

# 실습선 한바다호의 저속 항해시 최소안전 이격거리에 관한 연구

박영수\* · 지상원\*\* · 이윤석\*\*\* · 정창현\*\*\*\*

\*, \*\*\*한국해양대학교 운항훈련원 교수, \*\*한국해양대학교 해사수송과학부 교수, \*\*\*\*한국해양대학교 한바다호 1등항해사

## A Study on the Minimum Safe Distance Under the Low Speed Sailing of T.S. HANBADA

Young-Soo, Park\* · Sang-Won, Ji\*\* · Yun-Sok, Lee\*\*\* · Chang-Hyun, Jung\*\*\*\*

\*,\*\*\*Professor, Trainging Center of Ship Operation, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

\*\*Professor, Division of Marine Transportation Science, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

\*\*\*\*Chief Officer, Trainging Center of Ship Operation, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 실습선 한바다호는 M 방송국 행사를 지원하기 위하여 선박의 속력이 약 2노트인 선박군과의 적절한 거리를 유지하면서 17시간 이상 안전하게 항행하고자 한다. M 방송국은 한바다호에 방송의 원활한 송수신을 위하여 약 2노트로 이동하는 행사지원 선박군과의 이격거리를 100m~500m로 유지해 달라고 요청하였다. 이에 대하여 한바다호는 약 2노트의 속력을 맞추기 위하여 최소 속력인 극미속 전진(5~6노트)과 기관정지를 반복하여 적절한 거리를 유지하고자 한다. 한바다호가 약 2노트로 저속 항해시 행사지원 선박군과의 안전한 최소 이격거리의 검토에 대하여 해상교통류 시뮬레이션을 이용·평가하여 선박 운항자에게 조선근란성 등 위험 정보를 사전에 제공하여 안전운항에 도움을 주고자 하였다. 또한, 실제 운항된 한바다호와 지원 선박군과의 이격거리를 조사하여 계산된 최소안전 이격거리와 비교·분석하였다.

핵심용어 : 최소안전 이격거리, 해상교통류 시뮬레이션, 안전운항, 조선근란성

ABSTRACT : T.S. HANBADA will navigate to maintain the adequate distance between own ship and other ships safely for about 17 hours on the about 2 kts. On the above situation, M broadcasting station requires to maintain the distance from 100m to 500m between ships. This paper aims to calculate the minimum safe distance between ships, the distance is assessed by using ES Model which is a quantitative model for evaluating the difficulty of shiphandling. After marine traffic flow simulation, minimum safe distance for HANBADA on the 2kts is about 260m based ES value. On this paper, the result was compared about its distance to the actual navigating distance.

KEY WORDS : minimun safe distance, marine traffic simulation, safe navigation, shiphandling difficulties

### 1. 서 론

실습선 한바다호는 M 방송국의 요청으로 '8.15특집 조오련 3부자의 독도아리랑' 행사를 지원하기 위해 울릉도-독도 간을 조오련 3부자의 수영 속도에 맞춰 약 2노트로 항해하고, 원활한

방송 송수신을 위해 행사 지원 선박군과의 이격거리를 100m~500m 이내로 유지해 줄 것을 요청 받았다. 이에 대하여 한바다호가 약 2노트의 저속항해시 타선박과의 안전한 최소 이격거리에 대하여 검토하고 이를 본선의 항해사들에게 제공하여 안전항해에 도움이 되고자 하는 것이 이 연구의 목적이다.

이 논문에서는 해상교통류 시뮬레이션 기법을 이용하여 행사 지원 선박군과 한바다호를 재현하여 양 선박간의 최소안전 이격거리를 확보하기 위한 검토로서 환경스트레스 모델(Kinzo Inoue, 2000)을 적용하여 정량적으로 평가한다. 또한, 실제 항해한 한바다호와 행사 지원 선박군과의 이격거리를 조사하여 계

\*대표저자:박영수(총신회원), yspark@bada.hhu.ac.kr 051)410-4202

\*\*정회원, swji@hhu.ac.kr 051)410-4201

\*\*\*정회원, lys@bada.hhu.ac.kr 051)410-4204

\*\*\*\*정회원, eli-j@hhu.ac.kr 051)410-4206

산된 최소안전 이격거리와 비교·분석한다.

## 2. 한바다호의 지원 및 이격거리 개요

한바다호의 M 방송국 8.15특집 행사와 관련한 지원내용 및 선박간의 이격거리의 개요는 아래와 같다.

### 2.1 행사지원내용

- (1) 일정: 2005년 8월12일 14:00 ~ 8월 13일 07:00
- (2) 장소: 울릉도-독도
- (3) 지원내용: M 방송국 특집행사와 관련, 본부선(이동방송국) 역할
- (4) 항해인원: 승무원 29명, 방송국 관계자 67명(총 96명)

### 2.2 한바다호와 행사 지원 선박군의 배치

한바다호와 행사 지원 선박군의 전체적인 배치는 Fig. 1과 같고, 양 선박간의 이격거리를 방송의 원활한 송수신을 위하여 M 방송국에서는 100m~500m로 요청하였다. 이 행사 지원 선박군의 배치는 조오런 3부자의 울릉도-독도 간의 안전한 수영을 위하여 안전망을 설치하고 어선이 예인선으로써 안전망을 끌고, 해경정이 주변을 돌며 어선 및 방해선박이 없도록 유도하였으며, 주위에는 관련된 선박들이 Fig. 2와 같이 무리를 형성하여 항해하였다. Fig. 3은 이와 관련한 상황을 레이더상에서 본 화면이다. 이 연구에서는 한바다호가 상기 행사 지원 선박군과의 최소안전 이격거리를 몇 미터로 할 것인지를 파악하기 위하여, 최소안전 이격거리를 파라미터로 해상교통류 시뮬레이션을 이용하여 재현된 교통 조건에 환경스트레스 모델을 평가모델로 적용하여 검토하였다.

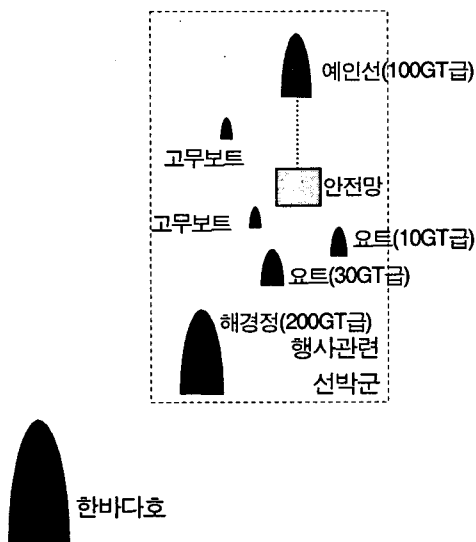


Fig. 1 Ships's Layout Overview

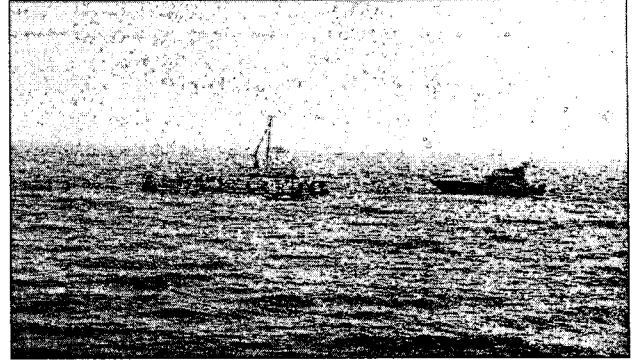


Fig. 2 Photo of Ships's Layout from Side View

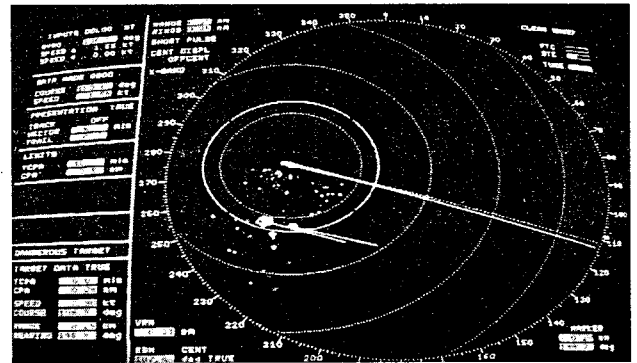


Fig. 3 Ship's Location on Radar Screen

### 2.3 한바다호의 조종성능

M 방송국의 요청에 따라 한바다호는 지속적으로 항해하면서 지원 선박군과의 이격거리를 최소한 100m~500m로 요청 받았다. Fig. 4는 한바다호의 선회권(Usuki·Iron Works Co., Ltd, 1975)을 보여주고, 여기에서 보듯이 전타개시의 위치에서 정상선회권의 중심까지의 거리(Reach)가 200m이고, 각변위량이 90° 되어 원침로부터 수직 이동한 거리(Transfer)가 160m이다.

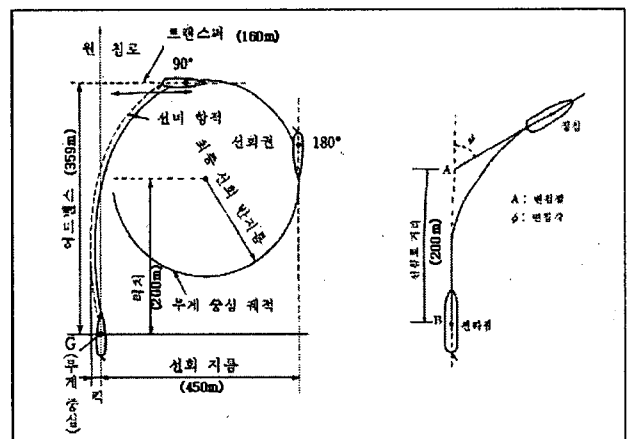


Fig. 4 Turning Circle of T.S. HANBADA

한바다호는 지원 선박군에 비하여 바람의 영향을 더 많이 받아 북동쪽으로 더 밀렸으며, 500m 이상 멀어지면 다시 기관을 극미속전진과 STB'D 20°를 사용하여 지원 선박군에 접근후, 지원 선박군의 정횡 300m 정도까지 접근하면 지원 선박군과 동일 침로를 유지하고 기관 정지를 반복 하였다.

또한 Table. 1에서 한바다호의 조종속력을 보여주고, 여기에서 보듯이 한바다호의 최소 조종속력은 5.65노트로 조오런 3부자의 수영속도인 2노트보다 빨라 기관을 한 시간에 5회 이상 사용하게 되었다.

Table 1 Maneuvering Speed of T.S. HANBADA

AHEAD			ASTERN		
TELEGRAPH	RPM	SPEED	TELEGRAPH	RPM	SPEED
D.SLOW	80	5.65	D.SLOW	80	3.58
SLOW	120	9.25	SLOW	120	5.35
HALF	160	12.02	HALF	160	7.13
FULL	180	13.30	FULL	180	8.03
SEA SPEED	218	16.42			

### 3. 한바다호의 저속항해시 최소안전 이격거리 검토를 위한 시뮬레이션 조건

#### 3.1 선박간의 최소 이격거리 조건

한바다호와 행사관련 선박군과의 이격거리에 대하여 M, 방송국에서 요청한 최대 및 최소 거리인 100m, 500m와 1,000m의 3가지에 대하여 설정하였다.

#### 3.2 시뮬레이션 조건

선박의 크기는 한바다호를 100m로 설정하였으며, 행사관련 선박군을 동일하게 항행하는 하나의 선박으로 간주하여 Fig. 4와 같이 300m로 설정하였다. 한바다호와 행사관련 선박군의 속력은 안전망내의 수영속력인 약 2노트를 항해속력으로 설정하였으며, 이 연구에서 의미하는 저속항해는 여기서의 2노트를 의미한다.

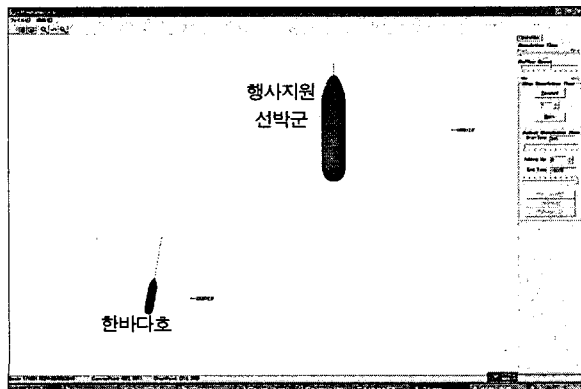


Fig. 5 Ships's Motion Image in Marine Traffic Simulation

행사 지원 선박군과 한바다호의 침로는 기본적으로 동일하게 항행하는 것으로 설정하였지만, Fig. 5와 같이 약 2노트의 한바다호는 바람과 조류의 영향을 받을 것을 예상을 하여 좌우로 선수방위가 약 5° 정도 변화하는 것으로 설정하였고, 해상교통류 시뮬레이션 시간은 5시간을 설정하였다.

#### 3.3 기상 조건

행사 당일 기상은 맑은 날씨, 시정 10 km 이상, 풍향 SW, 풍속 5m/s 이내로 비교적 좋은 날씨였다. 또한 한바다호가 정지하였을 때 조류 및 바람의 영향으로 선수가 진행 방향인 독도 방향에서 변하지 않고 계속 머물고 있어서 조선상 대단히 유리하였다. Fig. 6에서 화살표 방향은 항로와 풍향을 나타낸다.

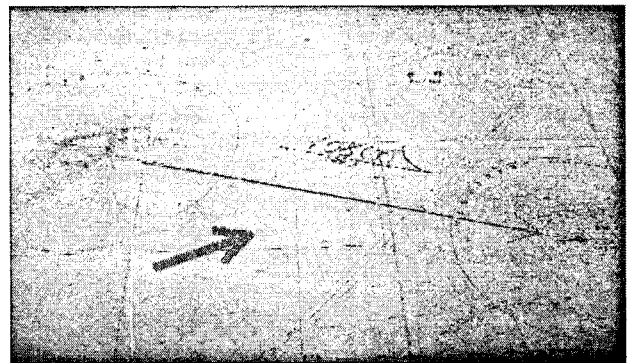


Fig. 6 Route and Wind Direction

### 4. 평가모델

#### 4.1 환경스트레스 모델의 적용

이 연구에서는 한바다호의 교통류에 대하여 환경스트레스 모델을 적용함으로써 행사 지원 선박군과 함께 항행함에 있어서 어느 정도의 조선 곤란성이 한바다호에 가해지는가를 평가하였다. 즉, 시뮬레이션 시간동안 항행한 한바다호를 대상으로 가해진 환경스트레스 값의 시계열 데이터를 수집하여, 선박 운항자가 허용할 수 없는 상황, 즉 환경스트레스 값이 750이상이 가해지는지에 대하여 분석하였다.

#### 4.2 환경스트레스 모델

이 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 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 제

약을 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」이라 한다. 환경스트레스 값은 지형이나 시설물 등 조선환경에 기인하는 스트레스의 크기인 「조선환경스트레스 값(ES value for Land, ES<sub>L</sub>치)」, 타 선박에 기인하는 스트레스의 크기인 「교통환경스트레스 값(ES value for Ships, ES<sub>S</sub>치)」으로 구성되며, 두 스트레스 값을 종합하여 「종합환경스트레스 값(Aggregation of ES value, ES<sub>A</sub>치)」이라 한다. 이 연구에서는 행사관련 선박군만을 고려하기 때문에 ES<sub>S</sub>치를 사용한다. 환경스트레스 값과 선박 운항자의 허용기준에 대하여는 참고문헌(Kinzo Inoue, 2000)에 명시되어 있다.

## 5. 시뮬레이션 검토 결과

### 5.1 한바다호의 조선 곤란성 변화

한바다호가 행사관련 선박군과 동일한 속력인 약 2노트로 항행하였을 경우, 선박 운항자의 조선 곤란성의 시계열 데이터 변화를 살펴보면 Fig. 7와 같다. 이 그림의 횡축은 시뮬레이션 시간을 나타내고 있으며, 종축은 환경스트레스치를 나타내고 있다. 그리고 실선은 한바다호와 행사관련 선박군과의 이격거리가 100m일 경우이고, 점선은 이격거리 500m, 일점 쇄선은 이격거리가 1,000m일 경우에 대하여 환경스트레스치의 변화 상황을 나타내고 있다.

최소 이격거리 100m일 경우에는 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위인 환경스트레스치가 750을 넘어 가장 높은 수치인 1,000에 도달하는 것을 알 수 있다. 이격거리 100m는 선박 운항상 선박 운항자에게 엄청난 조선 부담을 주는 것으로 분석되었다. 한편, 최소 이격거리가 500m일 경우에는 선박 운항자의 허용한계 범위(500~750)인 환경스트레스치가 최대 약 600을 나타내고 있어 선박 운항자가 허용할 수 있는 범위에 속하는 것으로 나타났다. 최소 이격거리가 1,000m일 경우에는 선박 운항자가 허용 가능한 범위(500이하)를 약간 넘어선 환경스트레스치가 최대 약 510의 수치를 나타내고 있어 역시 선박 운항자가 허용할 수 있는 범위에 속하는 것으로 나타났다.

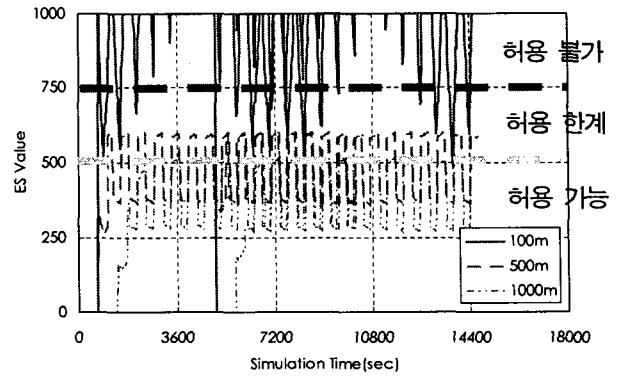


Fig. 7 Change Situation of Time Scale ES<sub>S</sub> Value

### 5.2 최소안전 이격거리 가이드 라인 설정

Fig. 7를 통하여 Fig. 8과 같은 한바다호의 지속항해시 최소안전 이격거리에 대한 가이드 라인을 작성할 수 있다. 이 가이드 라인을 추정하는 방식에는 일차함수인 경향식을 이용하는 방식, 로그 함수식, 지수 함수식 그리고 x의 누승식을 이용하는 방법 등이 있다. 이 연구에서는 4가지 추정방식 중 신뢰도가 높은 방법을 추출하였다. 즉, 추정값의 신뢰도를 알 수 있는 r-제곱값이 1에 가장 가까운 값을 가지는 함수식을 선정하여 가이드 라인을 설정하였다. 이 그림의 횡축은 한바다호와 행사관련 선박군과의 이격거리를 나타내고 있으며 종축은 환경스트레스치를 나타내고 있다. 이 가이드 라인에서 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위인 환경스트레스치 750이 만나는 이격거리를 찾아 보면 약 260m 정도이다. 그러나, 이격거리가 약 400m 이하에서는 조선 부담감이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있으며, 이 400m 이상에서는 완만한 곡선을 이루는 것을 알 수 있다. 이 곡선은 한바다호가 선속 약 2노트의 경우 선박 운항자가 각 이격거리별 조선 부담감을 나타내고 있으며, 다음과 같은 식(6.1)로 표현된다.

$$ES_S \text{ Value for HANBADA}_{v=2kts} = 3893.4 \times D^{-0.2968} \dots (6.1)$$

$$r^2 = 0.9$$

D(m): 한바다호와 행사관련 선박군과의 이격거리  
r: 상관계수

Fig. 8을 기초로 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위를 기준으로 한다면, 최소안전 이격거리는 약 260m이지만, 조선 부담감 곡선의 기울기를 고려하여 안전 여유를 감안하면 최소안전 이격거리는 약 400m로 설정하는 것도 가능하리라 판단된다. 즉, 최소한 한바다호는 선속 약 2노트에서는 행사 지원 선박군과는 약 260m 이상의 최소안전 이격거리를 두고 항해하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

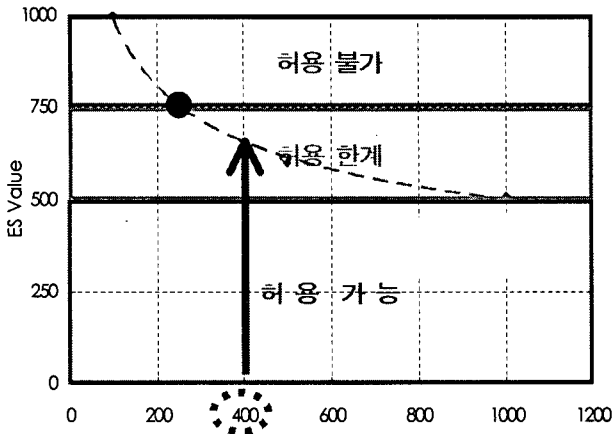


Fig. 8 Guideline of Safety Distance between HANBADA and Other Ships

### 6. 한바다호 항해 결과에 의한 이격거리 분석

한바다호의 약 17시간에 걸친 약 2노트의 지속항해 결과 행사관련 선박군과의 실제 이격거리 분포를 보면 Fig. 9 및 Table. 2와 같다. 이 이격거리를 보면 220m~700m로 당직 항해사별·주야간별·익숙도·기타 상황에 따라 다소 차이는 보이고 있으나, 한바다호 항해 결과 조사된 선박간 이격거리는 35회 중 2회를 제외하고는 약 260m 이상을 유지하고 있는 것을 알 수 있다.

또한 Table. 2에서는 이격거리를 기초로 하여 식(6.1)을 이용하여 선박 운항자가 받은 조선 부담감을 환경스트레스치로 환산하여 정리하였다. 한바다호와 행사 지원 선박군과의 실제 이격거리의 분포를 보면, 시간이 지날수록 이격거리의 편차가 적어지는 것을 알 수 있고, 해당 항해사도 당직 시간이 지남에 따라 조선환경에 익숙해져 이격거리가 짧아져 감을 알 수 있으나, 계산된 최소안전 이격거리인 약 260m를 침범하지는 않고 있다. 그리고 야간보다는 주간에 다소 가깝게 접근하는 경향이 있어 야간 항해에 그만큼 조선 부담감을 더 많이 가지는 것으로 해석할 수 있다. 또한 기상이 양호한 상태일수록 이격거리가 좁아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 10과 같이 이격거리를 기초로 하여 선박 운항자가 느끼는 조선 부담감을 표현한 환경스트레스치의 변화량을 보면, 선박 운항자의 허용한계 범위인 환경스트레스치 500~750사이에서 항해를 한 것으로 분석되었다. 이것은 선박 운항자가 허용할 수 있는 마지막 범위로서 더 이상 접근할 수 없었던 것으로 판단된다. 또한, 1등항해사 시간에 양 선박간 이격거리가 다소 가까워 실무경력이 많은 선박 운항자는 그만큼 조선 부담감을 경력으로 흡수하는 것으로 해석할 수 있다.

Table 2 Distance and ESs Conversion Value per Time

Time	Distance (m)	Wind Dir./Force(m/s)	ESs Conversion Value based distance
8.12.14:00	520	SW/6	608
14:30	700	SW/6	557
15:00	630	SW/6	575
15:30	520	SW/5	608
16:00	460	W/5	631
16:30	310	SW/5	709
17:00	220	SW/4	785
17:30	260	SW/4	747
18:00	260	SW/3	747
18:30	240	SW/4	765
19:00	410	SW/5	653
19:30	330	SW/5	696
20:00	405	SW/4	655
20:30	425	SW/4	646
21:00	460	W/3	631
21:30	460	W/3	631
22:00	460	SW/3	631
22:30	450	SW/3	635
23:00	460	SW/3	631
23:30	590	SW/3	586
24:00	390	SW/3	663
8.13.00:30	370	SW/3	673
01:00	315	SW/3	706
01:30	370	SW/3	673
02:00	410	SW/3	653
02:30	350	SW/3	684
03:00	370	SW/3	673
03:30	295	SW/3	720
04:00	350	SW/3	684
04:30	500	SW/3	616
05:00	260	SW/3	747
05:30	260	SW/4	747
06:00	330	SW/4	696
06:30	280	SW/4	731
07:00	315	SW/5	706

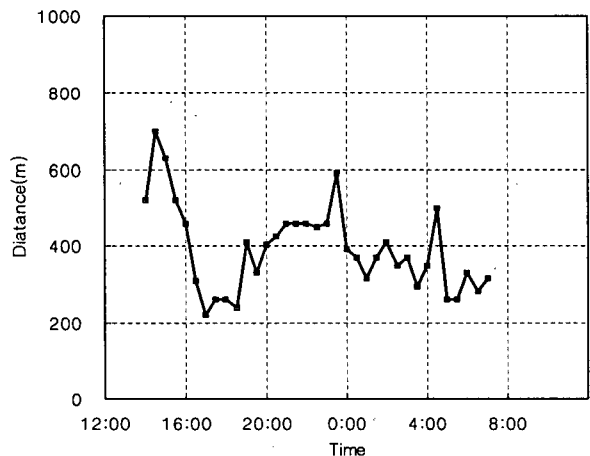


Fig. 9 Time-scale Distance between Ships of HANBADA's Ship-handling Result

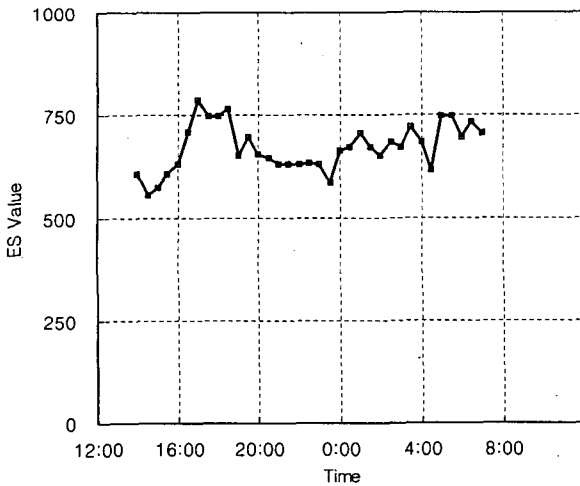


Fig. 10 Time-scale ES<sub>s</sub> Value Change conversed Distance between Ships

## 7. 결 론

한바다호가 특수한 사정으로 부득이하게 약 2노트의 저속으로 항해하게 된 상황에서 타선박과의 적절한 최소안전 이격거리를 도출하여 이를 지표로 안전한 항해를 하기 위하여, 해상교통류 시뮬레이션을 이용하여 교통류를 재현하고 여기에 환경스트레스 모델을 적용하여 평가하였다.

평가 결과, 기상 양호시 최소안전 이격거리는 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위인 환경스트레스치 750이상에 거의 부합하는 약 260m정도로 나타났으며, 기상이 불량하거나 야간항해 등 기타 상황을 고려하고 시뮬레이션 결과에 의한 조선 부담감 곡선의 기울기를 고려하면 약 400m 이상인 것으로 판단되었다. 또한, 경험이 많은 선박 운항자, 개인적인 성향 및 익숙도에 따라 최소안전 이격거리가 상이할 수도 있지만 실제 항해결과 총 35회중 33회가 양선박간 이격거리를 약 260m 이상으로 유지한 것으로 조사되어, 계산된 최소안전 이격거리와 거의 부합하는 것으로 분석되었다. 이렇듯 안전항해를 위한 가이드 라인으로 최소안전 이격거리를 사전에 제시하여, 선박 운항자로 하여금 선박 운항시 참고자료로 이용할 수 있도록 하는 것이 바람직하리라 판단된다.

## 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] USUKI Iron Works Co., Ltd(1975): Result of Sea Trial