

# 피항판단평가함수를 고려한 선박교통흐름 통합프로그램의 구축에 관한 연구

성유창\*

\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

## The Study on Development of Intergrated Ship's Traffic Flow Simulation Model based on Collision Avoidance Function

Yu-Chang Seong\*

\* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

**요 약** : 해상교통시스템은 국내의 경제 활동을 촉진하고 국가 간의 운송에 많은 역할을 담당하고 있다. 해상교통시스템의 기능이 유지되고 더욱 발전하기 위해서는 해상에서의 선박교통흐름에 대한 정확한 이해가 필요하다. 지금까지의 해상교통에 대한 연구는 일정기간의 선박 입출항 데이터를 기초로 한 통계적인 분석이 주로 수행되어 왔다. 본 연구에서는 피항판단평가함수에 의하여 자동 피항이 이루어지는 선박교통흐름을 재현하였다. 모델 구축을 위하여 상대선박의 동작에 따른 본선의 피항판단영역의 설정과 피항판단평가의 함수를 고려한 충돌회피 알고리즘을 구성하였다. 또한 선형구성, 속력 및 발생시간간격 등을 고려하여 다수 선박군내에서의 흐름을 재현하는 통합프로그램을 구축하였고, 시뮬레이션을 실시하여 선박 발생 및 그 피항 관계를 검증하였다.

**핵심용어** : 피항판단함수, 선박운동 모델, 선박발생 알고리즘, 선박교통흐름의 재현, 안전 항해

**Abstract** : Marine transportation system plays an important role in maintaining and promoting economic activities among countries. The accurate understanding of marine traffic flows are necessary for the further advancement of marine transportation system. While many existing researches on marine traffic have been conducted mainly on the basis of statistical analysis using traffic data, ship's traffic flow simulation model was developed in this study. A collision avoidance algorithm was conducted with categorizing of traffic factors such as ship's length and speed. The developed model was also verified by a simulation process.

**Key Words** : Collision avoidance function, KT model, Algorithm of ship's occurrence, Traffic flow reproduction, Safety navigation

### 1. 서 론

해상교통은 경제 활동을 촉진하고 국내외의 운송에 많은 부분을 담당하는 중요한 역할을 하며, 해상교통 공학은 이러한 선박의 교통 흐름과 실태를 파악하고, 선박의 행동을 통계적으로 또는 해석적으로 표현하여 그 결과를 항로, 항만의 시설 개선에 접목시키는 기술 분야라고 할 수 있다. 해상교통시스템의 기능이 유지되고 더욱 발전하기 위해서는 해상에서의 선박교통흐름에 대한 정확한 이해가 수반되어야 한다.

지금까지의 해상교통에 대한 연구에서는 일정기간의 선박 입출항 데이터를 기초로 한 통계적인 분석이 주로 수행되었다. 반면에 충돌회피 알고리즘, 피항 조건, 선박발생 모델 등에 관

한 연구가 부분적으로 이루어져 왔으나, 선박교통흐름의 재현 및 예측과 관련된 연구는 상대적으로 부족하였고 이 요소들을 통합하여 흐름을 재현하는 모델 제시도 충분하지 않았다(임과 김, 1999).

따라서 본 연구에서는 선박 간 충돌 회피에 기초하여 선박 교통흐름 재현에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 먼저 과거 연구들에 대해 알아보고, 선박교통흐름의 해석 및 재현을 위해 필요한 구성 요소를 정리하였다.

선박교통흐름의 재현을 위해서는 상대선에 따른 본선의 피항판단영역의 설정과 피항판단의 함수를 접목시켜, 자동 피항을 하도록 구성하였다.

또한 선형구성, 속력 및 발생시간간격 등을 고려하여 다수의 선박군의 교통흐름을 재현하는 통합된 프로그램을 구축하고 시뮬레이션을 실시하여 선박발생 및 피항관계를 검증하였다.

\* 정회원, smileseong@mmu.ac.kr, 061-240-7180

## 2. 선박교통흐름의 재현 필요성

### 2.1 해상교통과 관련된 기존의 연구

해상교통과 관련하여 기존 연구를 시대별로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

#### ① 1960년대 - 해상교통 데이터의 수치화

해상교통에 대한 초기 연구가 시작되던 시기로, 소형 레이더를 이용하여 특정 수역 내 일정 지점들을 통항하는 선박의 종류 및 선속분포 등을 실측하는 연구가 수행되었다(藤井 등, 1966).

#### ② 1970년대 - 피항 조건

선박의 속력 및 밀집도에 따른 해양사고의 발생률과 관련된 연구와 함께 선박 간 충돌에 대한 확률 등이 연구되었다(Imazu and Sugisaki, 1979).

#### ③ 1980년대 - 피항 조건에 대한 모델 연구

해상교통 현상을 메커니즘화하는 연구 분야가 다수 수행된 시기였다. 또한, 충돌확률에 관한 연구의 일환으로 조종불능선박의 발생률 등에 대한 연구가 수행되었다(原潔 등, 1983; Hasegawa 등, 1989).

#### ④ 1990년대 - 조선의 곤란성

다수의 선박군내에서 조선자가 느끼는 조선의 곤란성 및 선박의 위험성에 대한 부분이 연구되었다(井上 등, 1993; 井上 등, 2000).

#### ⑤ 2000년대 - 인간공학적인 연구

인간과 기계간의 인터페이스 에러율에 대한 연구, 조선자의 생체학적 데이터를 이용한 조선상의 위험도 제안 등 인간공학적인 연구가 다수 이루어졌다(양 등, 2004).

### 2.2 선박교통흐름 재현프로그램의 필요성

Fig. 1은 해상교통에서의 연구 흐름을 순서도로 나타낸 것이다. 기존의 연구들을 정리해 보면, 크게 해상교통의 현상에 대한 조사, 해상교통의 현상에 대한 기술 그리고 이 현상의 메커니즘 분석이 주된 연구 주제였다고 볼 수 있다. 그러나 기존의 연구는 해상교통 현상에 대한 통계적인 분석 및 피항 메커니즘 구축을 주로 수행하였으며, 상대적으로 선박교통흐름의 재현 및 예측과 관련하여서는 연구가 부족하였다.

과거의 관련 연구를 검토한 결과, 선박교통흐름을 재현하기 위해 고려하여야 할 요소로는 각 선박 간의 피항 관계, 선박운동 및 항해 모델, 선박발생 알고리즘, 선형 및 속력 구성 등을 들 수 있다.

또한, 과거의 해상교통학적인 성과가 최근 이슈화되고 있는 해상교통 안전성 평가 및 관련 안전 제도와 원활히 접목되기 위해서는 선박교통흐름에 대한 구체적인 재현 및 이를 바탕으로 한 명확한 예측 모델에 대한 연구가 더욱 요구되고 있다(조 등, 2009).

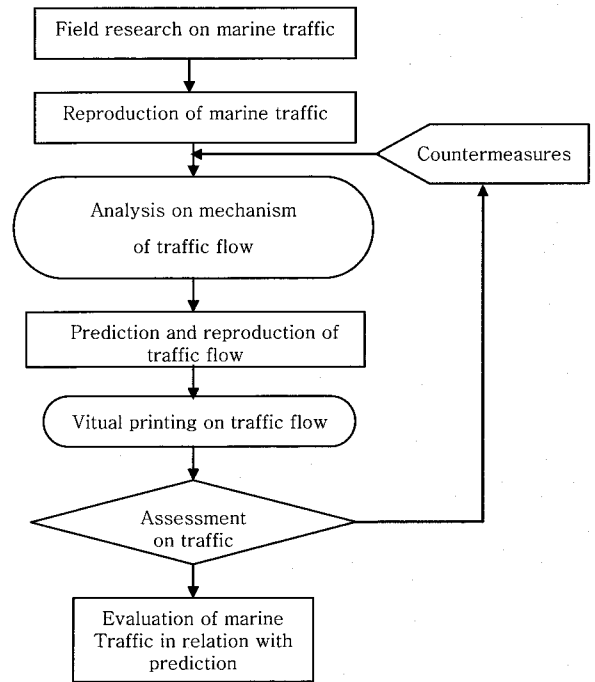


Fig. 1. General process of marine traffic simulation.

## 3. 피항판단함수를 고려한 선박교통흐름 재현 프로그램의 구성

기존의 관련 연구 내용을 중심으로 그 구성 요소를 피항관계, 선박항해 모델, 선박발생 모델별로 정리하였다.

### 3.1 피항 관계

#### 1) 피항의 원리

항해시 피항 동작의 기본 메커니즘을 타선과의 충돌 가능성 인지(피항개시)와 피항 동작(피항판단)으로 분리하여 고려한다. 피항의 원리는 안전항과를 위한 안전거리 확보와 관련하여 피항 조선의 자유도 개념을 사용한다. 여기서 안전항과거리란 자선이 타선 혹은 물표와 안전한 항과를 위해 필요한 최소한의 이격 거리를 지칭하며, 이 거리는 자선이 타선 및 물표의 침범을 허용치 않는 공간적 거리이기도 하다(손 등, 1997).

Fig. 2에서는 자선의 안전항과거리(타원형의 피항판단영역) 내에 타선의 상대속력 벡터가 침범할 경우, 이 공간 내 모든 조선의 방위군  $Pb(x)$  함수와 자선과 타선의 속력벡터를 이용한 충돌위험도군  $R(x)$  함수를 표현하였다. 또한, 가중치계수  $a$ 를 넣어 처음 위치를 1.0로 하고, 변침 및 변속에 따른 선박의 위치 변화에 따른 가중치를 0.0~1.0내에서 표현하였다. 이 같은 과정에서 두 함수의 차이로부터 최적의 조선이 가능한 함수  $u(x)$ 를 식(1)과 같이 산출해 낼 수 있었다(Imazu & Sugisaki, 1979).

$$u(X_{i,j}) = Pb(X_{i,j}) - a \times M_{ax} \{R_k(X_{i,j})\} \quad (1)$$

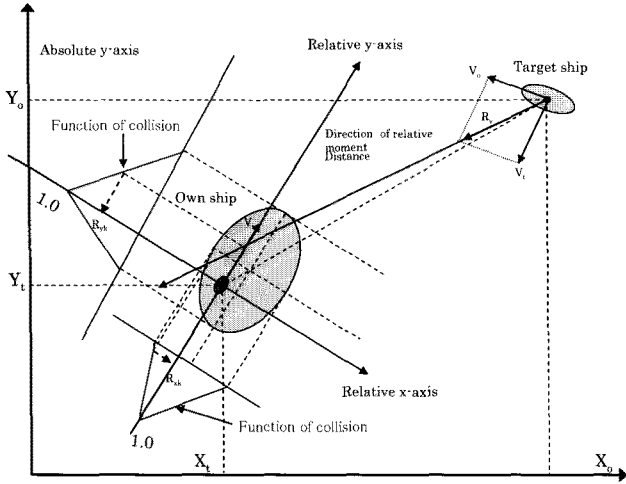


Fig. 2. Concept of collision avoidance(Imazu & Sugisaki, 1979).

식(1)에서,

- $u(X)$  : 최적조선방법을 선택하기 위한 평가함수
- $Pb(X)$  : 피항조건을 위한 원칙로 및 침로유지 선택함수
- $R(X)$  : 충돌 위험도 함수
- $X_{i,j}$  : 피항공간 영역
- $i = 1 \sim p$  : 변침을 통한 피항조선방법
- $j = 1 \sim q$  : 변속을 통한 피항조선방법
- $a$  : 가중치계수
- $m$  : 조우관계에 따른 선박의 발생척수

2) 피항의 개시와 피항판단영역

Fig. 3은 피항의 개시가 이루어지는 피항개시영역을 하나의 원 개념으로 나타낸 것이다. 일반적으로 선박 간 조우관계의 시작한 상대선을 인지하고 접근과정에 따라 충돌의 위험을 확인한 후 피항의 조선을 실시하게 된다. 이때 상대선을 인지하는

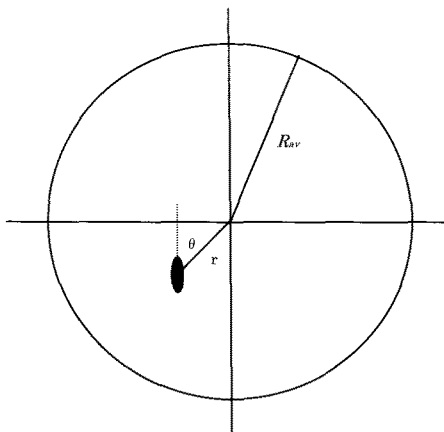


Fig. 3. Judgement area of collision.

공간적 범위를 피항개시 영역으로 정하고, 그 내측으로 피항판단 영역을 설정한다.

식(2)는 자선과 상대선의 전장( $L_{oa}$ ) 및 상대속력으로 피항개시영역을 구하는 식으로, 영역의 중심위치를 좌하방으로 편심시킨 이유는 자선의 우전방으로 피항하는 것에 가중치를 두기 위한 것이다.

$$R_{av} = (3.3 \cdot V_R + 6) \cdot \left( \frac{L_o^2 + L_t^2}{2} \right)^{1/2} \tag{2}$$

- $R_{av}$  : 피항개시영역 (m)
- $V_R$  : 상대속력 (m/sec)
- $L_o$  : 자선전장  $L_{oa}$  (m)
- $L_t$  : 타선전장  $L_{ta}$  (m)
- $r$  : 피항영역의 반경
- $R_{av}/r = 3, \theta = 45^\circ$

3.2 선박운동 모델

선박의 운동 모델은  $KT$ 모델을 이용하였다. 식(3)은  $KT$ 모델의 일반적인 형태를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} T\ddot{\psi} + \dot{\psi} &= K\delta \\ T\dot{v} + v &= v_{order} \\ T\dot{\delta} + \delta &= \delta_{order} \end{aligned} \tag{3}$$

식(3)에서는 선회성 지수  $K$ 와 추종성 지수  $T$ 의 관계를 타각  $\delta$ , 선회시의 각속도  $\dot{\psi}$ , 속력  $v$ 로 표현한다. 일반적으로  $T$ 와  $K$ 는 선형, 선체의 질량 및 타면적비 등에 의하여 각 선박별 고유 값이 존재하며, 양자를 합쳐 조종성 지수라고 한다. 본 모델에서는 각 선박은 선형별로 주어진 임의의  $K, T$  계수가 주어지며, 기 설정된 속력 및 타각 내에서 이 운동 모델 계수에 따라 피항을 하게 된다. Fig. 4는 선회시험(Turning test)시  $K$ 와  $T$ 에 따른 선박궤적(Ship's path)의 영향을 표시한 그림이다.

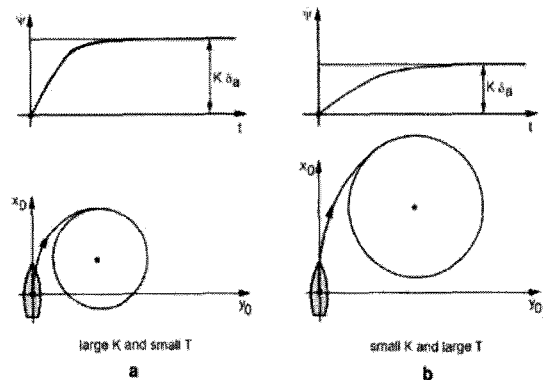


Fig. 4. Turning test according to  $K$  and  $T$  (Jurnee, 2002).

### 3.3 선박의 발생 모델

#### 1) 발생시간간격

일정한 수역 내에서 임의의 지점으로부터 선박의 통과간격은 지수분포를 따르고 있음이 잘 알려진 사실이다. 선박교통흐름 발생 모델은 설정된 선박발생 횟수를 기본으로 하여 평균시간간격을 구하고, 그 평균치로부터 지수분포별 난수를 이용하여 선박을 생성시키는 모델을 적용하였다.

단위시간에 발생하는 선박의 횟수가 평균  $\lambda$  척의 푸아송분포(Poisson distribution)를 따를 때, 선박의 발생시간간격의 확률밀도함수는,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4)$$

가 된다. 여기서  $t$ 는 양의 실수이며, 그 평균치와 표준편차는  $1/\lambda$ 와  $1/\lambda^2$ 로 표현이 가능하다. 따라서 위 지수함수의 누적분포  $F(t)$ 는  $1 - e^{-\lambda t}$ 가 되며,  $1 - F(t) = R(t)$ 가 성립하여,  $R(t)$ 를 변환시키면  $e^{-\lambda t}$ 이 된다.  $R(t)$ 는 0부터  $t$ 까지의 선박이 발생되지 않을 확률을 의미하며, 역으로 발생확률을 표현할 수 있다.

#### 2) 선형, 선박의 길이

설정된 선형구성비 내에서 난수에 의거하여 선형이 결정된다. 선형별 평균선박길이의 분포는 정규분포로 가정하고, 선박길이( $L_{oa}$ )의 표준편차를 이용하여 정규난수에 의하여 발생된다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{단, } \sigma > 0 \quad (5)$$

정규분포는 보통 가우스분포(Gauss distribution)라고도 불리며, 자연에서의 많은 현상이 이 분포를 따르고 있음이 이미 알려져 있다. 식(5)에서는 평균치를  $\mu$ 으로, 표준편차를  $\sigma$ 로 표현하여 각 선형에 대한 선박의 길이를 구하였다.

#### 3) 선박의 속도

선박의 속도도 일정 평균속력을 기준으로 하는 정규분포로 가정하고, 설정된 평균속력  $v$ 와 표준편차  $\sigma$ 를 이용하여, 정규난수를 이용하여 선형별 임의의 속력이 결정되도록 하였다.

## 4. 선박교통흐름 모델의 모의시뮬레이션

### 4.1 시뮬레이션 프로세스

피항 판단, 선박항해 모델, 선박발생의 알고리즘을 구성요소로 하여, Fig. 5와 같이 선박교통흐름의 재현 프로세스를 구축하였다. 모의 시뮬레이션은 이 프로세스에 따라서 수행하였다.

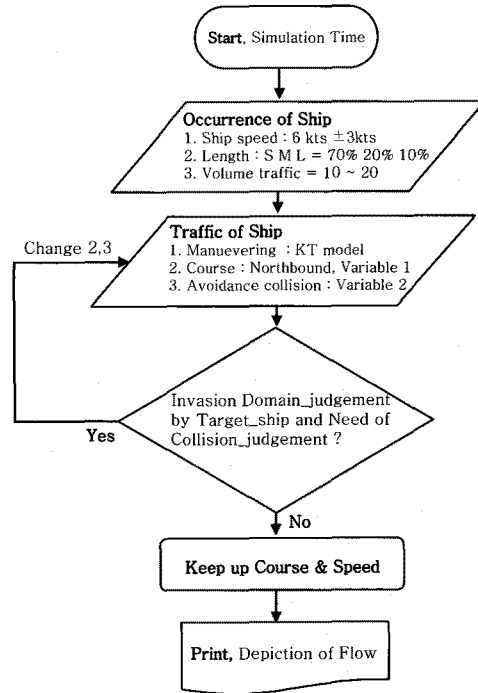


Fig. 5. Process of simulation.

기본 시뮬레이션을 위해 먼저 일반 수로를 대상으로 하여, 좌우폭 1km내에서 항해가 이루어지도록 설정하였다. 선박의 진행은 북쪽으로 진행되는 통항을 상정하였다.

선박교통흐름의 시간 간격은 지수분포를 따라 발생되도록 하였다. 소형선(0~20m), 중형선(20~100m), 대형선(100m이상)의 3종류로 선형을 구성하였고, 일반적인 7:2:1의 구성비로 자동 생성되도록 하였다. 선박의 속력은 6kts에서 ±3kts범위 내에서 정규난수로 생성하도록 설정하였다. 또한, 모의시뮬레이션인 이유로 10배속의 속도로 자동 피항이 이루어지면서 선박 항해가 되도록 설계하였다. 피항시에는 각 선형별로 주어진 임의의  $K$ ,  $T$ 값에 의거하여 선박항해가 이루어진다.

### 4.2 모의시뮬레이션 검증

Fig. 6(a)는 Fig. 5의 프로세스에 따라 시뮬레이션을 진행하였을 때 선형별로 선박이 생성되어 항해하는 상황을 나타내었다. Fig. 6(b)는 각 선박들이 통항하면서 자동적으로 피항이 이루어지는 상황을 나타낸 것이다.

모의시뮬레이션의 수치적인 결과를 검증하기 위하여, 시뮬레이션 수행 중 15초 간격으로 자료를 기록하였다. Fig. 7에서는 시각대별 발생척수, 선박번호(선박종류 확인가능), x좌표, y좌표, 속도, 침로 및 Dummy 수치가 기록되어 시각대별 발생한 선박들의 항행궤적, 속도, 선종, 피항 관계 등을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

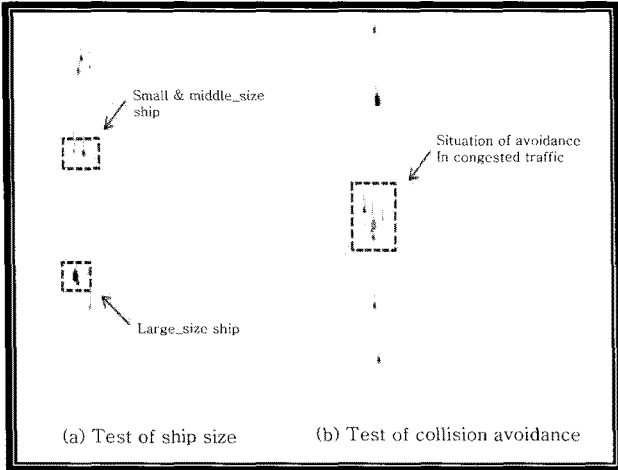


Fig. 6. The results of simulation for automatic collision avoidance in marine traffic.

Simulation time(15sec.), Ship's occurrence on 15 sec.  
 Ship's no., Axis of x , Axis of y, Speed, Course, Dummy 1, 2, 3, ...

25710 12										
581	5146.1	7186.8	3.636	360.0	0 0	360.0	3.64	0 0	7186.8	
217	5333.0	7858.1	4.690	360.0	0 0	360.0	4.69	0 0	7858.1	
28	4861.4	9953.6	6.066	360.0	0 0	360.0	6.07	0 0	9953.6	
341	5210.0	9498.0	6.358	360.0	0 0	360.0	6.36	0 0	9498.0	
651	4935.4	6176.5	5.160	360.0	0 0	360.0	5.16	0 0	6176.5	
61	5115.5	4554.6	4.148	360.0	0 0	360.0	4.15	0 0	4554.6	
462	5008.0	3713.1	3.808	360.0	0 0	360.0	3.81	0 0	3713.1	
69	4941.3	5377.7	5.605	0.2	0 0	0.2	5.60	0 0	5377.7	
106	5156.9	5392.1	6.734	360.0	0 0	360.0	6.73	0 0	5392.1	
164	4857.4	2410.8	6.197	360.0	0 0	360.0	6.20	0 0	2410.8	
721	5262.6	902.9	4.279	360.0	0 0	360.0	4.28	0 0	902.9	
342	4902.1	391.8	3.134	360.0	0 0	360.0	3.13	0 0	391.8	
25725 11										
581	5146.1	7241.4	3.636	360.0	0 0	360.0	3.64	0 0	7241.4	
217	5333.0	7928.5	4.690	360.0	0 0	360.0	4.69	0 0	7928.5	
341	5210.0	9593.4	6.358	360.0	0 0	360.0	6.36	0 0	9593.4	
651	4935.4	6253.9	5.160	360.0	0 0	360.0	5.16	0 0	6253.9	
61	5115.5	4616.9	4.148	360.0	0 0	360.0	4.15	0 0	4616.9	
462	5008.0	3770.2	3.808	360.0	0 0	360.0	3.81	0 0	3770.2	
69	4941.5	5461.8	5.605	0.2	0 0	0.2	5.60	0 0	5461.8	
106	5156.9	5493.2	6.734	360.0	0 0	360.0	6.73	0 0	5493.2	
164	4857.4	2503.7	6.197	360.0	0 0	360.0	6.20	0 0	2503.7	
721	5262.6	967.1	4.279	360.0	0 0	360.0	4.28	0 0	967.1	
342	4902.1	438.8	3.134	360.0	0 0	360.0	3.13	0 0	438.8	

Fig. 7. The recording data of simulation for automatic collision avoidance in marine traffic.

해상교통 연구는 선박의 교통흐름과 실태를 파악하고, 선박의 행동을 통계적으로 또는 역학적으로 표현하여 그 결과를 항로, 항만의 시설 개선에 접목시키는 기술 분야라고 할 수 있다.

이 같은 연구가 더욱 발전되고 해상교통 시스템에 접목되기 위해서는 해상에서의 선박교통흐름에 대한 정확한 이해가 무엇보다 필요하다. 그러나 지금까지의 해상교통과 관련한 연구는 일정기간의 선박 입출항 데이터를 기초로 한 통계적인 분석이 주로 수행되었고, 피항 원리 및 선박발생 모델 등과 관련하여 부분적인 연구들이 진행되어 왔으나 통합적인 선박교통흐름의 재현 모델에 관한 연구는 상대적으로 부족하였다.

이와 같은 이유로 본 연구에서는 자동 피항이 선박군내에서 이루어지며 재현되는 선박교통흐름에 관한 통합프로그램을 구축하였다. 구체적으로 K, T운동 모델과 선박발생 알고리즘을 이용하여, 자동피항 기능을 가진 다수 선박의 흐름을 재현하는 프로그램을 구축하였다. 개발된 모델은 모의시물레이션을 실시하여 선박의 출현 및 그 피항 관계를 검증하였다.

본 연구에서는 통항 경로대 및 항로에 대한 부분은 고려하지 않고 일반수역을 가정하고 시물레이션 프로세스를 진행하였다. 향후 과제으로써 여러 형태의 항로상에서 모의 피항 및 선박발생을 검증하는 부분도 보완하여 연구를 진행할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] 손경호, 이성욱, 배정철(1997), 출입항 조종의 실시간 시물레이션 기법 및 부산항에의 적용에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제3권, 제2호, pp. 33-49.
- [2] 양원재, 신철호, 금중수(2004), 인간과실을 유발하는 피로요인 분석에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제10권, 제2호, pp. 1-6.
- [3] 임정빈, 김현중(1999), 가상현실 선박 시물레이터의 시스템 설계, 해양환경안전학회지, 춘계학술발표회, pp. 7-17.
- [4] 조익순, 이상진, 김인철, 황의선, 임광태(2009), 해상교통안전진단제도 및 기술기준 소개, 해양환경안전학회, 춘계학술발표회, pp. 79-84.
- [5] Hasegawa, K., A. Kouzuki, T. Muramatsu, H. Komine and Y. Watanabe(1989), Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System(SAFES), Journal of the society of Naval Architecture of Japan, Vol. 166, pp. 45-52.
- [6] Imazu, H. and A. M. Sugisaki(1979), A Theoretical Analysis of Collision Risk for Vessel, Ship Operation Automation, ISSOA-79, pp. 190-195.
- [7] Journee, J. M. M(2002), "Ship Hydromechanics", Delfe University, pp. 89-90.
- [8] 藤井弥平, 田中健一, 渡辺健次, 山田一成, 關正美(1966), 船舶の閉塞領域について, 日本航海學會論文集, 第35号, pp. 71-76.

- [9] 原潔, 井上欣三, 田中宏, 加藤雅司(1983), 航跡による航行の危険性と変針上の余裕に関する評価法, 日本航海學會論文集, 第69号, pp. 181-187.
- [10] 井上欣三, 宇佐美茂, 世良亘(1993), 避航操船の困難度評価指標の開発—操船環境總合化モデルの提案, 日本航海學會論文集, 第89号, pp. 187-195.
- [11] 井上欣三, 増田憲司, 世良亘, 臼井英夫(2000), 海上交通安全評価のための技術的なガイドライン政策に関する研究—IV.ニアミス危険の定量化と總合化への指針, 日本航海學會論文集 102号, pp. 203-209.

---

원고접수일 : 2009년 12월 24일

원고수정일 : 2010년 02월 05일 (1차)

: 2010년 03월 08일 (2차)

게재확정일 : 2010년 03월 24일