

# 해상교통안전 진단 기술의 적정성 및 선박조종시뮬레이션 고도화

이윤석\*

\* 한국해양대학교 운항훈련원

## A Study on Adequacy of Audit Techniques and Advancement of Ship-Handling Simulation for Maritime Safety Audit

Yun-Sok Lee\*

\* Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

**요 약** : 최근 해상교통안전진단제도가 국내에 도입되면서 선박의 안전여부를 판별하는 중요한 핵심 기술 요소로 다양한 항행 환경을 인위적으로 재현하는 선박조종시뮬레이션이 활용되고 있다. 그러나 현행 시행지침에 명시된 진단기술은 국내 시뮬레이터 보유 기관에서 공통적으로 활용하고 있는 수행 절차 및 평가 방법 등을 일반화한 것으로 이에 대한 적절한 보완 또는 개선이 필요하다. 본 연구는 현행 선박조종시뮬레이션 진단기술의 기술력 분석과 함께 한계점 및 문제점 등의 적정성 평가를 수행하였다. 또한 선박조종시뮬레이션 선박모델의 표준화, 표준조선법, 평가 방법 등의 고도화 방안을 제시하였다. 이러한 연구 결과는 선박조종시뮬레이터 시스템 개선은 물론 해상교통안전진단제도에 활용되고 있는 진단 기술의 정량화 및 신뢰성 향상에 기여할 것으로 사료된다.

**핵심용어** : 해상교통안전진단, 선박조종시뮬레이션, 표준조선법, 선박모델, 평가 방법

**Abstract** : SHS(Ship-Handling Simulator) is virtual generation of vessel traffic situation under various environmental conditions. Recent, with the introduction of MSA(Maritime Safety Audit), SHS is being used as a key facility to determine the safety of navigation. However, the current audit techniques specified in the implementation guidance of MSA have been prepared by generalizing common procedures and evaluation methods used by institutions operating simulator systems. Therefore, they need to be reviewed and supplemented. This study analyzed the adequacy of current audit techniques based on the limitations and problems, then suggested the advanced scheme of SHS such as standardization of ship models, standard manoeuvring and evaluation method. The results of this research will contribute to improving the quantification and reliability of audit techniques used in the MSA as well as upgrading of the simulator system.

**Key Words** : MSA, SHS, Standard manoeuvring, Ship models, Evaluation method

### 1. 서 론

최근 선박의 대형화, 고속화, 지능화와 함께 국내 각종 항만, 수역시설 및 해상교량 등의 건설 또는 개량 사업이 정부 또는 지자체의 주관으로 활발하게 진행되고 있다. 이러한 변화에 대응하고자 국토해양부는 해운선진국으로서 해상교통안전을 우선적으로 확보함과 동시에 향후 원활한 해양 관련 개발 사업을 추진하고자 해상교통안전진단제도(Maritime Safety Audit; MSA)를 2010년에 도입하여 현재 순조롭게 해당 제도가 정착되고 있다(Cho et al., 2010). MSA 업무의 일반적인 절차와 방법, 안전진단대상 사업별 진단항목 및 안전진단대행업자가 적용해야 될 각종 진단기술 기준 등은 해상교통안전진단 시행지침(국토해양부고시, 2010)에 명시되어 있다.

본 연구에서는 시행지침에 명시된 진단사업별 해상교통 적정성 평가에 활용하고 있는 각종 진단기술의 특성과 내용을 고찰한 후, 각종 진단업무 또는 연구 사례를 기초로 대행업자의 진단 기술력, 보유 프로그램 및 적용 기술의 신뢰성 등 진단기술의 적정성을 평가하고자 한다. 또한 진단사업의 최종 안전성 여부를 판별하는 핵심 요소인 선박조종시뮬레이션(Ship-Handling Simulation ; SHS) 기술의 한계점과 문제점을 분석한다. 이러한 SHS 기술은 해상교통안전진단제도 도입 초기에 시뮬레이터 보유 기관에서 일반화된 공통 절차, 평가 방법 등을 기초로 설계하여 적용하고 있으나, 진단제도가 정착되고 있는 현 시점에서는 진단대행업자의 기술력과 특성 등을 고려한 차별화와 함께 현행 지침에 누락된 항목별 수행 절차 및 방법 등을 추가하는 등의 개선이 필요하다. 따라서 SHS 기술 요소에 대해서는 선박조종시뮬레이션 선박모델의 표준화, 표준조선법 및 제어도 등과 같은 고도화 방안을 제시

\* 중신회원, lys@hhu.ac.kr, 051-410-5098

하고자 한다. 그러므로 본 연구 결과는 선박조종시뮬레이터 하드웨어 및 소프트웨어적인 개선은 물론 해상교통안전진단제도에 활용되고 있는 SHS 적용 기술의 정량화 및 신뢰성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

## 2. 해상교통시스템 평가 기술 요소

MSA 시행지침에 명시된 주요 사업은 수역(설정·변경), 수역내 시설물(건설·수리), 항만 또는 부두(개발·재개발), 기타 국토해양부령으로 정하는 사업 등으로 분류되고 있다. 진단대행등록업체가 안전진단 수행시 적용해야 될 기술 요소는 Table 1과 같다. 해당 사업별로 해상교통현황 및 측정(Survey and Measurement of Marine Traffic Environment ; SMMTE), 해상교통혼잡도(Marine Traffic Congestion ; MTC), 해상교통류시뮬레이션(Marine Traffic Flow Simulation ; MTFS), 계류안전성(Mooring Safety Evaluation ; MSE) 및 선박조종시뮬레이션(Ship Handling Simulator; SHS) 등을 진단대행기관에서 의무적(Mandatory) 또는 필요(If necessary)에 따라 적용하여 진단평가를 수행해야 한다.

Table 1. Audit items according to the project type

Diagnostic Techniques	Waterways (Set-up/change)	Facilities (Construction/repair)	Harbor or Port (Development/redevelopment)	MLTM control
SMMTE & MTC	Mandatory	Mandatory	Mandatory	Mandatory
MTFS	If necessary	Mandatory	If necessary	If necessary
MSE	If necessary	Mandatory	Mandatory	If necessary
SHS	Navigating	Mandatory	Mandatory	Mandatory
	Berthing	If necessary	If necessary	If necessary

### 2.1 해상교통 현황조사 및 측정(SMMTE)

SMMTE는 대상 해역의 실태를 조사하기 위한 것으로 다음과 같이 현행 수역시설, 기상, 교통 현황, 통항관제 등에 대해 분석하는 것이다. 이러한 자료는 MTFS 및 SHS의 시나리오, 표준조건법과 교통량 추정 등의 기초 자료로 활용된다.

- 1) 자연환경 및 물리적인 통항 환경
- 2) 선종별, 톤수별, 시간대별 및 선속별 통항 척수 조사
- 3) 항적도를 기초로 통항로 및 교통흐름 등 통항 특성 분석
- 4) 선박 크기, 선종, 항적의 분포 등 정확한 교통 환경 파악

### 2.2 해상교통혼잡도(MTC)

MTC는 대상 해역에 설정된 항로나 가항수역의 범위가 사업 시행 이후 변화하는 장래 교통량을 포용할 수 있는지를 검토함으로써 향후 항로, 수역시설 및 해상교통시스템의 개선 방안을 제시하고자 하는 것으로 주요 항목은 다음과 같다.

- 1) 현행과 장래 해상교통량 추정 및 교통용량 분석

- 2) 교통용량 대비 장래 교통량의 해상교통혼잡도 평가
- 3) 항로 및 수역시설 등의 해상교통시스템 개선 방안 수립

### 2.3 해상교통류시뮬레이션(MTFS)

MTFS는 해상에서 발생하는 다양한 선박간 조우 관계를 재현하여 선박의 운항 환경적인 측면과 교통 환경적인 측면에서의 잠재적인 위험도를 종합적으로 평가하는 기법으로 주요 항목은 다음과 같다.

- 1) 대상 해역의 조건 및 교통환경 위험도 평가
- 2) 위험도 및 곤란도에 대한 선박운항자의 허용 여부 판별
- 3) 잠재적 위험해역 및 개선 방안 제시

### 2.4 계류안전성(MSE)

MSE는 대상선박의 Mooring Arrangement를 기초로 계류라인, 방현재, 계선주 등을 실제 상황과 동일하게 배치하여, 해당 해역의 외력 조건(바람, 파랑, 조류 등) 하에서의 계류 중인 선박의 동요를 해석하여 계류 선박의 접안 및 하역 한계 기준을 평가하는 기술로 다음과 같다.

- 1) 외력 상태별 계류 동요 해석
- 2) 계류라인 및 방현재 민감도 분석
- 3) 계류·하역 한계 기준 제시 및 계류라인 최적 방안제시

### 2.5 선박조종시뮬레이션(SHS)

SHS는 대상 사업이 선박 운항에 미치는 영향을 최종적으로 판별하기 위해 3차원 모의조종을 수행하는 것이다. 따라서 선박의 운항 환경을 최대한 현실과 유사한 가시화 데이터베이스를 구현해야 한다. 또한, 공인된 수확모델에 따른 선박모델을 개발하여 해당 해역의 특성에 적합한 외력 조건을 부가하여 선박의 안전 운항 여부를 다음과 같이 평가하는 것이다.

- 1) 통항안전성 평가
  - 근접도, 제어도 및 주관적 평가를 기초로 통항안전성 판별
  - 대상사업의 규모 및 위치에 대한 개선 방안 제시
  - 해상교통, 수역 및 항행지원시설 등 통항안전성 방안 제시
- 2) 접이안안전성 평가
  - 제어도, 근접도 및 주관적 평가를 근거로 안전성 판별
  - 해당 항만의 예선 운용세칙의 적정성 평가
  - 부두 평면 및 선석배치, 적정 예선 운용 방안, 선회장 등의 수역시설의 개선 방안 제시

## 3. 해상교통시스템 적정성 평가

MSA 대행기관에서 활용하고 있는 진단 기술들의 적정성 평가를 위해 KMU(한국해양대학교), MMU(목포해양대학교), KORDI(한국해양연구원)에서 수행한 2010년 진단보고서의 내용을 부분적으로 분석하였다. 적정성 및 기술력 평가는 2.1절에서 2.5절까지 기술된 세부 내용을 적절하게 평가하고 있는지를 검토한 것이며, 다음과 같은 5항목별로 가중치를 부여하

여 요소별 합산( $\sum_{i=1}^5 A_i$ , 최대 1.0)으로 분석하였다.

- A1 : 진단기술 활용 장비 및 프로그램 적정성
  - SHS, SMMTE, MTFS, MSE 장비 및 전용프로그램 활용 여부
- A2 : 진단 기술의 전문성 및 전문 연구인력 투입여부
  - 각 분야별 수행 진단사의 전공 및 최근 연구 활동
- A3 : 진단 결과의 신뢰성 및 타당성
  - MSA시행지침에 따른 진단 항목별 절차와 평가 방법 이행 여부, 진단 프로그램의 검증 및 활용 자료의 객관성
- A4 : 해상이용자 및 공청회 의견 반영 여부
  - 관계자 및 최종공청회 의견 수렴 조치 사항
- A5 : 진단 기술의 후속 연구 및 실적물
  - 진단 기술 관련 연구 실적 및 학술 강연 등

**3.1 진단 기술력 분석**

Fig. 1은 MSA 진단 기술에 대한 진단대행기관별 기술력 현황을 분석한 결과이다. Fig. 1의 횡축은 진단기술 요소이고, 종축은 A1~A5 항목에 대한 평가 결과를 합산한 것이다. SMMTE와 MTC 기술 요소는 국내 대행기관이 충분한 기량을 확보하고 있는 것으로 판단되었다. 반면, MTFS, SHS 및 MSE의 경우에는 외국 기술을 기반으로 활용되고 있어 향후 기술 요소의 일반화가 요구되며, 국내 실정에 적합한 모델 개발 등이 필요할 것으로 판단된다.

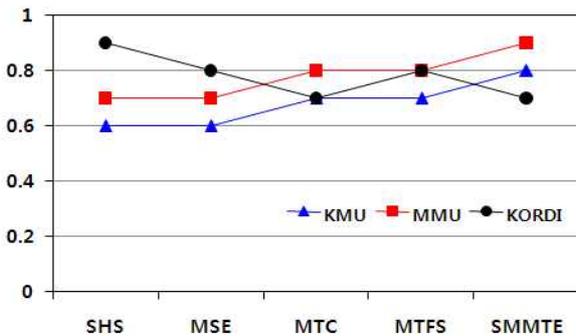


Fig. 1. Analysis of audit techniques.

위의 Fig. 1에서 알 수 있듯이 현행 고시에 명시된 각종 적용기술은 국내 대행기관에서 충분히 응용할 수 있는 기술요소들이며, MTC 및 SMMTE 기술 요소들은 국내 대행기관에서도 충분한 경쟁력을 확보하고 있다고 판단된다. 다만, MSE와 MTFS 분야의 경우 공인된 소프트웨어를 활용하고 있어 진단 평가 결과에는 별다른 영향은 없으나, 해당 기술 요소에 이용되는 장비나 수학모델 등에 대해서는 향후 지속적인 연구 개발을 수행하여 국산화해야 할 필요가 있다.

**3.2 진단 프로그램 및 신뢰성 분석**

MSA에 활용되는 적용기술의 신뢰성 여부는 해당 기술요소

가 학계나 실무 현장에서 충분히 검증된 모델 또는 전용 프로그램을 사용하고 있는가가 중요한 판단 지표라 할 수 있다.

1) 모델 및 프로그램의 신뢰성 분석

Table 2는 현재 MSA에 활용되고 있는 적용 기술별 수학 모델과 진단에 이용된 전용 소프트웨어를 비교한 것이다. SHS의 경우 KMU(2010년 Transas로 교체 설치)와 MMU는 FMSS급 Nor-control사의 Heuristic 모델이 사용되고 있고, KORDI의 경우 MMG 모델을 기초로 자체적으로 개발한 KRISIM 모델이 적용되고 있다. MSE의 경우 OPTIMOOR, DNV(SESAM) 등의 공인된 소프트웨어와 3차원 경계요소법에 기반을 둔 MAP(Mooring Analysis Program)이 활용되고 있다. MTC의 경우 선박의 점유영역을 기초로 한 Bumper 모델을 응용하여 활용하고 있고, MTFS는 일본에서 개발하여 충분히 검증된 ES(Environmental Stress) model이 이용되고 있다. SMMTE의 경우는 Radar, AIS, ECDIS, GPS 등의 장비와 전용 분석소프트웨어를 연계한 MTS(Marine Traffic Survey)를 이용하거나, GICOMS 또는 VTS에 저장된 선박의 통항 자료를 재현하여 통계 처리하는 방법이 적용되고 있다.

Table 2. Comparison of program and software

Items	KMU	MMU	KORDI
SHS	TRANSAS	NORCONTROL	KRISIM
MSE	SESAM, MAP	OPTIMOOR	OPTIMOOR
MTC	Bumper	Bumper	Bumper
MTFS	ES model	ES model	ES model
SMMTE	MTS, GICOMS data	MTS, GICOMS data	MTS, GICOMS data

현재 MSA에 활용하고 있는 각종 기술요소들의 수학모델과 전용 프로그램 등은 세계적인 선급이나 일본 학계 또는 기관에서 실무적으로 충분히 검증되어 공인된 모델들을 사용하고 있으므로 평가 결과에 대한 신뢰성 및 타당성이 매우 높다고 판단된다. 다만, SHS는 시뮬레이터 내부에 이용된 구체적인 수학모델이 부분적으로 공개되어 있지 않아 향후 시뮬레이터의 수학 및 외력모델 등에 대한 표준화 작업이 요구된다.

2) 해상이용자의 참여 및 의견수렴

MSA에 활용되는 각종 기술요소들을 적용함에 있어서 이론적인 평가 결과 이외에 해상 고유의 특성을 올바르게 반영하기 위해서는 해상이용자의 경험적인 측면을 충분히 반영할 필요가 있다. 따라서 해상이용자의 참여나 의견수렴은 단순한 절차상의 문제가 아닌 적용기술의 결과에 대한 타당성과 신뢰성을 검증하는 최종적인 의사결정 방법이라 사료된다. 해상이용자 및 의견수렴 여부를 분석한 결과, 진단대행기관에서 공청회, 발표회 및 의견수렴 등을 이해 당사자 또는 해상이용자에게 실시하고 있었으며, SHS의 평가 결과에 영향을 미치는 시나리오, 외력 설정, 표준조선법의 수립에도 선박운항자의 의견

이 직간접으로 반영되고 있었다. 또한, 선박조종시물레이션에 참여하는 도선사, 선장 및 항해사와 같은 해상이용자의 참여 비율도 최소 30% 이상 확보하여 연구 결과의 신뢰성을 높이기 위해 노력하고 있었다.

#### 4. SHS 한계점 및 문제점

SHS는 MSA의 핵심 기술 요소임에도 불구하고 시물레이션 시스템의 한계점이나 문제점을 분석한 연구 사례가 거의 없어, 향후 이에 대한 진단대행기관의 공동 연구 개발 및 전문 인력 확보 등의 노력이 절실하게 요구된다.

##### 4.1 선박모델 및 수학모델

MSA 시행지침에 명시된 선박모델은 최소한 IMO 조종성능(IMO, 2002)을 만족토록 하고 있다. 그러나 일부 기관에서 구축한 선박모델의 경우 Table 3에 기술된 IMO 최소 조종성능에 대한 충분한 검증 자료가 삽입되지 않은 경우가 많았다. 선박모델 또한 조종성능 이외에도 추진성능, 저항성능, 내항(운동)성능 등과 같은 필수적인 기본성능이 올바르게 분석되지 않고 있었다.

Table 3. IMO standards for ship manoeuvrability

Items	Standards for ship manoeuvrability
Navigational conditions	Deep water, Full load, Even Keel, Calm sea, Test speed(85% of MCR)
Turning ability	Tactical Diameter < 5L Advance < 4.5L
Initial turning ability	If rudder 10°, heading change 10° Track reach < 2.5L
Yaw checking and Course keeping ability	A. 10°-10° Zig-Zag Test 1. First overshoot angle : $\theta_1$ if, $L/U < 10\text{sec}$ , $\theta_1 < 10^\circ$ $10 \leq L/U < 30$ , $\theta_1 < 5+1/2(L/U)$ $L/U \geq 30$ , $\theta_1 < 20^\circ$ 2. Second overshoot angle : $\theta_2$ if, $L/U < 20\text{sec}$ , $\theta_2 < 25^\circ$ $10 \leq L/U < 30$ , $\theta_2 < 17.5+0.75(L/U)$ $L/U \geq 30$ , $\theta_2 < 40^\circ$ B. 20°-20° Zig-Zag Test $\theta_1 \leq 25^\circ$
Stopping ability	Track reach(Full astern) < 15L Ships of large displacement < 20L

SHS에 활용되고 있는 일반적인 선박모델은 Fig. 2와 같이 선체 중심좌표계를 활용할 경우 운동방정식은 식(1)과 같이 표현된다. 식(1)은 평면 3-DOF(Degree of Freedom) 선체 중심좌표계 운동방정식으로  $m$ 과  $I_{zz}$ 는 질량과 관성모멘트를  $x$ ,  $y$ ,  $z$  방향의 속도와 각속도를  $u$ ,  $v$ ,  $r$ 로 나타낸 것이며,  $\dot{u}$ ,  $\dot{v}$ ,  $\dot{r}$ 는 가속도 및 각가속도를,  $X$ ,  $Y$ ,  $N$ 은 각 방향별 선체 유체력과 외력 등을 표시한 것이다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) &= X \\ m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y \\ I_{zz} \dot{r} + mx_G(v + ur) &= N \end{aligned} \quad (1)$$

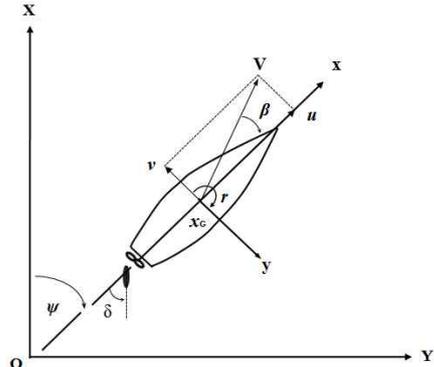


Fig. 2. Coordinate system.

식(1)의 우변은 선체(Hull), 프로펠러(Propeller), 타(Rudder), 선체와 프로펠러(HP) 및 프로펠러와 타(PR)와의 상호 간섭, 예선(T), 바람(Wind), 파랑(Wave) 등으로 형성된다. X 방향의 선체 유체력, 상호 간섭 및 외력 등을 기술하면 식(2)와 같다.

$$X = X_H + X_P + X_R + X_{HP} + X_{PR} + X_T + X_{wind} + X_{wave} \quad (2)$$

이러한 운동방정식 또한 고속 및 저속 영역에 따라 기술하는 방식이 상이하고, 선체에 작용하는 유체력의 경우에도 Abkowitz, MMG, cross-flow model 등에 따라 각기 달라진다. 또한 외력 모델도 바람과 파랑 등을 표현함에 있어 어떠한 모델을 채용하느냐에 따라 외력 하에서의 선체 거동이 달라질 수 있다. 현재 KORDI를 제외한 진단대행기관의 경우 SHS에 내재된 각종 수학 모델, 선박 모델, 유체력 및 외력 모델 등에 전문적인 연구 분석이 매우 부족한 실정이다. 따라서 SHS의 평가 결과에 대한 타당성 및 신뢰성 향상을 위해서는 우선적으로 현재 운용 중인 시물레이터 시스템에 대한 수학·선박·외력 모델 등의 전문적인 연구가 선행되어야 한다.

##### 4.2 3차원 영상 그래픽 기술

SHS에서 이용되는 가상화는 실제 상황을 재현하는 중요 기술요소로 SHS 결과에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 최근 SHS 가상화 기술에 대한 연구(황과 문, 2011)에 언급된 바와 같이 현재 주로 이용되고 있는 VEGA prime (Multigen creator)의 경우 모델링 프로세스가 제한적이고 폐쇄적인 라이선스 정책으로 SHS 이용 기관에서 많은 어려움이 있다. 따라서 가상화 구현에 이용되는 프로젝터, 스크린 등과 같은 장비의 최신회와 함께 그래픽을 렌더링하는 범용 S/W의 개발에 대한 대행기관의 집중적인 연구(OGRE 3D 보편화 등)가 필요하다.

### 4.3 항해 장비의 최신화 및 연동

최근 선박 항해장비의 최신화 및 고도화에 따라 ECDIS 기반의 통합 장비가 널리 활용되고 있음에도 불구하고, 진단대행업체의 SHS와 연동되는 장비가 낙후되거나 올바르게 작동하지 않는 경우가 있다. 이로 인해 본선의 위치나 타 선박의 거동을 실시간으로 판별하기 어렵고, 외력과 대수·대지속력 등의 정보 제공의 오류로 인해 선박운항자의 혼란을 유발하는 사례가 발생하고 있다. 따라서 ECDIS, Radar, GPS, Gyro, Steering 및 각종 Indicator 설비 등의 장비의 최신화와 함께 항행 정보가 상호 연동이 가능한 시스템 구축이 요구된다.

### 4.4 시스템 표준화 및 표준조선편

SHS 시스템에 대한 구체적인 규격화 및 표준화와 함께 표준조선편에 기반을 둔 시뮬레이션을 수행할 필요가 있다. 현재 사용 중인 표준조선편에 대해서는 현지 교통조사 결과나 해상이용자 의견을 반영토록 하고 있을 뿐 실질적인 표준조선편에 대한 구체적인 명시 규정이 별도로 없다. 이로 인해서 통항 항로의 설계, 선속, 변침, 예선 지원 등을 포함한 항행계획 전반에 대한 표준조선편이 진단대행기관별로 상이한 경우가 많았다. 그러므로 SHS 수행 결과 분석시 기준이 되는 항로, 침로, 타각, 선속, 거리 등이 명확하지 않아, 조선킨란에 따른 원인 규명이 곤란한 사례가 발생하고 있었다.

### 4.5 평가 방법의 문제점

현행 지침에 명시된 평가기법은 다음과 같이 근접도 평가, 제어도 평가, 선박운항자(주관적) 평가를 기초로 안전 여부를 종합적으로 판별토록 하고 있다.

#### 1) 근접도 평가(Proximity Index ; PI)

근접도 평가는 SHS 항적을 기초로 시설물 또는 통항 선박과의 최근접거리의 평균치( $\mu$ )와 표준편차( $\sigma$ )를 이용하여 정규분포 확률변수의 기준값  $\xi = (\mu - x) / \sigma$ 을 기초로 평가하고 있다.

$$PI = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \quad (3)$$

PI 결과는  $\mu$ 와  $\sigma$ 에 의존하므로 가급적 많은 횟수의 시뮬레이션을 수행하여 신뢰성을 향상시킬 필요가 있고, 특정 지점이 아닌 연속적인 분포를 이용하는 방법(정과 이, 2007; 이와 정, 2008) 등도 검토할 필요가 있다.

#### 2) 제어도 평가(Control Index ; CI)

선박의 제어도 평가는 엔진(최대 RPM 대비 사용 RPM)과 조타기(최대 타각 대비 사용 타각)에 대한 사용량이나 여유사용량으로 다음과 같이 평가한다.

$$CI_R = \epsilon_{rudder} = \frac{1}{T} \int_0^t \left[ 1.0 - \frac{|\delta(t)|}{\delta_{MAX}} \right] dt \quad (4)$$

$$CI_E = \epsilon_{engine} = \frac{1}{T} \int_0^t \left[ 1.0 - \frac{|RPM(t)|}{RPM_{MAX}} \right] dt \quad (5)$$

여기서,  $\delta(t)$ 은 조타각,  $RPM(t)$ 는 대상선박 프로펠러의 회전수,  $\delta_{MAX}$ 는 최대 조타각,  $RPM_{MAX}$ 는 최대 회전수를 의미한다. 현행 지침에는 CIR와 CIE가 독립변수로 되어 있으나 주기와 타각이 종속변수로 결합된 방법을 검토할 필요가 있다.

#### 3) 선박운항자 주관적 평가(Subjective Index ; SI)

운항자가 조선킨 느끼는 심리적인 위험이나 곤란도를 Rate scale 7단계(매우 위험~안전 확보)로 분류하여 평가하는 방법이다. SI 평가는 평가 요소중에서 가장 큰 영향을 미치는 인자로 도선사 또는 선장 등이 선택한 결정치에 대한 타당한 근거나 원인 등의 자료를 수집할 필요가 있다.

#### 4) 종합평가(Total Safety Index ; TSI)

TSI는 다음과 같이  $\cap$ 결합으로 모든 Index가 안전 기준을 충족할 경우 대상사업이 안전하다고 판별된다.

$$TSI = PI \cap CI_R \cap CI_E \cap SI \quad (6)$$

각 요소별 안전기준은  $PI < 10^{-4}$ ,  $CI_R < 50\%$ ,  $CI_E < 50\%$ ,  $SI \geq -2$ 이며, TSI를 만족하지 못할 경우 해상교통환경 변화로 인한 통항안전성 및 접이안안전성에 문제가 없음을 검증할 수 있는 객관적인 자료 제출을 명시하고 있다.

향후 평가 요소에 대한 정량화 및 다원화가 요구되며, 일률적인 평가 기준보다는 진단대행업체의 특성화 및 차별화를 위해 TSI에 대해서는 진단대행기관에 위임하는 방안을 적극 검토할 필요가 있다.

### 4.6 선박운항자의 대표성 및 전문 인력 양성

동일하거나 유사한 운항 환경임에도 불구하고 선박운항자에 따라 SHS 평가 결과가 상이하어, 진단결과를 반복하는 결과가 발생하는 사례가 있다. 따라서 선박운항자 초빙시에는 해당 해역의 도선사협회에 의뢰하여 대표성이 있는 운항자를 초빙할 필요가 있다. 또한, SHS 참여하는 진단사를 비롯한 운용 요원이 시뮬레이터 시스템에 보다 체계적인 전문 지식을 갖추도록 전문 인력 양성에 노력해야 하고, SHS 운용 요원의 면허 소지, 제작사의 교육이수 등의 자격 요건을 검토할 필요가 있다. 더불어 SHS 사후 처리 과정 및 평가 자료에 대한 전문 프로그램의 개발과 함께 항적도에 대한 선명도 확보 등도 개선되어야 할 과제이다.

### 5. SHS 고도화 및 개선 방안

최근 SHS와 관련되어 수행된 연구로는 해상교량의 설정 기준(이 등, 2009), 해상교량의 충돌모델 수립(임, 2010), 가시화(황과 문, 2011) 및 평가 방법(이와 정, 2007; 정과 이, 2008) 등에 불과하다. 앞에서 지적된 SHS의 한계점 및 문제점에 대한 개선 방향을 관련 연구 등의 자료를 기초로 SHS 고도화 방안을 제안하면 다음과 같다.

#### 5.1 시뮬레이터 표준화

현재 복수의 MSA 대행기관이 존재하므로, 각 기관간의 수행 절차 및 평가 기준이 어느 정도 유사하지 않으면, 동일한 사안에 대해 평가 결과가 달리 나올 수 있는 위험성도 내포하고 있다. 따라서 동일한 평가 사안에 대해 유사한 평가 결과를 도출하기 위해서는 각 기관이 보유하고 있는 시뮬레이터의 특성 이해를 바탕으로 SHS 시스템의 표준화가 반드시 수행되어야 한다.

##### 1) 시뮬레이터 시스템의 표준화

시뮬레이터 보유 기관의 제작사가 각각 상이하기 때문에 무엇보다도 현재 활용되고 있는 시뮬레이터의 특성과 시스템에 내재된 각종 수학적모델을 정확하게 분석할 필요가 있다. 시뮬레이터를 자체 개발한 KORDI를 제외한 대행기관에서는 IMSF(International Marine Simulator Forum, 2008)가 작성한 제작사가 사용자에게 공급해야 하는 선박 모델의 각종 성능이 언급된 문서를 이용하여 현재 이용하고 있는 시스템에 대한 구체적인 성능의 적합성과 효율성을 검증할 수 있는 전문성을 갖추어야 한다.

##### 2) 선박의 수학적모델

선박의 수학적 모델은 선체의 특성을 결정하는 선박 성능으로 각종 유체력 특성을 수식으로 표현한 것이다. 수학적모델을 확정하기 위해서는 최소한 Table 4에서 명시하는 선박모델 관련 자료를 분석해서 진단보고서에 기술해야 한다.

Table 4. Mathematical model of ship modeling

Manoeuvrability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turning &amp; Stopping ability</li> <li>• Course keeping and Yaw checking ability</li> </ul>
Resistance & Propulsion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speed, Resistance, Power, Power coefficients</li> <li>• Cross-coupled RRM, Resistance, Power curve</li> </ul>
Propeller & Rudder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propeller open water test, Characteristics(Performance)</li> <li>• Rudder type, Area, Thrust, Design factors, Etc</li> </ul>
Sea keeping ability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 DOF of ship motions in waves</li> <li>• External forces(Wind, Wave, Current)</li> </ul>

Table 5. Minimum data of simulator system

Items	contents
System mathematical model	Equation of motion by speed, depth of water, Target ship
Hydrodynamic model	Hull, propeller, rudder & interference model
External model	wind, wave & current model
Navigational assistant model	Thruster, tug, anchoring & mooring
Environmental model	Bank effect, ship to ship interaction, fender, dolphin, wharf effect

또한, SHS 시스템은 제조사별로 선체 거동을 표현하는 방법이 상이하므로 국내 진단대행 기관에서는 최소한 Table 5에 명시된 사항을 제조사에 요청하여 해당 내용에 대한 전문 지식과 적용 방법 등을 충분히 인지하고 있어야 한다. 이러한 자료를 기반으로 진단대행기관간 공동 연구를 수행하여 SHS 시스템 개선 및 업그레이드는 물론 평가 결과에 대한 신뢰성 향상에 노력해야 한다.

#### 5.2 평가 기법의 다원화

평가 기법은 안전성 여부를 판별하는 근거가 되기 때문에 충분한 객관성 및 과학적 검증이 선행되어야 하고, 진단대행 기관에서 공통적으로 활용 가능한 방법이어야 한다. 본 연구에서는 이러한 관점을 고려해서 기존 대행업체에서 직접 응용이 가능하고 충분한 검증이 완료된 기법만을 제안한다.

##### 1) Coupling of Rudder and Engine

제어도 평가에 이용되는 Engine과 Rudder 사용량은 대각도 변침이나 타 선박과의 충돌 회피 동작으로 잠시 독립적으로 전속 및 전타를 사용하는 이외에 Rudder를 15° 이상 사용할 경우 안전성 판별에 문제가 있는 것으로 평가된다. 따라서 다음과 같이 Engine과 Rudder를 Coupling한 종합 여유제어량을 사용하면 보다 객관적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

$$\epsilon_{RC} = \frac{1}{T} \int_0^t \left[ 1.0 - \left( \frac{|\delta(t)|}{\delta_{MAX}} \cdot \frac{|RPM(t)|}{RPM_{MAX}} \right) \right] dt \quad (7)$$

실습선 한나라호의 기관 RPM 대비 타각사용량을 이용하여 산출한 종합 여유제어량을 산출하면 Fig. 3과 같다.

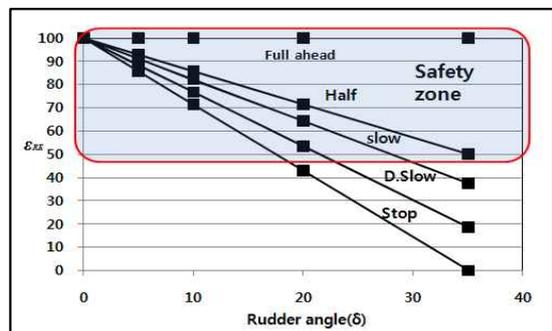


Fig. 3. Result of cross-coupled rudder and engine.

선박의 선속과 Rudder 사용량을 연계해서 산출되기 때문에 현행 판별 기준이 50%를 유지하더라도, 제어도 측면에서의 통항안전성 판별에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

2) Swept Path(SP)

외력 하에서의 Heading과 Course를 상호 비교하여 선박 자세 제어 곤란성을 표시하는 SP를 활용하여, 특정 외력 하에서의 선박 제어 능력을 평가하여 제시할 필요가 있다. 선박의 길이(L), 폭(B), 선수 방위와 침로와의 각(θ)을 기준으로 SP는 식(8)과 같이 산출한다.

$$SP = L \sin\theta + B \cos\theta \quad (8)$$

SP는 선박 폭으로 무차원화하여 제시하기 때문에 특정 항로에서 외력에 따른 선박 조종의 곤란함을 평가할 수 있다. 판별 기준은 일반적으로 항내 조선시 외력의 영향으로 10° 이상의 편차가 발생할 때 계산되는 2B를 안전성 판별 기준으로 활용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

5.3 표준조선법 설정

현행 시물레이션 절차에서 시나리오를 수립하여 예비시물레이션을 수행토록 하고 있으나, 선박운항자에게 제량권을 부여하여 Route planning을 설정하지 않고 시행되는 경우가 일반적이다. 이로 인해서 선박운항자별로 각각 다른 통항 방법이 선택되고, 결과적으로 근접도 평가시 표준편차 확대로 인한 충돌확률의 증가로 시물레이션 결과의 정량화 및 원인 규명이 곤란하게 된다. Fig. 4와 같이 선박모델 구축 후 시나리오 설정과 함께 예비시물레이션을 통해서 철저한 표준조선법을 수립하여 운용할 필요가 있고, 시물레이션 항적도 분석 또한 제시된 표준조선법에 의해 근접도를 평가할 경우, 안전성 여부를 보다 명확하게 판별할 수 있을 것으로 판단된다.

표준조선법은 일례로 제시한 Fig. 5와 같이 침로, 선속, 변침점, 예선 지원위치, 항로 상의 통항 위치 등을 확정하여 해당 표준조선법에 따라 시물레이션을 수행토록 유도한다. 이는 선박운항자별 편차 및 주관적 위험도를 최소화할 수 있어 시물레이션 결과에 대한 신뢰성 향상에 기여할 것으로 사료된다.

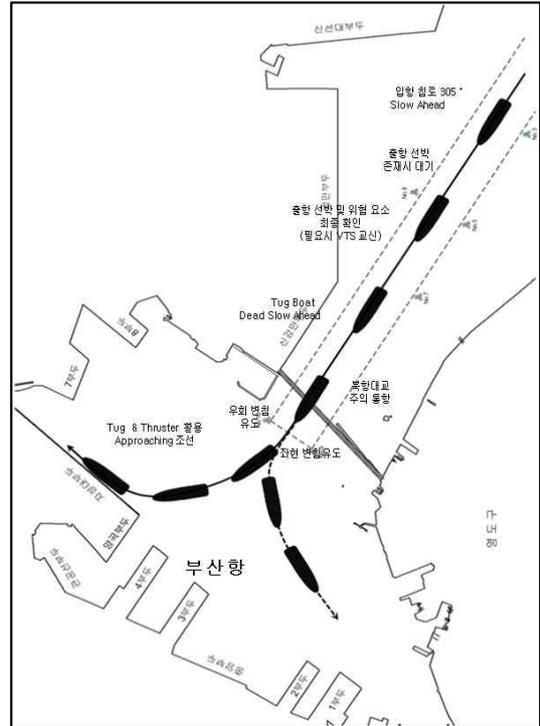


Fig. 5. Example of standard route planning.

5.4 항행 장비의 최신화

SHS 시물레이터에 연동되어 설치되는 ECDIS, Radar, GPS, Doppler log, Auto pilot 등의 장비는 현재 운항 중인 선박과 동일한 형태로 제공되어야 한다. 특히 ECDIS 장비에 본선의 위치와 함께 Route planning이 명확하게 표시될 수 있어야 하고, 상대선박의 위치와 방위를 명료하게 파악할 수 있는 Radar 장비, 대수 및 대지 속력을 확인 할 수 있는 Doppler log 등의 최신화가 우선적으로 요구된다.

5.5 공동 연구 개발

SHS 신뢰성 향상을 위해서는 우선적으로 진단대행기관별 로 상이한 SHS시스템에 대한 상호 검증 작업이 빠른 시일 내에 이루어져야 한다. 또한 선박간 간섭문제, Bank나 방파제 등과 같은 구조물과의 간섭문제, 예선 운용에 따른 선체 거동 등이 현실과 보다 유사하게 재현될 수 있도록 시물레이터 전반에 대한 진단대행기관간 공동 연구 개발이 요구된다.

6. 결론

MSA에 활용되고 있는 안전진단 적용 기술의 적정성과 기

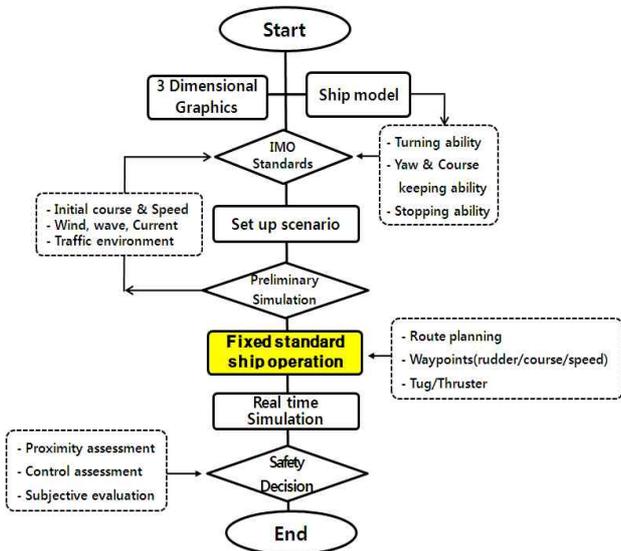


Fig. 4. Flow chart of SHS.

술력을 요소별로 분석하였으며, 진단에 있어 가장 중요한 요소인 SHS 기술의 한계점과 문제점 그리고 SHS 고도화 방안을 다음과 같이 제시하였다.

- 1) MSA에 이용되는 기술요소에 대한 대항기관의 기술력 분석 결과, SMMTE와 MTC는 자체개발이 가능한 충분한 경쟁력을 보유하고 있었고, MTFIS와 MSE의 경우에는 학계 또는 선급 등에서 공인된 수학모델 및 소프트웨어를 활용하고 있었으며, 향후 지속적인 연구 개발을 통해 국내 실적에 적합한 모델 개발이 필요하다.
- 2) 해상이용자의 참여 및 의견수렴 등의 수행 여부를 분석한 결과, 이해당사자를 중심으로 한 설문조사와 각종 보고회 및 공청회를 실시하여 다양한 의견수렴을 실시하여 객관화된 의견을 반영하고 있었다.
- 3) SHS 한계성 및 문제점으로는 시뮬레이터에 내재된 각종 수학·선박모델에 대한 전문성 결여, 3차원 그래픽 기술 한계, 표준조선법의 부재, 항해 장비의 최신화, 전문 인력 양성 필요성 및 평가 방법의 개선 등이 검토되었다.
- 4) SHS 고도화 방안으로는 시뮬레이터 시스템 및 선박모델의 표준화, 표준조선법, 항해 장비의 최신화를 제안했으며, 평가 방법의 개선 방안으로는 Coupling of Rudder & Engine 와 Swept path 기법 등을 제시하였다.

끝으로 SHS와 관련된 연구 발전을 위해서는 해상교통안전진단 학술회 및 진단대행업체의 지속적인 노력이 요구된다. 또한 선박조종시뮬레이터 시스템 개선은 물론 해상교통안전진단제도에 활용되고 있는 진단기술의 정량화 및 신뢰성 향상을 위하여 진단대행기관들 간의 긴밀한 업무 협조가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 일반화된 SHS 연구라도 수행절차나 평가방법 등에 특이사항이 포함된 연구 성과를 상호 공유할 수 있도록 관련 기관 및 학회 차원의 적극적인 기회 제공과 배려가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 한국해양대학교 2010년도 연구년 교수 지원 사업으로 수행되었으며, 아울러 “해상교통안전진단 운영 및 평가체계의 고도화 연구” 과제의 일환으로 수행된 결과입니다.

## 참 고 문 헌

[1] 국토해양부, 해상교통안전진단 시행지침, 국토해양부 고시 제2010-51호, 2010년 1월, pp. 13-21.  
 [2] 이동섭, 정태권(2008), “부산항 방파제 진입항로의 강한 횡조류 환경에서 선속에 따른 조종자의 선박조종의 결과 검토”, 한국항해항만학회지, 제32권 제8호, pp. 577-582.  
 [3] 이윤석, 조익순, 조주현, 송재욱(2008), “국내 항만항단 해

상교량 관련 선박조종시뮬레이션 분석”, 한국항해항만학회지 Vol. 32, No. 5, pp. 321-326.  
 [4] 임정빈(2010), “통항 선박과 목포 대교의 충돌 위기 평가 모델 개발”, 한국항해항만학회지 Vol. 34, No. 6, pp. 405-415.  
 [5] 정태권, 이동섭(2007), “선박조종시뮬레이션 근접도 평가에서 연속 분석과 목표선 분석에 관한 비교 연구”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제1호, pp. 1-6.  
 [6] 황호진, 문두환(2011), “선박운항 시뮬레이션 가시화를 위한 그래픽 렌더링 엔진 기술의 개선 방향”, 한국항해항만학회지 제34권, 제3호, pp152-159.  
 [7] Cho I.S., Kim I.C. and Lee Y.S.(2010), “The Introductory Concept of Maritime Safety Audit as a Tool for Identifying Potential Hazards, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 9, pp .699-704.  
 [8] IMSF(2008), Guideline for Simulator Model Documentation, Draft Ver.2.2, Sep, pp. 1-6  
 [9] IMO(2002), Resolution MSC. 137(76), Standards for Ship Manoeuvrability. pp. 1-2

원고접수일 : 2011년 08월 11일

원고수정일 : 2011년 09월 21일 (1차)

2011년 10월 17일 (2차)

2011년 10월 31일 (3차)

게재확정일 : 2011년 12월 26일