

# 디지털 이동통신의 수신성능개선에 관한 연구

## (A Study on the Receiving Performance Improvement of Digital Mobile Communication)

주 재 한\*  
(Jae-Han Ju)

### 요 약

본 논문에서는 개인휴대통신(PCS)의 최소 규격인 J-STD-018을 기준으로, 높은 이득과 낮은 제 3고조파 차단점을 갖는 수동 더블 밸런스 혼합기와 중간 주파 증폭기로 구성된 수신 시스템을 구성하여 수신 파라미터를 시뮬레이션 결과, 수신감도 규격의 파라미터인 잡음지수는  $E_b/N_f=6$ 일 때 6.746dB이고 상호변조 스푸리어스 응답감쇄 규격의 파라미터인 3차 고조파 차단점은 -11.358dBm이었다.

### ABSTRACT

In this paper, we examined receiving parameters of receiver and also analyzed them through simulation based on J-STD-018, which is the minimum specification of PCS mobile station. Receiving system was made a passive double balance mixer which has low gain and high IIP3, and an intermediate frequency amplifier for enhancing the low gain. The result of simulating receiving parameter is as follows: noise figure which is the parameter of specification of the receiving sensitivity is 6.746dB, IIP3 which is the parameter of specification of the intermodulation spurious response attenuation is -11.358dBm.

### 1. 서론

각 개인의 사회적 활동과 정보전달의 비중이 높아짐에 따라, 이동통신 수요의 포화용량에 대처하기 위한 CDMA 방식은 유연성과 보안성, 주파수대역의 효율성 등으로 높은 가입자 수용능력을 가진다[1][2]. 이러한 CDMA 방식의 특성으로 비트에너지 대 잡음 전력밀도가 감소되므로써 시스템 용량을 늘려줄 뿐만 아니라 잡음 및 간섭극복에 필요한 송신전력을 감소시켜주는 장점이 있다[3].

다양한 이동통신 수신시스템의 규격을 통일하여 고품질의 서비스를 위한 수신시스템의 최소 규격에 의한 수신성능 개선을 위해서 각 파라미터들이 분석되어야 한다.

CDMA 방식을 이용하는 디지털 셀룰러(DCS)와 개인휴대통신(PCS)의 최소 규격은 IS-98C[4]와 J-STD-018[5]이다.

\* 정희원 : 송호대학 정보산업계열 전임강사

본 연구에서는 디지털 이동통신에서 널리 사용되는 PCS수신시스템의 최소 규격인 J-STD-018을 기준으로 저잡음 증폭기(LNA)와 혼합기(Mixer)를 분리시키고, 중간주파 증폭기(IF AMP)를 포함시킨 수신 시스템을 구성하여 수신기의 각 파라미터가 수신 성능에 미치는 영향을 개선하기 위하여, 수신기의 수신감도, 단일톤 둔감도, 상호변조 스퓨리어스 응답감쇄를 이용하여 수신전력이득, NF, IIP3등과 같은 수신 파라미터들을 분석하고[6][8], 이러한 파라미터들이 각각의 소자들에 미치는 영향을 고려하여 수신성능 개선을 위한 수신 시스템을 분석하고자 한다.

## 2. 수신성능 파라미터

### 2.1 수신감도

수신감도는 어느 정도의 미약한 전파까지를 수신하여 충실하게 정보를 재생할 수 있는가를 나타내며 외부의 간섭없이 주어진 신호 대 잡음 비를 얻는데 필요한 최소 수신 신호 레벨에 의해서 정의된다. 이것은 수신기의 잡음지수와 직접적인 관련이 있다.

디지털 수신시스템에서 주요 성능 파라미터인 잡음계수는 식 (1)과 같다.

$$F = \frac{C}{kT} \frac{N_o}{E_b} \frac{1}{R_b} \quad (1)$$

위 식에서 C는 수신기로 입력된 신호전력,  $E_b/N_o$ 는 비트오율에 대한 신호대 잡음비,  $R_b$ 은 비트율, k는 볼츠만상수, T는 절대온도이다.

전체 수신시스템에서 잡음이 발생되는 소자들이 다단의 종속 연결시 잡음계수는 식 (2)와 같다[7].

$$F_T = F_{dup} + \frac{(F_{LNA} - 1)}{G_{dup}} + \dots \quad (2)$$

위 식에서 FT는 전체 시스템의 잡음계수,  $F_{dup}$ 는 듀플렉서의 잡음계수,  $F_{LNA}$ 는 저잡음 증폭기의 잡음계수,  $G_{dup}$ 는 듀플렉서의 이득이다. 또한 잡음지수인 NF(noise figure)는 잡음계수 F를 dB로 나타낸 것으로 식 (3)과 같다.

$$NF = 10 \log F \quad (3)$$

수신기의 잡음지수는 식 (3)과 같이 저잡음 증폭기의 잡음특성에 의해 전체 잡음지수가 크게 좌우됨을 알 수 있다.

### 2.2 단일 톤 둔감도

희망 신호 주파수로부터 어느 정도 주파수 이격된 간섭신호가 수신기로 입력될 때 그 간섭의 영향을 배제할 수 있는 능력이 단일 톤 둔감도(single tone desensitization)이며 이 특성으로부터 수신기의 선택도를 결정할 수 있다.

이러한 간섭의 영향으로 수신기의 선택도를 결정하고 있는 중간 주파수단(IF SAW필터)보다 전단의 주파수 단(LNA) 혹은 주파수 변환단(mixer)의 회로가 과대한 장애파 레벨에 의해 포화 상태에 달하여 중간 주파수 단의 입력까지의 증폭도를 저하하는 등의 원인이 있어 감도를 저하시킨다[9].

간섭신호는 PN코드에 의해 역확산되어 잡음전력 밀도를 증가시키고 간섭전력이 수신필터를 지나면서 수신필터에 의해 그 전력이 차단된다. 따라서 전체 잡음전력 밀도는 식 (4)와 같다.

$$N_i = N_o + N_i = kTF + \frac{P_i - 10 \frac{L_f(f)}{10}}{B} = kTF_i' \quad (4)$$

위 식에서  $P_i$ 는 간섭전력,  $L_f(f)$ 는 수신필터의 선택도로 주파수함수,  $F_i'$ 는 간섭신호가 존재할 때의 새로운 잡음계수이다. 수신기로 입력된 간섭잡음은 필터에 의하여 간섭전력이  $L_f(f)$  만큼 감쇄되므로 이 관계로부터 신호주파수로부터 어느 정도 주파수 이격된 지점의 감쇄값을 알 수 있다면 선택도를 결정할 수 있다.

### 2.3 상호변조 스퓨리어스 응답

두 개 이상의 신호성분이 비선형 소자를 통과하게 되면 상호변조 스퓨리어스가 발생된다. 이러한 상호변조의 원인은 저잡음 증폭기 또는 혼합기의 비선형 때문에 발생되며, 혼 변조와 마찬가지로 3차, 5

<표 1> 수신시스템의 파라미터 성능  
 <Table 1> Parameters performance of receiving system

	듀플렉서	저잡음 증폭기	RF 필터	혼합기	IF 증폭기	IF 필터	자동이득 조절기	시스템 설계치	규격의 요구치	마진
이득	-3	15	-3	-12	14	-9	-45~45	47		
잡음 지수	3	1.4	3	12	1.4	9	8	9.70672	10.071	0.36428
IIP3	100	15	100	13	15	100	100	3.66729	-13.6	17.26729

차, ...등의 기수차 변조적이 문제로 되는 경우가 많다. 따라서 상호변조 스퓨리어스 중에서 제 2고조파 성분과 제 3고조파 성분이 가장 크며 이중에서도 고려의 대상이 되는 것은 제 3고조파 성분이다[10].

두 개의 서로 다른 주파수를 가지고 동일한 크기를 갖는 사인과 신호가 입력될 때 왜곡 성분은 원신호의 합과 차의 주파수에서 발생한다. 특히 입력신호 레벨이 클 때 고차성분들이 3차 성분에 더욱 큰 영향을 주며[6], 3차 상호변조는 식 (5)와 같다.

$$IM_3 = 3P_s - 2IIP3 \quad (5)$$

또한 상호변조에 의해서 발생된 스퓨리어스 전력과 수신기의 제 3고조파 차단특성은 식 (6)과 같다.

$$P_s = P_o - 2(IIP3 - P_o) \quad (6)$$

위 식에서  $P_s$ 는 신호전력 레벨,  $IIP3$ 는 3차 차단점이다. 따라서 전체 잡음전력밀도는 식 (7)과 같다.

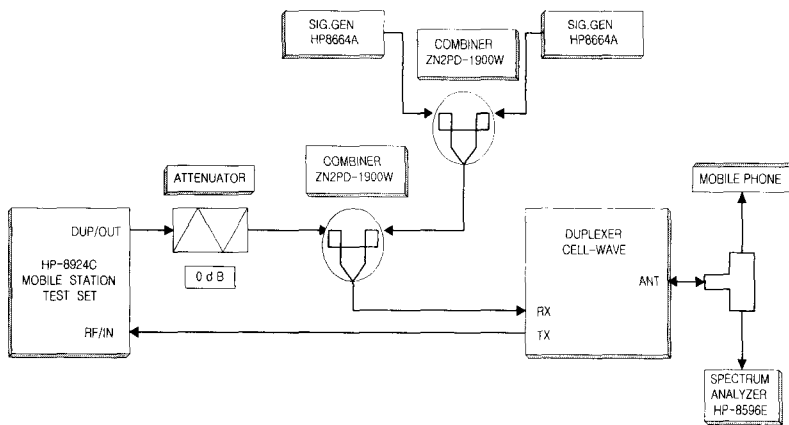
$$N_i = N_o + N_s = kTF + \frac{P_s}{W} = kTF_s' \quad (7)$$

위 식에서  $F_s'$ 는 통과대역 내에 스퓨리어스 주파수가 존재할 때 새로운 잡음계수이다.

비선형 소자가 다단의 종속 연결 시 제 3고조파 차단점은 식 (8)과 같다[7].

$$IP3_T = \frac{1}{\frac{1}{IP3_{dub}} + \frac{G_{dub}}{IP3_{LNA}} + \dots} \quad (8)$$

### 3. 시뮬레이션



[그림 1] 시험 구성도  
 [Fig. 1] Test configuration

수신기의 감도, 단일톤 둔감도, 상호변조 스퓨리어스에 의한 응답감쇄 규격을 측정하기 위하여 [그림 1]과 같이 이동국 시험장비인 시스템 시뮬레이터와 신호 발생기, 가변 감쇄기, 결합기 등을 구성하여 측정하였으며, 상호변조왜곡(IMD)과 단일톤 둔감도를 시험할 때는 시스템 시뮬레이터가 개방루프 전력 제어만 지원하므로 출력을 -70dBm으로 하였고 그 이하의 전력은 가변 감쇄기로 조절하여 측정한다.

또한 <표 1>과 같이 수신 시스템의 전체 잡음지수는 9.70672dB이고 IIP3값은 3.66729dBm이다. 따라서 요구된 잡음지수와 IIP3에 대하여 각각 0.36428dB와 17.26729dBm의 마진을 갖는다.

### 3.1 수신기감도 파라미터

수신기 감도는 안테나로 입력된 신호전력이 어느 레벨 이상이 될 때 수신기가 규정된 오율이하로 동작할 수 있는 능력을 말하며, 프레임 오율(FER)이 명시된 값을 초과하지 않는 이동국 안테나 접속부에서 측정된 최소 수신전력이다.

<표 2>와 같이 PCS 수신시스템의 수신감도 시험 파라미터는 J-STD-018에서 규정하고 있다.

<표 2> 수신감도 시험 파라미터

<Table 2> Test parameters for receiver sensitivity

$T_{or}$ (dBm)	-104
$(Traffic E_c)/I_{or}$ (dB)	-15.6
$FER/BER$	0.005

<표 2>에서  $T_{or}$ 은 수신전력으로 안테나 입력단자에서 측정된 전력이며,  $(Traffic E_c)/I_{or}$  은 전체 수신전력 스펙트럼밀도에 대한 통화채널의 단위 칩당 평균 송신에너지의 비이다.

J-STD-018의 각 시험에서 프레임 오율은 95%의 신뢰도로 0.005를 초과해서는 안된다.

<표 1>과 같이 수신 시스템을 구성하고 <표 2>의 시험 파라미터를 이용하여 -104dBm의 최소 입력 신호 전력과 저잡음 증폭기, 혼합기와 자동 이득 조절기의 이득은 다음 단의 퀵캠 BBA 칩 셋에 입력 레벨이 최소 -57.5dBm을 요구하기 때문에 자동 이

득 조절기의 출력 단에서 최소 신호를 -57.5dBm으로 증폭하기 위해 높게 설정된다. 외부 간섭이 없고 가정했기 때문에 자동 이득 조절기의 이득은 신호와 잡음 전력에만 관계된다. 이 경우 식 (2)와 식 (8)을 이용하면 수신 시스템의 잡음지수는 실온에서 약 6.4382dB정도이고 이득은 46.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이다.

PCS수신시스템의 수신감도를 분석한 시스템파라미터는 <표 3>과 같다. 따라서 전체 잡음지수가 6.746dB이하로 잡음없이 설계되어야 함을 알 수 있다. 또한 PCS는  $E_b/N_t=6$ 일때 6.746dB가 요구된다.

<표 3> 수신기감도를 위한 잡음지수 파라미터

<Table 3> Parameters of noise figure for receiver sensitivity

$T_{or}$ (dBm)	-104	BW(MHz)	1.25
Chip Rate (Mcps)	1.2288	$I_{oc}$	-106.285
$(Traffic E_c)/I_{or}$ (dB)	-15.6	P.G(dB)	19.311
Thermal Noise (KT)	-174dB/Hz -113.031/ 1.25MHz	$E_b/N_t$ (dB)	6.0
Data Rate (Kbps)	14.4	NF(dB)	6.746

### 3.2 단일 톤 둔감도 및 상호변조 특성

할당 채널의 중심 주파수로부터 주어진 주파수 오프셋(Offset)만큼 떨어진 곳에 단일 톤이 존재할 때의 단일 톤 둔감도와 두 개의 간섭 CW톤이 존재할 때의 상호변조 스퓨리어스에 의한 응답감쇄는 할당된 채널 주파수에서 CDMA신호를 수신하는 수신기 능력의 측정치이다.

<표 4>와 <표 5>는 J-STD-018에서 규정하는 단일톤 둔감도 및 상호변조 스퓨리어스에 의한 응답감쇄의 시험 파라미터이다.

이동국의 최소 규격인 J-STD-018의 단일 톤 둔감도는 <표 4>와 같이 희망파 신호를 14400bps 전송속도로 데이터를 보내고  $\pm 1.25$ MHz 주파수 이격에 한해서 -30dBm 전력을 넣어서 시험한다.

상호변조 스퓨리어스에 의한 응답감쇄는 <표 5>와 같이 희망파 신호를 14400bps 전송 속도로 데이터를 보내고  $\pm 1.25$ MHz,  $\pm 2.05$ MHz 주파수 이격에 한해서 -43dBm 전력을 공급하여 시험한다. 이때의 프레임 오율은 1%미만이어야 한다.

<표 4> 단일 톤 둔감도의 시험 파라미터  
 <Table 4> Test parameters for single tone desensitization

$T_{or}$ (dBm)	-101
$(Traffic E_c)/I_{\alpha}$ (dB)	-15.6
톤 전력 (dBm)	-30
이격톤 주파수 (MHz)	$\pm 1.25$
FER/BER	0.01

<표 5> 상호변조 스푸리어스 응답감쇄 시험 파라미터  
 <Table 5> Test parameters for intermodulation spurious attenuation

$T_{or}$ (dBm)	-101
$(Traffic E_c)/I_{\alpha}$ (dB)	-15.6
톤 전력 (dBm)	-43
이격톤 주파수 (MHz)	$\pm 1.25, \pm 2.05$
FER/BER	0.01

J-STD-018의 각 시험에서 프레임 오류율은 95%의 신뢰도로 0.01을 초과해서는 안된다.

PCS 수신시스템의 상호변조 스푸리어스 응답감쇄에 따른 시험 파라미터를 분석한 3차 고조파 차단점인 IIP3는 <표 6>과 같이 -11.358dBm이고, 처리이득은 19.311dB이었으며 수신시스템의 외부잡음 여유도가 다른 시스템 보다 큼을 알 수 있다.

<표 6> 상호변조 스푸리어스 응답감쇄를 위한 파라미터 분석

<Table 6> Parameters for intermodulation spurious attenuation

$T_{or}$ (dBm)	-101
$(Traffic E_c)/I_{or}$ (dB)	-15.6
$E_b/N_f$ (dB)	6.0
Tone Power (dBm)	-43
$I_{oc}$ (dBm)	-106.285
P.G (dB)	19.311
IIP3 (dBm)	-11.358

#### 4. 결론

본 논문에서는 각 소자들의 파라미터들이 변할 때 통화중의 음질 향상과 간섭에 의한 호 절단을 없애고 수신 성능 개선을 위해 수신 시스템을 구성하였다.

따라서 수신기 감도, 단일 톤 둔감도, 상호변조에 의한 스푸리어스응답 감쇄 등을 이용하여 수신 파라미터인 이득, 잡음지수, IIP3등을 구하고 이러한 파라미터들이 변할 때 수신 시스템에 미치는 영향을 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 수신기감도 규격의 파라미터인 잡음지수(NF)규격은 6.746dB이다. 따라서 DCS 수신시스템과 성능 비교할 때 잡음여유도(Noise Margin)가 훨씬 적음을 알 수 있다.

또한 상호변조 스푸리어스 응답감쇄 규격의 파라미터인 3차 고조파 차단점(IIP3)규격은 DCS의 경우 -12.985dBm, PCS의 경우 -11.358dBm이다. 따라서 PCS는 DCS 수신시스템보다 3차 고조파 차단점에 대한 여유(Margin)가 훨씬 크다.

PCS는 DCS수신시스템보다 전송을 위한 높은 대역폭으로 인하여 수신감도가 떨어졌지만, 상호변조 스푸리어스 응답은 훨씬 좋음을 알 수 있었다.

※ 참고문헌

- [1] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications, IEEE Press, Ch. 10, 1996.
- [2] B. Azhang and H. V. Poor, Performance of DS/CDMA communications in impulsive channels-Part I : Linear Correlation Receivers, IEEE Trans. Commun., pp.1179-1188, Nov., 1987.
- [3] TIA/EIA, J-STD-018:Recommended Minimum Performance Requirements for 1.8 to 2.0GHz Code Division Multiple Access Personal Stations, Nov., 1995.
- [4] TIA/EIA, IS98C : Recommended Minimum Performance standards for Dual-Mode spread spectrum Mobile stations, March 19. 1999.
- [5] K. Gilhousen, et al, On the capacity of a Cellular CDMA system, IEEE Trans. on Veh. Tech., VT-40, pp.301-312, May, 1991.
- [6] Chris Bowick, "RF Circuit Design", Howard Sams & Co., Inc ISBN:0-672-218-2.
- [7] A. Viterbi, Principles of Spread Spectrum Multiple Access Communication. Qualcomm, ch. 5, pp.142-148, April. 1994.
- [8] Dixon, R. C., Spread Spectrum Techniques, IEEE Press, New York, 1990.
- [9] M. Heath, P. Newson, On the capacity of spread spectrum CDMA for mobile radio, IEEE VTC '92, Denver, CO, pp.985-988, May, 1992.
- [10] John G. Proakis, Digital Communications, McGRAW-HILL, 1995.

주 재 한



1989년 조선대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1999년 조선대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 2000년~현재 송호대학 정보산업계열 전임강사  
 관심분야 : 디지털이동통신 및 데이터통신, 디지털신호처리, 전자상거래 등