

## 이동체에 적합한 소형 무선 데이터 송·수신기 설계 및 제작

김세열 · 정천석  
전기전자 및 자동화공학부

### <요 약>

이동체에 적합한 소형 무선 데이터 송수신기를 설계하여 그 특성을 시험하였다. 본 논문에서는 Binary FSK-NRZ로 변조된 소형의 송수신기를 사용하여 원격측정 시스템의 이상 상태를 데이터화시켜 전파로 송출함으로써, 이동 상태에서 시스템의 상태를 실시간 모니터링 할 수 있도록 하였다. 송신기 출력은 10mW로써 약 300~500meter로 측정되었다.

## Design and Fabrication of Receiver and Transmitter for wireless communication

Kim Se-yeol · Jung Chun-suk\*

School of Electrical Eng. and Automation., Univ. of Ulsan.

E-mail: mrjung@uou.ulsan.ac.kr, mrmrk12@hotmail.com

### <Abstract>

A small wireless transceiver has been designed and its characteristics is investigated. In this paper, we uses the transceiver whose modulated signal format is the binary FSK-NRE line code, and the telemetering system using the transceiver is monitored in real time by checking the radiated data of its extraordinary phenomena, as even though it is mobile. It shows that the output power of transmitter is about 10mW, and can transmit data up to 300~500 meter.

\* 이 논문은 1999년 울산대학교의 연구비에 의해 연구되었습.

## I. 서론

유선 통신은 단말기의 이동에 제약을 받으므로 최근 들어 이동 중에서도 장소와 거리에 크게 제한 없이 각종 정보의 교환과 검색이 가능한 무선 데이터 통신시스템 개발에 관심이 고조되고 있다. 특히, 산업분야에서는 공장자동화 부문의 원격 측정 대상을 수시로 이동하며 모니터링 함으로서 시스템의 이상으로 인한 조치를 신속하게 대처할 수가 있다. 그리고 사업장이나 가정에서는 가스 원격검침 및 가스 누출 통제를 모니터링 하여 자동 절폐 함으로서 가입자에 대한 안전확보를 할 수가 있다.

또한 전력 계량기에 무선 검침용 RF 모듈을 부착하여 검침원들이 수신용 핸드터미널을 가지고 다니면서 검침하고자 하는 곳을 지정하면 집에 들어가지 않고도 근거리에서 무선으로 전력량을 정확하고 신속하게 원격검침을 할 수 있다. 이상과 같이 원격 모니터링이나 측정대상 시스템에 이상상태가 발생할 시에는 시스템에 부착된 송수신기는 ON되어 데이터를 송출하고 수신기는 수신한 데이터를 단말기의 LCD상에 나타내거나 또는 메인 컴퓨터에 입력하여 프로세스에 따라 신속하게 처리 조치를 할 수 있다.

이러한 무선 통신 시스템에 사용되는 송수신 단말 장치는 일반적인 특성으로 감도, 선택도, 가격 등의 조건을 충족하여야 할 뿐만 아니라 부피, 무게, 전력소모 등의 추가적인 조건 등을 만족하도록 설계제작 되어야 한다. 이러한 무선 시스템의 시스템 성능을 충분히 증가시키기 위해서는 수신경로와 송신경로간의 신호 격리 정도가 높아야 하나, 이것은 RF 모듈의 가격을 좌우한다고 할 수 있으므로, 송신경로에서 수신경로로 유기되는 신호의 격리 특성을 증가시키고 그리고 특히 이미지 방해줄을 줄이고 필요한 선택도를 얻기 위해서는 송신 대역 통과 여파기와 수신 대역 여파기에 SAW(Surface Acoustic Waves) 필터를 사용한다. 이러한 소형 협대역 무선 송수신 시스템은 제한된 대역폭 내에서 전송속도를 높이고 에러가 보다 적을수록 데이터를 전송하기 위해서 2레벨 FSK(Frequency Shift Keying) 변조방법을 사용한다. 그리고 채널상에서 부가되는 잡음에 대처하기 위해서 고가의 송수신 시스템에서는 FEC/CRC(Forward Error Correction/ Cyclic Redundancy Checking) 및 인터리빙기법을 사용한다. 또한 대부분의 무선통신 시스템에서는 수신기에서 수신된 정보의 품질을 계산하기 위하여 수신단에서 SNR(Signal to Noise Ratio) 또는  $E_o/N_o$ 와 같은 신호의 품질을 계산하나 본 논문에서 다루는 시스템은 저가의 이동체에 적합한 데이터 송수신 시스템이므로 하드웨어적인 부분만 설계 제작하여 측정하는 것으로 하였다.

## II. 송·수신기 설계

본 논문에서 사용한 송수신기는 Super-heterodyne 방식의 FSK 변복조를 사용한 것으로 그 기본 구성도는 그림 1과 같다. 송신기는 기저대역 데이터 신호를 RF 반송파를 변조하는 것이고, 반면에 수신기는 수신된 피변조파로부터 기저대역 데이터 신호를 끄집어내는 것이다. 또한, 송수신 두 가지다 기저대역 정보와 IF 신호사이에 인터페이스가 필요하다. 왜냐하면 수신기에서의 IF 신호는 원하는 신호뿐만 아니라 안테나로부터의 잡음을 포함하고 있기 때문에 무선시스템의 성능을 결정하는 중요한 인자가 되고 있기 때문이다.

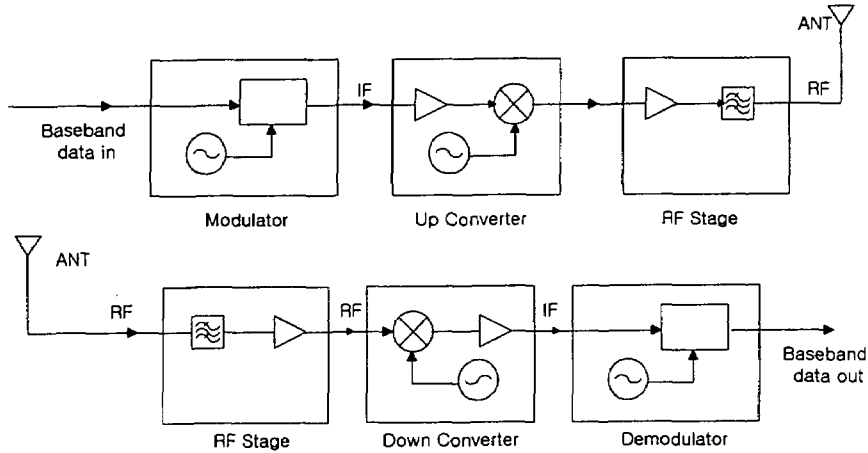


그림 1. 송수신기 구성도

무선 시스템에서 사용되고 있는 1GHz를 넘는 전파는 300~400MHz대의 전파에 비해 직진성이 강하고 회절효과가 적은 특성이 있다. 그러므로 방해물이 많은 도시와 같은 지형이나 건축물 내에서는 사용할 수가 없으므로 300~400MHz대의 전파를 채택하였다. 그리고 본 논문에서 사용하는 무선 시스템은 소전력 무선국 무선 설비 중에서 Telemeter 및 Telecontrol 용으로 규정한 STD-16에 맞도록 설계하여 표 1에 나타내었다. 여기서 Telemeter란 전파를 이용해서 원격지점의 측정결과를 표시 기록하는 것이고, Telecontrol은 원격지의 장치를 제어하는 원격제어를 말한다.

표 1. 소형 무선 시스템의 설계 사양값

(a) 송신장치

(b) 수신장치

항 목	설계 규격값	기술 기준	항 목	설계 규격값	기술 기준
공중선 전력	0.01W +5%, -20%	0.01W +20%, -50%	부차 발사강도	-60dBm 이하	400pW 이하
주파수의 허용편차	±2ppm 이내	±4ppm 이내	캐리어 센스레벨	+3dB, $V_{EMF} \pm 3dB$	+6dB, $V_{EMF}$ 이하
주파수 편이	±2.5kHz	-	기준 감도	-6dB $_{\mu}$ $V_{EMF} \pm 3dB$	-
스플리어스 발사강도	-60dBm 이하	2.5 $\mu$ W 이하	수신 통과대역 폭	8kHz 이상	-
점유 주파수 대역	8.5kHz 이하	8.5kHz 이하	인접 채널 선택도	45dB 이상	-
인접 채널 누설전력	40dB 이상	40dB 이상	스플리어스 응답	50dB 이상	-
FM 변조 SN비	30dB 이상	-	상호변조특성	50dB 이상	-
송신 상승	30ms 이내	-	종합왜울 및 잡음	35dB 이상	-
채널전환	25ms 이내	-	1%감도	0dB $_{\mu}$ , $V_{EMF}$ 이하	-

## II-1. 송신부

송신기는 프로세서의 출력단을 통해 출력되는 전송 데이터를 FSK 변조시키고, 그리고 FSK 변조부에서 출력되는 변조신호를 증폭하여 공중파 전송망으로 송출하는 안테나에 접속된다. 이 안테나의 절대이득은 2.14dB 이하이며, 송신기의 구성도는 그림 2와 같다.

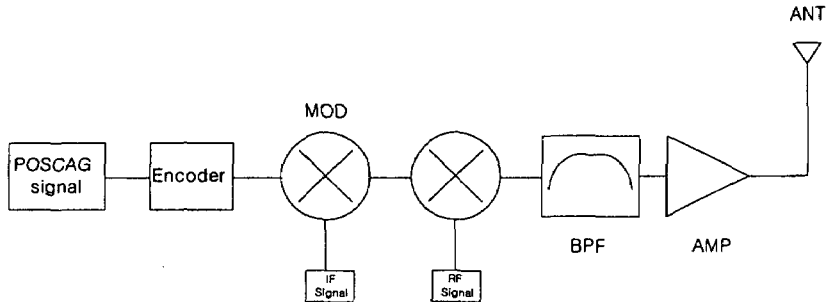


그림 2. 송신기의 구성도

## II-2. 주파수 안정화와 스퓨리어스 복사 억압

송신주파수 및 수신기 국부 발진 주파수의 기준 발진기는 고정밀도 AT컷의 수정 진동자를 사용하여, 수정진동자의 특성 변곡점 부근의 온도에서 주파수 편차 범위를  $-10 \sim +6$   $^{\circ}\text{C}$ 에서  $\pm 4\text{ppm}$ 이내의 주파수 편차를 갖는 것을 선택하였다.

송신 주파수 기본파의 고조파인 스퓨리어스를 총합 45dB 감쇠시키기 위하여 SAW 필터를 사용하고 증폭부 트랜지스터 동작점의 최적화를 도모하여 그것에 의해 S파라미터 값을 유도해서 정합을 취하였다. 송신 출력은 송신 증폭부 Q4의 R11을 조정하여 설정한다. Q3과 Q4는 궤환형으로 동작시켜 트랜지스터의 전류가 증가했을 경우, 컬렉터 전압이 저하됨과 동시에 베이스 전압도 저하되기 때문에 트랜지스터의 베이스 에미터간 전압이 내려가 전류증가를 막는다. FSK 송신기의 회로도 는 그림 3과 같다.

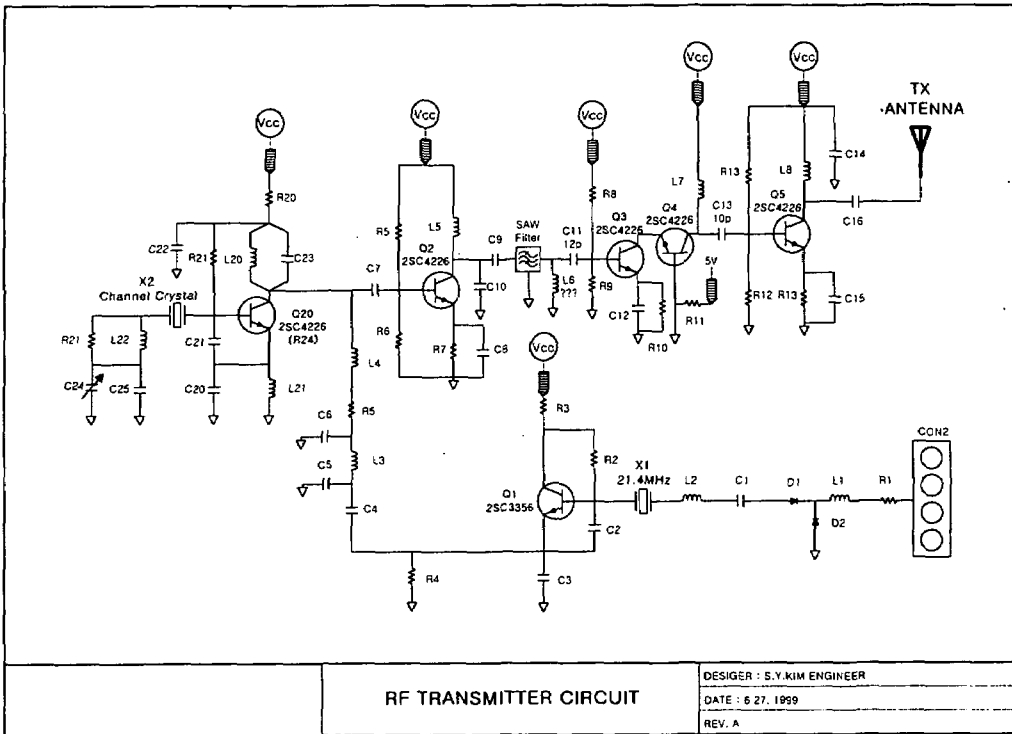


그림 3. FSK 송신기의 회로도

### II-3. POCSAG Protocol

POCSAG(Post Office Standardization Advisory Group)은 국제무선호출 수신용 표준코드 신호형태이다. 송신은 프리앰블(Preamble)과 완전한 코드워드들로 이루어진 배치들로 구성되어 있으며 각각의 배치는 한 개의 동기코드워드(SC)로 시작된다. 각각의 송신은 수신기가 비트 동기를 하고 워드 동기를 하기 위해 준비하도록 하는 프리앰블로 시작된다. 프리앰블은 한 개의 배치에 한 개의 코드워드를 더한 기간 576비트 동안 반복되는 101010...의 형태이다. 코드워드들은 한 개의 동기 코드워드와 8개의 프레임(각각 2개의 코드워드를 갖는다.)으로 구성되는 각각의 배치들내에서 전송된다. 프레임은 0~7까지의 번호가 정해지며 8개의 그룹으로 나누어진다. 각각의 수신기는 21비트 식별번호 중 3개의 최하위 비트(LSB)에 따라 8개의 프레임중 하나에 할당되며, 그 할당된 프레임에서만 주소 코드워드를 검사한다. 코드워드는 32비트로 구성되며 최상위 비트가 먼저 전송된다. 메시지 코드워드는 항상 1로 시작되며 전체의 메시지는 항상 주소 코드워드를 포함한다. 메시지의 종결시 첫 번째로 비어있는 프레임에 가장 적당한 형태의 대기하는 주소 코드워드가 전송된다.

POCSAG 로직 회로도는 그림 4와 같다.

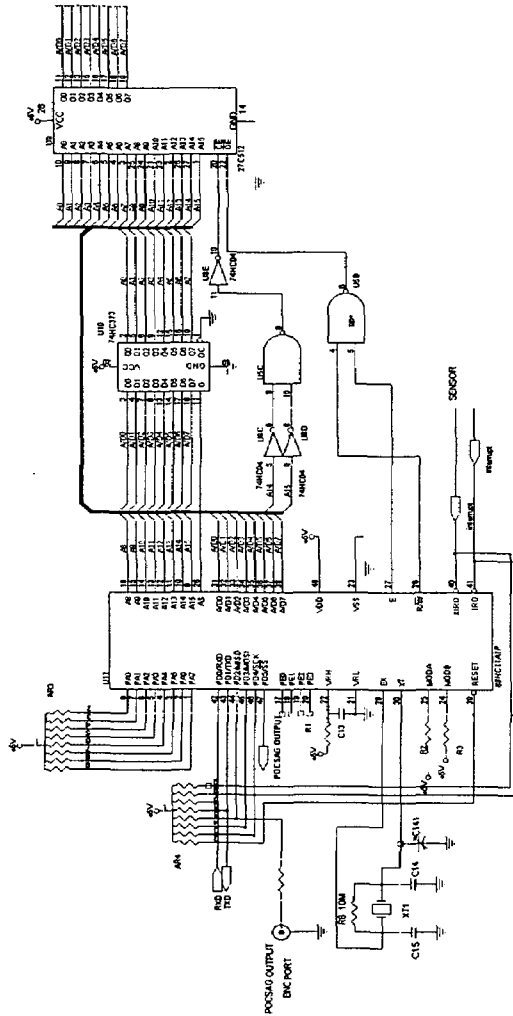


그림 4. POCSAG 로직 회로도

### Ⅲ. 수신부

수신부는 UHF대역인 447.950MHz의 주파수 대역에서 동작하는 POCSAG Code 방식의 Binary FSK-NRZ로 변조된 신호를 Double-conversion Superheterodyne 방식으로 수신한 후 수신된 숫자 또는 기호를 LCD상에 표시하도록 하였다. 이 수신부의 기본 구성도는 그림 5와 같다.

III-1. 종합 잡음지수 (NF)

수신감도가 좋은 수신기를 설계하는데 있어 잡음지수는 중요한 항목이다. 효과적으로 실현하기 위하여 회로도상의 안테나 입력부에서 믹서부까지의 삽입손실을  $L_1$ ,  $Q_1$ 에 의한 잡음지수를  $F_1$ , 이득을  $G_1$ , RF SAW 필터의 삽입손실을  $L_2$ , 믹서의 잡음지수를  $F_2$ , 변환이득을  $G_2$ , IF 필터의 삽입손실을  $L_3$ 로 하면 종합잡음지수  $F_0$ 는 식 (1)과 같이 주어진다.

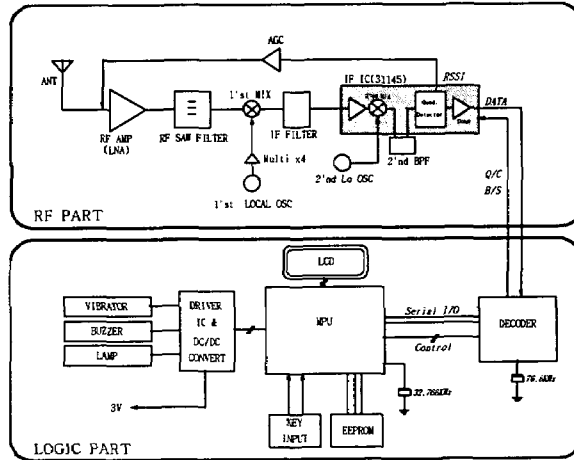


그림 5. 수신부의 기본 구성도

$$F_0 = \frac{F_1}{L_1} + \left( \frac{F_2 - 1}{L_1 G_1 L_2} \right) + \left( \frac{1}{L_1 G_1 L_2 G_2 L_3} \right) \quad (1)$$

표 2와 같은 수신부 NF에 관여하는 제특성의 값을 식 (1)에 대입하면  $F_0 = 3.43$ 이 되고, 데시벨로 환산하면  $F_0 \approx 5.4\text{dB}$  이다.

표 2. 수신부 NF에 관여하는 제 특성의 값

항 목	dB 값	실 제
RF 필터의 삽입 손실	$L_1 = -3\text{dB}$	0.50
증폭기의 NF	$F_1 = 1.5\text{dB}$	1.41
증폭기의 이득	$G_1 = 13\text{dB}$	19.95
SAW필터의 삽입손실	$L_2 = -3\text{dB}$	0.50
믹서의 NF	$F_2 = 6\text{dB}$	3.98
믹서의 변환 이득	$G_2 = 15\text{dB}$	31.62
IF 필터 삽입손실	$L_3 = -3\text{dB}$	0.50

FM수신기의 Threshold점에서의 SN비를  $\alpha SN(th)$ 라 하면 식(2)와 같이 표시된다.

$$\alpha SN(th) [dB] = 10 \log 3 + 20 \log \left( \frac{\Delta f}{f_s} \right) + 10 \log \left( \frac{P_C}{P_N} \right) + 10 \log \left( \frac{B}{2f_s} \right) \quad (2)$$

여기서  $f_s$  : 최대신호주파수[Hz]

$P_C$  : 신호전력[W]

$P_N$  : 잡음전력[W]

$B$  : 대역폭

Threshold점에서는 신호와 잡음의 값이 동등하다. 그리고 수신기 잡음이 백색잡음이라면 이 점에서는  $P_c = 8P_N$ 의 관계에서

$$P_c/P_N = 8 \quad (3)$$

이 된다. 통과대역폭  $B = 16$  kHz, 주파수편이  $\delta f = \pm 5$  kHz, 최대신호주파수  $f_s = 3$  kHz로 하여 이 수치들을 식(2)에 대입하면  $\alpha SN(th) = 4.8 + 4.4 + 9.0 + 4.3 = 22.5$ dB가 된다. 또한 Threshold점 이하의 수신신호 레벨은 경사가 1:3 이라 가정하고 수신신호레벨이 1dB 올라가면 SN비는 3dB로 개선된다. 목표로 하는 수신기준값도  $-6$ dB  $V_{EMF}$  이하를 얻는 수신신호 전력레벨은  $-118$ dBm이다. 이 때의 SN비를  $\alpha t$ 라고 하면

$$\alpha SN(th) - \alpha t = (22.5 - 12)/3 = 3.5 \text{dB}$$

이다. 따라서  $\alpha SN(th)$ 에서의 수신신호전력  $P_c(th)$ 는  $P_c(th) = -118 + 3.5 = -114.5$  dBm이다. 입력단에서의 유효잡음전력  $N_i$ 는 식(4)와 같이 표시된다.

$$N_i = KTB \quad (4)$$

여기서  $K$  : 볼츠만 상수  $1.380622 \times 10^{-23}$  [J/°K]

$T$  : 절대온도[°K]

$B$  : 통과대역[Hz]

통과대역폭이 B, 잡음지수가 F인 수신기의 잡음 전력의 입력환산값  $P_N$ 은

$$P_N = KTFB \quad (5)$$

이다. 따라서 식(3)에서 Threshold점에서의 수신신호전력  $P_c(th)$ 는 식(6)과 같이 표시된다.



$$P_c(th) = \delta K T B F \tag{6}$$

여기서,

$$F = \frac{P_c(th)}{\delta K T B} = \frac{-114.5[dB_m]}{\delta K T B} \approx 8.3 dB$$

이 된다. 그러므로 수신감도  $-118dB_m$ 을 실현하기 위해서는  $F_0=8.3dB$  이하로 할 필요가 있다. 그런데 앞의 계산에서 수신부의 종합 잡음지수  $F_0=5.4dB$ 이므로  $-118dB_m$ 의 수신감도를 얻기 위한 조건이 갖춰진 것을 알 수가 있다.

### III-2. 수신기

안테나로부터 수신된 RF신호는 TR<Q1> BASE로 인가되며, 증폭기는 TR<Q1> 및 TR<Q2>를 Cascade로 접속하여 국부 발진 신호의 귀환을 최대한 억제할 수 있도록 설계하였다. 이 때 잡음지수는 2이하로 자체잡음발생이 매우 적은 저전압 증폭이 가능하도록 하였고, 대역통과 필터회로는 SAW 필터와 L 및 C 등의 주변소자들로 구성하여 RF신호 대역을 통과시킨다. 수신기의 회로도는 그림 6과 같다.

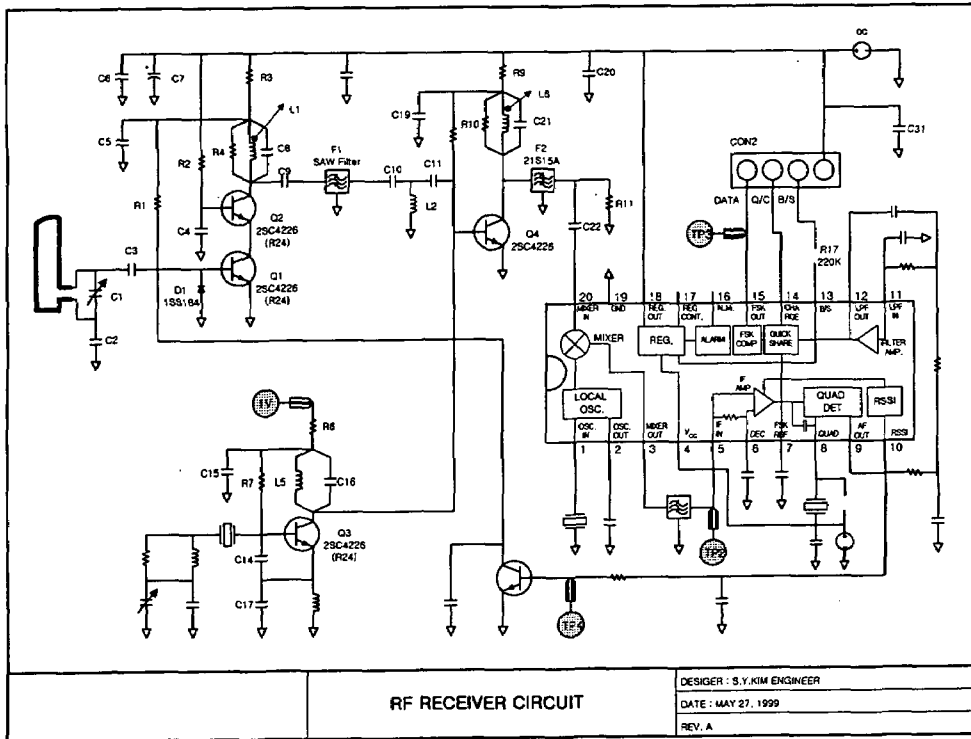


그림 6. 수신기의 회로도

### III-3. 1차 국부 발진기 (LOCAL OSC.)

1차 국부 발진기는 TR<Q3>, X-TAL<X1> 및 주변부품으로 구성되어 있으며, <X1>의 발진주파수  $F_L$ 은 식(7)과 같다.

$$F_L = \frac{(F_c - 21.4)}{4} \quad (MHz) \quad (7)$$

기본적인 발진 주파수는 3rd Overtone Type X-TAL<X1>에 의해 결정되고, <L5> 및 <C16>의 Tank회로에 의해 4채배 주파수로 Tuning 되며, <C12>로 주파수의 미세 조정을 할 수 있다. 1차 변환회로와 중간주파수 여파기는 안테나, RF증폭기, 대역통과 여파기를 거쳐 입력된 수신 신호와 1차 국부 발진기로부터 발진된 신호를 혼합하여 21.4MHz의 제1 중간주파수로 변환시킨다. 1차 중간주파수 여파기는 1차 혼합기에서 혼합시 발생된 여러 주파수 성분 중 21.4MHz의 신호만을 선택하여 제 1중간 주파수 증폭기로 인가되며 채널 신호 이외의 방해신호를 배제한다. 이 여파기는 2Pole MCF Filter로서 15KHz의 대역폭을 갖는다.

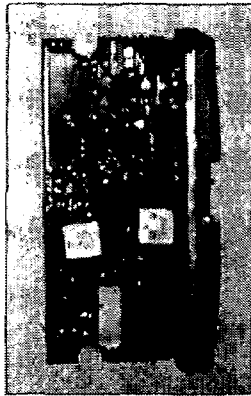
커패시터 <C23>, <C24> 및 X-TAL<X2>로 구성되는 2차 국부 발진기는 20.945MHz의 2차 국부 발진 주파수를 발생시킨다. 1차 중간주파수필터인 F2에 의해 불요파가 제거된 신호와 X-TAL<X2>에 의해 얻어지는 제 2국부 발진 주파수(20.945MHz)는 IC내부의 제2차 변환회로에 의해 Mixing 되어 455KHz의 중간주파수를 만든다. 제2중간주파수는 중간 주파 필터인 F3에 의해 억압되어지고 455KHz의 중간주파수만 통과되어 IC내부의 증폭기로 인가된다. 증폭된 455KHz의 중간주파수는 변별기 DISC1 및 내장된 Quadrature 검파기를 통해 복조된 데이터를 출력한다. 복조된 데이터의 출력은 IC내부의 Low pass Filter로 인가되며, 필터된 데이터 출력은 다시 IC내부의 비교기를 거쳐 구형파의 형태로 변환되어 Logic의 Decoder IC 데이터 입력단으로 인가된다. 복조 IC의 RSS1은 출력단자를 통해 수신된 신호의 전파세기를 측정하여 안테나로부터 입력되는 강한 신호에 의해 LNA에서 상호 변조 및 포화현상이 발생되지 않도록 강한 신호를 AGC 회로로 우회시키는 역할을 한다.

### III-4. 제어부(Logic Part)

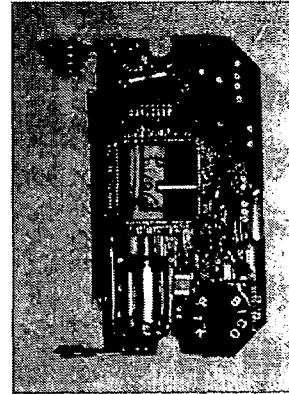
디코더 IC의 사용전원은 3V이며, MPU와 연결되어 EEPROM에 저장된 데이터와 RF부로부터 수신된 데이터를 비교한다. 수신부에서 복조된 데이터는 디코더IC 내부의 필터단에 의해 필터된 후 Decoding되며 Decoding된 데이터가 EEPROM IC에 내장된 CAP-CODE와 동일한 경우에 이 데이터를 MPU로 출력한다. 수신기의 모든 기능은 MPU에 의해 행하여 지는데 이 IC는 3V 전원에서 동작하며 BH6111에서 발생한 Reset 신호에 의해 Reset되고, RC Oscillator에 의해 발진하는(430KHz~460KHz)의 External clock을 주 System clock으로 사용하고 내부에 내장된 32.768KHz Oscillator회로에 의해 발진하는 32KHz의 clock을 부 clock으로 하여 동작한다. MPU는 디코더 IC로부터 Decoding된 데이터를 분석하여 LCD상에 메시지를 표시하고 경보음, 램프, 모터, 부저 등을 제어한다.

#### IV. 송·수신부 제작 및 결과

CADSTAR 프로그램을 이용하여 PCB를 소형화하였다. 제작된 송수신부는 그림 7과 그림 8과 같다. 송수신부의 전체적인 크기는 55mm×30mm이다.



(a) RF part

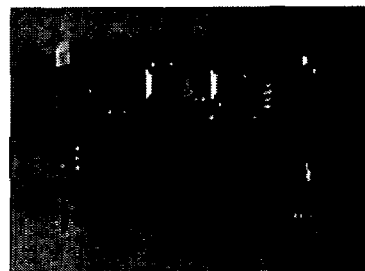


(b) Logic Part

그림 7. 제작된 수신부



(a) RF Part



(b) Logic part

그림 8. 제작된 송신부

그림 9는 송신기에서 보낸 POCSAG 신호를 수신한 데이터를 측정하여 나타낸 것이다. 이 신호는 정상적으로 LCD에 표시가 되었다.

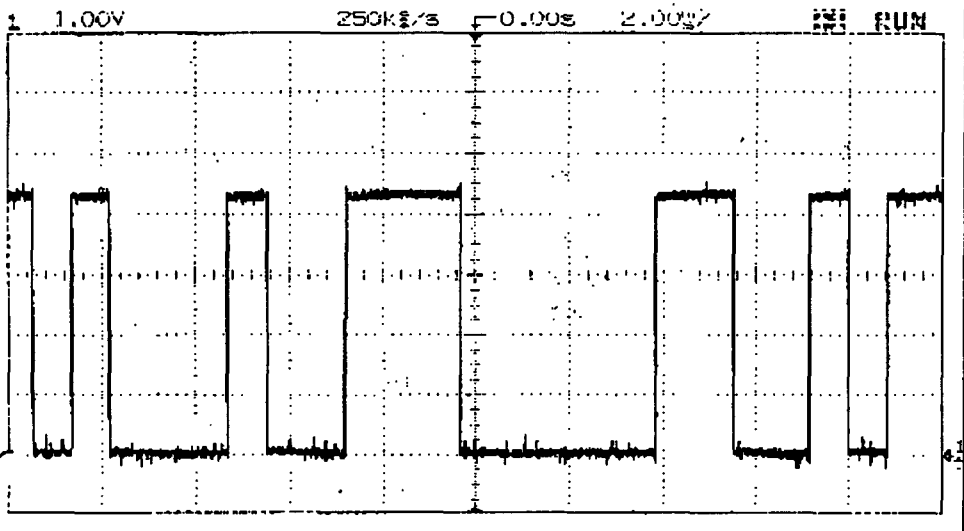


그림 9. 수신기에서 측정한 데이터 신호

그림 10은 수신기의 LO단을 측정한 그림이다. 447.950MHz에서 -28dBm 정도의 출력이 측정되었다.

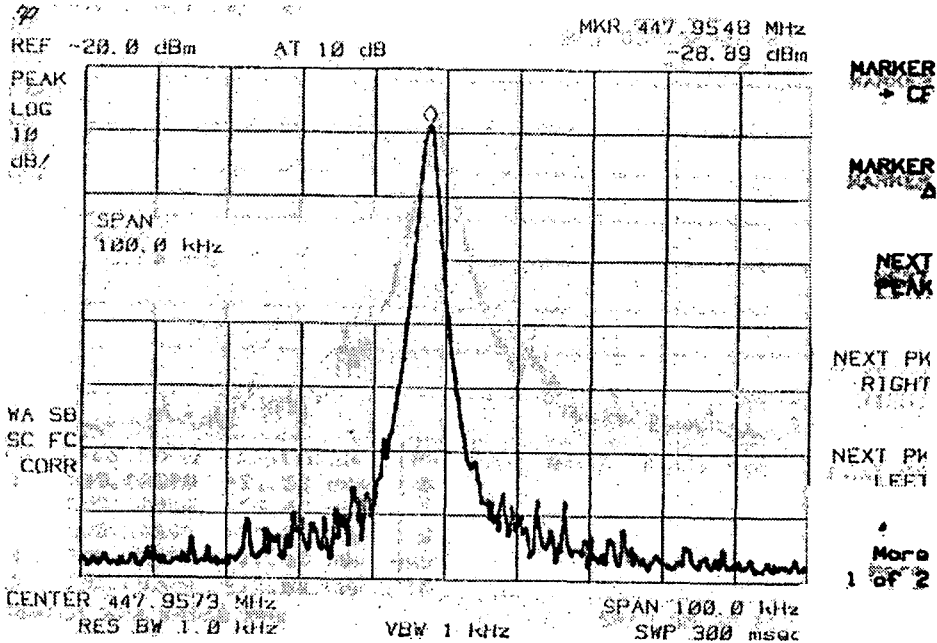


그림 10. 수신기의 LO단을 측정한 출력스펙트럼

송수신기를 제작 측정된 결과 입출력데이터 신호의 제한은 H 또는 L레벨의 연속되는 기간이 20ms 이내 이어야 하고, 무변조시에도 마찬가지였으며, 이 기간이상의 신호를 입력했을 경우 수신데이터는 불확정이 되었다. 그리고 송신 측에서 입력한 펄스의 Duty Cycle 이 수신측에서는 15%정도의 마진을 갖는 것을 예측하여 수신 펄스 폭의 중심을 샘플링 하여야 했다.

입력전계강도  $-6 \text{ dB}_\mu \text{V}_{EMF}$  시의 RSSI 출력전압은 약 300mV로서, 이 전압을 Threshold로 하여 데이터신호가 동작하는 거리를 측정된 결과 장애물이 있는 경우 약 300m이었고, 없는 경우가 약 500m 정도되었다.

본 논문에서는 스퓨리어스의 복사억압을 위하여 Q4와 Q5의 동작점 최적화를 S파라미터 값을 유도하여 정합 하였고, C14 접지부를 최소 루프가 되도록 접속하였다. 그리고 필터를 포함한 회로 부품과 쉴드프레임 케이스에서 고주파 전류가 유출되지 않도록 주의하며 미세 조정하였다. 스퓨리어스 성분은 2f점에서 감쇠값이 40~45dB 정도의 결과를 얻었다. 그러나 설계치 보다 나은 결과를 얻기 위해서는 안테나와 송신회로 사이에 Butterworth 특성을 가진 LPF를 삽입하면 총합 70dBc이상의 감쇠 값을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 제작상 어려웠던 점은 시작기판에서 프로세서의 클럭이나 제어신호용 클럭 등의 영향이 나타나 RF회로가 본래의 성능을 얻지 못한 부분이 있었다. 그 원인은 한정된 스페이스 내에서 RF와 디지털이 혼재한 설계였기 때문인 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

무선통신 시스템에서 수신상태는 주위 환경에 의해 크게 좌우되기 때문에 수신한 데이터가 항상 올바른 것이라고는 할 수 없다. 그러므로 송신 데이터에 오류검출용 데이터를 넣어 수신 데이터 오류를 검출할 필요가 있다. 그러므로 앞으로 이 부분에 대한 오류검출 코드가 더 고려되어야 할 것이다. 시중에 나와있는 유사한 무선 시스템에 비해 이 무선 데이터 송수신 시스템은 공장 자동화 부문이나 또는 사업장에서 수시로 이동하며 원격측정대상을 모니터링 함으로써 효율적으로 시스템을 제어하거나 원하는 데이터를 얻을 수가 있다. 그리고 또한 실시간(Realtime)으로 어느 곳에 이상이 있는지를 확인하여 안전한 조치를 취할 수가 있기 때문에 앞으로 다양한 형태로의 적용이 기대된다.

## 참고문헌

- [1] D.C. Cox, "Universal Digital Portable Radio Communications", Proc. of IEEE, Vol. 75, No.4, pp.436-476, 1987
- [2] R.C. French, "A High Technology VHF Radio Paging Receiver", Int'l Conf. on Mobile Radio Systems and Techniques, York, UK, pp. 11-15, 1985
- [3] K. Holtvoeth, "A Fully-Integrated Low-Power FSK Receiver for VHF and UHF Paging", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 35, No. 3, pp.707-713, 1989
- [4] M. Pardoen, R. Pache, and E. Dijkstra, "Direct-Conversion Receiver Povides CP-FSK Operation", Microwaves and RF. March, pp.151-155, 1994
- [5] D. Anderson, and R. J. Zavrel, "RF ICs for Portable Communications Equipment", Electronic Components and Applications, Vol. 7, No. 1, pp. 37-44, 1985
- [6] Y. Mori, H. Yabuki, M. Ohba, M. Sagawa, M. Makimoto, and I. Shibazaki, "Miniaturized RF Circuit Modules for Land Mobile Communication Equipment", IEEE Vehicular Technology Conf., Orlando, FL, pp.65-70, 1990