

## 운항 안전 및 효율성 향상을 위한 최적 항로 평가 시스템 기본 연구

이진호<sup>†\*</sup>, 최경순\*, 박건일\*, 김문성\*, 방창선\*

삼성중공업 조선해양연구소\*

### Basic Research of Optimum Routing Assessment System for Safe and Efficient Voyage

Jin Ho Lee<sup>†\*</sup>, Kyong Soon Choi\*, Gun Il Park\*, Mun Sung Kim\* and Chang Seon Bang\*

Marine Research Institute, Samsung Heavy Industry\*

#### Abstract

This paper introduces basic research of optimum routing assessment system as voyage support purpose which can obtain safe and efficient route. In view point of safety, the prediction of ship motion should be evaluated in the condition of rough weather. This part includes general seakeeping estimation based on 3 dimensional panel method and parametric roll prediction. For increasing voyage efficiency, ETA(Estimated Time of Arrival) and fuel consumption should be calculated considering speed reduction and power increase due to wave effects based on added resistance calculation and ship performance characteristics. Basically, the weather forecast is assumed to be prepared previously to operate this system. The idea of these factors in this system will be helpful to escape from dangerous voyage situation by wave conditions and to make optimum route planning based on ETA and fuel consumption.

※Key words: Optimum Routing Assessment(최적 항로 평가), Parametric Roll(과도 횡요), ETA(도착예정시간), Speed Reduction(선속저하), Added Resistance(부가 저항), Marine Weather Forecast(해양 기상 예보)

#### 1. 서론

대양을 항해하는 선박의 경우에 있어서, 거친

파도 등의 외란은 자선, 인명 및 환경에 큰 피해를 줄 수 있다. 이러한 상황의 회피 방법으로 예전부터 항해사의 이론 및 경험적 판단에 근거하여 선속 조절 및 침로를 변경하여 안전 항해를 유도하였다. 이러한 판단은 주관적인 요소가 우선하기 때문에 Human Error에 의한 오류를 범할 수도 있다.

접수일: 2004년 4월 28일, 승인일: 2004년 10월 12일

†주저자, E-mail: jh1225.lee@samsung.com

Tel: 055-630-5354

본 논문에서는 항해사의 운항 보조 시스템으로서 객관적이고 디지털화된 접근 방법의 최적 항로 평가 시스템의 기본 개념 및 현재 진행중인 내용을 소개하며, 실선 적용에 따른 내용은 향후 과제로 남긴다. 본 시스템의 역할은 Onboard에 탑재하여 항해사의 항해 판단을 객관화하여서 파랑에 의해 야기될 수 있는 운항 선박의 운동 안전성 및 효율성을 높이는 데 있다(Chen and Cardone 1998). 안전성 관점에서는 3D 판별법을 이용하여(전호환 등 1998, Kim and Ha 2002)자선의 운동 특성의 포텐셜 값을 DB화해서 제반 내항 성능 계산에 의한 운항 선박의 Monitoring 기능을 확보하며, 또한 대파고하에서 문제시되는 과도 횡요 현상(Parametric Roll)의 발생 유무도 수치 계산을 통해 판단할 수 있도록 하였다. 운항 효율성 관점에서의 접근 방법은 운항 시간 및 연료 소모량을 정량적으로 계산하였으며, 향후 최적 항로 탐색 기법에 활용될 계획이다. 이러한 파라미터는 파랑 중 자선의 운동에 의한 선속 저하량과 마력 증가량의 영향을 받으며, 부가 저항의 계산 및 자선의 저항, 저항 특성을 이용해서 추정할 수 있다.

2. 최적 항로 평가 시스템 구성도

최적 항로 평가 시스템의 개념은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 운항 선박의 내항 Monitoring과 운항 효율 향상을 위한 최적 항로 계획으로 나눌 수 있다.

그림에서 보는 바와 같이 운항 선박내에 본 시스템을 탑재하여 항해사의 항해 판단 보조 시스템으로서 그 기능을 수행하도록 하며, 기본적으로 해양 기상 예보 정보는 위성통신시스템을 이용한

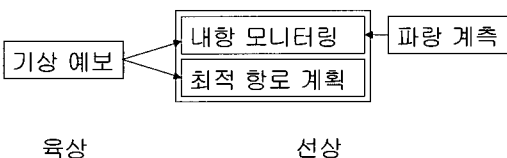


Fig. 1 Configuration of optimum route assesment system

다. 현재 대다수 선박에서는 Inmarsat라는 위성 통신장치를 보유하고 있으며 육상의 기상회사가 천기도, 파랑도, 기압도, 등압선도, 표층 기상도 등의 기상 예보 데이터를 기지국에 송부하면 선박에서는 시간대별로 접촉하여 Inmarsat-B와 연동된 e-mail 서버를 통해 수신된 관련 기상 압축 파일을 LAN 케이블로 본 시스템 내에 전송 받을 계획이다. 압축 데이터 포맷방식은 기상정보의 유형에 따라 다르며 기상업체별로 상이하다. 본 시스템에서 운용하는 압축 파일은 날짜화형식의 바이너리 파일로 구성할 계획이다. 본 최적 항로 평가 시스템의 경우에도 해양 기상 예보 전송 방식에 있어서 이러한 디지털 전송 방식을 통해 시스템을 구현시켜서 효율성을 높일 계획이다.

내항 모니터링의 경우 운항 중에 실시간으로 파랑 정보를 획득해서 선박의 운동 안전성을 평가할 수 있도록 한다. 파랑 정보 획득 방법으로는 현재는 항해사가 직접 목측(Observation)한 데이터를 입력하는 방법을 사용하고 있으며, 향후, 최근 활발히 연구되고 있는 레이더를 통한 파랑 예측 시스템을 활용할 예정이다. 최적 항로 계획에 있어서는 선박의 안전성과 더불어 운항의 경제적인 측면을 고려해야 할 것이다. 그 평가 척도로서는 출발지로부터 목적지까지의 운항 시간 및 연료 소모량을 최적화 할 수 있는 항로를 탐색하는 것이다.

본 시스템에서는 이러한 파라미터를 정량적으로 추정하기 위해서 파랑중에서의 선속 저하 및 마력 증가 계산법(5절)을 도입한다.

3. 파랑 정보

본 시스템에 있어서 파랑 정보는 육상에서의 해양 기상 예보 및 선상에서의 실시간 파랑 예측 또는 목측(Marine Weather Fax. or Observation)으로 얻는 방법을 고려할 수 있다. 육상에서의 예보 정보에는 풍파(Wind wave) 및 너울(Swell)의 파고, 주기, 방향이 속한다. 그 외에도 바람 및 조류의 정보가 추가되어 운동 성능 추정치의 정도를 올릴 수 있다. 이러한 정보는 일반적으로 기상 전문 업체에 의해 인공 위성을 통해 선상에 전송되어진다.

내항 모니터링을 위해서는 실시간 파랑 관측 데이터가 필요하다. 현재에는 항해사의 목측으로 얻어진 데이터를 이용하도록 되어 있지만, 야간의 경우에 있어서는 시야의 제약을 받으므로 항후, 레이더등의 파랑 계측 시스템을 통한 정보 획득과의 연계도 필요할 것이다(Hirayama et al. 2002).

Fig. 2는 본 시스템을 구동하기 위해 사용하였던 태평양 해역의 파고 및 파 주기를 나타내는 예보 정보 화면이다. 이러한 정보는 인터넷을 통해서 무료로 다운로드 받아 사용할 수 있다.

예보 및 목측되어진 파랑 정보를 본 시스템의 내항 응답 계산에 이용하기 위해서는 파랑 스펙

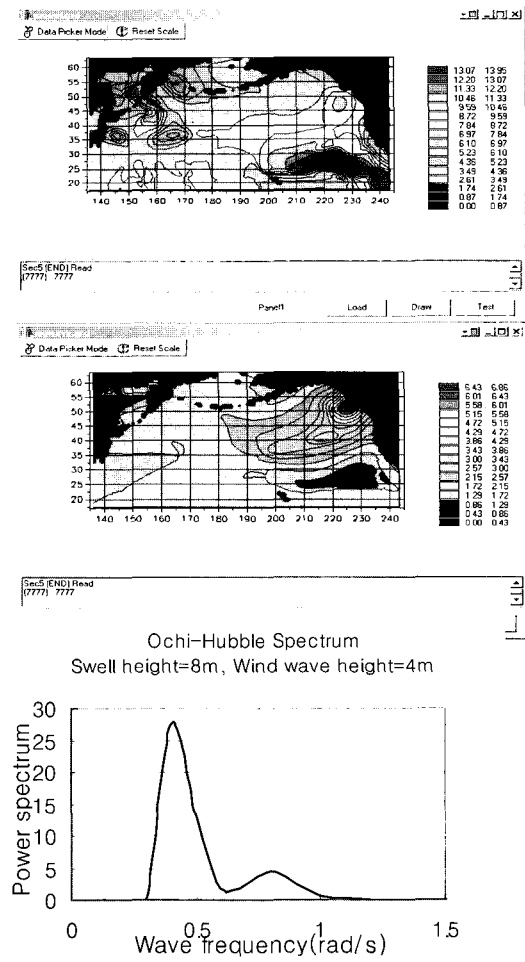


Fig. 3 Ochi-hubble spectrum

트럼의 수식화가 필요하다. 여기서는 Fig. 3에서 볼 수 있는 풍파와 너울을 함께 나타내는 6 Parameter Ochi-Hubble 스펙트럼 모델을 도입한 것이다(Ochi 1998). 항후, 파 방향성을 고려한 내항 응답을 계산하기 위해서는 Ochi-Hubble 스펙트럼에서 파 방향을 고려한 3차원 방향 스펙트럼의 도입이 필요하다고 사료된다.

#### 4. 내항 모니터링

내항 모니터링에서는 입력된 파랑 정보로부터 주요 내항 성능치를 계산하고, 정하여진 내항 성능 Criteria를 초과한 경우에는 해당 경고를 디스플레이 할 수 있도록 하며, 침로와 선속에 따른 성능 계산을 통한 운항 가이드 역할을 하도록 한다. Fig. 4에서 이러한 기능의 화면 구성의 일례를 보여주고 있다.

##### 4.1 내항 성능 예측

내항 모니터링의 주요 항목은 Roll, Pitch, Heave의 기본적인 선박의 운동 성능, 선수 슬래밍, 갑판 침수, Propeller racing의 발생 확률을 계산한다. 그 외에 선체 중앙 부분에서의 굽힘 모멘트 및 선수 가속도의 값들을 모니터링하며, 과도 횡요 운동 추정치 포함된다.

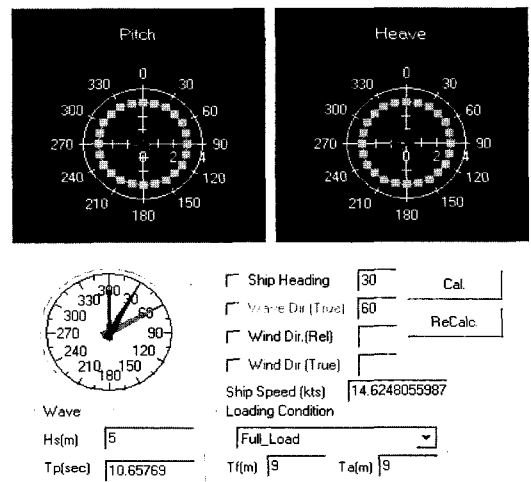


Fig. 4 Seakeeping monitoring

이러한 항목들은 기본적으로 실제 운항 선박의 Loading Computer로부터 선속, 흘수, GM 및 KG 등의 정보를 입력하여 계산하며. 계산 방법은 정교한 3D 판별법을 통해 운동 계산에 필요한 포텐셜 값을 DB화해서 각종 내항 성능을 Onboard상에서 추정한다. 아울러, 본 시스템을 통해 항해사는 침로 및 선속을 변화시키면서 내항 성능을 예측할 수 있으므로 항로 결정의 가이드 역할을 할 수 있다. 추정되어진 값들은 선급이나 항해 관련 협회에서 제시하고 있는 내항 성능 Criteria와의 비교를 통해 위험 여부를 판단할 수 있으며 일본 운동성능연구위원회에서 1994년에 편찬한 내항성 이론의 설계에의 응용에 자세한 Criteria가 수록되어있으며 참고문헌을 참조하기 바란다. Fig. 5에서는 본 시스템에서의 내항 성능 Criteria표의 일부분을 나타내고 있으며, 사용자의 요구에 따라 Limiting 값을 입력하여 변경할 수 있도록 한다.

Fig. 6에서는 시스템상에 계획하여 결정한 항로 선상의 변침점(Waypoint)의 구간별 내항성능 지표의 결과를 보여주고 있다. 횡축은 출발한 항구의 첫 변침점이 1이고 도착한 항구의 마지막 변침점이 13이 되는데 변침점은 항해의 구간에 따라서 차이가 있을 수 있다. 종축은 횡축의 변침점에 따른 10가지 내항성능 항목의 결과를 한계치 100% 기준으로 계산되어진 결과값이다. Fig. 6의 위 히스토그램은 선박의 지정된 항로선(Route line)에 관계없이 전 방향에 대한 10가지 내항성능 항목의 최대 결과값을 계산한 화면이고, 아래 히스토그램

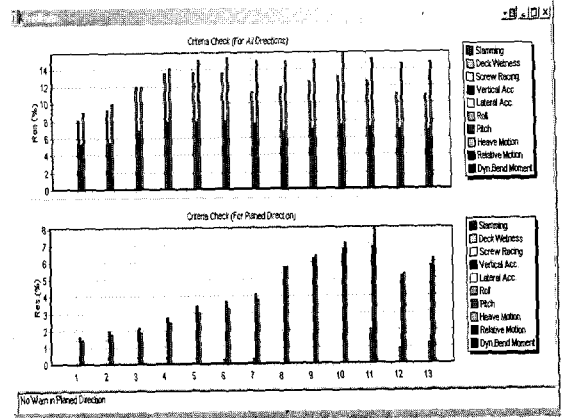


Fig. 6 Seakeeping assesment in Route

은 지정된 항로선의 변침점 침로 구간의 진행 방향에 대한 10가지 내항성능 항목의 최대 결과값을 계산한 화면이다.

4.2 과도 횡요 예측

과도 횡요의 발생 원인은 운항 선박의 입사파에 의한 GM변화, 횡요 주기 및 입사파 주기의 관계 및 입사파의 파향 등의 영향에 기인한다. 본 시스템에서는 이러한 과도 횡요 발생 유무를 판단해주는 기능을 선형 횡요 운동 방정식을 이용해서 아래식과 같이 나타내었으며(Francescutto 2001) 그 구성은 Fig. 7과 같다.

$$(I + A(t))\ddot{\phi} + B(t)\dot{\phi} + g\Delta(t)GM(t)\phi = M(t) \quad (1)$$

여기서, I는 Roll 관성 모멘트, A(t)는 Roll 부가 모멘트 계수, B(t)는 감쇄 계수, Δ(t)는 선체 질량을 나타낸다. 본 예측에는 앞 절에서 언급한 파랑 정보가 필요하며, 운항 흘수에 해당하는 선박의 부가 모멘트 계수 및 감쇄 계수의 동유체력 계수를 3D 판별법을 통해서 시스템 내 DB화해서 저장한다. 또한, 시간 변화에 따른 GM값을 추정하기 위해, 저장된 해당 선박의 Offset 데이터로부터 수선면적 및 배수량 변화, 수선면의 관성 모멘트를 계산한다. 선속 및 흘수 조건은 앞 절의 내

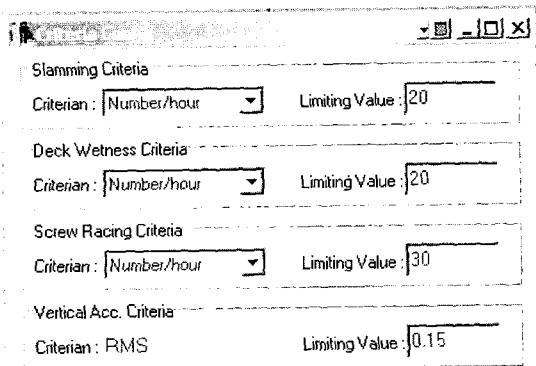


Fig. 5 Seakeeping criteria

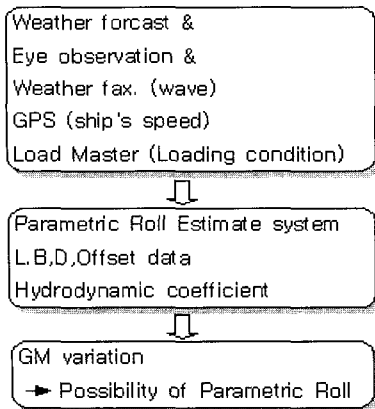


Fig. 7 Configuration of parametric roll system

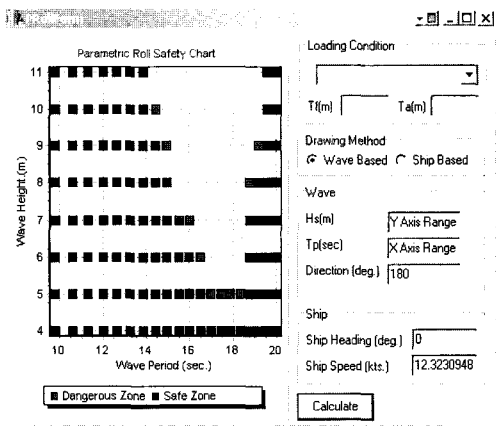


Fig. 8 Chart of parametric roll possibility

항 성능 예측을 위한 정보와 동일한 조건을 사용한다.

Fig. 8는 추정 알고리즘을 통해 과도 횡요 발생 유무를 판별해주는 차트이다. 횡축은 운항 해역 파랑 주기를 나타내며, 종축은 해당 파고를 의미한다. 이 차트를 통해서 운항 해역의 파고, 주기에 따른 과도 횡요 발생 가능성을 알 수 있다.

### 5. 최적 항로 계획

대양 항해에 있어서, 선박의 운항 효율을 올리기 위해서는 목적지까지의 항로 선정을 최적화할

### 5.1 선속 저하 / 마력 증가 추정

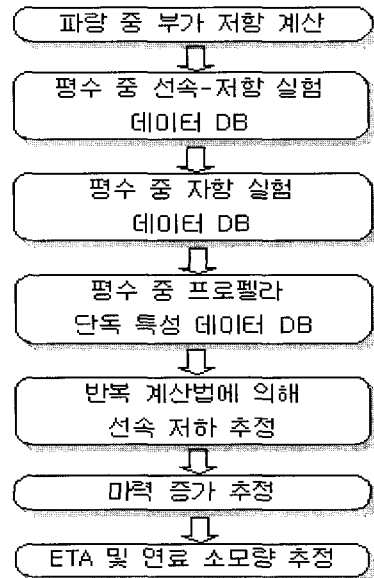


Fig. 9 Flow chart of speed reduction estimation

필요가 있다. 최적화의 목적함수로 일반적으로 사용되어지는 파라미터는 운항 시간 및 연료 소모량을 둔다. 본 절에서는 정도 있는 선박의 ETA 및 연료 소모량을 계산하기 위해서 파랑에 의한 선속 저하량 및 마력 증가 추정법을 소개한다.

운항 선박의 속도는 파랑, 바람, 해류 등의 외부 환경에 의해 자연 감소할 수 있다. 이를 만회하기 위해서는 마력을 증가시키게 되는데, 이는 연료 소모량 증가의 직접적인 원인이 된다. 또한 보다 정확한 운항 선박의 도착 예정 시간을 산정하기 위해서는 이러한 선속 저하량의 추정이 필요하다. 이를 토대로 최소 연료 소모량을 가지게 하는 항로 및 ETA를 추정하여 최적 항로 결정을 보조하도록 한다. 선속 저하 추정을 위한 Flow Chart를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 선속 저하량을 추정하기 위해서 자선의 운동에 의한 부가 저항의 조우파 주파수 특성을 계산할 필요가 있다. 또한, 해당 선박의 저항, 자항 특성 데이터 및 사용 프로

펠라의 단독 특성 데이터가 필요하다. 이상의 정보를 토대로 평수 중의 미소 속도 변화에 따른 추력 관계식을 이용한 반복법에 의해 선속 저하량  $\delta V$ 를 추정할 수 있으며 아래 식에 나타내었다 (Nakamura and Naito 1977).

$$\delta V = \frac{R - R_o + R_{aw}}{(1 - t_o)(1 - w_o)(P_{tv} + \frac{P_{tn}P_{qv}}{r^2 E_{qn} - P_{qn}})} \quad (2)$$

여기서 R는 기준 선속  $V_o$ 에  $\delta V$ 만큼의 선속 변화량이 있을 때의 평수중의 저항,  $R_o$ 는  $V_o$ 에서의 평수 중 저항,  $R_{aw}$ 는 선속  $V_o + \delta V$ 일때의 파랑 중 저항 증가량을 나타낸다.  $P_{tv}$ ,  $P_{tn}$ ,  $P_{qv}$ ,  $P_{qn}$ 는 프로펠라 특성을 나타내는 계수로서, 프로펠라 단독 특성의 정보가 있으면 얻을 수 있다.  $E_{qn}$ 는 주기관 성능을 나타내는 계수이며, r는 감속비,  $t_o$ 는 추력 감소계수,  $w_o$ 는 반류 계수이다.

선속 저하에 따른 마력 증가량  $\delta P$ 의 계산법을 아래 식에 나타내었다(Nakamura and Naito 1977).

$$\delta P = \frac{2\pi}{75} (N_{op}\delta Q_p + Q_{op}\delta N_p + \delta Q_p\delta N_p) \quad (3)$$

$N_{op}$ ,  $Q_{op}$ 는 선속  $V_o$ 일때의 평수중 프로펠라 회전수 및 토오크를 나타내며,  $\delta Q_p$ ,  $\delta N_p$ 는 선속 저하에 따른 추력 증가 및 회전수 증가량을 나타낸다.

Fig. 10과 Fig.11에서는 위의 알고리즘을 이용하여 113K Tanker선의 정수 중 속도 15.7kt에서의 선속 각도별 선속 저하량 및 마력 증가량을 계산하였다. 최대 저하량은 선수각 90도와 120도사이에서 발생함을 알 수 있으며, 이는 파의 조우 주기 및 선박의 파랑 중 부가 저항의 조우 주파수 특성의 관계에 의해 발생한다고 볼 수 있다.

이상의 선속 저하 및 마력 증가 추정량은 항로 계획에 있어서 운항 시간 및 연료 소모량 추정에 이용되어진다. 즉, 파랑에 의한 실제 선속과 항해 거리를 기준으로 운항 시간을 산출하며, 연료 소

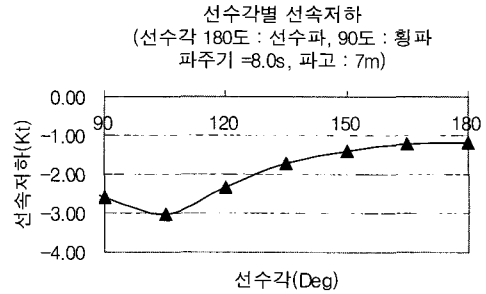


Fig. 10 Speed reduction according to ship heading

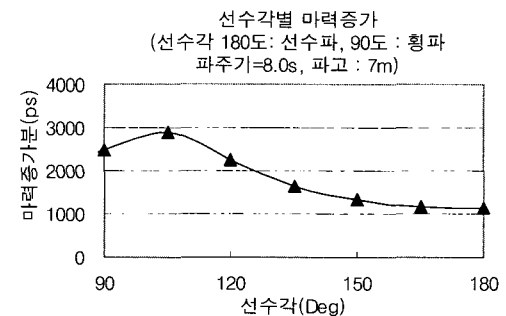


Fig. 11 Power increase according to ship heading

모량  $C_{fuel}$  또한, 선속 저하량에 따른 마력 증가분을 고려하여 산정하여야 하며, 아래 식에 나타내었다.

$$C_{fuel} = \alpha * P * T \quad (4)$$

$\alpha$ 는 SFOC(Specific fuel of consumption)로서 기관 연료의 고유 특성치이며 단위 시간 마력당 사용된 연료량을 나타낸다. P는 기관 마력으로서 선속 저하에 따른 마력 증가분을 고려한 마력이다. T는 운항 시간을 나타내며 선속 저하량을 고려한 시간을 나타낸다.

## 6. 결론

이상의 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을

얻을 수 있다.

1. 운항 안전성과 효율성을 향상시키기 위한 Onboard용 최적 항로 평가 시스템의 기본 개념을 도출하였다.

2. 운항 안전성 관점에서는 3D 판넬법을 이용한 내항 예측 평가 기법을 활용할 수 있으며, 효율성 관점에서는 선속 저하, 마력 증가 추정을 통한 도착 예정 시간 및 연료 소모량 계산을 제시하였다.

### 7. 향후 과제

최적 항로 평가 시스템의 기본 연구에 의해 얻어진 운항 선박의 내항 예측치, 연료 소모량 및 운항 시간은 최적 항로 탐색 기법의 경계 조건 및 목적 함수로서 이용되어질 수 있다. 향후 과제로서 이러한 파라미터를 이용한 최적 항로 탐색 알고리즘을 개발할 것이며, 또한 실선 장착에 따른 본 시스템의 유용성을 평가하여야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- 일본 운동성능 연구위원회, 1994, “내항성 이론의 설계의 응용”, “제11회 심포지움”, pp. 77-80.
- 전호환, 김문성, 주영렬, 이건호, 이명휘, 1998, “내항 성능과 속도 성능이 우수한 고속 연안 여객 소수선면 쌍동선형 개발,” 대한조선학회 논문집, 제 35권, 제 4호, pp. 87-97.
- Chen, H. and Cardone, V.J., 1998, "Use of Operation Support Information System to Increase Ship Safety and Efficiency," SNAME Transaction, Vol. 106, pp. 105-127.
- Francescutto, A., 2001, "An Experimental Investigation of Parametric Rolling in Head

Waves," J. of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 123, pp. 65-69.

- Hirayama, T., Park, S.G., Hirakawa, Y. and Takayama, T., 2002, "Development of a Wave Field Detector using the Marine Radar and Measured Example," J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 191, pp. 51-56.
- Kim, M. S. and Ha, M. K., 2002, "Prediction of Motion Response between Two Offshore Floating Structures in Waves," J. of Ship and Ocean Technology, Vol. 6, pp. 13-25.
- Nakamura, S. and Naito, S., 1977, "Nominal Speed Loss and Propulsive Performance of a Ship in Waves", Journ. of the Society of Naval Architects of Kansai, Vol.166, pp. 25-34.
- Ochi, M. K., 1998, Ocean waves, Cambridge university press, New York



< 이 진 호 >



< 최 경 순 >



< 박 건 일 >



< 김 문 성 >



< 방 창 선 >