

e-Navigation 대응 해상 데이터통신 시스템 개선

The improvement of maritime data communication systems for e-Navigation

정성훈*, 양규식*, 정기룡*, 박동국*, 김정창*

Sung-Hun Jung*, Gyu-Sik Yang*, Gi-Ryong Jeong*, Dong-Kook Park*, and Jeong-Chang Kim*

요 약

GMDSS 적용 선박들에 의무적으로 탑재되는 통신장비들의 기능적 한계를 개선하기 위하여 통신 매체별 통신 비용, 처리율, 통신 속도, 처리 가능한 서비스, 통신 가능 범위 등에 대한 성능 분석 및 평가를 통하여 e-Navigation 수행에 적합한 데이터통신 시스템의 설계와 구현을 하였다. 제안한 시스템의 실험 결과를 통해, 해상에서 사용할 수 있는 MF/HF 대역은 3600bps 정도의 단문 메시지 송수신이 유용하고, VHF 대역에서는 9600bps 정도의 이메일 정도의 서비스가 가능하며, 해사위성통신의 Fleet Broadband 서비스의 경우는 수Mbps의 멀티미디어 서비스가 가능함을 확인하였다.

Abstract

We show a new scheme and implementation of maritime data communication systems for GMDSS ship which performs e-Navigation and removes the functional limitation of those systems through comparing to service fee, call processing reliability, and bit rates of all of those systems within communication range at sea. We confirmed available each frequency band communication and application services at sea by experimental result with proposed new system, MF/HF band being useful to a short text message service, VHF band to 9600bps email service, Fleet Broadband Maritime Satellite system to one or more Mbps multimedia service each.

Key words : GMDSS, e-Navigation, Maritime Data Communication System, MF/HF, VHF, Inmarsat

1. 서 론

해상의 조난 긴급 및 안전에 대비하여 선박에 의무적으로 탑재되는 해상 통신장비의 종류도 다양하게 변화되어 왔다. 해상통신은 안전을 우선으로 한 정책과 국제적 협의와 협조를 통해 추진되고 있다. 따라서 육상보다는 변화하는 속도가 느리지만, 육상의 첨단 기술에 힘입어 해상에서도 전 세계 해상 어

느 곳에서 원하는 상대방과 통신할 수 있는 다양한 모델의 위성통신 단말장치의 보급과 여러 종류의 통신위성 및 통신망 사업자의 참여로 더욱 저렴한 비용으로 위성통신을 이용할 수 있게 되었다.

현재 세계 조선업은 신에너지 사용, 레이저·특수선 등 고부가가치 선박의 수요 증대와 e-Navigation의 도입에 따른 통신 환경의 표준화 설계 등 선박 운항 전반에 걸쳐 첨단 기술의 수요가 급격하게 늘고 있는

* 한국해양대학교(Korea Maritime university)

· 제1저자 (First Author) : 정성훈

· 교신저자 (Corresponding Author) : 양규식, 정기룡, 박동국, 김정창

· 투고일자 : 2011년 11월 16일

· 심사(수정)일자 : 2011년 11월 16일 (수정일자 : 2011년 12월 21일)

· 게재일자 : 2011년 12월 30일

며, 첨단 개념인 스마트쉽, 디지털쉽 야드에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나 세계 해상 조난 및 안전제도(GMDSS: Global Maritime Distress and Safety System) [1],[2]가 시행된 이후 해상에서도 통신장비의 디지털화를 많이 진행하고 있지만, 데이터통신의 적용에 대한 국제표준은 아직도 구체화 되지 못한 실정이다.

GMDSS 적용 선박에 의무적으로 탑재되는 다양한 통신장비의 조난 긴급 및 안전통신을 방해하지 않으며, 해상 데이터통신 서비스를 위해 통신 매체별 통신비용, 처리율, 통신 속도 및 처리 가능한 서비스와 통신 가능 범위 등에 대한 성능 분석 및 평가를 통하여 e-Navigation의 원활한 수행에 적합한 해상 데이터통신 시스템을 제안하였다.

II. GMDSS와 e-Navigation 전략

2-1 GMDSS

해상에서의 통신은 육상과 달리 무선통신이 유일한 통신 수단으로 무선전신, 무선전화, MF/HF, VHF 및 Inmarsat 위성통신이 사용되어 왔으며, 현대화된 전자기술과 통신기술을 적용하여 보다 자동화되고 조작성이 쉽게 개선되어 왔다. 이에 따라 해상 이동통신 분야에도 신뢰성 있는 고품질의 통신에 대한 수요가 증대되어 GMDSS 도입을 위한 국제기구간의 협력과 연구개발이 이루어졌다.

GMDSS는 자동화된 전자통신 기술과 위성통신 기술을 선박의 조난 및 안전통신 업무에 도입한 것으로써 인공위성에 의한 통신 중계, 디지털 통신, 텔렉스 등의 새로운 기술을 이용한 가장 적합한 통신기술과 운용방법 및 절차 등 육·해상 통신시설을 구체화시키는 통합시스템을 마련하여 선박통신 시스템에 일대 변혁을 가져왔다. 따라서 국제 항해에 종사하는 모든 여객선과 총톤수 300톤 이상의 모든 선박이 1992년 2월 1일부터 1999년 1월 31일까지 신·구 시스템을 병행하며 단계적으로 도입되었으며, 1999년 2월 1일부터 전면적으로 시행되었다.

각국에서는 이 제도의 실행에 대비한 관계법의 개정, 육·해상 간의 통신기기의 개발 및 시설 보완, 통

신망 운용개선 등의 작업이 진행되었었다. 표 1에서의 GMDSS 적용 선박에 탑재해야 할 무선설비의 기준은 선박의 항해구역을 기준으로 규정하고 있으며, 일반적으로 VHF 전파 통달거리 이내의 연안 해역을 A1 해역이라 지칭하고, MF 전파 통달거리 해역을 A2 해역, 극지방을 제외한 위성통신이 가능한 해역을 A3 해역, 그리고 기타 극지방 해역을 A4 해역으로 분류하고 있다.

표 1. 해역에 따른 GMDSS 탑재 의무 통신설비
Table 1. Communication equipment of GMDSS

무선 설비	A1	A2	A3	A4
VHF용 DSC와 무선전화	○	○	○	○
MF용 DSC와 무선전화		○	○	
HF/MF용 DSC와 무선전화				○
Inmarsat B, C, F77			○	
NAVTEX 수신기	○	○	○	○
COSPAS-SARSAT 위성 EPIRB	○	○	○	○
VHF EPIRB	○			

2-2 e-Navigation

e-Navigation은 선박의 안전항해와 보안 및 해양환경보호를 위하여 선박이 항구에서 항구로 항해하는 동안 필요한 서비스를 지원하기 위하여 전자적 수단으로 선박과 육상의 해양 정보를 일관되게 수집, 통합, 교환하고 표시 및 분석하는 것을 말한다.

현재 IMO의 MSC[3] 산하 NAV[4]와 IALA[5], IEC 등은 IT선박 융합 기술을 도입한 표 2의 e-Navigation 전략 개발을 수립하고 2014년까지 확립을 위한 사업들을 활발히 추진하고 있다.

선박의 e-Navigation 도입을 위한 통신 환경의 변화와 이상적 목표는 GMDSS와 같이 안전한 항해가 우선이겠지만, 인간의 개입 없이 자동으로 처리할 수 있는 선박자동화 개념과 선박과 인명이 안전을 보장 받을 수 있는 신뢰성 있는 방법의 확보가 필요 할 것이다. 또한, 인간의 판단이 필요할 경우 이를 지원하기 위한 정보의 제공과 사고발생 시 선박이 취해야 할 후속조치를 자동으로 처리하고, 보다 빠른 대응을 위한 높은 신뢰도의 구조 요청 및 수색 수단이 제공되어야 한다.

표 2. e-Navigation 전략 개발

Table 2. e-Navigation development strategy

단 계	내 용	완성일
사용자 요구분석	- 초기사용자요구정의 완성(NAV 54/13, annex 5) - 세부요구사항 및 우선순위 등	2009
구 조	- 목적달성을 위한 H/W, S/W, 데이터, 정보 및 통신기술 포함	2009~2010
검 분석	- 소위원회에서 착수함: 기술적, 규정적, 운용 및 훈련 관점 분석	2010
원가/ 위험분석	- 안전, 보안 및 환경에 대한 충격 평가 - 재정적, 경제적 평가	2011
실현계획	- 관련기구의 책무 정의 - 천이계획(1단계 : 표준화/현존하는 기술사용/ 통합, 2단계 : Full Picture) - 로드맵(NAV 54/13/4 일본이 제시한 모형 인정)	2014

III. 제안된 시스템의 아키텍처 설계

3-1 시스템 아키텍처

GMDSS 통신 환경에서 제공하는 통신 매체들의 운용 시 어려움과 수동적 조작 등으로 인해 발생할 수 있는 인간의 조작 오류를 최소화하고 통신 시스템을 자동화 할 수 있도록 선박에 탑재된 가용한 모든 통신 장비를 통합·제어하도록 한다[6].

그림 1의 선박에 설치된 임베디드 시스템은 선내 망과 연결된 네트워크의 노드에 데이터통신을 수행하는 서버장치를 통해 선박과 육상 간, 선박과 선박 간 데이터통신을 수행한다. 통신 서버는 임베디드 시스템 기반으로 하드웨어 장치 내에 운용 소프트웨어인 통신 제어 모듈과 통신 서비스를 수행하는 에이전트를 포함한다.

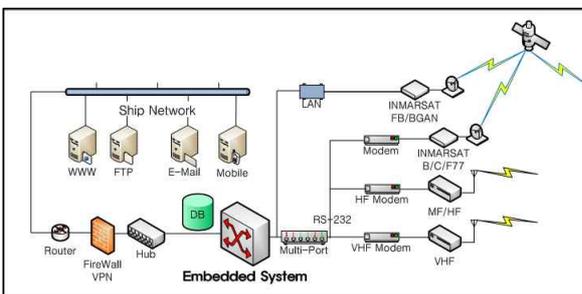


그림 1. 시스템 아키텍처
Fig. 1 System architecture

3-2 임베디드 시스템 서버 아키텍처

서버장치는 선내에서 발생한 트래픽을 육상으로 전송하기 위하여 연결된 MF/HF, VHF, 위성통신 등 다양한 통신매체와 대응하는 다수 개의 입출력 포트를 장착해야 한다. Inmarsat 위성통신 장치의 인터페이스는 이더넷 기반의 LAN 케이블을 사용한다. MF/HF, VHF 장치와 같이 SSB 모뎀 통신을 수행하는 장치는 통신 장비의 음성 채널을 데이터통신으로 변·복조하는 모뎀과의 입출력을 위한 인터페이스를 구성한다.

무선통신 설비의 경우 전체 전원부에 통신 장비 및 통신 케이블을 이용한 연결부와 실외 안테나 또는 더미 안테나(실험실 내 실험을 위한)로 구성한다. 그림 2는 무선 설비와 연결을 위한 인터페이스 설계로 전원을 공유하는 선박 서버의 경우 Inmarsat 무선 설비도 포함한다.

데이터통신 서비스를 수행할 소프트웨어는 통신 장치를 통합 관리하는 통신접속 제어 프로그램과 통신 서비스 관리 프로그램 및 환경 설정 관리 프로그램으로 구성된다. 통신접속 제어 프로그램은 접속된 통신 기기와 연동하며 실제 통신접속과 제어 서비스를 수행한다. 연결된 통신장비들을 최적화된 알고리즘에 따라 자동 스위칭하며, 통신장치의 연결 설정과 접속, 데이터의 송수신 등을 담당한다. 통신 서비스 관리 프로그램은 이메일, 정오 보고(Noon Report), 선박상태 정보 등의 데이터통신을 제공한다.

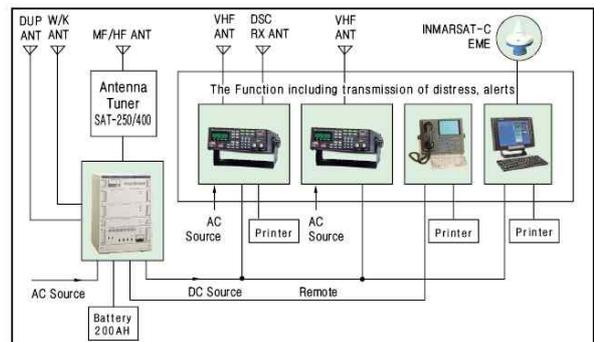


그림 2. 무선 설비 인터페이스
Fig. 2 Interface of radio equipment

3-3 통신 접속 및 서비스관리 아키텍처

선박과 육상 간 통신을 수행하는 통신접속 제어 프로그램과 통신서비스 관리자 프로그램의 아키텍처는 그림 3과 같다.

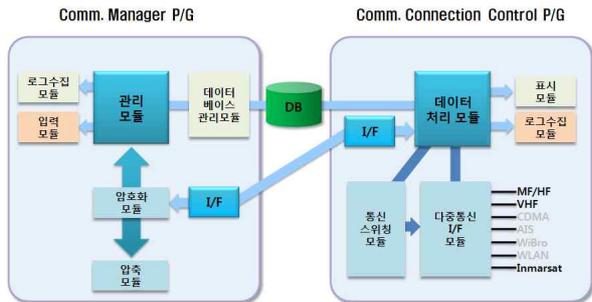


그림 3. 무선 설비 인터페이스
Fig. 3 Interface of radio equipment

왼쪽의 통신 서비스 관리자 프로그램은 사용자로부터 입출력을 수행하기 위한 입·출력 모듈과 암호화 및 압축 모듈, 데이터베이스 관리 모듈로 구성된다. 오른쪽의 통신접속 제어 프로그램은 통신서비스 관리자 프로그램과 데이터베이스를 공유하며 공통 인터페이스를 통해 연동된다. 외부포트로부터 입력되는 다양한 통신장비를 관리하는 다중통신 인터페이스 모듈과 가용한 통신장치를 식별하고 자동으로 최적의 스위칭을 하기 위한 모듈, 데이터처리모듈, 표시 및 로그수집 모듈 등으로 구성된다.

그림 4의 최적화를 위한 알고리즘은 소프트웨어 운용 시 상태 정보와 사용자의 선택에 따라 최적의 통신 스위칭을 수행한다. 알고리즘은 크게 선박의 위치에 따라 항구 정박, 연안 해역, 원양 해역으로 구분 처리되며, 우선순위에 따라 조난, 긴급, 안전, 일반으로 처리된다. 옵션별 사용자 선택에 따라 QoS, 비용 최적화를 수행하여 최적 통신매체와 후보군 통신장비 리스트를 확보한다. 결정된 최적의 결과에 따라 대기-큐(Wait-Queue)에 순서대로 나열된다. 각 통신장비는 실제 물리적 상태에 따라 통신이 가능한 상태인지 불가능한 상태인지를 파악하게 되며, 통신방식이 시리얼 통신인지 이더넷 통신인지, 해안국을 기반으로 하는 통신인지 식별하여 육상의 통신국과 통신 링크를 형성한다.

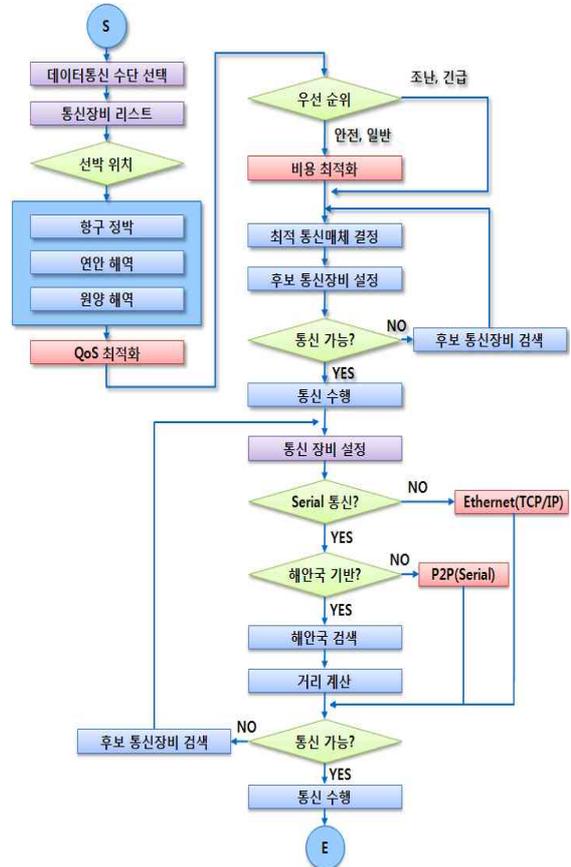


그림 4. 최적화 알고리즘
Fig. 4 Optimization algorithms

3-4 데이터베이스 아키텍처

데이터통신을 지원하는 서비스 관리자 프로그램과 통신 접속제어 프로그램에서 요구되는 각종 정보를 통합관리하기 위한 데이터베이스의 구성은 그림 5와 같이 선박과 육상 간 통신 시 발생하는 정보와 함께 저장 및 관리된다.

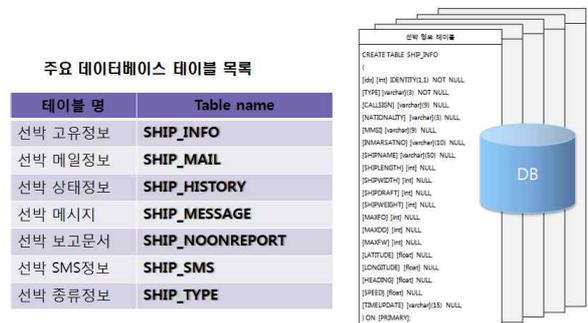


그림 5. 주요 데이터베이스 설계
Fig. 5 The design of the main database

IV. 제안된 시스템의 구현 및 실험

4-1 임베디드 시스템 통신 서버

선박통신 시스템은 그림 6과 같이 임베디드 시스템과 통신 인터페이스부로 구성되며, GMDSS 무선설비인 MF/HF, VHF와 AIS, GPS 등의 항해장비, 위성통신망을 이용하는 장치를 연결하여 통신 및 항해 데이터 값을 취득한다.

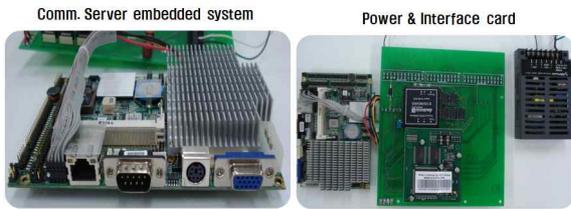


그림 6. 통신서버용 임베디드 시스템
Fig. 6 Embedded system of communications server

4-2 임베디드 서버용 통신 소프트웨어 구현

서버 시스템의 운영체제는 Embedded Windows XP를 탑재하였으며, 임베디드 시스템 소프트웨어 개발 도구는 MS Studio.NET 2008의 VC++.NET, C#.NET을 이용하였다.

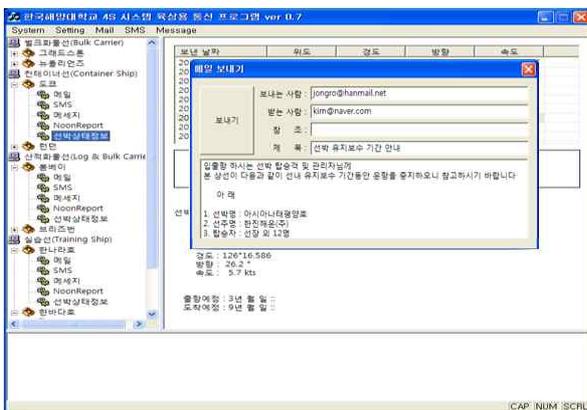


그림 7. 소프트웨어의 구현
Fig. 7 Implementation software

그림 7은 서비스 관리자 프로그램이며, 통신접속 제어 프로그램은 가용한 통신장비를 인식하여 최적의 알고리즘에 따라 통신 접속 제어를 수행한다. 통신 접속 제어가 이루어지면 통신 관리 서비스 프로그

램으로 통신 환경에 대한 설정과 데이터통신 서비스인 이메일, SMS 문자, 메시지 정보, Noon Report 정보, 선박 상태 정보 등을 송·수신하게 된다.

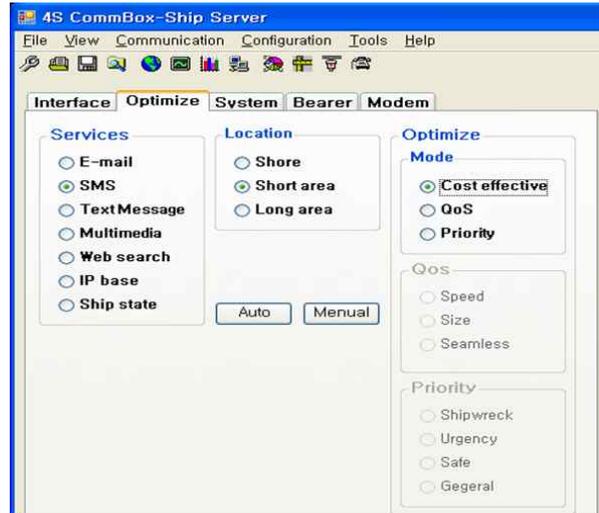


그림 8. 최적화 알고리즘의 구현
Fig. 8 Implementation of optimization algorithms

그림 8은 최적화 알고리즘의 옵션 탭으로 선택할 수 있는 서비스(Services)는 이메일, SMS, 텍스트 메시지, 멀티미디어, 웹 검색, IP기반 응용 프로그램, 선박상태정보이며, 선박의 위치(Location)는 정박 시, 인근해안 운항 시, 원양 운항 시로 구분한다. 최적화 방식(Optimize Mode)은 비용 최소화, 서비스 품질, 우선순위로 구분하며, 세부 옵션으로 서비스 품질(QoS)의 결정은 통신 속도, 데이터 크기, 끊김 없는(Seamless) 통신을 옵션으로 지정할 수 있다. 우선순위(Priority)는 조난, 긴급, 안전, 일반적으로 구분하여 설정할 수 있다.

4-3 실험 및 고찰

실험에 사용한 MF/HF 통신장비는 삼영ENC(주)의 SRG-3150D/DN 모델과 VHF용 STR-6000A 모델, 위성통신용 Inmarsat FB 500모델이며, MF/HF와 VHF에 사용된 모뎀은 SCS사의 PACTOR III 모델이다.

PACTOR 모뎀을 사용하는 VHF, MF/HF 장치의 통신 접속에 대한 신호 분석 데이터는 그림 9의 로그 정보로 모뎀 명령어를 비롯한 데이터 패킷, 제어 신호 등으로 구성된다.

```
[16:48:05:500 port ] COM5 (38400bps / using RequestToSend) Opened
[16:48:07:156 received] (30bytes)PTC-II System 68360/DSP-56303
[16:48:07:171 received] (11bytes) Version V
[16:48:07:171 received] (1bytes)3
[16:48:07:171 received] (11bytes)3B Level 3
[16:48:07:171 received] (25bytes) (C) 2003 SCS QmbH & Co
[16:48:07:171 received] (4bytes) KB
[16:48:07:187 received] (27bytes)2097152 bytes SRAM detected
[16:48:07:187 received] (12bytes)BIOS: Versio
[16:48:07:203 received] (3bytes)a 1
[16:48:07:203 received] (12bytes)90 detected
[16:48:07:203 received] (19bytes)FLASHCALL: *SCSPTC*
[16:48:07:234 received] (3bytes)74
[16:48:07:234 received] (12bytes)*** STBY >>
[16:48:07:234 received] (5bytes)cmd:
[16:48:11:140 received] (2bytes)?
[16:48:12:171 pinEven] No Carrier
[16:48:40:075 sent ] (4bytes)+++myc
[16:48:40:937 received] (14bytes)Mycall: >AAAAc
[16:48:40:937 received] (4bytes)cmd:
[16:48:53:671 sent ] (3bytes)ton
[16:48:53:734 received] (18bytes)*** AUDIO TONES: 4
[16:48:53:734 received] (5bytes)cmd:
[16:48:59:359 sent ] (3bytes)myl
[16:48:59:375 received] (27bytes)*** HIGHEST POSSIBLE FACTOR
[16:48:59:453 received] (14bytes) LINK LEVEL: 3
[16:48:59:453 received] (37bytes)*** LINK LEVEL OF ACTUAL/LAST LINK: 6
[16:48:59:453 received] (4bytes)cmd:
[16:49:05:734 sent ] (4bytes)pska
[16:49:05:750 received] (20bytes)PSK TX AUDIO PEAK LE
[16:49:05:828 received] (27bytes)VBL (PEAK-TO-PEAK, mV): 140
[16:49:05:828 received] (5bytes)cmd:
[16:49:08:296 sent ] (4bytes)fska
```

그림 9. 통신 신호 분석을 위한 로그 정보
Fig. 9 Log information for the analysis of communication signals

표 3의 실험 결과에 따르면 VHF 대역 통신은 통달 거리가 짧다는 문제와 MF/HF 대역 SSB 통신은 데이터통신으로 운용할 경우 현존하는 모뎀 기술로는 최대 3,600bps의 전송속도로 실제 테스트베드 환경에서는 통신 가능성이 매우 열악하며, 평균 100~200Baud의 낮은 전송 속도를 보였다. 이는 간단한 이메일이나 선박상태 정보, 단문 메시지를 취급할 수 있는 수준으로 멀티미디어 데이터를 처리하기에는 역부족이었다.

표 3. 실험 결과 분석

Table 3. Analysis of experimental results

통신매체	통달거리	통신속도	통신비용	적합업무
MF/HF	A2, A3	3,600bps 내외	없음	짧은 텍스트
VHF	A1이내	9,600bps 내외	없음	이메일
Inmarsat	전 해역	수Mbps	고비용	멀티미디어

V. 결 론

MF/HF, VHF 대역의 해상 데이터통신을 완전하게 운용하기 위해서는 무선접속 프로토콜, 권역설정과 해안국의 재배치, 항해중인 선박의 통합 DBMS 생성, 양호한 통신권 설정을 위한 육상 네트워크 제어 그리

고 MMSI 코드의 확장 등에 대한 많은 과제들이 해결되어야 한다. 또한 MF/HF의 경우 전파 특성상 주파수, 거리, 계절, 주야간, 시간대 등의 여러 가지 환경에 따라 선박국과 양호한 통신을 운용할 수 있는 해안국이 설정된다. 표 3과 같이 MF/HF 대역에서는 3,600bps 정도의 속도로 전송이 가능하므로 짧은 텍스트 메시지의 사용 가능성을 보이며, VHF 대역은 9,600bps 정도의 속도로 전송이 가능하므로 이메일 전송에 활용할 수 있다. 이와 같은 실험 결과는 MF/HF/VHF 대역을 사용하는 경우 저비용으로 국내 어선 및 요트 등에서 충분히 활용이 가능하다.

향후 과제로 MF/HF 및 VHF 대역의 육상에서 해상으로 통신설정 시에 해역에 따라 최적의 통신조건을 갖는 해안국에 무선링크를 설정하는 육상 네트워크 제어 기술에 대한 연구도 진행되어야 한다.

Inmarsat 위성통신의 경우 고비용의 단점만 극복한다면 전 해역대별 IP 기반의 멀티미디어 데이터 처리가 가능하였으며, 장비 보급의 활성화에 따른 통신비용도 낮아지고 있어 선내 트래픽을 충분히 수용할 수 있는 통신매체로써 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 부산테크노파크의 “지방과학연구단지육성사업 R&D 역량강화지원” 사업의 지원비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 정병홍, “선박의 범세계적인 조난안전시스템인 GMDSS의 운용 개념과 기술개발 현황”, *전자공학회지* 제24권 제10호, pp. 1250-1254, 1997.
- [2] 김선근, “GMDSS 도입에 따른 해안국 통신망 구성 및 운용개선에 관한 연구”, *한국해양대학교 해사산업대학원 석사학위논문*, 2002.
- [3] IMO MSC 81/23/10, “Development of an e-navigation Strategy”, *Maritime Safety Committee 81st Session Work Program*, pp. 1-6, 2005.
- [4] *ITU Matters, including radio communication ITU-R study group 8 matters*, IMO NAV 52/INF.2, pp. 1-12, 2006.

- [5] E-NAV Committee input to the IMO NAV Correspondence Group TOR on e-NAV, IALA, 2006.
- [6] 정성훈, 정기룡, 양규식, 황운택, "GMDSS 선박의 개선된 해상통신 시스템 연구", *한국모바일학회 추계학술대회*, vol. 8, no. 2, pp. 127-130, 2011.

정 성 훈 (鄭聖勳)



2002년 2월 : 동명정보대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2004년 2월 : 한국해양대학교
전자통신공학과(공학석사)
2007년 2월 : 한국해양대학교
전자통신공학과(공학박사)
2003년 3월~현재 : 부산경상대학교

멀티미디어계열 겸임교수
2010년 8월~현재 : 한국해양대학교 산업기술연구소
산학연구교수
관심분야 : e-navigation, 해상통신시스템, IT융합, ENC,
모바일 콘텐츠

양 규 식 (梁圭植)



1974년 2월 : 한국항공대학교
통신공학과(공학사)
1984년 2월 : 건국대학교
전자공학과(공학석사)
1991년 2월 : 건국대학교
전자공학과(공학박사)
1995년 3월~현재 : 한국해양대학교

공과대학 전자통신공학과 교수
관심분야 : e-navigation, 해상통신시스템, 안테나공학

정 기 룡 (鄭起龍)



1983년 2월 : 한국항공대학교
통신공학과(공학사)
1989년 2월 : 동아대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1997년 2월 : 동아대학교 대학원
전자공학과(공학박사)
1988년 3월~현재 : 한국해양대학교

해사대학 항해학부 교수
관심분야 : e-navigation, 해상통신시스템, 신호처리

박 동 국 (朴東國)



1987년 2월 : 부산대학교
전자공학과(공학사)
1989년 2월 : KAIST
전기및전자공학과(공학석사)
1994년 8월 : KAIST
전기및전자공학과(공학박사)
1996년 4월~현재 : 한국해양대학교

공과대학 전자통신공학과 교수
관심분야 : 안테나공학, 무선전력전송, 초고주파공학

김 정 창 (金廷昌)



2000년 2월 : 한양대학교
전자·전자통신·전과공학과(공학사)
2002년 2월 : 포항공과대학교
전자컴퓨터공학부(공학석사)
2006년 8월 : 포항공과대학교
전자컴퓨터공학부(공학박사)
2010년 9월~현재 : 한국해양대학교

공과대학 전자통신공학과 전임강사
관심분야 : MIMO, OFDM, 디지털 통신시스템 설계, 통신공학