

부산항 접근수역의 해상교통 안전성 평가에 관한 연구

강영식* · 정재용** · 박영수*** · 이형기**** · 문범식***** · 박진수*****

A Study on the Assessment of the Marine Traffic Safety
at the Pusan Approaching Waters

Yong-Sik Kang · Jae-Yong Jong** · Yong-Soo Park*** · Hyong-Ki Lee*****
*Beom-Sik Moon***** · Jin-Soo Park******

〈 목 차 〉	
Abstract	4. 평가결과
1. 서론	5. 결 론
2. 평가지표 모델	참고문헌
3. 환경스트레스 모델에 의한 평가	

요 약

이 연구는 자연조건, 지형조건, 시설조건 및 다른 선박과의 상대적 위치 관계 등의 특정한 운항환경에서 조 선자가 갖는 심리적 부담을 계량화하고, 이를 통해 해상교통의 안전성을 평가하는 환경스트레스 모델을 적용 하여 부산항 접근수역의 현행 통항분리방식과 선행 연구에서 제안한 원형분리대방식에 의한 해상교통의 안 전성을 상호 비교하여 그 타당성을 검증하고자 한다.

Abstract

Marine traffic engineering is the technical field that observe flows of vessel traffic in accurate and describe the features of ships' movement statistically or analytically, then contribute to the improvement of the traffic flow and safety of traffic. Recently, marine traffic engineering has been developed until that

* 한국해양대학교 대학원 졸업
** 한국해양대학교 마린시뮬레이션교육연구센터 전임연구교수
*** 고베상선대학 대학원 박사과정
**** 한국해양대학교 한나라 일향사
***** 한국해양대학교 대학원
***** 한국해양대학교 해양관리기술대학원

possible to estimate a changes in traffic flow caused from some transformations of the traffic condition, and to assess the feasibility and validity of the changes by computer simulation. This paper aims to assess the present traffic safety at the sea area adjacent to Pusan harbour, and the validity of the suggested roundabouts traffic separation scheme at the Pusan approaching water(by Park in 1998) using environmental stress aggregation model

There are couple of steps to describe the marine traffic situation and to assess it's safety by computer simulation. The first step is observe the movement of vessel traffic concerned waters and to obtain the relevant data for computer simulation. Second step is to carry out computer simulation to assess the simulated traffic flows by using suitable indexes of assessment model - environmental stress aggregation model.

Eventually, this paper conclude that the environmental stress aggregation model is a useful technique to assess the traffic safety and the suggested roundabouts traffic separation scheme could make the concerned area safer than present traffic situation

1. 서 론

해상교통공학은 해당 해역의 해상교통흐름의 실태를 파악하여 그 파악된 자료를 분석하여 선박의 행동을 통계적·해석적으로 표현한 후 그 결과로 항로 및 항만의 환경을 개선하는 기술분야이다.[1] 현재의 해상교통공학에서는 제안된 대책안을 도입할 경우에 앞으로 변화가 예상되는 교통흐름을 예측하여 평가함으로써 그 대책의 타당성을 판단하고 있다. 따라서 본 연구에서는 박[2]이 부산항 접근수역에 대하여 제안된 원형분리대와 현행 통항분리대에 대해 환경스트레스모델(Environment Stress Model, ES Model)을 적용하여 제안한 원형분리대의 타당성을 판단하고자 한다. 이를 위해 부산항 접근수역에 대해 교통조사를 실시하고 그 결과를 해상교통류 시뮬레이션에 적용함으로써 현행 통항분리대와 제안한 원형분리대를 비교·평가하고자 한다.

2. 평가지표 모델[3][4]

2.1 환경스트레스 모델

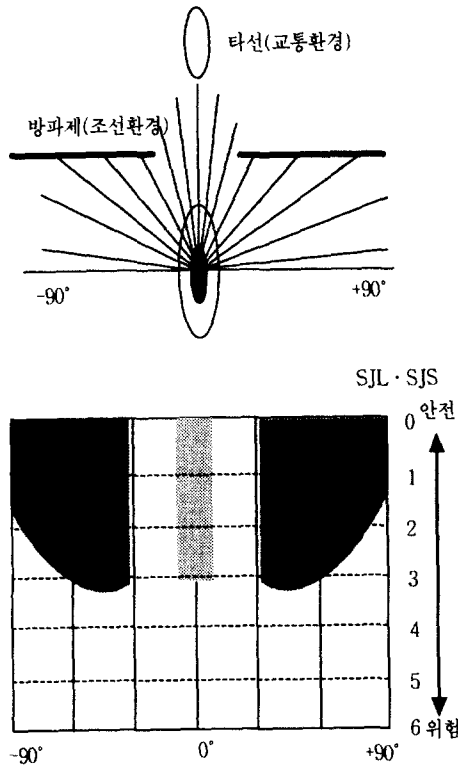
환경스트레스는 조선환경스트레스와 교통환경스트레스로 구성된다. 자선(自船)을 둘러싸고 있는 주변 환경을 조선환경과 교통환경으로 구분하고, 이

두 환경을 조선 곤란성의 관점에서 조선자에게 주어지는 부담의 크기를 정량적으로 표현한 환경스트레스치(Environment Stress value, ES value)를 평가지표로 사용하였다.

2.1.1 조선환경 및 교통환경의 개념에 기초한 조선 곤란도 평가

대양 항해에서는 자선 침로를 어느 방향으로 향하더라도 충돌 등의 위험이 가시화될 때까지 시간적 여유가 충분하기 때문에 조선환경으로 인한 부담을 받지 않는다. 그러나 항내 또는 접근수역과 같은 조선수역에서는 호안과 방파제 등이 가시화될 때까지 시간적 여유가 적기 때문에 조선부담은 상대적으로 크게 된다. 자연조건, 지형조건, 시설조건 등의 제약된 조선수역은 조선자의 행동을 제약하는데 이때 조선자가 느끼는 곤란도를 정량화한 것이 조선환경스트레스모델이다.

한편 자선 주위에 타선이 존재할 때 침로를 일정한 방향으로 향하더라도 타선과의 충돌위험이 생기지 않거나, 충돌위험이 가시화될 때까지 시간적 여유가 충분한 경우에는 타선으로 인한 부담은 받지 않는다. 그러나 자선의 변침에 의해 주변의 타선과 충돌 위험성이 발생하는 경우에는 조선상 행동의 자유가 제약되고, 조선자에게는 부담이 가해진다. 특히 자선의 침로를 어느 방향으로 향하더라도 타선과의 충돌위험이 가시화 될 때까지의 시간적 여



(그림 1) ESA 개념도

유가 적은 경우에는 타선으로 인해 조선자가 받는 부담은 커지게 된다. 이와 같이 타선의 교통흐름은 자신의 조선상 행동을 제약하게 되는데 이 때 조선자가 받는 조선부담의 크기를 정량화한 것이 교통환경스트레스 모델이다.

이처럼 자선을 둘러싸고 있는 자연조건, 지형조건, 시설조건 등의 환경으로 인해 조선자가 느끼는 부담의 크기를 정량화함으로써 환경요소가 조선 곤란성에 어느 정도의 영향을 주는가를 지표로 표현할 수 있다. 즉, 환경스트레스 모델이란 환경으로 인한 조선 곤란도 평가를 위해 개발된 평가모델이다. 주어진 환경에서 잠재하는 위험의 가시화로 인해 조선자가 받는 환경스트레스의 크기를 「환경스트레스치」라 한다. 환경스트레스치는 지형이나 시설물 등 조선환경에 기인하는 스트레스의 크기인 「조선환경스트레스치(Land of ES value, ESL치)」와 타선에 기인하는 스트레스의 크기인 「교통환경스

트레스치(Ship of ES value, ESS치)」로 구성되며, 두 스트레스치를 종합하여 「종합환경스트레스치(Aggregation of ES value, ESA치)」라 한다. ESA의 개념은 <그림 1>과 같다.

2.2 환경스트레스의 계산

조선환경스트레스와 교통환경스트레스를 구하는 계산식은 도선사, 선장들을 대상으로 설문조사와 선박조종시뮬레이션 실험을 실시하여 조선환경과 교통환경에 대해 느끼는 위험감의 결과를 회귀분석하여 도출한 회귀식이다.[5] 즉, 주어진 환경하에서 잠재하는 위험이 가시화될 때까지의 시간적 여유를 매개 변수로 하여 자신의 주변 환경으로 인해 조선자가 느끼는 조선 곤란도를 수치지표로 표현한 것으로, 지형과 시설물 등의 조선환경에 의한 부담의 크기나 타선에 의한 부담의 크기를 자신의 주변에 잠재하는 위험이 가시화될 때까지의 시간적 여유를 기초로 하여 정량화한 것이다.

2.2.1 조선환경스트레스의 계산법

조선환경스트레스의 계산식은 장애물까지의 여유시간(R/V)과 조선자가 느끼는 위험감의 관계를 정리하여 도출한 회귀식이다. 설문조사와 선박조종시뮬레이션 실험에서 위험물까지의 거리가 동일하더라도 자선속력이 빠를수록 조선자는 더 큰 위험감을 느끼고, 자신의 크기가 클수록 회귀식의 기울기가 큰 것으로 분석되었다. 이 계산식에서 α 는 자선의 크기에 따라 변화되는 회귀식의 기울기이고, β 는 회귀식의 절편을 의미한다.

조선환경스트레스치를 계산하는 순서는 다음과 같다.

- ① 자선의 침로에 대하여 좌우 $\pm 90^\circ$ 이내의 침로 범위를 탐색한다.
- ② 각 침로별($\angle \psi$)로 자선과 장애물과의 거리(R), 자선의 속력(V) 등에 의해 충돌 혹은 좌초 등의 위험이 가시화될 때까지 시간적 여유(R/V)를 산출한다.
- ③ 위험 가시화까지의 시간 여유(R/V)를 조선자가 느끼는 위험감으로 산출한다. 그리고 선박의 길이를 반영하기 위한 변환식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 SJL &= \alpha \times (\text{시간여유}) + \beta \\
 &= \alpha \times (R/V) + \beta \\
 \alpha &= -0.00092 \times \log_{10}(GT) + 0.0099 \\
 \text{단, } GT \leq 10,000 \text{인 경우} \\
 \alpha &= -0.006671 \times \exp \{ -7 \times 10^{-6}(GT) \} \\
 \text{단, } GT > 10,000 \text{인 경우} \\
 \beta &= -3.82
 \end{aligned}$$

여기서,
SJL(Subjectiv Judgement for Land) : 위험이
 가시화 될 때까지의 시간적 여유에 대해 조
 선자가 느끼는 위험감의 정도
R : 장애물까지의 거리
V : 자선의 속력
GT : 자선의 총톤수
 α, β : 자연 조건에 의해 결정되는 계수

또한 동일한 장애물이라도 자선과의 방향에 따
 라 느끼는 위험감이 다르기 때문에 장애물의 존재
 방향에 따른 방향 가중치를 부여하여야 한다. 방향
 가중치는 인간의 시야가 좌우 110° 를 볼 수 있기
 때문에 정면은 1, 좌우 110° 의 방향은 0이 되는
 cos 함수를 사용하였다.

<표 1>에서 SJL의 값은 조선자가 느끼는 위험
 감의 정도를 의미하고, ESL값은 자선의 침로로부
 터 좌우±90° 의 범위를 1° 씩 탐색한 후 조선자가
 느끼는 위험감과 곱하여 구한 것이 조선환경스트레
 스치이다. SJL이 0인 경우는 위험 가시화까지의 시

간적 여유가 충분한 경우를 말하고, SJL이 6인 경
 우는 바로 위험이 가시화되는 경우이다. 좌우 ±9
 0° (180°) 범위내에서 장애물이 존재하지 않는 경
 우에는 위험감의 최소값인 0에 180을 곱하면 그 범
 위에서의 조선환경스트레스치의 총합은 0이 된다.
 또한 좌우 90° (180°) 범위의 어디를 향하더라도
 바로 위험이 가시화되는 경우에는 최대값인 6을 곱
 하여 그 범위에서의 조선환경스트레스치의 총합은
 1,000이 된다.(6×180=1,000)

여기에서 조선환경스트레스치가 0~500인 경우
 는 어느 쪽을 향하여도 대단히 안전하다고 느끼는
 상태에서 안전과 위험의 어느 쪽도 아니라고 느끼
 는 상태까지의 범위를 의미하기 때문에 “허용가능”
 으로 판단하고, 500~750인 경우에는 안전과 위험
 의 어느 쪽도 아니라고 느끼는 상태에서 조금 위험
 을 느끼는 상태까지의 범위를 의미하기 때문에 “허
 용가능”으로 판단한다. 750~900인 경우에는 조금
 위험을 느끼는 상태에서 위험을 느끼는 상태까지의
 범위이므로 “허용한계”로 판단하며, 900~1,000인
 경우에는 위험을 느끼는 상태에서 대단히 위험을
 느끼는 상태까지의 범위이기 때문에 “허용불가”로
 판단한다.

2.2.2 교통환경스트레스의 계산법

교통환경 스트레스치를 구하는 구체적인 순서는
 다음과 같다.

- ① 자선 주위에 타선의 침입을 허용하지 않는 영

<표 1> 조선자가 느끼는 위험감 및 환경스트레스치의 허용여부

SJL	내 용	ESL	판 단		설 명
0	매우 안전	0~500	Negligible	허 용 가 능	어느 쪽을 향하여도 대단히 안전하다고 느끼는 상태에서 안전과 위험의 어느 쪽 도 아니라고 느끼는 상태까지의 범위
1	안전				
2	조금 안전	500~750	Marginal		안전과 위험의 어느 쪽도 아니라고 느끼 는 상태에서 조금 위험을 느끼는 상태까 지의 범위
3	어느 쪽도 아님				
4	조금 위험	750~900	Critical	허 용 한 계	조금 위험을 느끼는 상태에서 위험을 느 끼는 상태까지의 범위
5	위험	900~1000	Catastrophic	허 용 불 가	위험을 느끼는 상태에서 대단히 위험을 느끼는 상태까지의 범위
6	매우 위험				

역을 설정하고 타선의 상대침로 벡터가 설정 영역내에 침입하는 경우에는 충돌이 잠재한다고 생각한다.

- ② 자선의 침로에 대하여 좌우 $\pm 90^\circ$ 의 침로 범위를 설정한다.
- ③ 원침로에 대하여 좌우 $\pm 90^\circ$ 의 침로 범위내에서 각 침로($\Delta\psi$)에서 위험이 가시화될 때까지의 시간 여유를 구한다. 여기에서 타선은 점으로 간주하고 자선 주위에 설정한 ①의 영역에 침입할 때까지의 시간을 구하여 위험이 현재화될 때까지의 시간여유로 구한다.
- ④ 각 침로별로 구한 위험 가시화까지의 시간적 여유에 대하여 조선자가 느끼는 위험의 정도를 설문 조사하여 산출한 회귀식을 이용하여 치환한다.

또한, 선박의 길이를 반영하는 변환식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 SJS &= \alpha \times (\text{시간여유} \cdot \text{자선의 상대속력} / \text{자선과 타선과의 길이 평균}) + \beta \\
 &= \alpha \times (R/V \cdot V/Lm) + \beta \\
 &= \alpha \times (R/Lm) + \beta \\
 &= \alpha \times (R') + \beta \quad \alpha = 0.00192 \times Lm
 \end{aligned}$$

타선과의 조건이

우현에서 횡단하는 경우 :

$$\beta = -0.65 \times \ln(Lm) - 2.07$$

좌현에서 횡단하는 경우 :

$$\beta = -0.65 \times \ln(Lm) - 2.35$$

선수에서 마주치는 경우 :

$$\beta = -0.65 \times \ln(Lm) - 2.07$$

선미에서 자선이 추월하는 경우 :

$$\beta = -0.65 \times \ln(Lm) - 0.85$$

여기서,

SJS (*Subjective Judgement for ship*) : 충돌 관

계에 있는 타선과의 상대거리에 대한 위험감

R : 자 · 타선의 상대거리

V : 자 · 타선의 상대속력

Lm : 자선과 타선의 평균

R' : 자선과 타선의 평균(*Lm*)에서 기준화

한 타선과의 상대거리

α, β : 자선과 타선의 마주치는 조건에 의해 결정되는 계수

또한 SJS 값과 조선자가 느끼는 위험감과의 관계는 SJL의 경우와 동일하며, 주위를 항행하는 모든 타선을 대상으로 한다.

2.2.3 종합환경 스트레스의 계산법

조선환경과 교통환경을 동시에 평가하는 경우는 다음과 같다.

- ① 원침로 좌우 $\pm 90^\circ$ 에서 각 침로($\Delta\psi$)별로, 자선의 선수를 그 방향으로 향할 때에 잠재하는 장애물에 대한 충돌 위험감과 그 방향으로 향할 때에 잠재하는 타선과의 충돌 위험감을 비교한다.
- ② 각 침로에 대하여 위험이 가시화되는 경우, 시간적 여유를 기초로 위험감의 값 중에 큰 값을 선택한다.
- ③ 위험감의 값을 연결선으로 착안하여 이 연결선의 범위를 좌우 $\pm 90^\circ$ 의 침로범위에서 총계한다.

이 결과를 그 순간에 통합한 것이 종합환경 스트레스치라 한다.

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

$$ESS = \sum_{\psi} \{ W \psi (R/V)_{ship} \rightarrow \max\{SJS\} \}$$

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

3. 환경스트레스 모델에 의한 평가

3.1 시뮬레이션 모델의 구축

시뮬레이션을 실시하기 위하여 부산항 해상교통 정보센터에서 레이더 관측과 목시관측(目視觀測)을 병행하여 교통조사를 실시하였다. 기간은 2000년 3월 28일부터 31일까지 0600시부터 1300까지 1일 7시간씩 총 21시간 실시하였으며, 관측 범위와 대상은 부산항 조도방파제로부터 약 10마일 반경을 통

항하는 모든 선박에 대하여 10개의 목시선을 설정하여 관측을 실시하였다. 관측은 센터의 레이더 및 관제모니터 2기, 디지털 비디오 카메라, 쌍안경 등을 이용하였으며, 센터의 모니터 화면을 실시간으로 디지털 카메라로 녹화하여 분석하였다. 관측결과 총 511척의 선박이 관측되었고 이중 연구대상해역을 통항하는 277척의 선박만이 시뮬레이션의 기초자료가 되었다.

3.1.1 현행 통항분리대 시뮬레이션

3.1.1.1 통항경로대의 설정

<그림 2>는 부산항 접근수역에서 현행의 통항분리대를 항행하는 선박의 교통조사결과를 분석한 후 선박의 주요 교통흐름을 12개의 통항경로대로 설정한 것이다. 각각의 통항경로대를 종기점(Origine Destination, OD)별로 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 통항하는 선박, ⑤, ⑪번 통항대는 부산에서 남해로 통항하는 항적중 생도 안쪽으로 통항하는 소형선박, ⑥, ⑫번 통항대는 남해에

서 동해방면으로 통항하는 선박중 연안에 근접하여 통항하는 소형선박의 통항경로대로이다

3.1.1.2 통항경로대별 선박의 발생

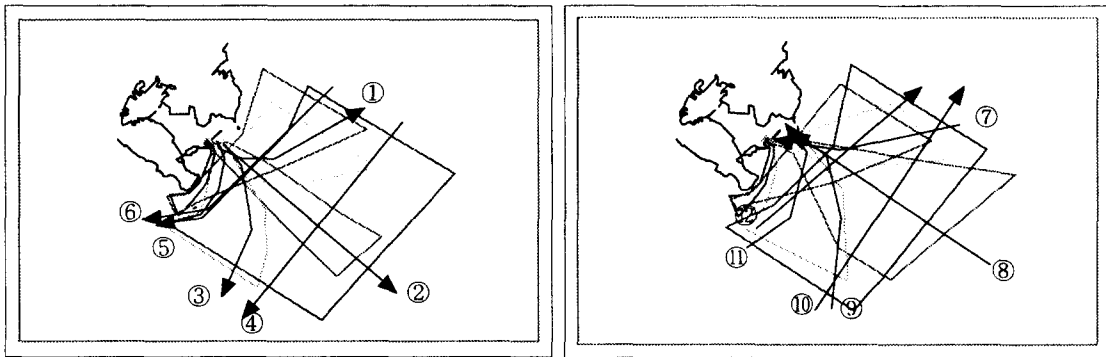
현행 통항경로대에 대한 시뮬레이션에서 발생시킨 시간당 선박의 척수는 교통량이 가장 많은 상황을 재현하기 위해 조사기간 중 교통량이 가장 많았던 시간대의 통과척수를 평균하였다. 일별 관측에서 교통량이 가장 많은 시간대는 28일 9시부터 10시, 29일 10시부터 11시, 30일 10시부터 11시였고 이를 평균하여 통항경로대별로 구분하면 <표 2>과 같다.

선박의 크기는 100총톤 이하, 500총톤 이하, 3,000총톤 이하, 20,000총톤 이하, 20,000총톤 이상으로 나누어 <그림 3>과 같은 선형분포에 따라 발생시켰다.

3.1.2 원형분리대의 시뮬레이션

3.1.2.1 통항경로대의 설정

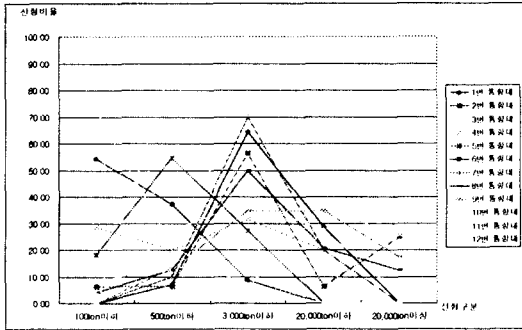
<그림 4>와 <그림 5>는 제안한 원형분리대를 도입함으로써 교통흐름의 변화를 예측하여 설정한 통항경로대이다. 시뮬레이션에서는 선형분류 중



<그림 2> OD별 통항경로대

<표 2> 시뮬레이션 시간당 발생척수

통항 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



〈그림 3〉 통항경로대별 선형분포

500총톤 이상의 중·대형 선박은 원형분리대를 항행하고, 그 이하의 소형 선박은 현행의 통항경로대를 항행하는 것으로 하였다.

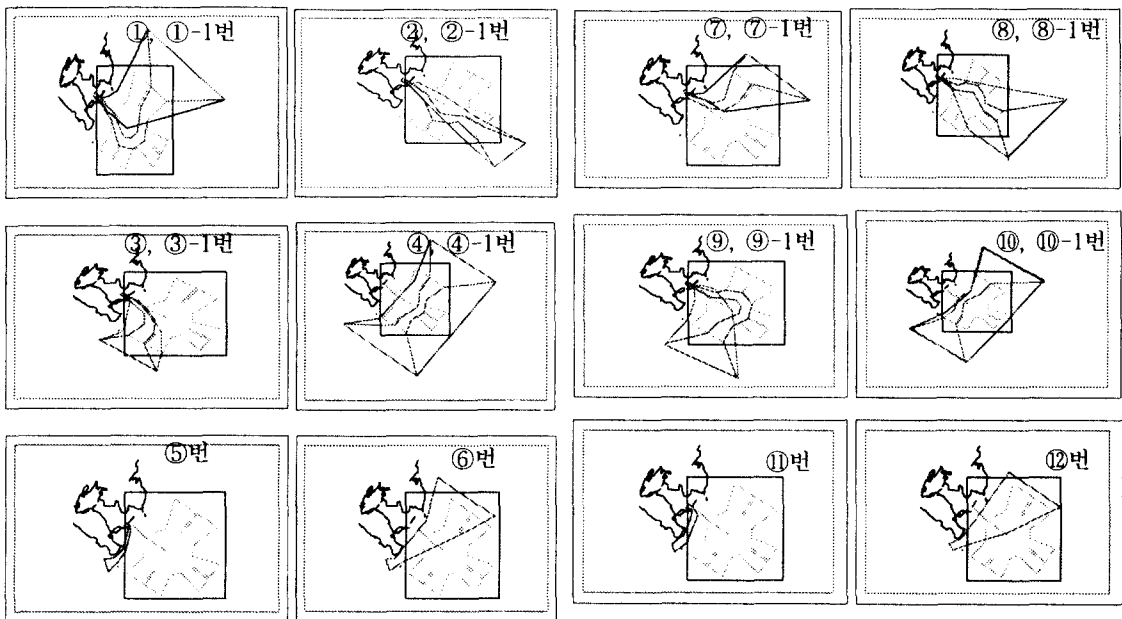
3.1.2.2 통항경로대별 선박의 발생

원형분리대의 시뮬레이션에서 발생시킨 선박의 통항경로대별 통과척수와 선형분포비율은 관측한 데이터를 500총톤 이상과 500총톤 미만으로 구분하였다. 즉, ①, ②, ③, ④, ⑤번과 ⑦, ⑧, ⑨, ⑩, ⑪번

통항경로대는 관측한 데이터의 500총톤 미만의 선박척수와 선형분포비율만을 분류하여 적용하였고, ①-1, ②-1, ③-1, ④-1번과 ⑦-1, ⑧-1, ⑨-1, ⑩-1번 통항경로대는 500총톤 이상의 선박만을 분류하여 적용하였다. <표 3>에서 보는 바와 같이 설정한 선형비율과 실제 발생된 선형비율은 거의 일치하고 있다.

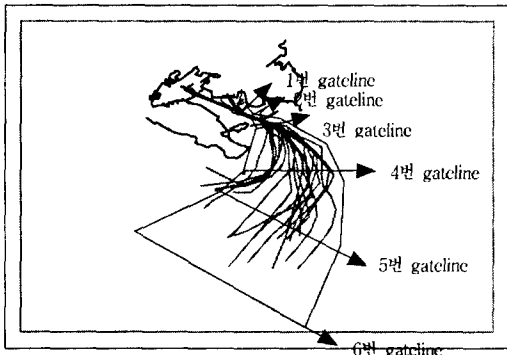
3.1.3 선박의 발생 위치

선박의 발생위치는 관측조사를 실시하여 획득한 선박의 항적자료를 분석하여 목시선(Datum line)을 통과한 선박의 통과위치분포도를 작성한 후 결정한다. <그림 6>은 전체통항경로대 중 ③번과 ④번 통항경로대와 각각의 목시선의 위치를 나타낸 것이다. 또한 <그림 7>은 ③번 통항경로대 내의 각각의 목시선에서의 통과위치 분포도를 나타낸 것이다. <그림 7>에서 통과 항로폭이 좁아질수록 선박의 통과위치가 가운데로 집중되는 경향이 있지만, 조도방파제 부근인 ③-1번과 ③-2번 목시선상을 제외하고는 일정치 않았고, 남해에서 동해로 상행 또는



〈그림 4〉 출항·상행 선박의 통항경로대

〈그림 5〉 입항·하행 선박의 통항경로대



〈그림 6〉 3번 통항경로대의 목시선 위치

하행하는 ④번 통항경로대에서는 이러한 경향마저 찾아볼 수 없었다. 물론 항적표본이 많아지거나 교통량의 밀도를 고려한 L환산척수를 사용하여 통과 위치분포도를 작성한다면 좀더 정교분포에 근사할 것으로 추정되지만, 금번 관측조사결과만을 보면 정규분포로 표현하기에는 알맞지 않다고 판단되어 선박의 발생위치는 일양분포를 사용하였다. 발생한

선박의 크기는 통항경로대별 선형분포비율을 발생하는 선박에 대입하고, 선박의 크기를 100총톤 이하, 500총톤 이하, 3,000총톤 이하, 20,000총톤 이하, 20,000총톤 이상으로 구분하였다.

3.1.4 선박의 항행모델 및 피항조선

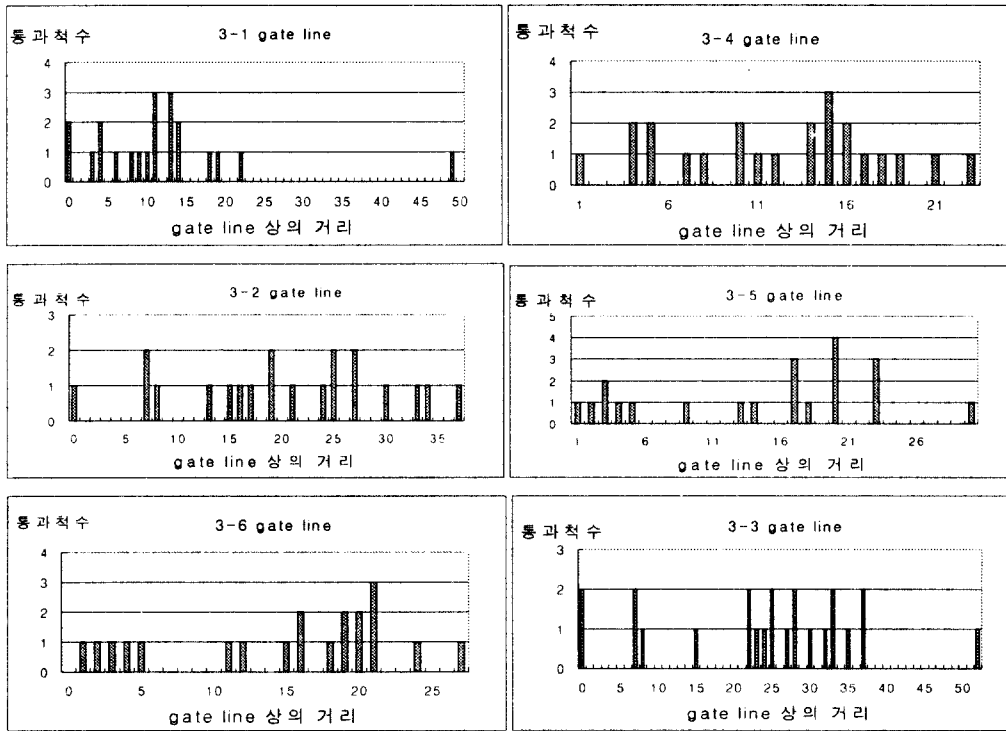
시뮬레이션에서 선박의 항행은 발생한 선박의 침로, 변침점, 속력으로 표현한다. 선박의 침로와 변침점은 3.1.3에서 설명하였고, 선박의 속력은 관측된 선박의 속력에 차이가 많아 12노트로 고정하여 실시하였다. 또한 연구의 목적이 현재상태의 교통흐름을 사실적으로 재현함으로써 잠재하는 충돌의 위험을 비교하고자 하기 때문에 선박의 거동특성을 그대로 재현하기 위해 피항조선을 실시하지 않았다.

3.2 평가해역 및 평가방법

본 연구의 목적은 현행의 통항분리대를 통항하는 선박의 교통류와 제안한 원형분리대에 의해 예

〈표 3〉 발생된 선박의 선형분포 비율(%)

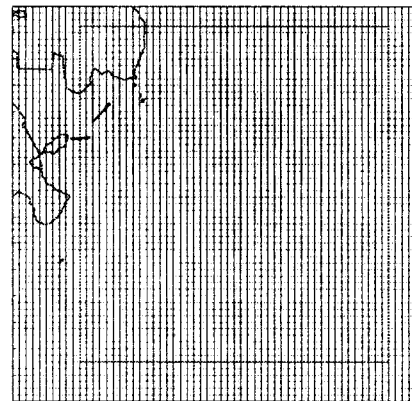
선형	통항경로대	①	①-1	②	②-1	③	③-1	④	④-1	⑤	⑥	⑦	⑦-1	⑧	⑧-1	⑨	⑨-1	⑩	⑩-1	⑪	⑫	계	%
		100 총톤 이하	설정비율	0	0	0	50.00	0	40.01	0	59.00	25.00	59.00	0	0	0	25.00	0	0	0	11.11	0	77.00
	발생비율	0	0	0	25.00	0	28.57	0	50.00	0.00	66.67	0	0	0	50.00	0	0	0	0	0	81.82	302.06	17.80
500 총톤 이하	설정비율	0	100	0	50.00	0	59.99	0	41.00	75.00	41.00	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 총톤 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
20000 총톤 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
20000 총톤 이상	설정비율	0	0	28.57		30.95	0	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



〈그림 7〉 ③번 통항경로대의 통과위치 분포도

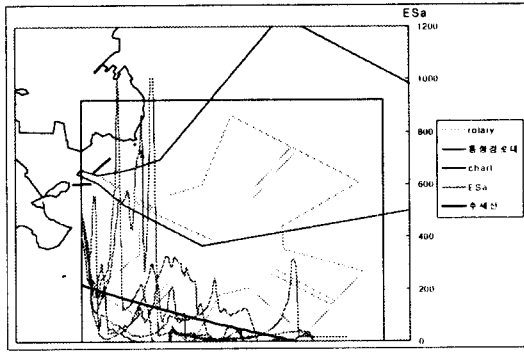
측되는 교통류를 비교·분석하여 원형분리대 설치의 타당성 여부를 검증하려는 것이다. 따라서 부산항 접근수역의 평가해역은 부산항으로 입·출항하기 위한 교통흐름과 부산항 부근을 남북으로 통항하는 교통흐름이 여러 곳에서 교차되고 있는 지점을 대상으로 하였다. 평가방법은 평가해역내에서의 ESA의 위치별 분포를 비교하는 방법과 교통류를 이루는 개개의 선박의 ESA를 비교하는 방법으로 연구를 진행하였다. 각 격자에서의 ESA를 비교하기 위해 <그림 8>과 같이 250m의 정방형의 격자로 분할·설정하였다. 또한 교통류를 이루는 개개의 선박의 ESA를 비교하기 위해 <그림 9>과 같은 방법을 행하였다.

<그림 10>은 현행 통항분리대에 12개의 통항분리대를 설정하여 시뮬레이션을 실시한 선박의 항적을 나타낸 것으로 여러 지점에서 선박간의 조우가 빈번한 것을 알 수 있다. <그림 11>은 제안한 원형

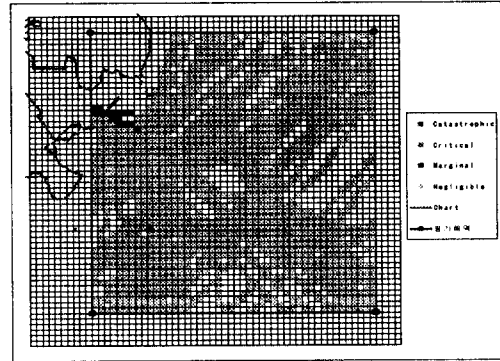


〈그림 8〉 평가해역

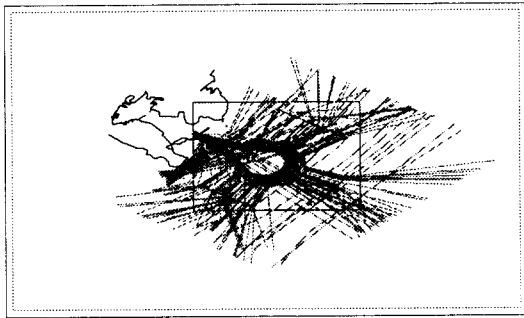
분리대에 시뮬레이션을 실시한 선박의 항적을 나타낸 것으로서 선박들이 원형분리대를 따라 항행하는 것을 알 수 있다



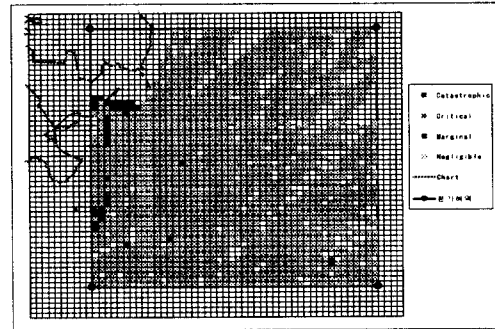
<그림 9> 선박별 ESA 평가의 예 (①번 통항대)



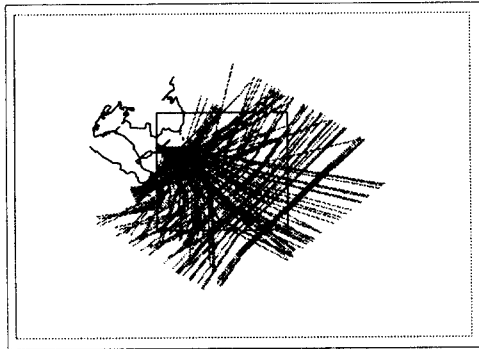
<그림 13> 원형분리대의 ESA 분포



<그림 11> 원형분리대 시뮬레이션 선박의 항적



<그림 12> 현행 통항분리대의 ESA 분포



<그림 10> 현행 통항분리대 시뮬레이션 선박의 항적

4. 평가결과

4.1 격자별 ESA

<그림 12>과 <그림 13>는 각각 현행 통항분리대의 교통류와 원형분리대에 의한 교통류를 평가하기 위한 250m의 정방형 격자 위치별 ESA 분포도

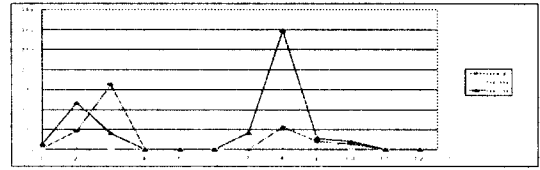
이다. 격자 위치별 결과를 살펴보면 현행 통항분리대의 교통류는 ①번과 ⑦번 통항경로대 부근인 오륙도 방파제 부근의 사각형과 ③번과 ⑨번 통항경로대 부근인 생도 부근의 사각형에서 높은 ESA 평균치를 나타내고 있다.

원형분리대에 의한 교통류는 방파제 부근을 제외하고는 거의 ESA 평균치가 500 이하로 나타나므로 현행 통항분리대보다 ESA 평균치가 상당히 감소한 것을 알 수 있다. 두 통항분리대에 대한 결과를 구체적으로 살펴보면 현행 통항분리대의 경우 ESA치가 500이상 750이하인 Marginal 사각형이 22개, 750이상 900이하인 Critical의 사각형이 3개 그리고 900이상인 Catastrophic의 사각형이 1개로 나타났다. 그러나 원형분리대에 의한 교통류의 평가결과는 ESA치가 Marginal 사각형이 16개이고, 그 이상의 ESA치는 기록되지 않았다.

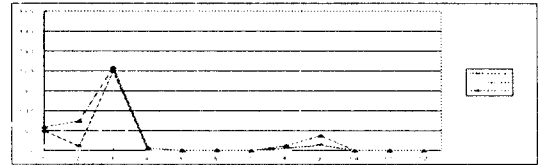
4.2 개별 선박의 ESA

개개의 선박에 대한 위치별 ESA치를 평가하여 비교하면 현행 통항분리대의 교통류와 원형분리대에 의한 교통류에 대한 비교가 가능하다. <그림 14>과 <그림 15>은 15초 간격으로 이루어지는 ESA의 평가치를 평가등급에 따라 분류하고, 각 등급에 해당하는 개수를 통항경로대별로 분석하여 도표로 나타낸 것이다.

또한 <표 4>은 통항경로대별로 ESA 평가치를 백분율로 나타내어 비교한 것이다. 원형분리대에 의한 교통류는 20개의 통항분리대로 나누어 재현하였지만, 현재의 교통류와 비교하기 위하여 12개의 통항분리대로 재분류하였다. <그림 14>, <그림 15> 및 <표 4>를 보면 현행 통항분리대의 경우에는 ②번, ③번과 ⑧번, ⑨번 통항경로대에서 높은 ESA치를 보이고 있다. 이는 통항경로대 특성상 교차되는 교통류가 가장 많고 대형선이 통항하기 때문으로 판단된다. 그러나 원형분리대의 경우에는 ①번과 ③번 통항경로대를 제외한 나머지 통항경로대에서는 ESA치가 낮아진 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 ①번 통항경로대의 경우에는 원형분리대를 따라 항행해야 하므로 현행 통항분리대보다 항해거리가 길어지고 변침 횟수가 증가하기 때문으로 판단된다. 즉, 현행 통항분리대의 경우에는 방파제를 통과한 후 즉시 왼편으로 항행하지만, 원형분리대의 경우에는 원형분리대를 한바퀴 돌아 항행하기 때문에 평가치가 높게 나타난 것으로 추정된다.



<그림 14> 현행 통항분리대의 통항경로대별 ESA치 분포



<그림 15> 원형분리대의 통항경로대별 ESA치 분포

5. 결 론

현행의 통항분리대를 항행하는 교통류와 제안된 원형분리대 도입 후의 교통류의 안전성을 평가하기 위해, 먼저 평가해역의 교통특성을 파악하기 위한 교통조사를 실시하였으며, 이를 시뮬레이션의 기초 자료로 활용하였다. 환경스트레스 모델을 평가지표로 하여 시뮬레이션을 실시하였다. ESA 평가모델을 적용하여 평가한 결과, 격자별 ESA치는 원형분리대의 교통류가 현행 통항분리대에 의한 교통류보다 낮은 것으로 분석됐다. 개별 선박의 ESA치 역

<표 4> 통항경로대별 ESA 평가치 비교(%)

통항경로대 상황별ESA		통항경로대												계
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	
현행 통항 분리대	900이상	0.37	3.89	6.82	0.00	0.00	0.00	0.00	2.62	1.98	0.83	0.00	0.00	2.25
	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
원형분 리대	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

시 ①번과 ③번 통항경로대를 제외한 모든 통항경로대에서 제안한 원형분리대의 평가치가 낮은 것으로 분석되었다. ①번 통항경로대는 원형분리대를 따라 항행해야하므로 항해거리가 길어지고 변침 횟수가 증가하기 때문으로 판단되고, ③번 통항경로대의 경우에는 큰 차이가 없다. 두 평가결과를 통해 원형분리대에 의한 교통류가 현행의 통항분리대의 교통류보다 ESA치가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 현행의 통항분리대의 교통류를 원형분리대에 의해 교통흐름을 정류함으로써 조선 곤란도가 감소할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 부산항 접근수역에 있어서 해상교통의 안전성 측면에서의 대책안의 타당성을 검증하였지만 향후에는 효율성 및 경제성 측면에서의 평가도 고려해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 藤井弥平·卷島免·原潔, 「海上交通工学」, 海文堂, 1981.
- 2) 박영수, “ 부산항 접근수역의 항로지정에 관한 조사연구 ”, 한국해양대학교대학원, 1998
- 3) 井上欣三、原潔、金子光浩、増田憲司 “ 操船者の危険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
- 4) 井上欣三、増田憲司、世良亘 “ 海上交通安全評價のための技術的ガイドライン策定に関する研究-I.-環境負荷の概念に基づく操船の困難性評價 - ”、日本航海學論文集 98號、1998
- 5) 井上欣三、久保野雅敬、宮坂真人、原大地 “ 危険の切迫に対して操船者が感じる危険感の定量化モデル ”、日本航海學論文集 98號、1998