

재래식 주파수도약 통신장비용 S/W 패킷모뎀 개발 및 적용에 관한 연구

The Design and Implementation of S/W Packet Modem based on Frequency Hopping Legacy Radio System

구 정^{*,**} 표 상 호^{*,**} 강 경 성^{*} 김 기 형^{**}
 Jung Koo Sang-Ho Pyo Kyeong-Sung Kang Ki-Hyung Kim

Abstract

In this paper, we have proposed a method which can make it possible to stably transmit and receive data like the ARC-164 radio frequency hopping environment as a S/W packet modem with PSK modulation. This is a method that the S/W packet modem with PSK digital modulation and the use of PC sound cards change over from data to voice signals and then transmit/receive data. We confirmed not only that it is possible to solve the slow speed communication with the use of sending data through multi-channels and PSK modulation that has the ability to methodically improve transmission rates, but also that it is possible to send the state of frequency hopping stably. In conclusion, we've confirmed both tactical values that though the transmission rate may be a tad slow, a state of frequency hopping of more than 94% confidence plus voice and data can be sent via radio at the same time. In this paper, the proposed S/W packet modem is only an implemented S/W component, so when we apply it to aircraft that we don't consider EMC problems with, then we have the advantage of a wider use of conventional UHF/VHF/HF radio that is possible to voice communication. If we recognize these operational requirements, we can apply for a lot of field equipment efficiently.

Keywords : PSK : Phase Shift Keying, IDM : Improved Data Modem, L/HPF : Low/High Pass Filter, 주파수 도약 (Frequency Hopping), UMPC : Ultra Mobile PC

1. 서론

본 연구는 현재 공군에서 운영하고 있는 AN/ARC-164와 같은 주파수 도약이 가능한 재래식 통신장비를 이용하여 데이터 통신을 구현할 수 있는 방안을 모색하고 이를 실용화 하는데 목적이 있다.

NCW의 핵심요소라 할 수 있는 데이터링크 체계는 상황인식의 공유, 신속한 지휘 및 의사결정을 통하여 센서-슈터 소요시간 단축, 전투력 승수효과를 창출함

† 2011년 12월 16일 접수~2011년 3월 25일 게재승인

* 공군작전정보통신단(Operational Information and Communication Technology Support Wing)

** 아주대학교(Ajou University)

책임저자 : 구 정(hanair9@hanmail.net)

으로써 상당히 빠른 템포를 유지할 수 있으며, 항공작전을 수행함에 있어 언어소통의 문제를 일시에 해결할 수 있는 장점을 지니고 있다¹⁾.

공군은 Link-16과 같은 최신의 전술데이터링크 체계를 도입하고 있으나 F-15K, E-737 등, 최신의 항공기에 국한하여 도입하고 있다. F-4/5를 비롯한 수송기, 헬기 등의 재래식 항공기는 아직도 음성통신장비에 의존하여 작전을 수행하고 있으며, 이러한 항공기에 탑재된 재래식 통신장비에 이용 가능한 H/W 패키지(Packet Modem)를 도입하여 실용화하기 위하여 노력 중이나 주파수 도약 모드에서의 데이터 오류 증가로 인해 사용에 어려움을 겪고 있다²⁾.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 공군에서 광범위하게 사용하고 있는 UHF/VHF/HF 등, 대부분의 통신장비에서 데이터 통신을 할 수 있을 뿐만 아니라, 주파수 도약모드에서도 안정적으로 데이터를 전송할 수 있는 S/W 패키지를 개발하여 실용화하는 방안을 제시할 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다.

제2장에서는 군사용의 재래식 전술통신장비의 특성과 음성통신환경을 분석하고, H/W 패키지로 구현한 기존 데이터 링크체계의 문제점을 검토하였다.

제3장에서는 개발 S/W 패키지, 소형 UMPC와 주파수 도약이 가능한 통신장비인 ARC-164를 이용하여 데이터 통신시험을 위한 시험체계를 구축하였다.

제4장에서는 시험체계를 이용하여 수행한 시험 내용을 수록하였다. 시험은 2단계로 구분하여 시행하였으며, 먼저 신뢰성 있는 데이터 통신 영역을 설정하고, 이를 바탕으로 주파수 도약 방식에서의 데이터 통신의 신뢰성과 속도에 대한 검증을 수행하였다.

결론부분에서는 본 S/W 패키지의 능력과 추가적으로 연구하여야 할 사항, 그리고 S/W 패키지가 적용될 수 있는 분야 및 구축 가능한 체계를 제시하였다.

2. 관련 사항 연구

가. ARC-164 통신장비 특성

재래식의 음성통신장비인 ARC-164는 225.00~399.975 MHz의 주파수를 약 7,000개의 채널로 분할하여 사용한다. 주파수 밴드폭은 협대역(Narrow Band)과 광대역(Wide Band)을 선택적으로 사용할 수 있으며, 협대역

은 $\pm 12\text{KHz}(\pm 11\text{KHz})$, 광대역은 $\pm 35\text{KHz}(\pm 37.5\text{KHz})$ 로 구분하여 사용할 수 있다^{3,4)}. 통신장비가 지원하는 음성 영역의 주파수는 300~3,500Hz의 범위를 지원한다⁴⁾.

데이터 통신에 사용될 ARC-164의 가장 큰 특징은 주파수 도약 기능이며, 반송파(Carrier)의 주파수가 불규칙하게 변하는 주파수 도약 모드와 주파수가 도약하지 않는 일반 모드로 구분하여 운영할 수 있다는 것이다.

Fig. 1은 ARC-164의 주파수 도약 신호를 나타내고 있는데 초당 3~5회, 최대 8회의 불규칙한 간격의 5.6V 정도의 신호를 출력하고, 이 신호를 기준으로 미리 정해진 주파수로 도약을 하게 된다.

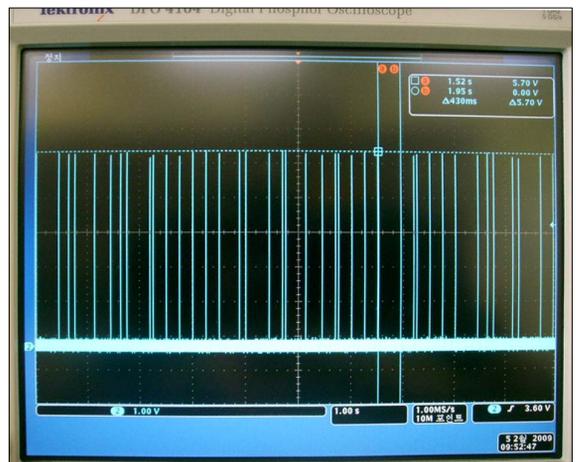
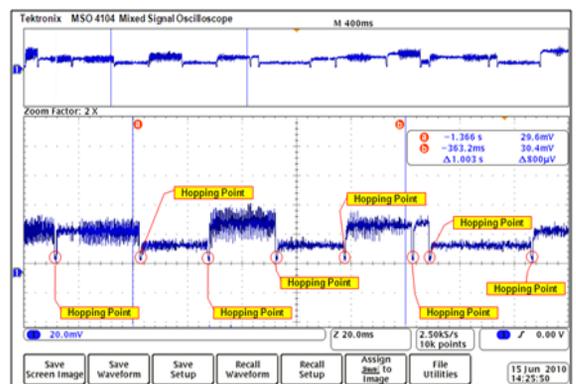


Fig. 1. Frequency Hopping Signal

주파수 도약에 대하여 좀 더 세부적으로 나타내면 Fig. 2와 같이 무작위적인 주파수 도약이 일어나고 약 7~8ms 후 다시 반송파 주파수가 발생하게 된다.



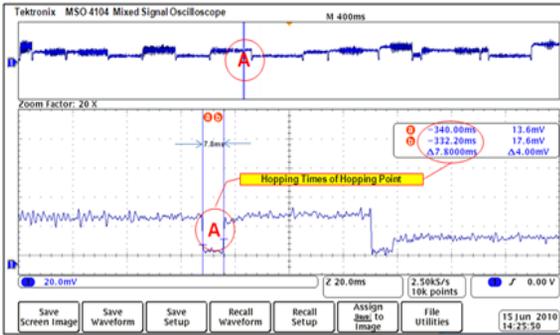


Fig. 2. 주파수 도약 신호의 분석^[5]

Fig. 3은 조종사가 사용하는 음성통신 영역을 아마추어 HAM에서 사용하는 S/W^[6]를 이용하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 주파수 도약이 일어날 때 나타나는 음성신호는 주파수 도약 과정에서 약 100~500Hz의 특정 음을 발생시키는데, 이 과정에서 음성 전송의 불연속이 나타나게 된다.

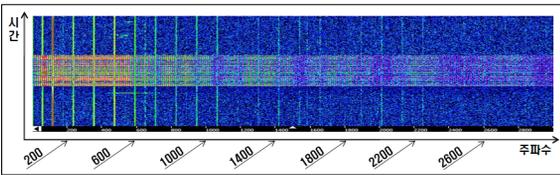


Fig. 3. 주파수 도약 시의 비트음 영역

다음 Table 1과 Table 2는 ARC-164 Radio의 PTT (Push To Talk)와 관련한 시간을 나타낸 것이다. ARC-164의 PTT Attack Time은 인터넷상에 공고된 제한에는 최대 50ms로 제시하고 있다^[3]. 그러나 실제로는 이보다 상당히 긴 최대 약 127ms 정도의 시간을 보이는데, 이는 다음 Table 3에서 제시된 ARC-232의 PTT Attack Time과 Link-11 PTT Attack Time 약 6ms 대비 상당히 늦은 편이며, 일반적인 상업용 통신장비의 PTT Attack Time 비해 상당히 늦음을 알 수 있다.

Table 1. PTT Attack/Release Time

모드	PTT Attack Time	PTT Release Time
Normal Mode	71~78ms	115~123ms
Link-11 Mode	6~6.2ms	10~22ms

Table 2. PTT 사용 후 반송파 주파수의 안정화 시간 지연^[7]

	PTT Guard 구간	
	← PTT Release & Attack 구간 →	← AGC 구간 →
ARC-164	PTT Attack PTT Release	AGC
ARC-232	PTT Attack PTT Release	AGC

- * PTT Attack Time : 송신 제어신호를 활성화 한 후 출력까지의 지연 시간
- * PTT Release Time : 송신제어 신호 비활성화 후 출력중단까지의 지연 시간
- * AGC : Automatic Gain Control

나. 기존 H/W 패킷모델 분석^[8]

공군에서 도입하여 실용화에 노력하고 있는 H/W 패킷 모델인 AN/DLK-1200은 Table 3과 같은 특성을 지니고 있다.

Table 3. 공군의 기존 H/W 패킷모델

구 분	내 용
전송속도	300~1,200bps
변조방식	AFSK
Packet Length	64byte
HaveQuick	최대 9회까지 중복전송 조합

상기 H/W 패킷모델과 통신장비를 이용한 시험 결과는 다음과 같다^[2].

데이터의 크기가 증가함에 따라 전송 에러가 증가하는 경향이 있어 주파수 도약 모드에서는 중복전송이 불가피하며, 중복전송을 통해 에러를 감소시키는 실험을 수행한 결과, 6회의 전송을 통해 에러율을 10% 이하로 낮출 수 있는 결과를 얻고 있다. 상기 패킷 모델에 있어 전송 프레임의 크기와 에러율과의 관계는 다음과 같다. 주파수 도약 모드에서는 프레임의 크기가 10byte 이상일 경우 오류가 급격히 증가하는 경향을 보이며, 주파수 비 도약 모드에서도 20byte 이상의 프레임에서는 전송 성공률이 90% 이하로 낮아져 프레임의 길이가 20byte 이하로 제한되는 경향을 보였다.

상기 실험결과는 ARC-164와 같은 주파수 도약이

가능한 재래식 통신장비에서는 AFSK 변조방식을 사용하는 패키지 모델이 적합하지 않다는 것을 나타내고 있다. (재래식 군사용 UHF 장비가 AM 변조임을 감안할 필요가 있으며, AFSK 변조는 주파수 도약이 일어나 반송파의 전달이 없을 경우 0으로 처리) 또한 패키지 모델의 특성상 6회 이상의 중복전송을 수행할 때에만 90% 이상의 정확도를 보이는 특성과 데이터의 길이가 10~20byte 이하에서만 사용할 수 있는 특성은 오류정정부호(Error Correction Code)를 적용한다 할지라도 사용에 상당한 제약을 받을 것으로 판단된다.

다. 주파수 도약방식 데이터 통신의 문제점

재래식 음성통신장비를 이용하는 데이터 통신에 있어 패키지 모델은 데이터를 아날로그 음성신호로 변조하여 통신장비로 보내게 된다. 통신장비는 음성신호를 전달하는 역할을 하며, 수신측에서는 이 신호를 역 변환하는 과정을 거쳐 디지털 데이터로 인식하게 된다. 이러한 과정에서 반송파의 주파수 도약이 발생하면 음성전달의 불연속이 발생하게 되며, 이는 데이터 오류를 유발하는 원인이 된다. 이러한 문제는 앞에서 분석한 H/W 패키지 모델에서도 나타난 바와 같이 재래식 통신장비를 이용하는 많은 패키지 모델에서 공통적으로 지니고 있는 사항이다. 문제 해결을 위한 일반적인 방법으로 패키지의 길이를 짧게 하고, 오류정정부호(Error Correction Code)를 광범위하게 사용하거나, 데이터의 중복 전송을 통해 데이터를 조합하는 방법 등이 있다. 따라서 주파수 도약 방식의 통신에는 패키지 모델을 사용할 수 없거나, 오류를 수정하기 위한 반복 전송 등으로 데이터 전송 능력의 심각한 저하를 초래하게 된다.

이러한 문제는 재래식 음성 통신장비를 기반으로 데이터 통신을 수행하는데 따르는 통신장비 성능 상의 문제로 볼 수 있으며, 미국의 Symetrics사에서 개발한 IDM(Improved Data Modem)^[9]이나 Innovative Concept Co.에서 개발한 PC IDM 에서도 해결되지 않은 문제이며, 현재 개발 중인 Link-K 기본형 패키지 모델에서도 해결 전망이 불투명한 실정이다^[10~12].

3. S/W 모델의 구현 및 시험체계 구축

가. 음성과 데이터 통신 영역

다음 Fig. 4는 ARC-164에서 음성통신이 사용되는 영역을 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 조종

사의 음성신호는 500~1,500Hz 정도의 영역(피치, 남성은 50~250Hz, 여성은 120~500Hz)에서 통신이 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 특정 주파수대를 가지지 않고 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다^[13].

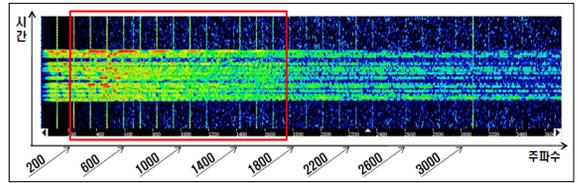


Fig. 4. 음성통신영역 분포

반면, S/W 패키지 모델에서 데이터 통신에 이용하는 음성 주파수는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 2,000Hz~3,500Hz의 범위이며 중심주파수(f_c)를 기준으로 분포하고 있음을 알 수 있다.

그림에서 보는바와 같이 조종사의 음성통신 주파수와 S/W 패키지 모델에서 사용하는 데이터 통신 주파수는 명확히 구분된다.

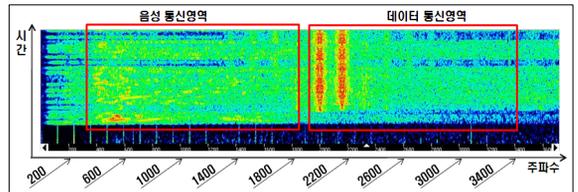


Fig. 5. 음성통신과 데이터 통신 영역의 구분

나. 안정적 데이터통신 구현을 위한 방안

필수 통신을 위한 데이터 링크에서 우선적으로 고려하여야 할 사항은 오류를 최소화 하여 신뢰성을 높이는 것이다.

본 연구에서는 주파수가 도약하는 재래식 군용 통신장비에서 데이터를 안정적으로 송·수신하기 위한 방법으로 아마추어 무선 HAM에서 장거리 HF 데이터 통신에 이용하는 변조방식인 PSK를 이용하고자 한다.

PSK의 전송속도의 문제는 주파수 분할 다중접속방식(FDMA : Frequency Division Multiple Access)과 유사하게 다중 채널을 이용하는 방법을 사용하여 개선할 것이다. 즉 음성영역과 데이터 통신영역이 2,000Hz를 중심으로 확연히 나누어질 수 있다는 것을 이용하여 음성과 데이터가 각각 다른 주파수대를 사용하는 방법을 선택할 것이다.

1) 주파수도약 방식에서 안정적 데이터 통신을 위한 가정

주파수가 도약하는 환경에서 데이터 통신을 수행할 경우 전송률이 증가할수록 오류 발생 빈도도 증가할 것이다. 따라서 오류를 줄이는 방법에 대한 가정 사항으로 전송률을 줄이면 오류도 줄어들게 될 것이다. 예를 들면 초당 1비트의 전송을 수행하고자 하면 그 사이에 주파수 도약이 몇 번 일어난다 하더라도 오류가 발생할 확률은 줄어들게 될 것이다. 따라서 데이터 전송에 이용되는 음성 주파수의 밴드폭을 줄여 데이터 전송률을 낮춤으로서 주파수 도약에 기인하는 오류 발생을 최소화 하는 한편, 전송 패킷을 최적화함으로써 데이터 오류를 줄일 수 있을 것이다.

2) PSK 디지털 변조의 사용

PSK 방식의 데이터 통신은 속도는 비교적 느리나 신호 대 잡음비(S/N)가 대단히 열악한 통신환경에서도 데이터를 안정적으로 송·수신하는 것이 가능하다는 장점을 가지고 있다. PSK의 이러한 장점은 주파수 도약 방식의 데이터 통신에서도 적용할 수 있다. 다시 말하면 주파수도약에서 발생하는 음성의 불연속은 잡음과 유사한 형태로 간주될 수 있으며, 따라서 잡음 환경에 비교적 강한 PSK 변조방식이 주파수 도약 환경에서도 우수한 능력을 나타낼 것으로 판단된다.

3) 전송률 증가를 위한 대안으로서의 다중채널

인가된 PSK 채널에서 밴드폭을 줄여 전송능력을 낮추는 것은 데이터를 안정적으로 전송할 수 있는 한 가지 방법이 될 수 있을 것이다. 그러나 밴드폭을 줄일 경우 데이터 전송률이 줄어드는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 다중 채널을 이용하여 데이터를 전송함으로써 전송속도 저하의 문제를 보완할 수 있다. 이 방법은 PSK 모드가 중심주파수(f_c) 설정이 가능하다는 점을 이용하여 몇 개의 중심주파수와 밴드폭을 설정하고 데이터를 각각 전송하는 방법이다.

이러한 체계를 구축할 수 있는 전제조건은 각각의 음성 채널이 서로 다른 주파수 채널에게는 잡음으로 작용하므로 PSK 복조 능력이 각 채널의 중심주파수별 특성에 맞게 적절히 데이터를 복조할 수 있어야 한다.

다. PSK S/W 패킷모뎀의 구현

한 개의 통신장비를 이용하여 음성 전송과 데이터의

송신에 동시에 사용하기 위해서는 특별한 아이디어가 필요하다.

본 S/W 패킷모뎀에서는 앞에서 제기한 바와 같이 2,000Hz를 중심으로 음성통신에 사용하는 주파수 영역과 데이터 통신에 사용하는 영역을 구분하여 사용하는 것이다. 즉 음성 전송의 경우 일반적으로 500~1,500Hz 정도의 영역을 사용하고 있으므로 2,000Hz를 기준으로 그 이하의 영역은 음성 통신에 사용하고 2,000Hz 이상 약 3,500Hz까지는 데이터 통신에 사용한다.

주파수 분할을 통한 동시 사용에서 고려하여야 할 사항은 조종사와 컴퓨터가 통신장비를 같이 사용함으로써 발생하는 문제이다. 컴퓨터가 데이터 통신을 수행하는 2,000Hz 이상의 고음 신호는 조종사를 자극할 수 있다. 따라서 데이터 통신에서 발생하는 일정한 비트음이 조종사에게는 들리지 않거나 아주 작게 하여 인지만 할 수 있도록 하여야 하므로 저역통과필터(Low Pass Filter)를 구현하는 것이 필요하다^[14]. 본 연구에서는 LPF를 S/W적으로 구현하였으며 실제 적용 시에는 물리적인 L-C회로를 사용하게 될 것이다.

Fig. 6은 S/W 패킷모뎀의 클래스관계를 나타내고 있다.

다중 채널을 이용한 데이터의 전송은 송·수신 모듈을 여러 개의 Thread에 동시에 구동하는 방식으로 구현하였다. 즉 Sound 카드의 I/O를 담당하는 CSound 모듈과 변복조를 담당하는 CPsk31 모듈이 1개의 Thread로 구동되며, 이러한 Thread를 주파수별로 여러 개 구동하는 방법이다. CTRx 모듈은 데이터의 동기화/분리/결합을 담당하도록 하였다.

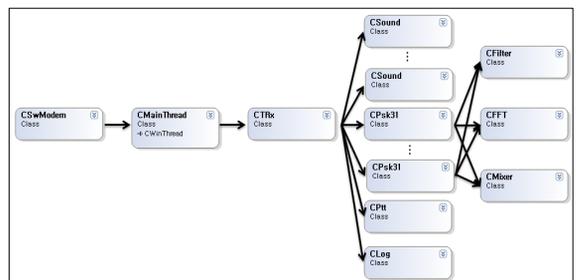


Fig. 6. S/W 패킷모뎀의 클래스 다이어그램

앞에서 언급한 사항들을 고려한 S/W 패킷모뎀은 Fig. 6 블록 다이어그램에서 나타난 바와 같으며, 주요 클래스와 클래스의 역할은 Table 4와 같다.

Table 4. S/W 패키지모뎀 클래스별 용도

클래스	내용
1 CSwModem	S/W 모뎀의 Main으로 Application과의 Interface를 제공하고 내부의 CMainThread를 활성화
2 CMainThread	Application과 독립적인 Thread를 가지기 위한 MainThread
3 CTRx	송/수신 처리 관리
4 CSound	사운드카드의 I/O 처리
5 CPsk31	송/수신 시 데이터 변복조를 담당
6 CPtt	PTT signal 제어
7 CFilter	특정 주파수 필터
8 CFFT	푸리에 트랜스포름 담당
9 CMixer	데이터와 음성주파수와와의 Mixing 담당

라. 시험체계의 구축

다음 Fig. 7은 ARC-164를 이용하여 데이터 통신을 수행하는 개념을 나타내고 있다.

S/W 패키지모뎀은 UMPC와 Radio 장비가 연결된 시스템에서 사운드 카드가 패키지모뎀의 역할을 수행하여 데이터 통신을 수행한다.

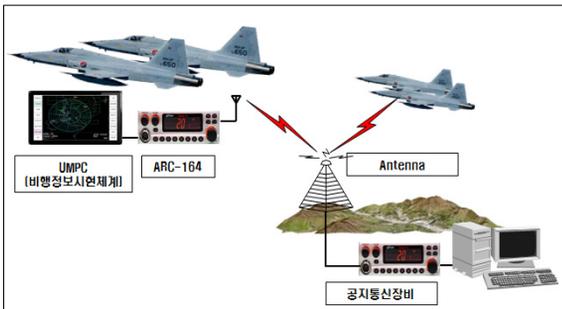


Fig. 7. 재래식 음성통신장비를 이용하는 데이터 통신 개념

Fig. 8은 ARC-164 Radio Set을 이용하여 데이터 통신 시험을 위한 실험체계를 별도로 구성한 것이다. 전

원은 28V DC 공급을 위하여 220V 60Hz의 별도의 전원(항공기 전원의 경우 115V/208V 400Hz임)을 사용하였으며, PC에서 입력되는 송신 신호는 증폭기를 사용하여 ARC-164 장비에 적합하게 증폭하였다. 송신 안테나는 실험실에서 데이터 송·수신을 시험하는 관계로 출력은 의사부하(Dummy Loader)를 이용하여 감쇄시켰다.

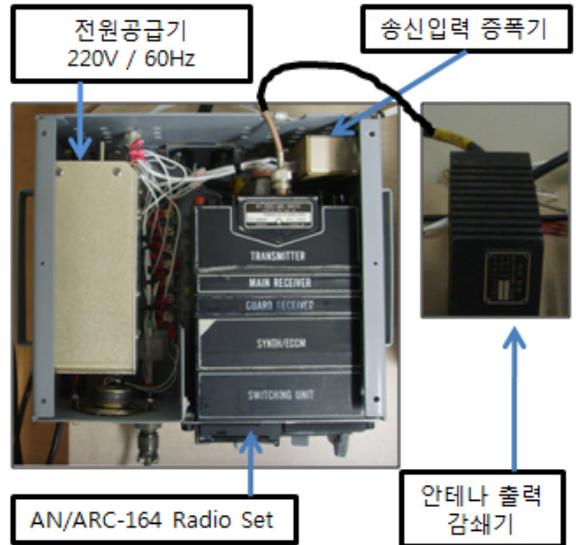


Fig. 8. Radio Set 구성

컴퓨터와 ARC-164 간의 인터페이스^[15]를 위한 연결도는 다음 Fig. 9와 같다.

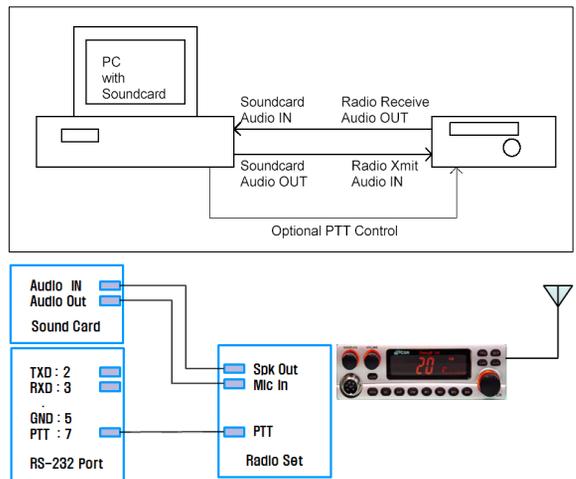


Fig. 9. PC와 Radio Set 간의 연결 구성

Fig. 10은 PC 사운드 카드의 Audio OUT에서 출력되는 신호를 Radio Xmit Audio IN(Mic')로 보낼 때와 통신장비에서 출력되는 Audio 신호를 Sound Card의 Audio IN으로 입력할 때 필요한 회로도들을 나타내고 있다.

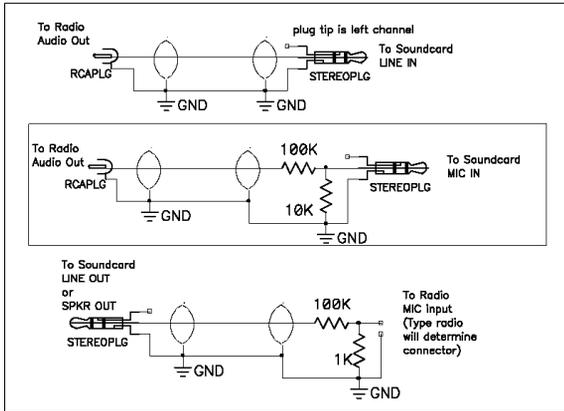


Fig. 10. 사운드 카드와 통신장비 연결 배선도

S/W 모뎀에서 데이터 전송을 위해 추가적으로 필요한 것은 PTT를 제어하는 것이다. S/W모뎀은 PC의 사운드 카드를 이용하는 방식으로서 사운드 카드는 PTT를 제어할 수 있는 기능을 가지고 있지 못하므로 표준 통신포트(RS-232)를 이용하여 PTT 제어를 수행하게 된다.

다음 Fig. 11은 PTT를 제어하기 위해 PC와 통신장비를 연결하는 인터페이스를 나타내고 있다.

S/W 모뎀은 데이터 전송 전에 PTT 신호를 먼저 보낸 후 사운드 카드를 통해 데이터를 보내게 된다.

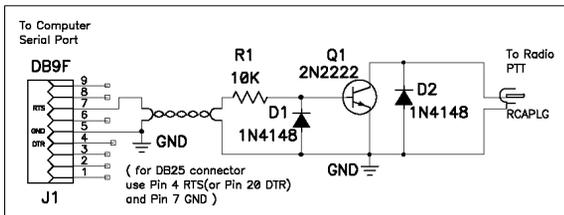


Fig. 11. PTT 제어신호 회로 배선도

Fig. 12는 별도로 제작한 Radio Set을 이용하여 1 : 1 데이터 통신 실험을 위한 시험 시스템을 구축한 것을 나타내고 있다. PC의 사운드 카드와 마이크의 입력단자를 이용하였으며, 1대는 UMPC를 이용하였다.



Fig. 12. 데이터 통신 실험체계

4. 데이터 통신 시험 및 결과의 분석

가. 시험 시나리오의 설정

본 연구는 통신장비의 주파수가 도약하는 상태에서 안정적으로 데이터 통신을 수행하는데 목적이 있다. S/W 모뎀은 궁극적으로 현재의 H/W 패킷 모뎀이 통신장비의 주파수가 도약하는 모드에서는 쓸 수 없다는 단점을 보완하기 위한 체계로 개발되었다. 따라서 S/W 모뎀의 효용가치를 검증하기 위해서는 시험과 검증에 있어 단계적인 접근이 필요하며, 데이터 통신을 위한 다음 몇 가지의 요소를 고려하여야 한다.

먼저, 본 S/W 모뎀은 음성 주파수대를 이용하여 데이터 통신을 수행하는 개념이며 통신장비는 그 특성상 300Hz~3,500Hz 정도의 음성데이터 전송을 수행하므로 이 주파수 범위 내에서 데이터 통신이 잘 이루어지는 영역을 식별하는 것이 필요하다.

다음으로 통신장비가 가질 수 있는 두 가지 상태, 즉 주파수 도약 방식과 도약을 하지 않는 방식에서의 데이터 전송능력을 비교하는 것은 필수적인 사항이다.

통신장비의 주파수가 도약하는 상태에서는 자료의 전송률이 느릴수록 데이터 전송의 정확도가 증가할

것이라는 가정을 하였으므로 음성 주파수의 밴드폭 (Band Width)과 데이터 전송 성공률과의 상관관계를 검증하여야 한다. 즉 밴드폭에 따라 데이터 통신을 수행할 수 있는 채널수를 결정하는 것이 필요하므로 특정 밴드폭을 기준으로 채널수를 점차 늘여가면서 오류가 발생하는 경향을 검증하는 것이다.

나. 데이터 통신 특성의 검증

1) 데이터 전송 주파수 범위

Fig. 13은 주파수가 도약하지 않는 상태에서 데이터 통신이 가능한 주파수 범위를 나타내고 있다.

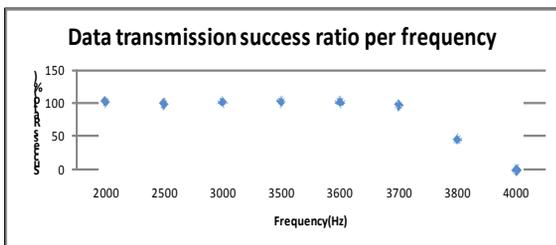


Fig. 13. S/W 모뎀의 주파수대별 전송성공률

그림에서 보는 바와 같이 주파수 2,000Hz에서부터 점차 증가시키며 실험을 하였고, 3,700Hz 이후부터는 데이터 송신 성공률이 감소하여 4,000Hz에서는 전혀 전송이 되지 않는 결과를 보였다. 이는 통신장비의 특성에서도 언급한 바와 같이 300Hz에서 3,500Hz까지 음성을 지원하는 장비의 특성에 기인한 것으로 판단 된다.

따라서 본 S/W 모뎀에서 사용가능한 음성 주파수는 2,000Hz~3,700Hz까지임을 확인하였으나, T.O를 감안 시 2,000Hz~3,500Hz가 데이터 통신에 사용할 수 있는 영역이다.

2) 주파수 비도약 모드(Non H/Q)에서의 전송 채널수와 밴드폭, 전송속도

Fig. 14는 데이터 전송 성공률을 음성 주파수의 밴드폭과 사용 채널수와의 관계로 나타내었으며, 밴드폭은 각각 350Hz(붉은 색), 250Hz(연두색), 160Hz(청색), 80Hz(자주색)로 시험을 하였다. 넓은 밴드를 사용하여 빠르게 전송하는 경우는 오류(BER : Bit Error Rate)의 증가에 따른 영향이 현저하였으며 밴드폭 350Hz의 경우에는 3개의 채널까지 사용할 수 있었다.

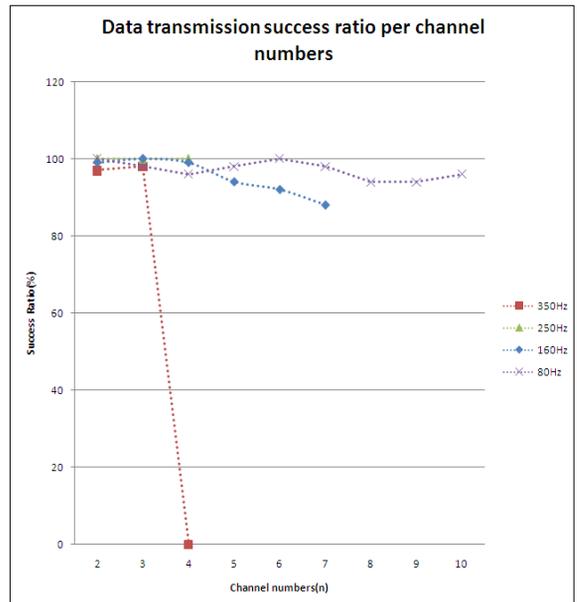


Fig. 14. 밴드폭, 채널수, 전송정확도와의 관계

Fig. 15는 음성 주파수의 밴드폭과 채널수, 그리고 전송속도와의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 전송속도는 최대 밴드폭인 350Hz에서 가장 높은 속도를 보였는데 3개 채널을 사용 시 약 1,194 bps의 전송속도를 나타내었다. 이는 기존의 PSK-31 S/W 모뎀의 최대 전송속도가 약 300bps임을 감안 시 상당히 높은 전송률임을 알 수 있다. 데이터 전송 성공률은 채널수가 증가할수록, 전송 밴드폭이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 즉 밴드폭이 좁고 전송률이 낮을수록 많은 채널로 전송할 수 있었으나, 전체적인 데이터 전송속도는 줄어들어 80Hz(128, 보라색)에서는 10개의 채널을 사용했을 때 488bps 정도의 전송 능력을 보였다.

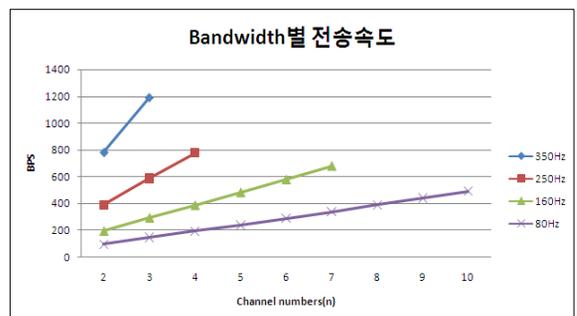


Fig. 15. 밴드폭, 채널수, 전송속도와 관계

따라서 주파수가 도약하지 않는 모드에서는 최대 3개의 채널과 350Hz 이하의 밴드폭을 사용하는 것이 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

3) 주파수 도약 모드(H/Q)에서의 전송 채널수와 밴드폭, 전송속도

Fig. 16에서는 H/Q를 사용하는 상태에서의 데이터 전송 성공률과 밴드폭, 그리고 채널수와의 관계를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 H/Q 모드에서는 가장 저속인 밴드폭 80Hz에서만 안정적으로 데이터 통신을 할 수 있었으며, 그 이상의 밴드폭에서는 데이터 통신 자체가 불가능하였다.

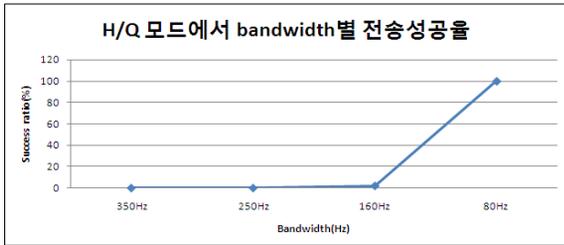


Fig. 16. 주파수 도약모드에서의 밴드폭과 데이터 전송 성공률

Fig. 17은 주파수 도약모드에서 채널수와 데이터 전송 성공률과의 관계를 나타내고 있다.

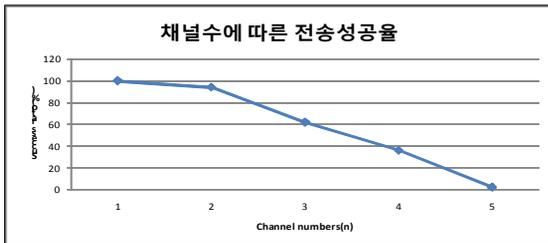


Fig. 17. 채널수와 전송 성공률

그림에서 보는 바와 같이 2개 채널까지는 약 95% 이상의 데이터 전송 성공률을 보였으나 3개 채널 이상에서는 오류율이 증가하여 5개의 채널에서는 데이터 전송을 할 수 없었다.

따라서 주파수 도약모드에서는 음성주파수의 밴드폭 80Hz와 2개 채널을 이용하여 데이터 통신 수행이 가능하며, 이때 성공률은 95%, 데이터 송신 속도는 96bps의 전송능력을 보였다.

4) 종합

상기 시험결과를 바탕으로 ARC-164 통신장비에서 데이터 통신을 시험한 결과를 종합하면 Table 5와 같다.

Table 5. S/W 모뎀의 채널 수와 전송 속도

채널수	Non H/Q				H/Q
	80Hz	160Hz	250Hz	350Hz	80Hz
2	96	193	388	782	96
3	146	292	588	1194	146
4	192	385	779	-	
5	238	481	-	-	
10	488	-	-	-	

표에서 보는 바와 같이 주파수가 도약하지 않는 모드에서는 최대 밴드폭 350Hz에서 최대 1194bps의 전송률을 보였다. 밴드폭 80Hz에서는 10개 채널까지 사용할 수 있었으나 전송속도는 488bps를 나타내어 전송 효율은 떨어지는 것으로 나타났다.

H/Q 모드에서는 최대 3개 채널을 사용할 수 있었으며 이때 전송 속도는 146bps이며, 1~2byte 오류가 지속적으로 발생하는 경향을 보여 오류정정부호를 사용할 경우 간단히 오류를 수정할 수 있을 것으로 판단된다.

상기 시험결과를 바탕으로 ARC-164 통신장비에서 데이터 통신을 할 수 있는 최적의 구성은 Table 6과 같다.

Table 6. 시험결과 종합

구 분	Non H/Q	H/Q
음성통신주파수	2,000~3,500Hz	
적정 밴드폭	80~350Hz	80Hz
채널수	3~10	2~3
전송 정확도	95% 이상	95% 이상

다. 데이터 통신 신뢰도 및 성능의 측정

Table 8은 ARC-164에서 수행한 S/W 패킷 모뎀의 데이터 송수신 시험 결과이다.

Table 7. S/W 모뎀의 신뢰도 비교

전송크기	기존 H/W 모뎀		S/W 패킷 모뎀	
	Non H/Q	H/Q	Non H/Q	H/Q
5byte	98.0%	94.4%	99.2%	95.0%
10byte	96.6%	95.6%	99.0%	94.0%
15byte	91.0%	61.0%	98.6%	99.0%
20byte	90.0%	49.0%	98.4%	96.0%
25byte	81.0%	9.0%	99.0%	98.0%

Table에서 보는바와 같이 주파수 도약 방식에서도 약 95%대 이상의 신뢰성을 유지하였다.

5. 결론 및 향후 연구사항

본 연구는 주파수 도약이 가능한 통신장비에서 안정적으로 데이터 통신을 수행하기 위하여 PSK S/W 패킷모뎀을 재개발하고 데이터 통신 시험을 수행하였다.

S/W 패킷모뎀의 통신 속도는 주파수가 도약하지 않는 모드에서는 최대 1,194bps의 속도를 유지하였으며, 주파수 도약방식에서도 95% 이상의 통신 정확도를 유지하는 가운데 146bps의 속도로 안정적인 데이터 통신을 수행할 수 있었다. 이는 전시 주파수 도약 방식을 반드시 사용하여야 한다는 전술적 요구사항을 만족함을 나타내고 있다. 또한 S/W 패킷모뎀은 항공기에 탑재하기 위한 장비단위 전자파 검증(EMC, MIL-STD 461E/F)을 생략할 수 있는 장점을 가지고 있어 활용 가능성이 높을 것으로 예상된다.

향후 오류정정부호를 사용하여 데이터 전송의 안정성을 높임과 동시에 압축알고리즘 사용을 통해 보다 우수한 성능의 S/W 패킷 모뎀을 실용화 할 수 있을 것으로 판단된다.

추가적으로 본 S/W 패킷모뎀은 UHF/VHF/HF 등 항공탑재 통신장비의 종류에 구애받지 않고 대부분 사용할 수 있는 특성을 지니고 있다. 따라서 계기비행의 관제 인가(ATC : Air Traffic Clearance) 및 수령, HF

장비의 범지구적 통신능력을 이용하여 해외파병 수송기의 자동 위치보고 시스템의 구축, PAR 통신장비 상의 DGPS 구축을 통한 기지별 정밀 공항접근 및 착륙 시스템 구축 등, 다양한 분야에서 쉽게 이용할 수 있을 것으로 본다.

References

- [1] 공군본부, 공군 NCW 발전방향, 2007. pp. 29~31.
- [2] 심동섭, 강경성, 김기형, “기존 전술 무전기를 이용한 전술 데이터 통신 성능 실험”, 한국군사과학기술학회지, 제13권 제2호, pp. 243~251, 2010. 4.
- [3] <http://www.columbiaelectronics.com/id195.htm>
- [4] T.O 12R2-2ARC164-33 pp. 3~41
- [5] Dong-Sub Sim, “A Study on UMPC Tactical Data Link Model for Network Centric Interoperability”, Ph. D. Dissertation, Ajou Univ, p. 89, Aug. 2010.
- [6] pocketdigi.sourceforge.net, “HF Digital Teletype Modem for Porket PC”.
- [7] 공군-국과연 워크샵 발표자료, 6. 19. 2000.
- [8] MACH·NET, SEINTEK, “Intelligent Radio Data Linker for Aircraft DLK-1200”, 사용자 매뉴얼, 2008.
- [9] Richard W. Snyder, “Briefing of Improved Data Modem(IDM)”, Symetrics Industries, 2007.
- [10] 김의순, 임재현, 안병오, “한국군 전술데이터링크 구축계획(안) 연구”, 2005.
- [11] 방위사업청, 한국형 합동전술데이터링크 체계개발실행계획서, 3. 2009.
- [12] 권구형, “한국형 전술데이터링크(Link-K)의 무선통신 시험환경 구성 및 다중접속 프로토콜 성능분석”, 한국군사과학기술학회지, 제12권 제2호, pp. 170~174, 2009. 4.
- [13] 김진수, 09wk.ppt, www.hanbat.ac.kr
- [14] <http://www.rfdh.com/>
- [15] <http://www.moetronix.com/ae4jy/files/winpskuser211.pdf>, Moe Wheatley(AE4JY), WinPSKUser Guide, pp. 5~6.