한국산학기술학회논문지
Vol. 12, No. 2 pp. 821-828, 2011

Nomoto모델을 이용한 선박의 선형 모델 분석 및 퍼지제어기 설계

임대영[1], 김영철[2], 정길도[1*]
[1]전북대학교 전자공학, [2]군산대학교 기계공학

The linear model analysis and Fuzzy controller design of the ship using the Nomoto model

Dae-Yeong Lim[1], Young-Chul Kim[2] and Kil-To Chong[1*]
[1]**Electronic engineering, Chonbuk National University**
[2]**Mechanical engineering, Kunsan National University**

요 약 본 논문은 자동항로 추적(Track keeping control), 자동조타(Automatic steering), 자동 접이안(Automatic mooring control) 등으로 구성된 자동운항 시스템 중 자동조타장치의 성능 개선 알고리즘 개발에 대해 다루고 있다. 자동조타는 풍력 또는 조력 등의 영향으로부터 선박의 설정 항로와 실제 침로와의 차이를 계산하여 설정된 항로를 유지하며 항해하므로, 조타에 소요되는 선원의 지속적인 항해로 인한 운전 부담을 경감시키고 불필요한 타조작에 의한 항로 이탈을 줄임으로써 항해거리 단축과 연료비용을 절약할 수 있는 시스템이다. 선박의 모델링을 위하여 Nomoto 모델에 근거하여 전달함수를 구하고, 조종성능(Manoeuvirng) 편리성을 고려하여 타각 입력에 대한 선수각 응답으로 표시된 선박의 4자유도만을 고려한 선형 모델을 제안하고 선박 자동조타장치의 최대각과 타각율을 고려하여 Fuzzy제어기를 설계 하였고 PID제어기로 성능을 비교 분석하였다.

Abstract This paper developed the algorithm for improving the performance the auto pilot in the autonomous vehicle system consisting of the Track keeping control, the Automatic steering, and the Automatic mooring control. The automatic steering is the control device that could save the voyage distance and cost of fuel by reducing the unnecessary burden of driving due to the continuous artificial navigation, and avoiding the route deviation. During the step of the ship autonomic navigation control, since the wind power or the tidal force could make the ship deviate from the fixed course, the automatic steering calculates the difference between actual sailing line and the set course to keep the ship sailing in the vicinity of intended course. first, we could get the transfer function for the modeling of ship according to the Nomoto model. Considering the maneuverability, we propose it as linear model with only 4 degree of freedoms to present the heading angle response to the input of rudder angle. In this paper, the model of ship is derived from the simplified Nomoto model. Since the proposed model considers the maximum angle and rudder rate of the ship auto pilot and also designs the Fuzzy controller based on existing PID controller, the performance of the steering machine is well improved.

Key Words : Auto-pilot, Nomoto model, Fuzzy, PID, Steering machine

1. 서론

최근 지능형 자율 운항제어시스템 구현을 위하여 승조원의 역할을 지능적으로 수행하도록 하는 선박 무인화 시스템이 활발히 연구되고 있다. 지능형 자율 운항제어는 크게 자동항로 추적(Track Keeping Control), 자동조타

본 연구는 교육과학기술부와 한국 산업 기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임
*교신저자 : 정길도(kitchong@jbnu.ac.kr)
접수일 11년 01월 06일 수정일 11년 02월 05일 게재확정일 11년 02월 10일

(Automatic steering), 자동접이안(Automatic Mooring Control) 등으로 분류된다[1]. 선박의 자동조타에 대한 연구는 풍력 또는 조력 등의 영향으로부터 선박이 침로에 벗어난 경우 설정한 침로와 실제의 침로와의 차이를 계산하여 설정된 침로를 유지하며 항해하도록 하는 제어방법이다. 이러한 자동조타는 승조원의 조타 역할을 보조해주어 승조원의 피곤함을 덜어 주고 항로에서 벗어나지 않게 제어하여 운항시간 단축과 그에 따른 연료절감 효과를 준다[2].

선박의 운동은 선박을 중심으로 X축, Y축, Z축에 해당하는 Surge, Sway, Heave 운동과 각 축에 대해 회전운동을 나타내는 Roll, Pitch, Yaw운동이 있다. 최근 이러한 선박의 6자유도운동과 비선형성을 고려한 퍼지제어, 신경망 등을 이용한 자동조타 제어기의 설계에 관한 연구가 수행되고 있다[3-5]. 선박의 모든 6자유도 운동을 포함하여 수학적 모델을 구하면 보다 물리적 현상을 자세히 표현할 수 있지만 파라메터 값을 구하기 위한 더욱 많고 복잡한 시스템의 정보가 필요하게 되며 선박 안정성의 확보와 실제 구현상의 어려움을 갖는다[6]. 따라서 본 논문에서는 변침에 의한 선수각 변화에 따라 조타입력을 제어하여 선수각을 제어하도록 간단하게 모델링된 Nomoto모델을 사용하여 운동방정식을 유도하였다.

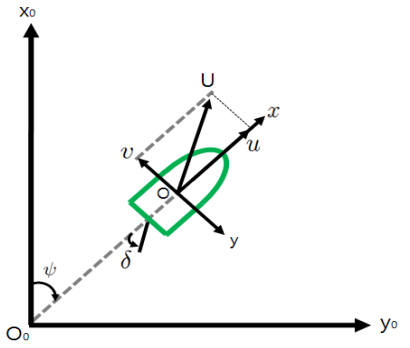
이 Nomoto모델은 선박의 6자유도 운동을 수직면(내항성, Seakeeping), 수평면(조종성, Manoeuv-ring)의 2평면 운동으로 단순화 하여 조종성능에 큰 영향을 미치는 Surge, Sway, Yaw, Roll를 힘에 대한 선체의 응답으로 고려하여 선형 항들로 표시함으로 간단한 모델링 적용이 가능하다.

따라서, 본 논문에서는 선형화된 Nomoto모델을 유도한 후, 조타장치의 기구적인 특성을 고려하여 최대타각과 타각율을 적용 하였고, 퍼지 모델 기반 피드백 선형화 제어 시스템의 강인 안정성 해석과 설계[7], Fuzzy model reference learning control for cargo ship steering[8] 등에서 제안한 fuzzy제어기의 시스템의 절대 안정성 보장을 기반으로 제어기 설계 후 모의 실험을 하였으며, 제어 성능 비교를 위해 자주 사용되고 있는 PID제어기법과 비교하여 성능을 분석하였다.

2. 선박조종모델

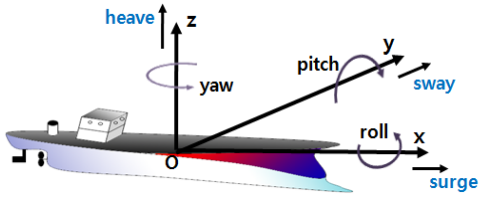
2.1 선박의 좌표계 설정

선박의 조종모델을 설명하기 위해 그림 1 처럼 지구상에 고정된 O0-x0y0 좌표계와 그림 2 처럼 선체중심에 원점을 둔 O-xy 좌표계를 설정 할 수 있다. 두 좌표계 모두 선박의 조종운동을 기술 할 수 있지만 선체에 작용하는 유체력을 표현하기에는 선체중심에 원점을 둔 O-xy 좌표계가 더 편리함으로 본 논문에서는 선체중심 좌표계를 사용하였다.



[그림 1] 지구고정 선박 좌표계

그림 1은 지구고정 좌표계로 δ는 타각, ψ는 선수각이고 u와 v는 각각 전후방향속도와 좌우방향속도를 나타내며, $U=\sqrt{u^2+v^2}$ 으로 u와 v의 합속도를 의미한다.



[그림 2] 선체중심 선박 좌표계

그림 2는 선체중심 좌표계로 선박 운항 시 선체에 작용하는 유체력을 3방향 병진운동과 3축 회전운동으로 나타낸 것으로 선박의 6자유도 운동에 사용되는 용어는 표 1과 같다.

[표 1] 선박의 6자유도 운동 변수

방향	영문	변위	속도	가속도	힘
전후동요	Surge	x	y	$\dot{u}$	X
좌우동요	Sway	y	v	$\dot{v}$	Y
상하동요	Heave	z	w	$\dot{w}$	Z
횡동요	Roll	ϕ	p	$\dot{p}$	K
종동요	Pitch	θ	q	$\dot{q}$	M
선수동요	Yaw	ψ	r	$\dot{r}$	N

표 1에서 정리한 선박의 6자유도 운동은 수직면과 수평면인 2평면 운동으로 단순화 된다. 여기서, 수직면은 내항성(Seakeeping)으로 상하동요, 종동요, 횡동요가 있고 수평면은 조종성(Manoeuvring)으로 전후동요, 좌우동요, 선수동요로 분류 된다.

이때, 내항성과 조종성을 모두 포함하여 조종성능을 평가하기에는 수식이 복잡해 모델링이 어렵기 때문에 대부분 선박의 운항 연구에서는 3자유도(surge, sway, yaw) 운동을 고려한다. 그러나 고속 컨테이너와 같은 선박은 운항, 변침 시 횡동요(roll)가 바람의 영향을 무시 할 수 없기 때문에 본 논문에서는 roll영향을 포함하는 4자유도 운동을 고려하였다.

2.2 Nomoto 모델

선박에 기인하는 조종운동은 주로 유체력에 의해 결정되고 프로펠러나 타력은 모델링에 추가할 수 있는 부분이기 때문에 선박에 작용하는 유체력(Hydrodynamic forces)을 고려하여 선박 조종운동 모델을 유도 한다[9].

2.2.1 Nomoto 선형모델 유도

본 절에서는 선박의 운동을 선형화 하여 Nomoto 모델식을 유도하는 방법을 살펴본다. 먼저 선박의 좌우동요에 대해 외란의 영향을 무시하고 속도 (u,v,r)와 가속도 $(\dot{u},\dot{v},\dot{r})$의 함수로 간주하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y(t)=F(u(t),v(t),r(t),\dot{u}(t),\dot{v}(t),\dot{r}(t)) \tag{1}$$

여기서, Y는 선박의 좌우동요 힘 이며, u,v는 선체 고정 좌표계에 대한 x,y방향의 속도이고 r은 z방향으로 작용하는 회전 각속도 이다.

식(1)의 속도와 가속도에 대해 Δ만큼 섭동(perturbation)하여 좌우동요의 평형상태 주위에 대한 Taylor 전개를 이용하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}&Y(U+\Delta u,\Delta v,\Delta r,\Delta\dot{u},\Delta\dot{v},\Delta\dot{r})=\\&Y(U,0,\cdots,0)+\frac{\partial Y}{\partial u}\Delta u+\frac{\partial Y}{\partial v}\Delta v\\&+\frac{\partial Y}{\partial r}\Delta r+\frac{\partial Y}{\partial\dot{u}}\Delta\dot{u}+\frac{\partial Y}{\partial\dot{v}}\Delta\dot{v}+\frac{\partial Y}{\partial\dot{r}}\Delta\dot{r}\\&+\frac{1}{2}\left\{\frac{\partial^2 Y}{\partial u^2}(\Delta u)^2+\frac{\partial^2 Y}{\partial v^2}(\Delta v)^2+\cdots\right\}+\cdots\end{aligned} \tag{2}$$

여기서, U는 섭동이 없을 때 선박의 일정한 직진속도를 의미 한다. 식 (2)를 각 변수에 대한 편미분을 첨자로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}Y=&Y_0+Y_u\bullet u+Y_v\bullet v+Y_r\bullet r\\&+Y_{\dot{u}}\bullet\dot{u}+Y_{\dot{v}}\bullet\dot{v}+Y_{\dot{r}}\bullet\dot{r}+Y_{uv}uv\\&+Y_{uu}u^2+Y_{vv}v^2\cdots\end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)을 간략화 하기위해 선체의 좌우 대칭성을 고려하고 물리적으로 의미가 없는 항을 생략 하면 좌우동요 운동식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}m(\dot{v}+u_0r)=&Y_VV+Y_{\dot{V}}\dot{V}+Y_\phi\phi+Y_PP\\&+Y_{\dot{P}}\dot{P}+Y_rr+Y_{\dot{r}}\dot{r}+Y_\delta\delta\end{aligned} \tag{4}$$

여기서, $Y_V,Y_{\dot{V}},\cdots$ 는 유체력 계수를 나타내며 횡동요와 선수동요 운동에 대해서도 같은 방법으로 유도할 수 있으며 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}I_X\ddot{\phi}=&K_PP+K_{\dot{P}}\dot{P}-mg\overline{GM}\phi+K_VV+K_{\dot{V}}\dot{V}+K_rr\\&+K_{\dot{r}}\dot{r}+K_\delta\delta\\I_Z\ddot{\psi}=&N_rr+N_{\dot{r}}\dot{r}+N_\phi\phi+N_PP+N_{\dot{P}}\dot{P}+N_VV\\&+N_{\dot{V}}\dot{V}+N_\delta\delta\end{aligned} \tag{5}$$

여기서, $m,\overline{GM},I$는 각각 선박의 질량, 메타센터 높이, 관성모멘트를 나타낸다.

식 (4), (5)에서 구한 운동식을 조타각 입력(δ)에 대한 선수각 출력(r) 비로 나타내기 위해 라플라스 변환하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}a_1V&=a_2\Phi+a_3r+a_4\delta\\b_1\Phi&=b_2V+b_3r+b_4\delta\\c_1r&=c_2V+c_3\Phi+c_4\delta\end{aligned} \tag{6}$$

여기서, 변수 $a_{1\cdots4},b_{1\cdots4},c_{1\cdots4}$는 식 (7)과 같으며,

$$\begin{aligned}a_1&=(m-Y_{\dot{V}})s-Y_V\\a_2&=Y_{\dot{P}}s^2+Y_Ps+Y_\phi\\a_3&=Y_{\dot{r}}s+Y_r+\mu_0\\a_4&=Y_\delta\\b_1&=(I_X-K_{\dot{P}})s^2-K_Ps+mg\overline{GM}\\b_2&=K_{\dot{V}}s+K_V\\b_3&=K_{\dot{r}}s+K_r\\b_4&=K_\delta\\c_1&=(I_Z-N_{\dot{r}})s-N_r\\c_2&=N_{\dot{V}}s+N_V\\c_3&=N_{\dot{p}}s^2+N_Ps+N_\phi\\c_4&=N_\delta\end{aligned} \tag{7}$$

식 (6)의 방정식을 정리하면 다음과 같은 입·출력 식을 얻을 수 있다[10].

$$\frac{r}{\delta}=\frac{a_1(b_1c_4+b_4c_3)+a_2(b_4c_2-b_2c_4)+a_4(b_1c_2+b_2c_3)}{a_1(b_1c_1-b_3c_3)-a_2(b_2c_1+b_3c_2)-a_3(b_1c_2+b_2c_3)} \tag{8}$$

또한, 식 (8)을 선박 조종 방정식의 시간상수 T_1, T_2, T_3로 정리하면 식 (9)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{r}{\delta}=\frac{K(1+T_3S)(S^2+2\eta\omega_0S+\omega_0^2)}{(1+T_1S)(1+T_2S)(S^2+2\xi\omega_nS+\omega_n^2)} \tag{9}$$

만약 횡방향의 roll 영향을 무시한다면 위식은 식 (10)과 같이 더욱 간단하게 표현할 수 있다.

$$\frac{r}{\delta}=\frac{K(1+T_3S)}{(1+T_1S)(1+T_2S)} \tag{10}$$

식 (10)은 Nomoto의 2차 모델의 전달함수 형태로써 K는 선수동요 이득 값이며, T_1, T_2, T_3은 각각 조종 방정식의 1 ,2, 3차 시간상수를 나타낸다.

일반적으로 선박에서 조종 방정식의 1차 시간 상수 T_1은 T_2, T_3에 비해 매우 크므로 T_1, T_2, T_3을 Effective 시간상수로 표시하여 간략화 하면 식 (11)과 같은 Nomoto 1차 모델을 구할 수 있다.

$$\frac{r}{\delta}=\frac{K}{(1+TS)} \tag{11}$$

여기서, Effective 시정수 T는 $T_1+T_2-T_3$이다.

2.2.2 제어성능 평가

본 절에서는 2.2.1절에서 유도한 Nomoto 선형모델의 유효성을 증명하기 위하여 Nomoto의 1, 2차 모델이 가제어, 가관측함을 보이고 단위 계단입력으로 시간 응답과 주파수 응답에 대해 고찰하였다.

(1) 가제어성, 가관측성

Nomoto 모델의 가제어성과 가관측성 평가를 통해 시스템의 모든 상태변수를 제어목적에 부합되도록 제어할 수 있으며 제어되고 있는 상태변수의 출력을 이용하여 피드백 신호로 적용 할 수 있는지 알아본다.

먼저 가제어성과 가관측성 평가를 위해 식 (11)의 $r=\dot{\psi}$로 표기 하여 전개하면 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$T\ddot{\psi}+\dot{\psi}=K\delta \tag{12}$$

상태변수를 ψ, r로 하고 입력을 δ로 하면 다음과 같은 상태 방정식 형태로 표현된다.

$$\begin{bmatrix}\dot{\psi}\\ \dot{r}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & \frac{-1}{T}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\psi\\ r\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ K/T\end{bmatrix}\delta \tag{13}$$
$$\psi=[1\ \ 0]x$$

이때, 가제어성 U와 가관측성 V는 식 (14), (15)와 같이 구해지며, 그 결과 U와 V 모두 full rank로 Nomoto의 1차 모델이 가제어, 가관측 함을 알 수 있다.

$$U=[B\ \ AB]=\begin{bmatrix}0 & K/T\\ K/T & -K/T^2\end{bmatrix} \tag{14}$$

$$V=\begin{bmatrix}C\\ CA\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1\,0\\ 0\,1\end{bmatrix} \tag{15}$$

Nomoto의 2차 모델에 대해서도 위와 같은 과정을 통해 가제어, 가관측 임을 알 수 있다.

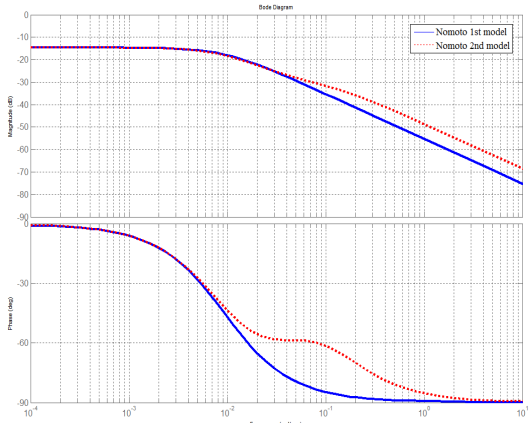
(2) Nomoto 선형모델의 제어 응답

제어 응답으로는 Nomoto 모델의 계단입력에 대한 시간응답과 Bode선도를 이용한 주파수 응답을 분석하였으며, 모델의 파라메터 값으로는 표2와 같이 Chislett and Strom Tejsen에 의해 연구된 길이 $161m$, 적재량 $16622dwt$의 실 화물선 계수 값을 적용 하였다[11].

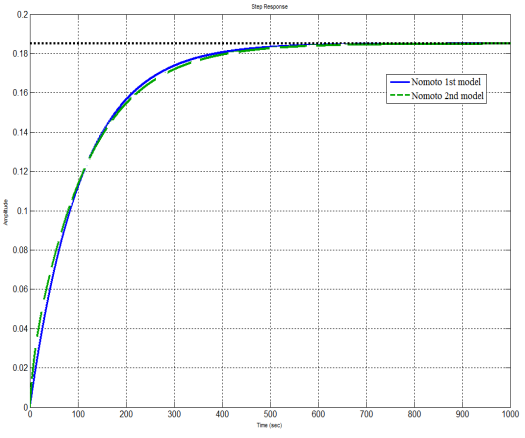
[표 2] 대상 선박의 파라메터 값

Nomoto 2차	$T_1=118, T_2=7.8, T_3=18.5, K=0.185$
Nomoto 1차	$T=T_1+T_2-T_3, K=0.185$

그림 3의 실선과 점선은 각각 Nomoto 1, 2차 모델의 크기 및 위상을 나타낸 Bode선도 이며, 응답을 비교해 보면 저주파수 대역$(10^{-4}\sim10^{-2})$rad/s 에서 유사한 응답을 보인다.



[그림 3] Nomoto 1차, 2차 모델의 Bode선도



[그림 4] 계단입력에 대한 시간영역 응답

그림 4는 Nomoto 모델의 계단입력에 대한 시간응답으로 시정수 응답에 따라 Nomoto 2차 모델이 1차 모델과 비교 했을 때 좀 더 빠른 상승속도를 갖는다. 이는 Nomoto 2차 모델로 선박모델링을 하였을 때 1차 모델보다 더 빠른 yaw응답과 큰 타각조작의 이점을 나타낸다. 또한, 두 모델 모두 계단응답에 대해 약 700s로 느리게 정상상태에 도달하며 0.185값에 수렴 하는 응답을 보인다.

따라서 다음 장에서는 제어기 설계를 통해 빠른 상승시간과 정상상태 오류를 개선 할 수 있도록 Fuzzy제어기를 설계하고 제어기 설계에 자주 사용되고 있는 PID제어기법과 비교하여 성능을 분석고자 한다.

3. 제어기 설계

본 장에서는 선형화된 Nomoto 선박모델에 조타장치의 기구적인 특성을 고려하여 최대타각과 타각율을 기준으로 Fuzzy제어기를 설계 하여 모의실험을 하였고 성능비교를 위해 자주 사용되고 있는 PID제어기법과 비교하여 성능을 분석하였다. 이때, 사용한 선박의 제원은 다음과 같다[11].

[표 3] 선박의 제원

		Cargo ship(Mariner class)
L	(m)	161
μ_0	(m/s)	7.7
∇	(dwt)	16622
K	$(1/s)$	0.185
T_1	(s)	118.0
T_2	(s)	7.8
T_3	(s)	18.5

2.2.1절에서 유도된 Nomoto 2차 모델을 이용하여 표3에 정리된 파라메터 값을 적용하면 다음과 같이 표현된다[4].

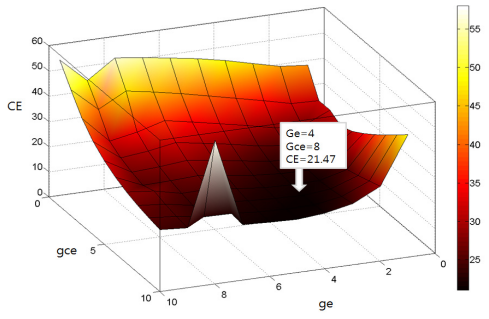
$$\frac{\psi}{\delta} = \frac{0.185(1+18.5s)}{s(1+118s)(1+7.8s)} \tag{16}$$

3.1 Fuzzy제어기 설계

Fuzzy제어기 설계로는 삼각형태의 소속도 함수를 범위 (-35~35)로 하여 오차와 오차변화율, 제어신호의 Membership 함수를 설계하였다.

퍼지 추론법은 일반적으로 많이 사용하는 Mamdani 추론법을 사용하였고, 비퍼지화 방법으로는 일반적인 무게 중심법을 이용하였다.

이때, 오차이득(ge)와 오차변화율이득(gce)은 각각 1~10까지 100가지 조합으로 누적 오차(CE)를 계산하였으며 도식화 하면 그림 5와 같으며 ge=4, gce=8일때 누적오차가 최소임을 알 수 있다.



[그림 5] ge, gce에 따른 누적오차

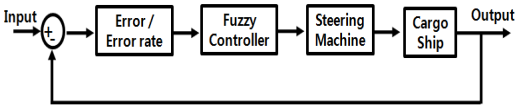
퍼지 규칙은 시뮬레이션 실험 결과를 이용하여 오차(e)와 오차변화율(ce)에 대해 식 (18)과 같이 25개의 규칙으로 구성하였고,

$$\begin{array}{l} If\ e\ is\ NB\ \text{and}\ ce\ is\ NB, then\ u\ is\ NB \\ \quad\vdots \qquad\qquad\qquad \vdots \\ If\ e\ is\ PB\ \text{and}\ ce\ is\ PB, then\ u\ is\ PB \end{array} \qquad (17)$$

표로 정리하면 다음과 같다.

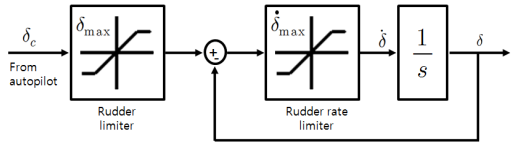
[표 4] 퍼지규칙

	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZO
NS	NB	NB	NS	ZO	PS
ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
PS	NS	ZO	PS	PB	PB
PB	ZO	PS	PB	PB	PB



[그림 6] Fuzzy제어 블록선도

그림6의 입/출력은 각각 기준신호와 선수각을 나타내며 Steering Machine을 통해 적절한 타각이 선박 모델에 적용된다. 여기서, Steering Machine은 그림7과 같이 IMO Solas규약에서 권고하는 효율적인 조타를 위한 제한타각($\delta_{\max} = 35^\circ$), 제한타각률($|\dot{\delta}_{\max}| \leq 2.34^\circ$)을 적용 하였다.



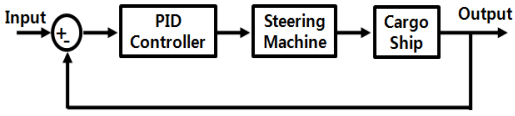
[그림 7] rudder control loop(Van Amerongen 1982)

3.2 PID 제어기 설계

PID 제어 방법으로는 극점배치기법으로 제어시스템을 설계하였다[12]. 여기서, 제어기의 비례이득과 적분이득, 미분이득 값은 다음과 같으며,

$$K_P = 8.65, K_I = 0.16, K_D = 94.81 \qquad (18)$$

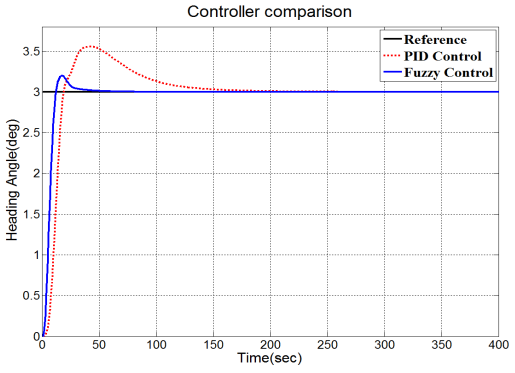
PID제어기 구조를 그림8과 같이 블록선도로 나타내었고 FUZZY제어 방법과 동일한 상황을 가정하여 시뮬레이션 설계를 하였다.



[그림 8] PID제어 구조

4. 시뮬레이션

4.1 두 제어기의 선수각 파형 비교



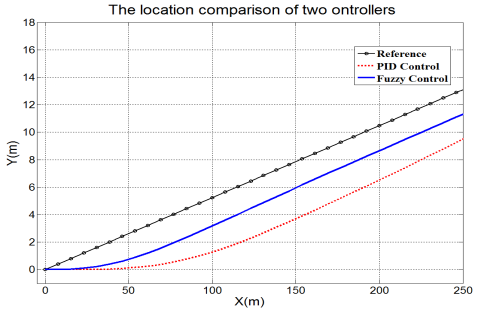
[그림 9] PID제어, Fuzzy제어 선수각 파형

그림 9는 목표입력 3° 에 대해 PID제어기와 Fuzzy제어기를 적용 하였을 때의 선수각 파형으로 시뮬레이션 결과를 표 5과 같이 제어성능을 정리 하였다.

[표 5] 제어성능 평가

Controller	%OS	Tr (sec)	Ts (sec)
PID Control	18.61	10	109
Fuzzy Control	4.31	7	24

4.2 선수각에 따른 위치 비교



[그림 10] 두 제어기의 선수각에 따른 위치

그림 10의 시뮬레이션은 타각 입력에 대한 선수각에 따른 선박 운항거리 영향을 비교하기 위하여 식 (19)의 좌우속도, 전진속도, 선수각에 의한 (x,y)좌표를 다음과 같은 시나리오를 가정하여 구하였다.

- 좌우속도 없이 전진 속도만 존재 한다$(v=0)$.
- 시뮬레이션 동안 전진속도는 $u=7.7m/s$로 일정 하다.
- 선수각(ψ)을 0°에서 3°로 변침 한다.

선박의 이동궤적 (x,y)는 식 (19)의 Euler 회전 변환식을 이용 하였다.

$$\dot{R}_x = ucos\psi - vsin\psi \qquad (19)$$
$$\dot{R}_y = usin\psi - vcos\psi$$

그림 10에서 Reference의 위치는 선수각을 3° 로 유지하여 운항함을 의미한다. 시뮬레이션 결과 Fuzzy제어기를 적용 하였을 때 PID제어에 비해 기준위치에 더 근접하는 것을 확인 할 수 있다. 선박의 경우 일반적으로 정착시간이 길기 때문에 오버슈트보다 정착시간이 짧을수록 누적되는 거리차이를 줄일 수 있어 운항 거리 면에서는 정착시간에 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 반면에 오버슈트가 증가하면 과도현상이 일어나 타에 무리가 갈 수 있기 때문에 정착시간과 오버슈트 및 타의 잦은 타조작을 피하도록 제어기를 설계 시 고려해야 한다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서 전달함수로 사용된 Nomoto모델은 선박의 6자유도운동을 4자유도로 단순화 하고 외란과 같은 선박의 비선형적인 운동을 선형화 하여 선박의 운동을 표현 하고 있다. 숙련된 승조원이 작동하는 것처럼 자동으로 조타를 제어 할 수 있도록 Nomoto 모델의 전달함수를 이용해 Fuzzy제어기를 설계 하여 모의실험을 하였고 성능 비교를 위해 자주 사용되고 있는 PID제어기법과 비교하여 성능을 분석하였다.

성능 분석 결과 PID제어 방법에 비해 Fuzzy제어방법이 %OS는 4.3배, 정착시간은 4.5배, 상승시간은 1.4배 빠르게 도달함을 확인 하였다. 또한 타각 입력에 대한 선수각에 따른 선박 운항거리 영향을 분석한 결과 Fuzzy제어를 적용하였을 때 기준위치에 더 근접함을 확인 하였다. 향후 계획으로 실제적인 외란을 고려하여 시뮬레이션을 하고 결과를 바탕으로 모형 선박에 적용하여 보다 실제적인 성능을 분석해 보도록 하겠다.

참고문헌

[1] 이상민, 임영도, “선박의 자율운항시스템 설계에 관한 연구”, 한국정보기술학회논문지, 제6권, 1호, pp. 18-25, 2월, 2008.

[2] 임용곤, 서상현, 박상래, “선박용 자동항법시스템의 하드웨어구현 및 시뮬레이션”, 전자공학회논문지, 제19권, 2호, pp.829-832, 11월, 1996.

[3] 안종갑, 이창호, 이윤형, 송정기, 이수룡, 소명옥, “선박 자동조타기 설계를 위한 퍼지모델링”, 한국마린엔지니어링학회지, 제34권 제1호, pp.102-108, 1월, 2010.

[4] R. L. Ribler, J. S. Vetter, H. Simitci, and D. A. Reed., “Autopilot: Adaptive control of distributed applications”. In Proc. 7th IEEE Symp. on High Performance Distributed Computing, 1998.

[5] G.N. Roberts, R. Sutton, A. Zirilli and A. Tiano, “"Intelligent Ship Autopilots - A Historical Perspective"", Mechatronics 13,pp. 1091-1103, 2003.

[6] 정재상, “모형선박의 수조실험을 위한 Auto-Pilot 설계”, 충남대학교 학위논문, 2월, 2006.

[7] 박창우, 이종배, 김영욱, 성하경, “퍼지 모델 기반 피드백 선형화 제어 시스템의 강인 안정성 해석과 설계”, 전자공학회논문지, 제41권, 3호, pp.273-283, 5월, 2004.

[8] Jeffery R. Layne, Kevin M. Passino, "Fuzzy Model Reference Learning Control for Cargo Ship Steering", IEEE Contr. Syst. Mag, vol. 13, no. 6, 1993.

[9] 이승건, “선박운동 조종론”, 부산대학교 출판부, pp.130, 2008.

[10] Ching-Yaw Tzeng, Ju-Fen Chen, "Fundamental Properties of Linear Ship Steering Dynamic Models", Journal of Marine Science and Technology, Vol. 7, No. 2, pp. 79-88, 1999.

[11] Thor I Fossen, Fossen, John Wiley & Sons, “Guidance and Control of Ocean Vehicles”, 1994.

[12] Benjamin C. Kuo, Farid Golnaraghi, “Kuo의 자동제어”, Wiley, pp.295, 193, 435, 2006.

임 대 영(Dae-Yeong Lim) **[준회원]**

- 2010년 2월 : 전북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자공학과 석사과정

<관심분야>
자동제어, 인공지능, 조선 IT

김 영 철(Young-Chul Kim) **[정회원]**

- 1993년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1998년 4월 : Tohoku univ. 대학원 기계전자과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2004년 12월 : 대불대학교 전기전자공학부 조교수
- 2005년 4월 ~ 현재 : 군산대학교 기계자동차공학부 부교수

<관심분야>
기계전자, 조선IT, 로봇응용, 유한요소해석 등

정 길 도(Kil-To Chong) **[정회원]**

- 1984년 2월 : Oregon State University 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : Georgia Institute of Technology 기계공학 석사졸업.
- 1992년 2월 : Texas A&M University 기계공학 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 전자정보 교수

<관심분야>
Marine Navigation, Time-Delay, Robotics, 인공지능