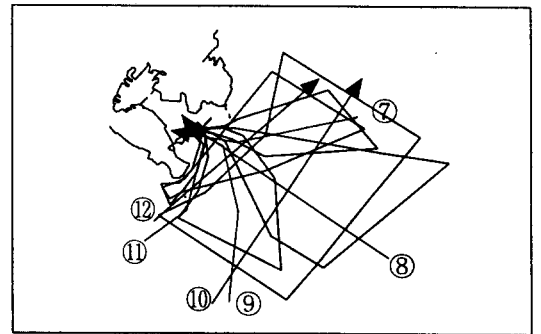
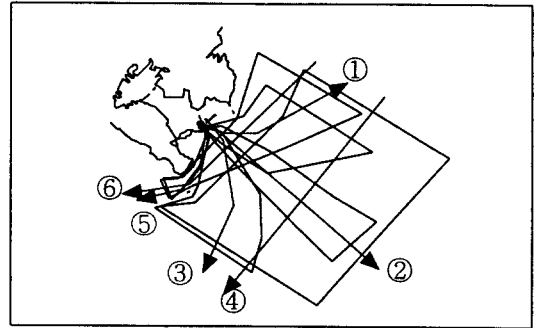


<그림 4> 출항·상행선박의 항적도



<그림 5> 입항·하행선박의 항적도

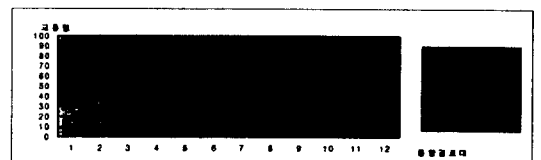
통항경로대로 설정하였다.



<그림 6> OD별 통항경로대

5.2 관측결과

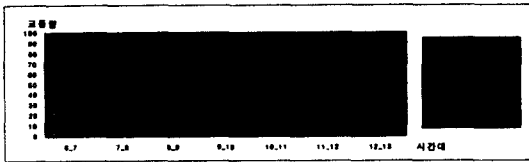
본 논문에서 사용된 선박자료의 척수는 모두 277개이다. 이 277개의 선박을 각 통항경로대별로 통과척수 및 L환산, L2환산을 실시하여 교통량을 비교하였다. <그림 7>은 각 통항대별 통과척수, L 환산 및 L2 환산 교통량을 비교한 그래프이다. 통과척수가 가장 많은 통항경로대는 6, 12번이었지만 이중 대부분이 길이 20m 이하인 소형선박이기 때문에 가장 교통량이 많다고는 할 수 없다. 금번 Simulaion에서는 통항경로대별 선형비율을 구하여



<그림 7> 각 통항경로대별 교통량 비교

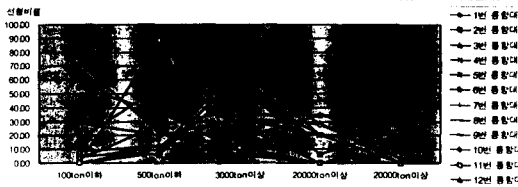
통과척수를 선형분포비율로 나누는 방법으로 통과 척수를 설정하였다.

또한, 교통량의 밀집시간대를 알아보기 위하여 관측시간을 06시부터 13시까지 1시간 단위로 총 7개의 시간대로 나누어 각 시간대별 교통량을 비교해보았다. <그림 8>은 시간대별 교통량을 나타내고 있다. 그림을 보면 9시부터 10시까지의 L환산 교통량이 가장 큰 것으로 나타났다.



<그림 8> 관측 시간대별 교통량

선형의 구분은 100톤이하, 100톤 ~ 500톤, 500톤 ~ 3000톤, 3000톤 ~ 20,000톤, 20,000톤 이상으로 총 5개로 구분하여 선형분포도를 작성하였다. <그림 9>는 각 통행대별 선박의 선형분포를 나타낸다.



<그림 9> 통행경로대별 선형분포

5.3 Simulation에 의한 교통류의 재현

Simulation에 의한 교통류의 재현에 필요한 요소로는 크게 통행경로대모델, 선박의 발생모델, 선박

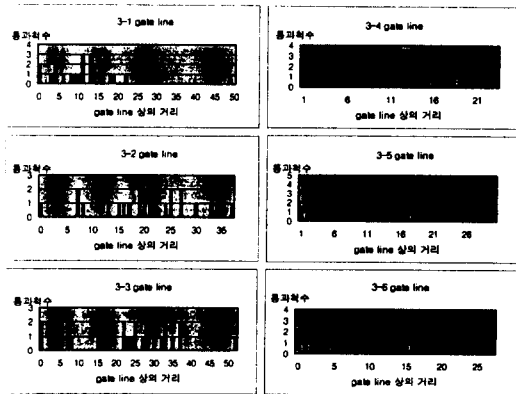
의 항행모델, 피항조선 모델이 있다. 이 중 통행경로대모델은 전 절에서 <그림 6>에 나타내었다. 관측된 교통조사자료들이 나머지 모델들에 어떻게 적용되는지 다음에 설명한다. 각 통행경로대별 시간당 통과 척수를 선형분포비율로 나누어 작성하였다. 시간당 통과 척수를 결정하는데 있어서는, 교통량이 가장 많은 상황을 재현하면서, 순간적으로 너무 많은 교통량이 밀집하는 현상을 막기 위하여, 매일의 관측시간대중 L환산교통량이 가장 많았던 시간대의 통과척수를 뽑아 3일간 평균하여 사용하였다. 일별 관측조사결과 중 교통량이 가장 많은 시간대는 28일은 9시부터 10시, 29일은 10시부터 11시, 30일은 10시부터 11시대에 L환산 교통량이 가장 많았다. 이것을 평균하여 <표 1>에 나타내었다.

또한, 선박의 발생위치를 결정하기 위해서는 관측조사 결과, 얻어낸 선박의 항적자료를 분석하여 gate line상을 통과한 선박의 통과위치분포도를 작성한 후 결정하여야 한다. <그림 10>은 통행경로대중 3번과 4번 통행경로대의 각각의 gate line을 일정한 간격으로 나누어, 단위간격 당 통과한 선박의 수를 나타낸 통과위치분포도의 예이다. 통과 항로폭이 좁아질수록 선박의 통과위치가 가운데로 집중되는 경향이 있지만, 조도방파제 통과부근인 3-1번과 3-2번 gate line상을 제외하고는 일정치 않았고, 남해에서 동해로 상행 또는 하행하는 4번 통행경로대에서는 이러한 경향마저 찾아볼 수 없었다. 물론, 항적샘플이 많아지거나 교통량의 밀도를 고려한 L환산척수를 사용하여 통과위치분포도를 작성한다면 좀더 정규분포에 근사할 것으로 추정되지만, 금번 관측조사결과만을 놓고 고려한다면, 정규분포로 표현하기에는 알맞지 않다고 판단하였다. 따라서, 선박의 발생위치를 결정하는데는 일양분포를 사용하였다. 발생한 선박의 선형 즉, 선박의 크기에 대해서는 <그림 9>에 설명한 통행

<표 1> Simulation 시간당 발생척수

통행 경로대	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
발생 척수	1	1	3	2	0.66	2.33	0.33	2	1.33	2	0.1	1.33	17.08

경로대별 선형분포비율을 발생하는 선박에 대입하고, 선박의 크기를 5개 즉, 100ton 이하, 500ton 이하, 3,000ton 이하, 20,000ton 이하, 20,000ton 이상으로 나누어 결정한다.



<그림 10> 3번 및 4번 통항경로대의 통과위치분포

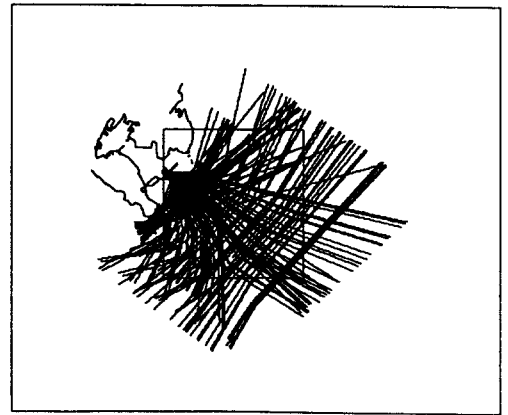
5.4 Simulation 결과

본 절에서는 해상교통류 Simulation을 실시한 결과에 대해 설명한다. Simulation을 총 7시간을 실시하여, 총 159척의 선박이 통항한 교통류를 재현하였다. <그림 11>은 발생한 선박의 전체항적을 나타낸 것이다. 통항경로대 별로 항적의 분포를 살펴보면, 가운데로 몰리지 않고 고르게 분포하는 일양분포를 따라 형성되었음을 알 수 있다. 또한, 그림 가운데 4각형은 금번 Simulation 평가대상수역을 나타낸다.

7시간의 Simulation결과 총 159척의 선박이 발생하였으며, 통항경로대 별로 살펴보면 <표 2>와 같다. 이것은 <표 1>의 시간당 발생척수를 기본으로 한 결과이다. 선박의 선형은 100ton 이하, 500ton

<표 2> 통항경로대별 발생척수

통항경로대 발생척수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
예 상 척 수	7	7	21	14	4.66	16.33	2.33	14	9.33	14	0.7	9.33	119.68
실 제 척 수	12	10	29	19	3	16	3	23	12	20	0	12	159

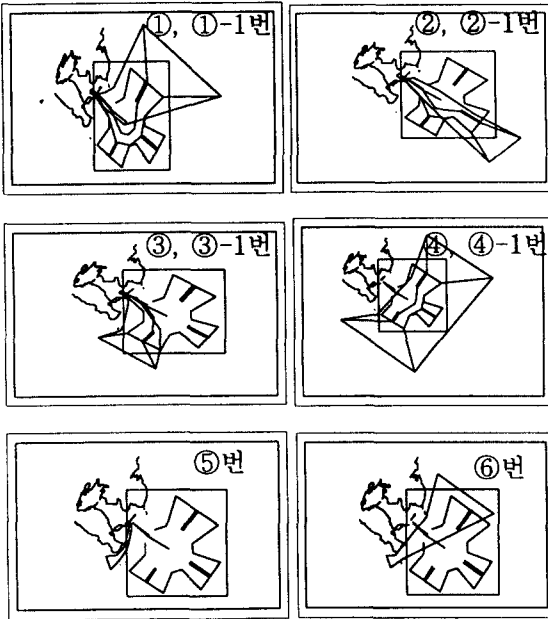


<그림 11> Simulation 항적도

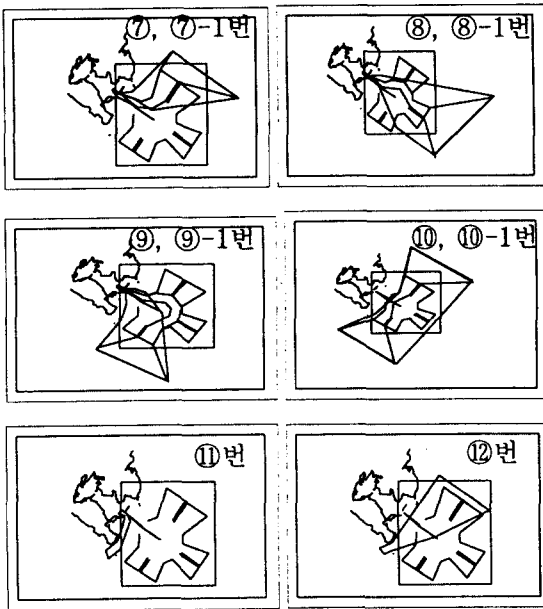
이하, 3,000ton 이하, 20,000ton 이하, 20,000ton 이상으로 나누워, <그림 9>와 같은 선형분포에 따라 발생시켰다.

5.5 원형분리대에 의해 정류된 교통류의 예측 및 재현

박 영수는 부산항 접근 구역에서의 교통조사를 실시하고, 교통류의 정류에 의한 당 해역의 안전성 향상을 위해 roundabout식의 통항분리대(원형분리대)를 제안하였다.³⁾ 본 연구에서는 제안된 통항 분리대를 설치함으로써 예측되는 교통류의 변화를 예측하여 평가하는 시뮬레이션을 실시하여 그 결과를 비교하였다. 이 Simulation에서는 선형분류 중 500ton 이상의 중·대형 선박은 원형분리대를 따라 항행시키고, 그 이하의 소형 선박은 원래의 통항경로대를 따르는 것으로 하였다. 이렇게 해서 새로 설정한 20개의 통항경로대를 <그림 12>와 <그림 13>에 나타내었다.

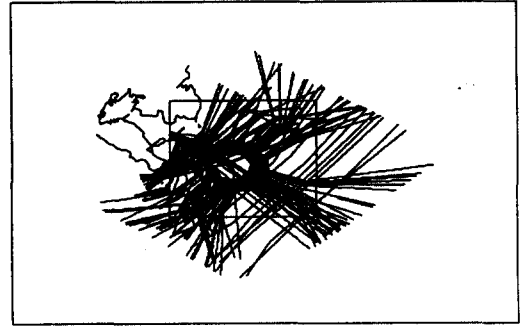


<그림 12> 원형분리대에 의해 분리된 통행경로대 출항·상행



<그림 13> 원형분리대에 의해 분리된 통행분리대 입항·하행

이렇게 해서 발생시킨 전체선박의 항적을 <그림 12>에 나타내었다. 그림을 보면 원형분리대를 따라 발생한 선박의 항적을 뚜렷이 볼 수 있다.



<그림 14> 원형분리대 Simulation 선박의 항적도

각 통행경로대에서의 통과 척수와 선형분포비율은, 원래의 data를 500ton 이상의 것과 500ton 이하로 나누어 사용하였다. 즉, 1, 2, 3, 4, 5번과 7, 8, 9, 10, 11번 통행경로대는 원래의 data에서 500ton 이하선박의 척수와 선형분포비율만을 분류하여 사용하였고, 1-1, 2-1, 3-1, 4-1번과 7-1, 8-1, 9-1 10-1번 통행경로대는 500ton 이상선박의 것만을 분류하여 사용하였다. <표 3>을 보면 설정한 선형비율과 실제 발생된 선형비율은 거의 일치하고 있다.

제6장 종합환경 스트레스 평가지표를 이용한 부산항 교통류의 평가

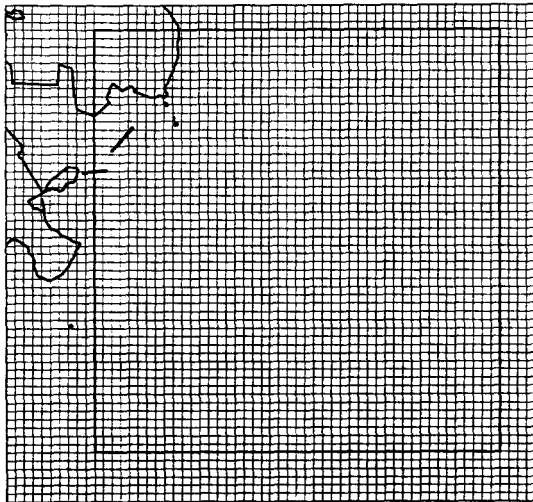
6.1 평가방법

본 장에서는 해상교통평가의 마지막 단계인 재현된 교통현상을 평가지표를 적용하여 평가한 것에 대해 설명한다. 평가를 행하는데 있어, 모든 평가는 현재의 교통류와 원형분리대에 의해 예측되는 교통류에 대해 평가하고, 두 결과를 비교하여 궁극적으로 원형분리대 설치의 타당성 여부를 검증하려 하는 것이다. 평가방법으로는 첫째, 교통류 Simulation에 의해 구축된 교통류 전체에 대한

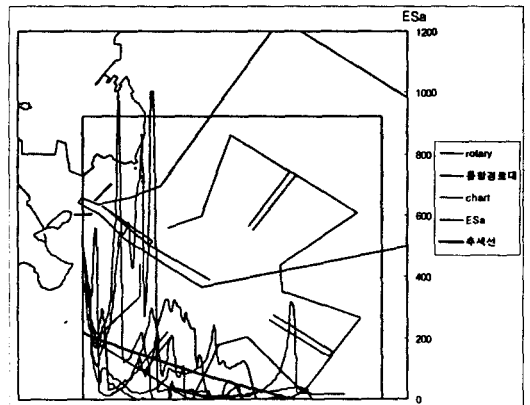
<표 3> 발생한 선박의 선형분포비율(%)

경로대 선형	통 합	1												2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		계	%
		1	1.1	2	2.1	3	3.1	4	4.1	5	6	7	7.1	8	8.1	9	9.1	10	10.1	11	12																
100 ton 이하	설정비율	0	0	0	50.00	0	40.01	0	59.00	25.00	59.00	0	0	0	25.00	0	0	0	11.11	0	77.00	346.12	17.31														
	발생비율	0	0	0	25.00	0	28.57	0	50.00	0.00	66.67	0	0	0	50.00	0	0	0	0	0	81.82	302.06	17.80														
500 ton 이하	설정비율	0	100	0	50.00	0	59.99	0	41.00	75.00	41.00	0	100	0	75.00	0	100	0	88.89	100	23.00	793.89	39.69														
	발생비율	0		0	75.00	0	71.43	0	50.00	100.00	33.33	0	0	0	50.00	0	100	0	100	0	18.18	597.94	35.20														
3000 ton 이하	설정비율	69.23	0	64.29	0	27.77	0	68.00	0	0	0	77.78	0	60.00	0	40.00	0	55.00	0	0	0	522.06	26.10														
	발생비율	63.64	0	66.67	0	26.92	0	80.00	0	0	0	0	0	77.78	0	46.15	0	66.67	0	0	0	427.82	25.20														
20000t on 이하	설정비율	30.77	0	7.14	0	41.26	0	32.00	0	0	0	22.22	0	25.00	0	40.00	0	40.00	0	0	0	238.39	11.92														
	발생비율	36.36	0		0	50.00	0	20.00	0	0	0	66.67	0	16.67	0	53.85	0	20.00	0	0	0	263.54	15.50														
20000t on 이상	설정비율	0	0	28.57		30.95	0	0	0	0	0		0	15.00	0	20.00	0	5.00	0	0	0	99.52	4.98														
	발생비율	0	0	33.33		23.08	0	0	0	0	0	33.33	0	5.56	0	0	0	13.33	0	0	0	108.63	6.39														

ESA의 위치별 분포를 나타내는 방법과, 둘째, 교통류를 이루는 개개의 선박에 대한 ESA를 나타내는 방법으로 연구를 진행하였다. 본 연구에서 평가해역내의 ESA의 위치별 분포를 나타내기 위해 평가해역을 250m의 정방형의 사각형으로 나누어 분할·설정하였다. 이 사각형 위를 통과한 모든 선박들에 이 지점에서의 ESA평가치를 평균하여 이 사각형 내에서의 평균 ESA치를 나타내는 것이다. <그림 15>는 이와 같은 평가방법의 예를 그림으로 나타낸 것이다.



<그림 15> 분할된 평가해역

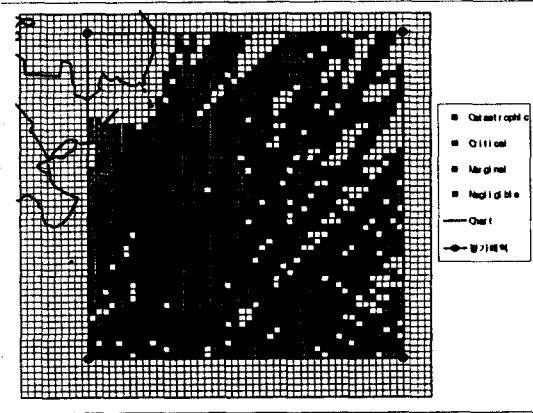


<그림 16> 선박별 ESA 평가의 예(1번통항대)

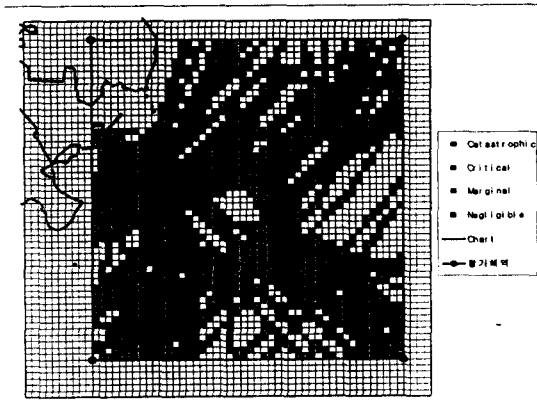
또한, <그림 16>는 1번 통항경로대를 통과한 선박 개개의 평가치중 한 선박의 평가치를 예로 나타낸 것이다. 그림의 추세선을 보면 전체적으로 육지에 가까울수록 ESA치가 높아지는 것을 볼 수 있다. 또한, ESA치가 1000을 나타내는 부분은 그 부분에서 다른 선박과 충돌한 것을 말한다. 이것은 피항조건을 고려하지 않았기 때문에 나타나는 현상이다. 그러나, 금번 평가의 목적은 선박의 충돌을 피하는 Simulation을 실시하는 것이 아니라, 현재상태의 교통흐름을 여과 없이 그대로 재현하여 잠재하는 충돌의 위험을 비교하는 것이라는 것에 유의해야 한다.

6.2 평가결과

<그림 17>과 <그림 18>는 각각 현상의 교통류와 원형분리대에 의한 교통류를 평가하여, 평가해역을 250m의 정방형 사각형으로 나누어 나타낸 ESA의 분포도이다.



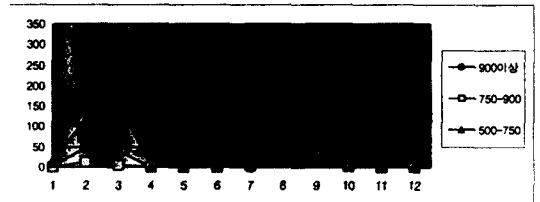
<그림 17> 평가구역내의 ESA 분포도(현재교통류)



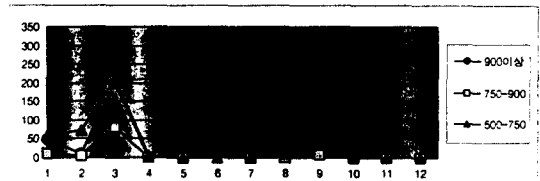
<그림 18> 평가구역내의 ESA 분포도
(원형분리대 도입)

평가결과를 살펴보면, 현상의 교통류는 1번과 7번 통행경로대 부근인 오륙도 방파제 부근의 사각형과, 3번과 9번 통행경로대 부근인 생도 부근의 사각형에서 높은 ESA 평균치를 나타내었다. 원형분리대에 의한 교통류는 방파제 부근을 제외하고는 거의 ESA 평균치가 500 이하로 나타나, ESA

평균치가 현재상태의 교통류보다 상당히 감소한 것으로 나타났다. 두 교통류에 대한 평가결과를 구체적으로 살펴보면, 현재상태 교통류의 평가결과에서는 ESA치가 500이상 750이하인 Marginal 사각형이 22개, 750이상 900이하인 Critical의 사각형이 3개 그리고, 900이상인 Catastrophic의 사각형이 1개였다. 또한 원형분리대에 의한 교통류의 평가결과에서는 ESA치가 500이상 750이하인 Marginal 사각형이 16개이었고, 그 이상의 ESA치는 기록되지 않았다. 다음은 개개의 선박에 대한 위치별 ESA 치를 평가하여 비교한 결과이다. 15초간격으로 갱신되는 평가결과를 모두 분석하여 평가등급별 분포로 나타낸다면, 현재의 교통류와 원형분리대에 의한 교통류에 대한 비교평가가 가능해진다. <그림 19>, <그림 20>은 15초 간격으로 이루어지는 ESA의 평가치를 평가등급에 따라 분류하고, 각 등급에 해당하는 갯수를 통행경로대별로 분석하여 도표로 나타낸 것이다.



<그림 19> 통행대별 ESA 평가분포도
(현재의 교통류)



<그림 20> 통행대별 ESA 평가분포도
(원형분리대)

<표 4>는 통행경로대별로 ESA 평가치를 백분율로 나타내어 비교한 것이다. 원형분리대에 의한 교통류는 20개의 통행분리대로 나누어 재현하였지

<표 4> 통항경로대별 ESA 평가치 비교(%)

통항경로대 상황별ESA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
		현재의 교통류	900이상	0.37	3.89	6.82	0.00	0.00	0.00	0.00	2.62	1.98	0.83	0.00
750-900	0.12		1.10	0.17	0.00	0.00	0.00	2.29	1.41	3.07	0.18	0.00	0.00	0.66
500-750	1.62		9.89	1.68	0.00	0.00	0.00	15.65	13.96	2.77	1.19	0.00	0.00	4.17
계	2.12		14.88	8.67	0.00	0.00	0.00	17.94	17.99	7.82	2.19	0.00	0.00	7.09
원형 분리대	900이상	4.12	0.62	7.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.89	0.00	0.00	0.00	1.85
	750-900	0.84	0.28	2.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.44	0.00	0.00	0.00	0.68
	500-750	4.97	4.18	7.38	0.53	0.00	0.08	0.00	0.58	2.41	0.00	0.00	0.00	2.65
	계	9.93	5.08	17.23	0.53	0.00	0.08	0.00	0.91	3.74	0.00	0.00	0.00	5.19

만, <그림 19>와 <그림 20>, <표 4>에서는 현재의 교통류와 비교하기 위하여 12개의 통항분리대로 합산하여 나타내었다. 그림을 보면, 2번, 3번과 8번, 9번 통항경로대에서 높은 평가치를 보이고 있는데, 이것은 통항경로대 특성상 교차되는 교통류가 가장 많고, 주로 대형선이 통항하기 때문으로 보여진다. 또한, 1번과 3번 통항경로대를 제외한 나머지 통항분리대에서는 원형분리대에 의한 교통류의 평가치가 낮아진 것을 알 수 있다. 그러나 통항경로대 중 1번 통항경로대와 3번 통항경로대의 경우는 반대의 현상이 나타났는데, 3번 통항경로대의 경우는 그다지 큰차이를 보이지 않고, 1번 통항경로대의 교통류는 원형분리대에 적용 받으면 항행길이가 현상보다 길어지고 변칙수가 늘어나기 때문이다. 즉 현재교통류의 경우는 방파제를 통과하여 바로 왼편으로 항행하고 있지만, 원형분리대에 따라 통항하게 되면 원형분리대를 한바퀴 돌아 나가야 하기 때문에 평가치가 높게 나타난 것으로 추정된다.

제7장 결론

지금까지 Simulation에 의해 재현된 두 상황의 교통류를 ESA 평가모델을 사용하여 평가하여 비교하는 작업에 대해 설명하였다. 이 두 상황에 대한 평가결과를 통항경로대별로 살펴보면 2번 3번과 8번 9번 즉, 일본방향으로 입·출항하는 선박들과 남해안방향으로 입·출항하는 선박들의 조선곶란도가 높은 것으로 나타났다. 또한 교통류 전체에

대한 평가결과를 살펴보면 두 가지 평가방법에서 모두 원형분리대에 의한 교통류가 현재의 교통류보다 낮은 ESA 치를 나타내었다. 따라서, 현재의 교통류를 원형분리대에 의해 정류함으로써 조선곶란도의 감소효과를 가져 올 수 있다고 판단된다. 그러나 원형분리대 설치에 의해 1번 통항경로대와 9번 통항경로대는 항행 길이가 길어지고 다른 선박들과의 교차통항 횟수가 늘어나게 된다. 따라서 이 통항경로대를 통항하는 선박들은 조선시 더 많은 주의가 요구된다. 또한, 안전성 평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 좀더 정확한 교통류 data의 확보와 보다 정밀한 분석을 위한 시스템이 요구되며, 본 논문은 해상교통의 안전성평가측면에서 대책안의 타당성 검증에 대해 논하였지만, 향후에는 효율성 및 경제성평가 측면에서도 평가가 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 井上欣三, “海上交通量の觀測日數と精度”, 日本航海學會 論文集 50號, 1973
2. 井上欣三, 原潔, 金子光浩, 増田憲司 “操船者の危險感に基づく操船環境の評價 - 平價指標として環境ストレス値の定義”, 日本航海學論文集 95號, 1996
3. 박영수, “부산항 접근수역의 항로지정에 관한 조사연구”, 한국해양대학교대학원, 1998