



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](#)

공학박사 학위논문

선박과 해양플랜트의 통신 시스템 환경
개선을 위한 e-TMS와 슈퍼 Wi-Fi

e-TMS and Super Wi-Fi for Improving Telecommunication Systems

Environment on Ships and Offshore Plants



한국해양대학교 대학원

컴퓨터공학과

김정우

본 논문을 김정우의 공학박사 학위논문으로 인준함

위원장 : 장 길 응



위 원 : 박 휴 찬



위 원 : 이 상 태



위 원 : 정 기 룡



위 원 : 손 주 영



2017년 12월 28일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables.....	iv
List of Figures	vi
약어 (Abbreviations).....	x
초록	xiv
Abstract	xvii
제 1 장 서론.....	1
1.1 연구 목적 및 배경.....	1
1.2 연구 내용.....	2
1.3 논문의 구성	4
제 2 장 TMS 와 통신 시스템 현황.....	6
2.1 TMS 개요	6
2.1.1 TMS 정의.....	6
2.1.2 TMS 문제점.....	10
2.1.3 TMS 성장 한계.....	14
2.1.4 TMS 개선의 필요성.....	15
2.2 통신 시스템 개요.....	21
2.2.1 통신 시스템 정의	21
2.2.2 통신 시스템 문제점.....	25
2.2.3 통신 시스템 체계화 필요성	29
제 3 장 e-TMS 를 위한 통신 시스템 체계화.....	31
3.1 통신 시스템 재정의	31

3.2 통신 시스템 체계화 방법.....	34
3.3 PAGA 시스템의 체계화.....	35
3.3.1 데이터 요구 분석.....	36
3.3.2 데이터 공급 분석.....	38
3.3.3 데이터 취합.....	40
3.3.4 데이터의 구분.....	40
3.3.5 데이터 정규화.....	40
3.4 e-TMS 를 위한 데이터베이스 정의.....	45
3.4.1 TMS 의 데이터베이스 분석.....	46
3.4.2 e-TMS 를 위한 데이터베이스 재구성.....	47
3.5 TMS 성능 개선.....	51
3.5.1 e-TMS 구조.....	52
3.5.2 통신 시스템 간 인터페이스 실험.....	53
3.5.3 e-TMS 의 성능 개선 효과.....	59
제 4 장 e-TMS 성능 향상을 위한 무선 네트워크의 필요성.....	64
4.1 네트워크 환경 분석.....	64
4.2 무선 네트워크 구성 방법.....	66
제 5 장 슈퍼 Wi-Fi 환경 구현을 위한 주파수 대역 분석과 UHF 커버리지 연구.....	69
5.1 무선 주파수 분석.....	69
5.2 UHF 시스템 개요.....	72
5.2.1 UHF 시스템 정의.....	73
5.2.2 UHF 시스템 문제점.....	75
5.2.3 UHF 커버리지 연구 필요성.....	77
5.3 UHF 커버리지 실험.....	79

5.3.1 실험 환경	79
5.3.2 실험 방법	81
5.3.3 실험 결과	83
제 6 장 슈퍼 Wi-Fi 를 포함한 주파수 대역 별 커버리지 연구.....	89
6.1 슈퍼 Wi-Fi 정의.....	89
6.2 커버리지 연구 환경	92
6.3 커버리지 연구 방법	94
6.4 커버리지 연구 결과.....	95
6.4.1 TETRA	96
6.4.2 UHF.....	98
6.4.3 Super Wi-Fi.....	101
6.4.4 Wi-Fi (2.4GHz).....	103
6.4.5 Wi-Fi (5GHz).....	106
제 7 장 실험 및 성능 평가.....	111
7.1 e-TMS 성능 평가.....	111
7.1.1 실험 환경 및 구성	111
7.1.2 실험 결과	115
7.2 UHF 시스템 기반 슈퍼 Wi-Fi 환경 평가.....	126
7.2.1 실험 환경 및 구성	126
7.2.2 실험 결과	128
제 8 장 결론.....	134
감사의 글	136
참고문헌	138

List of Tables

Table 2.1	Telecom subsystems as NORSOK T-100	8
Table 2.2	Sample of price in TMS(Average).....	13
Table 2.3	New technologies for the next generation of ships and offshore plants.....	19
Table 2.4	Telecom systems in ships and offshore plants.....	22
Table 3.1	Telecom systems as revised.....	31
Table 3.2	Record format of data in VDR	34
Table 3.3	Systematization data for seq. 1 ~ seq. 12 in Table 3.1.....	43
Table 3.4	Systematization data for seq. 12 ~ seq. 23 in Table 3.1.....	44
Table 3.5	Common database in telecom systems.....	47
Table 3.6	Defined list of data in interfaces test evaluation.....	54
Table 3.7	Specification of the test-bed	57
Table 3.8	Analysis of existing interfaces cost reduction compared to integrated interfaces.....	61
Table 5.1	Existing coverage study for UHF system in ships and offshore plants.....	78
Table 5.2	Specific design requirements.....	82
Table 5.3	Specification of the environment.....	83
Table 6.1	Comparison between Super Wi-Fi and conventional Wi-Fi.....	89
Table 6.2	Specification of coverage study	94
Table 6.3	Defined list of frequency bands	96

Table 7.1	Defined list of data type	111
Table 7.2	Specification of the test-bed	114
Table 7.3	Average processing time for existing-AO	115
Table 7.4	Average processing time for existing-DO	116
Table 7.5	Average processing time for existing-RS232	117
Table 7.6	Average processing time for existing-RS422	118
Table 7.7	Average processing time for existing-Wet Contact	119
Table 7.8	Average processing time for existing-Dry Contact	120
Table 7.9	Average processing time for proposed-TCP/IP	121
Table 7.10	Total average processing time for all data types	123
Table 7.11	Average processing time by interval of alarms	124



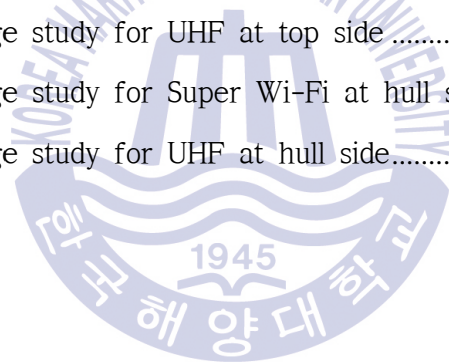
List of Figures

Fig. 2.1 Schematic diagram of TMS as NORSOK T-100	7
Fig. 2.2 Workflow for existing TMS.....	11
Fig. 2.3 Accident of oil spill at Taean in 7 th Dec. 2007.....	16
Fig. 2.4 Accident of Sewol ferry's rollover in 16 th April 2014	16
Fig. 2.5 Accident of plant explosion at the North Sea in 6 th July 1988.....	17
Fig. 2.6 Accident of plant explosion at the Gulf of Mexico in 20 th April 2010	18
Fig. 2.7 Relationship to the development of technology between maritime safety and marine technology and telecom subsystems	19
Fig. 2.8 Roles of the TMS between maritime safety and marine technology and telecom systems.....	20
Fig. 2.9 Semi-submersible rig	26
Fig. 2.10 Diagram for existing interfaces in telecom systems of s/s rig	26
Fig. 2.11 15,000TEU container carrier.....	27
Fig. 2.12 Diagram for existing interfaces in telecom systems in container	27
Fig. 3.1 Configuration of telecoms systems in vessel.....	33
Fig. 3.2 Overview of PAGA system.....	36
Fig. 3.3 Analysis data of regulation for PAGA system.....	37
Fig. 3.4 Analysis data of classification for PAGA system.....	37
Fig. 3.5 Analysis data of manufacturer for PAGA system	38
Fig. 3.6 Range of data steps in telecom systems.....	39
Fig. 3.7 Systematization data of alarms in the PAGA system	41
Fig. 3.8 Systematization process of alarms in the PAGA system	42
Fig. 3.9 Existing operating schemes of the TMS.....	46

Fig. 3.10 Proposed operating schemes of the e-TMS.....	49
Fig. 3.11 Architecture of the proposed e-TMS	50
Fig. 3.12 Structure for interfaces of existing TMS	52
Fig. 3.13 Structure for integrated interfaces of proposed e-TMS	53
Fig. 3.14 Test-bed diagram for existing interfaces in telecom systems.....	55
Fig. 3.15 Test-bed diagram for integrated interfaces in telecom systems	56
Fig. 3.16 Comparison of average processing time in data types by time period.....	58
Fig. 3.17 Total average processing time in data types.....	59
Fig. 3.18 Diagram for integrated interfaces in telecom systems	60
Fig. 3.19 Workflow for Proposed e-TMS.....	62
Fig. 4.1 Structure of ships	65
Fig. 5.1 Comparison of frequency bands.....	69
Fig. 5.2 Redefined for frequency bands of UHF, TETRA and Super Wi-Fi.....	72
Fig. 5.3 Installation on UHF system in ships	74
Fig. 5.4 Workflow for the existing UHF system.....	76
Fig. 5.5 Workflow for UHF system with coverage study	77
Fig. 5.6 Main deck in semi-submersible rig.....	80
Fig. 5.7 Upper deck in semi-submersible rig.....	81
Fig. 5.8 Workflow for coverage study of proposed UHF system	82
Fig. 5.9 Initial stage for coverage study at hull side	83
Fig. 5.10 Last stage for coverage study at hull side	84
Fig. 5.11 Installation of Leaky antenna.....	85
Fig. 5.12 Initial stage for coverage study at top side	86
Fig. 5.13 Last stage for coverage study at top side	87

Fig. 6.1 Example TVWS network including all 802.11af architecture entities	90
Fig. 6.2 Schematic diagram of Super Wi-Fi.....	91
Fig. 6.3 19,000TEU container carrier.....	92
Fig. 6.4 B deck in 19,000TEU container carrier	93
Fig. 6.5 Workflow of coverage study for frequency band.....	95
Fig. 6.6 Initial coverage study for TETRA	97
Fig. 6.7 Final coverage study for TETRA	98
Fig. 6.8 Initial coverage study for UHF	99
Fig. 6.9 Final coverage study for UHF	100
Fig. 6.10 Initial coverage study for Super Wi-Fi.....	101
Fig. 6.11 Final coverage study for Super Wi-Fi.....	102
Fig. 6.12 Initial coverage study for Wi-Fi(2.4GHz).....	104
Fig. 6.13 Final coverage study for Wi-Fi(2.4GHz).....	105
Fig. 6.14 Initial coverage study for Wi-Fi(5GHz).....	106
Fig. 6.15 Final coverage study for Wi-Fi(5GHz).....	107
Fig. 6.16 Result for the number of antennas by frequency band.....	108
Fig. 6.17 Result for coverage by frequency band	109
Fig. 7.1 Test-bed diagram for existing in TMS.....	112
Fig. 7.2 Test-bed diagram for proposed in e-TMS	113
Fig. 7.3 Average processing time for existing-AO in terms of phase.....	115
Fig. 7.4 Average processing time for existing-DO in terms of phase	116
Fig. 7.5 Average processing time for existing-RS232 in terms of phase	117
Fig. 7.6 Average processing time for existing-RS422 in terms of phase	118
Fig. 7.7 Average processing time for existing-Wet Contact in terms of phase	119

Fig. 7.8 Average processing time for existing-Dry Contact in terms of phase	120
Fig. 7.9 Average processing time for proposed-TCP/IP in terms of phase	121
Fig. 7.10 Comparison of total average processing time for all data types in terms of phase	122
Fig. 7.11 Comparison of average processing time by interval of alarms for all data types	124
Fig. 7.12 Average improvement of performance by interval of alarm based on proposed-TCP/IP	125
Fig. 7.13 Diagram for UHF system in ships.....	126
Fig. 7.14 Installation on leaky antenna in ships.....	127
Fig. 7.15 Combination diagram for Super Wi-Fi and UHF system.....	127
Fig. 7.16 Final coverage study for Super Wi-Fi at top side	129
Fig. 7.17 Final coverage study for UHF at top side	130
Fig. 7.18 Final coverage study for Super Wi-Fi at hull side	131
Fig. 7.19 Final coverage study for UHF at hull side.....	132



약어 (Abbreviations)

- ABS (American Bureau of Shipping, 미국 선급협회)
- AC (Alternating Current, 교류)
- ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, 음향 도플러 유속계)
- AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunication Network, 항공 고정 통신망)
- AIS (Automatic Identification System, 선박 자동 식별 장치)
- AMS (Alarm Monitoring System, 알람 모니터링 시스템)
- AO (Analog Output, 아날로그 출력)
- AP (Access Point, 액세스 포인트)
- ATIS (Automatic Terminal Information System, 비행 정보 방송 시스템)
- BNWAS (Bridge Navigational Watch Alarm System, 선교항해당직경보장치)
- CCTV (Closed Circuit Television, 폐쇄 회로 TV)
- CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, 유럽 우편
전기 통신 주관청 회의)
- CO2 (Carbon Dioxide, 이산화탄소)
- CPU (Central Processing Unit, 중앙처리장치)
- dBm (Decibels above 1 mill watt, 디비엠)
- DDR (Double Data Rate, 이중 데이터 전송률)
- DGPS (Differential Global Positioning System, 위성 항법 보정 시스템)
- DNV (Det Norske Veritas, 노르웨이 선급협회)
- DO (Digital Output, 디지털 출력)
- DSC (Digital Selective Calling, 디지털 선택 호출)
- DSP (Digital Signal Processor, 디지털 신호 처리 장치)
- ECDIS (Electric Chart Display and Information System, 전자해도표시정보시스템)

E/R (Engine Room, 엔진 룸)

ESD (Emergency Shutdown System, 긴급차단시스템)

e-TMS (Enhanced-Telecommunication Management System, 향상-통신 관리 시스템)

ETSI (European Telecommunication Standard Institute, 유럽 전기 통신 표준 협회)

F&G (Fire and Gas, 화재 및 가스 감지)

FAX (Facsimile, 팩스)

GDB (Geolocation Database, 지리 위치 데이터베이스)

GDD (Geolocation Database Dependent, 지리 위치 데이터베이스 종속)

GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System, 세계 해상 조난 안전 시스템)

GPS (Global Positioning System, 위성 위치 확인 시스템)

HC (Hydrocarbon, 탄화수소)

HF (High Frequency, 고주파)

H2S (Hydrogen Sulfide, 황화수소)

ICMS (Integrated Control and Monitoring System, 통합 제어 모니터링 시스템)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 전기전자기술자협회)

IMO (International Maritime Organization, 국제해사기구)

INS (Integrated Navigation System, 통합 항해 장치)

IoT (Internet of Things, 사물 인터넷)

IPS (Indoor Positioning System, 실내 위치 확인 시스템)

ISM (Industrial Science Medical, 산업·과학·의료용)

ITMS (Integrated Telecom Management Systems, 통합 통신 관리 시스템)

ITU (International Telecommunication Union, 국제전기통신연합)

ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector,
국제전기통신연합 - 라디오 주파수 대역)

LAN (Local Area Network, 근거리 통신망)

Lat (Latitude, 위도)

LB (Load Balancing, 부하 분산)

Lon (Longitude, 경도)

LSA (International Life-Saving Appliance, 국제구명연맹)

MDF (Main Distribution Frame, 주 배선반)
MED (European Marine Equipment Directive, 유럽 해양 장비 지침)
MF (Medium Frequency, 중파)
MIU (Master Interface Unit, 마스터 인터페이스 장치)
MOS (Meteorological Observation System, 기상 관측 시스템)
MRU (Motion Reference Unit, 모션 계측 장치)
NAVTEX (Navigation Telex, 네비텍스)
Nm (Nautical Mile, 해리)
NMEA (National Marine Electronics Association, 국제 해상 전자 위원회)
NORSOK (Norsk Sökkels Konkuranseposisjon, 노르웨이 해양 표준)
PABX (Private Automatic Branch Exchange, 사설 자동 교환기)
PAGA (Public Address and General Alarm, 공용 방송 및 경보 알람)
PLL (Phase Locked Loop, 위상 고정 루프)
PDP (Power Distribution Panel, 배전반)
PSU (Power Supply Unit, 전원 공급 장치)
QoS (Quality of Service, 서비스 품질)
Radar (Radio Detecting and Ranging, 레이더)
RDS (Receiver Dynamic Sensitivity, 수신 감도)
RLSS (Registered Location Secure Server, 등록 위치 보안 서버)
RPM (Revolution per Minute, 분당 회전수)
RS232 (Recommended Standard-232, 권고 표준-232)
RS422 (Recommended Standard-422, 권고 표준-422)
RTC (Real Time Clock, 실시간 시계)
Rx (Receive, 수신)
SAN (Ship Area Network, 선박 통합 통신망)
SATA (Serial Advanced Technology Attachment, 직렬 고급 기술 결합)
Sm (Statute Mile, 욕리)
SOLAS (International Convention for Safety of Life at Sea, 해상인명안전조약)
SSAS (Ship Safety Alert System, 선박 안전 경보 시스템)

SSR (Semi Submergible Rig, 반잠수시추선)
Super (Wi-Fi Super Wireless Fidelity, 슈퍼 와이파이)
TC (Target Coverage, 목표 커버리지)
TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol,
전송 제어 프로토콜/인터넷 프로토콜)
TETRA (Terrestrial Trunked Radio, 유럽형 디지털 주파수 공용 통신)
TEU (Twenty-foot Equivalent Unit, 티이유)
TIU (Telecommunication Interface Unit, 통신 인터페이스 장치)
TMN (Telecommunication Management Network, 통신 네트워크 관리)
TMS (Telecommunication Management System, 통신 관리 시스템)
TSI (Telecom System Integration, 통신 시스템 통합)
TSS (Target Signal Strength, 목표 신호 세기)
TVWS (Television White Space, TV 유휴 채널)
Tx (Transmit, 송신)
UHF (Ultra High Frequency, 극초단파)
UPS (Uninterrupted Power Supply, 무정전 전원 장치)
UTM (Universal Transverse Mercator, 지리좌표)
VDR (Voyage Data Recorder, 선박항해기록장치)
VHF (Very High Frequency, 초단파)
VSAT (Very Small Aperture Terminal, 초소형 지구국)
WAN (Wide Area Network, 원거리 통신망)
Wi-Fi (Wireless Fidelity, 와이파이)
WLAN (Wireless Local Area Networks, 무선 근거리 통신망)
WRAN (Wireless Regional Area Networks, 무선 외곽 지역 통신망)

선박과 해양플랜트의 통신 시스템 환경 개선을 위한 e-TMS와 슈퍼 Wi-Fi

김 정 우

한국해양대학교 대학원

컴퓨터공학과



초록

과거 선박과 해양플랜트에서 통신 시스템은 원거리 의사소통을 위한 단순 통신도구였다. 지금까지도 선박과 해양플랜트에서의 통신 시스템은 안전, 관리, 운영과는 거리가 멀다. 국제해사기구는 통신 시스템에 대한 체계를 확립하지 않고 있다. 수십 년 전에 개발되어 기술적인 발전이 없는 통신 시스템이 선박과 해양플랜트에 설치된다.

오늘날 해양 사고와 경제성 향상을 위한 비용 절감의 요구가 높아지면서 통신 시스템을 기반으로 한 다양한 차세대 기술들이 나타나고 있다. 곧 선박과 해양플랜트의 모든 시스템들은 통신 시스템에 의해 관리와 통제를 받게 될 것이다. NORSOK은 1990년대 말 통신 시스템의 관리를 위해 해양플랜트용

TMS를 제안하였다. 하지만 당시의 해상용 통신 시스템의 기술적인 한계와 높은 설치 비용으로 인해 만족도가 낮아졌고 결국 확장에 실패한다. 해양플랜트용 TMS가 실패한 원인을 분석하고 통신 시스템의 재정의를 통해 선박과 해양플랜트를 위한 개선된 TMS가 필요하다.

선박과 해양플랜트는 육상보다 훨씬 높은 안정성과 다양성이 필요하다. 선박과 해양플랜트에서 검증되지 않은 통신 시스템을 사용하면 해양 사고와 같은 심각한 부작용을 초래한다. 통신 시스템은 기능을 재정의하고 체계화해야 한다. 통신 시스템의 체계화는 선박과 해양플랜트의 시스템 간 통일성과 확장성을 가져온다. 체계화된 통신 시스템을 바탕으로 선박과 해양플랜트를 위한 개선된 e-TMS를 제안한다. 제안하는 e-TMS가 처리 시간과 시스템의 운영 비용 면에서 우수하다는 것을 실험을 통해 증명한다.

최근 들어 선박과 해양플랜트는 규모가 커지고 구조는 더 복잡해지고 있다. 이와 함께 다양한 시스템들이 추가되어 과거에 비해 많은 양의 데이터 처리를 필요로 한다. 무인 선박, 무인 해양플랜트, 인공지능 선박과 같은 차세대 기술들은 대규모의 데이터를 처리해야 한다. 선박과 해양플랜트도 육상에서처럼 전 구역에 무선 네트워크를 구축하여 장소와 시간에 제약 없이 실시간 데이터를 처리할 수 있어야 한다. 선박과 해양플랜트에서의 무선 네트워크 환경은 단순 통신수단을 넘어 상태 정보, 고장 진단, 위치 추적, 사고 예방, 안전 관리에 대한 실시간 관리와 통제를 할 수 있게 한다. 현재 선박과 해양플랜트는 Wi-Fi를 설치하여 부분적으로 무선 네트워크를 구축한다. 공용 주파수를 사용하는 Wi-Fi는 전파 전달 범위가 좁아 복잡한 철 구조물인 선박과 해양플랜트에는 적합하지 않고 사용 범위도 극히 제한적이다. 지금까지 선박과 해양플랜트의 무선 네트워크 환경 구현에 대한 실패 원인과 UHF, TETRA, Wi-Fi의 주파수 별 특성과 장단점을 실험을 통해 확인한다.

해상을 이동하는 선박과 해양플랜트는 전파 전달 범위가 넓어야 하고 공용 주파수를 사설 주파수와 같이 사용할 수 있어야 한다. TV 화이트 스페이스를

이용하며 Wi-Fi보다 전파 전달 범위, 투과율이 모두 우수한 슈퍼 Wi-Fi에 대해 실험하고 분석한다. 실험 결과를 바탕으로 UHF 시스템을 이용한 슈퍼 Wi-Fi 환경을 구현하는 것을 제안한다. 마지막으로 선박과 해양플랜트에 슈퍼 Wi-Fi를 이용한 무선 네트워크 환경을 구현하는 것을 실험을 통해 증명한다.

Key Words: 와이파이, TMS, 슈퍼 와이파이, UHF, 해양 플랜트



e-TMS and Super Wi-Fi for
Improving Telecommunication Systems Environment
on Ships and Offshore Plants

Kim, Jungwoo

Department of Computer Engineering,
Graduate School of
Korea Maritime and Ocean University



Abstract

Telecom systems for ships and offshore plants used to be a simple tool for distance communication. In contrast to land-based telecom systems technology today that has been rapidly evolving, telecom systems for ships and offshore plants are far from being used as administration tools for safety, control and operation. Unlike other systems, telecom systems for ships and offshore plants have not been systematized by the IMO(International Maritime Organization). Telecom systems developed decades ago are still installed on ships and in offshore plants. However, to meet the increasing demand for marine accident prevention and operation cost

saving, a wide range of technologies based on telecom systems have been emerging. Thus, telecom systems will play pivotal roles in controlling and administering all systems for ships and offshore plants.

At the end of the 1990s, the NORSOK proposed the TMS for administering the telecom systems for offshore plants. Yet, the TMS for offshore plants fails to meet the technical standard proposed by the NORSOK due to the diversity of telecom systems. The high installation cost thwarts the applicability and scalability of the TMS for offshore plants. This paper proposes a method of redefining and systematizing the telecom systems installed on ships and in offshore plants with intent to address the challenges relevant to the TMS for offshore plants. Systematization of the telecom systems would add to their scalability as well as compatibility with other systems operated on ships and in offshore plants.

This paper proposes an improved e-TMS(enhanced-TMS) based on the systematized telecom systems for ships and offshore plants, and experimentally demonstrates the performance of the proposed e-TMS in terms of its data processing time and operation cost.

The scales and the structural complexity of ships and offshore plants continue to increase. With the operation and administration of ships and offshore plants drawing increasing attention, they need to process ever larger volumes of data. Next-generation ships and offshore plants including unmanned ships, unmanned offshore plants, remote-controlled ships and smart ships should be fitted with scalable and compatible systems capable of processing large volumes of data in real time, which calls for the installation of a wireless network environment that ensures ubiquity and mobility. The wireless network environment for ships and offshore plants features the real-time administration and control over not only communication but also status information, fault diagnosis, safety control, location

tracking and accident prevention. Yet, ships and offshore plants characterized by steel structures have Wi-Fi networks installed in limited onboard areas. Using shared frequency band, a Wi-Fi network provides a short radio propagation range, which is limited to short-range transmissions. Internationally travelling ships and offshore plants require a long-range radio propagation and a method of using shared frequency band as private frequency band.

This paper analyzes the factors precluding the full implementation of wireless networks on ships and in offshore plants, experimentally verifies the attributes as well as the strengths and weaknesses of UHF, TETRA and Wi-Fi frequencies widely used for ships and offshore plants, and also analyzes the radio propagation range and radio transmittance of super Wi-Fi using the TV white space. Finally, this paper proposes implementing a super Wi-Fi environment using the UHF system of TMS, and experimentally tests the performance of an implemented wireless network environment using the super Wi-Fi on ships and in offshore plants.

Key Words: Wi-Fi, TMS, Super Wi-Fi, UHF, Offshore plant



제 1 장 서론

1.1 연구 목적 및 배경

오늘날, 통신 시스템(telecom systems)은 정보기술과의 접목으로 급속한 기술 발전을 이뤘다. 그러나 선박과 해양플랜트는 육상에 비해 통신 시스템의 활용도가 낮다. 차이가 발생하는 원인은 크게 네 가지로 분석 된다.

첫째, 의사결정 방법이다. 육상은 넘쳐나는 데이터와 정보를 신속한 의사결정의 수단으로 인식하고 이용한다. 선박과 해양플랜트에서 의사결정은 사람의 경험에 의해 결정되고 이뤄진다.

둘째, 해상은 육상에 비해 접근이 어렵다. 육상은 전원공급에서부터 유지 보수까지 접근에 대한 제약이 없어 장애나 사고 시 신속한 대응이 가능하다. 선박과 해양플랜트는 육상의 지원이 어렵기 때문에 간단한 유지 보수부터 장비교체까지 모든 것을 지원 없이 스스로 해결해야 한다. 위성을 이용한 방법도 소개되고 있지만 높은 통신비용과 낮은 통신속도가 문제가 된다.

셋째, 해상전용 인증을 요구한다. 선박과 해양플랜트에 설치하는 장비들은 선급(classification)으로부터 인증(certification)을 받아야 한다. 해양의 예측하기 어려운 기상환경과 협소한 작업공간에서의 안전을 보장하기 위해서다. 그러나 인증과정은 복잡하고 많은 시간과 비용을 필요로 하므로 새로운 기술이 시장에 진출하는 것은 어렵다. 오랫동안 유지되고 있는 독과점적인 시장구조는 기술개발비용과 실패비용을 모두 고객에게 요구한다. 마지막으로 국제해사기구(IMO, international maritime organization)와 같은 해상조약에서 의무탑재장비로의 발효가 어렵다. 1974년, 해상인명안전조약(SOLAS, international convention for safety of life at sea)은 선박과 인명의 안전을 위해 국제적으로 통일된 원칙과 규칙을 갖는 것을 목적으로 발효되었다[1]. 그러나

통신 시스템은 일부의 항해 장비와 라디오 장비에 국한되었다. 2000년 초에 일부 개정이 있었지만 크게 변경되지 않았다[2]. IMO는 수십 년 전에 발효된 조항을 지킬 것을 강요하며 선박과 해양플랜트에 새로운 통신 시스템이 접근하는 것을 제한하고 있다.

지금까지 선박과 해양플랜트의 통신 시스템에 대한 체계화는 진행된 적이 없다. 선단을 갖춘 대규모의 선박과 해양플랜트 운영사일수록 제품의 장단점을 파악하여 보완하기 보다는 사용에 익숙하다는 이유로 변화를 싫어한다. 그 결과 통신 시스템은 제조사 마다 제품특성이 서로 달라 관리가 어렵다.

오늘날 차세대 선박과 해양플랜트는 통신 시스템에 대한 비중이 지속적으로 증가하고 있다. 선박과 해양플랜트와 같은 크고 복잡한 구조물을 사람이 모두 관리하는 것은 한계가 분명하다. 나아가 시스템, 설비, 인원 등에 대한 실시간 관리를 위해 무선 네트워크 환경이 필요하다. 하지만 지금까지 선박과 해양플랜트에서 전 구역에 대한 무선 네트워크 환경을 구현하는 것은 비용과 효율적인 이유로 인해 불가능한 것으로 인식되고 있다. 선박과 해양플랜트에 새로운 개념의 무선 네트워크 환경을 구현하는 방법을 찾고 이를 바탕으로 의사 결정을 돕기 위한 최선의 관리도구를 찾는 연구가 필요하다.

1.2 연구 내용

1990년대 말 노르웨이 북해(north sea)에 설치되는 해양플랜트의 통신 시스템에 대한 관리를 위해 TMS(telecommunication management system)가 NORSOK에 의해 정의되었다[3]. 하지만 TMS는 데이터 처리 지연, 어려운 제어, 제한적인 정보, 비싼 설치비와 높은 유지비로 인해 보급에 실패한다. 본 논문은 해양플랜트용 TMS의 실패원인과 통신 시스템의 체계화에 대한 상관관계를 분석한다. 선박과 해양플랜트의 무선 네트워크 환경을 바탕으로 통신 시스템의 체계화를 기반으로 한 개선된 e-TMS(enhanced-TMS)를 제안한다. 나아가 체계화된 통신 시스템을 갖는 e-TMS가 데이터의 처리 시간과 시스템의 운영

비용 면에서 우수하다는 것을 실험을 통해 증명한다.

선박과 해양플랜트에서 통신 시스템에 대한 체계화를 기반으로 대용량의 데이터를 실시간으로 처리하기 위해서는 안정적인 네트워크가 구성되어야 한다. 하지만 무선 네트워크는 선박과 해양플랜트의 상황에 따라 일부 구역에 대해 부분적으로 구성된다. 선박과 해양플랜트의 전체에 대한 무선 네트워크 환경이 구현되지 않으면 육상과 같은 편의성과 다양성의 확보는 어렵다. 따라서 제안하는 체계화된 통신 시스템을 바탕으로 선박과 해양플랜트에서 무선 네트워크 환경을 분석하고 구현 한다.

오늘날 선박과 해양플랜트는 규모와 구조가 점점 더 커지고 복잡해지고 있다. 이와 함께 시스템들도 함께 발전을 거듭하며 대규모 데이터의 처리를 요구하고 있다. 향후 스마트 선박, 무인 선박과 같은 차세대 선박들은 선박 내에서 처리해야 하는 데이터가 더욱 증가하게 될 것이다. 그러나 아직까지 선박과 해양플랜트의 데이터는 대부분 유선 네트워크로 처리된다. 유선 네트워크는 사용범위에 제약이 있어 데이터를 이동하면서 신속하게 처리할 수 없다. 선박과 해양플랜트도 육상에서 사용하는 Wi-Fi를 이용하여 무선 네트워크를 구성하기 위한 많은 시도가 있었다. 하지만 Wi-Fi는 선박과 해양플랜트와 같은 복잡한 철 구조에는 취약하므로 일부 구역 내에서만 사용되며 선박과 해양플랜트 전체에 대한 커버리지(coverage)를 할 수 없다. 선박과 해양플랜트에 대한 새로운 무선 네트워크 환경은 해양산업의 기술 발전을 위해 반드시 필요하다. 무선 네트워크 환경은 통신수단을 넘어 상태 정보, 고장 진단, 위치 추적, 사고 예방, 안전 관리 등을 모두 실시간으로 관리하고 통제하게 한다. 선박과 해양플랜트에서 무선 주파수에 대한 특성을 파악하기 위해 현재 선박과 해양플랜트에서 많이 사용하는 TETRA(terrestrial trunked radio), UHF(ultra high frequency), Wi-Fi에 대한 주파수 별 특성과 장단점을 실험을 통해 분석한다. 선박과 해양플랜트의 무선 네트워크 환경의 수립을 위해 본 논문은 TMS의 UHF 시스템을 이용한 슈퍼 Wi-Fi(super Wi-Fi) 환경을 제안한다.

슈퍼 Wi-Fi로 선박과 해양플랜트에 무선 네트워크 환경을 수립하는 것을 실험을 통해 증명한다.

1.3 논문의 구성

제1장에서는 오늘날 선박과 해양플랜트가 갖고 있는 무선 네트워크 환경의 구현이 어렵고 이로 인한 통신 시스템의 관리 방법이 부재한 원인과 문제점에 대해 고찰하고 연구의 필요성을 설명한다. 제2장에서는 기존 TMS와 통신 시스템을 소개하고 현재의 상황과 문제점을 분석한다. 제3장에서는 TMS를 개선하기 위해 통신 시스템을 체계화하기 위한 방법을 제안하고 기준을 제시한다. 선박과 해양플랜트에서 통신 시스템을 체계화하기 위해서는 무엇보다 해사기구와 조약의 역할이 가장 중요함을 강조한다. 제4장에서는 선박과 해양플랜트에서 무선 네트워크를 이용한 실시간 관리가 필요함을 설명한다. 현재까지 역부족으로 인식되는 선박과 해양플랜트의 전 구역에서 무선 네트워크 환경을 구현하기 위한 조건들을 분석한다. 제5장에서는 무선 네트워크 환경의 구현을 위해 현재 선박과 해양플랜트에서 사용하는 전 세계 무선 주파수 대역을 분석한다. 무선 주파수 대역 중 가장 보편적으로 설치되는 UHF 시스템에 대해 설명하고 분석한다. UHF 시스템이 보유한 문제점을 해결하기 위해 3차원 기반의 커버리지 연구 기법을 적용하여 검증한다. 커버리지 연구로 선박과 해양플랜트에 무선 네트워크 환경 구현을 위한 안정성 확보가 가능한지 분석한다. 제6장에서는 이동하는 선박과 해양플랜트에서 무선 네트워크를 구현하지 못하는 원인들을 확인하기 위해 모든 무선 주파수 대역에 대한 커버리지 연구를 수행한다. 기존의 Wi-Fi가 갖는 단점을 극복할 수 있는 방법으로 슈퍼 Wi-Fi를 제안한다. 전 세계 TVWS를 갖는 슈퍼 Wi-Fi로 공용주파수로 자가망을 구축하여 상용주파수와 같은 효과를 얻을 수 있는 방법을 확인 한다. 커버리지 연구의 수행 결과를 바탕으로 UHF 시스템과 슈퍼 Wi-Fi의 안테나 개수를 분석하여 상호 조합이 가능한지를 실험을 통해

확인한다. 제7장에서는 기존 TMS와 제안하는 e-TMS에 대한 비교 실험을 수행하여 데이터 유형 별 처리 속도를 분석한다. 해양플랜트를 대상으로 UHF 시스템 기반의 슈퍼 Wi-Fi를 이용한 무선 네트워크 환경을 구현하기 위한 실험을 수행한다. 마지막으로 제8장에서는 본 논문의 제안을 바탕으로 앞으로 선박과 해양플랜트에서 해결해야 할 내용과 향후 연구에 대해 설명한다.



제 2 장 TMS와 통신 시스템 현황

2.1 TMS 개요

1990년대 초, 국제전기통신연합(ITU, international telecommunication union)은 TMN(telecommunication management network)에 대해 정의하였고 트래픽 관리, 사용자 접근, 서비스 품질에 대한 관리 서비스를 포함하였다[4]. 나아가 알람 정보, 로그 정보 관리, 이력, 통계, 요구, 예측에 대한 알람 감시에 대해 상세히 정의하였다[5]. 비슷한 시기에 콘텐츠 제공 사업자, 어플리케이션 제공 사업자, 통신 서비스 제공 사업자, 네트워크 제공 사업자, 서비스 플랫폼등을 하나로 통합하는 ITMS(integrated telecom management system)이 등장하였다[6]. 이후부터 시스템들을 통합하여 관리하는 인터페이스 기반의 시스템들이 발전하였다. 해양플랜트용 TMS도 통신 시스템으로부터 알람을 모니터링 하기 위한 목적으로 시기와 등장배경이 TMN과 비슷하다.

2.1.1 TMS 정의

1990년대 말, 노르웨이 해양 표준인 NORSOK(T-001, T-100)에서 석유 시추(petroleum)와 관련 있는 해양플랜트를 위해 TMS가 정의되었고 NORSOK이 적용되는 해양플랜트는 TMS를 의무적으로 설치하도록 규정하고 있다[3,7]. NORSOK T-100에서 제안하는 TMS는 Fig. 2.1과 같이 LAN(local area network)과 WAN(wide area network)을 기반으로 하는 서버/클라이언트 구조이다.

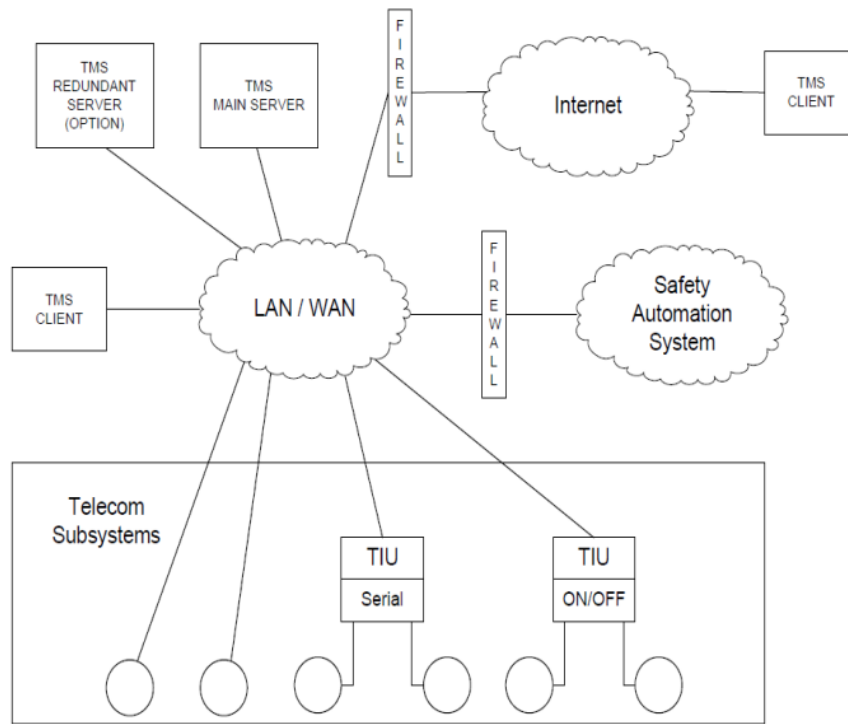


Fig. 2.1 Schematic diagram of TMS as NOROSOK T-100

TMS는 해양플랜트에서 운영되는 통신 하부시스템(telecom subsystems)의 상태를 모니터링하고 관리하기 위한 것으로 서버, 클라이언트, TIU(telecommunication interface unit)로 구성된다. 통신 시스템을 NOROSOK에서는 통신 하부시스템이라고 정의하였다. 본 논문에서는 NOROSOK의 TMS에 대한 내용은 통신 하부시스템으로 정의하고 그 외는 모두 통신 시스템으로 정의한다.

통신 하부시스템으로부터 메시지를 수신하고 가공하여 운영자에게 전달한다. 추가적으로 안전 시스템과 자동화 시스템에 대한 메시지도 육상의 관제센터로 전송한다.

TMS는 여러 산업 군에서 일반적으로 사용되고 있는 용어로 통신 시스템 간의 정보를 취합하고 분석하는 시스템이다. 지금까지 개별적으로 관리되던 통신 관련 시스템들을 통합하여 유용한 공통 정보를 함께 활용하는 개념이다.

NORSOK T-100 통신 하부시스템에 의하면 TMS는 Table 2.1과 같이 총 31개의 통신 하부시스템으로부터 메시지를 수신하도록 정의하고 있다[8]. 통신 하부시스템에는 해양플랜트 전용 시스템들이 많다. NORSOK의 TMS는 선박을 고려 대상에서 제외하였다.

Table 2.1 Telecom subsystems as NORSOK T-100

Subsystems	Title
86-11	Public address and general alarm (PAGA)
86-12	Driller' s intercom
86-21	Telephone system (PABX)
86-22	Multiplexer
86-23	Office data network equipment
86-24	Office data and telephone cabling network
86-31	Radio links
86-35	Satellite links
86-36	Wireless broadband access network
86-37	Vessel network (coastal VHF and mobile telephone base stations)
86-39	Fibre optic cable links
86-41	General radio
86-42	UHF radio and paging
86-43	Audio and video entertainment

86-45	Personnel tracking
86-51	Closed circuit television (CCTV)
86-52	Meteorological observation
86-53	Marine radar and automatic identification system (AIS)
86-54	Aviation radar
86-55	Communication recorder
86-61	Shuttle tanker loading telemetry
86-62	Work over telemetry
86-63	Pipeline telemetry
86-70	Navigational aids
86-71	Distance measuring instrument
86-72	ATIS/AFTN for aviation
86-73	Positioning
86-81	Main distribution frame (MDF)
86-82	Telecom power supply
86-83	Real time clock (RTC)
86-84	Telecommunication management system

NORSOK에는 통신 하부시스템 별로 수신해야 하는 메시지가 정의되어 있지 않다. TMS와 통신 하부시스템 간의 메시지 송·수신에 대한 방법과 정의는 TMS 제조사가 해결해야 한다. 그 결과 NORSOK에서 정의한 TMS는 데이터에

대한 신뢰성이 낮고 통신 하부시스템 간 호환성이 부족하다. NORSOK에 의해 TMS를 의무적으로 설치해야 하는 해양플랜트는 TMS로 인해 시스템 구성 및 설치 비용이 상승한다. 따라서 NORSOK이 적용되지 않는 해양플랜트는 TMS를 거의 설치하지 않는다.

2.1.2 TMS 문제점

해양플랜트는 폭발의 위험이 높아 폭발 사고 시 수많은 생명과 자산을 잃게 된다. 신속한 사고대응 및 예방과 승무원들의 긴장 완화와 휴식을 위해 해양플랜트는 최첨단의 통신 시스템이 설치된다. 해양플랜트에서 통신 시스템에 대한 관리는 무엇보다 중요하다. 처음 TMS의 등장 시 통신 시스템의 관리 부재를 해결할 것으로 기대되었으나 지금은 적용 조차 제대로 되지 못하고 있다.

Fig. 2.2는 현재 TMS가 해양플랜트에 구축되는 과정이다. TMS는 단독 시스템을 설치하는 것이 아니라 통신 하부시스템과의 인터페이스, 데이터를 함께 처리해야 하므로 설치 과정이 복잡하다. TMS의 설치 과정에서 가장 큰 문제는 결정한 사항에 대한 재검토와 재결정이 가능하다는 것이다. TMS에 적용할 통신 하부시스템을 선정하는 과정도 어렵지만 만약 선정된 통신 하부시스템의 제조사로부터 TMS가 원하는 데이터를 제공받을 수 없다면 일련의 과정들을 다시 처음부터 반복해야 한다[9].

Fig. 2.2에서 커미셔닝 기간에 실시하는 데이터 형식을 확인하는 과정은 TMS를 설치하는데 있어 가장 어렵고 가장 많은 시간소모를 필요로 한다. 통신 하부시스템마다 서로 다른 데이터 형식의 데이터를 TMS에 전달한다. 이런 이유로 TMS는 작위적으로 데이터 가공하고 해석하여 사용한다. TMS는 현장 상황에 맞춰 TMS 구성과 설정 방법이 결정되고 데이터 처리에서 가장 중요한 데이터베이스의 디자인도 변경한다. 특히 TMS는 데이터 처리 시간에 대한 정의가 없다. TMS는 원래 취지인 관리 시스템으로써의 통제와 제어에 대한

역할보다는 규정에 맞는 TMS라는 시스템을 설치한 것으로 종료된다. 초기 TMS는 통신 시스템에 대한 통합 관리라는 개념으로 많은 주목을 받았지만 설치·운영상의 단점이 개선되지 않으면서 관심에서 멀어지고 있다.

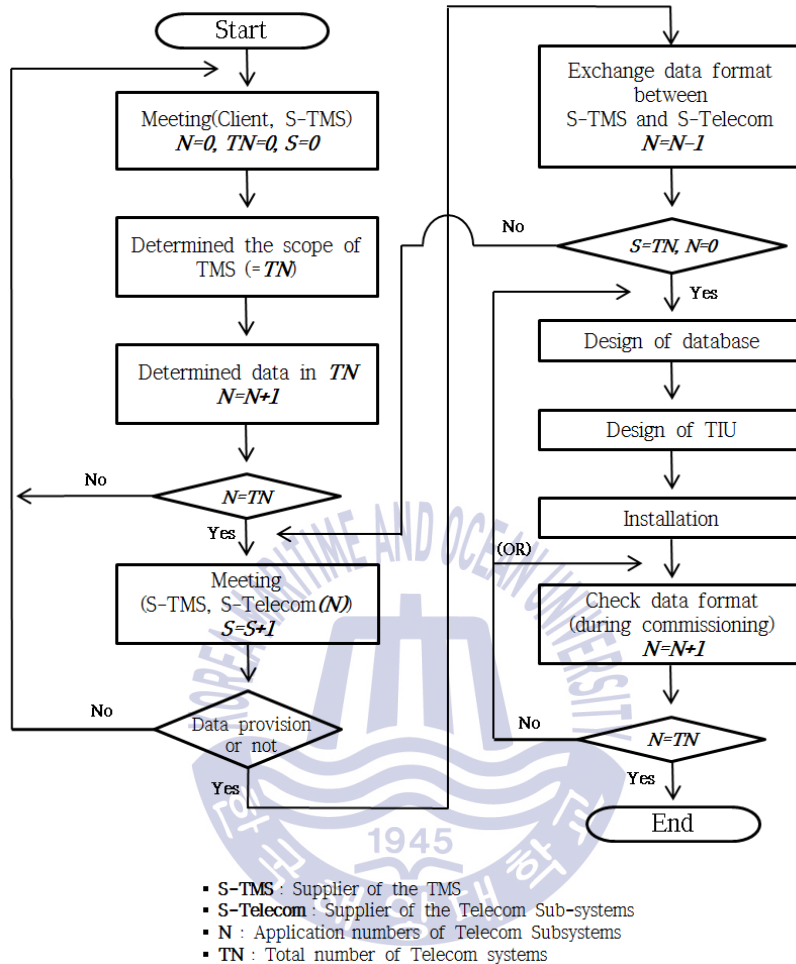


Fig. 2.2 Workflow for existing TMS

TMS의 복잡한 구축 방법이 개선되지 못하는 근본 원인에 대한 분석이 필요하다. TMS 스스로의 문제인지 아니면 다른 외부 영향에 의한 복합적인 문제인지 분석한다. 현재의 TMS 구축 과정이 복잡하고 반복적인 이유는 크게 네 가지로 요약된다.

첫째, TMS의 구성이 사용자(선주) 옵션에 의해 결정된다. TMS 구성의 핵심 요소인 메인 서버, 이중화 서버, 클라이언트, 통신 하부시스템 등에 대한 구성요소를 사용자가 결정한다. TMS의 구성은 강제 사항이 없어 사용자에게 의해 구성의 변화가 잦다. TMS의 구성은 사용자가 원하면 언제든지 변경할 수 있다.

둘째, 통신 하부시스템의 범위가 불명확 하다. Table 2에 정의된 통신 하부시스템은 NORSOK이 적용되는 모든 해양플랜트에서 적용되지 않는다. 설치되는 NORSOK T-001과 T-100에는 통신 하부시스템으로부터 알람을 받아야 한다고 되어 있다. 하지만 Table 2.1의 모든 통신 하부시스템으로부터 알람을 받아야 한다는 내용은 없다. 따라서, NORSOK은 Table 2.1의 통신 하부시스템 중 필요한 통신 하부시스템만을 TMS와 연결해도 된다. TMS가 통신 하부시스템에 대한 관리 방법이 아니라 불특정한 일부 시스템을 분석하기 위한 도구로 해석되는 이유이다.

셋째, 저장 내용, 저장 기간에 대한 정의가 없다. 선박과 해양플랜트에 적용되는 시스템은 효율적인 관리와 호환성을 위해 데이터에 대한 정의가 필수이다. 해상은 육상과 달리 데이터에 대한 백업, 유지 보수가 실시간으로 이루어지지 않는다. 선박과 해양플랜트에 설치되는 시스템들은 안정성을 높이기 위해 IMO, 조약, 선급에서 정한 규정을 바탕으로 설계되어 설치한다. 타 시스템들이 데이터와 같은 기초적인 항목들을 정의하는 이유이다. 데이터가 체계화 되지 않으면 저장 기간에 따른 서버의 용량을 설정할 수 없다. 선박과 해양플랜트는 한정된 공간을 갖는 확장이 어려운 구조물이다. 설치 공간과 장비규모가 불명확할 경우 비용 증가를 우려하여 규모가 축소된다.

마지막으로 통신 하부시스템에 대한 제조사와 모델은 TMS 설계과정에서는 알 수 없다. 전 세계에는 다양한 통신 하부시스템이 존재하고 제조사마다 특성이 다르다. TMS를 공급하는 업체가 통신 하부시스템을 함께 공급하면 문제가 해결될 수 있다. 하지만 사용자의 선호장비와 독점권 방지를 위해 통신 하부시스템은 조선소의 구매단계를 거치게 된다. 따라서, 구매단계가 완료되기

전까지는 통신 하부시스템에 대한 제조사와 모델을 TMS 공급업체는 알 수 없다. TMS가 원하는 데이터를 최종 결정된 통신 하부시스템이 제공하여 만족한다는 보장이 없다. Fig. 2.2와 같이 통신 하부시스템은 TMS와의 연결에서 제외되거나 교체된다. TMS는 불명확한 통신 하부시스템으로부터 데이터를 받아야 하기 때문에 커미셔닝 단계에서 가장 많은 반복과 수정이 발생한다.

Table 2.2는 해양플랜트에 설치된 TMS 견적을 분석하여 세부항목별 금액을 비율로 나타냈다[9,10].

Table 2.2 Sample of price in TMS(Average)

Product	Description	Unit (Lot)	Percentage per price	Note
Cabinet	Server, Database Server, Software	1	39%	Option
TIU	Test of each equipment	1	7%	
Commissioning	Installation, Integration	1	41%	
Engineering	Documents, Drawing	1	9%	
Etc.	Spare or etc.	1	3%	
Redundant	Server, Database Server, Software, Agent for interface	1	n/a	Option

특이한 사항은 커미셔닝 비용이 전체 금액의 40% 이상을 차지한다. 일반적인 선박과 해양플랜트에서 시스템을 설치할 경우 커미셔닝 비용은 시스템 전체금액의 평균 5~10%이다. 커미셔닝 비용은 대부분이 인건비로 구성된다. TMS가 인건비 비용이 다른 시스템에 비해 높은 것은 통신 하부시스템의

다양성과 이로 인해 데이터가 체계화 되지 않았기 때문으로 분석된다. 현재의 TMS는 엔지니어의 현장 능력에 의해 수작업으로 설치된다. 따라서, TMS는 유지보수와 시스템 업그레이드가 어렵고 작업 비용이 높다.

선박과 해양플랜트에서 TMS의 적용을 확대하기 위해서는 보다 강력한 규제와 커미셔닝 부분에 대한 구축 비용을 10% 이하로 절감해야 한다.

2.1.3 TMS 성장 한계

앞서 분석한 복잡한 구축과정과 비용문제로 인해 NORSOK에서 제안한 해양플랜트용 TMS는 선박은 물론 해양플랜트로의 확대 적용에도 실패한다. 그 원인은 크게 네 가지로 분석된다.

첫째, TMS는 총 31개의 통신 하부시스템으로부터 알람 정보를 수신한다. 통신 하부시스템은 선박과 해양플랜트에서 일반적으로 설치되지 않는 시스템을 많이 포함하고 있다. 따라서, 선주들과 운영사들로부터 필요성에 대한 공감대를 얻지 못하였다.

둘째, 통신 하부시스템으로부터 수신해야 하는 알람의 목록과 알람에 대한 처리 방법이 정의되지 않았다. 선주, 운영사, 제조사가 필요로 하는 알람을 포함하지 못했다. 통신 하부시스템에 국한이 아닌 안전 시스템, 알람 시스템, 자동화 시스템 등에 대한 확대가 필요했다.

셋째, 통신 하부시스템과의 인터페이스를 위해 TIU를 사용하였다. TIU는 통신 하부시스템에서 발생한 알람을 TMS가 원하는 데이터 유형(data type)으로 변환한다. 데이터의 신뢰성과 통신 하부시스템 간의 호환성을 떨어뜨렸다.

마지막으로 비정상적인 설치 비용이다. 타 시스템 보다 30%를 이상을 차지하는 커미셔닝 비용은 TMS의 가장 큰 문제이다. TMS의 확장성이 낮아져 시스템을 추가가 어렵고 사용자의 관리 방법 변경이나 유지 보수와 같은 기본적인 사항 조차 많은 비용을 필요로 한다. NORSOK에서 TMS에 대한 정의가 분명하지 않은 것은 전 세계의 다양한 통신 하부시스템을 만족시킬 수

있는 방법이 없었기 때문이다.

육상에 비해 상대적으로 시스템 적용이 어려운 해상에서는 아직까지 통신 시스템, TSI(telecom system integration), TMS와 같은 용어가 보편화 되지 않았다. 해양플랜트용 TMS는 통신 시스템에 대한 체계화를 고려하지 않았고 관리 시스템에 대한 이해가 부족했다. TMS가 선박과 해양플랜트에 성공하기 위해서는 기본이 되는 통신 시스템에 대한 체계화가 필요하다. 통신 시스템의 체계화가 시스템 발전에 얼마나 중요한지 NORSOK의 해양플랜트용 TMS에 대한 분석을 통해 알 수 있었다.

2.1.4 TMS 개선의 필요성

해양 사고는 다른 산업에 비해 발생 빈도는 낮지만 사고 시 대부분이 대형사고로 국가적인 문제로 이어진다. 기름 유출 사고, 전복 사고, 침몰 사고, 폭발 사고 등이 대표적이다. 국내에서 발생한 것으로는 Fig. 2.3의 서해 태안 기름 유출 사고와 Fig. 2.4의 세월호 전복 사고가 있다. 2007년 12월 7일의 태안에서의 유조선 허베이 스피릿(hebei spirit)호와 크레인선과의 충돌로 인해 약 1만 2천리터의 원유가 유출되었다. 이 사고로 인해 수천억 원 이상의 재산 피해와 주민들의 건강악화와 같은 후유증이 발생하였다[11]. 2014년 4월 16일의 여객선 세월호가 전복되어 침몰하여 300명 이상의 사망자가 발생하였다[12].



Fig. 2.3 Accident of oil spill at Taean in 7th Dec. 2007



Fig. 2.4 Accident of Sewol ferry' s rollover in 16th April 2014

해외에서 발생한 대표적인 사고 사례로는 Fig. 2.5의 북해에서의 해양플랜트 폭발 사고와 Fig. 2.6의 멕시코 걸프만 해양플랜트 폭발 사고이다. 1988년 7월 6일의 북해에서의 파이프 알파(piper alpha)호 폭발 사고는 167명의 사망자와 3.4억불의 재산 피해가 발생하였다[13]. 2010년 4월 20일 멕시코 걸프만의 딥워터 호라이즌(deepwater horizon)호 폭발 사고는 11명의 사망자와 약 8억리터의 원유가 유출되었다. 이 사고로 해당 선사는 재산 피해, 오염정화와 피해배상 등으로 약 600억불 이상의 비용을 지불하였다[14].



Fig. 2.5 Accident of plant explosion at the North Sea in 6th July 1988



Fig. 2.6 Accident of plant explosion at the Gulf of Mexico in 20th April 2010

해양 사고로 인한 물질 피해와 인명 피해는 막대한 비용은 물론 도덕성까지 책임을 묻고 있다. 사고를 살펴보면 해양 사고는 대부분이 사람의 과실에 의해 발생하는 인재이다. 선박과 해양플랜트와 같이 크고 복잡한 구조물은 사람이 관리할 수 있는데 한계가 있다. 발생하는 문제점들을 모니터링하고 제어할 수 있도록 시스템이 발전해야 한다. 따라서 최근 들어 선주사들은 선박과 해양플랜트의 건조와 운영 시 안전을 최우선으로 검토하고 적용한다.

최근 Fig. 2.7과 같이 해상 안전, 해양 기술과 관련하여 많은 기술 개발이 이뤄지고 있다. 스마트 네비게이션, 해상 교통 모니터링, 이네비게이션, 해양 사고 분석, 긴급구난 및 오염방제 등이 대표적이다.

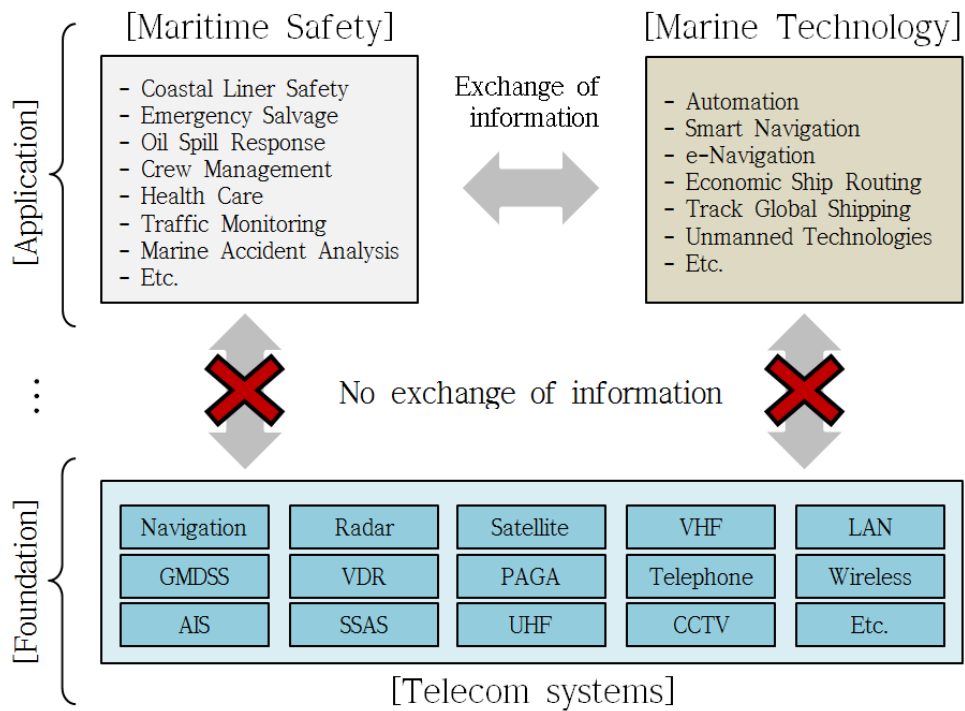


Fig. 2.7 Relationship to the development of technology between maritime safety and marine technology and telecom subsystems

Table 2.3 New technologies for the next generation of ships and offshore plants

Division	Name
Maritime Safety	Coastal Liner Safety, Emergency Salvage, Oil Spill Response, Crew Management, Health Care, Traffic Monitoring, Marine Accident Analysis and etc.
Marine Technology	Automation, Smart Navigation, Economic Ship Routing, Track Global Shipping, Unmanned Technologies and etc.

Fig. 2.7과 Table 2.3에서 대부분의 해상 안전과 해양 기술들은 통신 시스템을 기초로 한 응용 기술들이다. 통신 시스템은 통신과 제어를 위한 기본 시스템으로써 통신 시스템 없이는 원격에서 선박과 해양플랜트를 관리하는

것은 불가능하다. 그러나 현실은 해양 안전, 해양 기술에 대한 응용들은 통신 시스템으로부터 필요한 정보만을 가져와 처리할 뿐 상호 데이터 교환은 없다. 해상 안전과 해양 기술은 통신 시스템으로부터 실시간으로 데이터가 전달되는지 누락된 정보가 있는지 알 수 없다. 해상 안전은 촌각을 다투기 때문에 무엇보다 실시간 데이터 처리가 중요하다. 상호 동기화 되지 않은 데이터는 참조는 가능하지만 정보로서의 가치는 낮다. 현재의 해상 안전과 해양 기술은 NORSOK의 TMS와 같이 통신 시스템의 제조사와 모델에 따라 응용들을 수정한다. 해양안전과 해양 기술의 안정적인 발전을 위해선 체계화된 통신 시스템이 선박과 해양플랜트에 설치되어야 한다.

해양 사고를 예방하고 방지하기 위해 TMS는 통신 시스템, 해상 안전, 해양 기술 등을 모두 포함하여 관리한다. TMS는 Fig. 2.8과 같이 인터페이스의 역할을 위해 간소화되고 개선되어야 한다.

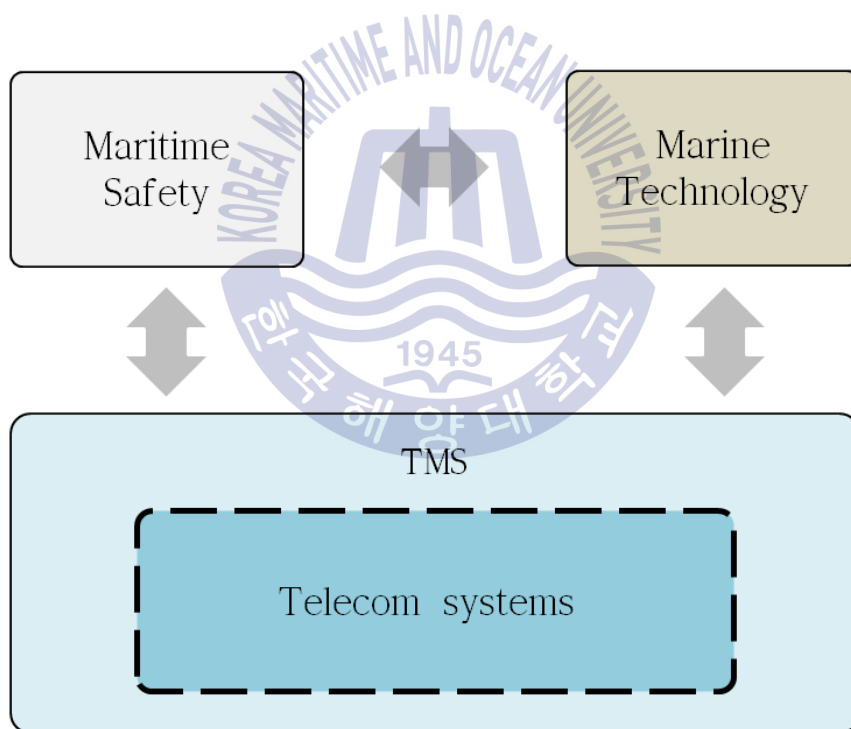


Fig. 2.8 Roles of the TMS between maritime safety and marine technology and

체계화된 통신 시스템을 바탕으로 TMS에 대한 새로운 데이터베이스 설계로 데이터에 대한 신뢰성을 높여야 한다. 수집된 정보(big data)는 선박 및 해양플랜트의 관리 비용 절감과 통신 시스템에 대한 기술 발전을 가져올 수 있다. 나아가 사고 예측이 가능해져 해양에서의 안전을 크게 향상시킨다.

통신 시스템의 체계화를 위해 각 통신 시스템들에 대한 데이터 타입, 특징, 인터페이스 등을 분석한다. 선박과 해양플랜트의 기술 발전을 이끌 수 있는 통신 시스템들의 융합 요소를 찾고 구현한다. 다음으로 선박과 해양플랜트에서 필요로 하는 통신 시스템을 통합하여 관리할 수 있는 새로운 방법의 TMS가 필요하다.

2.2 통신 시스템 개요

통신 시스템은 텔레 커뮤니케이션(telecommunication) 시스템의 약칭으로 전기 통신이란 뜻을 포함한다. 오늘날의 통신 시스템은 광통신망, 위성 통신과 같은 기반 시설과 디지털 통신과 같은 IT기술이 함께 결합되어 다양한 서비스가 가능하다. 현재 통신 시스템의 정의는 IMO, 조약, 선급 간에도 범위의 차이가 있고 내용도 부족하다. 통신 시스템의 제조사별로 제공하는 데이터의 개수와 종류가 다양하다. 오랫동안 선박과 해양플랜트는 통신 시스템에 대한 제도적인 기술 축적이 없었다. 본 논문에서는 통신 시스템에 대한 현황과 문제점을 분석하고 통신 시스템을 체계화 할 수 있는 방법을 확인한다.

2.2.1 통신 시스템 정의

일반적으로 선박과 해양플랜트에서는 통신 관련 시스템과 항해 관련 시스템을 합쳐 통신 시스템이라 한다. Table 2.4는 선박과 해양플랜트에서

사용하는 통신 시스템의 범위로 항해 시스템, 선내 통신 시스템, 선외 통신 시스템, 안전 관리 시스템 등을 모두 포함하며 총 45개로 구분된다[15].

Table 2.4 Telecom systems in ships and offshore plants

Seq.	System	Mandatory	Type Approval
1	VSAT system	X	X
2	DGPS navigation system	O	O
3	Integrated navigation system (INS)	O	O
4	Satellite communication (C & F)	O	X
5	Auto pilot & Gyro compass system	O	O
6	Magnetic compass system	O	O
7	Speed log system	O	O
8	Rudder angle indicating system	O	O
9	Echo sounder system	O	O
10	Voyage Data Recorder system	O	O
11	Sound reception system	O	O
12	Automatic identification system (AIS)	O	O
13	Real time clock system	X	X
14	Sound powered telephone system	O	X
15	Communal aerial system	X	X
16	Weather FAX system	O	X

17	NAVTEX system	O	O
18	Marine radar system	O	O
19	Ship security alert system (SSAS)	O	O
20	MF/HF main radio with DSC system	O	O
21	Office data network equipment (LAN)	X	X
22	VHF radio system	O	O
23	UHF radio system	X	X
24	Telephone system (PABX)	X	X
25	Bridge Navigational watch alarm system (BNWAS)	O	O
26	Whistle system	O	O
27	Closed circuit television (CCTV)	X	X
28	Entertainment system	X	X
29	Cinema system	X	X
30	Collaboration system	X	X
31	Meteorological observation system	X	X
32	Main distribution frame (MDF)	X	X
33	Uninterrupted power supply (UPS)	X	X
34	Helicopter monitoring system	X	X
35	Wireless broadband access network	X	X

36	Public address and general alarm system (PAGA)	O	O
37	Talkback system	X	X
38	Elevator alarm system	X	X
39	Ref. chamber alarm system	X	X
40	Hospital calling alarm system	X	X
41	Satellite TV system	X	X
42	Window wiper system	X	X
43	Heated glass system	X	X
44	Acoustic Doppler current profiler system (ADCP)	X	X
45	Telecommunication management system (TMS)	X	X

Table 2.4의 각 통신 시스템에 대해 의무탑재장비와 형식 승인(type approval)을 표시하였다. 의무탑재장비는 SOLAS의 제3장 구명 설비 및 장치(life-saving appliances and arrangements), 제4장 무선 통신(radio communications), 제5장 항해 안전(safety of navigation)에서 정의되어 선박과 해양플랜트에 필수적으로 설치해야 하는 시스템이다[16]. 형식 승인은 MED(european marine equipment directive)에서 선박과 해양플랜트에 설치되는 구명 설비, 항해 장비, 무선 통신 장비에서 지정된 제품에 대해 지정된 인증기관에서 적합성에 대한 인증서를 발급 받아야 한다[17]. 선박과 해양플랜트에서 통신 시스템을 적용하기 위해서는 먼저 의무탑재장비에 포함이 되는지 확인한다. 다음으로 형식 승인이 있는 제품이어야 하는지 확인한다.

Table 2.4에서 의무탑재장비와 형식 승인에 모두 포함되지 않는 통신

시스템이 있다. 이는 선박과 해양플랜트에 보편적으로 설치되지만 조약과 선급에서는 반영하지 않는 것으로 분석된다. 최근 기술의 발전속도가 빠른 CCTV, 엔터테인먼트 시스템, 광대역 무선 접속망, LAN과 같은 시스템은 의무탑재장비와 형식 승인에 모두 포함되지 않는다. 조약과 선급에 의해 의무적으로 설치되지 않는 시스템은 선박과 해양플랜트에 적합한 시스템으로 발전될 수 없다.

Table 2.4에서 의무탑재장비는 21개로 46.7%이며 형식 승인은 18개로 40.0%이다. 과거에 정의된 조약과 선급의 기준으로 오늘날 통신 시스템을 정의하기엔 분명한 한계가 있다. Table 2.4의 50% 이상의 양쪽 어디에도 포함되지 않는 통신 시스템은 각각의 목적에 맞는 기능으로써 검토되고 설치된다. 다시 말해 선박과 해양플랜트에서 보편적으로 사용은 되지만 설치와 사용에 대한 기준이 없어 선박과 해양플랜트에는 적합하지 않다. 통신 시스템은 조약, 선급, 제조업체가 체계화를 위해 함께 연구하여 개발되고 발효해야 한다.

2.2.2 통신 시스템 문제점

오늘날 선박과 해양플랜트에서 통신 시스템은 단순 통신수단으로써의 역할을 넘어섰다. 통신 시스템 간의 동기화로 서로의 역할을 분담하고 있으며 모니터링을 통한 예방점검으로 문제 시 알람을 발생한다. 통신 시스템은 생명보호와 자산관리의 역할을 폭넓게 수행한다. 앞으로 새로운 시스템은 증가할 것이고 기존 시스템의 기능은 확대될 것이다. 따라서 통신 시스템을 포함한 선박과 해양플랜트의 모든 시스템 간의 인터페이스는 급속히 늘어나고 있다. 선박과 해양플랜트에서 통신 시스템을 포함한 모든 시스템들은 상호 데이터를 교환하기 위해 케이블들을 설치한다. 케이블들에 대한 인터페이스의 복잡도를 분석하면 시스템 간 접근성과 호환성을 파악 할 수 있다. 선박과 해양플랜트의 대표적인 선종에 대하여 Table 2.4의 통신 시스템에 대한

인터페이스를 분석하였다.

Fig. 2.10은 Fig. 2.9의 해양플랜트의 반잠수추선(semi-submersible rig)를 분석한 결과이다.



Fig. 2.9 Semi-submersible rig

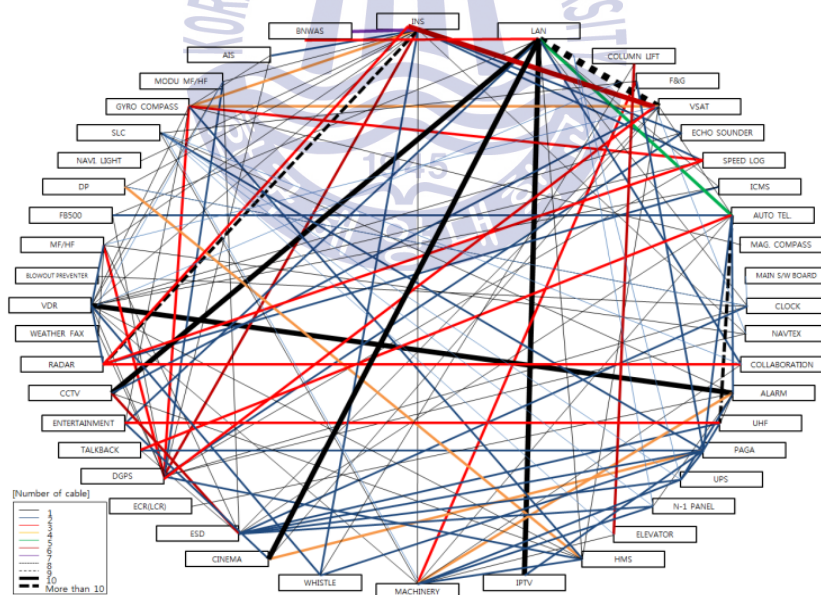


Fig. 2.10 Diagram for existing interfaces in telecom systems of s/s rig

Fig. 2.12는 Fig. 2.11의 15,000TEU급의 대형 컨테이너선을 분석한 결과이다[15].



Fig. 2.11 15,000TEU container carrier

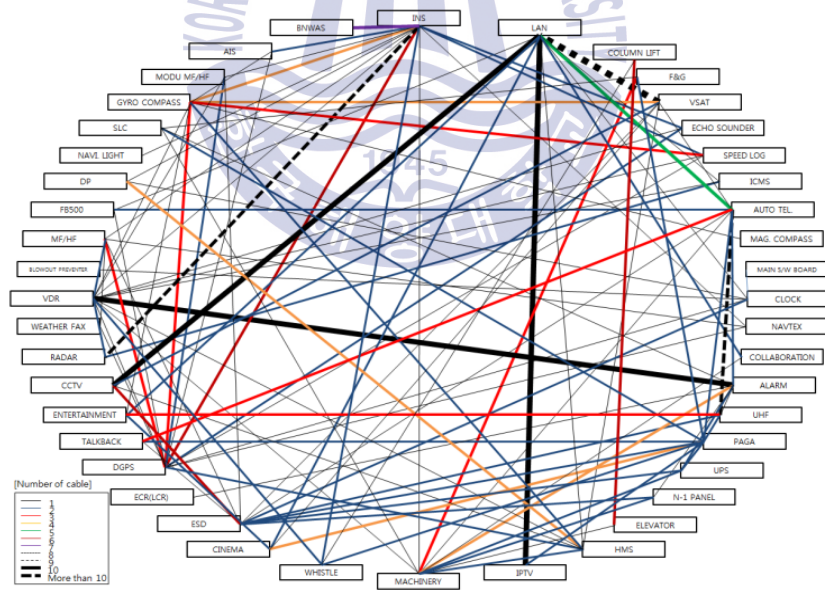


Fig. 2.12 Diagram for existing interfaces in telecom systems in container

모두 통신 시스템의 내부 연결용 케이블과 동일 시스템에 대한 연결은 대상에서 제외하였다. 통신 시스템 간의 케이블의 종류와 코어 수는 구분하지 않았다. 케이블 가닥 수에 따라 색깔을 구분하여 통신 시스템 별 인터페이스를 분석하였다.

Fig. 2.10과 Fig. 2.12의 결과를 비교하면 반잠수시추선의 인터페이스를 위한 케이블 수가 컨테이너 보다 많고 시스템 간 복잡도가 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 해양플랜트가 선박보다 통신 시스템에 대한 기능적인 요구 사항이 더 많고 관리를 위한 투자가 높기 때문으로 분석된다. 지속적인 이동을 하는 선박에 비해 해양플랜트는 이동이 거의 없다. 이 때문에 해양플랜트 승무원들에 대한 복지와 같은 엔터테인먼트 시스템과 관련한 서비스들이 추가되었고, 시스템들이 복잡하고 다양해 지면서 관리를 위한 방법이 많아지게 되었다. Fig. 2.10과 Fig. 2.12와 같이 현재 선박과 해양플랜트에서의 통신 시스템에 대한 인터페이스는 최소 200가닥 이상의 케이블들이 설치된다. 이 중 위성 항법 보정 시스템(differential global positioning system), 통합 항해 장치(integrated navigation system), LAN과 같이 특정 시스템에 대해 인터페이스가 집중되었다. 정보 공유가 많고 활용 빈도가 높은 시스템일 수록 인터페이스가 많았고 네트워크, 엔터테인먼트, 알람 등과 같은 최근 경향이 반영되는 것을 알 수 있다.

분석 결과, 이번 분석으로 통신 시스템의 복잡한 인터페이스를 직접 확인할 수 있었고 설계와 유지 보수가 어려웠던 이유를 파악할 수 있었다. 다른 시스템들과의 인터페이스를 포함할 경우 복잡도는 훨씬 더 증가한다. 현재와 같은 방법으로는 통신 시스템의 기능이 추가되면 추가된 기능만큼 케이블을 추가로 설치하게 된다. 현재의 선박과 해양플랜트를 건조하는 방법은 통신 시스템을 연결하는데 초점이 맞춰져 있는 것으로 운항 시 업그레이드와 관리에 대한 대비는 없다. Table 2.4의 모든 통신 시스템은 인터페이스를 가지고

있었으며 독립적인 통신 시스템은 없었다. 통신 시스템에 대한 체계화가 이뤄지지 않고 있음을 분석 결과를 통해 명확히 알 수 있었다.

2.2.3 통신 시스템 체계화 필요성

과거에 비해 선박과 해양플랜트의 시스템들은 점점 더 복잡해 지고 있다. 시스템들의 자동화로 승무원의 수는 점점 줄어드는 추세다. 이와 같은 일련의 과정은 확장성과 보편성을 위해 시스템들의 체계적인 구조 변화를 동반해야 한다. 그렇지 않을 경우 성장의 한계에 직면하게 된다. 현재, 선박과 해양플랜트는 수십 년 전에 시스템을 설치하던 방법과 비교 시 변화가 거의 없다. 지금까지 선박과 해양플랜트는 구조와 시스템의 성능만 발전 했을 뿐 시스템들에 대한 분석은 이뤄지지 않았다. 따라서, 선박과 해양플랜트의 설계 오류가 지속적이고 반복적일 수 밖에 없고 개선에 대한 고찰도 부분적일 수 밖에 없다. 선박과 해양플랜트는 설계 시 시스템을 함께 해석해야 한다.

선박과 해양플랜트에 설치되는 시스템과 장비들은 체계화가 필수 요소이다. 체계화는 다양한 변수로부터 변화를 제거하기 위한 절차로 품질, 치수, 시험 방법 등에 대한 기준을 정하여 통일성과 호환성을 높인다. 선박과 해양플랜트에 설치되는 통신 시스템도 체계화 되어야 한다. 통신 시스템에 대한 체계화는 통신 시스템에 대한 비용 안정화와 시스템 간 기술 발전을 높인다.

IMO, 조약, 선급에서 통신 시스템의 데이터와 저장 방법을 체계화하고 이를 바탕으로 TMS의 데이터베이스를 디자인하여 제조사들 간의 시스템 호환성을 높여야 한다. 데이터베이스에 체계화된 데이터가 저장되어 축적되면 조건 학습, 상태 학습, 사고 예측, 사고 예방이 가능하고 사고 시, 그 원인과 책임을 분석할 수 있다.

TMS와 같은 통합 관리 시스템을 중심으로 통신 시스템을 체계화 해야 한다. TMS의 데이터베이스는 데이터를 저장하는 것에서 나아가 통신 시스템의

체계화와 선박과 해양플랜트의 안전을 위한 역할을 수행해야 한다. 본 논문은 선박과 해양플랜트의 통신 시스템에 대한 체계화 방법을 제안하고 그 우수성을 실험을 통해 증명한다. 통신 시스템을 이용하여 선박과 해양플랜트가 보유한 많은 데이터와 정보를 신뢰성 있고 안정적으로 관리하는 방법에 대해 설명한다.



제 3 장 e-TMS를 위한 통신 시스템 체계화

3.1 통신 시스템 재정의

Table 2.1의 NORSOK의 통신 하부시스템은 이동이 거의 없는 해양플랜트의 특성으로 인해 주변환경에 대한 측정, 위치 보정, 시추 등에 대한 시스템들이 많았다. Table 2.4의 통신 시스템은 항해하는 선박에 대한 특성을 반영하여 항로, 날씨, 정보와 같은 시스템들이 많았다. Table 2.1과 Table 2.4에서 공통으로 적용되는 시스템들과 안전 부분을 추가하여 Table 3.1과 같이 통신 시스템을 재정의 한다[10].

Table 3.1 Telecom systems as revised

Seq.	System	Division	Remarks
1	Public address and general alarm (PAGA)	NORSOK	Mandatory
2	Driller's intercom	NORSOK	Mandatory
3	General radio	NORSOK	Mandatory
4	UHF radio and paging	NORSOK	
5	Audio and video entertainment	NORSOK	
6	Closed circuit television (CCTV)	NORSOK	
7	Meteorological observation	NORSOK	
8	Marine radar and automatic identification system (AIS)	NORSOK	Mandatory
9	Main distribution frame (MDF)	NORSOK	

10	Telecom power supply	NORSOK	
11	Real time clock (RTC)	NORSOK	
12	Telecommunication management system	NORSOK	
13	Telephone system (PABX)	NORSOK	
14	Office data network equipment	NORSOK	
15	Wireless broadband access network	NORSOK	
16	Integrated Navigation System	NORSOK	
17	Echo Sounder System	Additional	Mandatory
18	Speed Log System	Additional	Mandatory
19	Voyage Data Recorder	Additional	Mandatory
20	Elevator Alarm System	Additional	
21	ESD (Emergency Shutdown System)	Additional	
22	F&G (Fire & Gas) System	Additional	Mandatory
23	Integrated Control & Monitoring System	Additional	Mandatory

Table 3.1의 통신 시스템은 총 23개 시스템이며 항해 시스템과 안전 시스템을 포함한다. SOLAS에 정의된 의무탑재장비를 약 40% 가까이 구성하여 보편성을 높였다. 스마트 선박, 경제운항, 무인 선박에 필요한 CCTV, 통합 제어 모니터링 시스템(integrated control & monitoring system), 기상 관측 시스템(meteorological observation system)을 포함한다.

Fig. 3.1은 Table 3.1의 각 통신 시스템에 대한 대표 장비를 선박과 해양플랜트에 주로 설치되는 위치에 표시하였다. 선박과 해양플랜트의 통신

시스템은 전 구역에 걸쳐 Fig. 3.1과 같이 설치된다. 모든 통신 시스템들은 Fig. 2.10과 Fig. 2.12에서처럼 복잡한 인터페이스로 상호 연결된다.

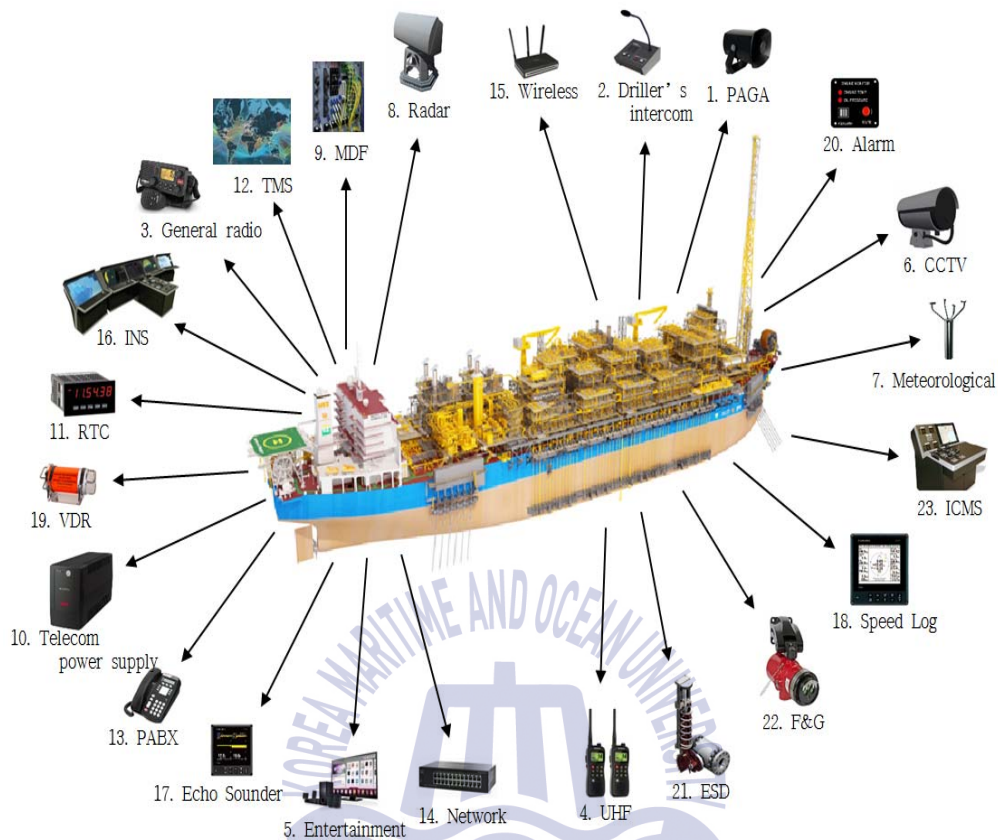


Fig. 3.1 Configuration of telecoms systems in vessel

Table 3.1의 통신 시스템을 체계화하는 방법은 선박항해기록장치(voyage data recorder)과 같이 IMO에서 발효하는 방법이 있다. 선박항해기록장치는 저장 매체의 발전과 정확한 사고 분석의 필요성으로 2014년 7월 이후부터 데이터 처리에 대한 개정 사항을 포함하여 설치되도록 IMO에 의해 발효되었다[18]. 따라서, 선박항해기록장치 제조사들은 Table 3.2과 같이 데이터 유형에 따라 저장되고 관리되도록 제작하여 공급한다.

Table 3.2 Record format of data in VDR

Data Name	Data Type	Record Period	Data Size	Mandatory Save
NMEA	File	a second	1KB	- 48 hours/fixed and float - 720 hours(30days) in Data Collecting Unit
Radar	Image	Within 15 seconds	140KB~3.5MB	
Audio	File	Within 60 seconds	300KB~340KB	

선박항해기록장치에서처럼 IMO에서 발효한 사항은 법적 효력과 같아 선주, 조선소, 제조사는 반드시 반영해야 한다. 통신 시스템을 체계화하기 위해서는 선박항해기록장치와 같이 법적 효력이 발생할 수 있도록 IMO 등에서 제정하여 발효해야 한다. 통신 시스템 별로 알람, 인터페이스, 데이터 유형, 요구 사항과 같은 기초 데이터에 대한 분석이 필요하다.

3.2 통신 시스템 체계화 방법

선박과 해양플랜트에 설치되는 시스템은 IMO, 조약을 만족하고 선급으로부터 인증을 받아야 한다. 현재 설치되는 통신 시스템은 수십 년 전과 비교하면 사용 방법과 기술적인면에서 차이가 거의 없다. 선박과 해양플랜트에 큰 영향을 주는 엔진, 선체구조와는 달리 통신 시스템은 큰 영향을 주지 않는다. 통신 시스템은 IMO, 조약, 선급 간의 차이가 많고 내용도 부족하다. 특히 제조사 별로 제공하는 데이터의 차이가 크다. 수십 년 이상 선박과 해양플랜트는 통신 시스템에 대한 제도적인 기술 축적이 없었다.

현재 선박과 해양플랜트의 통신 시스템은 시스템 별, 제조사 별 차이로 인해 상호 활용할 수 있는 데이터는 제한적이고 제약적이다. Table 2.4의 의무적으로 설치해야 하는 통신 시스템은 해당 시스템들이 지켜야 할 최소한의 규정만 있을 뿐 타 시스템들과의 호환성에 대한 고려는 없다.

통신 시스템이 다양한 만큼 시스템 별 정의와 역할은 분리된다. 각 시스템 별 요구 사항과 IMO, 조약, 선급에서 규정한 내용을 취합하면 현재의 통신 시스템에 대한 체계화 상태를 확인할 수 있다. 지금까지 IMO, 조약에 의해 발효된 적이 없는 통신 시스템에 대한 체계화는 통신 시스템 별 데이터, 인터페이스, 요구 사항과 같은 기초 분석이 필요하다. 분석 시 데이터, 저장 방법 등에 대한 기초적인 정의가 필요하다. 시스템에 대한 안정성을 증가시킨다.

통신 시스템은 제조사 별로도 서로 다른 구성과 특성을 갖는다. 제조사가 서로 다른 시스템은 안정성과 호환성은 보장할 수 없다. 통신 시스템은 실시간으로 정보를 파악하고 관리하는 것이 중요하므로 데이터의 변환과 같은 재해석에 필요한 시간소모를 최소화해야 한다.

통신 시스템에 대한 체계화 과정은 총 5개의 과정을 거쳐 완료된다. 첫째, 데이터의 요구에 대한 분석 과정이다. IMO, 조약, 선급에서 요구하는 데이터를 정리하고 분류한다. 둘째, 데이터의 공급에 대한 분석 과정이다. 제조사 별로 공급하는 데이터를 취합하여 분류한다. 셋째, 데이터의 취합 과정이다. 안전, 관리, 인터페이스와 같은 관련 정보를 취합한다. 넷째, 데이터에 대한 구분 과정이다. 목적에 따라 오류, 시스템, 인터페이스 등으로 구분한다. 마지막으로 정규화 과정이다. 본 논문에서는 Table 3.1의 통신 시스템 중에서 PAGA 시스템에 대한 체계화 과정을 대표적으로 기술한다[10].

3.3 PAGA 시스템의 체계화

PAGA 시스템은 안전 시스템으로 선박과 해양플랜트에는 반드시 설치해야 하는 의무탑재장비이며 IMO, 조약, 선급에서 모두 정의하고 있다. PAGA 시스템은 선박과 해양플랜트 전 구역에 설치되고 타 시스템과의 인터페이스가 많다. PA(public address)는 메시지를 송출하고, GA(general alarm)는 상황에 맞는 알람을 발생한다.

PAGA 시스템은 Fig. 3.2와 같이 안전에 대비해 A와 B의 2개의 시스템으로 구분되어 구성된다. 각 시스템은 주장비(main rack), 제어기(access panel), 스피커, 섬광등(flash light) 등으로 구성된다. 2개의 시스템은 동기화(synchronization)된다.

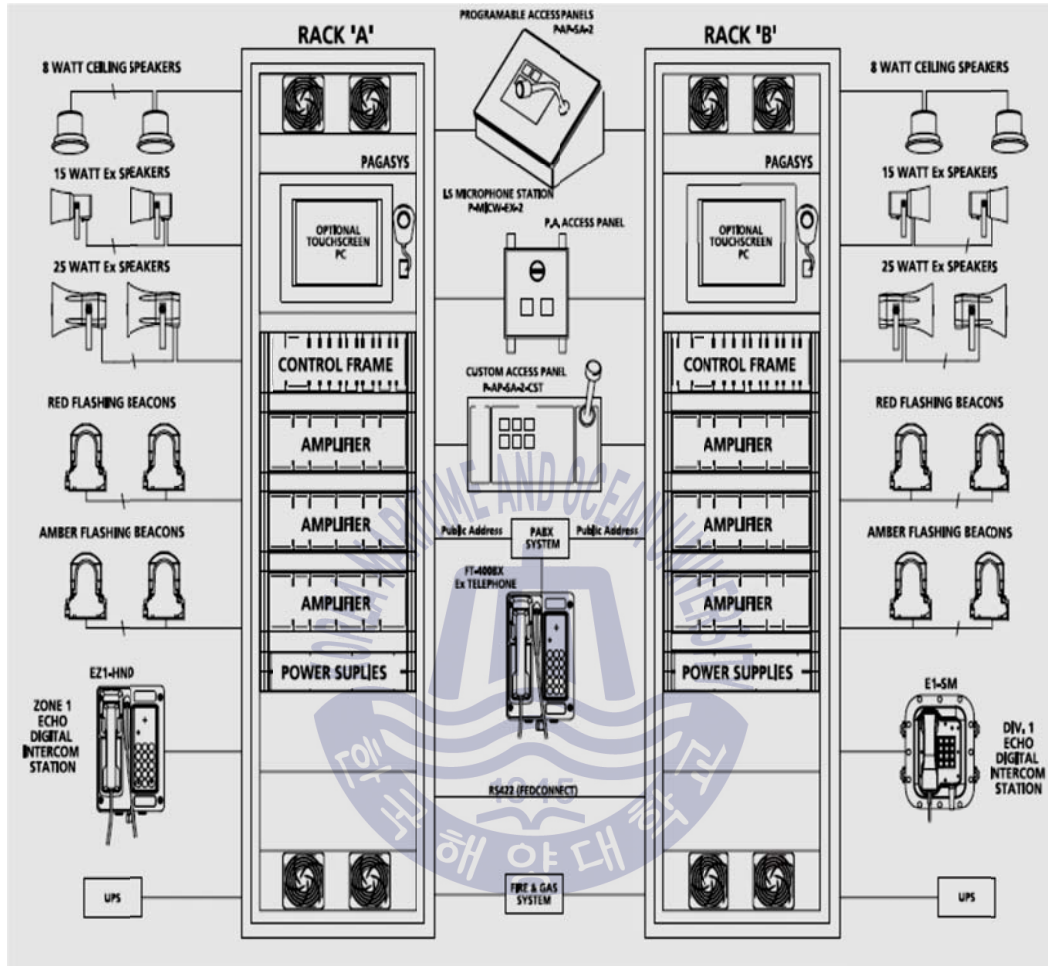


Fig. 3.2 Overview of PAGA system

3.3.1 데이터 요구 분석

PAGA 시스템에 요구하는 데이터를 Fig. 3.3의 1단계와 Fig. 4.4의 2단계로 나누어 분석하였다. 1단계는 IMO, 조약의 요구 사항이고[19-21] 2단계는 선급의

요구 사항이다[22,23].

Step 1 - [Regulation]

IMO
MSC 66/24/Add.1 28 June 1996 7.2
General alarm and public address system

1. Main power failure
2. Emergency power failure

SOLAS
Chapter III, Life-saving appliances,
1 November 2003,
6. Communications

1. Main power failure
2. Emergency power failure

LSA
International Life-Saving Appliance(LSA) Code,
Resolution MSC.48(66), London, 4 June 1996
7.2 General alarm and public address system

1. Main power failure
2. Emergency power failure

Fig. 3.3 Analysis data of regulation for PAGA system

Step 2 - [Classification]

DNV
Part3 Ch.3 Hull Equipments and Safety,
January 2010,
B 200 Public address system/General alarm,
applicable to all vessels

1. Main power failure
2. Emergency power failure
3. Entertainment mute
4. Interface to Whistle,siren,typhoon
5. General alarm
6. Fire alarm

ABS
Portable Accommodation Modules,
January 2013
15. Electrical Requirements

1. Mute
2. Power failure

Fig. 3.4 Analysis data of classification for PAGA system

분석 결과, 1단계의 IMO, 조약은 전원 장애에 대한 알람만을 요구하였다. 이에 반해 2단계의 선급은 인터페이스, 알람 등을 함께 요구하였다. PAGA 시스템에 대한 데이터의 요구는 2단계가 1단계를 포함하여 요구되었다. 하지만 해당 단계에서는 데이터의 처리 방법을 확인할 수 없었다.

3.3.2 데이터 공급 분석

Fig. 3.5의 3단계는 전 세계에서 PAGA 시스템을 대표적으로 제조하는 제조사들이 공급하는 데이터를 분석한 것이다[24,25].

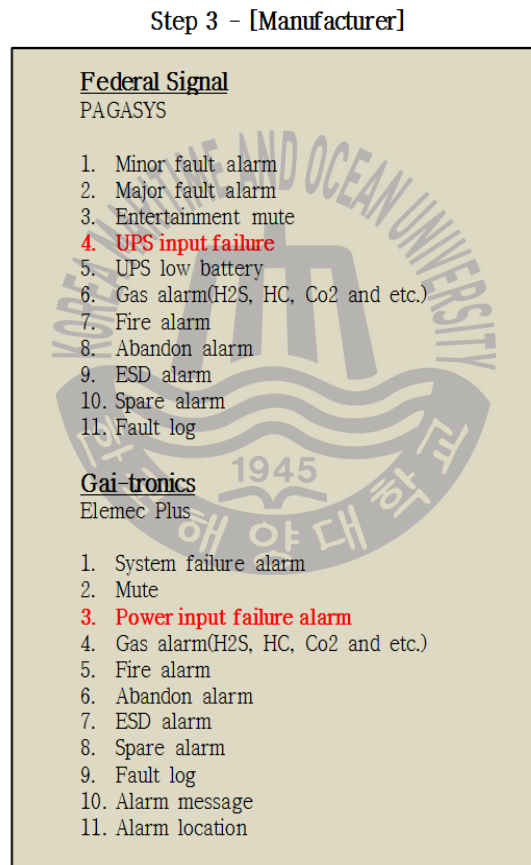


Fig. 3.5 Analysis data of manufacturer for PAGA system

3단계의 PAGA 시스템에 대한 제조사의 데이터의 공급은 1단계, 2단계의 요구를 포함하고 있다. PAGA 시스템의 제조사는 1단계의 전원 장애와 2단계의 인터페이스와 알람을 모두 포함하고 시스템 알람, 로그, 메시지와 같은 데이터를 추가로 공급한다. 오랫동안 고객요구의 따라 제조사 스스로 진화한 것으로 분석된다.

PAGA 시스템에서 데이터의 포함 범위는 Fig. 3.6과 같이 IMO, 조약, 선급, 제조사의 순서이다. 2단계와 3단계의 분석만으로도 통신 시스템에 대해 요구하고 공급하는 데이터를 파악할 수 있었다.

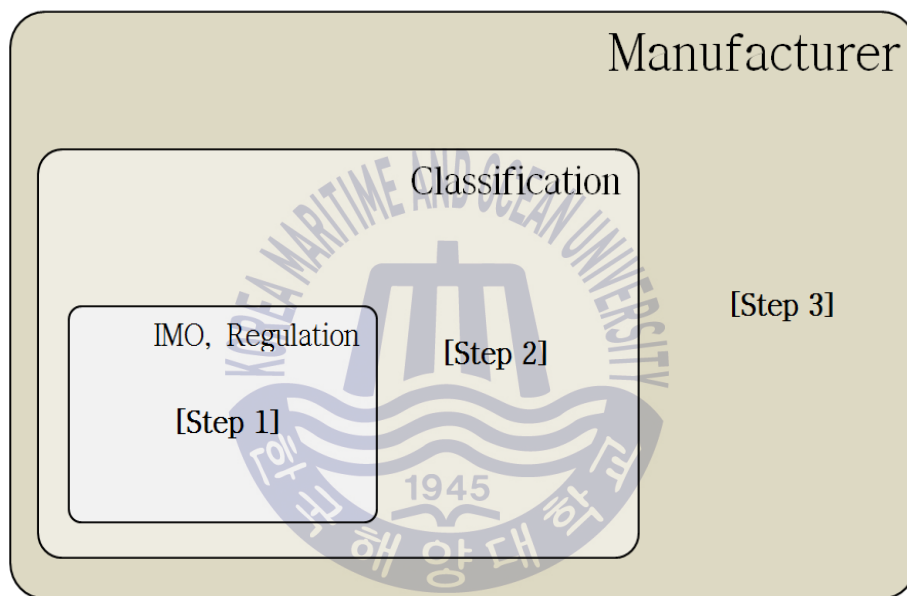


Fig. 3.6 Range of data steps in telecom systems

1단계가 얼마나 구체적으로 요구되느냐에 따라 다음단계의 데이터 공급 범위가 결정된다. Table 3.1의 통신 시스템을 모두 분석한 결과, 제조사의 데이터의 공급은 IMO, 조약, 선급의 데이터 요구를 모두 포함하였다.

3.3.3 데이터 취합

데이터의 취합은 시스템 내부와 시스템 외부로 나뉜다. 시스템 내부는 PAGA 시스템의 운영 시 발생하는 데이터로 알람, 방송 시간, 시스템 상태 등이 있다. 시스템 외부는 PAGA 시스템과 통신 시스템 간의 인터페이스에 대한 데이터로 알람, 경보, 시스템 통제 등이 있다.

시스템 외부의 인터페이스는 타 시스템과의 동기화가 가능하므로 데이터의 활용이 용이하다. 예를 들어 시계 시스템으로부터 날짜, 시간을 받아 오거나 CCTV 시스템의 영상을 공유하여 다양한 활용이 가능하다. 통신 시스템에서 필요한 데이터를 공통 정보로 관리하면 통신 시스템 간 발생하는 데이터의 크기를 줄일 수 있다.

3.3.4 데이터의 구분

데이터는 시스템의 기능에 관한 것으로 오류 알람, 안전 알람, 시스템 알람, 시스템 상태 알람, 타 시스템과의 인터페이스 알람 등으로 구분된다. 오류 알람은 시스템의 동작 여부와 관련이 있어 시스템 내부에서는 가장 높은 우선순위를 갖는다. 안전 알람은 위험 시 인원의 생명과 밀접한 연관이 있기 때문에 선박과 해양플랜트에서는 전체 알람 중 가장 우선순위가 높다. 시스템 알람과 상태 알람은 PAGA 시스템에 대한 현재 상태를 알 수 있다. 인터페이스 알람은 타 시스템과의 연결 상태를 확인하고 이상 유무를 파악하여 데이터를 교환한다. 해당 과정에서 PAGA 시스템에 대한 데이터가 모두 통합된다.

3.3.5 데이터 정규화

통신 시스템 별로 체계화된 데이터베이스를 디자인하기 위해서는 데이터베이스 정규화가 필요하다. 데이터베이스 정규화란 디자인 시 중복을 최소화하여 데이터를 구조화 하는 과정이다. 넓고 커서 제대로 조직되지 않는

관계들을 작고 잘 정리된 테이블과 관계들로 나눈다.

데이터의 정규화는 데이터 중복을 제거함으로써 처리 시간을 최소화하고 통신 시스템 간의 호환성을 높인다. PAGA 시스템에 대한 정규화 과정을 거쳐 Fig. 3.7과 같이 체계화된 데이터를 얻었다. Fig. 3.8은 총 5개의 체계화 과정에 대한 전 과정을 나타냈다.

[Systematization]

Fault alarm - Major
Fault alarm - Minor
Safety alarm - General em'cy
Safety alarm - Fire
Safety alarm - Gas - H2S
Safety alarm - Gas - HC
Safety alarm - Gas - CO2
Safety alarm - Gas - Etc
Safety alarm - Abandon
Safety alarm - Mute
Safety alarm - ESD - Condition
Safety alarm - ESD - Zone
System alarm - Ground fault
System alarm - Power failure - Normal power failure
System alarm - Power failure - UPS - Input power failure
System alarm - Power failure - UPS - Low battery
System alarm - Amplifier failure - Amplifier no.
System alarm - Speaker failure - loop no.
System alarm - Beacon failure - loop no.
System alarm - Door opened
System alarm - Cooling fan failure
System alarm - High temperature
Status alarm - Occur time - alarm
Status alarm - Occur time - speech
Signal light alarm - failure
Signal light alarm - alarm - General em'cy
Signal light alarm - alarm - Fire
Signal light alarm - alarm - Gas - H2S
Signal light alarm - alarm - Gas - HC
Signal light alarm - alarm - Gas - CO2
Signal light alarm - alarm - Gas - Etc
Signal light alarm - alarm - Novec
Signal light alarm - alarm - Watermist
Signal light alarm - alarm - Machinery
Signal light alarm - alarm - Deadman
Signal light alarm - alarm - E/R crew calling
Signal light alarm - alarm - Telephone
Interface alarm - Alarm monitoring system
Interface alarm - Each systems into TMS sub-systems

Fig. 3.7 Systematization data of alarms in the PAGA system

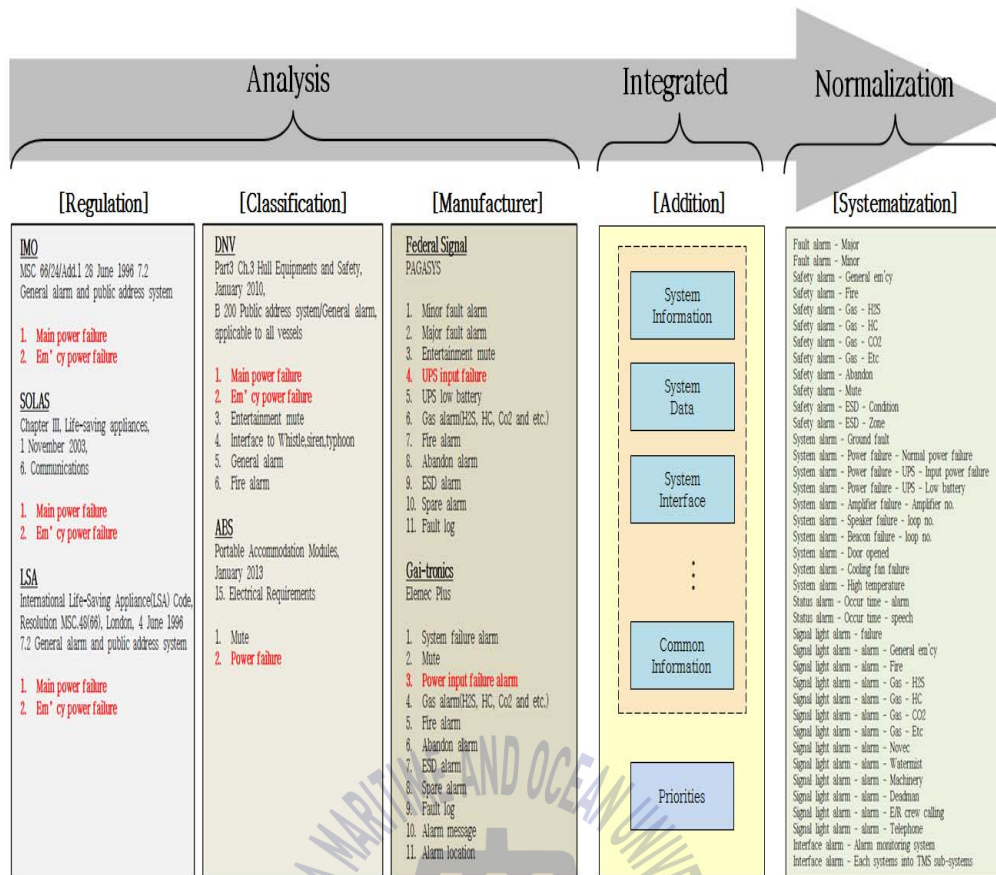


Fig. 3.8 Systematization process of alarms in the PAGA system

PAGA 시스템과 동일한 방법으로 Table 3.1의 통신 시스템에 대한 체계화 데이터를 Table 3.3과 Table 3.4와 같이 얻었다[10]. 본 논문은 통신 시스템의 체계화 과정을 통해 IMO, 조약, 선급, 제조사들 간의 상호 종속적인 관계를 재확인하였다. IMO, 조약, 선급에는 통신 시스템에 대한 내용이 거의 없었고 설치, 관리 방법에 대한 내용도 부족하였다.

Table 3.3 Systematization data for seq. 1 ~ seq. 12 in Table 3.1

Classification	Alarm	Refer to sequence of Telecom systems in Table 3.1											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
System alarm	Ground fault	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Power failure - Backup AC input failure									√	√		
	Power failure - Emergency power failure		√	√	√	√	√	√	√			√	√
	Power failure - Normal AC input failure	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Power failure - UPS - Input, Low battery	√	√	√	√		√						√
	System name - Normal / Abnormal	√		√						√	√	√	
Fault alarm	Access point failure												
	AIS - Failure (Antenna, GPS, PSU, Transceiver)								√				√
	Amplifier / Beacon / Speaker failure	√											
	PABX - Failure (Gateway, Telephone, Card)												
	Antenna failure - No.			√	√	√		√	√				√
	Base station fault, Tx alarm			√	√								
	CCTV - Failure (Camera, Controller)						√						
	Data - Communication failure				√	√	√						√
	DGPS Off track, ECDIS - Normal / Abnormal												√
	Equipment failure	√	√	√	√	√	√	√		√	√		
	Gyro compass failure, Anchor watch - Distance												
	Limits - Deep, Shallow												
	Major / Minor / Abandon / General Em'cy	√	√										√
	Sensor (Motion, Pressure, Sea current / temp.)							√					
	Server - Failure				√	√	√	√					√
Water mist system - Failure													
Safety alarm	Activation (Condition, Zone)	√					√						√
	Alarm (Fire, Gas, Watermist, Novec)	√	√										
	ESD - Condition, Zone	√	√	√	√		√	√	√	√	√		√
	Foam / Sprinkler - Released - No	√											
	Mute	√	√		√	√							√
Status alarm	Air - Dew point, Humidity, Temperature							√					
	Alarm sound On / Off	√			√	√	√						√
	Atmospheric pressure, Visibility sensor							√					
	Autopilot control alarm, BNWAS buzzer								√				
	Aviation weather, Cloud (Base altitude, Ceiling)							√					
	Depth, Speed												
	Distress, VHF alarm			√									
	Elevator, Lift (Em'cy stop, Hatch open)	√											
	Helicopter traffic, Maritime traffic	√						√					
	Local gas detection	√	√		√		√	√		√	√		√
	MRU (Heave, Pitch, Roll)							√					
	Occur time - Alarm, Speech	√											
	Performance - LB, Access, Security												
	Position - Lat / Lon or UTM												
	Range unit (Km, Nm / ft, Nm, Sm / mtrs, Sm)												
	Rx alarm - Injection Low, PLL unlocked				√								
	Sea surface - Current, Direction, Magnitude							√					
	Server - Capacity, Log, Performance	√			√		√	√					√
	Ship position - Heading (from gyro), RPM, Rudder angle												
	Date, Time	√			√		√	√					√
Wave (Direction, Height, Period)							√						
Waypoint pass criterion and distance													

Ship position – Heading (from gyro), RPM, Rudder angle				√			√				
Date, Time	√	√	√							√	√
Wave (Direction, Height, Period)							√				
Waypoint pass criterion and distance				√			√				
Weather observation, Wind (Direction, Speed)							√				
WLAN AP (Hazardous / Safety area)		√	√								

Table 3.3과 Table 3.4를 바탕으로 통신 시스템 간의 데이터에 대한 분석이 가능하다. 시스템 간 공통으로 필요로 하는 데이터와 시스템 별로 고유 특성이 있는 데이터가 있다. 공통으로 필요로 하는 데이터에는 시간 정보, UPS(uninterrupted power supply)의 상태 정보, 위성 위치 확인 시스템(global positioning system)의 위치 정보, 네트워크 시스템의 상태 정보 등이 있다. 시스템 별로 특성이 있는 데이터로는 선박 자동 식별 장치(auto identification system)의 동작 상태, 기상 관측 시스템의 센서오류, CCTV 시스템의 활성화 상태, 엘리베이터 시스템의 위급상황 및 승강구(hatch) 상태 등이 있다. NORSOK의 TMS에 대한 실패 원인으로 데이터 처리 방법에 대한 정의 부재와 데이터 처리의 과부하가 있다. NORSOK의 TMS는 Table 3.3과 Table 3.4와 같은 체계화 데이터에 대한 정의가 없다. 따라서 NORSOK의 TMS는 데이터베이스에 대한 정의를 할 수가 없었다. Table 3.3과 Table 3.4의 통신 시스템에 대한 체계화 데이터를 바탕으로 TMS의 데이터베이스를 정의하여 TMS의 안정성을 확보 한다.

3.4 e-TMS를 위한 데이터베이스 정의

기존 NORSOK의 TMS는 데이터베이스에 대한 정의가 없다. 데이터에 대한 저장 방법, 저장 구조에 대한 정의가 없어 Table 2.2과 같이 데이터베이스는 사용자 옵션으로 결정된다. TMS와 같은 관리 시스템에서는 데이터베이스가 가장 중요한 역할을 하며 시스템 전체 성능과 밀접한 연관을 갖는다. 따라서 TMS의 체계화를 위해선 데이터베이스에 대한 정의가 선행되어야 한다.

3.4.1 TMS의 데이터베이스 분석

Table 3.3과 Table 3.4와 같이 IMO, 조약, 선급 등에서 요구되는 체계화되지 않은 데이터들과 제조사에서 제공되는 다양한 데이터들의 공통 사항을 분석하여 TMS에 필요한 데이터로 최적화 한다. 통신 시스템 간의 원활한 인터페이스를 위해서는 많은 정보를 나열하는 것보다 기본정보를 TMS에서 공유하고 참조할 수 있도록 해야 한다.

Fig. 3.9의 기존 TMS의 구조를 보면 통신 시스템에서 알람이 발생하면 통신 시스템이 스스로 데이터를 만들어 전달한다.

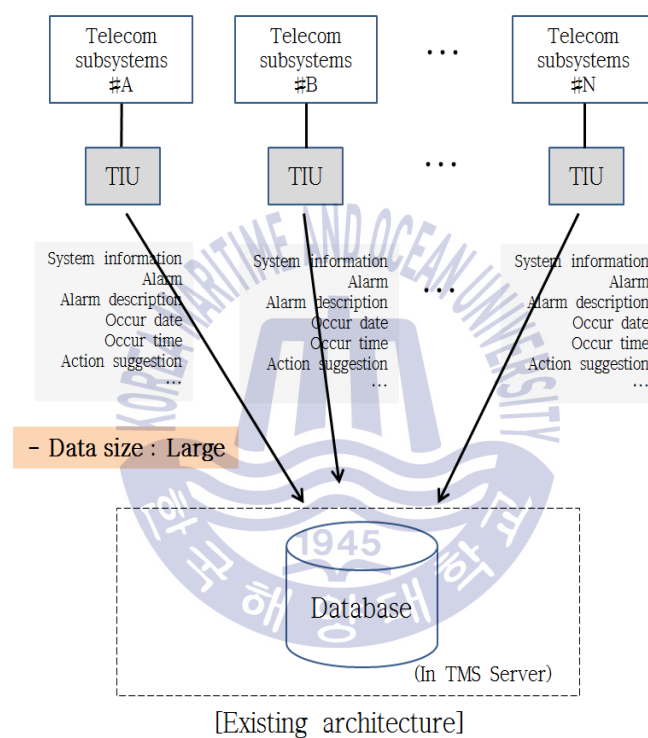


Fig. 3.9 Existing operating schemes of the TMS

TIU는 통신 시스템으로부터 전달 받은 데이터를 TMS에 맞는 데이터 타입으로 변환한다. 알람 발생 간격이 잦을 경우 통신 시스템과 TIU의 부하는 비례하여 높아진다. TMS의 서버는 TIU로부터 전달 받은 데이터를 해석하는데

시간 소요가 발생한다.

기존 TMS의 체계화 되지 않은 통신 시스템은 알람에 대한 종류가 서로 다르다. 통신 시스템 별로 알람을 데이터화 하는 과정, 포함하는 내용, 데이터 크기(data size)가 서로 다르다. 같은 알람이 발생하여도 통신 시스템 별로 처리 속도가 다르게 나타난다. 통신 시스템 간 처리 속도의 균형을 위해 TMS의 데이터베이스는 데이터 크기를 최소화하도록 디자인되어야 한다.

3.4.2 e-TMS를 위한 데이터베이스 재구성

본 논문에서 제안하는 e-TMS의 안정화, 경량화를 위해 Table 3.3과 Table 3.4의 데이터를 분석하여 Table 3.5와 같이 공용 데이터베이스(common database)를 분리하였다[10].

Table 3.5 Common database in telecom systems

Seq.	Classification	Alarm
1	System alarm	System name
2		Door opened
3		Cooling fan failure
4		High temperature
5	Interface alarm	Public address and general alarm (PAGA)
6		Driller' s intercom
7		General radio
8	Interface alarm	UHF radio and paging
9		Audio and video entertainment

10	Closed circuit television (CCTV)
11	Meteorological observation
12	Marine radar and automatic identification system (AIS)
13	Main distribution frame (MDF)
14	Telecom power supply
15	Real time clock (RTC)
16	Telecommunication management system
17	Telephone system (PABX)
18	Office data network equipment
19	Wireless broadband access network
20	Integrated Navigation System
21	Echo Sounder System
22	Speed Log System
23	Voyage Data Recorder
24	Elevator Alarm System
25	ESD (Emergency Shutdown System)
26	F&G (Fire & Gas) System
27	Integrated Control & Monitoring System

공용 데이터베이스는 통신 시스템에서 공통적으로 필요한 데이터들이다.

예를 들어 시계 시스템은 날짜와 시간을 위성 위치 확인 시스템으로부터 수신하여 시간 정보가 필요한 시스템들에게 데이터를 제공한다. 시계 시스템으로부터 시간 동기화가 되지 않은 시스템은 동작에 대한 오차가 발생한다. 날짜 변경선을 이동하는 선박은 시간 동기화가 반드시 필요하다. 선박과 해양플랜트의 모든 통신 시스템은 시계 시스템과의 동기화를 위해 데이터를 교환한다. e-TMS도 시계 시스템과 시간 동기화를 위해 인터페이스된다. e-TMS의 공용 데이터베이스는 시계 시스템의 날짜와 시간에 대한 정보를 통신 시스템에게 가장 효율적으로 동기화 한다. 모든 통신 시스템과 인터페이스가 되는 e-TMS를 중심으로 데이터를 공유하면 데이터 크기와 데이터 처리량을 최소화할 수 있다. 공통적인 정보들을 미리 정의하고 데이터베이스화하여 필요한 최소의 데이터만을 교환하는 새로운 e-TMS 구조를 Fig. 3.10과 같이 제안한다.

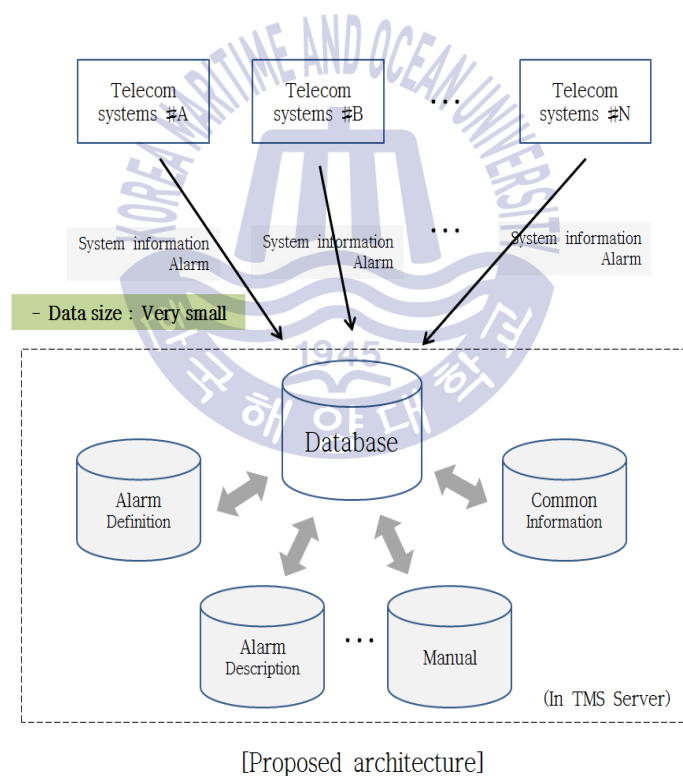


Fig. 3.10 Proposed operating schemes of the e-TMS

Fig. 3.10의 e-TMS에서의 데이터베이스는 통신 시스템과 e-TMS 시스템 간의 처리 지연이 없다. 데이터베이스는 공통 정보, 알람 정의, 매뉴얼과 같은 세부 정보로 구분된다. 데이터 크기가 최소화되어 네트워크 부하가 감소하고 서버 용량을 낮춘다. e-TMS 시스템의 경량화로 기존에 설치된 TMS 시스템을 업그레이드하여 재사용할 수 있다. 별도의 확장 없이도 NORSOK T-001에 명시된 필요한 여유 공간인 25%를 만족한다.

Fig. 3.11은 본 논문에서 제안하는 개선된 e-TMS에 대한 전체 개요도이다. 통신 시스템은 IMO, 조약, 선급, 제조사를 분석하여 체계화한다. e-TMS의 데이터베이스는 정보 별로 상세 구분하여 통신 시스템 간 데이터를 공유하고 데이터 크기를 최소화 한다. e-TMS시스템은 선박과 해양플랜트의 운영에 대한 데이터를 상호 교환하고 통신 시스템을 관리한다.

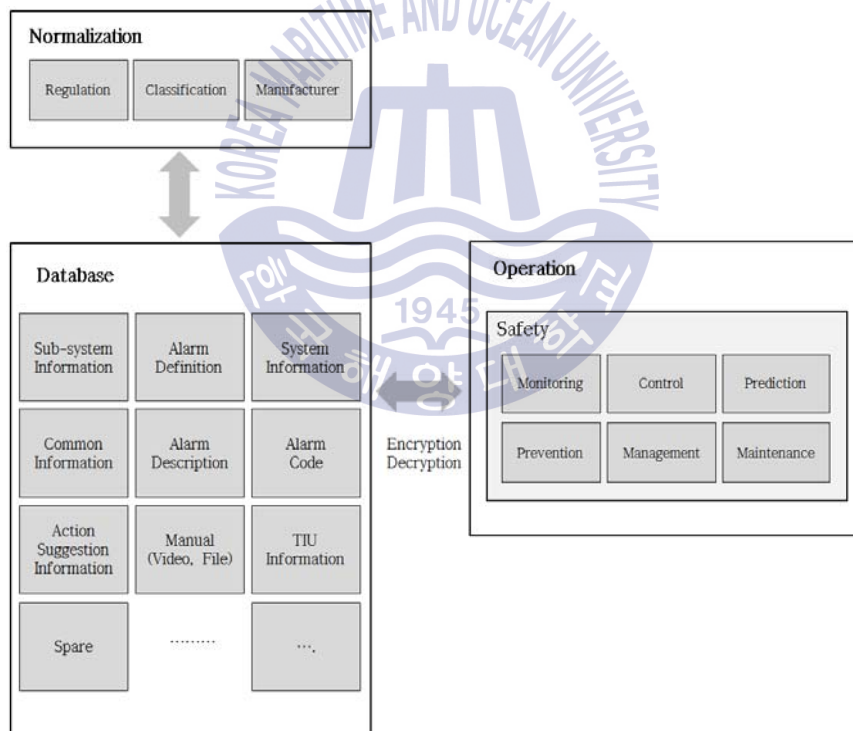


Fig. 3.11 Architecture of the proposed e-TMS

현재의 TMS는 TIU에 대한 구성 방법이 TMS 설계 시 가장 중요하다. TIU는 시스템 간 상호 통신은 가능하게 하지만 관리 시스템으로서는 심각한 문제인 처리 지연을 발생한다. 앞으로 선박과 해양플랜트의 TMS는 제안하는 e-TMS와 같이 통신 시스템의 체계화에 따라 TIU를 사용하지 않고 데이터를 교환해야 한다.

선박과 해양플랜트에서 제안하는 e-TMS를 포함한 모든 데이터는 네트워크 환경을 통해 이뤄진다. 선박과 해양플랜트는 대부분 유선 네트워크 환경으로 구성된다. 유선 네트워크는 많은 케이블의 설치를 필요로 하고 이로 인해 전체 무게를 증가 시키고 자유로운 통신을 할 수 없다는 단점이 있다.

e-TMS를 이용하여 선박과 해양플랜트에서의 안전과 시스템에 대한 관리와 제어를 하기 위해서는 무선 네트워크 환경이 필요하다. 선박과 해양플랜트에서 사용하고 있는 무선 네트워크 환경을 분석하여 가장 효율적인 구축 방법을 찾는다. 나아가 e-TMS에서 무선 네트워크 환경을 포함하여 관리하는 방법을 제안한다.

3.5 TMS 성능 개선

본 논문에서는 NORSOK의 기존 TMS와 통신 시스템의 체계화 데이터를 갖는 제안하는 e-TMS의 비교 실험을 통해 데이터의 처리 시간과 시스템 성능을 평가한다. 기존 TMS는 다양한 데이터 유형을 모두 처리한다. 데이터 유형 별로 케이블과 TIU와 같은 중간 매개체가 필요하다. 기존 TMS는 처리 지연과 설치 비용이 높아지는 단점이 있다. e-TMS의 데이터 유형은 TCP/IP(transmission control protocol/internet protocol)로 체계화한다. TCP/IP는 인터넷 네트워크의 핵심 프로토콜로써 전 세계적으로 가장 많이 사용한다.

SAN(ship area network)은 TCP/IP를 이용한 통합 플랫폼을 선박과

해상플랜트에 적용하고 있다[58]. 먼저 통신 시스템 간 인터페이스에 대한 성능 평가를 바탕으로 e-TMS에 대한 성능 평가를 수행한다.

3.5.1 e-TMS 구조

TMS와 통신 시스템 간의 기존 인터페이스의 구조는 Fig. 3.12와 같다. 전체 구조는 NORSOK-TMS 구조와 유사하다.

NORSOK의 TMS에서 케이블과 TIU는 통신 시스템이 제공하는 데이터 유형의 종류에 따라 세트로 구성된다. 통신 시스템의 제조사 마다 제공하는 데이터 유형이 다르고 알람 종류 마다 케이블이 필요하다. 시스템을 추가하거나 새로운 알람이 추가될 경우 새로운 케이블과 TIU가 설치된다. TIU는 데이터를 사용자가 원하는 타입에 맞도록 변환한다. TIU는 처리 속도 지연과 같은 문제를 발생시키고 데이터 유형에 따른 처리 속도의 차이로 인해 데이터에 대한 실시간 처리와 분석이 어렵다.

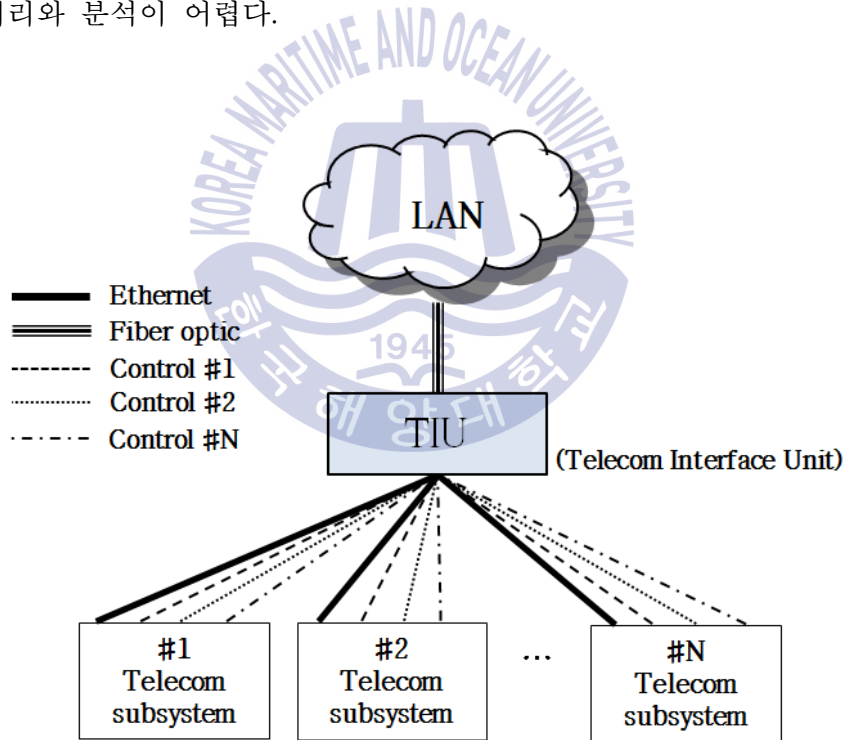


Fig. 3.12 Structure for interfaces of existing TMS

통신 시스템의 기존 인터페이스의 구조적인 문제를 해결하기 위해 e-TMS는 Fig. 3.13과 같은 통합 인터페이스 구조가 필요하다. e-TMS의 구조도 Fig. 3.12의 구조와 비슷하지만 가장 큰 차이점은 각각의 통신 시스템은 하나의 케이블로 MIU(master interface unit)와 연결된다.

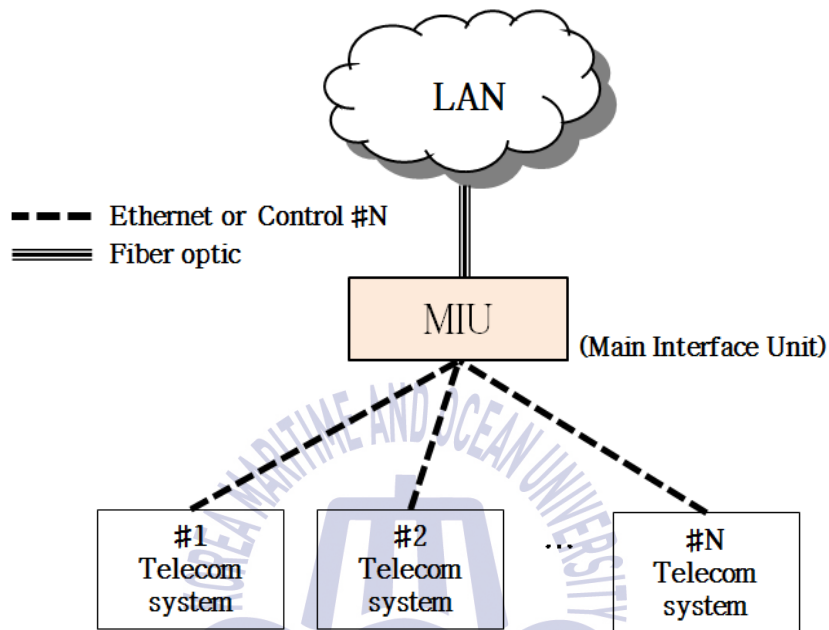


Fig. 3.13 Structure for integrated interfaces of proposed e-TMS

MIU는 데이터를 분배하는 역할을 하며 통신 시스템에 대한 모니터링과 제어가 가능하다. 모든 통신 시스템은 동일한 데이터 유형을 사용하므로 처리 속도의 지연이 없다. 통신 시스템 전체에 대한 동기화가 가능해져 실시간 데이터 분석이 가능하다.

3.5.2 통신 시스템 간 인터페이스 실험

(1) 실험 환경 및 구성

선박과 해양플랜트의 통신 시스템에서 사용하는 데이터 유형은 다양하다. 통신 시스템은 시스템 별로 여러 가지 데이터 유형을 송·수신할 수 있도록 구성된다. 오랫동안 체계화 없이 제조사 별로 필요한 데이터 유형을 결정하였다. 타 제조사와의 데이터 호환을 위해 다양한 데이터 유형을 지원하도록 제작한다.

Fig. 2.10과 Fig. 2.12에서 통신 시스템 간 인터페이스를 분석하는 과정에서 선박과 해양플랜트에서 사용하는 다양한 데이터 유형을 알 수 있었다. 실험을 위한 데이터 유형은 Table 3.6과 같다.

Table 3.6 Defined list of data in interfaces test evaluation

Division	Data Type	Alarm	Note
I/O Module	AO	- Power On	Existing
Serial	RS232	- Power Off	Existing
Wet contact	25VDC with Relay		Existing
Dry contact	Relay		Existing
Ethernet	TCP/IP		Proposed

입출력 모듈(input/output module), 직렬 통신(serial communication), 유전압 접점(wet contact), 무전압 접점(dry contact)은 기존 통신 시스템 간의 인터페이스에서 대부분 사용하는 데이터 유형이다.

본 논문에서는 전 세계적으로 가장 많이 사용하는 인터넷 네트워크 프로토콜인 인터넷의 TCP/IP를 체계화 데이터 유형으로 제안한다. 최근 들어 TCP/IP를 제공하는 통신 시스템의 제조사들이 늘어나고 있다. TCP/IP는 보안에 취약하지만 분산 시스템 간의 대용량 통신이 가능하다는 장점이 있다.

알람은 모든 통신 시스템에서 기본으로 사용되는 전원 켜짐과 전원 꺼짐으로

정의한다.

본 논문은 Fig. 3.14와 같이 기존 인터페이스 구조와 Fig. 3.15와 같이 제안하는 통합 인터페이스 구조를 구축하여 Table 3.6의 데이터 유형에 대한 처리 시간을 모두 측정한다[59].

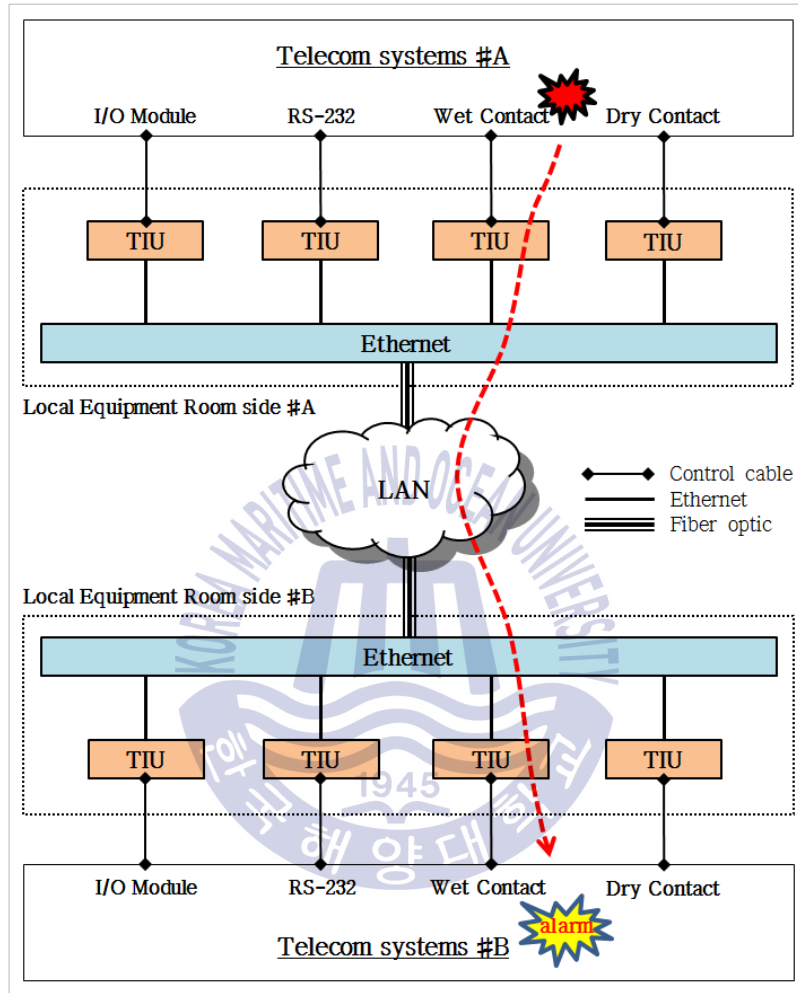


Fig. 3.14 Test-bed diagram for existing interfaces in telecom systems

Fig. 3.14의 기존 인터페이스 환경은 입출력 모듈, 직렬 통신, 유전압 접점, 무전압 접점에 맞는 TIU와 제어 케이블을 통신 시스템과 이더넷 사이에

설치하였다. 기존 인터페이스 환경에서는 통신 시스템 #A(telecom systems #A)에서 알람이 발생한 시간부터 통신 시스템 #B(telecom systems #B)까지 소요되는 시간을 측정한다. 통합 인터페이스 환경은 TCP/IP를 사용하며 별도의 추가장비 없이 바로 이더넷으로 연결된다. 통합 인터페이스 환경은 통신 시스템 #A' 에서 알람이 발생한 시간부터 인터페이스 장치를 거쳐 통신 시스템 #B' 까지 소요되는 시간을 측정한다. Table 3.7은 실험에 사용되는 장비의 세부 사양이다.

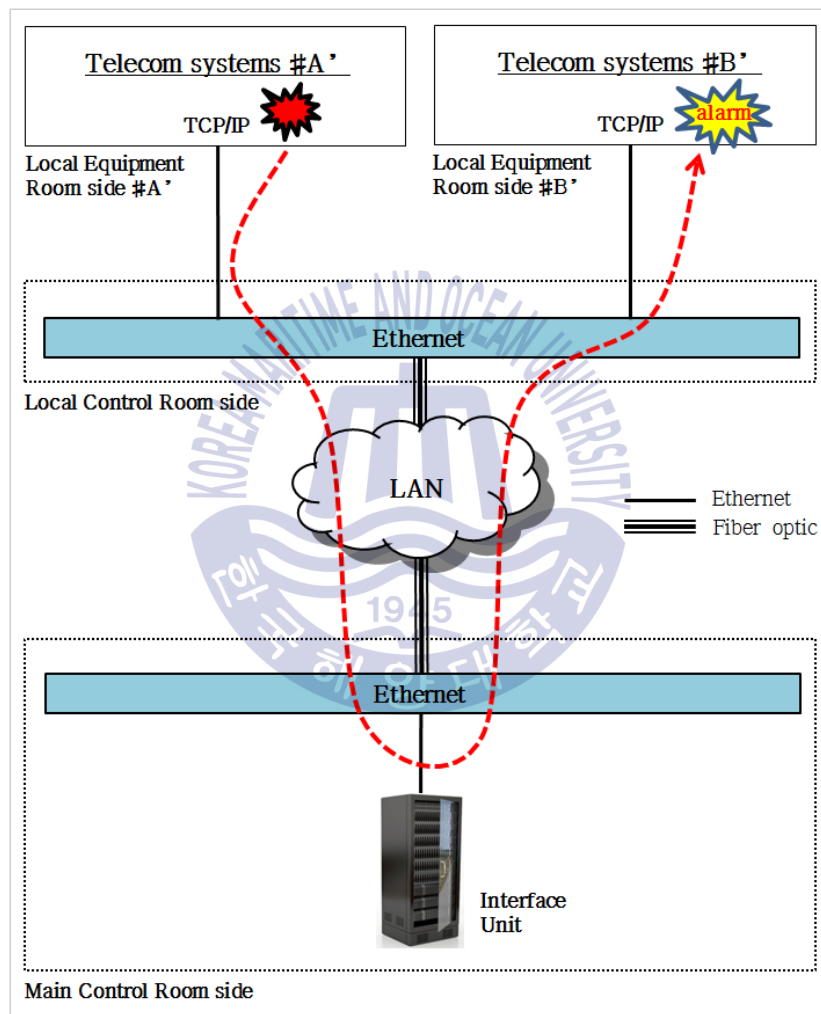


Fig. 3.15 Test-bed diagram for integrated interfaces in telecom systems

Table 3.7 Specification of the test-bed

Division	Specification
Server	CPU : Intel Core i3 4170
	Memory : DDR3 4GB
	Storage : SATA 500GB
	OS : Microsoft Windows 7 Professional DSP 32bit
TIU	TIU Simulator
	Alarm Generator
S/W	Cisco, WS-C2960S-24PS-L

실험은 Fig. 3.14와 Fig. 3.15의 환경에서 전원 켜짐, 전원 꺼짐의 알람을 2초, 1초, 0.5초 단위로 반복 발생한다.

(2) 실험 결과

Fig. 3.16은 데이터 유형 별 알람 발생 간격에 대한 평균 처리 시간을 측정한 결과이다.

알람 발생 간격이 2초에서는 TCP/IP가 최소 167.2%(유전압 점점)에서 최대 226.4%(무전압 점점)의 처리 시간이 개선되었다. 1초 간격에서는 최소 144.7%(입출력 모듈)에서 최대 246.2%(유전압 점점)의 처리 시간이 개선되었다. 0.5초 간격에서는 최소 151.6%(입출력 모듈)에서 최대 175.2%(무전압 점점)의 처리 시간이 개선되었다. 알람 발생 간격이 2초와 1초에서는 데이터 유형 별 평균 처리 시간의 차이가 크지 않다. 전체적으로 TCP/IP는 기존 데이터 유형에 비해 우수한 성능을 나타냈다. 알람 발생 간격이 2초에서는 TCP/IP가 기존

데이터 유형의 평균 처리 시간 대비 185.7%의 처리 시간이 개선되었다. 1초 간격에서는 198.4%, 0.5초 간격에서는 163.9%의 처리 시간이 개선되었다. 0.5초 간격에서의 기존 데이터 유형은 평균 2.67배, TCP/IP는 3.24배로 급상승하였다. 알람 발생 간격이 작아질 수록 기존 인터페이스에서는 TIU에서 처리 부하가 증가하였고 통합 인터페이스에서는 MIU에서 처리 부하가 증가하였다. 알람 발생이 많은 통신 시스템일 수록 시스템 성능은 높이고 알람의 크기는 최소화해야 한다.

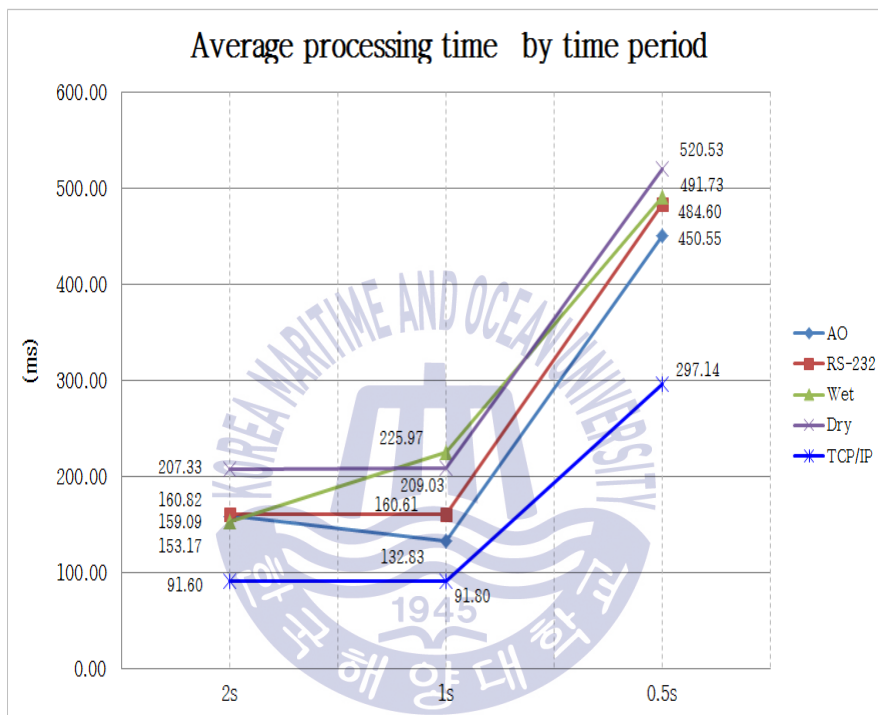


Fig. 3.16 Comparison of average processing time in data types by time period

Fig. 3.17은 데이터 유형별 전체 평균 처리 시간이다. TCP/IP는 기존 데이터 유형에 비해 평균 174.6%의 처리 시간이 개선되었다. 통합 인터페이스는 인터페이스 장치를 거치더라도 속도 저하는 발생하지 않았다. 기존 인터페이스는 TIU로 인해 처리 속도가 저하되는 것으로 분석 되었다.

분석 결과 통신 시스템에 대한 인터페이스의 데이터 유형은 TCP/IP, 입출력 모듈, 직렬 통신, 유전압 접점, 무전압 접점의 우선순위로 적용하는 것이 전체 성능에 유리한 것으로 확인되었다.

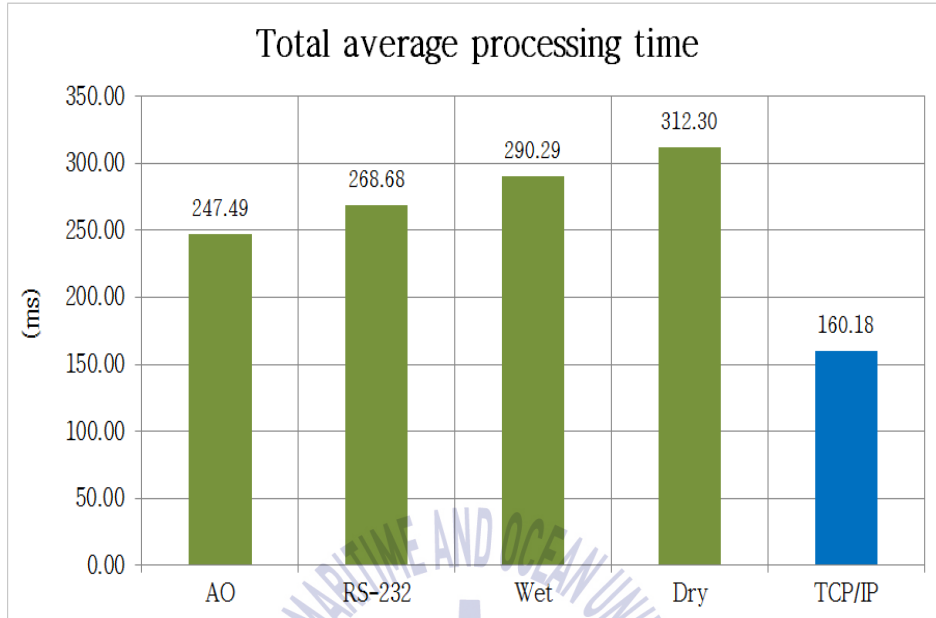


Fig. 3.17 Total average processing time in data types

본 논문은 선박과 해양플랜트의 통신 시스템을 위한 통합 인터페이스 구조에 체계화 데이터로 TCP/IP를 사용했을 때 가장 우수한 성능을 나타내는 것을 실험을 통해 증명하였다.

3.5.3 e-TMS의 성능 개선 효과

(1) 통신 시스템간 인터페이스 성능 향상

현재 선박과 해양플랜트에서 사용하는 통신 시스템 간 인터페이스를 비교 분석한 것이 Fig. 2.10의 반잠수시추선과 Fig. 2.12의 컨테이너선이다. Fig. 2.10과 Fig. 2.12는 서로 다른 인터페이스 형태를 나타냈다. 선종에 따라 케이블 개수가 다르고 집중도가 달랐다. 통신 시스템의 복잡한 인터페이스는 설계 오류와

어려운 유지 보수를 유발한다.

Fig. 3.13의 e-TMS 구조를 적용하여 통신 시스템 간 인터페이스를 적용한 것이 Fig. 3.18이다[15].

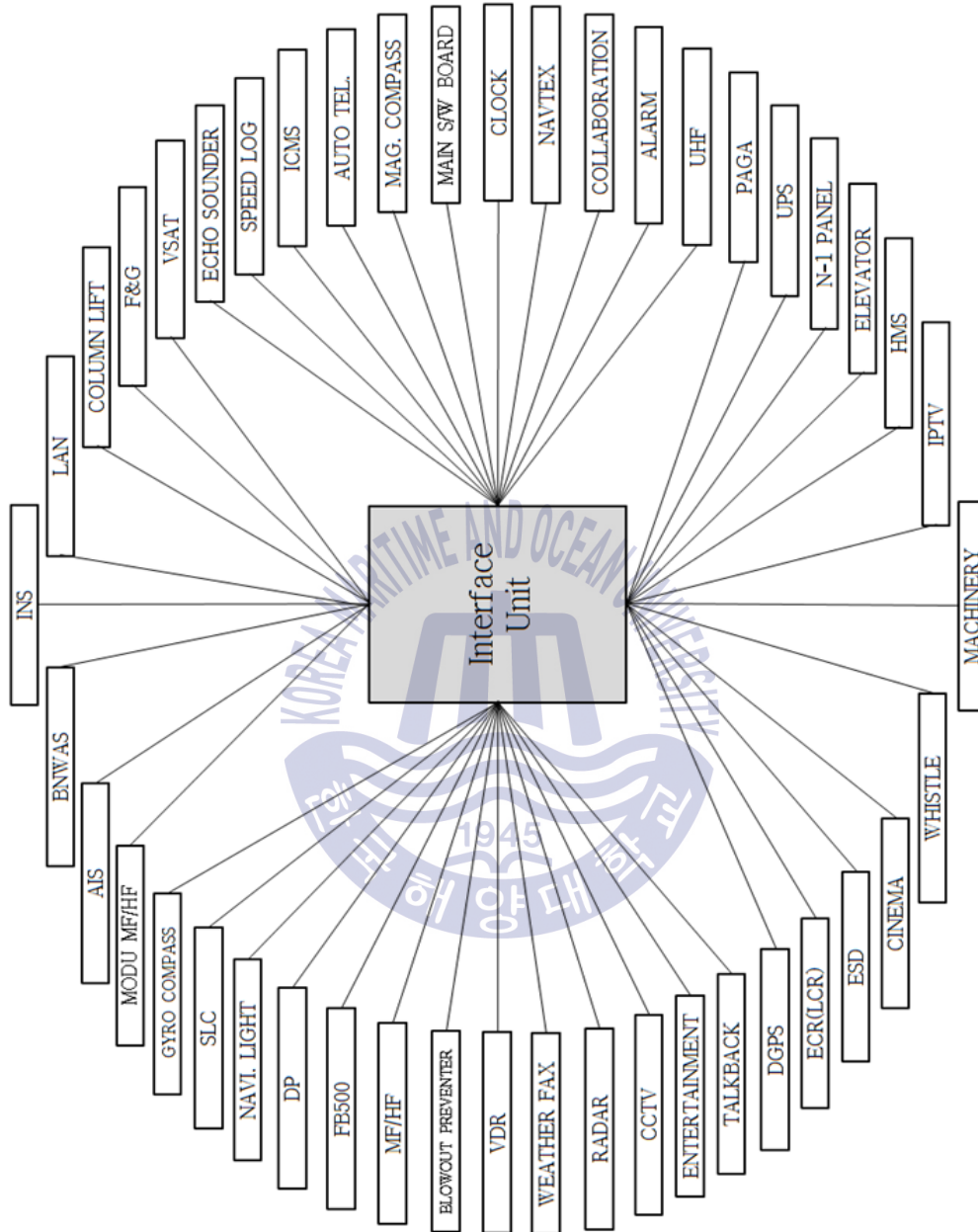


Fig. 3.18 Diagram for integrated interfaces in telecom systems

Fig. 3.18의 통합 인터페이스는 중앙집중제어 구조이다. MIU는 통신 시스템으로부터 일대일(1:1), 일대다(1:M), 다대다(M:M)의 관계로 데이터를 처리한다. MIU는 모든 데이터에 대해 제어하고 데이터의 중복 처리를 최소화한다. Fig. 3.18은 통신 시스템과 MIU 간 한 가닥의 케이블로 인터페이스 되므로 설계 방법 개선과 간소화와 같은 무형적인 절감 효과를 얻는다.

(2) TMS 구축 비용 최소화

TMS의 성능 개선을 위해서는 IMO, 조약, 선급, 제조사가 함께 통신 시스템에 대한 데이터의 체계화 규정해야 한다. 데이터를 체계화하면 TMS 시스템은 e-TMS 처럼 TIU 없이 데이터를 상호 교환한다. Fig. 3.19는 통신 시스템의 체계화된 데이터를 적용하였을 경우의 e-TMS 설치 과정에 대한 흐름도이다. Fig. 2.2의 반복과정이 대부분 사라지고 커미셔닝은 데이터 형식에 대한 정상 여부만 확인한다.

Fig. 3.18의 분석 결과 Table 3.8과 같이 유형적인 효과도 얻는다. 기존 인터페이스에 비해 케이블 수량, 길이, 무게에서 평균 72.5%의 절감 효과가 있다[15].

Table 3.8 Analysis of existing interfaces cost reduction compared to integrated interfaces

Division of cable	Existing interfaces	Integrated interfaces	Reduction(%)
Quantity(EA)	197	45	77.2
Length(Km)	20.7	5.6	72.9
Weight(Ton)	4.9	1.6	67.4

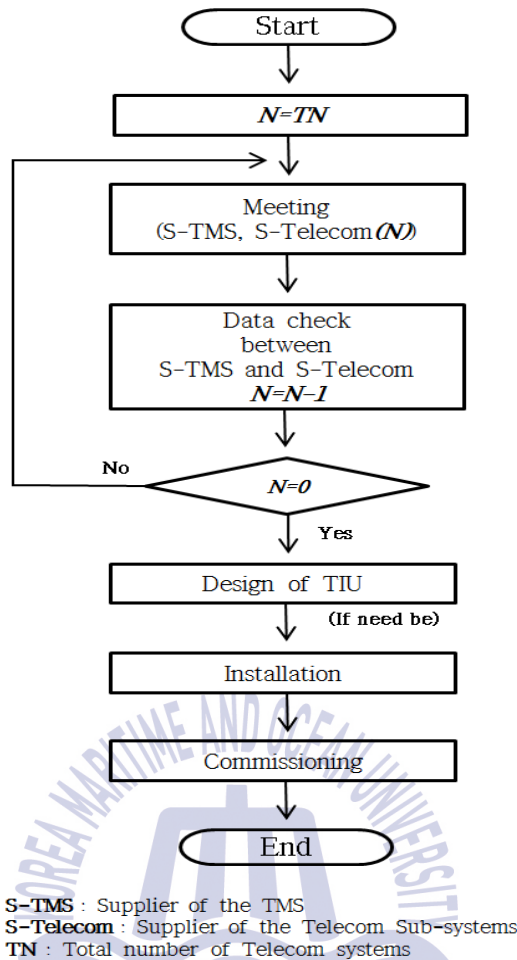


Fig. 3.19 Workflow for Proposed e-TMS

Fig. 2.2의 재검토와 재결정이 반복되어 발생하는 비용과 커미셔닝 비용을 줄인다[9]. 통신 시스템은 데이터 가공시간을 줄이고 e-TMS는 데이터 해석시간을 줄인다. 통신 시스템의 데이터 체계화와 같은 기본 기술에 대한 안정화는 e-TMS와 같은 상위 응용기술의 발전을 가져온다.

설치 비용(케이블, 글랜드, 케이블 전로 등), 설계 비용, 검사 비용과 같은 유형 효과와 오류예방, 유지 보수 비용과 같은 무형 효과를 더하면 절감 효과는 증가한다. 하지만 해당 효과에 대한 비용은 설계사, 조선소, 선주사

마다 금액 책정 기준이 달라 별도 표기하지 않았다.

선박과 해양플랜트에서의 통신 시스템 간의 인터페이스를 분석하면 체계화 되지 않은 통신 시스템으로 인해 선박과 해양플랜트는 케이블을 복잡하게 설치해야 한다는 것을 알 수 있다. 본 논문이 제안하는 통합 인터페이스에서 통신 시스템에 대한 체계화가 데이터 처리 속도에서도 우수한 성능을 나타냄을 실험을 통해 증명하였다.



제 4 장 e-TMS 성능 향상을 위한 무선 네트워크의 필요성

4.1 네트워크 환경 분석

오늘날 선박과 해양플랜트는 규모와 구조가 점점 더 커지고 복잡해지고 있다. 선박과 해양플랜트의 철 구조로 인해 통신 네트워크는 대부분 유선 네트워크로 구성된다. 무선 네트워크의 필요성은 높지만 기술적인 한계로 Wi-Fi를 선실(accommodation)의 일부 구역에서만 사용한다. Wi-Fi는 공용 주파수 대역을 사용하며 전송 거리가 짧고 투과율이 낮다. 전송 거리와 전송율이 좋은 1GHz 미만의 사설 주파수 대역을 사용하기 위해서는 주파수 사용 비용을 지불해야 한다. 전 세계를 이동하는 선박의 경우 국가별로 사설 주파수에 대한 비용을 지불하면서 사용하는 것은 경제적인 측면과 효율적인 측면에서 모두 불가능하다.

선박과 해양플랜트에서 무선 네트워크를 사용하기 위해서는 전송율과 투과율이 좋은 주파수 대역을 가져야 한다. 그리고 공용 주파수를 사설 주파수처럼 사용하며 전 세계 어디에서나 사용할 수 있어야 한다.

선박과 해양플랜트에 사용되는 네트워크는 유선 네트워크, 무선 네트워크, 전력선 통신으로 구분된다. 유선 네트워크는 대표적으로 쌍선 케이블(pair cable), 동축 케이블(coaxial cable), 광케이블(fiber optic cable) 등을 이용하여 구성한다. 케이블은 선박과 해양플랜트 내에서 통신이 필요한 장소 또는 장비를 직접 연결한다.

선박과 해양플랜트에서의 무선 네트워크는 유선 네트워크의 케이블 끝단에 Wi-Fi용 AP(access point)를 연결하여 구성한다. 선박과 해양플랜트 내에서 인터넷과 인터넷 전화를 사용하기 위한 용도이다. 복잡한 철 구조인 선박과 해양플랜트에서 Wi-Fi의 커버리지를 확대하기 위해서는 많은 수의 AP를 집중적으로 설치해야 한다. Wi-Fi용 AP는 선실의 일부 구역에서 제한적으로

설치된다. Wi-Fi는 설치비, 유지 보수비의 증가와 안정성이 확보되지 않아 선박과 해양플랜트에서는 거의 사용하지 않는다. 전력선 통신은 선박에 설치된 전력선을 이용하여 네트워크 환경을 구성한다. 네트워크용 케이블이 별도로 필요 없어 설치 비용을 절감할 수 있는 장점이 있다. 그러나 보안에 취약하고, 서비스 품질이 보장되지 않는 단점이 있어 선박과 해양플랜트에서의 활용도는 낮다.

선박과 해양플랜트의 구조에 따라 통신 방법은 Fig. 4.1과 같이 구분된다. 선박의 구조는 수선 상부(outdoor)를 의미하는 선체 상부(top side)와 수선 하부와 선저부(indoor)를 의미하는 선체부(hull side)로 구분된다.

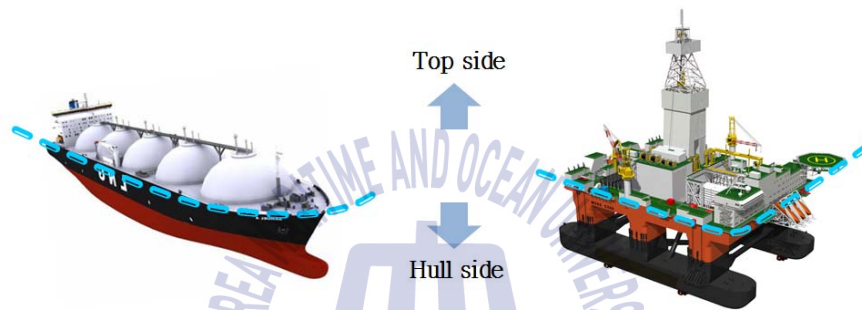


Fig. 4.1 Structure of ships

선체 상부는 FB(fleet broadband)와 VSAT(very small aperture terminal)과 같이 인공위성을 이용한 통신 방법과 VHF(very high frequency)와 같은 장거리 통신용 기기를 설치하여 육상 간 또는 선박과 해양플랜트 간의 통신을 한다. 선체부는 무선 네트워크에 취약한 격자형태의 철 구조로써 유선 네트워크로 구성된다. 선박과 해양플랜트 마다 수십 킬로미터에서 수백 킬로미터에 달하는 유선 네트워크용 케이블을 설치한다. 유선 네트워크는 막대한 설치 비용과 함께 시스템의 확장과 변경이 어렵다.

현재 개발 중인 차세대 해양 기술들은 선박과 해양플랜트의 운영 비용을

절감할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 대부분 시스템으로부터 받은 정보를 분석하는 관리 기법들이다. 차세대 해양 기술들은 새로운 시스템이 아니다 보니 기존 시스템들로부터 원하는 기능들을 제공 받아야 한다. 차세대 선박과 해양플랜트는 새로운 기능들을 요구하는 만큼 새로운 케이블들을 추가로 설치해야 한다. 유선 네트워크를 계속 사용하면 무게 증가, 공간 제약, 기술 발전의 지연으로 선박과 해양플랜트는 기술 성장의 한계에 직면하게 될 것이다. 선박과 해양플랜트의 유선 네트워크를 무선 네트워크로 변경하는 것은 건조기간의 단축과 사용자의 편의성을 이끌 수 있다. 나아가 장소와 시간에 제약이 없는 실시간 관리가 가능하여 e-TMS의 관리 기법을 크게 향상 시킨다.

4.2 무선 네트워크 구성 방법

선박과 해양플랜트의 무선 네트워크 구성하는 방법은 크게 세 가지로 구분된다.

첫째, 상용 주파수 대역을 사용한다. 통신 사업자가 제공하는 서비스망을 선박과 해양플랜트에 연결하고 선박과 해양플랜트 전체에 중계기를 설치한다. 연근해와 멀리 떨어져 설치되는 해양플랜트는 서비스 대상에서 제외된다. 선박은 연근해를 벗어나게 되면 상용 주파수의 통신 서비스가 불가능해져 무선 네트워크는 동작하지 않는다. 상용 주파수 대역을 사용하는 방법은 연근해를 항해하는 선박에는 적용할 수 있지만 국가 간을 항해하는 선박에는 적합하지 않다.

둘째, 상용 주파수 대역을 가지면서 자가망을 구축하는 방법이다. 선박과 해양플랜트 스스로가 하나의 통신 사업자가 되는 개념이다. 하지만 많은 구축 비용과 설치 공간이 증가하는 단점이 있다. 해당 방법은 주파수 대역을 신고한 지정 국가를 벗어나는 경우 주파수 충돌이 발생할 수 있다. 해양플랜트에서는 사용할 수 있는 방법이지만 국가 간을 항해하는 선박은 사용할 수 없다.

셋째, 공용 주파수 대역을 이용하여 자가망을 구축하는 방법이다. 2.4GHz,

5GHz의 주파수 대역을 사용하는 Wi-Fi가 여기에 해당한다. 설치와 사용은 가장 간단하지만 Wi-Fi의 전파 전달 범위(radio propagation range)가 선박과 해양플랜트에서는 10~20미터 미만으로 투자비에 비해 효율이 가장 낮다. 선박과 해양플랜트는 육상의 건물과 같은 유리창과 환기구 등이 많이 없어 전파 전달이 더욱 어렵다.

선박과 해양플랜트에서 무선 네트워크 사용하기 위해서는 데이터에 대한 신뢰성을 확보해야 한다. 기중기가 이동하거나 철 재질의 문이 개폐될 때 전파의 차단이 발생한다. 에어락과 같은 이중문 구조는 전파 전달 범위를 더욱 짧게 한다. 선박과 해양플랜트에서 전파 전달 범위가 짧은 Wi-Fi는 전파의 수신 상태가 나쁜 지역을 뜻하는 프린지 지역(fringe area)과 전파의 수신이 안되는 지역을 뜻하는 난청 지역(dead spot)에 대한 예측이 불가능하다. 따라서 선박과 해양플랜트의 무선 네트워크 환경은 전파 전달 범위가 길고 최소의 비용으로 전체를 커버리지 할 수 있고 자가망과 같은 효과를 가져야 한다. 데이터의 송·수신을 제외하고 무선 통신 방법만을 놓고 비교하면 현재 선박과 해양플랜트에 설치하는 시스템 중 UHF가 가장 많은 조건들을 만족한다.

UHF는 일반적으로 작업자 간의 무선 통신을 위해 설치한다. 400MHz의 주파수 대역을 사용하여 골목률이 좋고 전송 거리가 길어 최소의 안테나로 선박과 해양플랜트의 대부분의 구역에서 휴대용 라디오를 이용한 통신이 가능하다. TMS에서도 UHF 시스템을 필수 시스템으로 분류하고 있다[3].

UHF와 비슷한 주파수 대역으로 슈퍼 Wi-Fi와 TETRA가 있다. 슈퍼 Wi-Fi는 TV 화이트 스페이스(TV white space)를 이용하여 무선 인터넷 서비스를 구현하는 기술이다[26]. 슈퍼 Wi-Fi는 기존 Wi-Fi와 유사하며 전용 라우터와 AP를 설치하여 무선 네트워크를 구축한다. TETRA는 유럽 전기 통신 표준 협회(european telecommunications standards institute)가 개발한 이동 무선 통신에 대한 표준으로 음성 및 데이터의 전송이 가능하다[27]. 일부 해양플랜트에서는 UHF 대신 TETRA를 설치하여 음성과 메시지를 주고

받는다[28].

선박과 해양플랜트에서 음성의 송·수신을 위한 UHF 시스템을 기반으로 무선 네트워크를 위한 슈퍼 Wi-Fi가 결합하면 선박과 해양플랜트에 적합한 새로운 무선 네트워크 환경의 구현이 가능하다. 오늘날 대부분의 대형 선박과 해양플랜트는 UHF 시스템을 설치한다. UHF 시스템의 자원을 슈퍼 Wi-Fi가 함께 공유하면 비용 절감, 설치 오류 최소화, 시스템 조기 안정화와 같은 많은 장점이 있다. UHF의 커버리지 연구(coverage study) 기법을 적용하여 품질 향상과 함께 추가적인 비용 절감이 가능하다[29]. 본 논문은 선박에 운용되는 UHF 시스템을 이용하여 슈퍼 Wi-Fi로 무선 네트워크 환경을 수립하는 방법을 제안한다. 슈퍼 Wi-Fi 환경이 프린지 지역과 난청 지역 없이 선박과 해양플랜트의 전 구역에 대한 커버리지가 가능함을 실험을 통해 증명한다.



제 5 장 슈퍼 Wi-Fi 환경 구현을 위한 주파수 대역 분석과 UHF 커버리지 연구

5.1 무선 주파수 분석

선박과 해양플랜트에서 사용하는 대표적인 무선 통신 시스템인 TETRA, UHF, Wi-Fi와 본 논문에서 제안하는 슈퍼 Wi-Fi의 주파수 대역을 분석한다. Fig. 5.1은 기구나 국가에 따라 각각 할당된 TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi, Wi-Fi에 대한 주파수 대역이다[30].

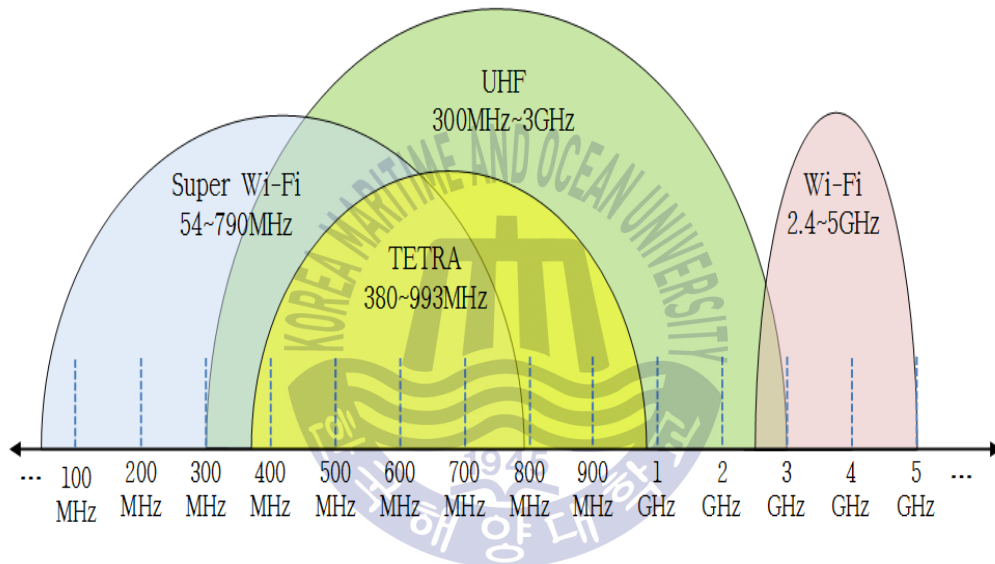


Fig. 5.1 Comparison of frequency bands

Fig. 5.1과 같이 광범위한 주파수 대역에 대한 커버리지 연구는 결과가 중복되고 오차 범위가 커진다. 선박과 해양플랜트에 적합한 시스템 별 주파수 대역을 재분류하여 전파 전달 범위와 특징을 구분 한다. 다음의 네 가지의 분석 과정을 거쳐 무선 통신 시스템 별 주파수 대역을 재정의 한다.

첫째, 선박과 해양플랜트에 사용하도록 할당된 주파수 대역이 있는지

확인한다. 둘째, 선박과 해양플랜트에 주로 할당되는 주파수 대역을 확인한다. 선박이 항해하거나 해양플랜트가 위치하는 국가나 지역에 따라 일부 차이가 있다. 셋째, TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi, Wi-Fi의 주파수 대역이 서로 중복되지 않아야 한다. 넷째, 할당된 주파수 대역에서 최대 데이터 전송 속도를 내는 주파수 대역을 확인한다. 마지막으로 실제 구현을 위해 주파수 대역을 지원하는 상용 제품이 있어야 한다. 커버리지 연구는 실제 선박과 해양플랜트의 구조와 구성이 일치하도록 테스트 환경을 구현하여 무선 통신 시스템 별 상용 제품의 정보들을 입력하여 수행한다. 커버리지 연구는 실제 선박과 해양플랜트의 재질과 크기를 정확히 반영하여 수행한다. 커버리지 연구의 결과를 실제 선박과 해양플랜트에 적용 시 동일한 결과를 얻을 수 있는 것으로 해석된다. 이러한 과정을 거쳐 재정의된 무선 통신 시스템 별 주파수 대역으로 선박과 해양플랜트에 대한 커버리지 연구를 수행하여 UHF와 슈퍼 Wi-Fi의 유사성과 특성을 분석하고 파악한다.

TETRA의 통신 방법은 고정형 기지국과 휴대용 라디오를 사용하는 UHF와 유사하다. 하지만 무선 인터넷과 같은 일대다(point-to-multipoint) 통신과 기지국 간의 데이터 교환이 가능하다. TETRA는 채널당 7.2Kbps의 데이터 전송 속도를 지원하기 때문에 단문 데이터 서비스에 적합하다[27,31]. 유럽 전기 통신 표준 협회에 의해 TETRA의 주파수 대역은 380~470MHz, 870~993MHz로 정의되었다[32]. TETRA로 할당된 전체 주파수 대역은 Fig. 5.1과 같이 380~993MHz이다. 유럽 우편 전기 통신 주관청 회의(european conference of postal and telecommunications administrations)에서는 TETRA의 주파수 대역을 380~400MHz로 정의하였다[33].

TETRA는 나라마다 할당된 주파수 대역이 다르다. 대다수의 유럽 국가가 응급 서비스 대역으로 380~400MHz를 할당하였다[34]. 독일은 380~385MHz, 390~395MHz, 406~410MHz를 할당하였다. 사우디아라비아는 350~370MHz에서부터 870~921MHz까지를 할당하였고 노르웨이는 380~385MHz부터 870~876MHz 의

대역을 할당하였다[35]. 유럽에서는 선박과 해양플랜트를 위해 TETRA의 주파수 대역을 380~470MHz로 할당하였다. 본 논문에서는 비교 실험을 위한 TETRA 주파수 대역을 UHF 주파수 대역과 겹치지 않는 380~430MHz로 재정의한다.

UHF의 주파수 대역은 ITU에서는 300MHz~3GHz로 정의되었고, 전기전자기술자협회(IEEE, institute of electrical and electronics engineers)에서는 300MHz~1GHz로 정의되었다[36]. UHF로 할당된 전체 주파수 대역은 Fig. 5.1과 같이 300MHz~3GHz이다.

UHF는 나라마다 목적에 따라 할당된 주파수 대역이 다르다. 호주는 476~477MHz를 개인용 주파수 대역(citizens band)으로 할당하였고, 영국은 470~854MHz를 지상파 아날로그 TV 채널(analog terrestrial TV channels)로 할당하였다[37,38]. 미국의 경우, 225~399.9MHz를 군용 무선 통신(critical military radio communication) 대역으로 할당하였고 2,400~2,483.5MHz를 아마추어 주파수 대역, 고정 주파수 대역, 이동 주파수 대역으로 할당하였다[39]. UHF는 나라마다 광범위하고 다양하게 할당되어 사용된다.

선박과 해양플랜트는 ITU - 라디오 주파수 대역(radiocommunication sector)의 M.1174-2에 의해 선상 통신(onboard vessel communication)용으로 할당된 450~470MHz를 UHF의 주파수 대역으로 사용한다[40]. 본 논문에서는 비교 실험을 위한 UHF 주파수 대역을 450~470MHz로 재정의한다.

슈퍼 Wi-Fi는 미국에서는 54~698MHz로 할당되었고, 유럽에서는 470~790MHz로 할당되었다. 슈퍼 Wi-Fi로 할당된 전체 주파수 대역은 Fig. 5.1과 같이 54~790MHz이다. 무선 네트워크는 높은 주파수 대역으로 대역폭을 할당하면 높은 데이터 전송 속도를 확보할 수 있다. 반면 높은 주파수 대역일수록 Wi-Fi와 같이 안정성을 확보하기가 어렵다. 선박과 해양플랜트의 무선 네트워크를 위한 슈퍼 Wi-Fi는 높은 데이터 전송 속도와 전송 거리, 안정성을 모두 필요로 한다. 본 논문에서는 비교 실험을 위한 슈퍼 Wi-Fi

주파수 대역을 750~790MHz로 재정의한다.

Fig. 5.2는 본 논문에서 중복되지 않도록 재정의한 TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi에 대한 주파수 대역이다[30].

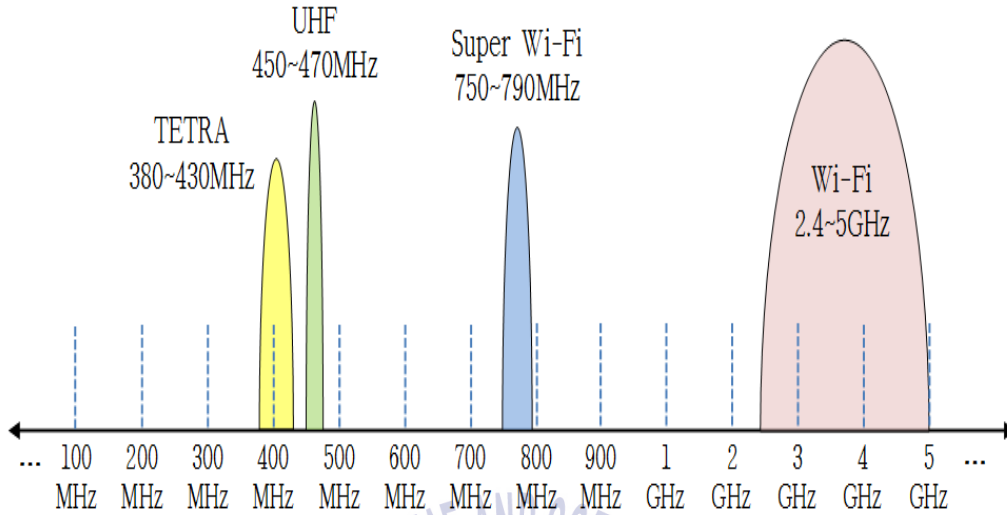


Fig. 5.2 Redefined for frequency bands of UHF, TETRA and Super Wi-Fi

선박과 해양플랜트에서 UHF와 슈퍼 Wi-Fi의 설치 방법에 대한 정의는 없다. UHF 시스템에서 설치되는 안테나는 슈퍼 Wi-Fi의 성능과 밀접하다. 본 논문에서 제안하는 UHF 시스템의 자원을 이용한 슈퍼 Wi-Fi 환경을 구현하기 위해서는 UHF 시스템의 설치 과정을 분석하여 문제점을 극복하는 것이 필요하다. UHF 시스템에 대한 안테나의 최적화 설치를 커버리지 연구를 통해 실험으로 증명한다.

5.2 UHF 시스템 개요

UHF 시스템을 사용하는 가장 큰 목적은 떨어져 있는 작업자들 간의 음성 통신을 하기 위한 것이다. 오늘날 대형 선박과 해양플랜트와 같이 복잡한 구조를 갖는 작업 환경에서는 원격지에서 작업장과 작업자의 상태를 확인하는

도구로 이용된다. 선박과 해양플랜트에서의 작업은 어디서나 일어날 수 있으므로 UHF 시스템은 선박과 해양플랜트의 전 구역을 커버리지 해야 한다. 선박과 해양플랜트의 구조와 환경에 적합하도록 UHF 시스템을 배치하기 위해서는 설치 전 시뮬레이션이 반드시 필요하다. 시뮬레이션은 프린지 지역과 난청 지역에 대한 사전 분석이 가능하고, 자재의 낭비요소가 없도록 최적화 배치를 해야 한다. 이런 기능을 갖춘 UHF 시스템에 대한 시뮬레이션을 커버리지 연구라 한다. 커버리지 연구의 장점은 UHF 시스템의 가장 큰 단점인 커미셔닝 단계에서 설계 변경이 없어진다. 그리고 비용 절감과 설계의 신뢰도를 향상시킨다. 선박과 해양플랜트는 커버리지 연구를 통해 프린지 지역과 난청 지역을 파악해야 한다. 부득이한 경우 레이더의 블라인드 섹터와 같이 UHF에 대한 커버리지를 선내에 표시하고 관리해야 한다[41].

5.2.1 UHF 시스템 정의

UHF는 좁고 구조물이 있는 복잡한 공간에서도 장거리 통신이 가능하여 선박과 해양플랜트의 선내 통신용으로 적합하다. 선박과 해양플랜트에서 UHF 시스템은 SOLAS에 의해 의무적으로 설치해야 하는 시스템은 아니다[42-45]. VHF는 선박과 선박, 선박과 육상에 대한 교신용으로 156~174MHz의 주파수 대역을 사용한다[46].

UHF 시스템은 안테나, 기지국(base station), 리피터, 휴대용 라디오로 구성된다. 기지국과 리피터는 이중 주파(duplex frequency)를 사용하고, 휴대용 라디오는 단일 주파(simplex frequency)를 사용한다. 이중 주파는 수신된 주파수를 재송신 해야 하므로 단일 주파와 달리 Tx/Rx 주파수가 약 10MHz의 차이를 둔다. 만약 Tx/Rx 주파수 간 이격이 없으면 상호 간섭으로 인한 하울링, 감도 저하, 혼선 등의 통신 장애가 발생한다. 전송 방법(transmission sequence)은 휴대용 라디오가 Tx 신호를 송신하면 주변에 설치된 안테나를 통해 리피터는 Rx 신호를 수신한다. 리피터는 수신한 신호를 증폭하여 다시

안테나를 통해 Tx 신호를 송신한다. 동일 주파수에 대기 중인 휴대용 라디오가 Rx 신호를 수신한다[29].

UHF 시스템은 타 시스템에 비해 소수의 안테나와 기지국, 휴대용 라디오만으로 선박과 해양플랜트의 전체를 커버리지 한다. 설치가 간편하고 이동하면서 통신을 할 수 있는 장점 때문에 선박과 해양플랜트의 다양한 작업 환경에서 사용된다. 선박과 해양플랜트에서 UHF 시스템은 Fig. 5.3과 같이 선외는 whip 안테나를 설치하고 선내는 헬리컬 안테나와 누설 안테나를 설치한다.

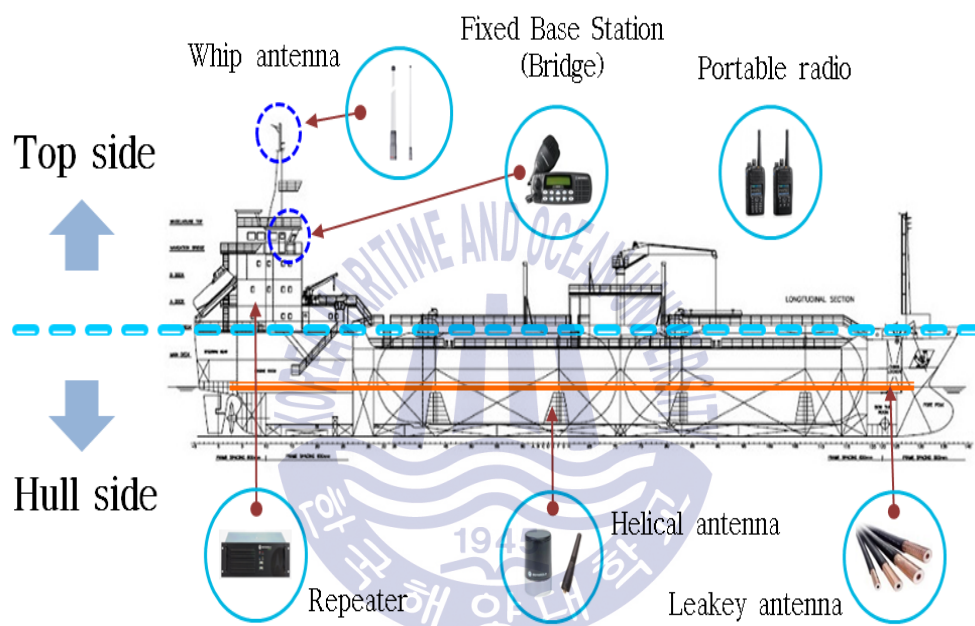


Fig. 5.3 Installation on UHF system in ships

선박과 해양플랜트는 작업 환경에 따라 선실 구역(accommodation area)과 작업 구역(working area)으로 구분된다. 선박과 해양플랜트는 주변의 환경으로부터 항상 위험에 노출되어 있다. 승선 인원의 위치나 상태 파악에서부터 작업 공간의 문제와 현황을 실시간으로 파악하여 관리하는 것은

어렵다. 선박과 해양플랜트의 전 구역을 휴대용 라디오로 통신하기 위해서는 효율적인 UHF 안테나의 배치가 필요하다. 하지만 UHF 안테나의 위치는 선박과 해양플랜트의 건조 시 설계자의 경험에 의해 결정되고 설치된다.

UHF 안테나의 출력은 안테나의 주변 환경에 따라 감쇄된다. 선박과 해양플랜트에서 UHF 안테나의 전파 전달 범위를 결정하는 인자에는 재질, 구조의 복잡도, 밀폐 여부 등이 있다. 다양한 인자가 UHF 안테나의 성능과 결합되어 프린지 지역과 난청 지역을 결정한다. 선박과 해양플랜트의 구조와 환경에 적합한 UHF 안테나를 찾아 최적의 커버리지를 구현해야 한다.

5.2.2 UHF 시스템 문제점

오늘날 선박과 해양플랜트 설계 시 UHF 시스템을 배치하는 과정을 분석해 보면 문제점은 크게 두 가지로 확인된다.

첫째, UHF 안테나의 종류별 특성에 대한 분석 오류이다. UHF 안테나는 UHF 시스템의 신호 세기에 따라 전파 특성이 달라진다. UHF 안테나의 성능은 리피터와 베이스 스테이션의 성능과 밀접하다. UHF 안테나의 성능과 함께 UHF 시스템의 출력을 조합하여 선박과 해양플랜트에서의 전파 전달 범위를 파악해야 한다.

둘째, 선박과 해양플랜트의 구조적 특이성을 반영하지 않는다. UHF 안테나는 제조사별 모델 별로 전파 모양과 전달 범위가 다르다. UHF 안테나의 특성을 확인하여 설치 장소에 적합한 안테나를 설치해야 한다. 현재는 커미셔닝 단계에서 프린지 지역, 난청 지역이 발생하는 것을 사람이 직접 이동하면서 확인한다. 다음으로 UHF 안테나의 위치에 대한 설계를 변경하고 안테나의 위치를 이동하거나 추가한다. UHF 시스템은 설계 단계에서는 대략적인 위치를 잡아 설치한 후 커미셔닝 단계에서 설계를 수정하는 것이 일반적이다. Fig. 5.4는 기존 UHF 시스템을 선박과 해양플랜트에 설치하는 과정이다.

Fig. 5.4와 같이 기존 UHF 시스템에서 UHF 안테나의 배치는 설계자의 주관에

의해 설계되어 설치된다. 이때 안테나 설치에 대한 검증과정은 생략된다. 현실적으로 눈에 보이지 않는 전파를 고려하여 설계한다는 것은 불가능하다. UHF 안테나의 출력이 구조물과 같은 주변 환경에 의해 굴절되고 감쇄 되는 것은 파악할 수 없다. 커미셔닝 단계에서 UHF 시스템에 대한 설계 변경 시 발생하는 추가 비용은 당연한 것으로 인식된다. UHF 시스템은 설계 단계에서의 신뢰성이 무척 낮다.

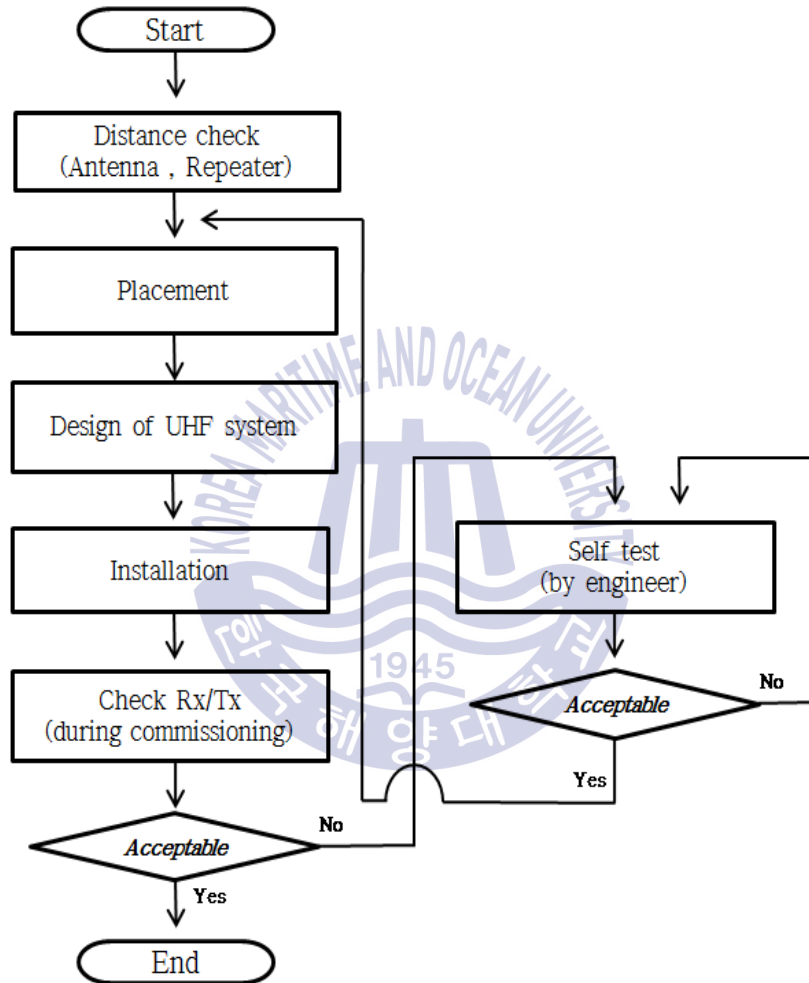


Fig. 5.4 Workflow for the existing UHF system

현재 운항 중인 대부분의 선박과 작업 중인 해양플랜트는 선내의 정확한

프린지 지역과 난청 지역을 파악하지 못한다. 선박과 해양플랜트는 안전사고 시 위험요소를 항상 가지고 있는 것과 같다. 커버리지 연구를 이용하여 UHF 시스템에 대한 효율적인 배치로 선박과 해양플랜트에서의 위험요소를 제거해야 한다.

5.2.3 UHF 커버리지 연구 필요성

Fig. 5.5는 선박과 해양플랜트의 건조 과정에서 커버리지 연구를 적용한 UHF 시스템의 설치 과정이다.

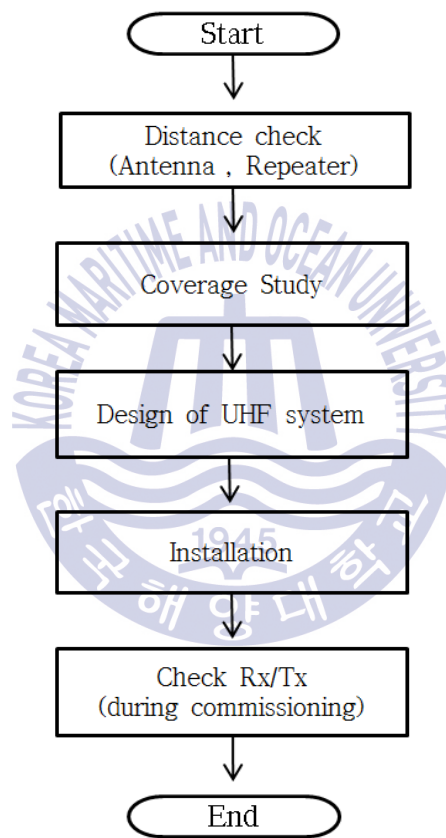


Fig. 5.5 Workflow for UHF system with coverage study

Fig. 5.5에서는 기존 UHF 시스템의 설치 과정인 Fig. 5.4의 커미셔닝 단계의

반복 작업과 설계 변경과 같은 낭비요소가 대부분 제거되었다. Fig. 5.4에서는 안테나의 위치를 임의로 결정한 후 설계를 반영하고 설치를 하는 반면 Fig. 5.5는 커버리지 연구를 수행한 후 정확한 위치를 설계에 반영한다.

UHF 시스템의 커버리지 연구는 오늘날 수작업으로 수행되는 UHF 시스템의 설치 과정을 표준화하여 낭비요소를 제거한다. 사람의 경험에 의존하여 프린지 지역과 난청 지역을 결정하는 것은 선박과 해양플랜트의 품질면에서도 나쁜 영향을 준다. 하지만 기존의 커버리지 연구는 Table 5.1과 같이 숫자로만 산출되었다. 선체의 재질, 구조와 같은 특성을 반영하지 않은 일반적인 추정에 의한 계산값으로써 현실성이 낮다. 결과적으로 설계 시 반영이 어려워 선박과 해양플랜트에서의 커버리지 연구의 수행률은 낮다.

Table 5.1 Existing coverage study for UHF system in ships and offshore plants

Margin calculations base to portables (dBm)		Margin calculations portables to base (dBm)	
Tx Out Radio (25W)	44.00	Tx Out Radio (1W)	30.00
Splitter Loss 1_4way	6.50	Splitter Loss 1_4way	6.50
Splitter Loss 2_2way	3.50	Splitter Loss 2_4way	6.50
Splitter Loss 3_4way	6.50	Splitter Loss 3_2way	3.50
Splitter Loss 4_4way	6.50	Splitter Loss 4_4way	6.50
Coupling Loss Leaky Feeder(2M/95%)	59.00	Coupling Loss Leaky Feeder(2M/95%)	59.00
Add. Loss Feeder and Connector	6.92	Add. Loss Feeder and Connector	6.92
Leaky Feeder Loss	1.06	Leaky Feeder Loss	1.06

Tx Leaky Feeder	-45.98	Rx Input Leaky to Base Station	-59.98
Threshold Level Portable	-103.00	Threshold Level Portable	-113.50
Margin 2M	57.02	Margin 2M	53.52
Margin 10M	43.2	Margin 10M	39.52

기존의 커버리지 연구의 단점을 해결하기 위해 본 논문은 3차원 기반의 커버리지 연구를 수행한다. 커버리지 연구는 선박과 해양플랜트의 정확한 구조와 구역별 재질을 반영한다. 그리고 안테나 별 전파 특성과 UHF 시스템의 신호 세기를 반영한다. 3차원 기반의 커버리지 연구는 설계자가 직접 무선 주파수를 확인하므로써 설계의 정확도를 높인다. Fig. 5.5와 같이 UHF 안테나를 설치하기 전에 커버리지 연구를 반복 수행하여 프린지 지역과 난청 지역을 없앤다. 커버리지 연구를 적용한 UHF 시스템은 필요한 설치 수량의 산출이 가능해져 자재비를 절감하고 재설계, 반복 작업 등을 없애 인건비를 절감한다. 커버리지 연구는 선박과 해양플랜트의 우수한 품질을 위해 확대 적용되어야 한다.

5.3 UHF 커버리지 실험

5.3.1 실험 환경

선박과 해양플랜트의 선내인 선체부는 누설 안테나를 케이블 전로를 따라 설치하고, 사각지대는 헬리컬 안테나를 설치한다. 누설 안테나는 신호 간섭을 받을 수 있는 전원 케이블과는 이격하여 설치해야 한다. 선내의 작업 구역은 문을 닫으면 밀폐가 되는 구역이 많고 장비와 시스템을 보호하기 위해 절연 처리를 한다. 이격이 필요한 누설 안테나를 위해 선내의 밀폐된 구역에 별도의

복도를 제외하고 모든 작업 구역은 밀폐되어 있다. 선체부에 대한 커버리지 연구의 범위는 길이(length)가 96.13미터이고 폭(breadth)은 77.76미터이다.

Fig. 5.7은 반잠수시추선의 어퍼 데크(upper deck)로 선체 상부이다. 오픈된 선외 공간이지만 기중기, 유정탑(derrick) 등의 전파를 차단할 수 있는 장비가 설치되어 있다.

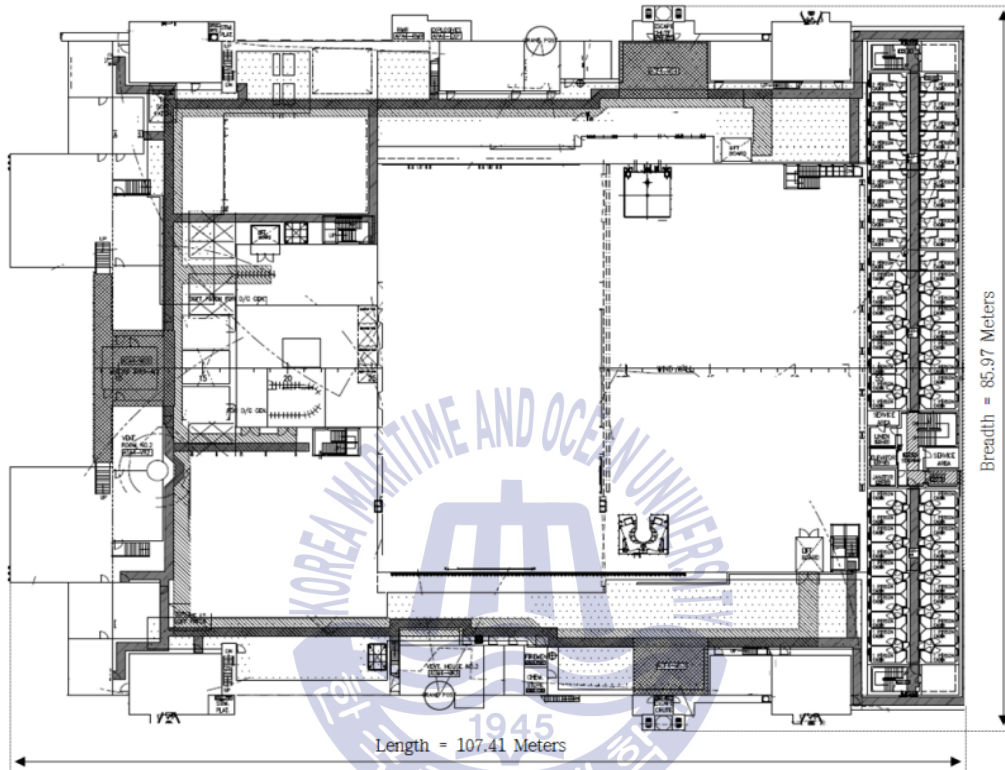


Fig. 5.7 Upper deck in semi-submersible rig

선체 상부에 대한 커버리지 연구의 범위는 길이(length)가 107.41미터이고 폭(breadth)은 85.97미터이다. 선체 상부는 윈치(winch), 탈출 장치(escape chute)와 같은 돌출부로 인해 선체부 보다 길이와 폭이 넓다.

5.3.2 실험 방법

커버리지 연구의 기준이 되는 목표 신호 세기(target signal strength)와 목표 커버리지(target coverage)를 Table 5.2와 같이 정의한다. 목표 신호 세기는 dBm(decibels above 1 milliwatt)으로 나타낸다. 커버리지 연구는 Fig. 5.8과 같이 수행되며 Table 5.2를 만족할 때까지 반복된다. Table 5.3는 커버리지 연구를 수행하는 장비의 세부 사양이다[47].

Table 5.2 Specific design requirements

Category	Requirement
Target signal strength	Fringe area : $\leq -85\text{dBm}$ Dead spot : $\leq -100\text{dBm}$
Target coverage	95%

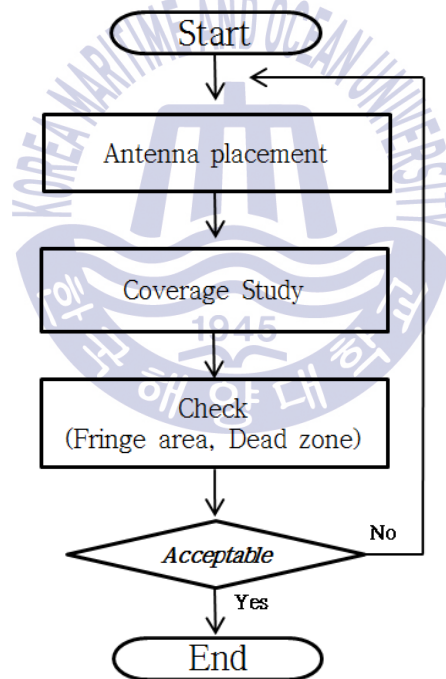


Fig. 5.8 Workflow for coverage study of proposed UHF system

Table 5.3 Specification of the environment

Division	Specification
H/W	CPU : Intel Core i3 4170, Memory : DDR3 4GB Storage : SATA 200GB, OS : Microsoft Windows 7 Professional DSP 32bit
S/W	iBwave Design Enterprise v 6.4.3, 32-bit Edition

5.3.3 실험 결과

Fig. 5.9는 선체부에 대한 초기 단계의 커버리지 연구를 수행한 결과이다.

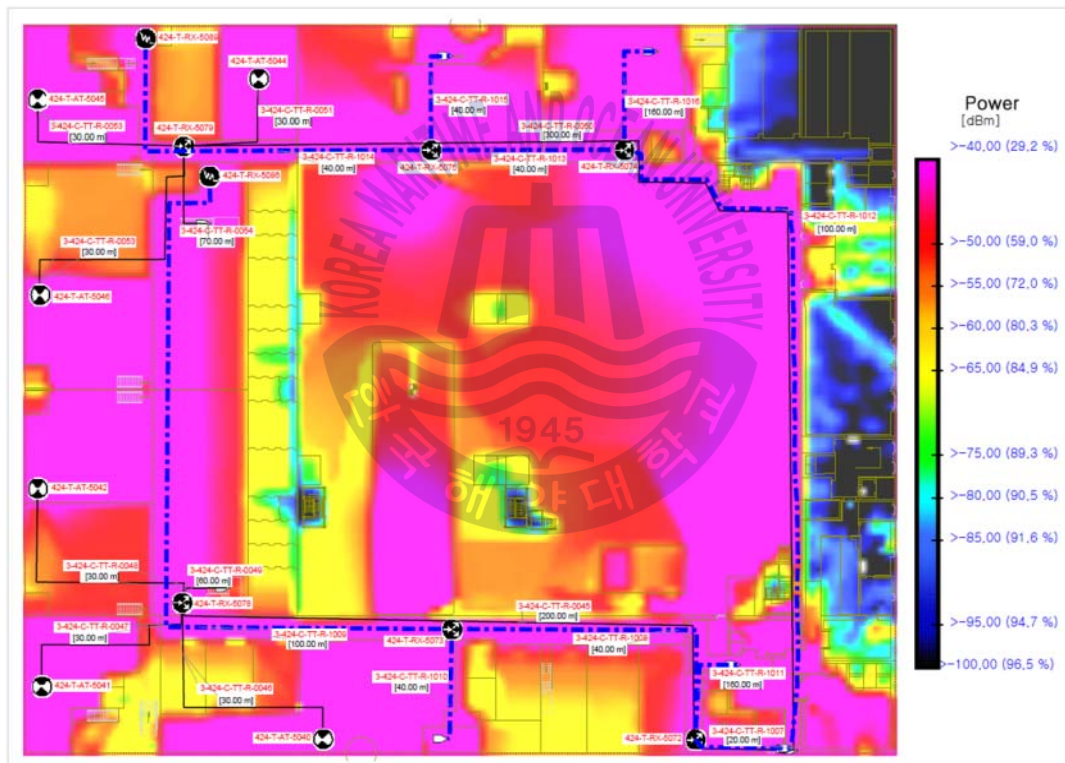


Fig. 5.9 Initial stage for coverage study at hull side

프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm 일 때 커버리지는 91.6%이다. Table 5.5의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다. 선수(bow)의 작업 구역에는 -85dBm 보다 작은 프린지 지역과 -100dBm 보다 작은 난청 지역이 함께 확인되었다.

Fig. 5.10은 선수쪽에 누설 안테나의 설치 경로를 변경하고 헬리컬 안테나를 추가하는 과정을 반복하여 최종 단계의 커버리지 연구를 재수행한 결과이다. 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm 일 때 커버리지가 95.9% 이다. Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하고 작업 구역의 프린지 지역과 난청 지역을 모두 제거하였다.

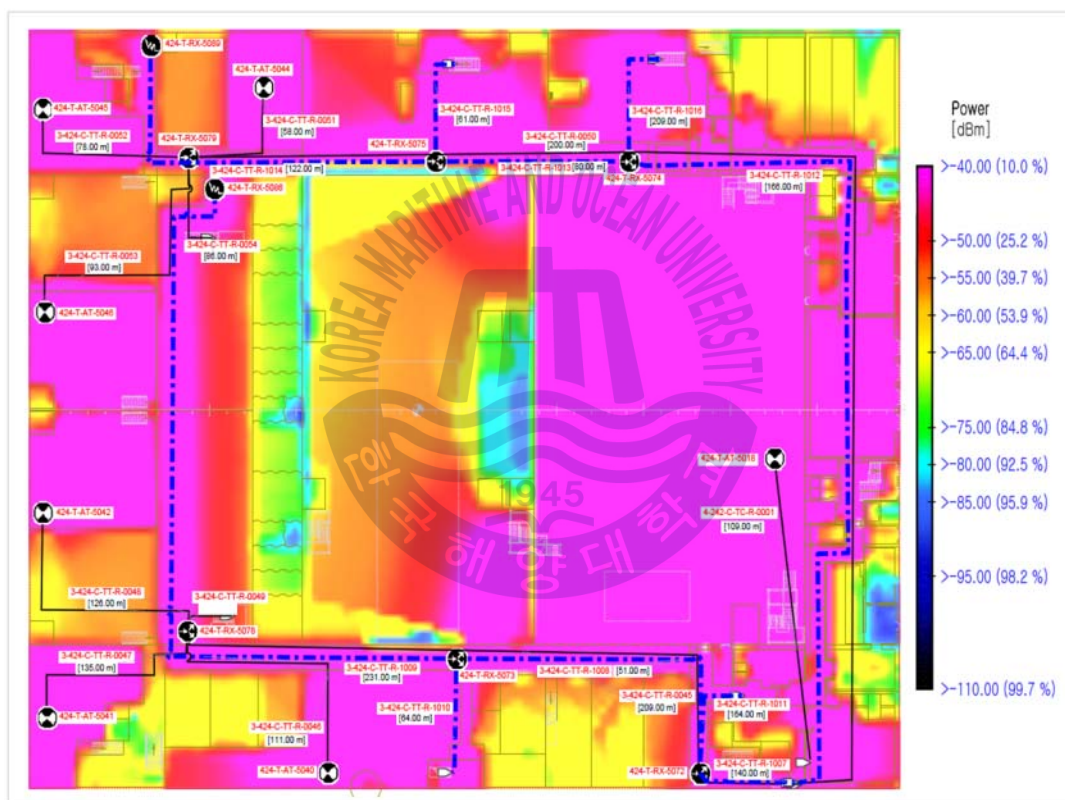


Fig. 5.10 Last stage for coverage study at hull side

선체부는 누설 안테나는 Fig. 5.11과 같이 설치한다. 누설 안테나는 케이블

전로나 지지부에 지지대(clamp)를 설치하여 전파 전달 범위를 최대화한다.



Fig. 5.11 Installation of Leaky antenna

커버리지 연구가 없이 Fig. 5.10과 같이 누설 안테나를 설치하였다면 Fig. 5.4에서처럼 커미셔닝 단계에서 프린지 지역과 난청 지역을 없애기 위해 엔지니어가 직접 UHF 안테나를 들고 자체 시험을 반복 수행하였을 것이다. 누설 안테나는 설치 후 경로 변경이 어렵기 때문에 일반적으로 헬리컬 안테나를 추가한다.

Fig. 5.12는 선체 상부에 대한 초기 단계의 커버리지 연구를 수행한 결과이다. 난청 지역의 목표 신호 세기인 -100dBm 일 때의 커버리지가 93.9%이다. Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다. 그리고, 선미(stern)와 우현(starboard)와 좌현(port)의 작업 구역에는 프린지 지역과 난청 지역이 확인되었다.

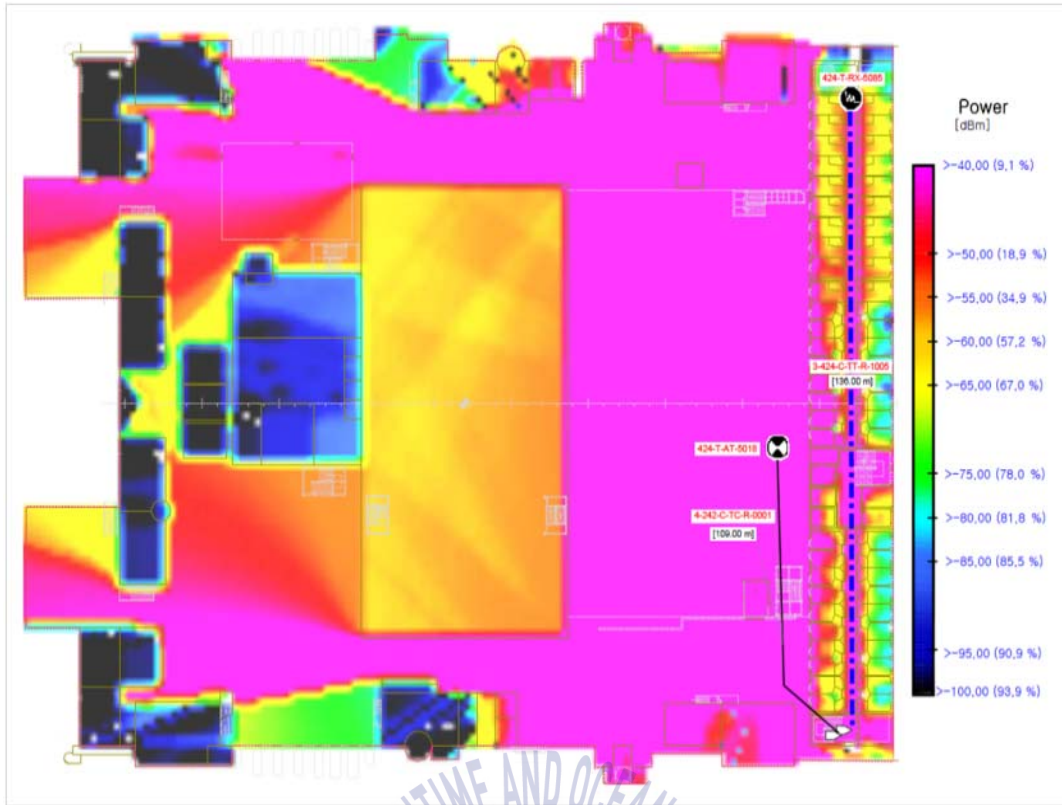


Fig. 5.12 Initial stage for coverage study at top side

일반적으로 선체 상부는 선외의 오픈된 공간으로 프린지 지역과 난청 지역이 발생하지 않는 것으로 이해한다. 그러나 Fig. 4.1과 같이 선체 상부에는 기둥(column)과 같은 구조물인 기중기, 유정탑, 선실에 의해 프린지 지역과 난청 지역이 발생한다. 오늘날 선박과 해양플랜트 구조가 대형화되고 복잡해지면서 나타나고 있는 현상이다.

Fig. 5.12와 같이 선수의 휩 안테나 1개로는 Table 5.2의 목표 커버리지를 만족할 수 없었다. 선수에 위치한 휩 안테나의 전파는 선체 상부의 가운데에 있는 유정탑과 우현과 좌현의 겐트리 기중기(gantry crane)으로 인해 선미 쪽으로 전달이 되지 않는 것으로 분석되었다.

Fig. 5.12는 선미에 휩 안테나를 추가하는 과정을 반복하여 최종 단계의 커버리지 연구를 재수행한 결과이다. 프린지 지역의 목표 신호 세기인

-85dBm일 때 커버리지가 95.9%이다. Table 5.2의 요구 사항을 모두 만족하고, 작업 구역에 대한 프린지 지역과 난청 지역을 제거하였다.

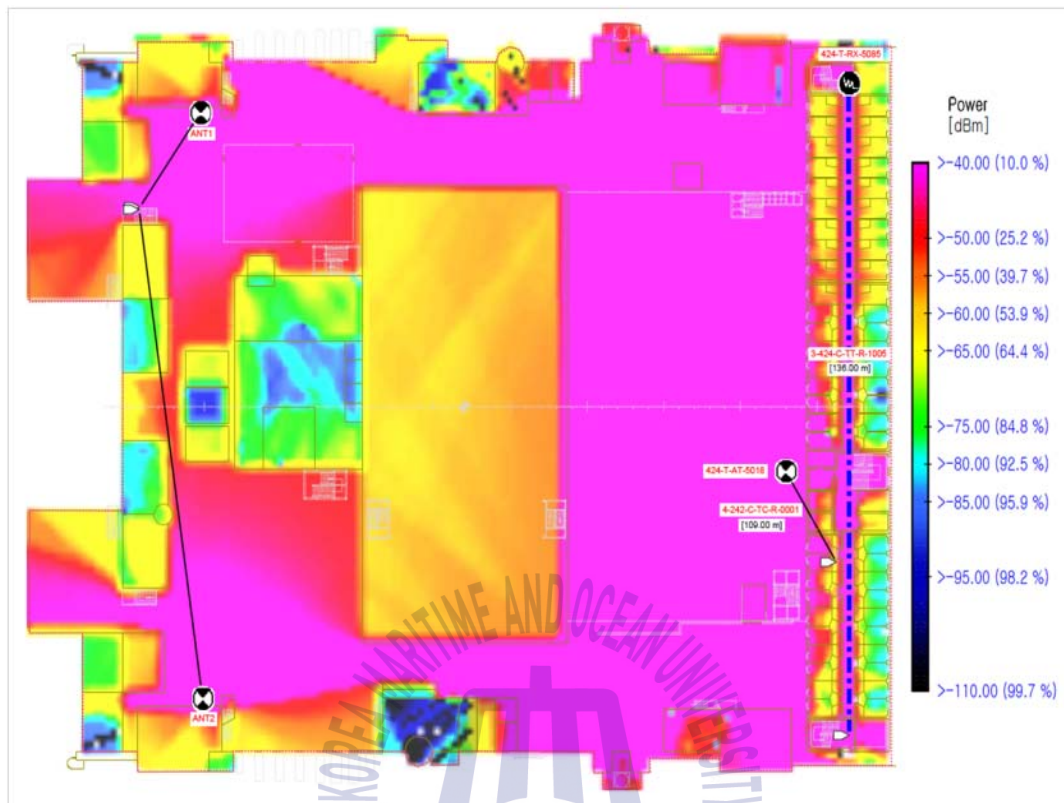


Fig. 5.13 Last stage for coverage study at top side

UHF 시스템에 대한 커버리지 연구는 선박과 해양플랜트의 구조 특성에 따라 UHF 안테나에서 송출되는 전파의 변화를 시각적으로 확인할 수 있다. 설계 단계에서 프린지 지역과 난청 지역을 미리 파악하고 대응하면 설계 비용과 설치 비용을 모두 절감할 수 있다. 선박과 해양플랜트의 건조 과정에서 설계 단계에서의 설계 변경은 설계 단계에 비해 최소 몇 배 이상의 비용차이가 발생한다. 설계 단계에서 최종 검사 단계까지를 미리 예측하고 관리하는 것은 품질과 비용 측면에서 매우 중요하다.

UHF 시스템은 커버리지 연구를 통한 설계 표준을 확보하여 선박과

해양플랜트의 품질과 가격 경쟁력을 높여야 한다. 사용 중인 선박과 해양플랜트도 구조가 변경되면 UHF 커버리지 연구를 시행하여 구조물의 변화에 따른 프린지 지역과 난청 지역을 명확히 파악하여 안전사고에 대비해야 한다.



제 6 장 슈퍼 Wi-Fi를 포함한 주파수 대역 별 커버리지 연구

6.1 슈퍼 Wi-Fi 정의

슈퍼 Wi-Fi는 WLAN(wireless local area networks)에 대한 표준인 IEEE 802.11af와 WRAN(wireless regional area networks)에 대한 표준인 IEEE 802.22에 의해 정의되었다[48]. 슈퍼 Wi-Fi는 TV 화이트 스페이스의 주파수 대역을 이용하여 Wi-Fi와 같은 무선 인터넷 서비스를 제공한다. Table 6.1과 같이 슈퍼 Wi-Fi는 Wi-Fi 보다 낮은 54~790MHz의 주파수 대역을 사용한다[49].

Table 6.1 Comparison between Super Wi-Fi and conventional Wi-Fi

Specification	Standard	Frequency band	Bandwidth	Range	Maximum Data Rate
Conventional Wi-Fi(802.11)	-	2.4GHz	20MHz	20m	2Mbps
	a	5GHz	22MHz	35m	54Mbps
	b	2.4GHz	21MHz	35m	11Mbps
	g	2.4GHz	23MHz	70m	54Mbps
	n	2.4GHz,5GHz	20~40MHz	70m	600Mbps
	ac	5GHz	20~160MHz	35m	6.93Gbps
	ad	60GHz	2.16GHz	10m	6.76Gbps
Super Wi-Fi	802.11af	54~698MHz (in USA) 470~790MHz (in Europe)	6~8MHz	400m~1Km	26.7Mbps

슈퍼 Wi-Fi는 기존 Wi-Fi에 비해 전송 거리가 5배 이상 길다. 투과율은 9배 이상 높고, 구역에 대한 커버리지도 16배 이상 넓다[50]. 802.11af에서 정의된 슈퍼 Wi-Fi에 대한 구조는 Fig. 6.1과 같다[26,51].

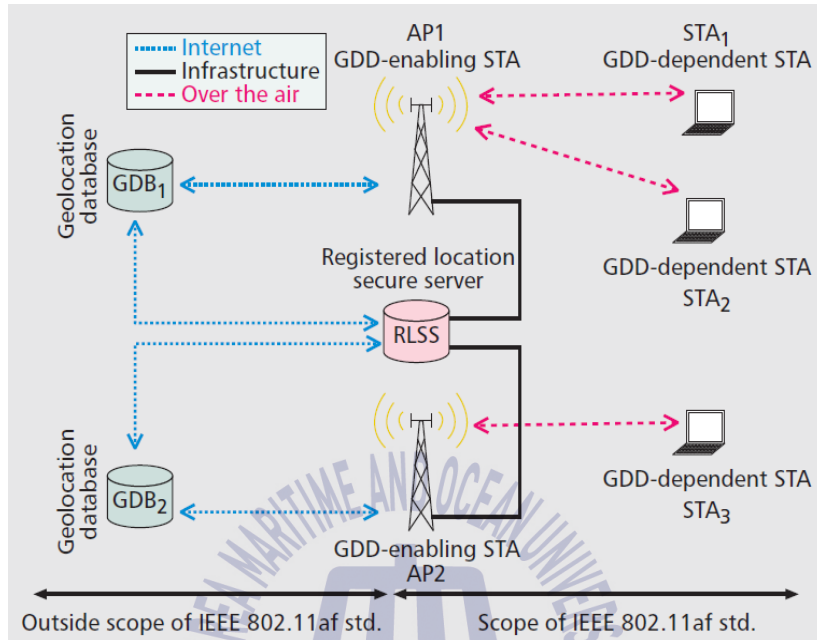


Fig. 6.1 Example TVWS network including all 802.11af architecture entities

802.11af에 대한 표준은 GDD-enabling STA(geolocation database dependent-enabling station), RLSS(registered location secure server), GDD-dependent STA(geolocation database dependent-dependent station)이다. GDB(geolocation dataBase)와 RLSS와 GDD-enabling STA 간의 상위 레벨 수준(high level entities)에 대한 통신은 802.11af의 범위에서 제외된다. RLSS와 GDD-enabling STA는 인터넷을 통해 사용 가능한 화이트 스페이스를 획득한다. RLSS는 기반 시설을 통해 GDD-enabling STA와 통신하고 양방향으로만 작동한다. GDD-dependent STA는 TV 화이트 스페이스 대역이나 다른

ISM(industrial science medical) 대역 내에서 GDD-enabling STA와 무선(over-the-air)으로 양방향 통신(bidirectional over-the-air communication)을 한다.

Fig. 6.2는 Fig. 6.1를 기준으로 한 슈퍼 Wi-Fi에 대한 개략도이다. GDB는 사용 가능한 TV화이트 스페이스를 가진다. 기지국은 자신의 위치 정보를 GDB에 제공한다. GDB는 사용 가능한 TV 화이트 스페이스의 주파수 대역인 채널 정보를 기지국에 제공한다. 기지국은 사용 가능한 TV 채널 중에서 슈퍼 Wi-Fi 서비스를 시작할 운영 채널을 선택하고 AP를 통해 슈퍼 Wi-Fi 서비스를 시작한다[30].

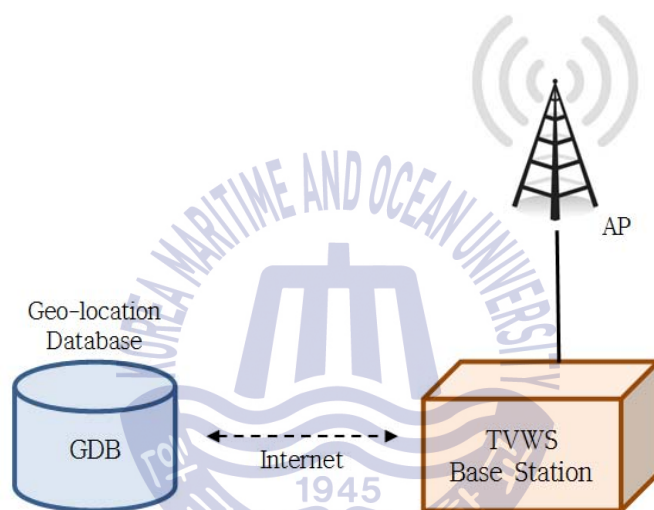


Fig. 6.2 Schematic diagram of Super Wi-Fi

슈퍼 Wi-Fi의 구조는 GDB를 제외하면 기존 Wi-Fi와 유사하다. 슈퍼 Wi-Fi의 특성상 GDB는 허가가 필요 없는(licensed) 주파수 대역을 사용하기 위해 필요하다. 원양을 항해하는 선박은 육상의 방송 사업자가 송출하는 방송 주파수와 겹치지 않는다. 따라서 TV 화이트 스페이스를 되돌려줘야 하는 경우는 없다. 선박이 연근해에 위치했을 때를 대비해 GDB에는 선박이 주로

항해하는 지역의 TV 화이트 스페이스의 주파수를 등록한다. 선박이 지정된 지역에 근접할 경우 GDB는 자동으로 간섭되지 않는 주파수 대역을 기지국에 통지하고 기지국은 주파수를 변경한다. 따라서 선박은 항해하거나 정박하는 동안 주파수 대역에 대한 제약 없이 슈퍼 Wi-Fi를 사용한다. 정박 위치가 일정한 해양플랜트는 해당 구역의 TV 화이트 스페이스에 대한 정보를 업데이트하여 GDB로부터 간섭되지 않는 주파수 대역을 할당 받아 슈퍼 Wi-Fi를 사용한다.

6.2 커버리지 연구 환경

본 논문은 실제 선박의 구조에 대한 주파수 대역 별 분석을 위해 Fig. 6.3의 19,000TEU 컨테이너선을 대상으로 커버리지 연구를 수행하였다.



Fig. 6.3 19,000TEU container carrier

Fig. 6.4는 19,000TEU 컨테이너선의 선실구역인 B 데크(b deck)이다. 커버리지 연구의 범위는 길이(length)가 18.40미터이고 폭(breadth)은 32.30미터이다.

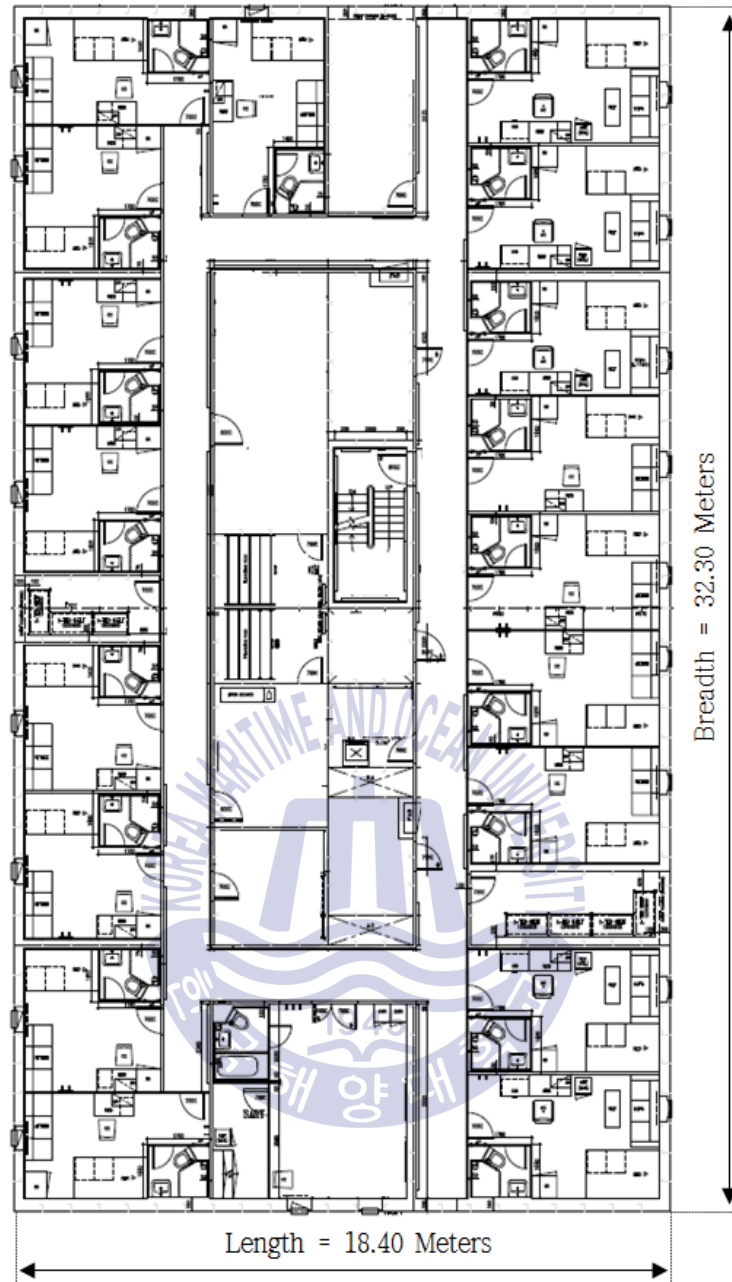


Fig. 6.4 B deck in 19,000TEU container carrier

목표 신호 세기는 dBm으로 나타내며 대부분의 상용 휴대용 라디오의 수신

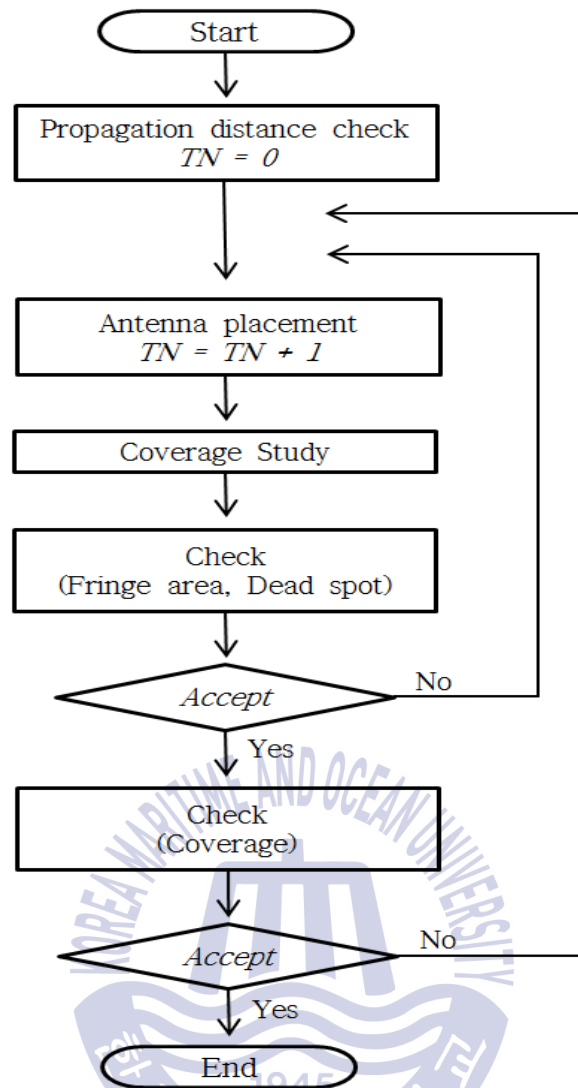
감도(receiver dynamic sensitivity)는 -100dBm에서 -110dBm이다[52]. 선박과 해양플랜트 전 구역에 대한 데이터 송·수신의 신뢰도를 확보하기 위해선 프린지 지역에 의한 데이터의 손실이 없어야 한다. 커버리지 연구의 기준이 되는 목표 신호 세기와 목표 커버리지는 Table 5.2와 동일하다[29]. 따라서 Table 5.2와 같이 목표 신호 세기를 -85dBm 이상, 목표 커버리지를 95% 이상으로 정의한다.

6.3 커버리지 연구 방법

주파수 대역 별 커버리지 연구 과정은 Fig. 6.5의 작업 흐름과 같다. Table 5.2의 커버리지 기준을 모두 만족할 때까지 반복하여 수행한다. 커버리지 기준 중 하나라도 만족하지 못하면 안테나를 추가하여 커버리지 연구를 반복 수행한다. Table 6.2는 커버리지 연구를 수행하는 장비에 대한 세부 사양이다[47].

Table 6.2 Specification of coverage study

Division	Specification
H/W	CPU : Intel(R) Core(TM) i5-3470 @ 3.20GHz Memory : DDR3 4GB Storage : SATA 500GB OS : Microsoft Windows 7 Premium 32bit
S/W	iBwave Design Enterprise v 6.4.3 32-bit Edition



- TN : Total number of antennas

Fig. 6.5 Workflow of coverage study for frequency band

6.4 커버리지 연구 결과

Table 6.3은 커버리지 연구를 위한 시스템 별 주파수 대역이며 순번에 맞춰 순차적으로 시스템 별 커버리지 연구를 수행한다. 먼저 선박의 동일한 위치에 안테나 1개를 위치시키고 커버리지 연구를 수행한다. 이를 최초 커버리지 연구(initial coverage study)라고 한다. 선박의 구조에서 주파수 대역이 갖는

전파 전달 범위를 파악할 수 있다. 최종적으로 최소의 안테나로 Table 5.2를 만족하는 커버리지 연구를 완료한다. 이를 최종 커버리지 연구(final coverage study)라고 한다. 선박 전체에 대한 커버리지도 중요하지만 무엇보다 작업 구역에서 프린지 지역과 난청 지역이 없어야 한다.

Table 6.3 Defined list of frequency bands

Seq.	System	Frequency Band
1	TETRA	380~430MHz
3	UHF	450~470MHz
4	Super Wi-Fi(802.11af)	750~790MHz
5	Wi-Fi(801.11b/g)	2.4GHz
6	Wi-Fi(802.11n)	5GHz

6.4.1 TETRA

Fig. 6.6과 Fig. 6.7은 TETRA에 대한 커버리지 연구의 결과이다. Fig. 6.6의 TETRA에 대한 최초 커버리지 연구는 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지가 78.4%이다.

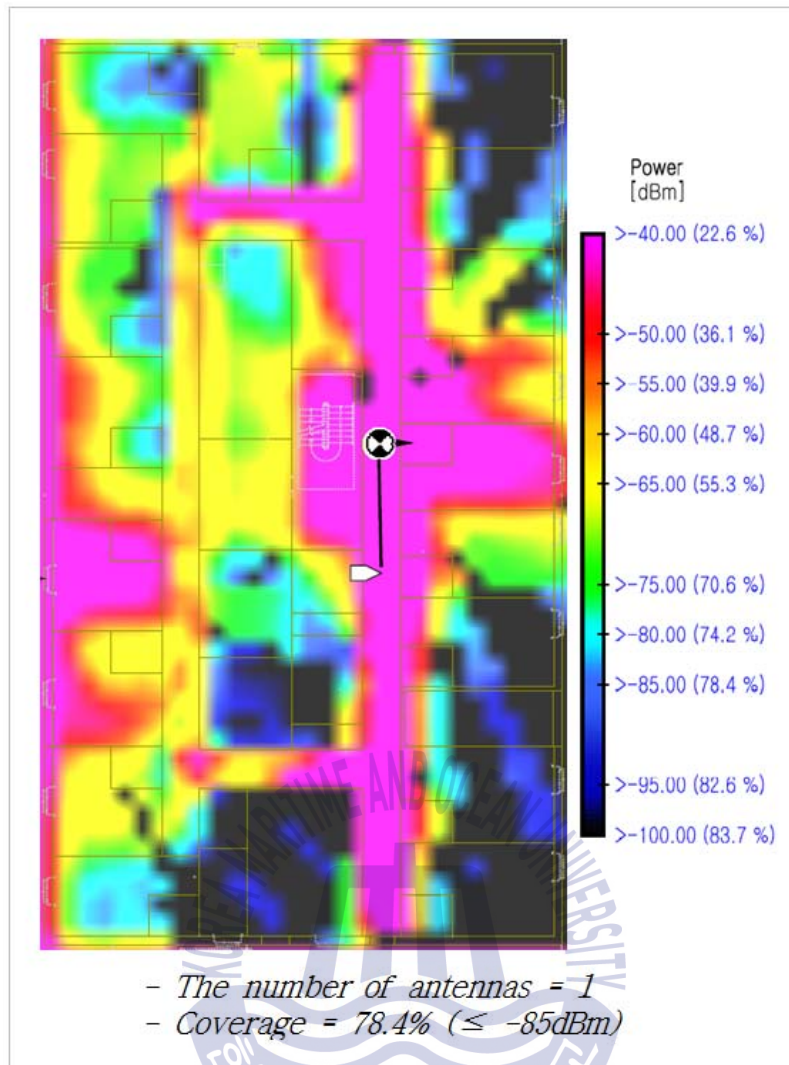


Fig. 6.6 Initial coverage study for TETRA

Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다. 선수와 우현의 작업 구역에 -85dBm 보다 작은 프린지 지역과 -100dBm 보다 작은 난청 지역이 나타났다.

Fig. 6.7의 TETRA에 대한 최종 커버리지 연구는 안테나를 추가하고 안테나의 위치를 변경하여 커버리지 연구를 재수행한 결과이다.

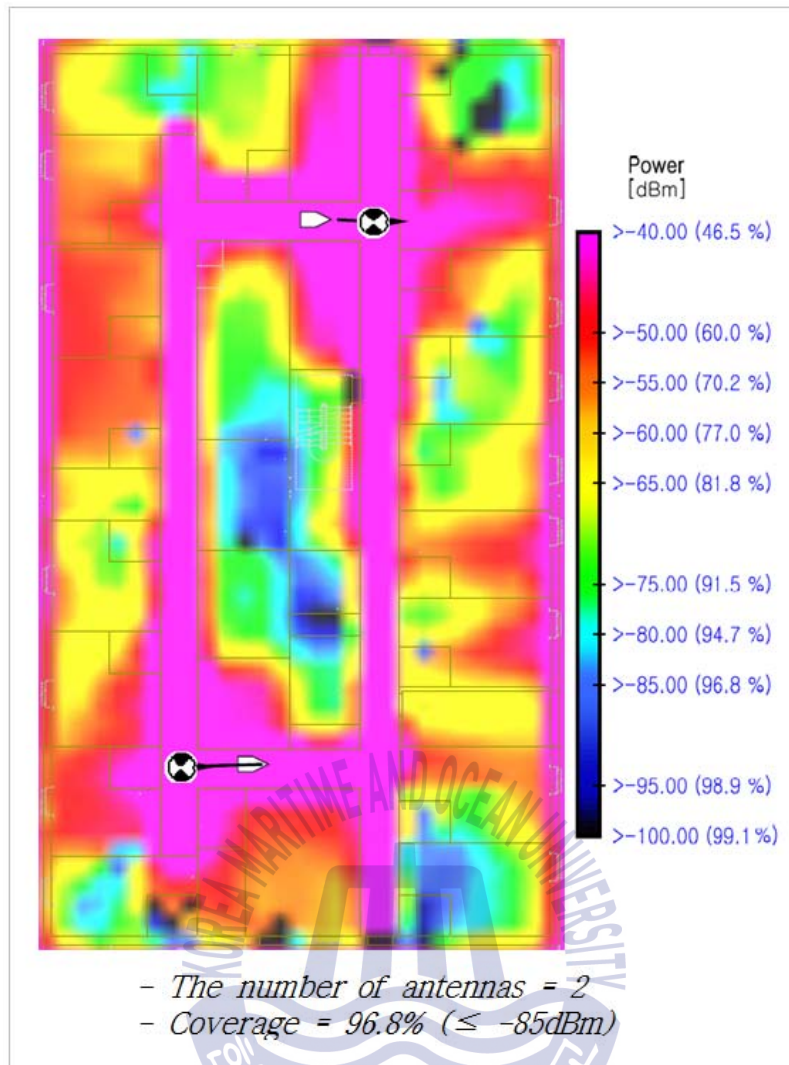


Fig. 6.7 Final coverage study for TETRA

프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm 일 때 커버리지는 96.8%이다. 총 2개의 TETRA 안테나로 Table 5.2의 기준을 모두 만족하였고 작업 구역의 프린지 지역과 난청 지역을 모두 제거하였다.

6.4.2 UHF

Fig. 6.8과 Fig. 6.9는 UHF에 대한 커버리지 연구의 결과이다. Fig. 6.8의 UHF에 대한 최초 커버리지 연구는 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm 일 때 커버리지가 74.7%이다. Fig. 6.6의 TETRA에 대한 최초 커버리지 연구 보다 커버리지의 성능은 4.7%가 낮다.

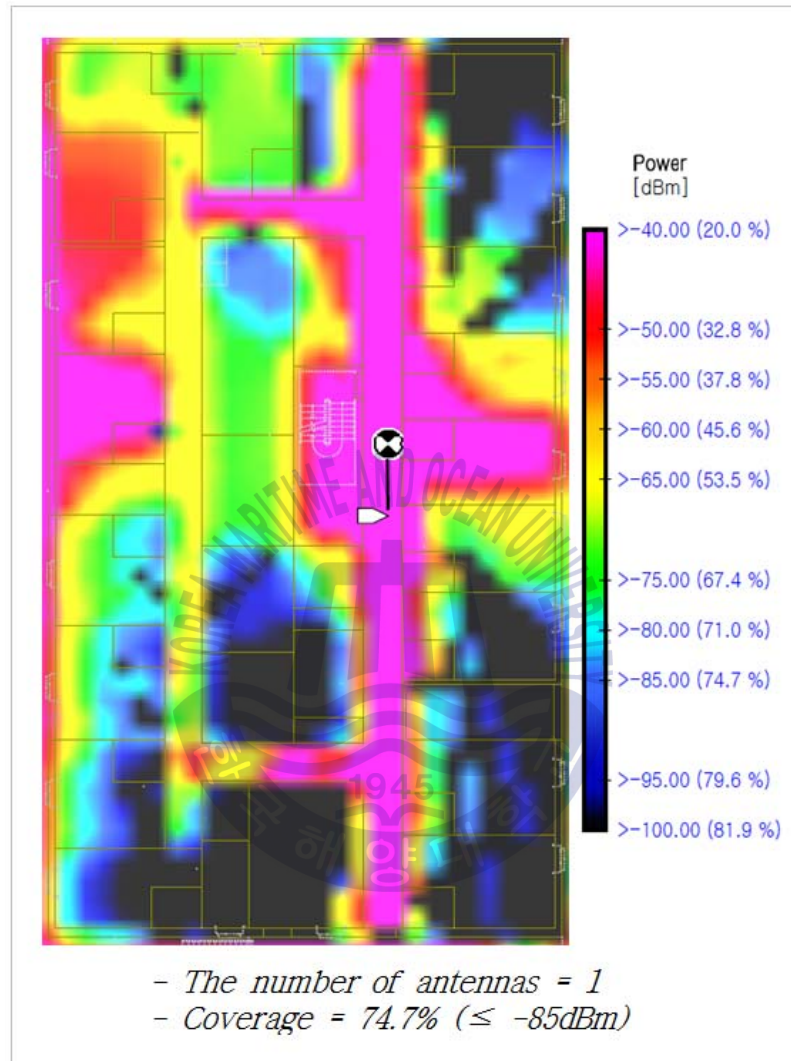


Fig. 6.8 Initial coverage study for UHF

Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다.

선수와 우현의 작업 구역에 -85dBm 보다 작은 프린지 지역과 -100dBm 보다 작은 난청 지역이 나타났다. 특히 우현에서 프린지 지역과 난청 지역이 TETRA에 대한 최초 커버리지 연구 보다 넓게 분포한다.

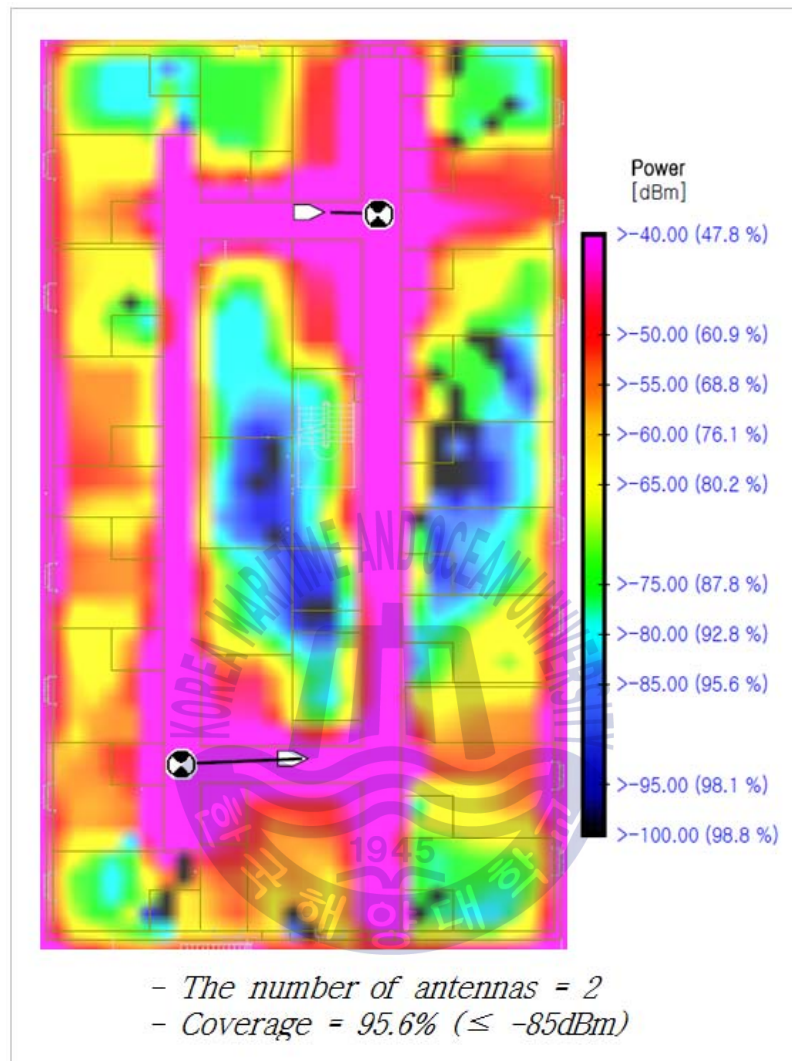


Fig. 6.9 Final coverage study for UHF

Fig. 6.9의 UHF에 대한 최종 커버리지 연구는 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm 일 때 커버리지는 95.6%이다. 총 2개의 UHF 안테나로 Table

5.2의 기준을 모두 만족하고 작업 구역의 프린지 지역과 난청 지역을 제거하였다.

6.4.3 Super Wi-Fi

Fig. 6.10과 Fig. 6.11은 슈퍼 Wi-Fi에 대한 커버리지 연구의 결과이다.

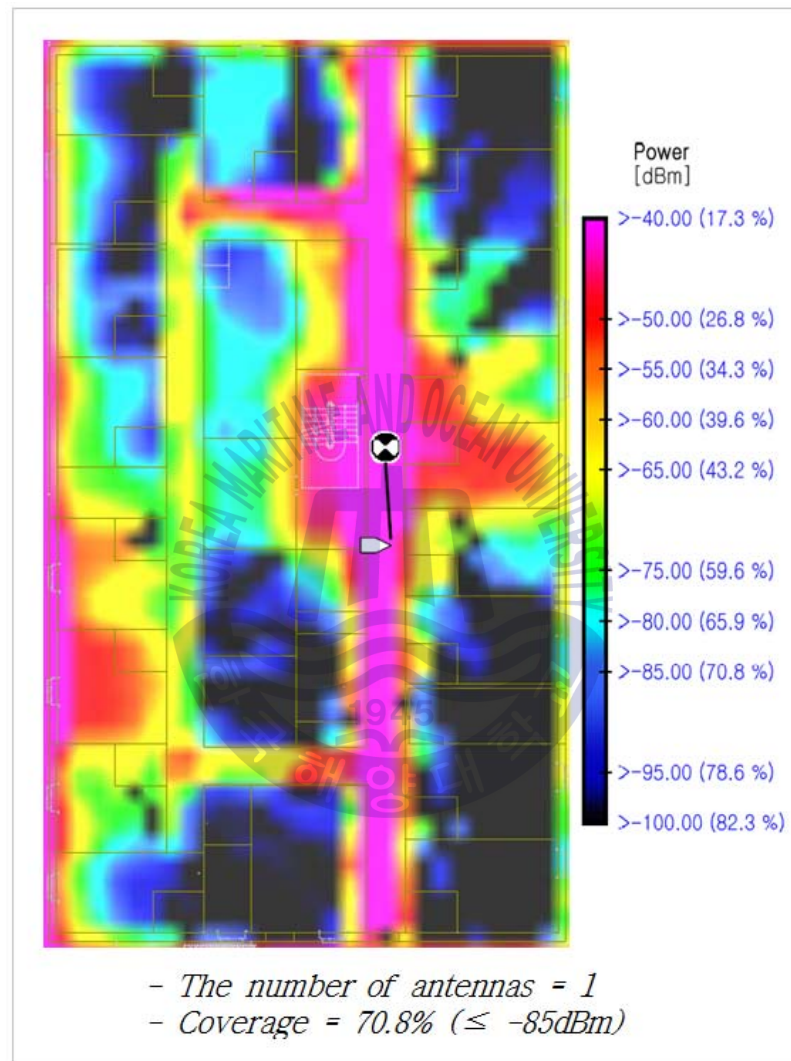


Fig. 6.10 Initial coverage study for Super Wi-Fi

Fig. 6.10의 슈퍼 Wi-Fi에 대한 최초 커버리지 연구의 결과 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지가 70.8%이다.

Fig. 6.6의 TETRA에 대한 최초 커버리지 연구 보다 커버리지의 성능은 9.7%가 낮다. Fig. 6.8의 UHF에 대한 최초 커버리지 연구 보다 커버리지 성능은 5.2%가 낮다. Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다.

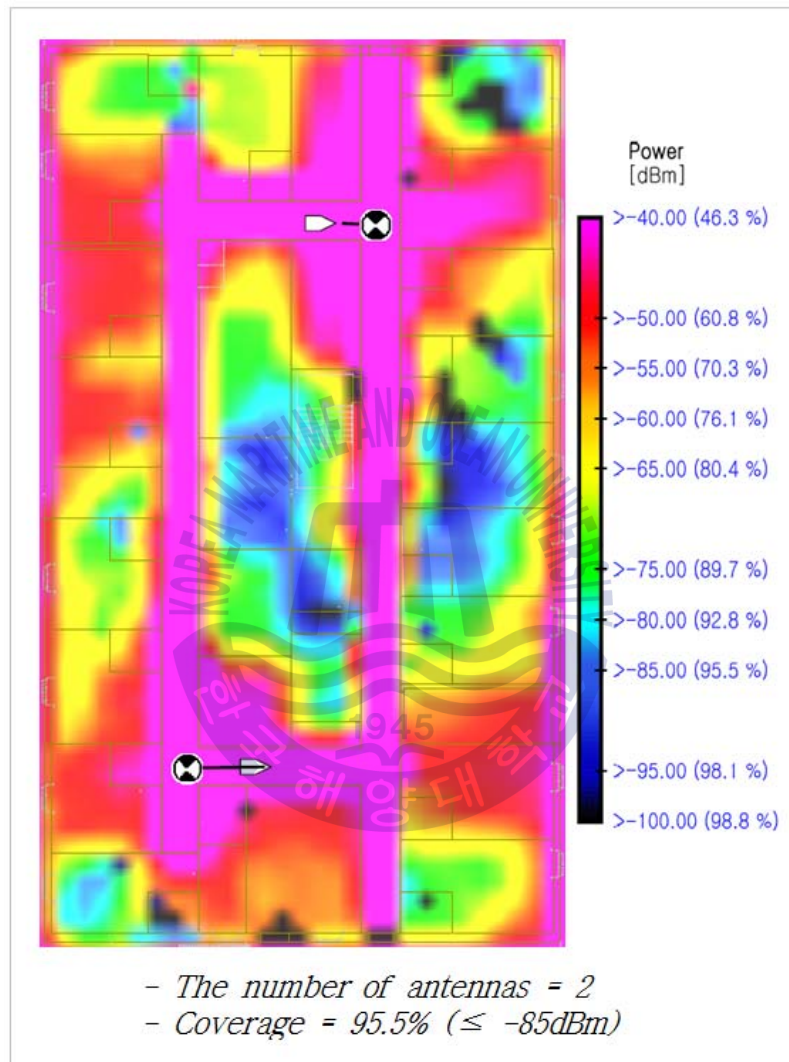


Fig. 6.11 Final coverage study for Super Wi-Fi

선수, 우현, 좌현의 작업 구역에 -85dBm보다 작은 프린지 지역과 -100dBm보다 작은 난청 지역이 나타났다. TETRA와 UHF에서는 나타나지 않았던 좌현에 프린지 지역과 난청 지역이 나타났다.

Fig. 6.11의 슈퍼 Wi-Fi에 대한 최종 커버리지 연구는 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지는 95.5%이다. 총 2개의 슈퍼 Wi-Fi 안테나로 Table 5.2의 기준을 모두 만족하고 작업 구역의 프린지 지역과 난청 지역을 제거하였다.

6.4.4 Wi-Fi (2.4GHz)

Fig. 6.12와 Fig. 6.13은 Wi-Fi(2.4GHz)에 대한 커버리지 연구의 결과이다.

Fig. 6.12의 Wi-Fi(2.4GHz)에 대한 최초 커버리지 연구는 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지가 21.5%이다. 앞서 TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi의 최초 커버리지 연구와는 현저한 결과 차이가 있었다. Wi-Fi(2.4GHz)의 커버리지 성능은 TETRA에 비해 72.6%, UHF에 비해 71.2%, 슈퍼 Wi-Fi에 비해 69.6%가 낮다. Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다.



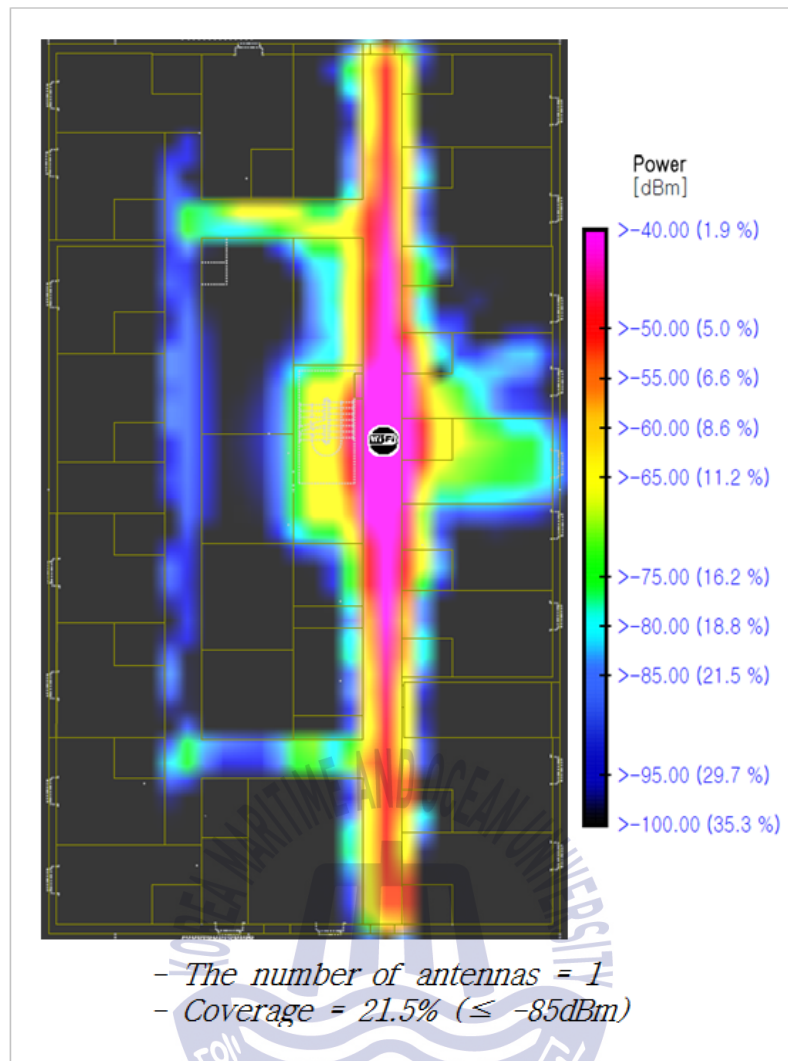


Fig. 6.12 Initial coverage study for Wi-Fi(2.4GHz)

Wi-Fi(2.4GHz) 안테나 주변을 제외하고 전 구역에 걸쳐 -85dBm보다 작은 프린지 지역과 -100dBm보다 작은 난청 지역을 확인할 수 있다. 특히 안테나와 거리가 먼 선미는 난청 지역이 넓게 나타났다.

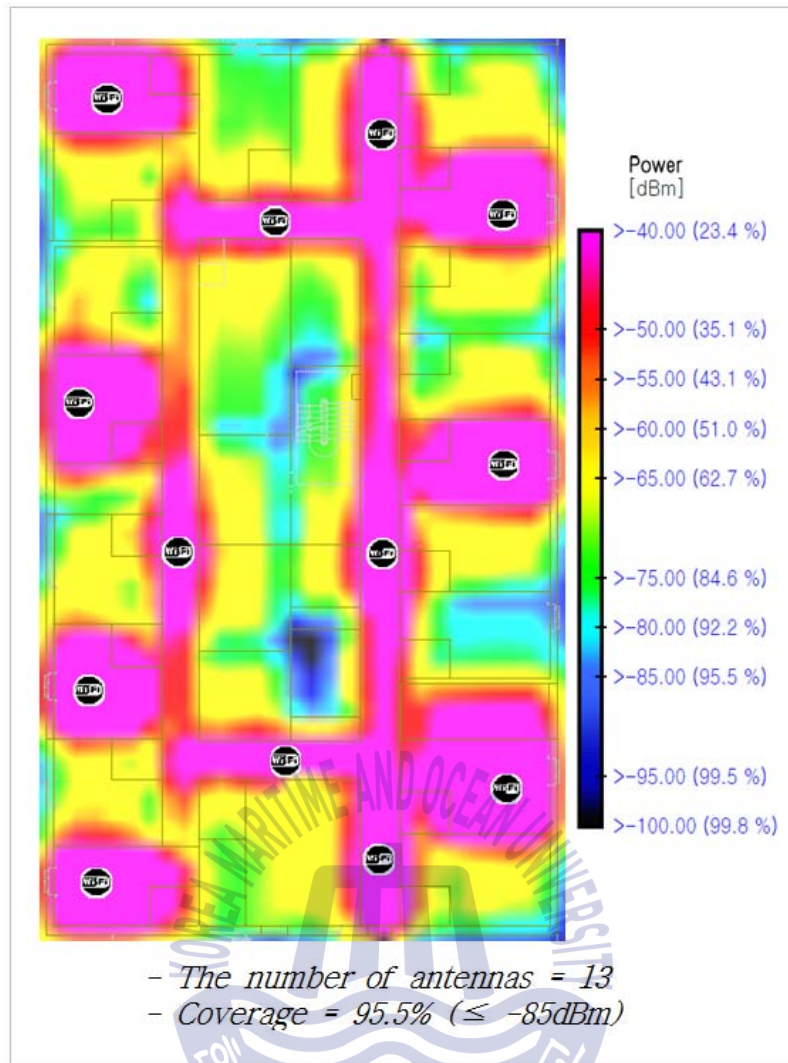


Fig. 6.13 Final coverage study for Wi-Fi(2.4GHz)

Fig. 6.13의 Wi-Fi(2.4GHz)에 대한 최종 커버리지 연구는 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지는 95.5%이다. 총 13개의 Wi-Fi(2.4GHz) 안테나로 Table 5.2의 기준을 모두 만족하고 작업 구역의 프린지 지역과 난청 지역을 제거하였다.

6.4.5 Wi-Fi (5GHz)

Fig. 6.14와 Fig. 6.15는 Wi-Fi(5GHz)에 대한 커버리지 연구의 결과이다.

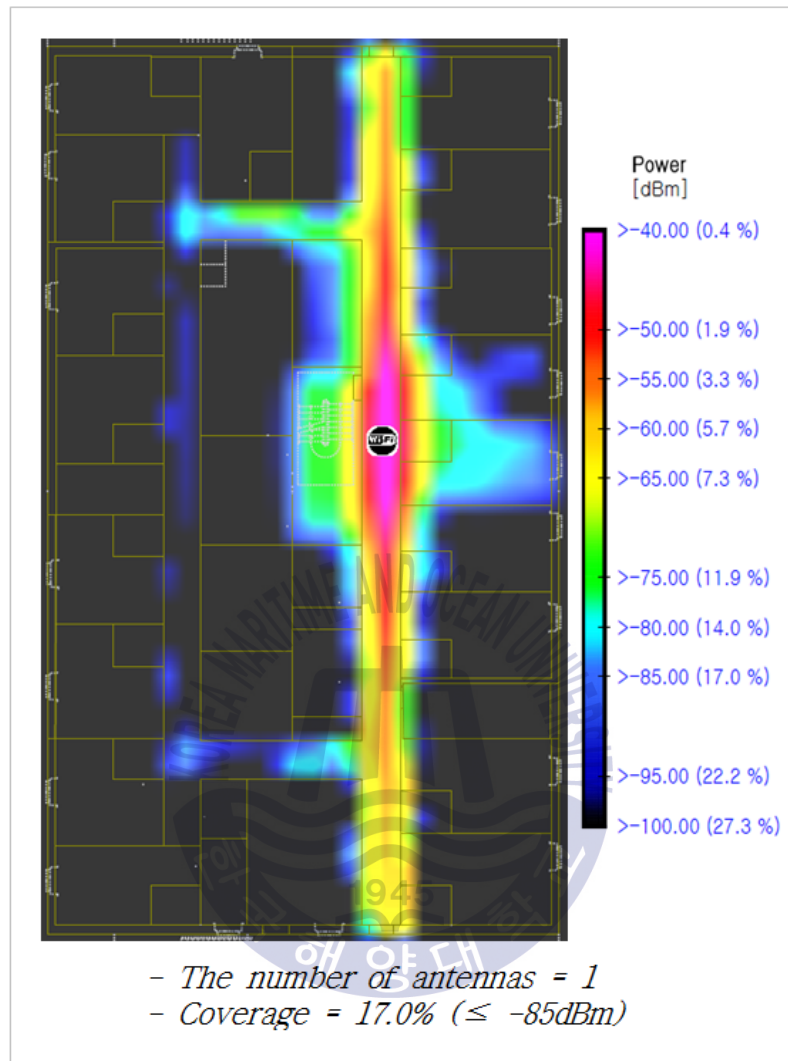


Fig. 6.14 Initial coverage study for Wi-Fi(5GHz)

Fig. 6.14의 Wi-Fi(5GHz)에 대한 최초 커버리지 연구는 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지는 17.0%이다. Fig. 6.12의 Wi-Fi(2.4GHz)에 대한 최초 커버리지 연구 보다 20.9% 낮은 커버리지 성능을 나타냈다.

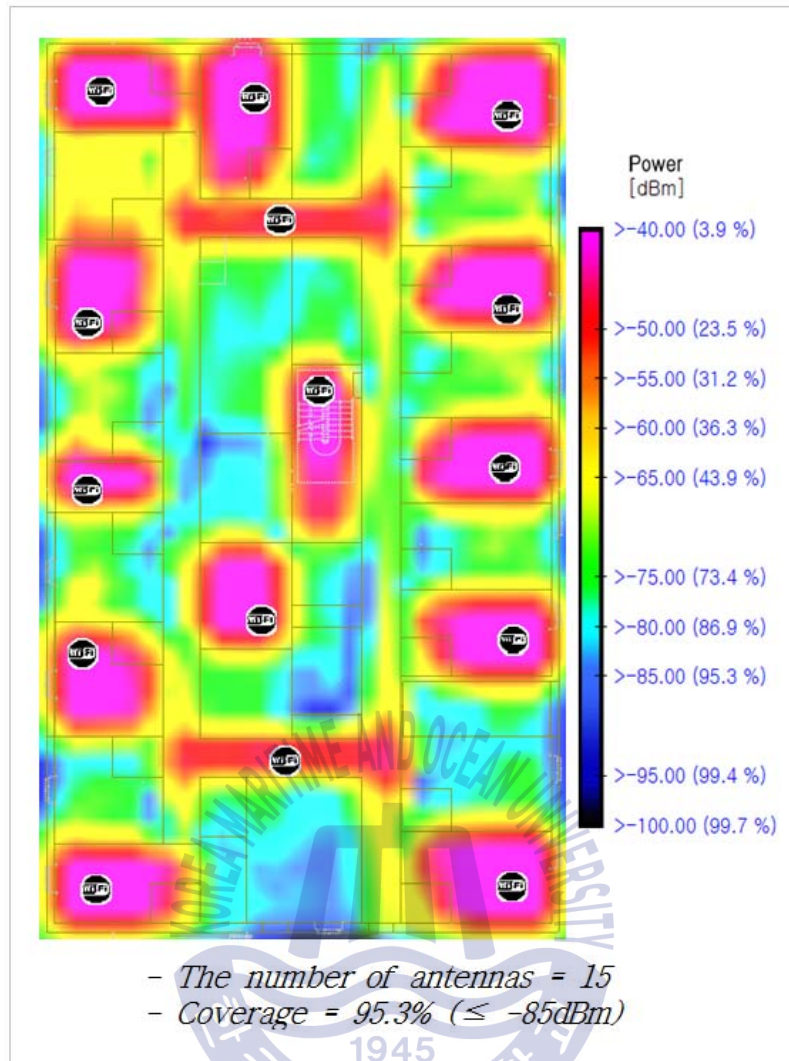


Fig. 6.15 Final coverage study for Wi-Fi(5GHz)

Table 6.3의 주파수 대역에 대한 커버리지 연구의 결과 중 1개의 안테나로 가능한 커버리지가 가장 낮았다. UHF 보다는 77.2%가 낮고 슈퍼 Wi-Fi보다는 76.0%가 낮다. Table 5.2의 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 모두 만족하지 않는다. Wi-Fi(5GHz) 안테나의 주변을 제외하고 전 구역에 걸쳐 -85dBm 보다 작은 프린지 지역과 -100dBm 보다 작은 난청 지역을 확인할 수 있다. 전 구역에 걸쳐 프린지 지역보다 난청 지역이 넓게 나타났다. Fig. 6.15의

Wi-Fi(5GHz)에 대한 최종 커버리지 연구는 프린지 지역에 대한 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지가 95.3%이다. 총 15개의 Wi-Fi(5GHz) 안테나로 Table 5.2의 기준을 모두 만족하고 작업 구역의 프린지 지역과 난청 지역을 제거하였다.

Fig. 6.16은 주파수 대역 별 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 만족하는데 필요한 안테나의 개수를 비교한 것이다. TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi는 2개의 안테나로 커버리지가 가능했지만 Wi-Fi(2.4GHz)는 13개, Wi-Fi(5GHz)는 15개의 안테나가 필요했다.

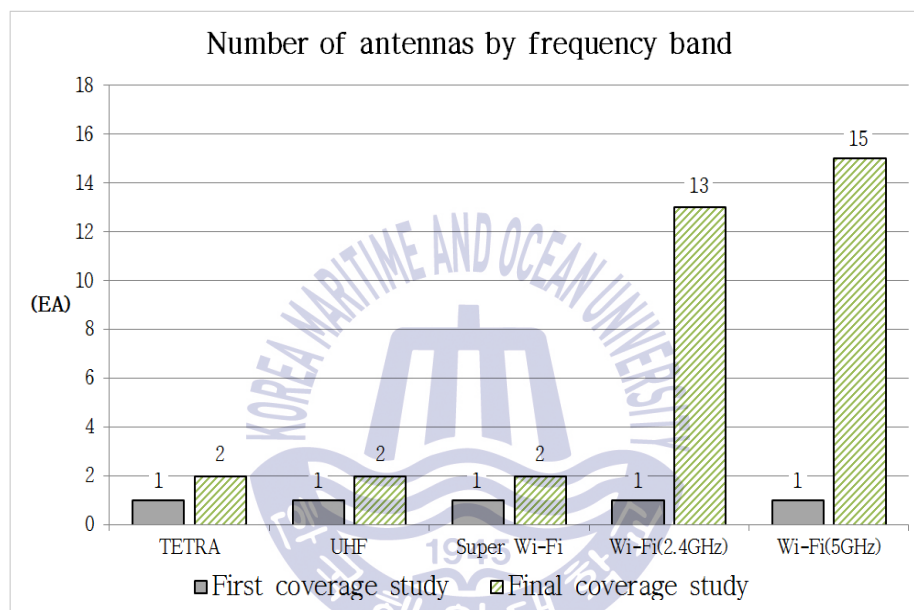


Fig. 6.16 Result for the number of antennas by frequency band

주파수 대역이 높을수록 목표 신호 세기와 목표 커버리지를 만족하기 위한 안테나의 숫자는 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6.17은 주파수 대역 별 최초 커버리지 연구와 최종 커버리지 연구에 대한 커버리지를 비교한 것이다. 모두 동일하게 1개의 안테나를 사용한 최초 커버리지 연구에서는 주파수 대역 별 커버리지의 차이를 확인할 수 있다.

MHz대 주파수 대역을 사용하는 TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi는 평균 커버리지가 74.6%이다. 이에 비해 GHz대 주파수 대역을 사용하는 Wi-Fi(2.4GHz, 5GHz)의 평균 커버리지는 19.3%이다. 높은 주파수 대역일수록 안테나의 커버리지는 낮게 나타났다.

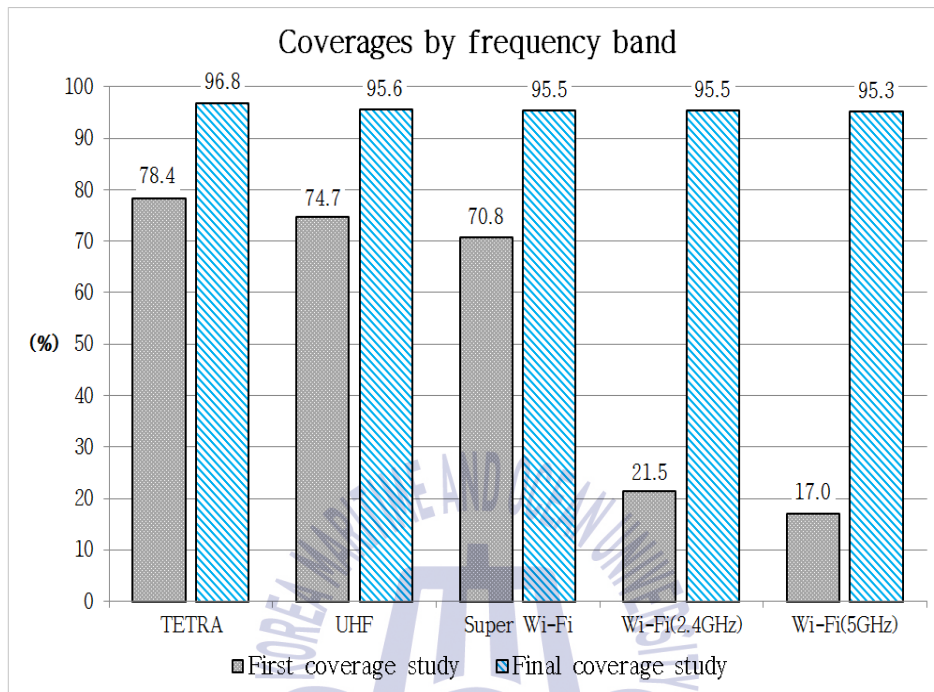


Fig. 6.17 Result for coverage by frequency band

본 장은 오늘날 대부분의 선박과 해양플랜트에서 2.4GHz 이상의 Wi-Fi를 이용하여 무선 네트워크 환경을 구현하는 것은 자원과 비용의 낭비를 초래하고 실효성 면에서 적합하지 않다는 것을 커버리지 연구를 통해 증명하였다.

선박에서 슈퍼 Wi-Fi는 TETRA보다는 9.7%, UHF 보다는 5.2%의 낮은 커버리지 성능을 나타냈다. 하지만 TETRA, UHF, 슈퍼 Wi-Fi는 동일한 2개의 안테나로 선박 전체를 커버리지 할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 UHF 기반의 슈퍼 Wi-Fi 환경을 구현하기 위해서는 슈퍼 Wi-Fi가 UHF에 비해 상대적으로 부족한 5.2%의 커버리지를 추가로

만족할 수 있도록 구현되어야 한다. 따라서 슈퍼 Wi-Fi가 목표 커버리지를 만족할 때의 안테나 개수, 안테나 위치 등과 같은 동일한 환경에서 UHF가 목표 커버리지를 만족해야 한다. 본 논문은 UHF기반의 슈퍼 Wi-Fi 무선 네트워크 환경을 구현하는 것을 실험을 통해 증명한다.



제 7 장 실험 및 성능 평가

7.1 e-TMS 성능 평가

7.1.1 실험 환경 및 구성

통합 인터페이스 환경에 대한 통신 시스템 간 인터페이스의 우수한 성능 평가 결과를 바탕으로 Table 7.1과 같이 데이터 유형을 더욱 세분화 하였다. Table 7.1의 순번 1부터 순번 6번까지는 기존 통신 시스템에 대한 데이터 유형이고 순번 7은 제안 통신 시스템에 대한 데이터 유형이다. 본 실험도 체계화 데이터 유형으로 이더넷의 TCP/IP를 제안한다. 알람 간격을 일곱 가지로 세분화 하여 데이터 유형 별 처리 시간에 대한 특징을 확인 한다. 알람은 통신 시스템의 전원 켜짐/꺼짐과 주장비의 문 개방/폐쇄로 정의한다.

Table 7.1 Defined list of data type

Seq.	Division	Data Type	Alarm	Note
1	I/O Module	AO(Analog Output)	- Power On	Existing
2	I/O Module	DO(Digital Output, 5VDC)	- Power Off	Existing
3	Serial	RS232	- Door Open	Existing
4	Serial	RS422	- Door Close	Existing
5	Wet contact	Wet contact(Relay, 25VDC)		Existing
6	Dry contact	Dry contact (Relay)		Existing
7	Ethernet	TCP/IP		Proposed

본 논문은 Fig. 7.1과 같이 기존 TMS 구조와 Fig. 7.2와 같이 e-TMS 구조를

구축하여 Table 7.1의 데이터 유형에 대한 처리 시간을 측정하여 비교 분석한다.

기존 TMS는 데이터 유형마다 제어 케이블과 TIU를 갖도록 구성하였다. TIU는 데이터 유형을 TCP/IP로 변경한다.

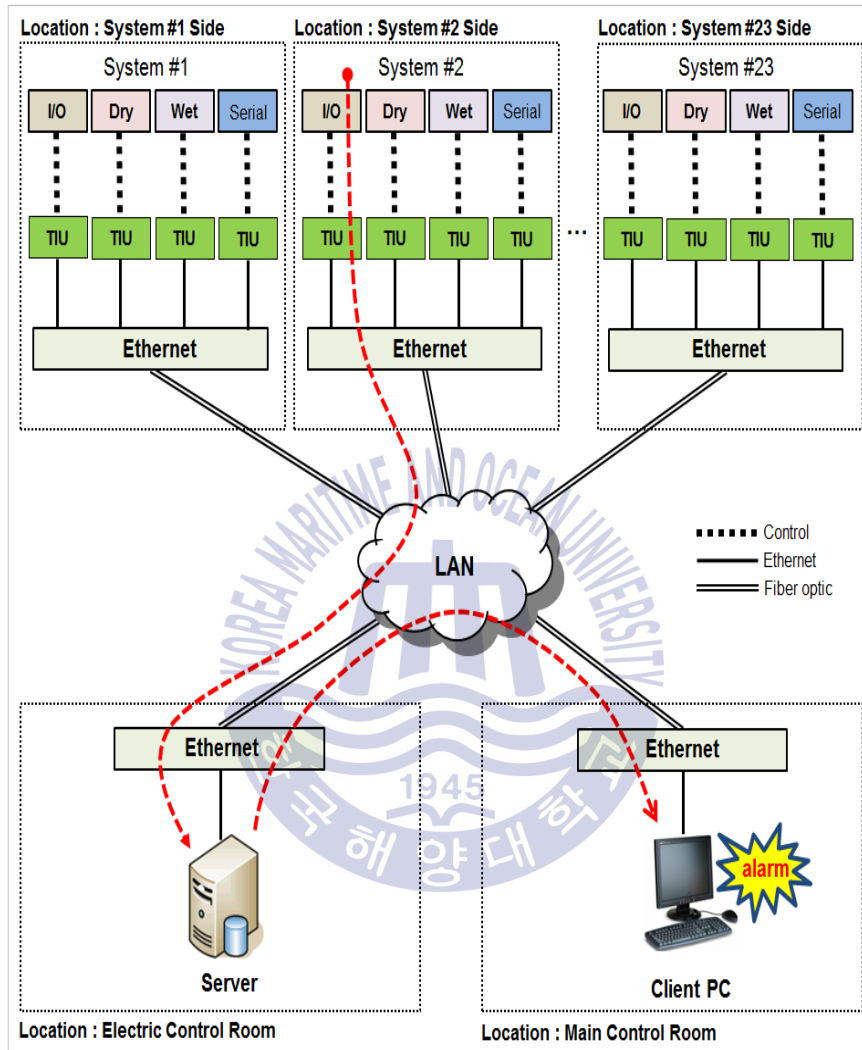


Fig. 7.1 Test-bed diagram for existing in TMS

e-TMS의 알람은 통신 시스템에서 직접 TCP/IP로 발생한다. 공용

데이터베이스는 통신 시스템에 대한 공통정보를 관리하며 데이터 크기를 최소화하는 역할을 한다.

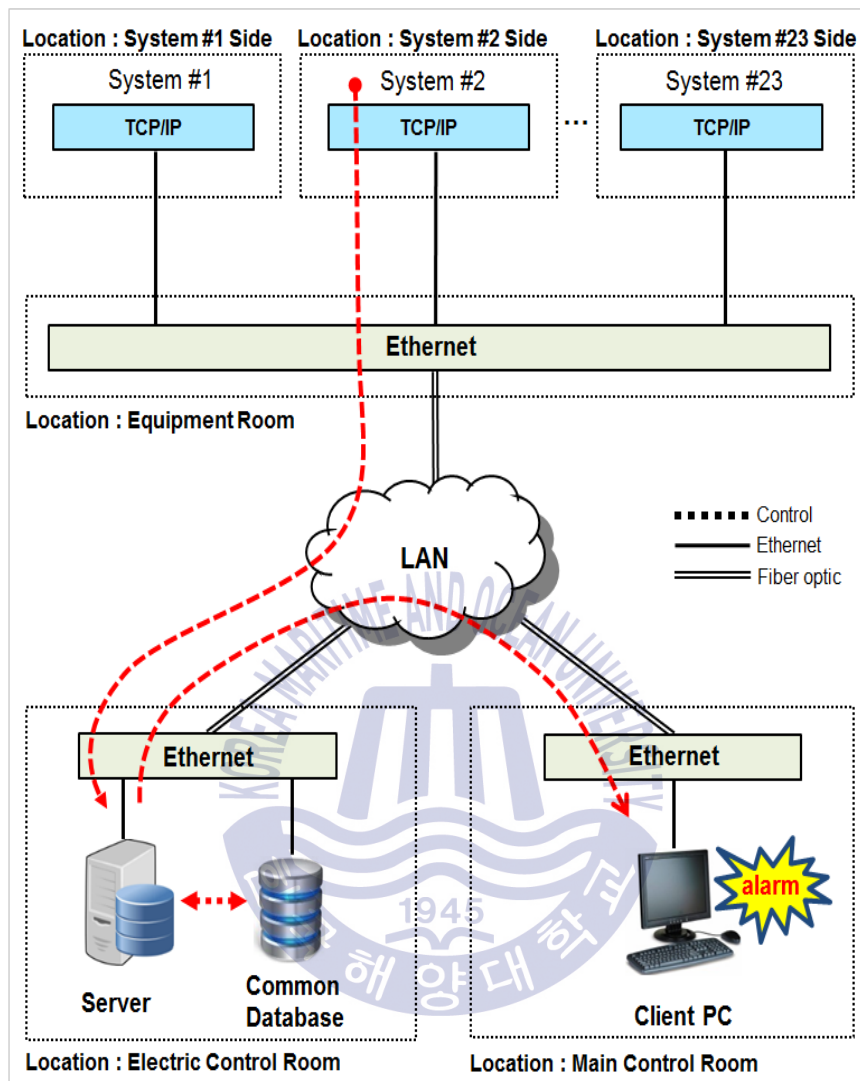


Fig. 7.2 Test-bed diagram for proposed in e-TMS

Table 7.2는 실험환경에 대한 장비의 세부 사양이다. 실험은 데이터 유형 별로 전원 켜짐/꺼짐, 문 개방/폐쇄의 알람을 반복 발생 한다. 알람 간격은 2초, 1초, 0.7초, 0.5초, 0.3초, 0.2초, 0.1초 단위이다.

Table 7.2 Specification of the test-bed

Division	Specification
Server	CPU : Intel Core i3 4170
	Memory : DDR3 4GB
	Storage : SATA 500GB
	OS : Microsoft Windows 7 Professional DSP 32bit
	Database : MS-SQL Server 2008 R2
TIU	TIU Simulator
	-Alarm Generator
	-Alarm Server Interface with MS-SQL Server
	-Alarm Client Module
S/W	Cisco, WS-C2960S-24PS-L

데이터의 처리 시간은 3개의 단계로 나누어 측정한다. 1단계(source-TIU)는 통신 시스템에서 알람이 발생한 시간부터 알람을 TIU로 전달하고 TIU에서 알람의 데이터 유형을 TCP/IP로 변경하는데 까지 소요되는 시간이다. e-TMS는 통신 시스템에서 알람이 발생한 시간부터 통신 시스템이 알람의 데이터 유형을 TCP/IP로 준비하는데 까지 소요되는 시간이다. 2단계(TIU-server)는 데이터 유형이 TCP/IP인 알람이 TIU에서부터 서버에 도착하는 데까지 소요되는 시간이다. e-TMS는 알람이 통신 시스템에서부터 서버에 도착하는 데까지 소요되는 시간이다. 3단계(server-client)는 서버에 알람을 저장하는 시간부터 클라이언트 PC에 알람이 나타나는 데까지 소요되는 시간이다.

7.1.2 실험 결과

Fig. 7.3에서 Fig. 7.8은 기존 TMS에서 기존 데이터 유형에 대한 구역별 처리 시간을 측정하여 평균한 결과이다.

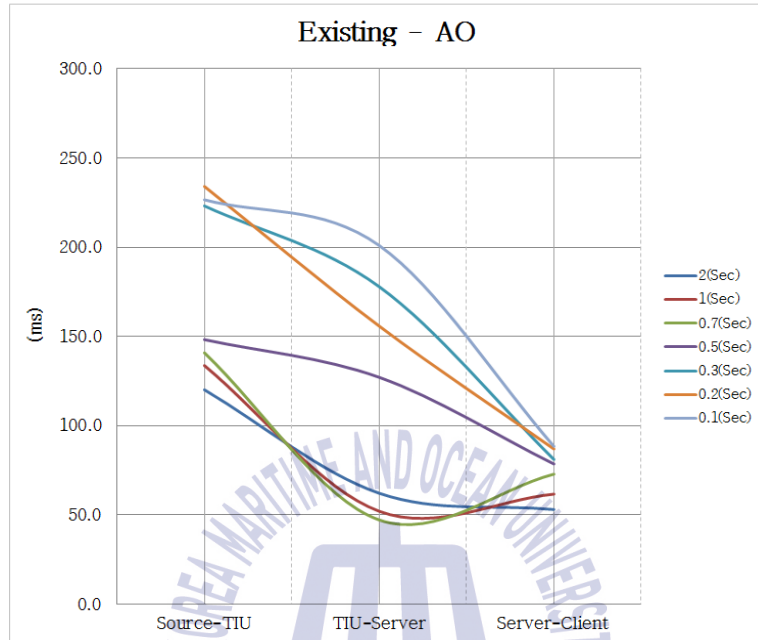


Fig. 7.3 Average processing time for existing-AO in terms of phase

Table 7.3 Average processing time for existing-AO

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	120.1	62.2	53.0
1(Sec)	133.7	52.0	61.7
0.7(Sec)	140.8	47.2	72.9
0.5(Sec)	148.2	127.1	78.5
0.3(Sec)	223.2	177.9	81.1
0.2(Sec)	234.1	155.8	87.0
0.1(Sec)	226.6	201.0	88.4

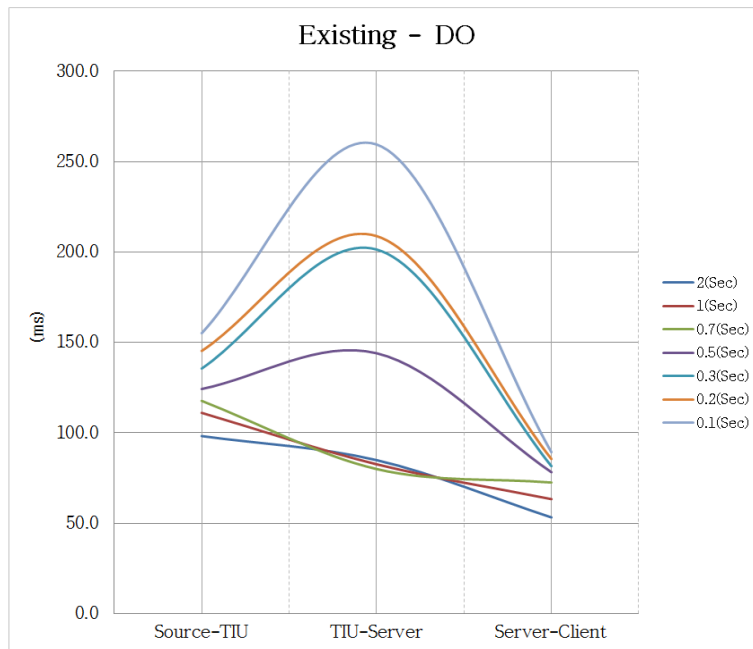


Fig. 7.4 Average processing time for existing-DO in terms of phase

Table 7.4 Average processing time for existing-DO

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	98.2	84.9	53.2
1(Sec)	111.0	82.6	63.3
0.7(Sec)	117.7	80.0	72.5
0.5(Sec)	124.2	144.0	78.2
0.3(Sec)	135.6	201.4	81.6
0.2(Sec)	145.3	208.9	85.5
0.1(Sec)	155.1	259.5	89.3

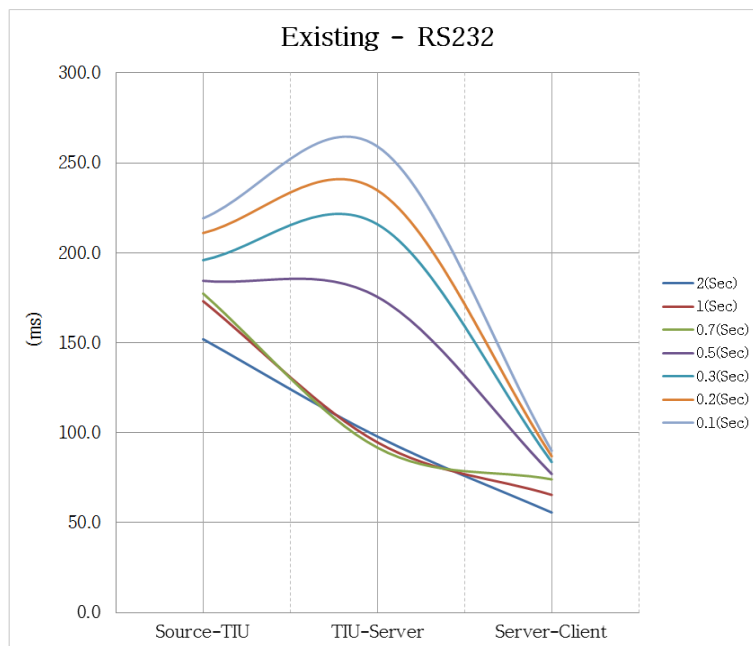


Fig. 7.5 Average processing time for existing-RS232 in terms of phase

Table 7.5 Average processing time for existing-RS232

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	152.0	97.9	55.7
1(Sec)	173.1	94.6	65.5
0.7(Sec)	177.3	91.7	74.1
0.5(Sec)	184.4	175.5	77.1
0.3(Sec)	195.9	215.9	83.7
0.2(Sec)	211.0	234.7	86.9
0.1(Sec)	219.2	259.1	89.9

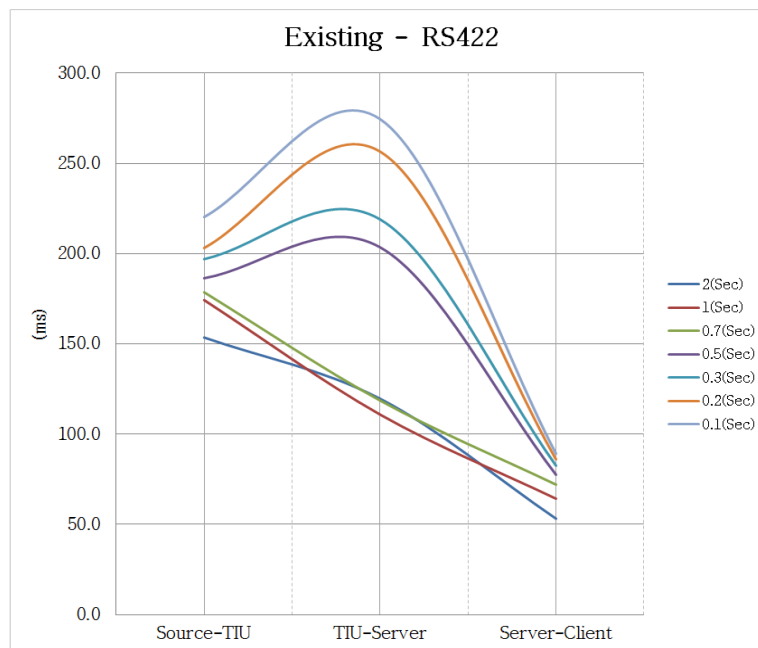


Fig. 7.6 Average processing time for existing-RS422 in terms of phase

Table 7.6 Average processing time for existing-RS422

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	153.5	119.6	53.2
1(Sec)	174.3	110.9	64.3
0.7(Sec)	178.6	118.6	72.1
0.5(Sec)	186.4	203.5	77.5
0.3(Sec)	196.9	219.0	82.6
0.2(Sec)	203.2	256.5	86.0
0.1(Sec)	220.3	274.5	89.2

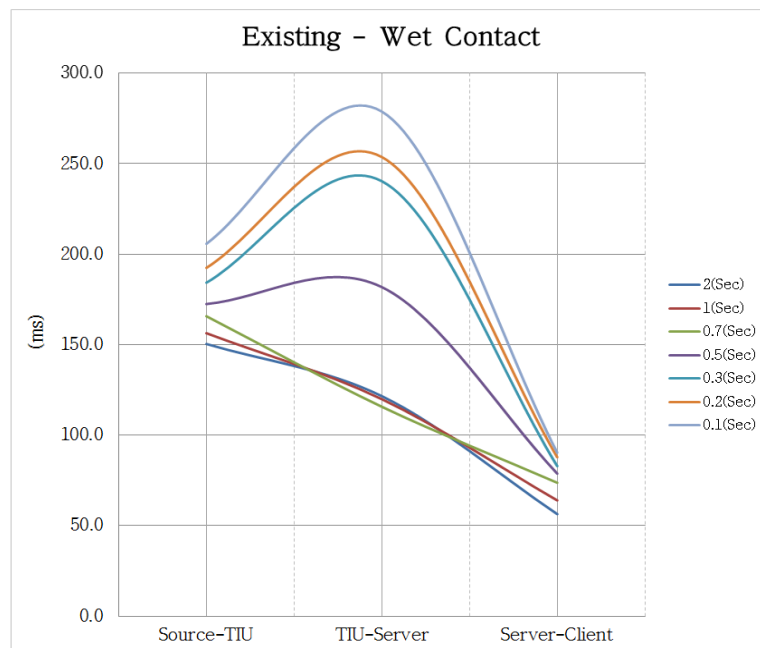


Fig. 7.7 Average processing time for existing-Wet Contact in terms of phase

Table 7.7 Average processing time for existing-Wet Contact

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	150.4	121.5	56.4
1(Sec)	156.3	119.9	63.9
0.7(Sec)	165.7	115.7	73.7
0.5(Sec)	172.4	181.8	78.7
0.3(Sec)	184.2	240.3	82.9
0.2(Sec)	192.4	253.7	87.8
0.1(Sec)	205.7	278.8	90.3

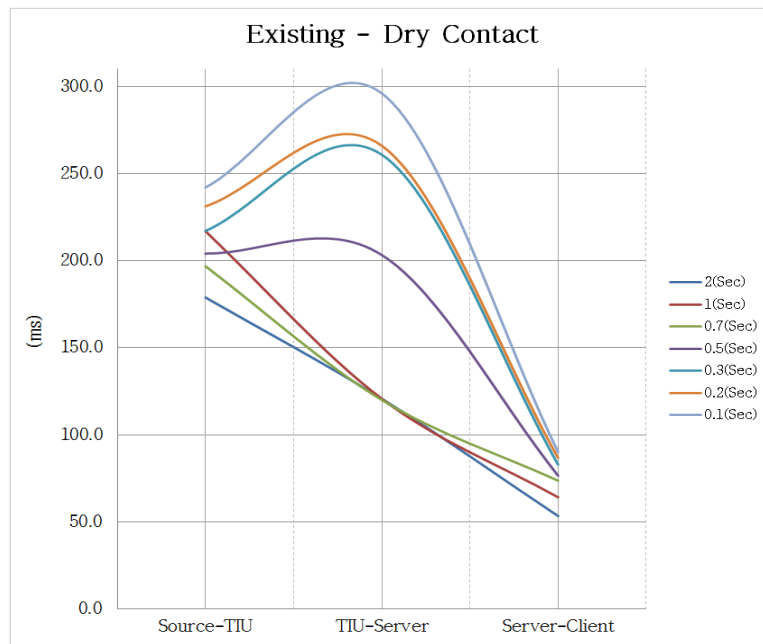


Fig. 7.8 Average processing time for existing-Dry Contact in terms of phase

Table 7.8 Average processing time for existing-Dry Contact

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	178.9	120.7	53.4
1(Sec)	216.9	120.7	64.2
0.7(Sec)	196.8	120.0	73.7
0.5(Sec)	204.1	203.2	76.6
0.3(Sec)	217.1	260.8	83.0
0.2(Sec)	231.2	265.9	86.8
0.1(Sec)	242.0	296.0	90.2

6개의 데이터 유형 모두 알람 발생 주기가 잦을수록 1단계의 처리 시간이 높게 나타났다. 분석 결과 TIU가 데이터 유형을 TCP/IP로 변경하는 과정에서 처리 시간이 증가하였다. 1단계에서 처리 지연이 발생하면 전체 시스템의 처리

시간에도 나쁜 영향을 주었다. 알람 발생 주기가 0.7초 보다 짧을 수록 1단계와 2단계의 처리 시간이 급격히 증가하였다.

Fig. 7.9는 e-TMS에서 제안 데이터 유형에 대한 구역별 처리 시간을 측정하여 평균한 결과이다. 기존 TMS와는 달리 알람 발생 주기가 짧더라도 1단계와 3단계의 처리 시간은 안정적이며 처리 지연은 발생하지 않았다. 알람 발생 주기가 0.7초 보다 짧을 수록 2단계의 처리 시간은 증가하였다.

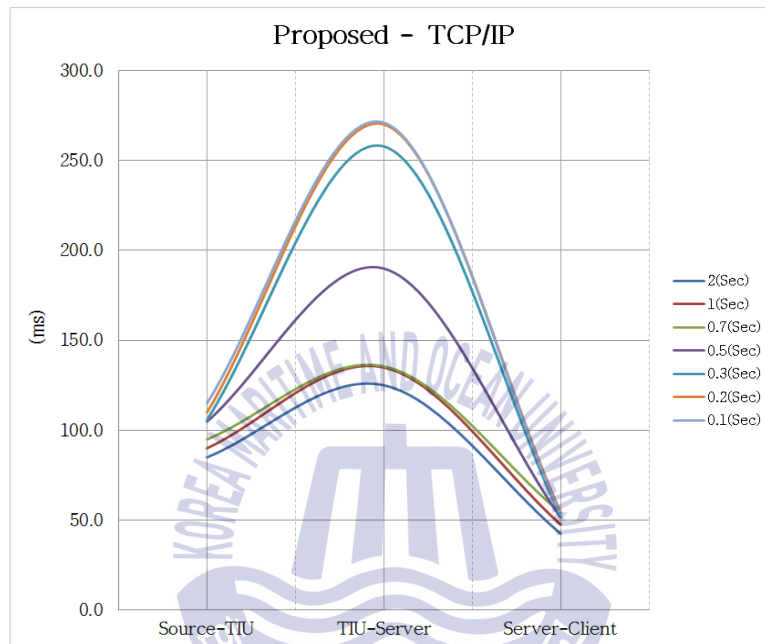


Fig. 7.9 Average processing time for proposed-TCP/IP in terms of phase

Table 7.9 Average processing time for proposed-TCP/IP

Interval of alarm	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
2(Sec)	85.0	125.1	42.5
1(Sec)	90.0	134.9	47.6
0.7(Sec)	94.9	135.6	54.1
0.5(Sec)	104.9	190.0	51.5

0.3(Sec)	105.9	257.9	51.9
0.2(Sec)	110.0	270.0	54.3
0.1(Sec)	115.1	271.1	53.0

실험 모두 2단계에서 알람 발생 간격이 잦을 수록 처리 시간이 증가하였다. 네트워크 부하는 데이터 사용량에 비례한다. 따라서 알람이 많이 발생하는 통신 시스템은 분석을 통해 불필요한 데이터를 제거하여 알람의 크기를 최소화해야 한다.

Fig. 7.10은 전체 데이터 유형에 대한 단계 별 전체 처리 시간을 평균한 결과이다. 데이터 유형에 대한 구역별 장단점을 비교 분석할 수 있다.

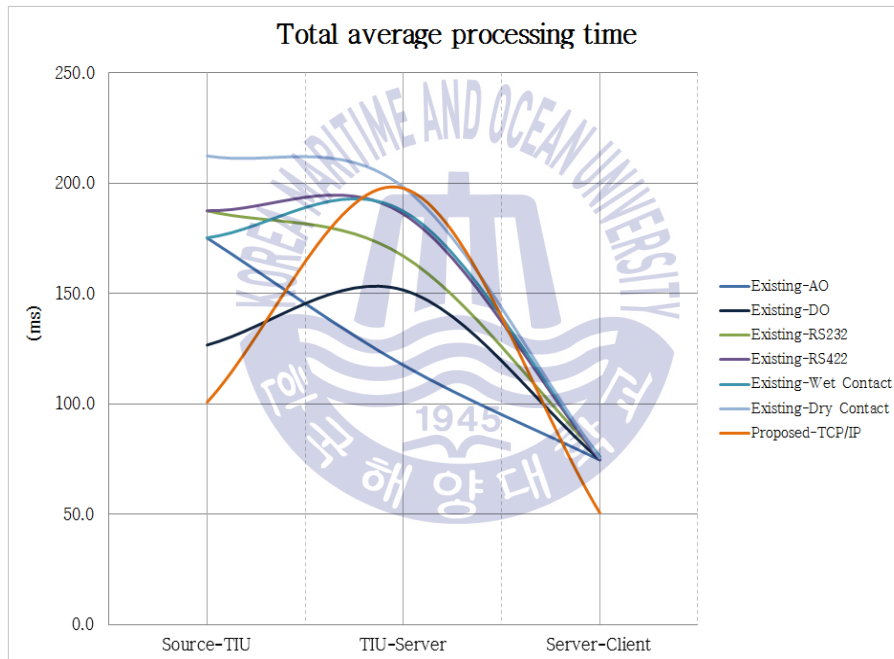


Fig. 7.10 Comparison of total average processing time for all data types in terms of phase

Table 7.10 Total average processing time for all data types

Data type	Source-TIU	TIU-Server	Server-Client
Existing-AO	175.2	117.6	74.7
Existing-DO	126.7	151.6	74.8
Existing-RS232	187.6	167.0	76.1
Existing-RS422	187.6	186.1	75.0
Existing-Wet Contact	175.3	187.4	76.2
Existing-Dry Contact	212.4	198.2	75.4
Proposed-TCP/IP	100.8	197.8	50.7

e-TMS는 1단계, 3단계에서 가장 우수한 처리 시간을 나타냈다. 1단계에서 가장 높은 처리 시간을 보인 기존 TMS의 기존-무전압 접점과는 111.6ms의 평균 처리 속도 차이를 나타냈다. 1단계에서 e-TMS는 기존 TMS보다 최소 125.7%에서 최대 210.7%의 처리 속도가 향상되었다. 2단계에서는 e-TMS에 대한 처리 시간이 상대적으로 느리게 측정되었다. 1단계에서 e-TMS의 상대적으로 빠른 처리 시간으로 인해 네트워크 부하가 증가한 것으로 분석되었다. 3단계에서 e-TMS는 평균 148.7%의 처리 속도가 향상되었다. 공용 데이터베이스가 서버의 처리 부하를 감소시켰다.

Fig. 7.11은 전체 데이터 유형에 대한 알람 발생 주기 별 처리 시간을 평균한 결과이다. 데이터 유형에 대한 고유특성을 분석할 수 있어 데이터 유형에 대한 비교 평가가 가능하다.

알람 발생 주기가 2초, 1초, 0.7초에서는 기존 TMS의 기존-아날로그 출력과 기존-디지털 출력이 e-TMS보다 평균 처리 시간이 빨랐다. 이를 제외하면 모두 e-TMS가 기존 TMS의 데이터 유형보다 우수했다. 데이터 유형 별 우수성은 알람 발생 주기와는 크게 상관이 없었다.

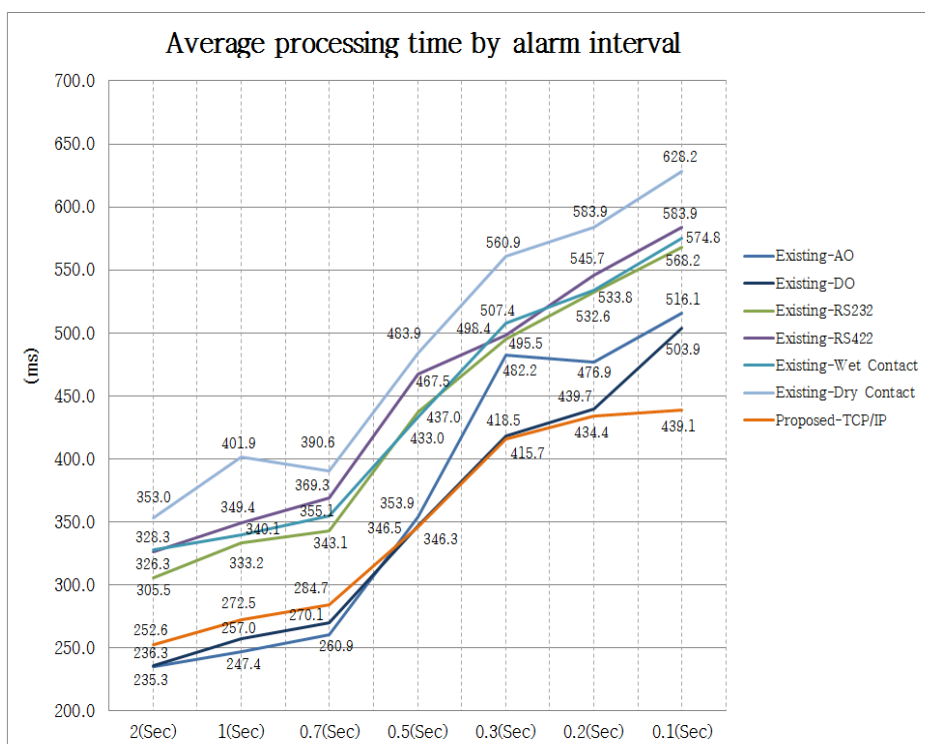


Fig. 7.11 Comparison of average processing time by interval of alarms for all data types

Table 7.11 Average processing time by interval of alarms

Data type	2(Sec)	1(Sec)	0.7(Sec)	0.5(Sec)	0.3(Sec)	0.2(Sec)	0.1(Sec)
Existing-AO	235.3	247.4	260.9	353.9	482.2	476.9	516.1
Existing-DO	236.3	257.0	270.1	346.5	418.5	439.7	503.9
Existing-RS232	305.5	333.2	343.1	437.0	495.5	532.6	568.2
Existing-RS422	326.3	349.4	369.3	467.5	498.4	545.7	583.9
Existing-Wet Contact	328.3	340.1	355.1	433.0	507.4	533.8	574.8
Existing-Dry Contact	353.0	401.9	390.6	483.9	560.9	583.9	628.2
Proposed-TCP/IP	252.6	272.5	284.7	346.3	415.7	434.4	439.1

선박과 해양플랜트에서는 TCP/IP, 디지털 출력, 아날로그 출력, RS232, 유전압 접점, RS422, 무전압 접점의 우선순위로 데이터 유형을 결정하는 것이 통신 시스템을 포함한 모든 시스템의 안정과 성능에 유리한 것으로 확인 되었다.

Fig. 7.12는 기존 TMS의 데이터 유형 대비 e-TMS의 평균 성능 개선 수치이다. 분석 결과 e-TMS는 기존 TMS 보다 평균 120.0%의 처리속도 성능이 개선되었다. 무엇보다 0.1초 간격에서 가장 우수한 128.1%의 성능이 개선되었다. 알람 발생 주기가 0.1초에서 기존 TMS의 처리 시간이 급격히 증가한 반면 e-TMS는 0.2초와 큰 변화 없이 안정적이었다. 알람 발생 주기가 잦더라도 e-TMS의 성능은 일관성 있게 우수성을 유지하였다.

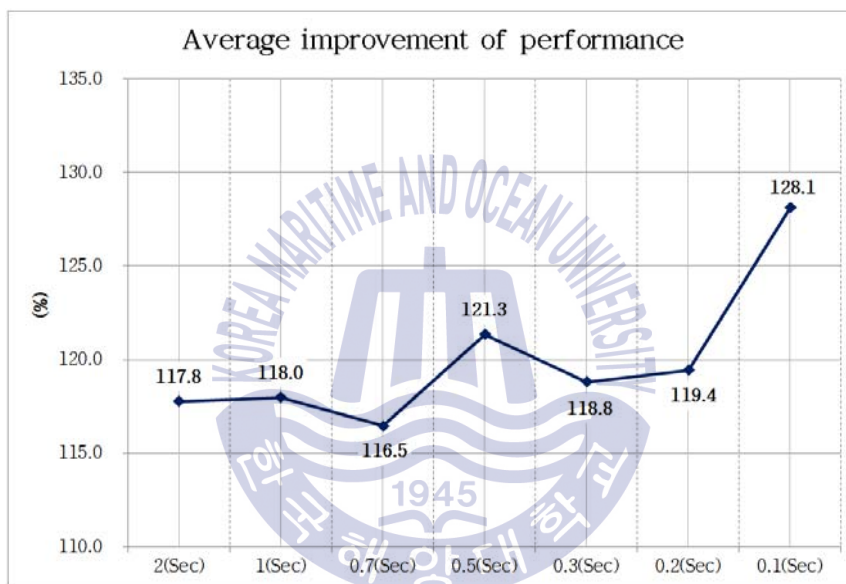


Fig. 7.12 Average improvement of performance by interval of alarm based on proposed-TCP/IP

e-TMS의 성능이 기존 TMS 보다 일관된 우수성을 갖는 것으로 확인되었다. 알람이 많이 발생하는 긴급 상황에 대비하도록 TMS를 설계해야 한다는 것을 실험 분석을 통해 알 수 있었다. 본 논문에서 제안한 e-TMS는 처리 시간과 운영 비용 면에서 모두 우수하다는 것을 실험을 통해 증명하였다.

7.2 UHF 시스템 기반 슈퍼 Wi-Fi 환경 평가

7.2.1 실험 환경 및 구성

Fig. 7.13은 선박과 해양플랜트에 설치되는 UHF 시스템에 대한 구성도이다. 고정형 기지국은 커버리지와 시스템 전체 구성에 영향을 주지 않으므로 구성에서 생략하였다. whip 안테나는 선박의 선체 상부에 설치되고 헬리컬 안테나는 선박의 선체부에 설치된다. whip 안테나와 헬리컬 안테나는 450~470MHz의 주파수 범위(frequency range)에서 동작한다[53,54].

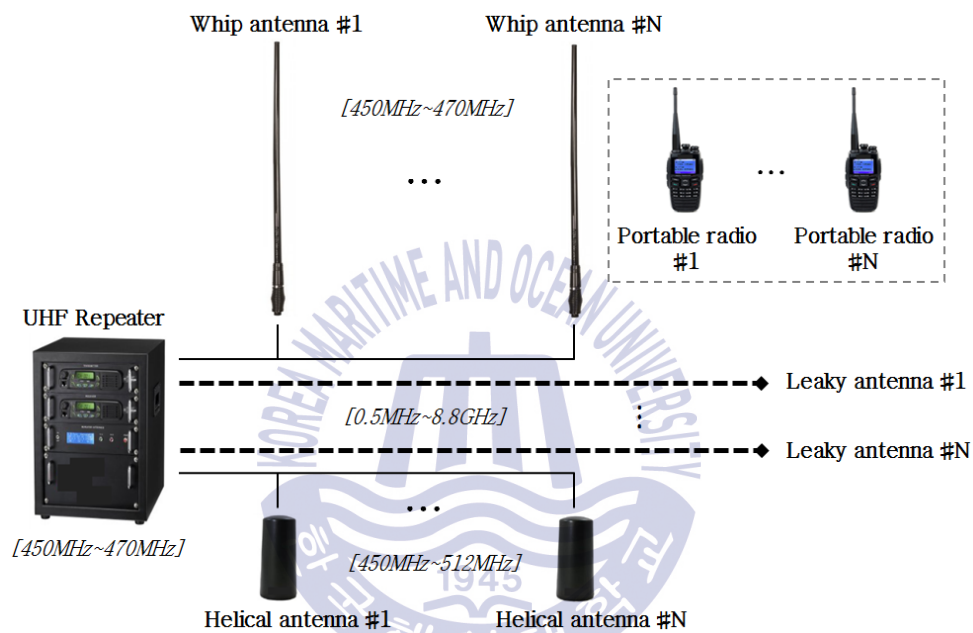


Fig. 7.13 Diagram for UHF system in ships

누설 안테나는 공간의 구조가 복잡하고 협소한 경우에 설치하며 동작 가능한 주파수 범위는 30~980MHz로 넓다[55]. 설치방법은 케이블과 유사하며 Fig. 7.14와 같이 케이블 전로를 이용하거나 복도를 따라 설치된다.

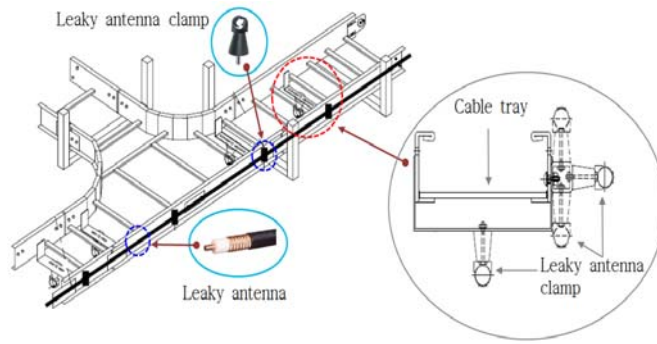


Fig. 7.14 Installation on leaky antenna in ships

본 논문은 UHF 주파수 대역인 450~470MHz와 슈퍼 Wi-Fi 주파수 대역인 750~790MHz를 결합하는 방법을 Fig. 7.15와 같이 제안한다[30].

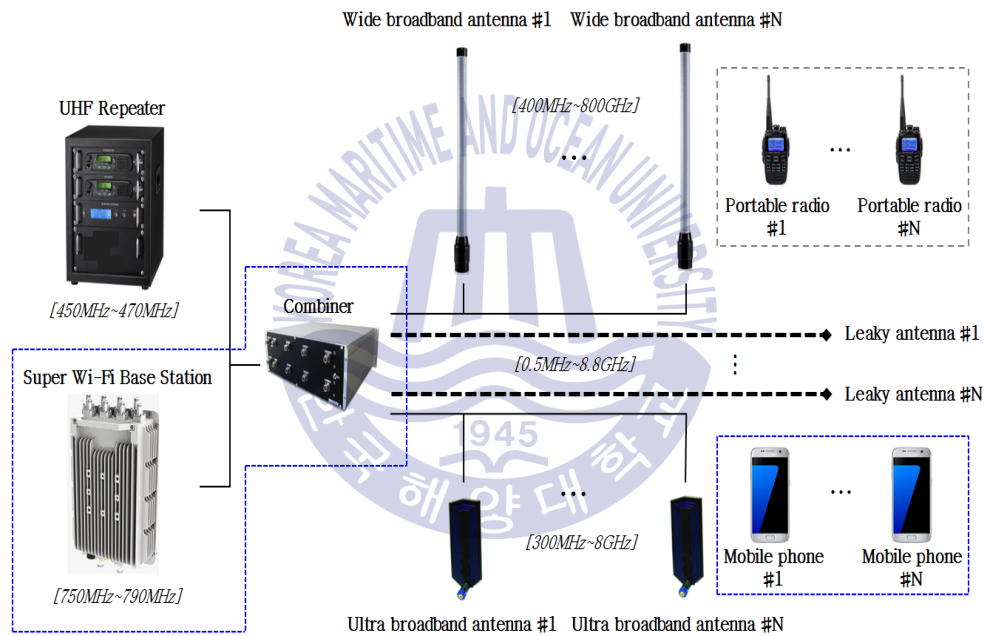


Fig. 7.15 Combination diagram for Super Wi-Fi and UHF system

선체 상부에는 휩 안테나 대신 광대역 안테나(wide broadband antenna)로 교체하고, 선체부에는 헬리컬 안테나 대신 초광대역 안테나(ultra broadband antenna)를 설치한다. 광대역 안테나가 동작하는 주파수 범위는

400~800MHz이고 초광대역 안테나가 동작하는 주파수 범위는 300MHz~8GHz이다[56,57]. 누설 안테나는 Fig. 7.13과 같은 사양이다. 컴바이너는 UHF의 리피터와 슈퍼 Wi-Fi의 기지국이 안테나들을 함께 공유하여 사용할 수 있게 한다. 광대역 안테나, 초광대역 안테나, 누설 안테나 모두가 동작하는 주파수 범위는 450~790MHz를 포함한다. 선박에서 UHF와 슈퍼 Wi-Fi가 동일한 안테나를 이용하여 함께 사용할 수 있는 환경이 구현될 수 있음을 비교 실험을 통해 증명한다. 실험은 Fig. 5.7의 어퍼 데크인 선체 상부와 Fig. 5.6의 메인 데크의 선체부에 대해 수행되었다.

선박과 해양플랜트의 전원은 주 엔진 또는 발전기에서 자체 전원을 생산하여 배전반을 통해 각 시스템으로 전달된다. 일반적으로 선박과 해양플랜트는 전체 전원 소비량의 20~30% 이상의 여유를 갖도록 제작된다. 노트북, 휴대폰 등의 개인 장비, 시험 장비, 검사 장비 등을 추가하여 사용하더라도 전체 전기 부하에는 큰 영향이 없다. UHF 시스템에 대한 전력소모량은 선박과 해양플랜트의 건조 시 포함되어 반영된다. Fig. 7.15의 제안하는 구조는 기존 UHF 시스템에서 슈퍼 Wi-Fi 장비만을 추가하는 구조로써 선박 전체 전력 소모량에는 큰 영향이 없다.

7.2.2 실험 결과

실험은 반잠수시추선의 선체 상부와 선체부에 대해 슈퍼 Wi-Fi와 UHF의 순서로 진행되었다. 슈퍼 Wi-Fi의 최종 커버리지 연구의 결과를 기준으로 UHF의 최종 커버리지 연구의 결과를 비교한다. 반잠수시추선은 구조가 가장 복잡한 해양플랜트 중에 하나로 상선에 비해 Table 5.2의 조건을 만족하기 어렵다. UHF 시스템은 휴대용 라디오를 사용하고 슈퍼 Wi-Fi는 휴대폰이 801.11af 표준을 지원하는 것으로 가정한다.

Fig. 7.16은 선체 상부에서 슈퍼 Wi-Fi에 대한 최종 커버리지 연구의 결과이다. 선체 상부에 대한 커버리지 연구의 범위는 Fig. 5.7과 같은

길이(length)가 107.41미터, 폭(breadth)은 85.97미터이다. 프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지는 95.1%이다. 선체 상부는 총 3개의 광대역 안테나와 1가닥의 누설 안테나를 설치하여 Table 5.2의 커버리지 기준을 모두 만족하였다. 선체 상부의 작업 구역은 프린지 지역과 난청 지역이 없다.

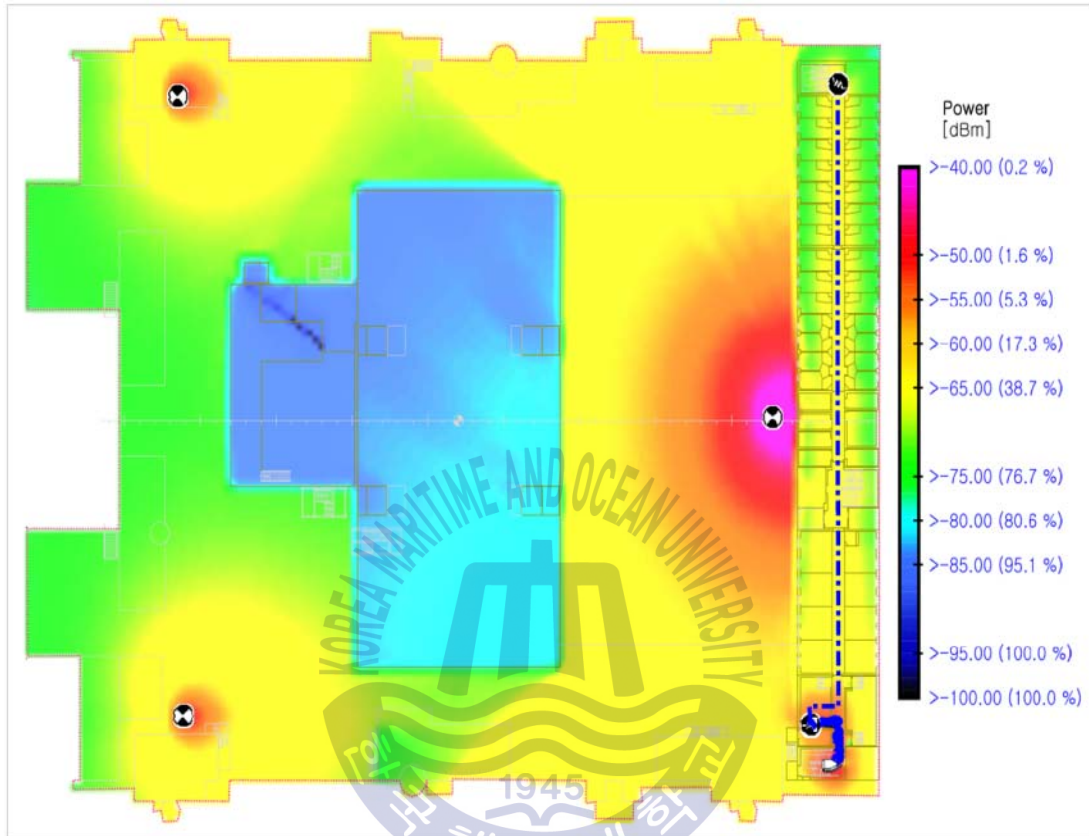


Fig. 7.16 Final coverage study for Super Wi-Fi at top side

Fig. 7.17은 Fig. 7.16의 슈퍼 Wi-Fi 환경을 그대로 이용하여 UHF에 대한 커버리지 연구를 수행한 결과이다. Fig. 7.16의 슈퍼 Wi-Fi의 기지국 대신 UHF 리피터가 450~470MHz의 주파수를 발생한다.

프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm일 때 커버리지는 98.7%이다. 선체 상부에서는 UHF가 슈퍼 Wi-Fi보다 커버리지의 성능은 3.6% 높다. UHF가 슈퍼

Wi-Fi보다 주파수 대역이 낮기 때문에 분석된다. UHF도 선체 상부의 작업 구역은 프린지 지역과 난청 지역이 없다.

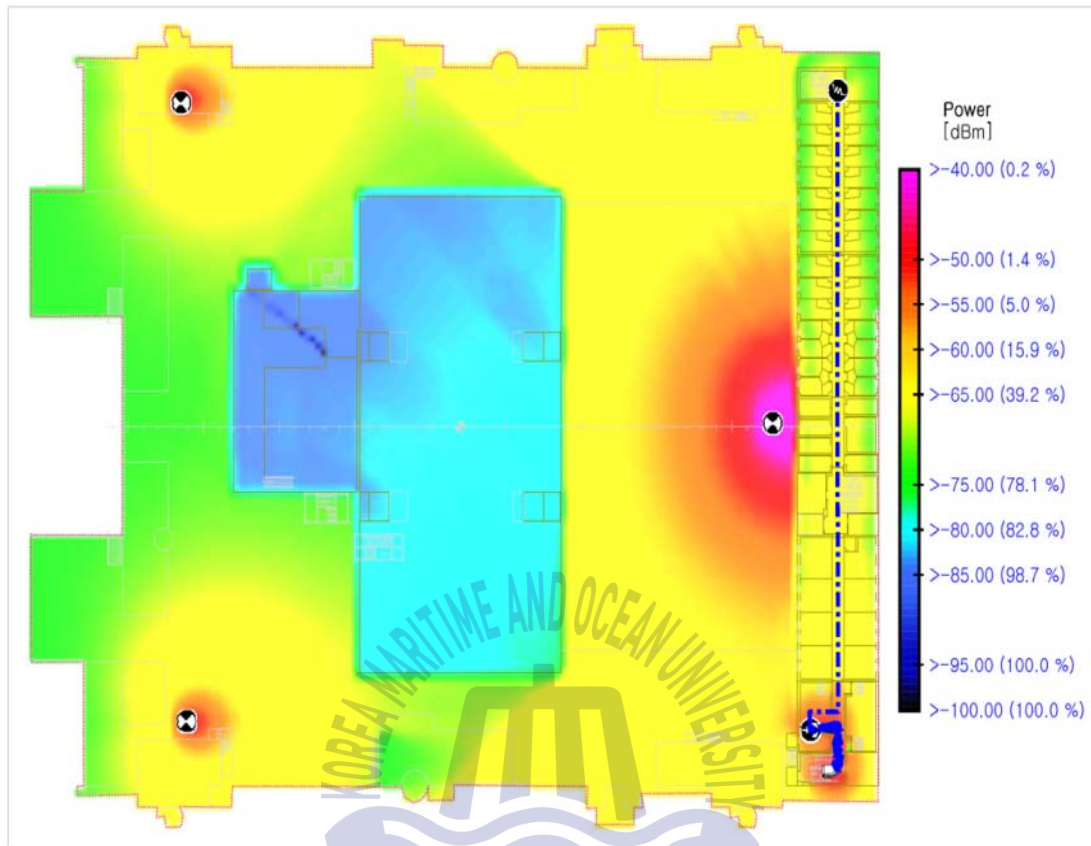


Fig. 7.17 Final coverage study for UHF at top side

선체 상부에서는 슈퍼 Wi-Fi를 구축한 환경으로 UHF도 Table 5.2의 기준을 모두 만족하였다. 반잠수시추선의 외부 공간인 선체 상부에 대한 실험 결과, UHF 시스템을 이용하여 별도의 장비 추가 없이 슈퍼 Wi-Fi 환경을 구현할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 7.18은 선체부에서 슈퍼 Wi-Fi에 대한 최종 커버리지 연구의 결과이다. 선체부에 대한 커버리지 연구의 범위는 Fig. 5.6과 같은 길이(length)가 96.13미터, 폭(breadth)은 77.76미터이다. 프린지 지역의 목표 신호 세기인

-85dBm일 때 커버리지가 95.2%이다. 누설 안테나는 복도를 따라 분기되어 설치되었다. 선체부에서는 6개의 초광대역 안테나와 크게 2줄기의 누설 안테나를 설치하였고 Table 5.2의 기준을 모두 만족하였다. 선체부의 작업 구역은 프린지 지역과 난청 지역이 없다.

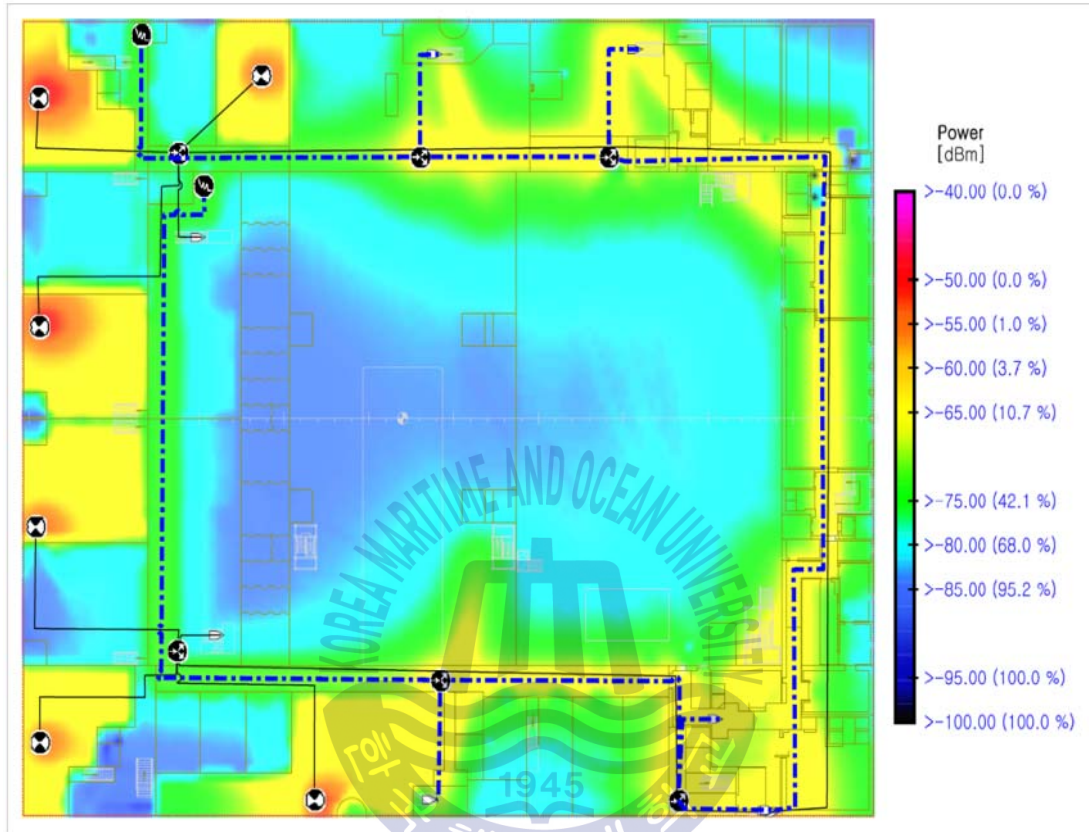


Fig. 7.18 Final coverage study for Super Wi-Fi at hull side

선체부에서 초광대역 안테나가 선체 상부에 비해 많이 설치되는 이유는 크게 두 가지로 분석된다. 첫째, 선수를 제외한 대부분의 공간이 강벽으로 구성된다. 철은 무선 주파수의 투과율이 낮기 때문에 누설 안테나를 복도에 설치하는 것만으로는 전체 구역을 커버리지 하기가 부족하다. 둘째, 공간을 밀폐할 수 있는 철 재질의 방수문으로 구성된다. 선체부는 사고를 대비하여 밀폐된

공간이 많고 함께 많은 장비들이 탑재되고 설치되므로 전파의 차단과 왜곡이 많이 발생한다. 본 논문의 선체부에 대한 커버리지 연구는 최악의 경우를 대비하여 방수문을 포함한 모든 문이 닫혔을 때를 기준으로 수행하였다.

Fig. 7.19는 Fig. 7.18의 슈퍼 Wi-Fi의 환경을 그대로 이용하여 UHF에 대한 커버리지 연구를 수행한 결과이다.

프린지 지역의 목표 신호 세기인 -85dBm 일 때 커버리지는 98.5%이다. 선체부에서는 UHF가 슈퍼 Wi-Fi보다 커버리지의 성능은 3.5% 높았다. UHF도 선체부의 작업 구역은 프린지 지역과 난청 지역이 없다.

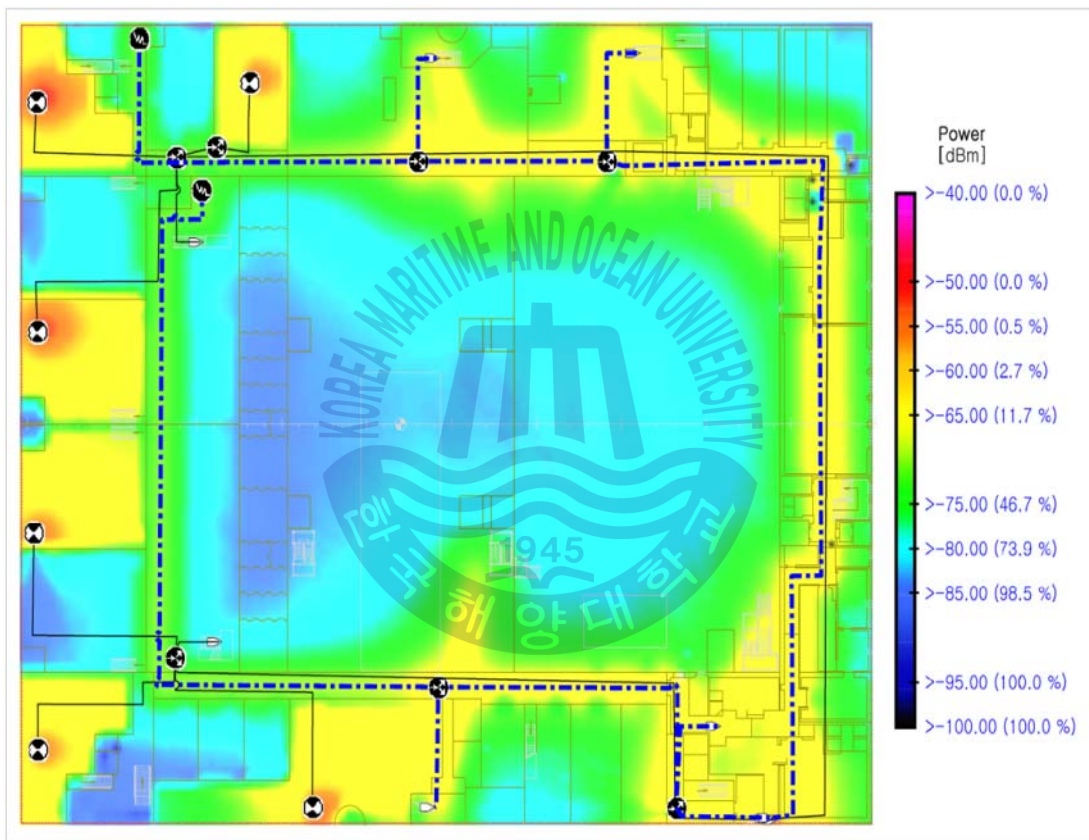


Fig. 7.19 Final coverage study for UHF at hull side

선체부에서도 슈퍼 Wi-Fi를 구축한 환경으로 UHF도 Table 5.2의 기준을 모두

만족하였다. 많은 차폐와 밀폐 구역이 있는 선박의 내부 공간인 선체부에 대한 실험 결과, UHF 시스템을 이용하여 별도의 장비 추가 없이 슈퍼 Wi-Fi 환경을 구현할 수 있음을 확인하였다.

선박과 해양플랜트는 최소의 비용으로 선박의 안전 강화와 기술 발전을 함께 가져올 수 있는 고급(high-end) 기술들의 출현이 절실하다. 본 논문에서 제안하는 선박과 해양플랜트의 슈퍼 Wi-Fi 환경을 응용하여 안테나를 설치할 경우 사물 인터넷(internet of things), 실내 위치 확인 시스템(indoor positioning system)과 같은 기술들을 용이하게 구현 할 수 있다. 본 논문은 선박과 해양플랜트에서 사용되는 UHF 시스템을 이용하여 슈퍼 Wi-Fi로 선박과 해양플랜트의 전 구역에 무선 네트워크 환경을 구현하는 것을 실험을 통해 증명하였다.



제 8 장 결론

본 논문은 통신 시스템에 대한 체계화가 선박과 해양플랜트의 발전과 경쟁력 강화에 중요하다는 것을 분석과 실험을 통해 증명하였다. 앞으로 차세대 선박과 해양플랜트에서는 통신 시스템의 비중이 확대될 것이다. 통신 시스템을 IMO, 조약, 선급, 제조사가 현실에 맞도록 체계화하지 않으면 선박과 해양플랜트는 기술 발전의 한계에 직면할 것이다.

본 논문은 체계화된 통신 시스템을 기반으로 개선된 e-TMS를 제안하였다. 실험을 통해 e-TMS가 기존 TMS 보다 120% 이상의 처리속도 성능이 개선되었음을 확인하였다. 또한 e-TMS는 알람 발생 주기가 짧더라도 처리 지연 없이 안정적이고 우수한 성능을 갖는다는 것을 실험으로 증명하였다. 선박과 해양플랜트에서 MIU를 포함한 e-TMS는 품질 향상과 비용 절감, 성능의 안정을 위해 반드시 필요하다.

선박과 해양플랜트에서 통신 시스템의 기술 발전은 신뢰성 있는 무선 네트워크 환경이 필수적이다. 오늘날 선박과 해양플랜트는 복잡한 철 구조적 특성으로 무선 네트워크 환경을 적용하지 못하고 있다. 무선 네트워크 환경의 필요성에 비해 새로운 방법은 나타나지 않고 있다. 선박과 해양플랜트에서 Wi-Fi를 이용하여 무선 네트워크 환경을 구현하는 것은 확장성, 안정성, 고비용의 한계가 있다. 본 논문은 실험을 통해 선박과 해양플랜트에서 Wi-Fi의 실패 원인을 확인하였다. 무선 네트워크 환경이 선박과 해양플랜트의 전 구역을 대상으로 구현되지 않으면 실시간 이동 관리가 되지 않아 작업과 관리가 분리된다. 무선 네트워크는 e-TMS에서 관리되는 통신 시스템들 중 하나의 시스템이지만 선박과 해양플랜트의 기술을 급성장하게 할 수 있는 가장 핵심적이며 중요한 시스템이다. 선박과 해양플랜트의 전 구역에 대한 무선 네트워크 환경의 구현은 작업 환경과 관리 방법을 모두 바꾸게 될 것이다. 건조비와 유지비를 포함한 비용 절감 효과와 수십 년 간 변함없이 사용되고

있는 시스템들과 장비들에 대한 기술개발이 확대 될 것이다.

본 논문은 선박과 해양플랜트의 환경에 검증되었고 대부분 설치하는 UHF 시스템을 기반으로 슈퍼 Wi-Fi에 의해 무선 네트워크 환경을 구축하는 방법을 제안하였다. 실험을 통해 선체 상부와 선체부 모두 목표 신호 세기인 -85dBm에서 목표 커버리지인 95%를 넘는 평균 96.9%의 우수한 커버리지를 확인하였다. 본 논문에서 제안한 슈퍼 Wi-Fi 환경으로 선박과 해양플랜트에서 최소의 비용으로 전 구역을 커버리지 할 수 있고 전 세계 어디에서든 자가망을 구현할 수 있음을 실험으로 증명하였다.

본 논문에서 분석하고 증명한 내용을 바탕으로 선박과 해양플랜트에 운영되는 모든 시스템들에 대한 분석과 점검이 필요하다. 조선해양산업의 성장과 발전을 위해 선박과 해양플랜트에 설치되는 모든 시스템들에 대해 체계화를 완성하고 기준을 수립해야 한다. 나아가 선박과 해양플랜트에 적합한 전문 관리 시스템과 선박과 해양플랜트의 어디에서나 자유롭게 무선 네트워크를 사용할 수 있는 전용 무선 네트워크 환경에 대한 정책 수립, 연구 개발, 투자 전략 등이 필요하다.



감사의 글

처음 한국해양대학교를 만났던 1994년의 설레었던 봄날에서부터 지금까지 오랜 기간 동안 한국해양대학교는 학문의 길 뿐만이 아닌 생장의 밑거름이었고 항상 따뜻하고 감사한 삶의 터전이었습니다. 한국해양대학교는 회사 생활 도중 틈이 날 때 마다 학문을 병행하는 저에게는 기댈 수 있고 항상 의지할 수 있는 마지막 보루와도 같은 존재였습니다. 분명 이런 소중함 들은 긴 시간 동안 옆에서 묵묵히 지켜봐 주시고 물심양면으로 깊이 배려하고 도와주신 많은 분들이 없었다면 지금의 영광스러운 순간도 없었을 것입니다.

박사 과정을 마무리하는 기회를 통해 그 동안 저에게 도움을 주신 많은 분들께 감사의 인사를 드리고자 합니다. 지금까지 한결 같은 믿음으로 부족한 저를 지도해 주신 손주영 교수님께 깊이 감사 드립니다. 긴 세월만큼 베풀어 주신 은혜를 짧은 글로써 표현하는 것은 너무나 부족하기만 합니다. 박사 과정이라는 선택을 하도록 해 주셨고 부족한 아이디어라도 항상 긍정적으로 가능성을 검토해 주시고 지원해 주셨습니다. 학문적인 어려움을 스스로 해결할 수 있는 방법을 알려 주셨고 힘들 때 마다 인생의 선배로써 조언을 아끼지 않으셨습니다. 교수님의 헌신적인 지도와 칭찬 덕분에 박사과정까지 모두 끝마칠 수 있었습니다. 진심으로 감사 드립니다.

컴퓨터공학이라는 학문에 매력을 느낄 수 있도록 가르침을 주신 신옥근 교수님과 힘들었던 학부생활에 동기 부여를 해주신 김재훈 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 그리고 항상 긍정적인 에너지를 주시고 진중한 조언을 아끼지 않으신 박휴찬 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 박사논문 심사 시 아낌없는 조언을 해 주신 장길웅 교수님, 진심 어린 관심으로 많은 용기를 주신 정기룡 교수님, 먼저 배려해 주시고 항상 따뜻하게 맞아 주신 이상태 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 학교 생활을 함께하며 도움을 주셨던 많은 선배님들과 동기, 후배님들께 깊은 감사를 드립니다. 항상 저의 입장에서 고민을 들어주시고

먼저 도움을 주신 강군호 선배님과 김경언 선배님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 마지막으로 항상 곁에서 힘이 되어 주고 묵묵히 희생해준 사랑하는 아내 주희와 딸 연지, 아들 신익에게 이 논문을 빌어 다시 한번 더 감사함을 전합니다.

박사라는 자격에 맞도록 현상에 대한 원인과 고찰, 해결책을 스스로 연구하고 완성하여 답을 할 수 있도록 노력하겠습니다. 앞으로 한국해양대학교를 비롯한 많은 분들께 누가 되지 않도록 매 순간 최선을 다하는 삶을 살도록 노력 하겠습니다. 언급하지 못한 고마운 분들이 너무 많지만 모두 새기지 못함을 죄송하게 생각하며 대신 깊은 감사의 말로 이 글을 마칩니다.



참고문헌

- [1] International convention for the safety of life at sea (SOLAS), *Chapter IV. Radiotelegraphy and radiotelephony, Chapter V. Safety of navigation*, IMO, November 1974.
- [2] Adoption of amendments to the international convention for the safety of life at sea (SOLAS), 1974, *Regulation 18, Chapter V Safety of Navigation*, As amended, Resolution MSC.99(73), Annex 7, IMO, December 2000.
- [3] Norwegian petroleum industry, 4. Requirements for telecommunication systems, Telecom systems, *Telecom systems*, T-001, NORSOK Standard, Edition 4, Standard Norway, pp.8-13, February 2010.
- [4] CCITT Recommendation M.3200, Annex A, List of TMN management services, *TMN management services : Overview*, ITU, pp.4-5, October 1992.
- [5] ITU-T Recommendation M.3400, 6.2 Alarm surveillance, *TMN management functions*, ITU, pp.16-24, February 2000.
- [6] M. Suzuki, M. Ohta, K. Nishiki and K. Nakano, Next-generation Telecom Management System, *Hitachi Review*, Vol. 48(1999), No.4, 1999.
- [7] Norwegian petroleum industry, 17. System 84, Telecommunication management system (TMS), *Telecom subsystems*, T-100, NORSOK Standard, Edition 4, Standard Norway, pp.51-54, February 2010.

- [8] Norwegian petroleum industry, 1. Scope, *Telecom subsystems*, T-100, NORSOK Standard, Edition 4, Standard Norway, pp.7, February 2010.
- [9] J.W. Kim, J.Y. Son and K.K. Yoon, Improvement of the TMS deployment methods on ships and offshore plants, *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562, Volumn 11, Number 24, pp.11901-11907, December 2016.
- [10] J.W. Kim, J.Y. Son and K.K. Yoon, An improved TMS architecture for ships and offshore plants, *International Information Institute*, ISSN 1343-4500, Volume 20, Number 2(A), pp.867-876, February 2017.
- [11] Wikipedia, *Terrestrial Trunked Radio* [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/2007_South_Korea_oil_spill [Accessed 27 November 2017].
- [12] Wikipedia, *MV Sewol* [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/MV_Sewol [Accessed 27 November 2017].
- [13] Wikipedia, *Piper Alpha* [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Piper_Alpha [Accessed 27 November 2017].
- [14] Wikipedia, *Deepwater Horizon* [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon [Accessed 27 November 2017].

- [15] J.W. Kim, J.Y. Son and K.K. Yoon, Design of integrated interfaces for telecom systems in vessels based on the TMS, *The Korea Society of Marine Engineering*, ISSN 2234-7925, Vol. 41, No. 6, pp.583-589, July 2017.
- [16] International convention for the safety of life at sea (SOLAS), *Chapter III. Life-saving appliances and arrangements, Chapter IV. Radio communications, Chapter V. Safety of navigation*, Consolidated edition, IMO, 2004.
- [17] Official journal of the European union, Commission directive 2011/75/EU, *Amending council directive 96/98/EC on marine equipment*, European union, September 2011.
- [18] Resolution MSC.333(90), *Adoption of revised performance standards for shipborne voyage data recorders(VDRs)*, Annex21, IMO, May 2012.
- [19] MSC66(24), *Chapter VII Other life saving appliances*, Report of the maritime safety committee on its sixty-sixth session, IMO, pp.54-55, June 1996.
- [20] International convention for the safety of life at sea (SOLAS), Regulation 3, *Chapter III Life-saving appliances, Technical regulation on the construction and equipment, etc. of passenger ships on domestic voyages*, IMO, pp.6-7, November 2003.
- [21] Resolution MSC.48(66), *Chapter VII Other life saving appliance, International life-saving appliance(LSA) code*, Treaty series No.44, IMO, pp.38-39, June 1996.

- [22] DNV, *Section 10 Internal communication, Hull equipment and safety, Rules for classification of ships, New buildings, Hull and equipment main class, Part 3, Chapter 3*, DNV, pp.82-84, January 2010.
- [23] ABS, 15 Electrical requirements, *Guide of portable accommodation modules*, ABS, pp.10-12, January 2013.
- [24] Federal Signal, *Public safety systems* [Online] Available at: <http://www.fs-isys.com/> [Accessed 27 November 2017].
- [25] Gai-Tronics, *Industrial communication systems* [Online] Available at: <https://www.gai-tronics.com> [Accessed 27 November 2017].
- [26] A.B. Flores, R.E. Guerra, E.W. Knightly Peter Ecclesine and S. Pandey, IEEE 802.11af : A Standard for TV White Space Spectrum Sharing, *IEEE Communication Magazine*, Volume : 51, Issue : 10, pp.92-100, October 2013.
- [27] M. Hanchate, R. Patil, T. Marathe, S. Shrivastava, S. Singh and P. Dhivare, Terrestrial Trunked Radio, In *Proc. Journal of Computing technologies*, Volume 1, Issue 4, August 2012.
- [28] Norwegian petroleum industry, 9. System 42 Ultra high frequency(UHF) radio and paging, *Telecom subsystems, T-100, NORSOK Standard*, Edition 4, Standard Norway, pp.27-28, February 2010.

- [29] J.W. Kim, J.K. Lim and J.Y. Son, An Optimal Antenna Placement Scheme for UHF Systems in Ships by a Coverage Study, *International Journal of Applied Engineering Research*, Volume 11, Number 24, pp.11908-11912, December 2016.
- [30] J.W. Kim and J.Y. Son, An establishment of super Wi-Fi environment in ships based on UHF system of TMS, Korean Society for Internet Information, Transactions on Internet and Information Systems. (Accepted for publication April 2018).
- [31] Rohill, *Reliable and Scalable TETRA networks*, TetraNode, *White Paper*, Issue 1.1, pp.7-12, May 2011.
- [32] ETSI Project Terrestrial Trunked Radio (TETRA), *Terrestrial Trunked Radio(TETRA); Voice plus Data(V+D); Designers guide; Part 1: Overview, technical description and radio aspects*, ETR 300-1, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute(ETSI), p.27, May 1997.
- [33] ETSI Technical Committee Terrestrial Trunked Radio (TETRA), *Terrestrial Trunked Radio(TETRA); Voice plus Data(V+D); Part 15: TETRA frequency bands, duplex spacings and channel numbering*, ETSI TS 100 392-15, v1.4.1, Technical Specification, European Telecommunications Standards Institute(ETSI), p.10, March 2010.
- [34] C. Bonde, R. Tadayoni and K. E. Skouby, *Next Generation Public Safety and Emergency Technologies*, In Proc. of Journal of NBICT, Volume 1, pp.43-72, January 2015.

- [35] Wikipedia, *Ultra high frequency* [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio [Accessed 27 November 2017].
- [36] IEEE Aerospace & Electronic Systems Society, *IEEE standard letter designations for Radar frequency bands*, IEEE standard 521-2002, January 2003.
- [37] Australian Communications and Media Authority, *Radiocommunications (Citizen Band Radio Stations) Class License 2015*, Federal Register of Legislation, Australian Government, pp.4-14, June 2015.
- [38] Organisation for Economic Co-operation and Development, *Working Party on telecommunication and Information Services Policies*, The spectrum dividend: Spectrum Management Issues, Committee for Information, Computer and Communications Policy, DSTI/ICCP/TISP(2006)2/FINAL, p.9, November 2006.
- [39] National Telecommunications and Information Administration Office of Spectrum Management, *Federal Spectrum Use Summary 30MHz – 3000GHz*, NTIA, United States Department of Commerce, pp.14-16, p.40, June 2010.
- [40] Recommendation ITU-R M.1174-2, *Technical characteristics of equipment used for on-board vessel communications in the bands between 450 and 470MHz*, ITU, May 2004.
- [41] The eighty-fourth session of Maritime Safety Committee, *Guidelines for the*

installation of shipborne radar equipment, SN.1/Circ.271, Ref. T2-OSS/1.4, IMO, May 2008.

[42] Commission directive(EU) 2015/559, *Amending council directive 96/98/EC on marine equipment*, Official journal of the European Union, April 2015.

[43] Resolution MSC.48(66), The sixty-sixth session of the Maritime Safety Committee, *International lift-saving appliance(LSA) code*, Treaty series No.44, IMO, June 1996.

[44] Maritime Safety Committee, *Report of the maritime safety committee on its sixty-sixth session*, MSC66/24/Add.1, IMO, June 1996.

[45] DNV, Rules for classification of ships, New buildings, Hull and equipment main class, *Hull equipment and safety*, Part3, Chapter3, DNV, January 2010.

[46] International Telecommunication Union (ITU), Article 52, Special rules relating to the use of frequencies, *Radio Regulations Articles*, ITU, Edition of 2012, pp.405-408, May 2004.

[47] iBwave, *Solutions for Enterprises* [Online] Available at: <http://www.ibwave.com/> [Accessed 27 November 2017].

[48] D. Lekomtcev and R. Marsalek, Comparison of 802.11af and 802.22 standards-physical layer and cognitive functionality, In *Proc. of Journal of Elektrorevue*, Vol. 3, No. 2, June 2012.

- [49] S. Sundaram B, A Quantitative analysis of 802.11 ah Wireless Standard, In *Proc. of International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, Volume 2, Issue 2, pp.26-29, February 2016.
- [50] Microsoft, *Super Wi-Fi Technologies*, UN Millennium Goal, *2012 Update Report*, 2012.
- [51] IEEE 802.11 Working Group, *IEEE 802.11af Draft 5.0, Amendment 5: TV White Spaces Operation*, *IEEE*, June 2013.
- [52] Motorola Solutions, *Two-way Radios* [Online] Available at: <https://www.motorolasolutions.com/> [Accessed 27 November 2017].
- [53] Comrod, *Marine & Civil Antennas* [Online] Available at: <http://www.comrod.com/> [Accessed 27 November 2017].
- [54] Laird, *Antennas & Reception Solutions* [Online] Available at: <https://www.lairdtech.com/> [Accessed 27 November 2017].
- [55] Radio Frequency Systems, *Cable solutions* [Online] Available at: <http://www.rfsworld.com/> [Accessed 27 November 2017].
- [56] Star Antenna, *Omni Directional Antennas* [Online] Available at: <http://www.starantenna.com/> [Accessed 27 November 2017].

- [57] Aaronia AG, *Isotropic Antennas* [Online] Available at: <http://www.aaronia.com/>
[Accessed 27 November 2017].
- [58] IEC 61162-450, *Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems*, Digital interfaces, Part 450 : Multiple talkers and multiple listeners, Ethernet interconnection, Edition 1.0, IEC, February 2011.
- [59] J.W. Kim, J.Y. Son and K.K. Yoon, An implementation of integrated interfaces for telecom systems and TMS in vessels, *International Journal of engineering and Technology*, ISSN 1793-8236, Vol. 10, No. 2, pp.195-199, April 2018.

