

선박의 항로추종을 위한 퍼지 PID 제어기형 오토파일럿 시스템

김종화† · 하윤수* · 이병결**

(원고접수일 : 2006년 8월 4일, 심사완료일 : 2006년 8월 31일)

A Fuzzy PID Controller Type Autopilot System for Route-Tracking of Ships

Jong-Hwa Kim† · Yun-Su Ha* · Byung-Kyul Lee**

Abstract : This paper proposes an autopilot system using a fuzzy PID controller to satisfy performances required for the automatic navigation of ships under various marine circumstances. The existing autopilot system using a PD type controller has difficulties in eliminating a steady-state error and compensating nonlinear characteristics of ships. The autopilot system using the proposed fuzzy PID controller has a self-tuning ability, an ability to compensate nonlinear characteristics, and an ability to turn at constant angular velocity. Therefore, it can naturally make a steady-state error zero, compensate nonlinear dynamic effect of ships, have an adaptability to parameter variation owing to shallow water effect, and have an ability to turn ship's course rapidly without overshoot through procedures of acceleration, constant, and deceleration of angular velocity for large course-changing.

Key words : Fuzzy PID controller (퍼지PID제어기), Autopilot (오토파일럿), Shallow water (천해역), Route-tracking (항로 추종)

1. 서 론

본 논문은 다양한 해상 상황에서 선박의 자동 항행을 위해 요구되는 성능을 만족시키기 위해 퍼지 PID제어기로 구성된 오토파일럿 시스템을 제안한다. 현재 선박에서 주로 사용하는 오토파일럿 시스템의 구조는 그림1과 같고, PD제어기로 구성된다. PD제어기는 정상상태 오차를 제거하지 못하고 선박의 비선형 특성을 보상하지 못하는 단점을 갖는다. 이에 대하여 제안하는 퍼지PID제어기는 입

력신호에 대한 비선형 함수형태의 계인을 가져 비선형 보상능력과 자기동조능력을 갖고 퍼지화과정을 통한 입력공간의 제한으로 일정한 선회각속도로 선회하는 장점을 갖는다. 그러므로 정상상태 오차를 감소시키고 선박의 비선형성을 보상하며, 천해역 효과와 같이 파라미터가 변화되는 환경 조건에 대한 적응성을 가지며, 회두각속도의 가속, 정속, 감속 과정을 통해 큰 회두각 변화에 대해서도 오버슈트 없이 정확하고 빠른 변칙을 가능하게 한다.

† 책임저자(한국해양대학교 IT공학부), E-mail : kimjh@mail.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4343

* 한국해양대학교 IT공학부

** 특허청

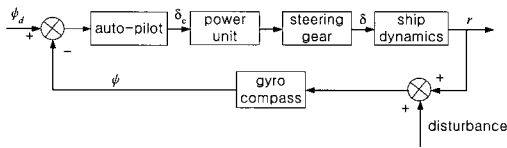


Fig. 1 Block diagram of an autopilot system

2. 퍼지 PID제어기

오토파일럿 시스템을 구성하는 퍼지 PID제어기는 그림2와 같이 퍼지 제어규칙과 비퍼지화기를 각각 포함하는 서로 다른 두 개의 퍼지 제어블록으로 구성된다^{(1),(2)}. 제어기의 변수는 다음과 같다.

$$\psi_e(nT_s) = \psi_d(nT_s) - \psi(nT_s) \quad (1)$$

$$\psi_{e*} = GE \times \psi_e(nT_s) \quad (2)$$

$$\psi_r(nT_s) = [\psi_e(nT_s) - \psi_e(nT_s - T_s)] / T_s \quad (3)$$

$$\psi_{r*} = GR \times \psi_r(nT_s) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \psi_a(nT_s) &= [\psi_r(nT_s) - \psi_r(nT_s - T_s)] / T_s \\ &= [\psi_e(nT_s) - 2\psi_e(nT_s - T_s) + \psi_e(nT_s - 2T_s)] / T_s^2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\psi_{a*} = GA \times \psi_a(nT_s) \quad (6)$$

$$dU(nT_s) = dU_1(nT_s) + dU_2(nT_s) \quad (7)$$

$$d\delta_c(nT_s) = GU \times dU(nT_s) \quad (8)$$

$$\delta_c(nT_s) = d\delta_c(nT_s) + \delta_c(nT_s - T_s) \quad (9)$$

여기서 n 과 T_s 는 양의 정수와 샘플링 시간을 나타내고 $\psi(nT_s)$, $\psi_e(nT_s)$, $\psi_r(nT_s)$, $\psi_a(nT_s)$ 는 각각 샘플링 시간 nT_s 에서 선박의 회두각, 회두각 오차, 오차의 속도성분, 오차의 가속도성분을 나타내며 GE , GR , GA , GU 는 각각 ψ_e , ψ_r , ψ_a , δ 의 퍼지화 스케일 상수로 퍼지 PID제어기의 제어이득이 된다. dU_1 , dU_2 는 퍼지 제어블록 1, 2의 출력을 나타내고 δ_c 는 제어입력인 조타명령각을 나타낸다.

2.1 퍼지화 알고리즘

입력공간에서 정의되는 퍼지집합의 소속함수는 그림3과 같다. ψ_{e*} 에는 EP, EN 두 개의 퍼지 집합이 정의되고, ψ_{r*} 에는 RP, RN 두 개의 퍼지 집합, ψ_{a*} 는 AP, AN 두 개의 퍼지집합이 정의된다.

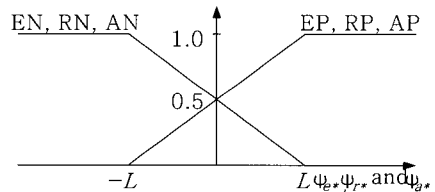


Fig. 3 Membership functions for input variables

dU_1 에서는 그림 4(a)와 같이 OP, OZ, ON 세 개의 퍼지집합이 정의되고, dU_2 에서는 그림 4(b)와 같이 OPM, ONM 두 개의 퍼지집합이 정의된다.

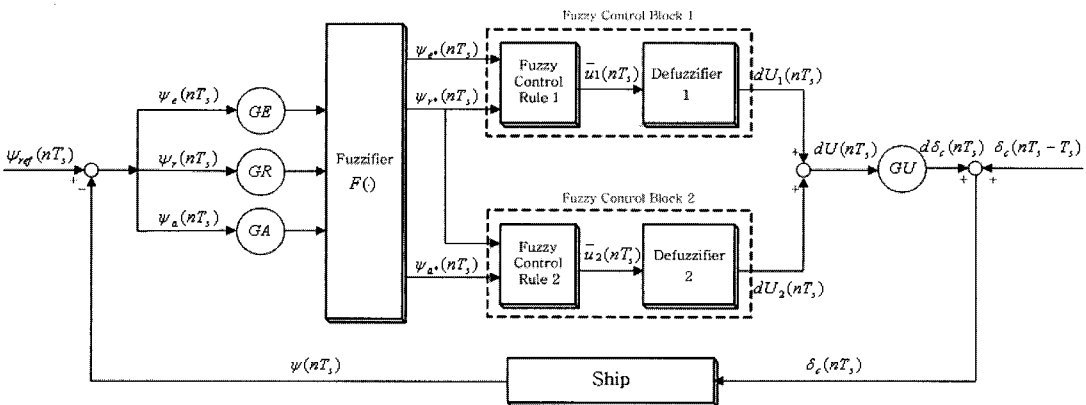


Fig. 2 Structure of a nonlinear fuzzy PID auto-pilot controller

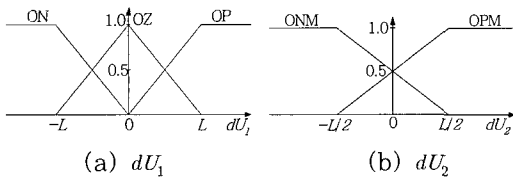


Fig. 4 Membership functions for output variables

2.2 퍼지 제어규칙

퍼지 제어블록1과 2에 대한 퍼지 제어규칙은 다음과 같다^{(1),(2)}.

fuzzy control block 1	
(R1) ₁ : IF $\psi_{e^*} = EP$ and $\psi_{r^*} = RP$ THEN $dU_1 = OP$	
(R2) ₁ : IF $\psi_{e^*} = EP$ and $\psi_{r^*} = RN$ THEN $dU_1 = OZ$	
(R3) ₁ : IF $\psi_{e^*} = EN$ and $\psi_{r^*} = RP$ THEN $dU_1 = OZ$	
(R4) ₁ : IF $\psi_{e^*} = EN$ and $\psi_{r^*} = RN$ THEN $dU_1 = ON$	
fuzzy control block 2	
(R1) ₂ : IF $\psi_{r^*} = RP$ and $\psi_{a^*} = AP$ THEN $dU_2 = OPM$	
(R2) ₂ : IF $\psi_{r^*} = RP$ and $\psi_{a^*} = AN$ THEN $dU_2 = ONM$	
(R3) ₂ : IF $\psi_{r^*} = RN$ and $\psi_{a^*} = AP$ THEN $dU_2 = OPM$	
(R4) ₂ : IF $\psi_{r^*} = RN$ and $\psi_{a^*} = AN$ THEN $dU_2 = ONM$	

2.3 비퍼지화 알고리즘

비퍼지화기는 중심평균법을 사용한다^{(3),(4)}.

$$dU_j = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_{dU_j}(w_i) \times w_i}{\sum_{i=0}^n \mu_{dU_j}(w_i)} \quad j = 1, 2 \quad (10)$$

여기서 n 은 규칙의 수, w_i 는 멤버의 값, 그리고 $\mu_{dU_j}(w_i)$ 는 소속정도를 나타낸다.

2.4 비선형 퍼지 PID제어기의 제어칙

제어기의 출력 $dU(nT_s)$ 는 퍼지 제어블록1의 출력 $dU_1(nT_s)$ 와 퍼지 제어블록2의 출력 $dU_2(nT_s)$ 의 산술적인 합으로 구해지고, 출력 스케일러 GU 를 곱하여 플랜트에 인가하는 제어신호의 증분 $d\delta_c(nT_s)$ 를 생성한다.

$$dU(nT_s) = dU_1(nT_s) + dU_2(nT_s) \quad (11)$$

$$d\delta_c(nT_s) = GU \times dU(nT_s) \quad (12)$$

퍼지 PID제어기의 제어칙은 (13)과 같이 간략화 할 수 있으며 조건은 (14)로 주어진다^{(5),(6)}.

$$\delta_c(nT_s) = d\delta_c(nT_s) + \delta_c(nT_s - T_s) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \text{IF } GE \times |\psi_e| > L \text{ THEN } GE \times |\psi_e| = L \\ & \text{IF } GR \times |\psi_r| > L \text{ THEN } GR \times |\psi_r| = L \\ & \text{IF } GA \times |\psi_a| > L \text{ THEN } GA \times |\psi_a| = L \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} d\delta_c(nT_s) &= K_i(nT_s)\psi_e(nT_s) + K_p(nT_s)\psi_r(nT_s) + K_d(nT_s)\psi_a(nT_s) \\ &= \frac{0.5 \times L \times GU \times GE}{2L - \max(GE \times |\psi_e(nT_s)|, GR \times |\psi_r(nT_s)|)} \psi_e(nT_s) \\ &+ \frac{0.5 \times L \times GU \times GA}{2L - \max(GE \times |\psi_e(nT_s)|, GR \times |\psi_r(nT_s)|)} \psi_r(nT_s) \\ &+ \frac{0.25 \times L \times GU \times GA}{2L - \max(GR \times |\psi_r(nT_s)|, GA \times |\psi_a(nT_s)|)} \psi_a(nT_s) \end{aligned}$$

3. 시뮬레이션

제안하는 퍼지PID제어기로 구성된 오토파일럿 시스템의 유효성을 검증하기 위해 불안정한 조종성을 갖는 오일탱커의 비선형 선박모델을 대상으로 하여 시뮬레이션을 실시한다.

3.1 190,000톤 오일탱커 선박의 수학 모델

Van Berlekom과 Goddard는 표1과 같은 190,000 톤 오일탱커에 대하여 심해역과 천해역에서 조종성을 묘사하는 수학 모델을 구하였다⁽⁷⁾.

Table 1 The specifications of the ESSO 190000 dwt tanker

	Dimension	Value
Length between perpendiculars (L_{pp})	[m]	304.8
Beam (B)	[m]	23.17
Draft to design waterline (D)	[m]	18.46
Displacement (∇)	[m ³]	220,000
L_{pp} / B	[-]	6.46
B / D	[-]	2.56
Block coefficient (C_B)	[-]	0.83
Design speed (u_0)	[knots]	16
Nominal propeller	[rpm]	80

심해역과 천해역에서의 수심 파라미터는

$$\zeta = \frac{D}{h - D} \quad (15)$$

과 같이 묘사된다. 여기서, D [m]는 배의 흘수이고, h 는 수심이다.

Bis-System에 의한 무차원 선박의 속도 방정식과 조종 운동 방정식은

$$\begin{aligned} \dot{u} - vr &= gX'' \\ \dot{v} + ur &= gY'' \\ (Ik_z'')^2 \dot{r} + Lx_G'' ur &= gLN'' \end{aligned} \quad (16)$$

이다. 여기서, $k_z'' = L^{-1} \sqrt{I_z/m}$ 는 무차원 선회 반경이고, $x_G'' = L^{-1} x_G$ 이고, X'', Y'', N'' 는 (17)과 같은 비선형 무차원 함수로 나타내어지는 선박의 동체좌표계에서의 전진방향 힘과 횡방향 힘, 요방향의 모멘트이고 u 는 전진방향 속력, v 는 횡방향 속력, r 은 요방향 선회각속도이다.

$$\begin{aligned} X'' &= X''(u, v, r, T, \zeta, c, \delta) \\ Y'' &= Y''(u, v, r, T, \zeta, c, \delta) \\ N'' &= N''(u, v, r, T, \zeta, c, \delta) \end{aligned} \quad (17)$$

무차원화된 프로펠러 추력 T'' 과 조타기에서의 유속 c 는

$$gT'' = L^{-1} T''_{uu} u^2 + T''_{un} un + LT''_{|m|n} |m|n \quad (18)$$

$$c^2 = c_{un}^2 un + c_{nn}^2 n^2 \quad (19)$$

로 정의된다. δ 는 조타기의 조타각이고 n 은 프로펠러의 회전수이다.

무차원화된 전진방향, 횡방향, 회두방향 힘과 모멘트는

$$\begin{aligned} gX'' &= X''_{uu} \dot{u} + L^{-1} X''_{ua} u^2 + X''_{ur} vr + L^{-1} X''_{|clc|\delta\delta} |clc|\delta^2 \\ &\quad + L^{-1} X''_{|clc|\beta\delta} |clc|\beta\delta + gT''(1-t) \\ &\quad + X''_{u\zeta} u\zeta + L^{-1} X''_{ua\zeta} u^2\zeta + X''_{ur\zeta} vr\zeta + L^{-1} X''_{uv\zeta\zeta} v^2\zeta^2 \\ gY'' &= Y''_{uv} \dot{v} + L^{-1} Y''_{uv} uv + L^{-1} Y''_{|vlv|} |v|v + L^{-1} Y''_{|clc|\delta} |clc|\delta + L^{-1} Y''_{ur} ur \\ &\quad + L^{-1} Y''_{|clc|\beta\delta} |clc|\beta|\delta + Y''_{Tg} T'' \\ &\quad + Y''_{ur\zeta} ur\zeta + L^{-1} Y''_{ua\zeta} uv\zeta + L^{-1} Y''_{|vlv|\zeta} |v|v\zeta + L^{-1} Y''_{|clc|\beta\delta\zeta} |clc|\beta|\delta\zeta \\ gLN'' &= L^{-2} N''_{uv} uv + L^{-1} N''_{|vr|} |v|r + L^{-2} N''_{|clc|\delta} |clc|\delta + L^{-1} N''_{ur} ur \\ &\quad + L^{-2} N''_{|clc|\beta\delta|\delta} |clc|\beta|\delta|\delta + L^{-1} N''_{Tg} T'' \\ &\quad + L^{-1} N''_{ur\zeta} ur\zeta + L^{-2} N''_{ua\zeta} uv\zeta + L^{-1} N''_{|vr|\zeta} |v|r\zeta + L^{-2} N''_{|clc|\beta\delta\zeta} |clc|\beta|\delta\zeta \end{aligned} \quad (20)$$

Table 2 Non-dimensional hydrodynamic coefficients for the ESSO 190000 dwt Tanker (Bis-system)

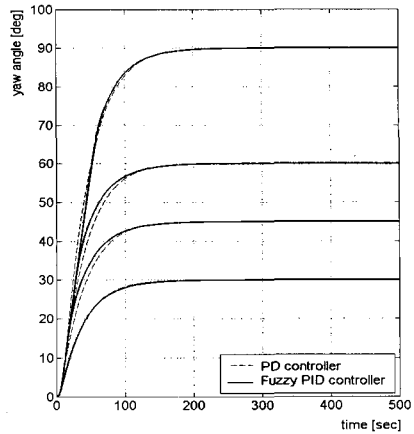
X-equation		Y-equation		N-equation		
$1 - X''_{uu}$	1.050	$1 - Y''_{vv}$	2.020	$(k_z'')^2 - N''_{rr}$	0.1232	
X''_{uu}	-0.0377	$Y''_{ur} - 1$	-0.752	$N''_{ur} - x_G''$	-0.231	
$1 + X''_{vr}$	2.020	Y''_{uv}	-1.205	N''_{uv}	-0.451	
X''_{vv}	0.300	Y''_{vtd}	-2.400	$N''_{ vtr}$	-0.300	
$X''_{ cl\delta\delta}$	-0.093	$Y''_{ cl\delta}$	0.208	$N''_{ cl\delta}$	-0.098	
$X''_{ cl\beta\delta}$ ($\beta = v/u$)	0.152	$Y''_{ cl\beta \beta \beta}$	-2.16	$N''_{ cl\beta \beta \beta}$	0.688	
X''_T	0.22	Y''_T	0.04	N''_T	-0.02	
X''_T : thrust deduction		Y''_T : propeller side force		N''_T : propeller yaw moment		
additional terms in shallow water $\zeta \neq 0$	X''_{us}	-0.05	Y''_{is}	-0.387	N''_{rs}	-0.0045
	X''_{us^2}	-0.0061	Y''_{ur^2}	0.182	N''_{ur^2}	-0.047
	X''_{vr^2}	0.387	Y''_{us^2}	-0.85	N''_{us^2}	-0.241
	X''_{vrs^2}	0.0125	Y''_{us^2}	0.0	$N''_{ vtr^2}$	-0.120
			$Y''_{ vtr^2}$	-1.50	$N''_{ cl\beta \beta \beta \beta}$	0.344
		$Y''_{ cl\beta \beta \beta \beta}$	-0.191			
T-equation		c-equation				
T''_{uu}	-0.00695	c_{um}	{ 0.605 38.2	$n \geq 0$		
T''_{un}	-0.000630	c_{mn}				
$T''_{ m n}$	0.0000354	$c=0$	$n < 0$			

과 같다. 여기서, 각 식들의 첫 번째 두 줄은 심해역 효과를 나타내고, 마지막 줄은 천해역 효과를 나타낸다. 각 유체력 미계수들은 표 2와 같다.

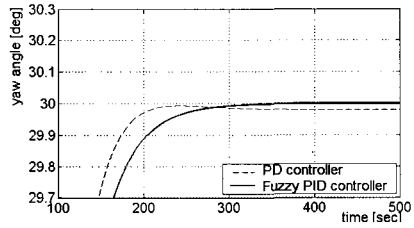
파랑은 파장과 수심의 비에 따라, 수심이 파장의 1/2보다 깊은 심해파(Deep water wave)와 수심이 파장의 1/20보다 얕은 천해파(Shallow water wave)로 분류된다. 천해파는 장파라 불리며 해저 지형의 영향을 받아 굴절이 일어나고 수면에 있는 물입자의 궤도는 변형되어 타원운동을 한다. 수심 파라미터 (15)는 천해파의 영향을 표현한 것으로 선박의 유체력 미계수는 수심에 따라 그 값이 변한다. 본 논문은 심해역과 천해역에 대하여 각각 시뮬레이션을 실시하였다.

3.2 심해역 시뮬레이션(수심 : 1000m)

30°, 45°, 60°, 90°의 변침각에 대한 퍼지 PID제어기의 시뮬레이션 결과를 PD제어기의 응답과 비교하여 그림 5에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용된 선형 PD제어기의 파라미터는 $K_p = 0.7$, $K_d = 25$ 이고, 퍼지 PID제어기의 파라미터는 $L = \pi/9$, $GE = 0.6$, $GR = 17.5$, $GA = 175$, $GU = 1$ 이다. PD제어기의 응답 곡선은 변침각에 따라 기울기가 다르게 나타나지만, 퍼지 PID제어기의 응답곡선은 변침각의 크기에 관계없이 기울기가 일정함을 알 수 있다. 이것은 퍼지 PID제어기의 퍼지화 과정 중 입력공간이 제한되어 나타나는 현상이다. 5(b)는 30° 변침각에 대한 정상상태 오차를 나타낸 것으로 선형 PD제어기의 응답은 정상상태 오차를 갖는 것에 대하여 퍼지 PID제어기의 응답은 정상상태 오차를 갖지 않음을 보여준다.



(a) yaw angles



(b) steady-state errors

Fig. 5 Course-changing simulations

변침각 45°, 60°, 90°인 경우의 PD제어기와 퍼지 PID제어기의 시뮬레이션 결과와 조타각의 변화를 그림 6에 나타내었다. 시뮬레이션은 급격한 조타에 의해 선박이 불안정해지는 것을 막기 위해 조타각의 크기를 ±10°의 제한을 두고 실시하였다.

퍼지 PID제어기의 응답곡선은 변침각의 크기에 관계없이 기울기가 일정하고, 큰 변침각(90°)에 대

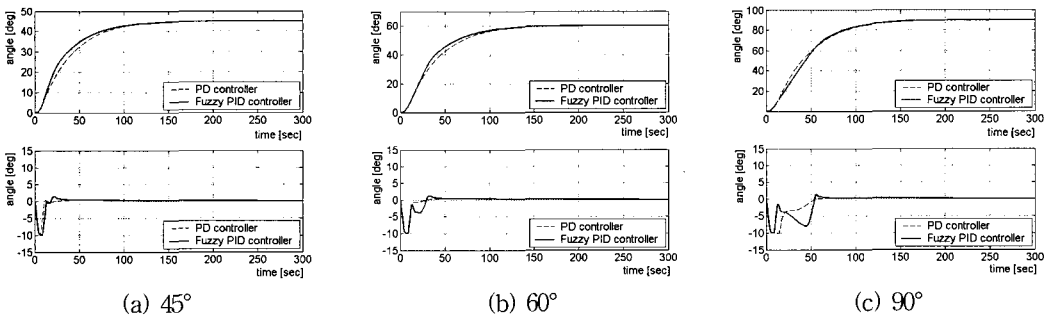


Fig. 6 Course-changing simulations

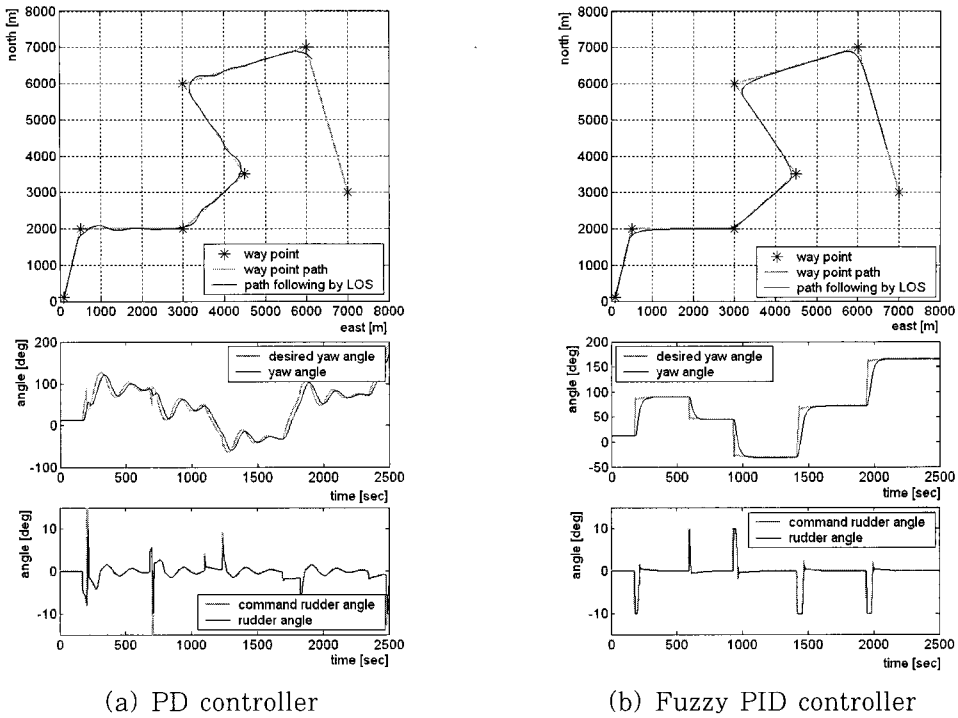


Fig. 7 Path following results at deep water (PD controller vs. fuzzy PID controller)

해서도 일정 각속도 변침이 수행되고 있음을 볼 수 있다.

LOS 가이드스 시스템에 대해 PD제어기와 퍼지 PID제어기로 오토파일럿 시스템을 구성하여 선박의 항로추종 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 7(a)는 PD제어기를 이용하여 항로 추종제어를 실시한 결과이고 7(b)는 퍼지 PID제어기를 이용하여 항로 추종제어를 실시한 결과이다. PD제어기는 선회제어시 선박의 비선형성을 제대로 보상하지 못하고 오버슈트가 발생하면서 항로를 제대로 추종하지 못하고 있으나 퍼지 PID제어기는 오버슈트 없이 직선항로와 선회항로 모두 잘 추종하도록 제어되고 있음을 볼 수 있다.

3.3 천해역 시뮬레이션

수심이 얕아지면 천해파에 의한 영향이 강하게 나타나고 선박의 비선형성은 더욱 증대된다. 수심 35m에서 30°, 45°, 60°, 90°의 변침각에 대한 퍼

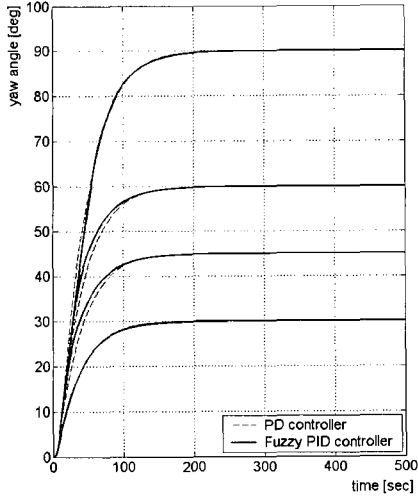
지 PID제어기의 시뮬레이션 결과를 PD제어기의 응답과 비교하여 그림 8에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용한 퍼지 PID제어기와 선형 PD제어기의 파라미터는 심해역 시뮬레이션에서 사용된 파라미터와 동일하게 설정하였다.

그림 8(a)를 보면, 퍼지 PID제어기의 응답곡선은 35m의 천해역에서도 변침각의 크기에 관계없이 기울기가 일정하고, 큰 변침각(90°)에 대해서도 일정 각속도 변침이 수행되고 있음을 볼 수 있다.

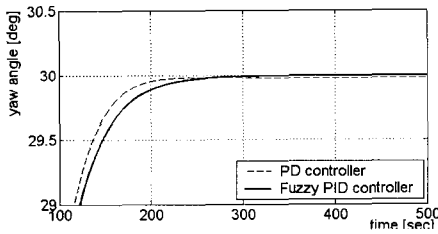
그림 8(b)는 30°에 대한 응답곡선을 확대한 것으로 PD제어기의 응답은 정상상태 오차가 발생하는 것에 대하여 퍼지 PID제어기의 응답은 정상상태 오차가 나타나고 있지 않음을 볼 수 있다.

변침각 45°, 60°, 90°에 대하여, PD제어기와 퍼지 PID제어기의 변침 결과와 조타각의 변화를 그림 9에 나타내었다. 비교적 천해역 효과가 덜 나타나는 35m의 경우, PD제어기와 퍼지 PID제어기의 응답 모두 심해역에서와 비슷한 성능을 나타내고 있다. 심해역에서와 같이, 변침각이 큰 경우(90°)에

도 퍼지 PID제어기는 회두각속도의 가속, 정속, 감속 과정을 통해 큰 회두각 변화에 대해서도 오버슈트 없이 정확하고 빠른 변침이 가능하도록 조타각을 제어하고 있다.



(a) yaw angle

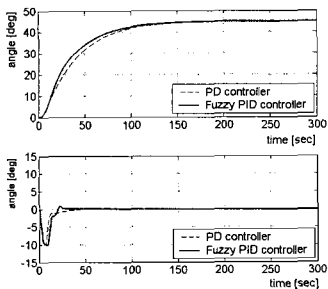


(b) steady-state error

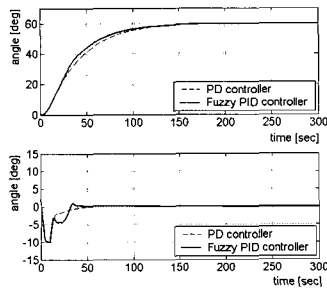
Fig. 8 Course-changing simulation (water depth : 35m)

일반적으로 천해파 효과는 선박의 침로 안전성을 향상시키고, 선회력을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 선회력의 감소는 천해역에서 선박의 선회 시간을 연장시켜 응급 상황에서 선박의 대피 능력을 감소시킨다. 수심 변화에 따른 제어기의 성능을 시험하기 위해 변침각 60°에 대하여 수심을 30m, 25m, 20m로 변화하여 시뮬레이션을 실시하고 결과를 그림 10에 나타내었다. 수심이 얕아짐에 따라 선박의 선회력은 감소하지만 PD제어기는 이를 충분히 보상하지 못하여 상승시간이 지연된다. 그러나, 퍼지 PID제어기는 게인 스케줄링을 통하여 선박의 선회력이 감소하는 것을 그림10(c)에 나타내 있는 것과 같이 실시간 보상으로써 선박의 선회 시간이 지연되지 않도록 하고 있음을 볼 수 있다. 퍼지 PID제어기의 이러한 능력은 선박의 대피능력을 향상시켜 응급상황이 많이 발생하는 천해역에서 매우 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

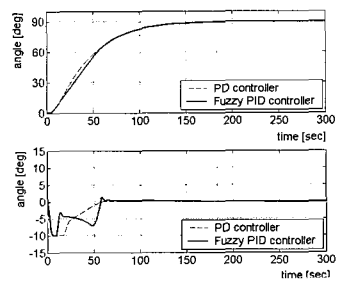
PD제어기와 퍼지 PID제어기에 대하여 수심35m의 천해역에서 선박의 항로추종 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 11에서 첫 번째 그림은 항로 추종결과를 나타내고, 두 번째 그림은 목표 회두각과 회두각의 변화를 나타내며, 세 번째 그림은 조타 명령각과 조타각을 나타낸다. 그림 11(a)의 PD제어기의 항로추종 결과를 살펴보면, 심해와 비교하여 천해역에서 조종성능이 향상되어 선회 이후에 요동이 작게 나타나고 있으나 오버슈트가 발생하여 선회 시 항로를 벗어나고 선수동요가 발생하여 추진 에너지의 손실량이 증가



(a) 45°



(b) 60°



(c) 90°

Fig. 9 Course-changing simulations (water depth : 35m)

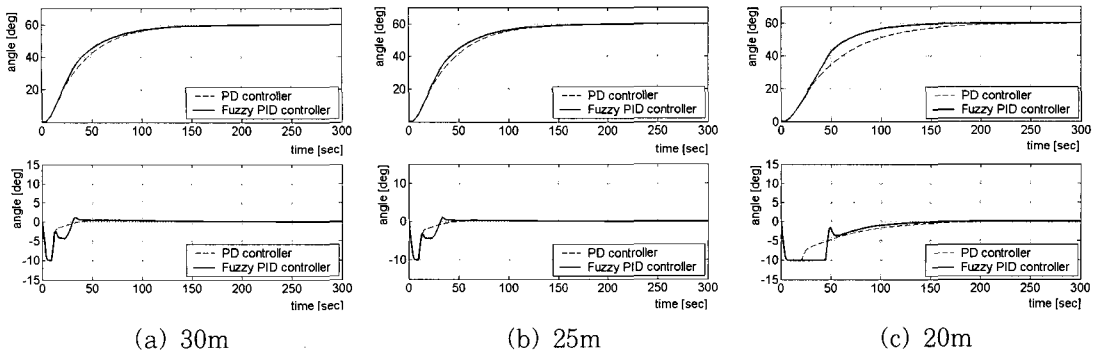


Fig. 10 Shallow water effect simulations

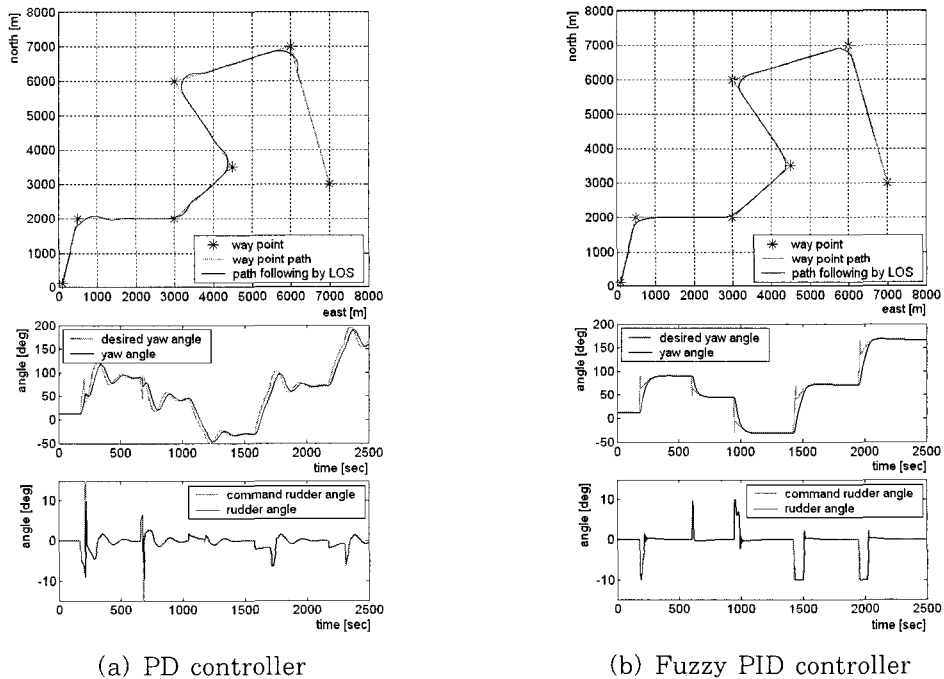


Fig. 11 Path following results at shallow water (PD controller vs. fuzzy PID controller)

함을 볼 수 있다. 이에 대하여 그림 11(b)의 퍼지 PID제어기의 경우 천해역에서도 직선항로와 선회항로에서 항로의 추종이 잘 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 그림 11(a),(b)의 두 번째와 세 번째 그림은 항로 추종동안 LOS 가이드 시스템의 유도 신호와 제어기에 의한 변침 및 회두각 유지제어의 결과를 보여주는 것으로 퍼지 PID제어기의 경우, 선박의 비선형성을 보상하고 계인 스케줄링을 통해

천해역에서 선박의 선회력 감소를 보상하여 선박을 안정적으로 제어하고 있음을 확인할 수 있다.

천해역에서 수심이 변화하는 경우 퍼지PID제어기의 성능을 시험하기 위해 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 그림12에 나타내었다. 수심이 변화함에 따라 선박의 파라미터는 변화하고 있지만 퍼지PID제어기는 LOS 가이드 시스템의 유도명령을 추종하도록 선박을 제어하고 있음을 볼 수 있다.

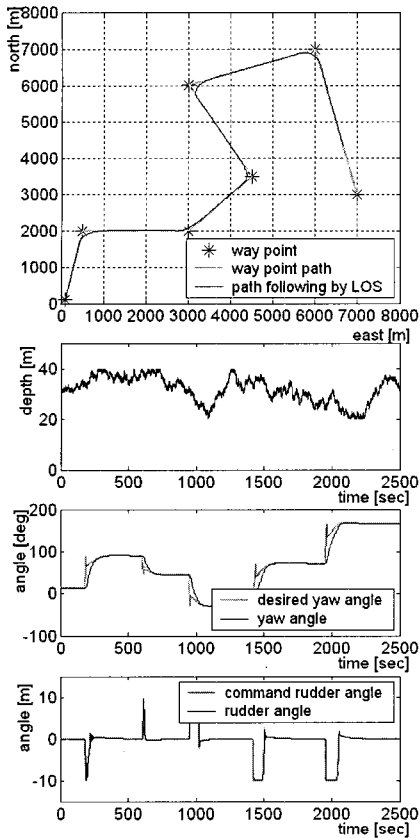


Fig. 12 Simulation result for path following of an oil tanker in case of depth-variation

4. 결 론

이상의 심해역과 천해역에서의 시뮬레이션 결과로부터 제안하는 퍼지 PID제어기는 입력에 대한 비선형 함수형태의 계인을 가져 선박의 비선형성을 보상하는 능력을 갖고, 정상상태 오차를 발생시키지 않으며, 변침각이 큰 경우에도 퍼지화 과정을 통한 입력공간의 제한으로 회두각속도의 가속, 정속, 감속 과정을 통해 오버슈트 없이 정확하고 빠른 변침을 가능하게 함을 알 수 있다. 또한 계인 스케줄링을 통해 천해역에서 선회력이 감소하는 경우에도 지연시간 없이 선박을 선회하도록 제어하며, 천해역에서 수심이 변화하여 파라미터가 변화하는 경우에도 적응성을 가져 강인한 성능을 발휘함을 확인할 수 있었다. 특히, 퍼지 PID제어기는 선회력이

저하되는 천해역에서 빠른 선회를 가능하게 하여 연안항해시 자주 발생하는 충돌회피나 장애물회피 등에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. H. Kim and S.J Oh, "A Fuzzy PID Controller for Nonlinear and Uncertain Systems," *Soft Computing*, No.4, pp. 123-129, Springer-Verlag, 2000.
- [2] 김인환, 이병결, 김종화, "비선형 퍼지 PID제어기의 성능 개선에 관한 연구," *한국박용기관학회 논문지*, Vol. 27, No. 7, pp. 852-661, 2003.
- [3] L. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall, 1997.
- [4] K. M. Passino and S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, Addison Wesley, 1999.
- [5] 이병결, 김종화, 진강규, 류길수, "퍼지 PID제어기의 안정도 분석," *Proceedings of the KOSME 2004 Autumn conference*, pp. 207-216, 2004.
- [6] 이병결, 김인환, 김종화, "고정 파라미터를 갖는 단순화된 퍼지 PID 제어기의 제안과 안정도 분석," *퍼지 및 지능시스템 학회 논문지*, Vol. 14, No. 7, pp. 807-815, 2004.
- [7] N. H. Norbin, "Theory and Observation on the Use of a Mathematical Model for Ship Maneuverability in Deep and Confined Waters," *8th Symposium on Naval Hydro-dynamics*, California, 1970.

저 자 소 개



김종화 (金鍾和)

1981년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1985년 동대학원 석사(제어공학), 1989년 동대학원 박사(제어공학), 1990-현재 한국해양대학교 IT공학부 교수, 1996-1997 University of Wales, Cardiff 연구교수.



하윤수 (河潤秀)

1962년 4월생. 1986년 한국해양대학교
기관학과 졸업. 1990년 동 대학원 졸업
(공학석사). 1996년 일본 쓰쿠바대학 대
학원 졸업(공학박사). 1996~ 현재 한국
해양대학교 IT공학부 부교수



이병결 (李丙結)

1993년 한국해양대학교 제어계측공학
과 졸업, 1998년 동대학원 석사(제어
계측공학과), 2005년 동대학원 박사
(제어계측공학), 현재 특허청 심사관
(제어계측, 네비게이션 시스템)