

선박의 추진에너지 손실을 고려한 RCGA기반 PID형 자동조타시스템

안종갑* · 이윤형** · 진강규*** · † 소명옥****

* 한국항만연수원, **한국해양대학교,

한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부, *한국해양대학교 선박전자기계공학부

요 약 : 대양 항행하는 거의 모든 선박에서 항해사를 도와 선박의 회두각 유지 및 변침을 목적으로 사용되는 일반적인 오토파일럿 시스템은 대부분 PID형 제어가 장착되어 있다. 오토파일럿 시스템의 제어상수는 운항 경제성 관점에서 선박의 추진 에너지 손실량(연료소비량)으로써 평가해야 한다. 본 논문에서는 선박 자동 조타 시스템의 정량적인 평가함수를 바탕으로 추진 에너지 손실량이 최소가 되도록 오토파일럿의 제어상수를 구하고자 한다. 이 때 제약조건, 즉 설계사양을 고려한 RCGA를 이용하여 제어상수를 탐색하고, 제안한 방법을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

핵심용어 : 오토파일럿, PID제어기, 에너지손실, 제약조건, 실수코딩유전알고리즘

1. 서 론

대양에서 항행하는 거의 모든 선박에서 항해사를 도와 일반적으로 선박의 회두각 유지 및 변침을 목적으로 사용되는 오토파일럿 시스템은 정량적인 평가를 필요로 하게 되는데, 본 논문에서는 손(손 외, 1995)에 의해 도출된 평가함수를 바탕으로 RCGA(Real-coded genetic algorithm)를 이용하여 추진 에너지 손실량이 최소가 되고, 여기에 설계사양(이 외, 2007)을 고려하여 최적의 오토파일럿 제어상수를 구하고자 한다.

2. 선박 자동 조타 시스템의 수학적 모델

- 선체운동

자동 조타의 경우 선체운동(ship dynamics)은 보침운동(course-keeping)만을 다루기 때문에 타각에 대한 회두각속도의 선형 응답으로 나타낼 수 있다(Nomoto, 1966).

$$T_1' T_2' \ddot{r} + (T_1' + T_2') \dot{r} + r = K' \delta + K' T_3' \dot{\delta} \quad (1)$$

- 자이로컴퍼스(Gyrocompass)

자이로컴퍼스에 대해서는 식(2)와 같이 나타낸다.

$$\dot{\psi} = \int_0^t \dot{r}^* dt \quad \text{단, } r^* = r + r_d \quad (2)$$

- 오토파일럿(Autopilot)

대부분의 선박에서 오토파일럿으로 구조가 간단하여 적용이 쉽고, 제어 성능이 우수하며 제어이득 조정이 비교적 쉬운 식(3)과 같은 PID제어기를 사용한다.

$$\delta^* = -K_p \{ (\psi - \psi_r) + T_D \dot{\psi} \} \quad (3)$$

- 조타기(Steering gear)

조타기의 수학적모델은 식(4), (5)와 같이 표시된다(Nomoto, 1973).

$$T_E \dot{\delta} + \delta = \delta^* : (|\delta| \leq |\delta_{max}|) \quad (4)$$

$$\dot{\delta} = \text{sign}(\delta^* - \delta) |\dot{\delta}_{max}| : (|\delta| > |\delta_{max}|) \quad (5)$$

3. 선박 자동 조타 시스템의 평가

손(손 외, 1995)은 Hasegawa의 정의에 따라 선박의 조종운동을 나타내는 전후동요 운동방정식으로부터 추진 에너지 손실량의 관점에서 성능평가함수를 식(6)과 같이 도출하였다.

$$J = \frac{1}{2} \overline{\psi^2} + \frac{a'_{rr}}{a'_{vv}} \overline{r^2} + \frac{a'_{\delta\delta}}{a'_{vv}} \overline{\delta^2} \quad (6)$$

4. 유전알고리즘

유전알고리즘의 탐색 과정은 크게 집단 초기화, 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이의 5단계로 구분된다.

- 제약조건 처리

유전알고리즘이 오토파일럿 시스템의 제어변수를 찾는 과정에서 집단내의 잠정적인 해들이 제약조건을 위반할 때를 처리하기 위해 벌점전략을 채용하였다.

$$F(x) = J(x) + P(x) \quad (7)$$

5. 제약조건과 에너지손실을 고려한

오토파일럿 설계

선박의 변침시 오버슈트는 적절해야 하고, 최단시간 내에 목표 침로각으로 선회해야 하며, 목표 침로각에 정상편차 없이 도

* 대표저자 : 안종갑(정회원), jjongabi@naver.com 051)621-0550
 ** 정회원, domsc54@daum.net 051)410-4877
 *** 종신회원, ggjin@hhu.ac.kr 051)621-0550
 † 교신저자 : 소명옥(종신회원), smo@hhu.ac.kr 051)410-4248

달하여야 한다.

설계사양의 위반 정도에 따라 벌점을 추가하도록 벌점항이 추가된 새로운 평가함수 $F(x)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$F(x) = \frac{1}{2}\overline{\psi}^2 + \frac{a'_{rr}}{a'_{VV}}\overline{r}^2 + \frac{a'_{\delta\delta}}{a'_{VV}}\overline{\delta}^2 + w_1g_1^2 + w_2g_2^2 + w_3g_3^2 \quad (8)$$

6. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위한 선박은 대형 광석 운반선으로서 추진에너지 손실을 고려하기 위한 평가함수의 유체력 계수, 조종성 지수 및 조타기는 Table 1과 같다. 그리고 조타기의 특성상수는 일반적으로 실선에서 채택되고 있는 수치를 이용하였다.

Table 1 Coefficient of characteristics of ship dynamics and steering gear

Items	Value[Unit]
a'_{VV}	0.0282
a'_{rr}	0.8290
$a'_{\delta\delta}$	0.1316
T'_1	6.86
T'_2	0.35
T'_3	0.78
K'	2.48
T_E	2.5 sec
$ \delta_{max} $	3.0 deg/sec
$2\delta_b$	1.0 deg
δ^*	2.0 deg/sec

6.1 RCGA를 이용한 오토파일럿 제어상수 탐색

RCGA를 사용하여 오토파일럿용 PID 제어기의 제어상수를 탐색하기 위한 목적함수는 식(9)를 사용한다.

$$F(x) = \frac{1}{2}\overline{\psi}^2 + 29.35\overline{r}^2 + 4.66\overline{\delta}^2 + w_1g_1^2 + w_2g_2^2 + w_3g_3^2 \quad (9)$$

이때 제약조건으로 선박의 변침시 오버슈트는 없어야 하고, 최단시간 내(240s)에 목표 침로각으로 선회해야 하며, 목표 침로각에 정상편차 없이 도달하여야 한다. 사용된 RCGA의 제어 변수로는 집단의 크기 $N=50$, 재생산계수 $\eta=1.8$, 교배확률 $P_c=0.95$, 돌연변이 확률 $P_m=0.2$ 가 사용되었다. 미지의 이득행렬 탐색구간은 $0 \leq K_{P,D} \leq 20000$ 으로 한다. 이때 선박은 0° 로 운항하고 있으며, 계단입력으로 목표 침로각을 30° 로 명령한다. 식 (10)의 탐색 결과를 얻었다.

$$K_p = 468.071843, K_D = 10506.530578 \quad (10)$$

6.2 오토파일럿 시뮬레이션

Fig.1은 현재 선수각 0° 에서 30° 로 변침하는 과정을 보여준다. 오버슈트 0, 상승시간 93.79, 정착시간 218.95, 정상상태오차 0으로 에너지손실을 최소화 하면서 설계사양을 만족함을 알 수 있다.

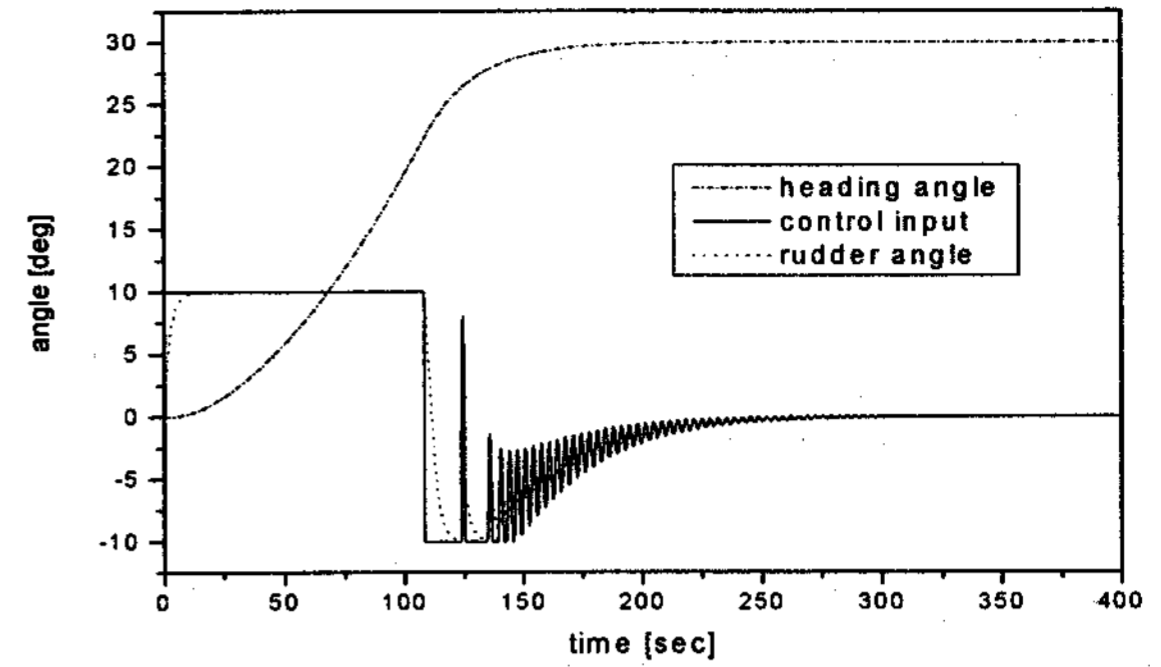


Fig.1 Simulation of course change ($0^\circ \rightarrow 30^\circ$)
Fig.2는 각각의 목표 침로각에 대한 시뮬레이션이다.

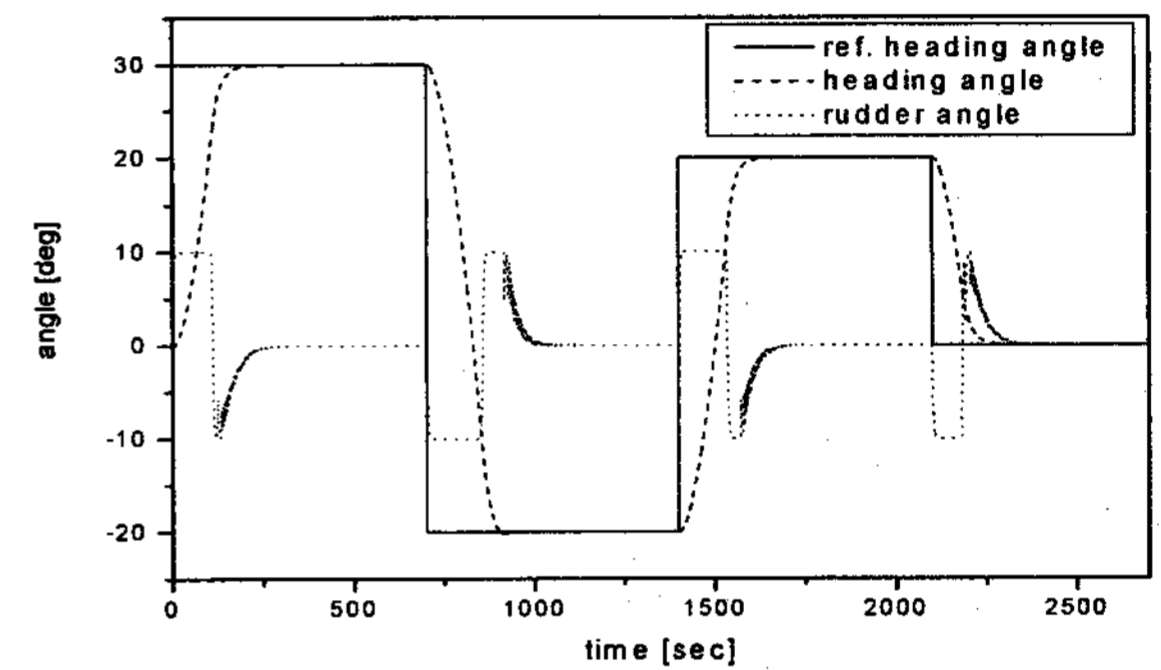


Fig.2 Simulation of heading control system

7. 결 론

외란이 없는 상태에서 오토파일럿의 PID제어기 계수를 추진에너지 손실을 고려하고, 설계사양으로 주어지는 제약조건이 존재하는 경우에 RCGA이용하여 탐색하였다. 시뮬레이션 결과 만족할만한 제어기가 설계되었다.

참 고 문 헌

- [1] 손경호, 이경우(1995), "선박 자동조타 시스템의 성능평가지수에 관한 고찰", 대한조선학회지, 제32권 4호, pp.27-37.
- [2] 이수룡 외 5명(2007), "실수코딩유전알고리즘을 이용한 하역 생산성 향상용 컨테이너 크레인의 안정화 제어기 설계", 한국항해항만학회지, 제31권 6호, pp.515-521.
- [3] Nomoto, K. et al.(1966), "Loss of Propulsive Power Caused by Yawing with Particular Reference to Automatic Steering", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 120(in Japanese).
- [4] Nomoto, K, et al.(1973), "A New Procedure of Analysing Zig-Zag Test", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 134(in Japanese).