

퍼지기법에 의한 자동조타기의 제어성능개선에 관한 연구

강 창 남
제주대학교 실습선

A study on the Improvement of control performance of Auto Steering System by Fuzzy Scheme

Chang-Nam Kang
Training ship, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

Auto Steering System is the device for course keeping or course altering to ship's steering system. The purpose of automatic steering system is to keep the ship's course stable with the minimum course and rudder angle. Recently, modern control theories are being used widely in analyzing and designing the ship's system. Though P.I.D type auto pilots are widely used in ships, the stability and the adjusting methods are not clarified. In this paper the authors proposed auto pilot system with Fuzzy Logic Controller. Since L.A.Zadeh introduced the theory of fuzzy sets in 1965, E.H.Mamdani applied the theory to the steam engine control in 1973. Since then Scientists have shown a great deal of interests in its application to practical problems. In the fuzzy control the things that the actual operators of a steering wheel has acquired through their experience can be logically described by the Linguistic Control Rule. The characteristic of the control system were investigated through the computer simulation results. It was found that the fuzzy logic control was more efficient than the conventional system.

Key words : course altering, course keeping, auto steering system

서 론

선박에 있어서 자동조타장치는 조타기를 자동으로 제어하여 자동으로 변침시키거나 침로를 일정하게 유지하기 위한 장치이다. 자동조타장치는 1920년대에 Sperry Com.에서 최초로 제품화에 성공하였으며 그 후 1922년 Minorsky는 선박이나 항공기 등에 자동조종에 관한 연구 실험을 거쳐 당시에 사용되던 각가속도 제어방식대신 미분비례제어방식의 필요성을 밝혔다(Minorsky, 1922) 1949년 Schiff는 선체운동의 해석에 있어서 비례제어방식의 경우와 비례미분방식의 경

우에 대한 연구를 행해진 후 선박의 침로 및 변침을 안정하게 하기 위하여 보상기를 도입한 제어계의 구성방식으로 PD 또는 PID제어기를 채택한 자동조타장치가 널리 이용하게 되었다. 최근에는 최적제어이론에 의한 파라미터 최적화 또는 동적최적화가 연구되고 있으며 여러 가지 평가함수에 대해서 모형 또는 실선 실험을 통하여 최적설계에 대한 연구와 AR (Auto Regressive)형의 자동조타장치 및 적응제어방식을 도입한 연구 등도 많이 보고되었다(Horigome, 1979 ; 李, 1978). 그러나 선박의 조타계는 비선형적인 성질을 지니며 제어파라미터는 선박의 처해진 상황에 따라 변화가 심하며 그때마다 제어방식 및 파라

미터를 바꾸어 주어야 하는 등의 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이상과 같은 결과에 인간의 경험과 지식을 부가한 새로운 제어방식인 퍼지제어방식을 적용해 보고자 한다(菅野道夫, 1988). 퍼지제어는 퍼지이론에 기초한 것으로서 불분명한 수학적 정보를 다루는 수학적 기법의 일종으로서, 인간의 주관적 사고나 판단의 애매 모호성을 다루기 위하여 미국의 Zadeh, L 교수에 의해 1965년에 제안된 이론이다(Zadeh, 1965). 퍼지이론의 특징은 첫째 인간이 정확한 지식뿐만 아니라 애매한 지식을 언어변수로 이용할 수 있기 때문에 인간과 비슷한 판단을 내릴 수 있다는 것이고, 둘째는 비교적 인간의 간단한 지식을 사용하고 있기 때문에 쉽고 저렴하게 적용이 가능하며, 셋째로 복잡하고 모호화 하기 힘든 시스템에 적용하는데도 가능한 것으로 요약할 수 있다. 퍼지이론을 응용의 관점에서 보면 인간의 의사 결정 능력을 모방할 수 있는 도구이기 때문에 시스템제어, 통신호제어, 정수장제어, 폐수처리제어, 로봇제어 뿐만 아니라, 의학, 사회 과학 등에 널리 이용될 수 있다. 또한, 학습능력이 구현이 가능한 신경 회로망 이론과 접목되어 발전할 것이다. 이론의 관점에서 보면 퍼지집합은 기존의 보통집합을 확장한 개념이기 때문에 기존의 수학을 퍼지수학으로 확장하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 퍼지 이론은 다치논리를 기반으로 하고 데이터의 처리는 병렬처리구조이므로 2치논리와 단일 CPU를 기반으로 하는 Von Neumann 형식의 컴퓨터로 퍼지이론을 구현하기에는 어려운 점이 있어 퍼지칩과 퍼지컴퓨터를 개발하기 위한 노력이 계속되고 있다.

Zadeh는 퍼지 알고리즘을 시스템 전체의 기술에 응용하기를 주창했으나, 퍼지제어에서는 이를 주로 제어알고리즘으로 사용하게 된다. 이러한 퍼지 이론의 도입으로 인하여 퍼지제어는 기존의 정확한 수학적 모델을 기초로 한 제어기의 단점을 보완하고, 인간의 의사 결정방식을 도입하는 보다 인공적인 제어가 될 수 있을 것이다. 1965년 Zadeh가 퍼지집합을 소개한 이후 퍼지집합과 퍼지논리에 대한 이론적 또는 실험적 연구결과가 많이 발표 되었으며, 일련의 연구발표를 통해서, 퍼지이론의 수학적 바탕을 마련하고, 퍼지집합 이론을 바탕으로 시스템을 기술하는 방법론을 제창하였다. Zadeh의 이론적 연구를 바탕으로 1974년 Mamdani 교수가 퍼지논리를 실험실에서

스팀-엔진제어에 처음으로 적용하였다(Mamdani, 1974). Mamdani의 연구 결과는 퍼지논리를 시스템제어에 응용하는 촉진제 역할을 하였으며 이후 여러 방면에 걸쳐 퍼지논리가 적용되었고, 적용결과 퍼지 논리제어 시스템(Fuzzy logic control system)이 기존의 시스템보다 우수하다고 보고되었다. 그 이후 지금까지 퍼지제어는 상업계에 널리 응용되어 왔는데, 그 대표적인 예로 네덜란드의 시멘트공장 제작회사인 F.L.Smith & Co.는 1979년 세계에서 최초로 퍼지논리를 시스템의 자동화에 적용하였다(Umbers and King, 1980 : King, 1982). 그리고 Sugeno(1985)에 의한 정수장의 수질제어, Murakami(1983)에 의한 자동차의 속도제어 등에 도입되었다. 최근에서는 한국에서도 학계 및 산업계에서 많은 관심을 불러 직관이나 경험적 지식에 의해 인식된 시스템의 동작과 물리적 성질을 종합하고 이들을 Linguistic Control Rule(LCR)로 이론화하여 알고리즘을 구성하고 계산함으로써 대상을 제어하는 방식이다. 지금까지 선박의 자동조타장치에도 많이 적용되고 보고되고 있다. 본 논문에서는 최적제어이론의 연구결과와 평가함수를 고려하여 자동조타계에 변침(Course Altering)조타 방식, 보침(Course Keeping)조타방식의 2가지 퍼지제어 알고리즘을 작성하고 퍼지로직에 의한 자동조타 시스템을 작성하여 기존의 PD제어 방식과 시뮬레이션을 통하여 퍼지제어의 유효성을 확인하고 결과를 비교 분석하는데 있다.

퍼지제어 원리

현재 실용화 되고 있는 퍼지시스템의 대부분은 고전적 제어이론에 기초하고 있다. 일반적인 제어이론은 제어대상 시스템의 상태와 출력을 관측하고 목표값에서의 편차를 감소시키는 것과 같은 방법으로 제어대상의 입력을 조정하는 피드백제어가 기본이다. 이 고전적 제어계의 조절요소는 비례, 적분, 미분 요소의 조합으로 이루어져 있다. 이 조절 요소의 파라미터 결정에는 사전에 제어대상의 정확한 수학적 모델이 필요하고, 수학적 모델을 아는 경우는 대단히 유효한 제어 방법이지만 수학적 모델이 알려져 있지 않은 경우, 혹은 알게 되어도 대단히 복잡할 경우는

숙련된 전문가의 조작에 의존하고 있는 실정이다.

이에 비하여 퍼지제어는 전문가가 갖는 제어지식을 반영시킬 수 있으므로 복잡한 플랜트 제어 등에 실용화 되어 있다. Fig. 1 은 퍼지 제어의 기본 구성이다.

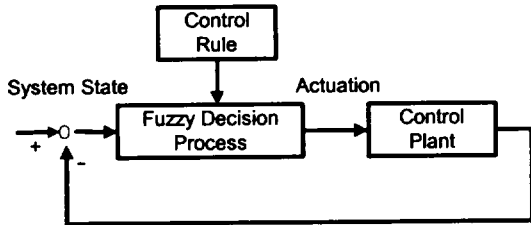


Fig. 1. Basic scheme of fuzzy control system.

퍼지제어는 인간 행동의 Know-how를 “만약 상태가 A로 되면, 조작량을 B로 한다.”라고 하는 “If ~ then~” 형식의 제어규칙으로 기술하고 이를 기초로 한 추론을 행하여 제어 지시값을 주는 것이다.

여기서 “A”와 “B”는 “따뜻하다”, “크다”, “빠르다” 등의 애매한 언어로 표현하는 것이므로 애매한 언어 표현의 의미를 수학적으로 취급하기 위하여 퍼지 집합의 개념을 도입한다. 퍼지집합은 인간의 주관에 따라 정의되는 집합으로 경계가 불명확한 집합이며, 모든 공간의 요소가 퍼지집합에 속하는 정도의 등급(grade)을 구간 [0, 1]의 연속값으로 주는 소속함수(membership function)에 따라 정의된다. 이것에 대하여 경계가 명확한 집합을 크리스프(Crisp) 집합이라 부른다.

퍼지집합은 크리스프 집합의 확장으로 생각할 수 있고, “따뜻하다”로 말한 퍼지집합은 Fig. 2와 같은 소속함수 $\mu_F = [0, 1]$ 로 표현된다.

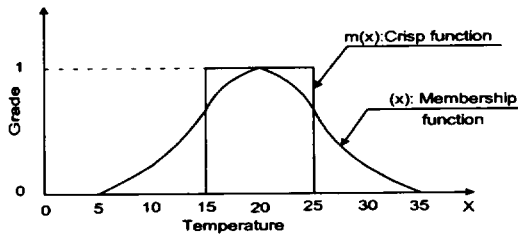


Fig. 2. Membership and crisp function.

이상과 같이 퍼지 제어에서 가장 기초가 되는 것은 퍼지추론(Fuzzy inference, fuzzy reasoning)이며 원리

는 Fig. 2에 나타냈다(변과 김, 1990). 추론과정은 Fig. 3에 나타낸 것과 같은 단계를 거쳐 비퍼지화된 제어량을 얻게된다.

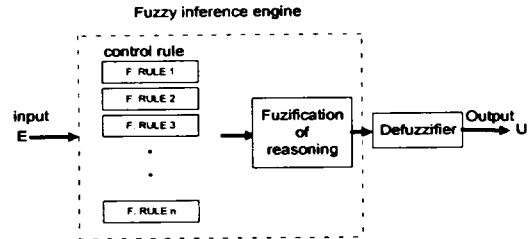


Fig. 3 Principle of fuzzy reasoning process.

이것의 구체적 퍼지추론 연산과정은 먼저 전건부(antecedent part)의 적합도를 구하고, 각 제어규칙의 추론결과를 구한 다음 전체의 추론결과를 구한다.

퍼지제어기는 입력으로 상태에 관한 정보를 x_0, y_0 라 하고 출력으로 조작량을 u 라 하면 제어규칙 R_i ($i=1, 2, \dots, m$)에 대하여 다음과 같이 modus ponens 추론을 취한다(水本雅晴, 1984).

조건명제: If x is A_i and y is B_i , then u is C_i .

사실 : x is x_0, y is y_0

결론 : u is C'

여기서 A_i, B_i, C_i 는 퍼지집합이고, if 절에 주어진 x, y 부분을 전건부(antecedent part), then 절에 주어진 부분을 후건부(consequents part)라 부른다.

Fig. 4는 본 논문에서 가장 기본이 되는 min-min-max-centroid of gravity method에 의한 추론연산의 과정을 나타낸 것이다. 2입력의 비퍼지한 사실 $[x_0, y_0]$ 이 있다면 소속함수로 표현한 전건부 적합도 ω_i 는 $\omega_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$ 로 된다. 단, $\mu_{A_i}(x_0), \mu_{B_i}(y_0)$ 는 A_i, B_i 의 x_0, y_0 에 있어서 소속함수 등급이고, $\wedge = \min$ 이다. 그리고 각 제어규칙에서 얻은 추론 결과 C'_i 는 min 연산하여 $\mu_{C'_i}(u) = \omega_i \wedge \mu_{C_i}$ 이 된다. 또한 최종적인 결론 C' 는 각 추론결과 C'_i 를 합집합으로 연산하여 다음 식이 되고 여기서 $\vee = \max$ 이다.

$$\mu_{C'}(u) = \mu_{C'_1}(u) \vee \mu_{C'_2}(u) \dots \vee \mu_{C'_m}(u)$$

최종적인 퍼지집합 C'의 대표값 u_0 을 구하는 조작을 비퍼지화라 부르고, 비퍼지화는 몇 가지 방법이 제안되어 있지만 다음으로 정의되는 무게중심법(centroid of gravity method)을 이용하여 계산한다.

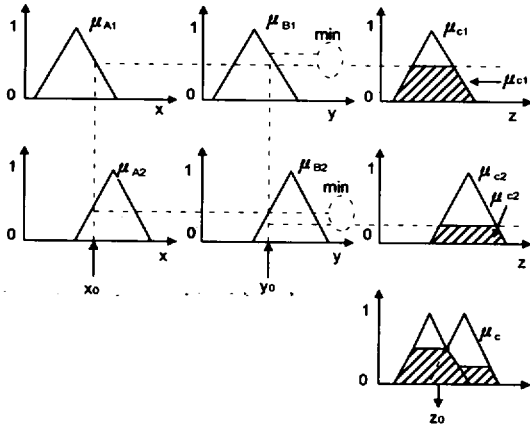
$$u = \frac{\sum u_i \mu_c'(u_i)}{\sum \mu_c'(u_i)}$$


Fig. 4. Fuzzy reasoning process by max-min composition and centroid of gravity method.

또한 본 연구에서는 전진부 적합도와 각 개별 추론 결과 C_i' 의 연산은 논리식 $\min(\wedge)$ 을 사용하였지만 다음의 곱연산(product, intersection)으로 정의된 식을 사용할 수 있다.

- min(\wedge) 합성 : $a \wedge b = \min(a, b)$
- 대수곱(algebraic product) : $a \cdot b = a b$
- 한계곱(bounded product) : $a \odot b = 0 \wedge (a + b - 1)$
- 격열곱(drastic product) : $a \wedge b = \begin{cases} a & \text{if } b = 1 \\ b & \text{if } a = 1 \\ 0 & \text{otherwise } a, b < 1 \end{cases}$

그리고, 최종 추론결과 C'의 계산에는 논리식 $\max(\vee)$ 를 사용하였지만 다음의 합연산(sum, union)으로 정의된 식중을 사용할 수 있다.

- max(\vee) 합성 : $a \vee b = \max(a, b)$
- 가산(sum) : $a + b = a + b$
- 대수합(algebraic sum) : $a + b = a + b - ab$

한계합(bounded sum) : $a \oplus b = 1 \vee (a + b)$

격열합(drastic sum) : $a \vee b = \begin{cases} a & \text{if } b = 0 \\ b & \text{if } a = 0 \\ 1 & \text{otherwise } a, b < 1 \end{cases}$

FLC에 의한 자동조타계의 제어

선박의 자동조타로 항해할 경우 조타시스템을 구성하는 요소로서는 자동조타기, 타기, 엔진, 타 및 콤파스 등이 있다. 인간에 의한 조타의 경우에는 자동조타기 대신에 Quarter Master(Q/M)가 또한 본 논문에서 다루는 퍼지 로직 제어에 의한 경우는 Fuzzy Logic Controller가 대신한다. 조타의 목적은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 충돌 방지를 위한 침로 변경(Course Altering), 또 하나는 목적지까지 직항하기 위한 침로 보지(Course Keeping)가 있다. 이들을 변환 스위치를 이용하여 협수로 및 연안 항해 등 선박의 안정성을 중요시하게 하는 항해에는 편각을 빨리 조절하여 정밀한 항로 유지가 가능하게 편각량만을 평가함수로 정하여 침로 변경 조타를, 원양 항해시는 안정된 항해 위주이므로 조타저항과 침로 편차에 대한 에너지 손실을 평가 함수로 두어, 침로보지 조타를 하게 한다.

따라서 침로 변경 조타에서는 조타시작에서 종료시까지 시간 τ 를 최소로 하면 되므로 평가함수 I는 다음과 같다.

$$I = \int_0^{\tau} \theta^2 dt = \tau \rightarrow \min$$

침로 보지 조타에서는 항해시간 또는 연료소비를 평가함수로 잡으면 된다. 목표 침로보다 ϕ 의 오차가 발생되면 목표 방향의 속력 성분은 $V \cos \phi$ 로 되고 속력에 대한 손실은 $V - V \cos \phi \approx \frac{1}{2} V \phi^2$ 로 된다. 침로를 수정하기 위한 타각 δ 를 나타내면 $V \lambda \delta^2$ (λ =정수)의 속력 손실이 있으며 따라서 평가함수 I는 다음과 같다.

$$I = \int_0^z (\frac{1}{2} \phi^2 + \lambda \delta^2) dt \rightarrow \min$$

단 z는 도달전까지 거리를 속력 V로 나눠서 얻어진 시간이다.

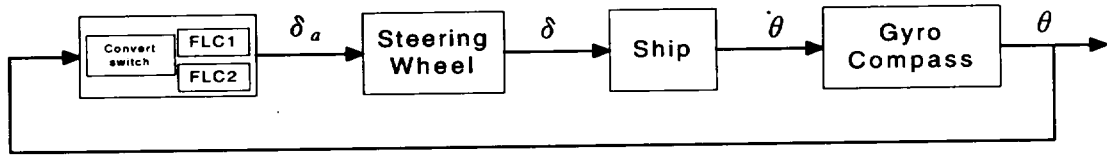


Fig. 5. Block diagram of ship's steering system using fuzzy controller.

Fig. 5는 이상에서 설명한 퍼지로직을 이용한 자동 조타 시스템의 블록선도이다.

선박의 운동 방정식은 다음과 같은 2계 선형 미방으로 표현할 수 있다.

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\theta}{dt} + \theta + K(\dot{\theta})^3 = T_4 \delta + T_3 T_4 \frac{d\delta}{dt}$$

여기서 T_1, T_2, T_3 : 조종성능지수, T_4 : 조종이득정수, θ : 편각, δ : 타각, $\dot{\theta}$: 편각속도, $\frac{d\delta}{dt}$: 타각속도, $K(\dot{\theta})^3$: 비선형요소

변칙 조타 방식인 경우에 퍼지 변수는 여러 가지 일상적인 경험에서 나오는 것을 종합하여 제어량인 편각으로는 PB, PM, PS, ZO, SS, SM, SB의 7개로 조작량인 타각으로는 편각의 반대개념인 PB, PH, PM, PI, PS, PJ, ZO, SJ, SS, SI, SM, SH, SB의 13개로 정하여 다양하게 사용가능하며, 퍼지 변수의 대집합은 [-16, 16]로 정하고 멤버십 함수를 결정한다.

- 단 SB=Starboard Big SM=Starboard Medium
- SS=Starboard Small ZO=Zero
- PB=Port Big PM=Port Medium
- PS=Port Small SH=Mean of SB and SM
- SI=Mean of SM and SS
- SJ=Mean of SS and ZO
- PH=Mean of PB and PM
- PI=Mean of PM and PS
- PJ=mean of PS and ZO

멤버십 함수는 대집합에 대하여 규격화하여 일반적으로 많이 사용하는 삼각형의 함수 형태로 정의하였다. Fig. 6은 편각에 대한 함수식을 도식한 것이다.

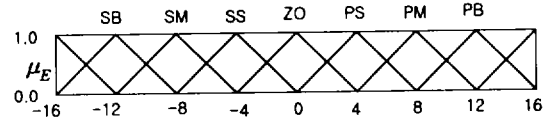


Fig. 6. The representation of membership function of the deviation angle.

멤버십 함수식을 대집합에 대하여 집합요소의 간격을 1로 하여 퍼지집합 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mu_{SB} &= \{0.0/-16, 2.5/-15, 5.0/-14, 7.5/-13, 1.0/12, \\ &\quad 7.5/11, \dots, 0.0/15, 0.0/16\} \\ \mu_{SM} &= \{0.0/-16, 0.0/-15, 0.0/-14, 0.0/-13, 0.0/12, \\ &\quad 2.5/11, \dots, 0.1/15, 0.0/16\} \\ &\vdots \\ \mu_{PB} &= \{0.0/-16, 0.0/-15, 0.0/-14, 0.0/-13, 0.0/12, \\ &\quad 0.0/11, \dots, 0.25/15, 0.0/16\} \end{aligned}$$

사선의 좌변은 각각 Membership값을 우변은 대집합의 값이다.

Fig. 7은 조작량인 타각에 대한 규격화 함수식을 도식화 한 것이며 타각에 대해서는 우현타가 플러스로 좌현타가 마이너스로 표현되어 있다.

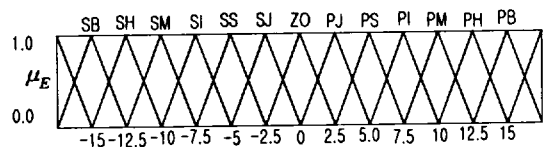


Fig. 7. The graphic representation of membership function of the rudder angle.

제어규칙은 Q/M의 경험에 의하여 편각을 빨리 제거하기 위하여 보다 큰 타각을 사용한다.

다음은 퍼지관계의 min-max합성 규칙에 따른 추론과정이다.

적합도는 $\omega_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$ 에 의하여 구해지며 전건부 변수는 편각 1개이므로 Min과정을

Table 1. Fuzzy logic control rule considering the deviation angle for FLC1

- R¹ : If D = SB then RA = PB or
- R² : If D = SM then RA = PH or
- R³ : If D = SS then RA = PI or
- R⁴ : If D = ZO then RA = ZO or
- R⁵ : If D = PS then RA = SI or
- R⁶ : If D = PM then RA = SH or
- R⁷ : If D = PB then RA = SB

단. D = Deviation Angle RA = Rudder Angle

거치지 않고 직접 구하며 추론결과는 $\mu_{C_i}(u) = \omega_i \wedge \mu_{C_i}$ 이고 전체적인 추론 결과는 $\mu_C(u) = \mu_{C_1}(u) \vee \mu_{C_2}(u) \dots \vee \mu_{C_m}(u)$ 으로 구해진다. 마지막으로 최종적인 퍼지집합 C'의 대표값 u_0 을 구하는 조작을 비퍼지화라 부르고, $u = \sum u_i \mu_{C'}(u_i) / \sum \mu_{C'}(u_i)$ 로 정의되는 무게중심법 (centroid of gravity method) 을 이용하여 계산한다. 여기서 사용된 전건부 변수는 $x_1 * 3.0$ °로 가정하였다. 전건부 변수가 3.0 °로 입력된 경우 제어규칙 4, 5번을 제외하고는 제어규칙의 적합도가 0.0으로 되고 R⁴, R⁵는 각각 0.25, 0.75이다. 샘플링 간격 τ 는 선박의 경우 f_{max} (Spectrum의 최고 주파수)가 약 0.5c/s 이므로, τ 는 0.1(sec)정도이나 시정수가 크므로 실용상 0.2(sec)정도라도 충분하다. 다음은 편각의 크기 뿐만아니라 편각의 변화량도 동시에 고려하여 조타한다. 이런 사항을 이용하여 제어 규칙을 구성한다. 편각과 타각에 대한 변수 외에 편각의 변화량에 대한 변수로서 BD, SD, ZO, SI, BI 5개를 사용한다. 퍼지 변수의 대집합은 편각에 대해서는 앞에 서술한대로 이고 편각의 변화량에 대해서는 규격화 구간을 [-1.5 1.5]로 두었다. 멤버십함수는 편각과 타각인 경우는 서술한대로 이고 편각의 변화량에 대해서는 Fig. 8과 같다.

단. BD : Big Decrease SD : Small Decrease
 ZO : Zero SI : Small Increase
 BI : Big Increase

제어규칙은 Q/M의 경험에 의하여 편각을 빨리 제거하기 위하여 보다 큰 타각을 사용하여 Table 2와

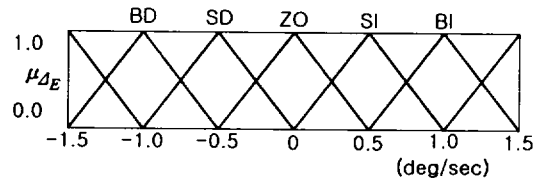


Fig. 8. The graphic representation of triangle membership function of the deviation angle velocity.

같이 구성하였다. if-then 형식대신 35개의 규칙을 축약한 상태로 표시하였고 제어규칙은 행렬로 표현하여 R¹(1,1), R²(1,2), R³(7,4), R⁵(7,5)순으로 되어 있다. 편각의 변화량에 대한 퍼지변수는 멤버십함수나 집합형태로 표현되어 추론과정은 전건부 변수가 2개 즉 편각과 편각변화량 이라는 것을 알 수 있으며 min합성에 의하여 적합도를 구하게 된다.

Table 2. Fuzzy logic control rule considering the deviation and deviation angle velocity for FLC1

D \ DV	SB	SM	SS	ZO	PS	PM	PB
BD	PM	PS	PJ	SS	SB	SB	SB
SD	PH	PI	PS	SJ	SM	SH	SB
ZO	PB	PM	PI	ZO	SI	SM	SB
SI	PB	PH	PM	PJ	SS	SI	SH
BI	PB	PB	PB	PS	SJ	SS	SM

D: Deviation angle DV: Deviation Velocity

Auto pilot에 의한 침로 유지의 경우 Steering engine 을 통하여 타에 가해지면 편각속도가 발생하고 적분량인 편각을 궤환시켜 침로를 조종한다. Q/M의 경우는 타각을 경험에 의하여 적절하게 조종함으로써 침로를 안전하게 제어한다. 반면에 퍼지제어는 Q/M의 축적된 경험과 이론적인 연구 결과로부터 제어 규칙을 작성하여 퍼지 관계를 구하고 퍼지 추론에 의하여 제어 입력인 타각을 결정하여 선박을 제어하게 된다. 침로 변경 조타방식은 Q/M의 경험에 비추어 타각은 편각의 크기에 반대 방향으로 동일한 크기만큼을 줌으로서 제어가 가능하다는 논리를 이용하여 퍼지논리를 작성하고 제어를 실행하고자 한다.

전건부 변수나 후건부 변수에 대한 조건이 침로 변경조타 방식과 동일하며 단지 제어규칙만 Q/M의 경험과 조타로 인한 저항증가 선속 감소 등의 손실을

고려하였으며, Table 3과 같다.

Table 3. Fuzzy Logic control rule considering the deviation angle for FLC2

- R¹ : If D=SB then RA=PM or
- R² : If D=SM then RA=PI or
- R³ : If D=SS then RA=PJ or
- R⁴ : If D=ZO then RA=ZO or
- R⁵ : If D=PS then RA=SJ or
- R⁶ : If D=PM then RA=SI or
- R⁷ : If D=PB then RA=SM

편각 및 편각속도를 고려한 경우에도 모든 조건들이 침로 변경 조타방식과 같으며 제어규칙만 Table 4와 같이 구성한다.

Table 4. Fuzzy logic control rule considering the deviation and deviation angle velocity for FLC2

D \ DV	SB	SM	SS	ZO	PS	PM	PB
BD	PS	PJ	SJ	SS	SI	SH	SB
SD	PI	PS	ZO	SJ	SS	SM	SB
ZO	PM	PI	PJ	ZO	SJ	SI	SM
SI	PB	PM	PS	PJ	ZO	SS	SI
BI	PB	PH	PI	PS	PJ	SJ	SS

D: Deviation angle DV: Deviation Velocity

시뮬레이션 및 고찰

편각 및 편각속도에 의한 퍼지제어 종래의 PD제어로 구분하였으며 선박의 운동방정식은 $T_1 T_2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\theta}{dt} + \theta + K(\theta)^3 = T_4 \delta + T_3 T_4 \frac{d\delta}{dt}$ 와 같이 나타내고 이를 상태방정식으로 표현하면 다음과 같다.

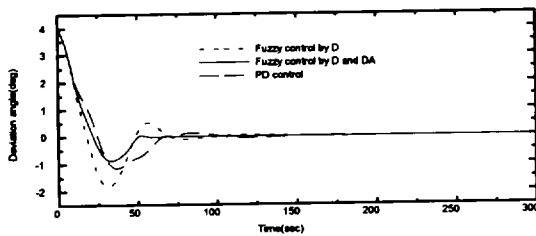
$$\dot{X} = AX + B\delta + D(\dot{\theta})^3 \quad Y = CX$$

$$\text{단 } A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -(T_1 + T_2)/T_1 T_2 & 1 \\ 0 & -1/T_1 T_2 & 0 \end{pmatrix}$$

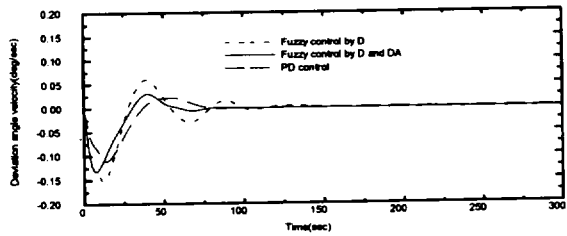
$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ T_3 T_4 / T_1 T_2 \\ T_4 / T_1 T_2 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -K \end{pmatrix}$$

$$X' = (\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) \quad (\cdot = \text{transpose}), \quad C = (1, 0, 0)$$

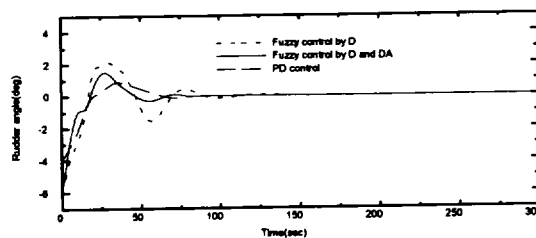
시뮬레이션 시간은 300초로 하고 초기조건과 외란을 달리하는 경우에 조타방식에 따라 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션에 사용한 선박은 전장 125m, 배수톤수 6000(k/t)인 만재화물선이고 조종성능지수는 T₁, T₂, T₃는 각각 45, 6, 10이다. 조종이득정수 T₄ = 0.08로 주어졌다. PD제어의 경우 입력타각은 δ_a



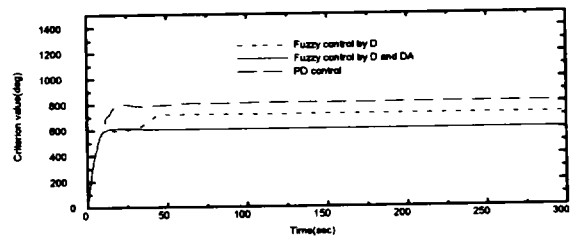
(a) in case of deviation angle(deg)



(b) in case of deviation angle velocity(deg/sec)



(c) in case of rudder angle(deg)



(d) in case of criterion value(deg)

Fig. 9. Simulation results in case of course altering method.

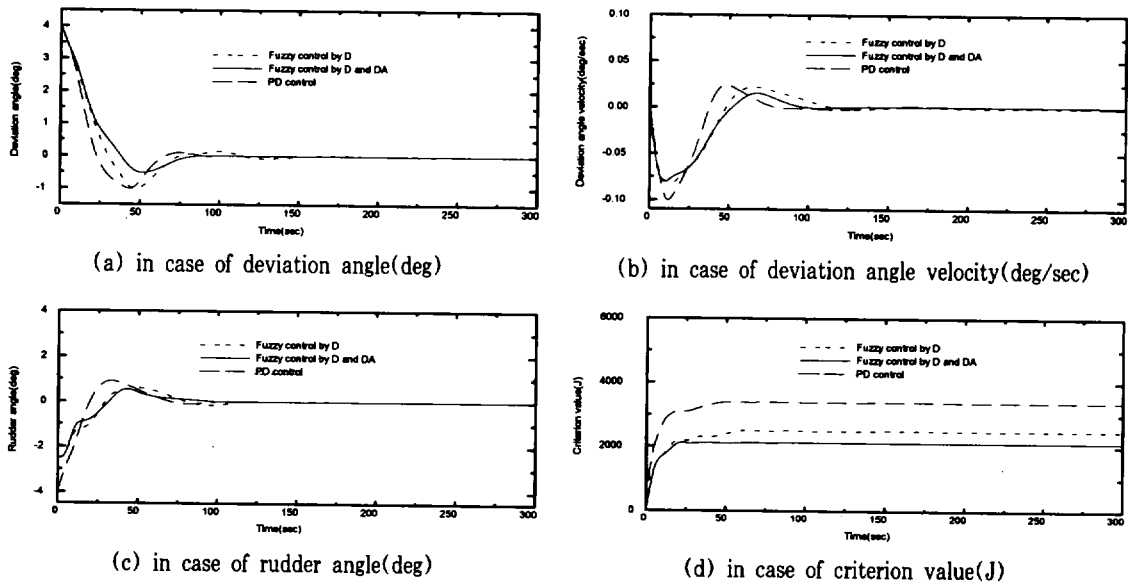


Fig. 10. Simulation results in case of course keeping method.

$= -K_p \theta - K_d \dot{\theta}$ 로 하였다. 이 경우 $K_p=1.0$, $K_d=1.0$ 으로 하였다. 또한 비선형 계수 $K=0.1$ 로 하였다.

Fig. 9는 변침 조타인 경우에 초기 편각을 4.0(deg), 초기 편각속도를 0(deg/sec)로 했을 경우에 모의 실험을 한 결과이다. 그림에서 보면 퍼지제어가 침로를 회귀하는데 걸린 시간에서는 각각 PD에는 59초, FLC에서는 47초로 나타났고 평가함수에서는 퍼지제어가 PD제어에 비해 76.3% 정도로 나타났다. 또한 타각을 보면 고도의 숙련자 와 유사한 조타가 됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 침로 보지인 경우에 시간에 대한 편각, 편각속도, 타각, 평가함수의 관계를 나타냈다. 퍼지제어는 원침로로 회귀하는 시간에서 다소 느리지만 적절한 타 사용으로 에너지 손실면에서는 64% 정도의 양호한 결과를 나타냈으며, 또한 오버슈트가 PD제어에 비해 상당히 억제되는 것을 알 수 있다.

결론

퍼지제어에 의한 선박의 자동조종시스템을 구상하여 모의 실험을 행하여서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원침로를 회귀하는 시간면에서 침로변경 조타방

식에서는 퍼지제어가 우수하였으며 침로보지 조타방식에서는 PD제어가 우수하였다.

2. 평가함수면에서는 PD제어에 비해 퍼지제어가 변침조타인 경우는 76.3% 정도로 우수하고 침로보지 조타인 경우는 64% 정도 우수하였다.

3. 오버슈트가 퍼지제어쪽이 상당히 억제되는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 퍼지제어를 채용하는 것이 충분히 우수하다는 결론을 도출해 냈으며 또한 논리 규칙의 변경을 통하여 여러 대상에 대한 제어가 실현 가능하고 상황에 적용이 최적인 제어기를 고안하면 양호한 선박 자동조타장치의 자동화를 실현 가능하리라 본다.

참고문헌

- 변중남·김동화. 1990. 퍼지추론에 의한 제어방법. 대한전기학회지, 39(12): 21-32.
- 이철영. 1978. Optimal design of automatic steering system of ship's at sea, J. of Institute of Navigation, 2: 35-47.
- Horigome M. 1979. Micro processor based AR Autopilot System for Ship's Steering Ship operation automation

- issoa79.
- Mamdani, E.H. 1974. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. IEEE proc. Control & Science, 12(12): 1585-1588.
- Minorsky N. 1922. Directional stability of automatically steered bodies. J. of ASNE.34.
- Muracami S. 1983. Application of fuzzy controller to automobile speed control systems. in proc. of the IFAC symposium on fuzzy information. Knowledge representation and decision analysis. Marseille, France. pp. 43-48.
- Sugeno M. 1985. Applications of fuzzy reasoning to the water purification process. in industrial applications of fuzzy control. North-Holland pp. 19-40.
- Umbersg I.G.and P.J. King. 1980. An analy in cement kiln control and the implication for automation. Int. J.Man-machine studies. 12: 11-23.
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8: 338-353.
- 菅野道夫. 1988. ファジィ制御. 日本工業新聞社. pp. 5-25.
- 水本 雅晴. 1989. ファジィ制御向きの推論法. 計測と制御. 28: 17-21.

