

퍼지 논리를 이용한 모형 중층트롤 어구의 수심제어시스템 개발

이 춘 우 · 차 봉 진
부경대학교
(2000년 2월 10일 접수)

Development of a Depth Control System for Model Midwater Trawl Gear Using Fuzzy Logic

Chun-Woo Lee and Bong-Jin Cha

Pukyong National University
(Received February 10, 2000)

Abstract

This paper presents a control system that uses a fuzzy algorithm in controlling the depth of a model midwater trawl net, and experimental results carried out in the circulating water channel by using a model trawl winch system.

The fuzzy controller calculates the length of the warp to be changed, based on the depth error between the desired depth and actual depth of the model trawl net and the ratio of change in the depth error. The error and the error change are calculated every sampling time. Then the control input, i.e. desirable length of the warp, is determined by inference from the linguistic control rules which an experienced captain or navigator uses in controlling the depth of the trawl net during manual operation. Then the control input is transmitted to the trawl winch controller and the length of the warp is changed.

Two kinds of fuzzy control rules were tested, one was obtained from the actual operations used by a skilled skipper or navigator, and the other was a modified from the former by considering the hydrodynamic characteristics of the model trawl system.

The results of these model experiments indicate that the proposed fuzzy controllers rapidly follow the desired depth without steady-state error although the desired depth was given in one step, and show robustness properties against changes in the parameters such as the change of the towing speed. Especially, a modified rule shows smaller depth fluctuations and faster setting times than those obtained by a field oriented rule.

※ 본 연구는 학술진흥재단 '98과학기술 중점연구(1998-023-H0004) 지원으로 수행되었음.

서 론

현재 트롤 그물의 수심은 숙련된 선장이나 항해사가 경험을 토대로 어군의 유영 수심에 따라서 끌줄의 길이와 선속을 조정하는 방법으로 제어하고 있다. 이와 같은 조업 방법에서는 조작자의 경험과 숙련도에 따라 어획성능의 편차가 심하고 조업환경의 급속한 변화에 신속하고 정확하게 대처하기 어렵다.

또한, 선장이나 항해사가 그물을 예망 할 때에는 어로뿐만 아니라 조신에도 신경을 써야 하기 때문에 피로의 누적에 의한 안전상의 문제도 고려되어야 한다. 따라서, 그물의 수심을 자동으로 제어할 수 있으면 관리직 선원의 업무부담을 줄일 수 있어 조업인력을 생력화시킬 수 있고, 어획성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

트롤 시스템의 제어계를 설계하기 위해서는 시스템을 표현하는 수학적 모델을 도출하고 해석하여 시스템의 특성을 파악한 후, 그 특성에 맞는 제어 시스템을 설계해야 한다. 그러나, 트롤 시스템 모델은 복잡하고 비선형일 뿐만 아니라, 모델에 포함된 어구저항이나 어구질량 등이 예망속도, 어획의 대소 및 해황에 따라 변화하는 성질을 갖고 있기 때문에 현대제어 이론으로는 제어하기 어렵다¹⁾.

이러한 제어시스템에 적합한 제어방법 중의 하나가 퍼지제어다. 퍼지제어는 언어적인 제어규칙으로부터 추론을 통하여 제어입력을 결정하는 알고리즘으로, 최근 복잡하고 비선형적인 산업 시스템에 적용되어 그 실용성을 입증 받고 있다²⁾.

중층트롤 그물의 수심제어시스템 개발을 위해서는 제어시스템을 설계·제작하고 성능실험을 하여야 하나, 실물어선에 이러한 제어시스템을 설치하여 실험하는 데에는 많은 경비가 필요할 뿐만 아니라, 큰 힘을 제어해야 하므로 위험도 수반한다. 따라서 회류수조에서 작동하는 모형트롤시스템을 구성하고 트롤시스템에 적합한 제어계를 설계 제작하여 성능을 검증한 후 실제 시스템에 적용시킨다면 제어시스템 개발과정의 시행착오를 줄여 해상 실험에서의 경비와 위험을 최소화할 수 있다.

본 연구에서는 회류수조에 모형의 트롤윈치와

어구로서 트롤 시스템을 구성하고 퍼지논리를 이용한 제어 시스템을 설계하여, 실험을 통하여 그 성능을 분석하였고, 실제 트롤 시스템에 대한 적용 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 장치

본 실험에 사용한 수조는 부경대학교의 대형 회류수조로서 관측부의 규격은 길이 6m, 폭 2m 그리고 수심 1.2m이며, 관측창은 3개로 되어있다.

모형트롤윈치는 Fig. 1와 같이 회류수조의 상류측 윗 부분에 설치하고 전개판과 그물이 물을 거스를 수 있도록 설치하여 실제로 배가 어구를 예망하는 효과가 나도록 하였다.

모형트롤윈치는 좌우 직류모터(12V/24W, 1/2 감속비, 최대토크 15kg-cm)에 의해서 구동되고 드럼의 직경은 100mm였다. 끌줄의 길이는 드럼 측에 연결된 엔코더(1회전당 360pulse)에 의해서 측정되어지고, 어구 수심은 그물의 뜰줄에 달려 있는 압력계(측정범위 : 0~0.2kg)로 측정하였다. 이들 신호는 펄스카운터 및 A/D변환기를 거쳐서 컴퓨터에 입력된다.

모형어구는 가야호에서 사용한 2200마력급 중층트롤어구를 기하학적 상사 법칙을 이용하여 300분의 1로 축소하여 제작하였다³⁾.

2. 퍼지제어계 설계

본 연구에서 사용한 퍼지제어이론은 Mamdani

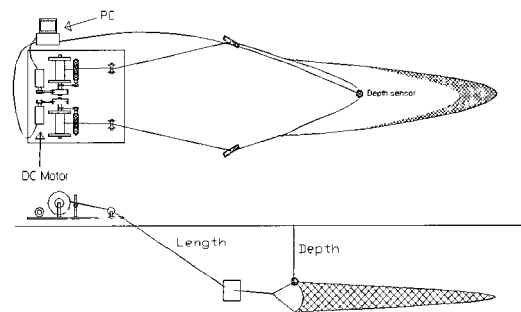


Fig. 1. Experimental set up for model trawl system.

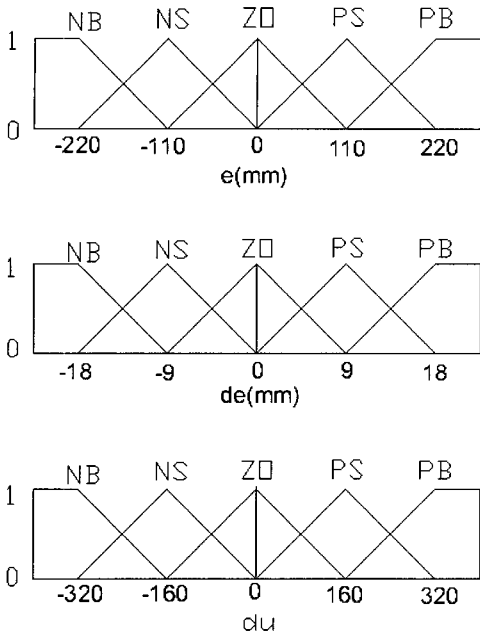


Fig. 2. Membership function.

가 최초로 응용했던 추론법 중 연속형의 퍼지변수의 멤버쉽 함수를 사용하여 설계하였다.

퍼지 제어기의 제어 입력은 목표로 하는 그물의 수심과 현재 그물 수심과의 편차 $e(k)$ 와, 편차의 변화량 $de(k)$ 를 토대로 계산된다.

$$e(k) = \text{ref}(k) - y(k) \quad (1)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

$$u(k) = u(k-1) + du(k) \quad (3)$$

여기서, $\text{ref}(k)$ 는 k 번째 샘플링 시간에 있어서 설정되는 목표 수심이며, $y(k)$ 는 그물의 수심, $du(k)$ 는 제어입력의 증감분으로 끌줄 길이의 변경치를 나타내는 적분형의 구조이다.

목표수심과 어구수심이 퍼지제어기에 입력되면 이들 값을 퍼지화(fuzzification)하고 추론과정을 거쳐서 제어입력을 결정하기 위해서 멤버쉽함수를 도입해야한다. 본 연구에서는 입출력변수에 대한 멤버쉽함수를 다음과 같이 5등급으로 정의하였다.

PB : Positive Big

PS : Positive Small

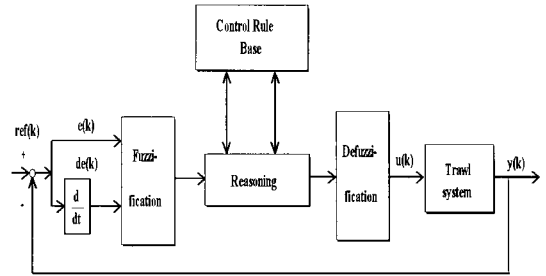


Fig. 3. Block diagram of fuzzy controller.

ZO : Zero

NS : Negative Small

NB : Negative Big

여기서, PB, ZO 등은 언어학적인 값(linguistic value)을 의미한다.

본 연구에서 사용된 편차(e), 편차의 변화율(de) 및 입력의 증감량(du)에 대한 멤버쉽 함수는 Fig. 2와 같은 삼각형의 연속형 함수를 사용하였다.

제어입력 $u(k)$ 는 끌줄의 길이로, 매 샘플(Sample)시각마다 결정되는데, 결정 방법은 숙련된 선장이나 항해사가 그물의 수심 조절에 행하는 언어적인 제어규칙으로부터 추론을 통하여 행한다. 언어적인 제어규칙의 한 예를 들면, “만약 그물의 위치가 어군의 위치보다 상당히 깊고($e=NB$), 편차의 변화량이 없을 때($de=ZO$)는 그물을 부상시키기 위해서 끌줄을 많이 감아들임($du=NB$)” 등과 같은 규칙의 집합을 말하는데, 다음과 같이 if-then의 형태로 표현된다^{13,4)}.

If($e=NB$ and $de=ZO$) then ($du=NB$)

본 시스템에 사용된 제어시스템의 구성은 Fig. 3과 같다

본 연구에서는 숙련된 항해사나 선장의 조업지식과 트롤 시스템의 운동특성 등을 고려하여 제어규칙을 도출하였다. 실험에서는 2종류의 제어규칙 집합을 사용하였는데, Table 1은 가야호를 이용한 해상실험에서 사용된 제어규칙이며, Table 2는 가야호의 실험을 토대로 하여 모형어구에 알맞도록 수정한 제어규칙이다.

본 연구에서 제작된 퍼지제어 프로그램은 통신기능과 데이터베이스 기능이 강화된 Visual

Basic(6.0)을 이용하여 제작하였다⁵⁾.

결과 및 고찰

1. 정상 예방에서의 응답

제어시스템의 성능 실험에서는 유속을 0.35m/s로 고정한 후 그물의 목표수심을 300mm에서 500mm로, 500mm에서 800mm로, 800mm에서 500mm로, 500mm에서 300mm로 각각 스텝상으로 변화시켰을 때 제어기의 응답을 조사하였다⁴⁾.

Fig. 4는 Table 1의 규칙에 의한 제어의 결과로

Table 1. Fuzzy rules of trawl system

e(Error)	de(Error change)				
	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	NB	NB	NS	NS	NS
ZO	NS	PS	ZO	PS	PS
PS	PS	PS	PS	PB	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PB

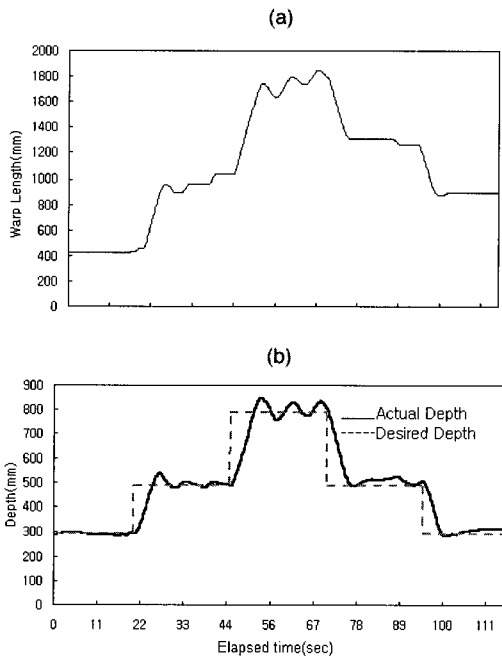


Fig. 4. Step responses of the fuzzy controller using the rule of Table 1, (a) warp length, (b) fishing gear depth.

서 각각 끌줄의 길이와 수심의 변화를 나타낸다. Fig. 4의 결과를 보면, Table 1의 제어규칙은 끌줄을 푸는 경우 즉, 어구의 수심을 깊게 할 때 안정적인 제어가 되지 않았다는 것을 알 수 있다. 특히, 어구의 수심을 300mm에서 500mm로 변화시킬 때 보다 500mm에서 800mm로 변화 폭을 많이 할 때 더욱 안정적이지 못하다는 것을 알 수 있다. 이것은 Table 1의 제어규칙 중 “어구의 목표수심과 실제수심과의 수심 차가 적고(NS), 어구수심의 변화량이 많은 경우(NB) 끌줄의 변화량을 많게(NB) 하라”는 규칙 때문이다.

중층트롤어구의 경우 끌줄을 감을 때는 어구가 거의 전개판과 같은 속도로 감겨 올라오지만, 끌

Table 2. Fuzzy rules of model trawl system

e(Error)	de(Error change)				
	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	NS	NB	NS	NS	NS
ZO	NS	PS	ZO	PS	PS
PS	PS	PS	PS	PB	PS
PB	PB	PB	PB	PB	PB

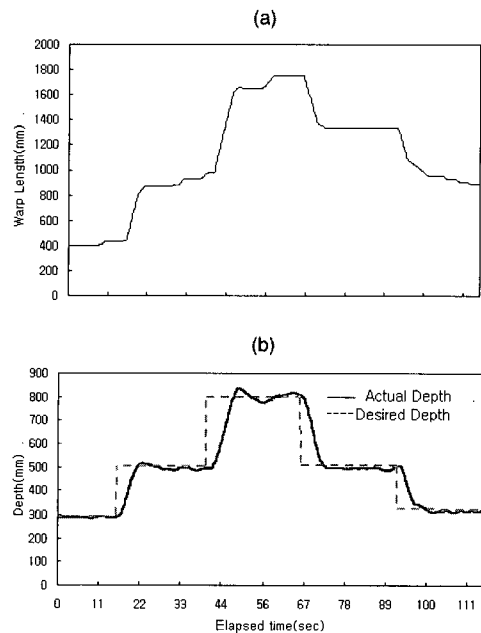


Fig. 5. Step responses of the fuzzy controller using the rule of Table 2, (a) warp length, (b) fishing gear depth.

줄을 풀어 줄 때는 전개판이 빨리 침강하고 그물은 느리게 침강하므로 그물의 수심은 끌줄이 비교적 많이 풀려 나간 뒤에서야 변하게 되므로 그물의 수심이 목표수심을 지나쳐 벗어나는 오버슈트(over shoot)가 생기는 것으로 판단된다.

수정한 제어규칙 Table 2를 이용하였을 때의 제어성능은 Fig. 5에 나타내었다. 제어규칙 Table 1의 경우 보다 오버슈트는 크게 줄어들었으나 목표치에 도달하는 시간은 약간 더 걸리는 것을 볼 수 있다. 또한 이 경우 끌줄을 많이 풀어 주어 목표수심을 500mm에서 800mm로 바꿀 경우, 끌줄 및 어구의 수심은 약간의 정상편차가 있었으나 앞의 제어규칙보다는 양호하였다.

2. 외란에 대한 제어시스템 응답

외란에 대한 성능 실험에서는 그물의 목표수심을 500mm로 일정히 하고 유속을 Fig. 6과 같이 0.35m/s에서 0.45m/s로 변화시키고, 다시 0.35m/s로 변환 시켰을 때, 제어시스템의 응답을 조사하였다. Fig. 7은 Table 1의 제어규칙을 이용했을 경우의 응답이고, Fig. 8은 Table 2에 제어규칙을 이용했을 경우의 응답이다. 또한, Fig. 7과 Fig. 8에는 퍼지제어를 적용하지 않고 유속을 변화 시켰을 때의 어구의 수심변화도 같이 나타내었다.

본 결과에 의하면 Table 1의 제어규칙에 의해 제어되는 어구는 목표수심에서 크게 벗어나지 않게 계속적으로 끌줄을 변화 시켜준다는 것을 알 수 있다. 이에 반해 Table 2에 의한 제어는 유속의 변화에 의해 어구수심이 목표 수심으로부터 어느 정도 벗어난 뒤에야 제어동작이 시작되어 편차가 큰 것을 알 수 있다. 그러나 두 경우에서 모두 퍼지

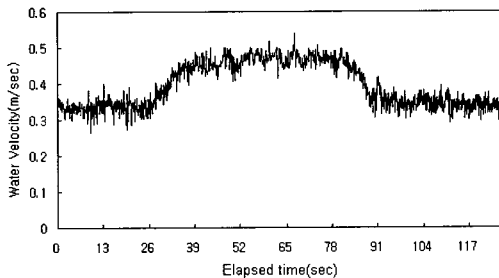


Fig. 6. Velocity of the elapsed time.

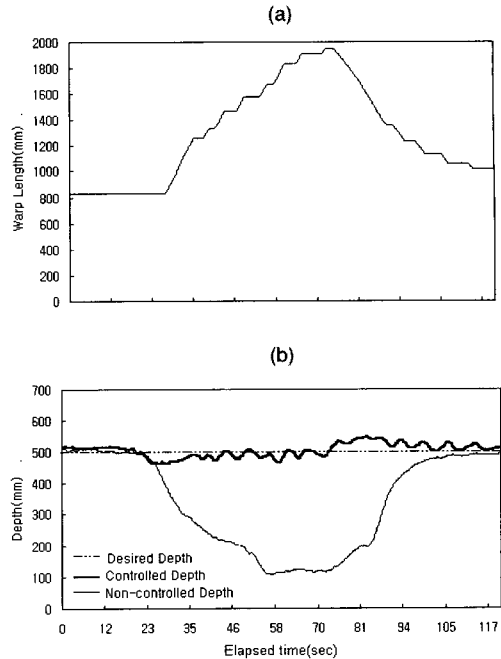


Fig. 7. Speed responses of the fuzzy controller using the rule of Table 1, (a) warp length, (b) fishing gear depth.

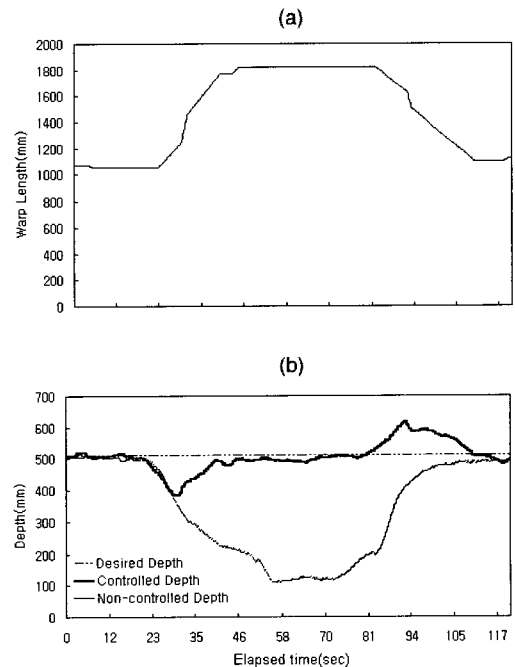


Fig. 8. Speed responses of the fuzzy controller using the rule of Table 2, (a) warp length, (b) fishing gear depth.

제어가 적용되지 않았을 때는 상당히 큰 편차가 발생하였다.

따라서, 본 연구에서 설계된 퍼지제어기는 어구의 저항 변동 등과 같은 외란에 대해서 양호한 억제 성능을 나타내었다. 두 개의 제어규칙의 제어성능을 비교해보면 만약 유속의 변화가 적어 그물 수심변화가 크지 않은 경우에는 Table 2의 규칙이 유용한 반면, 어구의 수심에 변화를 줄 정도의 유속변화가 큰 경우에는 작은 편차에서도 신속하게 반응하는 Table 1의 규칙이 좋다고 판단된다.

요 약

중층트롤어구의 수심 제어는 시스템의 복잡성과 비선형성 등으로 인하여 아직까지 자동화되지 않았다. 본 연구에서는 회류수조에서 작동되는 모형 트롤어구의 예망시스템을 제작하였으며, 이 시스템의 수심을 자동으로 제어하기 위해서 퍼지논리를 이용한 제어시스템을 구성하여 성능을 실험하였다. 제어시스템의 수심제어 규칙은 숙련된 항해사나 선장이 실제 조업에서 어구의 수심을 제어하기 위해 사용하는 지식을 제어규칙화 한 것과 모형실험에 적합하도록 수정한 규칙 두 가지를 사용하였다¹⁾.

제어계의 성능은 예망속도를 일정히 유지하면서 목표수심을 스텝상으로 변경시켰을 때의 추종 성능 실험과 목표수심을 일정히 유지하면서 예망속도를 변경시켰을 때의 보상성능을 실험을 통하여 분석하였다.

1. 본 연구에서 제안된 두 가지 제어기는 모두 일정한 유속(0.35m/s)에서 스텝상의 목표수심 변경에 대해서 빠른 추종성능을 나타내었다. 특히 수정된 제어규칙에서는 모형 어구의 수심을 보다 안정되게 제어하였다.

2. 예망속도(유속)를 변화시켜 어구저항을 증감시킨 실험에서도 두 제어기는 비교적 양호한 보상성능을 나타내었는데, 실제 조업에서 사용하는 규칙은 작은 외란에도 빨리 반응하였으며, 수정된 제어규칙은 수심편차가 어느 정도 커져야 제어 동작을 하였다.

3. 본 연구에서 제작된 모형트롤시스템은 실물 트롤 시스템의 운동 특성과 거의 일치하였고, 또한 설계된 제어기는 양호한 제어성능을 나타내어 모형실험을 통한 시스템의 해석과 실물 트롤시스템에 적용가능성이 높은 제어계의 설계가 가능하였다.

참고문헌

- 이춘우 외 17명(1998) : 컴퓨터를 이용한 트롤 어구 설계 및 예망 자동화 시스템 개발, 해양수산부연구보고서. 23-233.
- 엄정국·원성형(1980) : 기초 퍼지이론과 응용퍼지 시스템, (주)정보시대, 1~310.
- 김대안(1990) : 어구설계학, 평화인쇄출판공사, 1~341.
- 이춘우(1994) : 간략화된 트롤 시스템의 퍼지제어, 한국어업기술학회지 30(3), 189~198.
- 마이크로소프트 : Visual Basic Programmer's Guide, (주)마이크로소프트, 3~118.