

# 간략화된 트롤 시스템의 퍼지제어

이 춘 우

국립수산진흥원

(1994년 6월 5일 접수)

## Fuzzy Logic Control for a Simplified Trawl System

Chun - Woo LEE

National Fisheries Research & Development Agency

(Received June 5, 1994)

This paper describes the model of a simplified trawl system and a control method by using fuzzy algorithm in controlling the depth of trawl gear. Fuzzy logic control rules are sets of linguistic expression that are used by an experienced performer in real operation. For real time processing of the control rules, the look-up tables are used.

Computer simulation results indicate that the proposed fuzzy controller shows fast response with minimum steady-state error and robustness properties to the simulated disturbance.

### 서 론

트롤은 어군이 있는 수층으로 그물을 예망하여 어군을 자루 그물에 몰아 넣어 어획하는 어법으로, 그물의 예망케도를 어군의 위치에 일치 시키는 것과 어구의 동적인 안정성 등이 어획성능을 좌우하는 중요한 요소이다. 현재 트롤 그물의 깊이 제어는 숙련된 선장이나 항해사가 그들의 경험을 토대로 어군의 위치에 따라서 끌줄의 길이와 선속을 적당히 조정하여 행하고 있다. 이와 같은 조업 방법에서는 조작자의 경험과 숙련도에 따라 어획성능의 편차가 심할 뿐만 아니라 그물의 위치를 신속하고 정확하게 제어하기 힘들다. 또한 최근 양질의 관리직 선원 구인난과 인건비의 상승

등으로 인하여 트롤 조업 과정도 자동화가 절실히 요청되는 분야로 대두되고 있다.

트롤 예망 과정을 자동화 시키기 위해서는 제어 대상을 모델링 하고, 제어이론을 적용시키는 접근 방법이 생각되어질 수 있으나, 시스템이 복잡하여 모델화가 어렵고, 모델이 비선형의 형태로 기술되기 때문에 지금까지 정확하게 해석되지 않았을 뿐만 아니라 선형 시스템을 중심으로 전개 되어온 제어 이론의 적용에도 어려움이 있다. 트롤 시스템의 제어에 관한 연구로는 1차계로 근사하여 개루프 제어계를 구성한 예<sup>1)</sup>, 실제 트롤 시스템의 운동을 계측한 연구 등이 있으나<sup>2,3)</sup>, 대부분 정적인 특성만 고려하였을 뿐 동적인 특성에 대한 정확한 해석은 거의 없다. 梅田<sup>4)</sup>는 트롤 시스템을

선형화하여 최적 레귤레이터 제어계를 구성하였으나, 선형을 전제로한 제어계이기 때문에 실용성이 떨어지고, 실제 트롤 윈치의 제어장치를 구성한<sup>5)</sup> 예도 있으나 제어규칙이나 수학적 모델에 대해서는 언급이 없다. Lee<sup>6)</sup>는 비선형의 형태로 기술된 트롤 시스템에 대해서 간단한 퍼지제어기를 구성한 예를 보고하였다. 퍼지제어는 Zadeh<sup>7)</sup>에 의해 처음 제시된 이래, 상세한 수학적 모델식 없이 전문가의 경험과 지식을 기반으로 제어기를 설계하는 방법으로, 제어 대상이 비선형이거나 구조가 복잡하여 정확한 모델링을 할 수 없는 산업 시스템에 적용되어 그 유용성이 입증되고 있다<sup>8,9,10)</sup>.

본 연구에서는 간략화된 트롤 시스템을 모델링하고, 어구의 수심 제어에 퍼지 알고리즘을 이용한 제어기를 설계하여 다양한 운전 조건의 변화를 외란으로 주었을 때 본 제어기의 강인성(Robustness)을 조사하여 실제 트롤어구 제어에 적용 가능성을 검증하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 트롤 시스템의 모델링

#### 1) 운동방정식 기술

Fig. 1과 같이 공간상을 운동하는 트롤선과 어구의 운동을 묘사하기 위해서는 지구 고정 좌표계에 대한 이동 좌표계의  $x, y, z$  방향의 직선 성분과 회전성분을 포함한 6 자유도(6 degree of free-

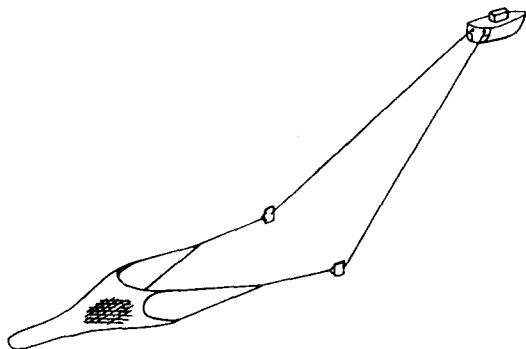


Fig. 1. Schematic view of the trawl system.

dom)운동으로 표현해야 한다.

그러나 본 연구에서는 어구의 수심 제어에 초점을 두고 있으므로 트롤선의 피칭운동은 무시하고 어구의 수직면내의 운동만을 대상으로 모델을 기술한다. 어구를 구성하는 요소인 전개판과 그물은 후릿줄로 연결되어 있어서 실제로는 상당한 거리가 떨어져 있으나, 모델을 간단히 기술하기 위하여 전개판과 그물을 하나의 질점으로 근사화한다. 따라서 전개판, 후릿줄 및 그물에 작용하는 외력은 이 질점에 작용하는 것으로 한다. 또한 어구와 배를 연결하는 끌줄의 탄성은 무시하고, 무게는 어구의 질점 중심에서 작용하는 것으로 한다. 이상의 가정으로부터 트롤 시스템은 Fig. 2와 같이 트롤선과 어구가 비탄성줄로 연결된 2질점계로 근사된다.

Fig. 2에 나타낸 계에 대해서 트롤선의 위치  $x$ , 트롤선과 어구를 연결하는 끌줄의 길이  $l$  및 이 줄이 수평선과 이루는 각도  $\theta$ 를 변수로 하는 운동방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\ddot{x}(M+m_x) + (-\dot{l} \cos \theta + \theta l \sin \theta + 2l \theta \sin \theta + \theta^2 l \cos \theta)m_x = F - D_s - T \cos \theta \quad (1)$$

$$(\dot{l} - \ddot{x} \cos \theta - \theta^2 l)m_l = -T + D_g \cos \theta + W \sin \theta \quad (2)$$

$$(\theta l^2 + x l \sin \theta + 2l l \theta)m_\theta = W l \cos \theta - D_g l \sin \theta \quad (3)$$

여기서

$M$  : 트롤선의  $x$ 방향 가상질량

$m_x$  : 어구의  $x$ 방향의 가상질량

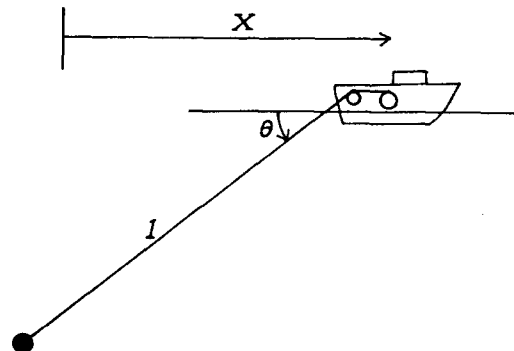


Fig. 2. Simplified trawl system model.

$m_l$  : 어구의  $l$ 방향의 가상질량  
 $m_\theta$  : 어구의  $\theta$ 방향의 가상질량  
 $W$  : 어구의 수중중량  
 $F$  : 트롤선의 추진력  
 $D_s$  : 트롤선의 저항  
 $T$  : 끌줄의 장력  
 $D_g$  : 어구의 저항이다.

## 2) 가상질량

트롤선의 x방향 가상질량은 실제 트롤선 질량의 1.1배로 보고 계산하였다. 어구의 가상질량은 전개관의 경우에는 쉽게 계산되나, 그물의 경우에는 현재까지 정확한 계산방법이 정립되어 있지 않다. 때문에 梅田<sup>11)</sup>가 한것과 같이 트롤 그물의 망고를 직경으로 하는 구의 가상질량을 그물의 가상질량으로 하였고, 전개관의 가상질량은 그물의 가상질량에 비해서는 대단히 작기 때문에 생략하였다.

## 3) 저항계수

트롤선의 저항  $D_s$ 는 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_s = \frac{1}{2} \rho C_f s \dot{x}^2 \quad (4)$$

단,  $\rho$ 는 해수의 밀도,  $C_f = 0.072 \left(\frac{\dot{x}L}{v}\right)^{-1.65}$ 이고  $L$ 은 트롤선의 길이,  $v$ 는 해수의 동점성 계수,  $s$ 는 침수 표면적이다.

어구의 저항은 李동<sup>11), 12)</sup> 실험 자료에 의하면 어구 전체 저항은 예상속도의 1차 비례관계로도 볼 수 있으므로 다음과 같은 간단한 식으로 나타내었다.

$$D_g = C_g v \quad (5)$$

**Table 1. Principal particulars of trawler**

Length 35m	Fore draft 1.15m
Breadth 6.6m	Aft draft 3.62m
Depth 3.1m	Mean draft 2.38m
Gross tonnage 134 ton	Weight 464ton
Power of main engine 1300ps	

**Table 2. Parameters of trawl system**

$M$	: 52,000 Kg s <sup>2</sup> /m
$m_x$	: 60,400 Kg s <sup>2</sup> /m
$m_l$	: 60,400 Kg s <sup>2</sup> /m
$m_\theta$	: 60,400 Kg s <sup>2</sup> /m
$S$	: 339m <sup>2</sup>
$C_g$	: 5,000 Kg s/m
$W$	: 2,500 Kg
$F$	: 11,000 Kg

여기서  $C_g$ 는 어구의 저항계수이고,  $v$ 는 어구의 대수 속력으로서  $(\dot{x} - l \cos \theta)$ 으로 계산할 수 있다. 시뮬레이션에 사용된 트롤선의 제원은 Table 1에 나타내었고, 수치계산에 필요한 계수들을 Table 2에 나타내었다.

## 2. 실제 조업시의 트롤 그물의 수심 조절

트롤 그물의 수심은 기본적으로 어구의 수중 무게와 저항이 균형을 이루는 점에서 결정된다. 그러나 똑같은 어구라도 예상속도가 달라지거나, 끌줄의 길이가 변화하면 역학적 평형을 이루는 수심은 달라진다. 따라서 트롤어구의 수심은 어구 수중무게, 어구저항, 예상속도 및 끌줄 길이의 함수라고 볼 수 있는데, 일반적으로 대상 어선에 따라 어구가 구성되면 어구 수중무게, 예상속도와 어구 저항은 결정되므로, 어구의 수심 조절은 주로 끌줄의 길이를 변화시켜서 행하고, 보조적으로 예상속도를 변화시켜서 행한다.

지금까지 주로 사용되고 있는 끌줄의 길이는 목표수심의 3~5배로 알려지고 있으나, 최근에는 수중 계측기류의 발달로 어구의 수심뿐만 아니라 대상어군의 수심도 정확하게 파악할 수 있다. 따라서 수시로 어구의 수심과 대상어군의 수심을 비교하면서 끌줄의 길이를 조정하여 어구의 수심을 대상어군의 수심을 맞추고 있다. 예를 들어 현재 어군의 수심보다 어구의 수심이 깊어 있으면 끌줄을 감아 올리고, 반대로 어구의 수심이 어군의 수심보다 얕으면 끌줄을 풀어 준다. 이때 어구의 수심과 어군 수심의 차이, 즉 편차의 정도에 따라 줄을 어느정도 감거나 풀어줄 것을 원치름에 전달하

면 원치 조작자가 명령에 따라 끌줄 길이를 조정한다. 원치 룬에 지령하는 끌줄의 조출량은 시시각각 변화하는 어장상황, 어구의 규모 및 누적된 어획량 등에 따라 다르게 되기 때문에 일률적인 제어 규칙을 정하기가 어렵다. 따라서 해양환경적인 요인과 어구의 상태 변화 등을 면밀히 분석하여 정확한 지령치를 내는 것이 중요한데, 지금까지는 숙련된 선장이나 항해사가 그들의 경험을 토대로 지령치를 결정하는 방법으로 조업을 하고 있다.

지령치가 결정되면 주로 유압으로 구동되는 윈치를 작동시켜 정해진 길이 만큼 끌줄을 감거나 풀어주는 조작을 하게 된다. 따라서 종래의 조업 형태에서는 끌줄의 길이가 제어입력인 제어제로 볼 수 있다. 그러나 트롤 윈치는 대용량의 부하에서 작동하므로 끌줄의 최대 조출 속도에는 제한이 있으나 속도 제어가 가능한 제어제이다. 따라서 본 연구에서는 끌줄의 조출 속도를 제어 입력 변수로 하여 그물의 수심을 제어하는 퍼지 제어를 설계한다.

### 3. 퍼지 제어기

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

$$e(k) = y_r(k) - y(k) \quad (6)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (7)$$

$$u(k) = l(k) \quad (-2m/s < l < 2m/s) \quad (8)$$

여기서,  $y_r(k)$ 는  $k$ 번째 샘플링 시간에 있어서 설

정되는 목표 수심으로 어군의 수심과 같고,  $y(k)$ 는 어구의 수심으로  $l \sin \theta$ 로 계산되고,  $u(k)$ 는 제어 입력이다.

제어 입력인 끌줄의 조출 속도는 매 샘플 (Sample)링 시각마다 결정되는데, 결정 방법은 숙련된 선장이나 항해사가 그물의 수심 조절에 행하는 언어적인 제어규칙으로 부터 추론을 통하여 행한다. 언어적인 제어규칙의 한 예를 들면, "만약 그물의 위치가 어군의 위치보다 상당히 깊고, 편차의 변화량이 없을 때는 그물을 부상시키기 위해서 끌줄을 빨리 감아 올림" 등과 같은 규칙의 집합을 말하는데, 다음과 같이 If-then의 형태로 표현된다.

$$\text{If}(e=PB \text{ and } de=ZO) \text{ then } (u=PB)$$

여기서 PB, ZO 등은 언어학적인 값 (Linguistic Value)인데, 본 연구에서는 입출력 변수를 5등급으로 양치화 하여 다음과 같이 정의한다.

PB : Positive Big

PS : Positive Small

ZO : Zero

**Table 3. Fuzzy control rule**

		de				
		NB	NS	ZO	PS	PB
e	NB	NB	NB	NB	NB	NB
	NS	NB	NB	NS	NS	NS
	ZO	NS	NS	ZO	PS	PS
	PS	PS	PS	PS	PB	PB
	PB	PB	PB	PB	PB	PB

**Table 4. Discrete membership function**

Linguistic sets	Quantized levels										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1
PS	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0
ZO	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0
NS	0	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0

NS : Negative Small

NB : Negative Big

이에 따라 제어규칙을 정의하면 Table 3과 같다.

어느 시각에 있어서 편차와 그 편차의 변화량이 정해지면 복수개의 제어규칙을 추론하여 적당한 제어 입력이 결정되나, 추론과정에서는 규칙의 수에 비례하여 시간이 걸리게 된다. 따라서 이들 제어규칙을 실시간(Real time)으로 처리하게 위해서 제어규칙을 이산화하여 룩업 테이블(Look-up table)로 만들어 사용하였다. 이때 오차가 클

경우에는 Coarse 제어로, 오차가 적을 경우에는 Fine 제어로 구분하여 동작하도록 두 종류의 룩업 테이블을 만들었다.

Coarse 제어에 있어서 Table 3의 언어 값(Linguistic value)을 퍼지화하기 위해서는 귀속함수(Membership function)를 도입해야 하는데 룩업 테이블을 만들기 위해서 이산형 귀속함수(Discrete membership function)를 사용한다. 이산형 귀속함수는 Table 4와 같고, 입출력 변수의 양자화 레벨은 Table 5와 같다.

추론된 퍼지집합으로부터 제어기 출력을 구하기 위해서, 제어규칙의 소속도에 따라서 제어입력

**Table 5. Quantized variables(Coarse Control)**

e (m)	de (m/s)	u (m/s)	Quantize level
-27	-1.35	-2	-5
-21	-1.05	-1.6	-4
-15	-0.75	-1.2	-3
-9	-0.45	-0.8	-2
-3	-0.15	-0.4	-1
0	0	0	0
3	0.15	0.4	1
9	0.45	0.8	2
15	0.75	1.2	3
21	1.05	1.6	4
27	1.35	2	5

**Table 7. Quantized variables(Fine Control)**

e (m)	de (m/s)	u (m/s)	Quantize level
-2.7	-0.45	-1	-5
-2.1	-0.35	-0.8	-4
-1.5	-0.25	-0.6	-3
-0.9	-0.15	-0.4	-2
-0.3	-0.05	-0.2	-1
0	0	0	0
0.3	0.05	0.2	1
0.9	0.15	0.4	2
1.5	0.25	0.6	3
2.1	0.35	0.8	4
2.7	0.45	1	5

**Table 6. Look-up table for coarse control**

e \ de	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
-4	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-4
-3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-3
-2	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	1
-1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-2	0	0	1	2
0	-3	-2	-1	-1	0	0	0	1	1	2	3
1	-2	-1	0	0	2	3	3	3	3	3	3
2	-1	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Table 8. Look-up table for fine control

e \ de	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-3	-3
-4	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2
-3	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-1	-1
-2	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-1	-1	0	1
-1	-3	-3	-3	-2	-1	-1	-1	0	0	1	2
0	-3	-2	-1	-1	0	0	0	1	1	2	3
1	-2	-1	0	0	1	1	1	2	3	3	3
2	-1	0	1	1	2	3	3	3	4	4	4
3	1	1	2	2	3	4	4	4	4	5	5
4	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5
5	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5

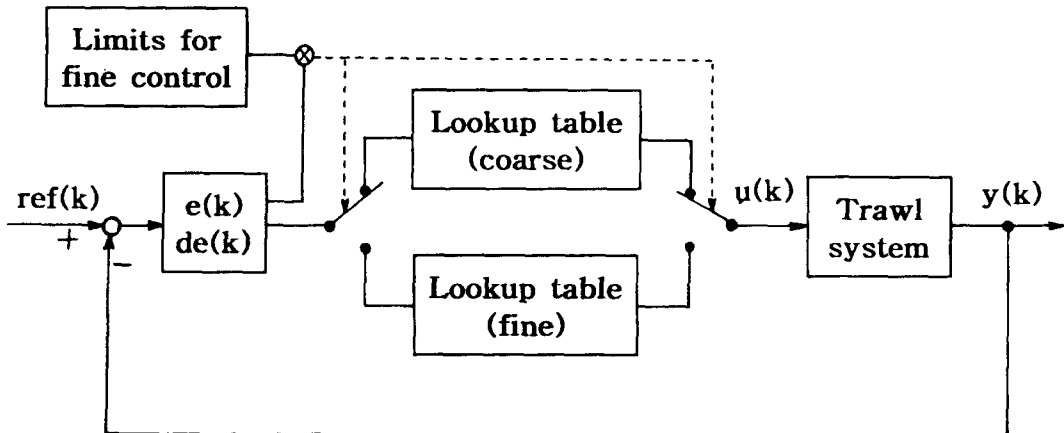


Fig. 3. Block diagram of the fuzzy controller.

의 평균을 구하는 무게중심법(Center of gravity method)을 사용하여 비퍼지화 하였으며 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_i \times U_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (9)$$

여기서  $I$ 는 제어입력,  $\mu$ 는 귀속함수,  $n$ 는 규칙의 수,  $U$ 는 제어입력의 전체집합(Universe of discourse)이다. 위의 과정을 통해서 Table 3의 언어적인 규칙을 룩업 테이블로 만들면 Table 6과 같다.

Coarse 제어와 동일한 절차를 거치면 Table 7의 양자화 레벨에 대해서 Table 8의 룩업 테이블

을 얻을 수 있다.

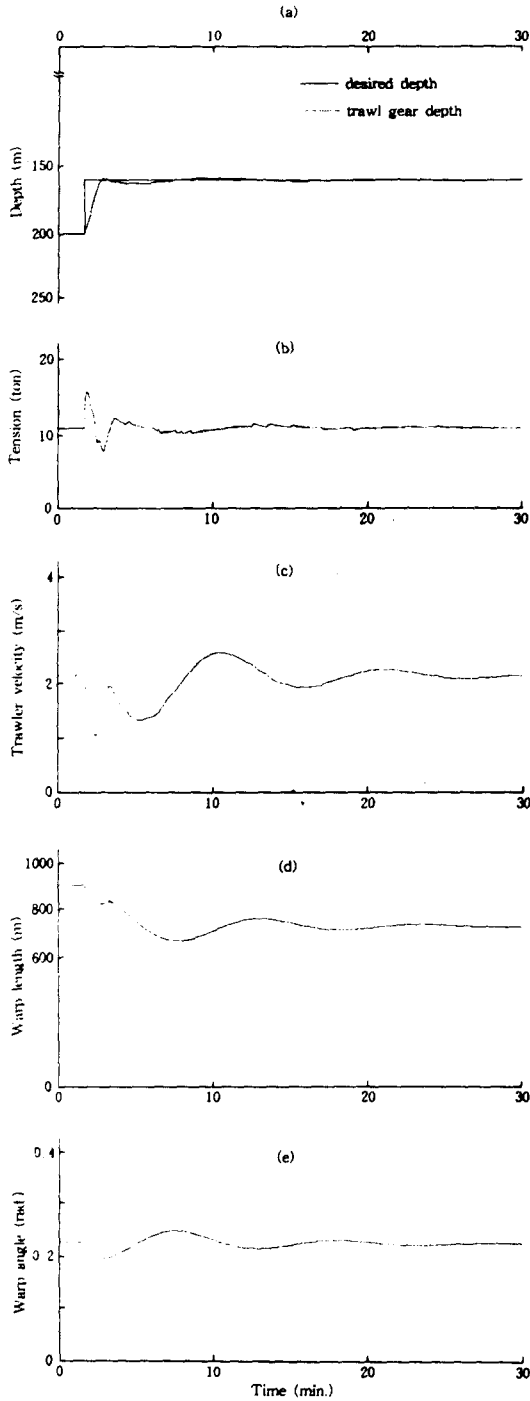
본 퍼지 제어기의 블록선도는 Fig. 3과 같다.

## 결 과

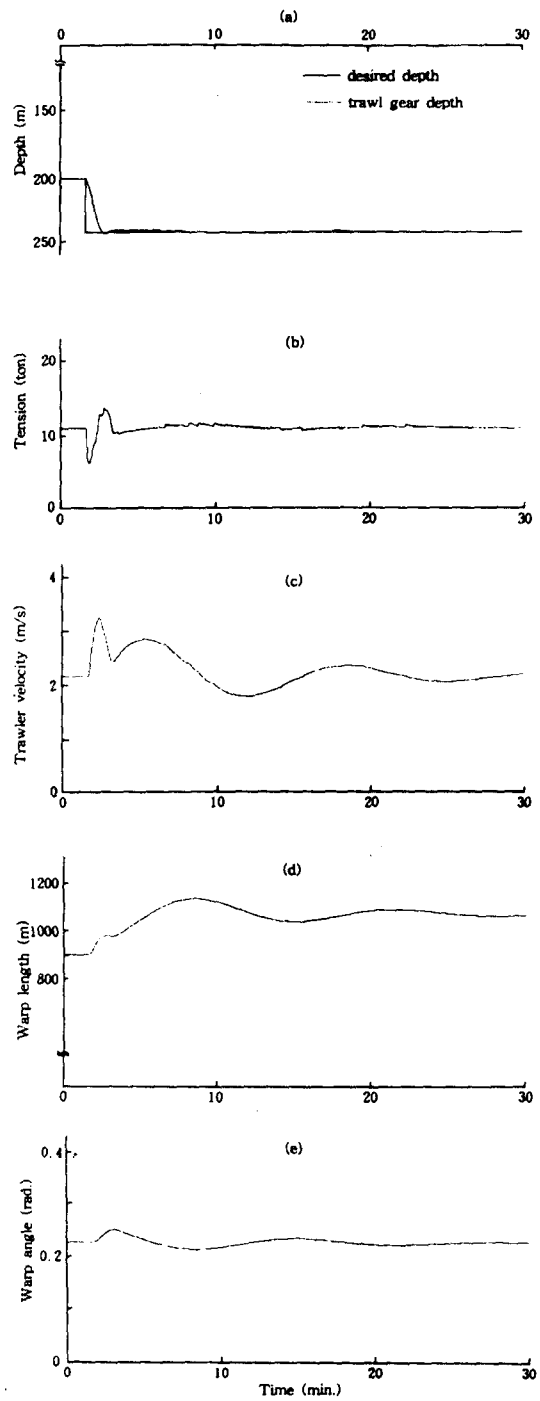
설계된 퍼지 제어기에 의한 수심제어 성능을 평가하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 사용된 컴퓨터는 PC-286이며, 프로그래밍 언어는 Basic이다.

초기 지령수심  $y_r$ 은 200m, 초기조건은  $l=900m$ ,  $\theta=0.224rad$ ,  $\dot{x}=2.15m/s$ 로 주어졌다. 또한 제어기 구성의 현장 실현성을 고려하여, 제어 입력인 끌줄의 속도  $l$ 은 비교적 느린 속도에서

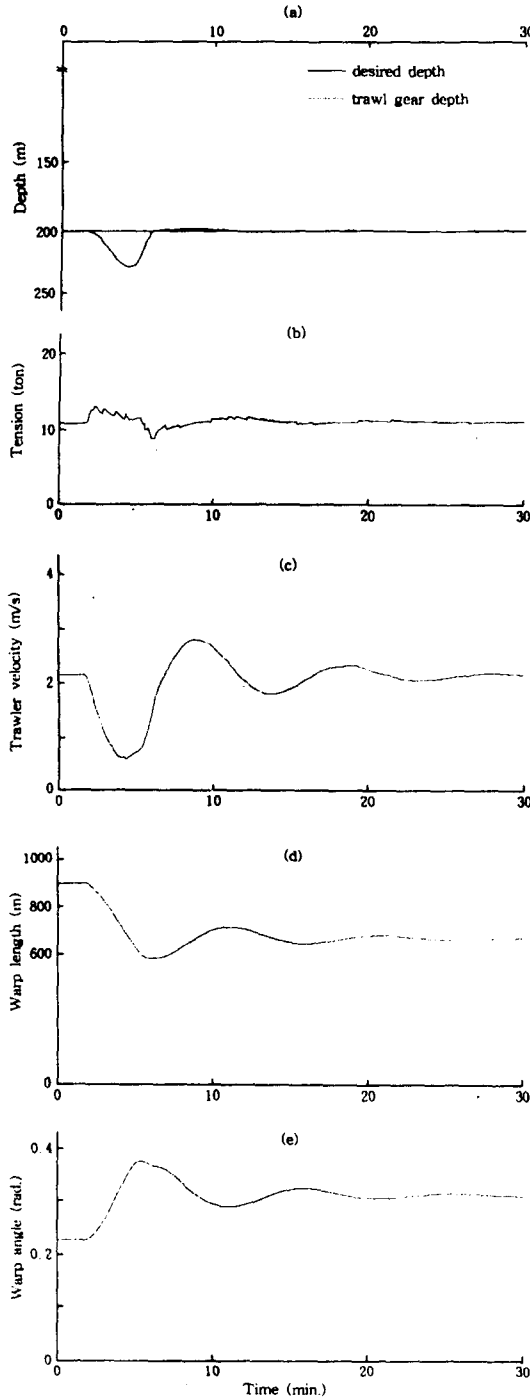
간략화된 트롤 시스템의 퍼지제어



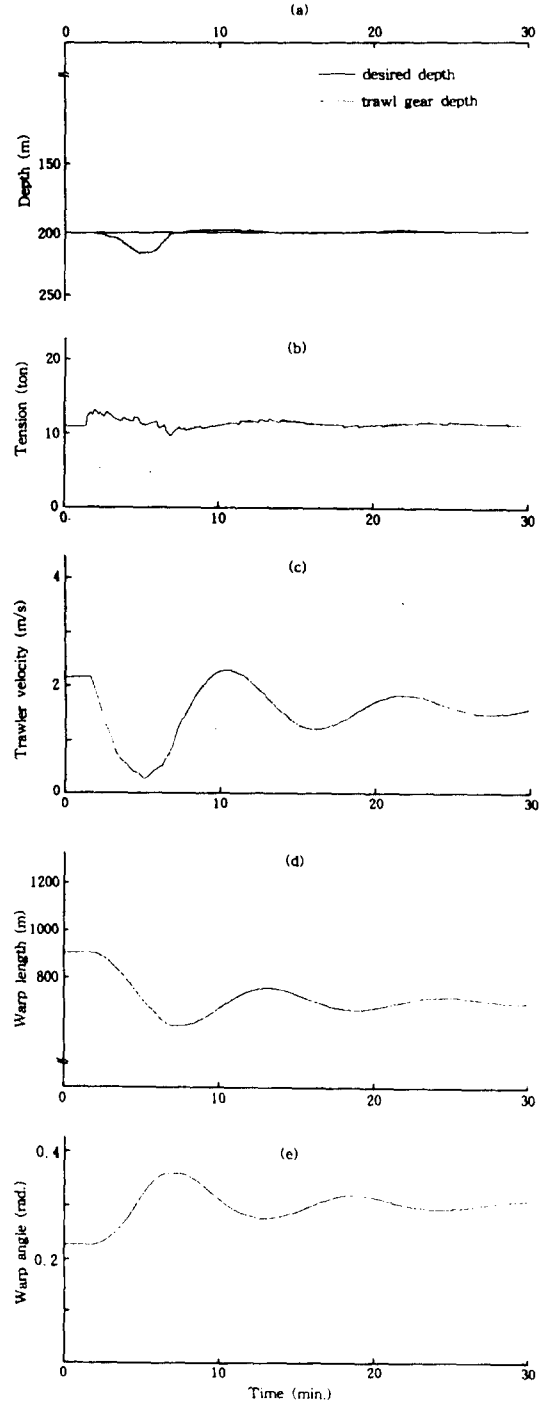
**Fig. 4.** Step response of the fuzzy controller.  
 (a) depth of trawl gear, (b) tension of trawl gear, (c) trawler velocity, (d) warp length, (e) warp angle.



**Fig. 5.** Step response of the fuzzy controller.  
 (a) depth of trawl gear, (b) tension of trawl gear, (c) trawler velocity, (d) warp length, (e) warp angle.



**Fig. 6.** Response of the fuzzy controller for an increase of 40% in trawl gear's weight. (a) depth of trawl gear, (b) tension of trawl gear, (c) trawler velocity, (d) warp length, (e) warp angle.



**Fig. 7.** Response of the fuzzy controller for an increase of 3tons in warp tension. (a) depth of trawl gear, (b) tension of trawl gear, (c) trawler velocity, (d) warp length, (e) warp angle.



일정하다고 가정하여 끌줄 속도 변화율인  $l$ 은 무시하였고, 끌줄의 장력  $T$ 는 식(2)에서 구하였다.

Fig. 4는 200m 수심에서 예망하던 어구에 새로운 지령치( $y_r=160m$ )를 스텝상으로 주었을 때 트롤 시스템의 응답을 나타내고 있다. Fig. 4의 (a)는 어구의 수심, (b)는 끌줄의 장력  $T$ , (c)는 트롤선의 속도, (d)는 끌줄의 길이, (e)는 끌줄의 각도를 각각 나타내고 있다. Fig. 5는 200m 수심에 예망하던 어구에 새로운 지령치( $y_r=240m$ )를 스텝상으로 주었을 때 트롤 시스템의 응답을 나타내고 있다. 이상의 두 경우로부터 본 퍼지 제어기는 목표치 자체가  $l \cdot \sin\theta$ 라고 하는 비선형의 형태로 입력되는 시스템임에도 불구하고 빠른 응답 성능과 정상편차가 없는 양호한 추종성능을 나타내고 있다.

파라미터 변동에 대한 본 제어기의 강인성을 조사하기 위해서 목표 수심은 일정하게 200m로 하고, 어구의 수중무게가 40% 증가하였을 때의 응답을 Fig. 6에 나타내었다. 또한 정상 예망 중에 끌줄의 장력이 3톤 증가하였을 때의 응답을 Fig. 7에 나타내었다. 여기서 외란으로서 주어진 어구 무게나 어구저항의 갑작스런 증가는 실제 조업을 가정하더라도 매우 이례적인 양의 변동이나 제어기는 안정되고 민첩한 제어동작을 나타내어 외란에 강인한 제어기로 판단된다.

## 고 찰

트롤 조업과정 중의 어구운동을 역학적으로 기술하는 것은 매우 복잡하다. 이런 복잡성은 외력의 작용 특성이 서로 다른 요소 즉 끌줄, 전개판 및 그물 등이 결합되어져 구성되어 있기 때문이다. 이들 어구 구성 요소는 전개판을 제외 하고는 유연한 구조물이기 때문에 작용하는 외력의 크기와 방향에 따라 모양 바꿈을 심하게 한다. 이러한 모양 바꿈은 역학적인 계수 결정을 어렵게 하고, 모델도 비선형성이 강한 형태로 기술 되게 한다. 본 연구에서 제시된 모델도 매우 간략화된 시스템임에도 불구하고 비선형의 형태이다.

비선형제에 현대제어이론을 적용 시키기 위해서는 동작점 근방에서의 선형화를 하여 제어 이론을 적용시킬 수 있으나, 수심을 제어하기 위해서는 끌줄의 길이와 각도를 동시에 고려하여 예망 제도를 생성해야 하는 등의 어려움이 있고, 제어 변수가 선형의 범위를 벗어날 경우나, 파라미터 변동 또는 외란이 개입되는 경우에는 제어기의 성능 저하를 피할 수가 없다. 트롤 조업 중에는 장애물을 회피하거나, 대상 어군이 심하게 이동하는 경우에 입출력 변수의 선형화 구간 이탈은 물론 어획물의 누적이나 해양환경 변화에 따른 외란 개입 및 파라미터 변동 등도 흔히 있는 일이므로 선형 제어계의 실용성은 상당히 낮아질 수밖에 없다.

그러나 숙련된 항해사는 실제 조업시 제어에 대한 수학적인 지식이 없어도 다양한 상황에서 그의 경험과 지식을 토대로 그물의 수심을 목표치에 안정되게 제어 하고 있다. 이때 조업자가 사용하는 제어규칙은 경험과 감각이므로 이것은 수학적인 표현보다는, 언어적인 표현이 적합하다. 퍼지제어는 언어적으로 표현되는 제어규칙의 집합에서 추론을 통하여 제어입력을 결정하는 제어계이기 때문에 트롤과 같은 비선형 시스템에 적절한 제어방법이다.

본 연구에서 제안한 퍼지 제어기는 광범위한 목표 수심의 변경에 대해서도 양호한 추종성능을 나타내었고, 어구의 수중무게 또는 어구 저항의 급격한 증가와 같은 외란에 대해서도 안정된 제어성능을 나타내어 실제 조업에 적용 가능성이 입증되었다. 또한 본 제어기는 현재 조업에서 사용되는 끌줄 길이 지시기와 같은 장비 이외에는 특별한 추가 없이도 제어계를 구성할 수 있도록 끌줄의 속도를 제어입력으로 하는 제어계를 설계하였다. 끌줄의 장력을 제어입력으로 하는 제어계를 구성할 경우에는 제어계를 실현 시키기 위해서 장력의 정확한 계측이 필요하나, 속도가 변동하며 고장력인 끌줄의 장력을 실시간으로 정확히 계측하는 것은 쉽지 않을 뿐만 아니라 고가의 장력계가 필요하기 때문에 현재까지 실용화되어 있지 않다. 그

러나 보다 안정성 있는 제어계를 구성하기 위해서는 선박의 추진력과 어구의 안전을 위해서 끌줄의 장력도 제어될 수 있는 다입출력 제어계를 구성하는 것이 바람직하고 아울러 어탐신호를 분석하여 최적 예망레도를 자동으로 생성하고 이것을 목표치로 어구를 제어하는 인공지능화 된 조업체계를 구축하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 요 약

본 연구에서는 간략화된 트롤 시스템을 모델링하고 어구의 수직제어에 퍼지 알고리즘을 이용한 제어기를 설계하여 성능을 조사하였다. 퍼지제어기의 제어규칙은 숙련된 전문가가 실제 조업시 사용하는 언어적으로 기술된 규칙들의 집합들로 구성되어 있고, 이를 실시간 처리하기 위해서 제어 규칙을 수치화한 룩업 테이블(look-up table)을 이용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안된 퍼지 제어기는 양호한 추종성능을 나타내었을 뿐만 아니라 외란에 대해서도 강한 특성을 나타내었다.

## 참고문헌

- 1) 西山作藏·三浦汀介·中村秀男·清水普(1982) : 中層트롤網의動特性について, 日水誌, 48(8), pp.1101-1105.
- 2) 李秉錡·崔宗和·朴相吉·張鎬瑩(1986) : 韓國近海에 있어서의 中層 트로울의 研究 - I, 展開板의 動作狀態와 展開性能, 韓國漁業技術, 22(4), pp.41-48.
- 3) 三浦汀介·清水普·西山作藏(1991) : 中層트롤·시스템에 於ける 網と オッタ・ボ・ドの運動解析, 日水誌, 57(1), pp.57-62.
- 4) 梅田直哉(1991) : 中層트롤의最適レギュレタ制御系, 水工研報告, 12, pp.31-41.
- 5) Muriaas, R.(1988) : Automatic Trawl Control System, Proceedings of World Sysposium on Fishing Gear and Fishing Vessel Design, Newfoundland, pp. 396-400.
- 6) Chun-Woo, Lee(1994) : Depth Control of a Trawl Gear Using Fuzzy Logic, Fisheries Research, 1, pp.1-10.
- 7) L. A. Zadeh(1965) : Fuzzy Sets, Inform. Contr., Vol.8, pp.338-353.
- 8) E. HA. Mamdani(1974) : Application of Fuzzy Algorithms for control of a Simple Dynamic Plant, Proc. IEEE, Vol.121, pp.1585-1588.
- 9) Y. F. Li and C. C. Lau(1989) : Development of Fuzzy Algorithms for Servo System, IEEE Control System Magazine, pp.65-71.
- 10) 安信誠二(1992) : 豫見 Fuzzy 制御方式によるコンテナ・クレーン自動運轉, 計測自動制御學會論文, 22(10), pp.1066-1073.
- 11) 李秉錡·金鎮乾·崔宗和·張鎬瑩(1987) : 韓國近海에 있어서의 中層 트로울의 研究 - IV, 漁具의 流體抵抗과 展開板의 性能, 韓國漁業技術, 23(1), pp. 6-10.
- 12) 小山武夫(1965) : 大型트롤-ラーに 於ける 數種の트롤漁具についての實驗結果とその考, 東海水研報, No.43, pp.13-71.