

## 선박 자동 항로추종 제어알고리즘에 관한 연구

이병결\* · 정경열\*\* · 김종화\*\*\*

### A Study on the Automatic Route Tracking Control of Ships

B. K. Lee · K. Y. Jeong · J. H. Kim

**Key words :** Optimal Route Tracking(최적 항로 추종), Ship Motion Control(선박의 운동 제어), Track-Keeping(항로유지), Course-Keeping(회두각유지), Turning-Control(선회제어).

#### Abstract

This paper presents a synthetic control algorithm that generates the rudder command angle to track the optimal route which is composed of straight-lines among way-points with keeping a required error limit. The control algorithm comprises three main algorithms, that is, a course-keeping algorithm that eliminates the yaw angle difference between optimal route and current route, a track-keeping algorithm that tracks the optimal route among way-points, and a turning-control algorithm that includes the generation of optimal turning routes and a control method. The effectiveness of the proposed control algorithm is assured through computer simulation.

#### 1. 서 론

근해를 항해하는 선박의 좌초나 충돌사고를 막기 위한 방법으로 암초, 장애물 등 항해 불가능 해역의 정보가 내장된 데이터 베이스를 구축하고, 숙련된 항해사가 택하는 항로상 변침참고점을 토대로 출발점에서 목표점까지 최적항로를 자동 설정한 후, 평면 레이다의 온라인 정보를 이용하여 충돌회피를 위한 새로운 항로를 생성하는 지능적 최

적 항로 결정시스템을 설계하여, 설정된 항로를 자동 추종하게 하는 자동항로 추종제어시스템을 구성할 수 있다.

최적항로 결정시스템의 기초가 될 전자해도의 기준을 국제수로기구(Hydrographic Organization)와 국제해사기구(International Maritime Organization)가 공동으로 검토하고 있고, 국내에서는 건설교통부 수로국이 해도의 제작, 개보 및 관리를 담당하여 저변을 확대해 나가고 있다. 또

\* 한국해양대학교 대학원(원고접수일 : 98년 10월)

\*\* 한국기계연구원

\*\*\* 한국해양대학교 자동화 · 정보공학부

한, 첨단 측량기술과 자동 정보 입출력 기술 등을 이용한 GIS 구축 등에 관한 연구도 많이 진행되어 왔다.

현재, 선박의 운동제어(ship motion control)에 관한 연구는 독일과 네덜란드, 노르웨이 등 선박관련 선진국을 중심으로 활발히 연구되어 오고 있으며, 최근에는 대표적인 현대제어방법인 적응제어 등을 응용하여 선박의 비선형성을 보상하는 방법으로 선박의 회두각 유지제어(course - keeping control)<sup>6),8)</sup>, 항로 추종제어(track - keeping control)<sup>9)</sup>, 롤 - 타각제어(roll - rudder stabilization)<sup>10)</sup>, 선박 위치제어(dynamic ship position control)<sup>2),5)</sup>, 선박 자동 접이안(automatic mooring control)<sup>4)</sup> 등에 관한 연구를 수행하고 있으며 실제의 선박을 대상으로 응용연구가 진행중이다.

지금까지의 선박의 운동에 관련된 연구에서 선박 회두각 유지제어, 항로 추종제어, 롤 - 타각제어 등 부분적인 분야에 많은 관심을 갖고 연구에 집중하여 많은 성과를 거두어 왔으나, 이를 통합한 종합적인 선박의 운동제어에 관한 연구들이 다소 미진하였다. 선박의 운동에 관련된 각 부분의 연구가 중요함은 두 말할 여지가 없겠으나 이를 통합한 종합적인 선박운동에 관한 연구도 단순히 이론들을 조합하는 수준이 아닌 또 다른 하나의 연구 분야로서 관심을 기울일 필요성이 있다고 생각된다.

종합적인 선박의 운동제어 알고리즘 개발을 위해서는 자동 항로추종 제어시스템의 기초가 되는 추종알고리즘의 개발과 설정된 최적항로를 이탈하지 않으면서 변침과 조종을 행할 수 있는 선박의 운동제어에 관한 알고리즘의 구현이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 전자해도상에서 변침참고점에 대해 직선으로 이루어진 최적항로가 설정되었다는 가정하에, 설정된 최적항로를 요구되는 오차범위에서 추종할 수 있도록 상황에 따라 조타명령을 생성하는 추종알고리즘을 개발하고, 최적항로 이탈시 이탈편차에 따른 항로유지제어 알고리즘의 연구와 변침시 변침항로 설정과 추종제어, 변침각도에 따른 선박선회시 선박 전진속도의 온라인 조정과 제어에 관한 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 최적항로 추종알고리즘

선박이 전자해도 상에서 자동 설정된 최적항로를 추종하고, 변침참고점에 대한 변침을 수행하며, 최적항로와의 편차를 허용범위내로 유지하도록 하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 항로 추종알고리즘<sup>9)</sup>을 사용한다. 이 때 선박 위치정보는 자이로콤파스에서 측정되는 회두각만을 피드백시켜 이용한다고 가정한다.

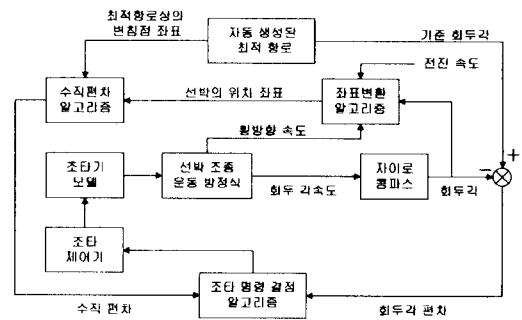
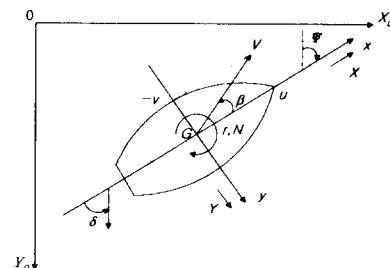


Fig. 1 The block diagram for optimal route tracking algorithm

### 2.1 좌표계 및 조종운동의 묘사

자동 생성된 최적항로를 지도상에 표시하고, 최적항로 추종시 선박의 실제 위치를 고정된 직교좌표계로 변환하기 위하여 좌표계 및 선박조종운동에 대하여 다음과 같이 가정한다.

- 선박의 항해방향, 즉 회두각(yaw angle)을 측정하는 자이로콤파스의 기준인 진북과 절대좌표계의  $Y_0$ 축이 일치한다.



$\psi$ : 회두각	$u$ : 전진방향 속도	$X$ : 전진방향 외력
$\beta$ : 원류각	$v$ : 횡방향 속도	$Y$ : 횡방향 외력
$\delta$ : 타각	$w$ : 회두 각속도	$N$ : 회두방향 외력 모우멘트

Fig. 2 Coordinate systems and notation used for ship motion control

ii) 선박조종운동은 수평면내 강체운동이며, 선속이 일정할 경우 전진방향(surge) 운동의 변화는 무시하고 횡방향(sway), 회두방향(yaw) 운동만을 고려한다.

Fig. 2는 선박운동에 관련된 좌표계와 변수들을 나타낸 그림이다.

O-XoYoZo 좌표계 : 고정절대좌표계로 자동 생성되는 최적항로와 항해 중 선박의 위치를 묘사하여 최적항로 추종을 위한 조종의 기준이 된다.

G-xyz 좌표계 : 원점이 선박 무게중심 G에 고정되어 선박과 함께 움직이는 운동좌표계로 선박 운동의 중요변수 묘사에 이용된다. x는 전진방향, y는 횡방향, z는 회두방향이다.

## 2.2 선박 위치좌표를 얻기 위한 좌표 변환

절대좌표계와 진북사이의 관계가 규명되어 있다면 자이로콤파스의 출력인 회두각과 횡류각을 이용함으로써 Fig. 3과 같은 개념으로 선박의 위치좌표를 구할 수 있다.

현재 시각에 대한 선박의 무게중심 G에 대한 절대위치좌표를  $P_k(x_k, y_k)$ 라고 하면 샘플링시간  $\Delta t$  동안 이동한 거리는  $V\Delta t$ 이다. 따라서 선박의 초기 위치가 절대 좌표계로 주어져 있다면,  $(k+1)\Delta t$  시간에 있어서 선박의 현재 위치 좌표는 다음과 같은 순환적 구조로 표현된다.

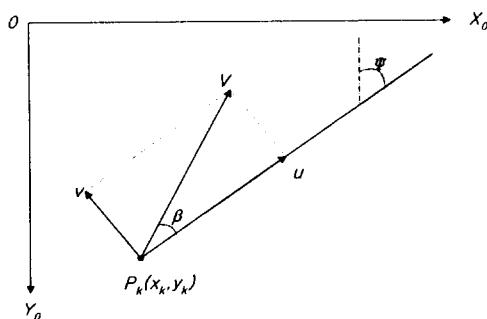


Fig. 3 A coordinate transformation for current position of ship

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= x_k + (V\Delta t)(\Psi - \beta) \\y_{k+1} &= y_k + (V\Delta t)(\Psi - \beta)\end{aligned}\quad (1)$$

## 2.3 수직 편차 알고리즘

### 2.3.1 직선운동 수직편차 알고리즘

직선운동시 최적항로 추종여부를 판단하기 위한 수직편차를 얻기 위해서는 Fig. 4와 같이 선박의 현재 위치좌표에 대응되는 최적항로상의 수직한 대응좌표를 찾아야 한다.

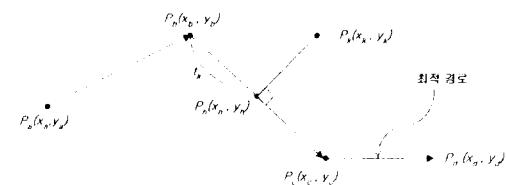


Fig. 4 Perpendicular point corresponding to optimal route in straight line motion

현재 선박이 최적항로상의 변침점  $P_b(x_b, y_b)$ 와  $P_c(x_c, y_c)$  사이에서 항해중이라고 한다면,  $P_b$ 와  $P_c$  사이의 수직 대응좌표는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}x_h &= x_b + t_h(x_c - x_b) \\y_h &= y_b + t_h(y_c - y_b) \\t_h &= \frac{(x_c - x_b)(x_b - x_b) + (y_c - y_b)(y_b - y_b)}{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2}\end{aligned}\quad (2)$$

따라서 수직편차  $D$ 는

$$D = \sqrt{(x_k - x_b)^2 + (y_k - y_b)^2} \quad (3)$$

으로 구해진다.

### 2.3.2 선회운동 수직편차 알고리즘

선회운동시 변침점 사이의 직선에 접하는 원을 최적항로로 설정하고, 이 설정된 최적항로의 추종여부를 판단하기 위해서 Fig. 5와 같이 선회운동의 반지름과 선회운동의 중심점  $R_{xy}(x_{R0}, y_{R0})$ 를 이용하여 수직편차를 계산할 수 있다.

Fig 5의 (a)그림에서, WOP(Wheel Over Point)와  $P_i(x_i, y_i)$  사이의 거리( $D_{wop}$ )는 다음과 같이 표시할 수 있다.

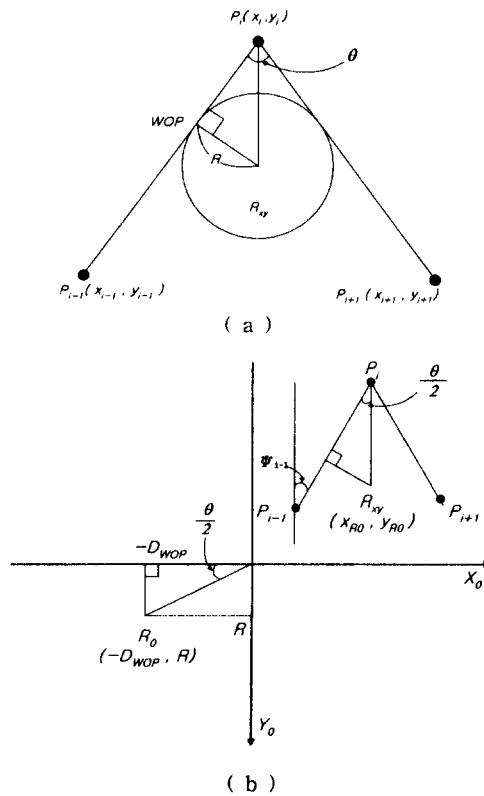


Fig. 5 Vertical deviation in turning motion

$$D_{wop} = \frac{R}{\tan(\frac{\theta}{2})} \quad (4)$$

Fig. 5의 (b)그림에서, 선회운동의 중심점  $R_{xy}$  ( $x_{R0}$ ,  $y_{R0}$ )는  $R_0(-D_{wop}, R)$  좌표를 원점(0,0)에 대하여  $\frac{3}{2}\pi + \Psi_{i-1}$  만큼 회전한 후,  $P_i(x_i, y_i)$  만큼 수평이동한 것임을 알 수 있다. 그러므로 선회운동의 중심점  $R_{xy}$  ( $x_{R0}$ ,  $y_{R0}$ )은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_{R0} \\ y_{R0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\frac{3}{2}\pi + \Psi_{i-1}) - \sin(\frac{3}{2}\pi + \Psi_{i-1}) \\ \sin(\frac{3}{2}\pi + \Psi_{i-1}) \cos(\frac{3}{2}\pi + \Psi_{i-1}) \end{bmatrix} \left[ -D_{wop} \right] + \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}$$

선회운동시의 수직편차  $D_{radial}$ 은 배의 현재좌표  $P_k(x_k, y_k)$ 와 선회운동의 중심점  $R_{xy}(x_{R0}, y_{R0})$  사이의 거리에서 배의 선회반경  $R$ 을 빼주면 구할 수 있다.

$$D_{radial} = \sqrt{(x_k - x_{R0})^2 + (y_k - y_{R0})^2} - R$$

## 2.4 조타기의 수학적 모델

현재 실선에서는 전동유압식 조타기(electrohydraulic steering gear)를 많이 사용하며, 가변 유량펌프로서 유량을 자유롭게 제어하여 유압실린더를 움직임으로써 램(ram)이 이동하여 타가 회전하도록 되어 있다. 펌프 유량이 정격내에 있다면

$$T_E \dot{\delta} + \delta = \delta^*( |\delta^* - \delta| \leq T_E | \dot{\delta}_{max} | ) \quad (6)$$

여기서  $\delta^*$ 는 명령타각,  $\delta$ 는 실제타각,  $T_E$ 는 시정수이고 실선에서는  $T_E = 2.5(\text{sec})$ ,  $\dot{\delta}_{max} = 3.0(\text{deg/sec})$ 가 많이 사용되고 있다.

## 2.5 선박의 조종 운동방정식

일반적으로 선박의 조종운동방정식은 선체, 프로펠러, 타에 기인하는 유체력의 비선형성이나, 유체의 점성과 관성의 상호간섭에 의한 영향 등으로 비선형 방정식으로 묘사되지만 선형화시키거나 무시함으로써 얻어지는 선형조종방정식을 많이 사용한다. 횡류각과 회두각속도가 타각입력  $\delta$ 만의 함수로 표현된 Nomoto의 응답모델을 이용한 무차원 모델은 다음과 같다.<sup>1)</sup>

i)  $\gamma - \delta$  응답모델

$$T_1 T_2 \ddot{\gamma} + (T_1 + T_2) \dot{\gamma} + \gamma = K\delta + KT_3 \dot{\delta} \quad (7)$$

ii)  $\beta - \delta$  응답모델

$$T_1 T_2 \ddot{\beta} + (T_1 + T_2) \dot{\beta} + \beta = K\delta + KT_3 \dot{\delta} \quad (8)$$

$K\beta \approx 0.4K$ ,  $T_3\beta \approx 0.3T_3$ 인 관계를 이용하여 근사하면 다음과 같다.

$$T_1 T_2 \ddot{\beta} + (T_1 + T_2) \dot{\beta} + \beta = 0.4K\delta + 0.3KT_3 \dot{\delta} \quad (9)$$

여기서  $T_1$ ,  $T_2$ 는 추종 및 안정성 계수이고,  $T_3$ 는 타각에 대해 미분제어 효과를 발휘하여 침로안정에 도움을 주는 계수이며,  $K$ 는 선회능력에 관련된 계수이다.

## 2.6 조타명령 결정알고리즘

자동 생성된 최적항로를 추종하도록 조타명령을 내리는 데 영향을 미치는 요소는 최적항로상의 변침점 좌표, 최적항로 회두각, 수직편차 등 크게 3가지이다. 이 요소들에 따라 조타명령의 우선 순

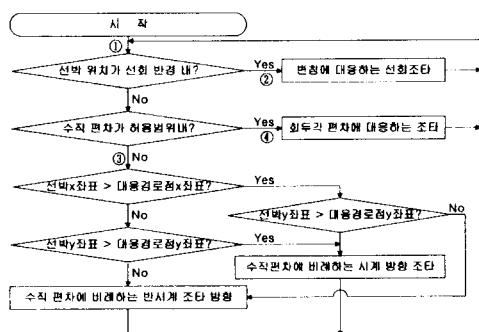


Fig. 6 The block diagram for rudder-angle command generation algorithm.

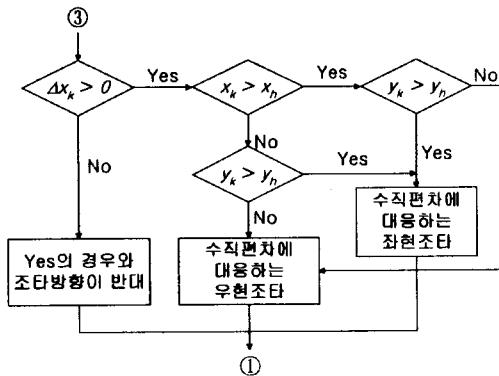


Fig. 7 Rudder-angle command for vertical deviation.

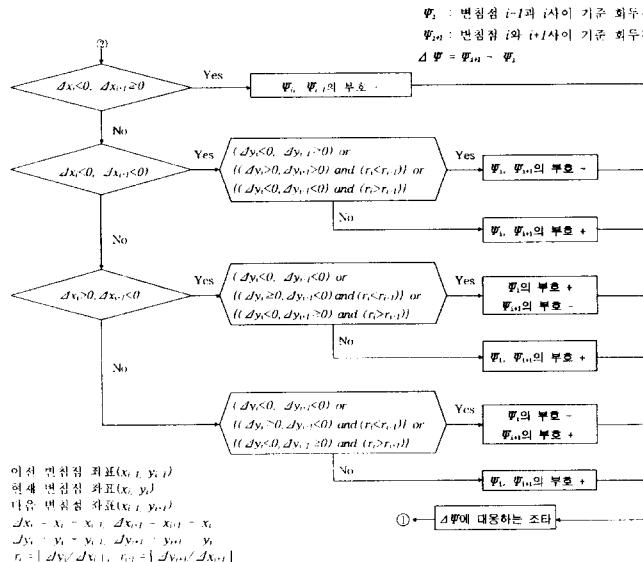


Fig. 8 Rudder-angle command for way-point of optimal route.

위가 결정된다. 최적항로 자동추종을 위한 조타명령 우선순위 결정알고리즘은 Fig. 6과 같다.

i) 수직편차에 대응한 조타명령 : 선박이 선회반경내에 있지 않다면 최적항로상의 두 변침점 사이를 항해하고 있으므로 변침의 필요성은 없고, 최적항로와의 수직편차가 허용범위를 벗어나 있다면, 최적항로로 복귀하도록 타각과 방향을 결정하여야 한다. 이에 대한 알고리즘은 Fig. 7과 같다.

ii) 최적항로상의 변침점에 대응한 조타명령 : 선박의 위치좌표에 대응하는 최적항로상의 좌표점이 변침점 좌표를 기준으로 선박의 선회반경내에 있다면, 조타명령은 변침각도에 대응하는 조타명령을 내리는 것이 최우선이다. 또한, 변침명령 타각은 변침점을 공유하는 최적항로 회두각들의 편차의 크기와 방향에 따라 결정되어야 한다. 이를 표현한 알고리즘은 Fig. 8과 같다.

iii) 회두각 편차에 대응한 조타명령 : 선박이 선회반경내에 있지 않고 수직편차가 허용범위내에 있다면 선박이 최적항로의 회두각을 유지하도록 조타명령을 내려야 한다. 이에 대한 알고리즘은 Fig. 9와 같다.

$$\begin{aligned} \psi_i &: \text{변침점 } i-1 \text{과 } i \text{사이 기준 회두각} \\ \psi_{i,n} &: \text{변침점 } i \text{와 } i+1 \text{사이 기준 회두각} \\ \Delta \psi &= \psi_{i,n} - \psi_i \end{aligned}$$

$\psi_i, \psi_{i+1}$ 에 대응하는 조타

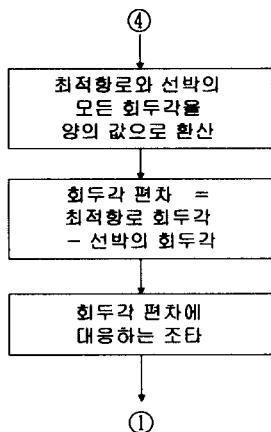


Fig. 9 Rudder – angle command for yaw – angle deviation.

## 2. 7 선회운동에 따른 항로추종

선박의 선회에 대응하는 선회 반지름  $R$ 은 다음과 같이 정의 할 수 있다.<sup>1)</sup>

$$R \approx \frac{U}{r} \quad (10)$$

단,  $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ 이고,  $r$ 은 회두각속도이다.

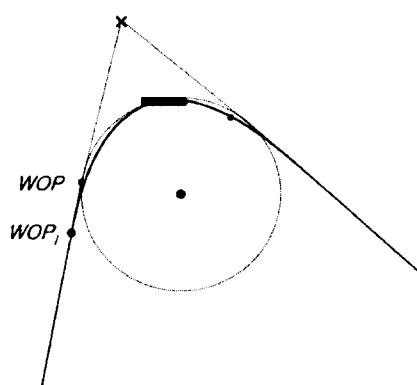


Fig. 10 Turning route for ships

선박의 동역학적인 특성, 유체력의 비선형성 및 조타기 지연시간 등에 의하여 변침점에서 접원의 궤적을 따라 항로를 추종하기 위해서는  $WOP$ 가 아닌  $WOP_i$ 에서 선회를 시작하여야 한다.  $WOP_i$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.<sup>3)</sup>

$$WOP_i = R_{max} + \alpha_1 (\Psi - \frac{\pi}{2}) + (\alpha_2 T_1 + \alpha_3 T_2) V \quad (11)$$

여기서,  $R_{max}$  :  $\delta_R = \frac{\pi}{6}$  일 때의 최대선회반경.  
 $\Psi$  : 변침각

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 선박 모델에 따른 상수  
 $T_1, T_2$  : 각각 타모델과 선박모델 시정수  
 $V$  : 선박의 속도

를 나타낸다.

## 3. 시뮬레이션 및 고찰

시뮬레이션에 사용된 대상선박은 cargo ship으로 제원은 다음과 같다고 가정하였다.

Table 1. Specification of a cargo ship

선체길이 (L)	115 (m)	방형 계수 (CB)	0.6
선 폭 (B)	16.4 (m)	최대 타각 ( $\delta_{max}$ )	30 (°)
평균흘수 (d)	3.3 (m)	조타기 시정수 (T <sub>E</sub> )	2.0 (sec)
트 림 량 (t)	0 (m)	해수 평균밀도 ( $\rho$ )	102.0 (Kg/m³)

위 모델에 대한 유체력 미계수, 질량 등 모델 관련 계수, 추종 및 선회력 지수 등 조종관련 지수를 구한 후, 선박 동특성에 대한 Nomoto 모델의 Laplace 변환식을 구하면 다음과 같다.

i)  $\gamma - \delta$  응답모델

$$\frac{\gamma(s)}{\delta(s)} = \frac{3.05s + 0.176}{897s^2 + 124s + 1}$$

ii)  $\beta - \delta$  응답모델

$$\frac{\beta(s)}{\delta(s)} = \frac{0.37s + 0.07}{897s^2 + 124s + 1}$$

스텝조타시 정상 선회직경은 약 250(m)이고 이 때, 선박 선회운동의  $WOP_i$ 는

$$WOP_i = 250 - \frac{125}{\pi} (\Psi - \frac{\pi}{2})$$

가 된다. 배의 전진속도는 16(Knotts), 즉 약 8.0(m/s)로서 일정하다고 가정하였다.

조타제어기는 실선에서 보편적으로 사용되어온 비례-미분제어기를 사용하였으며, 비례이득  $K_p=0.3$ , 미분이득  $K_d=0.9$ 로 두었고 사이로콤파

스는 회두각속도를 적분함으로써 회두각을 측정하는 것으로 가정하였다. 또한, 수직편차의 허용범위는 50(m)로 설정하였다.

다음 그림은 분해능이  $640 \times 480$ 인 화면에서 1

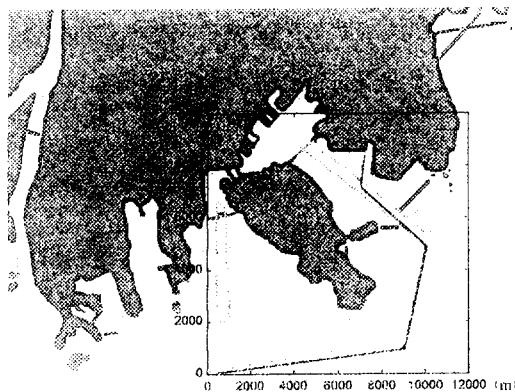


Fig. 11 Simulation result for automatic tracking of optimal route.

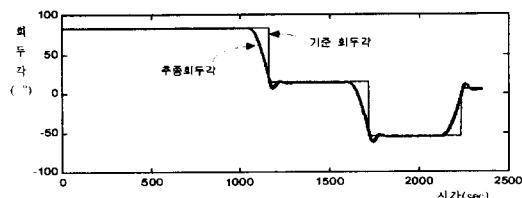


Fig. 12 Tracking of yaw angle in optimal route

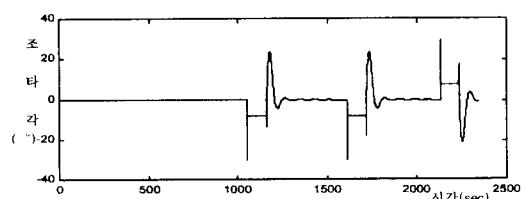


Fig. 13 Rudder - angle for optimal route tracking.

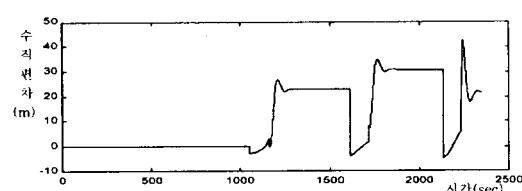


Fig. 14 Vertical deviation of optimal route tracking.

픽셀(pixel)당 거리가 29.12(m)일 경우 자동 생성된 최적항로가 주어졌을 때 대상선박이 항로를자동추종하는 것을 시뮬레이션한 것이다.

부산 외항에서 내항의 신선대 부두에 들어오는 항로에 5개의 변침참고점을 잡고 이를 기준으로 시뮬레이션을 실시한 결과, 최적항로를 따라 추종함을 확인함으로써 조타명령 결정알고리즘이 옳게 구성되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 변침에 대한 회두각 추종을 보여 주고 있으며, Fig. 13은 최적항로 추종을 위한 실제의 조타각을 나타내고 있고, Fig. 14는 최적항로와 실제항로 사이의 오차가 허용범위내에 존재하도록 항로가 유지되고 있음을 보여 준다. Fig. 12의 오버슈트와 Fig. 14의 수직편차 peak가 일치함을 알 수 있는 데, 이는 선화시 선박의 동역학적 특성에 따라 오버슈트가 발생하고 이로 인해 수직편차가 연속해서 발생하는 것을 나타낸 것이다. Fig. 14에서는 선화시 WOP가 아닌  $WOP_i$ 에서 선화를 시작하기 때문에 수직 편차가 음(-)으로 급격히 줄어들었다가 증가하는 현상을 나타내고 있다. 변침시에 발생하는 회두각의 오버슈트, 조타명령의 오실레이션, 그리고 수직편차의 정상상태 오차를 줄이기 위해서는 좀 더 정교한 조타제어 알고리즘과 조타명령 결정알고리즘을 구현할 필요성이 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 자동 설정된 선박의 최적항로 추종 알고리즘의 개발을 위해 선박운동을 고정직교좌표계로 묘사하는 좌표변환과 회두각 유지제어와 항로 추종제어를 통합한 알고리즘을 제시하였다.

더욱이 원양항해가 아닌 근해항해를 염두에 두고, 항로 추종시 회두각만 일정하게 유지하는 것이 아니라 정해진 항로에 대하여 오차 범위 내에서 선박이 운항하도록 하는 알고리즘을 제안하여 보다 정교한 항로 추종이 가능하도록 하였다. 지금은 연구의 초보단계로서 다양한 선박에 대한 시뮬레이션과 조류, 바람, 파도 등 외란에 대한 항로 추종의 알고리즘의 강인성에 관한 연구를 실시하지 못하였으나, 차후 이 부분에 대하여서도 연구를 계속해 나가야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Thor I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- [2] Thor I. Fossen, Svein I. Sagatun, Asgeir J. Sørensen, "Design of Dynamic Positioning System Using Model - Based Control", *Proceedings of the 3rd IFAC Workshop on Control Application in Marine Systems(CAMS '95)* pp 16 ~ 26, May 1995.
- [3] Thor I. Fossen., Kunt Eilif Husa, "Backstepping Designs for Nonlinear Way Point Tracking of Ships", *The 4th IFAC Conference on maneuvering and Control of Marine Craft (MCMC'97)*.
- [4] Thor I. Fossen., Jann Peter Strand, Asgeir J. Sørensen, "Modelling and Control of Thruster Assisted Position Mooring Systems for Ships", *Proceedings of 4th IFAC Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft(MCMC'97)*, 1997.
- [5] Thor I. Fossen., Åslaug Grøvlen, "Nonlinear Output Feedback Control of Dynamically Positioned Ships Using Vectorial Observer Backstepping", *IEEE Transaction on Control Systems Technology, TCST 6(3): 439 ~ 441, MAY 1998.*
- [6] Trygve Laudval, Thor I. Fossen., "A Globally Stable Adaptive Ship Autopilot With Wave Filter Using Only Yaw Angle Measurements", *Proceedings of the 3rd IFAC Workshop on Control Application in Marine Systems(CAMS '95)* pp 262 ~ 269, May 1995.
- [7] Trygve Laudval, Thor I. Fossen., "Nonlinear Rudder - Roll Damping of Non - Minimum Phase Ships Using Sliding Mode Control", *Proceedings of the European Control Conference, 1997.*
- [8] Trygve Laudval, Thor I. Fossen., "Robust Adaptive Ship Autopilot with Wave Filter and Integral Action", *To appear in the Special Issue on Marine Systems Control, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 1998*
- [9] 류길수, 김종화, 조석제, 박석주, "ONEMAN BRIDGE INFOMATION SYSTEM", 지역 컨소시엄보고서, 부산중소기업청, 1996.
- [10] 손경호, 부유체 조종 제어론, 한국해양대학교, 1995.

## 저자 소개



이병걸(李丙結)

1971년 5월생. 1993년 한국해양대학교 이공대학 제어계측공학과 졸업(학사), 1993년 동대학교 대학원 입학. 1994년~1997년 고부무(육군 중위 전역), 1998년 동대학원 복학



정경열(鄭暉烈)

1960년 1월 서울 출생. 1982년 한국해양대학교 기관학과 졸업(학사), 1984년 한국해양대학교 박용기관학과 졸업(석사), 1996년 동대학원 박사과정수료, 1982년~1986년 기관사 승선근무, 1987년 현재, 한국기계연구원 환경설비연구부 선임연구원



김종화(金鍾和)

1958년 11월생. 1981년 부산대학교 공과대학 기계공학과 졸업, 1985년 동대학교 대학원 졸업(석사, 제어공학), 1989년 동대학원 졸업(박사, 제어공학), 1990년~현재 한국해양대학교 자동화 정보공학부 전임강사, 조교수, 부교수. 1996년~1997년 영국 WALES 대학교 연구교수