

# W-CDMA RF 수신기 전단의 최소 요구사항

°심재성\* · 육종관\* · 박한규\* · 하동인\*\*

연세대학교 전기 전자 공학과\*, 삼성전자 무선 개발실\*\*

전화 : (02) 2123-3565 / 팩스 : (02) 2123-3565 / E-mail : humansim@hotmail.com

## Minimum Requirement of Front-End in W-CDMA RF Receiver

°Jae-sung Shim\* · Jong-gwan Yook\* · Han-kyu Park\* · Dong-in Ha\*\*

Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University, Korea\*

R&D Group, Wireless Terminal Division, Samsung Electronics, Korea\*\*

Tel : +82-2-2123-4618, E-mail : jgyook@yonsei.ac.kr

### Abstract

This paper presents a quantitative analysis on the intermodulation product between transmitter W-CDMA leakage signal and receiver out of band blocker, and proposes design guide lines for overcoming the effect in receiver design. Our analysis shows that duplexer isolation, attenuation and LNA IIP3 are mainly responsible for the 3rd order intermodulation product. Analysis also shows that LNA IIP3 required for meeting 3GPP TS 34.121 specification is about 1 dBm with duplexer isolation of 50 dB and duplexer attenuation of 24 dB.

Key Word : intermodulation, LNA, duplexer, IP3.

### I. 서 론

현재까지 널리 상용화되고 있는 이동 통신 CDMA (Code Division Multiple Access)를 이어갈 제3세대 이동 통신 W-CDMA (Wideband CDMA)가 올 2002년부터 본격적인 상용화에 들어갔다. 이는 CDMA에서 이루지 못했던 다양한 서비스를 사용자들에게 제공하면서 폭넓게 사용되어질 것으로 판단된다. 우선 다행인 것은 CDMA 시스템에서 악몽으로 까지 여겨졌던 crossmodulation에 의한 수신부의 SNR (Signal-to-Noise Ratio)의 저하는 W-CDMA 시스템에서는 발생하지 않는다는 것이다[1].

CDMA 시스템에서는 송신부와 수신부가 함께 동작되면서 duplexer를 거친 송신부의 누설전력 신호가 수신부의 LNA (Low Noise Amplifier)입력단에 항상 존재하게 된다. 송신부의 누설전력 신호는 crossmodulation에 의해서 수신된 신호와 이웃한 곳에 놓이게 되는 CW (Continuous Wave) blocker의 크기

를 변화시키게 되고, 이 변화된 양이 수신부 대역에 일부 삽입, 잡음으로 작용하게 된다. 이는 곧바로 수신부 신호에 직접적으로 영향을 미치게 되면서 SNR를 저하를 가져오게 된다.

W-CDMA 시스템의 경우 송신부 누설전력 신호와 CW blocker 사이의 차이가 수신부 신호 대역폭 ( $\pm 2.5$  MHz)보다 크기 때문에 crossmodulation에 의한 SNR의 저하는 일어나지 않는다. 그러나 송신부 누설 전력 신호( $\omega_1$ )와 수신부의 out band blocker( $\omega_2$ )로 인해 발생된 IMD (InterModulation Distortion) ( $2\omega_2 - \omega_1$ )잡음에 의한 수신부의 SNR 저하를 발생시키게 되는데, 본 논문에서는 이와 같이 수신부의 수신대역에서 발생될 수 있는 IMD 잡음의 양적분석을 통해서 W-CDMA UE (User Equipment)의 수신부 전단 (Front-end)이 갖추어야 할 조건에 대해 LNA IIP3, duplexer의 isolation 그리고 attenuation값을 각각 Agilent사의 ADS (Advanced Design System)를 이용

하여 분석하였다.

## II. 분석

일반적으로 이동 통신 시스템에서 out band blocker 시험을 통해서 다른 시스템으로부터 발생되어 유기되는 간섭신호에 대해서 어느 정도로 수신부가 견딜 수 있는가를 알아보게 된다[2]. W-CDMA 시스템에서는 그림 1과 같이 out band blocker 시험에 있어서 큰 문제가 없는 것으로 보이지만, 실제로는 송신부의 누설 전력 신호가 out band blocker와 intermodulation되면서 수신부의 수신대역에 IMD 잡음이 위치하게 되고, 이로 인해 SNR를 저하시키는 요인이 된다[3]. 그림 1의 경우, 수신부 대역에 가장 큰 영향을 미치는 blocker 주파수는 2025 MHz (-15 dBm)이 된다.

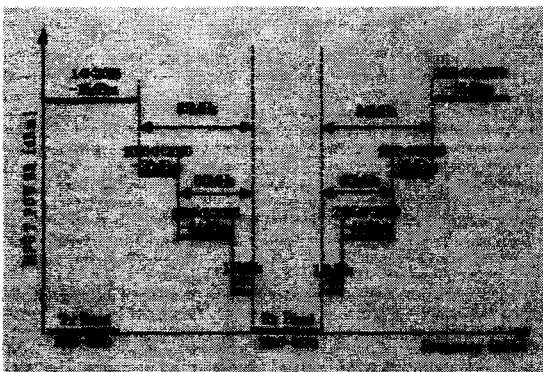


그림 1. Out-of-band CW blocker 시험  
Fig 1. Out-of-band CW blocker test

이 논문에서 분석하고자 하는 IMD 잡음은 수신부의 out band blocker의 크기, 송신부 누설전력 신호의 크기(이는 duplexer의 송신부 대역 isolation 정도에 따른다), 그리고 LNA IIP3 (3rd order Input Intermodulation Product point)에 따라 결정된다. Mixer의 IIP3는 RF 수신단 전체의 IIP3에는 어느 정도 영향을 주지만 SNR를 저하에는 크게 영향을 미치지 못한다. 이는 LNA와 mixer사이에 영상제거필터가 있기 때문에 무시할 정도가 된다.

그렇다면 어느 정도의 LNA IIP3값과 duplexer isolation값 그리고 어느 정도의 blocker attenuation값을 duplexer가 가져야 수신 시스템의 SNR의 저하 없이 수신기 전단을 구성할 수 있는가는 매우 중요한 문제이다.

IMD 잡음은 증폭기 출력단의 제3차 왜곡으로 인해 나타나게 되는데, 송신부의 누설전력 신호 ( $\omega_1=1930$  MHz)와 blocker ( $\omega_2=2025$  MHz)가 수신부의 LNA 입

력단에 위치하게 되면 IMD ( $2\omega_2-\omega_1=2120$  MHz) 잡음이 LNA를 거치면서 수신대역에 위치하게 된다 [4][5].(그림2)

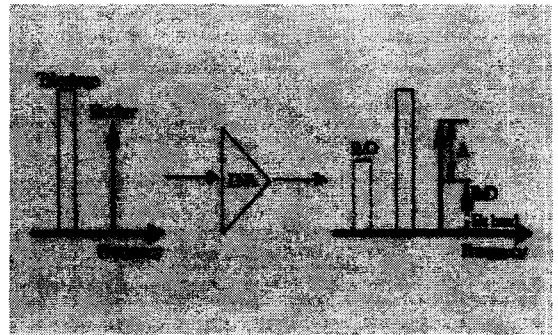


그림 2 LNA에 의한 IMD잡음  
Fig 2. IMD noise due to LNA

LNA의 출력이 다음과 같고,

$$V_{out} = a_1 V_{in} + a_2 V_{in}^2 + a_3 V_{in}^3 \quad (1)$$

LNA의 입력이 다음과 같다고 가정하면,

$$V_{in} = A \cos \omega_1 + B \cos \omega_2 \quad (2)$$

식(2)를 식(1)에 대입하여 풀면 다음과 같다

$$\begin{aligned} V_{out} &= a_1 [A \cos \omega_1 + B \cos \omega_2] \\ &+ a_2 [A \cos \omega_1 + B \cos \omega_2]^2 \\ &+ a_3 [A \cos \omega_1 + B \cos \omega_2]^3 \\ &= (a_1 + \frac{9}{4} a_3 AB) A \cos \omega_1 + (a_1 + \frac{9}{4} a_3 AB) B \cos \omega_2 \\ &+ \frac{3}{4} a_3 A^2 B \cos(2\omega_1 - \omega_2) + \frac{3}{4} a_3 AB^2 \cos(2\omega_2 - \omega_1) \\ &+ \dots \end{aligned}$$

윗식에서 IMD 잡음의 크기는  $\frac{3}{4} a_3 A^2 B$  와  $\frac{3}{4} a_3 AB^2$ 가 되며, 일반적인 IIP3의 값은 다음과 같다.

$$IIP3 |_{dBm} = P_{in} |_{dBm} + \frac{4}{2} \quad (3)$$

여기에서 원하는  $P_{imd}$  값을 나타내면 다음과 같다.

$$P_{imd} = -2IIP3_{LNA} + 2P_{jam} + P_{Tx} - L_{Rx} + \alpha \quad (4)$$

$P_{imd}$ 는 수신부 LNA를 거쳐 발생된 IMD 잡음의 크기 [dBm/3.84 MHz]를 나타내며,  $P_{jam}$ 은 수신부 LNA에 입력되는 blocker의 크기 [dBm]이고,  $P_{Tx}$ 는 수신부 LNA 입력단에서의 송신부 누설전력 신호 [dBm/3.84 MHz]를 나타낸다. 그리고  $L_{Rx}$ 는 duplexer의 수신대역의 삽입손실[dB]이며,  $\alpha$ 는 안테나 단에서 LNA 입력

단까지의 손실에 대한 margin [dB]을 나타내는데 약 0.5~0.7 dB 정도의 값을 갖는다. 식(4)에서 보는바와 같이  $P_{\text{imd}}$ 는 blocker가 1 dB 증가함에 따라 2 dB씩 증가하며, 송신부의 누설전력이 1 dB 증가함에 따라 1 dB씩 증가하게 된다.

### III. 모의실험 결과 및 분석

다음은 Agilent사의 ADS를 이용하여 모의실험한 내용이다[6]. 그림3(a)와 같이 송신부의 누설전력과 out band blocker는 항상 수신부 LNA 입력단에 존재하게 되고, 그림 3(b)처럼 원하지 않는 신호들이 수신부 LNA를 거치면서 IMD 잡음이 수신대역에 놓여지는 것을 볼 수 있다. 또한 LNA를 거치면서 blocker 주변에 생긴 crossmodulation 잡음을 확인 할 수있는데, 이 잡음은 수신대역 밖에서 만들어져 W-CDMA 수신기에서는 수신 성능 저하의 원인이 되지는 않는다.

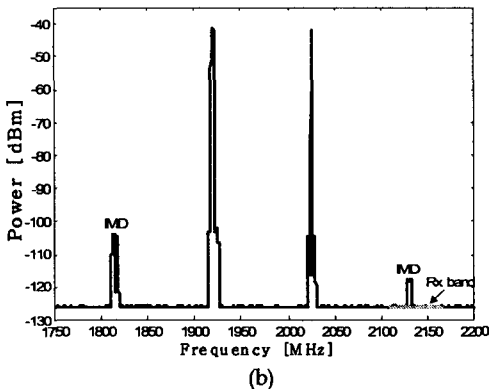
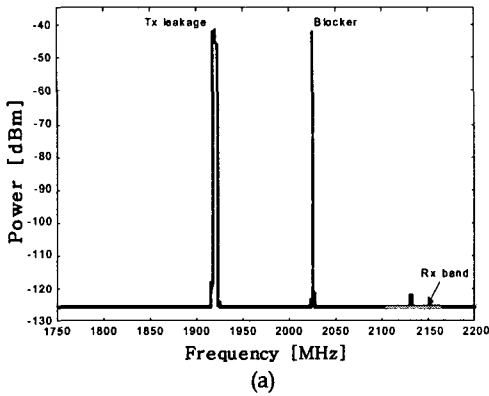


그림 3. LNA 출력에서의 IMD 잡음 (a) LNA 입력 신호 (b) IMD 잡음을 갖는 LNA 출력 신호

Fig 3. Measured  $P_{\text{imd}}$  at the output of LNA (a) Input signal of LNA (b) Output signal of LNA with IMD noise

그림 4는 blocker의 크기에 따른 수신대역의 IMD

잡음의 변화를 나타내고 있는데, 식(4)에서와 같이 blocker가 2 dB 상승에 따라 IMD 잡음은 4 dB정도의 상승 변화를 보이고 있다. 이와 같이  $P_{\text{imd}}$ 에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 송신부의 누설전력 신호보다는 blocker의 크기가 된다. 따라서 duplexer의 요건중 송신부 누설전력 신호의 isolation도 중요하지만 수신대역외에서 발생하는 blocker에 대한 attenuation값이 매우 중요하게 된다.

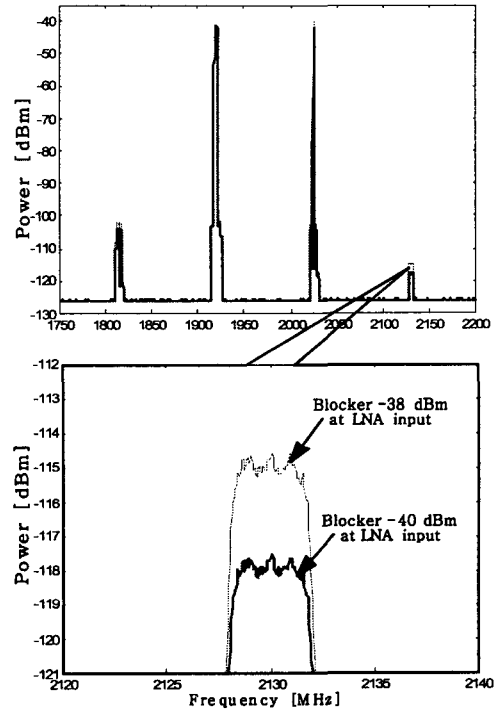


그림 4. Blocker 변화에 따른 LNA 출력단의 변화된 spectrum.

Fig 4. The variation of spectrum at the output of LNA due to blocker

이런  $P_{\text{imd}}$ 값에 영향을 줄 수 있는 매개 변수들 값의 변화를 통한 모의 실험을 통해 그림 5, 그림 6 그리고 그림 7과 같은 결과를 얻어내었다. 그림 5는 LNA IIP3의 변화에 따른  $P_{\text{imd}}$ 의 변화를 나타내고 있는데,  $P_{\text{ref}}$ 는 RF 수신부가 SNR의 저하 없이 입력될 수 있는 잡음의 크기로 적어도  $P_{\text{imd}}$ 가  $P_{\text{ref}}$ 보다 낮거나 같아야 한다. 여기서 요구되는 LNA IIP3의 값은 대략 0~1 dBm, duplexer isolation은 약 50 dB, 그리고 duplexer out band attenuation은 약 24 dB 정도가 요구된다.

그림 6은 주어진 LNA IIP3값과 duplexer attenuation값에 따라 요구되는 duplexer isolation값을 나타내며, 그림 7은 역시 주어진 LNA IIP3값과 duplexer isolation값에 따라 요구되는 duplexer attenuation값을 나타낸다.

### IV. 결 론

본 논문에서는 W-CDMA UE 수신부에서 가장 크게 발생할 수 있는 IMD 잡음을 양적 분석을 통해 살펴보았다. 그리고 수신부에서 발생할 수 있는 IMD 잡음의 모의 실험을 통해 수신부 진단이 요구하는

Duplexer		LNA
Tx leakage	Rx out band	IIP3
Isolation	Attenuation	1
50	24	1
dB		dBm

최소 조건에 맞는 다음과 같은 결과값을 얻었다.

표 1. 모의 실험을 통한 결과값

Table 1. The results of simulation

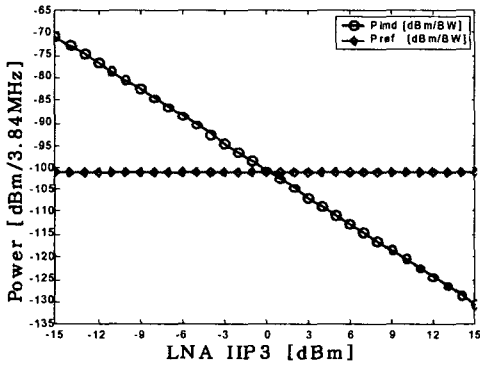


그림 5. LNA IIP3 변화에 따른 P<sub>imd</sub>의 변화  
Fig 5. P<sub>imd</sub> vs. LNA IIP3

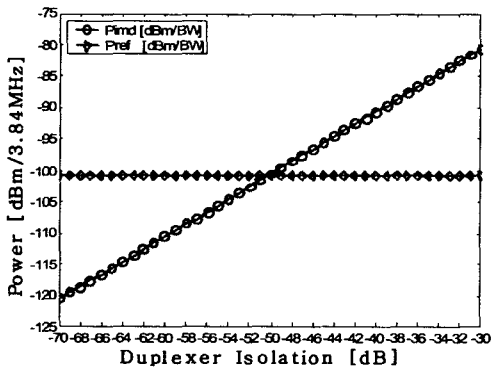


그림 6. Duplexer isolation 변화에 따른 P<sub>imd</sub>의 변화  
Fig 6. P<sub>imd</sub> vs. Duplexer isolation

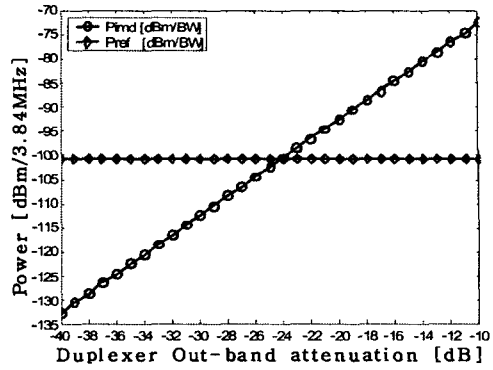


그림 7. Duplexer out-band attenuation 변화에 따른 P<sub>imd</sub>의 변화

Fig 7. P<sub>imd</sub> vs. Duplexer out-band attenuation

### V. 참 고 문 헌

- [1] Seong-Wook Kim, "A nightmare for CDMA RF receiver: The corss modulation," *The First IEEE Asia Pacific Conference*, pp. 400-402, 1999.
- [2] Third Generation Partnership Project(3GPP), "Terminal Conformance Specification; Radio transmission and reception(FDD)," 3G TS 34.121 version 3.0.1, March 2000.
- [3] O.K. Jensen, "RF Receiver Requirements For 3G W-CDMA Mobile Equipment," *Microwave Journal*, February 2000.
- [4] Behzard Razavi, *RF Microelctronics*, Prentice Hall, 1998.
- [5] Peter Vizmuller, *RF Design Guide: systems, circuits, and Equations*, Artech House, 1995.
- [6] Rishi Mohindra, "Part1 Cross Modulation in CDMA Mobile Phone Transceivers," *Design Seminar Agilent*, April 2001.