

해상교통 안전성 평가를 위한 환경 스트레스 모델의 특성 고찰(I)

공인영*

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양안전방제연구본부 책임연구원

A Review on the Characteristics of Environmental Stress Model for Maritime Traffic Safety Assessment

In-Young Gong*

* Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering/KORDI, Yuseong PO Box 23, Daejeon, 305-600, Korea

요 약 : 최근 해상교통 안전성 평가의 주요 기법으로 부각되고 있는 “환경 스트레스 모델”을 구성하는 두 요소 중, 본선 주변의 지형적인 제약에 기인하는 조선(操船) 환경 스트레스 모델의 개념과 특성에 대해 살펴보고, 이러한 기법을 항만이나 항로의 설계시 그 안전성 평가에 어떻게 활용할 수 있는가에 대하여 고찰해 보았다. 본 모델을, 가상적인 몇 가지 경우에 적용함으로써, 그 개념과 특성을 보다 명확하게 고찰하고자 하였으며, 또한 부산항, 광양항 등 우리나라 주요 항만의 실제 접근 항로에 적용하여 보았다. 본 기법은, 항만이나 항로의 설계 및 그 안전성 평가에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 환경 스트레스 모델, 조선환경 스트레스, 해상교통 안전성 평가, 항만 배치 설계, 항로 설계

Abstract : The concept of “Environmental Stress(ES)” can be used as a useful index when assessing the maritime traffic safety. It is composed of two parts, one due to geographical restriction and another one due to traffic congestion. In this paper, Environmental Stress due to geographical restriction is reviewed. Its characteristics are surveyed from the sample calculation results for some hypothetical cases, such as approaching a breakwater, navigating in a long straight channel, and in a long bended channel. Sample calculations are also carried out for the approach channels in Busan and Kwangyang harbor. By using this ES concept, it is expected that objective and quantitative assessment of safety is possible for various environmental conditions when navigating in a harbor or in a fairway.

Key words : Environmental Stress Model, ES, Maritime Traffic Safety Assessment, Harbor Layout Design, Fairway Design

1. 머리말

선박이 운항할 때의 종합적인 해상교통 안전성은, 선박과 그 선박을 운항하는 선원, 그리고 선박이 운항하는 항행 환경의 3가지 요소가 모두 적절한 수준의 안전성을 유지하여야 확보될 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다.

이 세 가지 요소 중, 선박과 선원이 갖추어야 할 최소한의 기준은 국제적으로 어느 정도 정립되어 있고, 이를 보장하기 위한 여러 가지 제도도 시행되고 있으나(SOLAS, STCW, ISM Code), 선박이 운항하는 항행 환경이 갖추어야 할 최소한의 안전 기준에 대해서는, 아직 국제적으로 명확한 기준이나 규정이 존재하지 않으며(한국항만협회, 1993; 일본항만협회, 1999; PIANC, 1997), 특히, 해상교통의 형태나 외력조건, 지형 조건등이 복잡해지는 항만이나 접근 수로가 갖추어야 할 최소한의 안전 조건에 대해서는 구체적인 기준이 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는, 최근 해상교통 안전성 평가의 주요 기법으로 부각되고 있는 “환경 스트레스 모델”의 개념과 특성에 대해 살

펴보고, 이러한 기법을 항만이나 항로의 설계시 그 안전성 평가에 어떻게 활용할 수 있는가에 대하여 고찰해 보고자 하였다.

본 제 1 보에서는, “환경 스트레스(ES : Environmental Stress)”를 구성하는 두 요소 중, 본선 주변의 지형적인 제약의 분포에 기인하는 “조선(操船)환경 스트레스”에 대하여 우선 살펴보고, 본선 주변에 존재하는 여러 다른 선박의 분포에 기인하는 “교통환경 스트레스”와 종합적인 “환경 스트레스”에 대해서는 제 2 보에서 다루기로 한다.

제 2 장에서는 “조선환경 스트레스” 모델의 개념과 계산 알고리즘에 대하여 기존에 발표된 여러 문헌의 내용을 중심으로 간단하게 검토하고, 제 3 장에서는 이러한 모델을 가상적인 몇 가지 경우에 적용함으로써, 그 개념과 특성을 보다 명확하게 고찰하고자 하였다. 또한 제 4 장에서는, 이러한 모델을 부산항, 광양항 등 우리나라 주요 항만의 접근 항로에 적용하여 보았다.

본 기법은, 항만이나 항로 설계시 유용한 정량적 평가 수단으로 사용이 가능하여, 항만이나 항로의 설계 및 그 안전성 평가에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

* 대표저자 : 공인영(중신회원), iygong@kriso.re.kr 042) 868-7261

2. 환경 스트레스 모델

환경 스트레스 모델은, 본선의 안전 운항에 위협을 가할 수 있는 여러 가지 항행 환경으로 인하여, 어떤 순간 그 선박을 운항하는 조선자(操船者)가 느끼게 되는 어려움을 객관적으로, 그리고 정량적으로 표현하기 위하여 개발되었다(Inoue, 1997a, 1997b, 1998a, 1998b; 박, 2002).

이 모델은, 수심이나 방파제 등과 같은 자연 조건, 통항 분리 구역 등과 같은 항행 조건, 본선 주위에 존재하는 타 통항 선박과 같은 해상 교통 조건 등 선박 운항자를 둘러싼 다양한 환경 조건이, 조선자에게 가하는 부담의 크기-본선의 자유로운 행동이 제약을 받음으로써 조선자가 받게 되는 부담감-를 정량화한 평가 모델이며, 이러한 어려움을 표시하기 위한 지표로서 조선 환경 스트레스(ES_L) 값과 교통환경 스트레스(ES_S) 값으로 분리하여 평가한다.

본 검토에서는, 조선자를 둘러싼 주변 환경이 지리적, 물리적으로 가항(可航) 영역을 제한함으로써, 조선자에게 가하는 스트레스의 크기를 표시하는 조선환경 스트레스(ES_L) 값에 대해서 고찰하며, 본선 주위에 존재하는 타 선박으로 인하여 조선자에게 가해지는 스트레스의 크기를 표시하는 교통환경 스트레스(ES_S) 값에 대해서는 제 2 보에서 고찰하기로 한다.

2.1 조선환경 스트레스의 개념

조선환경 스트레스 값은, 자연 조건, 지형 조건, 시설 조건 등 조선자를 둘러싼 주변 환경이 지리적, 물리적으로 조선 해역을 제한하거나 조선상의 행동을 제한하는 등, 조선의 자유를 제한할 경우, 그와 같은 환경 조건이 조선자에게 가하는 스트레스의 크기를 표시하는 정량화 지표이다(박, 2002).

일반적으로 좁은 수로를 항행하거나 위험이 많은 해역을 운항할 때, 조선자는 위험 대상으로부터 떨어진 침로를 취하거나 또는 속력을 줄인다. 이것은 조선 자유도 제약에 따라, 조선자가, 위험이 실제 나타나기까지의 시간 여유를 확보함으로써, 조선자 자신에 가해지는 스트레스를 감소시키고, 조선의 어려움을 극복하려고 하는 행동의 표현이라고 말할 수 있다.

이와 같이, 환경이 조선자에게 가하는 스트레스의 크기는, 그 환경에 잠재되어 있는 위험이 현실화하기까지의 시간 여유와 밀접한 관계가 있다. 만일, 대양 항행 중과 같이 조선 해역에 아무런 제한도 없고, 본선 침로 주위의 어느 방향으로 진행하더라도, 위험이 실제 나타나기까지의 시간 여유가 무한 또는 충분히 있는 경우, 이와 같은 조선 환경은 조선자에게 아무런 스트레스도 가하지 않고, 또 조선자는 조선에 어려움을 느끼지 않는다. 그러나, 항내와 같이 조선 해역이 저수심 영역이나 방파제에 의해 제한되고, 어떤 방향으로 진행하더라도, 위험이 실제 나타나기까지의 시간 여유가 작은 경우는, 그와 같은 조선 환경이 조선자에게 가하는 스트레스가 커지고, 조선에 큰 어려움이 발생하게 된다.

조선 환경 스트레스는, 이와 같은 개념에 근거하여, 본선을

둘러싼 조선 환경이 조선자에게 가하는 어려움을 정량적으로 표현하고자 한 지표이다.

환경 스트레스 모델에서는, 조선자에게 가해지는 곤란성은, 본선 주변의 환경이 본선의 조선 행동을 제한함으로써 발생한다고 간주한다. 따라서, 조선 행동의 자유를 제한하는 상황을 탐색하는 침로 범위로는, 통상적으로 조선자가 시각적으로 의식하는 해역의 범위를 고려하는 것이 일반적이며, 따라서, 위험 대상을 탐색하는 범위로는, 본선의 현재 침로를 중심으로 좌우 90도인 반원의 침로 범위를 고려한다.

2.2 조선환경 스트레스의 추정법

조선 환경 스트레스 값(ES_L)을 구체적으로 구하는 알고리즘은 다음과 같다(박, 2002).

- 1) 본선의 주변에 현재 침로를 중심으로 $\pm 90^\circ$ 범위의 조선 해역을 생각한다.
- 2) 현재 침로를 중심으로 $\pm 90^\circ$ 의 범위에서 매 1도마다, 위험이 실제 나타나기(이 경우는 장애물과의 충돌이나 좌초)까지의 시간 여유를 본선의 속력(V)과 장애물까지의 거리(R)를 기초로 계산한다.
- 3) 각 침로마다(1도마다) 구한, 위험이 실제 나타나기까지의 시간 여유에 대하여, 조선자가 어느 정도 위험감을 갖는가에 대해서는, 3차원 선박운항 Simulator 실험과 앙케이트 조사를 통해 구해진 회귀식 $SJ_L = f(R/V)$ 를 이용하여 치환한다(Inoue, 1998a).

$$SJ_L = \alpha(R/V) + \beta \quad (1)$$

단,

SJ_L : 장애물과의 접근으로 인해 조선자가 느끼는 위험감

α, β : 본선 조건에 의해 결정되는 계수

R : 장애물까지의 거리(m)

V : 본선 속력(m/sec)

여기에서는, 운항 실무자를 대상으로 한 선박운항 시뮬레이터 실험과 앙케이트 조사를 실시해서 구해진, 많은 조선자의 의식을 반영한 변환식을 도입한다. 일반적인 선장들이 느끼는 의식을 반영하기 위한 변환식은 다음과 같다(Inoue, 1998b).

$$\begin{aligned} \alpha &= -0.00092 \cdot \log_{10}(GT) + 0.0099 \\ &\quad (GT \leq 10,000 GT) \\ &= +0.006671 \cdot \exp\{-7 \times 10^{-6}(GT)\} \\ &\quad (GT > 10,000 GT) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\beta = -3.82$$

단, GT : 본선의 총톤수

또한, SJ_L 값과 조선자가 느끼는 위험감과 관계는 다음과 같다.

- +3 : 대단히 안전
- +2 : 상당히 안전
- +1 : 다소 안전
- 0 : 어느 쪽이라고 할 수 없음
- 1 : 다소 위험
- 2 : 상당히 위험
- 3 : 대단히 위험

- 4) 동일한 장애물이라도, 그것이 본선의 선수 방향에 있는지 측면에 있는지에 따라 조선자가 느끼는 위험감은 달라지므로, 이처럼 장애물의 존재 방향에 의해 달라지는 감각을 방향 가중값 함수를 이용하여 수정한다. 이에 대해서는 2.3절에서 기술한다.
- 5) 구해진 각 침로별 +3 ~ -3의 위험감을, +3을 0으로 하여 0~6의 범위로 척도 변환하여, 침로별(1°)로, ±90°의 침로 범위에서 총 합을 구하여, 그 순간의 조선환경 스트레스 값으로 한다.
- 6) SJ_L 값은, 0을 안전과 위험의 한계, -1은 다소 위험, -2는 상당히 위험, -3은 대단히 위험이라고 하여, 조선자가 느끼는 위험감과 대응되도록 하고 있다. 따라서, 현재 침로를 중심으로 좌우 90도의 범위에, 어느 정도 수준의 위험감을 주는 상태가 분포되어 있는가에 따라 조선자에 가해지는 곤란성을 정량화할 수 있다.

2.3 방향 가중 함수

장애물이 존재하는 방향이 달라져도, 위험이 실제 나타나기까지의 시간 여유가 동일하다면 동일한 위험감을 주는 모순을 해소하기 위해, 방향별 가중값을 부여하여 조선자가 장애물의 존재방향에 대해 느끼는 위험감의 차이를 보정할 필요가 있다.

조선환경 스트레스 값을 산정할 때의 방향 가중 함수는, 인간의 시야가 미치는 범위는 통상 좌우 110도가 되므로(해문당, 1996), Fig. 1에 보인 것처럼 정면에 1.0, 좌우 110도의 방향에서 0.0이 되는 Cosine함수를 방향 가중 함수로 한다.

$$w(\theta) = \cos \frac{90}{110} \theta \tag{3}$$

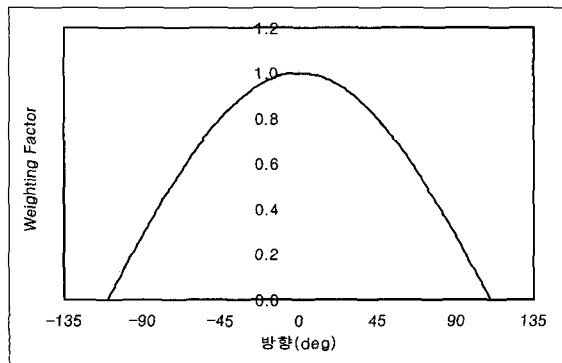


Fig. 1 Weighting Function for Navigational Environmental Stress

3. 조선환경 스트레스 모델의 특성

앞에서 설명한 것처럼, 조선환경 스트레스(ES_L)는 다음과 같은 변수의 함수이다.

$$ES_L = f(\text{본선의 크기, 선속, 주변 장애물의 분포}) \tag{4}$$

이제, 여러 가지 상황에 대하여 이 값의 변화를 살펴으로써 ES_L 의 특성을 고찰한다.

3.1 ES_L 값의 범위

2.2절에서 설명하였듯이 ES_L 의 최소값은 0이 된다. 이는 본선의 진행 방향으로부터 좌우 90도의 범위에 걸쳐 아무런 환경상의 장애물이 존재하지 않음을 의미한다. ES_L 의 최대값은, 2.3절의 방향 가중함수를 고려할 경우,

$$(ES_L)_{Max} = \int_{-90^\circ}^{90^\circ} w(\theta) \times 6 d\theta \approx 800 \tag{5}$$

약 800 정도의 값을 가진다. 이는 본선의 진행 방향으로부터 좌우 90도의 범위에 걸쳐 모든 방향으로 대단히 위험한 상태($SJ_L = -3$)의 장애물이 존재하고 있음을 의미한다.

3.2 방파제를 통과하는 경우

Fig. 2와 같이, 길이 L인 선박이, 선속 V로, 폭 W인 방파제를, 침로나 속력 변화 없이 초기 조건 그대로 통과하는 상황을 생각한다. 주변에 다른 선박이 없다면, 이러한 상황에서 조선자가 받는 환경 스트레스는 모두 방파제의 존재에 기인하는, 조선환경 스트레스(ES_L)라고 할 수 있다.

본선의 크기(L) 및 속력(V), 방파제 입구의 폭(W), 그리고 방파제 중심선으로부터의 선박의 횡방향 편위(y_o) 등을 변화시키면서, 조선환경 스트레스(ES_L)의 값이, 방파제로부터의 거리에 따라 어떻게 변화하는가를 살펴본다.

단, 선박의 초기 위치는 방파제로부터 10Km 떨어진 곳으로 하며, 방파제의 길이는 좌우 양쪽으로 무한히 길고, 방파제의 두께는 0으로 가정한다.

또한, 본선의 GT는 $L^3/250$ 으로 추산하였다.(해문당, 1997))

이를 위한 계산 시나리오는 Table 1과 같다.

Table 1 Scenario for Breakwater Transit

Case	W(m)	V(m/s)	L(m)	yo(m)
A-1	100,150, 300,600, 2000	5.0	300.0	0
A-2	600	10.0, 5.0, 2.5, 1.0	300.0	0
A-3	150	5.0	300, 150, 75, 50	0
A-4	600	5.0	300	0, 100, 200, 250

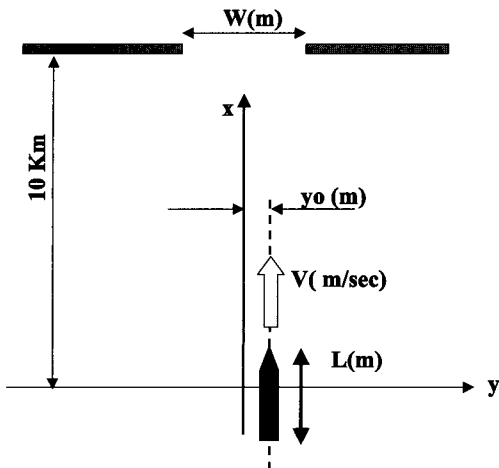


Fig. 2 Transit through Breakwater

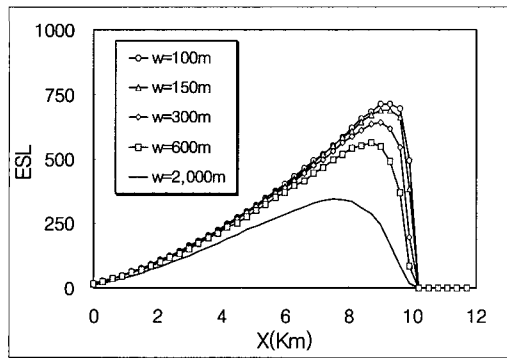


Fig. 3 Case A-1 : Variation with the Width of Breakwater (L=300m, V=5m/s, yo=0)

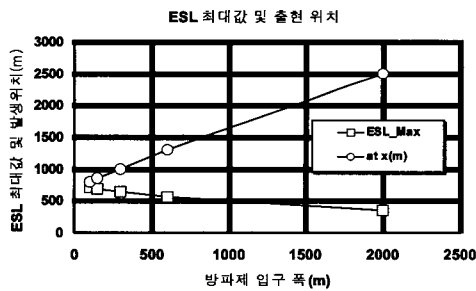


Fig. 4 Maximum ES_L and its Location

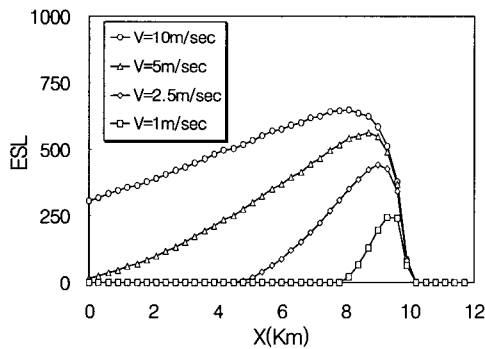


Fig. 5 Case A-2 : Variation with Ship Speed (W=600m, L=300m, yo=0)

Fig. 3 ~ Fig. 7은, 방파제 입구의 폭, 선속, 본선의 길이, 횡방향 편위 등의 변화가, 방파제를 통과하는 선박의 조선환경 스트레스 (ES_L)에 미치는 영향을 각각 도시한 것이다. 전반적으로, 선박이 방파제를 통과하기 직전에 ES_L 의 최대값이 나타나며, 일단 최대값이 나타난 이후에는 그 값이 급격히 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이는 일반적으로 방파제를 통과할 때 선박 운항자가 느끼는 부담감을 정성적으로 잘 표현하고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 3은, 방파제 입구 폭의 크기를 파라미터로 해서, 접근 거리에 따른 ES_L 값의 변화를 도시한 것이며, Fig. 4는 이 때 각 경우의 ES_L 의 최대 값과 그 출현 위치(방파제 입구로부터의 거리(m))를 도시한 것이다. 방파제 입구의 폭이 줄어들면서, ES_L 의 최대값과 그 최대값이 나타나는 위치는, 방파제 입구 폭에 거의 비례하여 변화하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는, 선속의 크기를 파라미터로 해서, 접근 거리에 따른 ES_L 값의 변화를 도시한 것이다. 선속이 작을 경우에는 방파제 근처에서만 ES_L 값이 나타나고, 그 최대값도 작은 값을 가지지만, 선속이 커지면, 방파제로부터 상당히 먼 곳에서부터 ES_L 값이 증가하고 그 최대값도 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

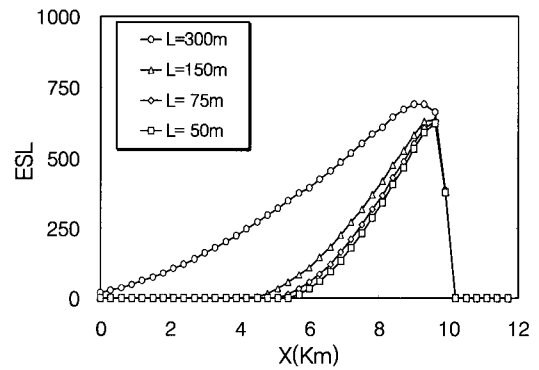


Fig. 6 Case A-3 : Variation with Ship Size (W=150m, V=5m/s, yo=0)

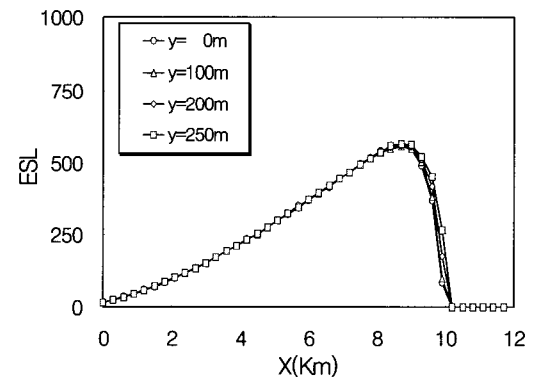


Fig. 7 Case A-4 : Variation with Lateral Deviation (W=600m, L=300m, V=5m/s)

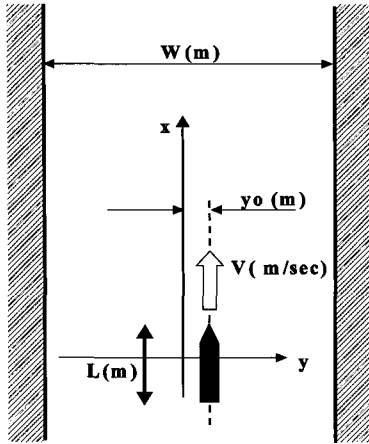


Fig. 8 Narrow Channel Transit

Fig. 6은 선박 길이 변화를 파라미터로 해서 접근 거리에 따른 ES_L 값의 변화를 도시한 것이다. ES_L 의 최대값과 그 출현 위치 모두, 선박 길이에 따라 크게 변하지는 않지만, 선박의 길이가 방파제 폭보다 큰 경우에는 상당히 멀리부터 큰 ES_L 값이 나타나는 현상을 볼 수 있다.

Fig. 7은, 횡방향 편위량을 파라미터로 해서 접근 거리에 따른 ES_L 값의 변화를 도시한 것이다. ES_L 값은 횡방향 편위량에는 거의 무관함을 알 수 있다.

3.2 직선 협수로를 통과하는 경우

다음은, Fig. 8에 표시되어 있는 것처럼, 길이가 충분히 길고 폭 $W(m)$ 인 직선 협수로 내에서, 길이 $L(m)$ 인 선박이, 수로 중앙에서 $y_0(m)$ 의 편위량을 가진 상태에서 선속 $V(m/sec)$ 로 직진하고 있는 경우의 조선험경 스트레스 값에 관하여 고찰한다. 각 경우의 계산 시나리오는 Table 2에 정리되어 있다.

Fig. 9 ~ Fig. 12는, 협수로의 폭, 선속, 본선의 길이, 횡방향 편위 등의 변화가 협수로내에서 운항하는 선박의 조선험경 스트레스(ES_L)에 미치는 영향을 각각 도시한 것이다.

전반적으로, 이러한 파라미터 변화에 따른 ES_L 값의 변화는 그리 크지 않음을 알 수 있으나, 그 크기는 수로폭이나 선체의 길이에 거의 비례하여 변화한다. 또한, 선속에 따라서는 상대적으로 민감하게 변화하지만, 이 경우에도 횡방향 편위에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

Table 2 Scenario for Narrow Channel Transit

Case	W(m)	V(m/s)	L(m)	$y_0(m)$
B-1	150, 300, 600, 1000, 2000	5.0	300.0	0
B-2	1000	10.0, 5.0, 2.5, 1.0	300.0	0
B-3	1000	5.0	300, 225, 150, 75, 50	0
B-4	1000	5.0	150	0, 100, 200, 250

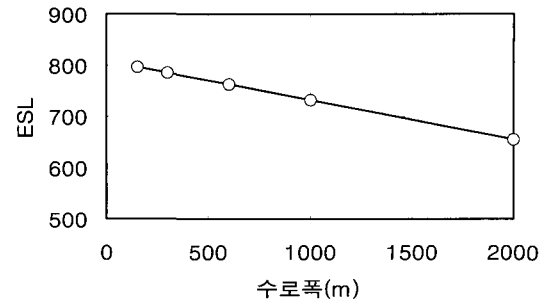


Fig. 9 Case B-1 : Variation with Channel Width ($V=5m/sec, L=300m, y_0=0m$)

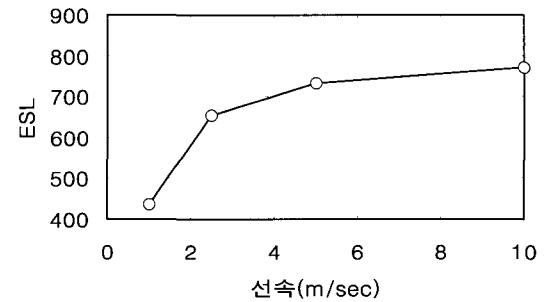


Fig. 10 Case B-2 : Variation with Ship Speed ($W=1,000m, L=300m, y_0=0m$)

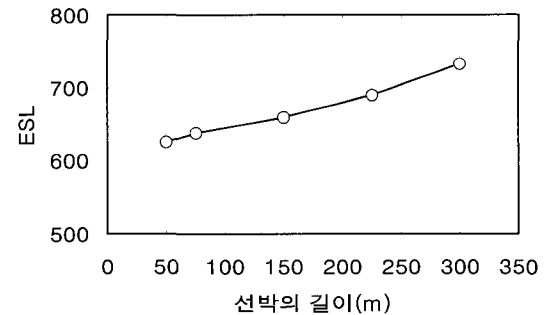


Fig. 11 Case B-3 : Variation with Ship Length ($W=1,000m, V=5m/sec, y_0=0m$)

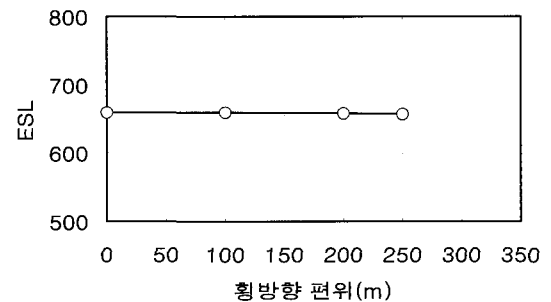


Fig. 12 Case B-4 : Variation with Lateral Deviation ($W=1,000m, V=5m/sec, L=300m$)

3.3 곡선 협수로 통과하는 경우

다음은, Fig. 13에 표시되어 있는 것처럼, 폭 $W(m)$ 인 곡선 협수로 내에서, 길이 $L(m)$ 인 선박이, 수로 중앙에서 선속 $V(m/sec)$ 로 직진하고 있는 경우의 조선환경 스트레스 값에 관하여 고찰한다. 단, 굴곡부의 각은 α 이고, 굴곡부로부터 양쪽으로 수로의 길이 L_1, L_2 는 충분히 길다고 가정한다.

Fig. 14는, Fig. 13과 같은 협수로 내에서 운항하는 선박이 있을 경우, 굴곡부에 접근하는 선박의 조선환경 스트레스 (ES_L)가 변화하는 상황을, 굴곡부의 각도에 따라 각각 도시한 것이다. 횡축은 굴곡부로부터의 거리를 의미하며, 각 순간 선박의 방향은 수로의 방향과 일치한다고 가정하였다.

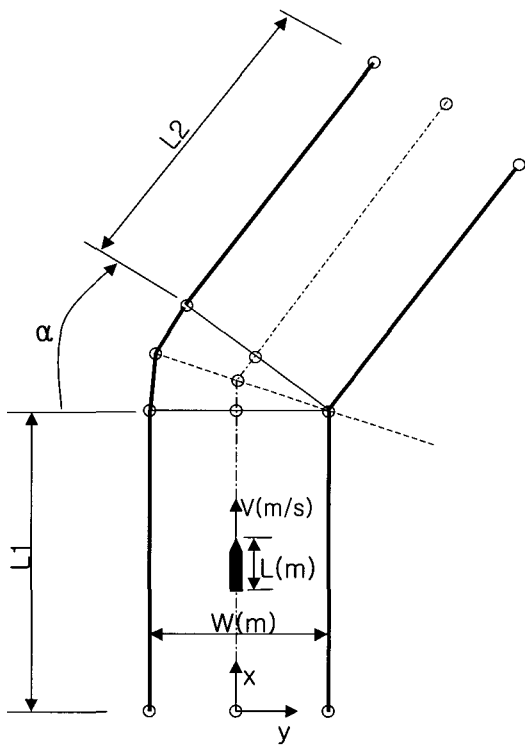


Fig. 13 Transit in Bended Channel

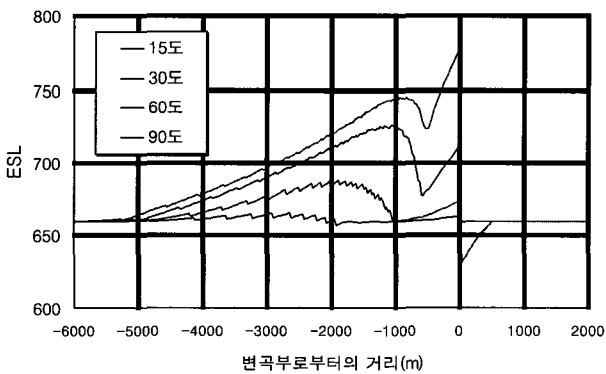


Fig. 14 Variation with Bended Angle
($W=1,000m, V=5m/sec, L=150m$)

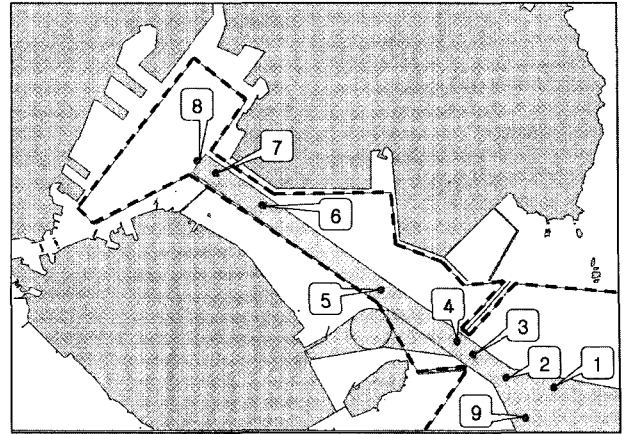


Fig. 15 Way Points for Pusan Harbor

굴곡부의 각도가 커질수록, 굴곡부에 접근함에 따라 조선환경 스트레스 (ES_L)의 값이 크게 증가하는 현상을 볼 수 있으며, 일단 굴곡부를 통과한 이후에는 직선 협수로 통과하는 상황에서의 값으로 빠르게 수렴하는 현상을 볼 수 있다. 굴곡부에 접근함에 따라 나타나는, 그래프 상의 짧은 파동은, ES_L 계산시 시야각을 매 1도마다 계산하는데 따른 오차가 표출된 결과이며, 큰 의미는 없다.

4. 조선 환경 스트레스 모델의 적용

이상에서 살펴보았듯이, ES_L 값은, 주변의 지형적 장애물 분포에 따라 선박 운항자가 느끼는 운항 난이도를 정성적, 정량적으로 잘 표현하는 것으로 판단된다. 다음에는 본 모델을, 부산항, 광양항과 같은, 우리나라 주요 항만의 접근항로에 적용하여 봄으로써, 각 항로의 특성을 살펴보고자 하였다. 평가시, 대상 선박은 6,700TEU급 컨테이너선(전장 299.9m, GT = 80,942톤)으로 설정하였다. 각 대상 선박의 속력은 위치에 따라 4.0 ~ 12.0 Knots 범위로 설정하였으며, 대상 선박은 항로의 중앙을 따라 항로 방향으로 운항하고, 운항시 다른 선박은 존재하지 않는다고 가정하였다. 또한 각 대상 선박은 설정된 가항 영역을 벗어나지 못한다고 가정하고 조선환경 스트레스를 평가하였다.

4.1 부산항의 조선환경 스트레스 평가

Fig. 15와 같이, 부산항 외항 방파제 밖에서부터 외항방파제를 통과하여, 제 1 항로를 따라 다시 내항방파제를 통과하는 6,700 TEU급 컨테이너선이 입항시 느끼는 조선환경 스트레스 (ES_L) 값을 추정하여 보았다. 또한 이와 반대되는 순서로 출항하는 선박의 조선환경 스트레스값도 추정하여 보았다.

Fig. 15에서 각 점은 입항(1→2→...→7→8) 및 출항(8→7→...→2→9)시 선박이 취하는 경로점(Way Point)을 표시한 것이며, 점선은 대상 선박의 운항이 가능한 가항 영역을 표시한 것이다.

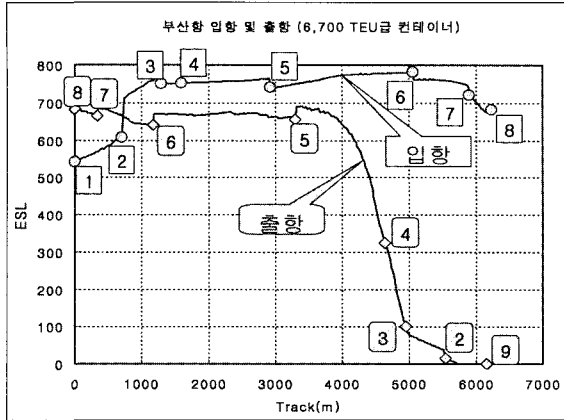


Fig. 16 Variation of ESL for 6,700TEU Container Entering/Departing Pusan Harbor

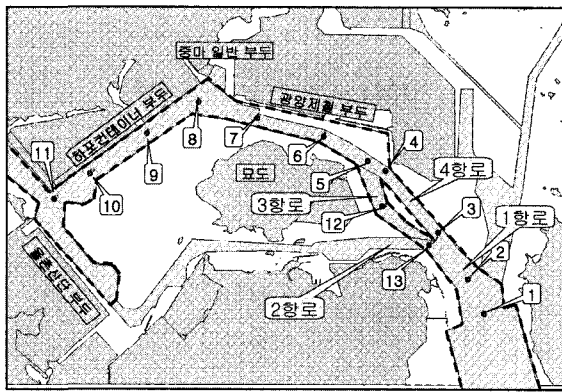


Fig. 17 Way Points for KwangYang Harbor

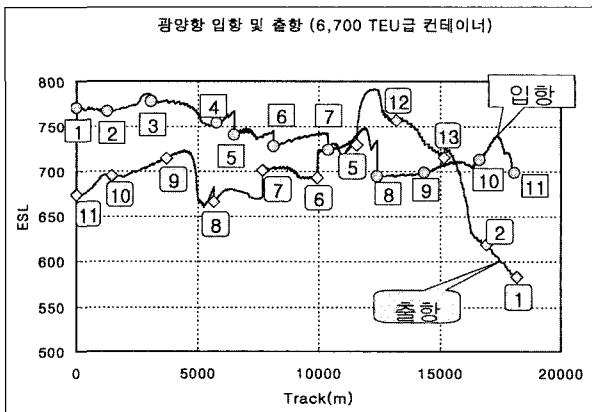


Fig. 18 Variation of ESL for 6,700TEU Container Entering/Departing KwangYang Harbor

또한 각 지점에서, 선박은 다음과 같은 선속을 가지는 것으로 설정하였다.

Table 3 Ship Speed at Each Way Point(Pusan)

번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9
선속 (Knots)	12	12	10	10	8	6	5	4	12

Fig. 16은 입항 및 출항시의 각 지점에서의 조선환경 스트레스(ES_L) 값의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 횡축은, 각 시작점으로부터 선박의 진행거리를 나타낸다.

입항시에는, 일단 외항 방파제를 통과한 이후에는 거의 일정한 값을 보이고 있으며, 내항방파제 입구를 통과하면서, 해역이 상대적으로 넓어지고 선속이 감소하면서, 다소 감소하는 양상을 보이고 있다.

출항시에는, 동일한 위치에서도 입항시에 비해 다소 작은 값을 보이고 있으며, 외항 방파제가 가까워짐에 따라 그 값이 급격히 감소하여, 방파제 통과 후에는 ES_L 값이 0으로 떨어지는 현상을 볼 수 있다.

4.2 광양항의 조선환경 스트레스 평가

Fig. 17은 장차 광양항 개발이 완료되었을 경우의 부두 및 항로 배치의 개략도를 보여주고 있다.

이러한 상황에서, 광양항 항계로부터, 제1항로, 제 4항로, 그리고 광양제철 전면 항로를 통과하여, 하포 컨테이너 부두, 울촌산단 부두 방면으로 운항하는 6,700TEU급 컨테이너선이 입항시 느끼는 조선환경 스트레스(ES_L) 값을 추정하여 보았다. 또한 하포 컨테이너 부두에서 출발하여, 광양제철 전면 항로, 제3항로, 제1항로를 통과하여 출항하는 선박의 조선환경 스트레스값도 추정하여 보았다.

Fig. 17에서 각 점은 입항(1→2→3→4→...→10→11) 및 출항(11→10→...→5→12→13→2→1)시 선박이 취하는 경로점(Way Point)을 표시한 것이며, 점선은 대상 선박의 운항이 가능한 가항 영역을 표시한 것이다. 또한 각 지점에서, 선박은 다음과 같은 선속을 가지는 것으로 설정하였다.

Fig. 18은 입항 및 출항시의 각 지점에서의 조선환경 스트레스(ES_L) 값의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 횡축은, 각 시작점으로부터 선박의 진행거리를 나타낸다

광양항의 항로체계가 상대적으로 복잡하여, 위치에 따라 ES_L 값의 변화가 크게 나타나지만, 전반적으로 상당히 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

출항시에는 입항시에 비해 전반적으로 낮은 값을 보이지만, 3항로 해역에서는 상대적으로 높은 값을 보이고 있으며, 3항로를 벗어나면서 그 값이 급격하게 감소하는 현상을 볼 수 있다.

이러한 ES_L 값의 분포는, 선박의 크기 및 이에 따른 가항 영역의 범위, 선박의 속도, 그리고 선박의 경로에 따라 달라지게 된다.

Table 4 Ship Speed at Each Way Point(KwangYang)

번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
선속 (Knots)	12	12	10	10	8	7	6	5	5	5	5	9	10

5. 맺음말

본 논문에서는, 환경 스트레스 모델을 구성하는 두 요소 중, 본선 주변의 지형적인 제약에 기인하는 조선환경 스트레스의 개념과 그 특성에 대하여 살펴보았다.

비록, 대형선박이 좁은 방파제 사이나 협수로를 고속으로 통과하는 경우 등, 일부 극한 상황에 대해서는 비현실적인 값을 주는 경우도 있어, 장치 개선이 필요한 부분도 있는 것으로 파악되었지만, 선박이 운항할 때, 본선의 크기와 당시의 선속, 그리고 본선 주변의 지형적인 제약 조건 분포 등에 따른 선박 운항 난이도를 합리적으로 정량화하는 지수로서 조선환경 스트레스(ES_L)는 큰 효용성을 가진다.

선박 운항시 영향을 미칠 수 있는 각종 주요 변수에 따른 조선환경 스트레스의 정량화가 가능해짐에 따라, 여러 항만이나 그 접근 항로에서의 선박운항 난이도를 정량적으로 산출하여 상대적으로 비교하는 것이 가능해졌으며, 이는 항만이나 항로의 설계시, 다른 해역의 항만이나 항로의 운항 난이도를 간접적으로 참조할 수 있는 길이 열렸음을 의미한다.

장치 제 2 보에서 다루게 될, 본선 주변의 타선 분포에 기인하는 교통환경 스트레스 값과 함께 사용될 경우, 본 지수는 항만이나 항로 설계시 그 해상교통 안전성에 관한 정량적 평가 수단으로 사용이 가능하여, 항만이나 항로의 설계 및 그 안전성 향상에 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는, 한국해양연구원의 2003년도 기본연구사업인 “해양위해도 통합관리 시스템 기반기술 개발(I)” 과제의 일부로서 수행되었다. 본 프로그램 개발에 따른 검증용 프로그램을 제공해준 일본 Kobe 상선대학의 Inoue 교수에게 본 지면을 빌어 심심한 사의를 표하며, 검증작업을 도와준 양찬수 박사, 학위논문을 제공해주신 JMS 박영수 박사에게도 감사드린다.

참 고 문 헌

- [1] 박영수(2002) : 해상교통관리에 관한 기초적 연구, 고베상선대학 박사학위 논문(In Japanese)
- [2] 일본항만협회(1999) : 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설(하권)
- [3] 한국항만협회(2000) : 항만 및 어항설계 기준,
- [4] 해문당(1996) : 시각정보와 Human Error
- [5] 해문당(1997) : 해상교통공학
- [6] Inoue K. and et al.(1997a) : 操船者の 危険感에 근거한 操船 환경의 평가 - 평가지표로서의 環境 스트레스 값의 정의(In Japanese), 일본항해학회논문집 95호
- [7] Inoue K. and et al.(1997b) : 操船者の 危機感에 근거한 操船환경과 交通환경의 동시 평가법(In Japanese), 일본항해학회논문집 95호
- [8] Inoue K. and et al. : 海上交通安全評價를 위한 기술적 가이드라인 책정에 관한 연구 I - 環境負荷의 개념에 근거한 操船의 困難性 평가-(In Japanese), 일본항해학회논문집 98호
- [9] Inoue K. and et al.(1998a) : 危險의 切迫에 대해 操船者가 느끼는 危險感의 定量化 모델(In Japanese), 일본항해학회논문집 98호
- [10] ISM Code (International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention)
- [11] PIANC(1997) PTC II : Approach Channels - A Guide for Design, Report of Working Group II-30. Supplement to Bulletin No.95
- [12] SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea)
- [13] STCW (International Convention on Standards of Training, Verification and Watchkeeping for Seafarers)

원고접수일 : 2003년 4월 15일

원고채택일 : 2003년 9월 25일