

연안 여객선의 내항성능 위험도를 이용한 항해 안전성 평가에 관한 연구

김철승* · 정창현** · 김순갑*** · 공길영*** · 설동일*** · 이윤석**
*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, ** 한국해양대학교 해사산업연구소 연구원
***한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

Evaluation of the Ship's Navigational Safety Using Dangerousness on the Korean Coast

Chol-Seong Kim* · Chang-Hyu Jeong** · Soon-Kap Kim*** · Gil-Young Kong***
· Dong-Il Seo*** · Yun-Sok Lee**

*Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 503-729, Korea
Research Institute of Maritime Industry, Korea Maritime University, Pusan, 606-791, Korea
Division of Ship Operation Systems Engineering, Pusan, 606-791, Korea

요 약 : 한국 연안의 각 항로에 취항하고 있는 대표적인 선형의 여객선들을 대상으로, 각 선형별로 선체운동 계산, 내항성능을 분석하여 선박의 안전성을 평가하였다. 이를 위하여 선박의 안전운항과 가장 밀접한 관련을 갖는 바람과 파랑을 주요 해역별로 비교 분석하였다. 이러한 기상정보를 입력요소로 하여 주요해역을 항행하는 대표적인 선형의 여객선들에 대하여 수치 시뮬레이션을 실시하여 여객선의 항해 안전성을 평가하였다.

핵심용어 : 선체운동, 항해안전성, 내항성능, 기상정보

ABSTRACT : There are winds and waves in the sea, and they are changed frequently in accordance with the weather. By analyzing them which have the closest relation to the ship's safe voyage, evaluating the seakeeping performance and then taking a proper action, navigators should carry out safe navigation on the sea. A ship in seaways suffers continuous disturbances by irregular waves, and ship motions with irregular waves cannot be easily described as a system model which is adequate to a control system. But, in general, for seakeeping analysis, ship motions in irregular seas can be estimated by the superposition of the motion responses in regular wave components of the sea spectrum. After comparing and analyzing the winds and waves in major sea areas, this paper evaluates the navigational safety of ships on the Korean coast with potential dangerous seakeeping performance using the weather information provided by land. The conclusion is as follows:

- (1) It is possible that the safety of ships could be secured more accurately by evaluating the seakeeping performance of ships.
- (2) When the weather is bad, the departure of ships could be controlled by evaluating the navigational safety of ships.
- (3) When a ship is placed in commission in any area, this evaluation could be used to decide the type and size of ship in use.

KEY WORDS : Ship Motions, Navigational Safety, Seakeeping Performance, Weather Information

1. 서 론

1993년 우리나라 연안에서 발생한 서해훼리호의 사고는 귀중한 인명과 막대한 재산손실을 초래하였으며, 이를 계기로 기상 악화 시, 선박전복 가능성에 대한 연구와 실제 운항시의 내항성능 및 운항 안전성 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

해양경찰청에서는 우리나라 연안 해역에서의 기상 악화로 인

*작 회원, cskimu@mail.mmu.ac.kr, 061)240-7307

**정 회원, {eli-j, yunsok}@hhu.ac.kr, 051)410-4868

***정 회원, {soonkap, gykong, seol}@hhu.ac.kr, 051)410-4233

한 여객선 해양사고의 발생을 미연에 방지하기 위한 수단으로 해양경찰청 고시 제1999-53호인 「여객선안전관리지침」을 근거로 하여 여객선의 출항 통제 기준을 설정하여 운영하고 있다. 이 지침에는 기상 상태에 따른 여객선의 출항통제 기준이 명시되어 있으며, 이 기준에 따라 연안 및 국제항해 운항 여객선의 출항 가부를 결정하여 안전 운항 관리를 하고 있다.

그러나, 여객선 출항통제 기준이 보다 현실성 있는 새로운 기준으로 조정되어야 한다는 지적과 선박 항행구역의 합리적 조정을 위한 과학적인 연구 검토의 필요성이 제기되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 우리나라의 각 항로에 취항하고 있는 대표적인 여객선형에 대해 내항성을 계산하여 여객선의 항해 안전성을 평가하고자 한다.

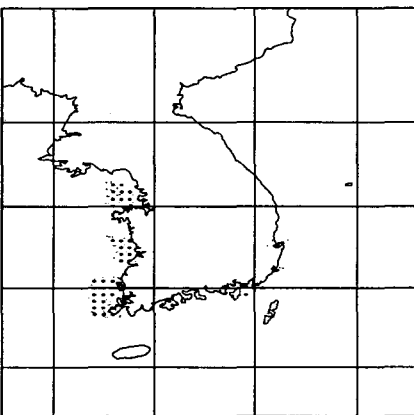
2. 한국 연안의 기상정보

이 장에서는 선박의 안전운항과 가장 밀접한 관련을 갖는 바람과 파랑을 주요 해역별로 비교·분석하였다. 여기서, 주요 해역은 연안 여객선의 운항이 빈번한 평수구역과 주변해역을 중심으로 하였으며, 그 중에서 북한지역을 제외한 8개의 평수구역(4구~11구)을 대상으로 하였다.

주로 사용되어진 기상자료 중, 바람의 경우는 5년간(1995-1999년)의 지상관측자료와 AWS (Automatic Weather Station: 자동기상관측소)자료이다. 파랑과 관련된 정보는 모델을 이용하여 산출한 10년간(1986-1995년)의 연안격자점자료와 20년간(1979-1998년)의 천해파랑자료이다.

바람과 관련한 지상관측자료와 AWS자료는 기상청, 파랑의 연안격자점자료와 천해파랑자료는 각각 해운항만청과 한국해양연구소 출처의 자료이다.

2.1 평수구역 제4구와 그 부근의 연해구역



<그림 1> 풍속 및 파고 관측 구역별 위치

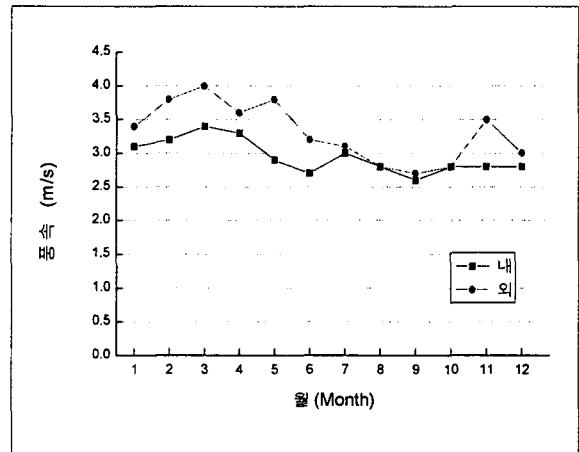
평수구역 제4구는 황해도 웅진군 독순항으로부터 경기도 웅진군 대연평도 북단, 강화군 주문도, 웅진군 서만도, 대무의도, 영흥도 및 풍도를 지나 충청남도 태안군 만대단에 이르는 선

안의 해역을 말한다.

2.1.1 바람

<그림 2>는 평수구역 제4구 내·외 관측지점의 평균풍속을 월별로 나타낸 것으로, 내·외 지점으로 구분하여 여러 지점 중 해당되는 달(Month)에서 가장 강한 평균풍속을 나타낸 것이다.

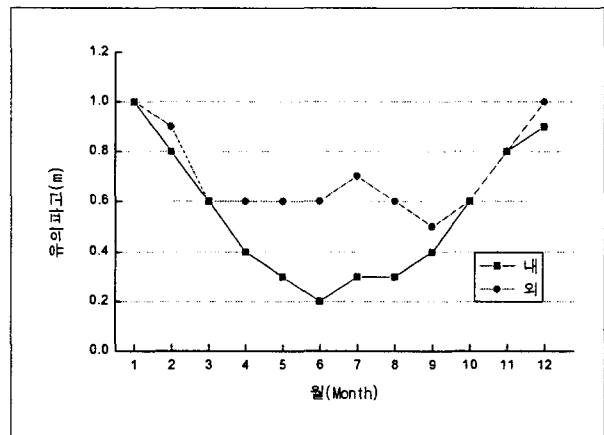
<그림 2>에서 보듯이 평수구역 제4구는 관측지점을 내·외로 구분해서 볼 때 외측에서 평균풍속이 강하다는 것을 알 수 있다.



<그림 2> 평수구역 제4구 관측지점의 평균풍속

2.1.2 파랑

<그림 3>은 평수구역 제4구 내·외 관측지점의 평균유의파고를 월별로 나타낸 것으로, 내·외 지점으로 구분하여 가장 높은 평균유의파고를 나타낸 것이다. 평수구역 제4구는 관측지점을 내·외로 구분해서 볼 때 외측에서 평균유의파고가 높고, 동절기에 북서계절풍의 영향으로 상대적으로 파고가 높다.



<그림 3> 평수구역 제4구 관측지점의 평균유의파고

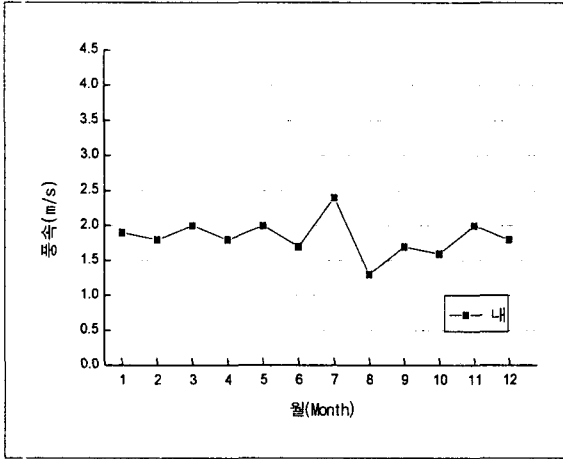
2.2 평수구역 제5구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제5구는 충청남도 보령시 장고도 서단으로부터 진

방위 351도로 그은 선 및 농도 남단에서 삼시도를 지나 갑암에 이르는 선 안의 해역을 말한다.

2.2. 바람

<그림 4>는 평수구역 제5구 내에 위치해 있는 보령 앞바다의 평균풍속을 나타낸 것이다. 계절별 평균풍속을 보면 봄 1.9m/s, 여름 2.0m/s, 가을 1.8m/s, 겨울 1.6m/s의 분포를 보여 뚜렷한 계절변화는 볼 수 없다.

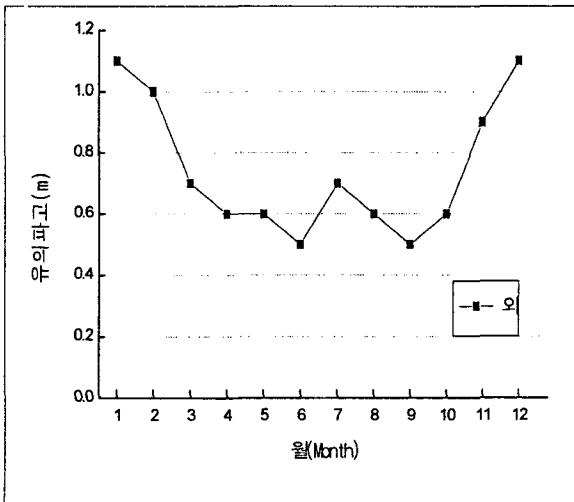


<그림 4> 평수구역 제5구 관측지점의 평균풍속

2.2.2 파랑

<그림 5>는 평수구역 제5구 지점의 평균유의파고를 나타낸 것이다.

평수구역 외에 위치하고 있는 관측지점의 봄철 평균유의파고는 0.5-0.7m, 여름철의 평균유의파고는 0.3-0.7m, 가을철의 평균유의파고는 0.6-0.7m, 겨울철의 평균유의파고는 0.9-1.1m 그리고 전기간의 평균유의파고는 0.6-0.8m의 분포를 보여 Beaufort Scale of Wind Force 3-4에 해당하는 상태로 통상의 평수구역보다 높은 파고의 분포를 보인다고 말할 수 있다.



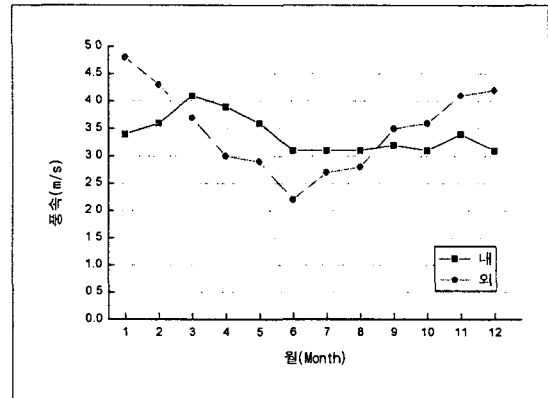
<그림 5> 평수구역 제5구 관측지점의 평균유의파고

2.3 평수구역 제6구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제6구는 충청남도 서천군 동백정갑으로부터 전라북도 군산시 비응도를 지나 부안군 수성단에 이르는 선 안의 해역을 말한다.

2.3.1 바람

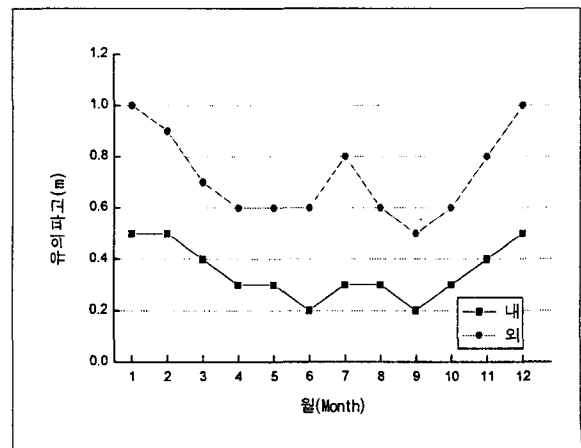
<그림 6>은 평수구역 제6구 내·외 관측지점의 평균풍속을 월별로 나타낸 것으로, 관측 지점중 해당되는 달(Month)에서 가장 강한 평균풍속을 나타낸 것이다.



<그림 6> 평수구역 제6구 관측지점의 평균풍속

2.3.2 파랑

<그림 7>을 보면, 평수구역 내·외에 위치해 있는 관측지점들의 봄철유의파고는 0.2-0.6m, 여름철의 평균유의파고는 0.3-0.9m, 가을철의 평균유의파고는 0.2-0.6m 그리고 겨울철의 평균유의파고는 0.3-1.0m이다. 계절별로 보았을 때 겨울이 높다. 전체로 보면 평수구역 안의 경우는 0.0-0.4m, 평수구역 밖의 경우는 0.4-0.7m의 분포를 보여 어느 정도의 차이를 보인다. 평수구역 내의 파고는 Beaufort Scale of Wind Force 2-3에 해당되며, 평수구역 외의 파고는 Beaufort Scale of Wind Force 3-4에 해당된다.



<그림 7> 평수구역 제6구 관측지점의 평균유의파고

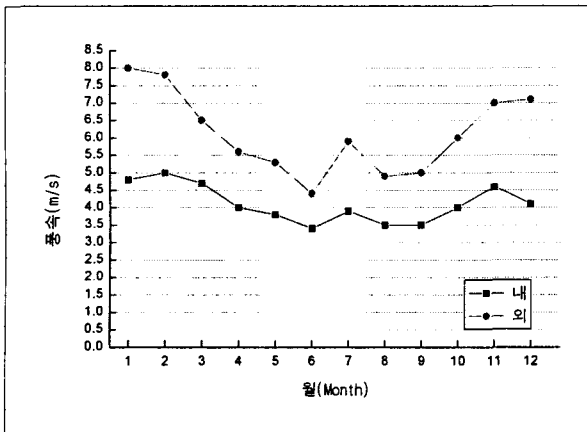
2.4 평수구역 제7구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제7구는 전라남도 영광군 불갑천구로부터 신안군 재원도, 자은도, 비금도, 신도 및 하태도를 지나 진도군 진도 소포강구에 이르는 선과 진도 동단으로부터 진방위 071도로 그은 선 안의 해역을 말한다.

2.4.1 바람

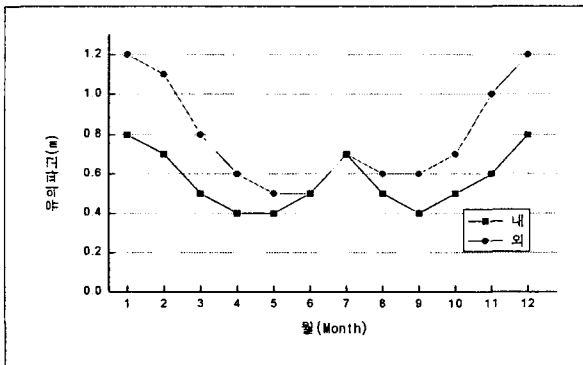
<그림 8>은 평수구역 제7구 내·외 관측지점의 평균풍속을 월별로 나타낸 것이다.

목포에서는 9월부터 이듬해 4월까지 북풍계열, 5월부터 8월까지 남풍계열이 탁월하게 나타나고 있다. 즉, 겨울철에는 북서-북풍, 여름철에는 남동-남서풍이 주를 이룬다. 흑산도의 풍계는 지리적 위치에 따라 남풍과 북풍의 탁월성이 뚜렷하게 나타나고 있다. 8월부터 이듬해 4월까지 북풍계열이, 5월부터 8월까지 남풍계열이 탁월하며, 서풍이나 동풍은 그 빈도가 아주 적게 나타난다.



<그림 8> 평수구역 제7구 관측지점의 평균풍속

2.4.2 파랑



<그림 9> 평수구역 제7구 관측지점의 평균유의파고

<그림 9>는 평수구역 내·외에 위치해 있는 관측지점들의 계절별 평균유의파고로 봄 0.2-0.4m, 여름 0.2-0.5m, 가을 0.2-0.4m 그리고 겨울의 경우 0.3-0.9m로 평수구역 안에 위치해

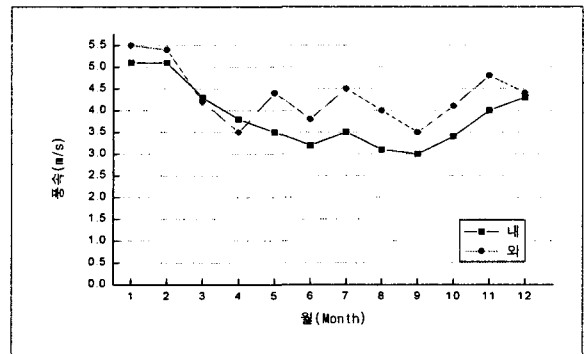
있는 지점들의 평균유의파고와 거의 비슷한 분포를 나타낸다. 평수구역 외의 진도 남쪽에 위치한 지점과 하조도 부근의 여러 섬들 사이에 위치하는 지점의 평균유의파고도 여름철의 0.2m에서 겨울철의 0.6m까지의 분포를 보여 평수구역 내에 있는 지점들의 평균유의파고와 거의 비슷한 분포를 나타낸다. 파고 0.6m는 Beaufort Scale of Wind Force 3에 해당되는 수치이다.

2.5 평수구역 제8구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제8구는 전라남도 해남군 해남각으로부터 완도군 흑일도, 생일도, 평일도 및 고흥군 거금도를 지나 망지각에 이르는 선안의 해역을 말한다.

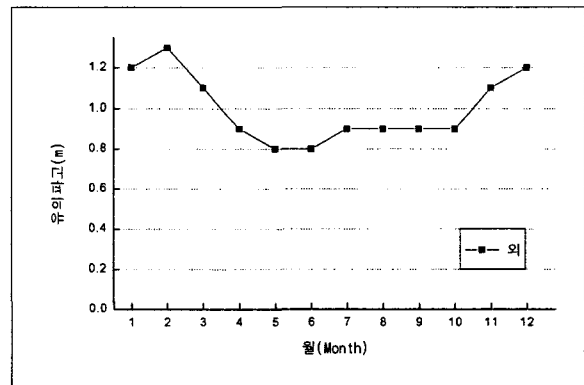
2.5.1 바람

<그림 10>은 평수구역 제8구 내·외에 위치한 관측 지점의 계절별 평균풍속을 나타낸 것이다. 봄 2.8-3.8m/s, 여름 2.2-3.9m/s, 가을 2.4-4.2m/s 그리고 겨울 2.9-5.0m/s의 분포를 보여 Beaufort Scale of Wind Force 3에 해당하는 경우로 그리 강한 풍속이라고 말할 수 없다. 평수구역 내·외를 비교해 보면 평균풍속은 그다지 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.



<그림 10> 평수구역 제8구 관측지점의 평균풍속

2.5.2 파랑



<그림 11> 평수구역 제8구 관측지점의 평균유의파고

<그림 11>은 우리나라 주요 연안격자점 중 남해에 위치해 있는 연안격자점에 있어서의 평균유의파고를 나타낸 것으로, 평수구

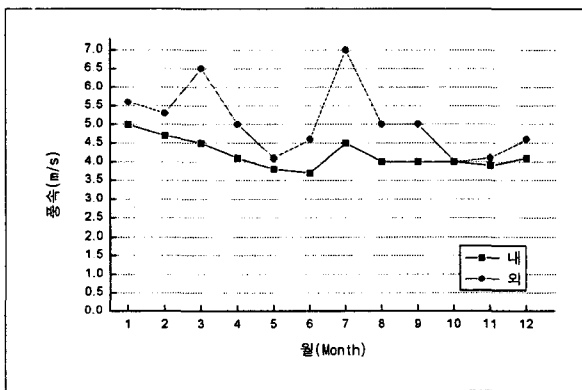
역 제8구 부근에 위치해 있는 지점으로 평수구역 외의 자개도 근처이다. 그림에서 알 수 있듯이, 봄철 평균유의파고는 1.0m, 여름 0.9m, 가을 1.0m, 겨울 1.3m 그리고 전기간 1.1m로 Beaufort Scale of Wind Force 4 이상에 상당하는 해상상태이다.

2.6 평수구역 제9구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제9구는 전라남도 고흥군 외나로도 서단으로부터 지방도 033도로 그은 선, 외나로도 동부 북단으로부터 여천군 스황간도를 지나 돌산도 남단에 이르는 선, 돌산도 대단으로부터 경상남도 남해군 서남 돌출부 서단에 이르는 선, 남해도 장량말로부터 통영시 하도, 추도 및 비진도를 지나 거제시 망산각에 이르는 선, 동시 열천단으로부터 부산광역시 가덕도 천수대말에 이르는 선과 가덕도 웅봉산으로부터 서도 및 영도를 지나 승두말에 이르는 선 안의 해역을 말한다.

2.6.1 바람

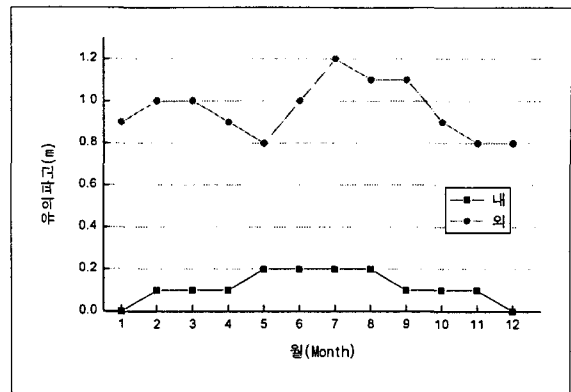
<그림 12>는 평수구역 제9구 내에 위치해 있는 지상관측지점과 AWS에서 관측한 바람의 계절별 평균풍속을 나타낸 것이다. 봄 1.7-4.1m/s, 여름 1.5-4.0m/s, 가을 1.4-4.0m/s 그리고 겨울철의 평균풍속은 1.8-4.6m/s의 분포를 나타낸다. 이들 값은 Beaufort Scale of Wind Force 2-3에 해당하는 것으로 평수구역의 전형이라고 말할 수 있다. 평수구역 제9구 외에 위치한 AWS에서 관측한 바람의 계절별 평균풍속은 봄 2.7-5.2m/s, 여름 2.3-4.8m/s, 가을 2.5-4.2m/s 그리고 겨울철의 평균풍속은 2.5-5.0m/s의 분포를 보여, Beaufort Scale of Wind Force 2-3에 해당된다.



<그림 12> 평수구역 제9구 관측지점의 평균풍속

2.6.2 파랑

<그림 13>은 평수구역 내·외에 위치한 지점들의 평균유의파고로서, 내는 최고 0.2m의 낮은 분포를 보이나, 평수구역 외에 위치한 지점들의 계절별 평균유의파고는 봄 0.6-0.9m, 여름 0.8-1.1m, 가을 0.5-0.9m, 겨울 0.5-0.9m의 높은 분포를 나타낸다. 전기간의 평균유의파고는 0.6-1.0m의 분포를 보이는데, 이



<그림 13> 평수구역 제9구 관측지점 평균유의파고

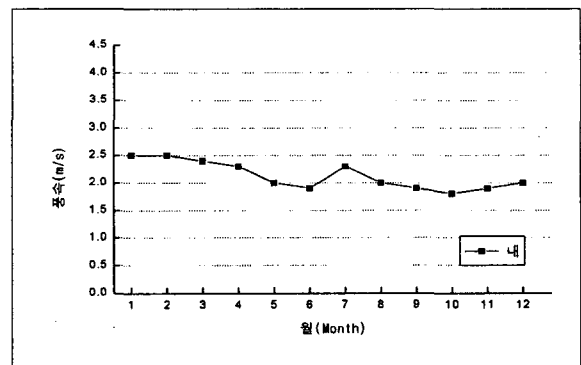
값은 Beaufort Scale of Wind Force 4에 해당하는 상태를 말한다.

2.7 평수구역 제10구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제10구는 울산광역시 조준말로부터 슬도에 이르는 선 안의 해역을 말한다.

2.7.1 바람

<그림 14>는 평수구역 제10구 내에 위치하는 울산 지방에 있어서의 계절별, 월별 평균풍속을 나타낸 것이다. 평균풍속은 1.9-2.3m/s로 Beaufort Scale of Wind Force 2이하에 해당하는 것으로 평수구역 내의 전형적인 값이라고 할 수 있다.

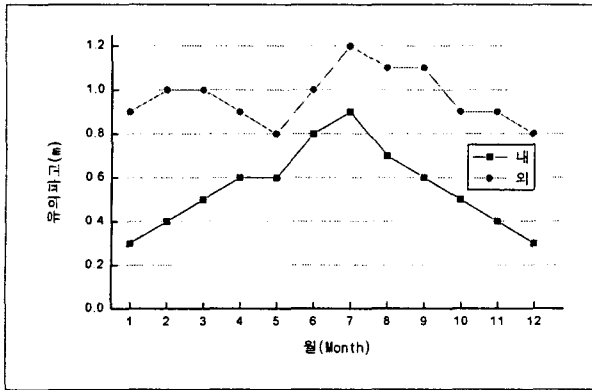


<그림 14> 평수구역 제10구 관측지점 평균풍속

2.7.2 파랑

<그림 15>는 우리나라 동해에 위치해 있는 연안 관측지점에 있어서의 계절별 평균유의파고를 나타낸 것으로, 평수구역 제10구 부근에 위치해 있는 지점으로 상대적으로 먼바다에 위치한다.

두 지점의 봄철 평균유의파고는 1.0m, 여름철은 1.1-1.2m, 가을철은 1.1m, 겨울철은 1.0-1.1m 그리고 전기간에 걸쳐서는 1.1m의 평균유의파고를 보인다. 이 값은 Beaufort Scale of Wind Force 4를 초과하는 해상상태이다.



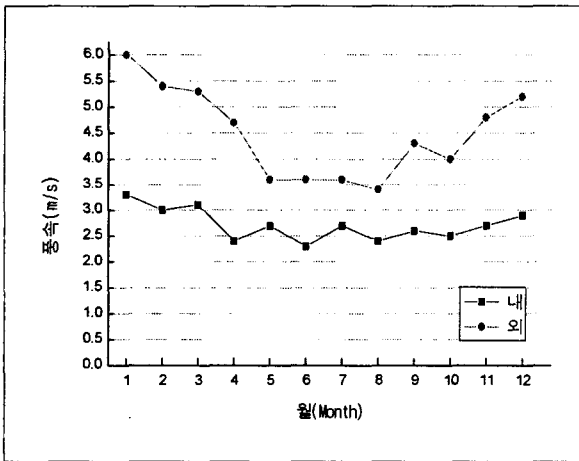
<그림 15> 평수구역 제10구 관측지점 평균유의파고

2.8 평수구역 제11구와 그 부근의 연해구역

평수구역 제11구는 경상북도 포항시 슬미로부터 여남갑에 이르는 선 안의 해역을 말한다.

2.8.1 바람

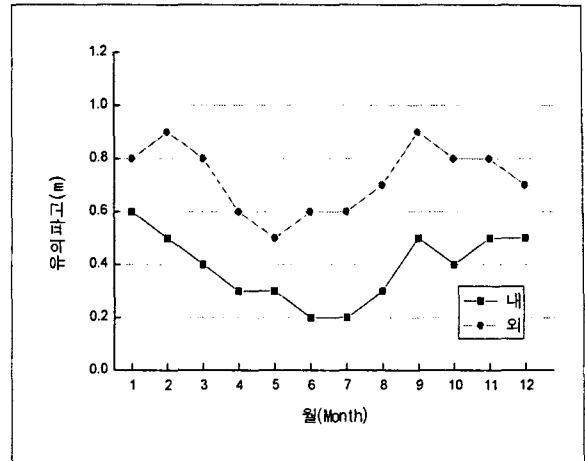
<그림 16>은 평수구역 제11구 내·외에 위치한 포항과 장기곳의 계절별 평균풍속으로, 포항은 2.5-3.0m/s로 Beaufort Scale of Wind Force 2이하의 평균풍속을 나타내고, 장기곳은 3.5-5.6m/s로 Beaufort Scale of Wind Force 3의 평균풍속을 나타낸다.



<그림 16> 평수구역 제11구 관측지점 평균풍속

2.8.2 파랑

<그림 17>에 나타난 바와 같이, 평수구역 제11구 내의 계절별 평균유의파고는 0.3-0.5m의 분포를 보여 Beaufort Scale of Wind Force 3이하의 그리 높지 않은 파고임을 알 수 있다. 평수구역 외 관측지점에 있어서의 평균유의파고는 0.5-0.7m의 분포를 보여 평수구역 내 보다 높은 분포를 나타낸다. 평수구역 외의 경우도 평수구역 내의 지점에서의 월변화 및 계절변화와 거의 같은 경향을 보여, 가을과 겨울에 높은 파고를 보이고, 봄과 여름에 낮은 파고를 나타낸다.



<그림 17> 평수구역 제11구 관측지점의 평균유의파고

3. 항해 안전성 평가 방법

3.1 내항성능 평가요소

<표 1> 내항성능 평가요소의 한계치 및 한계발생확률

내항성능 평가요소	한계치	한계발생확률
갑판 해수침입	선체 자체의 안전과 관련이 있는 평가요소로, 모형실험결과에 의해 해석된 정수중 항주시의 수위상승을 고려한 F.P.의 유효전현	5/100
슬래밍	선저노출과 동시에, 파에 돌입할 때 선저의 파면에 대한 상대속도가 한계속도를 초과하는 것이며, 이에 따른 선체의 진동현상을 가리키며 선체자체의 안전에 직접 관련되어 있다. 단, Threshold velocity = $0.09\sqrt{gL}$	5/100
횡동요	횡운동에 대한 평가기준 값은 승선감과 선체의 안전면에서 결정된다. 여객 페리의 경우 차량고박장치가 횡요각 20°로 한계치가 되어 있고, 또 여객 및 선체의 안전면에서 선체중양부 Weather side bulwark으로 해수가 유입하는 것을 병행하여 기준으로 채택했다.	10^{-3}
좌우 가속도	Human Factor를 이용하여 작업의 정도에 따른 능률 감소에 그 한계치를 두고 있다. 여기에서는 E. V. Lewis가 설정한 0.4g를 한계치로 한다.	1/25
상하 가속도	G. Aertssen은 선박의 길이에 따라 그 한계치를 달리하고 있고, 여객 페리의 경우 그 길이가 작아 0.7g를 한계치로 한다.	10^{-3}

불규칙한 해상을 항행하는 선박의 인명, 선체, 화물의 안전을 고려하여 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가하기

위험, 선체의 운동으로부터 발생하는 다음과 같은 현상을 내항성능 평가요소로 하고 있다.

- (가) 갑판 해수침입 (Deck wetness)
- (나) 슬래밍 (Slamming)
- (다) 횡동요 (Rolling)
- (라) 상하 가속도 (Vertical Acceleration)
- (마) 좌우 가속도 (Lateral Acceleration)

파랑중을 항해하는 선박에서 그 내항성능 평가요소는 주어진 한계치를 초과할 때 그 현상이 발생하고, 그 발생 확률이 주어진 한계발생확률을 초과할 때 선박은 파랑중에서 기능을 잃거나 아니면 위험하게 된다. 이와 같은 각 내항성능 평가요소의 시스템적 결합은 직렬 결합(serial combination) 구조로서, 한가지 요소만이라도 발생확률이 한계발생확률을 초과할 경우 선박은 전체 내항성능을 잃어 위험한 상태에 도달하게 된다. 여러 학자들에 의해 제안된 기존 내항성능 평가요소에 대한 한계치와 그 한계발생확률은 <표 1>과 같다.

3.2 내항성능의 평가치와 위험도

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

3.2.1 평가치

임의 내항성능 평가요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을 $Q(X_i)$ 라고 하면, 임의 내항성능 평가요소의 평가치 E_{X_i} 는 다음과 같이 정의된다.

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

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

3.2.2 위험도

임의 X_i 요소의 주어진 한계발생확률에 관한 한계 평가치를 $E_{X_{ic}}$ 로 하고, 한계 평가치 $E_{X_{ic}}$ 에 대한 평가치 E_{X_i} 의 비를 X_i 요소의 위험도 μ_{X_i} 라 정의한다.

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[\frac{X_i}{\sigma_{X_{ic}}} \right]}{\left[\frac{X_i}{\sigma_{X_i}} \right]} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_{ic}}} \quad (2)$$

단, $\sigma_{X_{ic}}$: X_i 가 위험하게 되는 한계표준편차

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

3.3.3 최대 위험도와 상대 위험도

내항성능 평가요소의 위험도 μ_{X_i} 에서 최대치를 최대 위험도 μ_m 이라 정의한다.

$$\mu_m(x, V, S) = \text{Maximum}[\mu_i(x, V, S)] \quad (3)$$

이 μ_m 은 어떤 상황하에서 μ_{X_i} 의 최고치인 값으로서, 그 값은 각 요소에 대한 상대치로 비교되는 값이다.

또한 임의 X_i, X_j 요소의 위험도가 μ_i, μ_j 인 경우, X_i 요소를 기준으로 하여 나타낸 X_j 요소의 위험도의 비를 X_i 요소에 대한 X_j 요소의 상대 위험도 μ_{ij} 라 정의한다.

$$\mu_{ij} = \frac{\mu_i}{\mu_j} = \frac{\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}}{\alpha_{ij} \left[\frac{X_i}{\sigma_j} \right]} = \frac{\sigma_{X_j}}{\sigma_{X_i}} \cdot \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_j}'} \quad (4)$$

$$\text{단, } \alpha_{ij} = \frac{E_{X_j}}{E_{X_i}} = \frac{\left[\frac{X_{jc}}{\sigma_{X_j}} \right]}{\left[\frac{X_{ic}}{\sigma_{X_i}} \right]}$$

여기에서 $\mu_{ij} > 1.0$ 인 경우는 X_i 요소에 비해 X_j 요소가 더 위험하고, $\mu_{ij} < 1.0$ 인 경우는 그 반대의 의미를 갖는다.

이러한 상대 위험도 μ_{ij} 를 계산함으로써 기준 요소인 X_i 요소와 임의의 X_j 요소는 상대적으로 동등하게 성능을 평가할 수 있게 된다. 그것은 X_j 요소의 한계치를 $\alpha_{ij} \cdot \mu_{ij}$ 배한 값이 X_j 요소의 겉보기 한계치(X_{jc})로 되기 때문에 기준으로 한 X_i 요소으로써 임의의 X_j 요소의 상태를 평가할 수 있다.

4. 연안 여객선의 항해 안전성 평가

4.1 수치계산의 조건

본 연구에서는 주요해역을 항행하는 선박 중 총톤수(Gross

Tonnage)를 기준으로 실제 선박과 동일한 운동특성 및 시각적 특성을 가지는 선박모델을 선정하여 시뮬레이션을 행하였다. 주요 모델 선박의 세부 명세는 <표 2>와 같다.

주요 모델 선박에 대한 항해 안전성 평가는 해양경찰청 고시 「여객선안전관리지침」 제15조 여객선출항통계를 기준으로 주요해역의 기상을 바탕으로 내항성능 평가요소의 위험도를 이용하여 실시하였다.

수치계산에 사용된 기상정보는 제2장에 제시되어 있는 해역별 평균유의파고 중 최대 값을 이용해 보다 엄밀하게 행하였다.

선속은 해당선의 최대 속력을 이용하였으며, 선박과 파의 만남각은 선수 정향파로부터 30°간격으로 선미추파까지 7개의 상태에 대해서 계산을 행하였다.

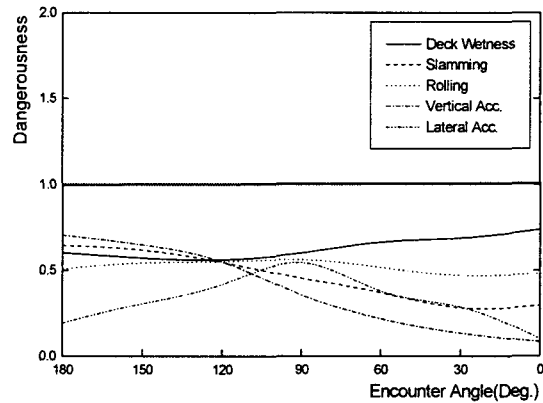
<표 2> Principal ship's particulars

Items	Type A	Type B	Type C	Type D	
	여객훼리	여객훼리	여객훼리	여객훼리	
LBP(M)	47.00	38.40	28.00	43.00	
Breath(M)	9.20	8.00	8.20	8.80	
Depth (M)	2.30	2.35	2.05	2.75	
Draft(M)	1.56	1.40	1.40	1.50	
Cb	0.647	0.731	0.666	0.667	
L/B	5.11	4.80	3.41	4.89	
B/D	4.00	3.40	4.00	3.20	
B/d	5.90	5.71	5.86	5.87	
건 현	지정값	760	970	660	1260
	최소 건현	590	476	388	463
	최소선 수높이	2397	1873	1462	2216
G/T	248	140	80	280	
Lightweight	285.2	223.8	153.1	312.5	
KG at L/S (M)	2.085	2.369	2.153	3.256	
Displacement	448.2	327.8	224.9	393.3	
KG at Δ (M)	2.842	2.66	2.49	3.39	

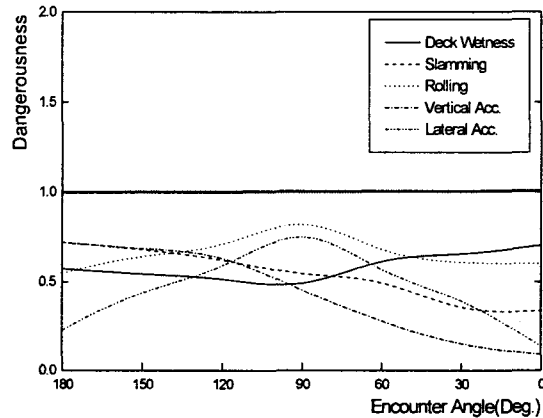
4.2 유의파고 1.1m시 항해안전성 평가

<그림 18>~<그림 21>는 겨울철 평균유의파고가 1.1m로 Beaufort Scale of Wind Force 4 이상에 해당하는 해상상태에서 항해하는 연안 여객선의 항해안전성을 평가한 것이다. 그림

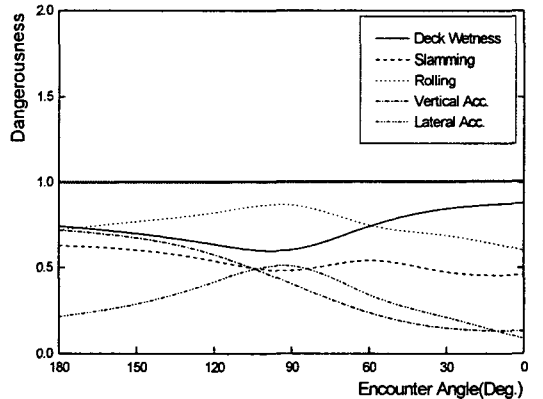
에서 알 수 있는 바와 같이 모든 만남각에 대하여 위험도가 1보다 작아 안전하게 평가되었다. 선수와 부근에서는 상하가속도와 슬래밍이, 횡파 부근에서는 횡동요와 좌우가속도가 다른 내항성능 평가요소에 비하여 위험도가 상대적으로 높게 평가되었다. 특히, Type B 선박과 Type C 선박은 횡파 부근에서 횡동요가 위험도 1에 가까움을 알 수 있다.



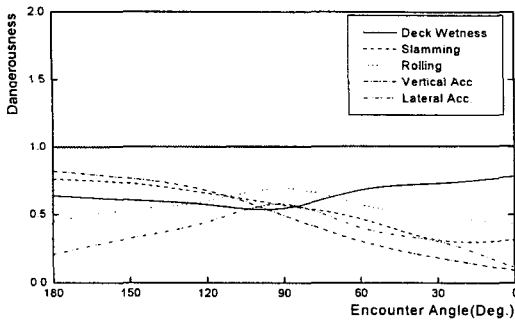
<그림 18> 항해 안전도 평가 (Type A, H_{1/3}=1.1m)



<그림 19> 항해 안전도 평가 (Type B, H_{1/3}=1.1m)



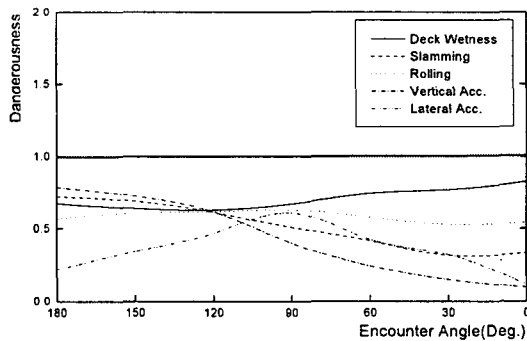
<그림 20> 항해 안전도 평가 (Type C, H_{1/3}=1.1m)



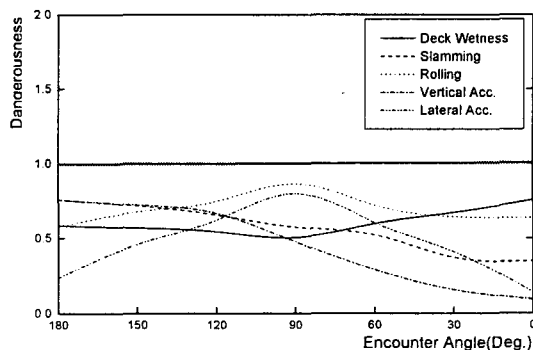
<그림 21> 항해 안전도 평가 (Type D, $H_{1/3}=1.1m$)

4.3 유의파고 1.3m 항해안전성 평가

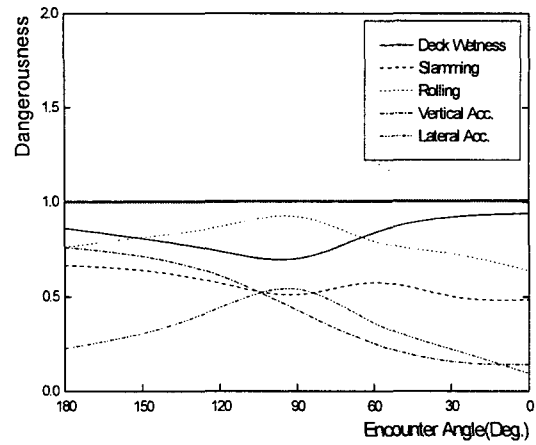
<그림 22>~<그림 25>는 겨울철 평균유의파고가 1.3m로 Beaufort Scale of Wind Force 4 이상에 해당하는 해상상태에서 항해하는 연안 여객선의 항해안전성을 평가한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 모듬 만남각에 대하여 위험도가 1보다 작아 안전하게 평가되었다. 선수와 부근에서는 상하가속도와 슬래밍이, 횡과 부근에서는 횡동요와 좌우가속도가 다른 내항성능 평가요소에 비하여 위험도가 상대적으로 높게 평가되었으며, 특히 Type C 선박은 위험도가 거의 1에 가까워 위험함을 알 수 있다.



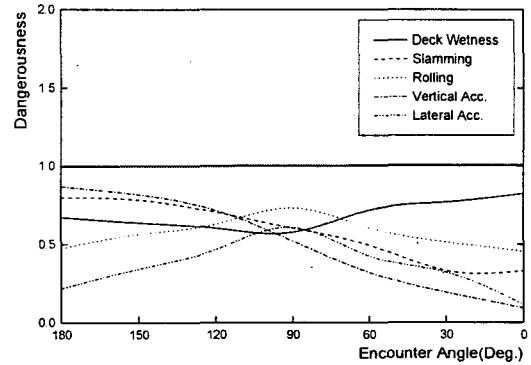
<그림 22> 항해 안전도 평가 (Type A, $H_{1/3}=1.3m$)



<그림 23> 항해 안전도 평가 (Type B, $H_{1/3}=1.3m$)



<그림 24> 항해 안전도 평가 (Type C, $H_{1/3}=1.3m$)



<그림 25> 항해 안전도 평가 (Type D, $H_{1/3}=1.3m$)

5. 결 론

한국의 연안 해역을 항해하는 대표적인 선형의 여객선들을 대상으로, 이들 선박이 취항하고 있는 해역의 기상 데이터를 수집하여, 개개의 내항성능 평가요소들의 위험도를 이용하여 선박 전체의 항해 안전성을 평가하였다.

이상의 연구 결과를 종합하여 요약하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 대상 해역별 항해 안전성 평가 결과를 바탕으로 보다 현실성 있는 여객선의 운항관리가 가능하게 되었다.

(2) 기상 악화시, 해당 선박에 대하여 그 당시의 기상을 실시간으로 입력하여 내항성능 및 운항 안전성을 평가한 후, 출항 여부를 결정함으로써, 보다 합리적이고 정량적인 선박의 출항 통제가 가능하게 되었다.

(3) 어떠한 여객선을 임의 항로에 투입하고자 할 때, 해당 항로에 투입할 선박의 운항특성을 파악하는데 본 연구를 바탕으로 시뮬레이션 할 수 있으며, 또한 선박의 기초설계에도 그 운항특성 결과를 적용할 수 있다.

본 연구는 내항성능 평가요소들의 개개의 위험도를 이용하여 평가하였으나, 한 개의 평가요소만을 계측하여 선박 전체의 안전성을 평가할 수 있는 내항성능지표에 관한 연구가 계속 되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 기상청, 기상연보, 1995-1999
- [2] 기상청, 자동 기상 관측 연보, 1995-1999
- [3] 해운항만청, 장기 파랑 산출 자료집, 1996
- [4] 김순갑, “선박의 파랑중 내항성능 평가에 관한 연구”, 한국항해학회지, 제11권, 제1호, pp. 67-91, 1987
- [5] 김순갑 · 이상민 · 이충로, “실시간 기상정보를 이용한 선박의 종합내항성능 평가에 관한 연구”, 한국항해학회지, 제22권, 제2호, pp.23-32, 1998
- [6] 김순갑 · 공길영, “선박의 항해중 종합내항성능지표에 관한 연구”, 한국항해학회지, 제21권, 제2호, pp.1-9, 1997
- [7] Gil-Young Kong · Soon-Kap Kim · Chung-Ro Lee, “Development of an Information Service System for Navigational Safety of Seagoing Vessels”, LNCS 2404, pp.273-284, 2002

원고접수일 : 2003년 4월 19일

원고채택일 : 2003년 6월 20일