

# 연안 내 항로 계획을 위한 최적화 방법

이원희\* · 유원철\*\* · 함승호\*\* · † 김태완

\*, \*\*서울대학교 조선해양공학과, † 서울대학교 조선해양공학과 교수

## Optimization Method for Ship Route Planning in Coastal Sea

Won-Hee Lee\* · Won-Chul Yoo\*\* · Seung-Ho Ham\*\* · † Tae-Wan Kim

\*\*, \*\*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University

† Professor of Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University

**요 약** : 대양을 운행하는 선박의 최적 항로에 대한 기존의 연구와는 다르게, 본 연구에서는 연안을 운행하는 선박의 항로 계획을 위한 최적화 방법을 제안하였다. 일반적으로 연안을 운행하는 여객선의 경우 허가 받은 항로를 기준으로 항로에 표시된 변침점을 따라 운행한다. 따라서 본 연구에서는 변침점 사이의 속도를 결정하기 위한 제동 동력과 시간을 고려한 목적 함수를 제안하였고, 목포와 제주를 오가는 여객선의 실제 항로에 본 연구에서 제안한 방법을 적용하여 최적의 속도를 결정하였다.

**핵심용어** : 최적항로, 연안 항로, 여객선, 최적화

**Abstract** : Unlike previous studies on the optimum route of the ship operating on the ocean, this study proposed an optimization method for the route planning of the ship operating on the coast. In general, passenger ships on the coast navigate along the waypoints indicated in the authorized route. Therefore this study propose objective function considering the braking power and time to determine the speed between waypoints, and the optimum speed was determined by applying the proposed method to the actual route of the passenger ship between Mokpo and Jeju.

**Key words**: Optimal Route, Coastal Route, Passenger Ship, Optimization

### 1. 서 론

선박이 연안에서 운항할 때 최적 항로를 선택하는 것은 연료비 절감뿐만 아니라 안전 측면에서도 매우 중요한 문제이다. 선장 및 항해사들이 직접 항로를 계획하고 있으나 직접 항로를 계획하는 방법은 한계가 있어 최적의 항로라 보기 어렵다. 따라서 최적화 모델을 구성하고 최적화를 수행하여 최적의 항로를 계산할 필요가 있다.

최적 항로에 대한 기존 연구들은 다음과 같다. Lin(2013)은 3D 동적 프로그래밍을 이용하여 원양항해에서 최적 항로를 계산하였다. Hinnenthal(2010)은 파레토 최적해를 이용하여 원양항해에서 최적 항로를 계산했다. 위에서 언급한 연구들은 원양항해를 기반으로 최적화를 수행했기 때문에 항해시간이 짧고 항로가 정해져 있는 연안 여객선의 항해에 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 연안 여객선의 최적 항로를 계산하기 위해 최적화 모델과 방법을 제안한다.

### 2. 여객선의 최적항로 알고리즘

여객선은 항해할 때 법적으로 허가받은 항로로 통행하며, 허가받은 항로는 변침점 (waypoint)이 정해져 있다. 여객선은 출발시간, 도착시간이 정해져 있기 때문에 여객선의 최적항로 목표는 정해진 시간 내에 도착하면서 연료 소모량이 최소가 되도록 선박의 속력을 결정하는 것이다. 선박의 속력은 변침점마다 달라질 수 있기 때문에 모든 변침점 간의 선박의 속력을 계산한다.

$$\text{Min } f(v) = c(v) + h(v) \quad (1)$$

$$c(v) = \frac{L}{v} \cdot P_B = t_c \cdot P_B \quad (2)$$

$$h(v) = 10^6 \cdot |t_{plan} - t_p - t_c - t_h| \quad (3)$$

주항로 위의 선박의 속력(v)를 계산하기 위해 각 변침점마다 A\* 알고리즘을 사용한다(Hart, 1968). 식 (1)과 같이 현재

† Corresponding Author: taewan@snu.ac.kr

\* weelon@snu.ac.kr

값( $c(v)$ )과 휴리스틱 값( $h(v)$ )을 계산하고 두 값을 더한 목적함수 값( $f(v)$ )이 최소가 되도록 선박의 속력을 계산한다. 식 (2)에서 현재 값( $c(v)$ )은 이동 시간( $t$ )과 제동 동력( $P_p$ )을 곱한 값이다. 식 (3)에서 휴리스틱 값( $h(v)$ )은 과거 이동 시간( $t_p$ ), 현재 거리를 이동할 때 걸리는 시간( $t_c$ ), 남은 거리를 이동할 때 걸리는 시간( $t_h$ )와 정해진 항해 시간( $t_{plan}$ )의 차이와 페널티( $10^6$ )를 곱한 값이다.

각 변침점마다 수행하는 과정은 다음과 같다. 변침점마다 선박의 속력에 대해 목적함수 값( $f(v)$ )을 계산한다. 목적함수 값 중 최소가 되는 선박의 속력을 찾아낸 후 변침점에서 선박의 속력으로 설정한다. 위 과정을 도착지에 도착할 때까지 반복하여 모든 변침점의 속력을 계산한다.

### 3. 여객선의 최적항로 결과

현재 목포와 제주를 항해하는 여객선에 대해 2절에서 설명한 알고리즘을 적용하였다. 빠르게 계산하기 위해 선박의 속도는 연속 변수가 아닌 이산 변수로 설정하였으며, 이산 변수의 간격은 0.5 knots로 설정하였다. 2절에서 언급한 목적함수 값( $f(v)$ )을 계산하기 위해 제동동력 정보가 필요하며 이 정보는 Table 1의 값을 사용하였다. 선속에 따라 Table 1의 값을 보간하여 제동동력을 계산하였다(Kim, 2016).

Table 1 Delivered power at ship speed

선속(knots)	14.329	16.728	19.106	21.494	23.882
제동동력(ps)	4162.0	6721.0	10178.0	15147.0	23006.0

10시 정각에 목포에서 출발하여 제주로 도착하는 시나리오에 대해 알고리즘을 적용하였다. 항해거리는 약 96마일이며 정해진 항해시간은 4시간 30분으로 설정하였다. 알고리즘을 적용하여 계산한 선박의 속력은 10시부터 10시 20분까지 19knots, 10시 20분부터 14시 16분까지 18.5knots였다. 계획한 항해시간은 4시간 16분으로 정해진 항해 시간 4시간 30분의 허용 범위 이내였다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 A\* 알고리즘을 적용하여 선박의 최적항로를 계산하였다. 목적함수는 항해할 때 필요한 제동동력이며 목적함수를 최소화하는 선박의 속도를 계산하였다. 실제로 목포와 제주를 항해하는 여객선에 대해 제안한 알고리즘을 적용하였다.

향후 필요한 연구는 기상해양 정보를 이용하여 부가저항을 계산하고 최적화에 반영하는 연구이다. 또한 허가받은 항로 위에 사격훈련구역, 사고발생지역 등의 위험영역이 존재할 때 이 영역을 피하도록 최적화 모델을 설계하는 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 (a) 2018년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원 (IMO 차세대 해양안전 종합관리체계 기술개발) (b) BK21+ 해양플랜트 창의인재양성 사업단, (c) 서울대학교 해양시스템공학연구소의 지원을 받아 수행된 연구 결과의 일부임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Lin, Y. H., Fang, M. C. and Ronald, W. Y.(2013), "The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements", Applied Ocean Research, Vol 43, pp. 184-194.
- [2] Hinnenthal, J. and Clauss, G.(2010), "Robust pareto optimum routing of ships utilising deterministic and ensemble weather forecasts", Ships and offshore structures, Vol. 5, pp. 105-114.
- [3] Hart, P. E., Nilsson, N. J. and Raphael, B.(1968), "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths", IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, Vol. 4, pp. 100-107.
- [4] Kim, E. C., Kang, K. J. and Lee H. J.(2016), "A Study on the Database Generation of Propulsion Performance for Ships Optimum Routing System", J. Navig. Port Res. Vol. 40, pp. 97-103.