

장거리 통신을 위한 주파수 자동탐색 시스템 개발

노상완¹ · 이순영^{2*} · 김민수³

¹한국항공우주산업(주)

²국립경상대학교 전기공학과

³국방과학연구소

The Development of the Automatic Linkage Establishment System for the Long Range Communication

Sangwan No¹, Soonyoung Lee^{2*} and Minsoo Kim³

¹Korea Aerospace Industries, LTD

²Dept. of Electrical Engineering, Gyeongsang National University

³Agency for Defense Development

Abstract

This study suggests the development of the ALE (Automatic Link Establishment) system for the long-range communication with a helicopter at the lands or marines by HF (High Frequency) radios. In the condition of LOS or more than 35 NM, the communication success rate is significantly lowered when the frequency is manually selected because of the reduced transmission power and various strong RF environment noise signals. In this paper, we make an effort to overcome the difficulties of choosing the optimal frequency when the operating frequency selection is manually operated in long-distance communication or LOS uncertain environment. The ALE system is designed based on the frequency analysis propagation software and is verified that the communication success rate is increased by applying the proposed system. The ALE system was applied to the helicopter system and the ground/flight test was conducted. As a result, the superiority and efficiency of the proposed system were verified.

초 록

본 연구에서는 육상이나 해상에서 헬리콥터와 HF 무전기로 장거리 통신을 할 때 교신이 가능한 최적의 주파수를 자동으로 찾아주는 주파수 자동탐색 시스템(ALE)을 개발하였다. LOS(가시거리) 미확보 또는 35 NM 이상의 장거리 통신 시에는 송신출력 감소와 다양하고 강한 RF 환경 노이즈 신호로 인하여 수동방식으로 주파수를 선택할 경우 통신 성공률이 현저히 낮아진다. 본 논문에서는 LOS 미확보 환경에서 장거리 통신 시, 수동방식으로 주파수를 선택할 때 발생하는 최적 주파수 선택의 어려움을 극복하고자 한다. 주파수 분석 Propagation 소프트웨어를 기반으로 주파수 자동탐색 시스템을 구성하였으며 이 시스템의 적용으로 통신 성공률이 증가됨을 확인하였다. 또한 주파수 자동탐색 시스템을 헬리콥터에 적용하여 지상시험 및 비행시험을 수행한 결과 제안한 주파수 자동탐색 시스템의 우수성 및 효율성을 입증하였다.

Key Words : LOS(가시거리), HF(고주파), Ground/Flight Test(지상/비행시험), ALE (자동 주파수 선택), MEP(임무 장비 통합) SIL(시스템 연동 시험소), Propagation Software(전파예측 소프트웨어)

1. 서 론

Received: Jun. 14, Year Revised: Oct. 14, Year Accepted: Oct. 15, 2019

† Corresponding Author

Tel: +82-10-8026-5344, E-mail: leesy@gnu.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

지상이나 함정에서 항공기와 통신할 경우 또는 LOS(Line of Site : 가시거리) 미확보 환경에서 통신 임무를 수행하는 체계에서는 장거리 통신 시스템 적용

이 필수적이다. 군에서 주로 운용하고 있는 통신계통 장비로는 단파(HF) 무전기, 초단파(VHF) FM 무전기, 초/극초단파(U/VHF) AM 무전기 등이 있다. 초단파 FM 무전기와 초/극초단파(U/VHF) AM 무전기의 통신 가능거리는 헬리콥터의 경우 LOS 확보 조건에서 약 35 NM(63 Km)이내 이다. 따라서 헬리콥터 체계의 장거리 통신시스템에서는 이들 무전기의 사용이 불가능하다. HF 무전기는 전리층에서 반사되는 RF 전파 경로 특성으로 지구상 어느 지역에도 신호가 도달할 수 있는 관계로 원거리 통신에 적합한 신호 특성을 가지고 있다. 하지만, 태양흑점, 전리층의 상태변화 및 지상/대기 등의 여러 환경노이즈 특성 변화로 인하여 HF 무전기 사용 시 정확한 운용 주파수의 선택이 요구된다. HF 무전기는 교신하는 상대 HF 무전기 위치를 고려하여 지속적으로 통신가능 주파수를 수동모드로 송/수신을 시도해야 한다. 경험 많은 HF 무전기 운용자일지라도 시간대와 지역 특성을 고려하여 최적의 예측 주파수로 교신을 시도 하여도 다양한 HF 주파수대 노이즈 영향으로 교신 성공률은 현저히 저하될 수밖에 없다.

본 논문에서는 HF 무전기 장거리 통신 시 수동모드로 주파수를 선택할 경우 다양한 노이즈의 영향으로 인하여 발생하는 운용제한 문제를 해결하기 위해, 상대 HF 무전기와 교신이 양호한 최적의 주파수를 자동으로 찾아주는 주파수 자동탐색(Automatic Linkage Establishment, ALE) 시스템을 개발하였다. 통신가능 주파수대역 분석은 범용으로 사용되고 있는 Propagation 소프트웨어를 활용하였으며[5], 이를 통해 RF 간섭요소 식별, RF 경로 및 통신 거리 등의 데이터를 검토하여 자/타 HF 무전기 위치에서 가장 적절한 운용가능 주파수대역을 검색하였다[1]. 이렇게 얻어진 데이터를 바탕으로 수신 신호 세기별 우선순위로 상대 HF 무전기와 연결을 시도함에 따라 높은 통신 성공률을 기대할 수 있었다. 이러한 자동탐색 시스템을 상륙기동헬기 통신계통에 적용하여 시스템 통합 시험, 지상시험 및 비행 시험한 결과 제한한 주파수 자동탐색 시스템의 활용성과 우수성을 검증하였다.

2. 기본 이론

2.1 HF 대역 RF 신호 특성

HF 주파수대역은 2~29.9999MHz이며, 해당 대역의 RF 경로 및 다양한 노이즈 영향을 고려한 주파수 분석결과를 바탕으로 통신 가능 주파수를 선택해야한다.

RF 신호의 경로에 영향을 미치는 전리층은 4개의 층(D, E, F1, F2)으로 구분되는데 각각의 층은 태양활동 및 시간에 따라 특성이 변한다. D층에서는 단파대역을 부분적으로 흡수하여 10분 이상 통신이 두절되는 델린저 현상이 발생한다. E층은 전파를 불규칙적으로 반사하여 통신에 장애를 유발한다. F1 및 F2 층은 HF 대역 RF신호를 반사하는 특성을 가지고 있다. 겨울철 이외의 주간은 F1, F2 두 층으로 나누어지나, 야간에는 하나의 F층으로 변화되는 특성이 있다[2].

RF신호에 영향을 미치는 노이즈로는 태양 흑점의 영향과 주변 환경의 영향 등이 있다. 태양 흑점수와 크기는 11년 주기로 증감하는데, 흑점 폭발은 지구에 자기 폭풍을 일으켜 지구 자기장을 교란시킨다. 이로 인해 HF 신호전파가 영향을 받아 통신 두절 현상이 발생하기도 한다[3].

환경 노이즈는 RF 신호를 방해하는 전기적 노이즈가 해당된다. HF 음성통신에 영향을 미치는 전기적 노이즈는 TV, 전력선, Radar, RF 전기/전자 장비, 날씨, 태양방사 에너지, 대기 중 방해파, 건축물, 숲, 바다 등 우리 주변에 존재하는 일반적인 주변 환경에 해당된다[4].

2.2 HF 무전기 ALE 시스템

HF의 송신출력(100 W)은 U/VHF-AM 및 VHF-FM 무전기의 송신출력(10 W) 대비 10배 이상 높기 때문에 HF 주파수 운용 시, LOS 확보 및 약 35 NM(약 63 Km) 정도의 환경에서는 다양한 노이즈 영향을 극복하여 통신이 가능하다. 그러나 35 NM 범위 환경 초과 시는 RF 환경 노이즈가 HF 무전기 음성 주파수 신호보다 강하여 일부 주파수에서만 통신이 가능하다. 이에 따라 수동 모드 방식에서의 통신 성공률은 약 30% 이하이다. 그러나 상대 HF 무전기와 교신이 양호한 주파수를 자동으로 탐색하는 ALE 기술을 적용할 경우 90% 이상의 통신 성공률을 가진다.

ALE시스템의 통신가능 주파수 분석은 Propagation 소프트웨어를 사용하였다. Propagation 소프트웨어에

HF 무전기의 송수신할 위치좌표, 시간, RF 경로, HF 주파수들, 안테나 Gain 등의 파라미터를 입력하면 통신 가능 주파수 분석결과가 Fig. 1과 같이 그래프로 제공된다. X축은 UTC Time(0~23 Hr)이며, Y축은 SNR (Signal-to-Noise : 신호와 잡음 비율) 기준으로 잡음대비 신호의 세기 값(dB)정보를 색깔영역으로 나타낸다. 장거리 통신에 양호한 주파수대역은 잡음신호 대비 신호의 세기가 높은 순서인 흰색, 노란색, 초록색 범위로 구분되어 있다[1][5].

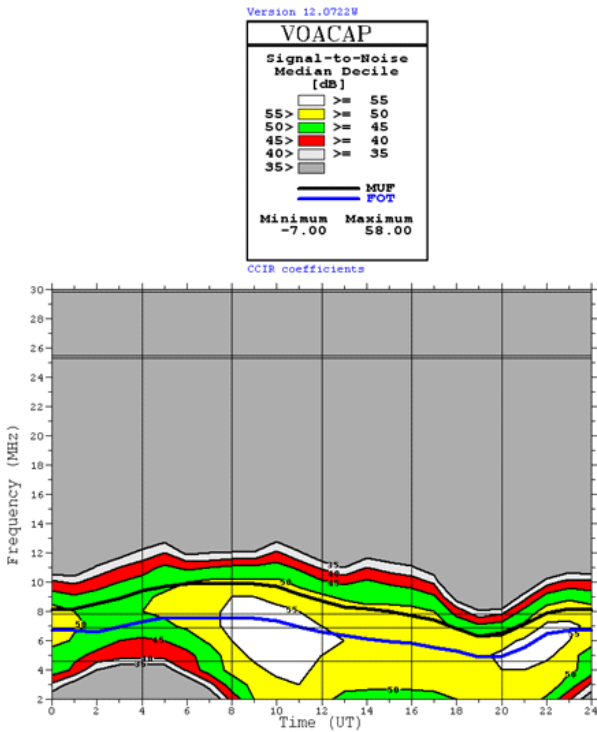


Fig. 1 The Analysis of the Propagation S/W Tool Between Yeosu-Younghae

Figure 1은 여수와 영해 지역 간 (140 NM = 252 Km) Propagation 소프트웨어로 통신 가능한 HF 주파수대역을 분석한 결과 자료이다.

Propagation 소프트웨어로 분석이 끝나면 HF 무전기에 ALE 정보 주입기 장비인 Fill Gun을 Fig. 2와 같이 연결하여 ALE 관련 파라미터를 로딩 한다. 이때 입력되는 정보는 운용 가능 다수의 주파수, HF 무전기 할당 ID 및 ALE 망정보 등을 Fig. 3의 ALE Fill Gun S/W에 설정/입력하여야 한다. ALE Fill Gun 으로부터 HF 무전기에 로딩된 정보들을 바탕으로 통신가능 주파수를 검색하고 이를 CDU(Control Display Unit :

통제 시현장치) 화면에 나타내도록 하는 Program을 설계하여 사용하였다.



Fig. 2 Cable Connection for Data Loading to HF Radio

Figure 4는 설계한 Program에 의한 주파수 자동탐색 절차를 보여주는 ALE 운용 시퀀스도이다. Fig. 5에서 보듯이 상대 HF 무전기 주소로 호출신호를 송신하여 상대 HF 무전기가 응답하는 주파수를 탐색하여 통신 가능성이 높은 주파수를 자동으로 각 HF 무전기 운용자에게 제공한다. 자동으로 탐색된 상대 HF 무전기 정보는 CDU화면을 통하여 제공된다. CDU에 시현되는 정보는 상대 HF 무전기 ID, 망 정보 및 주파수 등을 조종사에게 제공되도록 화면을 설계하였다[6].

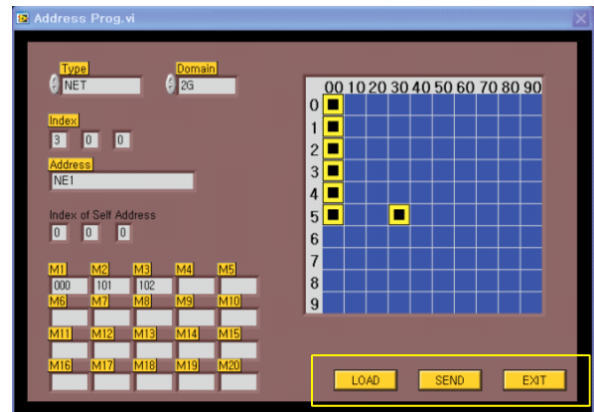


Fig. 3 Input Parameter on ALE Fill Gun S/W

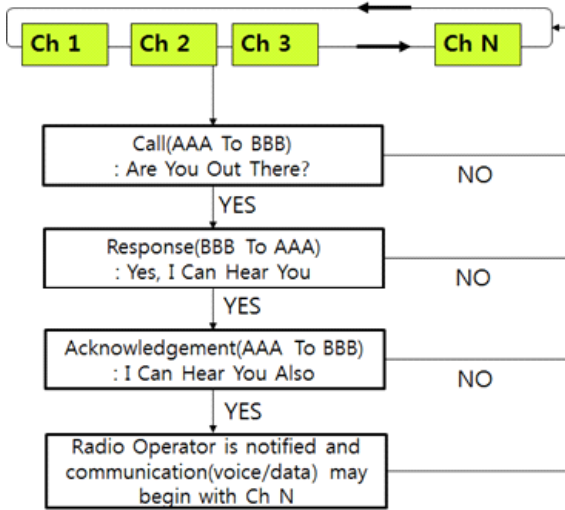


Fig. 4 ALE Individual Call Sequence

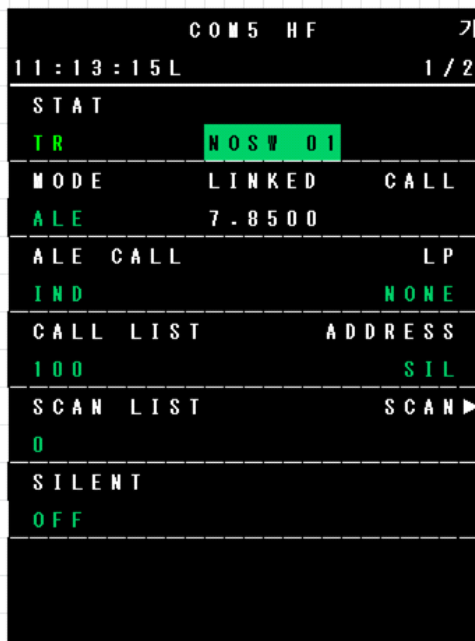


Fig. 5 HF Control Display on CDU

3. 시스템 설계 및 적용

3.1 기능시험

ALE 프로그램 설계를 반영한 HF 무전기 시스템의 기능 확인은 MEP(Mission Equipment Package : 임무장비류) SIL(System Integration Lab : 시스템 연동 시험소)과 지상시험에서 검증하였다.

MEP SIL 통합시험은 HF 무전기 시스템의 소프트웨어 및 하드웨어 추가로 인한 기존 소프트웨어에 대한 영향을 확인하고 성능이 만족되는지 여부를 확인하는 시험이다.

지상시험은 MEP SIL에서 기능 요구도가 입증된 HF 무전기 시스템을 실제 운용환경인 항공기에 탑재하여 항공기와의 설계 호환성 검증을 위해 수행하는 시험이다. 지상시험은 항공기 운용환경에서 HF 무전기와 항공기 간의 인터페이스, 항공기 내/외부 다양한 환경에서 발생 될 수 있는 문제점, 초도비행시험 전 기능 및 비행 안전성에 대한 안전요구도 입증을 위하여 수행하였다.

HF 무전기의 안테나 형상과 장착 위치는 항공기 형상과 안테나 특성 등을 분석하여 결정하였다. 항공기에 있는 다른 안테나와의 간섭을 최소화하고 RF 송/수신이 가장 적절한 위치는 Fig. 6과 같이 좌측 후방 측면이며, 안테나 형태는 약 3.6 [m]의 Tower Bar Type 안테나를 장착하였다[7]. 지상에서 ALE 기능, RF 송신출력, 타 안테나와의 간섭 영향성 등의 HF 무전기 시스템 기능 및 체계 호환성 시험을 수행하였다.

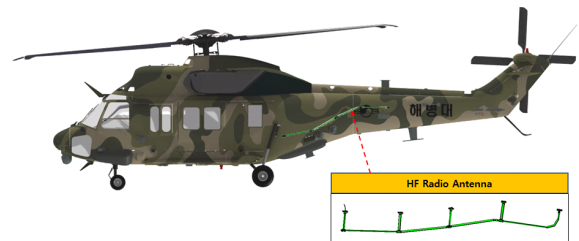


Fig. 6 HF Radio Antenna Installation on Marion helicopter

기존 HF 무전기 주파수 선택 방식, 즉 수동모드의 저조한 통신 성공률을 개선한 아래 Table 1에서 보는 바와 같이 ALE 기술을 SIL 및 지상시험에서 확인한 결과 기능 요구도 기준을 모두 충족하여 장거리(약 100 NM 이상) 비행시험을 수행하였다[8].

Table 1 HF Radio SIL 및 지상 기능시험 결과

번호	평가 항목	평가기준	기준설정 근거	시험결과	세부평가 결과	종합평가 결과
9	HF [관측]	[HF 주파수 대역] HF대역 중 주파수 20000 ~ 299999 MHz에서 음성 통신이 가능해야 함.	- PIOS 3.7.10.2.1 3.7.10.2.1.3 3.7.10.2.2.7 3.7.10.2.2.7.3	[상륙기동열기 검증] 현재적시의 Functional Bench Test 수행 결과, 해당 HF 주파수 대역 운용을 확인하고 직상시할을 통하여 HF 송신 출력 조절성 및 HF 인테니 성능, 비행시험을 통하여 CDU를 통한 무선기 Function 기능 (WAN, EMR, ALE, SELCAL, 기타) 점검 확인함	충족	충족
		[ALE기능통신] ALE 음성통신이 가능해야 함(음성통신안으로 평가)		[상륙기동열기 검증] 현재적시의 Functional Bench Test 수행 결과, ALE 기능통신 운용을 확인하고 직상시할을 통하여 항공기와 지상 MEP SIL HF 무선기 간 ALE 기능으로 무선 교신이 가능하고, 비행시험으로 MEP SIL HF 무선기 간 ALE 기능으로 무선 교신 ISNM 거리에 서 음성통화가 가능함을 확인함	충족	
		[안테나 장착] 인테니는 HF기 최상의 성능이 발휘되도록 장착되어야 함.		[상륙기동열기 검증] 6개 관측주파수에 대한 HF 인테니 패턴 측정결과 통해 정밀한 방사능을 확인하였음	충족	

3.2 성능시험

3.2.1 HF 무전기 감명도 평가

무전기 음성통신의 평가 기준은 Table 2의 무선 신호 감명도에서 통과 기준은 3x3 (감명도 보통) 이상이다[9].

Table 2 Sensitivity and Clarity of Wireless Voice Signal

감명도 여하	표기 방법 (감도/명료도)
감명도 대단히 불량(Weak)	1 x 1
감명도 불량(Gabbed)	2 x 2
감명도 보통(Reasonable)	3 x 3
감명도 양호(Readable)	4 x 4
감명도 대단히 양호(Loud & Clear)	5 x 5

3.2.2 HF 무전기 비행시험

장거리에서 저/고주파의 통신성능을 확인하기 위하여 자동차, 조선소, 제철소 등으로 지상 환경 노이즈 신호가 강한 포항과 공장 지역이 다소 없어 지상 노이즈가 약한 사천에서 ALE 모드로 음성통화 비행시험을 수행하였다.

Figure 7은 Propagation 소프트웨어로 분석된 울진-가덕도간 주파수 분석 결과로서 장거리통신 예측 주파수대역은 4~8 MHz이다. 이와 같이 통신 가능 주파수대역이 저주파인 이유는 HF 무전기의 RF 신호가 LOS 경로가 아닌 전리층 반사와 지상 환경노이즈 등으로 고주파 영향을 받기 때문이다[1].

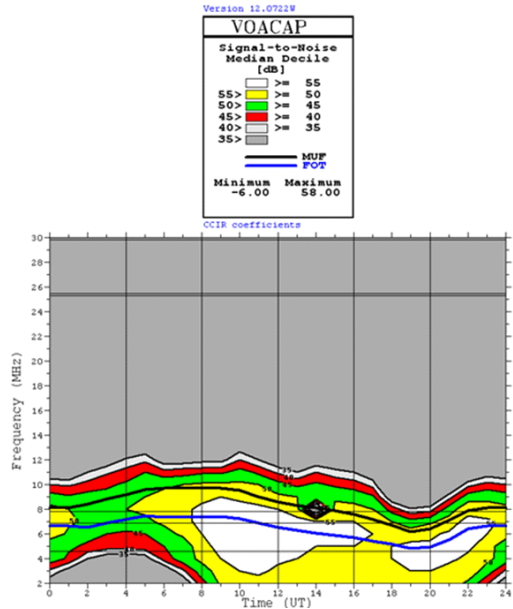


Fig. 7 The Analysis of the Propagation S/W Tool Between Uljin-Gadeokdo

통신 가능 주파수로 분석된 4~8 MHz내의 주파수 그룹과 통신 불가 주파수대역인 10MHz 이상의 주파수들을 주입기 장비인 Fill Gun으로 HF 무전기에 로딩한 후 다양한 거리에서 자동모드로 비행시험을 시도하여 Table 3의 비행시험 결과가 도출되었다.

무전기 비행시험 통신 거리는 120~250Km 범위 환경에서 8MHz이하 그룹인 4.5680/6.8660/7.8500MHz 3개 주파수에서 시험거리, 위치에 따라 일부 주파수가 자동 탐색됨을 확인하였다. 단, 8MHz 이상 25.2980/25.4660/29.8320 MHz의 주파수로 자동모드 운용 시는 주파수 분석 S/W 분석결과와 같이 주파수 탐색이 불가하였다.

Table 3 Flight Test Between Uljin-Gadeokdo

구분	거리	4.568 MHz	6.866 MHz	7.850 MHz	25.298 MHz	25.466 MHz	29.832 MHz
1	70 NM (126 Km)	1x1	3x3	3x3	교신 불가	교신 불가	교신 불가
2	100 NM (180 Km)	1x1	1x1	3x3	교신 불가	교신 불가	교신 불가
3	140 NM (252 Km)	1x1	3x3	3x3	교신 불가	교신 불가	교신 불가

Propagation 소프트웨어에서 통신가능 주파수대역으로 분석된 8 MHz 이하의 주파수 중 4.5680 MHz와 6.8660 MHz가 일부지역에서 교신불가 원인은 시험지역 RF 환경 노이즈 값과 Propagation 소프트웨어에 입력한 값과의 오차로 판단된다. 이론적 일반 환경노이즈 대신 실측 환경노이즈를 입력할 경우 Propagation 소프트웨어 주파수 분석 결과의 대역이 더 정확할 것으로 판단된다. 일부 저주파 대역에서 통신 감명도 저하 원인을 확인하기 위하여 시험 지역인 포항에서 지상 환경노이즈를 측정된 결과 Fig. 8과 같이 2~16 MHz 대역에서 전반적으로 강한노이즈가 있음을 확인하였다.

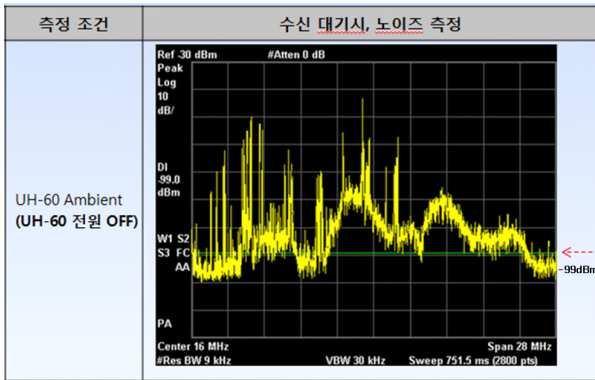


Fig. 8 Measuring HF band Ambient Noise(At Pohang)

HF 대역의 노이즈가 비교적 적은 지역인 울진-사천간 지역에서 Propagation 소프트웨어로 주파수를 분석한 결과는 Fig. 9와 같으며, 이로부터 울진-사천간 장거리통신 예측 주파수대역은 4~8 MHz로 분석되었다.

통신 거리를 70, 110, 150 NM에서 ALE 모드로 시험한 결과 Table 4와 같은 결과를 얻었다.

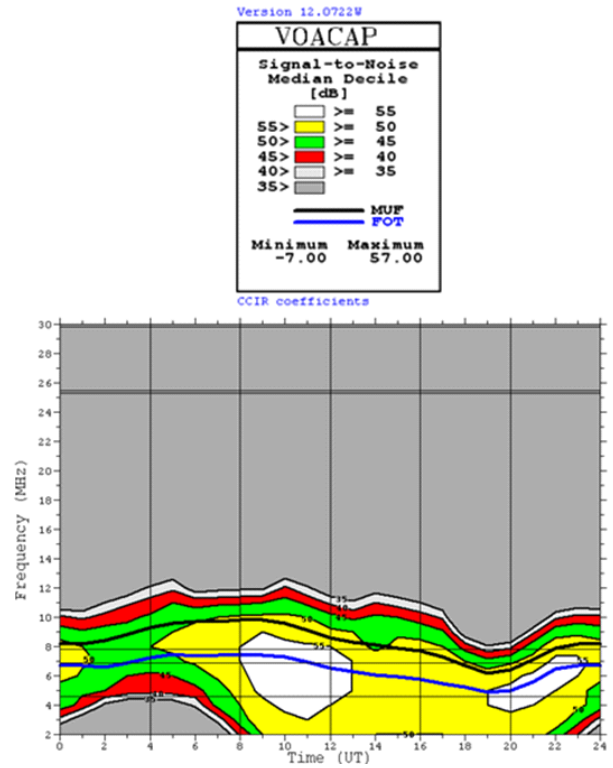


Fig. 9 The Analysis of the Propagation S/W Tool Between Uljin-Sacheon

Table 4 Flight Test Between Uljin-Sacheon

구분	거리	4.568 MHz	6.866 MHz	7.850 MHz	25.298 MHz	25.466 MHz	29.832 MHz
1	70 NM (126 Km)	1x1	3x3	3x3	교신 불가	교신 불가	교신 불가
2	110 NM (198 Km)	1x1	3x3	3x3	교신 불가	교신 불가	교신 불가
3	150 NM (270 Km)	1x1	3x3	3x3	교신 불가	교신 불가	교신 불가

Propagation 소프트웨어에서 운용 가능 주파수로 분석된 8 MHz 이하의 주파수 중 4.5680 MHz에서 교신불가 및 울진-가덕도 대비 좀 더 양호한 통신결과 원인을 확인하기 위해 시험지역의 지상 환경노이즈를 측정하였다. Fig. 10의 실측 노이즈 측정결과 값이 Fig. 8(조선소 근처) 노이즈 측정결과 값보다 다소 적음에 따라 좀 더 양호한 시험결과가 도출된 것으로 보인다. 시험지역 주변 RF 노이즈 측정 시, 노이즈 주파수들이 지속적으로 변함에 따라 Propagation 소프트웨어에 정확한 노이즈 값을 입력하는 것은 불가능하다. 따라서 매번 변화는 노이즈 값을 측정하여 입력하는 것 보다 Propagation 소프트웨어에서 분석된 다수

의 예측 주파수를 HF 무전기에 로딩하여 자동으로 탐색하는 방안이 효율적 운용이라고 판단된다.

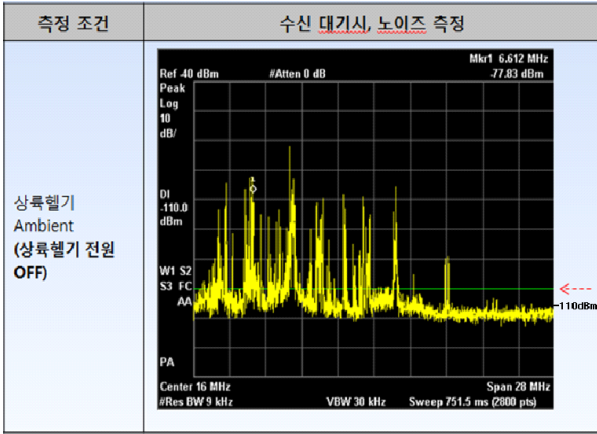


Fig. 10 Measuring HF band Ambient Noise (At Sacheon)

4. 결 론

LOS 미확보 및 35 NM(63 Km)이상의 장거리 통신 시, HF 무전기는 최적의 통신 가능 주파수 선택이 필수적이다. 그러나 다양한 외부 환경 노이즈 변화에 의해 수동방식은 운용가능 주파수 채널을 변경하면서 상대 무전기와 반복적으로 교신을 시도해야 하며 또한 통신 성공률도 매우 낮은 단점이 있다. 이를 해소하고자, 무전기간 교신이 양호한 최적의 주파수를 찾을 수 있는 주파수 자동탐색 시스템을 설계하였다. Propagation 소프트웨어를 이용하여 주파수대역을 분석하였으며 이 분석결과를 바탕으로 최적의 주파수를 찾을 수 있는 통신 Program을 설계하여 적용하였다.

이러한 주파수 자동탐색 시스템은 분석된 다수의 통신 가능 예측 주파수 채널을 HF 무전기에 로딩 후 HF 무전기가 자동으로 탐색된 주파수 정보를 운용자에게 제공하기에 통신 성공률이 높으며, 운용자 업무량을 획기적으로 줄일 수 있었다. 또한, 본 시스템을 상륙기동헬기에 적용하여 시스템 통합시험, 지상시험 및 비행시험한 결과 주파수 자동탐색 시스템의 활용성과 우수성을 입증하였다. 이를 통해, HF 무전기 운용 편리성 및 통신 성공률 향상으로 향후 한국군이 작전 중인 항공기의 기존 HF 무전기 시스템의 개조 또는 신규로 적용할 수 있는 통신 시스템 기술력을 확보하

게 되었다.

후 기

본 논문은 방위사업청과 한국항공우주산업의 지원과제의 일환으로 수행되었으며, 이에 대해 감사드립니다.

References

- [1] 이명노 “Performance Analysis of NVIS(Near Vertical Incident Sky-Wave) Communication System for HF Skip Zone”, 박사논문, 2012
- [2] Park. S. W “Development of Radio Spectrum Monitor for HF Communication”, Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering & Science, 2015
- [3] Mauro Parenti, A. G “SRT-200/K Technical Specification”, Spec, 2014, pp14-41
- [4] <https://www.harris.com/what-we-do/tactical-communications>
- [5] <http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-review-propagation-software.htm>
- [6] Mauro Parenti, A. G “SRT-200/K Technical Specification”, Spec, 2014, pp31
- [7] Sangwan, N “High Frequency Radio Mechanical Interface Control Document”, KAI Report, 2013, pp13
- [8] Sangwan, N, Jea. J. K, Se. J. K “Vol. 2 Communication & Identification of the Flight Test Report for Avionics”, KAI Report, 2015, pp30~56
- [9] Unsup, K “ATC Communication Phraseology”, Report, 2016, pp14