



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0036592  
(43) 공개일자 2020년04월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 30/00 (2020.01)

(52) CPC특허분류  
G06F 30/20 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2018-0116427

(22) 출원일자 2018년09월28일

심사청구일자 없음

(71) 출원인  
부경대학교 산학협력단

부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,  
부경대학교)

(72) 발명자

이춘우

부산광역시 남구 수영로325번길 12, 102동 2303호  
(대연동, 부산대연동푸르지오)

(74) 대리인

유성원, 전소정, 배경용

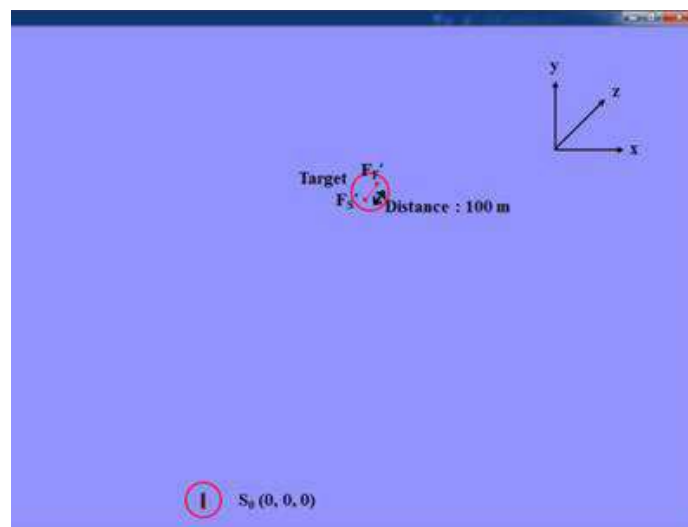
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 자동 조업 시스템

(57) 요약

본 발명은 자동 조업 시스템에 관한 것으로, 트롤 조업 과정을 개인용 데스크톱 컴퓨터나 노트북에서도 원활히 구동할 수 있고, 사용자의 접근성과 용이성을 향상시킬 수 있는 소프트웨어를 기반으로 한 어로 시뮬레이터를 포함한다. 수중의 물리화학적 환경과 어군의 행동 등으로 이루어지는 어장환경과, 해양에서 어군을 탐지하고 탐지된 어군을 어선과 어로기계 및 어구를 운용하여 대상어를 어획하는 어로 활동을 컴퓨터의 3차원 가상공간에서 실현하는 것이 가능하다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1525007002

부처명 해양수산부

연구관리전문기관 해양수산과학기술진흥원

연구사업명 수산실용화기술개발

연구과제명 조업 중 안전성과 탄소배출 저감성능을 향상시킨 트롤 시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교산학협력단

연구기간 2017.06.08 ~ 2018.06.07

청구범위유예 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

자동 조업 시스템에 있어서,

각각의 어종들의 분리, 정렬, 응집, 회피 행동을 분석하여 어군 행동을 모델링하고, 트롤 어구의 망구 중심을 모델링 하는 모델링부;

상기 모델링 된 어군 행동을 기반으로 감지되는 어군의 개체 및 이동 경로를 예측하는 예측부;

현재 트롤선의 위치 좌표와 상기 감지되는 어군의 위치 좌표를 기반으로 제어값을 산출하는 산출부;

상기 산출된 제어값을 기반으로 트롤선의 방향 제어 및 어구의 수심 제어를 수행하도록 하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 조업 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 산출부는,

상기 어군에서 가장 앞쪽에 위치한 어군과 가장 뒤쪽에 위치한 어군을 연결하는 선을 목표물로 설정하고, 상기 목표물의 위치 좌표와 현재 트롤선의 위치 좌표를 이용하여 퍼지 알고리즘을 통해 트롤선의 방향 제어값을 산출하는 것을 특징으로 하는 자동 조업 시스템.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 산출부는,

상기 어군에서 가장 앞쪽에 위치한 어군과 가장 뒤쪽에 위치한 어군을 연결하는 선을 목표물로 설정하고, 상기 목표물이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심을 이용하여 퍼지 알고리즘을 통해 어구의 수심 제어값을 산출하는 것을 특징으로 하는 자동 조업 시스템.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001]

본 발명은 자동 조업 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 트롤 조업 과정을 개인용 데스크톱 컴퓨터나 노트북에서도 원활히 구동할 수 있고, 사용자의 접근성과 용이성을 향상시킬 수 있는 소프트웨어를 기반으로 트롤을 자동으로 조업할 수 있도록 하는 자동 조업 시스템에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003]

현재 자동차, 항공, 선박 등의 각종 분야에서 설계조건의 판단이나 운행능력 향상을 목적으로 컴퓨터 가상공간에서 시뮬레이션 대상물을 구현하는 시뮬레이터를 개발하여 사용하고 있다. 이와 같은 시뮬레이터는 대상물의 설계나 실험, 운행 등에 있어서 시간과 비용을 절감시키는 동시에 다양한 조건 변경이 가능한 특징이 있으므로, 특히 규모가 큰 대상물이나 일정규모 이상의 시스템에 적용하는 경우가 많다.

- [0004] 특히, 연근해 및 원양 어업 등에서 수행되는 트롤어업은 일정규모 이상의 어군을 대상으로 하는 대형 어업으로 어로 활동이 어장 환경, 어선 운동, 어구 운동, 어군 행동 등이 복합적으로 연동되어 이루어지는 한편, 어군 행동에 맞추어 어구를 정확히 제어하여 어류를 포획해야 함에 따라 효율적인 어로활동을 위하여 어선 및 어구에 대한 전문적인 지식과 운용능력 습득이 중요하다. 이와 같은 어선 및 어구에 대한 제어 능력은 실제 해양에서의 어로활동 경험을 통해 직접 학습하여 습득하는 것이 일반적이었다. 그러나 이는 직접 어선으로 어구를 예망하는 실습을 수행해야 하므로, 막대한 시간과 경비가 소요되고, 숙련된다 하더라도 어선의 크기(예망 마력)에 따라 어구의 규모가 달라지고 어구의 종류에 따라서도 각각 특성이 달라지므로 이를 일일이 학습하여 운용 능력을 습득하는 것이 어렵다.
- [0005] 상기와 같이 어로 활동에 대한 학습과 기술의 숙련에 오랜 시간과 경비의 지출을 요구하는 것임에 따라 현재 어로 활동에 대한 시뮬레이터의 개발이 다양한 형태로 진행 중에 있다. 이전의 어로 활동 시뮬레이터는 기구 장치를 사용하는 아날로그기반의 기술이 대부분이었으며, 단순히 어선 운동을 시뮬레이션 한다. 또한, 어류를 어획하는 어구 운동도 단순히 2차원 공간에서 구현하는 수준이며 어로 환경을 구성하는 어군의 어구에 대한 반응 행동은 시뮬레이션되지 않아 실제와 유사한 어로 활동의 시뮬레이션이 어려운 문제점이 있었다.
- [0006] 또한, 선원들의 고령화가 심각하고 선원들의 수도 감소하고 있으며, 선원들에게 주어지는 임금 수준은 점차 높아지는 것을 알 수 있다. 따라서 선원 구인난과 임금 상승의 부담을 줄이기 위해 조업 시스템의 자동화가 필요한 실정이다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0008] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 어군 탐색, 투망 및 어획에 이르는 어로 과정 중 어선과 어로기기 운용, 어구 제어 등 다양한 조업 과정을 훈련하고 학습할 수 있도록 하는 자동 조업 시스템을 제공함에 있다.
- [0009] 또한, 본 발명은 어군의 위치 및 그 어군을 이루는 어류 개체를 감지하여 어선 및 어구를 자동으로 제어할 수 있도록 하는 자동 조업 시스템을 제공함에 있다.
- [0010] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0012] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 자동 조업 시스템에 관한 것이다.

### 발명의 효과

- [0014] 본 발명에 의하면, 어군을 탐지하여 어획하는 어로활동 과정을 컴퓨터의 3차원 가상공간에서 실현 가능하다.
- [0015] 또한, 본 발명에 의하면, 어선과 어구의 운동이 결합된 연계 시스템 해석을 통해 어선과 어구의 상호간섭 운동을 구현 가능하다.
- [0016] 또한, 본 발명에 의하면, 어군을 이루는 어류 개체가 어선과 어구의 운동에 반응하는 회피행동을 포함하여 어군 행동을 구현 가능하다.
- [0017] 또한, 본 발명에 의하면, 컴퓨터 가상공간에서 시뮬레이션되는 어장 환경과 어로 활동이 실제의 어장 환경과 어로 활동과 유사해지도록 하여 어장 환경과 어로 활동에 대한 깊은 이해와 학습효과가 증대될 수 있다.
- [0018] 또한, 본 발명에 의하면, 어군 탐색, 투망 및 어획에 이르는 어로 과정 중 어선과 어로기기 운용, 어구 제어 등 다양한 조업 과정을 훈련하고 학습할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또다른 효과들은 아래의 기재로부터

본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

## 도면의 간단한 설명

- [0021] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 트롤 시뮬레이터의 조업 조건 입력창을 나타내는 도면,  
 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 트롤 시뮬레이터에 구현된 소나와 어군 탐지기를 나타내는 도면,  
 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 트롤 시뮬레이터에 구현된 트롤선의 속력 및 방향 제어를 나타내는 도면,  
 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 트롤 시뮬레이터에 구현된 끌줄 길이 제어기 및 투양망 버튼을 나타내는 도면,  
 도 18은 본 발명의 실시예에 따른 트롤 시뮬레이터의 화면 구성 및 구동 방법을 나타내는 도면,  
 도 19는 본 발명에 실시예에 따라 해수면 OFF 기능 및 네트 레코더 기능을 통한 트롤 어구 형상 파악의 일 예를 나타내는 도면,  
 도 20은 본 발명의 실시예에 따른 조업 결과 평가 화면을 나타내는 도면,  
 도 21a 내지 도 21f는 본 발명의 실시예에 따른 트롤 시뮬레이터 구동의 일 예를 나타내는 도면.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명의 목적 및 효과, 그리고 그것들을 달성하기 위한 기술적 구성들은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기준을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다.
- [0023] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0024] 한편, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다. 먼저, 본 발명은 자동 제어가 가능한 트롤 조업 시스템을 제안한다.
- [0025] 트롤 조업 시스템은 트롤선과 트롤 어구가 끌줄로 연결되고, 트롤선의 예망력에 의해 어구가 예망된다.
- [0026] 트롤 조업에서 트롤 어구의 수심 제어는 어획의 성공 여부를 결정짓는 가장 중요한 요소로 목표로 하는 어군의 위치와 수심을 정확히 파악하고 트롤선의 속력과 방향을 제어하고 목표로 하는 어군의 수심에 정확히 어구를 투망 할 수 있어야 한다.
- [0027] 따라서, 트롤선의 방향 제어와 함께 트롤 어구의 수심 제어가 동시에 제어될 수 있는 3차원 위치 제어 방법이 필요하다.
- [0028] 복잡하고 비선형적인 트롤 시스템을 완벽하게 제어하기에는 어려움이 있으나, 발명에서는 트롤 시스템을 제어하기 위해서 퍼지 제어 규칙을 이용한 제어계를 설계하였다. 퍼지 제어 규칙은 다양한 제어 규칙 중의 하나로 퍼지 제어 시스템의 모델링을 인간이 사용하는 언어의 형식으로 특성화하였기에 매우 실용적이다.
- [0030] 1. 트롤선의 방향
- [0031] 트롤 조업에서는 소나와 어군 탐지기를 통해 파악한 어군의 위치를 트롤 어구가 얼마나 정확하게 예망할 수 있는지에 따라 어획 성공률이 달라진다.

- [0032] 따라서 퍼지 제어 규칙을 적용한 트롤선이 어군 위치에 정확하게 도착할 수 있는지를 분석하였다.
- [0033] 트롤선의 방향 제어를 위해 트롤선과 어군의 운동을 FPS(First Person Shooter) 게임에 사용하는 오른손 좌표계를 사용하여 모델링하였다. 이 좌표계를 통해 트롤선은  $S_0(0, 0, 0)$  위치에서 운동을 시작하게 되며, 어군은 임의의 지점에 위치하도록 모델링 되었다.
- [0034] 또한, 3차원으로 구현되는 어군은 이동 방향에서 가장 앞쪽에 위치한 어군( $F_S$ )과 가장 뒤쪽에 위치한 어군( $F_F$ )을 파악하여  $F_S$ 와  $F_F$ 를 연결하는 선을 목표치로 설정하였다.
- [0035] 어군의 크기는 어종, 서식 수심, 해양 환경에 따라 다르게 형성되나, 본 발명의 실시예에서는  $F_S$ 와  $F_F$ 의 거리를 100m로 고정하였고, 모델링 된 어군 목표점인  $F_S$ 와  $F_F$ 는 도 1과 같이 수직 방향의 위치를 수면으로 이동시켰다 ( $F_S \rightarrow F'_S$ ,  $F_F \rightarrow F'_F$ ).
- [0036] 설계된 퍼지 제어기는 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차  $e_b(r)$ 와 오차 변화량  $de_b(r)$ 을 통해 제어 입력이 계산된다.
- [0037] 
$$e_b(r) = y_b(r) - ref_b(r)$$
- [0038] 
$$de_b(r) = e_b(r) - e_b(r-1)$$
- [0039] 
$$u_b(r) = u_b(r-1) + du_b(r)$$
- [0040] ( $b$  첨자는 트롤선의 방향 제어를 설명함)
- [0041] 여기서,  $y_b(r)$ 는 현재 트롤선의 좌표이며,  $ref_b(r)$ 는 번째 샘플링 시간에 있어서 설정되는 목표물의 좌표,  $du_b(r)$ 는 제어 입력의 증감분으로 트롤선의 타각의 변화량을 나타낸다.
- [0042] 이러한 과정은 적분형 구조의 퍼지 집합으로 표현되며, 제어 입력은 매 시간 샘플링 시간에 의해 결정된다 (Lee et al., 2001).
- [0043] 소나를 통해 어군이 위치하는 지점을 파악하고, 어군으로 표현되는 목표물의 좌표와 현재 트롤선의 좌표가 퍼지 제어기에 입력되면, 입력된 값들의 퍼지 집합에 대해 소속도 함수를 결정하게 된다.
- [0044] 트롤선의 방향 제어를 위한 소속도 함수를 PB (Positive Big), PS (Positive Small), ZO (Zero), NS (Negative Small), NB (Negative Big)와 같이 5등급의 언어 변수로 나누어 구성하였고, 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차 ( $e_b(r)$ ), 오차 변화량 ( $de_b(r)$ ), 제어 입력의 증감분 ( $du_b(r)$ )은 도 2과 같이 삼각형의 연속형 함수를 사용하여 소속도 함수를 나타낼 수 있다.
- [0045] 제어 입력 값인  $u_b(r)$ 은 트롤선의 타각으로 매 시간 샘플링을 통해 결정되며, 이는 실제 트롤 조업에서 선장이나 항해사가 목표로 하는 어군을 어획하기 위해 타각을 조절하는 경험적인 지식에 의해 추론을 통하여 결정된다.
- [0046] 트롤선의 방향 제어는 총 25가지의 제어 규칙을 만들 수 있으며, 이는 표 63과 같이 퍼지 연상 기억장치 (Fuzzy Associative Memory, FAM)로 나타낼 수 있다.
- [0047] 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차와 오차 변화량이 주어지면, 제어 규칙을 통해 제어 입력의 증감분이 추론을 통하여 결정된다.
- [0048] 도 3에는 트롤선의 방향 제어에 사용된 제어 시스템의 블록선도를 나타내었다.
- [0049] 하기 표 1은 트롤선의 방향 제어를 위한 퍼지 연상 기억장치를 나타낸다.

표 1

| $e_b$ (error) | $de_b$ (error change) |    |    |    |    |
|---------------|-----------------------|----|----|----|----|
|               | NB                    | NS | ZO | PS | PB |

|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NS | PS |
| NS | NB | NB | NS | ZO | PS |
| ZO | NB | NS | ZO | PS | PB |
| PS | NS | ZO | PS | PB | PB |
| PB | NS | PS | PB | PB | PB |

[0052] 도 4에는 트롤선으로 부터 어군의 위치가 트롤선의 우현 10° 방향으로 2,000m 떨어진 지점에 위치하고 있고, 트롤선의 속력은 4.0 knot, 우현 방향으로 선회하는 각속도가 0.1m/s일 때, 제어 입력 값을 결정하기 위한 퍼지 추론 과정을 나타내었음

[0053] 여기서, 현재 트롤선의 좌표와 목표 궤적의 좌표와의 방향 오차 ( $e_b(r)$ )는 10, 오차 변화량 ( $de_b(r)$ )은 0.1로 결정되며, 도 2에 나타난 소속도 함수와 상기 <표 1>에 나타난 퍼지 연상 기억장치를 통해 아래와 같은 4가지의 제어 규칙이 채택된다. - “If ( $e = ZO$  and  $de = ZO$ ) then ( $du = ZO$ ).”

[0054] - “If ( $e = ZO$  and  $de = PS$ ) then ( $du = PS$ ).”

[0055] - “If ( $e = PS$  and  $de = ZO$ ) then ( $du = PS$ ).”

[0056] - “If ( $e = PS$  and  $de = PS$ ) then ( $du = PB$ ).”

[0057] 채택된 제어 규칙을 사용하여 퍼지 추론 과정에서 무게 중심법을 사용하여 제어 입력 값인 타각 21.35°를 결정할 수 있다(Mizumoto, 1988).

[0058] 도 5에는 도 4에 나타난 퍼지 추론 과정을 통해 트롤선이 어군으로 표현되는 목표 궤적까지 방향 제어를 하는 예를 나타내었다.

## [0060] 2. 트롤 어구의 수심 제어

[0061] 도 6은 트롤 어구의 수심 제어를 구현을 위한 3차원 좌표계를 나타내는 도면으로, 트롤 어구의 수심 제어는 앞에서 트롤선의 방향 제어에서 모델링하였던 것과 동일하게 트롤선은  $S_0(0, 0, 0)$  위치에서 운동을 시작하고, 어군은 트롤선과 x 좌표는 동일하나 z 좌표만큼 떨어진 거리에서 -y 좌표 지점에 위치하도록 모델링하였다.

[0062] 트롤 어구의 수심은 끌줄의 길이와 어로 윈치의 동작 속력에 의해 제어할 수 있으며, 본 연구에서는 퍼지 알고리즘을 사용하여 제어를 설계하였음

[0063] 퍼지 제어기는 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심과의 오차  $e_d(k)$ 와 오차 변화량  $de_d(k)$ 을 통해 제어 입력이 계산됨

[0064] 
$$e_d(k) = y_d(k) - ref_d(k)$$

[0065] 
$$de_d(k) = e_d(k) - e_d(k-1)$$

[0066] 
$$u_d(k) = u_d(k-1) + du_d(k)$$

[0067] (d 첨자는 트롤선의 방향 제어를 설명함)

[0068] 여기서,  $y_d(k)$ 는 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심이며,  $ref_d(k)$ 는 k 번째 샘플링 시간에 있어서 설정되는 어군이 위치하는 수심,  $du_d(k)$ 는 제어 입력의 증감분으로 끌줄 길이의 변화량을 나타냄

[0069] 이러한 과정은 적분형 구조의 퍼지 집합으로 표현되며, 제어 입력은 매 시간 샘플링 시간에 의해 결정됨(Lee et al., 2001)

[0070] 소나와 어군 탐지기를 통해 어군이 위치하는 수심을 파악하고, 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구



중심의 수심이 퍼지 제어기에 입력되면, 입력된 값들의 퍼지 집합에 대해 소속도 함수를 결정하게 됨. 트롤 어구의 수심 제어를 위한 소속도 함수를 PB (Positive Big), PS (Positive Small), ZO (Zero), NS (Negative Small), NB (Negative Big)와 같이 5등급의 언어 변수로 나누어 구성하였고, 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심과의 오차 ( $e_d(k)$ ), 오차 변화량 ( $de_d(k)$ ), 제어 입력의 증감분 ( $du_d(k)$ )은 도 7과 같이 삼각형의 연속형 함수를 사용하여 소속도 함수를 나타낼 수 있음

[0071] 제어 입력 값인  $u_d(k)$ 는 끌줄의 길이로 매 시간 샘플링을 통해 결정되며, 이는 실제 트롤 조업에서 선장이나 항해사가 트롤 어구의 수심 조절을 위해 끌줄 길이를 조절하는 경험적인 지식으로부터 구성함

[0072] 트롤 어구의 수심 제어는 총 25가지의 제어 규칙을 만들었고, 이는 하기 <표 2>와 같이 퍼지 연산 기억장치로 나타낼 수 있음

표 2

[0073]

| $e_d$ (error) | $de_d$ (error change) |    |    |    |    |
|---------------|-----------------------|----|----|----|----|
|               | NB                    | NS | ZO | PS | PB |
| NB            | PB                    | PB | PS | PS | NS |
| NS            | PB                    | PB | PS | ZO | NS |
| ZO            | PB                    | PS | ZO | NS | NB |
| PS            | PS                    | ZO | NS | NB | NB |
| PB            | PS                    | NS | NS | NB | NB |

[0074] 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심과의 오차와 오차 변화량이 주어지면, 제어 규칙을 통해 제어 입력의 증감분이 결정되어짐

[0075] 도 8에는 트롤 어구의 수심 제어에 사용된 제어 시스템의 블록선도를 나타내었음

[0076] 도 9에는 퍼지 제어 규칙을 적용한 트롤 어구가 어군이 위치한 목표 수심에 정확하게 예망할 수 있는지를 분석한 결과의 예를 나타내었고, 표 65에는 트롤선과 어군의 거리와 어군이 위치하는 수심에 따른 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 어군으로 표현되는 목표 궤적과의 거리 편차를 나타내었음

[0077] 어군이 위치하는 수심이 깊어짐에 따라 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 목표물 궤적의 거리 편차가 증가하는 경향을 보임

[0078] 이는 어군이 위치하는 수심이 깊어짐에 따라 끌줄의 길이를 더 길게 사용하게 되어 끌줄, 전개판, 뜸, 침자 등의 진동이 크게 발생하게 되어 편차가 증가하는 것으로 판단됨

[0079] 또한 어군이 위치하는 수심에 상관없이 트롤선과 어군과의 거리가 가까울수록 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 어군으로 표현되는 목표 궤적과의 거리 편차는 증가하는 경향을 보임

[0080] 이는 투망 후 끌줄이 풀려나가고 트롤 어구가 정상 상태 위치에 정착하는 시간이 부족하기 때문임

[0081] 이러한 문제를 해결하기 위해서는 어구의 정착 시간을 고려하여 시간적인 여유를 두고 투망하는 것이 필요함

[0082] 예를 들어, 트롤선과 어군과의 거리가 2,000m이고, 트롤선이 4knot의 속력으로 항주하면서 수심 100, 200, 300m에 위치한 어군을 어획하기 위하여 투망 속도를 2m/s로 실시할 경우, 트롤 어구가 정상 상태 위치에 정착하는 시간은 150, 340, 430초가 소요됨

[0083] 어군이 위치하는 수심에 대비하여 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 어군으로 표현되는 목표 궤적과의 거리를 비교하여 보면 어군이 위치하는 수심에 상관없이 4% 이내의 편차로 트롤 어구의 수심을 제어 할 수 있었음.

[0084] 하기 <표 3> 참조 - (편차(m) / 편차율(%))

표 3

[0085]

| 수심 (m) | 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리 (m) |            |            |            |
|--------|----------------------------|------------|------------|------------|
|        | 1,500                      | 2,000      | 2,500      | 3,000      |
| 100    | 3.58 / 3.6                 | 3.85 / 3.9 | 2.41 / 2.4 | 2.31 / 2.3 |



|     |            |            |            |            |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| 200 | 6.93 / 3.5 | 6.15 / 3.1 | 4.11 / 2.1 | 3.50 / 1.8 |
| 300 | 8.31 / 2.8 | 7.60 / 2.5 | 5.35 / 1.8 | 5.20 / 1.7 |

[0087] 3. 트롤 어구의 3차원 위치 제어

[0088] 트롤 어구의 3차원 위치 제어를 위해서 트롤선의 방향 제어와 트롤 어구의 수심 제어를 동시에 실시하여 트롤선이 목표 어군으로 향해하는 과정에서부터 트롤 어구가 어군이 위치한 목표 수심에 정확하게 예상되는지를 분석함

[0089] 트롤 어구의 3차원 위치 제어기에서는 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차  $e_b(d)$  와 오차 변화량  $de_b(d)$  을 통해 트롤선의 방향 제어 입력이 계산되고, 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심과의 오차  $e_d(k)$  와 오차 변화량  $de_d(k)$  을 통해 트롤 어구의 수심 제어 입력이 계산됨

[0090] 트롤 어구의 3차원 위치 제어를 위해서 트롤선의 방향 제어와 트롤 어구의 수심 제어를 동시에 실시하여 트롤선이 목표 어군으로 향해하는 과정에서부터 트롤 어구가 어군이 위치한 목표 수심에 정확하게 예상되는지를 분석함

[0091] 트롤 어구의 3차원 위치 제어기에서는 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차  $e_b(d)$  와 오차 변화량  $de_b(d)$  을 통해 트롤선의 방향 제어 입력이 계산되고, 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심과의 오차  $e_d(k)$  와 오차 변화량  $de_d(k)$  을 통해 트롤 어구의 수심 제어 입력이 계산됨

[0092] 
$$e_b(d) = y_b(d) - ref_b(d)$$

[0093] 
$$de_b(d) = e_b(d) - e_b(d-1)$$

[0094] 
$$u_b(d) = u_b(d-1) + du_b(d)$$

[0095] 
$$e_d(k) = y_d(k) - ref_d(k)$$

[0096] 
$$de_d(k) = e_d(k) - e_d(k-1)$$

[0097] 
$$u_d(k) = u_d(k-1) + du_d(k)$$

[0098] ( $b$  첨자는 트롤선의 방향 제어,  $d$  첨자는 트롤 어구의 수심 제어를 설명함)

[0099] 여기서,  $y_b(d)$  는 현재 트롤선의 좌표이며,  $ref_b(d)$  는  $d$  번째 샘플링 시간에 있어서 설정되는 목표물의 좌표,  $du_b(d)$  는 제어 입력의 증감분으로 트롤선의 타각의 변화량을 나타내고,  $y_d(k)$  는 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심이며,  $ref_d(k)$  는  $k$  번째 샘플링 시간에 있어서 설정되는 어군이 위치하는 수심,  $du_d(k)$  는 제어 입력의 증감분으로 끌줄 길이의 변화량을 나타냄

[0100] 러한 과정은 적분형 구조의 퍼지 집합으로 표현되며, 제어 입력은 매 샘플링 시간마다 트롤선의 방향 제어 규칙과 트롤 어구의 수심 제어 규칙을 추론해서 트롤 어구의 3차원 위치 제어를 실시하게 됨

[0101] 소나와 어군 탐지기를 통해 어군이 위치하는 지점의 좌표와 수심을 파악하고, 현재 트롤선의 좌표와 트롤 어구의 망구 중심의 수심이 퍼지 제어기에 입력되면, 입력된 값들의 퍼지 집합에 대해 트롤선의 방향 제어와 트롤 어구의 수심 제어를 위한 소속도 함수를 결정하게 됨

[0102] 트롤선의 방향 제어와 트롤 어구의 수심 제어를 위한 소속도 함수는 각각 PB (Positive Big), PS (Positive Small), ZO (Zero), NS (Negative Small), NB (Negative Big)와 같이 5등급의 언어 변수로 나누어 구성하였고, 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차 ( $e_b(d)$  ), 오차 변화량 ( $de_b(d)$  ), 제어 입력의 증감분 ( $du_b(d)$  ), 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심과 목표물의 수심 오차 ( $e_d(k)$  ), 오차 변화량

( $de_d(k)$ ), 제어 입력의 증감분 ( $du_d(k)$ )은 도 10a, 도 10b와 같이 삼각형의 연속형 함수를 사용하여 소속도 함수를 나타낼 수 있음

[0103] 제어 입력 값인  $u_d(d)$  과  $u_d(k)$  는 트롤선의 타각과 끝줄의 길이로 매 시간 샘플링을 통해 결정되며, 이는 실제 트롤 조업에서 선장이나 항해사가 목표로 하는 어군을 어획하기 위해 타각과 끝줄의 길이를 조절하는 경험적인 지식에 의해 추론을 통하여 결정됨

[0104] 트롤 어구의 3차원 위치 제어를 위한 트롤선의 방향 제어와 트롤 어구의 수심 제어는 각각 총 25가지의 제어 규칙을 만들 수 있으며, 이는 하기 <표 4> 및 <표 5>과 같이 퍼지 연상 기억장치 (Fuzzy Associative Memory, FAM)로 나타낼 수 있음

표 4

[0105]

| $e_b$<br>(error) | $de_b$<br>(error change) |    |    |    |    |
|------------------|--------------------------|----|----|----|----|
|                  | NB                       | NS | ZO | PS | PB |
| NB               | NB                       | NB | NB | NS | PS |
| NS               | NB                       | NB | NS | ZO | PS |
| ZO               | NB                       | NS | ZO | PS | PB |
| PS               | NS                       | ZO | PS | PB | PB |
| PB               | NS                       | PS | PB | PB | PB |

표 5

[0107]

| $e_d$<br>(error) | $de_d$<br>(error change) |    |    |    |    |
|------------------|--------------------------|----|----|----|----|
|                  | NB                       | NS | ZO | PS | PB |
| NB               | PB                       | PB | PS | PS | NS |
| NS               | PB                       | PB | PS | ZO | NS |
| ZO               | PB                       | PS | ZO | NS | NB |
| PS               | PS                       | ZO | NS | NB | NB |
| PB               | PS                       | NS | NS | NB | NB |

[0109] 현재 트롤선의 좌표와 목표물의 좌표와의 방향 오차와 오차 변화량, 어군이 위치하는 수심과 현재 트롤 어구의 망구 중심의 수심과의 오차와 오차 변화량이 주어지면, 제어 규칙을 통해 제어 입력의 증감분이 추론을 통하여 결정되어 짐

[0110] 도 11에는 트롤 어구의 3차원 위치 제어에 사용된 제어 시스템의 블록선도를 나타내었음

[0111] 도 12에는 퍼지 제어 규칙을 적용한 트롤 어구의 3차원 위치 제어 결과의 예를 나타내었음

[0112] 트롤 어구의 3차원 위치 제어는 그림 225에 나타난 것과 같은 방법으로 퍼지 추론 과정을 실시하여 제어 입력 값인 끝줄의 길이와 트롤선의 방향을 동시에 결정할 수 있음

[0113] 하기 <표 6>에는 어군이 수심 200m 지점에 위치하고, 트롤선과 어군의 방향 편차에 따른 거리별 편차와 편차율을 나타내었음

표 6

[0114]

(편차(m) / 편차율(%))

| 방향 편차<br>(°) | 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리 (m) |            |            |            |
|--------------|----------------------------|------------|------------|------------|
|              | 1,500                      | 2,000      | 2,500      | 3,000      |
| 10           | 8.37 / 4.2                 | 4.86 / 2.4 | 4.38 / 2.2 | 2.28 / 1.1 |
| 20           | 8.95 / 4.5                 | 5.78 / 2.9 | 4.68 / 2.3 | 2.14 / 1.1 |

|    |              |            |            |            |
|----|--------------|------------|------------|------------|
| 30 | 9.96 / 5.0   | 6.26 / 3.1 | 4.06 / 2.0 | 2.23 / 1.1 |
| 40 | 17.18 / 8.6  | 7.82 / 3.9 | 5.80 / 2.9 | 3.01 / 1.5 |
| 50 | 19.86 / 9.9  | 7.96 / 4.0 | 6.26 / 3.1 | 4.13 / 2.1 |
| 60 | 23.43 / 11.7 | 8.52 / 4.3 | 6.35 / 3.2 | 4.26 / 2.1 |
| 70 | 28.84 / 14.4 | 8.67 / 4.3 | 7.96 / 4.0 | 4.23 / 2.1 |
| 80 | 33.70 / 16.9 | 9.63 / 4.8 | 7.61 / 3.8 | 5.40 / 2.7 |
| 90 | 42.71 / 21.4 | 9.64 / 4.8 | 8.96 / 4.5 | 5.02 / 2.5 |

- [0115] 트롤선으로부터 어군 위치와의 방향에 상관없이 트롤선과 어군과의 거리가 가까울수록 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 어군으로 표현되는 목표 궤적과의 거리 편차는 증가하는 경향을 보임
- [0116] 이는 트롤선이 목표 방향을 조절하면서 트롤 어구를 투망하여 끌줄이 풀려나가고 트롤 어구가 정상 상태 위치에 정착하는 시간이 부족하기 때문임
- [0117] 또한 트롤선과 어군과의 거리에 상관없이 트롤선으로부터 어군 위치와의 방향 편차가 커질수록 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 어군으로 표현되는 목표 궤적과의 거리 편차는 증가하는 경향을 보임
- [0118] 이는 트롤선이 방향 제어를 위해 타각을 크게 함으로 인해 트롤 어구의 형상의 변화가 크게 발생하게 되고, 트롤 어구가 다시 정상 상태 위치에 정착하는 시간이 부족하기 때문임
- [0119] 트롤 어구의 3차원 위치 제어 방법의 연구를 통해 어군이 위치하는 수심에 대비하여 트롤 어구의 망구 중심의 수심과 어군과의 편차를 비교하여 보면 트롤선과 어군과의 거리가 2,000m 이상인 경우에는 트롤선과 어군과의 방향 편차에 상관없이 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리를 5% 이내의 편차로 트롤 어구의 수심을 제어할 수 있었음
- [0120] 하지만 트롤선과 어군과의 거리가 1,500m 이내로 가까운 거리에서 투망을 실시해야 할 경우에는 트롤선과 어군과의 방향 편차가 40° 이내일 경우에는 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리를 5% 이내의 편차로 트롤 어구의 수심을 제어할 수 있었으나, 트롤선과 어군과의 방향 편차가 40° 이상이 될 경우에는 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리 편차가 증가하는 경향을 보여 트롤 어구의 3차원 제어가 이루어지지 않았음
- [0121] 따라서 트롤선과 어군과의 거리가 1,500m 이내이고, 트롤선과 어군과의 방향 편차가 40° 이상일 경우에는 그림 234와 같이 어군과의 거리를 2,000m 정도를 확보하기 위한 항해를 실시한 후 투망을 시작해야함
- [0122] 어군이 수심 200m 지점에 위치하고, 트롤선과 어군과의 거리가 1,500m 일 때, 그림 234와 같이 어군과의 거리를 2,000m 정도를 확보하기 위한 항해를 실시한 후 투망을 실시하였을 경우, 어군과의 거리를 확보하지 않고 투망을 실시하였을 때와 달리 트롤선과 어군 방향 편차에 상관없이 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리를 5% 이내의 편차로 트롤 어구의 3차원 제어가 이루어졌음
- [0123] 하기 <표 7> 참조 -

표 7

[0124] (편차(m) / 편차율(%))

| 방향 편차<br>(°) | 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리 (m)  |                                                  |
|--------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
|              | 어군과의 거리를 확보하지 않고 투망을 실시한 경우 | 어군과의 거리를 2,000m 정도를 확보하기 위한 항해를 실시한 후 투망을 실시한 경우 |
| 10           | 8.37 / 4.2                  | 4.68 / 2.3                                       |
| 20           | 8.95 / 4.5                  | 5.59 / 2.8                                       |
| 30           | 9.96 / 5.0                  | 5.94 / 3.0                                       |
| 40           | 17.18 / 8.6                 | 6.68 / 3.3                                       |
| 50           | 19.86 / 9.9                 | 7.04 / 3.5                                       |
| 60           | 23.43 / 11.7                | 7.45 / 3.7                                       |
| 70           | 28.84 / 14.4                | 7.81 / 3.9                                       |
| 80           | 33.70 / 16.9                | 8.59 / 4.3                                       |
| 90           | 42.71 / 21.4                | 8.76 / 4.4                                       |

- [0125] 트롤 조업을 실시함에 있어 대상 어종의 서식 수층, 분포 범위, 해저 수심 등의 조건을 고려하여 어구를 선택하

고 조업 방법을 선택해야함

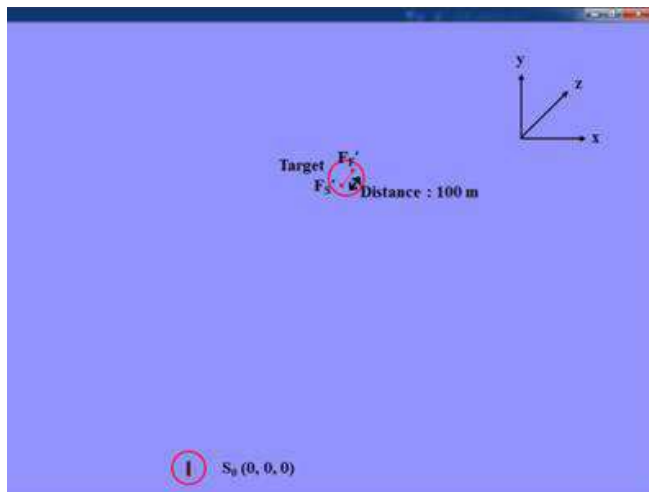
- [0126] 또한, 투망 후 끌줄이 풀려나가고 트롤 어구가 정상 상태 위치에 정착하는 시간을 고려하여 시간적인 여유를 두고 투망하는 것이 필요함
- [0127] 본 연구를 통해 설계된 제어 규칙은 유능한 선장이나 항해사가 현장에서 사용하는 언어적인 제어 규칙을 트롤선의 방향과 끌줄의 길이를 자동으로 제어 할 수 있음
- [0128] 어군이 위치하는 수심에 대비하여 트롤 어구의 중심 지점과 어군과의 거리 편차를 5% 이내로 트롤 어구의 3차원 위치 제어를 실시함에 있어 트롤선과 어군과의 거리가 2,000m 이상인 경우에는 트롤선과 어군과의 방향 편차에 상관없이 트롤 어구의 제어가 가능함
- [0129] 하지만 트롤선과 어군과의 거리가 1,500m 이내이고, 트롤선과 어군과의 방향 편차가 40° 이상일 경우에는 어군과의 거리를 2,000m 정도를 확보하기 위한 항해를 실시한 후 투망을 실시할 것을 제안함
- [0130] 이렇게 투망을 실시하였을 경우, 트롤선과 어군과의 방향 편차에 상관없이 트롤 어구의 중심 지점과 목표물과의 거리를 5% 이내의 편차로 트롤 어구의 3차원 제어가 이루어졌음
- [0131] 하지만 어군과의 거리를 확보하기 위한 항해를 실시한 후 투망을 실시할 경우에는 유류 소모량이 증가하는 문제가 발생하기 때문에 추후 연구에서는 지능형 퍼지 제어 기법, 인공지능을 기반으로 한 학습 기법을 적용하여 어군과의 거리를 확보하기 위한 최적의 항해 거리, 방향, 투망 시점 도출 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단됨
- [0132] 또한 본 발명을 기반으로 실제 트롤 조업에서도 퍼지 제어 규칙에 의한 트롤 어구의 3차원 제어를 실시할 수 있어 자동화 조업도 가능해질 것으로 기대됨
- [0134] 트롤 시뮬레이터의 수치 계산 과정에서 각 질점마다 시간  $t$ 에 대한 2계 비선형 상미분 방정식이  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 축 방향으로 3개씩 얻어지고, 하나의 계산 대상에 대한 질점의 개수는 수천개에 이름
- [0135] 트롤선과 트롤 어구에 대한 수백개의 질점 이외에도 소나, 어군 탐지기, 어군 행동에 대한 충돌 검사를 실시함에 있어서도 수천개의 방정식의 계산이 필요로 함. 이러한 대형 시스템을 계산할 때에는 어떠한 적분법을 사용하더라도 모든 미분 방정식과 충돌 방정식을 매 시간 스텝마다 계산해야 하므로 막대한 시간이 소요됨
- [0136] 실용적인 시뮬레이터 개발을 목표로 트롤 시뮬레이터의 수치 계산 속도를 향상시키기 위하여 트롤 어구와 끌줄 부분에 질점 근사(Mesh grouping) 방법을 적용하였음
- [0137] 중층 트롤 어구의 경우 질점수를 136개, 저층 트롤 어구의 경우 질점수를 178개, 끌줄의 경우 질점수를 5개로 근사시켰음
- [0138] 이 방법을 통해 질점의 수가 줄어 계산 속도가 향상되면서 기존의 질점들이 가지고 있던 속성(위치, 질량, 속도 등)은 줄어든 질점 수만큼 재분배 되어 물리적 속성은 유지됨
- [0139] 또한 본 시뮬레이터에서는 2계 비선형 상미분 방정식과 충돌 방정식을 효율적으로 계산하기 위하여 불릿 엔진(Bullet Engine, ver. bullet-2.83)을 적용하여 충돌 감지, 강체 및 유연체의 물리 시뮬레이션을 구현하였음(Coumans, 2009)
- [0140] 불릿 엔진 프로그래밍을 적용함에 따라 충돌 검사를 진행해야하는 자료와 역학적 운동 모델 자료들이 서로 유기적으로 연결되어 계산이 진행되어짐(도 13 참조)
- [0141] 따라서 물리 시뮬레이션의 계산 속도는 실시간으로 가능하게 되었고, 트롤 시뮬레이터의 수치 계산에서도 기존의 트롤 어구 시뮬레이션(SimuTrawl, MPSSL, Korea) 도구의 수치 계산 방법보다 8배의 속도 향상을 나타내었음(S사 노트북 기준 - CPU : i5, CPU 클럭 : 2.2GHz, 메모리 8GB)
- [0142] 이러한 계산 방법의 구현과 효율적인 트롤 시스템의 모델링의 결과 계산 시간을 실제 조업 속도보다 약 0.4배 빠르게 구현할 수 있었음
- [0144] 또한, 본 발명은 수중의 물리화학적 환경과 어군의 행동 등으로 이루어지는 어장환경과, 해양에서 어군을 탐지하고 탐지된 어군을 어선과 어로기계 및 어구를 운용하여 대상어를 어획하는 어로 활동을 컴퓨터의 3차원 가상

공간에서 실현하는 것이 가능하도록 한다.

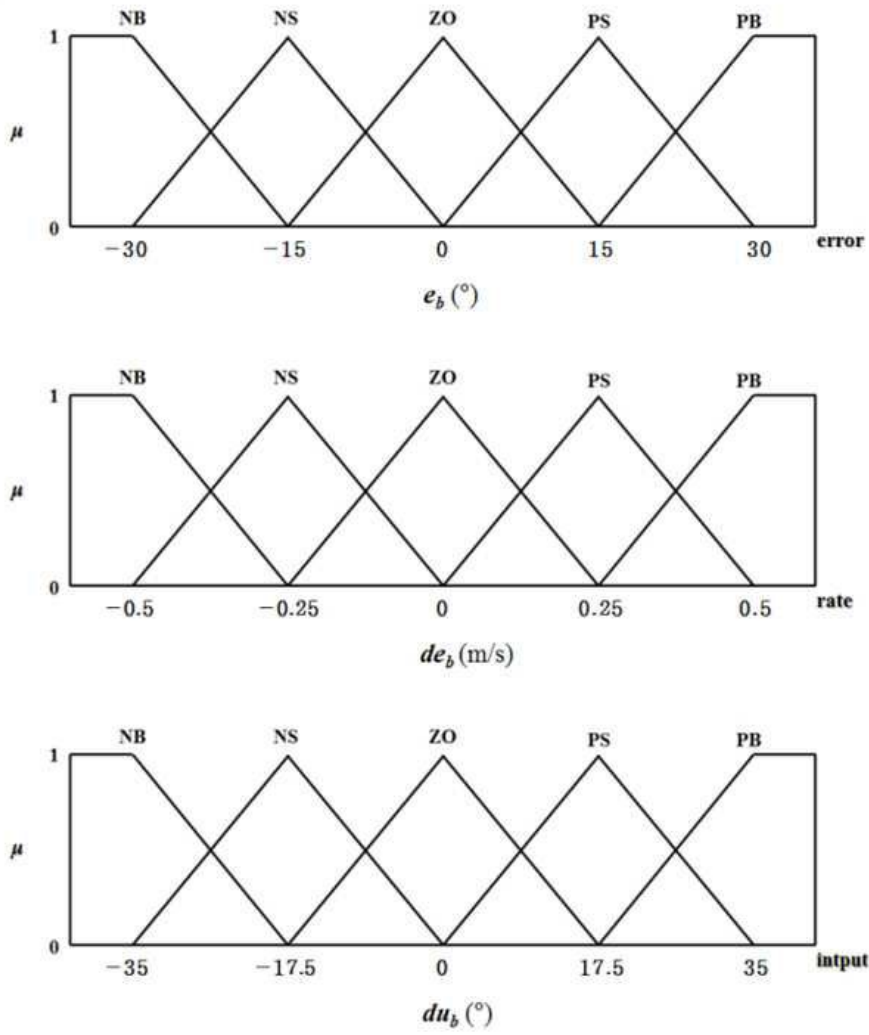
- [0145] 트롤선, 트롤 어구(중층·저층), 전개판, 어중(중층 : 전갱이, 오징어, 명태, 저층 : 넙치, 대구, 새우), 조류, 파랑 등 다양한 조업 조건을 제공하며(도 14), 소나와 어군 탐지기를 통한 어군 파악(도 15), 트롤선의 속력 및 방향 제어(도 16), 끌줄 길이 제어, 투·양망의 과정을 교육·훈련할 수 있다(도 17).
- [0146] 또한 다양한 시야(전방, 후방, 어군, 트롤 어구, 자유 시점)로 변경하여 시뮬레이터를 구동할 수 있으며, 화면 회전, 이동, 확대, 축소가 가능하다.
- [0147] 트롤 시뮬레이터 구동 중에는 해수면 On/ Off 기능, 네트 레코더 기능을 통해 어구의 형상을 파악할 수 있으며(도 19), 조업이 종료 후에는 어획물, 유류 소모량 등 조업 결과의 평가 기능을 제공한다(도 20).
- [0148] 도 21a 내지 도 21f에는 트롤 시뮬레이터 구동의 예를 나타내었다. 소나 화면을 통해 어군의 위치를 탐색하고, 키보드 방향키를 사용하여 트롤선의 속력과 방향을 조종한다. 트롤 어구의 투망은 S버튼을 통해 실시하고, 끌줄 제어를 통해 끌줄의 길이와 투망 속도를 입력한다. 어군 탐지기를 통해 어군의 수심이 파악되면 끌줄의 길이 조절을 실시하여 어획을 실시한다.

## 도면

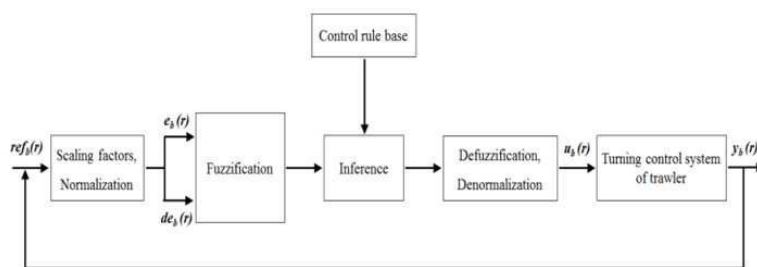
### 도면1



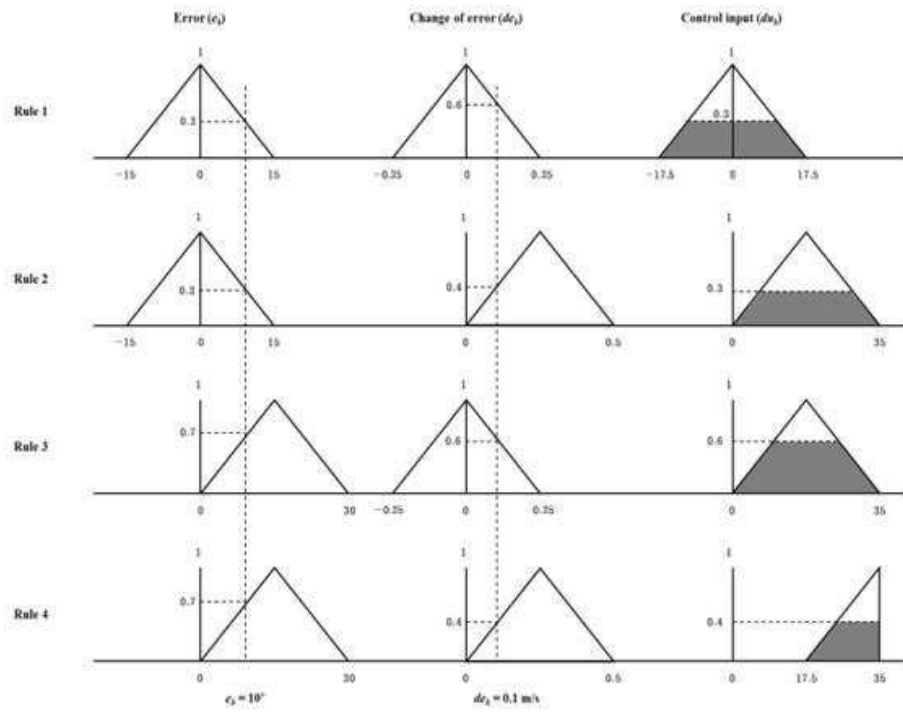
도면2



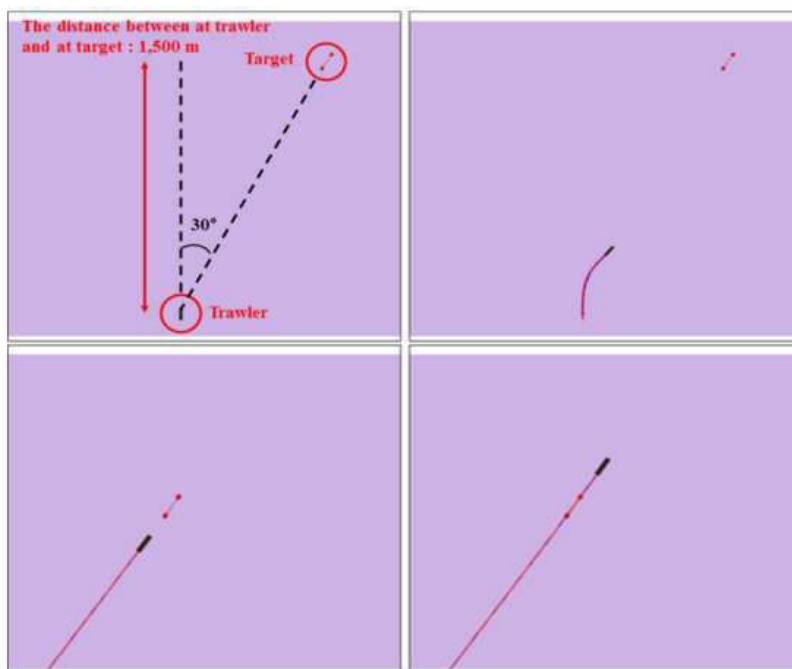
도면3



도면4

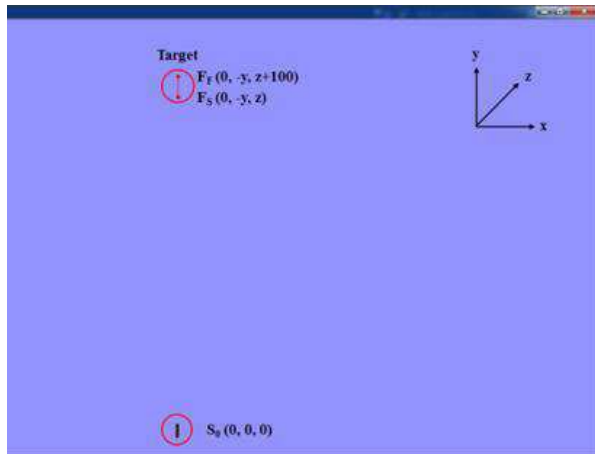


도면5

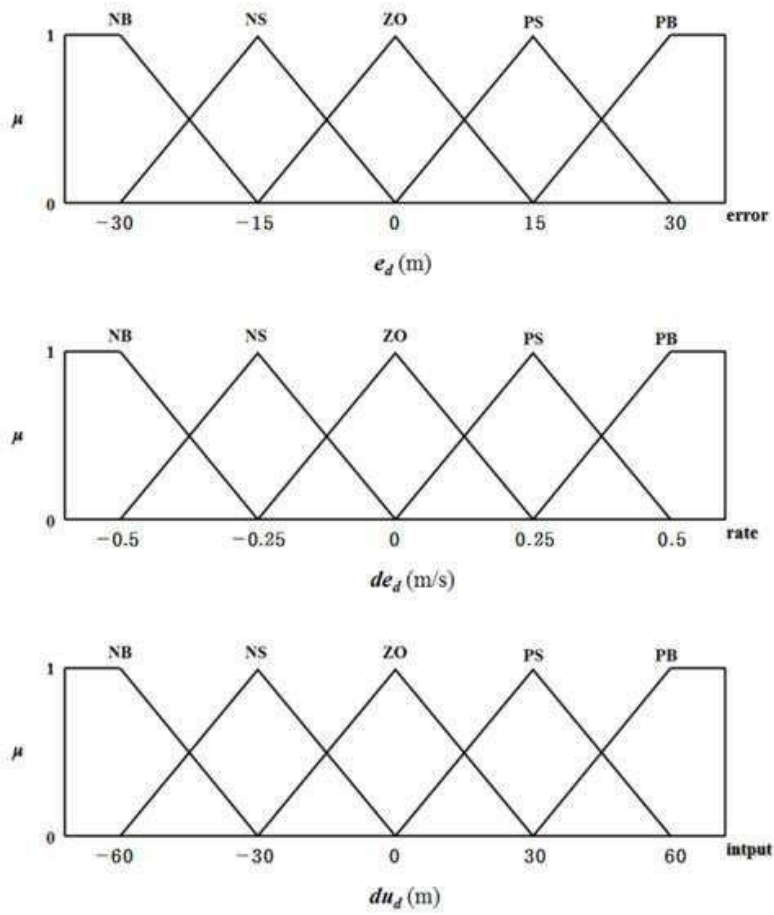




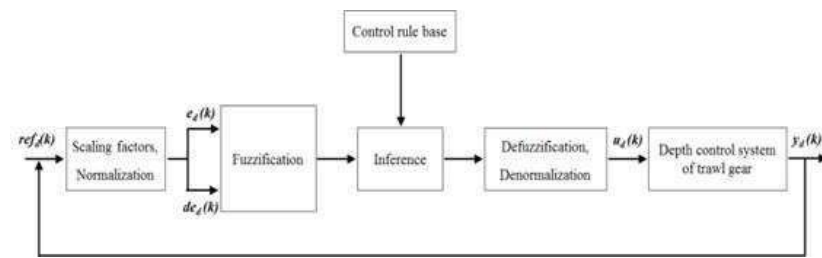
도면6



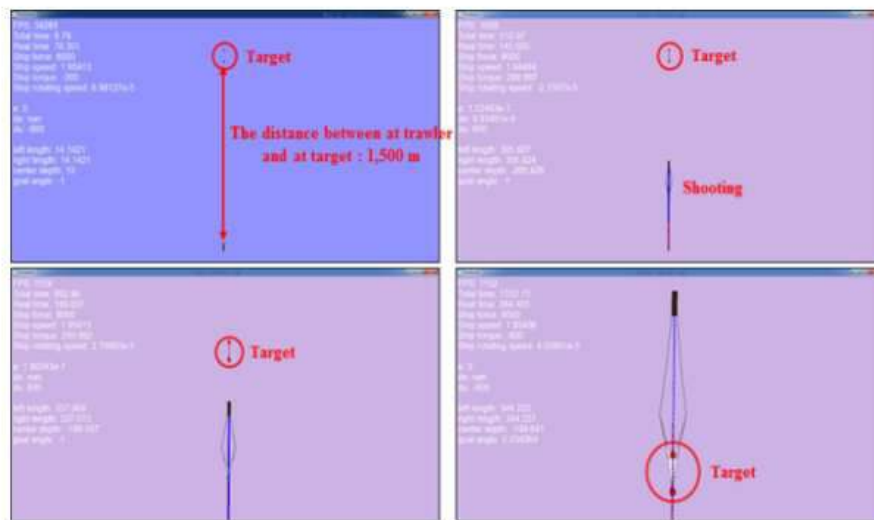
도면7



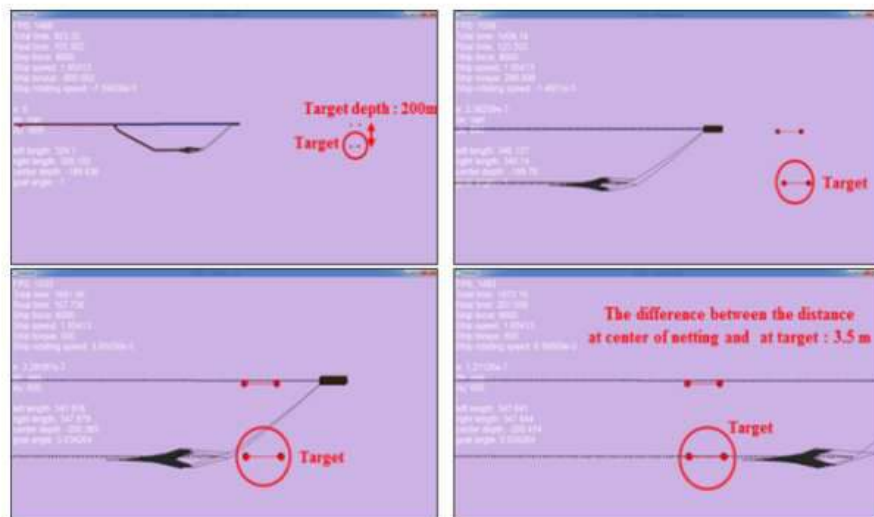
도면8



도면9

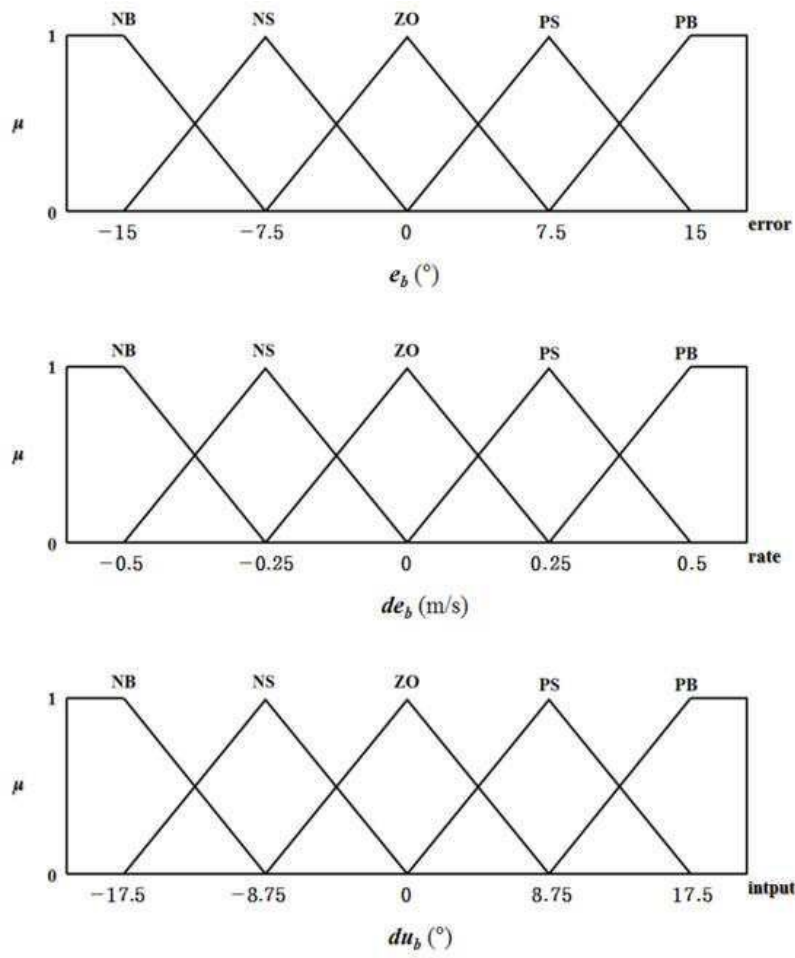


(a)

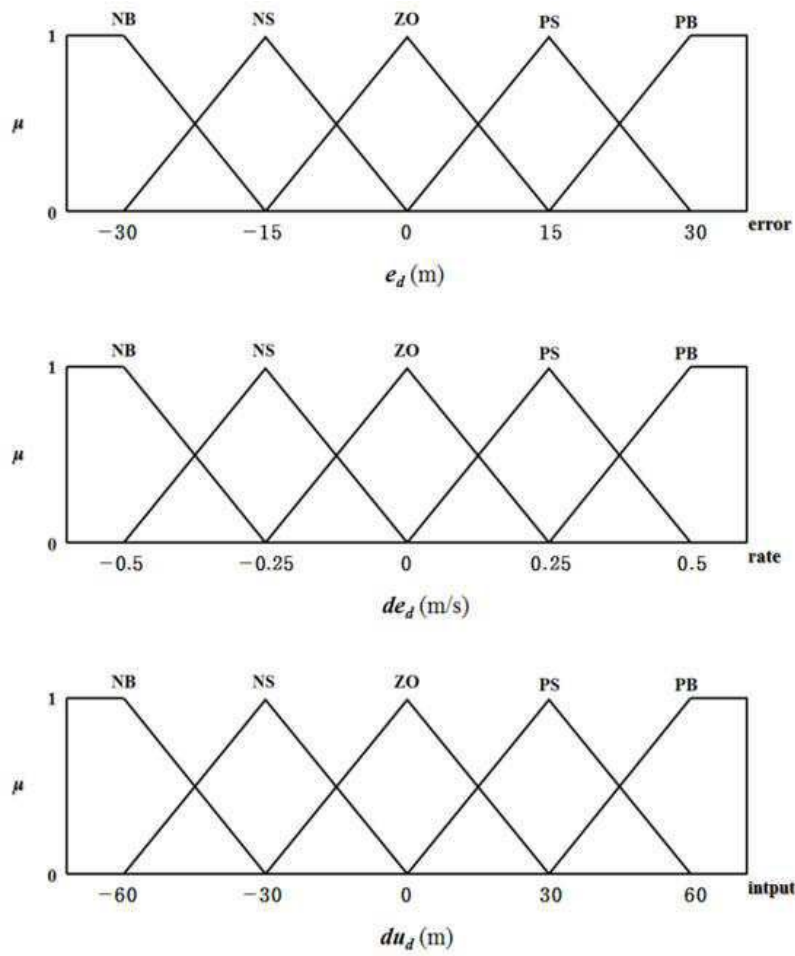


(b)

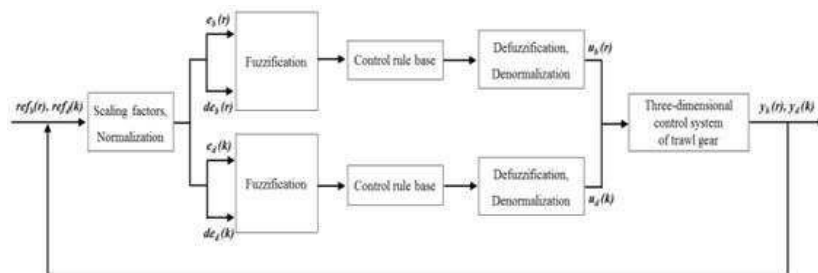
도면10a



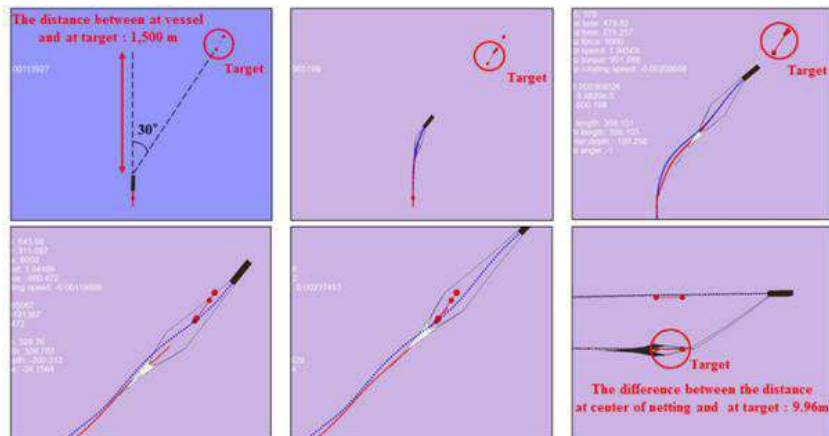
도면10b



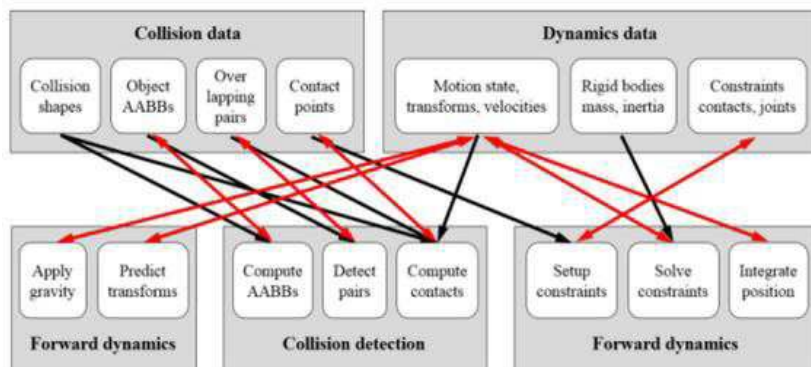
도면11



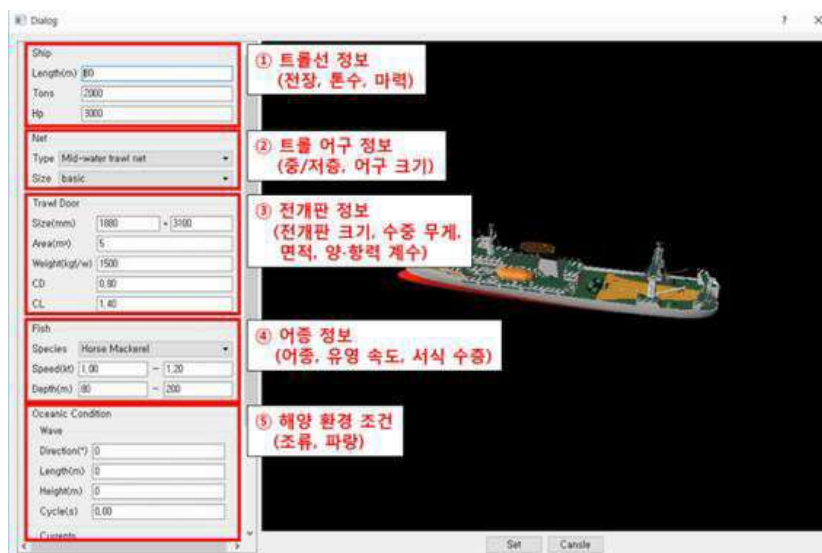
도면12



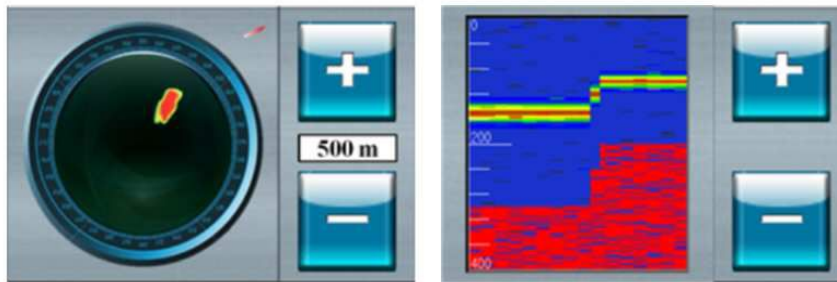
도면13



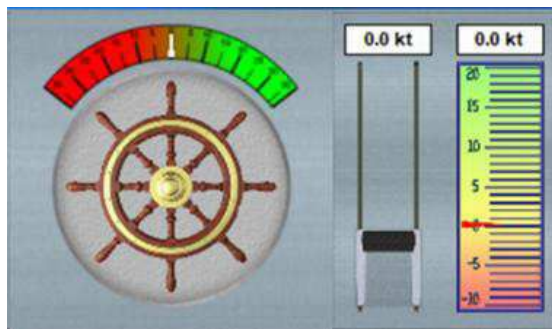
도면14



도면15



도면16

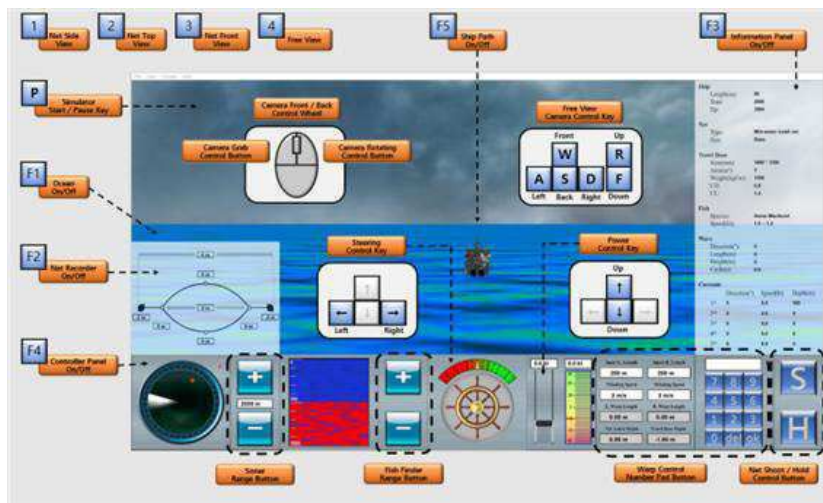


도면17

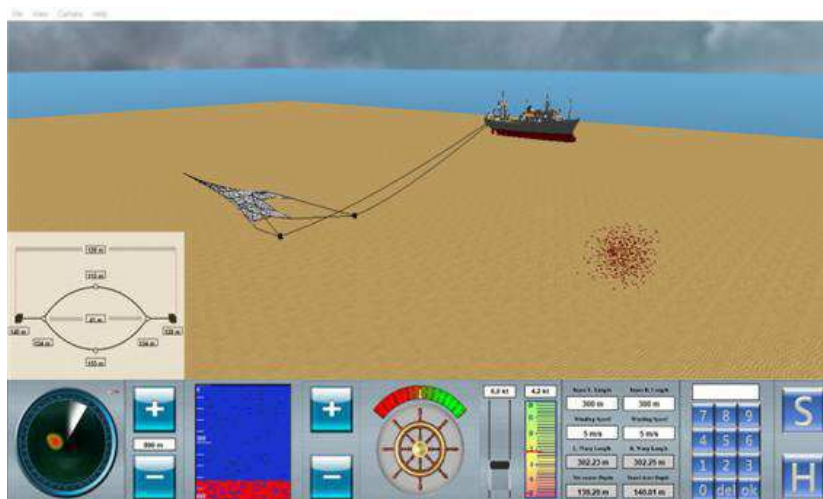




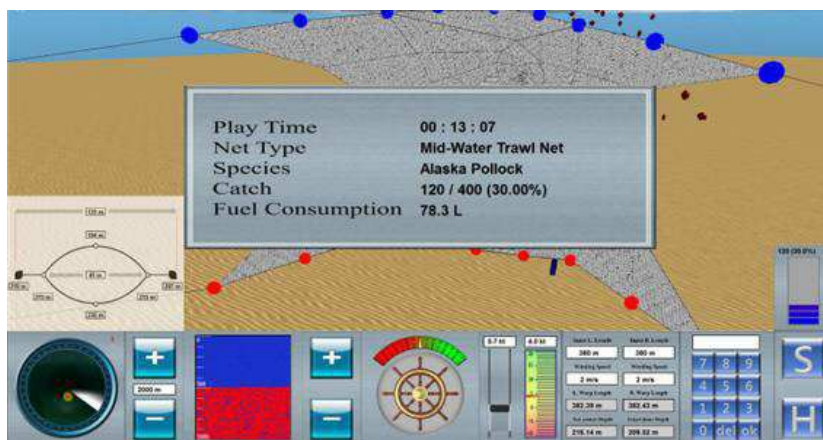
도면18



도면19

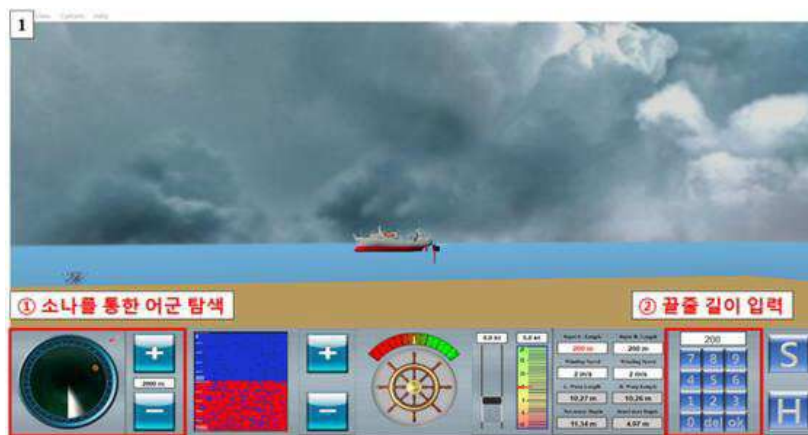


도면20





도면21a



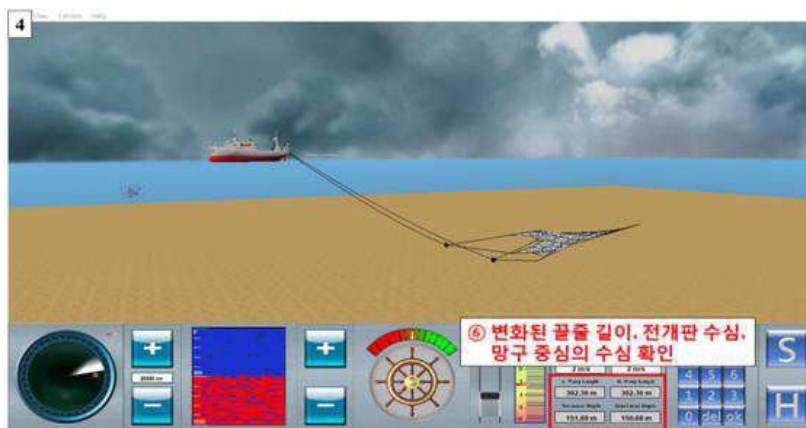
도면21b



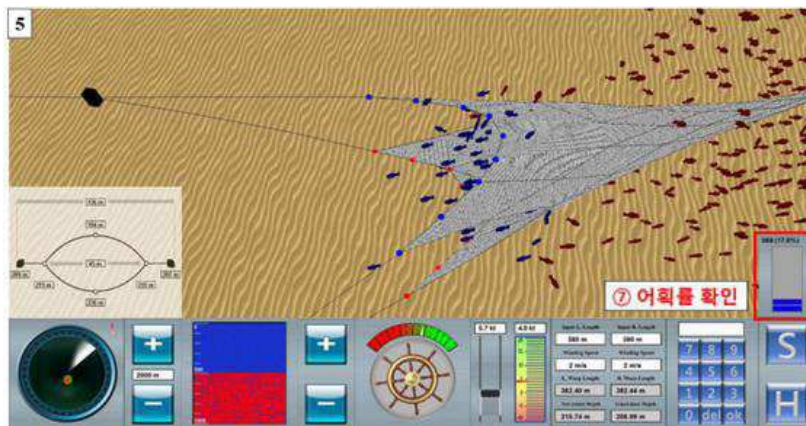
도면21c



도면21d



도면21e



도면21f

