

## 스마트선박 플랫폼을 활용한 실운항 데이터 분석 연구

강진희\* · 이현호\*\* · 이원주\*\*\*† · 이인호\*\* · 김재우\*\* · 박정희\*\*\*\*

\*, \*\* 삼성중공업 선박해양연구센터, \*\*\* 한국해양대학교 기관공학부, \*\*\*\* 충남대학교 컴퓨터공학과

## Analysis of Real Ship Operation Data using a Smart Ship Platform

Jin-Hui Kang\* · Hyun-Ho Lee\*\* · Won-Ju Lee\*\*\*† · In-Ho Lee\*\* · Jae-Woo Kim\*\* · Cheong-Hee Park\*\*\*\*

\*, \*\* Ship and Offshore Performance Research Center, Samsung Heavy Industries, Daejeon, Korea

\*\*\* Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

\*\*\*\* Dept. of Computer Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

**요 약** : 최근 조선 해운 산업 분야에서 큰 관심을 보이고 있는 자율운항선박의 현실화를 위해서는 선박의 운항 상태를 육상에서 효과적으로 확인하고 진단할 수 있는 기술이 필수적으로 뒷받침되어야 한다. 본 논문에서는 선박 운항데이터를 수집하는 데이터 수집 플랫폼과 선내 및 육상 서비스를 제공하는 플랫폼이 하나의 시스템으로 동작하는 스마트선박 솔루션을 제시하고, 이를 실제 운항 선박에 적용하여 기존의 선박 데이터 수집 체계 대비 고품질의 다양한 데이터가 수집 가능함을 평가하였다. 또한 이렇게 수집된 데이터에서 주기관 관련 파라미터들의 데이터 분석을 수행하여 유효한 결과를 도출하고 패턴을 시각화하여 종합적인 상태를 판단하는데 활용 가능함을 보였다. 마지막으로 이러한 연구 결과를 선박의 다양한 장비로 확장 적용하고 운항 환경 데이터까지 함께 분석한다면 육상에서 선박의 운항 상황을 보다 효과적으로 확인하고 평가 가능함을 제시하였다.

**핵심용어** : 스마트선박, 운항데이터, 플랫폼, 주기관, 데이터 분석

**Abstract** : An essential part of the development of an autonomous ship is supporting technology that can effectively check and diagnose the operational status of the ship from the shore control center on land. This development has recently occurred in the shipbuilding and shipping industries. In this paper, we present a smart ship solution that operates, as a single system, a data collection platform that gathers ship operation data and a service platform that provides various services. When this smart ship solution was applied to an operating ship, it was determined that a variety of high-quality data could be collected compared to existing ship data collection systems. In addition, it was shown that of the operation data collected, analysis of parameters related to the main engine can be used to determine the overall state by deriving valid results and visualizing patterns. In conclusion, it was suggested that a ship's operation status could be checked more effectively and a comprehensive evaluation could be possible at the shore control center if the results of this study were extended to various ship equipment and analyzed together with the operational environment data.

**Key Words** : Smart ship, Operation data, Platform, Main engine, Data analysis

## 1. 서 론

Industry 4.0이 대두됨에 따라 빅데이터 분석, IoT(Internet of Things), 머신 러닝과 같은 ICT(Information & Communication Technology) 기술을 사회와 산업 전반에 적용하려는 시도가 활발하게 진행되고 있으며, 선박에서도 운항 중 생성된 빅데이터를 이용하려는 연구가 최근 꾸준히 진행되고 있다.

선박의 다양한 데이터를 통합 관리하기 위한 표준화 작업과 수집방법에 관한 연구가 수행되었고(Rødseth et al., 2016), 선박 및 물류의 이동 경로를 분석하여 최적의 경로를 생성하는 연구가 시도 되었다(Mirovic et al., 2018). 이와 함께 위성을 통하여 육상으로 데이터를 전달하려는 방법도 위성사업자를 중심으로 다양하게 제안되고 있다. 특히 최근 위성통신기술의 발달로, 과거보다 많은 양의 데이터를 육상으로 전송 가능하게 됨으로써 digital twin과 같이 운항하는 선박과 똑같은 가상의 선박의 시뮬레이터를 육상에 구축하려는 시

\* First Author : jinhui.kang@samsung.com, 042-865-4715

† Corresponding Author : skywonju@kmou.ac.kr, 051-410-4262

도도 진행되고 있다(DNV-GL, 2018). 이러한 시뮬레이터 구축을 위해 선박에서 수집된 빅데이터를 분석하기 위한 환경을 구축하고 다양한 통계기법을 이용하여 분석한 연구도 발표가 되었다(Perera and Mo, 2016; Wang et al., 2017).

운항선 서비스 애플리케이션의 경우 연료 절감을 목적으로 기상데이터를 활용하여 선박의 최적 항로를 제안하는 소프트웨어가 개발되어 탑재되고 있을 뿐만 아니라, 환경 규제에 대응하기 위해 연료소모량과 배출가스를 기록하는 소프트웨어가 탑재되는 경우도 있다. 빅데이터를 이용하여 선박의 성능을 평가하는 연구가 발표가 되었고(Carlos et al., 2018), mobile App, cloud, 빅데이터를 이용하여 선박운항 중 사고위험을 줄이기 위한 연구 결과도 발표되었다(García-Domínguez, 2015).

또한, 기존 선박의 선교 및 기관실의 유지보수관리 시스템과 통합관리시스템에 대한 개발이 시도 되었으나(Lim et al., 2011), 수집된 데이터를 선원이 직접 기입하여 육상으로 송부하는 방법이 주가 되었으며, 데이터의 종류가 제한적이고 실제 육상이나 선내에 데이터베이스를 구축하여 분석을 수행한 연구 사례는 거의 없다. 또한 제안하는 서비스도 기상상태에 따른 운항경로 최적화나 현재의 연비 상황을 모니터링 하는 것 등에 국한되어 있다.

따라서 본 연구에서는 스마트선박 플랫폼이 탑재된 Aframax class tanker를 대상으로 선박 실운항 데이터를 효과적으로 취득하고 수집된 데이터 중 주기관(main engine) 관련 데이터에 시계열, 통계, 상관관계 분석을 시도하여 경제 안전 운항에 유용한 결과를 도출하였다.

## 2. 선박 실운항 데이터 취득

스마트선박 시스템은 크게 선내 데이터를 수집 및 전송, 저장하는 데이터 플랫폼과 선박 운항에 필요한 서비스를 제공하는 onboard solution 플랫폼, 그리고 선주사 또는 메이커 등 육상 관리자가 활용할 수 있는 onshore solution 플랫폼으로 구성된다. 또한, 선박에서 육상으로 데이터를 전달하기 위한 위성통신시스템과 이렇게 전송된 데이터를 저장하는 cloud 시스템이 부가적으로 포함될 수 있다.

Fig. 1은 본 연구에서 실선에 적용한 삼성중공업 스마트선박 시스템의 전체 구성도이다. 선내에서 데이터를 수집하고 저장하는 데이터 플랫폼(BIG, on-Board Integrated Gateway)과 취득한 데이터를 선박에서 분석하여 서비스를 제공하는 onboard solution 플랫폼(SVESSEL ONBOARD), 그리고 육상 모니터링 및 관리를 위한 onshore solution 플랫폼(SVESSEL ONSHORE)으로 구성되어 있다.



Fig. 1. System configuration of smart ship.

### 2.1 대상 선박

본 연구에서는 LNG(Liquefied Natural Gas)를 연료로 혼용하는 엔진을 탑재한 Aframax class tanker를 대상으로 삼성중공업 스마트선박 플랫폼을 적용하여 실운항 데이터 취득 및 관련 연구를 수행하였다. Table 1에서는 실증 대상 선박의 상세 제원을 보여주고 있다.

Table 1. Principal particulars of the Aframax class tanker

Items	Description
Type	Aframax Class Tanker
Gross Tonnage	113,400 MT
Length Overall	250 m
Breadth	43.8 m
Depth	21.2 m
Speed	14.5 knots
Engine Model	MAN 6G50ME-C9.5 DMCR 11,200 kW at 77.0 rpm

데이터 분석을 위해 2019년 04월 18일부터 2019년 5월 1일까지 1분 간격으로 운항데이터를 취득하였으며 상세 수집 과정은 다음과 같다.

### 2.2 선내 데이터 수집 플랫폼

BIG(on-Board Integrated Gateway)은 스마트선박을 위한 IIoT 플랫폼으로 선박의 다양한 기계장치, 제어시스템, 센서 등으로부터 서비스에 필요한 데이터를 수집하고, 표준화된 meta 체계로 변환하여 저장 및 전송하는 시스템이다.

BIG과 기존의 항통시스템 또는 자동화 시스템 간의 차별점은 개별 장비의 모니터링 또는 제어를 위해 데이터를 수집하는 것이 아니라, 데이터 분석과 KPI(Key Performance

Index) 계산을 위해 여러 시스템으로부터 수집된 데이터를 하나로 통합하고 저장하거나 육상으로 전송한다는 점이다.

Fig. 2의 좌측 이미지는 BIG의 선내 인터페이스 개념도이다. 항통장비의 경우 NMEA(The National Maritime Electronics Association) 표준 프로토콜을 사용하며, 개별 INS(Integrated Navigation System) 장비와 연결하여 데이터를 전달받거나, VDR(Voyage Data Recorder)을 통하여 데이터를 전달받는다. 기계 장비 데이터는 개별 장비와 직접 인터페이스 하거나 automation system으로 우선 수집된 데이터를 modbus 프로토콜 방식으로 전달받는다. Fig. 2의 우측 이미지는 대상 선박의 조타실에 BIG과 SVESSEL ONBOARD가 설치된 모습이다. 하부에 PC 및 통신 장비들을 rack으로 구성하고 책상 상단에 모니터와 입력장치를 배치하였다.

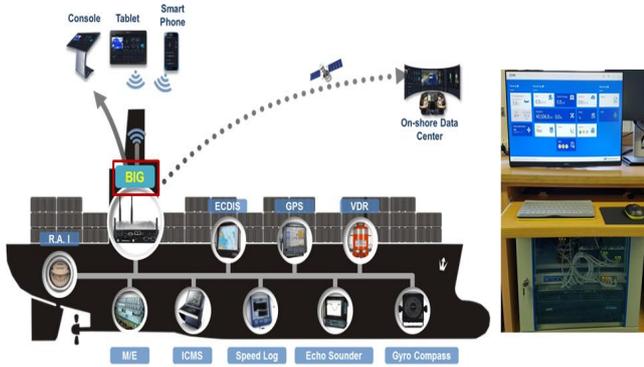


Fig. 2. SVESSEL interface (left) & installation (right).

BIG으로 전달된 데이터는 표준 데이터체계인 metadata로 변환되어 선내 데이터베이스에 저장되고 이를 기반으로 선내 서비스 플랫폼인 SVESSEL ONBOARD로 서비스를 제공하고 또한 선박 위성통신을 통하여 cloud 서버로 전송된다.

### 2.3 육상 데이터 취득 플랫폼

SVESSEL ONSHORE는 육상 선박 관리자를 위한 웹 플랫폼으로 cloud 서버와 연결되어 다수의 선박에서 수집하는 데이터를 제공하고 다양한 형태로 분석하여 선내 모니터링 및 관리를 위한 각종 솔루션을 제공한다.

Fig. 3은 SVESSEL ONSHORE에서 실운항 데이터를 내려받는 화면이다. 대상 선박을 선택하고 데이터 조회 기간 및 데이터 항목을 설정한 뒤 요청을 하면 엑셀 파일로 내려받을 수 있다.

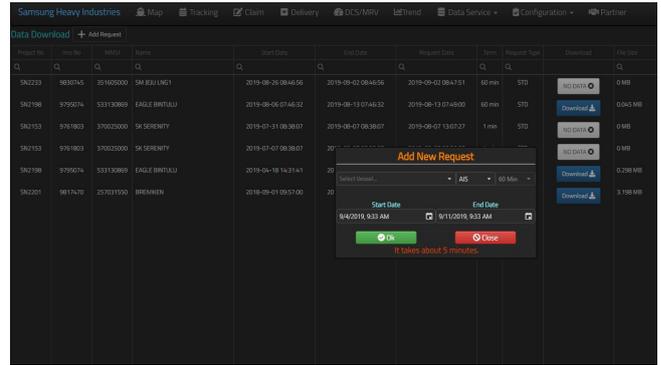


Fig. 3. View of SVESSEL ONSHORE data download.

### 2.4 수집 데이터 품질

선박에서 수집하여 전송되는 데이터의 품질을 비교하기 위하여 BIG을 통해 수집되는 AIS(Automation Identification System) 장비 위경도 데이터와 실제 AIS 장비에서 GPS 위성을 거쳐 위성사업자로부터 전달받는 위경도 데이터의 정밀도를 비교하였다.

Fig. 4는 SVESSEL ONSHORE에서 대상 선박의 BIG과 위성사업자를 통해 전달받은 AIS 자체 데이터의 위경도를 비교한 그림으로 보이는 바와 같이 BIG에서 전달받은 데이터가 유실률이 적어 더욱 정밀하다는 것을 알 수 있다.

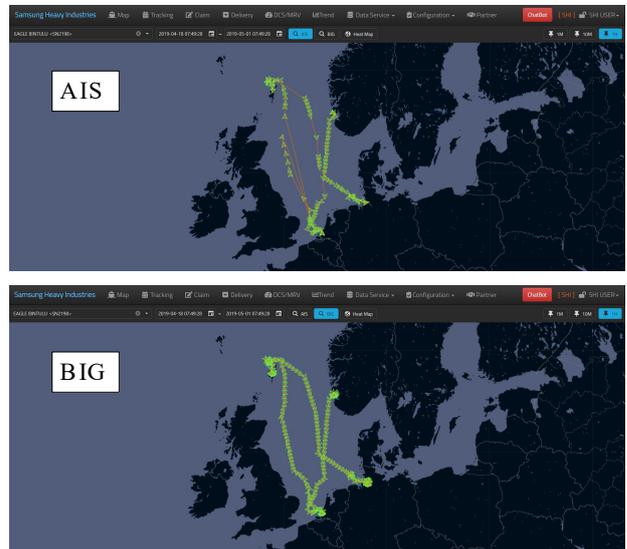


Fig. 4. Comparison of data density between the AIS data and the BIG data.

또한 Table 2와 같이 BIG의 경우 선박의 다양한 장비로부터 데이터를 수집하기 때문에 대상 선박의 운항 성능을 평가하기에 상대적으로 더 적합하다고 할 수 있다.

Table 2. Data specification of BIG and AIS

	BIG	AIS
Communication	Ship Satellite Communications	GPS Satellite communications
Equipment of the collected data	INS, IAS, VDR, Engine etc	AIS
Number of Data collected	More than 1,000	25

### 3. 데이터 분석 결과

본 장에서는 앞서 언급한 바와 같이 SVESSEL을 통해 수집한 데이터를 기반으로 선박에서 가장 중요한 장비라고 할 수 있는 주기관의 운전 특성을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

#### 3.1 시계열 분석

Fig. 5는 데이터가 수집된 기간 동안 대상 선박의 운항 경로와 시간에 따른 계측데이터의 변화추이를 보여준다. 대상 선박은 주로 북해 지역을 운항하고 LNG를 연료로 혼용하는 선박이다. 2019년 4월 18일부터 5월 1일까지 순차적으로 총 4곳의 항구에 정박을 하였으며 정박 정보를 간략히 기술하면 아래와 같다.

- ① 4월18일(Port of Karsto, Norway)
- ② 4월22일(Port of Rotterdam, Netherlands)
- ③ 4월26일(Port of Sullom Voe, United Kingdom)
- ④ 4월30일(Port of Brunsbüttel, Germany)

Fig. 5의 2번째 시계열 차트는 선박의 속도(SOG, Speed Over Ground)와 주기관의 출력(load)을 나타내는 차트이다. 운항 중인 시점과 정박 중인 시점에서의 데이터 값의 차이가 계단식으로 정확하게 구분되는 것을 알 수 있다.

3번째 시계열 차트와 4번째 시계열 차트는 각각 주기관의 배기가스 온도변화와 소기 온도변화를 나타낸 것으로, 엔진 정지 후의 배기가스와 소기의 점진적인 온도 저하 패턴이 완벽하게 디스플레이 되었다. 이와 같이 엔진의 상태를 진단할 수 있는 주요 계측 데이터가 본 플랫폼을 통해서 정밀하게 그래프화 될 수 있음을 확인하였다.

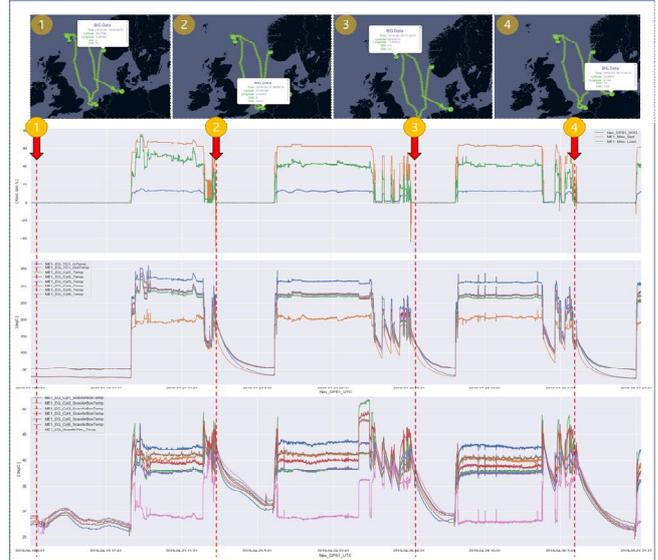


Fig. 5. Time series chart of measurement data according to the ship operation schedule.

#### 3.2 통계 분석

주기관과 관련된 데이터 계측 값을 propulsion, exhaust gas, scavenge air, cooling water 그룹으로 분류하였고 각각의 계측 값들에 대한 기술 통계 값을 분석하였다.

Fig. 6은 propulsion 관련 계측 데이터(SOG, M/E Speed, M/E Load)의 기술 통계 결과이다. 먼저 box plot을 보면 SOG의 range가 가장 작고 M/E speed의 range가 가장 크다는 것을 알 수 있다.

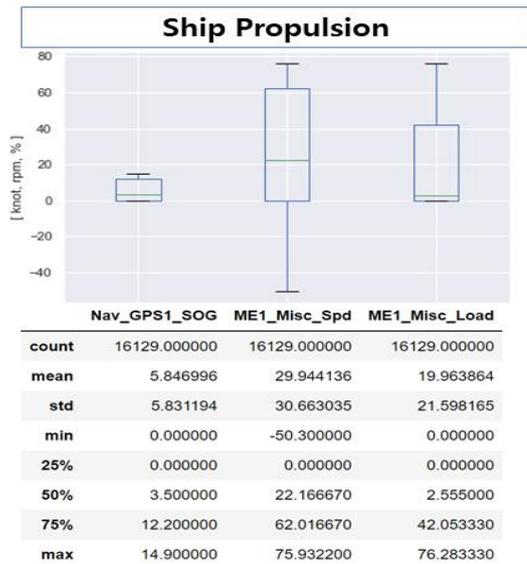


Fig. 6. Descriptive statistics analysis of propulsion group data.

Fig. 7은 M/E scavenge air 관련 계측 데이터(Each cylinder's scav. air box temp, Air receiver temp)의 기술 통계 결과이다. 소기 리시버에서의 평균온도는 31°C이나 각 실린더로 공급되는 시점에서의 소기 온도는 평균 35°C~36°C 정도로 상승한다는 것을 알 수 있다. 또한 box plot을 통해 기통 간의 온도 분포 특성의 차이를 쉽게 확인할 수 있으며, 실시간 운전점을 대입하면 기통별 소기온도의 이상 여부를 판단하는데 주요한 지표가 된다.

Fig. 8은 M/E의 배기가스 관련 계측 데이터(Each cylinder's exh. gas temp, T/C in & out temp)의 기술 통계 결과이다. 소기 온도 결과와 마찬가지로 각 기통별 배기가스 온도의 변동성을 쉽게 확인할 수 있으며, 실시간 운전점을 대입하여 온도의 정상 여부 판단의 근거로 활용할 수 있다.

Fig. 9는 M/E의 냉각수 온도 관련 계측데이터(Air cooler air & water temp, Each cylinder's cooling water temp)의 기술 통계 결과이다. 소기온도와 배기온도에 비하여 적은 변동성을 가지고 있는 것으로 나타나며, air cooler로 순환하는 저온 냉각수와 cylinder jacket으로 순환하는 고온 냉각수가 확연히 구분되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 실시간 plotting을 한다면 엔진의 냉각수 계통에 이상 여부를 쉽게 확인할 수 있다.

### 3.3 상관관계 분석

상관관계 분석은 연속형 데이터에서 두 변수 간의 상호관계를 파악하고자 할 때 사용하는 분석법이다. 특히 두 변수의 상관관계의 크기는 상관계수로 정량화할 수 있다. 상관관계 계수는 피어슨 상관계수, 스피어만 상관계수, 켄달 상

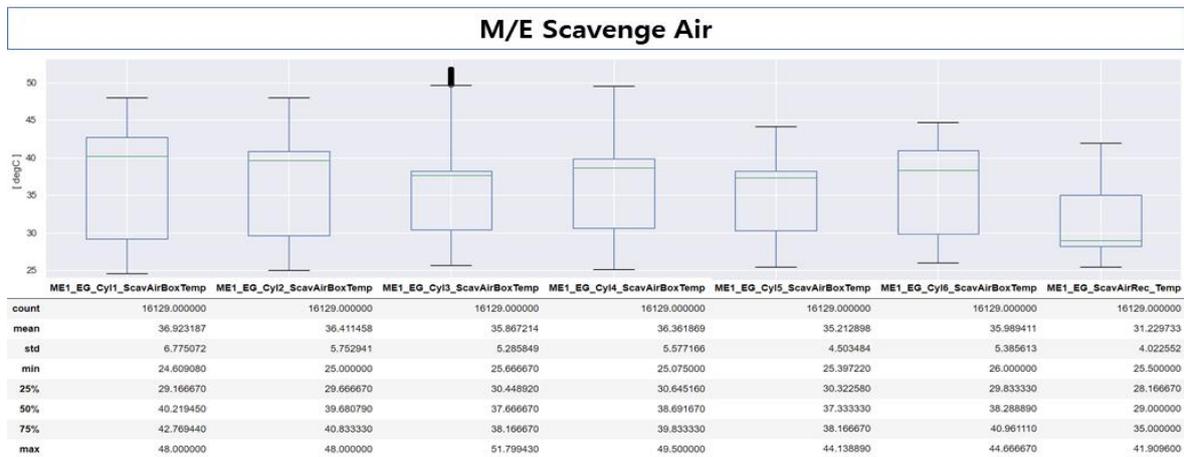


Fig. 7. Descriptive statistics analysis of M/E Scavenge Air group data.

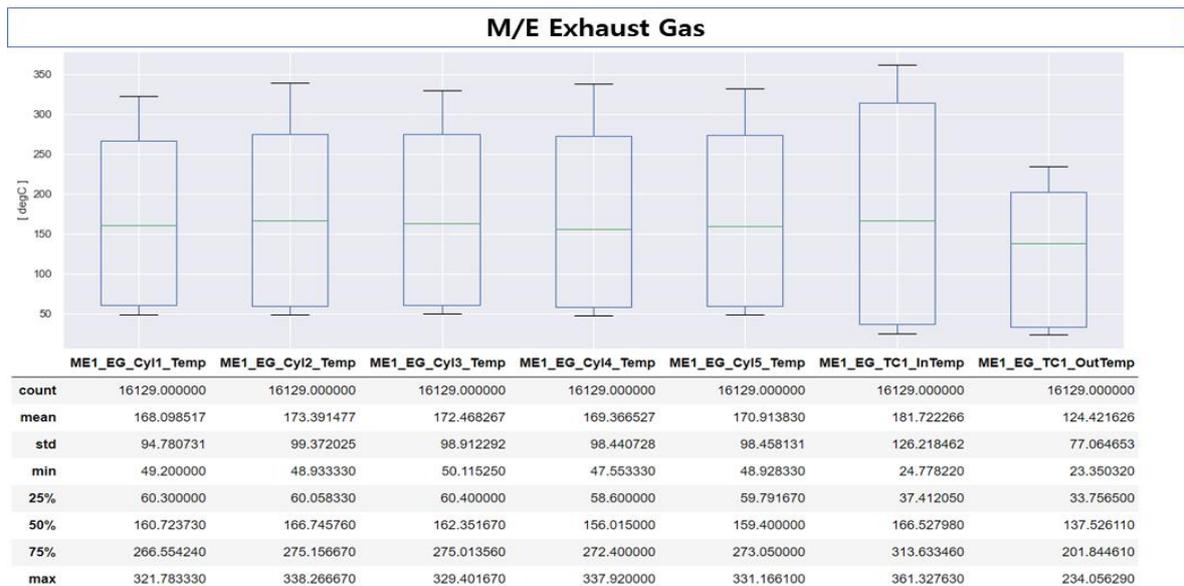


Fig. 8. Descriptive statistics analysis of M/E exhaust gas group data.

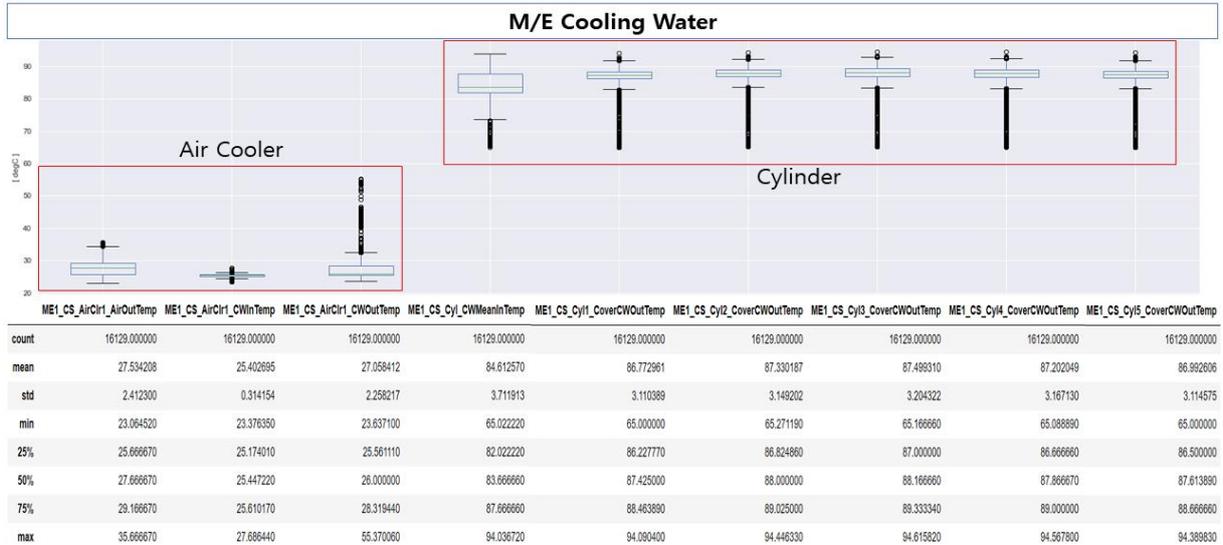


Fig. 9. Descriptive statistics analysis of M/E cooling water data.

관 계수가 대표적이며 본 논문에서는 피어슨 상관계수를 사용하여 상관관계 분석을 하였다. 피어슨 상관계수는 두 변수 간의 관련성을 구하기 위해 가장 보편적으로 이용되는 방법이며 다음과 같은 식(1)로 표현된다.

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$\bar{x}$ : 표본집단 X의 평균  
 $\bar{y}$ : 표본집단 Y의 평균

피어슨 상관계수는 -1~1의 값 범위를 가지는데 다음과 같이 결과를 해석 할 수 있다.

- $r > 0$  : 양의 상관관계
- $r = 0$  : 상관관계 없음
- $r < 0$  : 음의 상관관계

대표적인 양의 상관관계와 음의 상관관계를 가지는 계측 값을 산포도로 도시하고 상관계수를 계산하였다. Fig. 10은 그 결과이다. 주기관의 부하와 배기가스 온도는 강한 양적 선형관계( $r=0.95$ )를 보이는 반면에 주기관 부하와 냉각수 공급 온도는 뚜렷한 음적 선형관계( $r=-0.55$ )를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 배기가스 온도변화는 기관의 부하 변화에 기민하게 반응한다는 것을 알 수 있으며, 부하의 변화가 없음에도 불구하고 배기가스 온도의 변화가 발생할

때는 이를 기관 이상의 징후로 판단하는 근거가 될 수 있다. 또한, 데이터가 충분히 많이 쌓이면 통계 분석한 값을 기준으로 두고 새로 입력된 값이 일정 범위를 벗어날 경우 이상이 있는 것으로 경고를 줄 수 있다.

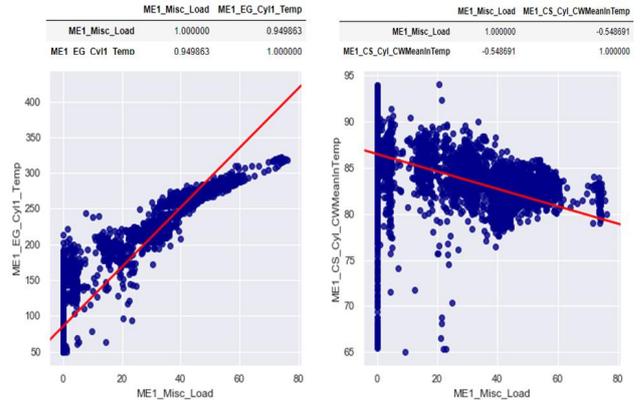


Fig. 10. Correlation analysis between engine measured values.

또한 주기관과 관련된 26개의 계측 값 간의 상관계수를 계산하였고 전체 계측 값 사이의 상관관계를 한눈에 볼 수 있도록 heat map으로 표현하였다.

Fig. 11을 보면 주기관의 propulsion group, exhaust gas group, scavenge air 그룹 간에는 강한 양의 상관관계가 있으며 짙은 파란색으로 표시되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 cooling water는 다른 데이터 그룹과의 음의 상관관계가 있으며 흰색으로 표시되는 것을 확인할 수 있다. 차후 실시간으로 엔진의 운전 상태를 반영하여 heat map을 구현한다면 각 그룹 간

## 스마트선박 플랫폼을 활용한 실운항 데이터 분석 연구

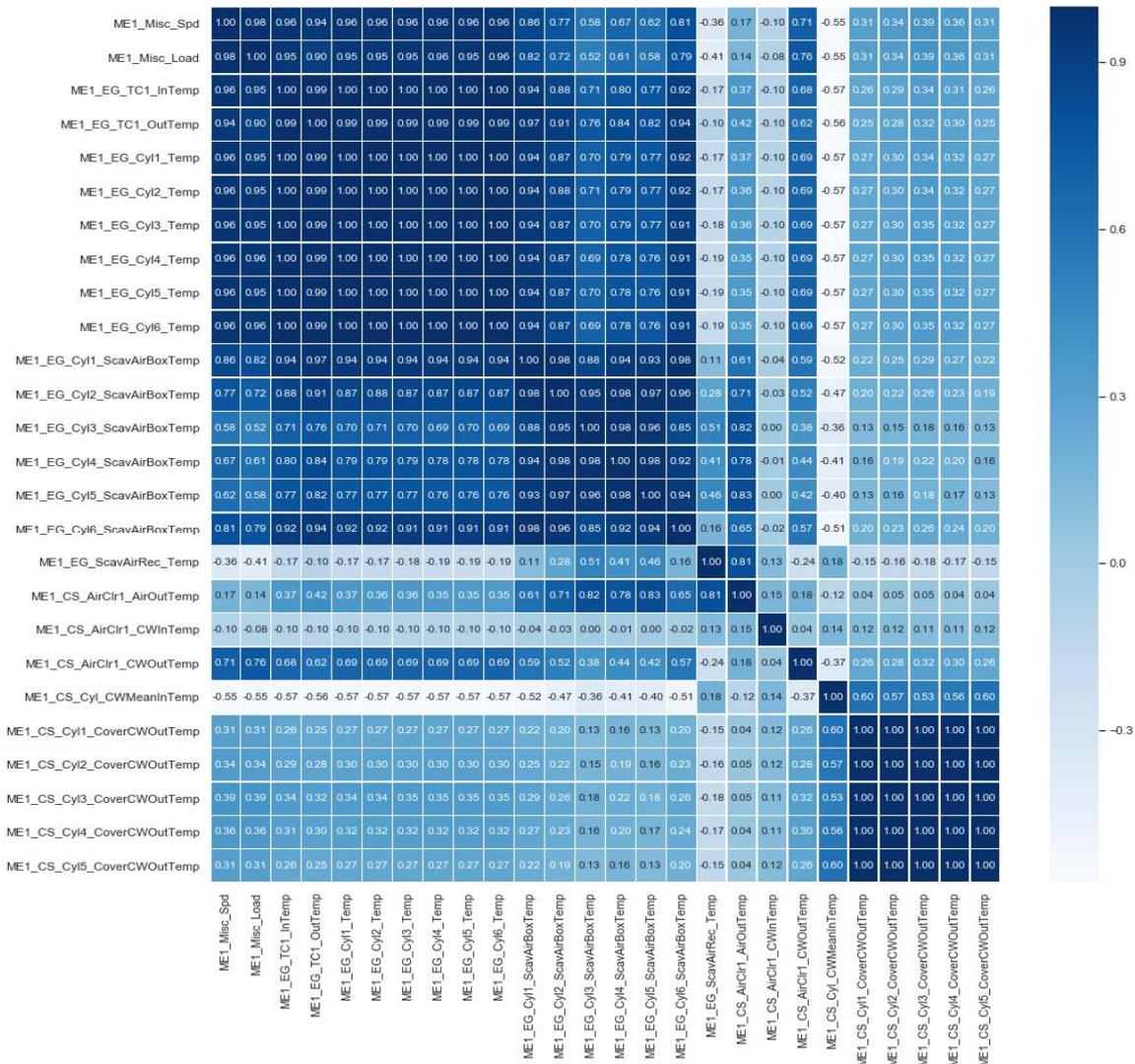


Fig. 11. Correlation analysis of the M/E data.

의 상관관계의 변동을 쉽게 확인함으로써, 엔진 상태의 정상 여부를 판단하는 데에도 크게 활용 가능하다.

### 3.4 데이터의 확률분포

표본 데이터가 어떤 분포를 따른다면 통계적 추론을 통해 데이터의 양상을 추측할 수 있다. 특히 정규분포(normal distribution)는 가장 널리 알려진 분포이며, 중심극한정리(central limit theorem)에 의해 표본의 크기가 커질수록 모집단의 분포 모양과 관계없이 독립적인 확률변수들의 평균은 정규분포에 가까워진다. 특히 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포를 표준 정규 분포(standard normal distribution)라고 한다. Fig. 12는 평균( $\mu$ )과 표준편차( $\sigma$ )를 다양하게 변화시켰을 때 정규분포의 모양이 어떻게 변하는지를 나타낸다.

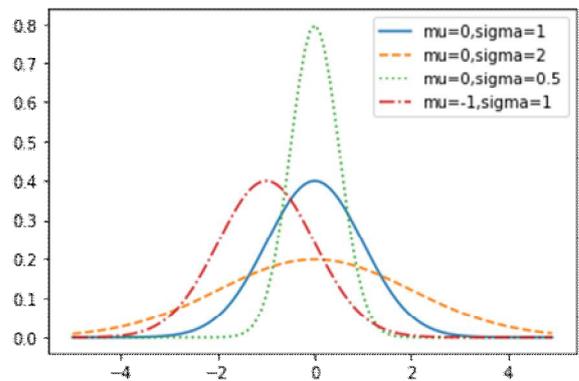


Fig. 12. Various Normal Probability Density Functions.

표본이 정규분포에 얼마나 가까운지를 시각적으로 판별하는데 사용하는 방법으로 QQ(Quantile-Quantile) Plot이 있다. Fig. 13은 M/E 관련 50개 데이터의 QQ Plot이다. 파란색의 표본이 빨간색의 기준선 위에 놓이면 표본분포가 정규분포에 가까운 것으로 간주할 수 있다. 그림을 보면 주기관의 속도, 출력 그리고 엔진의 출력에 영향을 받는 배기가스 온도 등의 표본분포는 기준선을 크게 벗어나 정규분포로 볼 수 없다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 추후 데이터의 이상점(outlier)을 검출하거나 노이즈 제거에 활용할 수 있다. 또한, 분석을 위해 보유하고 있는 데이터가 정규분포를 얼마나 따르는지는 QQ Plot을 통해 직관적으로 확인할 수 있으며, 이 자체로 기관사나 데이터 분석 담당자가 기관의 이상 여부를 확인하는데 사용할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 데이터 수집, 선내 서비스, 육상 서비스가 하나의 시스템으로 동작을 하는 스마트선박 시스템인 SVESSEL 플랫폼을 실제 선박에 적용하여 데이터 취득 및 분석을 시도하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존의 선박 수집 데이터에 비하여, 스마트선박 플랫폼에서 수집한 데이터가 유실률이 적고 다양한 장비로부터 데이터를 수집하기 때문에 선박의 운항 성능을 평가하고 분석하는데 더욱 적합한 것으로 확인되었다.

(2) 수집 데이터를 기술 통계 분석한 결과, 엔진의 각 파라미터들의 정상 여부를 판단하고 기동 간의 변동성을 파악하는 근거로 활용할 수 있음을 확인하였다.

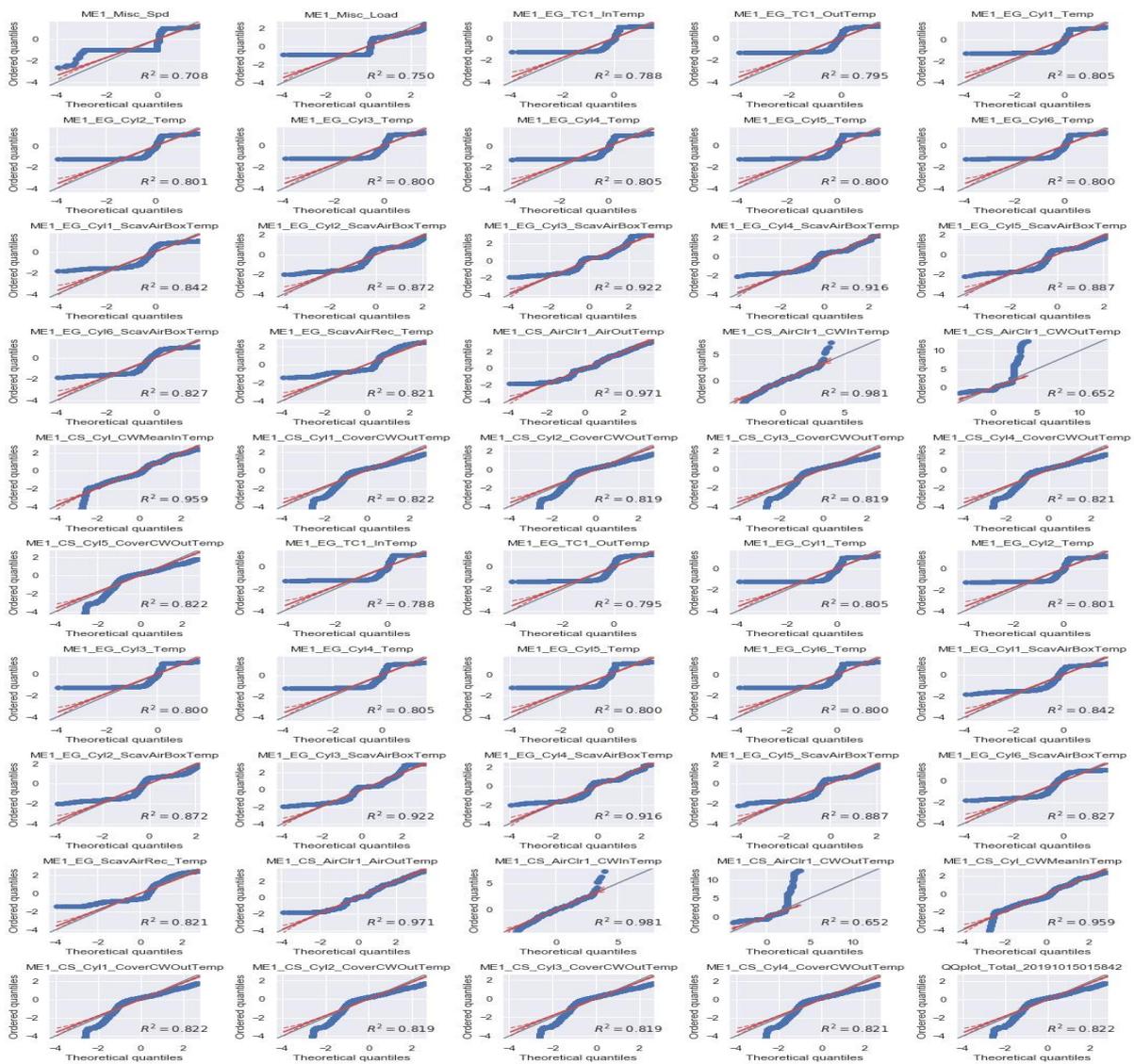


Fig. 13. QQ Plot of M/E Data.

(3) 계통별로 수집한 데이터 간의 상관관계를 분석한 결과, 엔진 파라미터들의 일반적인 상관관계와 유사한 패턴의 값이 도출되었으며, 상관계수를 계산하여 heat map으로 표현하였다. 이를 통해 엔진의 실시간 운전 상태를 직관적으로 확인할 수 있고 정상 여부를 판단하는 데에도 활용이 가능한 것으로 평가된다.

(4) 기존의 시스템에서는 시계열 차트로 시간에 따른 데이터의 변화 양상 파악과 특정 변수에 대한 scatter 차트를 통한 분포 확인 등 현재의 데이터 수준만 확인하였으나, 데이터 가공과 통계처리 후 그 결과를 유용하게 가시화함으로써 SVESSEL 시스템으로 장비 이상 여부를 판단하는 수준까지 개선하였다.

(5) 향후 통계추론 및 기계 학습 등의 기법을 데이터에 적용하여 장비의 이상을 사전에 감지하거나, 미래값을 예측할 수 있는 알고리즘을 개발하는 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 평가된다.

스마트선박은 완전자율운항 선박을 목표로 연구개발이 진행되고 있지만, 그 이전에 육상에서 원격운항 단계가 선행되어야 한다. 원격운항을 위해서 먼저 해결되어야 할 조건은 육상에서 선박의 상태를 효과적으로 확인할 수 있어야 한다는 것이다. 이를 위해서는 단순한 수치보다 한눈에 선박의 상태를 쉽게 확인할 수 있도록 도표나 그래프를 제공해 주는 것이 훨씬 효과적이다. 본 연구에서 수행한 방법과 같이 여러 장비 데이터의 운전 상태와 데이터 간의 관계를 도표와 그래프로 제공한다면 선박의 운항 상황을 육상에서 효과적으로 확인할 수 있을 것이다.

## 후 기

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신산업진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (S0249-19-1013, Ka-BAND 광대역 위성통신을 활용한 선제적 MRO 클라우드 플랫폼 및 서비스 개발)

## Author Contributions

J. H. Kang & H. H. Lee contributed equally to this work.

## References

[1] Carlos, G., B. Lund, and E. Hagestuen(2018), Case Study: Ship Performance Evaluation by Application of Big Data, Hull Performance & Insights Conference.

[2] DNV-GL(2018), Digital Twins for Blue Denmark, DNV-GL Report No. 2018-0006, Rev. A.

[3] García-Domínguez, A.(2015), Mobile applications, cloud and bigdata on ships and shore stations for increased safety on marine traffic; a smart ship project, IEEE International Conference on Industrial Technology(ICIT), pp. 1532-1537.

[4] Lim, Y. K., J. W. Park, O. S. Kim, and J. W. Lee(2011), Current status on the development of an integrated management system of the intelligent digital ship, Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communication and Information Sciences, pp. 31-32.

[5] Mirović, M., M. Miličević, and I. Obradović(2018), Big data in the maritime industry, NAŠE MORE, Vol. 65, No. 1, pp. 56-62.

[6] Perera, L. P. and B. Mo(2016), Machine Intelligence for Energy Efficient Ships: A Big Data Solution. Maritime Engineering and Technology III, Guedes Soares & Santos (Eds.), Vol. 1, pp. 143-150.

[7] Rødseth, Ø. Jan, L. P. Perera, and B. Mo(2016), Big data in shipping-Challenges and opportunities, 15th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries.

[8] Wang K., X. Yan, Y. Yuan, X. Jiang, G. Lodewijks, and R. R. Negenborn(2017), Study on route division for ship energy efficiency optimization based on big environment data, IEEE 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), pp. 111-116.

Received : 2019. 09. 26.

Revised : 2019. 10. 18.

Accepted : 2019. 10. 28.