



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學博士 學位論文

자율운항선박 항해시스템플랫폼 아키텍처  
개발 및 평가에 관한 연구

A Study on Architecture Development and Evaluation of  
Navigational System Platform for Autonomous Ship



指導教授 李 允 石

2020年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

安 英 中

본 논문을 인영중의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 하 민 재



위 원 이 광 일



위 원 박 준 모



위 원 김 대 해



위 원 이 윤 석



2019년 12월 20일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	vi
Abstract .....	viii

## 제1장 서 론

1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 및 범위 .....	5
1.3 연구 방법 및 구성 .....	6

## 제2장 기술동향 및 관련연구

2.1 자율운항선박 기술동향 및 관련연구 .....	9
2.1.1 국제해사기구 동향 .....	9
2.1.2 국제적 개발동향 .....	11
2.1.3 자율운항선박 관련연구 .....	15
2.2 선박 플랫폼 기술 및 항해장비 동향 .....	20
2.2.1 선박 플랫폼 개발동향 .....	20
2.2.2 선박 항해장비 동향 .....	26
2.3 자율운항선박 플랫폼 .....	29
2.3.1 플랫폼 기술 .....	29
2.3.2 자율운항선박 플랫폼 요구기능 .....	32

### 제 3 장 항해시스템플랫폼 기능 정의

3.1 항해시스템플랫폼 개발절차 .....	33
3.1.1 플랫폼 개발범위 .....	33
3.1.2 개발방법 및 절차 .....	35
3.2 항해시스템 개선요소 .....	39
3.2.1 항해시스템 구성 .....	39
3.2.2 시스템적 특징 .....	46
3.2.3 개선요소 도출 .....	48
3.3 항해시스템플랫폼 기능 .....	52
3.3.1 항해시스템플랫폼의 차별성 .....	52
3.3.2 항해시스템플랫폼 핵심기능 .....	53

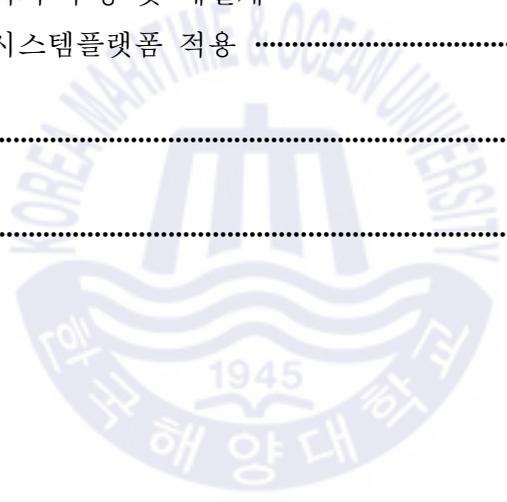
### 제 4 장 항해시스템플랫폼 모듈 설계

4.1 이해관계자 QA 분석 .....	55
4.1.1 이해관계자 구성 .....	56
4.1.2 기능 요구사항과 비기능 요구사항 .....	58
4.1.3 개발 제약사항 .....	66
4.1.4 이해관계자 QA .....	68
4.2 항해장비 및 업무 분석 .....	72
4.2.1 주요 항해장비 .....	72
4.2.2 항해업무와 관련정보 .....	81
4.2.3 항해장비 및 업무정보 코드화 .....	86
4.3 아키텍처 모듈 설계 .....	89
4.3.1 아키텍처 모듈 설계요소 .....	90
4.3.2 QA 기반 모듈 설계 .....	93

### 제 5 장 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발 및 평가

5.1 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발 .....	105
----------------------------	-----

5.1.1	아키텍처 패턴 .....	105
5.1.2	유스케이스 아키텍처 .....	107
5.1.3	배치 아키텍처 .....	110
5.2	ATAM 아키텍처 평가 .....	113
5.2.1	ATAM 평가계획 .....	113
5.2.2	유틸리티 트리 .....	117
5.2.3	아키텍처 및 모듈 설계 평가 .....	120
5.3	평가 반영 및 항해시스템플랫폼 적용 .....	133
5.3.1	아키텍처 개선 요구사항 .....	133
5.3.2	아키텍처 수정 및 재설계 .....	135
5.3.3	항해시스템플랫폼 적용 .....	139
제6장	결 론 .....	143
참고문헌	.....	147



## List of Tables

<b>Table 1</b>	Degrees of Autonomy for Regulatory Scoping Exercise .....	10
<b>Table 2</b>	Methodology of MUNIN Project .....	17
<b>Table 3</b>	Shipboard Navigational Equipment according to SOLAS Chap. V .....	42
<b>Table 4</b>	Standards of IEC 61162 .....	43
<b>Table 5</b>	Transmission Requirements of Navigation Data .....	50
<b>Table 6</b>	List of Functional Requirement .....	59
<b>Table 7</b>	Priority of Non-Functional Requirement by Stakeholders .....	62
<b>Table 8</b>	Non-Functional Requirement for Quality Attribute Analysis .....	64
<b>Table 9</b>	ISO/IEC 9126 Software Quality Characteristics .....	69
<b>Table 10</b>	Quality Attribute by ISO/IEC 9126 and SEI Model .....	71
<b>Table 11</b>	IMO Performance Standards & IEC/ISO Standards .....	73
<b>Table 12</b>	List of Main Navigational Equipment .....	76
<b>Table 13</b>	Navigation Task and Data for Navigation Task .....	84
<b>Table 14</b>	Characteristics of Navigational Equipment .....	87
<b>Table 15</b>	Data Interval and Connection of Navigational Equipment .....	88
<b>Table 16</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 1) .....	93
<b>Table 17</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 5) .....	94
<b>Table 18</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 25) .....	95
<b>Table 19</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 2) .....	96
<b>Table 20</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 15) .....	97
<b>Table 21</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 4) .....	98
<b>Table 22</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 12) .....	99
<b>Table 23</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 14) .....	100
<b>Table 24</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 3) .....	101

## List of Tables

<b>Table 25</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 11) ..	102
<b>Table 26</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 22) ..	103
<b>Table 27</b>	Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 26) ..	104
<b>Table 28</b>	General Phases of Architecture Tradeoff Analysis Method .....	114
<b>Table 29</b>	Comparison of Priority NFR of Stakeholders and Evaluation Team ...	118
<b>Table 30</b>	Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 1) .....	122
<b>Table 31</b>	Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 2) .....	124
<b>Table 32</b>	Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 4) .....	126
<b>Table 33</b>	Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 14) .....	128
<b>Table 34</b>	Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 26) .....	130
<b>Table 35</b>	Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 11) .....	132

## List of Figures

Fig. 1	Changes in Ship Characteristics .....	2
Fig. 2	Flow Chart of the Study .....	7
Fig. 3	FINFERRIES FALCO Main Particulars .....	12
Fig. 4	YARA Birkeland Main Particulars .....	13
Fig. 5	Revolt Main Particulars .....	14
Fig. 6	Network Architecture for an Autonomous Ship .....	15
Fig. 7	Diagram of Autonomous Ship and Shore Service .....	16
Fig. 8	Module Diagram for Autonomous Ship Control .....	18
Fig. 9	Integrated Shipboard Information Technology Platform .....	21
Fig. 10	BIG(onBoard Integrated Gateway) Platform .....	22
Fig. 11	Function of On-Board and Central Platform .....	23
Fig. 12	Smart Ship Application Platform .....	24
Fig. 13	Diagram for ISO 19847 and ISO 19848 .....	25
Fig. 14	Timeline of Adopted Performance Standards for Navigational Equipment .....	28
Fig. 15	Smart Home Platform and Ship Platform .....	31
Fig. 16	Shipboard Platform Type and Main Function .....	32
Fig. 17	Shipboard Systems .....	34
Fig. 18	Navigational System Platform Architecture Design Phase .....	37
Fig. 19	Behavioral Perspective of Navigational System .....	40
Fig. 20	Arrangement of Navigational Equipment on Bridge .....	51
Fig. 21	Main Function of Navigational System Platform .....	53
Fig. 22	Actors' Role in Development of Navigational System Platform .....	56
Fig. 23	Stakeholders of Navigational System Platform .....	57
Fig. 24	Stakeholders Engagement of Quality Attribute Workshop .....	58

## List of Figures

Fig. 25	Priority of Non-Functional Requirement .....	63
Fig. 26	Classification According to Data Input Type .....	77
Fig. 27	Equipment Classification by Data Function of Navigational Equipment ..	79
Fig. 28	Duties of the Officer of Watch .....	82
Fig. 29	Navigational Equipment and Data for Navigation Task .....	85
Fig. 30	FR and NFR of Navigational System Platform .....	90
Fig. 31	Tactics of Quality Attribute .....	92
Fig. 32	Usecase Architecture for Navigational System Platform .....	109
Fig. 33	Arrangement of Functional Modules of Navigational System Platform ...	111
Fig. 34	Deployment Architecture of Navigational System Platform .....	112
Fig. 35	Modified Progress of Architecture Tradeoff Analysis Method .....	116
Fig. 36	Utility Tree for Navigation System Platform .....	119
Fig. 37	Modified Usecase Architecture of Navigational System Platform	136
Fig. 38	Modified Deployment Architecture of Navigational System Platform	138
Fig. 39	Improve Equipment Management and Connectivity .....	139
Fig. 40	Changes in Bridge Navigational Equipment Arrangement .....	141

# 자율운항선박 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발 및 평가에 관한 연구

안 영 중

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과

## 초 록

자율운항선박은 다양한 기술과 시스템들의 연결, 향상된 기능요구 등 쉽게 정의하기 어려운 개발 분야 이지만, 해운과 조선 산업의 새로운 발전 동력으로 주목 받고 있다. 원격운항과 높은 자동화 수준을 구현하기 위해서는 선내 개별 장치들을 하나로 연결하고, 수집된 정보기반의 서비스와 응용시스템 제공 및 보안관리가 가능한 플랫폼 기술이 요구된다.

국내외 다양한 프로젝트들은 자율운항선박 플랫폼을 개발하였거나 개발 중이지만, 국제적으로 상용화된 플랫폼은 없으며, 개발을 위한 표준화된 기술적 접근방법이 제시되어 있지 않다. 개발된 선박 플랫폼들은 특정한 해역에 적용되거나, 프로젝트 콘셉트에 따라 구현되어 플랫폼들의 성능과 기능, 품질 등이 상이하다. 또한 플랫폼 개발 과정에서 이해관계자 관점이 반영되지 않은 경우 성능이 떨어지고 필요하지 않은 기능들을 포함할 수 있다. 따라서 향상된 성능과 기능을 위해 자율운항선박 플랫폼 개발초기에 이해관계자 관점의 반영이 요구된다. 플랫폼 개발 초기에 반영되지 않는다면, 프로젝트의 실패나 개발 이후 수정을 위한 많은 비용이 발생하기 때문이다.

본 연구는 자율운항선박 플랫폼의 상용화와 표준화를 위한 기술적 접근방법을 제시하고, 이해관계자 관점이 플랫폼 개발에 반영될 수 있도록 소프트

웨어 아키텍처 이론을 적용한 개방형 플랫폼 아키텍처 개발을 목적으로 하였다. 개방형 플랫폼 아키텍처 개발은 자율운항선박 항해시스템을 대상으로 하였다. 항해시스템은 인적요소가 구성 장비 및 시스템, 컴포넌트들을 연결하고 있어 자율운항선박에서 가장 많은 변화가 예상되며, 소프트웨어 아키텍처 개발과정의 적용에 적절한 개발범위를 가지고 있기 때문이다. 이러한 연구목적 달성을 위해 소프트웨어 아키텍처 개발 이론 및 기법을 다음과 같이 적용하여 연구를 수행하였다.

먼저, 항해시스템플랫폼의 명확한 정의와 기능을 선행연구 및 기술동향, 항해시스템 분석을 통해 아키텍처 개발을 위한 필수 기능요구 사항으로 제시하였다. 아키텍처 개발에 필요한 기능요구사항을 도출하였고, 기존 선박 플랫폼과 차별성 및 항해시스템플랫폼의 목적을 명확히 하였다. 아키텍처 개발에는 기능요구사항 뿐 아니라 비기능 요구사항이 설계요인으로 함께 제시되어야 하므로, 이를 위해 이해관계자 중심의 워크숍(QAW, Quality Attribute Workshop)을 실시하였다. 워크숍을 통해 참여한 이해관계자들은 앞서 정의된 항해시스템플랫폼의 기능요구사항을 기반으로 비기능 요구사항을 도출하고 중요도와 구현성에 따라 우선순위화 하였다.

다음으로 이해관계자들이 도출한 비기능 요구사항과 관련되는 주요 항해장비들을 데이터 입력방식, 기능, 관련 항해업무에 따라 분류하여 코드화하였다. 코드화된 항해장비들의 특성을 관련 비기능 요구사항과 함께 품질속성 기반으로 아키텍처에 필요한 모듈들을 설계하였다. 모듈 설계를 기반으로 항해시스템플랫폼의 아키텍처를 개발하였다. 아키텍처에 대한 평가는 아키텍처 트레이드오프 분석기법(ATAM, Architecture Tradeoff Analysis Method)을 적용하였으며, 작성된 아키텍처와 품질속성 시나리오 및 유틸리티 트리에 대해 평가를 수행하였다. 이 과정을 통해 아키텍처에서 발생할 수 있는 문제점이나 위험요소를 파악하기 위한 설계 접근방법을 평가할 수 있었으며, 개선사항을 적용해 최종적인 항해시스템플랫폼 아키텍처를 작성하였다. 본 연구의 주요한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 항해시스템플랫폼의 명확한 정의와 기능을 확인하기 위한 항해시스템 문제점 분석에서, 향상된 항해장비 적용과 확장을 위한 네트워크 구조개선, 전원관리, 시간 동기화 및 플랫폼 디스플레이와 컨트롤러의 통합 필요성을 확인하였다.

둘째, 워크숍을 통해, 이해관계자들이 요구하는 항해시스템플랫폼에 대한 성능이 구체적인 시간이나 수치로 표현되고, 순위화를 통해 아키텍처에 우선적으로 고려되어야 하는 비기능 요구사항을 확인하였다. 워크숍을 통한 이해관계자들의 비기능 요구사항 정제는, 설문보다 구체적인 성능 제시와 다양한 위험요소 도출이 가능하였다.

셋째, 아키텍처 트레이드오프 분석기법으로 품질속성과 모듈 설계를 평가함으로써, 아키텍처 개발에 참조할 수 있는 결정요소들을 추가적으로 정의하였다. 지속적으로 항해시스템플랫폼 아키텍처를 평가하고 결과를 반영한다면 기능과 품질 개선이 가능할 것으로 확인되었다.

본 연구는 자율운항선박 플랫폼 개발에서 이해관계자의 관점을 반영하기 위해 연구를 수행한 점과 표준화와 상용화를 위해 오픈 플랫폼 아키텍처를 개발하여 기술적인 접근 방법을 제시하고자 한 것에 그 의의를 찾을 수 있다. 소프트웨어 아키텍처 개발과정을 적용하여 플랫폼 개발의 단계적인 접근 방법을 제시할 수 있었으며, 이해관계자들의 이해를 돕고 개발공정에 필수적인 밑그림을 효과적으로 제시하였다. 제시된 항해시스템플랫폼은 실용적 측면에서 항해장비들의 연결을 간소화하고, 통합 디스플레이와 컨트롤러로 많은 공간을 요구하지 않으면서 새로운 장비의 적용을 지원할 수 있다. 국제적인 표준화를 통해 선박에 적용된다면, 원격운항을 위한 기능구현과 통합 전원관리와 시간관리, 플랫폼 중심의 보안 강화가 가능하고 더욱 다양한 서비스와 기능 제공을 위한 환경이 구축될 수 있을 것이다.

**핵심용어:** 자율운항선박, 항해시스템플랫폼, 소프트웨어 아키텍처, 품질속성, 아키텍처 트레이드오프 분석기법.

# A Study on Architecture Development and Evaluation of Navigational System Platform for Autonomous Ship

Ahn, Young Joong

Department of Coast Guard Studies

Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Although it is difficult to define what constitutes an autonomous ship due to the interconnection of various technologies and systems and the need for improved functions, such ships are drawing attention as the new driving momentum for the shipping and shipbuilding industry. To effectuate remote operation and a high level of autonomy for ships, platform technology that connects each device into one system and provides services based on collected information, application systems, and cyber security management is required.

Various projects for autonomous ships have developed or are developing a platform, but none has been commercialized at the international and no standardized technology approach for developing such ships has been proposed. The ship platforms that have already been developed are limited to specific waters, or they consist of functions that are low-quality and/or unnecessary to the stakeholders because they were designed pursuant to a specific project concept.

For improved performance and functions, the stakeholders perspectives are required in the early stages of development of an autonomous ship platform. Since failure or modification of a project incurs high costs, the views and requirements of stakeholders and operators should be reflected early in the platform development process.

The purpose of this study is to present a technical approach for commercialization and standardization of autonomous ship platforms and to develop an open platform architecture that applies the software architecture theory which would enable the perspective of stakeholders to be reflected in its development. The open platform architecture was designed for the autonomous ship navigation system because they are expected to have the most dynamic variables in autonomous ships due to the interrelationships among human factors, components, systems, and equipment. They also have the proper development scope for application of the software architecture development process. To achieve these research objectives, the software architecture development theory and techniques were applied as follows.

A precise definition and function of the navigation system platform which was identified through prior studies, technology trends, and navigation system analysis was presented as a functional requirement that is essential for architecture development. The functional requirements necessary for the development of the architecture were identified, and the purpose of the navigation system platform and the distinction from existing ship platforms were clarified. Since functional as well as non-functional requirements must be presented as design factors for architecture development, Quality Attribute Workshops(QAW) were conducted. The stakeholders who participated in the workshop identified non-functional requirements based on the functional requirements of the previously defined navigation system platform and prioritized them according to their importance and feasibility.

Next, main navigational equipment related to non-functional requirements

identified by stakeholders were classified and codified according to data entry methods, functions, and relevant navigation tasks. Modules necessary for the architecture were designed based on the attributes of codified navigation equipment together with the relevant non-functional requirements. Based on the module design, the architecture of the navigation system platform was developed. The assessment of the architecture was made using the Architecture Tradeoff Analysis Method(ATAM), and the designed architecture, quality attributes scenarios, and utility trees were evaluated. This process allowed for the evaluation of the design approach for identifying possible problems or hazards in the architecture, and the final navigation system platform architecture was re-designed after making the improvements. The main results of this study are summarized as follows.

First, in the problem analysis of the navigation system for the purposes of developing and identifying a precise definition and function of the navigation system platform, respectively, the analysis showed that there is a need for improved network structure, power management, time synchronization, and platform-centered display and controller integration for improved application and expansion of navigation equipment.

Second, through the workshop, the performance level of the navigation system platform required by stakeholders was expressed in specific time or numerical values, and non-functional requirements that should be prioritized in the architecture was identified. Through the workshop, the stakeholders refined their non-functional requirements and were enabled to present and identify more specific performance and risk factors compared to surveys.

Third, by evaluating quality attributes and module design with the architectural tradeoff analysis method, additional determinants were defined that could be referenced in the development of the architecture. It has been confirmed that the function and quality improvement will be possible if the navigation system platform architecture is continuously evaluated, and the results are reflected appropriately.

This study is significant in its endeavor to reflect the stakeholders perspectives during the autonomous ship platform development process, and its presentation of a technical approach via development of an open platform architecture for standardization and commercialization. Applying the software architecture development process enabled the presentation of a step-by-step approach to platform development, helping stakeholders to understand and visualize the essential underpinnings in the development process. The proposed navigation system platform can simplify the connection of navigation equipment in practical terms and support the application of new equipment without requiring much space with integrated displays and controllers. If applied to ships through international standardization, a functional implementation for remote operation, integrated power management and time management, and platform-centered security reinforcement will be possible, and an environment in which more diverse services and functions are available will be established.



**KEY WORDS:** Autonomous ship, Navigational system platform, Software architecture, Quality attribute, Architecture tradeoff analysis method.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경

선박과 해사산업(Maritime industry)의 변화는 산업혁명 시기와 정확하게 일치하진 않지만 많은 영향을 받으며 발전해왔다. 제1차 산업혁명의 증기기관은 선박의 새로운 추진동력이 되었고, 제2차 산업혁명을 통한 재화의 대량생산은 선박에 더 많은 화물선적을 요구하게 되었다. 이러한 필요성에 따라 선박은 적재할 수 있는 화물량을 늘리기 위해 개선되어 왔으며, 이후 안전한 항해를 위한 다양한 장비들과 기술이 도입되었다.

전자와 IT(Information Technology)로 대표되는 제3차 산업혁명을 통해 제조업이 자동화되고, 전 세계는 하나의 네트워크로 연결되면서 재화와 용역의 상호교환이 더욱 활발하게 이루어짐에 따라 선박을 이용한 해상 운송은 호황기를 맞이하였다(Duru, 2010). 이로 인해 선박회사들의 신조선 발주가 크게 증가하였고, 2010년부터 선박들이 지속적으로 인도됨에 따라 공급 초과 현상이 나타났다(하나금융경영연구소, 2011). 과잉 공급된 선박들로 인해 해운경기는 불황으로 접어들었고, 해양 환경오염 문제도 주요한 이슈가 되었다. 환경보호와 원가 절감을 위해, 친환경적이고 연료를 효율적으로 사용하는 선박 건조가 필요해지면서, 친환경 선박의 개념이 등장하였다(한국해양수산개발원, 2016). 친환경 선박에 대한 국제적 차원의 논의가 국제해사기구(IMO; International Maritime Organization)를 통해 본격화 되는 시점에서, 효율적인 연료 사용과 선내 정보 모니터링을 위한 IT 기술이 접목된 스마트 선박 개발도 해사산업 분야에서 많은 관심을 받게 되었다.

제4차 산업혁명은 해사산업이 친환경, 스마트 선박 개발중심으로 진행되는 도중에 시작되었다. 제4차 산업혁명은 정보통신기술(ICT; Information and Communication Technology)의 융합으로 이루어지는 차세대 산업혁명이며, 빅데이터 분석, 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷, 무인 운송 수단, 3차원 인쇄, 나노 기술 분야에서 새로운 혁신이 예상된다(Schwab, 2016). 이에 대한 경제학자

및 전문가들의 회의적인 시선도 있으나, 관련된 기술들을 통해 기존 산업혁명 이상의 생산효율 향상과 변화가 예상되고 있다. Fig. 1과 같이 4차 산업혁명으로 해사산업은 친환경선박의 기능 및 국제표준요건뿐만 아니라, 디지털화와 자동화도 동시에 실현하는 자율운항선박 개발에 주목하고 있다(Im et al., 2018). 과도한 수주경쟁과 급증한 선복량으로 어려움을 겪고 있는 조선업계와 치열한 물류경쟁 및 원가절감 요구에 직면한 해운업계에 있어, ICT가 결합된 자율운항선박 개발은 새로운 발전 동력뿐만 아니라 해사산업을 급속히 변화시키는 게임체인저(Game changer)가 될 것으로 예상하고 있다(한국해양수산개발원, 2018).

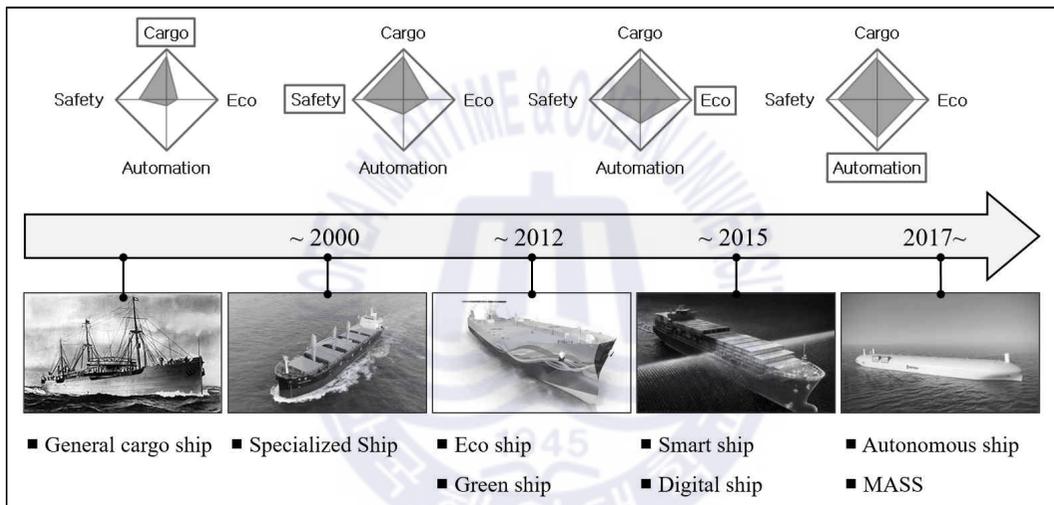


Fig. 1 Changes in Ship Characteristics

최근까지도 자율운항선박은 Autonomous ship, Connected ship, Digital ship, Remote ship, Smart ship, Unmanned ship 등 다양하게 표현되었으나(한국정보통신기술협회, 2018), 2017년 IMO 제98차 해사안전위원회(MSC)에서 수면상의 자율운항이 가능한 화물선을 MASS(Maritime Autonomous Surface Ships)로 정의하였다. 이후 IMO 제105차 법률위원회, 제99차 해사안전위원회에서 MASS가 주요 의제로 논의됨에 따라 각 국가와 기업들의 관련연구는 더욱 활성화 되었으며, 자율운항선박의 실현에 필요한 요소들을 식별하고 구체화하는 과정에 있다. 특히 안전성(Safety)과 신뢰성(Reliability), 연결성(Connectivity)은 자율운항선박

개발에 핵심요소이며(Marko, 2019), 이에 대한 충분한 검증이 수반되어야 하므로 국가 간 또는 연구조직 및 산업 간의 협업과 협력에 노력을 기울이고 있다(정희룡 등, 2019).

자율운항선박 구현을 위한 다양한 연구 분야 중 플랫폼 기술은 연결성 향상을 위한 주요한 기술로 평가된다. 자율운항선박의 연결성은 Ship to shore와 Ship to ship의 4S Communication뿐만 아니라, 선내 네트워크 기반의 단위기능 장치간의 연결도 포함한다. 장치간의 연결성은 개별적인 장치들이 네트워크를 통해 연결될 때, 기존의 정보가 가지지 못했던 새로운 기능과 가치를 제공할 수 있는 것에 의미가 있다. 선박의 원격운항과 자율화 구현을 위해서는 정보에 접근성을 향상시키고 수집된 정보처리 기반의 다양한 서비스와 응용시스템 제공 및 사이버 보안관리 등을 위한 정보관리 플랫폼 기술이 중요하다(정성훈 등, 2018).

선박 플랫폼 개발 연구는 1995년 미국의 ISIT(Integrated Shipboard Information Technology) Platform 프로젝트를 시작으로 디지털 선박 구현을 위해, 장기간에 걸쳐 미국, 유럽연합 및 유럽 제조사들을 중심으로 진행되어 왔다(박종원 등, 2011). 디지털 선박에 대한 개념은 선내 다양한 센서로부터 계측된 데이터가 통합 관리되고, 선박 운항 시의 모든 상황이 데이터화 되어 정확한 상황판단과 효율적인 육상 지원체계가 제공되는 선박을 의미한다. 이를 위해 선박정보 관리 플랫폼 개발이 요구되었다(김재양 등, 2005). 장기간의 디지털 선박 플랫폼 개발연구는 실증테스트를 거쳐 구현 가능성이 확인되었으나, 국제표준화 및 범용성, 통신기술의 한계로 해사산업 분야에 널리 이용되지 못했다. 그러나 통신기술 발달과 제4차 산업혁명의 핵심기술들을 바탕으로 육상과 선박간의 정보 관리뿐만 아니라, 원격조종 및 자율운항선박의 구현이 가능할 것으로 예상되면서 플랫폼 기술 개발에 대한 필요성이 다시 강조되고 있다. 유럽연합은 기존의 MarNIS(Marine Navigation Information Service) 프로젝트 연구결과를 MUNIN Project에 연계하여 디지털 선박에서 자율운항선박으로의 서비스 및 네트워크 설계를 수행하였고, 일본은 개방형 플랫폼 개발을 표방하며 스마트선박 어플리케이션 플랫폼 프로젝트(SSAP; Smart Ship Application Platform

Project)를 진행시켜 관련 국제표준을 채택하였다. 국내에서는 선박 플랫폼 기술 적용을 위한 연구가 유럽과 일본에 비해 뒤늦게 시작되었고, 대형 조선소 중심으로 관련 제조사 및 ICT 업체 간 협력을 통해 진행되고 있다. 플랫폼 기술이 향후 조선 업계의 경쟁력으로 예상되면서, 각 조선소들은 범용적이고 개방적 플랫폼 표준화가 아닌, 기술 중심적 개발을 목표로 하고 있다.

선박 플랫폼이 상용화되기 위해서는 국제적 표준화와 개방적인 플랫폼(Open platform)으로서 범용성을 갖추어야 한다. 표준화와 범용성을 위해서는 공통적인 기능과 성능이 사용자 요구에 맞게 설계되고 지역에 제한되지 않고 사용될 수 있도록 개발되어야 한다. 기술 중심적인 개발은 사용자 요구 적용과 개방성에 한계가 있으며, 개발과정을 파악하거나 성능 및 품질향상을 위한 개선이 어려워, 불편한 인터페이스와 필요하지 않은 기능의 플랫폼이 될 수 있다. 개발 이후에는 사용자 요구에 따라 성능이나 기능 및 인터페이스를 개선하기 위해 많은 비용과 시간이 요구된다. Alan (1993)은 소프트웨어(S/W; Software) 개발 과정에서, 개발 초기에 사용자의 요구를 수집하는 과정에서 문제를 해결하기 위한 비용은, 개발 후기 과정들에 비해 매우 적기 때문에 사용자 요구수집의 중요성을 강조하였다.

그러나 요구수집 과정에서 사용자들이 기술에 대한 높은 이해가 없거나 참조할 수 있는 정보가 부재한 경우, 무리한 성능과 품질을 개발자에게 요구할 수 있다. 이로 인해 개발이 지연되거나 새로운 문제가 발생할 수 있으므로, 개발자와 사용자 간의 성능향상과 사용목적의 이해를 위한 협의가 필요하다. 사용자들과 개발자 간의 협의를 위해, 개발하고자 하는 대상 시스템의 아키텍처(Architecture)가 있다면, 개발환경의 이해와 구현 가능성을 명확하게 평가하고 수정이 가능하다. 개발된 이후에는 잘못된 구조를 바로잡기가 어렵고 비용도 많이 발생하기 때문에 아키텍처를 통해 플랫폼 구현 시의 문제를 예상하고 수정하여 보다 향상된 품질과 기능의 시스템을 구성할 수 있다.

## 1.2 연구 목적 및 범위

본 연구는 자율운항선박의 연결성 향상과 보안관리 및 자동화, 원격제어를 위한 솔루션으로 플랫폼 기술을 적용하고, 개방적인 개발환경 구현에 기여할 수 있는 오픈 플랫폼 개발에 목적이 있다. 기존의 선박 플랫폼들이 국제적으로 표준화 되지 않고 상용화되지 못한 부분은 다양한 선박 장비들과의 호환 및 오픈 플랫폼 설계가 고려되지 않았기 때문이다. 오픈 플랫폼 기반의 시스템 구현의 장점은 사용자 및 관련 개발자, 각 분야의 제조사들이 기능을 향상시키고 개선하며, 확장할 수 있는 개발 환경을 제공함으로써, 상위기능과 복잡한 대규모 시스템의 완성과 구현시기를 앞당길 수 있다(성영조, 2016).

개발대상은 자율운항선박의 항해시스템이며, 원격운항 수준에 적용될 수 있는 플랫폼 개발을 목적으로 하였다. 선박의 항해시스템은 자동화에 따라 가장 많은 변화가 예상되는 선내 시스템이며, 향후 다른 선박 시스템들도 확장성을 두고 개발될 수 있다. 현재의 선박에서 자율운항선박의 구현으로 진행되는 과정에 원격운항은 필수적이며, 원격운항에 필요한 기능들을 포함하도록 설계하였다. 기능적 범위로는 항해정보를 통합관리하고, 사이버 보안 강화, 항해시스템 네트워크 개선 및 국제표준 기반의 공통적이고, 확장성에 있어 개방적인 오픈 플랫폼 설계를 연구범위로 계획하였다.

연구목표인 항해시스템플랫폼은 핵심기능과 아키텍처, 설계 고려요소와 품질속성(QA; Quality Attribute) 기반의 모듈 설계를 포함한다. 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발과정에서는 항해경험이 있는 운항자 관점의 요구가 반영될 수 있도록, 이해관계자 요구분석 중심의 S/W 아키텍처 설계와 평가방법을 적용하였다. S/W 아키텍처의 설계과정은 새로운 시스템 개발 시, 내부 시스템 간의 속성과 특성을 정의하여 이해관계자들의 이해를 돕고 개발공정에 필수적인 밑그림을 효과적으로 기술하는 방법이다(조정희 등, 2014). 항해시스템플랫폼의 사용자로 예상되는 운항자가 이러한 설계과정에 참여하고, 아키텍처 평가에도 사용자 관점을 반영할 수 있다면, 결과물의 품질과 성능향상에 도움이 되며, 이후 개발 과정에도 중요한 근거가 될 것이다.

### 1.3 연구 방법 및 구성

자율운항선박 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발에 있어서, 핵심적인 기능 요구사항(FR; Functional Requirement)은 관련연구와 기술수준에 대한 조사를 통해 도출할 수 있다. 플랫폼의 기능 설계를 위해 자율운항선박 개발 관련연구들과 국제적 동향 및 선박 플랫폼 관련 연구들을 조사하여 기존 플랫폼과의 차별성과 적용범위를 명확히 하였다. 유사 ICT 분야에서 플랫폼이 적용된 사례를 통해 플랫폼 기술의 적용 필요성을 확인하고, 현재 항해시스템 문제점 분석 결과를 통해 개선이 필요한 기능요구를 제시하였다.

제시된 기능 요구사항에 따라 항해시스템플랫폼의 필요성과 핵심기능을 정의하고, 개발과정을 요구분석 기반의 항해시스템플랫폼 모듈 설계, 플랫폼 아키텍처 개발, 아키텍처 평가의 단계로 S/W 아키텍처 개발절차를 적용하였다.

항해시스템플랫폼 모듈 설계 단계에서는 이해관계자들의 QA를 분석하고 설계에 반영하기 위해 8명의 이해관계자가 참여한 품질속성 워크숍(QAW; Quality Attribute Workshop)을 실시하였다. QAW를 통해 비기능 요구사항(NFR; Non-Functional Requirement)을 설계요인으로 도출하고, 아키텍처 개발의 근거가 되는 QA 유형을 정의하였다. S/W 아키텍처 이론에서의 QA 시나리오를 구체적인 정보를 추가하고, 기능과 성능적 요소를 강조하기 위해 아키텍처 모듈 설계서로 작성하였다. 아키텍처를 구성하는 모듈 설계서에는 관련되는 항해장비들의 기능과 특성을 분류하여 코드로 정의된 정보를 포함하도록 하였다.

항해시스템플랫폼 아키텍처 개발단계에서는 QA 분석을 통해 작성된 모듈 설계를 기반으로, 유스케이스와 배치 아키텍처를 개발하였다. 아키텍처 평가 단계에서는 아키텍처 트레이드오프 분석법(ATAM; Architecture Tradeoff Analysis Method)을 적용하였으며, 작성된 유스케이스와 배치 아키텍처에 대해 개발과정에서 고려한 QA 요소들과 아키텍처 모듈 설계의 평가를 수행하였다. 이 과정을 통해 아키텍처에서 발생할 수 있는 문제점이나 위험요소를 파악하고, 제시된 설계 접근방법을 평가하였으며, 개선사항을 도출하였다. Fig. 2는 위의 연구 과정을 도식화한 Flow chart이다.

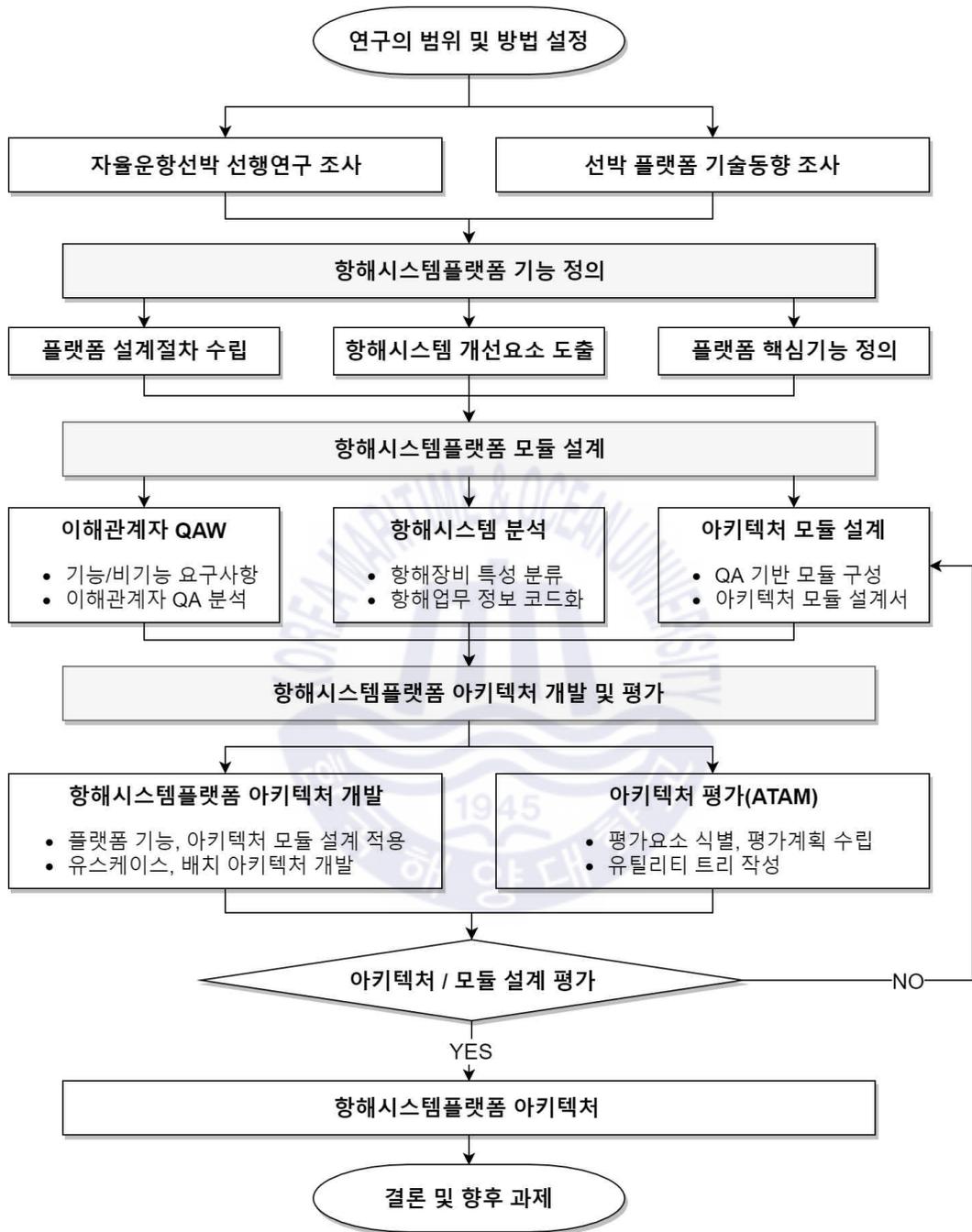


Fig. 2 Flow Chart of the Study

본 연구의 구성은 전체 6개의 장으로 구성되며, 연구배경과 목적 및 연구범위와 방법을 기술한 제1장 서론에 이어,

제2장에서는 자율운항선박 개발의 국제적 동향과 선박 플랫폼 관련연구들을 조사하였다. 자율운항선박의 개념과 국제적인 개발동향을 확인하였고, 선박 플랫폼 개발에 있어 기존 관련연구들과 개발 현황을 조사하였다. 항해시스템을 구성하는 항해장비들의 동향도 함께 조사하였고, 자율운항선박 플랫폼이 기존 선박 플랫폼들과 어떤 차별성을 갖는지 요구기능 중심으로 기술하였다.

제3장에서는 항해시스템플랫폼의 핵심 기능 설계를 위해 현재 항해시스템의 문제점과 플랫폼 기술 적용의 필요성을 기술하였다. 2장의 조사결과와 항해시스템의 개선사항 및 플랫폼 기술의 장점을 반영하여 항해시스템플랫폼의 핵심 기능을 6가지로 정의하고, 플랫폼 가시화를 위해 아키텍처 개발절차를 수립하였다.

제4장은 운항자 관점의 기능과 성능 요구반영을 위해 실시한 QAW의 결과와 모듈 설계에 관련되는 항해장비들의 기능과 특성을 분류하여 코드화한 정보, 그리고 위 내용을 반영하여 작성한 아키텍처 모듈 설계서로 구성되어 있다. 항해시스템플랫폼 아키텍처 모듈 설계가 어떤 요소들을 고려하여 작성되었는지 확인할 수 있도록 상세사항을 기술하였다.

제5장은 항해시스템플랫폼의 유스케이스, 배치 아키텍처 개발결과와 ATAM 평가결과 및 수정사항이 반영된 아키텍처에 대한 설명으로 구성되어 있다. 운항자 QA를 기반의 모듈 설계가 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발에 적용된 부분들과 ATAM을 통해 식별된 문제점과 보완점, 개선사항들이 모듈 설계와 아키텍처에 반영된 사항들을 확인할 수 있다.

제6장 결론 및 향후연구에서는 본 연구의 과정을 요약하고, 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발 및 평가의 결과를 기술하였다. 자율운항선박에 개발한 항해시스템플랫폼이 적용될 경우의 효과와 국제적 표준화를 위해 필요한 향후 연구사항도 함께 제시하였다.

## 제 2 장 기술동향 및 관련연구

### 2.1 자율운항선박 기술동향 및 관련연구

자율운항선박(自律運航船舶)을 해석한다면 ‘자율적으로 운항이 가능한 선박’이라 할 수 있지만, 현재 세계적으로 명확하게 통일된 정의는 부재하다(이현균, 2019). 자율운항선박 개발을 진행하는 국제기구와 선급, 산업체 등에서 다양한 정의를 제안하고 있는 상황이며(한국해양수산개발원, 2018), 개발에 대한 방향성과 실현을 위한 접근방법 및 견해가 달라 개념의 세부적인 표현에 있어 차이가 있다. 국내에서는 육상의 자율주행자동차라는 용어가 먼저 일반화되어 이해를 높이기 위해 자율운항선박으로 표현하고 있다. 연구대상에 대한 명확한 정의와 범위를 확인하기 위해, 자율운항선박에 대한 국제해사기구의 동향 및 국제적인 기술개발과 관련연구들을 조사하였다.

#### 2.1.1 국제해사기구 동향

2018년 5월 개최된 IMO 해사안전위원회(MSC; Maritime Safety Committee) 99차 회의에서는 기술발전에 따른 자율운항선박의 운용을 위해 IMO가 가지고 있는 다양한 국제협약의 규정검토 작업(RSE; Regulatory Scoping Exercise)을 시작하였다. IMO는 RSE를 위해 자율운항선박을 MASS(Maritime Autonomous Surface Ship)로 명칭하여, 수면상의 자동화된 상업적 용도의 선박으로 대상을 명확히 하였다. MASS의 개념도 ‘다양한 자동화 수준으로 사람의 간섭 없이 독립적으로 운용될 수 있는 선박’으로 정의하였고, 현재 해사산업의 가장 대표적인 자율운항선박 개념으로 인식되고 있다(조소현, 2019).

RSE는 MASS의 운용에 관련되는 국제협약과 규정을 식별하여, 개정이나 신규협약 개발 및 통일해석 등을 위한 작업이다. 이 과정에서 MASS의 자동화 수준이 주요한 작업 기준이 되므로, RSE를 위해 Table 1과 같이 자율도(Degrees of autonomy)를 4개 수준으로 제시하였다.

**Table 1** Degrees of Autonomy for Regulatory Scoping Exercise

Degrees	Degrees of autonomy
1	<b>Ship with automated processes and decision support</b> Seafarers are on board to operate and control shipboard systems and functions. Some operations may be automated.
2	<b>Remotely controlled ship with seafarers on board</b> The ship is controlled and operated from another location, but seafarers are on board.
3	<b>Remotely controlled ship without seafarers on board</b> The ship is controlled and operated from another location. There are no seafarers on board.
4	<b>Fully autonomous ship</b> The operating system of the ship is able to make decisions and determine actions by itself.

MASS의 자율도 외에 자동화 수준(Autonomous levels)에 대한 조사 결과, 다양한 정의들과 수준들을 확인할 수 있었으며, 4개에서 7개의 수준을 가지고 있었다. 수준의 개수가 같더라도 정의의 기준은 모두 상이하였으며, 유사점도 가지고 있다. 공통된 부분은 가장 낮은 등급은 일반적으로 인간이 선박의 제어를 주로 담당하고, 가장 높은 등급은 선박이 완전한 자율운항체계를 갖추어 자체적으로 작동하는 수준이다.

수준이 다양한 것과 단순한 것 중 어떤 방식이 적절한지 정의내리기 어려운 부분이지만, 조사를 통해 법률적 접근에 있어서는 자동화 단계가 단순할수록 규정적용 등에 용이하나, 조선소 및 선급이나 제조업체들은 명확하고 세부적인 구분을 필요로 하는 것으로 판단된다. 자동화 수준이 단순할수록 시스템이 어느 정도의 성능을 요구하는지 불분명하기 때문이다. 선급과 제조사의 정의는 기술적으로 구체적인 등급 구분을 제시하면서도 선원의 승선여부와 인간의 개입이 본선에서 이루어지는지 또는 육상선박조종센터(ISCC; Inland Ship Control Center)에서 이루어지는지의 구분이 명확하지 않다.

자율주행자동차의 경우 SAE(Society of Automotive Engineers)의 자동화 수준

이 많이 언급되지만 산업과 관련된 모든 분야에서 인정된 것은 아니다. 자동화 수준이 특정된다면, 개발과 관련한 법률 검토에 도움이 될 수 있지만, 복잡하고 다양한 시스템을 포함하는 선박의 경우, 개별적인 자동화 수준도 고려될 필요가 있다. 현재 MASS의 자율도는 RSE를 위한 작업 목적으로 정의되었기 때문에, 추후 변경되거나 관련 업계의 요구에 따라 수정될 수도 있다. IMO MSC 100차 회의에서는, 자율도 2와 3의 수준에서 MASS 운용에 대해 우선적으로 검토하고, 자율도 4는 향후 논의하는 것으로 결정되었다. 자율도 4의 MASS는 완전한 자율운항선박으로 향상된 센서와 기술 및 장비들이 적용될 것으로 예상되며, 현재의 선박장비와 기준으로 검토와 예상이 어렵기 때문이다.

IMO는 해운과 조선분야에서 국제적으로 가장 영향력이 있으며, RSE 작업을 통해 자율운항선박의 운용을 위한 준비를 시작하였다. 그러나 현재까지 개발자와 제조사 및 관련기술 개발을 위한 자율운항선박 관련 국제표준과 개발환경을 제공하기까지는 많은 시간이 필요할 것으로 분석된다.

## 2.1.2 국제적 개발동향

자율운항선박은 다양한 시스템과 관련기술들이 방대하고, 특정 국가의 연안 항해뿐만 아니라 국제 항해까지 목적하므로 범국가적인 협력 개발이 요구된다. 북유럽 국가들을 중심으로 국가의 경계 없이 기업과 연구기관들의 협력 프로젝트들이 시작되었고, 자율운항선박 기술 개발을 위한 개발환경을 구축하고 있다. 현재 국제적 표준이 부재하기 때문에, 많은 기관과 국가 및 제조사들이 참여할 수록 저변확대와 표준화 작업을 선도할 수 있어, 다음과 같은 프로젝트 중심의 범국가적 자율운항선박 개발과 협력이 주요할 것으로 예상된다.

### (1) SVAN(Safer Vessel with Autonomous Navigation)

영국 Rolls-Royce와 DNV-GL선급, 유럽지역 대학, 선사, 기자재기업 등이 참여하여 SVAN 프로젝트를 진행하고 있다(Mike, 2018). Fig. 3과 같이 SVAN 프로젝트 참여선사인 핀란드 국적 Fin Ferries의 Ro-Ro선에 개발된 시스템을 장착하여 실선 운영을 통한 연구 작업과 검증을 실시하였다(Rolls-Royce, 2018).

SVAN은 선박 운영의 안전 및 효율성 개선 및 승무원 지원에 중점을 둔 완전자율운항 페리선박 개발을 목적으로 하고 있다.

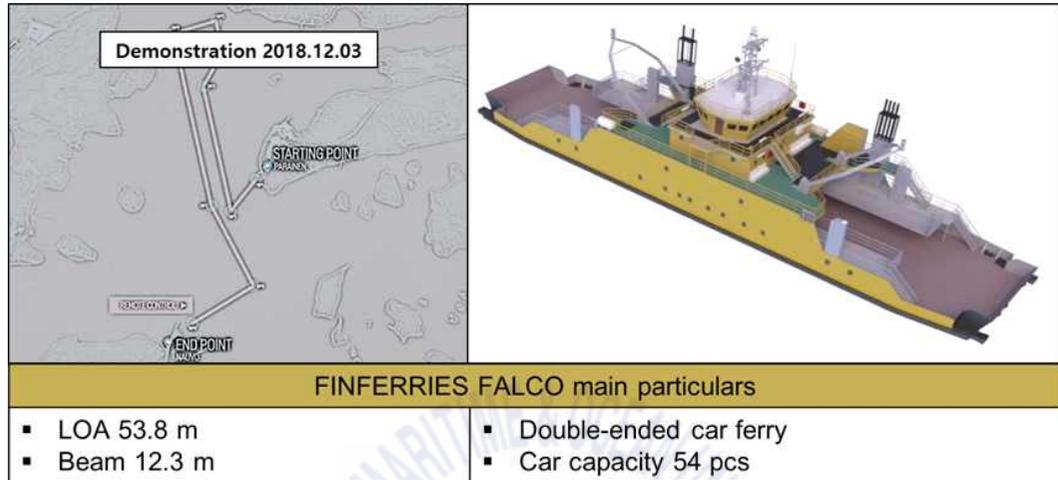


Fig. 3 FINFERRIES FALCO Main Particulars

(2) YARA Birkeland

노르웨이 농화학업체인 YARA International과 세계적인 선박용 전자기자재 업체 Kongsberg가 협력하여 스마트 전기추진 소형 컨테이너선 건조와 시험을 수행하는 개발 프로젝트이다(Asle, 2018). 자율운항선박 이름은 Yara Birkeland로 Fig. 4와 같이 120TEU급 컨테이너 선박으로 피오르드 지형이 많은 노르웨이의 연안운송에 적합한 화물선 개발을 목표로 하고 있다(Yara International, 2018). 실제 운항을 통해 실선 데이터를 제공함으로써 향후 데이터 프로토콜 등 플랫폼 개발과 응용 소프트웨어, 기자재 개발에 적극 활용될 것으로 예상된다. YARA Birkeland호는 연간 약 4만대의 트럭을 대체하여, 연간 운용비를 90%가량 절감할 수 있을 뿐 아니라 NOx와 CO<sub>2</sub> 배출량을 감소시켜 환경적 장점도 있을 것으로 평가된다. YARA International은 이 무인화물선을 2019년까지는 원격조종방식으로 운항하고, 2020년부터는 완전 자동운항시스템으로 전환해 사람이 전혀 개입하지 않고도 화물을 운송할 수 있도록 할 계획이라고 발표하였으나, 현재는 계획을 수정하여 2022년부터 선원이 탑승하지 않고 원격조종방식으

로 운항할 예정이다. 개발은 예정보다 지연되고 있으나 스마트 선박 분야에서 가장 앞선 기술을 보유한 Kongsberg가 실선 운항데이터를 확보하면, 자율운항 선박에 대한 개발이 가속화될 것이라는 점에서 세계적으로 주목받고 있다.

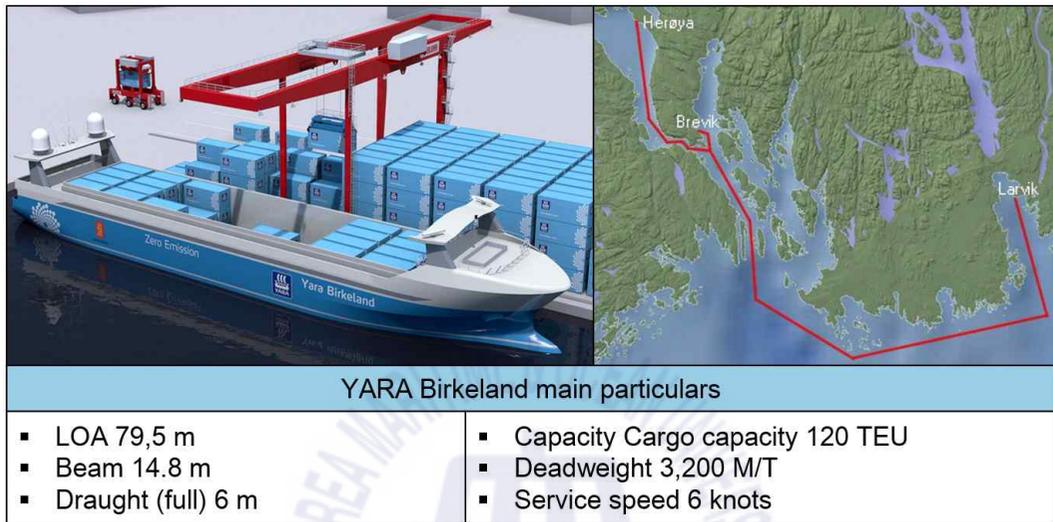


Fig. 4 YARA Birkeland Main Particulars

### (3) ReVolt

노르웨이와 독일 선급인 DNV-GL은 화물의 운송을 육상의 도로에서 인근 해역으로 전환하기 위해 혁신적인 선박 디자인을 소형이면서 무인으로 운용되고 전기추진이 가능한 화물선으로 설정하였다(DNV-GL, 2015). Fig. 5의 개발대상 선박은 ReVolt로 명명되었으며, 100TEU급 60m의 소형 컨테이너선으로 연안이나 근해를 운항할 목적으로 개발 중이다. ReVolt의 장점은 낮은 운영비용과 유지관리 비용에 있다. 무인선박이기 때문에 선원이 필요 없고 거주구역이 없어 선체 대부분을 화물적재 공간으로 이용한다. 선원비, 연료비, 유지관리비의 절감으로 30년 수명주기 동안 약 3,400만 달러의 비용절감이 가능한 것으로 예상된다. 다만 ReVolt Project는 근해용 소형선박의 개념이라는 점에서 대형 스마트 선박 시장이나 원양항해 목적의 자율운항선박 개발에 미칠 영향은 크지 않지만, 무인화와 자율운항 기술발전에 기여할 것으로 평가된다.

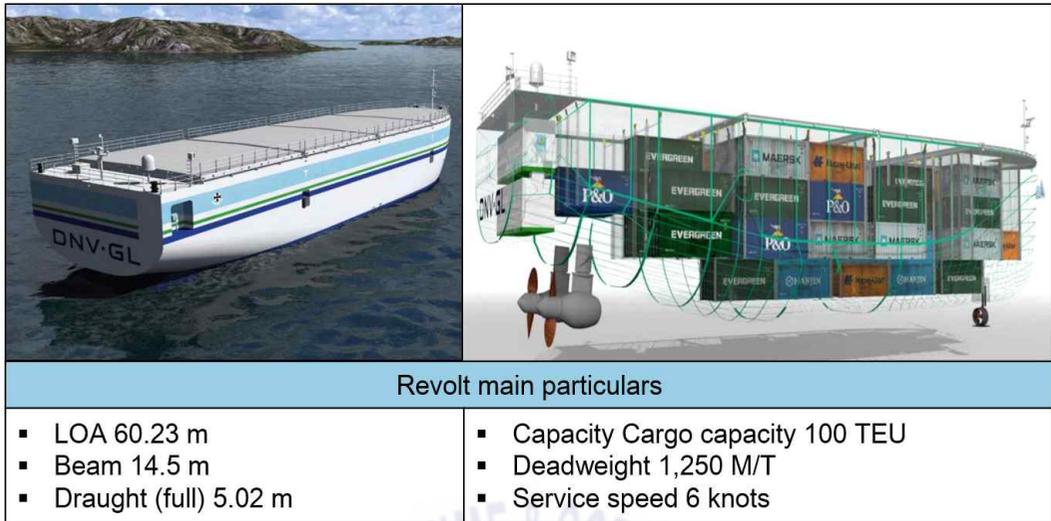


Fig. 5 Revolt Main Particulars

진행 중인 자율운항선박 개발 프로젝트들은 국가적인 한계는 없지만 특정 해역 및 지역 중심으로 연구가 진행되고 있다. 특정 지역의 환경적 제약을 자율운항으로 극복하거나, 육상운송의 환경오염과 체증을 감소하기 위한 목적 등 지향하는 목표에도 차이가 있다. 때문에 범용적인 자율운항선박의 개발보다 연구 목표 중심의 시스템 개발로 차이가 있으며, 자율도에 대한 기준과 운영방식도 달라 향후 국제적인 표준 적용에는 한계가 예상된다. 또한 시범운항과 검증 및 다양한 테스트의 결과는 일부 공유되지만, 연결성 향상과 보안 강화 및 자율운항선박의 주요요소들이 어떻게 구현되었는지는 세부적으로 확인이 어려워 연구결과에 대한 개방성이 제한적이다.

### 2.1.3 자율운항선박 관련연구

자율운항선박 구현에 있어 중요한 요소를 식별하기 위해 관련연구와 프로젝트 연구보고서를 조사하였다.

#### (1) 자율운항선박 관련 선행연구

Marko, et al. (2017)은 자율운항선박의 원격제어를 위한 연결성 문제와 데이터 요구사항 및 서비스 품질(Quality of service) 요소를 식별하였다. 자율운항선박의 중요한 구성요소는 효율적이고 안전한 운항을 지원하는 통신 시스템으로 정의하였고, 다양한 해역에서의 연결성 문제와 선박 내 서비스 품질을 보장하기 위한 연결 관리자가 필수적임을 제안하였다. 연결 관리자에 대한 추가 연구(Marko, 2019)에서 Fig. 6과 같이 선내 네트워크와 게이트웨이 구성을 통해 보안강화 방안과 선내 정보 통합 중요성을 강조하였다.

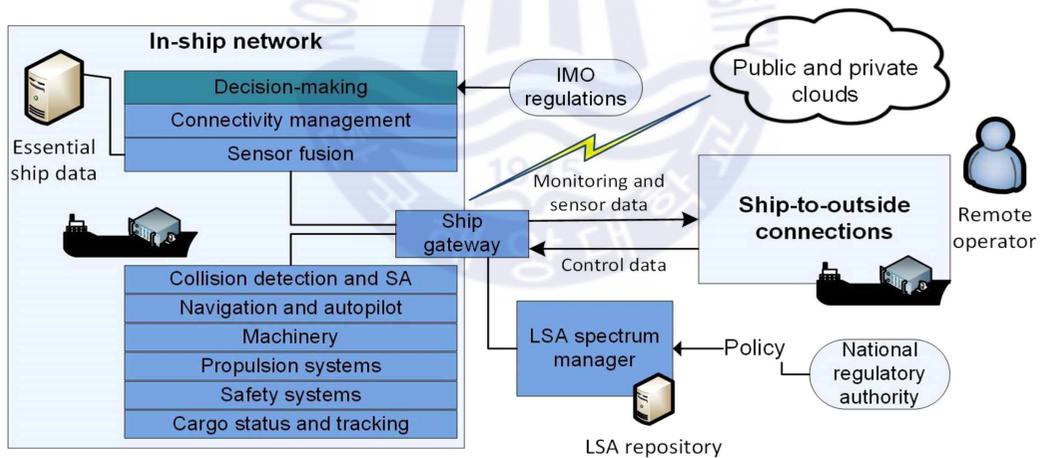


Fig. 6 Network Architecture for an Autonomous Ship (Source: Marko, 2019)

Im, et al. (2018)은 안전하고 경제적으로 효율적으로 운용할 수 있는 원격선박운영관리시스템을 활용해 무인선박을 가능하게 하는 스마트 자율선 구조를 Fig. 7과 같이 설계 제안하였다. 연구에서 Ship side와 Shore side로 나누어 아키텍처를 제안하였고, 선박 내부와 외부에서 동시에 발생하는 다양한 종류의 정

보를 수집하여 저장하고 이 정보를 통합하여 선박을 자율적으로 운영할 수 있게 해주는 아키텍처로 설명하였다.

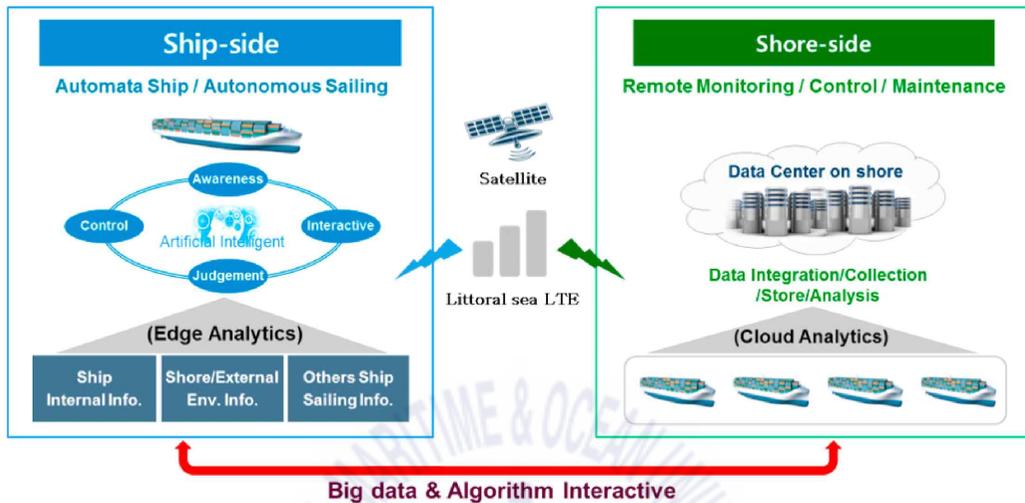


Fig. 7 Diagram of Autonomous Ship and Shore Service (Source: Im, et al., 2018)

Artur (2018)의 연구는 위성통신과 선내 네트워크 시스템의 신뢰성, 성능, 가용성 및 비용을 자율운항선박의 중요요소로 정의하고, 위성통신은 다양한 환경에서의 운용가능성에 대한 평가가 필요함을 강조하였다. 선내 네트워크에 있어서는 향후 도입되는 Lidar와 같은 향상된 장비들에 대한 향상된 데이터 처리와 속도 향상의 필요성을 언급하였다. Jeon and Lee (2014)는 선박이 구조적으로 통신방식 변경이 어렵고 많은 장비들이 이용됨에 따라 무선으로의 통신 구성을 제안하였다. 높은 품질과 에너지 효율을 갖춘 고속 멀티미디어 데이터 전송을 지원하기 위해 WiMedia 기반 무선 게이트웨이를 통해 보안을 향상시키고 연결성 향상을 강조하였다.

선행연구 조사에서 자율운항선박의 중요요소로 연결성, 보안, 선내 네트워크, 시스템 신뢰성이 공통적으로 강조되고 있음을 확인하였다. 그러나 중요요소들에 대한 구체적인 향상방안에 대해서는 개념의 차이와 방법이 연구별로 상이하였으며, 적용방법의 장점은 설명되고 있지만, 상세한 아키텍처와 장비 간 연결 및 설계 근거가 제시되고 있지 않아 추가적인 연구의 필요성이 있다.

(2) MUNIN Project Report

2012년부터 3년간 EU의 지원으로 진행된 타당성 검토 과제인 성격인 MUNIN(Maritime unmanned navigation through intelligence in networks) Project는 자율운항선박의 기술적, 법률 및 제도적, 경제 및 사업적 측면의 타당성을 연구하고 전략 방향을 제시하였다. 프로젝트의 목표는, 최첨단 의사 결정 지원 시스템과 원격 혹은 자율운항 기술을 갖춘 선박을 개발하고, 이를 위한 기반 기술로써 모듈형 제어 시스템과 통신 기술을 개발하여 선박의 무선 모니터링 및 제어를 가능하게 하는 것이다. 프로젝트 및 자율운항선박 구성요소들은 Table 2와 같이 10개 분야로 구분하여 조사 및 개발되었으며 배포등급에 따라 일부 결과보고서가 공개되어 있다(MUNIN, 2016).

**Table 2** Methodology of MUNIN Project (Source: MUNIN, 2016)

	<b>Work packages</b>	<b>Related documents(Public)</b>
<b>1</b>	Administrative coordination	-
<b>2</b>	Technical coordination	-
<b>3</b>	Dissemination	-
<b>4</b>	Architecture	D4.3 Evaluation of ship to shore communication links D4.5 Architecture specification
<b>5</b>	Autonomous bridge	D5.2 Process map for autonomous navigation
<b>6</b>	Autonomous engine room	D6.2 Specification concept of general technical system redesign
<b>7</b>	Shore side operation centre	-
<b>8</b>	Proof of concept	D8.6 Final report: Autonomous bridge D8.7 Final report: Autonomous engine room D8.8 Final report: Shore control centre
<b>9</b>	Assessment	D9.2 Qualitative assessment D9.3 Quantitative assessment
<b>10</b>	Future concepts	D10.1 Impact on Short Sea Shipping D10.2 New ship designs for autonomous vessels

D4.5 Architecture specification 보고서에는 Fig. 8과 같이 자율운항선박의 주요 시스템을 5개로 구성하여 제시하고 외부 인터페이스 대상을 정의하였다 (MARINTEK, 2014). 주요 시스템 모듈 중 SCC(Shore Control Center)는 육상에서의 원격조종과 모니터링의 역할을 수행하고, 나머지 모듈들은 선박에 구성되며 ASC(Autonomous Ship Controller)를 통해 통신과 인터페이스를 하도록 설계 제안하였다. 선박의 조종(Control)만을 대상으로 모듈을 구성하여, 화물관리와 접이안, 하역을 위한 기기(Machinery)에 대한 모듈은 고려하지 않았다.

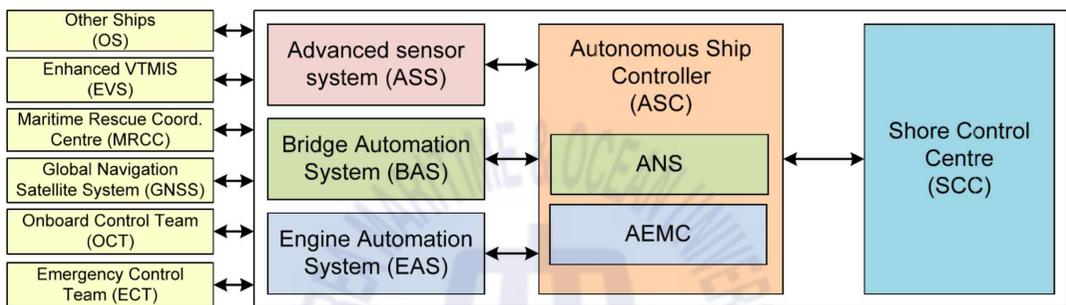


Fig. 8 Module Diagram for Autonomous Ship Control (Source: MARINTEK, 2014)

MUNIN 연구는 자율운항선박이 기술적으로는 항해계획에 따른 선박운항정보를 입력하면 자율운항선박이 자율적으로 주기관 및 조타장비를 작동하여 운항할 수 있지만, 항해안전 등의 이유로 SCC의 육상조종자(Shore control centre operator), 육상기관사(Shore control engineer), 육상상황실요원(Shore control centre situation room team)의 지속적인 감시와 조종 필요성을 강조하였다. 자율운항선박의 경제적 효과에 대한 분석결과도 제시하였으며, 전체 선박 운항비용 중 약 30%를 차지하는 선원비용을 절감할 수 있고, 선원의 거주구역이 없는 선박설계를 통해 기존 선박보다 약 50%의 에너지 효율이 증가할 것이라고 수치적으로 전망하였다. 해킹에 의한 해적 행위의 발생가능성을 비롯한 안전 및 보안상의 문제, 자율운항선박 상용화를 위한 법률 및 제도적인 정비의 필요성 등 자율운항선박의 도입과 상용화에 앞서 해결해야 할 선결과제가 다수 있음을 지적하고 있지만 해결방안은 공개 보고서에서 확인할 수 없다.

MUNIN의 연구결과는 자율운항선박의 구성모듈을 제시하고 SCC와 Operator

및 운항 시나리오 등 중요한 개념을 제시한 연구이며, 공개된 결과보고서를 통해 이후 시작된 많은 프로젝트들에 영향을 미치고 있다. 다만 IMO의 RSE 및 MASS의 정의가 이루어지기 전에 연구가 종료되어 자율도에 대한 반영이 되지 못해 향후 연구들을 통해 개선된 정의와 변화가 예상된다. 공개된 아키텍처들도 전체 모듈을 포함하고 있어, 항해시스템이나 장비들 간의 상세한 연결구성 등은 확인할 수 없었으며, 설계의 근거도 명확하지 않아 제조사와 개발자들에게 명확한 기준을 제시하지 못하였다.

본 절에서는 자율운항선박과 관련된 IMO의 동향과 국제적 동향 및 관련연구들을 조사하였다. IMO는 RSE를 통해 자율운항선박의 운용을 준비하고 있지만, 그 결과가 국제협약과 규정에 반영되기까지는 많은 시간이 필요할 것으로 보인다. 때문에 자율운항선박 관련 제조사와 개발자 및 국가들은 프로젝트 형태의 연구협력을 통해 개발을 진행하고 있다. 그러나 각 프로젝트들마다 지향하는 목표와 솔루션들이 차이를 보이고, 개발과정이 개방적이지 못해, 연구 결과들이 특정해역이나 지역에 한정될 수 있는 문제가 예상된다. 특정한 지역과 상황에 제약되는 자율운항선박이 아닌 국제적인 운용이 가능한 개발을 위해서는 지역에 한정되지 않는 범국가적 협력과 개방적 개발환경이 향후 표준화와 상용화에 있어 필요할 것이다.

## 2.2 선박 플랫폼 기술 및 항해장비 동향

연결성, 보안강화, 네트워크, 원격제어 등 자율운항선박의 중요요소들에 대해 IoT(Internet of Things) 분야에서는 플랫폼을 이용한 솔루션을 제시하고 있다(김경원 등, 2015). 무인 이동체나 스마트 홈의 경우 구성 장비들의 네트워크를 지원하고 취합된 정보를 통신 시스템을 거쳐 원격제어와 상황 모니터링이 가능하도록 플랫폼을 적용하여 구성되고 있다. 자율운항선박의 중요요소들도 플랫폼을 통해 구현될 수 있을 것이며, 디지털 선박과 스마트 선박 구현에 있어서 선박 플랫폼 기술이 적용되어 다양한 개발이 이루어지고 있다. 선박 플랫폼 기술과 구성 장비에 해당하는 항해장비 동향을 조사하였다.

### 2.2.1 선박 플랫폼 개발동향

선박 플랫폼(Shipboard platform) 기술은 자율운항선박 개발과정에서 처음으로 제안된 것은 아니다. 전자통신 기술의 발달로 1990년대 다양한 항해 장비들이 선박에 도입되면서 항해사의 의사결정에 필요한 정보들을 제공하게 되었다. 그러나 장비들 간의 연동방식과 규격, 인터페이스 등이 제조사들마다 다르고, 사용자의 편의성이 고려되지 않은 항해 장비들의 도입으로 인해 항해사가 필요한 정보들을 개별 디스플레이나 표시장치들을 통해 각각 확인해야 한다. 이는 항해정보들이 다양하게 제공될 수 있지만, 항해사가 수행해야하는 단위과업을 증가시키게 되어 장비에 대한 숙련도가 항해안전에 큰 영향을 주게 되었다. 이후 항해정보들의 통합에 대한 필요성이 인식되고, 통합된 정보는 선박의 항해사뿐만 아니라 육상에서도 선박지원을 위해 사용 될 수 있다는 필요성이 제기되었다. 이에 따라 1995년 미국에서는 선박의 정보를 통합하고, 육상 지원체계 시스템 구축을 위하여 선주 및 운송사, 조선소, 통신회사, 선급 및 정부기관으로 구성된 ISIT(Integrated Shipboard Information Technology) Project를 결성하였다. Fig. 9와 같이 선박의 정보통합 플랫폼을 개발 목적으로, 이후 노르웨이의 SINTEF사에서 개발한 MiTS(Maritime Information Technology Standard) 프로토콜을 적용하여 시스템 통합 플랫폼 개발을 진행하였고, 선단관리 시스템에 ISIT

플랫폼을 적용한 바 있다(박종원 등, 2011).

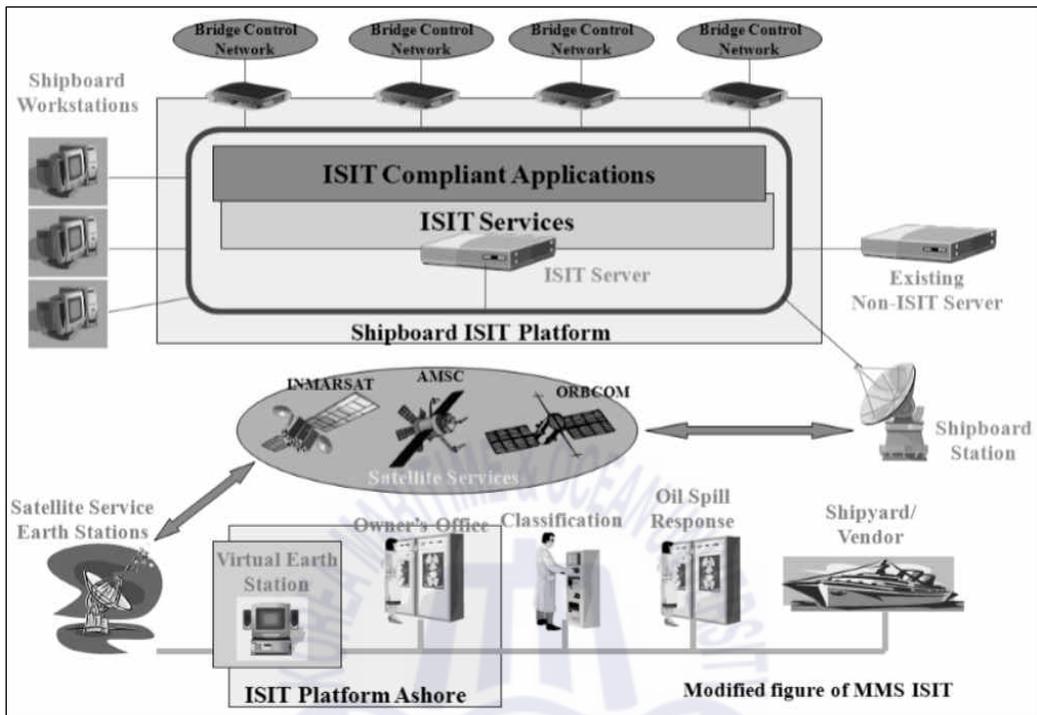


Fig. 9 Integrated Shipboard Information Technology Platform (Source: 박종원 등, 2011)

유럽에서도 선박정보 통합화의 필요성을 인식하고, MarNIS(Marine Navigation Information Service) Project를 통해 선내 정보관리, 통신, 처리 등에 대한 연구를 수행하였다. 이 프로젝트들은 선박 플랫폼을 통해 육해상 정보통합관리와 새로운 서비스들을 식별하였지만, 자율운항선박을 위한 연구가 아니므로 선박 제어에 대한 방법이나 기술들은 식별되지 않았다. 디지털 선박 구현을 위해 시작된 다양한 선박 플랫폼 연구들은 스마트 선박을 위한 프로젝트로 연결되거나 새롭게 구성되어 진행 중이다. 개발된 디지털 선박 플랫폼들은 선박에 상용화되지 못했고, 스마트 선박 플랫폼도 범용적으로 적용되고 있지 않다.

국내 조선소 중심의 선박 플랫폼 기술개발은 스마트 선박에 대한 솔루션을 구성하기 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 이를 기반으로 자율운항선박 플랫폼 개발까지 달성하기 위한 장기적 목표를 수립하는 추세이다. 플랫폼 기술

을 통해 조선소는 선주에게 더 많은 서비스 제공이 가능해지고, 선박에서 획득되는 정보를 기반으로 새로운 가치를 얻을 수 있기 때문에 중요한 개발 분야이지만, 조선소의 경쟁력과 직결되는 상황으로 인해 협력보다 개별적 기술개발이 이루어지고 있다.

### (1) BIG(onBoard Integrated Gateway) Platform

삼성중공업은 선내데이터 통합 수집 플랫폼으로 BIG을 개발하여 실선에 장착하고, 운항 중 발생하는 선내의 모든 항해통신 및 자동화 장비의 정보를 실시간으로 수집하고 육상으로 전송할 수 있는 기반기술을 확보하였다(삼성중공업, 2017). Fig. 10과 같이 BIG은 다양한 선박 장비들을 쉽게 인터페이스 하여 실시간으로 데이터를 처리 및 저장한 후 사이버 보안기능을 적용하여 육상으로 전송하는 선박 데이터 수집 장치이다. 연결되는 선박 장비들은 다양한 제조사에서 생산된 제품들이지만, BIG을 통해 정보가 일괄 수신되고 육상으로 전송되어 새로운 서비스를 구성할 수 있다. 또한 2018년 미국 ABS 선급에서 스마트선박에 활용되는 사이버 보안 기술에 대한 인증도 획득하여, 자율운항선박 개발에 있어 중요기술을 확보한 것으로 평가된다.

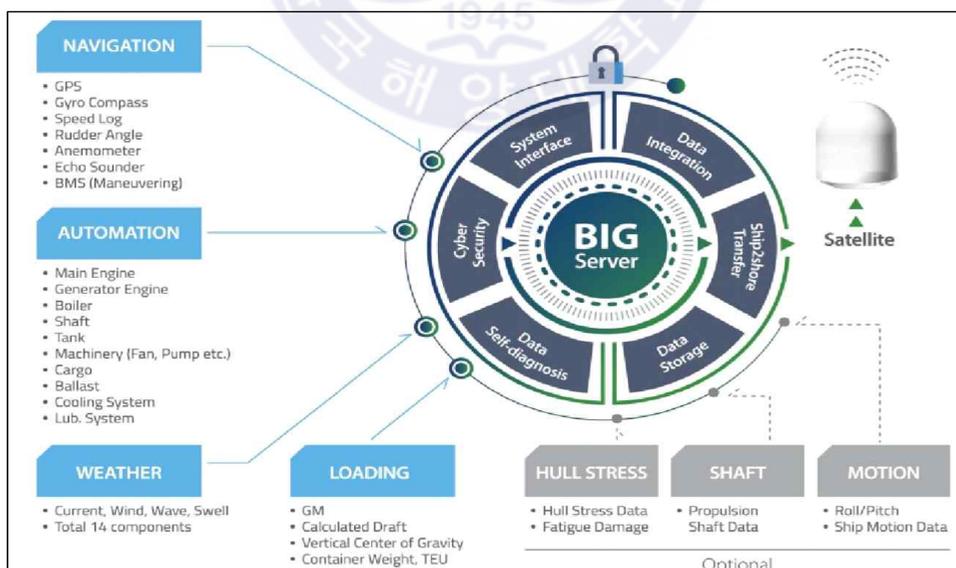


Fig. 10 BIG(onBoard Integrated Gateway) Platform (Source: 삼성중공업, 2017)

## (2) VIP(Vessel Integration Platform)

대우조선해양은 Fraunhofer와의 협력을 통해 자율운항 시스템을 개발 중이며, 자체 개발한 플랫폼인 VIP를 통해 실시간 또는 선택적으로 수집된 선내 선박의 운항 상태 및 주요 설비 Data들을 Fig. 11과 같이 Cloud platform을 거쳐 육상 사용자에게 전송할 수 있다. 이를 통해 선주사는 경제적 선박운항(Economical navigation)과 Emission control 및 원격정비(Remote maintenance)등의 추가적인 서비스를 제공 받을 수 있다(대우조선해양, 2018).

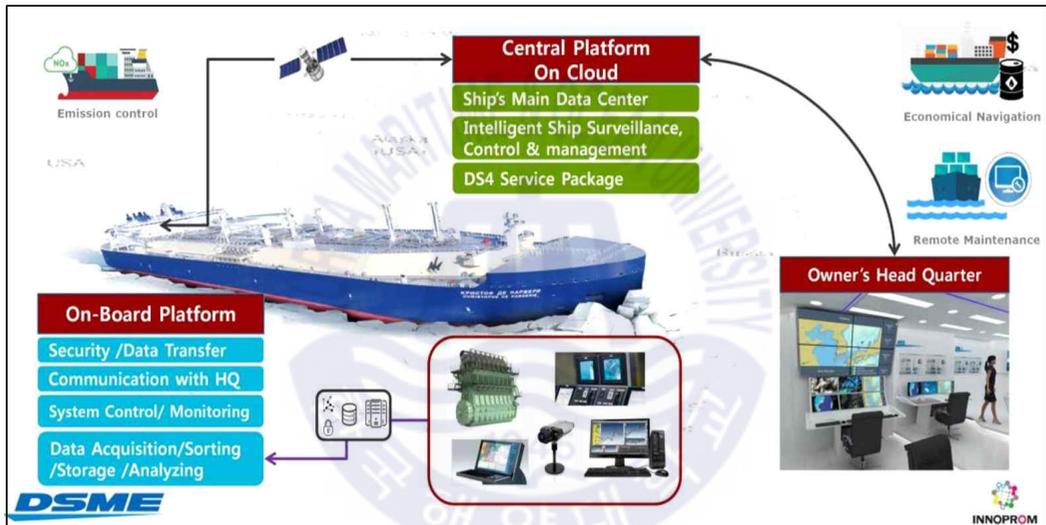


Fig. 11 Function of On-Board and Central Platform (Source: 대우조선해양, 2018)

## (3) OceanLink

현대중공업의 OceanLink는 스마트 선박 기술에 디지털 분석기술을 결합한 커넥티드 시스템으로, 선박에서 생성된 빅 데이터 자료를 분석하여 선박의 운항 효율 향상과 기자재 수명관리에 활용이 가능하다. 2020년 까지 선박 플랫폼과 육상 플랫폼을 위성으로 연결해, 실시간 정보 연계를 통한 운항 최적화와 빅 데이터를 활용한 예측정비 등 서비스 제공을 계획하고 있다. 현대중공업은 스마트 선박 플랫폼을 국내 ICT 기업에게 제공하고, 기술 멘토링과 실증 설비 지

원 등을 통해 개발제품의 완성도를 향상시키면서, Smart ship 프로젝트를 지속적으로 진행 중이다(현대중공업, 2016).

#### (4) SSAP(Smart Ship Application Platform)

SSAP는 일본에서 자율운항선박의 핵심 분야 선점을 위해 스마트 선박 응용 플랫폼 개발을 목적으로 진행하였다(JSMEA, 2018). 선박과 육상 통신시스템의 표준화와 장비 간 정보 교환을 위한 인터페이스 표준화 및 대량의 정보를 쉽게 저장하고 접근할 수 있는 오픈 플랫폼 설계를 목표로 하였다. 플랫폼을 통해 선박의 최적 운항성능 달성을 위한 서비스 개발, 선박에서 생성되는 빅 데이터를 활용한 어플리케이션 개발, 어플리케이션이 선박 또는 육상 시스템에 탑재될 수 있도록 지원하는 개발 환경구축을 포함하고 있다. SSAP는 선박의 정보가 Shipboard data server에 수집되고 통신으로 육상 데이터 센터에 송신되면, 다양한 어플리케이션을 통해 사용자 또는 이해관계자들이 원하는 서비스를 받을 수 있으며, 이러한 어플리케이션들은 플랫폼 정보 기반에서 다양한 개발자들이 만들어 제공할 수 있도록 Fig. 12와 같이 설계되었다.

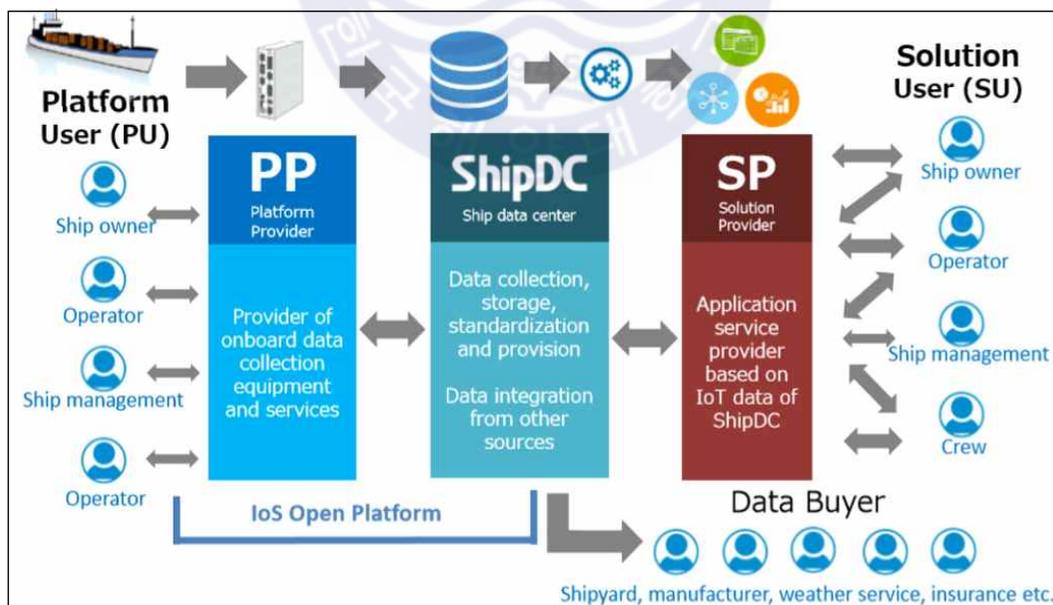


Fig. 12 Smart Ship Application Platform (Source: JSMEA, 2018)

특히 선박 네트워크에 관련되는 Shipboard data server에 대한 Specification과 기기와 장비들로부터 수신하는 정보의 Format을 Fig. 13과 같이 각각 ISO 19847과 ISO 19848로 국제표준화 하였다(MTI, 2017).

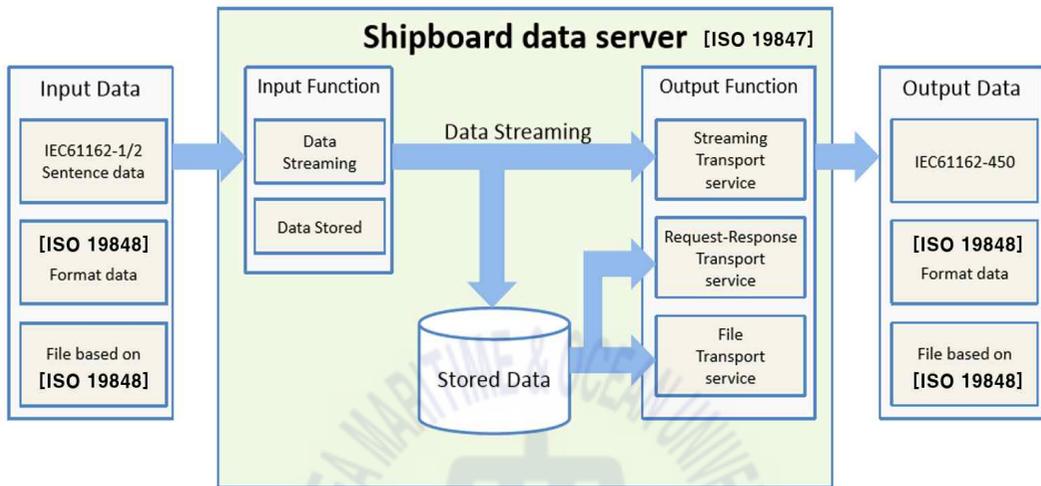


Fig. 13 Diagram for ISO 19847 and ISO 19848 (Source: MTI, 2017)

SSAP는 오픈 플랫폼, 국제표준화, 개발환경 구축의 연구목적을 반영하여 기존 선박 플랫폼들과 차별성을 가지고 있어 개방적인 개발환경을 제공하는 플랫폼의 근본적 목적에 가장 부합하는 프로젝트로 평가된다.

다만 오픈 플랫폼의 범위는 육상 Ship data center에 수집된 정보들을 어플리케이션 개발을 위해 개방하는 것이며, 선내의 기기 및 장비들과 연결되는 정보 통합장치는 FURUNO 社の 플랫폼인 SIM(Ship Information Management System) unit을 이용하여 구성하고 있다. 공개된 SSAP의 자료만으로는 SIMS unit이 어떻게 구성되고, Shipboard data server 통신 및 각 기기들의 연결 등에 대한 정보와 기준이 설명되지 않다. SSAP는 명칭과 같이 스마트 선박을 대상으로 하였기 때문에, 자율운항선박에 필요한 원격제어나 자동화 기능들이 플랫폼 설계에 반영되어 있지 않다.

## 2.2.2 선박 항해장비 동향

기존 선박 플랫폼들의 개발에서 중요한 연결대상은 주로 항해장비들이었으며, 자율운항선박 플랫폼 개발에 있어서도 중요한 장비들이다. 국제항해 선박들의 항해장비 구성은 국제해상인명안전협약(SOLAS; International Convention for the Safety of Life at Sea)을 따르도록 하고 있다. SOLAS의 항해장비 구성에 대한 기준 변화는 다음과 같았다. 1960년 개정에서 Signalling lamp와 무선으로 송신국 방향을 탐지하는 RDF(Radio Direction Finder)가 강제되었고, 수심을 측정하는 Echo sounder와 RADAR 장비가 권고되었다. 1974년 SOLAS 채택 시에는 총톤수 1,500톤 이상 화물선에 대해 RADAR가 필수항해장비가 되었고, Magnetic compass에 추가하여 Gyro compass가 요구되었다. 또한 총톤수 500톤 이상의 모든 신조선에 Echo sounder와 VHF 통신장비가 강제되었다. 이후 개정들의 장비구성에 대한 주요사항들은 다음과 같다.

### (1) 1980년대 장비구성 기준

1980년대에는 총톤수 10,000톤 이상의 선박에는 각각 독립하여 작동할 수 있는 최소한 2개의 레이더를 설치하여 자동조타장치의 시험 및 훈련 및 동작 장치에 관한 기준이 강화되었다. Gyro compass에 연동되어 필요한 위치에서 방위를 확인할 수 있는 Gyro repeater의 기준도 새롭게 제시되었다. 그리고 RADAR의 플로팅을 자동화한 ARPA(Automatic Radar Plotting Aid)의 항해안전상의 필요성이 인식되어 관련요건이 구성되었으며, 타각 및 프로펠러의 회전속도를 표시하는 지시기(Indicator)를 설치하도록 하였다. 100,000톤 이상의 대형선에는 RoT(Rate of Turn) 지시기를 요구하는 등 1980년대 SOLAS의 개정은 선박 크기에 따라 요구되는 항해장비들을 다르게 구성하였다. 이후에는 선박의 크기뿐만 아니라 선종(Ship type)에 따라서도 장비구성에 차이를 두었다.

### (2) 1990년대 장비구성 기준

1990년대에는 항해장비뿐만 아니라 통신장비 구성에 대한 기준이 주요하게

제시되었다. IMO는 타이타닉 사고 이후 해상에서의 조난 및 안전을 위한 통신 방법을 개선하기 위해 1979년 전문가 그룹을 구성하여 관련절차와 프로토콜 개발을 시작하였다. 그 결과 1988년 해상조난 및 안전 통신을 위한 기술, 운영 및 관리구조를 담은 GMDSS(Global Maritime Distress and Safety System)가 SOLAS 제4장 개정을 통해 채택되었고, 이후 1992년부터 전 세계적으로 시행되었다. GMDSS는 통신장비에 대한 구성기준을 담고 있어 1990년대 VHF 무선장치의 DSC(Digital Selective Call) 기능과, SART(Search and Rescue RADAR Transponder), NAVTEX, INMARSAT EGC(Enhanced Group Call) 및 MSI(Maritime Safety Information) 수신 장치의 요구와 GPS(Global Positioning System) 또는 GNSS(Global Navigation Satellite System)설비 구성이 요구되었다.

### (3) 2000년대 이후 장비구성 기준

2000년에는 SOLAS의 제5장 19조를 항해설비에 대한 요건으로 재구성하면서, 다수의 개정이 이루어졌다. 이 개정사항이 현재 선박들의 항해장비 구성 기준이 되었으며, 사용되지 않은 기술이나 장비는 제외하고 기술적 발전에 따른 장비들의 적용이 포함되었다. 이에 따라 RDF의 필요요건은 폐지되고, 폐쇄된 선교를 가진 선박들에게 외부 음향수신장치(Sound reception system)가 요구되었다. 이 외에도 항해의 항로를 계획하고 표시하며 또한 항해전반에 걸쳐 항해상황을 모니터링 할 수 있는 ECDIS(Electronic Chart Display and Information System)가 백업설비를 갖추면 해도 비치 요건을 충족하는 것으로 인정되었다. 2000년대 장비구성 기준의 특징 중 항해안전과 GMDSS 외에 국제선박 및 항만 시설 보안규칙(International ship and port facility security code)의 시행과 함께 선박보안(Ship security)을 위한 장비로 AIS(Automatic Identification System)가 적용되었다(하원재, 2003). 이 외에도 해양사고의 원인 중 인적오류(Human error)에 기인하는 항해과실 저감을 위해 선교 항해당직 경보장치(BNWS; Bridge Navigational Watch Alarm System)의 설치도 요구되었다. Fig. 14는 항해장비의 적용에 대한 변화를 볼 수 있도록, IMO 항해장비 성능기준을 채택한 시기별로 작성하였다.

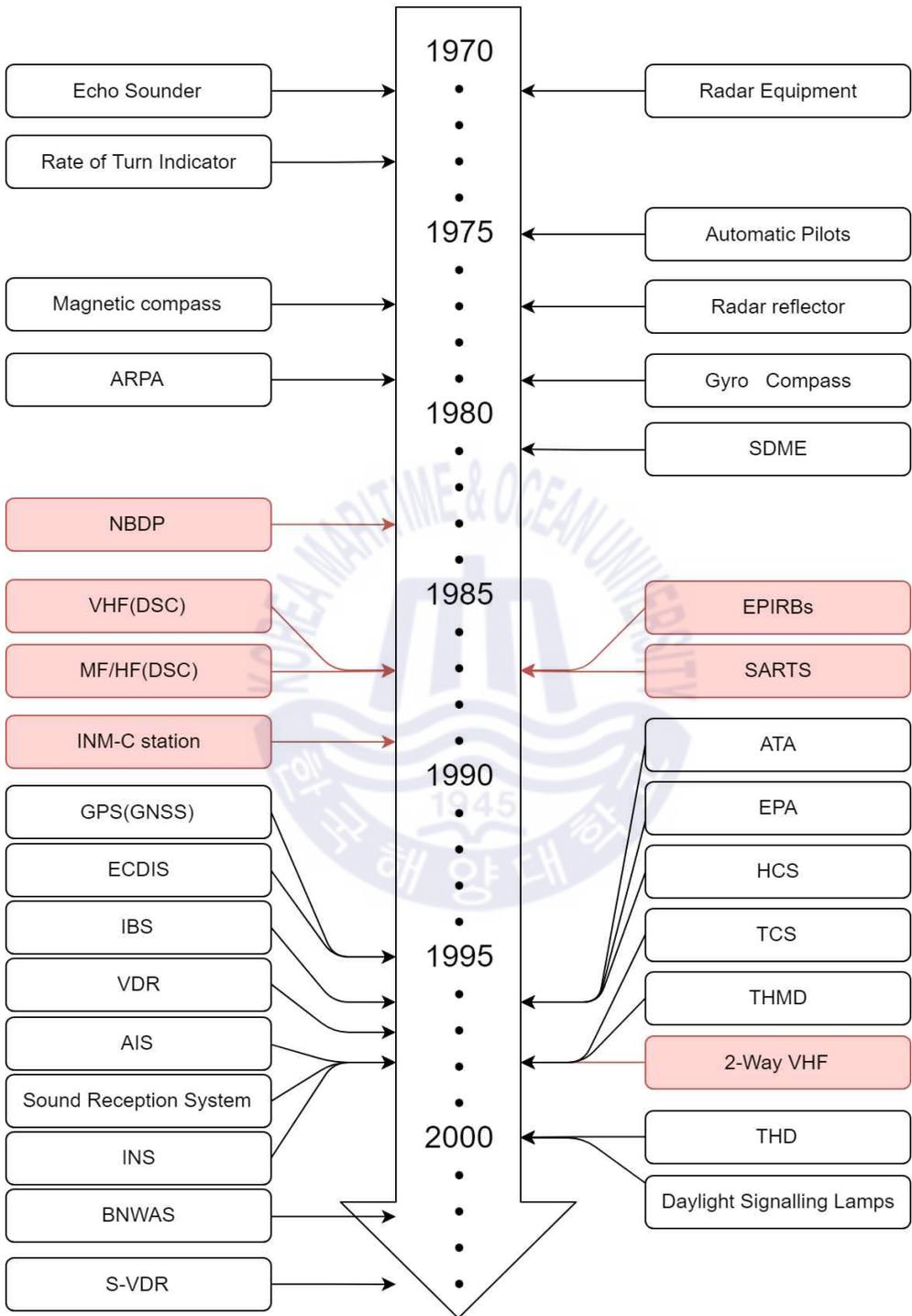


Fig. 14 Timeline of Adopted Performance Standards for Navigational Equipment

## 2.3 자율운항선박 플랫폼

기존 선박 플랫폼 연구들은 디지털 선박과 스마트 선박이 요구하는 기능과 정보제공을 위해 개발되었으나, 오픈 플랫폼의 필요성과 국제 표준화의 중요성을 고려하지 않은 개발로 많은 선박에 적용되지 못하였다. 최근 국내 조선소들의 스마트 선박 플랫폼과 솔루션들도 개발환경 구축과 저변 확대를 위한 개발보다, 조선소 경쟁력 확보를 위한 개발로 인해 향후 국제적인 적용과 사용성에 한계가 있을 것으로 예상된다. SSAP 프로젝트는 이러한 부분을 반영하여 개방적이고, 국제표준을 제시하는 스마트 선박 플랫폼을 개발하였으나, 자율운항선박의 기능들과 원격운항을 위한 플랫폼으로의 전환이 요구된다. 본 절에서는 자율운항선박 플랫폼의 필요성과 디지털 선박 및 스마트 선박 플랫폼과의 차별성을 IT 분야와 관련연구 조사결과를 기반으로 분석하였다.

### 2.3.1 플랫폼 기술

IT 분야에서 구글, 아마존, 페이스북 등은 차별화된 플랫폼을 통해 해당시장에서 확고한 위치를 차지하고 있다(이승훈, 2019). 플랫폼은 IT 분야에 한정되지 않고 많은 산업 분야에서 그 중요성과 영향력이 커지고 있으며, 의미도 다양하다. Windows 같은 컴퓨터 운영체제는 소프트웨어 플랫폼이고, 페이스북과 같은 SNS(Social Networking Service) 등은 미디어 플랫폼이며, 생산 공정에서는 균일한 제품생산에 이용되는 설비 인프라는 하드웨어 플랫폼으로 구분할 수 있다(성영조, 2016). 즉 새로운 기술과 프로세스, 서비스가 발전할 수 있는 기반이나 네트워크를 플랫폼이라 한다.

자율운항선박의 개발과정에는 4차 산업혁명의 영향으로 새로운 기술과 장비, 선박정보를 기반으로 하는 서비스와 업무가 적용될 것이다. 때문에 기술을 확장하고, 새로운 서비스를 제공하기 위한 플랫폼 개발은 자율운항선박의 주요한 연구 분야이다. 현재까지 국제적으로 통일된 자율운항선박 플랫폼의 형태나 기능은 정의된 바 없지만 선박의 통신, 장비, 정보들과 모든 연결을 담당하는 기능은 기존 선박 플랫폼 연구와 프로젝트에서 확인되는 공통점이다.

## (1) 플랫폼 필요성

자율주행자동차의 경우 플랫폼은 크게 차체와 센서로 구성된다. 센서 플랫폼은 외부 환경 인식, 차량 움직임 감지, 운전자 행동 감지 등 자율주행을 위한 차량 내부와 외부 정보를 측정하는 센서들의 집합이다(이호원과 기석철, 2018). 한 종류의 센서 만으로는 다양한 도로 상황에 대응하기 힘들기 때문에 다양한 센서의 조합이 필요하며, 대표적으로 움직이는 주변 물체를 인식하기 위해서는 카메라와 라이다(Lidar)의 조합이 필요하다. 카메라는 비전(Vision) 기술을 통해 물체 종류는 잘 분류해내지만 정확한 운동 정보를 측정하는 것에는 한계가 있고, 라이다는 움직이는 물체의 운동 정보와 위치를 정밀하게 측정하지만 그 물체가 어떤 물체인지 분류하지 못한다. 이 경우 센서 플랫폼을 통해 두 센서의 정보를 융합하여 물체의 종류와 운동 정보를 정확하게 측정할 수 있다.

자율운항선박도 해상의 물체를 탐지하고 운동 정보를 예측해야 의사결정 및 충돌회피 등의 자동화가 이루어질 수 있다. 정보들의 융합을 통해 새로운 기능을 수행하고, 사용자에게 새로운 서비스를 제공하기 위한 기반으로서 플랫폼이 요구된다. 자율운항선박의 자동화 수준에 따라 환경은 달라지겠지만, 선상의 항해사 역할 변화도 플랫폼의 필요성과 관련된다. 현재는 자율주행자동차의 센서 플랫폼 역할을 항해사가 담당하고 있다. 즉 센서라 할 수 있는 항해장비들의 정보를 취합하고, 판단하여 선박을 조종하게 되는데, 항해사의 역할을 줄이거나 원격제어를 통해 선박이 아닌 곳에서 위의 역할을 수행하려면 현재의 선박에는 없는 새로운 플랫폼이 요구된다.

자율운항선박 관련연구 조사결과에서 육해상 연결성뿐만 아니라 선내 장비 간 연결성 향상과 사이버 보안 및 신규 장비에 대한 확장성과 원격제어에 대한 기술개발 필요성을 확인하였다. 자율운항선박의 종합 플랫폼 기술 적용은 주요한 이슈들에 대한 솔루션을 제공할 수 있을 것이다. Fig. 15와 같이 스마트 홈 플랫폼은 가정 내 기기들의 연결을 지원하고, 정보들을 통합하여 통신 시스템을 통해 외부 사용자에게 가정 기기들의 상태 확인 및 제어기능을 제공한다. 접속 권한 부여를 통해 사이버 보안을 관리하고, 인공지능 및 자동화를 접목하

여 가정 내 효율적 전기사용 등의 서비스도 플랫폼을 기반으로 개발되고 있다. 자율운항선박도 플랫폼 기술을 적용하여 선박 내 장비들을 연결하고, 위성통신을 통해 ISCC에서의 선박 모니터링 및 원격제어를 기반으로 인공지능, 빅 데이터 기반의 새로운 서비스와 기능향상이 단계적으로 진행될 수 있을 것이다.

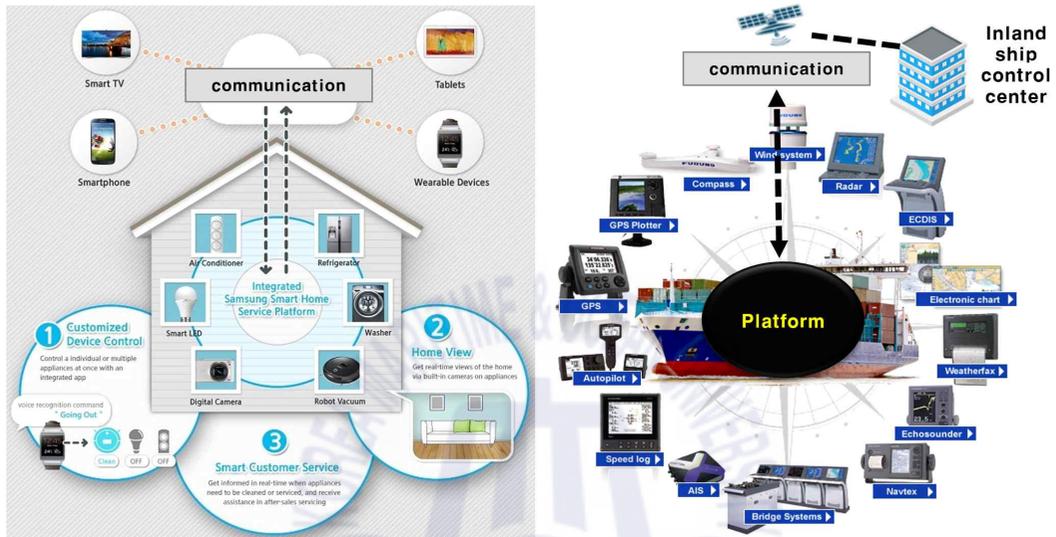


Fig. 15 Smart Home Platform and Ship Platform (Source: Michelle, 2014)

## (2) 개방형 플랫폼

플랫폼에 대한 정의와 개념은 다양하지만 근본적으로 개방적 구조와 쉬운 접근이 중요요소이다. 산업분야의 특성과 정책에 따라 폐쇄적일 수 있으나, 최근 플랫폼 기술이 중요하게 인식되는 이유로는 개방적 구조에서 더욱 광범위한 협업이나 생산성과를 얻어내고, 이를 통해 관련된 기술이 빠르게 향상되기 때문이다. 특히 자율운항선박 개발은 수많은 시스템과 기기 및 장비들을 연결하고 새로운 기능과 서비스를 개발해야할 뿐 아니라, 현재에는 없는 기술의 개발도 요구된다. 전 세계적인 협업과 기술발전이 개방형 플랫폼 기반에서 가능하며, 하드웨어 및 소프트웨어, 서비스 개발 등의 전문기업과 인력들이 각자의 기술 개발에 집중할 수 있는 장점이 있다.

### 2.3.2 자율운항선박 플랫폼 요구기능

자율운항선박 플랫폼은 디지털 선박이나 스마트 선박 플랫폼에 없는 새로운 개념과 역할이 요구된다. 선박 플랫폼은 수집된 정보를 기반으로 새로운 서비스를 위한 소프트웨어나 하드웨어 또는 이들이 결합된 형태를 가진다. 따라서 수집된 정보는 같더라도 자율운항선박 플랫폼은 새로운 서비스를 제공할 수 있어야 하며, 디지털 선박 플랫폼과 다른 새로운 서비스 중에는 선박의 원격제어와 정보융합을 통한 의사결정 자동화와 머신러닝 등이 예상되고 있다. 선박 플랫폼에서 유형별로 요구되는 기능들을 선행연구와 개발 솔루션 조사를 통해 Fig. 16과 같이 정의하였다. 디지털 선박 플랫폼은 선내 정보의 통합의 필요성에 따라 개발되었고, 스마트 선박 플랫폼은 정보의 융합과 분석, 진단과 예측을 통해 보다 더 많은 서비스를 사용자에게 제공할 수 있다. 현재의 기술개발은 스마트 선박 플랫폼 구현에 가까우며, 자율운항선박 플랫폼은 디지털 선박과 스마트 선박 플랫폼 기능에 원격제어와 의사결정 및 인공지능과 머신러닝을 지원하게 될 것으로 예상된다.

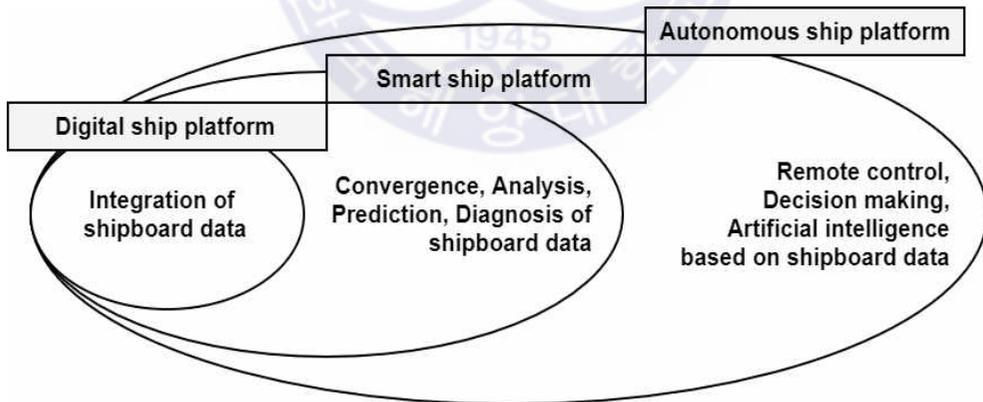


Fig. 16 Shipboard Platform Type and Main Function

## 제 3 장 항해시스템플랫폼 기능 정의

### 3.1 항해시스템플랫폼 개발절차

자율운항선박에 플랫폼 기술을 적용하여 개발하고자 하는 범위를 명확히 하고, 개발방법론을 제시하였다.

#### 3.1.1 플랫폼 개발범위

##### (1) 자율운항선박 항해시스템플랫폼

선박을 구성하는 시스템과 기기 및 장비들은 자율주행차량, 스마트 홈에 비해 수적으로 많을 뿐 아니라, 각 세부 시스템들의 구성목적과 기능들도 상이하다. 때문에 자율운항선박의 플랫폼 기술을 선박 전체 시스템을 대상으로 할 경우, 전사적 시스템(Enterprise system)에 대한 적용으로, 기술개발보다 운영방식의 결정을 위한 접근이 될 수 있다. 본 연구는 개발자와 제조사들이 참조할 수 있는 범용적인 개방형 플랫폼을 통해 개발환경을 구축하는 것에 연구 목적이 있다. 따라서 선박의 시스템을 모듈화하고, 연구목적에 부합하는 시스템에 대해 플랫폼 개발을 계획하였다.

선박의 시스템 또는 구성모듈을 국제적인 표준으로 제시되어 있지 않으나, 해상 화물운송 선박의 운용적 측면에서 Fig. 17과 같이 구성 시스템들을 나누어 볼 수 있다. 항해 및 통신을 위한 Navigation system, 선박의 크레인 등 갑판 상 설치된 기기들을 운용하기 위한 Deck machinery control system, 운송화물 관리를 위한 Cargo management system, 조종명령을 실제 선박의 엔진과 타에 작동시키는 Engine/Rudder/Thruster control system, 선박의 연료 및 전력 관리를 위한 Fuel/Power management system, 접이안 및 묘박 작업용 기기들의 Mooring equipment control system이 있다. 이 중 인적요소가 구성 장비 및 시스템, 컴포넌트들을 연결하고, 선박 자동화에서 가장 많은 변화가 예상되는 항해시스템(Navigation system)에 대한 플랫폼 개발을 목표로 하였다.

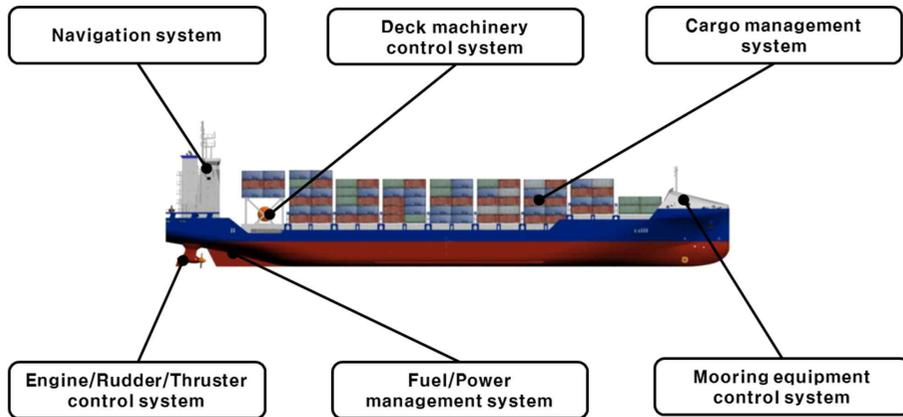


Fig. 17 Shipboard Systems

항해시스템은 선박의 다른 시스템이나 모듈들이 연구개발 프로젝트마다 다양하게 개념과 용어가 정의되는 것과 다르게, 공통적이고 독립적인 시스템으로 인식되고 분류되고 있어, 플랫폼 개발 결과가 보다 범용적으로 적용될 수 있다. 항해시스템플랫폼을 기반으로 다른 시스템이나 모듈들에 대해 확장성을 두고 개발될 수 있다.

(2) 원격운항 기능

자율운항선박 기술 개발에 있어 자율도에 대한 적용범위가 명확하지 않으면, 기술의 표준화 및 연구결과의 실용적인 적용이 불가하다. 항해시스템플랫폼은 원격운항 수준에 적용될 수 있는 플랫폼 개발을 목표로 하였다. 현재의 선박에서 자율운항선박의 구현으로 진행되는 과정에 원격운항은 필수적이며, 원격운항에 필요한 기능들을 통해 디지털 선박과 스마트 선박 플랫폼들과 차별성을 가진다. 완전한 자율도 4에 해당하는 자율운항선박은 IMO RSE에서도, 향후 기술개발과 환경변화에 따라 많은 변화가 예상되는 수준으로 추후 분석을 계획한 것과 같이 본 연구에서도 현재의 항해시스템을 기반으로 원격운항을 위한 플랫폼 기능과 성능을 제시하고자 하였다. 이후 원격운항선박의 기술과 장비들을 기반으로 완전한 자율운항선박 구현이 가능할 것이다.

### (3) 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발

항해시스템플랫폼 연구의 결과는 아키텍처를 통해 시각화 하고 관련된 설계 근거들을 제시하여 이해관계자 및 개발자의 이해를 돕고 개발공정에 필수적인 밑그림을 효과적으로 기술하고자 하였다. 실제 플랫폼의 선박 적용을 위한 초기모델의 테스트 단계 이전에 성능향상과 사용목적의 이해를 위한 협의가 필요하다. 이해관계자들과 개발자 간의 협의를 위해서는 상호가 이해할 수 있는 근거나 개발하고자 하는 시스템의 모사도가 필요하며, 아키텍처와 설계근거가 그 역할을 하게 된다. 자율운항선박의 플랫폼은 새로운 시스템이며, 해상에서 운용된다는 특수성 때문에 개발자와 사용자로 예상되는 이해관계자 간의 협의와 요구사항을 명확히 하여 적용이 이루어져야 한다. 적용된 이후에는 잘못된 구조를 바로잡기가 어렵고, 비용도 많이 발생하기 때문에 아키텍처를 통해 문제를 예상하고 수정하여 보다 향상된 품질의 서비스나 시스템을 구성하는 것이 필요하다.

#### 3.1.2 개발방법 및 절차

##### (1) 운항자 관점의 요구반영

다른 IoT 분야의 플랫폼들과 선박 플랫폼의 큰 차이점 중 하나는, 실제 사용자 의견을 확인하기가 상대적으로 어렵다는 점이다. 자율주행차량이나, 스마트홈, 공장 자동화 등의 플랫폼은 관련된 사용자들이 많기 때문에 의견을 폭 넓게 확인할 수 있고, 개발자 역시 사용 경험과 관련지식을 가지고 있을 수 있다.

그러나 선박 플랫폼의 사용자, 즉 운항자는 그 수가 상대적으로 많지 않고 관련된 경험과 의견 제시를 위해서는 승선한 경력뿐만 아니라 관련지식을 습득하는데 많은 기간이 요구된다. 때문에 개발자들도 운항자 경력을 동시에 가지기 어려워, 플랫폼 개발에서 운항자들의 사용의견 분석이 플랫폼의 기능과 품질 및 성능향상을 위해 중요한 요소이다.

## (2) S/W 아키텍처 설계 적용

향해정보플랫폼의 사용자로 예상되는 이해관계자가 이러한 설계과정에 참여하고, 아키텍처 평가에도 사용적 관점을 반영할 수 있다면, 결과물의 품질과 성능향상에 도움이 되며, 이후 개발 과정에도 중요한 근거가 될 것이다. 때문에 향해시스템플랫폼 아키텍처 개발과정에서 향해 경험이 있는 사용자, 즉 운항자 관점의 요구가 반영될 수 있도록 S/W 아키텍처 설계와 평가방법을 적용하였다. S/W 아키텍처는 구현할 시스템에 대한 Top-down 뷰로 볼 수 있으며, 시스템의 구조 및 컴포넌트간의 관계를 표현하는 추상적 모델로서 시스템에 대한 기술적 명세와 공학적 청사진이 될 수 있다. 최근 정보통신 기술의 발달로 시스템들의 연결성이 강조되고 확대되면서, S/W 아키텍처는 더욱 중요해지고 있으며, 큰 규모의 시스템 S/W 구성에 선행되어야 하는 중요한 과정으로 주목받고 있다 (Bass, et al., 2013).

향해시스템 플랫폼은 새로운 개발사항이며, 아키텍처를 설계하기 위해서는 해당 플랫폼의 정확한 요구기능이 정의되어야 한다. S/W 분야에서는 향해시스템과 같이 많은 서브시스템들이 포함된 신규 플랫폼의 개발 초기에, 여러 관점과 시스템에 관련된 사람들의 이해를 높이기 위한 S/W 아키텍처 설계 과정을 적용하고 있다(Ehsan, et al., 2011). S/W 아키텍처 설계 과정은 S/W에 한정되지 않고 다양한 비즈니스와 시스템구성에 적용되고 있으며, 향해시스템 플랫폼 개발단계에서 품질향상을 위한 방법으로 적용될 수 있다. 시스템 개발 이후에는 문제점에 대한 수정이 어렵고 높은 비용과 난이도가 발생하기 때문에 아키텍처를 통해 개발 초기 문제를 예상하고 보완하여 보다 향상된 품질과 서비스의 시스템을 구성하는 것이 필요하다. 또한 S/W 아키텍처는 목표로 하는 시스템구현에 있어 사용자들과 개발자 사이에 잘못된 이해가 발생하지 않도록 요구사항을 명확히 하는 개발과정을 제시하고 있다. 사용자가 어떤 문제를 해결하거나 어떤 목적을 달성하기 위해 필요한 조건이나 능력을 요구사항이라 하며, 사용자들의 요구사항을 명확히 하는 것은 개발 프로젝트의 결과와 직결된다(김진태 등, 2006). Standish 그룹의 조사에서는 S/W 개발 프로젝트 31%가 완성 이전에

취소되고, 53%가 개발 예상비용을 초과하는 것으로 나타났다. Leffingwell (1997)은 프로젝트 취소와 개발 비용 초과가 발생하는 이유로 사용자 입력 부족과 요구사항 변경 및 불완전한 요구사항을 지적하였다. 즉 요구사항의 부적절한 관리가 프로젝트의 주요 실패원인 이었으며, S/W 아키텍처 개발 과정을 적용하여 이러한 문제점을 보완할 수 있다. S/W 아키텍처의 설계과정은 새로운 시스템 개발 시, 내부 시스템간의 속성과 특성을 정의하여 이해관계자들의 이해를 돕고 개발에 필수적인 아키텍처를 구성하는 방법이다. 항해시스템플랫폼의 사용자로 예상되는 운항자가 이러한 설계과정에 참여하고, 아키텍처 평가에 사용적 관점을 반영한다면, 결과물의 품질과 성능향상이 가능하다. 운항자 관점의 아키텍처 설계는 시스템 개발 과정에도 중요한 근거가 된다.

### (3) 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발절차

운항자 관점의 요구반영과 개발과정의 체계성을 위해 Fig. 18과 같이 개발절차를 3개 과정(Phase)으로 계획하였다. 각 과정은 세부 단계(Step)로 구성되고 각 단계에는 필요한 활동(Activity)을 수행하여 항해시스템플랫폼 아키텍처가 제시될 수 있도록 계획하였다.

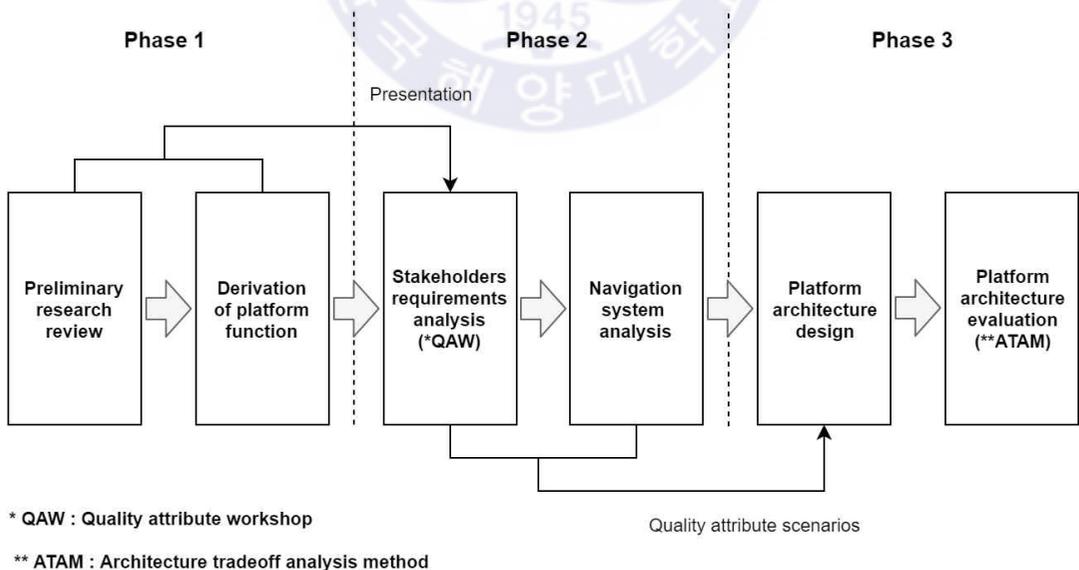


Fig. 18 Navigational System Platform Architecture Design Phase

SEI(Software Engineering Institute)의 전형적인 S/W 아키텍처의 설계과정은 분석(Analysis), 설계(Design), 검증(Validation)으로 구분되며(Bass, et al., 2013), 분석과정은 Phase 1과 2에, 설계와 검증은 Phase 3에 적용하였다. 본 연구는 개발대상의 기능을 명확히 하기 위해 Phase 1을 추가하여 관련연구 조사 및 개선점 도출과정을 수행하였고, 그 결과를 요구분석 단계에 제시하도록 하였다. 또한 운항자 관점의 요구도출을 위해 QAW를 이해관계자 요구분석 단계에 적용하여 단순 설문이나 인터뷰 보다 상세한 요구사항과 불필요한 요구들에 대한 수정 및 개선을 수행하였다. 각 과정의 단계와 활동사항은 다음과 같다.

Phase 1은 선행 연구조사와 기술동향, 대상 시스템의 개선요소 도출을 통해 항해시스템플랫폼의 핵심 기능을 정의하고, 그 결과는 Phase 2의 QAW에서 Presentation을 통해 이해관계자들에게 전달한다.

Phase 2는 대상 시스템의 주요 항해장비들에 대한 분류 및 분석과 이해관계자 중심의 QAW를 통해 기능 요구사항, 비기능 요구사항, 품질속성, 설계 및 개발 제약사항 등을 파악하고 품질속성 시나리오를 작성한다. 본 연구에서는 Phase 2를 모듈 설계를 목적으로 품질속성 시나리오에 관련항해 장비들의 코드화된 정보뿐만 아니라 이해관계자들의 정제를 통해 더욱 구체적인 내용 작성을 계획하였고, 품질속성 시나리오 명칭을 아키텍처 모듈 설계서로 정의하였다.

Phase 3은 작성된 아키텍처 모듈 설계를 근거로 아키텍처 개발을 수행하고, ATAM 평가과정을 적용하여 모듈 설계 내용과 아키텍처를 평가한다. 아키텍처 개발은 요구사항의 분석 결과를 토대로 관련 QA별로 구체적인 아키텍처 모듈 설계를 적용하는 과정이다. 이를 기반으로 아키텍처를 시각적으로 보여줄 수 있는 아키텍처 뷰로 개발 결과물이 제시된다(Clements, et al., 2010). 아키텍처 평가는 ATAM을 통해 QA에 대한 유틸리티 트리 작성과 아키텍처 모듈 설계에 대한 분석과 평가를 실시한다(Clements, et al., 2002). 아키텍처에 대해서도 필요한 수정과 개선요소를 제시하고, 필요한 경우 식별된 문제점에 대한 수정사항이 반영된다.

## 3.2 항해시스템 개선요소

플랫폼 핵심기능을 현재 항해시스템의 개선요소를 고려하여 정의하기 위해, 개발대상인 항해시스템의 구성과 시스템적인 특징을 분석하여 현재의 문제점과 자율운항선박 개발에 요구되는 개선요소를 도출하였다.

### 3.2.1 항해시스템 구성

시스템(System)은 특정한 목적을 달성하기 위하여 여러 가지 관련된 구성요소들이 상호작용하는 집합의 의미를 갖는다. 전체적으로 통합된 하나의 개체로 구성되더라도, 세부적인 각 기능들을 통해 공통적 목표가 달성되도록 상호작용하는 요소들의 집합이다(김상욱, 2015). 행위적 관점에서 시스템은 외부로부터 자원, 정보, 에너지 등을 입력(Input)받아 일련의 처리과정(Process)을 거쳐 자신의 목적에 부합되는 결과물(Output)을 출력하는 I-P-O를 기본 구조로 하며, 시스템의 기능적 특성과 밀접한 관계가 있다. 시스템을 분석하고 설계하기 위해서는 해당 시스템의 목표를 명확히 하는 것이다. 해상 화물운송 선박의 항해시스템은 개별 장비들의 하위 시스템이 특정 목적 달성을 위해 상위 시스템에 종속되고, 또 그 시스템이 통합되어 안전하고 경제적인 화물운송이라는 목적을 달성하도록 구성되어 있다. 목적 달성을 위해서는 단일의 시스템으로는 불가능하기 때문에, 서브(Sub) 시스템으로 정의할 수 있는 여러 항해장비들을 조합한 처리의 결과가 필요하다. 여러 항해장비들이 결과물을 생성하면, 이 값을 다시 다른 시스템이 입력 받게 되고 처리하여 향상된 결과물을 생성하거나 조합하여 목표가 달성되므로 항해시스템은 시스템의 시스템(SoS; System of System)으로도 볼 수 있다(Bass, et al., 2013).

행위적 관점의 시스템 구성과 같이 선박의 항해 상황에서 많은 데이터들이 항해장비를 통해, 항해시스템에 입력되고, 처리의 과정을 거쳐 정보화되며 항해사의 의사결정은 이 정보들을 기반으로 한다. Fig. 19와 같이 항해시스템의 입력과정은 항해장비의 센서나 안테나 또는 항해사의 시각적인 확인으로 생성되는 데이터라 할 수 있다. 처리과정은 항해사, 항해장비의 하드웨어와 소프트웨어

어, 데이터와 절차들 간에 다양한 관계를 가지고 있다. 출력물은 항해안전에 필요한 정보(Information)로 디스플레이를 통해 결과물을 표현하거나, 선박 조종을 위한 의사결정에 해당된다.

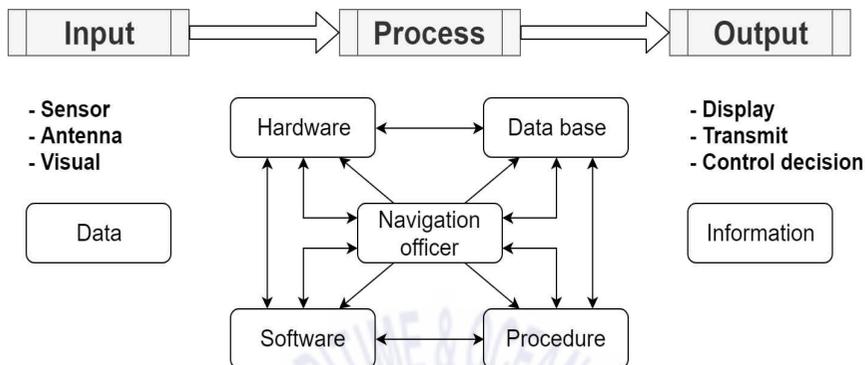


Fig. 19 Behavioral Perspective of Navigational System

### (1) 항해장비 구성

항해시스템의 명확한 목적은 안전항해 달성에 있으며, 이를 위해 기술발달에 따른 항해장비들이 개발되고 선박에 적용되어 왔다. 선박의 항해시스템은 안전항해를 위해 다양한 항해장비들로 구성될 수 있지만 국제항해에 종사하는 선박들은 국제적인 기준을 따라야 한다. 국제적 기준은 IMO에서 국가정부들의 논의와 협력을 통해 협약(Convention), 규정(Code) 등으로 제시되며, 항해장비에 대한 요건은 SOLAS 제5장(항해안전)에서 지정하고 있다. SOLAS 협약은 1914년 타이타닉 침몰의 영향으로 국제사회에서 그 필요성이 인정되어 채택되었다. 1929년, 1948년, 1960년에 개정이 이루어 졌지만, 협약의 최신화와 개정절차가 합리적이고 적절한 기간 내 발효되는 것이 불가능하였다. 이에 따라 1974년 IMO는 이전까지의 개정사항을 모두 포함하는 완전히 새로운 SOLAS 협약을 채택하였고, 1980년 5월 25일 발효되어 현재 국제항해에 종사하는 화물운송선박들에 적용되어 오고 있다. 국제항해에 종사하고, SOLAS 협약의 대상톤수 및 선종에 해당되면 협약의 항해장비들이 요구되며 SOLAS ship 또는 Convention ship으로 표현한다. SOLAS 협약의 적용을 받지 않는 선박들은 기국이나 지역

규정에 따른 항해장비와 기준이 지정되어, 일괄적으로 정의하기 어렵다. 통상 Non-SOLAS ship은 SOLAS ship에 비해 규모가 작고, 요구되는 항해장비도 협약 요건을 상회하지 않기 때문에 SOLAS ship을 기준으로 구성을 조사하였다. 1970년대에서 1980년대는 항해장비들이 선박의 상태확인(Status)을 위한 장비들이 주요하였으며, 이후 충돌회피를 위한 ARPA가 이용되었다. 선속(Ship speed) 측정 장치는 Em-Log 등이 이용되어오다 도플러 방식을 적용한 선속계가 채택되었다. 이후에도 항해장비들은 운항 상의 안전을 지원하기 위한 장비들이 지속적으로 채택되었으나, 채택시기도 상이하고 적용되는 시기도 달라 선박의 항해시스템은 장비들의 개별적인 성능기준과 구성으로 발전하게 되었다. 즉 다른 장비들과의 조화나 정보통합 및 체계적인 시스템의 확장이 아니었기 때문에 정보 수집이 어렵고 숙련도에 따라 항해정보의 파악이 달라져 이를 통합하고 단일 디스플레이에 표현하기 위해 ECDIS와 INS(Integrated Navigation Systems) 등이 요구되었다. SOLAS의 장비구성요건은 선박 총톤수와 선종 및 건조시기에 따라 복잡하게 적용되고, 항해시스템적 특성에서 확인한 사항과 같이 항해장비의 도입이 사용자의 인터페이스를 고려하여 이루어지고 있지 않아 이로 인한 문제들이 나타나고 있다. 이 때문에 IMO는 전자적 항해장비들의 통합과 조화를 기반으로 e-Navigation의 개념을 도입하였고, 인간중심설계(HCD; Human Centered Design)와 S-mode 가이드라인의 개발 등 많은 항해장비 도입으로 인한 인터페이스 문제점 개선을 위한 노력을 기울이고 있다.

다음 Table 3은 SOLAS의 제5장 19조 2항에서 요구하는 항해장비들을 목록화한 표이다. SOLAS의 제5장 19조 2항 외에도 20조의 VDR(Voyage Data Recorder)은 다양한 선박 센서들로부터 데이터를 수집하고 기록하는 시스템으로, 목적은 사고조사를 위한 것이지만, 다양한 장비들의 정보를 통합 저장하는 기능 때문에 예방 유지보수, 성능 효율성 모니터링, 악천후 분석, 사고 예방 등에 이용이 가능하여 자율운항선박 개발에 있어 중요 장비로 평가된다. SOLAS의 제5장으로 구성이 강제된 항해장비는 아니지만 선박에 미치는 외력평가와 위험통보에 필요한 정보로 풍향 및 풍속을 측정하고 보고하기 위해 실선에는 Wind indicator도 항해시스템 주요장비로 구성되어 있다.

**Table 3** Shipboard Navigational Equipment according to SOLAS Chap. V

<b>Paragraph</b>	<b>Name of Equipment(or system)</b>
19.2.1.1	Standard magnetic compass
19.2.1.2	Pelorus
19.2.1.3	Means of correcting headings/bearings to true
19.2.1.4	Nautical charts or ENC(Electric nautical charts)
19.2.1.5	Back up if ECDIS fitted
19.2.1.6	Global navigation satellite system receiver or terrestrial position finding equipment
19.2.1.7	RADAR reflector
19.2.1.8	Sound reception system(if bridge totally enclosed)
19.2.1.9	Telephone to emergency steering position(when fitted)
19.2.2.1	Spare magnetic compass
19.2.2.2	Day light signalling lamp
19.2.2.3	Bridge navigational watch alarm system(BNWAS)
19.2.3.1	Echo sounder
19.2.3.2	9GHz RADAR
19.2.3.3	Electronic plotting aid(EPA)
19.2.3.4	Speed and distance measuring equipment(SDME)
19.2.3.5	Transmitting Heading Device(THD) to RADAR, EPA and AIS
19.2.4	Automatic identification system(AIS)
19.2.5.1	Gyro compass
19.2.5.2	Gyro Repeater at emergency steering position
19.2.5.3	Gyro Repeater for bearings over 360° of horizon
19.2.5.4	Indicators for rudder angle, propeller thrust, pitch and revolutions
19.2.5.5	Automatic tracking aid(ATA)
19.2.6	Back up requirement for Paragraph 19.2.1.1, 19.2.1.2, 19.2.1.4
19.2.7.1	3GHz RADAR
19.2.7.2	Secondary ATA
19.2.8.1	Automatic Radar plotting aid(ARPA)
19.2.8.2	Heading or track control system(HCS/TCS)
19.2.9.1	Rate of turn(RoT) indicator
19.2.9.2	SDME(over the ground in the forward and athwartships direction)
19.2.10	Electronic chart display and information system(ECDIS)
20.1	Voyage data recorder(VDR)
-	Wind indicator(Anemometer)

(2) 네트워크 구성

항해장비들을 연결하기 위한 선박 네트워크는 국제전기전자위원회(IEC; International Electrotechnical Commission)의 기술위원회(Technical Committee) 80의 Working Group 6에서 제정된 규격을 국제표준화기구(ISO; International Standardization Organization)와 IMO가 따르도록 권고하고 있다(하연철, 2007). IEC 61162 표준은 Digital interfaces for navigational equipment with in a ship의 명칭으로, 선박 운항 정보들을 취득하기 위한 선박 내 각종 하위 장치나 시스템들을 접속하기 위한 통신 프로토콜을 규정하고 있다. 항해장비만을 위한 표준은 없으며, 선내 항해, 무선 통신, 시스템 구성, 다양한 기기연결 등에 응용하도록 Table 4와 같이 4개 표준으로 구성된다(박종원 등, 2011).

Table 4 Standards of IEC 61162

No.	Title of Standards	Remark
IEC 61162-1	Single talker and Multiple listeners	NMEA 0183
IEC 61162-2	Single talker and Multiple listeners, high speed transmission	-
IEC 61162-3	Multiple talkers and multiple listeners-serial data instrument network	NMEA2000 CAN network
IEC 61162-4	Multiple talkers and multiple listeners-ship systems interconnection	Ethernet TCP/IP, UDP

IEC 61162-1은 시간, 위치, 방위 등의 정보를 전송하기 위한 NMEA 0183 규격을 근간으로, 항해 및 통신장치와 시스템들의 단독으로 송신(Single talker)하고, 다수의 장치들이 수신(Multiple listeners)하기 위한 디지털 인터페이스를 정의하고 있다. 이 표준은 4.8kbps 전송속도로 1초 이상의 전송주기를 요구하는 단방향 직렬 데이터 전송을 위한 인터페이스와 문장구조, 송신장치 ID, 문장형식자로 구성되는 메시지 형식도 정의하고 있다. IEC 61162-2는 최소 20ms 주기를 가지고 전송을 요구하는 38.4kbps의 고속통신을 위해 제정되었으며, IEC 61162-1의 메시지 형식을 따르고 있다.

IEC 61162-3은 NMEA 2000 규격을 근간으로 하고 있다. NMEA 2000은 선박 장비들이 CAN(Controller Area Network)을 적용하여 선박 네트워크를 직렬데이터 통신으로 구성하는데 용이하다. NMEA 2000 규격을 이용하여 IEC 61162-2보다 향상된 250kbps의 전송속도로 네트워크를 구성할 수 있다. IEC 61162-4는 네트워크와 응용시스템 간 인터페이스 표준이며, 61162-3보다 고용량의 10Mbps의 데이터 처리가 가능하고, 다른 프로토콜들을 보완하기 위해 제정되었다. 400으로 표준번호를 구성해 400, 401, 410, 420 등 여러 관련 표준들이 제시되어 있으며, 400은 다수의 전송자와 다수 수신자간의 선박 시스템 연동에 대한 일반적인 원리를 기술하고 있다.

다만 현존 선박의 네트워크 구성에는 항해장비와 센서 간에 직렬통신 RS232나, RS422 인터페이스로 연결되고, 장비들 간에는 CAN network 구성이 많아, NMEA 규격이 아닌 IEC 61162-4의 적용은 많지 않았다. 때문에 IEC는 61162-4가 실용화 되지 못하고 있는 문제를 해결하기 위하여 IEC 61162-450을 제안하게 되었다. IEC 61162-450은 선박 항해통신 장비들의 선박 내 및 타 선박과 육상과의 통신을 위한 요구사항과 테스트 방법을 정의하고 있다. Ethernet과 TCP/IP 프로토콜을 사용하며, UDP(User Datagram Protocol)의 멀티캐스트 프로토콜을 사용한다. Binary image 데이터의 전송 방법을 규정하고, VDR 기록을 위한 RADAR 이미지 전송도 가능해 향후고용량의 데이터 처리와 통합이 요구되는 자율운항선박 개발에 있어서 중요한 표준이 될 것으로 예상된다. 또한 2015년 우리나라 주도로 제정된 IEC 61162-460도 선박 네트워크의 보안 요구사항에 대한 것으로 자율운항선박 개발에 있어 사이버 보안 이슈와 함께 주요한 표준으로 다루어 질 것이다.

## 1) NMEA Standards

NMEA(National Marine Electronics Association)는 선박 장비들 사이의 통신을 위한 전기적 인터페이스와 데이터 프로토콜을 정의하는 표준을 제정하고 있으며, 특히 NMEA 0183은 현재 선박의 항해장비들을 기준으로 가장 폭 넓게 적용된 인터페이스 표준이다. NMEA 0183 표준은 직렬통신의 한 방법으로 정의된

데이터 포맷에 따라 센서에서 정보를 발신하면 수신측 시스템이 표시하는 구조로 간단하게 적용할 수 있는 신호 변환 기술이다. NMEA 0183은 IEC TC 80에서 61162-1과 2로 채택됨으로써 IEC가 인정하는 선박 디지털 인터페이스의 표준프로토콜이 되었다. NMEA 0183의 전송속도는 4.8kbps이며, 출력은 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 RS 422의 표준을 따르고 있다. NMEA 0183 이후 보다 향상된 전송속도와 다양한 항해장비들의 정보를 Plug & Play 통신 구조로 구현하기 위해 NMEA 2000 표준이 제시되었다. NMEA 2000은 화물선박보다 요트, 중소형 선박에서 더 많이 이용되고 있지만, 전송속도나 네트워크 구성이 중앙케이블, 즉 백본(Backbone)을 통해 간결하게 구성되는 장점이 있으며, IEC 61162-3의 표준으로 제안되었다. 다만 선박 대형화에 따라 NMEA 2000의 최대 중앙케이블 길이에 제한될 수 있는 점에서 대형 화물선 네트워크 구성에는 부적절 할 수 있다(한국전자통신연구원, 2013).

## 2) CAN(Controller Area Network)

자동차의 제어부 네트워크 구성을 위해 개발된 CAN은 ISO 11898로 표준 제정되었으며, 자동차뿐만 아니라 선박분야에서도 적용하게 되었다. CAN은 높은 데이터 전송률과 안정성을 제공하며 환경에 따라 다르지만, 최고 1Mbps의 데이터 전송률과 CRC(Cycle Redundancy Check)를 이용한 오류 검출 등의 안정성을 제공을 통해 다수의 전자 장비를 상호 연결하는 실시간 제어 네트워크이다(이현 등, 2010). 데이터의 집적도를 높이기 위하여 이진데이터를 사용하며, TCP/IP 방식에 비하여 헤더의 비트가 작고, 비트간격으로 충돌을 중재하여 충돌자체가 일어나지 않는 장점이 있다. NMEA 2000과 같이 백본의 길이 제한과 연결되는 물리적 노드가 50개, 논리적 노드가 254개로 제한되어 대형선박 적용에 문제가 있지만, 백본 간에 브릿지를 두어 개선할 수 있다(한국정보통신기술협회, 2011).

## 3) SAN(Ship Area Network)

SAN은 한국전자통신연구원에서 현대중공업과 공동연구를 통해 선박장치들을

최적의 유무선 기술을 융합한 네트워크로, 선박 내 구축되어 제어명령, 상태 정보, 문서 및 도면정보 등을 교환할 수 있도록 제공되는 백본 네트워크이다(이성형 등, 2013). IEC의 61162-450 표준 기술을 적용하여 연결된 SAN은 화면을 통해 제어할 수 있으며, 육상에서도 위성을 통해 원격으로 선박 모니터링과 제어가 가능하다. 또한 선박 내 시스템과 소프트웨어 업그레이드 등 유지 보수까지 원격으로 가능할 것으로 예상되며, 향후 자율운항선박에 있어서도 다양한 부가 서비스를 지원할 수 있는 기반 기술로 평가된다(한경수 등, 2013). SAN의 주요 장치로 개발된 ISIG(Intra-Ship Integrated Gateway)를 통해 장비들의 정보는 ISM(Intra-Ship Messaging)으로 수집되고, 위성통신을 통해 육상사용자에게 전송하기 위해 SSM(Ship to Shore Messaging)으로 전환된다. ISIG를 선박에 적용하면 기존 Port to Port 유형의 장비 간 연결 방식도 통합 Ethernet으로 구성되어 복잡한 케이블 배선이 개선될 수 있다.

### 3.2.2 시스템적 특징

항해시스템은 다음과 같은 시스템적인 특성을 가지고 있으며, 플랫폼의 기능 구성에 주요한 환경요인으로 고려될 수 있다.

#### (1) 피드백(Feedback) 구조

항해시스템의 첫 번째 특성은, 피드백 구조를 가지는 것이다. I-P-O의 구조 형태에서 1회의 입력과 처리, 그리고 결과물의 산출만으로 항해시스템의 목적 달성은 불가능하다. 항해시스템은 처리된 결과물을 기반으로, 처리과정을 다시 제어하고 수정조치를 수행함으로써 시스템이 목적에 부합되는 행위와 결과를 유지해야 한다. 여러 차례의 반복과 처리과정의 변형이 피드백을 통해 다양하게 발생하는 형태이다. 항해시스템의 피드백은 여러 상황들을 종합하고 복잡한 판단조건들을 수반하기 때문에 컴퓨터나 장비가 아닌 항해사가 담당하게 된다. 이로 인한 문제점은 항해사의 피드백 수준에 따라 선박의 조종과 항해 안전의 달성수준도 상이해 질 수 있다는 점이다. 때문에 완전한 자율운항선박 자동화 수준에서는 항해시스템의 결과물들에 대한 피드백이 요구될 것이다.

## (2) 계층적(Hierarchical) 구조

선박의 항해시스템 구조는 여러 항해장비들과 계층적 형태로 구성되어 있다. 개별 장비들 모두가 독립적인 시스템이기도 하지만, 항해시스템의 목적 달성을 위한 서브시스템으로 구분할 수 있다. 이 항해장비들은 다시 세부적으로 데이터 획득을 위한 개별 센서나 안테나, 전원장치 및 처리장치 등 하위 요소들을 포함하여 계층화 된다. 이런 계층적 구조를 이용하여 디지털 선박 플랫폼이 서브시스템을 통합하는 상위 시스템의 개념으로 등장한 것이며, 플랫폼이 없다면 항해사가 그 역할을 하게 된다. 따라서 자율운항선박의 자동화 수준 향상에 있어 플랫폼의 역할이 중요하다.

## (3) 목표 지향적(Goal-oriented) 시스템

시스템은 어떤 목적을 달성하기 위해 존재하므로 그 목적을 명확하게 하는 것은 매우 중요하다. 시스템의 목적은 하나만이 아닌 그 이상이 될 수도 있으며, 큰 목적을 달성하기 위하여 작은 목적들의 복수 시스템이 존재할 수도 있다. 항해시스템도 안전한 항해 달성에 한정되지 않고 경제적인 항해, 친환경적인 항해와 같이 그 목적이 다양하게 요구되고 있다. 이에 따라 항해시스템은 새로운 항해장비와 구성 및 기술들을 적용하여 왔으며, 자율운항선박에서 요구하는 목표에 따라 시스템의 변화가 예상된다.

## (4) 장비 간 상승효과(Synergy)

상승효과는 통합된 시스템으로 얻어지는 결과가 이를 구성하는 서브시스템의 개별적 결과보다 향상되는 효과를 말한다. 다른 개념으로는 개별적인 서브시스템만으로는 달성할 수 없는 목표를 서브시스템이 하나의 통합 시스템을 구성하여 원하는 목표달성이나 결과물을 얻을 수 있는 것을 말한다. 항해장비들이 개별적인 시스템으로 존재하면서도 계층적 구조를 바탕으로 서브 시스템화 되어 항해시스템에 구성되는 것은, 한 가지 장비만으로는 항해안전의 목적 달성이 어렵고 여러 장비들의 정보 조합을 통해 보다 향상된 가치의 정보나 결과를 얻

을 수 있기 때문이다. 장비들의 상승효과를 위해 정보 융합과 관련된 기술들이 주목 받고 있으며, 레이더와 AIS의 Target 인식정보를 중첩하거나, 카메라와 Lidar를 조합하여 물체를 판단하고 식별능력을 향상시키는 연구들이 진행되고 있다.

#### (5) 항해사 중심 시스템 관리

환경의 변화에 시스템이 스스로 적절히 대응할 수 있도록 조건이나 상황을 설정하여 자동적으로 처리하도록 하는 것이 자동화이다. 자율운항선박은 이러한 자동화가 극대화 된 선박으로 볼 수 있다. 이 자동화된 처리과정은 시스템의 통제를 기반으로 이루어진다. 많은 시스템들은 시간이 경과할수록 성능이 나빠지며, 이를 엔트로피(Entropy)라 한다. 엔트로피란 시스템의 무질서 또는 복잡성의 정도를 의미하며, 통제는 시스템에 엔트로피 증가를 억제하는 활동이다. 항해장비들에 대한 점검과 성능테스트를 통해 시스템의 정상적인 운영 상태를 확인하고 필요한 경우 적절한 조치를 취하게 되는데, 이 통제의 작업은 항해사에게 맡겨져 있다. 자율운항선박의 자율화 등급 중 최상위의 완전 자율화 시스템 구현을 위해서는 이러한 통제기준이 명확하여야 한다.

### 3.2.3 개선요소 도출

항해시스템 구성과 특징을 기반으로 플랫폼을 적용하여 개선이 필요한 요소들을 다음과 같이 도출하였다.

#### (1) 시간 동기화

SOLAS 협약에서 요구하는 항해장비들의 구성이 Stand alone 형태로 선박에 적용되면서, 각 장비마다의 시간이 독립적으로 관리되고 있다. 장비마다 시간이 상이하여, 사고조사 및 관련기록 유지에 차이가 발생한다. 자율운항선박의 시간 정보 Source를 일원화 하고 동기화될 수 있어야 원격제어 및 장비들의 모니터링에 시간오차가 없을 것이다. 선박의 시간 오차가 발생하는 주요 원인은 장비의 사용시간과 전원 제어와 관련이 있었으며, 선원들의 생활구역 내 시간 동기

화도 항해시스템플랫폼을 통해 자동으로 이루어질 필요성이 있다.

## (2) 통합 전원관리

선내 시간의 차이발생과 같은 원인으로 개별적 장비들의 전원관리는 각각의 장비마다 수동적으로 이루어지고 있으며, 항해사의 단위과업을 증가시킬 뿐 아니라, 필요 장비가 항해 중에도 켜져 있지 않아 항행안전을 저해할 수 있는 상황도 발생한다. 자율도 3에서는 선원이 승선하지 않기 때문에 항해장비의 전원 관리는 자동화가 필수적이다. 항해장비 대부분이 항만에서 화물 적양하 작업 중에는 작동이 요구되지 않으며, 지속적인 작동은 엔트로피 증가로 성능저하 및 소모성 부품의 교환과 선내 전력낭비를 발생시킨다. 에너지 효율과 항해장비들의 성능유지 및 운용시간 확보는 운항비용 절감과도 관련되며, 이를 위해 항해시스템플랫폼 기반의 통합 전원관리가 필요하다.

## (3) 네트워크 구조개선

현재의 항해시스템은 항해장비들이 하나의 네트워크로 완전히 연결되지 않으며, 결과적으로 서브시스템의 통합과 자료 공유 및 신규 시스템 확장이 어려운 네트워크 특성을 가지고 있다. IEC의 61162-450과 같이 향상된 표준이 제정되어도 선박 구조상 건조 이후에는 새로운 네트워크를 위한 케이블 포설이 어렵고, 장비들의 독립적 개발 특성으로 호환되지 않는 통신규격으로 설치되는 경우도 있어, 변화에 어려움이 있다. 때문에 개발단계에서 적절한 네트워크 표준을 선택하고 관련된 시스템들을 구성해야 한다. 크게 두 가지 부분에 있어 현재 선박의 네트워크와 다르게 개발상의 고려가 필요할 것으로 분석된다. 먼저 고용량의 데이터 처리를 위해 보다 향상된 전송속도를 요구할 것이다. 다음 Table 5와 같이 현재 항해장비들의 정보전송은 최대 200m 거리 내에서 250kbps의 속도가 보장되는 CAN의 통신 인터페이스로도 충분할 수 있지만 (Marko, et al., 2017), 선박 대형화와 Lidar 및 Infrared 카메라 등의 고용량의 데이터 전송요구를 충족시킬 수 없을 것이다(Jeon & Lee, 2014). 이 문제점은 자율운항선박뿐만 아니라 스마트 선박 구현과 e-Navigation 환경구축에 있어서

도 개선이 필요한 것으로 인식되고 있다. IR 카메라나 Lidar는 고용량의 정보처리가 필요하기 때문에 확장성을 고려한 네트워크의 변화가 필요하다.

**Table 5** Transmission Requirements of Navigation Data (Source: Marko. H, 2017)

Cat.	Equipment	Single file/Image(kB)	Update rate(Hz)	Compressed bit rate(kbps)
As is	Sensors	12	0.1-1	1-10
	Control data	varies	1	1-10
	RADAR	375	0.4	100
	AIS	375	0.4	100
To be	Video	200-500	1-10	150-1,500
	HD video	2,600	2	800-1,500
	Infrared	330	1-10	200-1,000
	Lidar	>200,000	1	1,000-2,000

네트워크 구조의 개선요소 두 번째는 장비와 장비 간의 연결로 인한 복잡한 케이블 포설을, 장비와 항해시스템플랫폼 간의 연결로 전환할 필요성이 있다. 현재는 추가 장비가 요구될 경우 케이블 포설이 어렵고 다른 장비들 간의 인터페이스가 제공되지 못하면, 많은 비용과 시간이 요구되므로 플랫폼을 통한 연결성 향상이 요구된다.

#### (4) 디스플레이와 컨트롤러 통합

항해장비들은 개별적인 디스플레이와 컨트롤러를 포함하는 콘솔(Console)로 Fig. 20과 같이 선교에 설치되는 경우가 일반적이다. 이 경우 공간적 제약, 장비의 이동 불가로 인해 정보 확인이 불편하고, 추가적인 장비를 위한 공간 확보도 어려워 디스플레이와 인터페이스 및 컨트롤러가 통합되어 확장성을 지원할 필요가 있다. 통합 디스플레이로 여러 장비들의 정보와 상태를 동시에 모니터링하고 단일 컨트롤러로 멀티태스킹이 가능하도록 플랫폼 기반의 통합이 요구된다. 디스플레이와 컨트롤러 통합은 자율도 2에서 선교 내 공간 확보를 위한 개선요소이지만, 자율도 3의 ISCC에 유사한 구성으로 원격제어실을 구성에 참조할 수 있다.

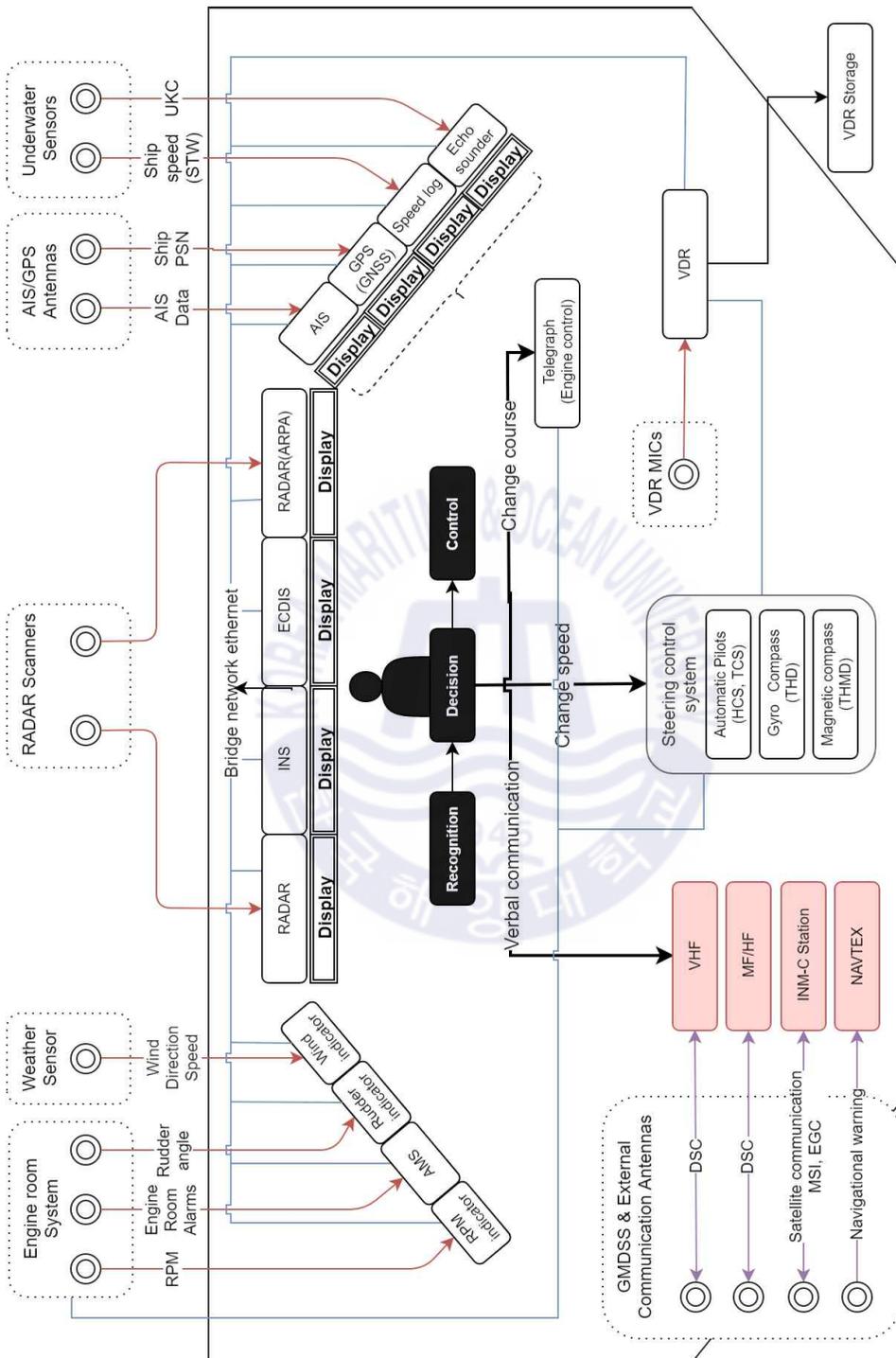


Fig. 20 Arrangement of Navigational Equipment on Bridge

### 3.3 항해시스템플랫폼 기능

항해시스템의 특징과 도출된 개선요소를 고려하여 기존 선박 플랫폼들과 항해시스템플랫폼의 차별성 및 핵심기능을 정의하였다.

#### 3.3.1 항해시스템플랫폼의 차별성

기존 개발된 선박 플랫폼 및 현재 개발 중인 다양한 플랫폼들과 다르게, 개발범위와 절차에서 고려된 항해시스템플랫폼의 차별성은 다음과 같다.

##### (1) 오픈 플랫폼

선박 플랫폼 개발에서 국제 표준화된 플랫폼은 아직까지 없으며, 사용성을 넓히고 개발환경을 구축하기 위해서 오픈 플랫폼 개발이 요구된다. 오픈 플랫폼은 다양한 기기들과 센서의 연결 호환을 제공하여, 통합된 시스템 환경에서 특정 제조사 장비에 한정되지 않고 다양하게 구성할 수 있다.

##### (2) 운항자 관점 설계

사용자가 요구하는 기능, 품질에 대한 요구, 사용성을 높이기 위해 선박의 항해 경험이 있는 운항자 관점으로 설계목표를 구성하였다. 선박을 직접 조종함으로써 얻을 수 있는 경험은 원격운항 단계에서 어떠한 정보들이 어느 수준으로 제공되어야 하고, 시간적 제약이나 요구사항을 구체화 할 수 있기 때문에 개발과정에서 운항자 관점의 의견반영이 중요하다.

##### (3) 플랫폼 아키텍처와 설계요소 제시

개발된 다수의 선박 플랫폼들은 구성에 대한 정보를 세부적으로 공개하고 있지 않아 플랫폼들에 대한 비교와 분석이 불가하다. 항해시스템플랫폼은 기능과 개념뿐만 아니라, 개발자와 운항자 및 이해관계자의 협의와 개선이 가능하도록 아키텍처를 제시하고, 아키텍처의 구성과 설계에 어떤 요소들이 고려되었는지 항해장비의 어떤 특성을 고려한 것인지를 확인할 수 있는 품질 시나리오를 제

시한다. 이를 통해 설계의 근거를 명확히 하고 설계의 결함과 문제점 발생 시 이를 통한 수정 및 보완이 가능하다.

### 3.3.2 항해시스템플랫폼 핵심기능

항해시스템에 대한 개선요소 도출 결과와 시스템 특징, 항해시스템플랫폼의 목표를 반영한 핵심기능을 Fig. 21과 같이 6가지로 정의하였다.

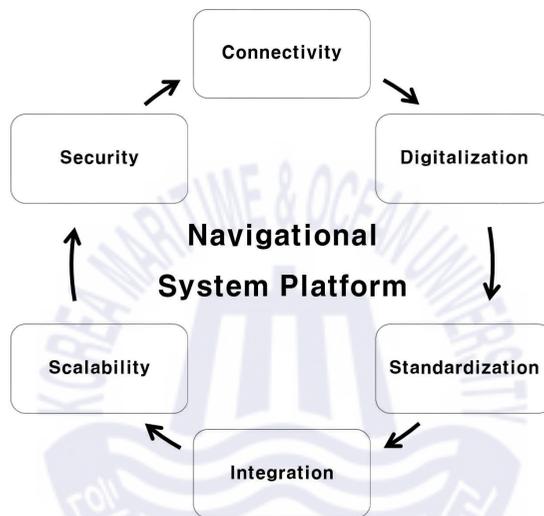


Fig. 21 Main Function of Navigational System Platform

#### (1) 연결성(Connectivity)

장비와 장비 간의 연결을 장비와 플랫폼 연결로 전환하고, 다양한 수준의 통신 포트들을 제공하여 센서들과 연결성도 향상시키는 기능이 필요하다. 고용량의 데이터도 처리될 수 있도록 향상된 네트워크 표준을 적용하여 새로운 기기와 센서들의 적용도 지원할 수 있어야 한다.

#### (2) 디지털화(Digitalization)

선박의 모든 정보들은 디지털 정보로 전환하여 처리되어야 한다. 항해사는 디지털 정보나 아날로그 정보를 모두 종합하여 판단하고 인식할 수 있으나, 원

격운항을 위해서는 모든 정보들이 디지털화 되어 육상으로 송신되어야 한다.

### (3) 표준화(Standardization)

항해장비들로 수신되는 정보들의 데이터 구조와 메시지 프로토콜이 상이하  
여, 데이터 통합과 처리가 용이하지 못하므로 플랫폼을 통한 정보의 표준화가  
필요하다. 장비와 장비 간 연결에서는 이러한 문제로 특정 제조사 제품들 간의  
구성이나, 다양한 통신포트를 제공해 연결하여 각 장비들이 메시지 구조나 프  
로토콜을 변경하여 장비에 정보를 적용하는 방식을 이용하였다. 때문에 장비의  
호환성이 제약적이고, 특정 제조사 장비에 한정되어 항해시스템이 구성되기도  
한다. 항해시스템플랫폼은 다양한 통신표준과 연결을 지원하고 수신된 정보들  
을 동일한 메시지 구조와 형식으로 표준화하여 처리하여야 한다.

### (4) 통합(Integration)

표준화된 항해정보뿐만 아니라 디스플레이와 컨트롤러를 통합하여 제공함으  
로써, 개별 항해장비 콘솔들이 요구되지 않고, 개별적인 전원과 시간설정을 동  
기화할 수 있다. 항해시스템플랫폼이 메인이 되어 장비들의 전원 및 시간 관리  
와 정보표시 및 입력을 통합하여야 한다.

### (5) 확장성(Scalability)

항해시스템플랫폼을 기반으로 새로운 서비스와 기능, 장비나 센서들의 확장  
성을 제공해야 한다. 선박의 원격제어는 MASS 자율도 4 이전까지 자율운항선  
박 플랫폼의 가장 중요한 서비스 기능이며, 플랫폼을 통해 구현되어야 한다.

### (6) 보안(Security)

사용자 인증 및 접근 권한 설정 등 사이버 보안 강화를 위한 솔루션을 제공  
해야 한다. 현재 항해장비 및 시스템들은 사이버 보안에 대한 강화방안이 부재  
하며, 개별적 보안 강화는 장비 간 연결성을 저하시키거나, 많은 비용이 발생  
한다. 플랫폼이 연결을 관리하고, 인증되지 않은 접근을 제한할 수 있어야 한다.

## 제 4 장 향해서스템플랫폼 모듈 설계

### 4.1 이해관계자 QA 분석

아키텍처 설계를 위한 요구분석(Requirement analysis)은 이해관계자 요구에 대한 이해와 정리를 목적으로 한다(정창해 등, 2005). 이해관계자 요구는, 개발 대상 시스템이 제공해야 하는 역량(Capability)이고, 외형적으로 나타나는 기능이나 성능을 말하며, 기능 요구사항(FR)과 비기능 요구사항(NFR)으로 구분된다. 기능 요구사항은 시스템 기능에 대한 내용으로, 시스템이 무엇을 수행하는지에 대한 요구사항이다. 비기능 요구사항은 시스템의 기능 외에 시스템을 작동시키거나 운영 시, 필요한 환경적 요소들에 대한 요구사항이며, 실행 시 고려해야 하는 제약사항, 데이터 처리량, 보안사항, 품질 관련 사항 등이 해당된다.

기능 요구사항과 비기능 요구사항의 도출은 시스템 아키텍처 개발에 아주 중요한 요소이지만 개발자들이 시스템의 이해관계자들 보다 요구사항을 구체적으로 제시하기 어렵다. 일부 시스템 개발에 있어 개발자들은 요구분석에 대한 과정을 과소평가하여 최종 제품이 목적에 맞게 개발되지 못하고, 사용되지도 못하는 사례들이 발생한다. 시스템 개발에 있어 중요한 과정이지만 이해관계자와 개발자가 가지고 있는 배경지식의 수준과 전문성 및 분야는 현저하게 상이하기 때문에 도출된 기능 요구사항과 비기능 요구사항을 고려한 QA 분석을 소프트웨어 품질속성 모델을 참조하여 수행하여야 한다.

본 절에서는 향해서스템플랫폼 아키텍처의 기능 요구사항과 비기능 요구사항 및 QA를 이해관계자들로부터 도출하기 위해 품질속성 워크숍(QAW; Quality attribute workshop)을 실시하였다. 이해관계자들을 통해 아키텍처 적으로 중요한 요구(Architecturally significant requirement)를 수집하는 방법론은 설문과 인터뷰 등 여러 가지 방법론이 제시되어 있으나, 본 연구에서는 QAW를 통해 선택 운항자들로 구성된 이해관계자들의 참여를 적극적으로 이끌어 내고, 요구사항의 오류와 중복성을 식별하며 구체적인 QA 분석 결과를 도출하였다.

### 4.1.1 이해관계자 구성

이해관계자는 앞으로 개발할 시스템 및 아키텍처 설계에 관심을 가지거나 고려해야하는 개인 또는 그룹을 말하며, 각자 시스템에 대한 다양한 요구사항을 제시하거나 요청할 수 있다. Fig. 22는 항해시스템플랫폼 개발과정에 관련되는 관계자들의 역할과 관계를 설명한다. 이 중 이해관계자들은 요구기능과 품질속성을 정의하고 문서화하는 역할을 하고, 아키텍처를 개발하는 아키텍트(Architect)는 이를 참고한다. 엔지니어는 개발된 아키텍처를 참조하여 시스템 디자인에 반영하고 시스템 개발자는 이 디자인을 근거로 자율운항선박에 적용하기 위한 실제 플랫폼을 개발한다. 따라서 사용자 관점의 적용은 이해관계자의 요구 기능과 품질을 아키텍트에게 전달하는 과정이 초기에 이루어지며, 이해관계자 QA의 반영에 따라 최종적인 플랫폼 성능과 기능도 달라진다.

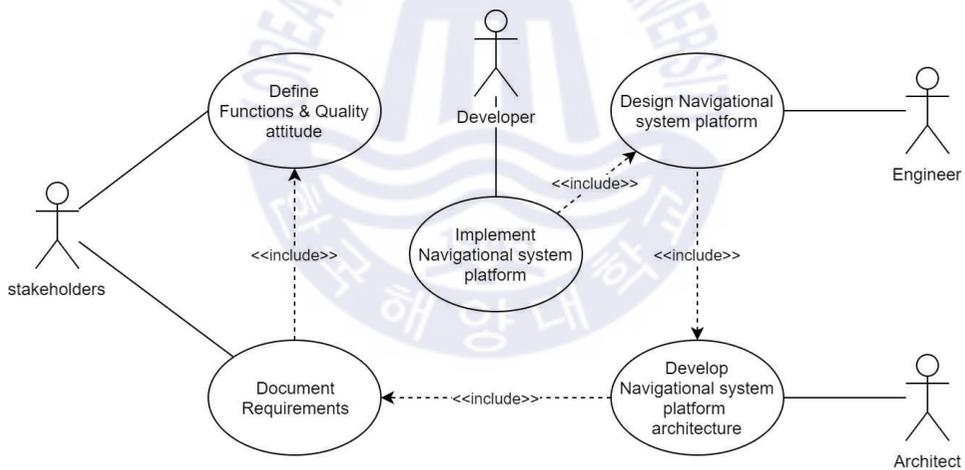


Fig. 22 Actors' Role in Development of Navigational System Platform

항해시스템플랫폼 설계에 운항자 관점의 기능과 성능을 적용하기 위해 QAW에 참여하는 이해관계자 그룹을 Fig. 23과 같이 구성하였다. 항해시스템플랫폼의 이용적 측면에 따라 구성된 이해관계자 4개 그룹은 ISCC(Inshore Ship Control Center)의 Ship operator, 선박관리 담당의 Ship manager, 입출항 선박 안전관리를 위한 Port authority, 플랫폼을 기반으로 항해장비 및 기기를 개발하

는 Manufacturer로 구성하였다. 각 그룹별 2명씩 총 8명의 실제 이해관계자가 참여하였으며, Ship operator 그룹은 현존하지 않지만 원격으로 선박을 조종하는 역할이므로 승선경력이 가장 많은 선장 경력자와 1급 해기사 면허 소지자가 담당하였다. Port authority 그룹은 선박검사관 1명과 VTS 관제사 1명이 각각 참여하였고, Ship manager 그룹도 선박회사의 선박운항담당자 1명, 안전품질관리자 1명으로 구성하였다. Manufacturer 그룹은 항해장비 제조사의 개발자 1명과 항해시스템 솔루션 개발사의 전문가 1명이 참여하였으며, 8명 모두 승선기간과 담당업무는 각기 다양하지만 선박 운항경력을 가진 이해관계자들로 구성하였다. QAW를 8명의 이해관계자로 진행한 것은 세부적인 비기능 요구사항과 QA 정의를 위해서는 아키텍트와 참여자의 지속적인 확인과 정제 및 개선, 브레인스토밍에 가장 적절한 인원으로 판단하였기 때문이다. 또한 설계에 반영할 수 있는 유의미한 요소들을 효과적으로 도출하기 위해서는 연구의 목적과 관련된 기술동향 및 플랫폼과 아키텍처 그리고 S/W 아키텍처 개발 등에 대한 사항을 참여자들에게 이해시켜야 가능하므로 한정된 인원의 이해관계자가 참여가 효과적이다. 8명의 운항자 관점에서 결과를 도출할 때 서로의 의견에 대해 확인과 평가 및 수정이 이루어지고 다시 아키텍처 평가 과정에서도 운항자 관점의 평가자들이 다시 확인하게 되므로 도출된 결과가 특정 참여자의 주관성이 주요하게 개입되기는 어렵고, 최종적으로 도출된 결과에 대해서는 새로운 이해관계자 구성을 통해 개선과 향상이 지속적으로 가능하다.

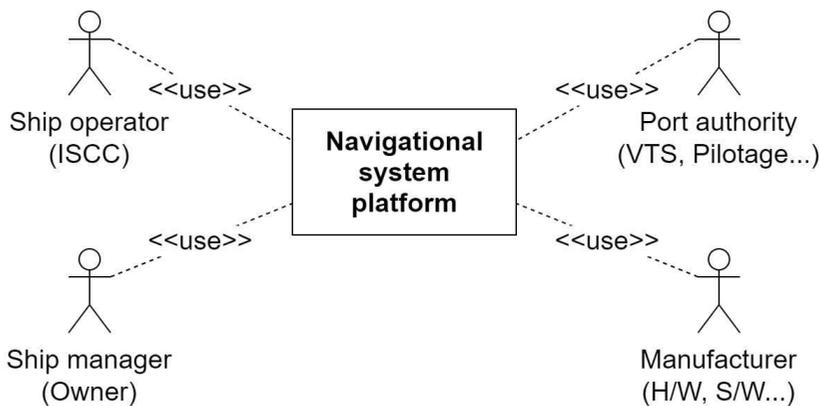


Fig. 23 Stakeholders of Navigational System Platform

#### 4.1.2 기능 요구사항과 비기능 요구사항

이해관계자들을 대상으로 기능 요구사항과 비기능 요구사항을 도출하기 위해 사전연구의 결과와 연구목적을 프레젠테이션을 통해 전달하였다. 참여한 이해관계자들은 이 과정에서 항해시스템플랫폼의 개발 목적과 필요성을 명확히 하고, 기능요구사항과 비기능 요구사항 도출을 위한 브레인스토밍을 실시하였다. Fig. 24와 같이 각각의 이해관계자 그룹은 항해시스템플랫폼 사용상에 관련 있는 기능 및 비기능 요구사항을 작성하였다. 총 32가지의 기능 요구사항과 이에 관련된 비기능 요구사항이 도출되었으나, 내용적으로 유사한 기능과 비기능 요구사항을 이해관계자 간의 논의를 통해 정제하였다.



Fig. 24 Stakeholders Engagement of Quality Attribute Workshop

##### (1) 기능 요구사항

항해시스템플랫폼 기능 요구사항은 Table 6과 같이 32개에서 12개로 이해관계자들의 협의를 통해 정제되었다. 비기능 요구사항과 품질 속성 분석을 위해 우선 정의된 12개의 항해시스템플랫폼 기능 요구사항은 실시간 운항정보 모니터링, 위험경고 및 이상발생 알림, 선박 원격제어, 표준화, 육해상 연결 관리, 사이버 보안, 항행 정보 저장 기능, 장비의 안전성 및 품질관리, 전원관리 이중

화 및 수동화, 항해경로관리 기능, 자동보고기능, 선내 감지 시스템이다.

**Table 6** List of Functional Requirement

No.	Functional Requirement	Related NFR
FR 1	Monitoring function	NFR 1, NFR 7, NFR 24
FR 2	Warning(Alarm) function	NFR 5, NFR 9, NFR 16, NFR 25
FR 3	Ship control function	NFR 2, NFR 6, NFR 8, NFR 31
FR 4	Standardization function	NFR 3, NFR 11
FR 5	Communication management function	NFR 4, NFR 12, NFR 19, NFR 21
FR 6	Cyber security management function	NFR 14, NFR 18, NFR 20, NFR 29
FR 7	Data recording function	NFR 17
FR 8	Equipment quality management function	NFR 10, NFR 13, NFR 22, NFR 26, NFR 32
FR 9	Manual control(Override) function	NFR 23
FR 10	Route management function	NFR 15, NFR 27
FR 11	Auto reporting function	NFR 28
FR 12	Onboard monitoring function	NFR 30

(2) 비기능 요구사항

기능 요구사항과 관련된 32개의 비기능 요구사항 중, 품질관리 기능(Equipment quality management function)에 대해 이해관계자이 가장 많은 항목들을 제시하였다. 다음으로 선박조종 기능, 모니터링 기능과 경고 및 알람 기능, 통신관리 기능과 사이버 보안에 관한 기능으로 확인되었다. 기능 요구사항과 함께 도출된 32개의 비기능 요구사항은 다음과 같다.

- NFR 1 적절한 간격(1 sec) 항행 정보 수집

- NFR 2 실시간(최소 0.25 sec) 침로 & 속도 제어
- NFR 3 모든 항해장비의 입출력 정보 표준화
- NFR 4 LTE 또는 4G 수준의 연결 능력
- NFR 5 이로 상황인지 관리 Process
- NFR 6 선종별 운항 특수성 반영(선체크기, 선종 등)
- NFR 7 주요 항행 정보 적절한 간격(5~10 sec) 수집
- NFR 8 선박 명령 정보가 적절한 기간(5~10 sec) 이내 반응
- NFR 9 항해장비 이상, 경보 등은 적절한 간격(5~10 sec)이내 전송
- NFR 10 주요 장비 이상 시 적절한 간격(30~60 sec) 이내 백업 전환
- NFR 11 모든 장비 제조사 인터페이스 표준화
- NFR 12 최신 장비(데이터 사용량 증대)의 전송 기술 문제
- NFR 13 선박의 안전 운항에 대한 기준
- NFR 14 사이버 공격으로부터 보안 기준 필요
- NFR 15 목적지 변경 시 타 장비 시스템 영향 없이 목적지 반영
- NFR 16 선박 위험 상황 조우 시 담당자 호출 기능
- NFR 17 출항-입항 항행 정보 저장
- NFR 18 외부 접근(권한이 없는) 시 담당자 호출 기능
- NFR 19 선박과 육상 간 데이터 전송, 간격에 대한 신뢰도 점검 기준
- NFR 20 사이버 공격에 대한 차단 및 대책
- NFR 21 e-Navigation 등 개발 중인 다양한 항해 플랫폼과 호환성 확장
- NFR 22 시스템의 신뢰성 확보
- NFR 23 비상상황 발생 시 수동 작동 가능

- NFR 24 적절한 간격으로 선박정보 확인과 선박 주변 위해요소 파악
- NFR 25 선박 위해요소 파악 및 관리 기관 보고
- NFR 26 기기 오작동 여부 등 이상 상황에 대한 정보 제공
- NFR 27 피항 등 선박 운항 상태별 걱정 경로 및 시스템 선정
- NFR 28 선박의 운항 상태(항해, 정박 등) 정보 제공
- NFR 29 사이버 공격에 대한 대응 방안
- NFR 30 선내 침입 또는 이상 상황발생 시 원인 분석 및 감시
- NFR 31 선박의 원격 제어 및 비상상황 시 관계기관의 우선순위
- NFR 32 사용자의 요구에 따라 적절한 유지보수 관리

### (3) 우선순위화

비기능 요구사항 목록에는 정제가 필요한 사항이나 기능 요구사항에 해당되는 내용 및 유사한 요구사항이 포함되어 있어 QA를 정의하기 어렵다. 때문에 QAW 과정에서 참여자들이 집중해야 하는 비기능 요구사항을 우선순위화 하였다. 시스템의 품질을 나타내는 비기능 요구사항은 품질속성을 식별하기 위해서 중요하기 때문에, 비기능 요구사항 목록에 점수를 부여하여 다음 Table 7과 같이 순위화 하였다.

점수 항목은 중요도와 구현성으로 구분되며, 중요도(Importance)는 아키텍처에서 차지하는 중요성에 대한 점수이고, 구현성(Feasibility)은 기술적 환경에서 아키텍처 구현에 미치는 영향과 어려움을 평가하였다. 각각의 배점은 1에서 9까지로 평가를 요청하였고 이해관계자들의 의견을 평균하여 두 항목의 합산이 큰 상위 비기능 요구사항이 우선순위를 갖는다.

**Table 7** Priority of Non-Functional Requirement by Stakeholders

No.	Importance	Feasibility	Total	Average	
				Importance	Feasibility
NFR 2	59	62	121	7.4	7.8
NFR 14	61	59	120	7.6	7.4
NFR 29	62	58	120	7.8	7.3
NFR 4	52	65	117	6.5	8.1
NFR 3	58	57	115	7.3	7.1
NFR 1	61	53	114	7.6	6.6
NFR 20	62	52	114	7.8	6.5
NFR 7	57	56	113	7.1	7.0
NFR 5	63	47	110	7.9	5.9
NFR 22	56	54	110	7.0	6.8
NFR 28	59	50	109	7.4	6.3
NFR 8	57	49	106	7.1	6.1
NFR 18	57	46	103	7.1	5.8
NFR 11	49	52	101	6.1	6.5
NFR 13	53	47	100	6.6	5.9
NFR 24	59	39	98	7.4	4.9
NFR 19	52	45	97	6.5	5.6
NFR 12	51	43	94	6.4	5.4
NFR 21	47	47	94	5.9	5.9
NFR 26	50	44	94	6.3	5.5
NFR 6	48	45	93	6.0	5.6
NFR 15	50	41	91	6.3	5.1
NFR 31	43	44	87	5.4	5.5
NFR 27	45	41	86	5.6	5.1
NFR 9	47	37	84	5.9	4.6
NFR 25	50	34	84	6.3	4.3
NFR 16	46	33	79	5.8	4.1
NFR 23	40	39	79	5.0	4.9
NFR 10	37	41	78	4.6	5.1
NFR 32	37	34	71	4.6	4.3
NFR 30	33	32	65	4.1	4.0
NFR 17	32	24	56	4.0	3.0

우선순위화의 비기능 요구사항 중 중요도와 구현성의 척도에서 1~3은 L(낮음), 4~6은 M(중간), 7~9는 H(높음)로 분류하여 Fig. 25와 같이 산점도를 작성하였다. S/W 아키텍처 이론에서, 중요도나 구현성에 있어 높음으로 평가된 경우는 반드시 가져야 하는 요구이고, 중간은 중요하지만 생략해도 목표 시스템이 실패하진 않는 요구이다(소프트웨어 공학센터, 2011). 따라서 회색의 영역은 중요도와 구현성에 있어 반드시 가져야 하는 요소를 포함하는 영역이며, 품질 속성에 대한 시나리오 구성과 아키텍처 개발에 우선 고려되어야 하는 비기능 요구사항들에 해당된다. 해당영역 내의 비기능 요구사항 목록은 Table 8과 같다.

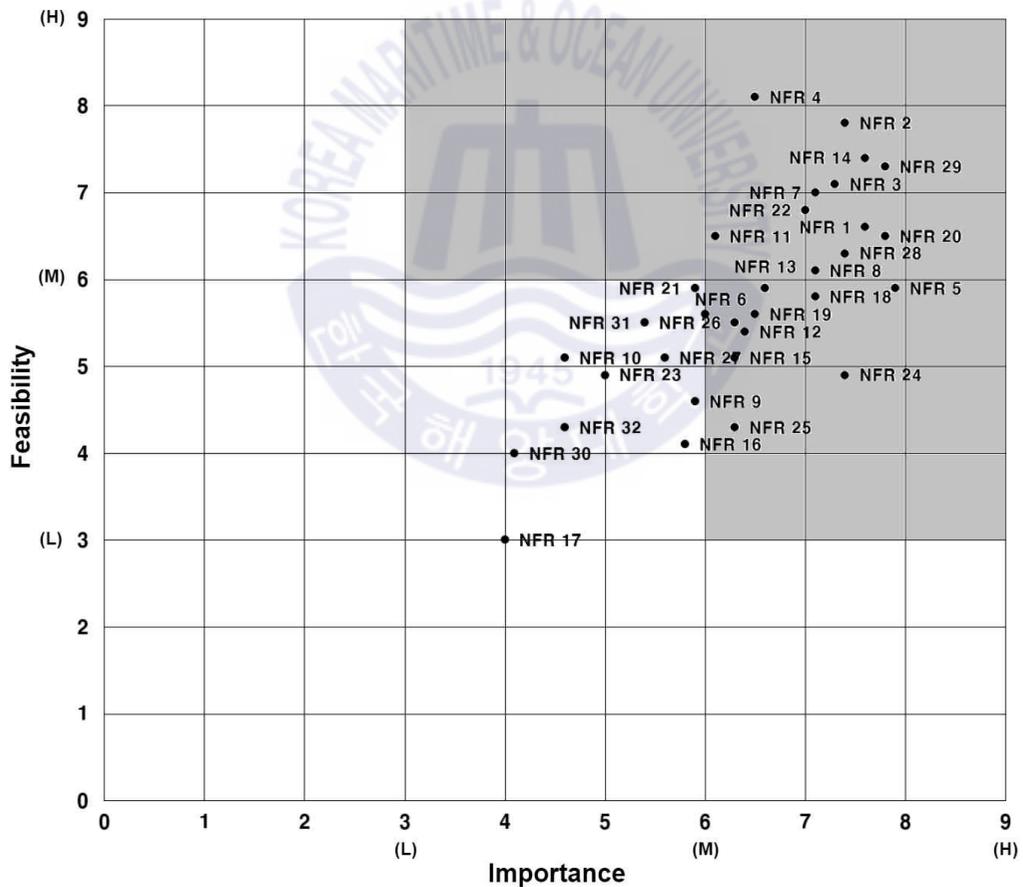


Fig. 25 Priority of Non-Functional Requirement

**Table 8** Non-Functional Requirement for Quality Attribute Analysis

No.	Description	Remark
NFR 2	Real time(minimum 0.25 sec) course & speed control	Quality attribute analysis required
NFR 14	Security standards needed against cyber attacks	Quality attribute analysis required
NFR 29	Countermeasures against cyber attacks	Duplicate with NFR 14
NFR 4	LTE(4G) level connectivity	Quality attribute analysis required
NFR 3	Standardize input & output information of all navigation equipment	Quality attribute analysis required
NFR 1	Gather appropriate interval(1 sec) navigation information	Quality attribute analysis required
NFR 20	Block and countermeasure against cyber attacks	Duplicate with NFR 14
NFR 7	Collect key navigation information at appropriate intervals(5~10 sec)	Duplicate with NFR 1
NFR 5	Cognitive management process for situations of deviation	Quality attribute analysis required
NFR 22	Secure system reliability	Quality attribute analysis required
NFR 28	Provides information on the ship's operational status	Duplicate with NFR 1
NFR 8	Ship order information responds within the appropriate period (5~10 sec)	Duplicate with NFR 2
NFR 18	Caller in charge for external access	Corresponds to functional requirements
NFR 11	Standardize all equipment manufacturer interfaces	Quality attribute analysis required
NFR 13	Standard for the safe operation of the ship	Corresponds to functional requirements
NFR 24	Check ship information at appropriate intervals	Duplicate with NFR 1

NFR 19	Reliability check criteria for data transmission interval between ship and land	Duplicate with NFR 22
NFR 12	Problems with the transmission of modern equipment (increased data usage)	Quality attribute analysis required
NFR 26	Provides information on abnormal conditions such as device malfunction	Quality attribute analysis required
NFR 6	Reflecting the specificity of operation by ship type(ship size, ship type, etc.)	Corresponds to functional requirements
NFR 15	When changing ship destination, the information is reflected without affecting other equipment system	Quality attribute analysis required
NFR 25	Vessel hazard identification and management company report	Quality attribute analysis required

비기능 요구사항 목록에 대해 이해관계자들의 논의가 진행되었으며, 논의과정에서 선박의 제어에 대한 비기능 요구사항으로 NFR 2와 NFR 8이 유사하며 시간에 대한 요구사항의 차이만 있으므로 중요도와 구현성이 상대적으로 높은 NFR 2를 분석 대상으로 도출하였다. 또한 항해정보 수집에 대한 공통적인 비기능 요구사항으로 NFR 1과 NFR 7, NFR 24, NFR 28이 시간적 차이를 두고 공통적으로 식별되었다. 이해관계자들은 NFR 1의 1초마다 전송에 대한 비기능 요구사항을 품질속성 분석 대상으로 합의하였다. 사이버 보안에 관한 비기능 요구사항도 NFR 14, NFR 20, NFR 29가 중복되어 NFR 14의 품질속성 분석을 수행하도록 결정하였다.

비기능 요구사항에 대한 논의 과정에서 NFR 6은 선종별, 크기별 운항 특수성 반영이 요구될 것으로 제시하였는데 이는 기능 요구사항으로 재검토가 필요한 요소로 분류되었다. NFR 6과 같이 선박의 안전 운항에 대한 기준의 NFR 13, 권한이 없는 외부 접근 발생 시 담당자 호출 기능을 요구한 NFR 18도 기능 요구사항으로 분류하였다. 최종적으로 품질속성의 분석과 시나리오 작성이 필요한 비기능 요구사항은 순위화에 따라, NFR 2, NFR 14, NFR 4, NFR 3, NFR 1, NFR 5, NFR 22, NFR 11, NFR 12, NFR 26, NFR 15, NFR 25로 도출되었다. 그러나 일부 비기능 요구사항은 수치와 질적 요구가 명확하지 않아 이후 단계에서 해당 비기능 요구사항에 대한 정제가 필요하다.

### 4.1.3 개발 제약사항

요구사항 도출은 이해관계자 및 사용자 기능 요구사항을 거쳐 품질 속성, 비즈니스 규칙 또는 법률, 제약사항, 외부 인터페이스, 보안사항의 변수를 고려하고, 요구사항 상세화 절차로 진행된다. 이 중 법률이나 비즈니스 규칙에 대한 고려를 제외하고 기술적인 시스템 요구사항 도출을 범위로 제약사항의 확인이 요구된다. 이에 따라 이해관계자들의 업무관련 및 항해시스템플랫폼에 대한 개발 제약사항을 조사하였다. 시스템 제약사항(C; Constraints)은 자유가 전혀 없는 설계결정이다. 특정한 장비를 반드시 사용해야 한다거나, 시스템이 서비스 지향적 이여야 한다는 등의 결정사항들이다. 우선순위화 하지 않고, 이해관계자 그룹별로 다음과 같이 기호만 부여하여 목록을 작성하였다.

#### (1) Ship operator

- C 1 강풍과 강조류 등 외력이 발생하면, 정침 등 선박 조종이 어려워 환경적 제약을 극복할 수 있어야 함
- C 2 기상 이변 등 의한 ISCC와의 통신이 단절될 수 있으며, 통신 단절로 시 항해안전을 지향하여 연결 재개까지 작동해야 함
- C 3 해운분야에 사이버 공격에 대한 리스크가 점점 커지고 있음
- C 4 해상에서 4G 수준의 통신 속도가 만족되어야 함
- C 5 인간을 대신하는 영상, 음향 등 정보센서가 반드시 요구 됨
- C 6 송수신 원격제어 정보는 보안강화를 지향할 것
- C 7 항해장비 제조사에 제한되지 않는 데이터 표준화
- C 8 모든 항해정보는 실시간 동기화 중심이 되어야 함
- C 9 MASS 및 NON-MASS 선박과의 규약을 지정하여 준수할 것

#### (2) Manufacturer

- C 10 중앙 프로세서에 항해장비들의 인터페이스로 인하여 조정 신호 및 피드백의 신호처리 및 관계가 우선되어야 함
- C 11 항구 내에서 선박조종 난이도가 높음
- C 12 위성통신 데이터의 제약
- C 13 ISCC에서 다수의 선박제어는 단계적으로 향상되어야 함
- C 14 선박의 실시간 데이터의 관리에 다양한 인터페이스 및 기존 규정이 다른 시스템 운영을 위한 세계적 공동 표준화 정립은 절차적으로 많은 시간이 소요됨
- C 15 해상과 육상간의 통신에 따른 데이터의 시간 지연 및 데이터 유실의 제약사항이 존재함
- C 16 항해시스템플랫폼으로 표시되는 각종 주요 항해정보는 인적오류를 범하지 않도록 인간 공학적인 측면을 고려한 디자인으로 적용이 필요

### (3) Ship manager

- C 17 규정 변경에 대응할 수 있도록 장비 확장성이 확보되어야 함
- C 18 플랫폼 구축 후, 선박회사에서 적절한 유지 보수가 가능해야 함
- C 19 항해장비 변경으로 인한 타 시스템 고장이나 이상이 없을 것
- C 20 신뢰성 문제로 자동모드 외에도 매뉴얼이나 선내 조종모드를 제공
- C 21 국제적인 항해시스템플랫폼 수리와 고장 및 점검이 가능해야 함
- C 22 복잡해지는 환경규제(대기, 해양, 폐기물 등)에 대응
- C 23 현재의 카메라는 사람의 눈만큼 정확한 인식이 이루어지지 못함
- C 24 일부 해역에 따라 통신장애가 발생하는 지역이 다수 존재함
- C 25 항해시스템플랫폼 사용에 대한 교육이 선박 선원과 ISCC의 Remote operator에게 요구됨

- C 26 항해시스템플랫폼 고장이나 정비가 필요한 경우, 대응 절차서 필요
- C 27 항해시스템플랫폼에 저장된 항해 정보 등이 누군가에 의해서 조작되거나 변경이 되어서는 안 됨

#### (4) Port authority

- C 28 항만 또는 항만인접해역 등 교통 밀집 해역에서 신뢰할 수 있는 수준의 안정성과 효율성이 객관화될 것
- C 29 항만 또는 군사시설 등 고도의 보안이 요구되는 해역에서 위험물 운반선을 활용한 테러 등의 보안 강화 기준을 설정할 수 있어야 함
- C 30 선주입장에서 플랫폼 신뢰성 문제로 인한 보험비용 증가 우려 가능성
- C 31 항해시스템플랫폼 자동 입출항 보고를 위해 각 국가별 사용 중인 보고 시스템(국내 PORT-MIS)과 연계 되어야 함
- C 32 보안위협 등으로 인한 시스템 에러, 시계 제한, 복잡한 항만 운항, 화재와 침수 등 비상상황에서의 대응이 가능하도록 개발 요구

#### 4.1.4 이해관계자 QA

품질속성(QA)은 양이나 질로 관찰하여 수치로 측정할 수 있는 시스템 특성을 말하며, 비기능적 속성이라 한다. 시스템이 달성해야하는 기능 요구사항과 비기능 요구사항을 만족시키는 데 영향을 미치는 특성들을 모두 수렴하면 시스템의 전체 품질이 된다. QA는 이해관계자들의 관심사와 요구사항을 그대로 반영하며, 아키텍처는 이해관계자들이 원하는 수준으로 QA를 달성해야 한다. 하지만 단순히 성능이 좋다거나 오류가 없다거나 쓰기 쉽다는 것으로 S/W 시스템의 품질을 규정할 수 없으며, 품질에 대한 기준과 이해는 사람마다 다양하기 때문에 QA 모델을 이용한다. QA 모델은 품질속성을 분류하고 정의하여 누구나 인정할 수 있는 품질 측정 기준을 정의한 것으로, 더욱 명확하게 시스템의 품질을 형식화(Formalization)하여 정의한다. S/W 아키텍처 개발에서 주요한 다음 품질모델들을 참조하여 QA 분석을 실시하였다.

(1) ISO/IEC 9126 품질모델

ISO/IEC 9126은 현재 국제적 S/W 품질 표준으로 인정받고 있으며, 사용자 관점의 S/W 품질특성에 대한 표준이다. QAW 이해관계자들에게 Table 9와 같이 사용자 및 관리자에게 필요한 외부 품질항목으로 6개의 특성과 21개의 세부 특성으로 구성되는 ISO/IEC 9126을 QA 분석에 참조하도록 하였다.

**Table 9** ISO/IEC 9126 Software Quality Characteristics

Characteristics		Sub-Characteristics
Functionality	The capability of the software to provide functions which meet the stated and implied needs of users under specified conditions of usage.	Suitability
		Accurateness
		Interoperability
		Compliance
		Security
Reliability	The capability of the software product to maintain its level of performance under stated conditions for a stated period of time.	Maturity
		Fault tolerance
		Recoverability
Usability	The capability of the software product to be understood, learned, used and provide visual appeal, under specified conditions of usage	Understandability
		Learnability
		Operability
Efficiency	The capability of the software product to provide desired performance, relative to the amount of resources used, under stated conditions.	Time behavior
		Resource behavior
Maintainability	The capability of the software product to be modified which may include corrections, improvements or adaptations of the software to changes in the environment and in the requirements and functional specifications	Analyzability
		Changeability
		Stability
		Testability
Portability	The capability of the software product to be transferred from one environment to another. The environment may include organizational, hardware or software.	Adaptability
		Installability
		Conformance
		Replaceability

## (2) SEI 품질모델

SEI의 품질속성 모델은 상위의 구분에서 시스템, 비즈니스, 아키텍처 품질속성 세 가지로 분류된다. 비즈니스 품질속성은 마케팅 관점이며, 아키텍처 품질속성은 아키텍처 철학에 가깝고, 시스템 품질속성이 다른 품질속성들의 기반을 구성한다. 때문에 항해시스템플랫폼 개발에 관련되는 품질속성은 SEI의 시스템 품질속성 부분에 해당된다. SEI 품질속성 모델은 시스템 개발과 관련되는 부분과 운영과 관련되는 부분으로 구분되며, 시스템 개발과 관련되는 품질속성은 다음의 2가지이다.

- 변경용이성(Modifiability)은 S/W 변경에 대한 난이도 및 소요 비용의 수준에 대한 것으로, 변경 요구사항이 시스템에 반영될 수 있도록 하는 S/W 능력을 의미하는 속성
- 테스트용이성(Testability)은 쉽게 테스트가 가능하고 S/W의 문제점을 쉽게 파악할 수 있는 정도를 말하며, 결함을 찾아내기 위해 시험이나 효과적으로 수행되는지와 시험에 소요되는 시간에 대한 속성

시스템 운영과 관련되는 품질속성은 다음의 4가지이다.

- 가용성(Availability)은 시스템 장애로 인한 문제에 대해 어떻게 대응하는지와 시스템이 필요할 때 운용될 수 있을 확률
- 성능(Performance)은 주로 응답 시간과 관련되며, 컴포넌트 간에 얼마나 많은 상호작용이 필요한지, 컴포넌트마다 어떤 기능이 할당되는지, 공유 자원이 어떻게 사용되는지, 어떤 알고리즘이 구현되는지 등의 요소와 관련 됨
- 보안(Security)은 올바른 사용자에게 서비스가 제공되는 동안 승인되지 않은 사용에 대응하는 시스템 능력의 정도
- 사용성(Usability)은 사용자가 원하는 작업을 수행하기 위해 시스템을 얼마나 쉽게 사용할 수 있는가에 관한 것

### (3) 이해관계자 QA 정의

이해관계자들이 채택한 비기능 요구사항들에 대해 ISO/IEC 9126와 SEI의 품질 속성 모델을 참조하여 각 QA들을 Table 10과 같이 정의하였다. 이 과정에서 이해관계자들은 항해시스템플랫폼 개발에 ISO/IEC 9126 품질속성 모델이 완벽하게 적용되지 않아, 정의하기 어려웠고 그 결과에 대해서도 추가적인 논의 필요성을 제기하였다. 모델은 어디까지나 참조대상이며, 프로젝트 목적과 상황에 따라 정의할 수 있기 때문에 QA 정의와 분석이 명확했던 SEI의 QA 모델을 아키텍처 모듈 설계에 적용하였다.

**Table 10** Quality Attribute by ISO/IEC 9126 and SEI Model

No.	ISO/IEC 9126		SEI Quality Attribute	Related FR
	Characteristics	Sub-Characteristics		
NFR 2	Functionality	Accurateness	Performance	FR 3
NFR 14	Functionality	Security	Security	FR 6
NFR 4	Functionality	Suitability	Performance	FR 5
NFR 3	Portability	Conformance	Availability	FR 4
NFR 1	Functionality	Accurateness	Performance	FR 1
NFR 5	Reliability	Fault tolerance	Availability	FR 2
NFR 22	Maintainability	Testability	Testability	FR 8
NFR 11	Portability	Conformance	Modifiability	FR 4
NFR 12	Efficiency	Resource behavior	Modifiability	FR 5
NFR 26	Maintainability	Stability	Availability	FR 8
NFR 15	Reliability	Maturity	Modifiability	FR 10
NFR 25	Reliability	Recoverability	Availability	FR 2

## 4.2 항해장비 및 업무 분석

QAW를 통해 이해관계자 QA가 정의되었고, 이를 기반으로 아키텍처 모듈 설계에 있어, 관련되는 항해장비들의 업무 및 데이터들을 코드화 하여 참조할 수 있도록 분석을 수행하였다.

### 4.2.1 주요 항해장비

IMO는 SOLAS를 통해 항해시스템에 구성되어야 하는 기준을 제시할 뿐 아니라 성능기준(Performance standards)을 채택하여 특정기술의 선호나 차별 없이, 기술 중립성을 유지하면서 항해안전에 필요한 신기술 및 첨단기술을 수용하도록 요구하고 있다. 성능기준을 통해 항해장비들은 제조사가 다르더라도 일정 수준의 기능과 성능을 항해사에게 제공하게 된다. IMO외에도 항해장비들에 대한 IEC와 ISO의 성능표준이 있으며, IEC의 경우 TC 80에서 네트워크뿐만 아니라 항해장비의 기능과 테스트 방안을 표준으로 제시하고 있다. ISO는 선박의 무선 통신장비들보다 항해장비들에 대한 사항을 선박기술전문위원회(TC 8)를 통해 다루고 있다.

#### (1) 성능기준 및 관련표준

IMO의 성능기준은 사용적 관점의 내용이 주요하며, IEC의 성능기준은 선박에 탑재될 제품이 성능기준을 만족하는지에 대한 테스트 관점으로 내용적인 차이가 있으나, 각 성능기준의 내용이 상충되거나 기능적 요건 상 오류가 없도록 상호간의 협력을 바탕으로 표준을 구성하고 개선하고 있다. Table 11은 항해장비별 성능표준과 IEC, ISO 관련 표준을 조사한 결과이다. 각 장비들의 성능표준이 IMO에서 채택된 시기를 함께 조사하였으며, 이는 실제 선박에 설치 요구되는 시기는 SOLAS 협약 장비의 조사내용과 같이 선박의 총톤수, 건조시기와 선종에 따라 상이하여 특정하기 어렵기 때문에 최초 채택일 기준으로 도입 시기를 확인할 수 있다. 기술개발이나 성능향상 등으로 개정이 이루어진 경우는 가장 최근의 성능기준을 함께 조사하였다.

**Table 11** IMO Performance Standards & IEC/ISO Standards

Name of Equipment	Performance Standards			Related IEC/ISO Standards
	Initial	Latest	Adopted date(Initial)	
Magnetic Compass	A.382(10)	-	14/11/1977	IEC 60945
Gyro Compass	A.424(11)	-	15/11/1979	ISO 8728 IEC 60945 IEC 61162
Transmitting Heading Device(THD)	MSC.116(73)	-	01/12/2000	ISO 22090 Series IEC 60945
Transmitting Magnetic Heading Device(TMHD)	MSC.86(70)	-	08/12/1998	ISO 22090 Series ISO 11606 IEC 60945
Rate of Turn Indicator	A.526(13)	-	17/11/1973	IEC 60945 IEC 61162
Automatic Pilots	A.342(9)	-	12/11/1975	IEC 62065 ISO 11674
Heading Control Systems	MSC.64(67)	-	04/12/1996	IEC 62065 ISO 11674
Track Control Systems	MSC.74(69)	-	12/05/1998	IEC 62065 ISO 11674
Speed and Distance Measuring Equipment(SDME)	A.478(12) A.824(19)	MSC.96(72) MSC.334(90)	19/11/1981	IEC 61023 IEC 60945 IEC 61162 IEC 61023
Echo Sounder	A.224(7)	MSC.74(69)	12/10/1971	ISO 9875 IEC 60945 IEC 61162
ECDIS Standard	A.817(19)	A.232(82)	23/11/1995	IEC 61174 IEC 60945
Global Navigation Satellite System Receiver(GNSS, GPS)	A.819(19)	MSC.112(73)	23/11/1995	IEC 61108-1 IEC 61162 IEC 60945
RADAR	A.222(7) A.477(12)	MSC.192(79)	12/10/1971	IEC 60936 IEC 60945

Automatic Radar Plotting Aid(ARPA)	A.422(11)	A.823(19)	15/11/1979	IEC 60872-1 IEC 61162 IEC 60945
Electronic Plotting Aid(EPA)	MSC.64(67)	-	04/12/1996	IEC 60872-3 IEC 61162 IEC 60945
Automatic Tracking Aid(ATA)	MSC.64(67)	-	04/12/1996	IEC 60872-2 IEC 60945
RADAR Reflector	A.384(10)	MSC.164(78)	14/11/1977	ISO 8729 IEC 60945
Automatic Identification System(AIS)	MSC.74(69)	A.956(23) A.1106(29)	12/05/1998	IEC 61993-2 IEC 60945
Sound Reception System	MSC.86(70)	-	08/12/1998	-
Daylight Signalling Lamps	MSC.95(72)	-	22/05/2000	
Voyage Data Recorder(VDR)	A.861(20)	MSC.214(81)	27/11/1997	IEC 61996
Simplified Voyage Data Recorder(S-VDR)	MSC.163(78)	MSC.214(81)	17/05/2004	
Integrated Bridge Systems(IBS)	MSC.64(67)	-	04/12/1996	-
Integrated Navigation Systems(INS)	MSC.86(70)	MSC.252(83)	08/12/1998	IEC 61209 IEC 60945 IEC 61162
Bridge Navigational Watch Alarm System(BNWS)	MSC.128(75)	-	20/05/2002	IEC 62616
Narrow Band Direct Printing Telegraphy(NBDP)	A.525(13)	MSC.148(77)	17/11/1983	IEC 61097
VHF radio telephone	A.609(15)	MSC.68(68)	19/11/1987	IEC 62106 IEC 61097
MF/HF radio installation	A.613(15)	A.806(19) MSC.68(68)	19/11/1987	IEC 61097
Two-way VHF	MSC.80(70)	-	08/12/1998	IEC 61097
Emergency position indicating radio beacons(EPIRBs)	A.611(15)	A.810(19) MSC.120(74) MSC.56(66)	19/11/1987	IEC 61097
Search and rescue RADAR transponder(SART)	A.604(15)	A.802(19)	19/11/1987	IEC 61097
INM-C Ship Earth Stations	A.663(16)	A.807(19) MSC.68(68)	19/10/1989	IEC 61097

## (2) 주요 항해장비 정의

성능기준과 SOLAS협약 항해장비 중, 항해시스템플랫폼에 관련되는 항해장비들을 분류하여 주요 항해장비로 정의하고 세부적인 특성과 관련된 업무들을 분석하였다. 항해장비의 분류는 인터페이스 향상방법 중 그룹화 하거나, 항해장비들의 연결 관계 정의를 위해 필요하다. 현재 항해장비들에 대한 명확한 범주의 정의가 없으므로 다양한 기준으로 분류하여 코드화된 정보를 제시하기 위한 목적으로 분석하였다. 전체 장비 중 다음의 장비들을 제외하여, 분석대상 주요 항해장비들을 정의하였다.

첫째, 수동으로 사용되는 항해장비들을 제외하였다. 정확하게는 전력공급이 요구되지 않고, 항해사의 조작에 의해 정보를 확인하는 장비들로 방위환, 종이해도 등이 제외되었다.

둘째, 백업 시스템으로서 요구되는 장비들을 제외하였다. 마그네틱 컴퍼스, 방위환, 전자해도 등은 백업 시스템이나 장비를 통해 이중화를 요구하고 있으며, 성능 및 기능상의 차이를 요구하는 것은 아니므로 제외하였다.

셋째, 보다 향상된 기능으로 작동하는 장비를 분석대상으로 하여, S-VDR (Simplified Voyage Data Recorder)과 같은 간소화 장비나 일부 기능만 동작하는 하위 성능 장비들은 제외하였다.

넷째, MASS 자율도 2 이상은 원격운항 단계로 항해사의 당직유지가 요구되지 않으므로, 당직 시 인적과실을 줄이기 위한 BNWAS(Bridge Navigational Watch Alarm System)와 같은 장비들을 제외하였다.

다섯째, 독립적인 콘솔이나 디스플레이 없이 타 장비의 추가 기능으로서 적용되어 있는 시스템들을 제외하였다.

다음 Table 12는 위의 기준으로 주요 항해장비들의 도출한 목록으로, 총 15개의 주요 항해장비를 식별하였고  $N_i (i=1 \sim 15)$ 로 코드화 하였다.

Table 12 List of Main Navigational Equipment( $N_i$ )

$i$	$N_i$	Navigational equipment
1	$N_1$	Standard magnetic compass
2	$N_2$	Gyro compass
3	$N_3$	Electronic chart display and information system(ECDIS)
4	$N_4$	Global navigation satellite system(GNSS) receiver
5	$N_5$	Sound reception system
6	$N_6$	Echo sounder
7	$N_7$	3GHz / 9GHz RADAR(included ARPA)
8	$N_8$	Speed and distance measuring equipment(SDME)
9	$N_9$	Automatic identification system(AIS)
10	$N_{10}$	Indicators for rudder angle
11	$N_{11}$	Indicators for rate of turn(RoT)
12	$N_{12}$	Indicators for pitch and revolutions(RPM)
13	$N_{13}$	Indicators for thrust
14	$N_{14}$	Voyage data recorder(VDR)
15	$N_{15}$	Wind indicator(Anemometer)

### (3) 데이터 입력방식 분류

항해장비의 데이터 입력방식 분류는 정보를 생성 및 수신하는 과정에 있어 다음과 같이 4가지로 분류하였다. Fig. 26과 같이 장비의 센서를 이용해 필요한 정보를 계측 또는 측정하는 Measure, 외부에서 특정 주파수 및 형태를 가지고 정보를 수신하는 Reception, 물체를 인식하는 Detection, 정보들을 종합하거나 필요 시 계산을 통해 예측정보를 생성하는 Combination으로 구분하였다. 4개의 데이터 입력방식의 분류는  $D_i$  ( $i = 1 \sim 4$ )으로, Measure는  $D_1$ , Reception은  $D_2$ , Detection은  $D_3$ , Combination은  $D_4$ 로 각각 코드화 하였다.

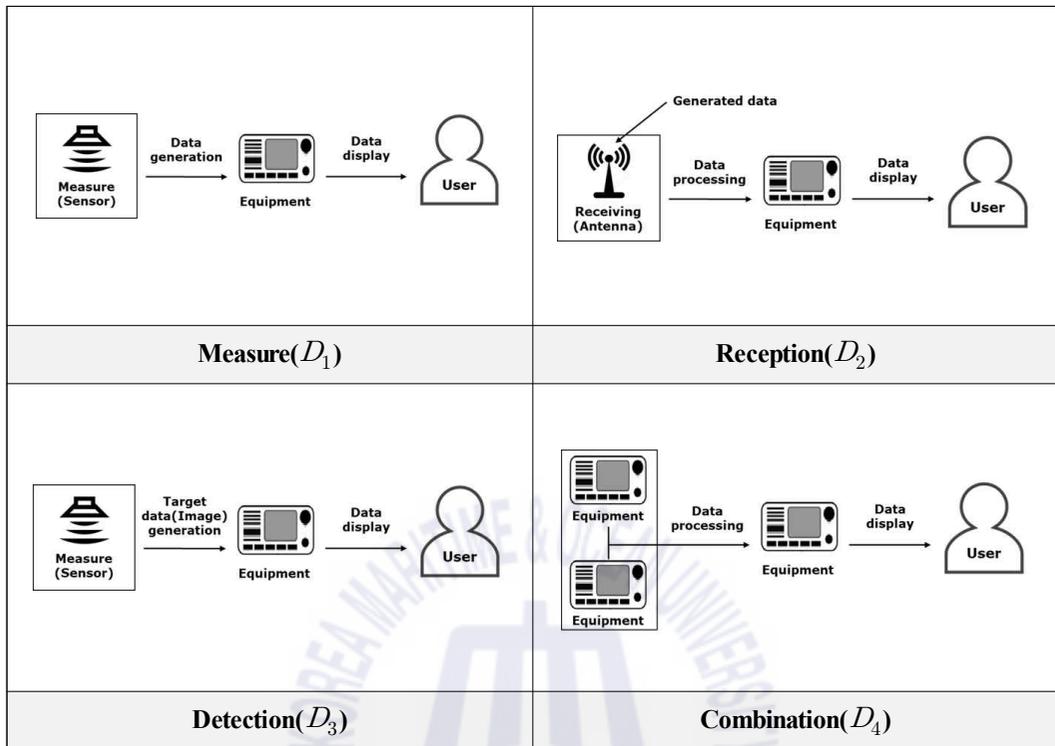


Fig. 26 Classification According to Data Input Type( $D_i$ )

$D_1$ 은 센서를 통한 측정값을 데이터화하여 디스플레이 함으로서 항해사가 관련된 정보를 획득하는 형태의 장비들이다. 현재 많은 항해장비가 이러한 유형이며, 이 정보는 선박에서만 측정이 가능해 원격운항과 자율운항 단계에서 선박으로부터 반드시 수신해야 하는 정보에 해당된다. 관련 장비들은 Stand alone 유형의 독립적인 구성이 많으며, 정보의 보안 측면에서는 쉽게 변조되기 어려운 특징이 있다.

$D_2$ 는 센서가 아닌 안테나를 통해 정보를 외부로부터 수신하는 구조의 장비들이다. 예를 들면 Automatic identification system과 같이 외부 데이터를 수신하고 이 정보를 개별 디스플레이에 나타내거나 다른 장비로 전달해 이용할 수 있다. 다만 외부의 의도적인 변조가 있을 수 있어 사이버 보안 측면에서는 취약한 항해 장비들로 볼 수 있다.

$D_3$ 는 본선 주변의 물체나 장애물을 인식하는 장비들로 구분된다. 단 물체를 인식하는 과정이 장비의 독립적인 센서나 측정 장치를 통해 이루어지는 경우로 분류하여  $D_2$ 와는 차이가 있다. 물체를 인식하는 센서가 독립적이기 때문에  $D_2$ 와 같이 의도적인 조작이나 변조는 어려우며,  $D_1$ 과의 차이점은 환경이나 상태를 측정하는 것이 아니라, 선박 주변의 개체나 장애물을 감지하는 부분에서 다르다. 현재 장비들 중에는 RADAR와 Sound reception system이 이에 해당되지만, 자율운항선박의 주요장비로 예상되는 Lidar나 IR camera, Night vision 등이 모두  $D_3$ 에 해당되는 장비들이다.  $D_3$  정보들도 선박에서 측정하여 육상으로 반드시 전송되어야 한다.

$D_4$ 는 센서나 스캐너, 안테나는 없지만 여러 장비들의 정보를 이용하여 함께 디스플레이 하거나 높은 수준은 아니라도 정보들을 기반으로 새로운 융합정보들을 제공할 수 있는 장비들의 분류이다. 여러 항해장비들의 정보를 융합, 처리, 분석, 계산을 통해 종합적 정보제공의 기능을 가진다. 대표적으로 Electronic chart display and information system가 Combination 장비에 해당되며, INS와 선교에서 Alarm을 관리하기 위해 선박에 적용될 것으로 예상되는 BAMS(Bridge Alarm Management Systems)도 향후 이 분류에 포함될 수 있다.

각 데이터 입력방식( $D_i$ )에 따라 주요 항해장비( $N_i$ )는 다음과 같이 포함된다.

$$N_1, N_2, N_6, N_8, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15} \in D_1 \quad (4-1)$$

$$N_4, N_9 \in D_2 \quad (4-2)$$

$$N_5, N_7 \in D_3 \quad (4-3)$$

$$N_3, N_{14} \in D_4 \quad (4-4)$$

주요 항해장비들과 데이터 입력방식에 대한 분류는 집합적 연결에서 전사(Surjection) 관계로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{For } \forall y \in D_i, \exists x \in N_i \text{ such that } f(x) = y \quad (4-5)$$

#### (4) 항해장비 기능 분류

항해장비가 제공하는 정보나 데이터들의 기능에 기준을 두고, Fig. 27과 같이 4가지로 분류하였다. 분류는 선박의 움직임에 영향을 주는 강한 바람과 기상변화를 확인하기 위한 Weather surveillance, 선박상태를 인식하기 위한 목적의 Ship state, 수면 상 타 물체와의 충돌을 피하기 위한 정보수집 목적의 Collision avoidance, 수면 하부의 물체와 접촉이나 선박좌초를 피하기 위해 정보를 수집하는 Ground avoidance로 분류하였다. 항해장비가 제공하는 정보나 데이터들의 기능 분류는  $F_i$  ( $i=1\sim4$ )에 따라 Weather surveillance은  $F_1$ , Ship state는  $F_2$ , Collision avoidance는  $F_3$ , Ground avoidance은  $F_4$  로 각각 코드화 하였다.

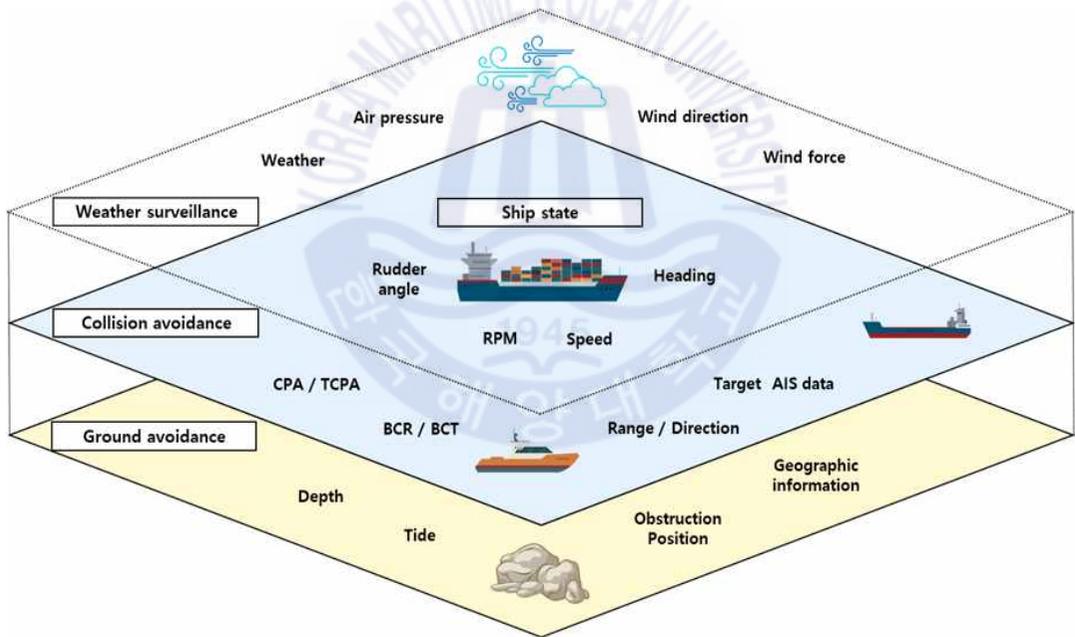


Fig. 27 Equipment Classification by Data Function( $F_i$ ) of Navigational Equipment

$F_1$ 은 본선과 환경과의 관계이며, 수면 상부환경에 해당된다. 항공기와 달리 선박은 이동속도가 빠르지 않기 때문에 수면 상부에 새떼들과의 충돌이나 접촉의 위험성은 고려될 필요가 없다. 향후 선속이 향상되더라도 항공기 수준의 빠

른 이동은 어려울 것이며, 이 분류에 해당되는 장비는 본선에 미치는 외력, 특히 수면 상부에 작용하는 바람에 대한 측정이 중요하다. 풍향과 풍속을 측정하는 Wind indicator 또는 Anemometer는 SOLAS에 강제되어 있는 항해장비는 아니지만 선박의 조종에 있어 중요정보를 제공한다.

$F_2$  항해장비들이 제공하는 정보 및 데이터들은 선박항해가 이루어지는 연속적 과정에서 얻어지는 본선 중심의 상태정보들로 다른 물체나 환경과 관련되지 않는다. 타각(Rudder angle), 선속, 선수방향(Heading), 엔진회전수(RPM; Revolutions Per Minute) 등이다.

$F_3$  항해장비들은 관계 중심의 상태정보를 다룬다. 충돌이라는 것은 개별 개체만으로 발생하지 않기 때문에 본선과 상대 물체와의 관계에서 형성되며, 그 물체의 위치는 수면 상에 있을 경우에 해당된다. Automatic identification system과 RADAR가 충돌회피를 위한 상대 물체와의 관계나 정보를 제공해주며, VHF와 Sound reception system은 선박 상호간의 충돌회피를 위한 통신과 음향 신호를 이용하기 위한 장비이다.

$F_4$ 는 수면하부의 물체와 접촉을 피하기 위한 장비들의 분류로, 충돌회피를 위한 목적처럼 관계 중심적이지만 해저의 암초나 장애물들은 수면 상의 물체들과 달리 독립된 개체로 구분하기 어렵다. 따라서 선박과 환경과의 관계 정보를 제공하는 항해장비들이 해당되며, GNSS에 대한 위치정보와 Echo sounder의 측정 정보를 Electronic chart display and information system에 적용하면 현재 본선이 수면하부 위험물체나 좌초에 있어 어떤 상황인지 인식할 수 있다.

데이터 기능( $F_i$ )에 따라 주요 항해장비( $N_i$ )와 관계는 다음과 같이 포함된다.

$$N_{15} \in F_1 \quad (4-6)$$

$$N_1, N_2, N_4, N_8, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{14} \in F_2 \quad (4-7)$$

$$N_3, N_5, N_7, N_9 \in F_3 \quad (4-8)$$

$$N_3, N_6 \in F_4 \quad (4-9)$$

## 4.2.2 항해업무와 관련정보

항해장비들은 항해사들이 선박운항에 있어 보다 안전하고, 경제적인 항해를 달성하도록 정보를 제공한다. 즉 항해 업무에 따라 필요한 정보들을 분류할 수 있으며, 정보들에 대한 분석을 통해 장비들 간 중복되는 정보와 중요도에 따른 정보를 구분하고, 항행 상황에 맞추어 어떤 정보들이 원격운항과 자율운항선박에 필요한지를 평가할 수 있다.

### (1) 항해업무 분석

항해업무와 관련정보 분석을 통해 플랫폼 기능 요구사항에 대한 필요정보를 식별할 수 있으며, 다음의 국제협약과 관련 절차서 기반으로 분석하였다.

- The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW, A-II/1 & A-II/2 & A-II/3
- Guidance regarding watchkeeping arrangements and principles to be observed, Section B-VIII/2 of the STCW Code
- Recommendation on basic principles and operational guidance relating to navigational watchkeeping, IMO Resolutions A.285 (VIII)
- COLREGs-International Regulations for Preventing Collisions at Sea
- Bridge procedures guide & Bridge Resource Management Guide
- Officer in Charge of a Navigational Watch, IMO model course 7.03

항해 당직업무에 대해 참조된 내용들 중, 중복 및 유사업무를 통합하여 Fig. 28과 같이 계층화된 Group tree를 작성하였다. 항해 당직업무는 선박의 항해 상태를 모니터링 하는 Watch keeping과 충돌과 좌초를 피하기 위한 조종과 항로 감시의 Navigation, 통신으로 항해안전 정보를 수신하거나 타선과 통신하는 Radio communication, 긴급 상황에서의 대응에 대한 Emergency situation까지 크게 4가지로 분류하였다.

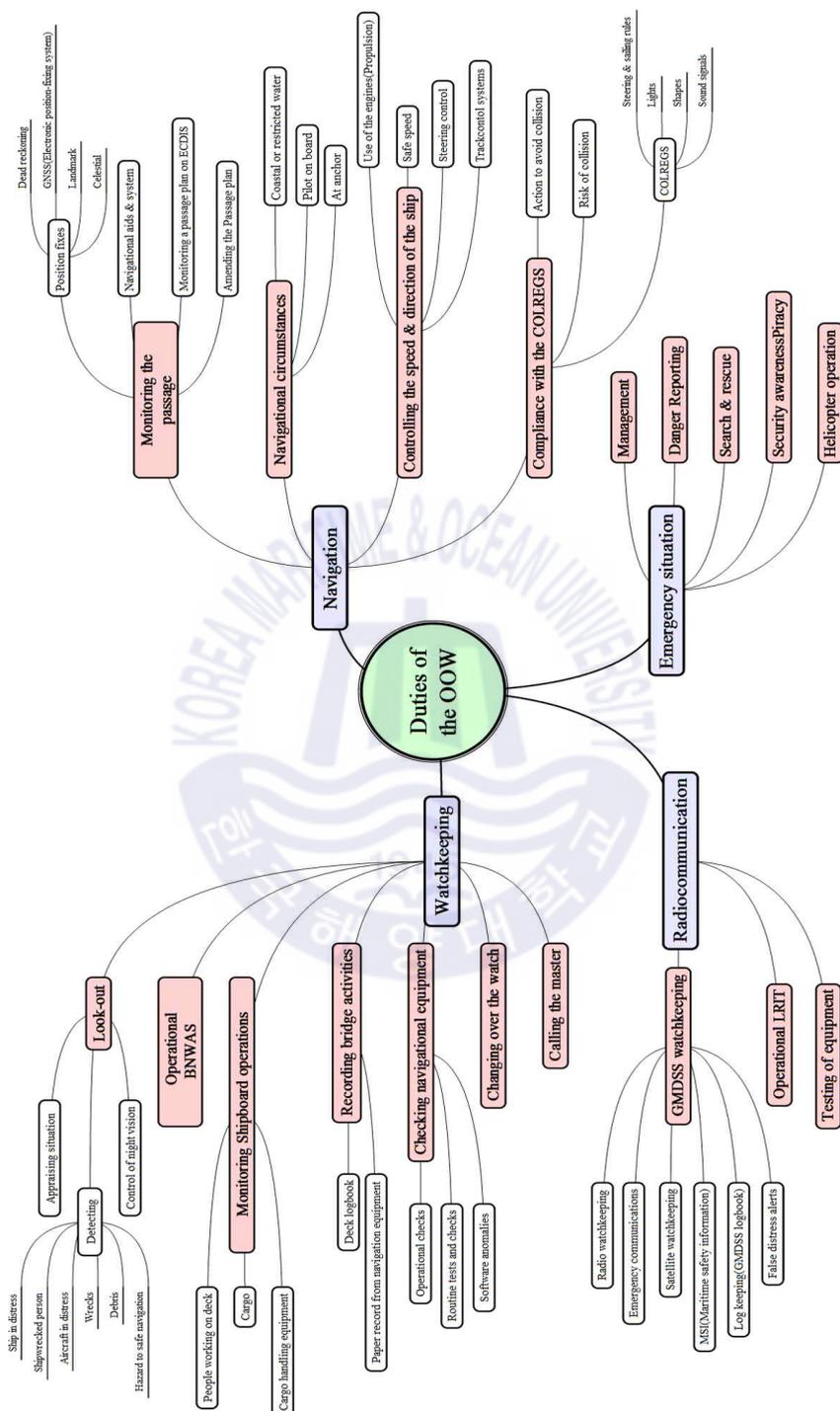


Fig. 28 Duties of the Officer of Watch

## (2) 항해업무 및 관련정보 분류

Fig. 28의 당직항해사 업무는 참조문서들의 내용을 모두 반영하였기 때문에, 항해정보와 관련이 없는 부분도 있고, 모든 업무가 항해 장비로 처리되지 않으므로, 항해장비와 관련된, 항해정보를 필요로 하는 업무만을 재분류 하였다. 이 중 Passage execution과 Navigational hazard avoidance가 주요 항해업무로서, 먼저 Passage execution은 계획된 항로를 따라 본선의 위치와 상태를 확인하기 위해 필요한 정보들을 포함하며, 위치확인(Position fixes)과 침로유지(Course keeping) 및 항로감시(Route monitoring)를 수행한다. 다음 Navigational hazard avoidance는 좌초방지(Grounding avoidance), 충돌방지(Collision avoidance), 상태확인(Check navigation status)이 주요 업무이다. 위의 세부 6가지 항해업무를 Position fixes는  $T_1$ , Course keeping은  $T_2$ , Route monitoring은  $T_3$ , Ground avoidance은  $T_4$ , Collision avoidance는  $T_5$ , Check navigation status는  $T_6$ 로 각각  $T_i(i=1\sim6)$ 와 같이 코드화 하였다. 또한 각 항해업무를 수행하기 위해 요구되는 정보들을 필요정보( $TD_i$ )로 식별하여 Table 13과 같이 17개 항목으로 분류하고  $TD_i(i=1\sim17)$ 으로 코드화 하였다.

Position fixes( $T_1$ )의 수행을 위해서는 GPS 위치( $TD_1$ ), 지리적 정보( $TD_2$ ), 고정물표 정보( $TD_3$ )가 필요하고, Course keeping( $T_2$ )은 조타정보( $TD_4$ ), 선부방향( $TD_5$ ), 침로이탈거리( $TD_6$ )를 확인 한다. Route monitoring( $T_3$ )은 해도정보( $TD_7$ ), 항해계획( $TD_8$ ), 항해일정( $TD_9$ )이 요구되고, Ground avoidance( $T_4$ )는 조석정보( $TD_{10}$ ), 수심정보( $TD_{11}$ ), 선저여유수심( $TD_{12}$ )이 종합적으로 고려된다. Collision avoidance( $T_5$ )는 대상물표 정보( $TD_{13}$ ), 충돌위험성 정보( $TD_{14}$ ), 횡단관계 정보( $TD_{15}$ )가 필요하고, Check navigation status( $T_6$ )는 위험물 회피에 확인이 필요한 본선 정보들로 본선의 선속( $TD_{16}$ ), 기상조건에 따른 외력정보( $TD_{17}$ )를 확인 한다.

Table 13 Navigation Task( $T_i$ ) and Data( $TD_i$ ) for Navigation Task

Main Task	$T_i$	Navigation Task	$TD_i$	Data for Navigation Task
Passage execution	$T_1$	Position fixes	$TD_1$	GPS position
			$TD_2$	Geographic Information
			$TD_3$	Fixed object data
	$T_2$	Course keeping	$TD_4$	Steering information
			$TD_5$	Ship heading
			$TD_6$	Cross to distance
	$T_3$	Route monitoring	$TD_7$	Chart information
			$TD_8$	Passage plan
			$TD_9$	Sailing schedule
Navigational hazard avoidance	$T_4$	Grounding avoidance	$TD_{10}$	Tidal information
			$TD_{11}$	Depth information
			$TD_{12}$	Under keel clearance
	$T_5$	Collision avoidance	$TD_{13}$	Target information
			$TD_{14}$	Risk of collision
			$TD_{15}$	Crossing information
	$T_6$	Check navigation status	$TD_{16}$	Ship speed
$TD_{17}$			External forces(Weather)	

Fig. 29는 항해업무 필요정보( $TD_i$ )를 더욱 세부적으로 표시하고 관련된 항해 정보 그리고 그 정보를 제공하는 항해장비와의 관계를 도시하였다. 항해정보와 항해 장비간의 관계를 보면 동일한 정보를 여러 장비에서 중복으로 확인되기도 하고, 여러 업무에 필요한 정보를 한 장비에서 확인할 수 있다. 이는 항해장비들이 단위과업의 증가를 고려하고 계획적으로 항해시스템을 확장한 것이 아니라, 기술 중심적인 장비 적용을 해왔기 때문으로 분석된다. 필요정보( $TD_i$ )와 항해장비( $N_i$ )간의 연결 중 조석정보( $TD_{10}$ )는 항해장비에서 조석정보가 자동으로 표시되지 않고, 계산을 통해 확인한다.

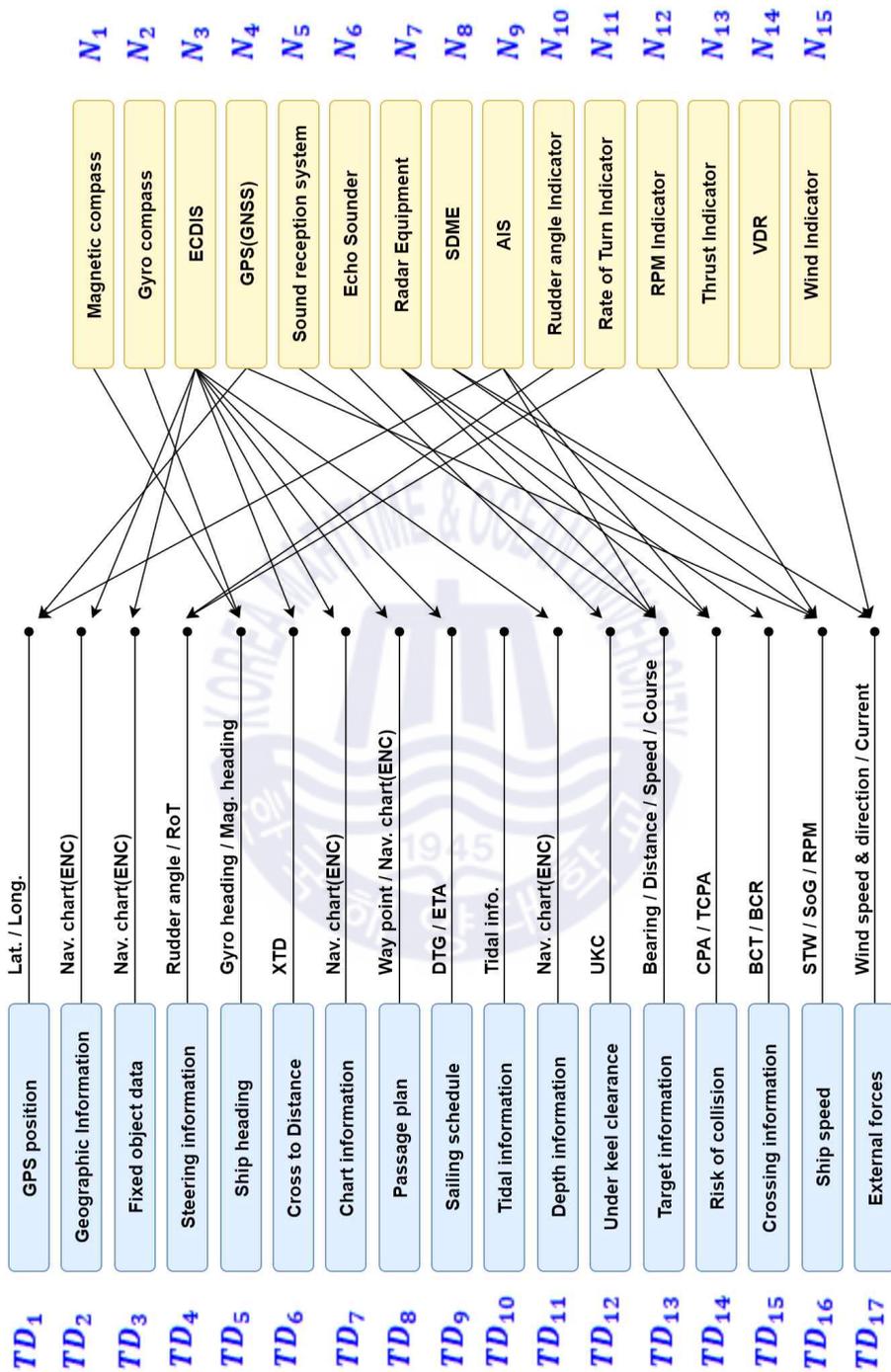


Fig. 29 Navigational Equipment and Data for Navigation Task

### 4.2.3 항해장비 및 업무정보 코드화

항해시스템플랫폼 아키텍처 모듈 설계에 항해장비의 특성과 관련되는 항해업무 및 업무 정보를 식별하고 설계에 반영될 수 있도록 관련사항들을 코드화 하였다. Table 14와 같이 SOLAS 항해장비 중 주요 항해장비( $N_i$ )로 식별한 15가지의 데이터 입력방식( $D_i$ )과 기능( $F_i$ ) 및 관련 항해업무( $T_i$ )와 필요정보( $TD_i$ )로 각 특성을 확인할 수 있다.

Table 15는 주요 항해장비( $N_i$ )들의 정보생성 또는 전달에 요구되는 시간 간격(Interval)을 확인할 수 있고, 수신(In)하는 장비와 생성된 정보를 전달(Out)하는 장비 간 연결을 IMO 성능기준(P/S; Performance Standard)을 참조하여 항해장비의 특성 분석 결과로 작성하였다. 정보생성 또는 전달에 요구되는 시간적 간격이 제시되어 있다면 그 값을 기준으로 향상된 성능이나 속도를 요구할 수도 있으며, 이를 통해 이해관계자 간의 협의와 조정, 설계 근거로 이용할 수 있다. 또한 장비 간의 In & Out에 대한 연결사항은 현재의 장비들의 연결 상황을 보여주며, 특정장비에 연결이 집중되어 있거나, 연결이 거의 없는 장비를 쉽게 확인할 수 있다. Table 15의 Data interval과 장비 간 Connection은 항해장비 제조사와 선박에 적용된 항해시스템 솔루션들에 따라 표에서 제시하는 요건보다 향상되거나 빨라질 수 있지만, IMO 성능기준을 참조한 정보이기 때문에 국제적 표준을 의미한다.

Table 14, 15의 항해장비 및 업무정보의 코드화된 분류와 성능기준 정보는 항해시스템플랫폼 아키텍처 모듈 설계에 참조하여 항해장비의 기능에 대한 고려사항을 쉽게 확인할 수 있고, 아키텍처 설계 결정에 이용된다.

**Table 14** Characteristics( $D_i$ ,  $F_i$ ,  $T_i$ ,  $TD_i$ ) of Navigational Equipment( $N_i$ )

$N_i$	<b>Navigational equipment</b>	$D_i$	$F_i$	$T_i$	$TD_i$
$N_1$	Standard magnetic compass	$D_1$	$F_2$	$T_2$	$TD_5$
$N_2$	Gyro compass	$D_1$	$F_2$	$T_2$	$TD_5$
$N_3$	Electronic chart display and information system (ECDIS)	$D_4$	$F_3$ $F_4$	$T_1$ $T_2$ $T_3$ $T_4$	$TD_2$ $TD_3$ $TD_6$ $TD_7$ $TD_8$ $TD_9$ $TD_{11}$
$N_4$	Global navigation satellite system(GNSS) receiver	$D_2$	$F_2$	$T_1$ $T_6$	$TD_1$ $TD_{16}$
$N_5$	Sound reception system	$D_3$	$F_3$	$T_5$	$TD_{13}$
$N_6$	Echo sounder	$D_1$	$F_4$	$T_4$	$TD_{12}$
$N_7$	3GHz / 9GHz RADAR (included ARPA)	$D_3$ $D_4$	$F_3$	$T_5$	$TD_{13}$ $TD_{14}$ $TD_{15}$
$N_8$	Speed and distance measuring equipment (SDME)	$D_1$	$F_2$	$T_6$	$TD_{16}$
$N_9$	Automatic identification system(AIS)	$D_2$	$F_3$	$T_1$ $T_5$	$TD_1$ $TD_{13}$ $TD_{14}$
$N_{10}$	Indicators for rudder angle	$D_1$	$F_2$	$T_2$	$TD_4$
$N_{11}$	Indicators for rate of turn(RoT)	$D_1$	$F_2$	$T_2$	$TD_4$
$N_{12}$	Indicators for pitch and revolutions(RPM)	$D_1$	$F_2$	$T_6$	$TD_{16}$
$N_{13}$	Indicators for thrust	$D_1$	$F_2$	-	-
$N_{14}$	Voyage data recorder (VDR)	$D_4$	$F_2$	-	-
$N_{15}$	Wind indicator (Anemometer)	$D_1$	$F_1$	$T_6$	$TD_{17}$

**Table 15** Data Interval and Connection of Navigational Equipment( $N_i$ )

$N_i$	Data interval	Connection	
		In	Out
$N_1$	Not defined in P/S	• Compass card	• Auto pilot
$N_2$	Not defined in P/S	• Gyro scope	• RADAR • ECDIS • VDR • RoT indi. • Auto pilot
$N_3$	Not defined in P/S	• GNSS • Echo Sounder • RADAR • SDME • AIS • Gyro • Wind indicator	• VDR
$N_4$	at least 1 sec	• Antenna	• VDR • RADAR • AIS • ECDIS • Auto pilot
$N_5$	at least 3 sec	• MIC(External)	• VDR
$N_6$	at least 5 sec	• Transducer	• VDR • ECDIS
$N_7$	Not defined in P/S	• RADAR scanner • AIS • GNSS • Gyro	• VDR • ECDIS
$N_8$	Not defined in P/S	• Transducer	• RADAR • ECDIS • VDR
$N_9$	Dynamic info. < 2 sec	• GPS/VHF Antenna	• VDR • RADAR • ECDIS
$N_{10}$	Not defined in P/S	• Steering gear system	• VDR • INS • Auto pilot
$N_{11}$	Not defined in P/S	• Gyro system	• Auto pilot • VDR • AIS
$N_{12}$	Not defined in P/S	• Engine room systems	• VDR
$N_{13}$	Not defined in P/S	• Engine room systems	• VDR
$N_{14}$	Not defined in P/S	• Gyro • GNSS • RADAR • Echo Sounder • SDME • Indicators • MIC	-
$N_{15}$	Not defined in P/S	• Wind sensor	• ECDIS • INS

### 4.3 아키텍처 모듈 설계

이해관계자들이 우선순위화한 중요 QA들은 관련되는 기능 요구사항과 비기능 요구사항을 나타낼 뿐, 아키텍처 개발에 반영할 사항을 구체적으로 설명하지 못한다. 따라서 각 QA와 관련된 기능이나 성능이 작동하는 과정에서 발생할 수 있는 상황에 대한 시나리오 구성이 필요하다. 이를 S/W 아키텍처 개발에서는 QA 시나리오로 정의하고 있으며, 개발 대상의 기능과 성능에 대한 요구가 아키텍처 설계에 반영되도록 문서화 한다. 시나리오를 통해 이해관계자들이 문제해결 방법과 설계전술을 결정하고, 아키텍처가 완성된 이후 평가 과정에서도 품질속성 시나리오 분석이 이루어진다. 사용성, 보안성, 가용성 등의 품질속성 모델만으로는 해당 항해시스템플랫폼에서 요구하는 품질속성을 명확하게 정의하는데 한계가 있기 때문에, 본 연구에서는 품질속성 시나리오에 항해장비코드 정보를 포함하여 아키텍처 모듈을 설계서로 작성하였다.

항해시스템플랫폼의 구성 모듈은 중요(Priority) NFR에 대한 QA를 중심으로 QAW에 참여한 이해관계자들과 각 모듈을 도출하였으며, 기능 요구사항과 비기능 요구사항에 대한 명확한 설명과 의도를 확인하여 항해모니터링(Navigation monitoring), 선박조종(Ship control), 통신관리(Communication management), 항해장비관리(Equipment management)의 4개 모듈로 구성하였다. 기능 요구사항 중 FR 1의 모니터링(Monitoring) 기능에 FR 2의 경보(Warning) 기능을 함께 확인할 수 있도록 항해모니터링 모듈로 통합 구성하였고, FR 3의 선박조종(Ship control) 기능에 FR 10의 항로관리(Route management) 기능이 적용될 수 있도록 선박조종 모듈에 대한 요구기능을 정의하였다. 통신관리 모듈은 FR 5의 통신관리(Communication management) 기능에 FR 6의 사이버 보안관리(Cyber security management)가 포함될 수 있는 기능이며, 항해장비관리 모듈은 FR 4의 표준화(Standardization) 기능과 FR 8의 항해장비성능관리(Equipment quality management) 기능을 포함한다. 항해시스템플랫폼의 주요 4개 모듈과 중요(Priority) NFR 및 기능 요구사항(FR)들과 구성 관계는 Fig. 30과 같다.

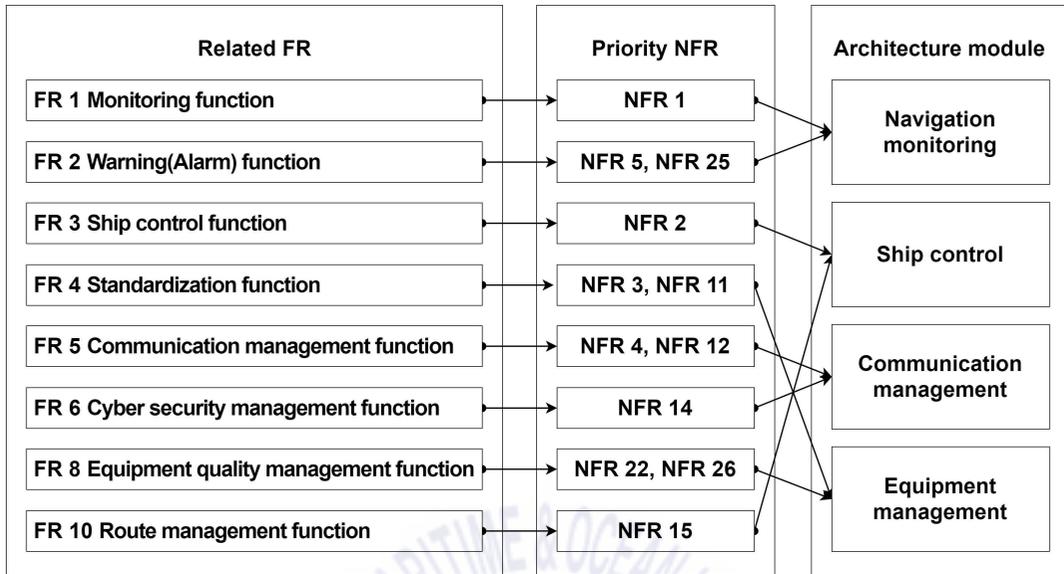


Fig. 30 FR and NFR of Navigational System Platform

#### 4.3.1 아키텍처 모듈 설계요소

S/W 아키텍처의 QA 시나리오는 자극원, 자극, 대상, 환경, 응답, 응답측정의 6가지 요소를 적용하여 표현한다. 아키텍처 모듈 설계서는 QA 시나리오의 6가지 요소에 추가하여, 주요 항해장비( $N_i$ )와 관련된 정보가 요구된다면 코드를 함께 표시하고, 설계상의 결정인 설계전술(Tactic)까지 포함한다. 아키텍처 모듈 설계요소들은 다음과 같다.

##### (1) 자극원(Source of stimulus)

항해시스템플랫폼에 자극을 만들어내는 존재로써 항해사, 타 시스템, 항해장비 및 기타 기기에 해당된다.

##### (2) 자극(Stimulus)

항해시스템플랫폼에 도달할 때 반응의 원인이 되는 조건이다.

### (3) 대상(Artifact)

자극에 의해 자극을 받는 대상으로, 본 연구의 항해시스템플랫폼 전체 또는 일부 항해장비가 될 수 있으며 이에 대한 구분을 명확히 설명하여야 한다.

### (4) 환경(Environment)

자극은 특정 상황이나 환경에서 발생하며, 자극발생 시의 항해시스템플랫폼이 정상 상태인지 비정상 상태인지의 설명이 요구된다.

### (5) 응답(Response)

자극이 항해시스템플랫폼에 도달한 이후 취해지는 활동이나 행위이다.

### (6) 응답 측정(Response measure)

응답이 발생할 때 수치나 시간 등으로 측정 가능한 대응의 결과 값이다.

### (7) 관련 항해장비(Related equipment)

항해시스템플랫폼의 기능이나 성능에 영향을 미치고, 모듈 설계와 관련되는 주요 항해장비( $N_i$ )이다.

### (8)설계전술(Tactic)

QA 시나리오 구성요소 중 응답(Response)을 제어하는데 영향을 주는 설계상의 결정이다(김순태, 2012). 설계전술은 이해관계자 QA를 기반으로 아키텍트가 선택하고, 여러 방법이 존재할 수 있다. 설계전술은 하나의 QA 요구를 달성하기 위해 하나의 설계전술로 가능할 수도 있고, 여러 개의 설계전술들로 구성될 수도 있다. 많은 S/W 개발과정에서 식별된 전술들이 제시되지만 이외의 해결방법을 아키텍트가 제시할 수도 있다. Fig. 31은 SEI의 기본적인 품질속성별 설계전술 개념이다.

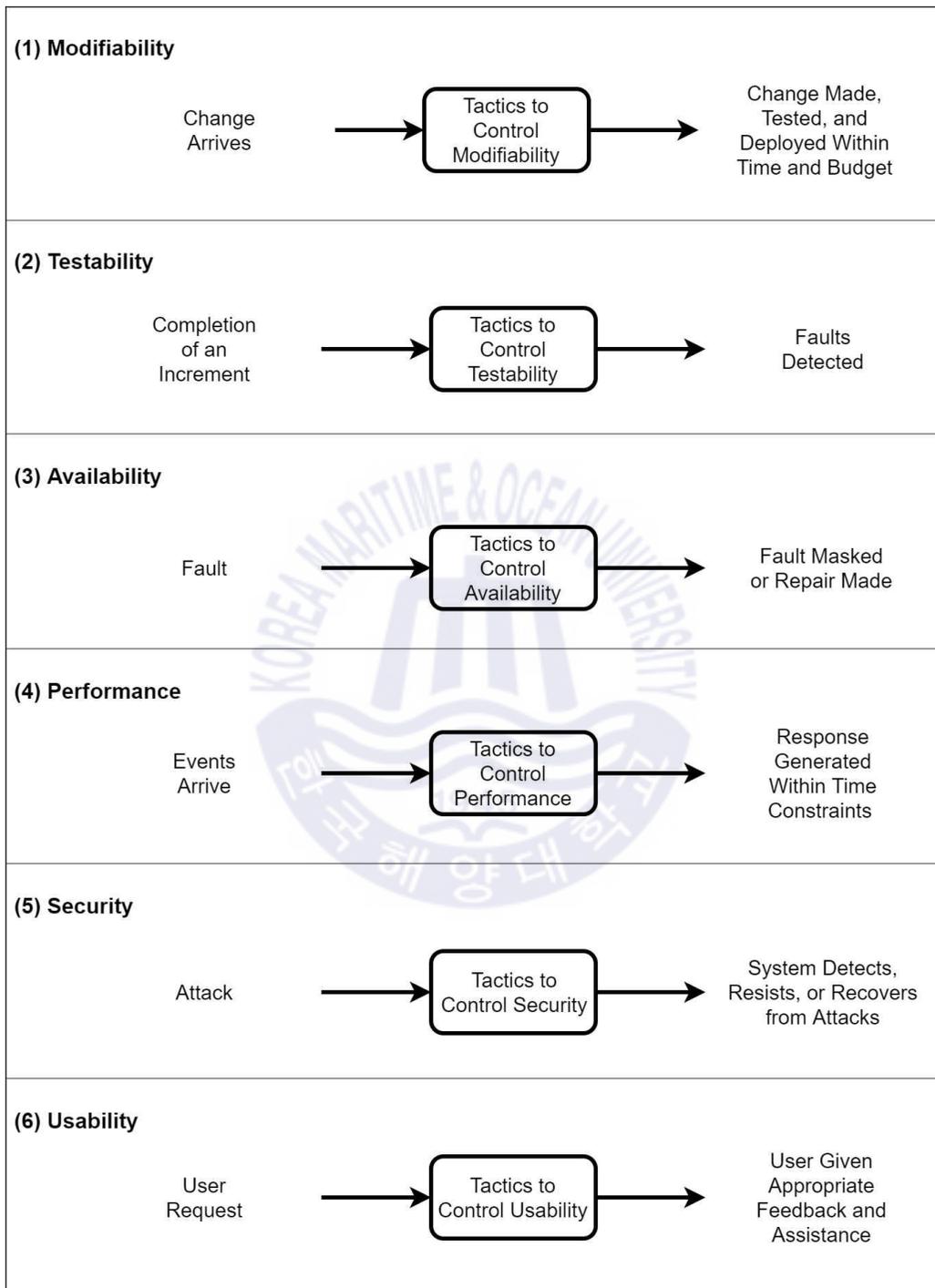


Fig. 31 Tactics of Quality Attribute (Source: Bass, et al, 2013)

### 4.3.2 QA 기반 모듈 설계

항해시스템플랫폼 아키텍처 개발을 위한 모듈들을 QA 시나리오 구성요소에 따라 설계전술 및 관련 항해장비 항목과 함께 설계하였다.

#### (1) 항해모니터링(Navigation monitoring) 모듈

Table 16은 Navigation monitoring 모듈에 관한 설계사항으로 성능에 관련된다. 항해정보의 사용자로 Remote operator, Ship owner, VTS의 이해관계자가 해당되며, 자극원으로 정의된다. 항해정보의 요청이 자극으로 대상체인 항해시스템플랫폼의 Navigation monitoring 모듈에 전달되면, 그 응답으로 해당정보를 전송하고 이때의 측정시간은 1초를 요구하였다. 시간에 관해 이해관계자들의 초기 제안은 상이하였으나 협의과정에서 1초의 품질요구로 결정하였다.

**Table 16** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 1)

Module name	Navigation monitoring
Quality attribute	Performance
Related NFR	NFR 1. Gather appropriate interval(1 sec) navigation information
Source of stimulus	Stakeholders(Remote operator, Ship owner, VTS)
Stimulus	Navigation information request
Artifact	Navigational system platform
Environment	Normal condition (Remote control)
Response	Navigation information transmission
Response measure	1 sec
Related equipment	$N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15}$
Tactic	Maintain multiple copies of data Manage sampling rate

항해정보 모니터링 성능전술은 여러 이해관계자의 항해정보 동시요구에 따라 품질요구 사항인 1초의 시간을 만족시키지 못할 수 있다는 의견을 고려하여 데

이더 복사본(Maintain multiple copies of data)에 대한 성능구현을 채택하였다. 별도의 데이터 저장소에 항해시스템플랫폼의 항해정보가 복사되어 이해관계자들의 접근이 항해장비 개별적인 확인이 아닌 저장소의 정보를 전송한다면, 다중 동시접속으로 인한 다툼을 줄일 수 있도록 한다. 또한 리소스 수요통제의 일환으로 표본화 비율관리(Manage sampling rate)도 환경적인 데이터 스트림 확보에 도움이 될 수 있어 설계전술로 채택하였다. 관련되는 항해장비들은 NFR 3의 시나리오와 동일하게 항해정보를 생성하는 장비들이며, 측정시간은 1초를 요구하므로 정보의 생성도 이보다 지연되지 않아야 한다.

Table 17은 계획된 항로에서 강한 외력으로 인해 벗어나는 상황을 관리할 수 있는 프로세스를 요구하는 Navigation monitoring 모듈 설계 사항이다. 자극원은 외력으로 강한 바람이나 조류에 의해 발생한다. 그 영향으로 선박을 계획항로에서 벗어나게 하는 자극이 발생하며, 이는 일종의 결함으로 분류한다.

**Table 17** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 5)

Module name	Navigation monitoring
Quality attribute	Availability
Related NFR	NFR 5. Cognitive management process for situations of deviation
Source of stimulus	External force
Stimulus	Deviation
Artifact	Navigational system platform
Environment	Strong wind or current affect ship
Response	Notice and change course
Response measure	Variable
Related equipment	$N_1, N_2, N_3, N_4, N_{10}, N_{15}$
Tactic	Exceptions(Fault detection) Exception handling(Fault Recovery)

결함에 대한 설계전술은 가용성에서 찾을 수 있으므로, 가용성 QA로 구성하였다. 가용성 QA는 결함복구에 대한 설계전술을 요구하기 때문에 결함복구는

계획항로로의 회귀이며, 이는 선박조종과 관련되므로 대상체는 Navigation monitoring 모듈을 대상으로 한다. 이해관계자들은 이러한 결함복구 상황을 경보가 아니더라도 알람이 필요하며, 알람의 발생이나 선박이 결함복구를 위해 침로를 변경하는 대응의 시간요건은 이해관계자 간 일치를 이루지 못했다. 이 시나리오에 대한 설계 전술은 NFR 3의 시나리오와 같이 예외발생에 대한 식별과 처리를 채택하였다. 이로(Deviation) 모니터링에 관련되는 항해장비는  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$ ,  $N_{10}$ ,  $N_{15}$ 이다.

Table 18은 선박의 위험이 식별되면, 회사에 보고가 이루어져야 하며, 위험 식별 후 보고는 5초 이내의 전송을 요구하는 가용성에 대한 모듈 설계이다. 결함에 해당하는 선박의 위험상황에 대한 정보는 그 기준이 마련되어 있어야 하며, 이를 식별하면 예외로 인식하고 예외에 대한 처리를 수행하는 전술을 적용한다. 처리사항은 위험에 대한 보고를 선박관리 회사나 적절한 조직에 전송하는 것이다. 관련 항해장비는 위험 상황을 인지하여 경고가 가능한  $N_3$ ,  $N_6$ ,  $N_7$ ,  $N_9$ ,  $N_{15}$ 이다.

**Table 18** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 25)

Module name	Navigation monitoring
Quality attribute	Availability
Related NFR	NFR 25. Vessel hazard identification and management company report
Source of stimulus	Navigational equipment
Stimulus	Hazard identification
Artifact	Navigational system platform
Environment	All conditions
Response	Report the appropriate party
Response measure	5 sec
Related equipment	$N_3$ , $N_6$ , $N_7$ , $N_9$ , $N_{15}$
Tactic	Exceptions(Fault detection) Exception handling(Fault Recovery)

(2) 선박조종(Ship control) 모듈

Table 19는 NFR 2에 대한 Ship control 모듈 설계사항으로 기능 요구사항 중 선박제어 기능(FR 3, Ship control)에 시간적 품질 요소를 의미한다. 제어명령의 자극원은 ISCC의 Remote operator이며, 선속이나 침로에 대한 변경요청이 자극에 해당된다. 대상체는 항해시스템플랫폼의 구성 시스템 중 선박제어의 기능 구현에 관련되며, 시스템의 정상운영에서 요구되는 응답으로 명령의 이행과 응답시간에 대한 요구로 0.25초가 요구된다. 설계전술은 제어명령이 다른 중개자(Intermediary)를 거치지 않고 목적 컴포넌트 또는 장비에 전달되도록 하는 연산 오버헤드 감소(Reduce computational overhead) 방안을 채택하였다. 중개자를 거치는 구성은 연산의 시간이 늘어나고 자원을 이용하는 시간이 증가되지만 추후 시스템의 변경이나 수정에 있어서는 용이한 장점이 있다. 선속의 변경과 침로 변화에 결과 값의 표시는 항해장비  $N_8$ ,  $N_{10}$ ,  $N_{11}$ ,  $N_{12}$ ,  $N_{13}$ 과 관련되며 해당 장비들의 Data interval도 동일하게 요구된다.

**Table 19** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 2)

Module name	Ship control
Quality attribute	Performance
Related NFR	NFR 2. Real time course & speed control
Source of stimulus	ISCC remote operator
Stimulus	Input course & speed
Artifact	Navigational system platform
Environment	Normal condition (Remote control)
Response	Change course & speed
Response measure	Minimum 0.25 sec
Related equipment	$N_8$ , $N_{10}$ , $N_{11}$ , $N_{12}$ , $N_{13}$
Tactic	Reduce computational overhead

Table 20은 선박의 목적지가 변경되었을 때, 다른 시스템과 장비에 영향을

주지 않고 목적지 변경에 따른 정보변화가 반영되도록 하는 변경 용이성에 대한 모듈 설계이다. 관련되는 항해장비는 ECDIS( $N_3$ )로  $TD_7$ ,  $TD_8$ ,  $TD_9$ 의 업무정보에 영향을 줄 수 있는 품질속성이다. 목적지 변경에 대한 정보반영은 5초 이내의 품질적인 요구를 포함하고, 선박 항로계획 정보관리에 있어 타 시스템이나 모듈과의 결합성은 낮출 수 있는 기술 선택이 필요하다.

자극원인 Operator의 목적지 변경은 자극이 되어 정상작동 하에서 선박 항로 계획 정보관리 모듈에 반영되도록 한다. 채택한 설계기술은 변경영역의 지역화(Localize modifications)로 항해계획 관리는 특정 모듈에서 수행되도록 독립적인 구성이 요구된다.

**Table 20** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 15)

Module name	Ship control
Quality attribute	Modifiability
Related NFR	NFR 15. When changing ship destination, the information is reflected without affecting other equipment system
Source of stimulus	Operator
Stimulus	Change of destination
Artifact	Navigational system platform
Environment	Normal condition (Remote control)
Response	Reflect destination change
Response measure	5 sec
Related equipment	$N_3$
Tactic	Localize modifications

### (3) 통신관리(Communication management) 모듈

Table 21은 통신 성능에 관한 것으로 LTE 수준의 통신 속도로 항해시스템 플랫폼이 운영되어야 한다. LTE 통신 표준은 100Mbps의 하향링크 최고속도와, 50Mbps의 상향링크 최고속도를 보이며 선박의 영상정보와 향상된 장비들의 고

용량 데이터 처리를 위해 요구된다. 자극원은 해상에서의 통신환경이며, 이에 따라 속도저하의 자극원이 발생한다면, 항해시스템플랫폼의 통신관리 모듈은 육상과 해상이 연결된 상태에서 통신 속도가 향상될 수 있도록 서비스 수준변경의 응답이 필요하다. 응답의 측정기준은 LTE 통신의 표준 하향링크 속도와 상향링크 속도를 요구한다. 설계를 위한 전술로는 자원관리 방안에서 가용자원 증설(Increase available resources)을 채택하였다.

**Table 21** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 4)

Module name	Communication management
Quality attribute	Performance
Related NFR	NFR 4. LTE(4G) level connectivity
Source of stimulus	Environment of communication
Stimulus	Degraded communication speed
Artifact	Navigational system platform
Environment	Ship to shore Navigation system platform online
Response	Change communication level
Response measure	Downlink speed = 100Mbps(Max) Uplink speed = 50Mbps(Max)
Related equipment	Unspecified equipment
Tactic	Increase available resources

Table 22는 항해장비들의 데이터 크기의 증가에 대한 QA이며, 변경 용이성에 대한 사항이다. 현재도 향후 자율운항선박 장비들이 취급하는 데이터 용량의 증가가 예상되며, 현존선박들은 이를 위해 네트워크를 재구성하거나, 배선을 수정하는 데에 많은 비용과 시간이 요구된다. 이해관계자들은 이러한 문제점을 개발 시점에서 확인하고, 처리 데이터의 증가에 따라 많은 변경 없이 수정될 수 있는 항해시스템플랫폼 품질이 요구된다.

설계전술에서 NFR 12의 품질속성 시나리오와 같이 중개자 사용을 채택하였다. 중개자의 사용방식은 여러 가지로 세분되며, NFR 12에 대한 중개자 설계전

술은 데이터 증개가 목적이다. 능동적 저장소와 수동적 저장소로 데이터 변환을 통해 증개하는 발행과 구독 및 MVC(Model-View-Control) 패턴을 사용한다. 해당 품질속성은 신규장비의 통신용량에 대한 것으로 관련되는 주요 항해장비는 정의하지 않는다.

**Table 22** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 12)

Module name	Communication management
Quality attribute	Modifiability
Related NFR	NFR 12. Problems with transmission of new equipment(increased data)
Source of stimulus	Navigational equipment
Stimulus	Increase in usage data size
Artifact	Navigational system platform
Environment	Design and development phase
Response	Make changes without affecting other function
Response measure	Must not affect other systems
Related equipment	Unspecified equipment
Tactic	Use an intermediary

Table 23은 NFR 14에 대한 Communication management 모듈 설계사항으로, QA 분석과정에서 NFR 14의 내용적 오류가 수정되었다. 사이버 공격에 대한 대응 표준 마련은 비기능 요구사항으로써 구체적이지 않아, 측정과 평가의 기준이 부재하다. 따라서 비인가자의 접근으로부터 데이터나 서비스가 이용되지 않아야 하고, 비인가자의 접근은 100% 식별되어야 한다는 요구사항으로 변경하였다. 자극원은 비인가자, 자극은 비인가자의 항해시스템플랫폼 서비스나 데이터의 조작시도이고, 대상은 항해시스템플랫폼의 서비스와 데이터, 그리고 환경은 육상과 선박이 연결된 온라인 상태이며, 그 반응은 항해시스템플랫폼 서비스나 데이터의 조작거부로 정의된다. 추가적으로 NFR 18의 요구가 병합될 수 있다는 의견제시를 통해 허가되지 않은 접근은 관련자에게 통보될 수 있도록 모듈 기능을 설계하였다. 이에 따라 설계전술은 공격의 탐지와 공격방어의 전술로

사용자 인증을 요구한다. 공격대응의 전술로는 이해관계자 중 선박관리의 책임이 있는 대상자에게 알리는 행위자 통지 기술이 요구된다.

**Table 23** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 14)

Module name	Communication management
Quality attribute	Security
Related NFR	NFR 14. Security standards needed against cyber attacks
Source of stimulus	Unauthenticated user
Stimulus	Manipulation of data or services
Artifact	All of Navigation system platform data and services
Environment	Ship to shore Navigational system platform systems online
Response	Unmanaged data or services
Response measure	100% detection of unintended access
Related equipment	Unspecified equipment
Tactic	Intrusion Detection(Detecting attacks) Authenticate users(Resisting attacks) Inform actors(React to attack)

#### (4) 항해장비관리(Equipment management) 모듈

Table 24는 데이터 표준화에 대한 것으로, 정보가 수신되고 또 출력되는 경우 항해장비들이 모두 동일한 표준의 문장형태나 프로토콜을 준수하도록 해야 하며, 표준에 적정하지 않은 경우 이를 수정하여 전송하는 기능까지를 요구하였다. 자극원은 항해 장비이며, 자극은 표준에 맞지 않는 신호나 데이터의 전송이다. 이를 통해 표준화를 담당하는 Equipment management 모듈은 정상적 환경 하에서 적정한 표준의 정보로 변환하고, 이때 요구되는 시간적 응답은 1초를 제시하였다. 가용성 시나리오로 구성하였으며 설계 전술은 결합탐지에 있어 예외(Exceptions)가 발생 시, 처리(Exception handling)가 이루어져야 한다. 예외의 처리 전술은 여러 가지 방법이 있지만, 시스템의 정지와 같은 처리는 가용성과 편의성, 테스트 용이성 관점에서 부적절하다. 따라서 예외처리는 예외의

수정과 작업 재시도로 해결된다.  $N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15}$ 의 데이터를 생성하거나 수신하는 항해 장비들이 대부분 관련되며,  $D_4$ 에 해당되는 ECDIS와 VDR은 제외하였다.

**Table 24** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 3)

Module name	Equipment management
Quality attribute	Availability
Related NFR	NFR 3. Standardize input/output information of all navigation equipment
Source of stimulus	Navigation equipment
Stimulus	Information from different standards
Artifact	Navigational system platform
Environment	Normal condition
Response	Standardized information
Response measure	1 sec
Related equipment	$N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15}$
Tactic	Exceptions(Fault detection) Exception handling(Fault recovery)

Table 25는 모든 장비 제조사 인터페이스 표준화에 대한 사항으로 변경 용이성에 대해 설계하였다. 인터페이스 표준화에 있어 이해관계자들이 강조한 사항은 타 시스템에 영향을 주지 않는 범위의 표준화이다. 변경 용이성은 환경요소에서 시기적 구분을 두고 있는데, 상황의 변경이 런타임인지, 설계시점인지, 빌드나 초기화 시점인지에 따라 전술을 다르게 할 수 있으며, 설계와 개발 시점으로 작성하였다. Equipment management 모듈 설계전술 중 중개자 사용(Use an intermediary)을 검토하였다. 중요 품질요구로 다른 시스템에 대한 영향이 최소화 되도록 설계 개발되어야 하므로, 변경의 확대를 방지하고 싶은 경우의 전술로서 중개자를 사용한다. 중개자의 사용은 결합성(Coupling)의 강도를 감소시켜서 이후에 필요한 변경이 발생하더라도 관련된 모듈에 미치는 영향과 예상

비용을 줄일 수 있다. 또한 향후 추가적인 장비들의 변경을 고려하여 변경영역의 지역화(Localize modifications)도 고려하여 예상되는 변경이 일정한 범위, 즉 항해장비와 인터페이스 하는 모듈로 제한함으로써 장비의 추가가 전체 시스템의 변경이나 수정을 요구하지 않아야 한다.

**Table 25** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 11)

Module name	Equipment management
Quality attribute	Modifiability
Related NFR	NFR 11. Standardize all equipment manufacturer interfaces
Source of stimulus	Navigational equipment
Stimulus	Interface standardization requirements
Artifact	Navigational system platform
Environment	Design and development phase
Response	Make changes without affecting other function
Response measure	Must not affect other systems
Related equipment	All equipment
Tactic	Use an intermediary Localize modifications

Table 26은 시스템에 대한 상태통제와 관찰이 필요하고, 항해시스템플랫폼 신뢰성이 확인될 것을 요구하고 있으며, 테스트 용이성을 QA로 하고 있다. 항해시스템플랫폼 Equipment management 모듈에서 테스트 요청을 실행하고, 테스트 요청의 자극을 통해 대상체 항해시스템플랫폼 전 시스템에 점검결과가 응답으로 출력되어야 한다. 여기에 필요한 시간을 이해관계자들은 5분으로 요구하였다. 테스트 용이성 전술에서 구현과 인터페이스를 분리(Separate interface from implementation)하는 입출력 전술은 다양한 테스트를 위해 인터페이스와 구현을 분리하는 것이며 시스템 전체의 신뢰성을 위해 다양한 테스트가 필요할 것으로 예상되었다. 관련항해 장비도 항해시스템플랫폼에 연결되는 모든 장비가 해당된다.

**Table 26** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 22)

Module name	Equipment management
Quality attribute	Testability
Related NFR	NFR 22. Secure system reliability
Source of stimulus	Navigational system platform
Stimulus	Test request
Artifact	Navigational system platform(Complete system)
Environment	All conditions
Response	Test result
Response measure	5 min.
Related equipment	All equipment
Tactic	Separate interface from implementation

Table 27은 항해장비의 이상 작동이나 정보오류 같이 비정상적인 작동을 보이면 알려줄 수 있는 기능의 품질에 대한 것으로, 가용성 QA에 해당된다. 항해 시스템플랫폼 구성의 내부 항해장비가 자극원이며, 자극의 유형은 정보의 누락(Omission), 충돌(Crash), 응답시간 오류(Error of timing), 무응답(No response) 등 다양한 장비 결함(Fault)이다.

장비를 관리하는 Equipment management 모듈을 통해 주기적인 이상 확인이 가능하다면, 문제가 발생한 이후 1분 이내에 관련자에게 통보될 수 있도록 설계하였다. 추가적으로 이상 상태 발생뿐만 아니라, 고장 장비의 정보를 제공해 줄 수 있는 2차 장비가 있다면 해당 장비로부터의 정보 수신도 자동으로 전환될 것을 요구에 포함하였다. 설계전략으로 상태의 이상을 확인하기 위한 생명 신호(Heartbeat)가 주기적으로 전송되고 적정 응답신호로 이상을 확인하는 방법을 채택하였다. 그러나 장비별 기능과 특성이 다양하므로 개별적인 생명신호 이용의 유효성과 테스트 방법은 추가적인 고려가 필요하다. 관련되는 항해장비는 전체를 대상으로 한다.

**Table 27** Quality Attribute Based Architecture Module Design(NFR 26)

<b>Module name</b>	<b>Equipment management</b>
Quality attribute	Availability
Related NFR	NFR 26. Provides information on abnormal conditions
Source of stimulus	Internal of Navigational system platform, Navigational equipment
Stimulus	Fault of navigation data
Artifact	Navigational equipment
Environment	All conditions
Response	Notify the appropriate party and change to secondary equipment
Response measure	1 min.
Related equipment	All equipment
Tactic	Heartbeat(Fault detection)

비기능 요구사항들을 모듈 설계 구성요소별로 작성하면 아키텍처에 필요한 성능과 QA를 구체화하여 설계에 반영할 수 있다. 아키텍처 모듈 설계에 참조한 설계전술들은 S/W 아키텍처 개발에서 이용되거나 효과적인 방법들을 적용하였다. 이해관계자들의 S/W 아키텍처와 전술에 대한 이해가 높을수록 명확한 아키텍처 모듈 설계가 가능하다.

## 제 5 장 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발 및 평가

### 5.1 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발

4장에서 설계한 모듈 요구사항을 기반으로 S/W 아키텍처에서 이용하는 패턴과 스타일을 응용하여 항해시스템 플랫폼 아키텍처를 개발하였다. 개발된 유스케이스 아키텍처와 배치 아키텍처에서 참조한 패턴들과 설계내용 및 고려요소들은 다음과 같다.

#### 5.1.1 아키텍처 패턴

아키텍처 개발에서 해결이 요구되는 문제나 개선이 필요한 품질요구를 식별하였을 때, 아키텍트는 새로운 방식의 접근보다, 유사한 프로젝트 및 연구에서 제시된 방법을 적용한다(김정민 등, 2015). 참조하는 방법이 완전히 동일한 아키텍처가 될 수 없지만 해결방법의 핵심을 응용하여 아키텍처를 구성한다. 이때 시스템을 구성하는 핵심개념을 나타내는 표준적인 S/W 구조가 아키텍처 스타일 또는 패턴이다(Frank, et al., 1996). 시스템이 대형화 되고 복잡할수록 하나의 패턴만으로는 아키텍처를 표현할 수 없기 때문에 아키텍처 패턴들을 조합하여 구성할 수 있다. 아키텍처 패턴을 사용하면, 복잡한 시스템의 단순화가 가능하고, 개념중심으로 표현되기 때문에 시스템에 대한 이해관계자들의 이해를 높일 수 있다. 4장에서 작성된 아키텍처 모듈 설계에는 설계전술들을 포함하고 있으며, 설계전술들을 해결하는 방법으로 아키텍처 패턴을 이용하여 표현한다. 설계전술들을 기반으로 아키텍처 패턴을 선정하는 것부터 아키텍처 개발의 실제화 과정으로 볼 수 있다. 다음은 항해시스템플랫폼 아키텍처 개발을 위해 모듈 설계와 아키텍처 구성에 참조한 패턴들이다.

##### (1) 계층화(Layered)

계층화 패턴은 개발 시스템을 단위(Unit)로 분할하는 패턴이다. 패턴적용에 있어 제약사항은 상위 계층의 S/W와 하위계층 간 분리는 명확해야 하며, 적용

에 따른 장단점이 있다. 계층이 구분되어 변경이나 수정이 필요한 경우 모든 시스템의 변경보다 해당 계층의 수정만 요구되는 장점도 있지만, 분리된 계층에 의해 성능이 감소할 수 있는 단점도 있다. 각 계층은 모듈의 응집된 결합을 의미하고, 계층 간의 관계는 사용관계를 표현한다. 플랫폼의 아키텍처에 있어 각 기능을 모듈 단위로 분할하고 계층화 패턴을 참조하여 개발하였다.

## (2) 파이프 필터(Pipe and filter)

시스템 데이터의 흐름(Stream)을 처리하는 패턴이다. 파이프는 데이터를 전달하는 루트이고 필터는 데이터를 처리하는 컴포넌트이다. 데이터는 파이프를 통해 필터에 도착한 후 처리 또는 변환되고 파이프를 통해 다음 필터로 전달되기 때문에 필터는 정보의 수신과 전송을 위한 입력과 출력 포트를 포함한다. 설계시 제약으로 파이프는 필터의 출력 포트를 입력 포트로 연결하는 역할에 오류가 있어서는 안 된다. 필터의 변경과 재조합으로 높은 유연성을 가질 수 있으며, 항해시스템플랫폼의 각 기능 모듈들은 파이프를 통해 정보를 처리하고 전달하도록 설계하였다.

## (3) 공유데이터(Shared data)

시스템의 여러 부분에서 데이터에 대한 조회와 기록의 기능을 수행하는 경우 공유데이터 저장소를 둔다면, 데이터 교환과 실시간 작업이 가능하다. 컴포넌트는 공유데이터 저장소와 데이터에 대한 접근자로 구분되고 이들의 연결은 데이터 조회나 기록 등을 위해 발생한다. 접근자들은 서로 통신하지 않고 공유데이터 저장소를 중심에 두고 이루어지며, 일종의 중개자 기능을 공유데이터 저장소가 수행한다. NFR 11과 NFR 12에 대한 모듈 설계에서 설계전술로 데이터 중개자 기능을 요구하였으며, 장비 간 통신으로 인한 문제 해결 및 데이터 처리속도의 향상을 위해 아키텍처 개발에 참조하여 개발하였다.

## (4) 사용자 서버(Client server) 패턴

S/W적으로 컴포넌트가 다른 컴포넌트에 서비스를 요청함으로써 상호작용하

는 패턴이다. 사용자(Client)가 서비스를 요청하면, 서버(Server)가 서비스를 제공하는 요청(Request)과 응답(Reply)의 연결 형태이다. 요청과 응답의 방향이 명확하고, 여러 컴포넌트에 걸쳐 데이터와 데이터를 처리하는 어플리케이션에 적합하다. 항해시스템플랫폼의 기능 중에서 선박 간의 데이터 요청과 응답에 사용자 서버 패턴을 고려하였다.

#### (5) 피어 투 피어(Peer to peer) 패턴

피어 투 피어 패턴은 각 컴포넌트를 피어(Peer)라 부르고, 각 피어는 클라이언트로서 다른 피어에 서비스 요청을 하거나, 서버로서 각 피어에게 서비스를 제공할 수 있다. 현재 선박의 항해장비들 간 연결형태가 피어 투 피어로 볼 수 있고, 각 장비들이 동등한 입장에서 데이터나 정보를 교환하며 상호작용하는 패턴이다. 데이터 처리가 빠르게 이루어질 수 있고, 집중구조가 아닌 동등 피어들이 역할을 수행하므로 특정 장비나 컴포넌트 장애에 대응이 용이하지만, 항해시스템플랫폼은 동등 구조의 장비 간 통신보다 기능 모듈을 통해 정보를 취합하고 필요한 서비스를 제공하기 위한 목적을 가지고 있어, 일부 설계 부분에서 참조하였다.

### 5.1.2 유스케이스 아키텍처

항해시스템플랫폼 아키텍처의 개발 결과물은 요구사항 분석을 통하여 작성된 아키텍처 모듈 설계를 기반으로, 결정된 품질속성에 대한 설계전술과 아키텍처 패턴을 통해 아키텍처 뷰로 제시된다. 기능적인 분할을 통해 시스템의 제약사항, 기능 요구사항, 비기능 요구사항, 품질속성 등을 상위의 큰 모듈에서 하위의 모듈로 분배하여 설계를 진행하였고, 작성된 항해시스템플랫폼은 아키텍처 별로 명세화 하였다. 제시되는 아키텍처는 사용자, 관리자, 유지보수 담당자, 개발자, 프로그래머 등의 다양한 이해관계자들을 위한 여러 관점으로 작성되지만, 본 연구는 사용자들의 요구기능 반영과 품질요구가 개발과정에 반영되도록 하는 것이 목적이므로, 사용자 관점을 중심으로 아키텍처를 개발하였다. 유스케이스는 사용자 관점에서 이해를 높일 수 있는 아키텍처로써, 항해시스템플랫폼의

기능을 설명하고 아키텍처 평가와 검증에서도 이용할 수 있다. 또한 유스케이스 아키텍처는 외부 액터(Actor)가 인식하는 항해시스템플랫폼의 기능을 설명하고, 사용자, 설계자, 개발자 및 테스터를 포함하는 이해관계자들을 위한 것이다.

#### (1) 항해시스템플랫폼 사용자

유스케이스 구성을 위해 기능과 관계되는 사용자 그룹을 구성하였다. QAW의 이해관계자 그룹과 유사하며, 선박의 조종과 모니터링 등을 수행하는 ISCC의 Remote operator, 기기 이상이나 점검을 담당하는 ISCC Technician, 입항 선박의 정보 확인이 필요한 Port authority, 선박운항관리의 Shipping company, 선박간 정보 교환필요성에 따라 주변의 Other ship까지 항해시스템플랫폼의 기능 사용이 요구된다. 각 사용자들이 필요한 기능이 다르고, 선박 조종과 같이 항해 안전과 관련된 기능들은 다중 사용자가 정의되지 않아야 하고, 접근권한 설정 등의 보안조치가 요구된다. 반면 모든 사용자들에게 접근권한과 절차가 요구된다면 원활한 정보이용과 편의성이 저하되어, 플랫폼의 사용성에 영향을 주기 때문에 유스케이스를 통해 구분하였다.

#### (2) 유스케이스 아키텍처 개발

유스케이스 아키텍처는 사용자와 기능의 관계를 표현하므로, QAW를 통해 설계한 4개의 모듈을 기준으로 개발하였다. 4개 모듈 내 기능요구사항과 비기능요구사항의 세부 기능들을 포함하여, 사용자 간 유스케이스로 연결하였다. Fig. 32와 같이 개발된 항해시스템플랫폼 유스케이스 아키텍처는 사용자가 요구하는 기능들이 선으로 연결되며, ISCC의 Remote operator는 항해시스템플랫폼의 모든 기능들에 연결되는 가장 중요한 사용자로 정의된다. 유스케이스 아키텍처를 통해 항해시스템플랫폼의 실제 구현에서, 각 사용자들의 관점과 필요정보들을 확인할 수 있으며, 기능들에 대한 권한을 설정하고 조정 시에 이용된다.

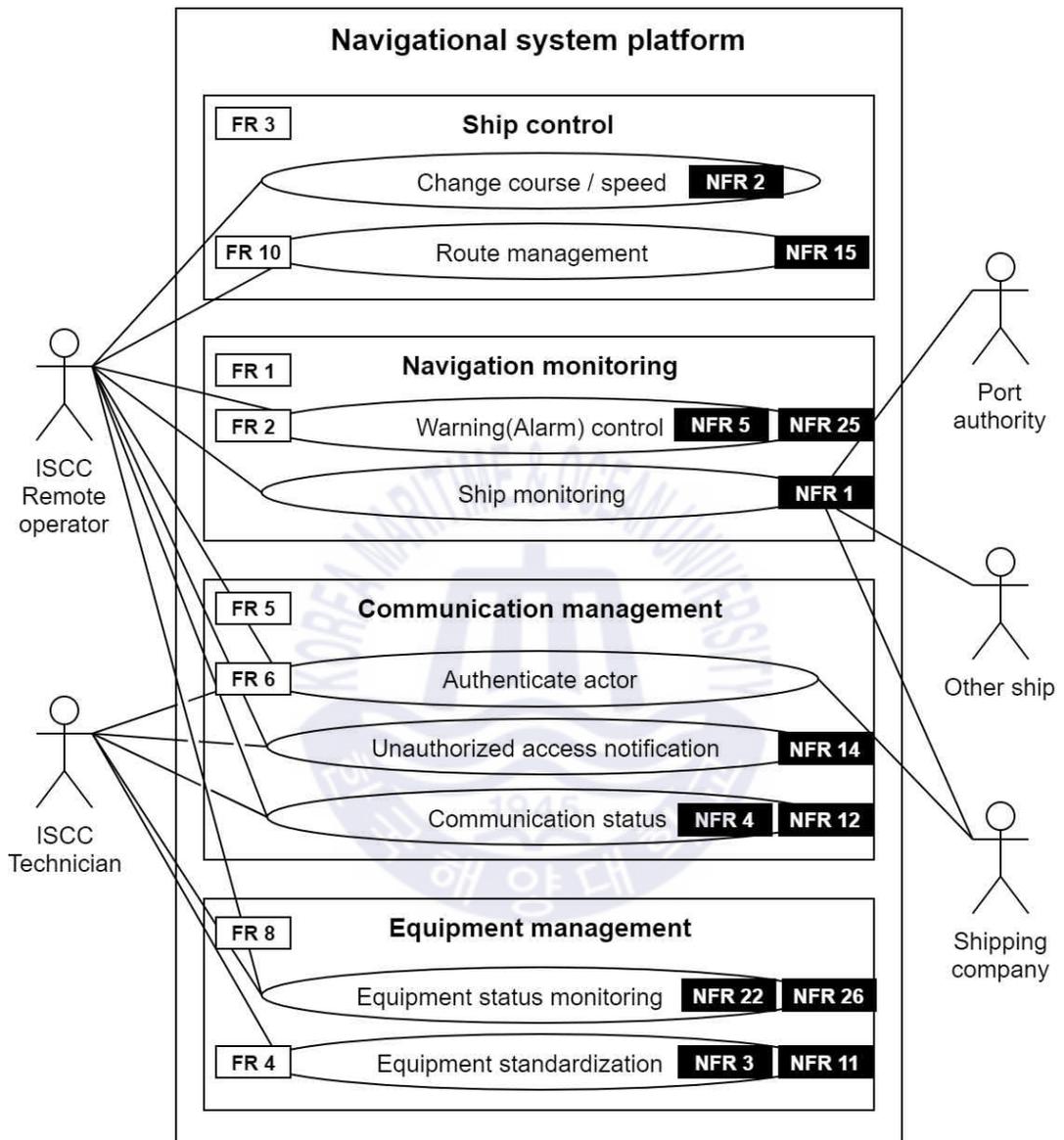


Fig. 32 Usecase Architecture for Navigational System Platform

### 5.1.3 배치 아키텍처

S/W 아키텍처 중, 배치(Deployment) 아키텍처는 물리적인 컴포넌트 또는 하드웨어가 아키텍처에 어떻게 배치되었는지 나타낸다. 개발자와 사용자들은 배치 아키텍처를 통해 항해시스템플랫폼 구성 이해를 높일 수 있다. 항해시스템 플랫폼과 장비 간의 연결 네트워크를 볼 수 있도록 비형식적 배치 아키텍처를 작성하였다. 사용자가 항해시스템플랫폼에 접근하는 경로와 각 기능 모듈들과 관련되는 항해장비들의 연결을 확인할 수 있다.

#### (1) 항해시스템플랫폼 기능모듈 배치

항해시스템플랫폼의 하드웨어적 경계와 제공기능들은 Fig. 33과 같다. 상세 수준의 배치 전, 주요 기능들을 모듈화 하여 분류하고 정보의 이동을 나타낸다. 각 모듈들의 기능은 QAW에서 도출한 기능 요구사항뿐만 아니라, 항해시스템의 개선요소와 핵심기능이 반영되었다. 항해시스템플랫폼의 하드웨어적 경계는 그림의 회색영역에 해당되며, 항해장비, 위성통신, 화면 및 컨트롤러와 연결된다.

QAW를 통해 설계된 4개의 주요 모듈들이 배치되었고, 각 모듈들은 항해시스템플랫폼 외의 장비 및 시스템과 연결되어 기능이 구현된다. 시스템 개선요소로 도출된 요구기능을 장비관리(Equipment management) 모듈에 반영하여, 항해장비들과 직접 연결하고 전원관리(Power management)와 시간 동기화(Time sync.) 및 수신 데이터의 표준화와 디지털화 기능을 제공한다. 항해시스템플랫폼의 디스플레이와 컨트롤러는 자율도 2의 수준에서 선내 선원을 위한 것이며, 항해장비들의 개별적인 콘솔 없이 통합된 화면과 입력 수단이 구성되어, 장비들의 확장성 확보와 선내 공간 제약을 개선할 수 있다. 항해시스템플랫폼 기반에서 항해장비 제조사는 콘솔 중심의 선교 장비 배치에서, 통합 디스플레이를 통해 항해장비 정보를 표현하기 위한 S/W 개발과 향상된 정보획득과 플랫폼 표준화를 따를 수 있는 센서 및 수신 장치 개발이 요구된다.

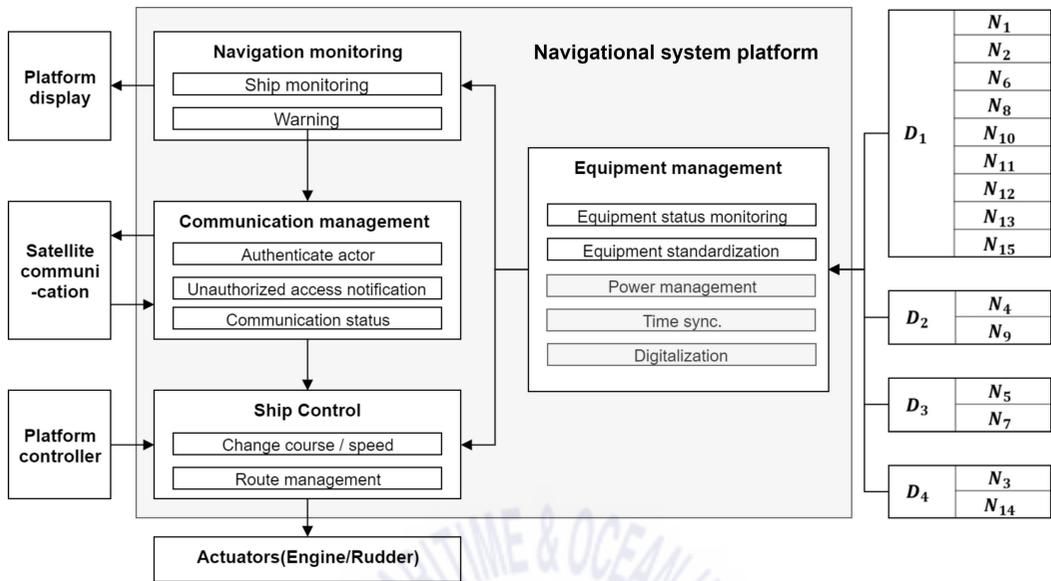


Fig. 33 Arrangement of Functional Modules of Navigational System Platform

(2) 항해시스템플랫폼 배치 아키텍처

기능모듈 배치를 기반으로 선내 시스템과 항해장비 등의 연결을 Fig. 34와 같이 항해시스템플랫폼 배치 아키텍처로 작성하였다. QAW에서 도출된 기능 요구사항과 비기능 요구사항을 함께 표시하여 아키텍처 개발에 적용된 기능과 모듈 설계사항을 확인할 수 있다. 위성장비와 연결된 항해시스템플랫폼 통신관리 모듈을 중심으로 항해데이터(Navigation data)와 선박 조종명령(Control order)의 전달 경로를 확인할 수 있다. 자율도 2와 3의 고려사항으로 선박 조종명령은 위성통신을 통해 ISCC로부터 수신하는 경로와 긴급 시를 위해 선내 승선하는 선원이 조작할 수 있도록 Platform controller에서의 지시 경로를 포함하고 있다. 항해장비관리 모듈은 항해장비들과의 연결을 통해 항해 데이터를 수집하고, 필요한 모듈이나 시스템에 전달한다. 선박조종 모듈은 통신관리 모듈에서 조종명령을 수신하여 타각(Rudder angle)과 엔진사용을 위한 작동장치(Actuator)에 전달한다. 개발된 배치 아키텍처를 통해 항해시스템플랫폼의 각 모듈별 기능과 개념으로 제시된 플랫폼 경계 및 형태가 가시화된다.

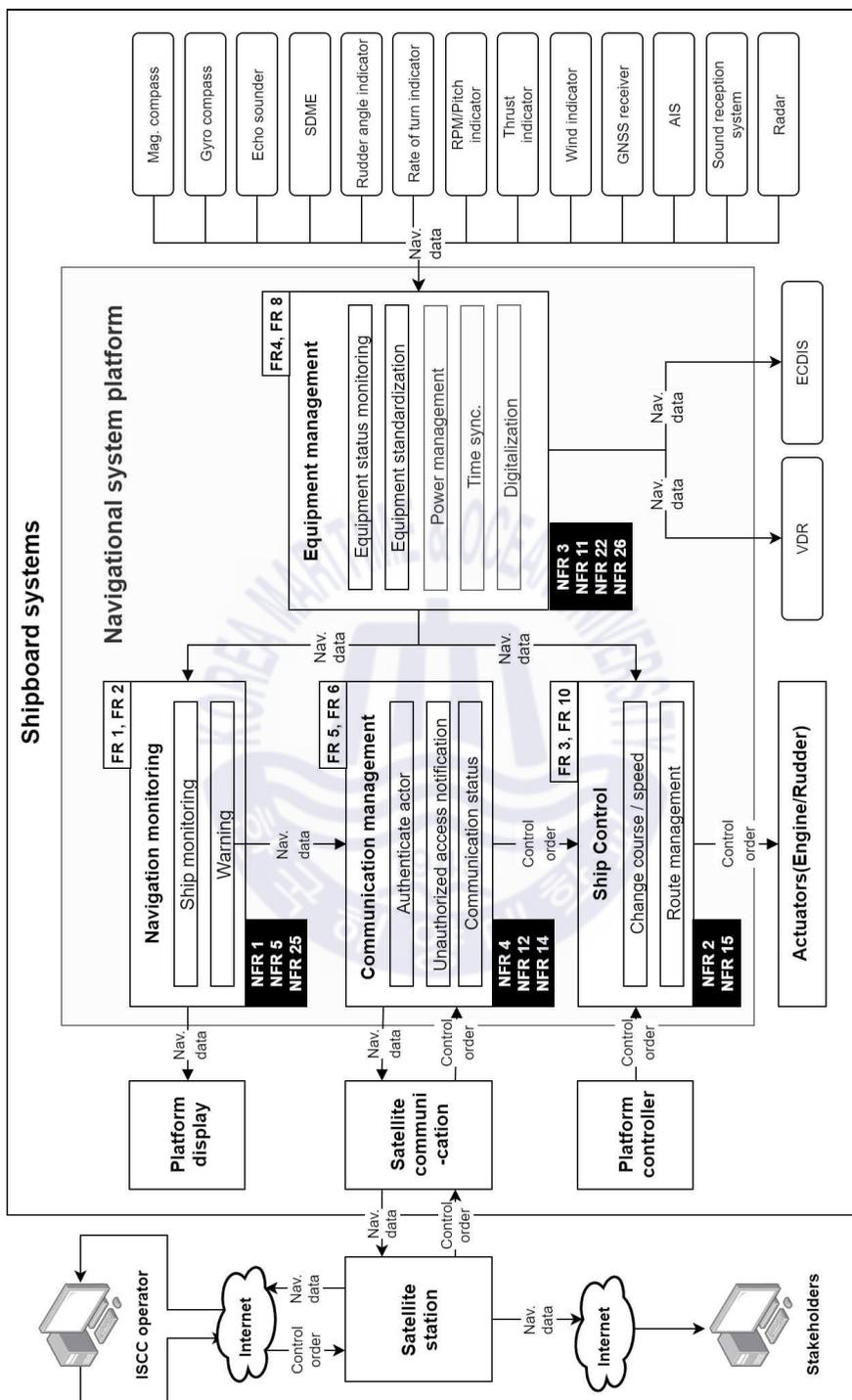


Fig. 34 Deployment Architecture of Navigational System Platform

## 5.2 ATAM 아키텍처 평가

아키텍처 평가는 아키텍처 설계가 가져올 수 있는 시스템의 결함을 적은 비용과 시간으로 개선할 수 있는 가장 경제적이고 효과적인 방법이다(고현희, 2005). 항해시스템플랫폼 아키텍처에 대한 평가는 모듈 설계의 적정성과 아키텍처 설계전략과 개발사항의 적합성을 판단하고, 구현 시 발생할 수 있는 문제점과 제약사항을 식별하여 아키텍처를 개선하기 위한 목적이 있다.

아키텍처 평가방법은 평가 과정이나, 평가 대상, 평가 구체성에 따라 여러 방법들이 있지만, 분석 절차가 명확하고 이해관계자의 QA를 설계근거로 아키텍처를 평가하는 ATAM을 적용하였다. 본 연구의 항해시스템플랫폼 아키텍처는 QAW를 통해 이해관계자들의 기능 요구사항과 비기능 요구사항의 QA를 도출하여 모듈을 설계하고, 아키텍처를 개발하였으므로, QA 기반의 ATAM 평가를 통해 모듈 사항과 설계전략 및 아키텍처의 적합성을 판단할 수 있다. QAW 과정에 참여한 이해관계자들과 구분되는 평가자들로 구성하여 항해시스템플랫폼 아키텍처에 대한 평가를 실시하였고, ATAM 평가과정 및 결과는 다음과 같다.

### 5.2.1 ATAM 평가계획

ATAM에서는 아키텍처 접근방법(Architectural approach) 분석, 시나리오 브레인스토밍(Scenario brainstorming), 유틸리티 트리(Utility tree) 작성 과정 등을 실시한다. Table 28과 같이 4단계(Phase)의 ATAM 평가과정이 일반적이다.

Phase 1은 Presentation이고, 참여하는 아키텍처 평가자들에게 ATAM 평가과정의 진행절차, 관련기술, 요구분석 및 아키텍처 결과산출물 등에 대하여 설명한다. 개발 시스템에 관련하여서는 시스템의 목표, 기능 요구사항 및 품질속성 요구사항, 시스템의 제약 사항(기술적, 관리적, 경제적) 그리고 관련되는 주요 이해관계자에 대한 내용들이 포함된다.

Phase 2는 Investigation & Analysis 단계이며, 아키텍트는 아키텍처 평가자들에게 개발한 아키텍처를 이해할 수 있도록 패턴과 접근방법과 우선순위가 높은

품질속성이 어떻게 반영되었는지 설명한다. 이후 아키텍처 평가자들과 아키텍트는 공동으로 유틸리티 트리 작성을 통해 가장 중요한 QA와 품질속성 시나리오를 정의하고, 우선순위가 높은 품질속성별 시나리오를 기반으로 아키텍처 설계사항과 설계전략을 분석한다.

**Table 28** General Phases of Architecture Tradeoff Analysis Method

	<b>Progress of ATAM</b>	<b>Analysis details</b>
Phase 1	Presentation	Present the ATAM
		Present the business drivers
		Present the architecture
Phase 2	Investigation & Analysis	Identify the architectural approaches
		Generate the quality attribute utility tree
		Analyze the architectural approaches
Phase 3	Testing	Brainstorm and prioritize scenarios
		Analyze the architectural approaches
Phase 4	Reporting	Present the results

Phase 3은 Testing이고, 개발 시스템에 관련된 모든 이해관계자가 시스템에 대한 요구사항을 시나리오로 작성하고, 투표 등의 방법으로 시나리오에 가중치를 부여하여 시나리오별 우선순위를 결정한다. 우선순위가 부여된 시나리오를 Phase 2의 유틸리티 트리와 비교하여 중요 품질속성이 새롭게 도출되었는지 파악하고 조정한다.

Phase 4는 ATAM 평가분석 결과를 취합하는 Reporting이며, 결과를 바탕으로 최적의 아키텍처를 제시하고, 품질속성 시나리오의 향상과 수정된 내용을 제시한다. 최종적인 평가 결과물은 아키텍처 접근방법, 유틸리티 트리, 개선된 품질속성 시나리오 등이 해당된다.

4단계로 구성되는 ATAM은 일정을 이분하여 실시하며, 첫 번째는 아키텍처 평가자들이 Phase 1과 2에 해당하는 설계 아키텍처에 대한 이해와 아키텍처 분석단계를 수행한다. 아키텍처를 중심으로 아키텍처에 대한 정보를 발굴 및 분

석하며, 아키텍처를 파악하고 분석하는데 초점을 맞춘다. 두 번째 일정은 첫 번째 일정 종료 후, 이해관계자들을 대상으로 Phase 3에 해당하는 아키텍처 이해와 분석단계를 반복 수행하고, 아키텍처 검증단계를 연이어 수행하게 된다. 이때에는 아키텍처 이해관계자 중심으로 미처 파악하지 못한 관심사를 찾아내고, 미처 검토하지 못한 시나리오를 재검토 한다. 최종적으로 Phase 4에 해당하는 결과물을 종합하여 제시하게 되면 두 번째 일정이 완료되고, 결과에 대한 후속 조치를 수행하게 된다. 일반적인 ATAM 진행은 아키텍트가 개발한 아키텍처에 대해 평가자와 이해관계자의 분석과 평가가 각각 이루어져 지나치게 많은 시간이 요구되는 문제점이 있다. 따라서 개발환경과 이해관계자들의 요청에 의해 ATAM의 진행절차와 분석 방법은 아키텍트가 수정하여 제시할 수 있으며 (Clements, et al., 2002), 항해시스템플랫폼 개발목적을 반영하여 다음과 같이 평가자 구성과 평가과정 및 요소를 적용하였다.

#### (1) 평가자 구성

ATAM의 아키텍처 평가자(Evaluation team) 구성은 개발 분야 및 목적하는 시스템에 이해도가 높은 최소 2인 이상의 전문가들로 평가를 수행할 수 있다. 항해시스템플랫폼 아키텍처 평가는 QAW에 참여한 이해관계자들과 중복되지 않는 8명의 평가자들로 구성하여 실시하였다. 아키텍처 모듈 설계의 근거인 비기능 요구사항에 대한 중요도와 구현성 우선순위를 비교하기 위해 이해관계자 인원과 동일하게 구성하였다.

#### (2) 평가 과정

본 연구에서 ATAM 과정은 이분된 일정 중, Phase 1과 2의 첫 일정은 동일하게 진행하고 두 번째 일정 중 Phase 3은 생략하여 결과가 반영되도록 Fig. 35와 같이 평가를 실시하였다. Phase 3의 결과 자체가 제외된 것은 아니며, 연구 목적에 따라 운항자, 이해관계자들의 요구를 개발초기에 반영하기 위해서 QAW를 선행 실시하였다. QAW 결과를 적용하여 개발한 아키텍처 평가이므로, 동일한 과정을 반복하는 것이고 시간과 비용 증가가 발생한다. ATAM의 과정을 간

결하게 진행하고, 운항자 관점의 아키텍처를 평가하고 개선하기 위해 Phase 3 은 생략되었으나, QAW의 결과를 Phase 1에서 평가자들에게 전달하였다. 수정된 평가과정은 다수 인원의 장시간 참여로 인한 ATAM의 문제점을 개선하고, 아키텍트가 식별할 수 있는 품질속성이나 설계요소 보다 다양하고 구체적인 모듈 설계를 기반으로 개발된 아키텍처를 평가하는 특징이 있다.

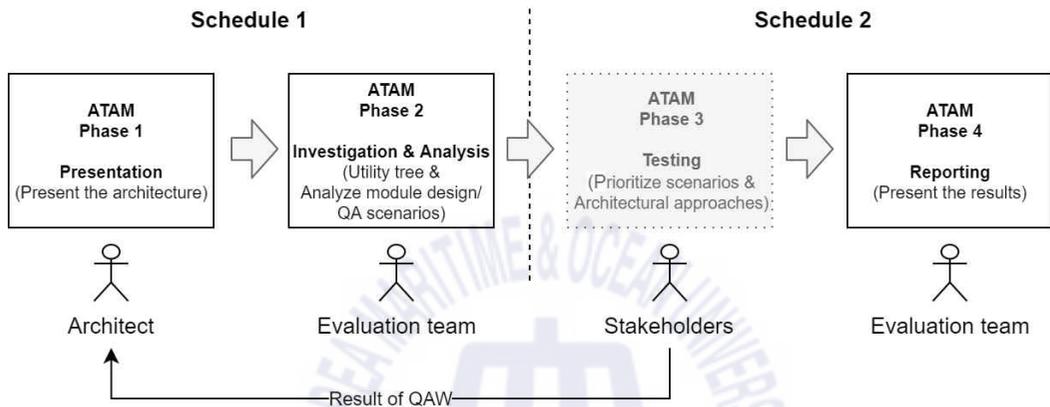


Fig. 35 Modified Progress of Architecture Tradeoff Analysis Method

### (3) 평가 요소

항해시스템플랫폼 아키텍처의 ATAM 평가요소는 일반적 항목을 동일하게 적용하여 평가하였다. ATAM의 아키텍처 평가요소는 요구분석 사항에 대한 QA의 중요도 및 구현성 평가와 유틸리티 트리 작성이다. 작성된 유틸리티 트리를 통해 아키텍처에 반드시 반영되어야 하는 QA 시나리오 중심의 설계전술과 접근 방법 및 아키텍처 모듈 설계를 평가한다. 아키텍처에 대한 수정요구를 정의하고, 모듈 설계의 변경이 평가를 통해 이루어진다. 단, 유틸리티 트리 작성 및 평가 대상은 QAW에서 도출된 12개의 중요 비기능 요구사항 QA로 제한하여, 운항자 관점의 요구사항 제시는 이해관계자들로 한정하였다. 연구목적 상 운항자 관점은 요구사항 분석에서 도출하고, 평가과정에서 요구되지 않으며, 12개 중요 QA들은 각각 모듈 설계에 반영되어 있기 때문이다.

## 5.2.2 유틸리티 트리

Phase 2의 평가요소인 유틸리티 트리 작성은, 아키텍처에 필수적인 QA를 식별하고, 모듈 설계 평가 및 아키텍처 반영이 필요한 대상을 확인하는 것에 목적이 있다. 작성된 유틸리티 트리의 중요 QA가 아키텍처에 적절하게 반영되지 않았다면 모듈 설계 수정이 필요하고, 그 결과를 아키텍처에 적용하여 개선해야 한다. 유틸리티 트리의 평가 과정은 품질속성 시나리오를 검토한 뒤, 각 시나리오에 대하여 우선순위를 부여하고 이를 유틸리티 트리로 작성한다. 먼저 품질속성 시나리오의 검토는 QAW의 결과물인 우선순위 비기능 요구사항(Priority NFR)에 대한 아키텍처 모듈 설계서를 대상으로 실시하였다.

### (1) 모듈 설계 중요도 및 구현성 평가

평가자들은 각 모듈 설계의 관련 NFR과 QA에 대해 적정성을 확인하고, 중요성과 구현성에 대한 정도를 평가하였다. 각 모듈 설계별 중요도와 구현성의 우선순위를 부여하는 과정을 통해 항해시스템플랫폼 구현에 있어 중요 QA의 식별과, 어떤 설계요소에 더 많은 시간과 비용의 집중이 필요한지 파악하게 된다. Table 29는 평가자들의 평가를 이해관계자들이 제시한 결과와 비교한 표이다.

이해관계자들이 작성한 우선순위 비기능 요구사항에 대한 QA는, 성능(Performance) QA 3개, 보안(Security) QA 1개, 가용성(Availability) QA 4개, 테스트용이성(Testability) QA 1개, 변경용이성(Modifiability) QA 3개로 가용성과 관련된 아키텍처 모듈 설계가 가장 많았다. 중요도와 구현성에 대한 평가결과는 QAW 과정에서 분류한 것과 동일하게 1~3은 L(낮음), 4~6은 M(중간), 7~9는 H(높음)로 나타내었다. 이해관계자들의 우선순위화 결과는 12개의 비기능 요구사항이 모두 아키텍처 개발에 적용되어야 하는 것으로 제시되었으나, 평가자들은 중요도와 구현성 중 H(높음)를 포함하는 비기능 요구사항을 NFR 1, NFR 2, NFR 4, NFR 11, NFR 14, NFR 26으로 평가하였다. 평가결과 성능 QA 3개, 보안 QA 1개, 가용성 QA 1개, 변경용이성 QA 1개로 성능과 관련된 아키텍처 모듈 설계가 가장 많다.

**Table 29** Comparison of Priority NFR of Stakeholders and Evaluation Team

Related Module	Priority NFR	Quality attribute	Stakeholders		Evaluation Team	
			Importance	Feasibility	Importance	Feasibility
Navigation monitoring	NFR 1	Performance	7.6 (H)	6.6 (H)	7.5 (H)	5.8 (M)
	NFR 5	Availability	7.9 (H)	5.9 (M)	5.8 (M)	5.7 (M)
	NFR 25	Availability	6.3 (H)	4.3 (M)	5.6 (M)	5.1 (M)
Ship control	NFR 2	Performance	7.4 (H)	7.8 (H)	7.6 (H)	5.9 (M)
	NFR 15	Modifiability	6.3 (H)	5.1 (M)	5.2 (M)	2.9 (L)
Communication management	NFR 4	Performance	6.5 (H)	8.1 (H)	6.8 (H)	8.0 (H)
	NFR 12	Modifiability	6.4 (H)	5.4 (M)	5.9 (M)	5.6 (M)
	NFR 14	Security	7.6 (H)	7.4 (H)	7.9 (H)	5.9 (M)
Equipment management	NFR 3	Availability	7.3 (H)	7.1 (H)	5.9 (M)	5.8 (M)
	NFR 11	Modifiability	6.1 (H)	6.5 (H)	6.5 (H)	6.4 (H)
	NFR 22	Testability	7.0 (H)	6.8 (H)	5.8 (M)	5.9 (M)
	NFR 26	Availability	6.3 (H)	5.5 (M)	6.9 (H)	5.8 (M)

(2) 유틸리티 트리 작성

유틸리티 트리는 모듈 설계 중요도 및 구현성 평가결과를 QA 기준으로 관련 비기능 요구사항과 함께 나타낸다. 유틸리티 트리 작성을 통해 아키텍처 요구사항을 보다 정확하고 효율적으로 나타내며, 높음의 수준을 갖는 모듈 설계들의 상세 평가 필요성을 강조한다.

이해관계자들이 작성한 우선순위 비기능 요구사항에 따라 QA별로 분류하고 각 관련 비기능 요구사항이 연결된다. 각 비기능 요구사항에 대해 평가자들의 중요도와 구현성에 대한 평가결과를 모듈 설계사항과 함께 유틸리티 트리를 작성하였다. 작성된 유틸리티 트리는 Fig. 36과 같고, 중요도와 구현성에 대한 평가결과 중 H(높음)를 한 개 이상 포함하는 비기능 요구사항들이 모듈 설계서 상세 평가대상이다.

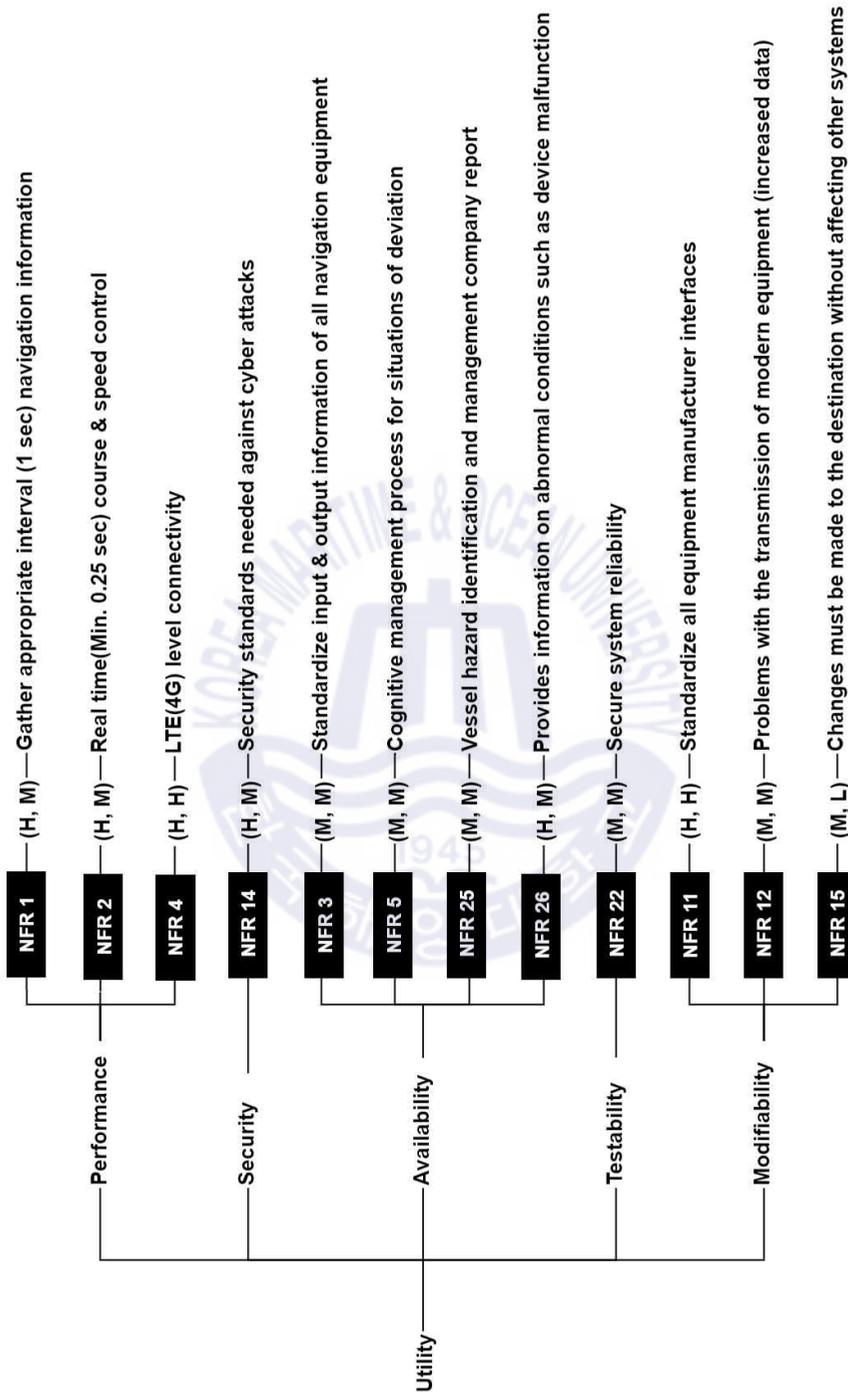


Fig. 36 Utility Tree for Navigation System Platform

평가 대상 12개의 비기능 요구사항 중, 중요도와 구현성 모두 H(높음)의 설계 QA는 NFR 4와 NFR 11에 대한 것이다. 평가된 유틸리티 트리에서 NFR 3, NFR 5, NFR 12, NFR 15, NFR 22, NFR 25는 중요도와 구현성 어느 것도 우선순위가 높음으로 평가되지 않아 모듈 설계의 상세 평가 대상은 아니다. 그러나 우선순위 수준이 높지 않다고 해서 아키텍처 설계에서 제외하거나 무시하는 것을 의미하는 것은 아니며, ATAM을 통해 더욱 명확히 해야 하는 요구사항과 우선적인 개발 필요성을 식별하기 위해 유틸리티 트리가 필요하다.

### 5.2.3 아키텍처 및 모듈 설계 평가

모듈 설계의 상세 평가를 통해 구성요소에 대한 수정이 이루어지는 것을 S/W 아키텍처 평가에서는 정제로 표현한다. 유틸리티 트리에서 우선순위가 높게 평가된 모듈 설계 중, 기능과 성능을 명확하게 제시하지 않은 구성요소들을 평가를 통해 정제하였다. 모듈 설계서의 내용뿐만 아니라, 유스케이스와 배치 아키텍처의 수정 필요사항을 함께 평가한다. 아키텍처 모듈 설계별로 적용되는 패턴이 있는 경우 장점과 단점을 명확히 하였고, 위험요인과 품질 시나리오에 대한 대응방안을 토대로 민감성(Sensitivity)과 위험요소(Risk) 및 트레이드오프(Tradeoff)를 식별하였다.

12개 모듈 설계 중 상세 평가대상은 유틸리티 트리에서 중요도 또는 구현성에 우선순위가 높은 QA들로, Performance에는 1초 간격의 항행 정보 수집을 위한 NFR 1과 실시간 침로와 속도 제어에 대한 NFR 2, LTE(Long-Term Evolution) 수준의 통신 연결성의 NFR 4가 평가 대상이다. Security에는 사이버 공격으로부터 보안 기준 필요성에 대한 NFR 14가 있고, Availability에는 기기 오작동 여부 등 이상 상황에 대한 정보 제공의 NFR 26, Modifiability에는 모든 장비 제조사 인터페이스 표준화에 대한 NFR 11이 평가 대상이다. 각 QA들에 대한 모듈 설계를 다음과 같이 상세 평가 및 수정하였다.

#### (1) Performance 모듈 설계 평가

Table 30은 NFR 1의 항해정보 모니터링 모듈의 품질에 관한 것으로 항해정

보들의 갱신은 1초마다 이루어져야 한다. 대상은 통신관리 모듈과 항해모니터링(Navigation monitoring)모듈, 항해장비관리(Equipment management) 모듈 그리고 항해장비  $N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15}$ 이다. 이 장비들은 센서나 안테나를 통해 정보를 생성 및 수신하여 항해장비관리 모듈로 전송하기 때문에 설계 전략으로 일관적인 데이터 스트림이 가능하도록 Manage sampling rate가 고려되었다. 항해관리 모듈에 적용될 사항이지만 일부 장비들은 Data interval이 1초마다 이루어지고 있지 않아 민감점으로 S1을 정의하였다. 위험요소로 일정한 데이터 스트림을 유지할 때 정보가 더 짧은 시간마다 전달되는 경우에는 데이터 손실이 발생할 수 있다.

아키텍처 수정이 필요한 사항으로, 항해정보 이동이 항해장비관리 모듈에서 항해모니터링 모듈을 거쳐 통신관리 모듈로 전달된다. 정보의 전달경로를 제한(Restrict communication path)하여 구성하면, 속도 향상과 외부 접속에 관련되는 플랫폼 범위를 한정할 수 있다. 항해정보에 대한 요청은 현재 아키텍처 상에서 동시 다발적으로 항해모니터링 모듈과 선박조종 모듈, VDR과 ECDIS에서 발생할 수 있다. 이 경우 데이터 복사본 유지(Maintain multiple copies of data)를 통해 여러 요청이 본질적인 데이터에 접근하는 것이 아니라 사본을 이용함으로써 충돌을 줄일 수 있다. 데이터 복사본 유지의 민감점으로 정보의 일관성 유지를 위한 동기화 방법이 S2로 요구되며, 플랫폼 내 데이터베이스를 이용한다면, 항해장비관리 모듈은 항해정보 이동을 데이터베이스에 단일한 경로로 제공하고 다중의 항해정보 요구자들이 데이터베이스에 저장된 정보를 동시에 이용하게 된다. 따라서 항해장비관리 모듈은 데이터 사본의 정보 종류를 지정해 두고 데이터베이스와 동기화 방법을 정의해야 한다. 다음은 식별된 민감점과 위험요소이다.

- S1 : 항해장비 센서들의 데이터 생성시간 향상 가능성
- S2 : 정보의 일관성 유지를 위한 동기화 방법
- R1 : 데이터 손실 발생에 대한 Tradeoff 고려

**Table 30** Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 1)

<b>Items</b>	<b>Evaluation Result</b>		
Module	Navigation monitoring		
Related NFR	NFR 1. Gather appropriate interval(1 sec) navigation information		
Quality attribute	Performance		
Source of stimulus	Stakeholders(Remote operator, Ship owner, VTS)		
Stimulus	Navigation information request		
Artifact	Navigational system platform		
Refined 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Communication management module</li> <li>- Navigation monitoring module</li> <li>- Equipment management module</li> </ul>		
Environment	Normal condition(Remote control)		
Refined 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Onboard monitoring</li> </ul>		
Response	Navigation information transmission		
Response measure	1 sec		
Refined 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excess satisfaction : 0.25 sec</li> <li>- Satisfaction : 1 sec</li> <li>- Dissatisfaction : 5 sec</li> </ul>		
Related equipment	$N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15}$		
<b>Tactic</b>	<b>Sensitivity</b>	<b>Risk</b>	<b>Tradeoff</b>
Manage sampling rate	S1	R1	-
Maintain multiple copies of data	S2	-	-
Refined 4 Restrict communication path	-	-	-

Table 31은 Performance QA 중, NFR 2에 대한 선박조종 모듈 설계의 정제와 평가결과이다. 첫 번째 정제사항은 자극원에 대한 것으로 ISCC operator뿐만 아니라 본선선원의 조종 상황도 시나리오에 포함하여 자극원과 자극 사이의 정제 요소로 구체적인 상황을 정의하였다. 자극에 대해 육상으로부터의 조종명령과 플랫폼 컨트롤러의 조종명령으로 구분하였고, 대상은 통신관리 모듈과 선박조종 모듈, 그리고 실제 선속과 침로를 변경시키는 엔진과 조타장치의 Actuators로 내용을 상세화 하였다. 환경상황도 원격운항뿐만 아니라, 본선의 조종도 동일한 성능을 요구하도록 포함하였고, 응답측정의 만족 값을 비용적 분석이나 정량적 성능 달성을 평가 등에 참조할 수 있도록 제시하였다. 이는 시나리오의 활용성을 높이고 개발에 참고할 수 있도록 제시한 것이며, 운항자 관점의 요구 응답측정 값이다. 관련 항해장비는 침로변경에 따라  $N_1$ ,  $N_2$ 의 정보 확인이 요구된다. 조종에 직접적인 항해장비들은 아니지만 해당 장비들의 정보 표시도 응답측정 요구 시간보다 빠른 응답이 필요하다.

중개자를 거쳐 명령이 전달되는 아키텍처 구성은 아니지만, S선박조종 모듈의 Route management 기능이 명령전달의 지연이나 처리요구 인터페이스를 증가 시킨다면, 실시간 제어명령 적용의 기능요구 달성에 영향을 줄 수 있어 아키텍처의 민감점으로 분석되었다. 새로운 설계전술로 통신 경로 제한을 Route management 기능이동과 함께 적용하여 아키텍처 수정에 반영되어야 하며, 비인가자의 조종으로 발생할 수 있는 위험요소도 식별되었다. 트레이드오프는 신속한 조종을 위해 중재자가 없이 모듈 간 조종명령이 직접 구성되어 설계되었으나 모듈의 수정이나 확장에 있어 변경용이성과의 고려가 필요하다. 다음은 식별된 민감점, 위험 및 트레이드오프 요소이다.

- S3 : Ship control module 내 Route management로 인한 연산증가 영향
- R2 : Communication management module에서 비인가자의 조종명령 전달
- T1 : 성능과 변경용이성의 Tradeoff 고려

**Table 31** Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 2)

Items	Evaluation Result		
Module	Ship control		
Related NFR	NFR 2. Real time course & speed control		
Quality attribute	Performance		
Source of stimulus	ISCC remote operator		
Refined 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Onboard person</li> <li>- The situation where operator/onboard person requested course or speed change</li> </ul>		
Stimulus	Input course & speed		
Refined 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Send control order by communication</li> <li>- Input control order by Platform controller</li> </ul>		
Artifact	Navigational system platform		
Refined 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Communication management module, Ship control module</li> <li>- Actuators</li> </ul>		
Environment	Normal condition(Remote control)		
Refined 4	- Onboard control		
Response	Change course & speed		
Response measure	Minimum 0.25 sec		
Refined 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excess satisfaction : 0.1 sec</li> <li>- Satisfaction : 0.25 sec</li> <li>- Dissatisfaction : 1 sec</li> </ul>		
Related equipment	$N_8, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}$		
Refined 6	- $N_1, N_2$		
<b>Tactic</b>	<b>Sensitivity</b>	<b>Risk</b>	<b>Tradeoff</b>
Reduce computational overhead	-	R2	T1
Refined 7 Restrict communication path	S3	-	-

Table 32는 NFR 4의 통신 성능에 관한 것으로 LTE 수준의 통신 속도로 항해시스템플랫폼이 운영되어야 한다. 영상정보와 향상된 장비들의 고용량 데이터 처리를 위해 요구되는 품질속성이며, 해상통신 기술과 밀접하게 관련된다. 민감점 S4로 정의하였으며, 운항자 관점의 요구 중심으로 시나리오를 개선한 결과는 다음과 같다.

자극 대상은 위성통신장치(Satellite communication equipment)와 통신관리 모듈로, 해상통신환경에서 속도저하의 자극원이 발생한다면, 항해시스템플랫폼의 통신관리 모듈은 육상과 해상이 연결된 상태에서 통신 속도가 향상될 수 있도록 서비스 수준변경의 응답을 수행한다. 아키텍처에서는 위성통신장치와의 연결은 단일한 구조이며, 장치의 고장이나 동작 이상에 대한 대안이 없다. 이를 위험요소 R3으로 식별하였으며, 속도향상과 통신방식 변경을 위해 통신관리 모듈과 연결되는 외부통신장치의 이원화가 필요하다. 응답은 통신관리 모듈의 Communication status 기능이 작동하여 가장 적절한 통신방식을 선택적으로 연결하는 것이며, 응답측정 값을 만족해야 한다.

가용자원 증설(Increase available resources)이 설계전술로 채택되어 있지만 아키텍처에 반영되어 있지 않으므로 통신관리 모듈과 연결되는 추가 통신장비의 구성이 필요하다. 이 경우 S5 민감점에 있어 추가되는 장비의 연결은 통신관리 모듈 내 Communication status의 연산증가로 다른 기능들에 영향을 줄 수 있고, T2의 추가 구성에 따른 비용을 고려해야 한다. 최종적으로 다수 통신장치와의 연결과 처리는 부적절하지만, 위험요소와 성능을 만족하기 위해 추가적인 통신장치의 연결이 반드시 요구된다. 다음은 NFR 4의 평가 결과로 식별된 민감점, 위험 및 트레이드오프 요소들이다.

- S4 : Communication management module 내 Communication status의 연산 증가 영향
- S5 : 해상통신의 기술적 지원 가능성
- R3 : 위성통신 장치의 고장, 동작 이상 및 통신 불가
- T2 : 성능과 추가적인 위성통신장비 비용에 대한 Tradeoff 고려

**Table 32** Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 4)

<b>Items</b>	<b>Evaluation Result</b>		
Module	Communication management		
Related NFR	NFR 4. LTE(4G) level connectivity		
Quality attribute	Performance		
Source of stimulus	Environment of communication		
Stimulus	Degraded communication speed		
Artifact	Navigational system platform		
Refined 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Communication management module</li> <li>- Satellite communication equipment</li> </ul>		
Environment	Ship to shore Navigation system platform online		
Response	Change communication level		
Refined 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operation of communication status function</li> <li>- Most suitable communication connection</li> </ul>		
Response measure	Downlink speed = 100Mbps(Max) Uplink speed = 50Mbps(Max)		
Refined 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excess satisfaction : Downlink speed = 200Mbps(Max) Uplink speed = 100Mbps(Max)</li> <li>- Satisfaction : Downlink speed = 100Mbps(Max) Uplink speed = 50Mbps(Max)</li> <li>- Dissatisfaction : Downlink speed = 50Mbps(Max) Uplink speed = 10Mbps(Max)</li> </ul>		
Related equipment	Unspecified equipment		
<b>Tactic</b>	<b>Sensitivity</b>	<b>Risk</b>	<b>Tradeoff</b>
Increase available resources	S4, S5	R3	T2

## (2) Security 모듈 설계 평가

Table 33은 NFR 14에 대한 사항으로 비기능 요구사항의 설명이 QA를 파악하기 어려워, 설명에 대한 정제를 하였다. 기존 NFR 14. Security standards needed against cyber attacks에서 비인가자의 접속에 대한 완벽한 식별과 제한에 대한 시나리오로 변경하였다. 자극원도 상황에 대한 구체적 정제로서 비인가자의 선박 조종과 정보 이용 시도로 변경하고, 자극은 선박 조종 명령, 허용되지 않은 정보 열람 요청과 정보 조작으로 정제하였다. 응답은 조작과 열람을 거부하는 것 뿐 아니라 ISCC Operator에 알리거나, 승선선원이 그러한 시도 발생에 대해 인지할 수 있어야 한다. 아키텍처 상 대상은 통신관리 모듈과 항해모니터링 모듈로 한정되고, 통신관리 모듈에서 항해모니터링 모듈로의 보안정보가 전달되도록 수정이 필요하다.

관련 항해장비는  $N_4$ 와  $N_9$ 으로 플랫폼 내 구성은 아니지만, 안테나를 이용하여 정보를 수신하며 외부에서 정보를 변경하거나 조작할 가능성이 있다. 아키텍처에서 위협요소 R4에 대한 반영이 필요하다. 설계전술에서 공격탐지에 대한 R4의 요소뿐만 아니라 공격저항에 대한 R5도 고려되어야 한다. 여러 차례 시도로 사용자 인증이 해제되지 않도록 높은 수준의 인증절차와 반복 시도에 대한 식별이 필요하다. 일반적으로 보안과 사용성의 트레이드오프가 존재하지만, 원격운항 선박의 특수성과 항해안전의 가치를 평가하였을 때 보안 중요성이 높게 평가된다. 사용자 인증은 반드시 요구되는 통신관리 모듈의 설계전략이며, 공격의 전달은 이를 인지한 ISCC의 Operator 또는 선박의 운항자가 어떤 대응절차를 수행해야 하는지의 사전 정의가 필요하다. 다음은 NFR 14의 품질속성 시나리오에 대해 식별된 민감점, 위협, 트레이드오프 요소이다.

- S6 : 허가 받지 않은 접속시도의 알림 이후 대응자의 행동 프로세스 고려
- R4 :  $N_4$ ,  $N_9$ 에 대한 수신 정보조작 위협성
- R5 : 사용자 인증 실패로 인한 선박 조종과 정보의 이용에 따른 위협
- T3 : 인증과 확인절차로 인한 사용성 저하 Tradeoff

**Table 33** Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 14)

Items	Evaluation Result		
Module	Communication management		
Related NFR	NFR 14. Security standards needed against cyber attacks		
Refined 1	- NFR 14. Complete identification and restriction of unauthorized access		
Quality attribute	Security		
Source of stimulus	Unauthenticated user		
Refined 2	- Attempt to maneuver and use or manipulation information by unauthenticated users		
Stimulus	Manipulation of data or services		
Refined 3	- Requested course or speed change - Unacceptable navigation data request - Manipulation of information		
Artifact	All of Navigational system platform data and services		
Refined 4	- Communication management module - Navigation monitoring module		
Environment	Online ship to shore by Navigational system platform		
Response	Unmanaged data or services		
Refined 5	- Notice to ISCC or Onboard person		
Response measure	100% detection of unintended access		
Related equipment	Unspecified equipment		
Refined 6	- $N_4, N_9$		
Tactic	Sensitivity	Risk	Tradeoff
Intrusion Detection (Detecting attacks)	-	R4	-
Authenticate users (Resisting attacks)	-	R5	T3
Inform actors (React to attack)	S6	-	-

### (3) Availability 모듈 설계 평가

Table 34는 항해시스템플랫폼에 연결된 장비들의 Availability QA에 대한 모듈 설계 사항이다. 항해장비의 이상 작동과 정보오류 같은 비정상적 작동이 보이면 알려줄 수 있는 기능에 대한 것이지만, 결함에 대한 복구방법이 제시되어 있지 않다. 따라서 모듈 설계를 장비결합의 탐지 및 복구로 정제하고, 자극원은 항해장비로 수정되었다.

자극의 유형은 항해정보 누락(Omission) 또는 충돌(Crash)과 항해장비 자체의 무응답(No response) 상태이며, 자극의 대상은 장비관리 모듈과 항해장비로 정제하였다. 설계전략으로 상태의 이상을 확인하기 위한 생명신호(Heartbeat)를 사용하는 것은 서로 다른 프로세서 사이에서 유효하며, 플랫폼의 항해장비관리 모듈과 항해장비들의 처리는 각각 이루어지므로 적절한 결합인지 방법이다. 그러나 전체 항해장비 중  $N_3$ 과  $N_{14}$ 는 항해정보 생성이 아닌 저장과 통합 표시기능으로 관련 장비에서 제외된다. 장비 이중화를 통해 결합장치 발생 시 추가 장비로 대체가 가능하여야 하고, 전환 시 요구되는 소요시간은 운항자 관점에서 1분이다.

설계전술로 결합의 복구를 위한 항해장비의 이중화 활성이 요구되며, 원격운항에서는 선내 인원이 있더라도 24시간의 항해당직 유지가 불가하다. 결합으로 인해 항해장비의 고장 시 항해당직이 요구되므로, 원격운항을 위해 비용으로 인한 T4 트레이드오프 요소에 있어서 가용성이 우선되어야 한다. 결합의 복구에 대한 항해장비 이중화를 아키텍처에 반영해야 하며, 다음의 민감점, 위험, 트레이드오프 요소를 정의하였다.

- S7 : 다른 기능처리에 영향을 최소화한 Heartbeat 송수신의 적정 간격 설정
- S8 : 중복장비 활성화 이후, 결합장비의 복구 및 재시작 등의 절차요구
- R6 : 결합장비의 설정이 활성화된 장비에 재동기화 되지 않은 경우의 위험
- T4 : 항해장비들의 이중화로 인한 비용 증가 Tradeoff

**Table 34** Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 26)

Items	Evaluation Result		
Module	Equipment management		
Related NFR	NFR 26. Provides information on abnormal conditions (Such as device malfunction)		
Refined 1	- NFR 26. Fault detection and recovery on malfunction of navigational equipment		
Quality attribute	Availability		
Source of stimulus	Internal of Navigational system platform, Navigational equipment		
Refined 2	- Navigational equipment		
Stimulus	Fault of navigation data		
Refined 3	- Omission or crash of Navigation data - No response navigational equipment		
Artifact	Navigational equipment(FR 8. Equipment management)		
Refined 4	- Equipment management module - Navigational equipment		
Environment	All conditions		
Response	Notify the appropriate party and change to secondary equipment		
Response measure	1 min.		
Refined 5	- Excess satisfaction : 30 sec (Active redundancy) - Satisfaction : 1 min. - Dissatisfaction : 5 min.		
Related equipment	All equipment		
Refined 6	- $N_1, N_2, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{15}$		
<b>Tactic</b>	<b>Sensitivity</b>	<b>Risk</b>	<b>Tradeoff</b>
Heartbeat (Fault detection)	S7	-	-
Refined 7 Active redundancy (Fault recovery)	S8	R6	T4

#### (4) Modifiability 모듈 설계 평가

Table 35는 NFR 11의 Modifiability QA에 대한 모듈 설계 사항이다. 항해시스템 플랫폼의 중요 기능으로 장비들의 연결성 향상과 표준화에 관련되는 시나리오이므로, 항해장비의 연결과 작동에 대한 표준화로 정의되었다. 자극은 항해장비의 변경이나 중복장비 등에 대한 추가이며 대상은 장비관리 모듈과 항해장비로 수정되었다.

아키텍처 설계전술은 중재자 사용으로 장비들의 정보를 표준화하여 전달하도록 하고 있다. 현재 배치 아키텍처에서는 데이터베이스가 구성되어 있지 않지만, 장비관리 모듈이 항해장비와 데이터베이스 사이의 중재자 기능을 수행하도록 수정이 필요하다. 장비관리모듈의 세부기능으로 장비 표준화가 장비들로부터 수신한 메시지 형식과 프로토콜을 데이터베이스에 전달하기 적합한 형태로 변경한다. 하드웨어적인 연결로는 통신방식에 따라 게이트웨이를 별도로 구성하여 Adaptor를 제공하도록 아키텍처에 표시하여야 한다. 항해장비와 장비관리 모듈 사이의 직접적인 연결보다 Adaptor를 통해 다른 시스템에 대한 영향을 최소화하면서 추가적인 구성이나 장비의 변경이 가능하다. Adaptor의 변경영역 지역화(Localize modifications)를 통해 향상된 센서 및 장비의 추가가 전체 항해시스템 플랫폼의 변경이나 수정이 요구되지 않는다.

관련 항해장비 중  $N_3$ 는 항해시스템 플랫폼 디스플레이를 통해 그 기능 구현이 가능할 것으로, 독립적인 콘솔이나 장비의 유지 필요성에 대한 고려가 필요하다. 다음은 NFR 11 시나리오에 대해 정의한 민감점, 트레이드오프 요소이다.

- S9 : 중재자 사용이 결합성 강도를 감소시켜 변경비용 감소
- T5 : 중재자 사용으로 인한 성능 저하 발생의 Tradeoff
- T6 : 변경영역 지역화로 전체 시스템을 통한 통합관리 불가로 사용성 저하가 발생

**Table 35** Evaluation Result of Architecture Module Design(NFR 11)

Items	Evaluation Result		
Module	Equipment management		
Related NFR	NFR 11. Standardize all equipment manufacturer interfaces		
Refined 1	- NFR 11. Standardization of connection and operation of navigational equipment		
Quality attribute	Modifiability		
Source of stimulus	Navigational equipment		
Stimulus	Interface standardization requirements		
Refined 2	- Change of navigational equipment - Add navigational equipment		
Artifact	Navigational system platform(FR 4. Standardization)		
Refined 3	- Equipment management module - Navigational equipment		
Environment	Design and development phase		
Response	Make changes without affecting other function		
Response measure	Must not affect other systems		
Related equipment	All equipment		
Refined 4	- Except $N_3$		
<b>Tactic</b>	<b>Sensitivity</b>	<b>Risk</b>	<b>Tradeoff</b>
Use an intermediary	S9	-	T5
Localize modifications	-	-	T6

### 5.3 평가 반영 및 항해시스템플랫폼 적용

항해시스템플랫폼 아키텍처는 향후 시스템에 대해 전략적이고 장기적인 요구사항을 확정하는 수단이므로, 아키텍처의 결정은 지속적인 시스템의 운영 및 관리과정에서 추가적으로 발생할 수 있는 요구가 고려되어야 한다. 따라서 ATAM의 아키텍처 평가가 요구되는 것이며, 향후 발생 가능한 아키텍처적인 변화 가능성을 충분히 고려하여 아키텍처를 결정해야 한다. ATAM의 유틸리티 트리 작성과 아키텍처 모듈 설계별 평가결과를 반영하여 항해시스템플랫폼에 가장 적합한 최종 아키텍처를 정의하였다. 최종 아키텍처는 아키텍처 평가 결과의 정제와 아키텍처 개선 요구사항에 따라 재설계하였다.

#### 5.3.1 아키텍처 개선 요구사항

ATAM 평가에 따라 평가 참여자들의 아키텍처별 평가결과와 각 QA에 대한 모듈 설계를 통해 개선이 필요할 것으로 식별된 요구는 다음과 같다.

##### (1) 사용자 일반화

항해시스템플랫폼의 개발은 시간적인 제약을 갖는 프로젝트는 아니며, 향후 자율운항선박 관련기술 반영에 따라 변화 가능성이 매우 높다. 특히 사용자에 대한 정의는 ISCC의 Remote operator의 역할이 항해 업무만을 단독적으로 수행할 것인지, 시스템의 관리까지를 다루게 될 것인지 불확실하며, 선박회사의 직접적인 업무이다. 따라서 사용자 일반화를 통해 인증이 요구되는 사용자와 그렇지 않은 사용자로 일반화하여, 항해시스템플랫폼을 통해 사용하게 되는 기능을 중심으로 수정되어야 한다.

##### (2) Ship to ship communication

Ship to shore의 항해시스템플랫폼 통신은 고려되었지만, 아키텍처에서의 Ship to ship 통신 방법이 부재하다. 위성으로의 정보 교환보다 사용자 인증 과정 없이 지정된 항해정보를 인접 선박 간 송수신 하는 통신설계가 요구된다.

### (3) 항해장비 특성 반영

항해장비들과 항해장비관리 모듈의 연결에서 장비들의 특성을 고려한 연결 없이 전체 장비에 대한 연결로 구성되어, 연결성 측면의 향상된 기능 제공사항에 대한 항해시스템플랫폼 아키텍처 수정이 필요하다.

### (4) 항해시스템플랫폼 내 데이터베이스 구성

항해시스템플랫폼의 항해정보에 접근하는 모듈이나 사용자가 동시 다발적으로 발생하고, 정보 접근으로 인한 충돌이나 지연 문제가 예상된다. 설계전술 중 데이터베이스 구성을 통해 문제를 개선할 수 있으며, 항해시스템플랫폼 아키텍처가 수정되어야 한다.

### (5) 항해정보 전달 모듈 최소화

항해정보들이 여러 모듈을 거쳐 전달됨으로서 항해시스템플랫폼의 성능이 저하될 수 있다. 항해정보의 전달을 필요 모듈에 직접 연결하고, 모듈 사이에 중복으로 항해정보가 전달되지 않도록 아키텍처 수정이 요구된다.

### (6) 항해모니터링을 위한 컨트롤러

항해모니터링 모듈의 디스플레이가 배치 아키텍처에 제시되어 있으나, 모니터링 기능이라도 범위의 확대와 축소 및 정보의 전환 등 조작이 필요하므로 이를 위한 컨트롤러가 추가 구성 되어야 한다. 항해시스템플랫폼 컨트롤러가 본선에서의 특수 상황에 선박조종을 위해서만 구성되어 있다면, 모니터링과 기타 필요한 조작도 가능하도록 아키텍처가 수정되어야 한다.

### (7) 항해장비 이중화

NFR 26의 요구와 같이 항해장비들의 고장 및 이상 발생 시, 메인(Main)에서 서브(Sub)로 장비가 전환되기 위해서 추가적인 항해장비 연결 구성이 요구된다.

### 5.3.2 아키텍처 수정 및 재설계

아키텍처 개선 요구사항에 따라 유스케이스와 배치 아키텍처를 수정 및 재설계하여 항해시스템플랫폼의 최종적인 아키텍처로 제시하였다. 유스케이스와 배치 아키텍처의 주요 수정사항은 다음과 같다.

#### (1) 유스케이스 아키텍처

유스케이스 아키텍처에 대한 주요 수정사항은 사용자에게 대한 정의이다. 항해시스템플랫폼의 사용자가 구체적으로 제시되어 유스케이스가 복잡해지고, 사용자에게 대한 제한이 아키텍처 개발의 목적은 아니므로, 인증이 필요한 사용자와 그렇지 않은 사용자로 일반화 하였다. 유스케이스 아키텍처는 사용자들이 요구하는 기능들과 사용자의 연결을 표현하므로, 배치 아키텍처와 같이 플랫폼의 구성 모듈별로 구분하여 사용자와 유스케이스를 연결하는 것은 필요하지 않다. 사용자의 사용기능에 대한 표현이 수정되었으며, 교차되는 유스케이스 연결로 복잡한 관계도에서 보다 직관적인 아키텍처로 재설계 하였다. 유스케이스 아키텍처 수정 및 재설계 사항은 다음과 같다.

- NFR 14의 사이버 보안에 대한 설계전술로 사용자에게 대한 인증과 항해시스템플랫폼 기능에 대한 접근경로 구분
- 사용자들을 Remote operator와 Shipping company 및 Technician은 ISCC user로, Port authority와 Other ship은 External user로 일반화, External user의 경우 제한적인 항해상태 모니터링만 가능하도록 수정

아키텍처 및 모듈 설계 평가결과 요구사항을 반영하여 재설계한 유스케이스 아키텍처는 Fig. 37과 같다.

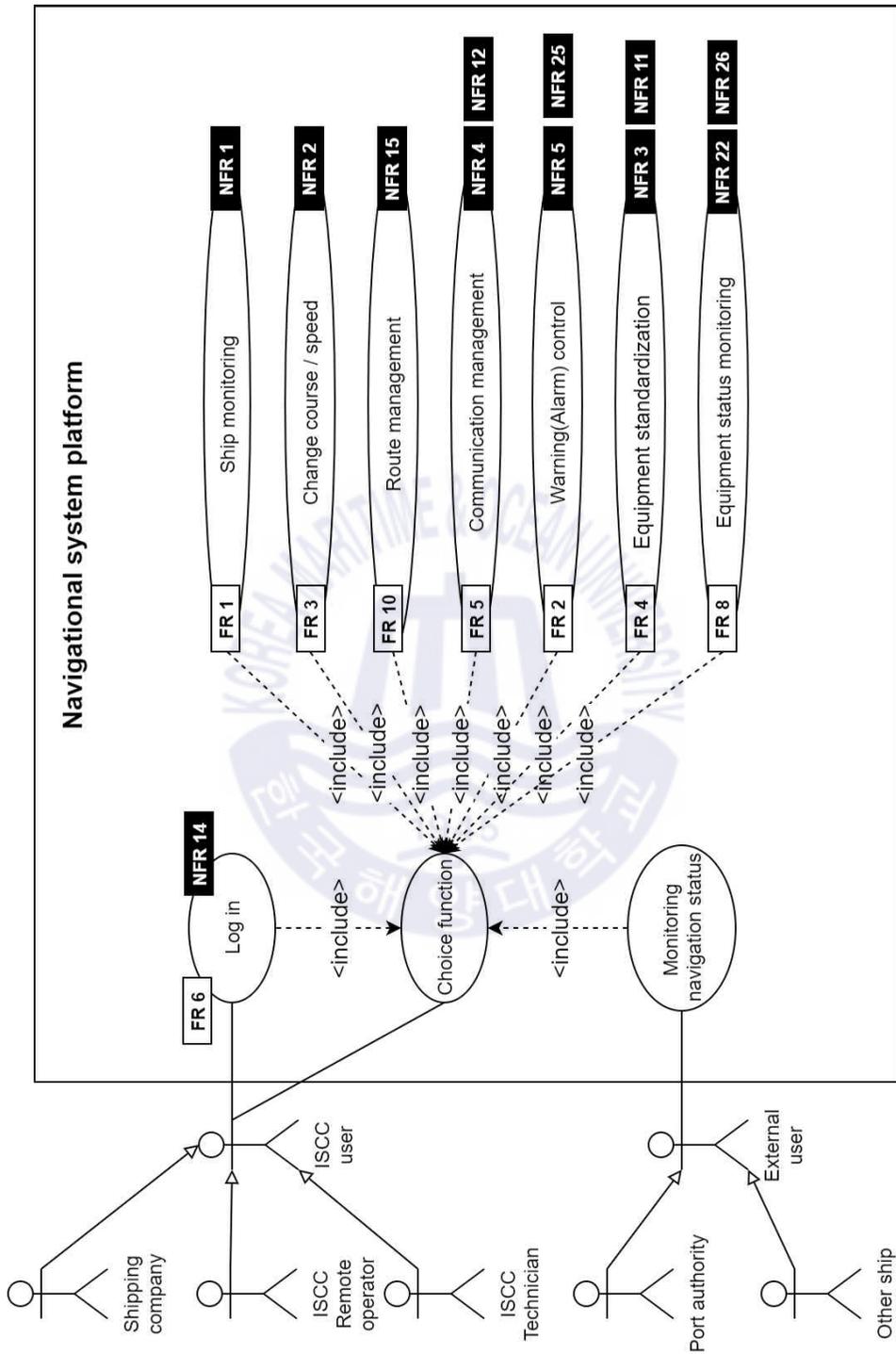


Fig. 37 Modified Usecase Architecture of Navigational System Platform

## (2) 배치 아키텍처

아키텍처 개선 요구사항에서 선박 간 통신 방법이 부재하여, 항해시스템플랫폼 정보가 타선과는 송수신 할 수 없기 때문에 Point to point 안테나를 통해 인접 선박 간 항해정보를 교환할 수 있도록 수정하였다. 항해시스템플랫폼 배치 아키텍처에 대한 수정 및 재설계 사항은 다음과 같다.

- NFR 2의 아키텍처 및 모듈 설계 중, 민감점 S3에 대해 선박조종 모듈의 Route management 기능을 항해모니터링 모듈로 이동하고 모듈명을 항해관리(Navigation management) 모듈로 변경
- 항해관리(Navigation management) 모듈의 Route management 기능 사용을 위한 플랫폼 컨트롤러 구성
- NFR 4의 아키텍처 및 모듈 설계 중, 위험요소 R2 대응을 위한 위성통신장치 이중화
- NFR 1의 아키텍처 및 모듈 설계와 개선 요구사항으로 정보전달 경로 제한과 속도향상을 위한 데이터베이스 적용
- 항해장비 중 항해시스템플랫폼의 디스플레이와 컨트롤러 구성에 따른 ECDIS기능의 항해관리 모듈로의 이동
- NFR 26의 아키텍처 및 모듈 설계 평가 결과에 따라 결함장비 발생 시, 기능 대체를 위한 항해장비 이중화
- NFR 11의 모듈 설계 중, 항해장비와 항해장비관리 모듈의 연결 간 Adaptor를 통한 다양한 장비 연결방식을 지원

아키텍처 및 모듈 설계 평가결과 요구사항을 반영하여 재설계한 배치 아키텍처는 Fig. 38과 같다.

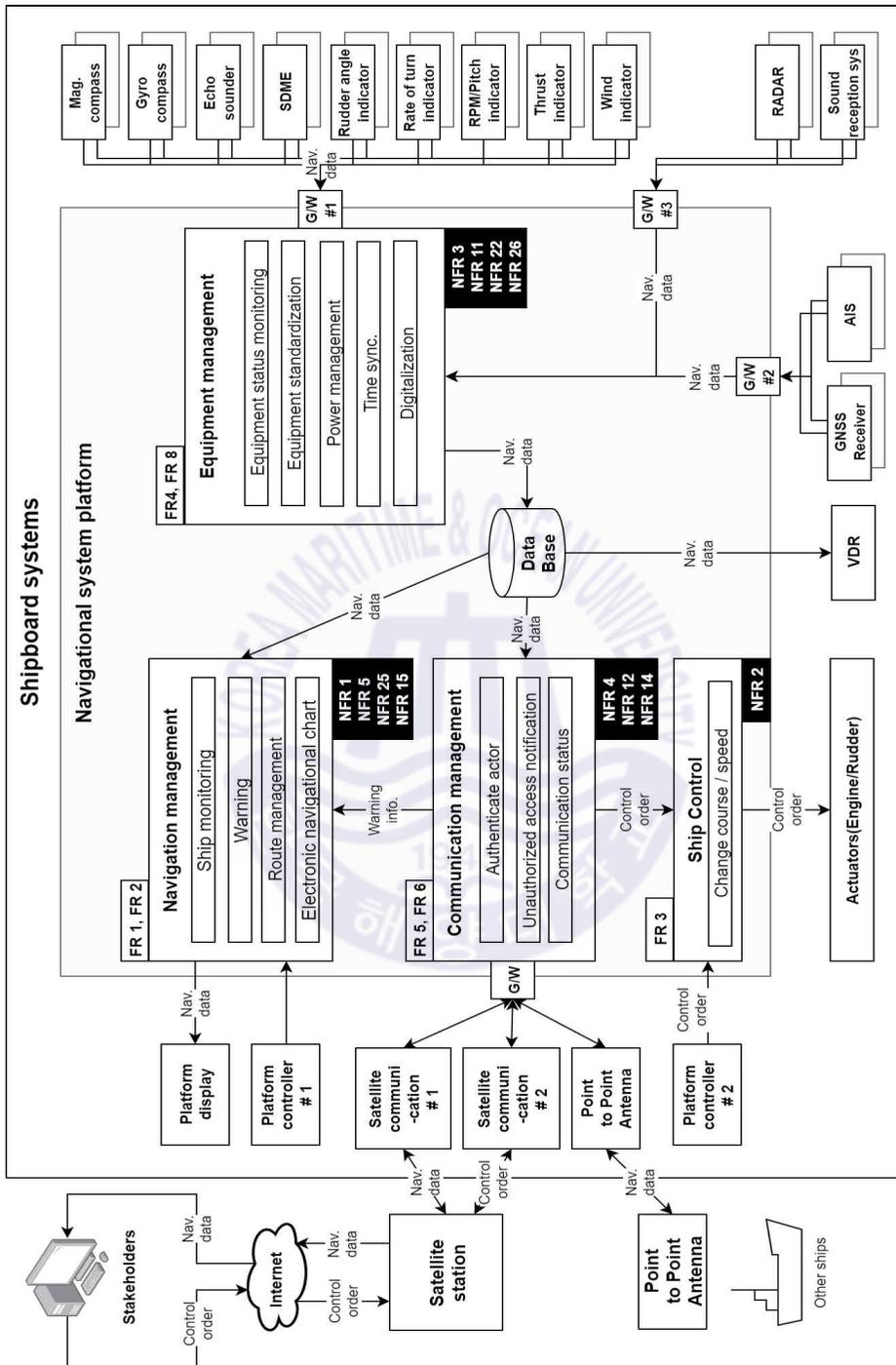


Fig. 38 Modified Deployment Architecture of Navigational System Platform

### 5.3.3 항해시스템플랫폼 적용

아키텍처 및 모듈 설계 평가를 통해 항해시스템플랫폼의 구성 기능 및 배치를 제시하였다. 운항자 관점에서 도출된 요구들과 현재 항해시스템의 개선요소들을 설계에 반영하였으며, 표준화가 가능하다는 전제에서 항해시스템플랫폼 적용의 장점 및 변화는 다음과 같다.

#### (1) 장비관리 및 연결성 향상

기존 장비와 장비간의 연결방식에서 장비와 플랫폼의 연결로 바뀌어, 연결케이블 감소뿐만 아니라 신규 장비 확장과 연결성을 향상시킨다. Fig. 39와 같이 플랫폼 통합 디스플레이와 컨트롤러를 통해 장비들마다 개별적인 콘솔의 설치 없이 항해장비의 확장이 가능하다. 새로운 항해장비 도입이나 신뢰성 향상을 위한 이중화도 플랫폼과 연결하여 공간적 제약 없이 적용이 가능하다. 데이터 네트워크뿐만 아니라 전원공급 케이블도 플랫폼을 거쳐 장비와 연결하여, 통합 전원관리와 전력사용 모니터링 시간동기화 등 장비관리가 가능해진다.

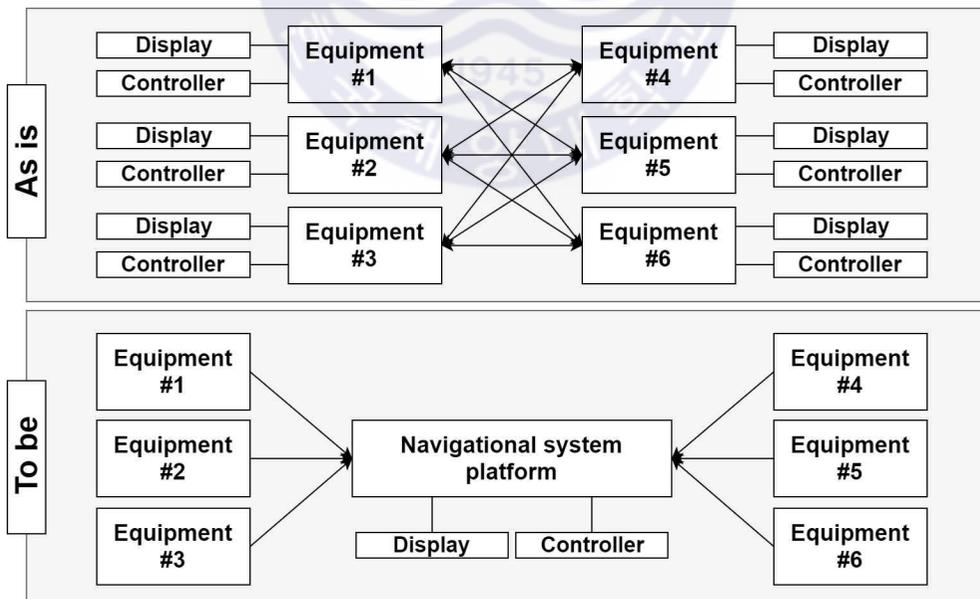


Fig. 39 Improve Equipment Management and Connectivity

## (2) 선교 배치 변화

항해시스템플랫폼의 통합 디스플레이와 컨트롤러 제공으로 각 항해장비들의 콘솔 배치가 요구되지 않는다. 현재 항해시스템을 배치하는 선교의 많은 공간은 항해장비들의 콘솔들이 차지하는데, 플랫폼 적용을 통해 공간적 제약이 개선된다. 또한 디스플레이와 인디케이터가 감소하고 원하는 정보를 한곳에서 확인하면 사용자 편의성도 향상된다. 디스플레이 또는 인디케이터와 같은 표시장치들은 크기와 형태는 다르지만 주요 항해장비  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}, N_{13}, N_{14}, N_{15}$ 에 모두 구성되어 있으며, ECDIS( $N_3$ ), GNSS 수신기( $N_4$ ), 레이더( $N_7$ )는 추가 배치된다. 이 경우 주요 항해장비만 18개 디스플레이나 표시장치가 구성되는데, 플랫폼의 통합 디스플레이를 3개로 구성하면 15개의 디스플레이 감소가 가능하다. 컨트롤러는  $N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{14}$ 의 장비에서 추가 배치까지 12개이며, 통합 컨트롤러 플랫폼 2개로 대체되면 10개가 감소된다. 항해시스템플랫폼의 디스플레이와 컨트롤러의 크기는 정의되지 않았으나 Fig. 40과 같이 선교 배치가 변화된다.

자율도에 따라 선교의 공간은 제한되거나 필요하지 않을 수 있으며, Fig. 39 하단의 항해시스템플랫폼 적용 선교배치는 원격운항 수준에서 선내 선원이 승선하는 경우를 가정한 것이다. 자율운항선박 자율도 3이상에서는 선내 통합 디스플레이와 컨트롤러가 완전히 요구되지 않거나 유지 보수 등을 위해서만 간소화하여 구성될 수 있다.

## (3) 데이터베이스 기반의 서비스 확장

항해장비들의 데이터를 플랫폼이 데이터베이스로 수집하여, 빠른 정보 이용과 VDR로의 항해정보 기록뿐만 아니라, 다양한 서비스를 개발 적용하게 된다. 현재 항해시스템에는 항해장비들과 연결하여 정보를 표시하는 기능의 장비만 있어, 선상정보 기반의 정보융합이나 빅 데이터 분석 및 예측을 위해서는 추가적인 장비나 컴퓨터의 설치 또는 육상으로의 정보 전달을 통해 분석된 결과를 이용해야 한다. 이로 인한 시간지연이나 추가 장비들로 인한 공간제약, 통신용

량 등 문제들을 항해시스템플랫폼 데이터베이스를 이용하여 정보융합 및 빅 데이터 분석을 처리할 수 있다. 선박의 개별 장치들은 성능상 한계가 있기 때문에, 항해시스템플랫폼의 데이터베이스에 수집된 정보들을 융합해 새로운 가치의 정보로 전환하게 되면 향상된 결과와 성능상의 한계를 개선할 수 있다. 선내 데이터베이스 이용은 빠른 처리가 가능해, 충돌회피와 같은 시간적 제약이 관련되는 기능에 적합하다. 이 외에 Route management 기능 및 의사결정 지원 등 다양한 서비스들이 항해시스템플랫폼 데이터베이스를 기반으로 확장된다.

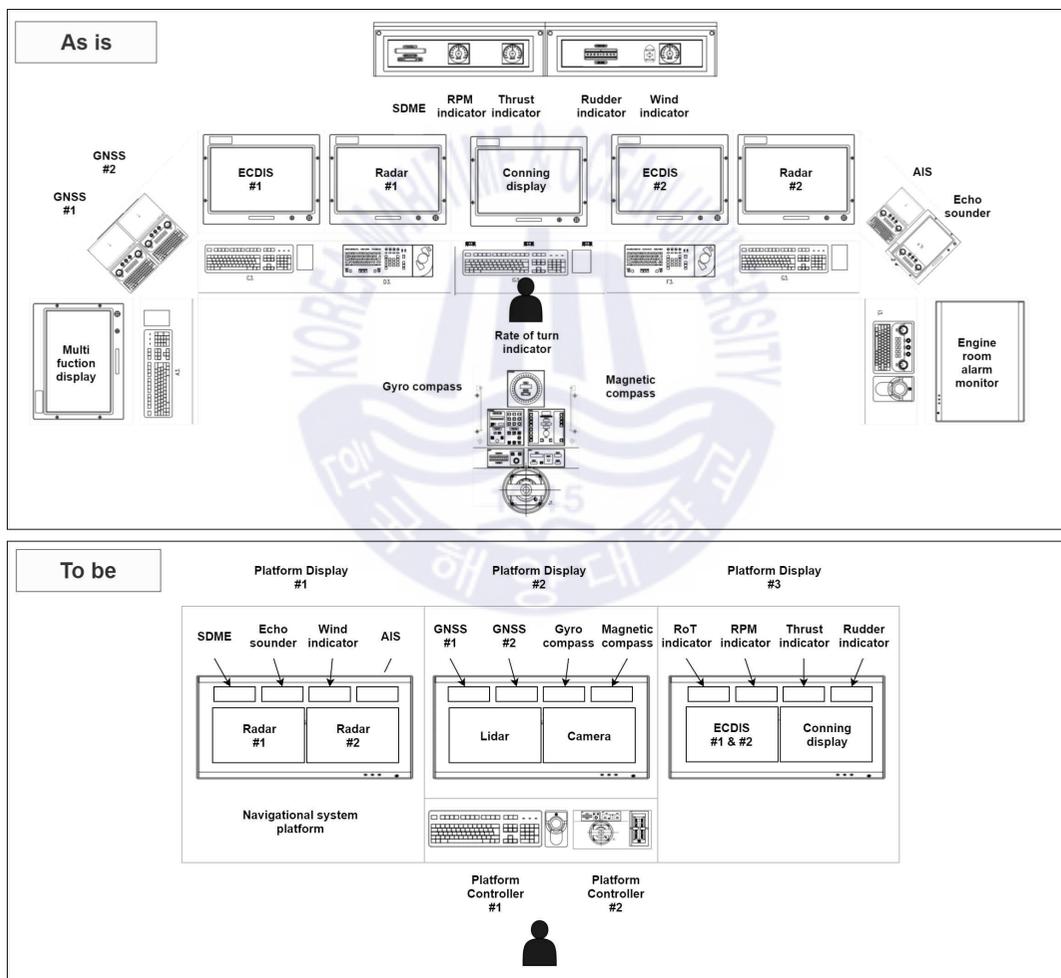


Fig. 40 Changes in Bridge Navigational Equipment Arrangement

#### (4) 항해장비 개발환경 전환

항해시스템플랫폼의 표준화를 통해 항해장비 제조사들은 센서 및 안테나, 디스플레이와 컨트롤러, 처리장치, 통신장치 등 콘솔형태의 종합적인 하드웨어 개발에서 센서와 처리장치 같은 핵심기술의 하드웨어 개발로 전환된다. 현재 항해장비들은 기능변경이나 확장이 필요한 경우에 센서부터 선교의 콘솔까지 전체적인 교체가 이루어져야 하지만, 항해시스템플랫폼의 적용 선박은 확장이 필요한 센서나 처리장치만을 교체하거나 기능변경 및 확장을 위한 S/W의 업그레이드만으로 가능하다. 항해장비 제조사는 이를 통해 센서 및 핵심기술 개발에 전념할 수 있고, 사용적인 편의성 향상을 S/W 업그레이드를 통해 제공할 수 있다. 항해장비들도 전용장비들로 구성되거나 사용이 가능한 것이 아니라 다양한 제조사와 제품을 항해시스템플랫폼과 연결하여 범용적으로 사용 가능하다.

#### (5) 항해시스템플랫폼 중심의 사이버 보안 강화

장비와 장비간의 데이터 전송 및 선내 네트워크 취약으로 인해 현재의 항해시스템은 사이버 보안강화가 요구된다. 그러나 항해장비들의 사이버 보안이 개별적으로 강화된다면, 각기 다른 방법의 보안수단과 수준 등으로 인해 일괄적인 관리가 어려워진다. 항해시스템플랫폼에 항해장비들을 연결하고, 각 장비들의 보안특성을 고려한 연결 Adaptor와 게이트웨이 배치를 통해 장비에 대한 물리적 차단, 전원정지 및 통신 중지가 가능하다. 플랫폼을 중심으로 장비들의 보안수단과 수준 등을 정의하고, 데이터베이스 접근자에 대한 인증을 통해 S/W적인 대응도 가능하며, 전체 시스템 보안도 항해시스템플랫폼 중심으로 관리 유지된다.

## 제 6 장 결론

본 연구는 자율운항선박의 연결성 향상과 원격운항 및 새로운 서비스 제공을 위한 개발환경 구성의 필요성을 배경으로, 선내 개별 장치들을 하나로 연결하고, 수집된 정보기반의 서비스와 응용시스템 제공 및 보안 관리가 가능한 플랫폼 아키텍처 개발을 수행하였다. 독립된 시스템과 장비들로 구성된 현재의 선박을 원격으로 조종하거나 필요한 정보를 육상에서 확인하기 위해서는 플랫폼을 이용한 선내 장비와 시스템, 네트워크 통합이 필요하다. 때문에 국내외 다양한 자율운항선박 프로젝트들이 선박용 플랫폼을 개발하였거나 개발 중이지만, 국제적으로 표준화된 플랫폼은 없으며, 개발을 위한 기술적 접근방법도 제시되어 있지 않다.

선박 플랫폼과 관련된 선행연구 및 프로젝트들을 분석한 결과, 특정해역에서만 운항되거나, 프로젝트 개발 컨셉에 따라 자율운항선박 기능들이 다양하게 구현되어 국제적 표준화가 어렵고, 개발과정과 사용자의 요구반영 및 전체적인 플랫폼에 대한 상세정보가 부재한 것을 확인하였다. 따라서 자율운항선박을 개발하는 다양한 프로젝트와 개발자들은 참조할 수 있는 플랫폼이나 정보가 부재하고, 사용자들이 요구하는 기능과 성능에 대한 기준이 제각기 달라, 불필요하거나 성능 및 품질이 낮은 기능들로 플랫폼이 구성되는 문제점이 있다. 플랫폼 개발 이후에는 간단한 기능이나 성능의 변경에도 많은 비용과 시간이 소모되기 때문에, 사용자들의 요구는 개발초기에 반영될 필요성이 있다.

선행연구의 문제점을 개선하기 위해 본 논문은 자율운항선박 플랫폼의 상용화와 표준화를 위한 기술적 접근방법을 제시하고, 사용자 관점이 플랫폼 개발에 반영될 수 있도록 S/W 아키텍처 이론을 적용한 개방형 플랫폼 아키텍처 개발을 목적으로 하였다. 자율운항선박의 전체 플랫폼 개발은 사용자 관점이 광범위하고, 관련된 선내 시스템과 장비들도 다수이므로 사용자 요구반영을 위한 S/W 아키텍처 이론 적용에 적절한 항해시스템플랫폼으로 대상을 한정하였다. 항해시스템은 인적요소가 구성 장비 및 시스템들을 연결하고 있어, 사용자들의 기능과 성능에 대한 요구반영이 가장 필요한 시스템으로 분석되었고, 기존 선

박 플랫폼들과의 차별되는 설계요소로 원격운항을 위한 아키텍처를 개발하고 평가하도록 연구범위를 설정하였다.

항해시스템플랫폼 아키텍처 개발을 위한 연구방법은 S/W 아키텍처 설계 이론 중, 이해관계자 중심의 품질속성 워크숍(QAW; Quality Attribute Workshop)과 아키텍처 트레이드오프 분석기법(ATAM; Architecture Tradeoff Analysis Method)을 적용하였다. QAW는 아키텍처 개발을 위한 요구분석에 사용되었고, ATAM은 개발된 아키텍처의 평가과정에서 수행하였으며, 연구방법이 적용된 과정과 도출된 내용은 다음과 같다.

개발대상 플랫폼의 기능 정의를 위해 선행연구 및 기술동향, 항해시스템 분석을 통해 아키텍처 개발을 위한 필수 기능요구사항을 도출하였다. 먼저, 항해시스템 개선요소로 항해장비들의 시간 동기화, 통합 전원관리, 네트워크 구조개선과 디스플레이와 컨트롤러의 플랫폼 통합이 식별되었다. 기존 선박 플랫폼과 차별성 및 항해시스템플랫폼의 필수 기능으로 연결성, 디지털화, 표준화, 통합, 확장성, 보안의 여섯 가지 항목을 정의 하였다.

항해시스템플랫폼의 사용자, 운항자의 기능요구사항과 비기능 요구사항의 설계요인 도출을 위해 QAW를 실시하였다. 운항자 관점의 요구를 설계에 반영하기 위해 8인의 선박운항 경력이 있는 각 분야 이해관계자가 참여하여 32개 비기능 요구사항을 도출하였다. 개발에 가장 우선적으로 반영이 필요한 비기능 요구사항을 중요도와 구현성에 따라 우선순위화 하여 12개 중요 품질속성(QA, Quality attribute)으로 정의하였다. 다음으로, 항해시스템플랫폼 아키텍처에 중요 QA들과 관련되는 항해장비들의 데이터 입력방식, 기능, 관련 항해업무에 대한 정보를 제공할 수 있도록 각 분류별로 코드화하였다. QAW를 통해 자율운항 선박 항해시스템플랫폼의 기능요구사항과 비기능 요구사항을 시간과 수치로 정의하였으며, 이해관계자 간 협의를 통해 구체적 결과를 도출하였다.

QAW 결과와 항해장비 코드화를 중요 QA에 반영하여 항해시스템플랫폼 아키텍처 모듈을 설계하였다. 아키텍처 모듈 설계서에는 항해시스템플랫폼의 구성 모듈에 성능을 수치와 시간으로 제시하고 아키텍처 설계에 필요한 근거를 포함

한다. 구성 모듈의 요구성능을 적용하여 항해시스템플랫폼의 유스케이스 뷰와 배치 뷰 아키텍처를 개발하였다.

항해시스템플랫폼 아키텍처의 평가는 QAW와 동일하게 8명의 평가자가 참여하여 ATAM 절차에 따라 실시하였다. 평가의 대상은 QAW에서 도출된 비기능 요구사항들의 우선순위화 결과와 모듈 설계서, 항해시스템플랫폼의 유스케이스 뷰와 배치 뷰 아키텍처이며, 그 결과가 유틸리티 트리와 수정된 모듈 설계서 및 아키텍처 수정요구사항으로 제시되었다. 품질속성 시나리오에 포함된 항해장비 코드화 정보는, ATAM 과정에서 참여자들이 내용을 더욱 명확하게 이해하고 문제점을 식별하는 근거로 이용되었다. ATAM을 통해 아키텍처에서 발생할 수 있는 문제점이나 위험요소를 파악하기 위한 시나리오와 설계 접근방법을 평가하였으며, 개선사항을 적용해 최종적인 항해시스템플랫폼 아키텍처가 개발되었다. 표준화가 가능하다는 전제에서 개발된 항해시스템플랫폼 적용의 장점 및 변화는 다음과 같다.

첫째, 장비와 장비 간 연결방식에서 장비와 플랫폼의 연결을 통해 관리 및 연결성이 향상된다. 독립된 항해장비들이 플랫폼을 중심으로 연결됨으로서 정보통합과 전원, 시간동기화 및 사이버 보안 등 다양한 관리가 일원화된다.

둘째, 콘솔 없이 항해장비들을 이용하게 된다. 항해시스템플랫폼에 항해장비들과 센서가 연결되고 통합된 디스플레이와 컨트롤러를 이용하여, 정보를 모니터링하거나 선박조종이 가능해지므로 항해장비별 콘솔이 필요하지 않다.

셋째, 항해시스템플랫폼 데이터베이스를 이용한 다양한 기능 및 서비스 확장이 가능하다. 항해장비들의 정보를 데이터베이스에 수집하고, 이를 기반으로 충돌회피, 최적항로, 의사결정 지원 등 인공지능 및 빅 데이터 기반의 다양한 기능과 서비스를 구성하여 제공할 수 있다.

항해시스템플랫폼의 국제 표준화와 적용은 자율운항선박 구현의 과정에서 원격운항을 위한 기능들을 제공하고, 선교의 공간적 제약 및 향상된 센서와 장비 확장에 필수적이다. 자율운항선박에 특정 항해장비가 요구되지 않고, 개방적인 플랫폼 구성을 기반으로 범용적인 모델과 제품을 연결하여 사용할 수 있다. 결

과적으로 항해시스템플랫폼의 적용은 제조사와 개발자들에게 개별 항해장비 또는 센서의 향상과 데이터베이스 기반의 새로운 서비스 영역 모두에 있어 표준화된 개발환경과 자율운항선박 적용을 위한 기술적 접근방법을 제공한다.

연구결과와 같이 본 논문은 자율운항선박 플랫폼 개발에서 사용자의 관점을 반영하기 위해 연구를 수행하였고 표준화와 상용화를 위해 오픈 플랫폼 아키텍처를 개발하여 기술적인 접근방법을 제시하고자 한 것에 그 의의가 있다. S/W 아키텍처 개발과정을 적용하여 플랫폼 개발의 단계적인 접근 방법을 제시할 수 있었으며, 이해관계자들의 이해를 돕고 개발공정에 필수적인 밑그림을 효과적으로 제시하였다. 연구방법에 있어, 항해 경험이 있는 사용자 관점의 요구가 반영되도록 설문과 인터뷰가 아닌 운항자 중심의 QAW를 실시하여 전문적이고 구체적인 결과를 도출한 점은 S/W 아키텍처 설계 이론을 응용한 독창적인 접근방법이다. 연구에서 제안된 개발과정을 참조하여 자율운항선박 플랫폼의 사용자로 예상되는 이해관계자가 설계과정에 참여하고, 아키텍처 평가에도 사용적 관점을 반영한다면, 개발대상의 품질과 성능향상에 도움이 될 것이다.

향후 연구과제로, 선종과 화물 및 운항해역에 따른 차별성을 항해시스템플랫폼에 개선요소로 적용하여, 아키텍처를 수정 보완하는 반복적 재설계가 필요하다. 또한 S/W 아키텍처 이론에 적합한 연구범위로 항해시스템플랫폼 개발에 제한하였으나, 항해시스템 외에 기관시스템, 화물관리시스템 등의 플랫폼 개발이 확장적으로 필요하고 이를 통합하여 자율운항선박 전체 플랫폼으로 구성하기 위한 연구가 필요할 것이다. 플랫폼 개발 이후 사용성과 범용성 확보를 위해서는 시제품 기반의 실선검증뿐만 아니라 기술동향과 관련 표준들을 반영하여 개방형 플랫폼이 국제 표준화되어야 한다. 따라서 자율운항선박 플랫폼의 국제 표준화를 위한 연구도 아키텍처 개발과 함께 이루어져야 한다.

## 참고문헌

- [1] 고현희, 2005. *아키텍처 접근법 선정을 위한 평가 방법이 통합된 설계 방법론*. 박사학위논문. 서울: 숙명여자대학교.
- [2] 김경원, 박종빈, 금승우, 임태범, 윤경로, 2015. 사물인터넷 기반 스마트 홈 서비스 프레임워크 기술. *방송과 미디어*, 20(3), pp.54-65.
- [3] 김상욱, 2015. *시스템의 본질과 시사점* [Online] Available at: <http://contents.kocw.or.kr/KOCW/document/2015/chungbuk/kimsanguk1/4.pdf> [Accessed 20 December 2019].
- [4] 김순태, 2012. 아키텍처 전술 지식 기반을 사용한 정량적 아키텍처 전술 선택 기법. *정보과학회논문지:소프트웨어 및 응용*, 39(9), pp.703-713.
- [5] 김재양, 정선태, 임준석, 박종원, 홍기용, 임용곤, 2005. 디지털 선박을 위한 선박 통합화 네트워크 설계 및 구현. *한국정보통신학회논문집*, 9(6), pp.1202-1210.
- [6] 김정민, 강성원, 이지현, 2015. 문제틀과 아키텍처 패턴의 매칭을 이용한 소프트웨어 아키텍처 설계 방법. *정보과학회논문지*, 42(3), pp.341-360.
- [7] 김진태, 양원석, 정창해, 박수용, 2006. 아키텍처 모델링을 위한 요구사항 정량화 기법. *정보과학회논문지:소프트웨어 및 응용*, 33(1), pp.58-69.
- [8] 대우조선해양, 2018. *클라우드 기반의 스마트 쉽(Smart ship) 프로젝트* [Online] (Updated 19 December 2018) Available at: [https://www.slideshare.net/n\\_cloudplatform/smart-ship-naver-cloud-platform-industry-day-126265716](https://www.slideshare.net/n_cloudplatform/smart-ship-naver-cloud-platform-industry-day-126265716) [Accessed 20 December 2019].
- [9] 박종원, 임용곤, 윤창호, 김옥수, 이정우, 정한나, 2011. 선박의 디지털 인터페이스 표준화 현황 및 연동조건 분석. *대한조선학회 논문집*, 48(6), pp.490-500.
- [10] 삼성중공업, 2017. *삼성중공업 스마트 A/S* [Online] (Updated 10 January 2018) Available at: [https://www.youtube.com/watch?v=fAXz\\_hhpb0s](https://www.youtube.com/watch?v=fAXz_hhpb0s) [Accessed 20 December 2019].

- [11] 성영조, 2016. *오픈플랫폼(Open platform)의 개요 및 사례* [Online] (Updated 7 January 2016) Available at: <https://www.slideshare.net/youngjoseong/open-platform-56776348> [Accessed 20 December 2019].
- [12] 소프트웨어 공학센터, 2011. *SW 아키텍처 설계 지침 : 실무적으로 접근한 아키텍처 설계 수행 지침 Software Architecture Design Guideline : Architectural design guidelines for approaching in practice*, 정보통신산업진흥원 부설 소프트웨어 공학센터.
- [13] 이성형, 김재현, 문경덕, 이광일, 박준희, 2013. 선박 통합 네트워크 구조 성능 분석. *한국통신학회논문지*, 38(3), pp.247-253.
- [14] 이승훈, 2019, *플랫폼의 생각법*, 한스미디어.
- [15] 이현, 이동규, 이장명, 2010. CAN을 기반으로 하는 선박 엔진 상태 모니터링 시스템. *제어로봇시스템학회 2010년도 ICROS 학술대회 논문집*, pp.705-709.
- [16] 이현균, 2019. *자율운항선박 운항 관련 책임에 관한 연구*. 박사학위논문. 서울: 고려대학교.
- [17] 이호원, 기석철, 2018. 초소형 전기차를 이용한 개방형 자율주행 플랫폼 개발. *한국자동차공학회논문집*, 26(4), pp.449-456.
- [18] 정성훈, 심준환, 최관선, 2018. 스마트 자율운항선박(MASS)의 공통플랫폼 기술. *한국정보기술학회 2018년도 하계공동학술대회*, pp.442-445.
- [19] 정창해, 양원석, 박수용, 2005. 아키텍처 모델링을 위한 유스케이스 기반의 요구사항 정량화 기법. *한국정보과학회 학술발표논문집*, pp.370-372.
- [20] 정희룡, 장형준, 송영은, 2019. 대형 무인 선박의 자율운항 기술 개발동향. *제어로봇시스템학회 논문집*, 25(1), pp.76-87.
- [21] 조정희, 전영미, 김지훈, 2014. 품질속성을 고려한 무인기 지상통제체계 소프트웨어 아키텍처 설계. *한국항공우주학회 학술발표회*, pp.720-723.

- [22] 조소현, 2019. *시스템 다이내믹스를 이용한 자율운항선박의 기술발전에 따른 한국해양산업인력의 규모와 구조 변화에 대한 연구*. 박사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [23] 하나금융경영연구소, 2011. *과잉선박에 따른 해운업 리스크 분석 Analysis on Risks Faced by Shipping Business from Excessive Shipping Capacity*, 하나금융그룹 하나금융경영연구소.
- [24] 하연철, 2007. *디지털 선박을 위한 선박 내 무선 센서 네트워크 시스템 설계 및 구현에 관한 연구*. 박사학위논문. 창원: 창원대학교.
- [25] 하원재, 2003. *인간공학적 요소를 고려한 연안 선박의 선교 설계 및 배치에 관한 연구*. 박사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [26] 한경수, 한상철, 박정호, 2013. 조선 해양플랜트에서의 IT융합 적용. *기계저널*, 53(11), pp.48-53.
- [27] 한국전자통신연구원, 2013. *조선·IT 융합기술 표준화 동향 Standardization Activities for Ship·IT Convergence Technology*, 한국전자통신연구원.
- [28] 한국정보통신기술협회, 2011. *선박표준네트워크의 국내 기술동향*, 경기: 한국정보통신기술협회.
- [29] 한국정보통신기술협회, 2018. *자율운항선박 개발 동향 분석*, 경기: 한국정보통신기술협회.
- [30] 한국해양수산개발원, 2016. *우리나라 선박의 친환경기술 적용 확대방안 Study on the Policy for Enlargement Application of Eco-friendly Technology for Korean Ships*, 부산: 한국해양수산개발원.
- [31] 한국해양수산개발원, 2018. *자율운항선박 도입 관련 대응정책 방향 연구 A Study on the Policy Directions related to the Introduction of Maritime Autonomous Surface Ship(MASS)*, 부산: 한국해양수산개발원.
- [32] 현대중공업, 2016. *빅데이터 활용한 스마트십 오션링크 개발* [Online] (Updated 25 May 2016) Available at: <https://news.join.com/article/20075674>

- [Accessed 20 December 2019].
- [33] Alan, A., 1993. *Software Requirements: Objects, Functions, and States*. 2nd Ed. PTR Prentice Hall.
- [34] Artur, Z. et al., 2018. Survey on Communication and Networks for Autonomous Marine Systems. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 95(3-4), pp789-813.
- [35] Asle, S., 2018. *The first ever zero emission, autonomous ship* [Online] (Updated 14 March 2018) Available at: <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/> [Accessed 20 December 2019].
- [36] Bass, L., Clements, P. & Kazman, R., 2013. *Software Architecture in Practice*. 3rd Ed. Acorn publishing.
- [37] Clements, P., Kazman, R. & Klein, M., 2002. *Evaluating Software Architectures: Methods and Case studies*. 1st Ed. Pearson Education.
- [38] Clements, P. et al., 2010. *Documenting Software Architectures: Views and Beyond*. 2nd Ed. Pearson Education.
- [39] DNV-GL, 2015. *The ReVolt, A new inspirational ship concept* [Online] Available at: <https://www.dnvgl.com/technology-innovation/revolt/index.html> [Accessed 20 December 2019].
- [40] Duru, O., 2010. Theory of shipping productivity revisited : Industrial revolution, ship technology and shipping freight rates. *Proceedings of The Japanese Society for the History of Economic Thought Conference*, pp.167-172.
- [41] Ehsan, A., Marzieh, B. & Fatemeh, A., 2011. Analysis of Quality Driven Software Architecture. *Proceedings of International Conference on Innovative Computing Technology(INCT) 2011*, pp.1-14.

- [42] Frank, B., Regine, M. & Hans R., 1996. *Pattern-Oriented Software Architecture, Volume 1: A System of Patterns*. 1st Ed. John Wiley & Sons.
- [43] Im, I.K., Shin, D.R. & Jeong, J.P., 2018. Components for Smart Autonomous Ship Architecture Based on Intelligent Information Technology. *Proceedings of The 15th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing(MobiSPC 2018)*, Elsevier, Procedia Computer Science, Volume 134, pp.91-98.
- [44] JSMEA, 2018. *Maritime Industry Revolution Through Big Data & IoT Technology-Smart Ship Application Platform* [Online] Available at: <https://www.jsmea.or.jp/ssap/> [Accessed 20 December 2019].
- [45] Jeon, D.K. and Lee, Y.W., 2014. A Ship Area Network with WiMedia Wireless Gateway Applying a Cooperative Transmission. *Journal of Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 7, no. 23, pp.1235-1243.
- [46] Leffingwell, D., 1997. *Calculating Your Return on Investment from More Effective Requirements Management* [Online] Available at: <http://www.rational.com/products/whitepapers> [Accessed 20 December 2019].
- [46] MTI, 2017. *Digitalization in Shipping* [Online] Available at: [https://www.slideshare.net/MTI\\_Japan/digitalization-in-shipping-current-status-and-way-forward](https://www.slideshare.net/MTI_Japan/digitalization-in-shipping-current-status-and-way-forward) [Accessed 20 December 2019].
- [47] Marko, H., 2019. Connectivity manager: Ensuring robust connections for autonomous ships. *Proceedings of International Conference on Intelligent Autonomous Systems*, Singapore.
- [48] Marko, H., Huusko, J., Kiviranta, M., Solberg, K. & Rokka, J., 2017. Connectivity for autonomous ships: Architecture, use cases, and research

challenges. *Proceedings of 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC)*, Jeju, pp.345-350.

- [49] Michelle, F., 2014. *Samsung Smart Home platform brings connected home under one app's roof* [Online] (Updated 5 January 2014) Available at: <https://www.techRADAR.com/nz/news/phone-and-communications/mobile-phones/samsung-smart-home-platform-brings-the-connected-home-under-one-app-s-roof-1212140> [Accessed 20 December 2019].
- [50] Mike, S., 2018. *Fully-Autonomous Ferry Demonstrated in Northern Europe* [Online] (Updated 3 December 2018) Available at: <https://gcaptain.com/another-fully-autonomous-ferry-demonstrated-in-northern-europe/> [Accessed 20 December 2019].
- [51] MUNIN, 2016. *MUNIN(Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks)' s Methodology* [Online] Available at: <http://www.unmanned-ship.org> [Accessed 20 December 2019].
- [52] Rolls-Royce, 2018. *Rolls-Royce and Finferries demonstrate world' s first Fully Autonomous Ferry* [Online] (Updated 3 December 2018) Available at: <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx> [Accessed 20 December 2019].
- [53] Schwab, K., 2016. *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond* [Online] Available at: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab> [Accessed 20 December 2019].
- [54] Yara International, 2018. *The first ever zero emission, autonomous ship* [Online] (Updated 14 March 2018) Available at: <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/> [Accessed 20 December 2019].