

# 선박의 출항통제기준 마련을 위한 내항성능 평가(I)

정창현\* · 공길영†

\*한국해양대학교 한바다호 일등항해사, † 한국해양대학교 항해시스템공학부 교수

## Evaluation of Seakeeping Performance for Regulation of Vessel Traffic Control(I)

Chang-Hyun, Jung\* · Gil-Yong, Kong†

\*Chief Officer, T/S HANBADA, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Professor, Division of Navigation System, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 최근 선박을 이용한 화물운송의 증대, 해양관광 및 레저 활동을 위한 연안 여객선의 운항 증가, 그리고 해양생태계 파괴와 사회적 문제로 확산된 서해안 기름유출 사고 등 해양에 대한 관심이 갈수록 고조되고 있는 상황에서 선박의 안전운항은 필수적인 요건이다. 이러한 상황에서 현재 운용되고 있는 선박의 출항통제기준에 대한 보다 정량적이고 객관적인 검토가 시급한 실정이다. 본 논문에서는 선박 운항 시 안전운항과 가장 밀접한 관련을 갖는 파랑을 분석하여, 우리나라 연안항로에 취항하고 있는 대표적인 선형의 여객선들을 대상으로 해상상태 및 선형에 따라 내항성능지표를 이용하여 선박의 항해안전성을 평가하였다. 이러한 결과는 선박출항통제 기준의 개선과 연안 여객선의 안전운항에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 화물운송, 기름유출, 안전운항, 출항통제기준, 내항성능지표, 항해안전성

**Abstract :** Because of increasement on the transportation of goods by ship and the operation of coastal ships for leisure, the interest of marine parts is growing up lately and then the safe navigation of ships are essential. In these circumstances, it is necessary that it should be examined the regulation of vessel traffic control in effect. Therefore, the wave height is analyzed on korean coast, and then the seakeeping performance with the wave height and the various hull types on operating on the coast is evaluated. These results will be helpful to the improvement of the regulation of vessel traffic control and safe navigation of coastal passenger ships.

**Key words :** Safe navigation, Regulation of vessel traffic control, Seakeeping performance, Passenger ship

## 1. 서 론

최근 허베이스피리트호로 인한 서해안 기름유출 사고에서도 시사된 바와 같이 해양사고는 단순한 선박사고에 국한되지 않고 해양생태계를 파괴하고 국민의 건강을 위협하는 등 사회적 문제로 확산되어 파급효과가 대단히 크다고 할 수 있다.

또한 1993년 우리나라 연안에서 발생한 서해훼리호의 사고는 292명의 귀중한 인명을 빼앗아 갔고, 2008년 필리핀에서 발생한 프린세스 어브 스타즈호와 2006년 보르네오섬 주변에서 발생한 세노파티호와 같은 대형 여객선도 높은 파도에 의한 전복사고로 수백명에 달하는 인명피해가 발생했다.

선박을 이용한 화물운송이 증대되고, 해양관광 및 레저 활동을 위한 연안 여객선의 운항 증가로 해양사고의 위험성이 지속적으로 증대되고 있으며, 해양에 대한 관심이 갈수록 고조되고 있는 상황에서 선박의 안전운항은 필수적 과제이다.

선박기술이 발달되어 감항성능, 내항성능, 복원성능 등 선박의 운항성능이 과거에 비하여 향상되었고, 레이더, VHF,

AIS, ECDIS 등 항해장비의 급속한 발전으로 안전항해에 큰 도움을 주고 있지만, 해상에서의 사고 위험은 여전히 존재하고 있다.

따라서 국토해양부에서는 해상교통안전법 시행규칙에서 선박의 출항통제에 관한 기준을 정하여 기상특보가 발효되면 해당 선박의 운항을 제한하고 있다.

선박의 출항통제와 관련된 연구로는 연안 여객선 안전운항 기준에 관한 연구(한국해운조합, 1997), 선박항행구역의 합리적 조정 방안 연구(해양수산부, 2002) 그리고 운항관리제도 및 출항통제기준 개선 방안 연구(한국해운조합, 2005) 등이 선행되어 왔다. 하지만 선박의 출항통제에 관한 보다 객관적이고 정량적인 방법에 의한 검토가 꾸준히 제기되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 선박의 안전운항과 가장 밀접한 관련이 있는 바람과 파랑을 우리나라 연안 여객선이 가장 많이 취항하고 있는 주요 해역별로 비교·분석하였고, 이러한 해역을 항행구역으로 하는 대표적인 여객선형에 대하여 내항성능을 평가하여 선박의 항해안전성을 확보하였다.

\* 대표저자 : 정창현(중신회원), hyon@hhu.ac.kr 051)410-4206

† 교신저자 : 공길영(중신회원), gykong@hhu.ac.kr 051)410-4273

이러한 결과는 풍랑주의보, 풍랑경보 등 기상특보에 의해 선종별, 톤수별 통제되고 있는 현행 선박출항통제 제도의 타당성 검토 및 개선에 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 2. 주요 해역의 기상 현황

2008년 연안 여객선의 취항 척수(총162척)를 지방해양항만청별로 살펴보면, 목포(67척), 마산(20척), 인천(19척), 여수(18척), 부산(11척), 군산(10척) 순으로 조사되었다(한국해운조합, 2008). 따라서, 여기에서는 선박의 안전운항에 직접적인 영향을 주는 바람과 파랑을 우리나라 연안 여객선이 가장 많이 취항하고 있는 주요 해역별로 비교·분석하였으며, 주요 해역은 Fig. 1에 나타내고 있다. 관련 자료는 2004~2007년까지의 기상청의 기상연보와 최근 10년간의 연안격자점자료 및 천해파랑자료를 이용하였다.

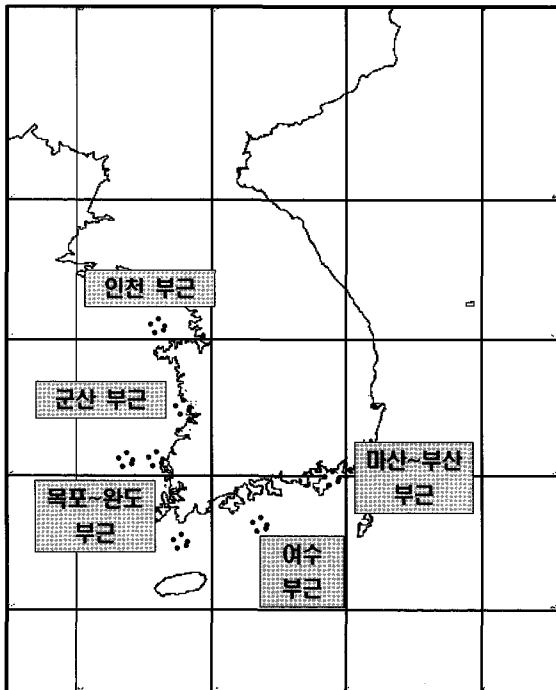


Fig. 1 Studied areas along Korean coast

### 2.1 바람

Fig. 2는 주요 해역의 2004년부터 2007년까지의 해당 최대 풍속의 일수를 백분율로 나타낸 것으로, 인천과 군산 및 부산 부근은 타 해역에 비하여 상대적으로 기상이 양호한 것으로 조사되었다. 인천 부근은 최대풍속이 8m/s 미만인 일수가 대부분(90%)을 차지하고 있으며, 최대풍속이 13.9m/s 이상인 폭풍 일수는 연평균 0.25일(조사기간 4년 중 1일)로 조사되었다.

군산 부근은 최대풍속이 8m/s 미만인 일수가 84%를 차지하고 있고, 부산 부근은 79%를 차지하고 있다. 최대풍속이 13.9m/s 이상인 폭풍 일수는 군산 부근이 연평균 2.5일, 부산 부근이 연평균 3.25일로 조사되었다.

하지만, 주로 남서해안에 위치한 목포, 완도 및 여수 부근은 타 해역에 비하여 바람이 강하게 부는 것으로 조사되었다. 목포는 최대풍속이 8m/s 이상인 일수가 35%를 차지하고, 완도는 51%, 여수는 54%를 차지하였다. 또한, 최대풍속이 13.9m/s 이상인 폭풍 일수는 목포가 연평균 15.25일, 완도가 30.5일, 여수가 21.75일로 조사되었다.

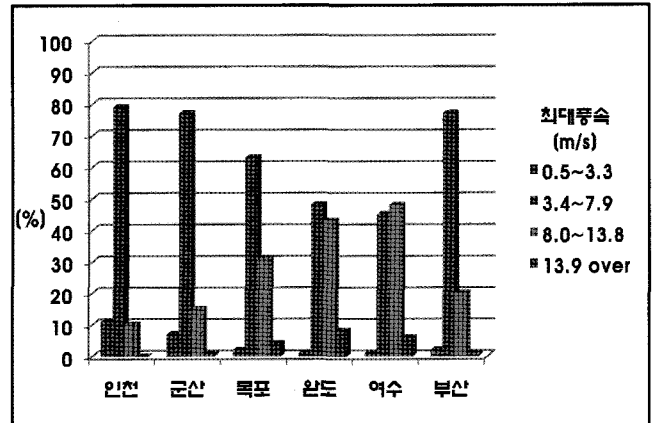


Fig. 2 Number of days with daily maximum wind speed

### 2.2 파고

#### 1) 인천

Fig. 3은 인천 부근(외해)의 최근 10년간의 천해파랑자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다. 월별 유의파고의 평균치는 1.0m미만이고, 유의파고의 최대치는 풍랑주의보의 발표 기준이 되는 유의파고 3.0m정도로 분석되었다.

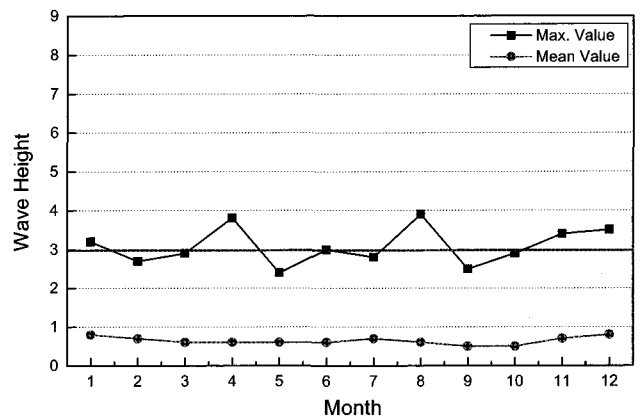


Fig. 3 Significant wave height with each month in Incheon

#### 2) 군산

Fig. 4는 군산 부근(내해)의 최근 10년간의 천해파랑자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다. 월별 유의파고의 평균치가 0.5m미만이고, 유의파고의 최대치도 1.5m를 넘지 않아 비교적 잔잔한 해상임을 알 수 있다.

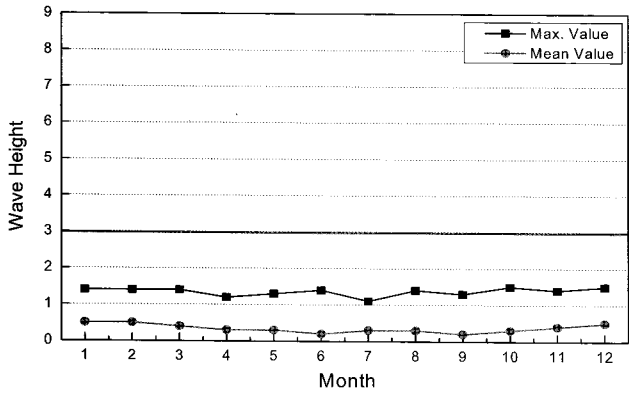


Fig. 4 Significant wave height with each month in Kunsan

3) 목포

Fig. 5는 목포 부근(내해)의 최근 10년간의 천해파랑자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다. 월별 유의파고의 평균치는 1.0m미만이고, 유의파고의 최대치도 3.0m미만으로 해상상태가 비교적 양호한 것으로 분석되었다.

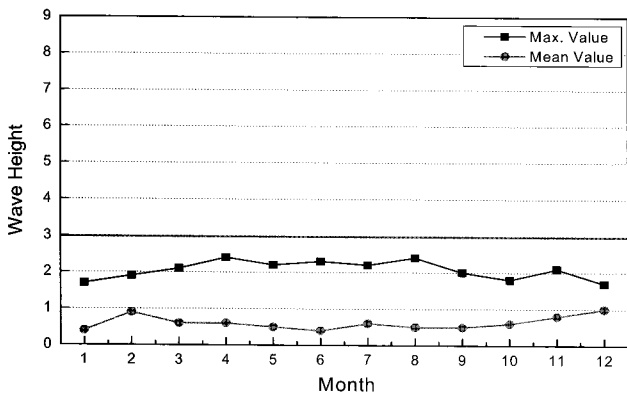


Fig. 5 Significant wave height with each month in nearshore of Mokpo

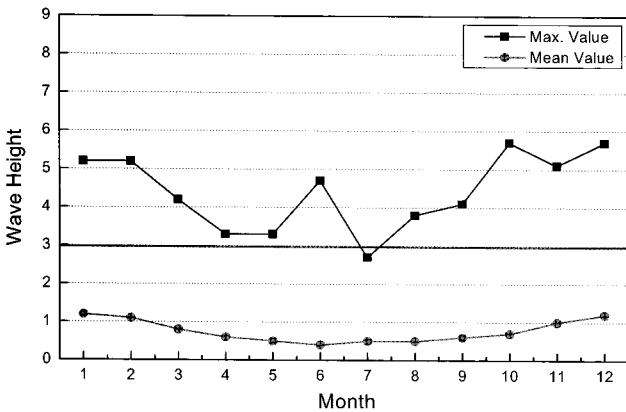


Fig. 6 Significant wave height with each month in offshore of Mokpo

Fig. 6은 목포 부근(외해)의 최근 10년간의 천해파랑자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다.

월별 유의파고의 평균치는 1.2m미만이나, 유의파고의 최대치는 풍랑경보의 발표 기준이 되는 유의파고 5.0m를 초과하고 있어 경우에 따라서는 상당히 해상상태가 좋지 않음을 알 수 있다. 겨울철에 특히 파고가 높게 측정된 것은 북서계절풍의 영향인 것으로 판단된다.

4) 완도

Fig.7은 완도 부근(외해)의 최근 10년간의 연안격자점자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다. 월별 유의파고의 평균치는 1.2m미만이나, 유의파고의 최대치는 풍랑경보의 발표 기준이 되는 유의파고 5.0m를 초과하고 있어 경우에 따라 상당히 해상상태가 좋지 않음을 알 수 있다. 8월에는 유의파고의 최대치가 8.5m에 이르고 있는데, 이는 여름철 태풍의 영향인 것으로 판단된다.

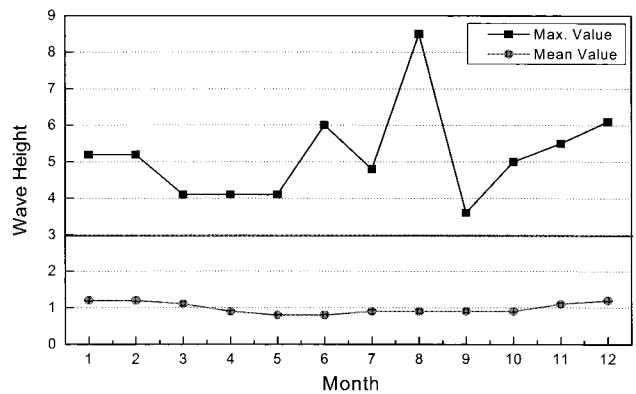


Fig. 7 Significant wave height with each month in Wando

5) 여수

Fig. 8은 여수 부근(외해)의 최근 10년간의 연안격자점자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다. 월별 유의파고의 평균치는 1.0m미만이나, 유의파고의 최대치는 풍랑경보의 발표 기준이 되는 유의파고 5.0m를 초과하고 있어 경우에 따라 상당히 해상상태가 좋지 않음을 알 수 있다. 8월에는 유의파고의 최대치가 7.0m에 이르고 있는데, 마찬가지로 여름철 태풍의 영향인 것으로 판단된다.

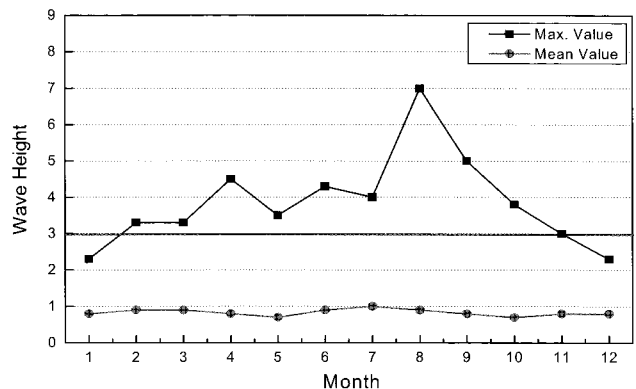


Fig. 8 Significant wave height with each month in Yeosu

6) 부산

Fig. 9는 부산 부근(내해)의 최근 10년간의 천해파랑자료를 이용하여 구한 유의파고의 평균치와 최대치를 나타내고 있다. 월별 유의파고의 평균치는 0.3m미만이고, 유의파고의 최대치도 1.5m미만으로 비교적 해상상태가 양호한 것으로 판단된다.

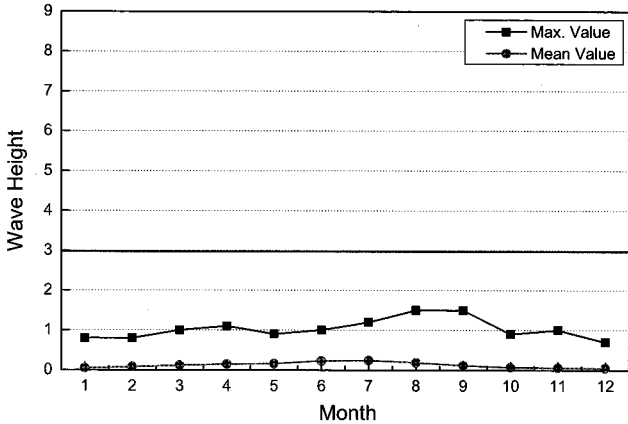


Fig. 9 Significant wave height with each month in Busan

3. 항해안전성 평가 방법

3.1 내항성능 평가요소

Table 1 Factors adopted for evaluating seakeeping performance

내항성능 평가요소	한계치	한계발생확률
갑판 해수침입	정수중 항주시의 수위상승을 고려한 선수 수선(F.P)의 유효건현(Lewis, 1980)	2/100
프로펠러 레이싱	정수 중 항주시의 상대 수위 상승을 고려하지 않은 상태에서 Propeller 반경의 1/3 노출(Nakamura and Hosoda, 1975)	1/10
슬래밍	S.S.17에서 선저노출과 동시에 파에 돌입할 때 선저의 파면에 대한 상대속도가 한계속도(Threshold velocity)를 초과하는 것(Ochi and Motter, 1973) 단, Threshold velocity= 0.09√gL	1/100
횡동요	선체중앙부 Weather side의 bulwark top으로 해수가 유입하는 것을 한계상태로 정수 중 흘수면에서 bulwark top까지의 높이(中村彰日, 1969)	1/1000
좌우 가속도	승객의 승선감을 고려하여 승객의 거주 구역에서의 0.2g를 한계치로 설정(ITTC, 1981)	1/1000
상하 가속도	승객의 승선감을 고려하여 승객의 거주 구역에서 0.4g를 한계치로 설정(ITTC, 1981; 정·이, 2008)	1/1000

불규칙한 해상을 항해하는 선박의 내항성능을 평가하기 위해서는 선체의 운동으로부터 발생하는 Table 1과 같은 현

상을 내항성능 평가요소로 하고 있다. 여기에서 각 내항성능 평가요소에 대한 한계치와 한계발생확률이 다르게 설정되었는데, 이는 각 요소에 대한 연구가 각기 따로 행해지고 각 요소에 대한 중요도를 달리 부여했기 때문이다.

선체운동 계산은 NSM(New Strip Method)을 이용하였고, 파랑중을 항해하는 선박에서 각각의 내항성능 평가요소는 주어진 한계치를 초과할 때 그 현상이 발생하고, 그 발생 확률이 주어진 한계발생확률을 초과할 때 선박은 파랑중에서 기능을 잃거나 아니면 위험하게 된다.

3.2 내항성능의 평가치와 위험도

선박의 내항성능 평가는 일반적으로 각 내항성능 평가요소가 그 한계치를 초과하는 발생 확률로부터 정의되는 평가치, 위험도 등을 적용한다.

1) 평가치

임의 내항성능 평가요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을 Q(X<sub>i</sub>)라고 하면, 임의 내항성능 평가요소의 평가치 E<sub>X<sub>i</sub></sub>는 다음과 같이 정의된다.

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

평가치 E<sub>X<sub>i</sub></sub>가 0이 되면 임의 요소(X<sub>i</sub>)의 신뢰도는 1이 되고, E<sub>X<sub>i</sub></sub>가 무한대가 되면 X<sub>i</sub> 요소의 신뢰도는 0이 된다.

2) 위험도

임의 X<sub>i</sub> 요소의 주어진 한계발생확률에 관한 한계 평가치를 E<sub>X<sub>ic</sub></sub>로 하고, 한계 평가치 E<sub>X<sub>ic</sub></sub>에 대한 평가치 E<sub>X<sub>i</sub></sub>의 비를 X<sub>i</sub> 요소의 위험도 μ<sub>X<sub>i</sub></sub>라 정의한다.

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[ \frac{X_i}{\sigma_{X_{ic}}} \right]}{\left[ \frac{X_i}{\sigma_{X_i}} \right]} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_{ic}}}$$

여기서, σ<sub>X<sub>ic</sub></sub>: X<sub>i</sub>가 위험하게 되는 한계표준편차

위험도 μ<sub>X<sub>i</sub></sub>는 파에 대한 만남각(χ), 선속(V) 및 해면 상태(S)에 따라 변화한다. 여기에서 μ<sub>X<sub>i</sub></sub> ≥ 1.0인 경우 X<sub>i</sub> 요소가 위험하고, μ<sub>X<sub>i</sub></sub> < 1.0인 경우는 안전하다는 것을 나타낸다.

3.3 내항성능지표에 의한 항해안전성 평가

내항성능지표는 기존의 내항성능 평가요소 중 한 개의 요소만을 계측하여 선박 전체의 항해안전성을 평가할 수 있는 지표이다. 따라서 선박 시스템 전체의 항해 안전성을 평가하기 위해서는 한계 평가치(E<sub>Tc</sub>)와 변환 평가치(E<sub>T</sub>)의 비를 내항성능지표 μ<sub>T</sub>로 정의하고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_T = \frac{\tilde{E}_T}{E_{T_c}} = \sqrt{\frac{\ln(1-P_T)}{\ln(1-\tilde{P}_T)}}$$

여기에서,  $\mu_T \geq 1.0$ 인 경우 선박시스템 전체는 위험하게 되고,  $\mu_T < 1.0$ 인 경우 안전한 것으로 평가할 수 있다.

또한, 이  $\mu_T$ 는 내항성능 평가요소 중 한 개의 요소라든 그 위험도가 1보다 클 경우,  $\mu_T$ 도 1보다 크게 되는 성질을 가지고 있다.

### 4. 선박의 항해안전성 평가

#### 4.1 수치계산의 조건

대상 선박은 우리나라 연안을 항행하고 있는 소형 여객선 중 총톤수(Gross Tonnage)를 기준으로 실제 선박과 동일한 운동특성을 가진 선박모델을 선정하여 내항성능을 평가하였다. 주요 모델선박에 대한 제원은 Table 2와 같다.

Table 2 Principal ship's particulars

Items	Type A	Type B	Type C
LBP (m)	47.00	38.40	28.00
BREADTH (m)	9.20	8.00	8.20
DEPTH (m)	2.30	2.35	2.05
DRAFT (m)	1.56	1.40	1.40
$C_b$	0.647	0.731	0.666
L/B	5.11	4.80	3.41
B/D	4.00	3.40	4.00
B/d	5.90	5.71	5.86
G/T (ton)	248	140	80
Displacement(ton)	448.2	327.8	224.9
KG at $\Delta$ (m)	2.842	2.66	2.49

항해안전성 평가는 2장에서 분석된 각 해역의 월별 유의파고의 평균치 및 최대치를 고려하여 내항성능지표를 이용하여 평가하였다. 각 해역의 유의파고 평균치는 1.0m 전후이며, 최대치의 경우 태풍 또는 폭풍으로 인하여 높게 측정되었다. 선속은 입출항 항내뿐만 아니라 전 항행구간에서의 내항성능 평가를 바탕으로 하기 때문에 대상선박 A, B, C의 최대속력을 이용하였으며, 선박과 파의 만남각은 선수파(Head sea, 180°)로부터 30°간격으로 선미추파(Following sea, 000°)까지 7개의 상태에 대하여 계산하였다.

#### 4.2 해상상태별 항해 안전성 평가

Fig. 10~Fig. 12에서 알 수 있듯이, 유의파고가 1.5m인 상태에서는 총톤수가 가장 작은 C선박의 경우 추파와 횡파에서 위험도가 1을 초과하여 위험한 것으로 평가되었으나, 대체적으로 위험도 1미만으로 안전함을 나타내고 있다. 그러나 유의파고가 2.0m이상으로 해상상태가 나빠짐에 따라 위험도가 1을 초과하는 것으로 평가되었다.

내해 구역은 지형적인 영향으로 인하여 해상상태가 1.5m이하로 잔잔한 경우가 많으나, 장시간 지속되는 계절풍의 영향을 받을 경우 외해와 인접한 부근에서는 파고가 2.0m이상 높아질 가능성도 크기 때문에 이러한 경우에는 항해에 주의가 요구된다.

현행 선박출항통제 기준에 따르면, 여객선의 경우 풍랑주의보(해상에서 풍속 14m/s이상 3시간이상 지속되거나 유의파고가 3m를 초과할 것으로 예상) 발효 시 평수구역 밖을 운항하는 내항여객선은 출항을 통제하고 있으며, “평수구역안에서 운항하는 내항여객선이라도 당해 항로의 실제 해상상태가 안전운항에 위험이 있다고 판단될 경우에는 운항을 통제할 수 있다.”고 규정한 것도 소형여객선의 경우 평수구역내에서 파고가 2.0m이상 예상되면 출항을 제한할 수 있음을 시사하고 있다.

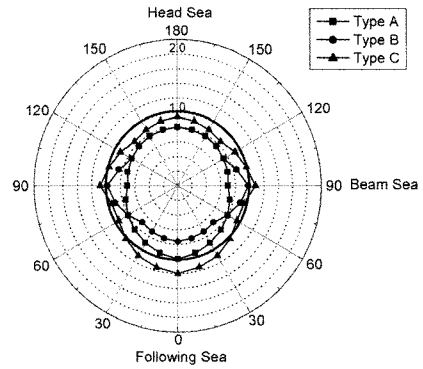


Fig. 10 Seakeeping index with different hull type ( $H_{1/3}=1.5m$ )

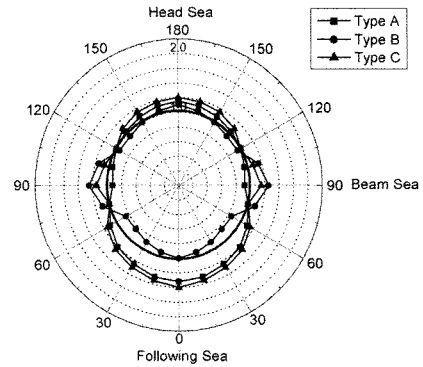


Fig. 11 Seakeeping index with different hull type ( $H_{1/3}=2.0m$ )

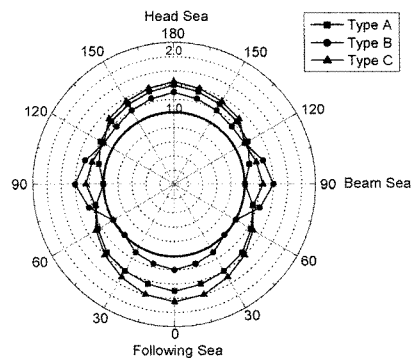


Fig. 12 Seakeeping index with different hull type ( $H_{1/3}=2.5m$ )

4.3 선형별 항해 안전성 평가

Type A와 C는 선수파 및 선미추파에서 위험도가 횡파에 비하여 높게 평가되었다. 이는 선수파에서 내항성능 평가 요소 중 상하가속도와 슬래밍이 높게 평가되었고, 선미추파에서는 낮은 건현으로 해수갑판침입이 많이 발생되어 위험도가 높게 평가되었다.

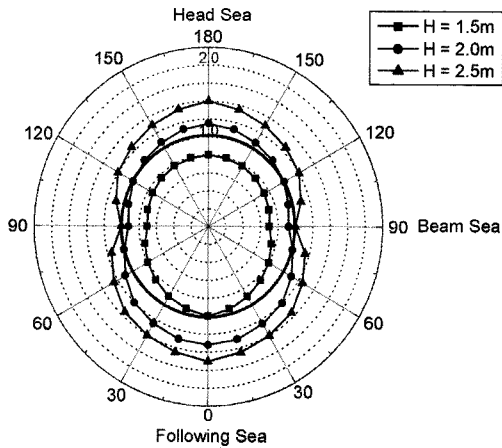


Fig. 13 Seakeeping index with wave height (Type A)

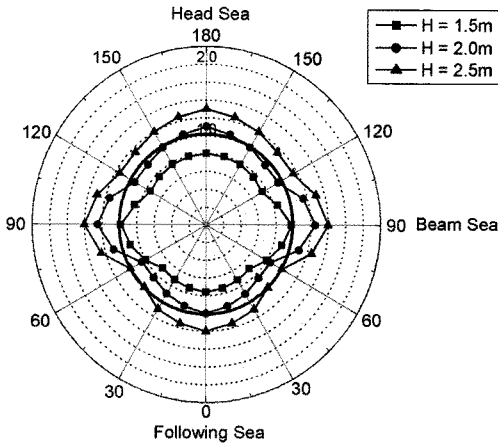


Fig. 14 Seakeeping index with wave height (Type B)

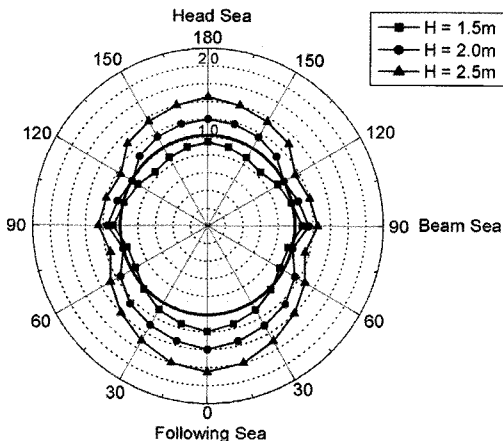


Fig. 15 Seakeeping index with wave height (Type C)

선미추파에서는 내항성능 평가요소의 위험도가 선수파 또는 횡파에 비하여 상대적으로 낮은 경우가 일반적이거나, 그림에서 보듯이 상대적으로 높게 평가되었다. 이는 소형 카페리선의 경우 낮은 건현과 파속에 비하여 낮은 선속, 그리고 파장이 선박의 길이와 비슷할 경우 선체운동 응답진폭치가 상당히 큰 값을 나타내고 있어 해수갑판침입이 문제가 될 것으로 판단되며, 이러한 소형선박의 경우 선미파 상태에서 더 위험해질 수 있음을 보여준다.

Type B는 횡파에서 상대적으로 위험도가 높게 평가되었다. 이는 Type B의 선형이 Type A와 C에 비하여 선폭이 상대적으로 작아 선박이 횡파를 받을 경우 횡동요 및 좌우가속도가 크게 발생하여 횡파부근에서 위험도가 높게 평가된 것으로 분석되었다. 따라서 해상의 파고가 2m 이상인 상황에서는 횡파를 받지 않도록 침로의 유지가 요구된다.

5. 결론

한국의 연안 해역을 항해하는 대표적인 선형의 여객선들을 대상으로 이들 선박이 취항하고 있는 해역의 기상을 바탕으로 내항성능지표를 이용하여 선박의 항해 안전성을 평가하였다. 이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 내해 부근은 전반적으로 유의파고 1.5m미만으로 대상 선박의 내항성능 평가 결과 안전한 것으로 평가되었다. 하지만, 외해와 인접한 부근에서는 파고가 2.0m이상 높아질 가능성도 크기 때문에 이러한 경우에는 항해에 주의가 요구된다.
- (2) 항해안전성 평가 결과를 바탕으로 보다 정량적이고 객관적인 여객선의 출항통제(운항관리)가 가능하게 되었다.
- (3) 여객선을 임의 항로에 투입하고자 할 때, 해당 항로에 투입할 선박의 항해안전성을 미리 평가하여 적합성 여부의 검토가 가능하게 되었다.

본 연구에서는 극히 제한적인 여객선형에 대해서만 평가하였으나, 추후 여객선 이외의 선형과 다양한 크기(톤수)에 대한 평가가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 기상청, “관측자료-기상연보”, (<http://kma.go.kr>)
- [2] 정창현, 이윤석(2008), “실습선 한바다호의 운항성능에 관한 연구(II)”, 한국항해항만학회지, 제32권 제5호, pp.333-339.
- [3] 한국해운조합(1997), “연안 여객선 안전운항 기준에 관한 연구”.
- [4] 한국해운조합(2005), “운항관리제도 및 출항통제기준 개선 방안 연구”.
- [5] 한국해운조합(2006), “연안여객선 항로평가”.
- [6] 한국해운조합(2008), “2008년도 연안여객선 업체 현황”.
- [7] 해상교통안전법 시행규칙 제2조(2008), “선박출항통제의 기준 및 절차”.
- [8] 해양수산부(2002), “선박항행구역의 합리적 조정 방안 연구”.

- [9] 中村彰日(1969), “耐航性の諸要素”, 第1回 耐航性に関するシンポジウム, 日本造船學會.
- [10] ITTC(1981), “Report of Seakeeping Committee”, Proceedings of ITTC.
- [11] Lewis, E. V.(1980), “The Status of Merchant Ship Seakeeping Reserch”, Proc.19th ATTC, Vol.1.
- [12] Nakamura, S and Hosoda, R.(1975) “A Method for Predicting the Power in a Seaway”, Proc.14th ITTC, Vol.4.
- [13] Ochi, M. K. and Motter, L. E.(1973) “Prediction of Slamming Characteristic and Hull Responses for Ship Design”, Trans. of SNAME, Vol.81.

---

원고접수일 : 2008년 9월 11일  
심사완료일 : 2008년 12월 23일  
원고채택일 : 2008년 12월 24일