

한국형 디지털 TRS(TETRA) 무선 모뎀 및 단말기 시스템 개발 The Development of Wireless TETRA Modem and Wireless TETRA Terminal

우 상 철 (방송영상제작전공)

Sang-Choel Woo (Dept. of Broadcasting & Video and Film)

Key words : TETRA,EADS,MSPD,ETSI,WPAN,DMO,PDO,ISDN

Abstract : In this study, we realized the digital TETRA(Terrestrial Trunked Radio) Modem and Terminal based upon the type of Korea. Also, the digital TETRA Modem and Terminal is made of the SSPD(Single Slot Packet Data) method and MSPD(Multi Slot Packet Data) method that has the function of PEI, DMO, UMAC and MLE. The H/W design of digital TETRA Modem and Terminal has RF transmitter/receiver part ,baseband part, DSP subsystem, OMAP5910 MCU subsystem, 25KHz RF channel bandwidth and the S/W design has TETRA Protocol Stack Layer 1, TETRA Protocol Stack Layer 2(LLC and MAC), TETRA Protocol Stack Layer 3(MLE).

1. 서 론

국제적으로 재난망이나 교통, 가스, 전력전송, 유전이나 항만 등의 통신 시스템으로 TETRA가 120여개 국에서 채택되어 사용되고 있고, 국내는 물론 국제적으로 검증된 통신수단으로 더욱 활용이 증가하고 있다.

국내의 경우 국가 공공무선지휘통신망으로 TETRA가 채택되어 추진되어 오다가 일부 시스템 간의 연동성 문제로 정책적으로 보류되고 있지만 이미 경찰청이 전국적인 망을 설치 운영 중에 있고, 한국전력 지휘통신망이나 중공업 등 주요 기간 산업체가 TETRA를 채택하여 운용 중에 있어 이를 활용한 응용 개발이 절실히 필요한 실정이다. 이러한 상황에서 국내 제조업체의 경우 TETRA 시스템 및 단말기 관련 기술을 확보하지 못함으로 일부 해외업체들의 시장독점 및 기술 종속 우려로 기술개발이 요구된다[1].

실제로 현재 국내의 TETRA 시스템 및 단말기 관련 기술을 가진 업체는 소수에 불과하고 모토로라, EADS, Sepura 등 해외 업체가 해외 및 내수시장의 75%를 점유하고 있어 시장 및 기술종속이 심화되어 가고 있는 실정이다. 지금은 비록 정부의 재검토 지시에 따라 그 사업 추진이 보류되고 있으나 국제적으로 TETRA가 더욱 확대되고 있는 점과 국내 통합지휘통신망으로 TETRA 이외에 대체 통신 수단이 별로 없고(국제적으로 검증된 시스템으로 미국의 APCO-25를 채택하고 있으나 이 방식은 특정 기업 종속 우려가 너무 커서 많은 문제를 야기할 수 있어 채택이 어려움) 기후 변화나 국지적 재난 등의 발생 가능성을 염두에 둘 때, 검증된 TETRA 기술이 채택될 수 있을 것이라 판단되며 향후 시장 전개에 대비하여 한국형 TETRA 기술을 개발할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 한국형 TETRA 무선 모뎀 및 단말기의 H/W 와 S/W를 구현한다.

2. 본 론

TETRA 기술 동향으로는 ETSI에서 1990년대 개발한 유럽 이동 무선 통신 기반의 표준으로 경찰, 소방 무선과 같은 공공기관, 공공단체의 이동 무선 통신 필요에 따라 음성 및 데이터 통신 서비스를 제공할 목적으로 개발된 것으로 디지털 트렁크 무선 기술을 기반으로 한 이동 무선 기술로 평상시 고유의 업무를 수행하다가 재난, 재해 발생시, 통합지휘 무선 통신망의 기능을 수행한다. 음성과 데이터 전송이 가능한 V+D(Voice Plus Data), Packet 데이터 전송이 가능한 PDO(Packet Data Optimized) 그리고 두 단말간에 직접 통신을 할 수 있는 DMO(Direct Mode Operation)가 있다. 그리고 아래와 같은 다양한 Air Interface를 지원한다. TETRA Air Interface는 시스템 운영방법이 아닌 시스템 간 상호 인터페이스를 정의 규격화 시켰다. 정의된 5개의 인터페이스는 TETRA 시스템 사이의 상호 연동성과 인터페이스를 보장하기 위해 정의 된다[2].

- 시스템 무선 인터페이스(System Air Interface)

이 인터페이스는 채널 대역폭이 25KHz당 4개의 타임 슬롯을 가지고 있으며 주파수의 특성상 TDMA 멀티 플렉싱을 채택하고 있는 디지털 무전기 경로로 정의된다. 단문 데이터 메시지와 패킷 서비스와 같은 포괄적인 데이터 서비스가 제공된다.

- 직접 모드 운용(DMO : Direct Mode Operation)

이 방식은 각 단말기가 중계기(BS)없이 근거리에서 있는 단말기를 통해서 직접 통화할 수 있는 방식으로써 특별한 경우 DMO를 통한 중계 기능을 수행할 수 있고 게이트웨이 기능으로도 사용가능하다.

- PEI(Peripheral Equipment Interface)

PEI는 외부 네트워크와 연결을 제공하는 것이 아닌 데이터 터미널과 TETRA Mobile Station 사이의 링크를 제공하는 인터페이스로서 패킷 데이터 서비스, 단문 데이터 서비스, Speech Call의 설정과 제어에 사용이 가능하다.

- Line Station

라인 스테이션은 TETRA가 무선 인터페이스가 아닌 ISDN과 같은 유선망에 접속할 수 있는 표준을 제공한다.

- ISI(Inter System Interface)

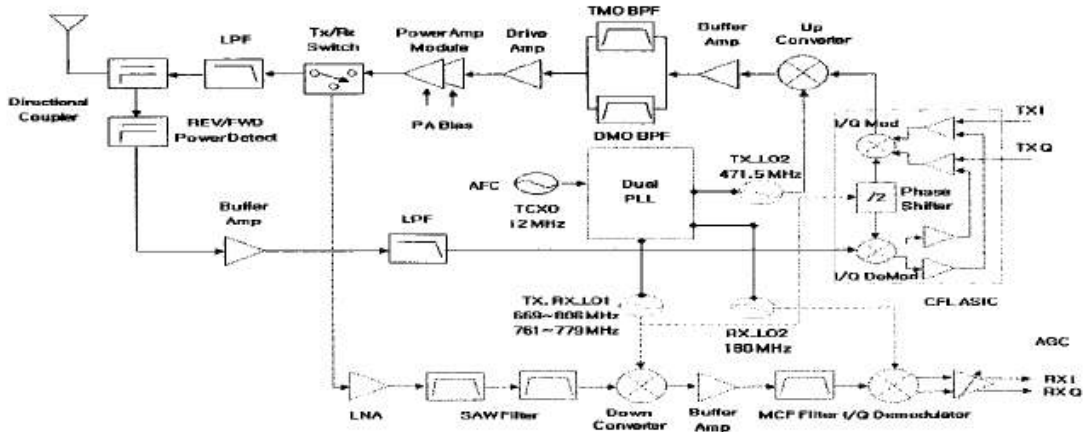
단말기가 다른 TETRA망 예를 들면 서울 경찰청과 인천 경찰청이 다른 제조업체가 생산한 제품을 사용할 경우 이들 사이의 인터페이스가 가능하도록 표준을 규정하는 것으로 현재 Motorola와 EADS간 ISI가 진행되어 왔다.

2-1 TETRA Modem 및 단말기 H/W 개발

한국형 디지털 TRS(TETRA) 단말기는 먼저 1 Slot의 7.2.Kbps를 구현한다. TETRA Modem 및 단말기 H/W 구성은 다음과 같다.

(1) RF부 구성도

단말기 RF부는 베이스밴드 신호를 RF신호로 변환하거나 RF신호를 베이스밴드 신호로의 변환을 처리하기 위한 부분으로서 국부발진기 인터페이스, 베이스 밴드 제어 및 PA 바이어스 제어 등을 처리하고 있으며 그 구성 블록도는 그림 2-1과 같다.

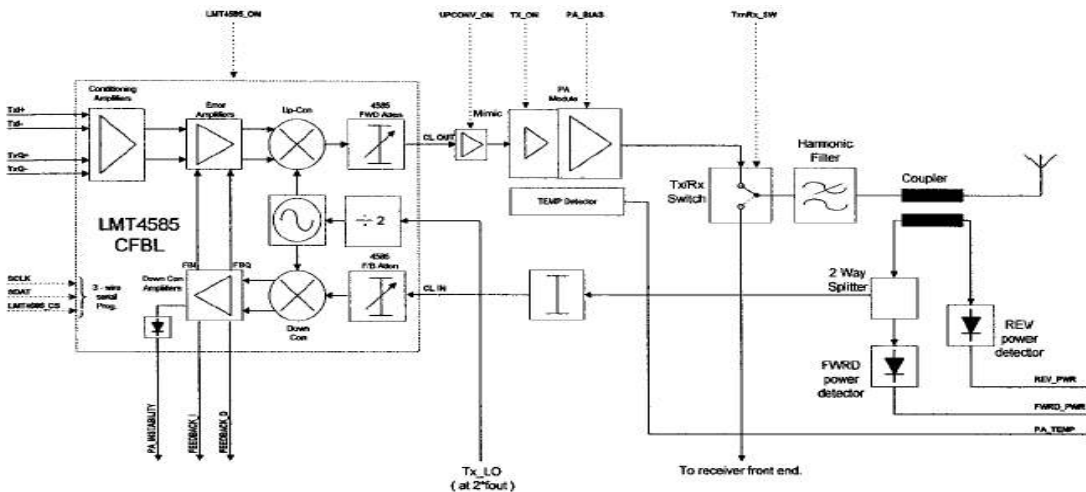


[그림. 2-1] RF 송수신부 구성 Block Diagram

(2) RF 송신부 구성 및 동작

RF 송신부는 Power Amp의 선형성을 위해 Cartesian Feedback Loop 선형화를 사용하며 주요 구성부는 다음과 같다.

- Baseband 신호 : Differential I/Q Signal Input
- Harmonic filter : 수신부의 image rejection
- Tx/Rx switch : 송신부의 PA출력과 수신부의 front-end 절체
- CFL IC(LMT4585) : 출력 주파수의 2배 주파수 입력
- TXLO 주파수 : 740~800MHz, 신호 레벨 -10dBm
- PA 구동 : PA_BIAS1과 PA_BIAS2의 2개의 gate 전압

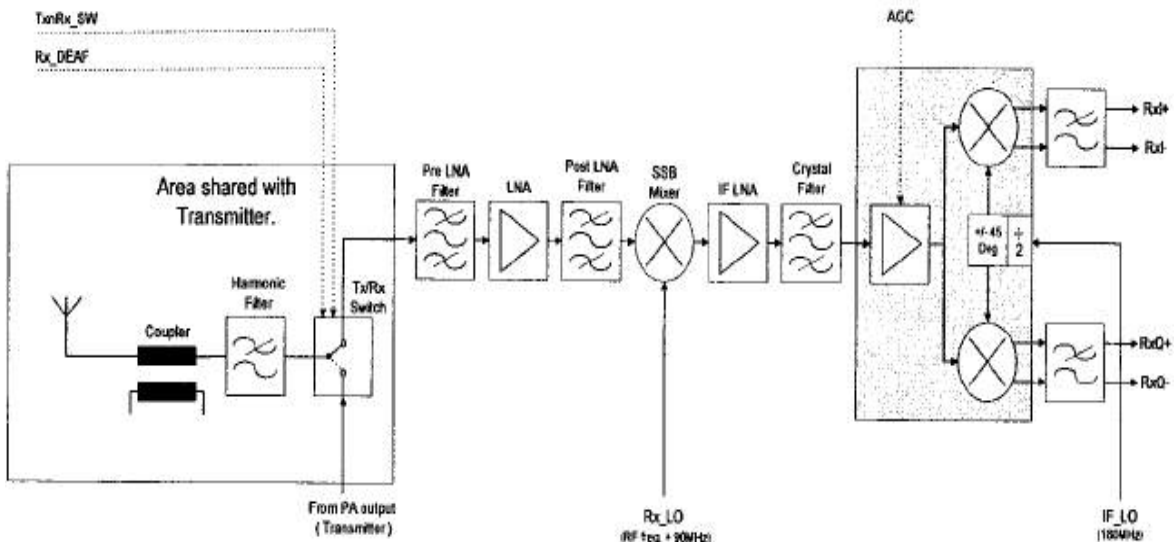


[그림. 2-2] RF 송신부 구성 Block Diagram

(3) RF부 수신부 구성 및 동작

RF 수신부는 Super Heterodyne Type 구조 및 90MHz First IF로 구성되어 있으며 90MHz IF 수신신호는 차동 베이스밴드 I 및 Q 신호로 복조한다.

- 국부발진기 인터페이스 : Rx_LO와 IF_LO로 구성
- Baseband I/Q 출력신호 : 차동 I/Q format
- Baseband 제어 신호 : AGC,IF I/Q 복조기의 이득 제어
- 송신부의 LO 발생신호는 송신출력 주파수의 3배를 사용함. 송신 주파수의 2배에서 VCO를 직접 동작시키는 것은 PA의 제 2 고조파가 VCO와 결합하여 ACP특성과 EVM특성이 나빠짐으로 실용적이지 못함.
- 수신부의 제 1 LO주파수 : 90MHz IF를 얻도록 결정
- IF I/Q Demodulator IC : 2x LO(180MHz)
- PLL 기준 주파수 생성(12MHz VCTCXO)

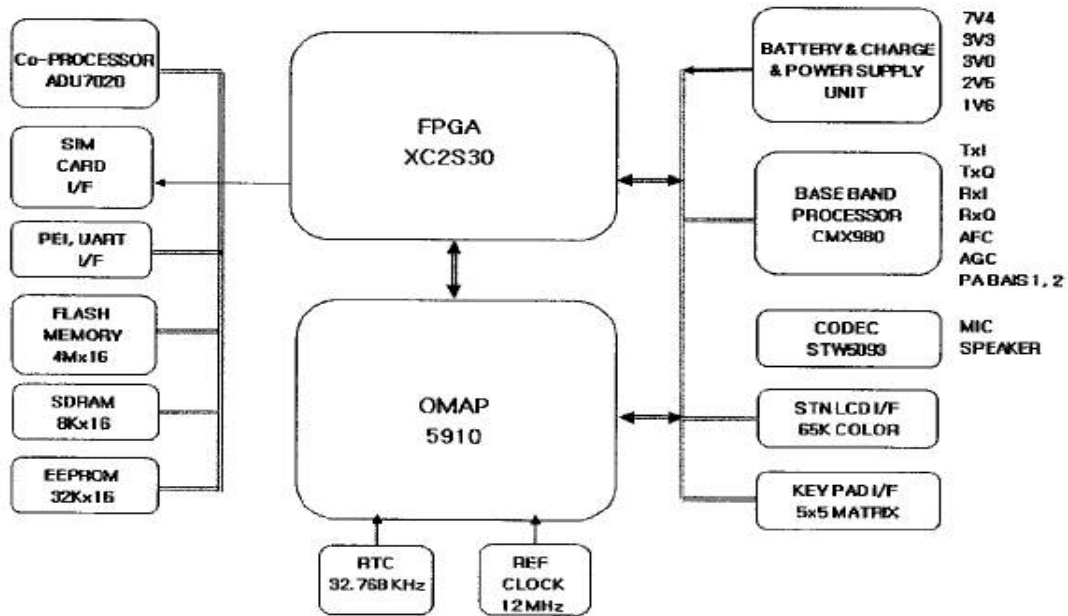


[그림. 2-3] RF 수신부 구성 Block Diagram

(4) 베이스밴드 구성 및 동작

음성 및 데이터 신호의 부호화 및 복조화를 수행하기 위한 부분으로서 DSP MCU 및 베이스밴드 프로세스 등이 각 역할을 수행하며 그 구성 Block Diagram은 다음 그림 2-4와 같다. DSP는 OMAP5910을 사용하며 동작속도는 150MHz이다. 베이스밴드 프로세서는 CMX980A를 사용한다. 송수신 DSP의 기저대역 I 및 Q 신호의 음성 부호화 및 복호화를 수행하는 것으로 특히 디지털 변조에서 주요 사항으로 증폭기의 선형 특성을 유지하기 위해서 변조간 "0" Crossing 발생을 최대한 줄여야 한다.

- DSP OMAP5910 Subsystem(150MHz,SARAM 64Kbytes,32Kbytes ROM)
- FPGA XC2S30
- MCU Subsystem(ARM9TDMI 150MHz,16K instruction cache/8K data cache)



[그림. 2-4] Baseband 구성 Block Diagram

(5) AT Command Status Transition

AT Command는 일반적으로 IT업체에서 널리 사용되는 프로토콜로서, PC 또는 다른 지능형 터미널에서 Modem을 제어하는 수단으로 널리 사용되고 있다. AT Command는 대부분의 무선 시스템에서 데이터 서비스 액세스를 위하여 적용하고 있으며 TETRA 역시 무선 데이터 서비스 액세스를 위해서 적용되고 있으며 TETRA PEI A를 이용하여 사용하고 있다. TETRA 서비스에서는 AT Command를 이용함으로써 Call Control, 이동성 관리 및 단문 데이터 전송을 한다. 가장 먼저 AT Command가 발생하면 ATA, CTCC, ATO 그리고 ATD 같은 명령 천이가 발생한다.

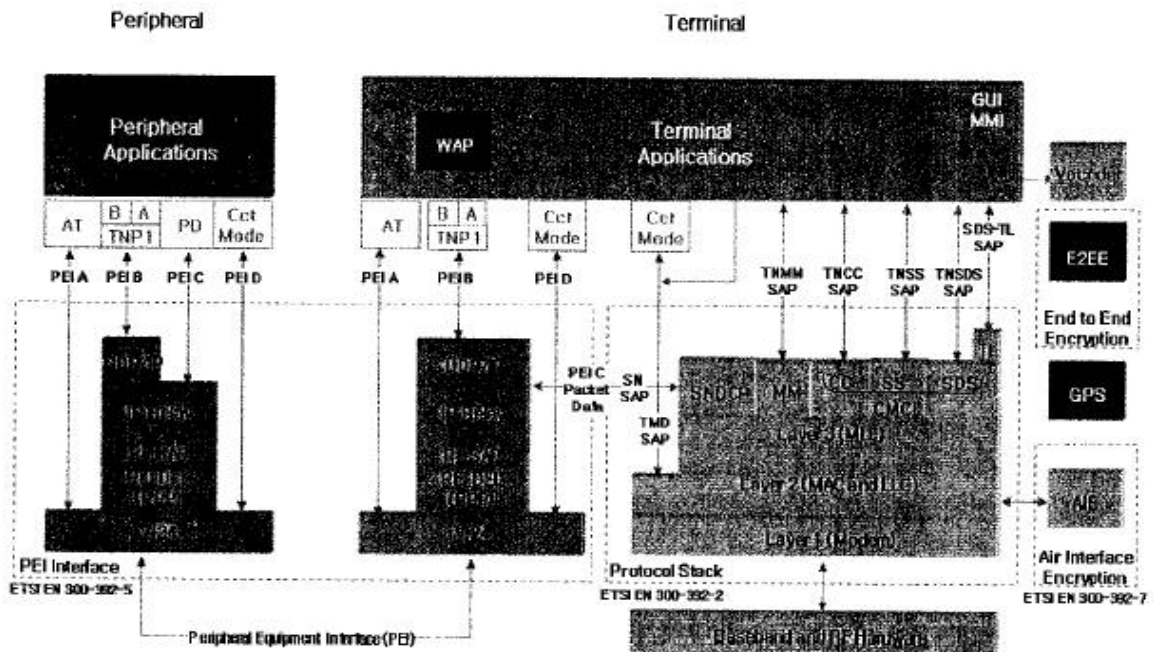
2-2 TETRA Modem 및 단말기 S/W 개발

TETRA 통신 Protocol S/W 구현은 TMS320C55 DSP와 ARM 9 Dual Core MCU에 구현되어 있으며 DSP에는 Protocol Stack의 Layer 1, 2 기능이 주로 구현되며 ARM 9 MCU에는 Upper Media Access Control(UMAC) 기능과 논리적 링크제어(LLC) 레이어 기능을 수행한다. 나머지 Layer 2,3은 아래와 같은 MLE(Mobile Link Entity) 기능을 수행한다.

■ Layer 1 기능

- Modulation(modulation, filter, frequency translation) 및 demodulation
- Differential encoder(phase transition generation)
- Transmitter/receiver switching
- Frequency(or channel) setting
- Received Signal Strength Indication(RSSI)

- Power control
- Burst building
- Local channel multiplexing



[그림. 2-5] TETRA Protocol Stack 구조

■ Layer 2기능

- Block encoding/decoding
- Convolutional encoding/decoding
- Re-ordering/interleaving
- Scrambling/descrambling
- Cyclic Redundancy Check(CRC)
- Forward Error Correction(FEC)

■ Upper Media Access Control(UMAC) 기능

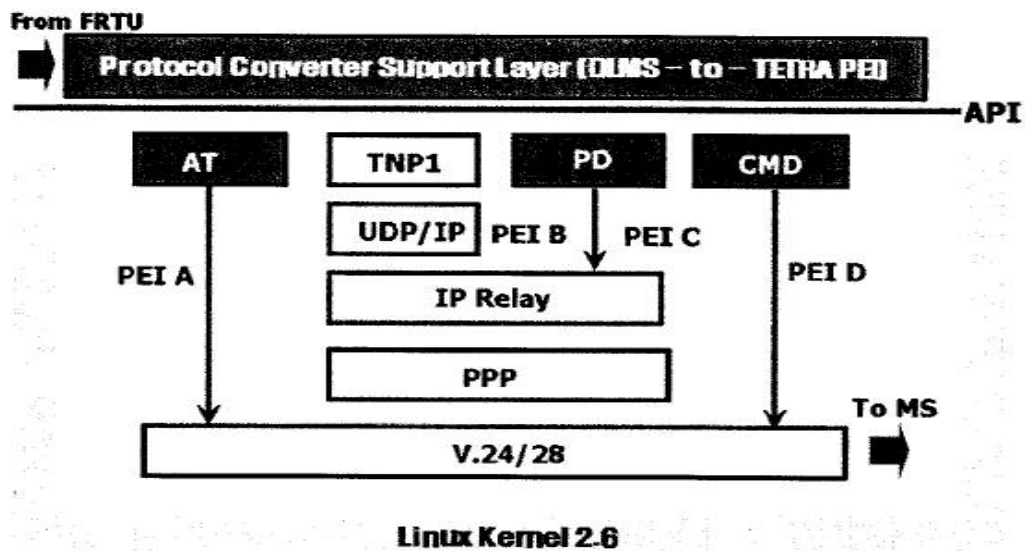
- Frame 및 multi-frame 동기 맞춤
- 각 채널의 다중 및 역 다중
- 무선경로 설정 및 채널할당
- Layer 2 address에 대한 address management
- LLC로 부터 수신한 데이터의 Fragmentation/Association
- 저장 채널의 모니터링 및 채널 등급의 평가

■ Layer 3 기능

- Attachment management
- Data transfer
- Call control(CC)

- Supplement services(SS)
- Sub-network dependent convergence protocol(SNDCP)

TETRA PEI구조는 TE(Data Terminal) 2와 TETRA MT(Mobile Station) 2 사이에서 링크를 제공하는 서비스이다. 외부 장치는 PEI를 통해서 TETRA 네트워크 서비스를 지원하는 장비로 데이터를 전송할 수 있다. 데이터 서비스 측면에서 TETRA PEI는 패킷, 서킷, 단문 메시지 데이터를 전송할 수 있고 추가적인 서비스 측면에서 Speech Call 설정과 제어, MT2와 네트워크의 일반적인 정보 접근, MT2 내부의 사용자 어플리케이션 설정 등의 기능을 제공한다. TETRA PEI의 물리 계층으로는 산업용으로 널리 사용되는 ITU-T V.24와 V.28 타입의 시리얼 인터페이스를 사용한다. TETRA PEI는 아래 그림. 2-6처럼 총 4개의 서브 PEI로 구분되어 있다. PEI는 데이터 전송과 MT2의 어플리케이션 셋업을 위하여 총 3개의 구분된 프로토콜을 사용한다. 그리고 AT Command는 일반적인 IT업계에서 사용하는 프로토콜이다.



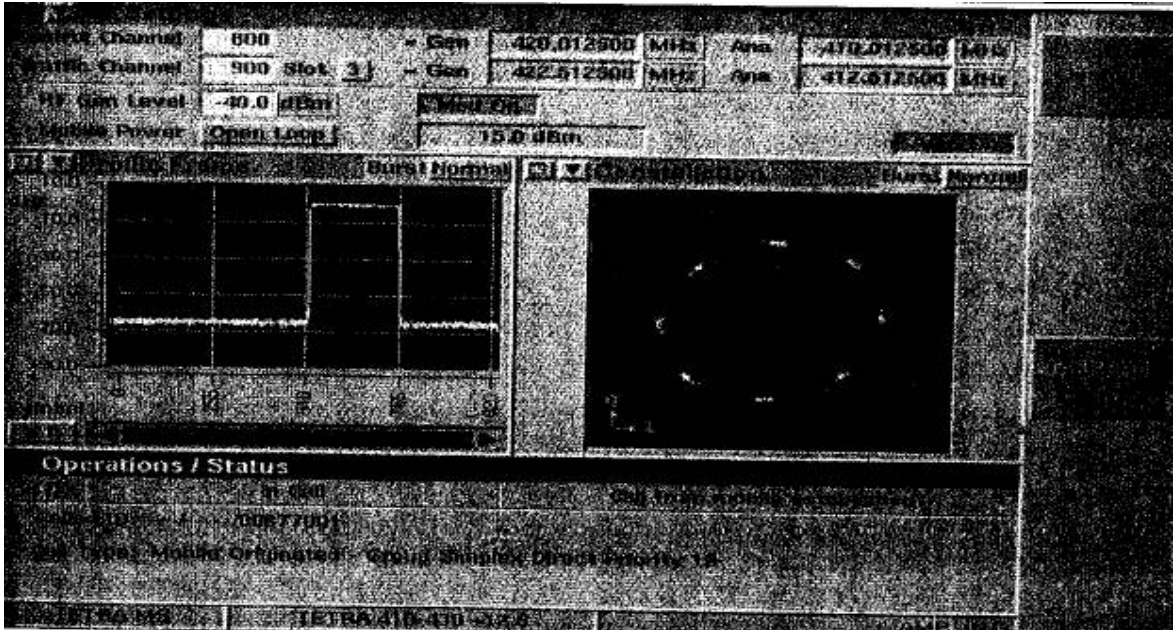
[그림. 2-6] TETRA PEI Stack 구조

2-3 TETRA MSPD(Multi-Slot Packet Data) 구현

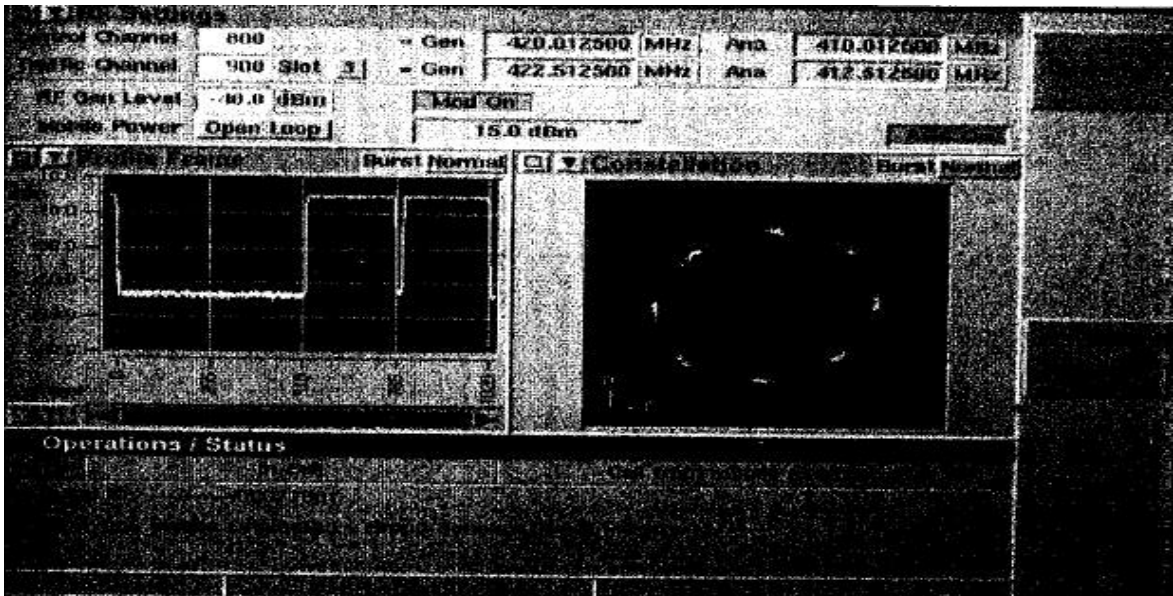
구현된 MSPD의 동작 개념은 기존의 TETRA 단말기에서 제공되던 SSPD(Single Slot Packet Data)의 확장 개념으로 IP Packet data를 단말기나 모뎀을 통해 TETRA 네트워크로 송출하기 전에 Packet Data Channel(PDCH)의 사용을 요청하면 TETRA 네트워크는 PDCH를 통해 단말기에 대해 우선 하나의 SSPD만을 할당하게 되는 데 이 경우 최대 전송 가능한 속도는 7.2kbps이다. MSPD는 IP data 송출 시 타임 슬롯의 가용 수를 1에서 최대 4까지 단말기가 사용될 수 있도록 할당하는 것으로 TETRA 네트워크가 충분한 주파수 자원이 있을 경우 단말기에 대해 PDCH상의 타임슬롯을 모두 사용할 수 있도록 할당하며 이 경우 최대 전송 가능한 속도는 28.8kbps이다. 만약 TETRA 네트워크가 충분한 주파수 자원을 가지지 못할 경우 단말기는 4 Time Slot의 사용을 요청한다해도 "negotiate down"과정을 거쳐 할당 가능한 타임 슬롯만을 할당한다. 따라서 MSPD 기능을 사용하는 경우 PDCH상의 협약과정을 통해 가용한 타임 슬롯의 수를 지정하게 된다. 또한, TETRA 네트워크가 4개의 타임 슬롯을 할당하여 데이터를 전송 중이라 할지라도 단말기가 음성 통신을 하고자 할 경우는 음성통신으로 1 Time Slot을

할당하고 데이터 전송용으로 3 Time Slot만을 사용하게 한다. 아래 그림.2-7 ~ 2.10는 TETRA MSPD의 타임슬롯에 관련된 동작이다. MSPD 동작시 각 Time Slot 할당 별 Data Throughput는 다음과 같다.

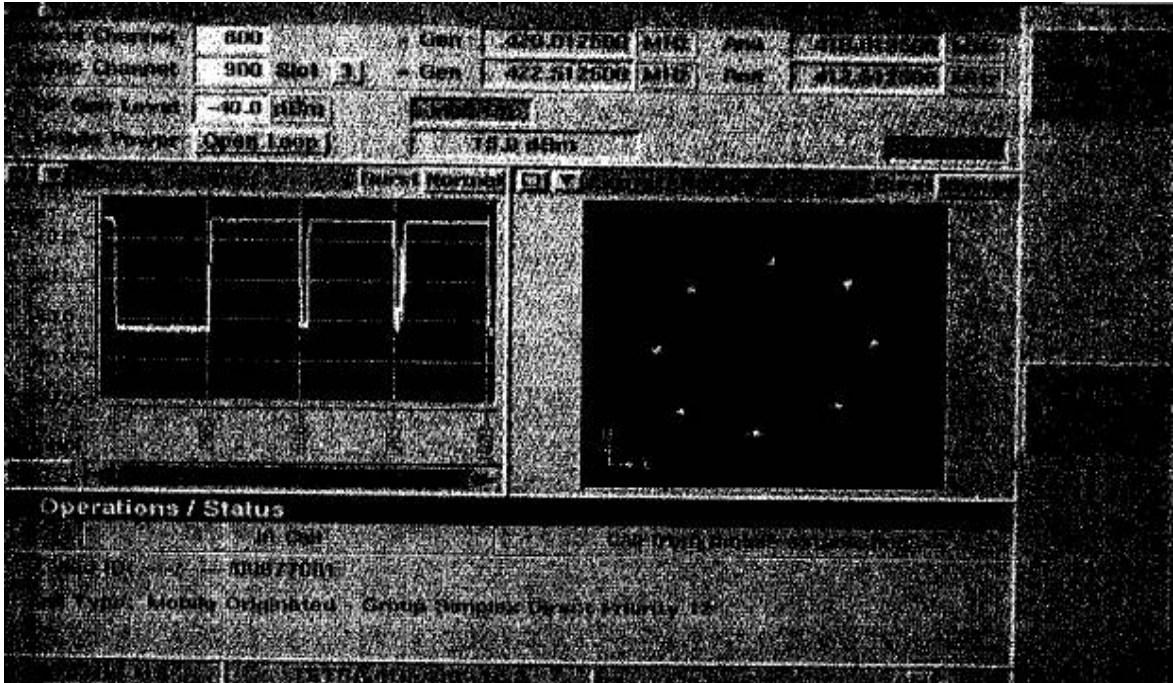
No. of Time Slot	High Level Protection	Medium Level Protection	No Protection
1	2400	4800	7200
2	4800	9600	14400
3	7200	14400	21600
4	9600	19200	28800



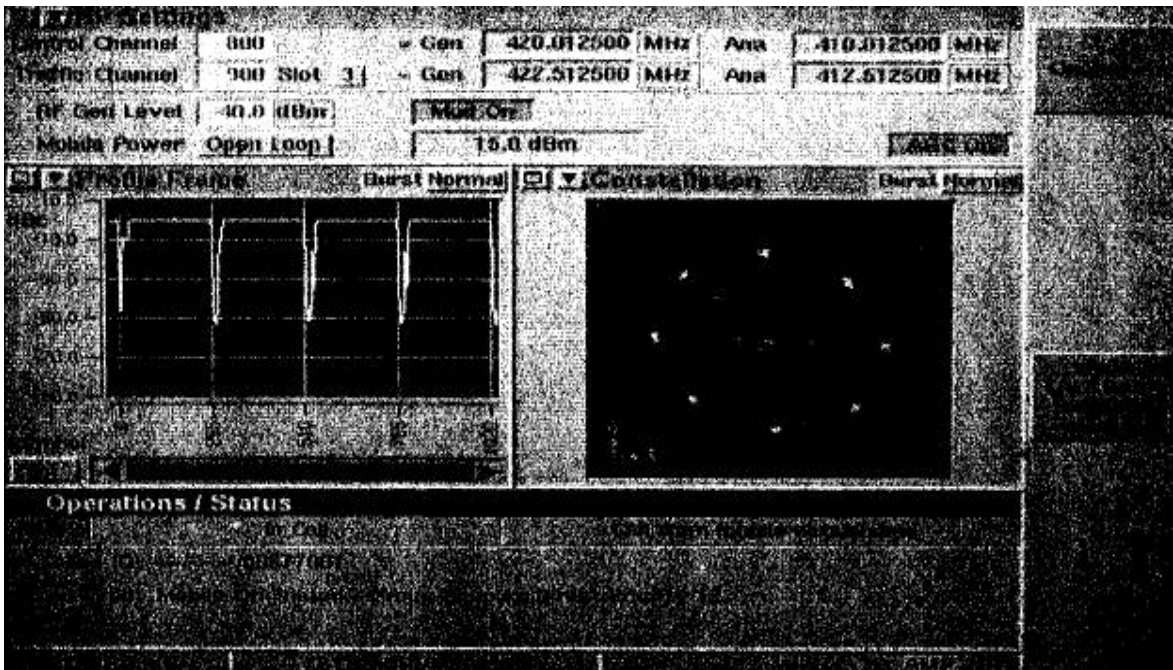
[그림. 2-7] 1 Time Slot 동작



[그림. 2-8] 2 Time Slot 동작



[그림. 2-9] 3 Time Slot 동작



[그림. 2-10] 4 Time Slot 동작

2-4 TETRA 단말기 규격 및 특징

구현된 TETRA 단말기 규격 및 특징은 다음과 같다.

항목	내용
Frequency Bands	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 350 - 380MHz ▪ 370 - 400MHz ▪ 400 - 430MHz ▪ 450 - 470MHz ▪ 806 - 869MHz
RF channel bandwidth	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 25KHz(1:4 TDMA), MSPD 지원
Transmitted RF Power	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Class 4(1 Watt) for 800MHz band ▪ Class 2(3 Watt) for 400MHz band ▪ - Power Control in 4 steps of 5db
Receiver Class	<ul style="list-style-type: none"> ▪ - Class A
Receiver Static Sensitivity	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -112dbm
Receiver Dynamic Sensitivity	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -103dbm
Dimension HxWxD(mm)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 146x48x34
Weight (g)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 297(with standard battery)/285(slim)
Battery capacity	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1800mAh Li-ion(standard)/1450mAh(slim)
Operation Temperature	<ul style="list-style-type: none"> ▪ +55 - (-20℃)
Drop,Vibration,Shock & Humidity	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ETS 300 019 -1- 7
Dust and Water Ingress Protection	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEC 60529 IP54

구현된 TETRA 단말기는 다음 그림.2-11과 같다.



[그림. 2-11] TETRA Modem

3. 결론

급변하는 IT산업의 발달에 따른 정보통신과의 융합화, 고품질 산업기기, 설비 등 증대에 따른 인류가 당면한 문제해결 즉, 전력, 가스, 산불 등에 의한 국가 재난 및 환경감시, 감지에 대한 실시간 원격 검침, 제어 등 핵심 기술 분야의 발전으로 보다 장기적이고 체계적인 TETRA의 연구가 필요하다. 특히 시장 전개측면에서 국내 무전기 시장의 2/3가 국내 TETRA방식으로 되고 정부의 통합지휘망 사업 외에 민간 기업들의 TETRA 자가통신망 사업, TRS 사업자의 TETRA 전환 등 향후 디지털 TRS 장비 시장의 대부분을 TETRA가 점유할 것으로 예상되면서 Motorola, EADS 등 이미 진출한 TETRA 장비업체들 외에도 유럽을 중심으로 한 해외 장비 업체들의 국내 시장 진출이 활발히 진행되는 시점에서 이에 대한 신속한 대처로 한국형 MSPD TETRA를 구현 하였다. TETRA 통신 Protocol S/W 구현은 TMS320C55 DSP와 ARM 9 Dual Core MCU에 구현되어져 있으며 DSP에는 Protocol Stack의 Layer 1, 2 기능이 주로 구현되며 ARM 9 MCU에는 Upper Media Access Control(UMAC) 기능과 논리적 링크제어(LLC) 레이어 기능을 수행한다. 나머지 Layer 2, 3은 아래와 같은 MLE(Mobile Link Entity) 기능을 수행한다. 그리고 구현된 MSPD의 동작 개념은 기존의 TETRA 단말기에서 제공되던 SSPD(Single Slot Packet Data)의 확장 개념으로 IP Packet data를 단말기나 모뎀을 통해 TETRA 네트워크로 송출하기 전에 Packet Data Channel(PDCH)의 사용을 요청하면 TETRA 네트워크는 PDCH를 통해 단말기에 대해 우선 하나의 SSPD만을 할당하게 되는 데 이 경우 최대 전송 가능한 속도는 7.2kbps이다. MSPD는 IP data 송출 시 타임 슬롯의 가용 수를 1에서 최대 4까지 단말기가 사용될 수 있도록 할당하도록 구현된다.

4. 참고 문헌

- [1] 정남모, 장문기, 정근열. "TETRA 디지털 TRS 시스템",오성미디어 2008.
- [2] 박광로. "TETRA 시스템 전송기술 현황 보고서" ETRI Journal, 2006.
- [3] Van Jacobson,Michael J. Karels, "Congestion Avoidance and Control", SIGCOMM 88.
- [4] W.R. Stevens, TCP/IP Illustrated Vol. 1 Addison Wesley, Nov.1994
- [5] H.Balakrishnam "A Comparison of Mechanism For Improving TCP Performance Over Wiless Links" IEEE/ACM Transactions on Networking Vol 5, NO 6 1997.
- [6] Chander Dhawan, "Mobile Computing", MacGraw-Hill, 1997.