

# 지능형 자율운항제어시스템의 운동제어시스템

## Ship Motion Control System of Autonomous Ship Control System using Intelligence Techniques

이원호\*, 김창민\*, 최중락\*\*, 김용기\*  
경상대학교 컴퓨터과학과\*, 국방과학연구소\*\*

Won-Ho Lee\*, Chang-Min Kim\*, Joong-Lak Choi\*\*, Yong-Gi Kim\*  
Department of Computer Science, Gyeongsang National University\*  
Agency for Defense Development \*\*  
E-mail : windmill@ailab.gsnu.ac.kr

### 요 약

선박 업계의 항해 인력부족 현상을 해결하기 위한 방법으로 선박의 지능화 및 자동화에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 선박의 지능화 및 자동화를 위해 지능형 자율운항제어시스템(Autonomous Ship Control System using Intelligence Techniques)이 개발되고 있다. 지능형 자율운항제어시스템은 선박운항에 있어 항해계획을 수립하고 현재의 선박운항 상태를 파악하여 선박을 적절히 제어하는 항해 전문가의 능력을 전산화 한 것이다. 지능형 자율운항시스템은 항해, 충돌회피, 선체유지, 자료융합, 운동제어, 통합 아키텍처 시스템으로 구성되어 있다. 선박 운동제어시스템은 상위 레벨의 고수준제어 요구치를 하위레벨의 저수준제어치로 변환하는 제어기이다. 본 논문에서 선박의 물리적 특성을 모방하기 위해 Oldenburger 제어 이론에 기반한 선박 제어기를 설계하고, 설계된 제어기의 성능검정을 위해 선박시뮬레이터에서 다양한 시나리오를 바탕으로 시뮬레이션 한다.

키워드: 지능형 자율운항제어시스템, Oldenberger 제어이론, 선박시뮬레이터

### 1. 서론

최근 들어 두드러지고 있는 선박 업계의 승조원 승선 기피현상을 해결하기 위한 방법으로 선박의 지능화 및 자동화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 선박의 지능화 및 자동화 관한 연구로 지능형 자율운항제어시스템이 개발되고 있다. 지능형 자율운항제어시스템은 선박운항에 있어 항해계획을 수립하고 현재의 선박운항 상태를 파악하여 선박을 적절히 제어하는 항해 전문가의 능력을 전산화 한 것이다.

여기에서 지능형 자율운항제어시스템은 선박의 무인화를 주목적으로 한다. 무인화란 선박 내 승조원을 완전 배제가 아니라, 자동화가 가능한 부분만을 최대한 자동화를 하는 것으로, 선박 내에 설치되어 있는 장치를 실제 인간이 조작하는 것처럼 감시하고 수행하는 것을 말한다. 이러한 무인화에 의한 선박을 실제적인 조타 및 추진제어 명령으로 선박을 이동시키기 위해서는 조타수의 영역전문가

수준의 선박제어시스템이 필요하다.

선박제어시스템은 지능형 자율운항제어시스템에서 고수준의 제어 요구치를 저 수준의 제어 요구치로 변환하여 해도상의 원하는 위치로 선박을 이끌어 가는 시스템이다.

고전적인 제어시스템은 선형모델에 근거를 두고 있어 선박과 같은 비선형성을 포함하는 시스템에서는 부적절하다. 그러기에 비선형성과 불확실성을 고려한 선박제어기가 필요하다. 특히 현재 퍼지제어, 신경망과 같은 인공지능기법을 이용하여 선박 운동제어기를 개발하고 연구가 활발히 진행되고 있다.

퍼지이론을 불확실성 해결에 탁월한 기법으로 최근에는 선박의 운동제어에도 이용되고 있다. 대표적인 퍼지선박제어 이론이 Vaneck의 선박퍼지유도제어기이다[1]. 이는 다음에 이동해야할 선박의 좌표와 이동 후의 선수각을 입력으로 하여 선박을 유도하는 제어기이다.

신경망제어기법은 선수각의 자동제어를 신경망을 이용하여 수행한다. 신경망제어기법은 비선형성이 심한 시스템과 모델링이 정확하지 않은 시스템에 대하여 다른 제어기법들에 비하여 그 적응성이 뛰어나다는 것이 증명되었다[2][3].

본 논문에서는 수학적 제어이론을 바탕으로 한 선박운동제어시스템을 제안한다. 선박은 운동모형은 비선형 모형이다. 이를 선형화하여 수학적 제어이론과 종합하면 일정 수준의 선박조종이 가능하다. 대표적인 수학적 제어 이론인 Oldenburger의 제어 이론을 이용하여 선박운동 제어 시스템을 구성하였다.

2절에서는 선박운동제어시스템이 필요하게 된 지능형자율운항제어시스템의 구조와 역할을 알아보고, 3절에서는 선박제어의 Oldenberger제어시스템에 관하여 알아본다. 4절에서는 선박운동방정식에 기반한 선박제어시스템의 구조 및 설계, 5절에서는 가상의 시나리오를 기반을 한 선박운항 테스트를 하고 6절에서 향후계획 및 결론을 맺는다.

## 2. 지능형 자율운항 제어시스템

선진화에 따른 국민 의식수준의 상승으로 사회적인 3D 업종의 직업 기피현상이 두드러지고 있다. 3D 업종의 하나인 선박 업계에서도 열악한 근무 조건과 생명을 잃을 지도 모르는 근무 환경 등과 같이 많은 난점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 선박의 승무원의 감축은 필연적일 것이다. 이에 선박 무인화 시스템으로 지능형 자율운항제어시스템이 현재 개발중이다.

지능형 자율운항제어시스템은 항해 전문가의 능력을 전산화하는 소프트웨어로 실세계로부터의 입력계층의 저수준 정보를 융합하여 고수준의 정보를 산출하는 시스템이다. 여기에서 저수준의 정보란 항해에서 사용되는 각종 센서장치의 출력 값이고, 고수준의 정보는 선박에게 적절한 명령을 내려 실행하게 하는 명령 제어치 들이다. 이런 고수준의 제어치를 산출하기 위해서는 여러 시스템이 서로 상호작용을 하며, 아래의 그림1과 같이 구성되어 있다.

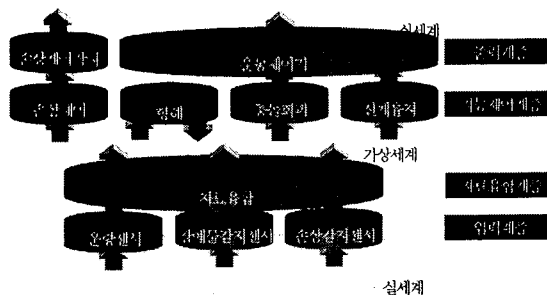


그림 1. 지능형 자율운항시스템 모형도

각 시스템들을 살펴보면, 실세계의 저수준 정보를 각종 센서 장치로부터 입력받아 지능형 자율운항제어시스템에서 사용할 수 있는 고수준의 정보로 산출하는 자료융합시스템, 선박의 화제나 침수를 자동으로 감지 및 조치를 행하는 손상감지시스템, 선박 운항을 위한 항로계획 경로감시를 하는 항해시스템, 항해환경에 존재하는 장애물을 최적의 경로로 회피하고, 선박을 특정시간 이후 위치로 안내하는 충돌회피시스템, 선체를 동요시키는 힘을 제어하는 선체유지시스템, 선박의 움직임과 이동을 제어하는 선박운동제어시스템, 그리고 다양한 인공지능기법들을 이용하여 전반적인 시스템들을 효과적으로 융합하여 통합하는 통합 아키텍처가 선박의 지능형 자율운항제어시스템에 개발되고 있다.

본 연구에서는 충돌회피시스템의 출력은 선박의 다음 위치이다. 이 위치까지 선박을 이동하기 위해 추진 및 조타 제어명령을 내리는 선박운동제어시스템을 개발하였다. 선박운동제어시스템은 조타를 이용하여 선박의 heading을 변화시킴으로 해도 상에 원하는 위치로 선박을 이동시킨다.

## 3. 선박운동제어시스템

선박의 운동은 추진장치와 조타장치의 직접제어에 의한 유체역학적 산물이다. 따라서 의도한 대로 선박의 운동 상태를 이끌어내기 위해서는 유체역학을 적용하여 추진장치와 조타장치를 조작하여야 한다. 유체역학을 적용하기 위해서는 선박의 선형 운동 모양을 만들기 위하여 nomoto 방정식[4]을 사용하였고, 조종을 위해서는 수학적 제어 이론인 Oldenburger이론[4]을 이용하였다. 본 연구의 선박운동제어시스템에서는 선박의 운동에 관한 고수준 제어요구를 저수준 제어요구로 반영하기 위해 추진치 및 조타치를 산출하고 이를 추진장치와 조타장치에 전달하는 역할을 한다.

### 1) 수학적 이론을 기반을 한 선박운동제어기

선박은 운동모형은 비선형 모형이다. 이를 선형화하여 수학적 제어이론[10]과 종합하면 일정 수준의 선박조종[4][5][6]이 가능하다. 대표적인 수학적 제어 이론이 Oldenburger의 시간준최적화 제어 이론이다.

우선, 선박의 횡운동에 대한 방정식을 선형화한 후 1차 nomoto 방정식으로 변환하면 수식 1-1과 같은 기초선형모형이 산출된다[4].

$$T\dot{r}' + r' = K'\delta_R \quad (1-1)$$

이때 이상적인 수학적 조타모델은 아래 수식과 같이 정할 수 있다

$$\dot{\delta}_R = \epsilon_m \frac{L}{V} U \quad (1-2)$$

$$\bar{u} = T'r' + \psi; \bar{v} = \delta_r \quad (1-3)$$

$$x = \frac{V}{L\epsilon_m} \cdot \frac{\bar{u} - \psi^*}{K'}; y = \frac{V}{L\epsilon_m} \bar{v} \quad (1-4)$$

위와 같은 모형이 제공될 때, Oldenburger 제어 이론은 다음과 같다

$$U = \text{sign}\sigma(x, y) \quad (1-5)$$

$$\dot{x} \cong y; \dot{y} \cong U \quad (1-6)$$

이때 수식 1-7과 같은 간단한 교환함수를 이용할 수 있다.

$$\sigma = -x - \frac{1}{2}|y| \quad (1-7)$$

### 2) 선박제어시스템의 설계 및 구성

선박제어시스템은 타 시스템과 상호 통신으로 의사를 전달한다. 입력으로는 지능형 자율운항시스템의 충돌회피시스템의 출력값을 입력으로 받아들이고, 출력은 선박의 추진 및 조타 제어치를 선박시뮬레이터시스템으로 보내게 된다. 출력이 정확한 값인지를 테스트하기 위해서는 실제 선박을 대상으로 테스트를 하여야 하나 선박은 고가의 교통기관으로 관련 '하부장치'의 인터페이스 개발에 많은 노력이 소모되므로 선박시뮬레이터[7][8][9]를 이용하여 테스트하게되었다.

선박제어시스템의 구성은 비선형 운동모형을 선형화 시키는 Initial모듈과 선박을 제어하기 시작할 시점에서의 선박의 상태를 입력받는 Start\_State모듈부분, 제어를 시작한 시점에서 특정 시간동안 선박을 이동시키기 위한 조타제어를 계산하는 Order\_Rudder모듈부분으로 나누어진다. 구성도는 아래 그림 2와 같다.

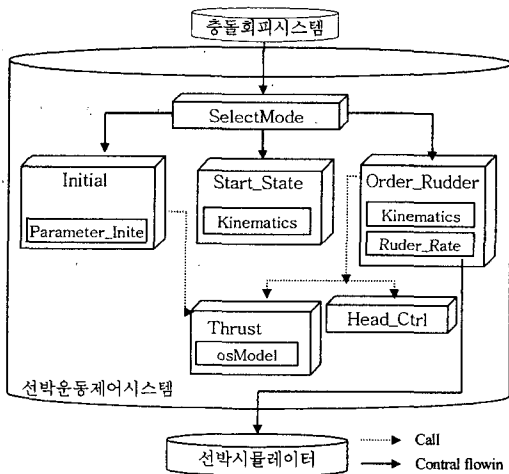


그림 2. 선박운동제어시스템의 구성도

### 4. 선박운동제어시스템 구현 및 테스트

선박운동제어시스템의 구현 환경으로는

window2000 professional에서 Visual C++ 6.0을 이용하였으며, 본 연구에서 제공되는 자료는 현재 경상대학교 해양과학대학의 실습선인 새바다호를 대상으로 하였다. 선박의 선형화에 있어서 실제 선박의 선회성능을 비교 분석하여 parameter의 초기치를 선정하였다.

#### 가) 초기 입력

선박운동제어시스템의 전처리 작업으로 두 번의 입력을 받는다. 처음에는 그림 3과 같이 선박의 재원을 입력받아, 운동모형의 선형화를 가진다. 여기에서 사용한 parameter들은 선박의 다음 상태 검출 간격, 선박의 길이, 넓이, 흘수, 선박의 평상시 운항 속도, 타의 최대 기울려짐으로 수학적 제어의 초기치들이다.

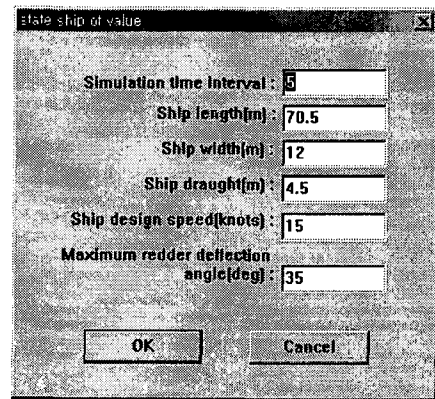


그림 3. 선박의 재원 입력

두 번째의 입력은 그림 4와 같이 시뮬레이터 시작시점의 선박의 운동상태, 즉 선박의 surge 속도, sway 속도, yaw 속도, 선박의 선미각, advance, transfer, 현재의 타각을 입력받게 된다.

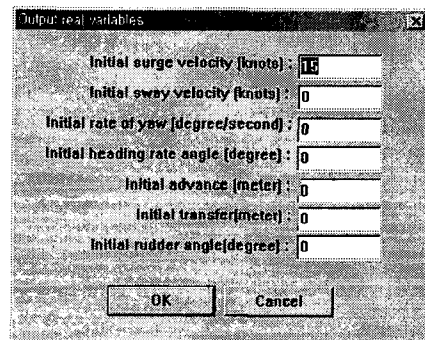


그림 4. 선박의 운동상태

#### 나) 시나리오

선박운동제어시스템은 충돌회피 시스템으로부터 다음으로 선박이 이동할 위치를 입력받게 된다. 시스템의 전반적인 위치 표현은 경위도 좌표계를 이용하여 사용하지만 시스템 내에서 각 시스템끼리의 위치 데이터 전송은 직교좌표계를 이용한다. 본 시나리오에서는 충돌회피시스템의 출력

값인 선박의 위치를 직교좌표계 데이터로 변환하여 시나리오를 작성하였다.

**시나리오**

- ◎ 현시점(0,0)에서 등속운동을 하는 선박을 (700, 400)으로 이동시켜라.
- ◎ 선박을 (0, 800)로 이동시켜라.
- ◎ 선박을 (-400,300)로 이동시켜라.

**다) 출력**

출력은 매초마다 선박의 상태를 추출하였다. 그림 5는 시나리오에 따라서 1초마다 선박의 타각 변화를 나타내고 있으면, 봉우리가 생기는 부분이 선박의 선미각을 변화시켜 다음 위치로 선박을 이동하게 제어하는 부분이다.

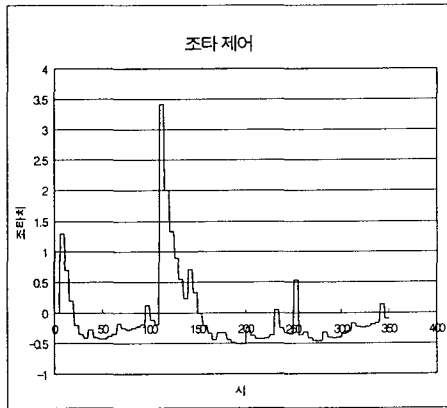


그림 5. 시간에 따른 조타 제어치

그림 6은 약 6분 동안 선박의 조타 제어치에 따른 선박의 advance, transfer로 이동한 것을 그래프로 나타내었다. 시나리오에서 요구한 선박의 이동을 오차범위 내에서 정확하게 이동하고 있는 것을 보여주고 있다. 여기에서 선박의 오차범위는 선박의 길이의 1/2하였다.

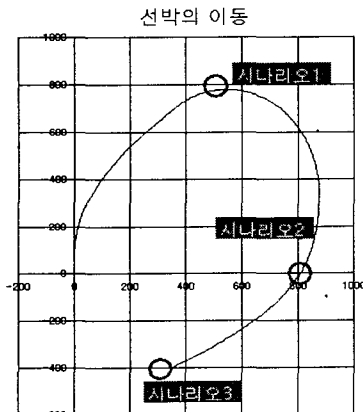


그림 7 조타 제어치에 따른 선박의 위치

**5.결론 및 향후과제**

지능형 자율운항제어시스템은 항해전문가의 능력을 전산화한 것으로 각종센서로부터 주변환경에 대한 저수준의 정보를 입력받는다. 시스템 내에서는 저수준의 정보를 고수준의 정보로 산출, 이용하여 최종적으로 선박운동제어시스템은 조타 및 추진제어치를 출력한다. 선박운동제어시스템은 조타제어치를 이용하여 선미각을 변화시킴으로 선박을 이동시킨다.

선박운동은 유체학적 힘이 작용하는 비선형 운동모형이다. 이를 비선형 운동모형을 선형화하기 위하여 선박운동 방정식인 nomoto 방정식을 이용하였고, 유체학적인 힘 속에서 선박을 제어치를 산출하기 위해서는 Oldenberger 제어이론을 이용하여 설계, 구현하였다. 그리고 가상 시나리오를 통해 그 성능을 입증하였다.

향후과제로는 실세계의 환경요소가 감미된 선박운동제어시스템의 구현과 GUI를 이용한 폼 구성이 남아 있다.

**6. 참고문헌**

1. Vaneck. T. W., "Fuzzy Guidance Controller for an Autonomous Boat,"
2. Rozhdestvensky. V. V. Submarine Dynamics. - Leningrad: Sudostroyeniye Publ., 1970
3. Sutulo S. V., Polukhin K. V. Numerical Simulation of Ship Manoeuvring Motion. Schiffbauforschung. 1988
4. 연구기관, 조종성능 추정 정도 향상을 위한 요소 기술 개발, 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 자체연구보고서, 1997
5. 강 창구, "IMO 선박 조종성 기준," 대한조선학회지. 제 30권 제2호, 1993.7
6. 성영재, An Investigation on the PMM Test Condition for the Estimation of the Manoeuvring Coefficients, 서울대학교 대학원 선박해양공학과, 1998.
7. Gordon. G., System simulation(second editon), Prentice-Hall.1978.
8. Law. A.M. and Kelton. W.D., Simulation modeling and analysis, McGraw-Hill Book Company, 1982.
9. Banks. J. and Carson J.S.II, Discrete-event system simulation, Prentice-Hall, 1984.
10. 이영호, 제어기 성능평가를 위한 연구용 비행 시뮬레이터 개발, 서울대학교 대학원 항공우주공학과, 석사학위논문, 1995.