



## 해양 환경 및 안전 규제를 고려한 최적 안전항로 지원 시스템의 데이터베이스 개념 연구

김은찬 · 최혁진<sup>†</sup> · 김홍태  
선박해양플랜트연구소

### A Study on Database Concept of the Optimum Safe Routing Decision Support System Considering Marine Environment and Safety Regulations

Eun-Chan Kim, Hyuek-Jin Choi<sup>†</sup>, and Hongtae Kim

*Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 34103, Korea*

#### 요 약

본 연구에서는 해양 환경 및 안전 규제에 대한 IMO의 각종 국제협약 내용을 분석하여 최적 안전항로 지원 시스템의 개념설계를 수행하였다. MARPOL Annex VI의 개정안은 선박의 에너지 효율을 개선하기 위해 에너지효율 운항지표의 자발적 모니터링을 요구하고 있다. 극지해역 운항선박 안전기준은 극지해역 항해에 대한 운항범위와 환경조건의 평가를 요구하고 있다. IMO e-Navigation 이행계획에서는 조화로운 방식으로 전자 정보를 제공하는 수단인 해상서비스 포트폴리오를 요구하고 있다. 본 연구를 통해 최적 안전항로 지원 시스템의 개념설계를 수행하였고, 이 때 필요한 정보들을 도출하였다. 최적 안전항로 지원 시스템의 데이터베이스는 선박성능 데이터베이스, 해도 데이터베이스, 운항안전 데이터베이스 및 해양기상 데이터베이스로 구성하였다. 선박성능 데이터베이스는 선박 제원, 선박성능 계수, 각종 외력에 의한 부가저항 자료로 구성된다. 해도 데이터베이스는 해도 및 수로 서지 등으로 구성된다. 운항안전 데이터베이스는 항해 경보, 기상 경보, 조난 경보, 해빙 위험 등으로 구성된다. 해양기상 데이터베이스는 기상 정보, 실시간 수로 및 환경 정보 등으로 구성된다. 이를 바탕으로 선박성능 데이터베이스의 예제를 만들었고, 이를 위한 해양기상 데이터베이스 구축 방안을 제시하였다.

**Abstract** – In this research, the conceptual design of the optimum safe routing decision support system was conducted by analyzing various international conventions on marine environment and safety regulations of IMO. Amended MARPOL Annex VI requires voluntary monitoring of the energy efficiency operational indicator to improve the energy efficiency of ships in operation. International code for ships operating in polar waters requires assessment of anticipated range of operating and environmental conditions for polar water operation. The e-navigation strategy implementation plan requires maritime service portfolios to provide electronic information in a harmonized way. In this research, the conceptual design of the optimum safe routing decision support system was conducted, and the necessary information were derived. The database for the optimum safe routing decision support system should be composed of ship performance database, nautical chart database, maritime safety database and marine weather database. Ship performance database consists of ship specification, ship performance coefficient and various data for additional resistance due to external conditions. Nautical chart database consists of nautical chart and nautical publication. Maritime safety database consists of navigational warning, weather warning, distress alerts, oceanic ice hazard. Marine weather database consists of meteorological information, real-time hydrographic and environmental information. Based on this research, an example of the ship performance database was constructed and its construction plan of the marine weather database was suggested.

**Keywords:** Optimum safe routing(최적안전항로), EEOI(에너지효율운항지표), Polar code(극지선박기준), e-Navigation(이내비게이션), Database(데이터베이스)

<sup>†</sup>Corresponding author: [hjchoi@kriso.re.kr](mailto:hjchoi@kriso.re.kr)

## 1. 개요 및 연구 목적

최근 IMO에서 진행중인 e-Navidation 협약 준비에 따라 세계 각국에서 최적 안전항로 지원 시스템에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다. 최적 안전항로 지원 시스템을 구축하기 위해서는 선박 자체의 성능은 물론, 에너지 저감을 위한 운항 조건, 예정 항로에 대한 해양 기상 상태, 국제협약에서 정한 환경 및 안전 규칙 등을 모두 함께 고려해 주어야 한다.

세계 각국은 오래 전부터 최적항로 지원 시스템을 개발해 왔는데, 이는 연료비를 비롯한 운항 비용을 저감하는 것을 목표로 한 것으로서, 민간 기업 주도로 개발되어 상용화 되어왔다. 그 한 예로서, StormGeo 사의 BVS(Bon Voyage System)를 들 수 있는데, 이는 각종 기상자료를 이용한 최적 항해는 물론, 선박 상태 모니터링과 선단 관리 등의 기능까지 확대되었다(StormGeo [2017]). 2002년부터 2004년까지 고속선에 대한 항해계획 시스템 WINGS-FOR-SHIPS를 유럽의 7개국 18개 기관이 공동으로 개발하였다. 2004년에는 그 결과를 IMO(국제해사기구)에 의제문서로 제출하면서, 고속정 운항자와 항만 관리자가 이 시스템을 활용함으로써 안전 운항을 제고할 수 있다고 제안하였다(IMO [2004]). 또한, 2010년부터 2013년까지 4년간 스웨덴을 중심으로 덴마크, 핀란드의 정부 및 산학 기관이 참여하여 MONALISA(Motorways and electronic navigation by intelligence at sea) 과제를 수행하여 안전항로 지원 시스템의 테스트베드 시험을 완료하였고, 그 후 2013년부터 2015년까지 고도의 해상 교통 관제 개념인 MONALISA 2.0 연구를 진행하였는데, 참여 국가는 유럽 전역으로 확대하였다(Rizvanolli [2015]).

IMO에서는 2011년 7월에 국제 해운의 탄소 배출을 규제하기 위한 조치의 일환으로 MARPOL(The International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약)의 부속서 VI를 개정하여 국제항로를 운항하는 선박은 운항 연료를 최소화 하는 최적의 항로를 운항하도록 하였다(IMO[2011]). 또한 IMO에서는 극지 해역의 선박운송 증가로 인해 해상 안전 및 오염 사고의 가능성 커짐에 따라, 극지 해역의 해상 안전 및 해양오염을 규제하기 위한 Polar Code(극지운항선박 국제기준, International Code for Ships Operating in Polar Waters)를 개발하였고(IMO[2015a]), 이 가운데 안전과 관련된 부분은 SOLAS(The International Convention for the Safety of Life at Sea, 해상에서의 인명안전을 위한 국제협약)의 해당 부분에 추가하고(IMO[2014c]), 환경 보호와 관련된 부분은 MARPOL의 해당 부분에 추가함으로써(IMO[2015b]), 극지를 운항하는 선박은 운항이 가능한 빙해 구역을 찾고 그 빙해 조건에 따른 선박의 안전 속도를 계산하여 최적의 항로를 운항하도록 하였다. 이 협약은 2017년 1월 1일부터 발효되었다. 또한 IMO에서는 2014년 11월 해상 안전과 보안 그리고 해양 환경 보호를 위해 디지털 정보 및 인프라를 제공하고 자 하는 e-Navigation을 위한 이행계획을 채택한 후(IMO[2014a], IMO[2014b]), 이에 따라 안전 운항 지원을 위한 하드웨어와 소프트웨어

양쪽에 대한 법제화와 이를 위한 표준화를 준비하고 있다.

이와 같이 최적 항로 지원 시스템에 안전의 개념이 크게 더해진 최적 안전항로 지원시스템이 필요하게 되었으나, 아직 전 세계적으로 최적 안전항로 지원 시스템이 개발되지는 않은 상황이며, 최적 안전항로 지원 시스템의 기능과 이를 위한 데이터베이스의 구성 등의 연구도 아직 발표되고 있지 않은 상황이다.

본 연구에서는 당초 선박 운항자의 연료비 저감을 목적으로 시작한 최적 항로 지원 시스템이 최근 안전의 개념이 크게 더해져서 최적 안전항로 지원 시스템으로 변화되고 있는 점에 주목하고, 최적 안전항로 지원 시스템의 개념을 설계하였다. 즉 IMO에서 채택하였거나 진행 중인 각종 협약들의 분석을 통해, 최적 안전항로 지원 시스템이 가져야 할 기능을 제시하고, 필요한 정보 자료의 항목을 도출한 후, 이를 위한 데이터베이스를 구성하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 IMO 국제협약 분석

#### 2.1.1 IMO 온실가스 배출 협약

선박 온실가스 배출량 감축을 위해 IMO에서는 기술적 조치와 운항상 조치 그리고 시장기반 조치 세 가지로 규제하고 있다(IMO [2011], Kim and Lee[2013]).

운항상 조치의 하나로서, 에너지효율 운항지표(EEOI, Energy Efficiency Operational Indicator)를 통해 에너지효율을 모니터링 하도록 하고 있는데, 이는 단위중량의 화물을 단위거리 이동시키는데 필요한 탄소 배출량 즉 연료 소모량으로 나타내고 있다. 항로계획을 통해 EEOI를 저감시킬 수 있는 방안은 연료 소모량을 감소시키는 방법뿐이다. 연료소모량은 주기관 동력에 가장 큰 영향을 받는데, 주기관 동력은 선속의 3승 이상의 값에 비례하여 증가하게 된다. 즉 선속을 조금만 낮추어도 선박의 소요 동력은 크게 감소하므로, 최적 안전항로 지원 시스템에서는 운항 조건을 고려하여 가능한 한 낮은 선속에서 운항함으로써 에너지효율을 향상시키게 된다.

이를 위해서 최적 안전항로 지원 시스템에서는 실제 해역에서 운항하는 선박의 선속에 영향을 미치는 요소, 즉 저항추진 성능을 모두 계산해야 한다. 정수중 성능은 물론, 파랑과 바람 등 실패역에서 발생하는 각종 외력에 대한 부가저항과 그에 따른 추진 성능까지 모두 정확하게 고려해 주어야 하는 것이다.

#### 2.1.2 IMO 극지 선박 기준

극지 해역의 해상안전 및 해양오염을 규제하기 위한 Polar Code 가운데 항로 계획 수립과 관련된 내용은 안전 분야의 강제 사항인 Part I-A 의 제11장에 항해 계획(Voyage Planning) 이라는 제목으로 기술되어 있는데, 여기서는 선박과 승선자의 안전과 환경보호를 위해 Table 1과 같은 선박 운항에 관한 충분한 정보를 확보하고 항해계획을 수립할 것을 의무화 하고 있다(IMO[2015a], Kim et al. [2016]).

**Table 1.** Considering Information for Voyage Planning of the Polar Code

번호	검토 정보
1	극지 운항 매뉴얼
2	항해 가능 수로 정보
3	운항 예정 항로의 빙하 및 빙산 정보
4	빙하와 기온 간의 통계자료
5	대피처
6	해양 포유류 서식지 및 이동 경로
7	서식지에서의 선박의 운항 시스템, 선속 및 교통량
8	국제 및 해당 국가에서 지정한 보호구역
9	수색 구조 능력

Polar Code에 따르면, 항해 시 빙산 또는 두꺼운 빙원으로 인해 운항이 불가능한 해역과 IMO에서 지정된 운항 금지 해역은 회피해야 하며, 운항이 가능한 해역에서는 해빙 상태에 따른 선박의 안전 속도를 계산하여 최적의 항로를 찾아내고 항해 계획을 수립하는 것이 필수적 사항이다. 이를 위해서는 수로 정보, 빙하 및 빙산 정보, 기온 자료 등의 해양 환경 자료들을 비롯해서, 해양 생물 분포 정보, 선박 운항 정보 등이 필요하다. 이들 정보 자료를 이용하여 계획 항로의 해양 및 기상 상태에 따른 부가저항을 계산하여 선박의 운항성능을 추정한다.

2.1.3 IMO e-Navigation 전략이행계획

IMO에서는 선박 운항 기술이 디지털화 됨에 따라 해상 안전, 보안 및 해양 환경 보호를 위해 디지털 정보 및 인프라를 제공하여 행정 부담을 줄이고 해상 무역 및 운송의 효율성을 높이기 위한 e-Navigation을 구현하기로 하였다(IMO[2012]). 2014년 7월 IMO의

항해 통신 수색구조 전문위원회 NCSR(Sub-Committee on Navigation, Communications and Search and Rescue)에서는 e-Navigation 이행계획(SIP, Strategy Implementation Plan)을 완성하고, 이를 MSC(해사안전위원회)에 제출하기로 하였다(IMO[2014a]).

2014년 11월 MSC 94차 회의에서는 NCSR에서 보고된 e-Navigation 이행계획을 승인하였다(IMO[2014b]). 이 e-Navigation 이행계획은 2015-2019년 기간 동안 우선적으로 수행할 5가지 e-Navigation 솔루션을 제시하고 있는데, 이 솔루션 통해 제품과 서비스를 설계하기 위한 적절한 정보를 업계에 제공하게 될 것이다.

- S1: 개선되고 조화롭고 편리한 선교 설계
- S2: 표준화 되고 자동화 된 보고 수단
- S3: 선교 장비 및 탐색 정보의 신뢰성, 회복성 및 무결성 개선
- S4: 통신 장비로 수신 된 그래픽 디스플레이에 사용 가능한 정보의 통합 및 표시
- S9: VTS 서비스 포트폴리오 개선

위와 같은 e-Navigation 이행계획에서는 또한, 솔루션 S9에 대해 전자 정보를 제공하는 적절한 수단을 식별하기 위한 해상 서비스 포트폴리오(MSP, Maritime Service Portfolios)를 제시하였는데, 이는 Table 2와 같이 16종의 서비스로 구성되어 있다(IMO[2014a]).

2.2 최적 안전항로 지원 시스템 보유 기능 검토

2.1 절에서와 같이, IMO에서 제정된 또는 준비 중에 있는 해양 환경 및 안전 규제에 관한 각종 국제 협약들을 분석하여, 최적 안전항로 지원 시스템이 가져야 할 기능들을 Table 3과 같이 도출하였다.

**Table 2.** Detailed Explanation of the Maritime Service Portfolios

MSP 번호	서비스명	서비스 내용
MSP1	VTS 정보 서비스	필수 정보가 기내 항법 의사 결정에 적시에 제공 될 수 있도록 보장하는 서비스로서, 선박 입출항 모니터링 등 전통적인 해상교통관제(VTS) 지원
MSP2	항해 지원 서비스	선상에서의 항해 의사 결정을 지원하고 그 영향을 모니터링하는 서비스로서, 항로이탈, 주요 장비고장 등 선박비상상황에서의 원격 지원
MSP3	통행 편성 서비스	위험한 해상 교통 상황의 발생을 예방하고 VTS 지역 내에서 선박 교통의 안전하고 효율적인 이동을 제공하는 서비스로서, 원활한 해상교통을 위한 교통정보 제공
MSP4	지방 항만 서비스	항만에 적용하는 서비스로서, 부두 이접안 등 지역적 범위의 교통정보 제공
MSP5	해사 안전 정보 서비스	일반적인 해사안전정보 제공 서비스로서, 항해 경보, 기상 경고, 조난 경보, 빙상 위험 정보 등을 포함
MSP6	도선 서비스	도선 구역 내에서 선박이 안전하게 도선될 수 있도록 하는 도선사 업무 지원
MSP7	예선 서비스	예선 작업 시 관계자 간의 의사 소통 및 정보 교환의 효율성을 높이는 예선 업무 지원
MSP8	선박 연안 보고	안전 운항과 보안 그리고 환경 보호를 보장하고 나아가 해상 운항의 효율성을 높이기 위한 자동화를 통해 보고 업무 간소화
MSP9	원격 의료 지원 서비스	운항 중인 선원들에 대한 의료 조원을 위해 365일 24시간 상시 원격 제공되는 의료 지원
MSP10	해사 보조 서비스	선상에서의 오염, 화재 및 폭발 그리고, 충돌, 좌초, 해상 보안, 테러 대응 등 해양 사고와 관련한 신속한 보조와 전문적인 지원
MSP11	해도 서비스	해안선, 수심, 조석표, 장애물 및 기타 항행 위험 요소, 탐색 및 보조 수단의 유형 등 정보 제공
MSP12	수로 서지 서비스	항해 인지도 및 안전운항을 제고하기 위한 해사 간행물 및 업데이트 제공
MSP13	빙해 항해 서비스	빙 해역에서 빙 상태 정보 및 운항 권고 및 조언
MSP14	해양 기상 정보 서비스	해상 교통을 보호하는데 필요한 기상에 대한 디지털 예보 및 운항자에 대한 의사 결정 지원
MSP15	실시간 수로 및 환경 정보 서비스	해상 교통과 환경을 보호하는데 필수적인 수로 및 환경에 대한 실시간 정보
MSP16	수색 구조 서비스	해상에서 수색 및 구조 작업 지원 및 조정.

**Table 3. Function of the Optimum Routing Decision Support System**

구분	대상 및 기능
(1) 최적 항로 도출 대상 선박	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 항로 계획 요청 선박</li> <li>· 예정 항로 이탈 선박</li> <li>· 좌초, 충돌, 장애물 등의 위험 선박</li> <li>· 악천후 상태 선박</li> <li>· 선박 위치 또는 목적지 위치를 모르는 선박</li> <li>· 항해 항법 장치에 이상이 있는 선박</li> </ul>
(2) 제공될 안전 운항 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 최적 항로</li> <li>· 선박의 위치, 식별기호, 의도 및 목적지</li> <li>· 기상 및 해양 상태, 운항자에 대한 경고, 항해 지원 상태</li> <li>· 해당 VTS 해역에서 다른 선박의 항해 또는 기타 잠재적 제한 요건을 고려한 운항 제한 조건</li> <li>· 기타 선박의 안전한 운항과 관련된 정보</li> </ul>
(3) 필요시 추가 기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 항만 접안 정보 제공</li> <li>· 해양 비상 위험 정보 제공</li> </ul>

**Table 4. Information for the Optimum Routing Decision Support System**

구분	필요 정보
(1) 선박 성능 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 선박 기본 제원 및 일부 상세 제원 자료</li> <li>· 정수 중 저항 성능 자료</li> <li>· 각종 외력(파랑, 바람, 표류, 표면 거칠기 등)에 의한 부가저항 성능 자료</li> <li>· 각종 추진 성능 자료</li> <li>· 내항, 조종 및 복원 성능 자료</li> </ul>
(2) 해도 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해안선, 수심, 조석표, 장애물 및 기타 항행 위험 요소 등의 해도 자료</li> <li>· 조류 유동, 부표 및 안개 신호 보조 장치, 무선 보조 장치 등 수로 서지 자료</li> <li>· 해양 서식지, 어로 작업장, 훈련장 등 실시간 수로 자료</li> <li>· 필요시 해당 항만 현황</li> </ul>
(3) 운항 안전 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 교통 혼잡도 자료</li> <li>· 사고 이력 자료</li> <li>· 항해, 기상 및 조난 정보 자료</li> </ul>
(4) 해양 기상 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 날씨, 일사량, 강수량, 기온, 풍속과 풍향, 구름 및 기압 등 기상 자료</li> <li>· 해류 속도와 방향, 파고와 파향 등 해양 환경 자료</li> <li>· 해빙 상태 및 빙해 운항 권고 자료</li> </ul>

**2.3 최적 안전항로 지원 시스템 필요 정보 검토**

2.1 절에서와 같이, IMO에서 제정된 또는 준비 중에 있는 해양 환경 및 안전 규제에 관한 각종 국제 협약들을 분석하여, 최적 안전항로 지원 시스템에 필요한 정보들을 Table 4와 같이 도출하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1 최적 안전항로 지원 시스템 개념 설계**

본 연구에서는 최적 안전항로 지원 시스템이 갖추어야 할 서비

스 내용과 이를 위해 구축해야할 데이터베이스를 Fig. 1과 같이 설계하였다. 여기에는 최적 안전항로 지원 시스템이 갖춰야 할 기능과 필요 정보들을 모두 포함시켰고, IMO e-Navigation 이항계획의 해상 서비스 포트폴리오의 내용을 최대한 수용함으로써 국제표준에 적합하도록 하였다.

Fig. 1의 시스템 구성도에는 Table 2에서 요약한 해상 서비스 포트폴리오 가운데, 최적 안전항로 지원 시스템을 통해 지원할 수 있는 서비스와 최적 안전항로 지원 시스템에 필요한 서비스 정보가 포함되어 있다. 이와 같이 e-Navigation 해상 서비스 포트폴리오 내용을 근간으로 하여 서비스 내용과 필요 정보를 이용하여 최적 안전항로 지원 시스템을 구축할 경우, 이는 일반적인 최적 항로 지원 시스템의 역할을 넘어서서 안전 분야를 충분히 고려하는 종합적인 최적 안전항로 지원 시스템이 될 것으로 판단된다.

**3.2 최적 안전항로 지원 시스템을 위한 데이터베이스 구성**

최적 안전항로 종합 지원 시스템에 포함되어야 하는 데이터베이스를 선박 성능 데이터베이스, 해도 데이터베이스, 운항 안전 데이터베이스, 해양 기상 데이터베이스의 네 종류로 구성하였는데, 이 가운데 해도, 운항 안전 및 해양 기상 데이터베이스는 향후 완성될 IMO e-Navigation 이항계획의 해상 서비스 포트폴리오에 맞추는 것이 적절할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 선박 성능과 관련하여 꼭 필요한 내용을 분석하고, 이를 근간으로 선박 성능 데이터베이스와 해양 기상 데이터베이스의 내용을 구성하였다.

최적 항로 선정하기 위해서는 예정 항로 주변에 대한 환경 조건을 모두 파악하고, 각각의 해양 환경이 선박에 미치는 운항성능의 변화를 계산하여야 한다. 여기서 내항성능과 조종성능에 필요한 해양 기상조건은 모두 저항추진성능 추정에 필요한 조건에 포함되어 있으므로, 본 연구에서는 저항추진성능에 대한 조건을 통해 선박성능 추정을 위한 해양기상 조건의 항목을 도출하였다.

현재 전 세계에서 발표된 저항추진 성능에 대한 실험적 성능 해석법 가운데에서는 ISO에서 2002년에 제정한 ISO 15016 해석법 표준(ISO[2002])이 가장 신뢰할 만하다고 판단되고 있다. ISO 15016 해석법은 2015년에 개정되었는데(ISO[2015]), 이 2015년 개정본은 반사파에 의한 부가저항을 경험적 자료를 통해 추정하는 등 일부 내용이 변경되었는데, 큰 틀은 2002년도 해석법을 그대로 유지하고 있다. 2015년 개정본은 아직 개정된 방법의 신뢰성이 충분히 확인되지 않은 상황이며, 특히 경험적 자료가 없는 경우 추정 정밀도는 매우 낮아지는 단점도 있다. 따라서 본 연구에서는 ISO 15016:2002 해석법을 근간으로 하되, 이 해석법만으로는 다소 미흡하다고 판단되는 항목에 대해서는 선박해양플랜트연구소에서 개발한 해석법(Kim etc. [2002], IMO[2009a], Kim and Choi[2014], Kim et al.[2015], Choi et al.[2016],)을 추가하여, 선박 성능에 영향을 미치는 선체 제원과 환경 조건을 도출하고자 한다. Table 5는 실선 성능 해석에 필요한 모든 요인과 해석법을 제시하였고, 이 때 필요한 선박성능 자료와 해양 기상 자료를 보여주고 있다.

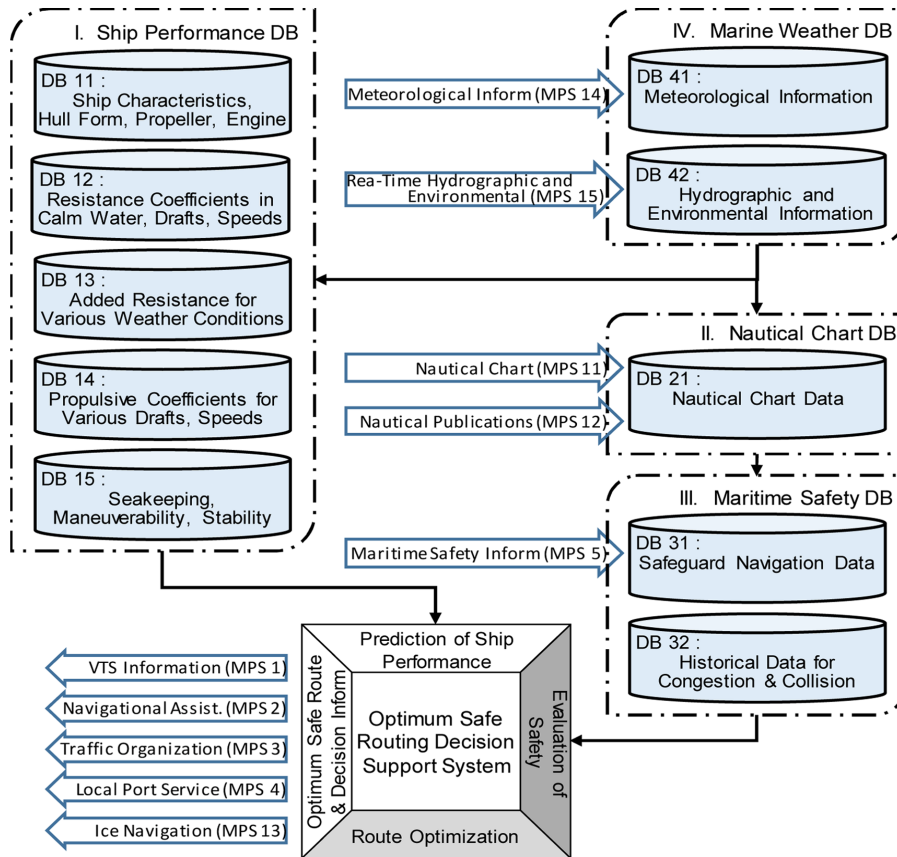


Fig. 1. Structure of the Optimum Routing Decision Support System and Its Database Connected with the Maritime Service Portfolios of IMO e-Navigation.

Table 5. Speed Trial Analysis Methods

Speed Trial Analysis	Speed Trial Analysis Program of KRISO		Database	
	ISO 15016 Method	Additional Method	Ship Performance Database	Marine Weather Database
Basic Resistance in calm water			Ship Dimensions Resistance Coefficients Propulsive Coefficients	Water Temperature Salinity Ocean Current Speed Ocean Current Direction
Added resistance due to wind (Kim <i>et al.</i> [2014])	Wind Tunnel Test	Blendermann Chart Isherwood Chart	Ship Dimensions above Waterline	Air Temperature Wind Speed Wind Direction
	JTTC Chart			
Resistance Increase due to waves	Maruo		Ship Offsets and Dimensions	Wave Significant Height Incident Angle Mean Period Swell
	Faltinsen			
	Kwon			
Diffraction of incident waves in short waves (Choi <i>et al.</i> [2016])	Fujii-Takahashi		Waterline Offsets	Significant Height Incident Angle Mean Period
Effect of steering for course keeping	SR208		Rudder Dimension & Steering Angle	
Effect of drifting (Kim <i>et al.</i> [2015])	SR208	KRISO		
Effect of water temperature and salt content	Simple Formula			Water Temperature
Effect of displacement	Simple Formula		Displacement	
Effect of shallow water	Lackenby		Ship Dimension of Submerged Body	
Effect of hull roughness	-	ITTC '78	Hull Roughness	
Effect of propeller roughness	-	ITTC '78	Propeller Roughness	

Table 5에서 도출한 해양 기상 정보는 선박의 운항 성능 계산에 직접 필요한 정보이며, 이 외에도 최적 안전 항로 도출을 위해서는 조석, 강우량, 가시거리, 저기압, 태풍 등 각종 기상 정보 및 경보가 필요할 것이다.

또한 Table 5에 함께 표시된 해양 기상 정보를 이용하여 임의의 실험에서의 선박 성능을 추정하기 위해서는 복잡한 계산 과정이 필요하며, 계산 시간도 많이 소요된다. 따라서 최적 안전항로 지원 시스템에서는 파랑중 부가저항과 바람 저항 등 일부 계산을 사전에 시행하여 데이터베이스로 구축해 둬으로써, 최적 안전항로를 보다 빠르고 정확하게 도출할 수 있도록 하였다.

### 3.2.1 선박 성능 데이터베이스

최적 안전항로 지원 시스템에서 필요로 하는 선박 특성으로부터 일부 선박 성능을 계산하여 Table 6과 같은 선박 성능 데이터베이스를 구성하였다.

Table 6과 같이 설계된 선박 성능 데이터베이스를 구현한 하나의 예로서, Fig. 2는 2만톤급 선박에 대해 선박, 프로펠러 및 주기관 등의 제원과 저항추진 성능, 그리고 파랑중 부가저항의 일부를 보여주고 있다.

### 3.2.2 해양 기상 데이터베이스

선박 성능 추정에 필요한 해양 기상 정보는 Table 6에 함께 표시되어 있다. 국내 해운사의 경우 항로 계획을 위한 해양 기상 정보는 한국 기상청 자료를 비롯해서, 일본 기상청, IMOC, AWT, Navtex 등 여러 가지 서비스 가운데에서 선별하여 활용하고 있다. 그러나 이들 해양 기상 정보들은 안전 요건을 강화시킨 최적 안전항로 지원 시스템을 위해서는 부족한 점이 있으며, 특히 한국 해역 주변에서의 해양 기상 정보는 기상청과 국립해양조사원에서 제공하고 있는데, 최적 안전항로 지원 시스템에 적용하기 위해서는 보완이 필요하다고 판단된다.

한국 해역 주변에서의 최적 안전항로 지원 시스템 개발을 위해서는 먼저, 보다 정확한 관측 자료를 바탕으로 한국 전 해역에 대한 정도 높은 예측 자료의 생성이 필요하다고 본다. 두 번째로, 국내 항로의 운항 시간이 한 두 시간 내외가 많은 것을 감안하면 예보 시간 간격을 보다 줄여서 운항 직전 또는 운항 중에 최적 안전항로를 찾아 나갈 수 있도록 해야 하겠다. 마지막으로, 파랑을 풍파와 너울로 나누어 예보할 필요가 있다고 판단된다.

Table 6과 같이 파랑에 의한 부가저항은 파랑을 풍파와 너울로 구분하여 계산하도록 하였다.

최적 안전항로를 보다 빠르고 정확하게 도출하기 위해서는 특히

**Table 6.** Structure of Ship Performance Database

		Ship Performance Database		
Principal Dimensions		Hull Characteristics Propeller Characteristics Rudder Characteristics Engine Characteristics		
		in various Ship Speed, Residual Resistance Coef. (or) Wave Making Res. Coef. & Form factor		
Model Test Data (Resistance & Propulsive Coefficients)		Thrust Deduction Fraction Wake Fraction, Model Wake Fraction, Ship Relative Rotative Efficiency Quasi-Propulsive Efficiency		
		Wind wave : Significant Height Incident Angle Mean Period (exclude) Swell : Significant Height Incident Angle Mean Period (exclude)		
Calculated Wave and Swell Data		1 <sup>st</sup> Variable	2 <sup>nd</sup> Variable	3 <sup>rd</sup> Variable
	Wave Motion	Wave	Incident Angle 0-180 deg (19)	Significant Height 0-16.76m (11)
Swell		Incident Angle 0-180 deg (19)	Significant Height 0-16.76 m (11)	Ship Speed 0-00 kts (00)
Added Resistance (Calculated Data)	Wave Diffraction	Wave	Incident Angle 0-180 deg (19)	Significant Height 0-16.76 m (11) Ship Speed 0-00 kts (00)
		Swell	Incident Angle 0-180 deg (19)	Significant Height 0-16.76 m (11) Ship Speed 0-00 kts (00)
	Wind	Relative Direction 0-180 deg (19)	Relative Velocity 0-30 m/s (11)	-
	Drifting	Drift Angle 0-180 deg (19)	Ship Speed 0-00 kts (00)	-
	Hull Roughness	Hull Roughness 0.00006-0.0006 m (19)	Ship Speed 0-00 kts (00)	-

```

=====
WEATHER SPEED PREDICTION FOR VOYAGE PLANNING : WS11B
=====
PROGRAMMED BY KRISO

FILE NAME :
SHIP NAME :
* LPP = 180.000 M
* BREADTH = 29.000 M
* DEPTH = 16.300 M
DRAFT
* MEAN= 10.600 M
* FP= 10.600 M
* AP= 10.600 M
* MID= 10.600 M
* LWL = 190.000 M
* S = 6830.0 M2
* SBK = 0.0 M2
* AT = 540.0 M2
* AL = 1420.0 M2
* CM = 0.9604 M3
* DISV = 33900. M3

PROP. NAME :
* NO. PROP.= 1
* NO. BLADE= 4
* DIAMETER= 7.000 M
* PRO70 = 1.0710
* EAR = 0.6740
* CHR = 0.3029
* AREA = 44.30 M2
* HEIGHT = 9.700 M
* AREA R. = 0.0222
ENGINE :
* MCR BHP = 23000. PS
* MCR REV.= 95.00RPM
* ETAT = 0.9650

TRIAL DATE :
CONDITION : CLOUDY
COURSE : OFF-BUSAN
* SEA DEPTH = 145.0 M
* AIR TEMP. = 20.00 DEG
* DENSIVT= 1.225 KG/M3
* WATER TEMP.= 10.00 DEG:S
* DENS.= 1024.00 KG/M3
* K.VIS.= 1.3653 EGM2/S

MODEL TEST RESULTS
PREDICT METHOD: 2-D, KRISO-2D DELCF = 0.000210
* VS(KNOT): 10.00 12.00 14.00 16.00 18.00 19.00 20.00 21.00 22.00 22.50 23.00
* CPM*1000: 1.278 1.293 1.275 1.243 1.209 1.192 1.179 1.180 1.203 1.226 1.254
* TM : 0.161 0.153 0.154 0.163 0.178 0.188 0.199 0.209 0.215 0.216 0.216
* WM : 0.375 0.362 0.349 0.337 0.323 0.318 0.312 0.306 0.301 0.298 0.297
* WS : 0.289 0.279 0.274 0.273 0.273 0.275 0.277 0.279 0.279 0.278 0.278
* ETARM : 1.026 1.029 1.031 1.032 1.035 1.034 1.034 1.035 1.033 1.033 1.031
* ETADS : 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

WAVE AND SWELL DATA
* WAVE WS : 0.00 3.00 5.00 10.00 16.00 21.00 27.00 33.00 40.00 46.00 54.00
* WAVE HI : 0.01 0.10 0.15 0.61 1.37 2.44 4.27 6.10 9.14 12.19 16.76
* WAVE PE : 0.10 0.50 1.50 3.00 4.00 5.50 7.50 9.00 11.00 12.50 14.50
* SWELL HI : 0.01 0.10 0.15 0.61 1.37 2.44 4.27 6.10 9.14 12.19 16.76
* SWELL PE : 0.20 1.00 3.00 6.00 8.00 11.00 15.00 18.00 22.00 25.00 29.00

BRAKE POWER[KW]=(((CFS+DELCF)*(S+SBK)/S+CR)+0.5+RHOS+S*(VS+0.5144)**2)+DELMOTW*
ADDED RESISTANCE(KN)
MOTION WAVE [DELMOTW] 0-180(19) DEG 0-30.48(13) M 3-18(16) KNOTS
3.000
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
2.6 2.6 2.5 2.5 2.6 2.7 3.0 3.E
20.4 20.3 19.8 19.2 18.8 19.3 21.2 25.2
35.7 35.3 34.3 33.0 32.1 32.5 35.6 42.4
50.6 50.1 48.6 46.5 44.8 45.0 49.0 58.E
61.4 60.7 58.8 56.2 54.0 54.1 58.7 70.C
70.5 69.7 67.5 64.4 61.8 61.7 66.8 79.E
71.8 71.0 68.7 65.5 62.8 62.6 67.7 80.E
78.2 77.3 74.8 71.3 68.3 68.0 73.4 87.2
4.000
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.9 2.3 2.E
13.5 13.4 13.0 12.7 12.7 13.8 16.7 22.C
23.7 23.5 22.8 22.0 21.8 23.5 28.4 37.E
34.1 33.7 32.7 31.4 31.0 33.0 39.7 52.E
41.6 41.2 39.9 38.3 37.7 40.0 48.0 63.E
48.1 47.6 46.1 44.2 43.4 46.0 54.9 73.C
49.2 48.7 47.1 45.2 44.3 46.9 55.9 74.1
53.8 53.2 51.5 49.4 48.4 51.1 60.8 80.F
    
```

Fig. 2. An Example of the Ship Performance Database.

대상선박에 대한 파랑중 부가저항을 미리 계산하여 데이터베이스로 구축할 필요가 있다. 본 연구에서 적용하고자 하는 파랑에 의한 부가저항 계산 방법에 의하면 파입사각과 유의파고 그리고 파주기가 필요하다. 그러나 이 세 가지 변수를 변화시켜가면서 각각의 부가저항을 미리 계산해 두려면 계산 시간이 많이 소요되고 데이터베이스의 크기도 매우 방대해 지므로, 유의파고와 파주기는 Pierson-Moskowitz 해양파 스펙트럼(DND[2016])을 적용하여, 연동되는 것으로 간주하고 유의파고만을 변수로 사용하여 계산해 두도록 하였다. 한편 한국 주변 해역의 파랑 특성을 Pierson-Moskowitz 스펙트럼으로 대신 하기에는 문제가 있다고 판단되므로, 한국의 연근해를 대표할 수 있는 유의파고와 평균주기의 상관관계를 찾아내어 적용해야 한다. 이를 위해 한국 연근해에 대해 서경덕 등이 발표한 한국 연안 심해파의 통계적 특성 논문(Suh[2008])의 유의파고와 평

균주기의 상관관계를 적용하는 것도 가능하다고 본다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 IMO에서 제정된 또는 준비 중에 각종 국제협약들 가운데 최적 안전항로 지원 시스템과 관련된 내용을 조사 분석하였다. IMO 온실가스 배출 협약과 관련해서는 정수중 저항과 외력에 의한 부가저항이 가장 적은 즉, 선속이 가장 낮은 조건이 최적 항로가 되어야 하겠다. IMO 극지선박 기준과 관련해서는 빙산 또는 두꺼운 빙원으로 인해 운항이 불가능한 해역과 운항 금지 해역을 피하고, 운항 가능한 해역에서는 해빙 상태에 따른 선박의 안전 속도를 고려한 최적 선속을 계산하여 선박의 최적 항로를 도출하여야 한다. IMO e-Navigation 전략이행계획과 관련해서는 현재 계획 중인 해상 서비스 포트폴리오의 안전운항에 대한 내용을 수용하여 최적 안전항로 지원 시스템을 구성하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

이와 같은 분석을 통해, 최적 안전항로 지원 시스템을 개념 설계하였다. 최적 안전항로 지원 시스템이 가져야 할 기능을 최적 항로 도출 대상 선박, 제공될 안전 운항 정보, 그리고 확대 적용 시 추가 기능으로 나누어 도출하였다. 또한, 최적 안전항로 지원 시스템 개발 및 운용을 위한 데이터베이스를 선박 성능 데이터베이스, 해도 데이터베이스, 운항 안전 데이터베이스, 해양 기상 데이터베이스의 네 종류로 구성하였다.

본 연구를 통해 도출된 최적 안전항로 지원 시스템의 기능과 필요 자료 목록 그리고 데이터베이스 구조는 향후 최적 안전항로 지원 시스템을 개발하는데 근간이 될 것으로 판단된다.

### 후 기

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(IMO 차세대 해양안전 종합관리체계 기술개발)의 일환이다(PMS3560).

### References

- [1] Choi, H. J., Kim, E. C., Lee, S. G., 2016, Development of Prediction Program of Added Resistance Due to Waves at the Towing Condition of a Disabled Ship Using ISO 15016 Analysis Method, Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy Vol. 19, No. 2. 159-164.
- [2] DND Canada. 2017. <http://www.crs-csex.forces.gc.ca/boi-ce/rp/hmcs-ncsm/rp/ann-eng.aspx#a7>, Home Page of Department of National Defence and the Canadian Armed Forces.
- [3] Kim, E. C. et al., 2001, Evaluation and Computer Program on the Speed Trial Analysis Method of the Ongoing Work in ISO/TC8, Proceedings of the Eighth International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Shang-

- hai, 525-532.
- [4] Kim, E. C., Lee, M. J., 2013, Technical Review for the Optimal Routing System for Reduction of Greenhouse Gas Emission from Ships, *Journal of Ships & Ocean Engineering* Vol. 52, 103-109.
- [5] Kim, E. C., Choi, H. J., 2014, A Study on the Simplified Prediction Method of Air Resistance for Towing Force Calculation of Disabled Ships, *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy* Vol. 17, No. 3. 198-204.
- [6] Kim, E. C., Choi, H. J., Lee, S. G., 2015, Development of Resistance Prediction Method for the Effect of Drifting Angle at the Towing Operation of a Disabled Ship, *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy* Vol. 18, No. 4. 298-303.
- [7] Kim, E. C., Kang, K. J., Lee, H. J., 2016, A Study on the Database Generation of Propulsion Performance for Ships Optimum Routing System, *Journal of Navigation and Port Research* No. 40 Vol. 3, 97-103.
- [8] IMO, 2004, Wings for Ships Research Project, MSC 78/INF.12
- [9] IMO, 2009a, Proposal of the ISO 15016 for the development of the EEDI verification procedure and report of status of its computer programme Submitted by the Republic of Korea, MEPC 59/4/39
- [10] IMO, 2009b, Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI), MEPC.1/Circ.684.
- [11] IMO, 2011, Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as Modified by the Protocol of 1978 Relating thereto (Inclusion of Regulations on Energy Efficiency for Ships in MARPOL Annex VI), IMO Resolution MEPC.203(62), MEPC 62/24/Add.1 Annex 19.
- [12] IMO, 2012, Report of The Maritime Safety Committee on its Ninetieth Session, MSC 90/28, 32.
- [13] IMO, 2014a, Report To The Maritime Safety Committee (Secretariat), NCSR 1/28, pp20-23 and Annex 7.
- [14] IMO, 2014b, Report of The Maritime Safety Committee on Its Ninety-Fourth Session (Secretariat), MSC 94/21, 36.
- [15] IMO, 2014c, Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as Amended (New Chapter XIV), IMO Resolution MSC.386(94), MSC 94/21/Add.1 Annex 7.
- [16] IMO, 2015a, International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code), IMO Resolution MEPC.264(68), MEPC 68/21/Add.1 Annex 10.
- [17] IMO, 2015b, Amendments to MARPOL Annexes I, II, IV and V to Make Use of Environment-Related Provisions of the Polar Code Mandatory, IMO Resolution MEPC.265(68), MEPC 68/21/Add.1 Annex 11.
- [18] ISO, 2002, Ships and marine technology - Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, International Standard of ISO 15016:2002.
- [19] ISO, 2015, Ships and marine technology - Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, International Standard of ISO 15016:2015.
- [20] Rizvanolli, A. et al, 2015, The Role of the European Maritime Simulator Network in Assessing Dynamic Sea Traffic Management Principles, *TransNav* Vol.9 No.4, 559-564.
- [21] StormGeo, 2017, <http://www.stormgeo.com/shipping/on-board/bvs-routing/>, Homepage of StormGeo.
- [22] Suh, K. D. et al., 2008, Statistical Characteristics of Deepwater Waves along the Korean Coast, *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* Vol. 20 No. 4, 342-354.

---

Received 16 October 2017

Revised 27 October 2017

Accepted 2 November 2017