

# 개정된 IMO 요건을 만족하는 AIS-EPIRB 설계에 관한 연구

박청룡\*

\*국립목포해양대학교 국제교류본부 팀장

## Study on AIS-EPIRB Design that Satisfies Revised IMO Performance Requirements

Chong-Lyong, Pag\*

\*Team leader, Office of International Exchange, Mokpo National Maritime University

**요 약** : 최근 선박자동식별장치의 활용이 증대되어 국제항해에 종사하는 선박을 대상으로 하는 종별 A AIS와 함께 국내 연안을 항행하는 소형선박의 안전을 위한 종별 B AIS, 항로표지용 AtoN AIS, 수색·구조 항공기용 AIS, AIS-SART(AIS 기술을 사용하는 수색·구조용 트랜스폰더) 등이 세계적으로 널리 보급되었다. 이에 따라 2022년 국제해사기구(IMO)의 해상안전위원회(MSC)에서는 위성비상위치지시용무선표지설비(EPIRB)의 성능 기준을 개정하여 그동안 호밍신호로 사용되어 왔던 항공기용 121.5MHz 신호와 함께 AIS 신호를 호밍신호로 함께 사용하도록 권고하게 되었고 2022년 7월 1일부터는 개정된 성능기준을 만족하는 AIS-EPIRB가 기존의 EPIRB를 대체하도록 결정하였다. 본 논문에서는 아직 국내에서 개발되지 않은 AIS-EPIRB에 대한 구현 가능성을 검증하기 위해 AIS를 위한 하나의 전용 칩셋을 활용하여 161.975MHz 와 162.025MHz의 주파수 발생과 GMSK 변조를 추가 구현하여 요건에 만족하도록 하였다.

**핵심용어** : 선박자동식별장치, 위성비상위치지시용무선표지설비, 호밍 신호, 주파수 발생, GMSK 변조

**Abstract** : Recently, there has been an increase in the use of Automatic Identification Systems. Class A AIS is used for ships engaged in international voyages, while Class B AIS is utilized for smaller vessels navigating domestic coastlines. AtoN AIS is used for aids to navigation, AIS is employed for search and rescue aircraft, and AIS-SART is widely used worldwide. Accordingly, in 2022, the Maritime Safety Committee(MSC) of the International Maritime Organization(IMO) revised the performance standards for the satellite emergency positioning radio beacon(EPIRB) to include AIS signals along with 121.5 MHz for aircraft, which has been used as a homing signal. It was recommended to use together as a homing signal, and from July 1, 2022, it was decided that AIS-EPIRB that satisfies the revised performance standards will replace the existing EPIRB. Consequently, starting from July 1, 2022, it was decided that AIS-EPIRB, which meets the revised performance standards, will replace the existing EPIRB. This paper aims to verify the feasibility of implementing AIS-EPIRB, which has not yet been developed domestically. To achieve this, a dedicated chipset for AIS was used to additionally implement frequency generation of 161.975 MHz and 162.025 MHz and GMSK modulation to satisfy the requirements.

**Key words** : Automatic Identification System, Satellite Emergency Position Indicating Radio Beacon, Homing Signal, Frequency Generation, GMSK Modulation

### 1. 서 론

최근 해상분야에서 선박자동식별장치(AIS) 및 AIS를 활용한 다양한 응용장치의 이용이 급격하고 증가하고 있다. AIS는 시분할다중화접속(Time Division Multiple Access)기술을 기반으로 제한된 해상 주파수 자원을 효율적으로 활용할 수 있는 기술로 인지되고 있다. AIS는 해상이동업무용 초단파 주파수 중에 161.975MHz와 162.025MHz의 두 채널을 통해 최대 4,500개의 슬롯을 할당할 수 있으므로 다수의 해상 이동무선국이 동시에 정확도 및 무결성 상태정보를 포함하는 자선의 위치, 송신 시간, COG(Course over ground), SOG(Speed over ground), 선수방위 등과 같은 동적인 정보, 해상이동업무용 식별부호, 선명, 자선의 선종, 호출부호, 선박의 크기 등과 같은

정적인 정보 및 화물의 종류, ETA(도착예상시간), 목적지 등의 항해 관련 정보를 공유할 수 있게 한다. 이에 따라 과거 레이다와 같은 항해장비가 자선을 중심으로 주변선박의 위치만을 파악해 자선과의 거리와 방위를 계산하던 항해 기법에서 나아가 약 2,000년 경부터 도입이 시작된 AIS의 도입을 통해 전자해도와 연계하여 좀 더 디지털화되고 자동화된 방식으로 CPA(Closest Point Approach)와 TCPA(Time to CPA)를 계산하고 주변 선박의 예상항로를 예측할 수 있게 함으로써 선박 충돌방지와 해양환경보호 등에 많은 영향을 미치게 되었다(Son, 2010).

우리나라의 경우, 국제항해에 종사하는 선박은 Class A AIS의 설치가 의무화되었을 뿐만 아니라 어선과 같은 국내 항해에 종사하는 소형선박도 10톤 이상에서 2톤 이상으로 접

\* 정회원, radio@mmu.ac.kr 061)240-7401

진적으로 탑재 의무를 확대해 나가고 있다(MOF, 2017). 이 외에도 주요 항만에 설치된 등대, 등부표 등에서도 AtoN(Aids to Navigation) AIS를 설치되었고 전국적으로 AIS를 통한 선박을 모니터링하기 위한 해안무선국도 촘촘히 구축됨에 따라 전국 연안 어디에서나 AIS가 탑재된 모든 선박의 위치를 확인할 수 있게 되었다(Park, 2022).

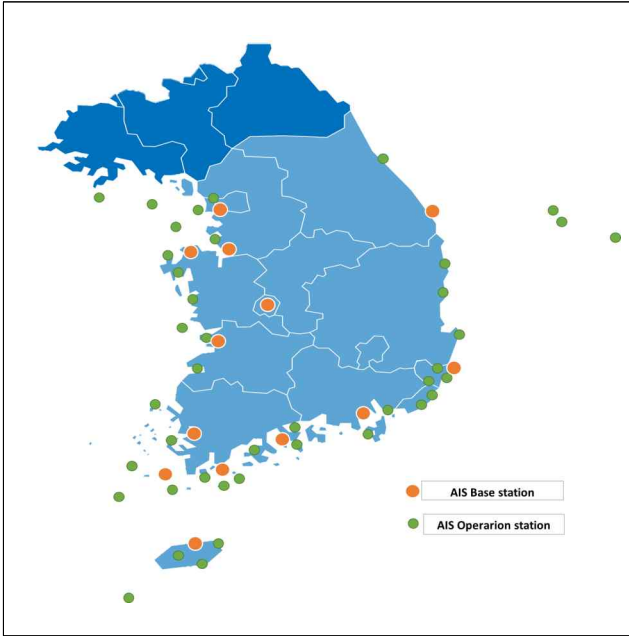


Fig. 1 AIS Base Station in Korea

이러한 AIS의 확대 보급에 따라 기존 Cospas-Sarsat 위성을 통한 선박의 조난통신 시스템인 EPIRB에도 변화가 일어나게 되었다.

기존 EPIRB는 406MHz의 조난신호와 함께 항공기 호밍신호로서 121.5MHz 신호만이 함께 제공되었는데 개정된 EPIRB의 요구사항에는 121.5MHz의 호밍신호와 함께 AIS 신호를 함께 송출하도록 규정하게 된 것이다. 이를 통해 조난신호의 검출 확률을 높일 수 있고 또한 위성 조난신호 수신 후에 수색구조에서도 쉽게 조난 선박의 위치를 찾을 수 있을 것으로 기대할 수 있게 된 것이다(NCSR, 2019).

최종적으로 국제해사기구(IMO)의 해사안전위원회(MSC)에서는 MSC.471(101)을 통해 AIS의 호밍신호가 포함된 개정된 EPIRB의 성능기준을 결의하게 되었고 이 결의안에 따라 2022년 7월 1일 이후 설치되는 EPIRB는 개정된 성능기준안을 만족하도록 요구하고 있다.

본 논문에서는 개정된 EPIRB의 성능요건에 따른 기존 EPIRB의 성능요건을 분석하고 추가된 AIS의 기능을 구현할 수 있는 방안을 검토하였다.

## 2. AIS-EPIRB의 국제 성능규정 분석

### 2.1 소개

AIS-EPIRB의 성능기준은 MSC.471(101)에서 포괄적으로 규정하고 있으나 406MHz 위성 조난신호에 관한 내용은 Cospas-Sarsat C/S T.001 또는 2세대 비콘 규정인 C/S T.018을 따르도록 규정하고 있다. 현재 국내에서는 기존의 C/S T.001의 1세대 비콘에 대한 기술을 확보하고 있으므로 본 논문에서는 C/S T.001과 MSC.471(101)만을 분석하고 이를 구현하는 방안을 검토해 보았다.

### 2.2 Cospas-Sarsat C/S T.001 요건<sup>1)</sup>

- 1) 반복 주기 : 47.5s~52.5s 이내
- 2) 전체 전송 시간 : 520ms±1%(위치정보 포함) 이내
- 3) 비변조 반송파 전송시간 : 160ms±1% 이내
- 4) 디지털 메시지 : 360ms±1%의 시간 내에 144bit의 메시지가 400bps±0.1% 전송속도를 가질 것.

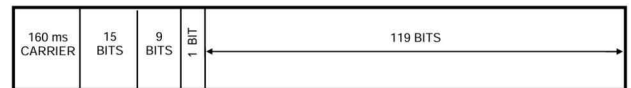


Fig. 2 Satellite Distress Signal Composition of AIS-EPIRB

- 5) 비트 동기: “1”로 구성된 15 bits
- 6) 프레임 동기: “000101111”의 9 bits
- 7) 단문 및 장문 메시지 구분: “1” (위치포함 장문)
- 8) 송신 주파수 : 406.031MHz(C/S T.012에 따라 2016년 1월 1일부터 2025년 7월 1일까지 사용할 수 있는 1세대 비콘 주파수)

- 반송파 주파수 안정도: 406.031MHz ± 1kHz 이내

$$f_o = f^{(s_i)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i^{(s_i)} \quad (n=18)$$

- 단기 주파수 안정도: <math>2 \times 10^{-9}</math>

$$\sigma_{100ms} = \left\{ \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_i^{(s_1)} - f_i^{(s_2)}}{f_i^{(s_2)}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (n=18)$$

- 중기 주파수 안정도:  $A, B < 1 \times 10^{-9}$ ,  $\sigma < 3 \times 10^{-9}$

$$A(t_n) = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i f_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n f_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (n=18)$$

1) Cospas-Sarsat Secretariat(2023), “Specification For Cospas-Sarsat 406MHz Distress Beacons”, C/S T.001, Issue 4-Revision 11, pp. 2/1-2/9.

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \sum_{i=1}^n t_i^2 - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n t_i f_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (n=18)$$

$$\sigma(t_n) = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - At_i - B)^2 \right\}^{1/2} \quad (n=18)$$

- 장기(5년간) 주파수 안정도: < +2kHz ~ -5kHz

송신주파수의 측정에서 반송파 주파수는 Fig. 3의 전원을 인가하고 12ms가 경과된 무변조 반송파가 전송되는 S<sub>1</sub> 구간에서, 단기 주파수 안정도는 변조된 반송파가 전송되는 S<sub>2</sub> 및 S<sub>3</sub>에서 15ms 이내의 S<sub>3</sub> 구간에서 측정하여 값을 산출한다.

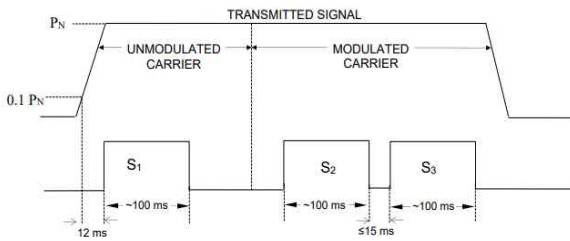


Fig. 3 Definition of Measurement Interval of AIS-EPIRB

- 9) 송신기 출력: 35dBm ~ 39dBm 이내
- 10) 안테나 특성:
  - 편파: 원형 편파(RHCP) 또는 선형 편파일 것
  - 이득: -3dBi ~ 4dBi 이내
  - 전압정파비: < 1.5 : 1
- 11) 스퓨리어스 방사 : 다음 스펙트럼 마스크 이하일 것

$$f_c \pm 3kHz : < 0dBc$$

$$f_c \pm 3kHz \sim f_c \pm 7kHz : \leftarrow 20dBc$$

$$f_c \pm 7kHz \sim f_c \pm 12kHz : \leftarrow 30dBc$$

$$f_c \pm 12kHz \sim f_c \pm 24kHz : \leftarrow 35dBc$$

$$f_c \geq 24kHz : -40dBc$$

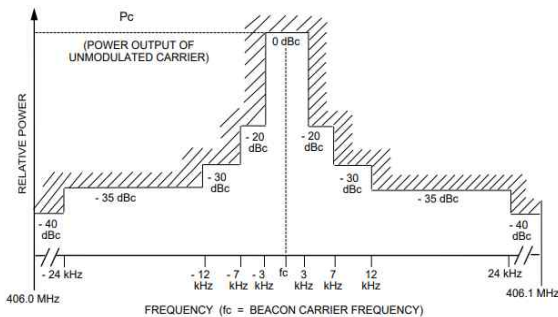


Fig. 4 Spurious Emission Mask for 406MHz Band

- 12) 데이터 엔코딩 : Bi-phase L 방식을 취할 것

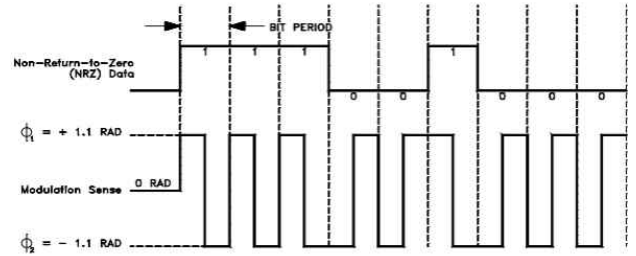


Fig. 5 Data Encoding and Modulation Sense

- 13) 변조: 1.1 ± 0.1라디안 이내
- 14) 변조 파형 상승 및 하강시간:  $\tau_R, \tau_F = 150 \pm 100\mu s$
- 15) 변조 대칭성:  $\frac{|\tau_1 - \tau_2|}{\tau_1 + \tau_2} \leq 0.05$

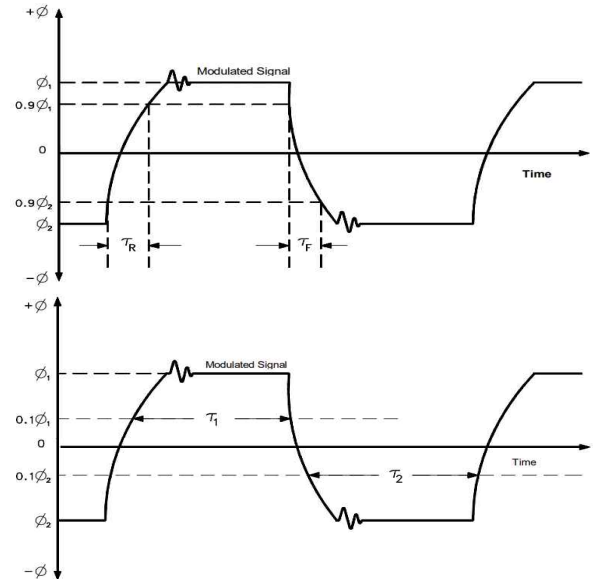


Fig. 6 Definition of Modulation Rise/Fall time, Symmetry

- 16) 연속 송신에 대한 보호 기능 확인
- 17) 자가 진단 기능 확인

### 2.3 MSC.471(101) 요건<sup>2)</sup>

- 1) 오조작 방지를 위한 적절한 수단 제공이 요구됨.
- 2) 수심 10m에서 5분간 방수 및 45°C의 열충격에 방수
- 3) 자율 부상 후에 자동 동작이 요구됨.
- 4) 신호가 발사되는 것을 나타내는 표시기를 가질 것.
- 5) 수동 작동 및 중지 기능을 가져야 함.
- 6) 모든 해상환경에서 직립할 수 있는 부력을 가질 것.
- 7) 위성을 사용하지 않고 시험할 수 있는 기능을 갖출 것.
- 8) 20m 높이에서 물에 떨어뜨릴 때 견딜 수 있을 것.

<sup>2)</sup> IMO MSC(2019), "Performance Standards For Float-Free Emergency Position Indicating Radio Beacons(EPIRBs) Operating On 406MHz", MSC471(101), Annex 24, pp. 3-7.

- 9) 황색/주황색의 색상이고 반사재가 부착될 것.
- 10) 부력이 있는 끈이 연결될 것.
- 11) 0.75cd 이상 밝기의 표시기가 부착될 것.
- 12) 해수나 오일에 영향을 받지 않는 재료로 구성될 것
- 13) 121.5MHz 호밍신호를 가질 것.
- 14) 위성항법수신기를 내장하고 수신시 표시할 것.
- 15) AIS 위치 신호를 제공할 것
- 16) 배터리는 최소 48시간 이상 동작할 수 있는 용량을 가질 것
- 17) -20℃ ~ +55℃에서 동작하고 -30℃ ~ +70℃ 사이에 보관할 수 있을 것.
- 18) 결빙이나 상대 풍속 100노트에서도 동작할 수 있을 것.

할 수 있게 된 것이다.



Source : C/S G.003, Cospas-Sarsat, 2022  
Fig. 8 Improved Cospas-Sarsat System including MEOSAR

### 3. AIS-EPIRB의 구현 방안

#### 3.1 기존 EPIRB의 활용

AIS-EPIRB는 Cospas-Sarsat의 성능 규정인 C/S T.001의 단일 주파수를 사용하는 1세대 비콘 성능 규정 또는 C/S T.018의 스프레드 스펙트럼을 사용하는 2세대 비콘의 성능 규정을 따르도록 요구하고 있다.

2장의 내용을 통해 개정된 AIS-EPIRB의 성능 기준은 기존 1세대 비콘에 대한 C/S T.001의 규정을 따를 때, EPIRB의 성능 기준에 AIS의 신호가 추가되는 것을 제외하고는 차이가 없는 것으로 파악되었다.

따라서 본 논문에서는 기존 EPIRB로 구현된 회로를 그대로 적용하고 AIS의 기능을 추가하는 방안을 검토하였다.

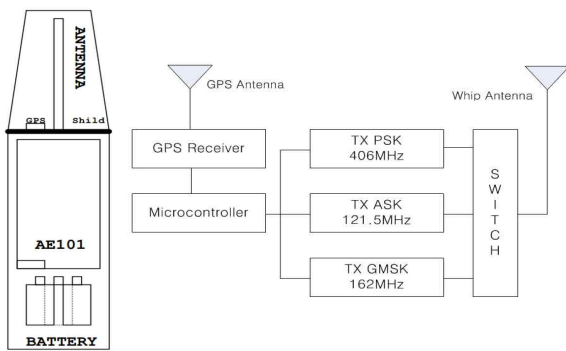


Fig. 7 Existing domestically produced EPIRB

비상위치조난 송신기의 성능을 제외한 Cospas-Sarsat 시스템의 또다른 변화는 저고도 수색구조(LEOSAR)와 정지궤도 수색구조(GEOSAR)와 함께 2023년부터 중고도 수색구조(MEOSAR)가 적용된다는 것이다.

MEOSAR에 GPS, Glonass, Galileo 등 위성항법시스템이 참여하여 위성신호지연을 개선하고 좀 더 정확한 위치정보를 제공할 수 있게 됨으로써 수색구조의 시간을 획기적으로 단축

Cospas-Sarsat의 시스템 문서를 통해 2022년 12월 31일 기점으로 5기의 LEOSAR 시스템을 위한 저궤도 위성이 동작하고 있으며, GEOSAR 위성은 전체 16기 중 2기의 시험위성과 2010년 이전에 발사되어 동작이 멈춘 3기의 위성을 제외한 11기의 정지궤도 위성이 운용되고 있다(Cospas-Sarsat, 2022).

MEOSAR 시스템을 위한 중고도의 GPS 위성 총 22기, Galileo 위성은 28기, Glonass 위성 3기와 BDS 위성 6기 중 완전 운용 중인 위성은 52기이다.

#### 1) 위성 조난신호를 위한 국부 발진

C/S T.012의 주파수 관리 계획에 따라 현재 적용할 수 있는 주파수는 406.031MHz로 식별되었고, 이를 구현하기 위해서는 5년간 +2kHz~-5kHz의 범위 이내의 변위를 가진다는 검증 데이터를 제공해 줄 수 있는 오실레이터를 적용해야 한다.

오실레이터의 주파수는 국부 발진 주파수를 32배배하여 406.031MHz의 주파수를 만들 수 있도록 12.688468MHz의 오실레이터를 선택할 수 있고, 이는 Fig. 9와 같이 오실레이터의 제조사가 Cospas-Sarsat 사무국에 제시한 데이터로 적어도 20개의 샘플에 대해 6개월 기간 동안 4 ~ 6주마다 측정하여 중기 주파수 안정도를 측정 후 이를 통해 5년이 지났을 때 최소 -0.255Hz의 주파수 변화를 일으키는 것으로 예측되었다.

MEDIUM TERM FREQUENCY STABILITY(MTS) - 5-YEAR PREDICTION		
Maximum	-0.042	
Minimum	-0.255	
Mean	-0.120	
Standard Deviation	0.060	
Upper Spec. Limit	4.925	
Lower Spec. Limit	-12.315	
	2 Sigma (95% Conf.)	3 Sigma (99% Conf.)
Calc. Max. Value	0.000	0.059
Calc. Min. Value	-0.239	-0.298
Cpk (Upper)	n/a	28.250
Cpk (Lower)	n/a	68.296

Fig. 9 Mid-Term Frequency Stability-5 Year Prediction

#### 2) PLL(Phase Lock Loop) 구현



국부 발진 주파수의 생성된 12.68846875MHz 신호는 VCO의 발진 주파수가 32배 체배기(Prescaler)를 거치면서 위상 비교를 통해 전압으로 검출된  $V(t)$ 를 다시 VCO로 입력하여 중심 주파수가 항상 일정하게 구성한다.

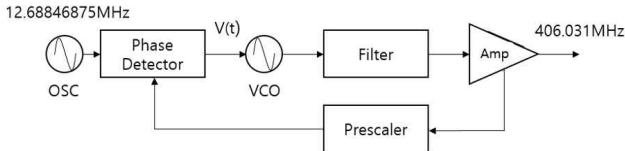


Fig. 10 406.031MHz Phase Lock Loop

3) 위성항법 수신기 구현

AIS-EPIRB의 위치정보를 송신 메시지에 실기 위해서는 GPS 안테나가 통합된 통합 수신기를 적용할 필요가 있다. 이를 통해 획득한 위치정보는 NMEA0183의 프로토콜 데이터로 마이크로프로세서에 입력되게 된다. 통합 GPS 수신 칩셋의 선택에 있어서 향후 일어날 수 있는 Galileo 위성 회선 링크 기능을 고려하여 GPS의 L1 신호, Galileo의 E1-B/C 신호, Glonass의 L1, 중국 북두위성의 E11 등의 신호를 동시에 추적할 수 있는 칩셋을 선정하였다.

선택된 MAX-M8 모듈은 회선 링크 메시지를 수신하여 디코딩 기능을 제공할 뿐 아니라 위성 기반 보정 서비스인 SBAS와 호주 및 일본 기반 태평양 지역 위성 위치보정 시스템인 QZSS를 수신하여 위치정보를 보정하는 기능을 가진다.

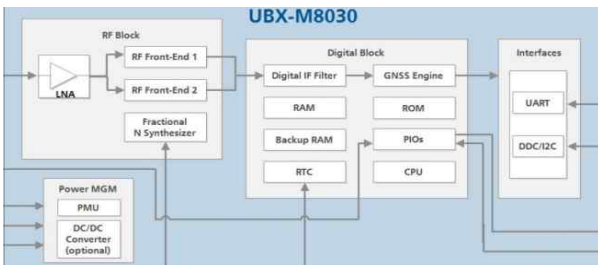


Fig. 11 Integrated GPS Receiving Chipset block diagram

4) 406MHz 위성 조난신호의 프로토콜 구현

표준 C/S T.001의 장문 메시지 프로토콜을 적용하고 MMSI(Maritime Mobile Service Identification)을 입력할 수 있는 표준위치 프로토콜을 적용하였다.

Table 1 406MHz Satellite Distress Long Message Contents

Bit No.	First Protected Data Field				BCH-1	Second Protected Data Field	BCH-2
	Format Flag	Protocol Flag	Country Code	Identification	21-Bit BCH Code	Supplementary	12-Bit BCH Code
	25	26	27~36	37~85	86~106	107~132	133~144
	1 bit	1 bit	10 bits	49 bits	21 bits	26 bits	12 bits

여기서 비트 동기 필드의 15 bits는 “111111111111111”으로 구성하고 프레임 동기화 패턴의 9 bits는 정상 작동에서는 “000101111”을 사용하고, 자체테스트 모드에서는 “011010000”을 사용한다.

포맷 플래그 필드의 1 bit는 위치정보가 포함된 장문 메시지 프로토콜을 사용할 것이므로 “1”을 사용하고 프로토콜 플래그 필드 1 bit는 표준 위치 프로토콜과 국가 위치 프로토콜 및 회선링크 위치 프로토콜을 사용할 것이므로 “0”으로 구성하였다.

국가코드 및 식별부호는 먼저 국가코드 3자리를 10 bits에, 각국의 주관청에서 할당하는 나머지 6자리 코드는 24 bits에 BCH 코드변환을 통해 입력하도록 구성된다.

위도/경도의 위치 정보는 먼저 21 bits로 구성된 필드에 북위/남위 및 동경/서경을 구분하는 구분자와 4도 단위의 기본 위치를 통합 GPS 수신기에서 획득한 정보를 입력하도록 구성하였고 보강 데이터 필드 26 bits에 기준 위치로부터의 차이에 해당하는 델타 값을 4초 단위로 입력받을 수 있도록 구성된다.

3.2 통합 AIS-EPIRB를 위한 회로 추가

1) 변조기 구현

406MHz의 위성 조난주파수는  $1.1 \pm 0.1\text{rad}$ 의 위상편차가 적용되고 AIS신호는 GMSK(Gaussian Filtered Minimum Shift Keying)변조가 적용되어야 한다. 121.5MHz는 진파 규칙(Radio Regulation) 부속서 15의 기술 특성에 따라 A3E의 양측파대를 사용하는 진폭변조가 적용된다.

다양한 변조기의 구현을 위해 아래 그림 Fig. 13과 같이 Texas Instrument사의 LMX2571 칩셋을 활용할 수 있다.

AIS의 경우, 가우시안 필터가 적용된 MSK(Minimum Shift Keying)변조를 위해 가우시안 필터는 마이크로프로세서에서 디지털로 구현하고 MSK 변조는 LMX2571에서 제공하는 FSK I2S 모드를 사용해 8-array FSK 방식을 통해 대체될 수 있다.

위성 조난신호의 경우, 마이크로프로세서에서 생성된 144 bits의 장문 메시지는 Bi-phase-L의 신호레벨 형태로 구성되며 송신시간 520ms 기간 동안 무변조 송신 160ms를 제외한 360ms 동안 위상 변조기로 변조신호가 입력된다.

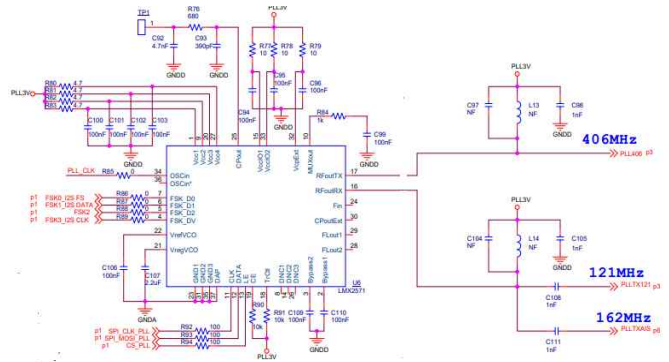


Fig. 12 Phase and GMSK modulation Circuit Drawing

2) 증폭기 구현

1.1 ± 0.1rad의 위상 변조된 406.031MHz 신호는 Cospas-Sarsat의 저궤도/중궤도/정지궤도 등의 위성까지 신호가 도달하기 위해 단말기에서의 출력은 37dBm ± 2dB를 유지해야 한다. AIS 신호는 30dBm ± 1dB의 출력을 가져야 하고, 121.5MHz는 20dBm 정도의 출력을 구현하는 것으로 설계하였다.

406.031MHz의 위성 조난신호의 경우, 변조신호에서 나오는 5 dBm의 신호레벨을 중간 증폭단에서 +17dBm으로 증폭하고 중단 증폭기에서 20dB를 추가 증폭하여 37dBm을 출력할 수 있도록 구성하였고 121.5MHz는 같은 5dBm의 입력신호를 중단 증폭없이 20dBm의 신호로 드라이버 앰프에서 직접 증폭하여 출력할 수 있도록 설계하였으며, 161.975MHz와 162.025MHz의 AIS 신호는 LMX2571 칩셋의 출력 레벨이 MSK변조를 통해 평균 전력으로 2dBm의 낮은 신호로 입력되어 RF5110G의 전용 증폭기를 Fig. 13과 같이 추가하였다.

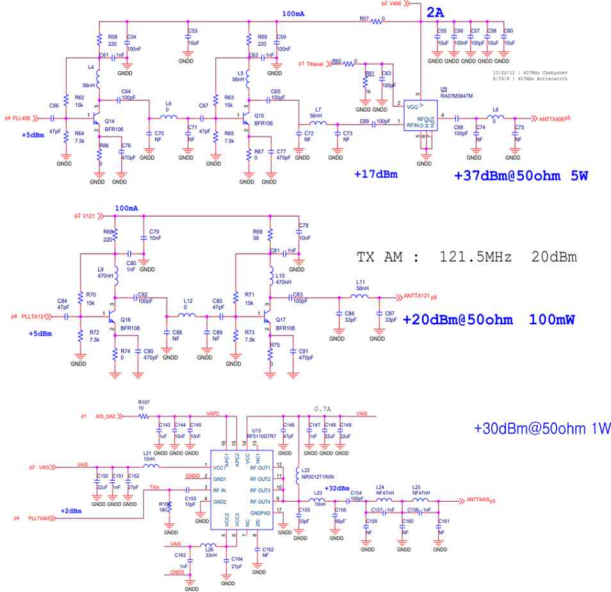


Fig. 13 Power Amplifier Circuit Drawing

3) AIS 메시지 프로토콜 구현

AIS 시스템을 활용하여 데이터를 주거나 받을 시에는 시분할다중화접속 링크에 접속하여야 하므로 GPS를 기반으로 하는 동기 신호에 맞춰야 한다. ITU-R M.1371의 AIS 표준문서에서는 일반적인 AIS 동작과는 차이가 있는 버스트 전송에 관한 규정을 포함하고 있다.

AIS-EPIRB에 포함된 AIS 송신기는 수신기가 포함되지 않으므로 VHF 데이터 링크를 확인하는 과정은 생략된다. 따라서 초기화되면 1분이 경과한 후에 송신기는 네트워크로 진입하고 자신의 스케줄에 따라 전송을 시작한다.

네트워크 진입 단계 동안에 AIS-EPIRB의 AIS 송신기는 다른 주변 장치가 자신을 볼 수 있도록 전송을 위한 첫 번째 슬롯을 선택해야 한다. 공칭 시작 슬롯(Nominal Start Slot)은

현재 슬롯과 공칭 증가(Nominal Increment) 사이에서 랜덤하게 선택되고 이 슬롯은 첫 프레임 단계에서 공칭 슬롯을 선택할 때 기준이 된다. 처음 NS는 항상 NSS와 동일하다.

공칭 전송 슬롯(Nominal Transmission Slot)은 선택 간격 내의 후보 슬롯들 사이에서 랜덤하게 선택되고 AIS 송신기는 프레임 맵에서 NTS가 다가올 때 첫 프레임 단계로 진입한다.

1분의 간격에 해당하는 처음 프레임 동안에 AIS-EPIRB의 AIS 송신기는 전송 슬롯을 계속해서 할당하고 ITDMA (Incremental TDMA)를 사용해서 위치보고(표준메시지 1번)를 전송한다. 1분의 간격이 경과될 때, 초기 전송이 할당 완료되어야 하고 작업이 시작되면 한 프레임 이후에 모든 할당이 이루어졌을 때, 더 이상의 할당이 이루어지지 않는 것으로 나타내도록 마지막 전송의 오프셋은 “0”으로 설정된다.

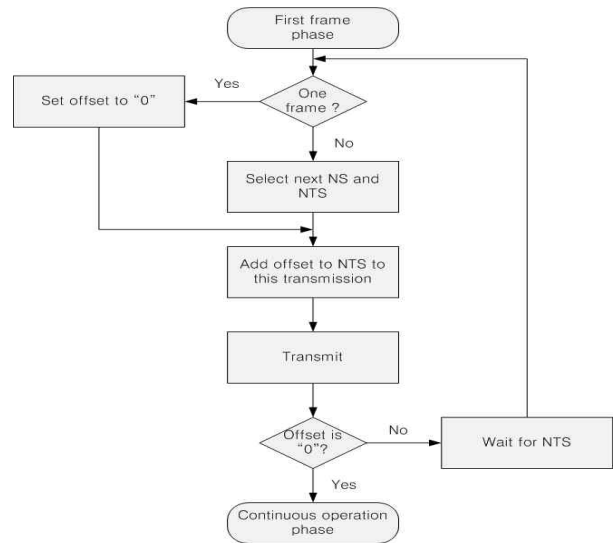


Fig. 14 AIS Transmitter Operation Flow Chart

송신 이전에 다음 NS(Nominal Slot)가 선택되어야 하고 이것은 채널에서 지금까지 수행된 전송 수를 추적하여 수행되어야 한다.

첫 프레임 단계에서 모든 전송은 ITDMA 접속구조를 사용한다. 이 구조는 현재 전송에서 전송이 발생할 다음 슬롯까지의 오프셋을 포함한다. 전송 또한 플래그를 유지하도록 설정함으로써 수신국이 하나의 추가적인 프레임에 대해 점유된 슬롯을 할당하도록 설정한다.

스케줄된 위치보고는 ITDMA 패키지로 입력되고 할당된 슬롯으로 전송된다. 이 슬롯의 슬롯 타임아웃은 하나씩 감소한다. 이후 오프셋이 “0”으로 설정되면 첫 프레임 단계가 종료된 것으로 간주된다. 오프셋이 “0”이 아니라면 장치는 다음 NTS를 기다리고 시퀀스를 반복한다.

연속동작 단계에서는 종료될 때까지 동작을 유지한다.

AIS의 전송은 내장된 GPS 수신기를 통해 획득한 정보를 기반으로 하는 국제표준시(UTC) 직접동기가 적용된다. UTC를

기반으로 송신 시간 오차는  $\pm 312\mu\text{s} (\pm 3 \text{ bits})$ 이내이어야 한다.

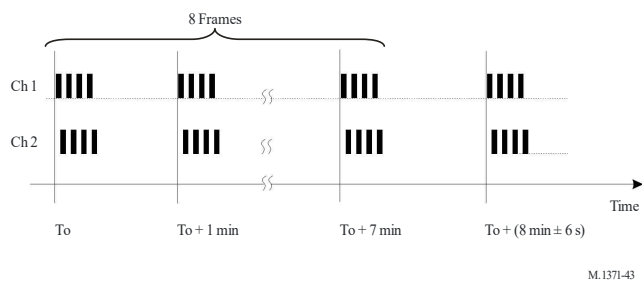


Fig. 15 AIS Burst Transmission

Fig. 15에서와 같이 메시지의 처음 버스트의 첫 슬롯은 랜덤 선택으로 자신의 전송스케줄을 결정하고 처음 버스트 내의 나머지 7개의 슬롯은 첫 메시지 슬롯을 기준으로 75 슬롯 간격으로 고정되며 161.975MHz의 채널과 162.025MHz의 채널을 교차하면서 전송된다.

AIS-EPIRB의 접속구조의 한 부분인 메시지의 데이터 패킷은 다음 Fig. 16과 같은 구조를 가진다.

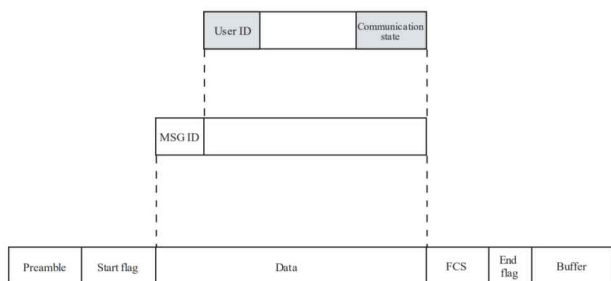


Fig. 16 ITDMA Message Structure

여기서 Preamble은 NRZI의 개정된 비트 패턴 방식으로 “01010101010...”으로 구성되고 시작 플래그는 “01111110(7Eh)”로 구성한다.

데이터는 기본 전송 패킷에서 168 bits로 ITU-R M.1371의 데이터 링크 계층 요구사항을 만족하도록 구성해야 한다.

프레임 체크 시퀀스(FCS)는 16 bits 다항식을 통해 계산되고 각각의 메시지는 상부에서 하부까지 열거된 변수 필드의 표를 사용한 연속동작 단계에서는 종료될 때까지 동작을 유지한다.

### 3.3 통합 AIS-EPIRB의 운용

#### 1) 전송 스케줄

1.1 ± 0.1rad의 위상변조가 적용되는 406MHz의 위성 조난신호는 160ms의 무변조반송파 송신신호 전송시간과 144 bits의 전송에 소요되는 360ms의 시간을 합하여 520ms의 시간이 소요된다.

또한 위성 조난신호는 동시에 두 대 이상의 송신기가 작동하여 동기되는 것을 피하기 위하여 47.5s~52.5s 사이에 랜덤

하게 반복되도록 구성되어야 한다.

가장 우선되어야 하는 위성 조난신호를 매 50s 간격으로 배치하고 다음으로 121.5MHz의 항공기 호밍신호를 50% 이상의 듀티 사이클로 전송 스케줄을 구성한다. 50%의 듀티 사이클의 구성 방법은 1.125s 동안 켜지고 1.125s 동안 휴지하는 방식을 선택할 수 있다.

AIS 호밍신호는 406MHz 위성 조난신호 전송 이후에 ITU-R M.1371-5의 버스트 통신 방식에 따라 초기 슬롯의 할당과 이어진 7개의 메시지가 75슬롯(약 2s) 간격으로 전송된다. AIS 호밍 신호의 주기는 1분을 기준으로 버스트의 첫 번째 메시지를 위한 슬롯이 할당되므로 406MHz의 위성 조난신호 또는 121.5MHz의 항공기 호밍신호와 전송 스케줄이 중첩될 가능성이 있다.

이 경우에 406MHz 위성 조난신호가 항상 우선되고 AIS가 전송되는 동안 121.5MHz의 항공기 호밍신호는 일시 중단되어야 한다.

다음 Fig. 17은 406MHz의 위성 조난신호와 121.5MHz의 항공기 호밍신호 및 161.975MHz/162.025MHz의 AIS 신호의 중첩적인 전송 스케줄을 보여준다.

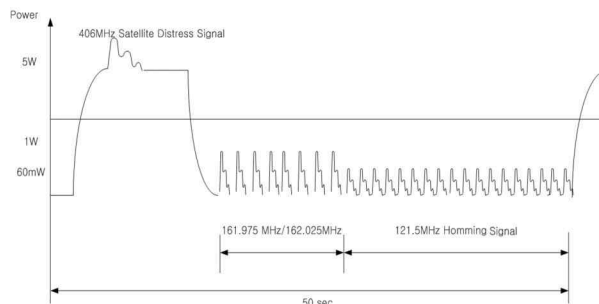


Fig. 17 Total Transmission Schedule for AIS-EPIRB

#### 2) 다중 송신기를 위한 듀플렉스(Duplexer) 필터 설계

앞에서 설명된 전송 스케줄과 같이 개정된 AIS-EPIRB 성능 표준은 하나의 장비를 통해 3개의 각기 다른 주파수의 송신기가 구비된다.

통합장비가 각기 독립적인 송신기를 구현하더라도 각 송신기에 따른 각각의 안테나를 통합장비에 적용하기에는 여러 가지 복합적인 문제가 뒤따른다.

이를 해결하기 위해 대부분의 설계는 단일 하이브리드 안테나를 설계하고, 이를 위한 듀플렉스 필터로 160MHz대에는 l1에 15nH, c1에 110pF를 적용하였고 406MHz대의 첫 번째 필터에는 l2에 33nH, c2에 30pF를 두 번째 필터에는 l3에 270nH, c3에 82pF 값을 적용하여 Fig. 18과 같이 구성하였다.

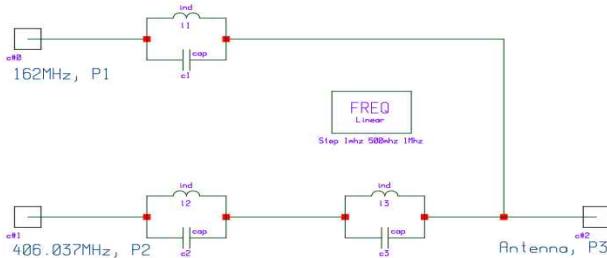


Fig. 18 Duplexer Filter Design for Hybrid Antenna

#### 4. 설계 결과의 시뮬레이션

##### 4.1 듀플렉스 필터 시뮬레이션

AIS-EPIRB가 전송해야 하는 세 가지 송신주파수를 수용할 수 있도록 듀플렉스 필터를 설계하였고 이에 따른 시뮬레이션 결과는 Fig. 19과 같다.

각 색상별 그래프는 네트워크 분석기의 S11, S21, S22, S31, S32, S33 값을 구한 결과이다. 안테나는 대칭소자로 S 변수는 행렬에서 대각선으로 구성되는 값인 S12와 S21, S32와 S23, S31과 S13는 동일한 값을 나타내게 된다.

여기서 Fig. 18과 같이 네트워크 분석기의 1번 포트는 162 MHz의 입력단자, 2번 포트는 406MHz의 입력단자, 3단 포트는 안테나 입력되는 통합 단자가 된다.

Fig. 19에서 S11은 160MHz 입력에 대한 반사손실, S22는 406 MHz에 대한 반사손실, S31은 160MHz 입력에 대한 삽입손실, S32는 406MHz에 대한 삽입손실을 나타낸다.

S21은 각기 다른 입력포트에서 상호 간섭을 나타내므로 406MHz와 160MHz에서 가장 큰 정재파비를 나타내고 이는 이 주파수는 손실이 가장 적게 방사된다는 것을 의미한다.

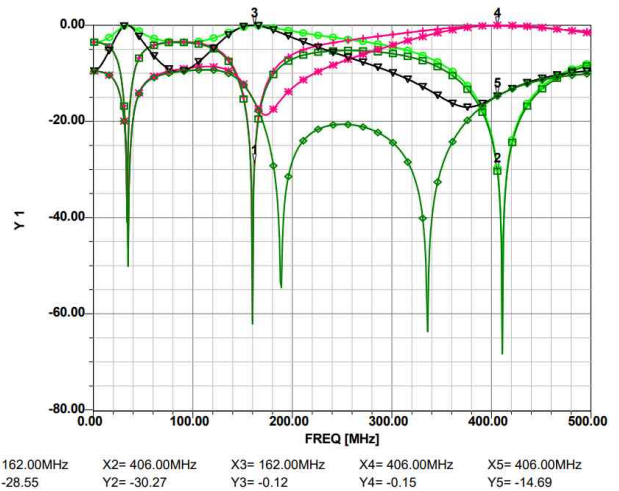


Fig. 19 Frequencies Matching Result by Network Analyzer

##### 4.2 AIS-EPIRB의 기본 성능 시뮬레이션

AIS-EPIRB의 설계를 통해 EPIRB가 가져야 하는 기본 성능의 시뮬레이션 결과는 다음 장치를 통한 예측 결과는 상기 Table 2와 같다.

결과를 통해 406MHz 위성 조난주파수의 주파수 안정도, 위상 변조의 변조도, 변조 상승 시간과 하강시간, 출력, 전송율, 변조의 대칭성, 무변조 반송파의 지속시간, 전체 버스트의 지속 시간, 송신 반복 주기 등의 결과를 확인하였고 국제 표준 C/S T.001이 요구하는 사양을 만족할 수 있음을 확인하였다.

Table 2 406MHz Satellite Distress Signal Simulation Results

406MHz Transmitter Parameter	Limit		Measured	Comply (O/X)
	40600.00	40610.00		
Frequency, kHz	40600.00	40610.00	406039.80	O
+ Ph Deviation (Radian)	1.00	1.20	1.09	O
- Ph Deviation (Radian)	-1.00	-1.20	-1.07	O
Phase time Rise (μs)	50.00	250.00	142.25	O
Phase time fall (μs)	50.00	250.00	143.16	O
Power (W)	3.15	7.94	4.19	O
Bit Rate (bps)	395.00	404.00	399.95	O
Asymmetry (%)	0.00	5.00	0.04	O
CW Preamble (ms)	158.40	161.60	159.87	O
Total Burst Duration (ms)	435.60	520.00	519.89	O
Repetition Rate (s)	47.50	52.50	48.72	O
Average Tr (s)	48.50	51.50	49.34	O
Min Tr (s)	47.50	48.00	47.58	O
Max Tr (s)	52.00	52.50	52.50	O
Standard deviation (s)	0.50	2.00	1.52	O
Slope (E-9)	-1.00	1.00	0.090	O
Residual Variation (E-9)	0.00	3.00	0.608	O
Short term Variation (E-9)	0.00	2.00	0.200	O

#### 5. 결 론

EPIRB는 IMO MSC.471(101) 결의안에 따라 2022년 7월 1일 이후부터 AIS 기능이 포함된 AIS-EPIRB가 설치되도록 국제법 성능기준이 개정되었고, 국내에서도 이를 반영한 해상



무선설비의 기술기준 개정안이 제출되어 새로운 AIS-EPIRB의 탑재가 의무적으로 이루어질 것으로 예상된다.

그러나 아직 국내에서는 이를 위한 개발 및 연구가 이루어지지 않아 본 논문에서는 기존 1세대 EPIRB를 활용하여 개정된 성능 규정을 만족할 수 있는 AIS-EPIRB의 설계를 진행해 보았다.

결론적으로 기존 1세대 EPIRB의 변조기, 증폭기, 듀플렉서 등의 최소 변경을 통해 AIS-EPIRB의 전기, 전자적인 성능을 만족할 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 논문이 2024년부터 적용될 예정인 국내 EPIRB의 신규 시장에서 국산화 장비를 개발할 수 있는 기반 기술을 제공할 수 있게 되기를 기대해 본다.

---

Received 31 January 2024

Revised 19 February 2024

Accepted 04 March 2024

## References

- [1] Cospas-Sarsat Secretariat(2022), “Cospas-Sarsat System Data”, No. 48, pp. 7-8.
- [2] Cospas-Sarsat Secretariat(2023), “Specification For Cospas-Sarsat 406MHz Distress Beacons”, C/S T.001, Issue 4-Revision 11, pp. 2/1-2/9.
- [3] IMO MSC(2019), “Performance Standards For Float-Free Emergency Position Indicating Radio Beacons(EPIRBs) Operating On 406MHz”, MSC471(101), Annex 24, pp. 3-7.
- [4] MOF(Ministry of Oceans and Fisheries)(2016), A fishing boat and Mechanical standards, Notification No.2016-13, Ministry of Ocean and Fisheries, Department of Maritime Industrial technology, Sejong, Republic of Korea.
- [5] NCSR(Sub-committee on Navigation, Communication and Search and Rescue)(2019), Report of NCSR 6, International Maritime Organization, London headquarters.
- [6] Park, Y. G. and Lee, C. Y.(2022), “Study of Spark-based Vessel Location Data Error and Outlier Detection Method”, Journal of Digital Contents Society, Vol. 23, No. 4, p. 754.
- [7] Radiocommunication Sector of ITU(2014), “Technical Characteristics For an Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access In the VHF Maritime Mobile Frequency Band” ITU-R M.1371-5, Annex 2, pp. 30-48.
- [8] Son, N. S. and S. Y.(2010), “Validation on Algorithm of Estimation of Collision Risk among Ships based on AIS Data of Actual Ship’s Collision Accident”, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 10, pp 729-732.