

# 선박의 항행정보시스템을 위한 상황 예측 시뮬레이션 방안 연구

이미라<sup>1†</sup>

## Study of Situation Prediction Simulation for Navigation Information System of Ship

Mira Yi

### ABSTRACT

Modern marine navigation requires officers on the bridge to monitor a torrent of data on both the insides and outsides of the ship from numerous useful devices. But despite these tools, navigators can still find it difficult to make a safe decision for two reasons: one is that too much data if provided too quickly tends to cause fatigue and overwhelm the officer, and the other is that any inconsistency across data from several different types of devices can lead to confusion. Indeed, the fact remains that the many marine accidents can be attributed to human error, and hence there is a strong need for decision-support tools for marine navigation. One technique of providing decision support is through the use of simulation to evaluate or predict system dynamics over time using an accurate model. This paper, as a simulation method for risk prediction for a navigation safety information system of ship, suggests a navigation prediction simulation system using various knowledge bases and discrete event simulation methodology, and supports the validity of the system through the examples of components in a restricted navigation situation scenario.

**Key words** : Navigation Situation Prediction, Navigation Simulation, Navigation Information System, DEVS, SES

### 요 약

최근의 현대화된 다양한 항해장비들로 인해 선박에 있는 항해사들은 위험상황 인식에 도움이 될 수 있는 정보들을 획득할 수 있게 되었다. 하지만, 이러한 유용한 도구들에도 불구하고 항해사들은 여전히 안전항행을 위한 의사결정에 어려움을 겪고 있는데, 이는 다양한 장비들이 제공하는 선박 내·외 상황에 관한 많은 양의 데이터를 지속적으로 관찰해야 한다는 항해사의 부담과 여러 장비 간 정보의 불일치성 때문이다. 실제로, 많은 해양 사고가 항해사의 부주의에 의해 일어나고 있다는 것이 이미 잘 알려져 있다. 따라서, 항행 상황의 일부 정보만을 제공하는 보조 장비를 넘어서 항해사의 의사결정을 도울 수 있는 지원 도구가 요구되고 있다. 시뮬레이션은 의사결정을 지원 할 수 있는 기술 중 하나며, 선박에서의 실시간 주변상황에 대한 종합적인 평가 및 예측 가능한 시스템은 항해사의 안전항행에 대한 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 이 논문은 선박을 위한 항행안전정보 시스템에서의 위험 상황 예측을 위한 시뮬레이션 방안에 관한 연구로서, 다양한 지식 베이스 및 이산 사건 시뮬레이션 방식을 활용한 시스템 전체 구성 방법을 제안하고 제한된 항행상황 시나리오에서의 구성 요소들의 예시를 통해 시스템의 타당성을 보인다.

**주요어** : 항행 상황 예측, 항행 시뮬레이션, 항행정보시스템, DEVS, SES

## 1. 서 론

\*이 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

2010년 8월 29일 접수, 2010년 9월 17일 채택

<sup>1)</sup> 목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수

주 저 자 : 이미라

교신저자 : 이미라

E-mail: yimira@mmu.ac.kr

최근의 현대화된 다양한 항해장비들(ECDIS, AIS, ARPA 레이더, GPS, NavTax, VHF/MF 등)로 인해 선박에서는 항해사의 위험상황 인식에 도움이 될 수 있는 정보들을 획득할 수 있게 되었다. 이 중 특히 ARPA(자동 레이다 플로팅 기능), ECDIS(전자 해도 출력 및 정보 시

시스템), AIS(선박 자동 식별 시스템)는 타선박들의 정보와 수로에 관한 유용한 정보를 제공하여 항해사의 의존도가 높은 장치들이다.

하지만, 이러한 유용한 도구들에도 불구하고 항해사들은 여전히 안전항행을 위한 의사결정에 어려움을 겪고 있으며, 이러한 이유는 크게 두 가지이다. 하나는 다양한 장비들이 제공하는 선박 내·외 상황에 관한 많은 양의 데이터를 지속적으로 관찰해야 한다는 것은 항해사에게 상당한 피로감을 준다는 것이고, 다른 하나는 여러 장비 간 특성 차이로 인해 동일한 대상에 대해 불일치한 정보를 제공한다는 것이다<sup>[1]</sup>. 실제로, 국제해상충돌예방규칙에서도 ‘사용 가능한 모든 수단’의 활용에 대한 중요성을 강조하면서도 불확실한 정보에 근거한 추측에 대한 경고를 하고 있으며(관련규칙 7번)<sup>[2]</sup> 많은 해양 사고가 항해사의 부주의에 의해 일어난다는 것은 이미 잘 알려져 있다<sup>[3]</sup>. 그러므로 항행 상황의 일부 정보만을 제공하는 것이 아닌, 항해사의 의사결정을 도울 수 있는 지원 도구가 필요하다.

시물레이션은 시간의 흐름에 따라 시스템의 동적 특성을 평가하거나 예측함으로써 의사결정을 지원 할 수 있는 기술 중 하나이다<sup>[4]</sup>. 해양 분야에서 시물레이션은 항해사 훈련이나 육상의 VTS(Vessel Traffic Service, 해상교통관제)센터에서의 선박 모니터링을 위한 도구 등으로는 활용되어 왔으나<sup>[5,6]</sup>, 항행하는 선박에서의 의사결정 도구로서 활용되는 사례는 찾아보기 어렵다. 선박에서는 VTS 정보를 수신하기도 하지만, VTS에서는 거시적으로 다양한 선박들의 통행 상황 분석 등을 하기 위한 것으로서 선박이 필요한 가까운 주변 상황의 다양한 실시간 항행상황 정보를 모두 갖고 있지 못한다. 따라서, 선박에서의 실시간 주변상황에 대한 종합적인 평가 및 예측 가능한 시스템의 도입은 항해사의 안전항행에 대한 의사결정에 도움을 줄 수 있다는 측면에서 필요하다.

이 논문은 선박을 위한 항행안전정보 시스템에서의 위험 상황 예측을 위한 시물레이션 방안에 관한 연구로서, 다양한 지식 베이스 및 이산 사건 시물레이션 방식을 활용한 시스템 전체 구성 모듈들을 제안하고 제한된 항행상황 시나리오에서의 구성 요소들의 예시를 통해 시스템의 타당성을 보인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구와 배경이론을 소개하고, 3장에서는 제안하는 항행상황 예측 시물레이션 시스템을 설명하며, 4장에서는 제안 시스템에 대한 제한된 상황을 가정하여 각 시스템 모듈별 상세 예시를 기술하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구 및 배경이론

이 장에서는 관련연구로서 지능형 항행안전정보시스템과 이와 관련한 이산 사건 시스템 관점의 접근 방법에 관한 기존 연구 내용을 소개하고, 배경이론으로서 이산 사건 시스템 모델링 방법으로 많이 활용되고 있는 DEVS(Discrete Event system Specification)와 시스템 구조 모델링 방법인 SES(System Entity Structure)를 간단히 요약한다.

### 2.1 지능형 항행안전정보시스템과 이산 사건 시스템 관점

선박의 안전항행을 위한 정보시스템에 대한 최근의 연구로 항해중인 선박이 다양한 항행 장비들을 통해 획득한 여러 유형의 선내·외 안전 정보들을 통합하여 항행 상황의 판단 및 예측 할 수 있는 지능형 항행 안전 정보 시스템(INIS: Intelligent Navigation Safety Information System)이 소개되었다<sup>[1]</sup>. 이 제안 시스템은 JDL이라는 정보융합 기술을 바탕으로 하고 있으며 시스템의 구성은 그림 1에서와 같이 크게 세 모듈인 초기데이터 입력, 전처리, 항행 정보 융합(NIF)로 이루어진다. 각종 항행 장비로부터 얻어지는 초기 원본 데이터는 전처리 과정을 통해 항행정보 융합 모듈이 사용 할 수 있는 형태로 가공된다.

실제 항해사의 의사결정에 도움이 될 수 있는 형태의 결과물은 네 단계의 정보 융합 모듈로 구성되는 NIF에서 처리된 출력 내용이다. 각 단계별 정보 융합의 목적은 1 단계에서는 항행 선박 주변의 개체들을 정제하기 위해, 2 단계에서는 자선(自船)과 주변 개체들을 포함하여 개체 간 관계를 통한 현재 상황 인지를 위해, 3단계에서는 미래 항행 상황 예측을 위해, 마지막으로 4단계는 3단계의 예측을 기반으로 안전을 위한 선박의 항행 계획을 위한

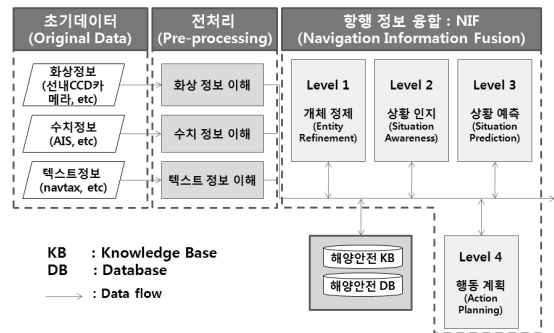


그림 1. 지능형 항행안전정보시스템 구조

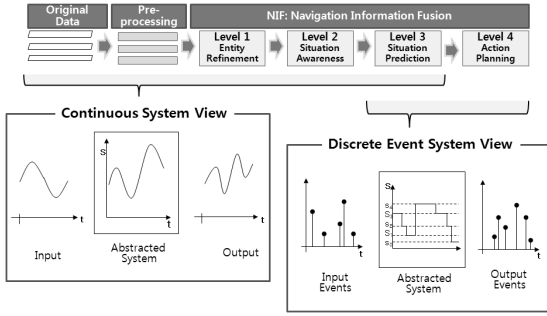


그림 2. INIS에서의 연속/이산사건 시스템 관점의 이해

정보 융합이다.

각 모듈별로 여러 상세 연구가 진행되고 있으며, 특히 상황 예측을 위한 이산 사건 시스템 관점의 해석의 필요성이 최근에 소개된 바 있다<sup>7)</sup>. 그림 2에서 보는 바와 같이, 개체정제와 상황인지 단계에서는 실시간으로 연속해서 들어오는 데이터들을 분석해야하므로 ‘연속시스템’ 관점의 이해로 충분 할 수도 있겠지만, 상황예측 단계에서는 항행 안전상 중요하게 상태를 변화시키는 사건(event) 중심으로 분석 할 필요가 있기 때문에 ‘이산사건 시스템’ 관점의 이해가 필요하다. 즉, 상황 예측 단계에서는 어느 정도 가까운 미래(10분 혹은 30분)에 예상되는 항행위험도를 평가해야 하는데, 모든 상황을 고려하기에는 실시간 시스템으로서 항행에 바로 도움을 줄 수 없기 때문에 상황인지 단계에서의 결과를 기준으로 선박 안전과 관련한 중요 요소들의 이벤트에만 초점을 맞춘 시뮬레이션이 필요하다.

간단한 이산 사건 시스템을 표현하기 위해 Automata 나 Petri-nets 등의 방법이 일반적으로 사용되기도 하지만, 복잡하거나 규모가 큰 시스템의 동적 특성들을 다루기 위해서는 좀 더 체계적이면서도 유연한 DEVS와 같은 접근 방법이 필요하다.

## 2.2 DEVS와 SES

DEVS(Discrete Event system Specification) 형식론은 연속적인 시간상에서 발생하는 이산 사건을 처리하는 시스템을 표현하기 위해 이론적으로 잘 정립된 모델링 방법론이다<sup>4)</sup>. 이는 모델의 구조와 행동을 시뮬레이션 수행으로부터 추상화시키기 위하여 집합 이론을 바탕으로 정의한 모델링 방법으로서, 시스템을 계층적(hierarchical)이고 모듈화(modular)된 형태로 표현하기 용이하게 해준다. 이러한 특징을 DEVS에서는 두 가지 모델 유형 - 기본(Basic)모델과 결합(Coupled)모델 - 로 제공하는데, 기

본모델(M)은 시스템의 동적인 특성을 표현하기 위한 것이고, 결합모델(DN)은 시스템의 구성 요소 간의 상호 작용을 표현하기 위한 것이다. 여기서 결합모델은 더 큰 단위의 상위 모델의 기준에서는 구성 요소의 단위로 사용이 가능하여 시스템을 계층적으로 표현 할 수 있게 한다.

다음은 기본 모델과 결합모델의 정의이다.

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, t_a \rangle$$

- X : 입력 이벤트의 집합
- S : 상태집합
- $\delta_{int}$  : 내부 상태변이 함수,  $S \rightarrow S$
- $\delta_{ext}$  : 외부 상태변이 함수,  $Q \times X \rightarrow S$   
(단, Q는 (s, e),  $s \in S$ , e: elapse-time)
- $\lambda$  : 출력 함수
- $t_a$  : 시간 갱신 함수

$$DN = \langle D, \{M_i\}, \{I_i\}, \{Z_{i,j}\}, select \rangle$$

- D : 구성요소 이름
- M : 구성모델
- $I_i$  : 모델i와 연관된 모델의 집합
- $Z_{i,j}$  : 모델 i와 j모델간의 연결함수
- select : tie-breaking selection 함수

한편, 시스템의 구조적 지식을 효과적으로 표현할 수 있는 방법으로는 앞서 기술한 DEVS를 정의한 Zeigler가 제안한 개념인 SES(System Entity Structure)가 유용하게 활용될 수 있다<sup>4)</sup>. SES에서는 모델 정의를 위한 실제의 개념적 구성요소를 엔티티(entity)로 나타내고, 엔티티들의 연관관계를 그 특성에 따라 세 가지 형태로 나타낸다. 엔티티들의 관계는 각각 노드와 간선으로 나타내기 때문에, SES는 트리(tree) 형태로 표현되며 관계를 나타내는 간선은 그 선의 종류(단선, 2중선, 3중선)로 연관관계의 특성을 구분하는데 그 내용은 다음과 같다.

- decomposition ( | ) : 엔티티의 구성요소
- specialization ( || ) : 엔티티의 종류
- multiple decomposition ( ||| )  
: 복수개의 엔티티가 또 다른 엔티티의 구성요소

## 3. 항행상황 예측 시뮬레이션 시스템

이 장은 제안하는 항행상황 예측 시뮬레이션 시스템에 대한 전체 구성도와 핵심 요소가 되는 지식베이스들에 대

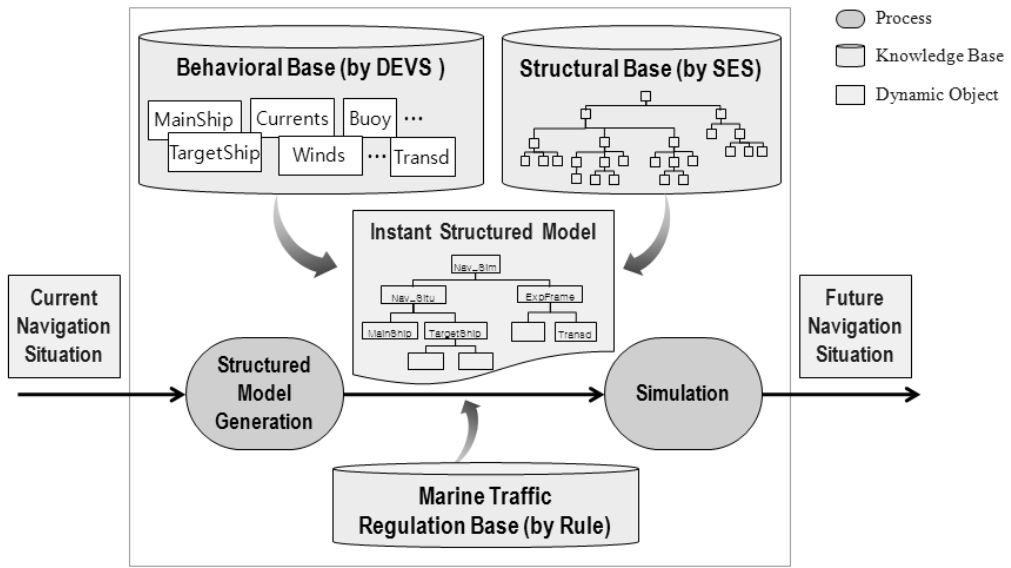


그림 3. 항행 상황 예측 시뮬레이션 시스템 구성도

한 설명으로서 [7]에서의 기초 개념을 확장시켜 구체화 한 것이다.

### 3.1 시스템 전체 구성도

항행안전상황 예측을 위한 시뮬레이션 시스템의 전체적인 구성도는 그림 3과 같다. 시스템은 세 가지 지식 베이스와 두 개의 프로세스 모듈로 구성되어 있으며 이는 각각 동적 베이스(Behavioral Base), 구조적 베이스(Structural Base), 해상교통규약 베이스(Marine Traffic Regulation Base), 구조화 모델 생성(Structured Model Generation) 프로세스, 시뮬레이션(Simulation) 프로세스이다.

시뮬레이션 시스템이 실행 될 때는 세 가지 주요 객체가 생성되며, 이는 현재의 항행상황을 객체화 한 ‘현재 항행 상황(Current Navigation Situation)’, 미래의(10분 혹은 30분 후) 항행 상황을 객체화 한 ‘미래 항행 상황(Future Navigation Situation)’, 변화하는 항행 상황에 적절한 규모로 시뮬레이션 하기 위해 구조화된 모델인 ‘임시 구조화 모델(Instant Structured Model)’이다. 현재항행상황 데이터는 INIS에서의 ‘상황인지’단계의 결과물을 객체화 하여 입력되는 형태이며, 이 데이터를 근거로 세 개의 지식 베이스를 이용하여 임시구조화모델이 생성되며, 이에 대한 시뮬레이션 실행이 완료되면 미래항행상황 데이터가 출력 된다.

동적 베이스는 항행안전상황 예측을 위해 필요한 모든

단위 요소들(자선박, 주변 선박, 암초, 부표, 조류, 바람 등)의 동적인 특성을 재사용 가능한 시뮬레이션 모델 형태로 표현한 것으로서, 각 모델은 DEVS 형식론 방식으로 정의된다.

구조적 베이스는 동적 베이스의 모델들이 연동하며 항행시뮬레이션을 하기 위한 모든 가능한 구조와 관련한 지식을 계층적으로 표현하기 위한 지식 베이스이며, 이는 SES 형태로 정리되어 표현된다.

해상교통규약 베이스는 항행 안전 관련한 국내해상교통법과 국제해상충돌예방 규칙인 COLREGs 등의 내용을 활용하기 위한 것으로서, 일반적인 규칙(if-then) 형태로 표현한다.

구조화모델생성 프로세스는 앞의 동적 베이스와 구조적 베이스에 기반하여, 입력된 현재항행상황에 적합한 형태로 구조화된 시뮬레이션 모델인 임시구조화모델을 생성하게 되는데 이 구조화 모델은 트리 형태의 구조적 베이스를 가지치기(pruning)한 서브 트리의 모양을 갖게 된다. INIS에서의 전처리 과정을 거친 항행 안전상황 데이터는 이 서브 트리 모양을 결정하는 근거가 될 뿐 아니라 각 구성 모델에 필요한 파라미터 값을 설정하기 위한 데이터로도 활용된다.

시뮬레이션 프로세스는 임시구조화모델을 실제 실행하는 모듈로서 해상교통규약 베이스를 이용하며 실행이 완료되면 앞으로의 항행상황을 예측한 내용으로 결과를 출력해준다.

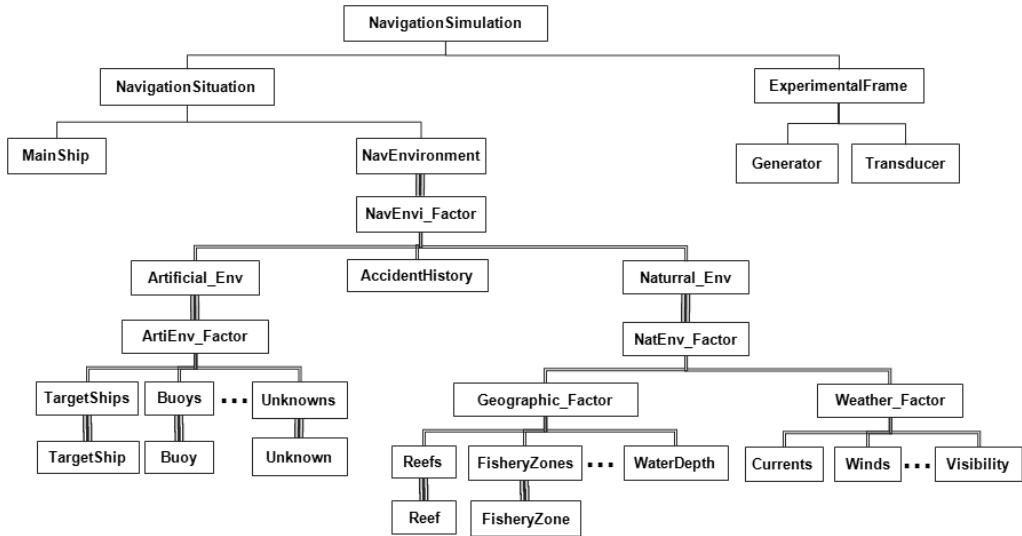


그림 4. 항행 상황 시뮬레이션을 위한 구조적 베이스

### 3.2 세 가지 지식 베이스

#### 3.2.1 구조적 베이스

설계 가능한 구조적 베이스는 그림 4와 같다. 전체 항행 시뮬레이션은 ‘NavigationSituation(항행상황)’과 ‘ExperimentalFrame’이라는 서브 시스템으로 구성되며, NavigationSituation은 ‘MainShip(자선)’과 ‘NavEnvironment(항행환경)’이라는 또 다른 요소로 구성되는 구조이다. 또, 항행환경 요소는 인공 환경, 자연 환경, 항행주변의 해양사고이력의 종류로 나뉘며, 인공 환경은 주변 선박, 부표 등으로 구성되고 자연 환경은 지형 요소, 날씨 요소 등으로 구성된다.

이러한 엔티티들은 항행 상황에 따라 필요한 형태의 시뮬레이션 구조로 생성될 수 있다. 예를 들어, 비가 오는 날씨에 통항량이 많은 협수로를 지나는 경우라면 거의 모든 환경 요소들이 복잡하게 구성되게 되며, 맑은 날 대양에서의 타선박 한 척과 조우하는 경우에는 환경 요소로 주변 선박 하나만으로 시뮬레이션 구조를 단순하게 구성할 수 있다.

ExperimentalFrame은 시뮬레이션 실행 시 모델의 임의성이 부여되어지는 요소에 필요한 외부 입력 데이터를 생성하는 Generator와 시뮬레이션이 진행되는 동안 각 모델의 output들을 수집하여 시뮬레이션이 종료된 후 보고될 결과를 작성하는 Transducer로 구성된다.

#### 3.2.2 동적 베이스

동적 베이스는 항행 시뮬레이션을 위한 단위 요소들이

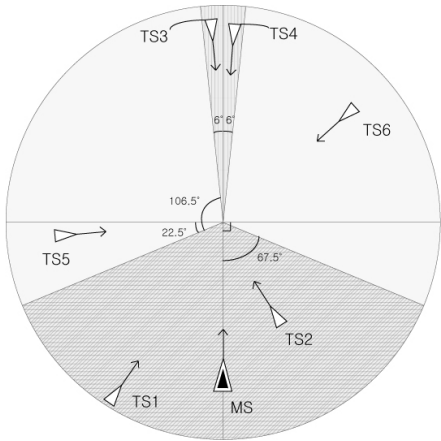
시간에 따라 변화해가는 동적 특성을 2.2절에서의 DEVS 형식론 방식으로 정의한 모델 베이스이다. 앞서 설명한 구조적 베이스에서의 말단 노드들은 기본모델 형태로 정의되며, 중간 노드들은 결합모델 형태로 정의된다.

예를 들어, MainShip은 주변 환경을 고려하여 시간에 따른 항행 위험도를 관찰하기 위한 모델이고, TargetShip은 자선 주변의 선박이 시간에 따른 위치 및 방향 변화를 관찰하기 위한 모델이다. 또, AccidentHistory는 자신의 위치변화에 따라 주변 해상에서의 사고이력을 분석하는 모델이고, Visibility는 시간에 따른 시계(視界)의 변화를 관찰하기 위한 모델이다. 이외의 다른 모델들도 이와 유사하게 항행 상황에 영향을 줄 요소로서 시간에 따른 변화 관찰을 위한 목적으로 정의된다. 단, 부표(buoys), 암초(reefs), 어로구역(fishery zone) 등은 객체 자체의 변화가 아닌 자선의 이동에 따른 상대 위치 및 날씨 변화에 따른 영향을 받아 변화하는 특징을 다루기 위한 모델이다.

주변 환경 관련 모델에서 발생하는 모든 출력은 MainShip과 Transducer로 전달되고, MainShip에서 자신의 상황과 주변 환경과의 관계를 통해 항행 위험도를 산출하여 출력하면 이 내용이 Transducer에 다시 전달되도록 한다.

#### 3.2.3 해상교통규약 베이스

항행상황을 시뮬레이션 하기 위해서는 해상에서의 원활한 교통흐름을 통한 충돌회피 및 안전 항행 관련된 지식을 이용해야 하며, 이와 관련해서는 국제해상교통규약(COLREGs)의 내용을 반영해야 한다<sup>[8,9]</sup>. 교통규약에는



- 상황1. 추월(정형후 22.5도를 넘는 타선박):  
 - 추월선(TS1, TS2): 피추월선 진로 방해하지 않고 회피  
 - 피추월선(MS): 진로(방향,속도) 유지
- 상황2. 정면(정 반대방향 타선박):  
 - 각자(TS3, TS4, MS): 우측으로 회피
- 상황3. 횡단(진로를 횡단하는 타선박):  
 - 피항선(TS5): 우측으로 회피하며 횡단, MS는 유지선이 됨  
 - 유지선(TS6): 진로(방향,속도) 유지, MS는 피항선이 됨

그림 5. 조우 선박 위치에 따른 상황별 조치 사항

날씨(파도, 시계 등)에 따른 대응, 안전 속도 규정, 협수로에서의 의무, 타선박과 조우 할 때 선박들이 취할 충돌 회피 동작, 상황에 따른 항해등과 음향신호 사용법 등 다양한 규칙들을 포함하고 있다<sup>12)</sup>.

해상교통규약 중에서 특히 주변 선박들과의 충돌을 회피하기 위한 동작에 관한 규약은 항행시뮬레이션 시스템을 구축하는데 있어서 필수적으로 반영되어야 할 내용인데, 이는 해양 사고의 형태가 선박간의 충돌인 경우가 거의 40%에 해당하며<sup>13)</sup> 상대선박에 대한 좌/우, 전/후 경계 소홀 및 일반적인 항법에 따른 피추월 선박의 예상동작을 고려하지 않는 것이 원인인 경우가 상당한 비중을 차지하고 있기 때문이다<sup>10)</sup>. 예를 들어, 그림 5는 조우하는 상대 선박의 방향별 조치방법(교통규약, 규칙 13번~17번)을 요약한 것이다. 이를 항행 시뮬레이션에 반영하기 위한 지식베이스는 if-then 구조의 규칙 형태로 정리하여 표현 가능하며 이는 표 1과 같다.

조우 선박에 관한 피항 규칙 뿐 아니라 다른 종류의 규약들도 위와 같은 과정으로 정리하여 해상교통규약 베이스를 구성할 수 있다.

표 1. 조우 선박 간 피항 규칙 베이스

IF	THEN
$112.5^\circ < \text{ang}(\text{MS}, \text{TS}) < 247.5^\circ$	MS : 진로유지 TS : MS 방해금지 및 회피
$0^\circ < \text{ang}(\text{MS}, \text{TS}) < 6^\circ$ $\parallel 354^\circ < \text{ang}(\text{MS}, \text{TS}) < 360^\circ$	MS : 우현 회피 TS : 우현 회피
$6^\circ < \text{ang}(\text{MS}, \text{TS}) < 112.5^\circ$	MS : 우현 횡단 TS : 진로 유지
$247.5^\circ < \text{ang}(\text{MS}, \text{TS}) < 354^\circ$	MS : 진로 유지 TS : 우현 횡단

\*  $\text{ang}(\text{MS}, \text{TS})$ 는 MS기준 TS의 상대 위치 각도

표 2. 항행 상황 데이터 구조

구분	항목	내용
상황 인지 결과	종합	종합위험도 평가 결과
	단위	단위 요소별(타선박, 부표, 암초, 어로구역, 수심, 조류, 바람 등) 위험도 평가 결과
상세 상황 데이터	자선	- 구조 : 선종, 크기 - 항행 : 위치, 선각, 선속, 항로 - 선내 : 엔진 상태
	주변 선박	- 구조 : 선종, 크기 - 항행 : 위치, 방향, 선속
	주변 물체	- 부표 : 위치, 방향, 속도 - 미확인 : 위치, 방향, 속도
	자연 환경	- 지형 : 암초, 수심, 어로구역 - 날씨 : 조류, 바람, 시계
	사고 이력	- 사고 건수 - 사고 내용 : 위치, 유형, 원인

### 3.3 항행 상황 데이터

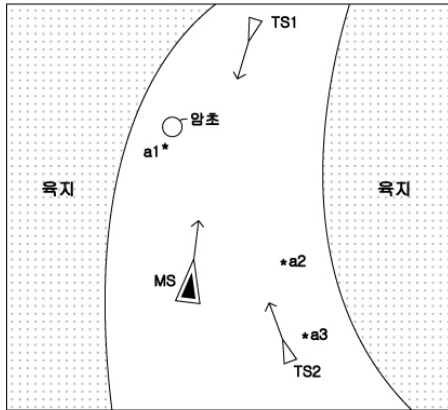
시뮬레이션 모듈로 입·출력 되는 항행 상황 데이터는 INIS의 상황인지 단계의 결과와 구체적인 상세 상황 관련 데이터로 구성되며, 각 항목별 상세 내용은 표 2와 같은 구조로 표현된다.

## 4. 항행상황 예측 시뮬레이션 시나리오 예시

이 장에서는 앞에서 제시한 시뮬레이션 시스템에 대해 제한된 항행 상황을 가정하여 구성 요소별 구체적인 예시를 보이고자 한다.

### 4.1 항행 상황 시나리오와 입력 데이터

항행 상황은 안개로 인해 시계가 좋지 않은 날씨에 협수로에서 두 선박과 조우하는 것을 가정하였다. 그림 6에



\*: 해양 사고 발생 지점

그림 6. 항행 상황 시나리오

표 3. 시나리오의 ‘현재항행상황’ 데이터 예

구분	항목	내용
상황 인지 결과	종합	종합위험도 : 55%, 주의
	단위	- 타선박에 의한 위험도 : 50%, 주의 - 암초에 의한 위험도 : 23%, 다소 안전 - 시계에 의한 위험도 : 60%, 다소 위험 - 주변 사고 건수 : 3건
상세 상황 데이터	자선	- 구조 : BulkCarrierS, (215.4 x 31.8 x 11.5) - 항행 : (34°38.6'N, 126°13.0'E), 2°, 15kts - 선내 : 엔진상태 양호
	주변 선박	TS1 - 구조 : VLCCS, (322.0 x 56.0 x 10.8), - 항행 : (34°43.7'N, 126°13.3'E), (186°, 4°), 10kts TS2 - 구조 : ContainerS, (202.4 x 31.0 x 8.9) - 항행 : (34°36.2'N, 126°15.1'E), (340°, 143°), 20kts
	주변 물체	없음
	자연 환경	- 지형 : 암초(34°42.2'N, 126°12.6'E), (150.2 x 83.7) - 날씨 : 시계(3~5NM), 조류(170°)
	사고 이력	- 사고 건수 : 3 - 사고 내용 : a1((34°42.1'N, 126°12.6'E), 좌초, 암초), a2((34°38.9'N, 126°14.9'E), 충돌, 추월오판), a3((34°38.1'N, 126°15.2'E), 좌초, 약천후)

서와 같이 자선 MS를 기준으로 하여 조우하는 두 선박 중 하나는 정면으로 조우하는 선박 TS1이고, 다른 하나는 우측 후방에서의 추월 선박 TS2이다. 선박 외에도 좌측

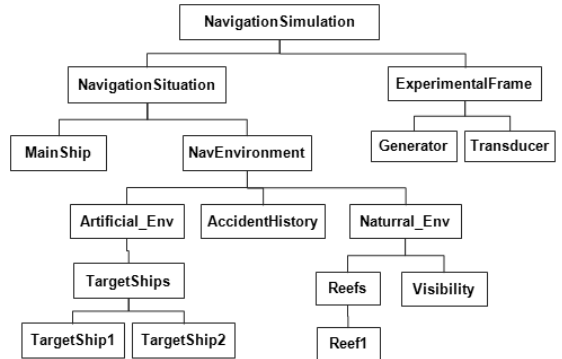


그림 7. 시나리오의 ‘임시구조화모델’의 예

전방에 암초가 있으며 해양 사고가 세 건으로 기록되어 있는 항로를 지나고 있다.

가정된 항행 상황의 경우 항행상황 예측 시뮬레이션 시스템에 입력되는 현재항행상황 데이터의 예시는 표 3과 같다. 종합적인 항행 위험도는 ‘주의’ 수준이며, 위험 요소별로 단위 위험도와는 약간 차이가 있다. 즉, 다른 방향으로 조우하는 타선박들이 두 척이나 있어 ‘주의’해야 하지만, 암초의 경우 항로 방향에서 좌측으로 빗겨나 있어 ‘안전’ 수준이며 안개가 다소 위험한 수준으로 시계에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이러한 상황인지와 관련된 구체적인 근거는 상세 상황 데이터로 확인 가능하다.

#### 4.2 예측 시뮬레이션 구조

앞의 시나리오에서의 상황에 대해 항행시뮬레이션 시스템에서 생성되는 임시구조화모델 구조의 예시는 그림 7과 같다. 이러한 모델 구조는 입력으로 들어온 현재항행 상황에서의 상황인지 내용을 근거로 만들어진 결과로서, 항행환경으로 두 척의 타선박, 암초, 시계, 사고이력에 관한 모델들만 구조적 베이스에서 선택되었다.

임시구조화모델의 말단노드와 비말단 노드는 DEVS를 기반으로 한 동적 베이스에서 각각 기본모델(M)과 결합모델(DN)로 정의되는데, 이 중에서 기본모델 형태의 MainShip 모델과 결합모델 형태의 Navigation Situation의 상세 구조에 대한 예시가 각각 그림 8과 그림 9에 나타나 있다.

자선 모델인 MainShip의 구조는 그림 8에서와 같다. 네 개의 입·출력 포트가 있으며 in은 ExperimentalFrame으로부터의 데이터 입력을 위한 포트, env\_var는 항행환경(NavEnvironment) 요소들의 변화 값을 입력받기 위한 포트, nav\_risk는 자선의 위험도 변화 값을 출력하기 위한

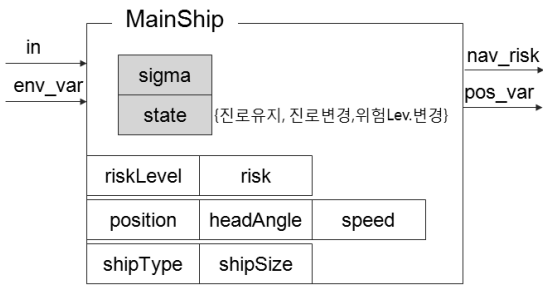


그림 8. MainShip 모델 구조 예

포트, pos\_var는 자선의 위치 변화 값을 출력하기 위한 포트를 의미한다. 모델 안의 사각형들은 모두 상태변수들을 나타내는데, 색이 칠해진 sigma와 state는 DEVS에서의 기본모델이 갖는 일반적인 의미와 동일하되 여기서 state는 ‘진로유지’, ‘진로변경’, ‘위험Lev.변경’ 중의 한 값을 갖게 된다. 그 외 다른 변수들은 좌측 상단부터 위험단계, 위험도, 위치, 선각, 선속, 선종, 크기를 의미한다. 이 모델과 관련된 외부 및 내부 상태변이 함수와 출력 함수의 의사코드의 일부를 기술하면 다음과 같다.

```

delta_ext(s, e, x) {
    // 외부 상태변이 함수
    변화된 위치 계산;
    if( port(x) == env_var )
        risk 재계산; riskLevel 재평가;
        if( riskLevel 조정 )
            state <= ‘위험Lev.변경’;
    :
}

delta_int(s) {
    // 내부 상태변이 함수
    변화된 위치 계산;
    :
}

lambda(s) {
    // 출력 함수
    if ( state == ‘위험Lev.변경’ )
        output (nav_risk, (riskLevel,risk));
    else
        output (pos_var, (position,headAngle,speed));
    :
}
    
```

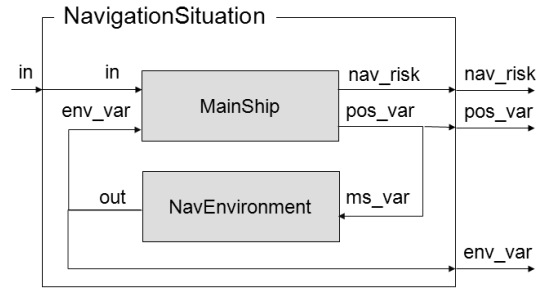


그림 9. NavigationSituation 모델 구조 예

항해상황 모델인 NavigationSituation 모델은 앞에서 의 MainShip과 항해환경 모델인 NavEnvironment로 구성된 결합모델로서, 그 구조는 그림 9와 같다. 결합 모델의 특성상 구성요소가 되는 모델과의 연결 방식만으로 모델이 정의되기 때문에 세 모델의 입·출력 포트 연결만 표현되어 있다. in, env\_var, nav\_risk, pos\_var은 MainShip에서와 동일한 의미의 데이터를 모델 간 주고 받기 위한 포트이고, out과 ms\_var은 각각 env\_var과 pos\_var 과 동일한 의미의 데이터를 전달하기 위한 것이지만 모델의 특성에 맞게 포트 이름만 변경한 것이다. 이 모델의 정의와 관련한 의사코드의 일부를 기술하면 다음과 같다.

```

CreateDigraphModel("NavigationSituation") {
    addComponent(MainShip);
    addComponent(NavEnvironment);
    addExtCoupling(this.in, MainShip.in);
    addExtCoupling(MainShip.nav_risk, this.risk);
    :
    addIntCoupling(NavEnvironment.out, MainShip.env_var)
}
    
```

### 4.3 시뮬레이션 출력 데이터

시뮬레이션 실행이 끝난 후 미래항해상황 데이터 예는 상세 상황 데이터를 생략하여 표 4와 같이 나타내었다. 표 3에서의 현재항해상황과 비교해보면 종합위험도, 타선 박과의 위험도, 암초에 의한 위험도가 증가하였다. 이러한 결과는 자신이 TS1과 정면 조우 할 때 서로 우현 회피를 해야 하지만 암초 때문에 TS1이 우현 회피에 한계가 있을 것으로 예상하여 TS1은 작게 우현 회피하고 자신은 크게 우현회피를 해야 할 것으로 예상되고, 또 다른 추월선 TS2가 빠른 속도의 추월선이므로 TS1에 대해 너무 크게 우현 회피하는 것도 위험하다는 예측 때문이다.



표 4. 시나리오의 ‘미래항행상황’ 데이터 예

구분	항목	내용
예측 상황 결과	종합	종합위험도 : 76%, 다소 위험
	단위	타선박에 의한 위험도 : 75%, 다소 위험 압초에 의한 위험도 : 40%, 다소 안전 시계에 의한 위험도 : 60%, 다소 위험 주변 사고 건수 : 3
상세 상황	.	.
	.	.
	.	.

## 5. 결 론

이 논문은 선박에서의 항행안전정보시스템을 위한 항행상황 예측 시뮬레이션의 체계적인 방안에 대한 연구로서 핵심 요소가 되는 관련 지식 베이스들의 표현 방식 위주로 진행된 내용을 정리하였다. 항행에 영향을 주는 요소들의 동적인 특성 표현을 위해 DEVS 방법론을 이용하였고, 항행 상황별 필요한 요소들만 구성하기 위해 요소 전체의 구조적 지식 표현을 위해 SES 개념을 활용했으며, 항행 규칙들 관련 지식은 if-then 형식의 규칙 베이스 형태로 표현하였다. 제한된 항행 상황을 가정하여 세 가지 지식 베이스와 시뮬레이션 실행 시 생성되는 객체들에 대한 구체적인 예시를 제공하여 제안 시스템의 타당성을 보고자 했다.

이 연구는 선박에서 주변 선박 및 자연환경 등의 다양한 요소들을 종합적으로 반영하여 실시간으로 시뮬레이션 하는 형태의 연구로는 처음 시도된 것이라는 의의가 있으며, 관련 연구를 지속한 후 지능형 항행안전정보시스템의 요소기술로 활용되어 항해사의 의사결정에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

향후에는 제안 시스템을 실현하기 위해 각 구성 모듈 별로 제한된 상황에서 아닌 일반적인 모든 상황을 반영하는 내용으로 상세 정의를 하고, 이후 모델링 및 시뮬레이터 환경 구축을 통해 상황 시나리오별 구현 검증이 이루어질 계획이다.

## 참 고 문 헌

1. 김도연, 조대운, 이미라, 박계각, “정보융합 기술 기반의 지능형 항행안전정보 시스템,” 한국지능시스템학회, 20(2), 2010년.
2. 1972 COLREGS 규정집
3. 박병수, 안영섭, “ANOVA에 의한 해양사고의 통계 분석,” 해양환경안전학회, 13(3), 2007년.
4. Bernard P. Zeigler, H. Preahofer, and T.G. Kim, Theory of Modeling and Simulation, Second Edition, Academic Press, 2000.
5. A.N. Ince and E. Topuz, “Modeling and Simulation for Safe and Efficient Navigation in Narrow Waterways,” The Journal of Navigation, pp. 53-71, 2004.
6. 이재식, 이준범, 오진석, “선박조종시뮬레이터를 이용한 반복 항해 훈련이 선박 조종에 미치는 영향,” 한국항해항만학회, 30(6), 2006년.
7. Mira Yi, Gyei-Kark Park, and Jongmyeon Jeong, “DEVS Approach for Navigation Safety Information System,” International Conference on Electronics, Information, and Communication, 2010.
8. 강일권, 김형식, 김민석, “‘72국제해상충돌방지규칙을 고려한 충돌위험도 결정 시스템,” 한국어업기술학회논문지, 45(2), 2009년.
9. 강성수, 이영일, 정희, “BK공과 COLREGs에 기반한 지능형 선박의 충돌회피시스템,” 한국해양정보통신논문지, 11(1), 2007년.
10. “연안 통항로 해상교통 환경 평가 연구” 연구보고서, 국토해양부, 2008년.



이 미 라 (yimira@mmu.ac.kr)

1998 성균관대학교 정보공학과 학사  
2000 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사  
2005 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사  
현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수

관심분야 : 이산사건 시뮬레이션, 인공지능, 해양안전정보시스템