

論 文

선박의 속도저하를 고려한 내항성능 평가에 관한 연구

김 순 갑* · 공 길 영**

On the Evaluation of Seakeeping Performance in consideration of nominal speed loss ships in a seaway

Soon-Kap Kim · Gil-Young Kong***

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서론

2. 자연적 감속

2.1 선속상태 작동점의 표현

2.2 저항증가의 실용 계산식

2.3 자연적 감속

3. 내항성능의 평가

3.1 내항성 요소와 그 분산치

3.2 내항성 요소의 한계 표준편차

3.3 내항성 요소의 평가치

3.4 내항성 요소의 위험도와 최대위험도

4. 수치계산 및 고찰

4.1 수치계산의 조건

4.2 계산결과의 고찰

5. 결론

참고문헌

Abstract

This paper intends to evaluate the seakeeping performance in consideration of nominal speed loss of ships in a seaway.

Authors calculate the nominal speed loss in the Sea State of Beaufort Scale 6, 7 & 8 and obtain each response amplitude of ship's motion by New Strip Method in consideration of them. This study presents some results of the seakeeping performance by the maximum dangerousness of ships on each sea state.

1. 서론

저기압으로 해상이 대단히 거칠 때, 선박 운항자는 가장 고민스러운 판단을 해야만 하는 상황에

봉착하게 된다. 즉, 어느 정도의 풍속과 파랑에서는 선박의 안전이 확보되므로 현 침로, 현 속도로 계속 항해를 하고, 또 어느 정도 이상의 풍속과 파고에서는 위험하므로 피항 조치를 취해야 하는

* 정희원, 한국해양대학교 해사대학 교수

** 정희원, 국방과학연구소

데, 이에 대한 선박 안전의 판단을 어떻게하고 또 어떻게 피항할 것인가하는 것이 바로 그것이다.

파랑중을 항해하는 선박의 안전을 평가하는 일반적인 방법은 내항성능(seakeeping performance)을 이용하는 것이다. 내항성능은 '어떤 사명을 부여받은 선박이 예정된 취항 항로 혹은 해역을 항해함에 있어, 해상 조건에 관계없이 승무원의 안전은 물론이고 선체에 탑재된 재설비의 기능 및 성능의 저하없이, 그 사명을 수행하는 데 요구되는 성능'이다¹⁾.

본 연구의 수치 시뮬레이션은 길이 93m 해양대학 실습선과 175m 컨테이너선을 대상으로하여 각 해상 상태에 따른 저항 증가량과 침로별 자연적 감속량을 계산하였다. 파랑중을 항해하는 선박의 속도 감소는 선체 동요, 바람, 파랑의 반사 등에 의한 저항 증가와 프로펠러 노출 등에 의한 추진 효율의 감소 등이 주원인이다. 항해하는 선박의 내항성능을 평가하는데 기본적인 요소인 선체 운동은 자연적 감속을 고려한 선속에서 NSM(New Strip Method)을 이용하여 선체운동 응답함수를 계산하였다. 그리고 파랑중 선박의 승무원, 선체 및 화물의 안전을 평가하기 위한 내항성능은 각 해상상태에 따른 침로 및 속도별로 위험도를 이용하여 평가하였다.

2. 자연적 감속

2.1 선속 상태 작동점의 표현

파랑중 선박의 거동을 벡터로 표현하기 위해서 x_1 축에 선체 저항(R), x_2 축에 프로펠러 트러스트(Tp), x_3 축에 프로펠러 토크(Qp), x_4 축에 주기 토크(Qe)를 잡고, 이러한 x_i 축으로 만들어지는 공간에서 선박이 작동하고 있는 점을 그림 1과 같이 벡터로 표현한다. 선박이 평수중 항행시 균형점 C(Ec)에서 선박이 파랑중으로 들어가면 δE_n 만큼 벡터가 변화하고, 점 A(E_n)에서 평균적으로는 균형이지만 점 A 주변에서 $E_n(t)$ 만큼 변동한다. 이 δE_n 을 구해서 새로운 균형점 A를 구하는 것이 자연적 감속 혹은 선속 저하의 문제이다²⁾.

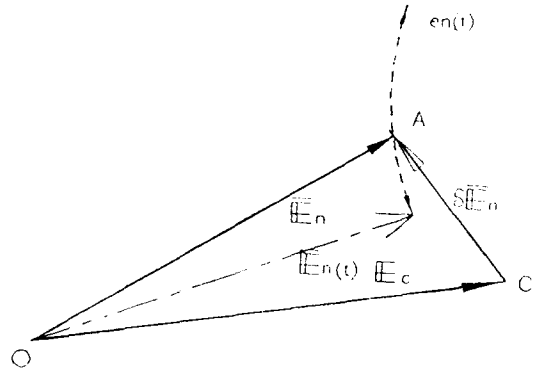


그림 1. 추진성능의 벡터표현

2.2 저항증가의 실용 계산식

선속 저하의 추정 계산에는 그 원인이 되는 파랑중에서 일어나는 저항 증가의 정확한 계산이 필요하다. 풍파중에서 선박의 저항 증가량은 선체 운동에 기인한 저항 증가, 선수부에서의 반사파에 기인한 저항 증가 및 풍압에 기인한 저항 증가의 총합으로 표현할 수 있다³⁾.

$$R_{AW} = R_{AW}(0) + R_{AW}(1) + R_{wind} \quad (1)$$

여기서,

$R_{AW}(0)$: 선체 운동에 기인한 저항 증가량

$R_{AW}(1)$: 선수부에서의 반사파에 기인한 저항 증가량

R_{wind} : 바람에 의한 저항 증가량

$R_{AW}(0)$ 는 Gerritsma 근사식에 의해 다음과 같이 표시된다⁴⁾.

$$R_{AW}(0) = \frac{k}{2\omega_e} \int (N - \rho U \frac{\partial S}{\partial x}) V_{ra}^2 dx \quad (2)$$

단,

$$k(\text{파수}) = 2\pi/\lambda$$

$$N(\text{감쇄력}) = (\rho g^2/\omega_e^3) \bar{A}^2$$

- S = (단면의 부가질량) / ρ
- V_{ra} = 상대유속 진폭
- Δ̂ = (발산파 진폭)/(상하요 진폭)
- ω_e = 조우주파수(Encounter Frequency)
- U = 전진속도

R_{AW}(1)은 Fujii, Takahashi에 의하면 blunt 선 수로부터의 반사파에 기인한 저항 증가가 있고, 특히 비대선의 단파장역에서 현저하게 나타난다. 이 성분을 근사적으로 표현한 계산식은 다음과 같다⁵⁾.

$$R_{AW}(1) = \alpha_1(1+\alpha_2)\frac{1}{2}\rho g h_A^2 B \overline{\sin^2\beta} \quad (3)$$

- 단, $\overline{\sin^2\beta} = \frac{1}{B} \int_{-B/2}^{B/2} \sin^2 \beta \, dy$ (Bluntness계수)
- $\alpha_1 = \pi^2 I_1^2(kd) / \{ \pi^2 I_1^2(kd) + K_1^2(kd) \}$
- $\alpha_2 = 5\sqrt{F_n}$ (실험식)
- I_1, K_2 : 변형 Bessel함수
- α_1 : 유한홀수영향
- α_2 : 전진속도영향

R_{wind}는 다음 식으로 나타난다.

$$R_{wind} = \frac{1}{2} \rho_a \cdot K(\mu) \cdot C_{XLO} \cdot A_s \cdot V_R^2 \quad (4)$$

- 단, ρ_a = 공기 밀도
- K(μ) = 풍향 영향 계수
- C_{XLO} = 정면 풍압 저항 계수
- A_s = 수면상 선체 측면 투영 면적
- V_R = 상대 속도

2.3 자연적 감속

그림 1에서 평수중 C점에서 파랑중 A점에서의 균형되는 점이동을 구하는 문제가 자연 감속이다. 이 경우 변침각 δχ = 0, 1회전당 연료투입량 변

화 δΛ = 0에서, 선속 저하량 δV_N는 다음 식으로 나타난다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{t} R_V \cdot \delta \overline{V}_N &= P_{TN} \delta \overline{N}_P + w P_{TU} \delta \overline{V}_N \\ P_{QN} \delta \overline{N}_P + w P_{QU} \delta \overline{V}_N &= r^2 E_{QN} \delta \overline{N}_P \eta, \end{aligned} \quad (5)$$

단,

- N_P : 프로펠러 회전수
- V_N : 프로펠러 속도
- E_{QN} : 프로펠러 회전수에 대한 미분 계수
- t : 트러스트 감소 계수
- w : 반류 계수
- γ : 주기축에서 프로펠러축에의 감속비
- η_t : 전달 계수
- P_{TN}, P_{QN} : 프로펠러 회전수에 대한 프로펠러 트러스트와 토크의 미분계수
- P_{TU}, P_{QU} : 프로펠러 유입속도에 대한 프로펠러 트러스트와 토크의 미분 계수

식 (5)에서, R_v · δV_N는 평수중 저항과 파랑중 선속 저하된 후의 저항과의 차이를 나타낸다. C점에서의 선속을 V_c, 마찬가지로 A점에서의 선속을 V_A라 한다면 일반적으로 파랑중에서의 저항은 다음과 같다.

$$\overline{R}(\overline{V}, \overline{\chi}) = R_c(\overline{V}) + R_{AW}(\overline{V}, \overline{\chi}) \quad (6)$$

따라서, R_v · δV_N는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_v \cdot \delta \overline{V}_N &= \overline{R}(\overline{V}_A, \overline{\chi}) - R_c(\overline{V}_c) \\ &= R_c(\overline{V}_A) + R_{AW}(\overline{V}_A, \overline{\chi}) - R_c(\overline{V}_c) \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)를 식(5)에 대입하고 전달 계수를 η_t=1.0이라 하면, 자연 감속량 δV_N을 구하는 식은 다음과 같이 얻어진다⁶⁾.

$$\delta \bar{V}_N = \frac{R_c(\bar{V}_A) + R_{AW}(\bar{V}_A, \bar{\chi}) - R_c(\bar{V}_c)}{(1-t)(1-w) \left(P_{TU} + \frac{P_{TN}P_{QU}}{\gamma^2 E_{QN} - P_{QN}} \right)} \quad (8)$$

3. 내항성능의 평가

3.1 내항성능 평가요소와 그 분산치

불규칙한 해상에서 인명, 선체, 화물의 안전을 고려하여, 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가하기 위하여 선체 운동으로부터 생기는 다음과 같은 현상을 내항성능 평가요소(이하 내항성요소)로 한다⁷⁾.

- ① Deckwetness (X₁)
- ② 프로펠러 레이싱 (X₂)
- ③ Slamming (X₃)
- ④ 횡요운동 (X₄)
- ⑤ F·P의 상하가속도 (X₅)
- ⑥ S.S 8½의 좌우가속도 (X₆)

선박이 단파정 불규칙파를 일정한 속도로 파에 대하여 일정한 침로(χ)를 유지하여 항해하고 있는 경우, 임의의 내항성 요소의 확률과정 $X_i(t)$ 의 주파수 응답함수를 $H_{xi}(\omega, V, \chi - \theta)$ 라 하면, 확률과정 $X_i(t)$ 의 Pierson-Moskowitz형 스펙트럼 $S_{x_i}(\omega, \chi)$ 는

$$S_{x_i}(\omega, \chi) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |H_{x_i}(\omega, V, \chi - \theta)|^2 S_{\zeta}(\omega, \theta) d\theta \quad (9)$$

이고, 확률과정 $X_i(t)$ 의 분산치 $\sigma_{x_i}^2(\chi)$ 는 다음과 같다.

$$\sigma_{x_i}^2(\chi, V, S) = \int_0^{\infty} S_{x_i}(\omega, \chi) d\omega \quad (10)$$

스펙트럼이 식(9)와 같을 경우에 내항성 요소의 확률과정 $X_i(t)$ 는 다음과 같이 표현되어 진다.

$$X_i(t) = \int_0^{\infty} \sqrt{2S_{x_i}(\omega, \chi)} d\omega \cdot \cos(\omega t + \psi_i) \quad (11)$$

단, $\psi_i = \varepsilon_i(\omega) + \gamma_i$ 이고, γ_i 는 $0 \sim 2\pi$ 까지 Random하게 일양 분포하는 위상각

3.2 내항성 요소의 한계 표준편차

임의 내항성 요소의 확률과정 $X_i(t)$ 는 Gauss 분포로, 그 극치는 Rayleigh 분포로 근사할 수 있다. 임의 내항성 요소의 분산치 $\sigma_{x_i}^2$ 이 구해지면, 확률과정 $X_i(t)$ 의 극치가 어떤 일정값 X_1 을 초과할 확률 Q_{x_i} 는 다음과 같이 구해진다⁸⁾.

$$\begin{aligned} P[X_i(t) \geq X_1] &= Q_{x_i} \\ &= \int_{x_1}^{\infty} \left(\frac{x_1}{\sigma_{x_i}^2} \right) \exp\left(-\frac{x_1^2}{2\sigma_{x_i}^2} \right) dx \\ &= \exp\left(-\frac{x_1^2}{2\sigma_{x_i}^2} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

이것을 표준편차 σ_{x_i} 에 관하여 풀면 다음과 같다.

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{\frac{-X_1^2}{(2 \cdot \ln Q_{x_i})}} \quad (13)$$

식(13)에 각 내항성 요소의 한계치 X_{ic} 를 넘을 확률인 한계확률 $Q_{x_{ic}}$ 를 고려하면, 위험치가 되는 표준편차 $\sigma_{x_{ic}}$ 를 얻을 수 있다.

$$\sigma_{x_{ic}} = \sqrt{\frac{-X_{ic}^2}{(2 \cdot \ln Q_{x_{ic}})}} \quad (14)$$

3.4 내항성 요소의 평가치

임의 내항성 요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을 $Q(\bar{X}_i)$ 라고 하면, 이 경우 표준편차로써 무차원화한 한계치의 역수를 X_i 요소의 평가치 E_{x_i} 라 정의한다.

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2\ln(Q(\bar{X}_i))}} = \left[\frac{\sigma_{X_i}}{\bar{X}_i} \right] \quad (15)$$

평균치 E_{X_i} 가 Zero가 되면 임의 요소(X_i)의 신뢰도는 1이 되고, E_{X_i} 가 무한대가 되면 X_i 요소의 신뢰도는 0가 된다.

3.5 내항성 요소의 위험도와 최대 위험도

임의의 X_i 요소의 주어진 한계발생 확률에 관한 한계평가치를 $E_{X_{lc}}$ 로 하고, 한계평가치 $E_{X_{lc}}$ 에 대한 평가치 E_{X_i} 의 비를 X_i 요소의 위험도 μ_{X_i} 라 정의 한다.

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{lc}}} = \frac{\{\bar{X}_i / \sigma_{X_{lc}}\}}{\{\bar{X}_i / \sigma_{X_i}\}} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_{lc}}} \quad (16)$$

단, $\sigma_{X_{lc}}$: X_i 가 위험하게 되는 표준편차

위험도 μ_{X_i} 는 파에 대한 출회각(χ), 선속(V) 및 해상상태(S)에 따라 변화한다. 여기서, $\mu_{X_i} \geq 1.0$ 인 경우 X_i 요소가 위험하고, $\mu_{X_i} < 1.0$ 인 경우는 안전하다는 것을 나타낸다.

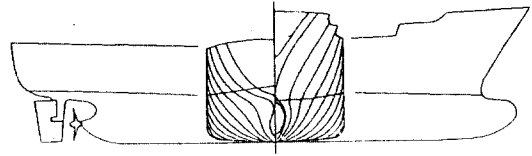
또한, 내항성 요소의 위험도 μ_{X_i} 에서 최대치를 최대위험도 μ_m 으로 정의한다.

$$\mu_m = \text{Maximum} [\mu_{X_i}] \quad (17)$$

4. 수치계산 및 고찰

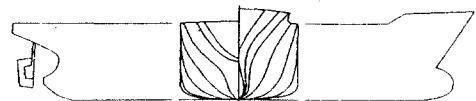
4.1 수치계산의 조건

수치계산에 사용한 대상선은 $L_{pp}=93m$ 의 해양대학 실습선과 $L_{pp}=175m$ 콘테이너선이며, 그 선형과 주요목은 그림 2, 3에 표시하였다.



ITEMS	DIMENSIONS	
Length P.P	Lpp(m)	93
Breadth	B(m)	14.5
Depth	D(m)	7
Mean draft	d _m (m)	5.115
Displacement valume	(m ³)	4,274.82
Block coefficient	C _B	0.6028
Length-breadth ratio	L/B	6.141
Breadth-draft ratio	B/D	2.853
Height of C.G.	KG(m)	5.033
Metacentric height	GM(m)	1.355
Rolltng period	T _R (sec)	13.142
Propeller diameter	D _P (m)	3.55
Propeller pitch ratio	p	0.751

그림 2. 실습선의 제원



ITEMS	DIMENSIONS	
Length P.P	Lpp(m)	175.0
Breadth	B(m)	25.40
Depth	D(m)	15.40
Mean draft	d _m (m)	9.50
Displacement valume	(m ³)	24,742.00
Block coefficient	C _B	0.572
Length-breadth ratio	L/B	6.89
Breadth-draft ratio	B/D	2.67
Height of C.G.	KG(m)	9.52
Metacentric height	GM(m)	1.00
Rolltng period	T _R (sec)	18.00
Propeller diameter	D _P (m)	6.50
Propeller pitch ratio	p	1.055

그림 3. 콘테이너선의 제원

해상 상태(Sea State)는 Beaufort Scale 6, 7, 8 상태의 단파정 불규칙파 중에서 계산을 행하였다. 각 해상에 대한 평균 파 주기와 유의 파고는 표 1 과 같은 값을 적용하였다.

표 1. 해상상태별 유의파고와 평균 파 주기

Beaufort Scale	Mean Wave Period (sec)	Significant Wave Height $H_{1/3}$ (m)
6	7.60	3.90
7	8.90	5.30
8	10.30	7.10

선체운동의 응답함수 계산은 N.S.M을 따랐으며, 선속은 각 선박의 운항 속도(Service Speed)에 해당하는 $F_n=0.25$ (실습선 14.68kts, 컨테이너선 20.13kts)로 정하여 계산을 행하였다.

또한, 단파정 불규칙파의 선박의 파에 대한 만남각(χ)은 선수파($\chi=180^\circ$)로부터 30° 간격으로 정현파($\chi=90^\circ$)까지 4개의 침로에 대해서 계산을 하였다.

내항성능을 계산할 때, 각 내항성 요소의 한계치와 한계발생확률은 다음과 같다.

- (1) F.P.의 Deckwetness
 - 한계치 : 정수중 항주식의 수위 상승을 고려한 F.P.의 유효건현
 - 한계발생확률 : 2×10^{-2}
- (2) 프로펠러 레이싱
 - 한계치 : 정수중 항주식의 수위 상승을 포함하지 않고 프로펠러 반경의 1/3 노출
 - 한계발생확률 : 10^{-1}
- (3) Slamming
 - 한계치 : threshold velocity $V_{th} = 0.09 \sqrt{gL}$
 - 한계발생확률 : 10^{-2}
- (4) 횡요운동
 - 한계치 : 선체 중앙부 weather side의 bulwark top의 해수가 유입하는 것
 - 한계발생확률 : 10^{-3}
- (5) 상하가속도⁹⁾
 - 한계치 : 선체에서 통상 상하가속도가 가장

심한 F.P.에서, Aertssen이 설계 단계에서 제안한 선박 길이에 따른 가속도의 한계치를 이용하였다.

○ 한계발생확률 : 10^{-3}

(6) S.S 8½의 좌우가속도

○ 한계치 : 횡가속도에 대해 인간은 민감하게 반응하므로 운항자의 작업성을 평가한 Hosoda 등의 이론에서 그 한계치를 추정하고, 모든 선박에 동일하게 적용하였다.

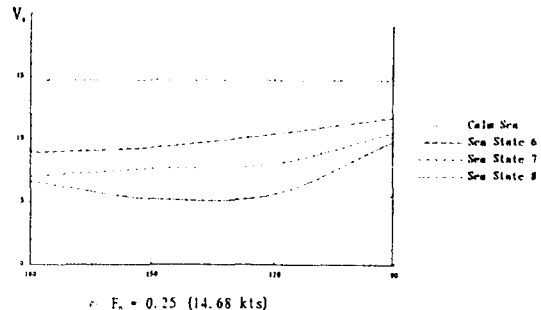
○ 한계발생확률 : 10^{-3}

4.2 계산결과와 고찰

4.2.1 자연적 감속량

식(8)에서 나타난 자연 감속량 추정식을 이용하여, 대상선인 실습선과 컨테이너선이 선수파($\chi=180^\circ$)에서부터 정현파($\chi=90^\circ$)를 받으며 운항 속도(Service Speed)으로 항해할 때의 자연적 감속량과 선속 저하율을 나타낸 것이 그림 4, 5이다.

그림 4, 5을 살펴보면, 해상상태가 거칠수록 그리고 실습선이 컨테이너선보다 자연적 감속량이 많은 경향을 나타낸다. 두 선박의 선속 저하율을 살펴보면, 저속선인 실습선이 고속선인 컨테이너선에 비하여 선속 저하율이 높음을 알 수 있다. 이는 저속선이 고속선에 비하여 풍파중에서 선속 저하율이 높다는 일반적인 경향과 일치함을 보여 준다.



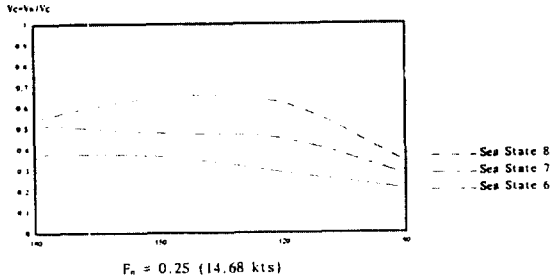


그림 4. 실습선의 자연 감속과 선속 저하율

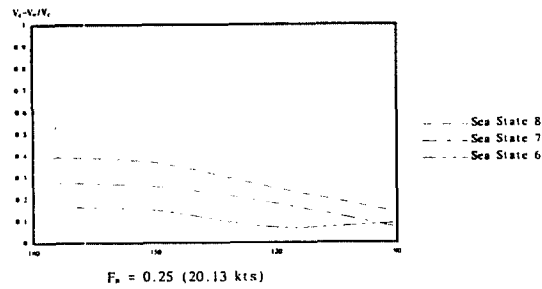
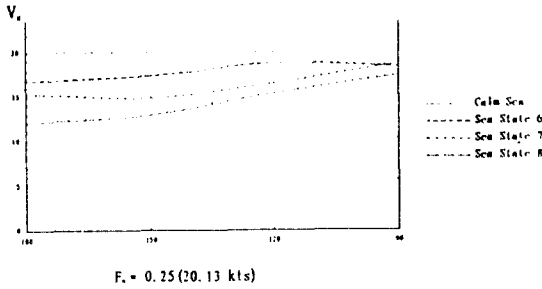


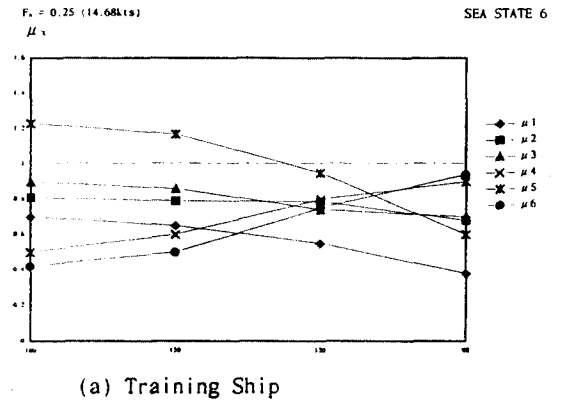
그림 5. 컨테이너선의 자연 감속과 선속 저하율

4.2.2 내항성능 평가의 고찰

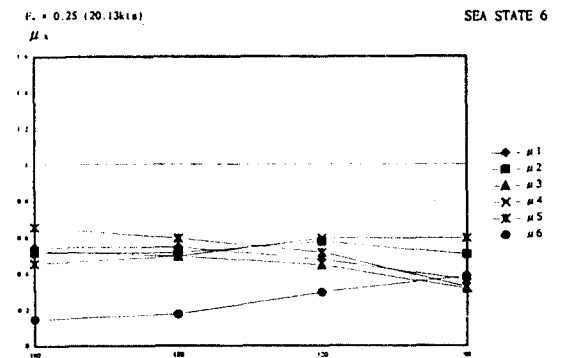
그림 6~8은 대상선이 해상상태 6, 7, 8에서 운항 속력(Service Speed)으로 항해할 때의 내항성능을 위험도를 이용하여 평가하였다. 이때 적용된 선속은 해상상태에 따른 자연적 감속량을 고려한 것이다.

그림 6의 해상상태 6에서, 실습선(a)은 출회각

180° - 130°에서 상하가속도(μ_5)가 위험 요소로 평가되며, 컨테이너선(b)은 모든 요소가 안전한 것으로 평가되었다. 그림 7의 해상상태 7에서, 실습선(a)은 출회각 180° - 120°에서는 상하가속도(μ_5)가, 120° - 90°에서는 좌우가속도(μ_6)와 횡요(μ_4)가 위험하게 평가되었으며, 반면에 컨테이너선(b)은 위험 요소없이 안전한 것으로 평가되었다. 해상상태 8(그림 8)에서는 실습선(a)이 선수파(180° - 130°)에서는 상하가속도(μ_5), 프로펠러 레이싱(μ_2)이, 횡파(130° - 90°)에서는 역시 좌우가속도(μ_6)와 횡요(μ_4)가 위험한 것으로 평가되었다. 컨테이너선(b)도 180° - 130°에서 상하가속도(μ_5)와 Deckwetness(μ_1)가 위험 요소로 평가되었다.



(a) Training Ship



(b) Container Ship

그림 6. 위험도를 이용한 내항성능 평가

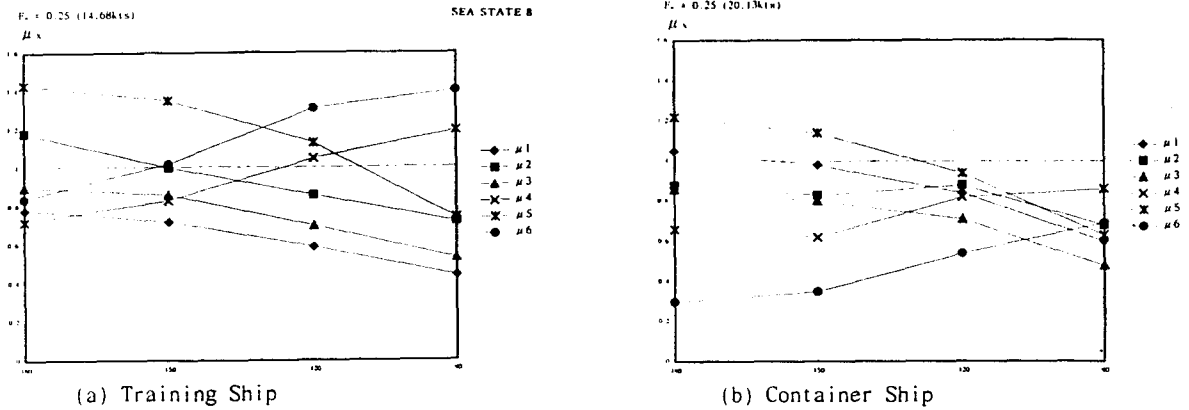


그림 7. 위험도를 이용한 내항성능 평가

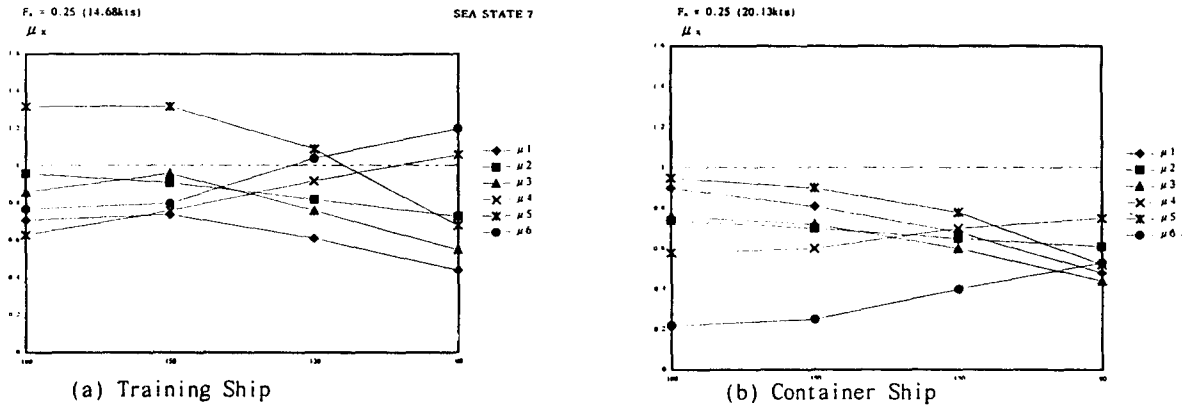


그림 8. 위험도를 이용한 내항성능 평가

해상 상태별 내항성능 평가를 종합해 보면, 실습선은 해상 상태 6에서 출회각 130° - 90°에서 안전한 것으로 평가되었으나, 전체적으로 해상상태 6 이상에서는 위험한 것으로 평가되었다. 컨테이너선은 해상상태 8에서 출회각 130° - 90°에서 안전한 것으로 평가되었으나, 역시 전체적으로 해상상태 8 이상에서는 위험한 것으로 평가되었다. 위험 요소로는 선수파에서 실습선은 상하가속도(μ_5)와 프로펠러 레이싱(μ_2), 횡파에서는 좌우 가속도(μ_6)와 횡요(μ_4)이며, 컨테이너선은 선수파에서 상하가속도(μ_5)와 deckwtness(μ_1)가 선박의 안전에 직접적으로 영향을 주는 요인으로 평가되었다.

5. 결론

파랑중을 항해하는 선박의 내항성능을 속도 감소를 고려하여 평가한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 풍파중을 항해하는 선박의 저항증가로 인한 자연감속량을 각 해상상태에 따라 침로별로 계산하여 내항성능 평가에 적용하도록 하였다.
- (2) 자연 감속된 선속을 적용하여 선박의 내항성능을 평가함으로써, 실제 상황에 맞게 내항성능을 평가하여 계산의 정도를 높일 수 있게 하였다.
- (3) 각 침로별 위험 요소를 밝힘으로써, 운항자에게 피항 항로 선택시 고려해야 할 위험요소를 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] Edward N. Comstock · Robert G. Keane :
Seakeeping by Design, Naval Engineers
Journal, April 1980, p. 157.
- [2] 内藤 林 · 菅 信 : 船速低下の推定法, 運動性
能研究委員會 第1回シンポジウム, 1984. 12,
p. 82.
- [3] 金順甲 : 선박의 파랑중 항해능력 및 추진성
능 평가에 관한 연구, 한국항해학회 제14권
제2호, 1990. 6, p. 17.
- [4] 藤井 齊 · 高橋 雄 : 肥大船の波浪中抵抗増加
推定法に関する實驗的研究, 日本造船學會論文
集, 第137號, 1975, p. 132.
- [5] 中村彰一 · 内藤 林 : コンテナ船の輕荷状態
において波浪中推進性能について, 關西造船協
會誌, 第173號.
- [6] 金順甲 · 内藤 林 · 中村彰一 : 船舶の波浪中
耐航性能評價に関する研究, 日本造船學會論文
集, No.155(1984).
- [7] 김순갑 · 공길영 : 안전공간 설정에 의한 선박
내항성능의 평가시스템 개발에 관한 연구, 한
국항해학회, 제16권, 제1호.
- [8] V.V.ボロチン : 構造設計の確率論的方法と信
頼性問題, 培風館(1981, 小林繁夫, 他譯).
- [9] Rameswar Bhattacharyya : Dynamics of Marine
Vehicles, John Wiley & Sons, 1978, p. 370