

WCDMA RF 송수신기의 설계 및 구현

강상기¹, 이동한, 홍헌진, 홍성용*

한국전자통신연구원 무선방송기술연구소, 충남대학교 전파공학과*

Design and Implementation of RF Transceiver for WCDMA

Sanggee Kang, Donghan Lee, Heonjin Hong, Sungyong Hong

요 약

본 논문에서는 WCDMA 규격[1,2]에 근거하여 WCDMA 기지국 무선부 설계 파라미터들로서, 수신기 잡음 지수(NF:Noise Figure), IIP3(Input 3rd order Intercept Point), ACS(Adjacent Channel Selectivity) 와 Blocking 특성을 만족하기 위한 여파기의 감쇠 특성 및 송신기 전체의 ACLR 특성을 만족하기 위한 송신기 구성 소자의 ACLR 특성 등을 고찰하였으며, 이와 같은 무선부 설계 파라미터를 기본으로 구현한 무선부의 시험 결과를 기술하였다.

1. 수신기 잡음 지수

수신기의 최소 수신 전력은 수신기의 잡음 지수로 결정된다. IS-95 시스템의 경우에는 부가 백색잡음 환경에서 복조기의 성능에 관한 최소 성능 규격이 기술되어 있고, 참고 문헌[3]에서는 수신기가 최소 수신 전력을 수신하기 위한 수신기의 잡음 지수를 결정하는 과정을 서술하였다. IS-95 시스템과 유사하게 WCDMA 시스템에서도 부가 백색 잡음 환경에서 복조기의 성능을 기술하고 있다. 참고 문헌[1]에서 복조기의 성능은 데이터(DPDCH 채널) 채널 전력을 -103.9dBm/3.84MHz로 인가하고, 이때 AWGN 잡음을 -84dBm/3.84MHz로 설정하여 Eb/No를 5.1dB로 유지하는 경우, BLER(Block Error Rate)는 0.01이하로 규정하고 있다. 그런데 부가 백색 잡음 환경에서 복조기의 성능 시험 항목은 수신기의 동적 영역 시험 항목과 수신기에 인가되는 전력의 크기만 다를 뿐 정확하게 동일한 조건이다. 즉, 동적 영역 시험 항목에서 인가되는 원신호의 전력을 -91dBm/3.84MHz(원신호는 데이터 채널(DPDCH)과 제어 채널(DCCPH)로 구성되어 있으며, 두 채널의 전력 비는 데이터 채널이

2.69dB 더 크고, 이 경우 데이터 채널 전력은 -92.9dBm/3.84MHz), AWGN 간섭 신호 전력을 -73dBm/3.84MHz 으로 수신기에 인가하는 경우 수신기의 BER은 0.001 이하로 규정되어 있다. 주목할 사항은 동적 영역 시험 항목에서도 Eb/No는 5.1dB이라는 점이다. 따라서 Eb/No를 5.1dB로 설정하는 경우 BLER 0.01이하의 성능은 BER 0.001이하와 동일한 성능 조건임을 알 수 있다. 수신기의 잡음 지수는 다음 식으로 부터 결정 할 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{req} = \frac{S}{N} + G_p \quad (1)$$

$$NF = 128.06 + S_D, \quad dB \quad (2)$$

여기서 S는 원신호 전력으로 -121dBm/3.84MHz이며, S_D는 -122.9dBm/3.84MHz로 데이터 채널 전력이다. 또한 G_p는 데이터를 12.2kHz에 대한 처리 이득(processing gain)으로 25dB이다. (1) ~ (2) 식으로 부터 (Eb/No)_{req}를 5.1dB로 설정하는 경우, 수신기의 잡음 지수는 5.16dB이다. 실제 수신기 실제에서 잡음 지수는 5dB로 설정하였다.

2. 중간주파수 여파기의 감쇠 특성

ACS는 인접 채널에 간섭 신호원이 존재 할 때, 할당된 채널에 위치하는 원하는 신호를 수신기가 수신하는 능력을 나타낸 것으로 중간주파수 신호 대역에 위치하는 여파기의 성능과 밀접한 관계가 있다. ACS 성능은 안테나 연결 단자에 원신호를 $-115\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 인가하고, 간섭 신호를 $\pm 5\text{MHz}$ offset에서 $-52\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 로 인가하는 경우, 수신기의 BER은 0.001 이하가 되어야 한다. ACS 성능 시험에서의 BER은 수신기의 최소 수신 감도 시험의 BER과 동일하다. 또한 ACS 시험 항목에서 간섭신호의 ACLR 특성은 63dB 이상으로 규정하고 있는데, 이는 송신 신호의 왜곡에 의한 영향을 ACS 시험에 포함시키지 않기 위해서 이다. 최소 수신 전력을 수신하기 위한 수신기의 잡음 지수가 5.16dB 인 경우, 수신기의 잡음 전력은 $-103\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 이다. 그런데 ACS 시험에서 원신호 전력이 $-115\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 이므로 전력 제어가 없는 경우, 최소 수신 전력의 경우와 동일한 성능(BER 0.001 이하)을 가지려면, ACS 시험 환경에서 전체 잡음 전력 역시 최소 수신 전력 환경 보다 6dB 의 잡음 전력이 증가한 경우이어야 한다. 따라서 전체 잡음 전력은 $-97\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 이고, 인접 채널 간섭 신호에 의한 잡음 전력은 $-98.26\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 이다. 따라서 다음 식으로부터 $\pm 5\text{MHz}$ 에서의 중간주파수 대역 여파기의 감쇠 특성을 계산할 수 있다.

$$-98.26 = Att_{-5\text{MHz}}(\text{dB}) - 52, \quad \text{dB} \quad (3)$$

따라서 $\pm 5\text{MHz}$ offset에서 감쇠량은 46.26dB 이다. Blocking 성능 시험은 ACS 시험 항목과 동일한 원신호 전력을 인가하나, $-40\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 의 간섭 신호를 $\pm 10\text{MHz}$ offset에서 인가하도록 되어 있다. Blocking 성능 수신기 RF 전단부에 위치하는 대역 여파기와 중간주파수 신호 대역에 위치하는 여파기의 성능에 많은 영향을 받는다. ACS 특성 시험 조건과 동일한 방법으로 $\pm 10\text{MHz}$

offset에서의 여파기의 특성을 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$-98.26 = Att_{-10\text{MHz}}(\text{dB}) - 40, \quad \text{dB} \quad (4)$$

따라서 $\pm 10\text{MHz}$ offset에서 감쇠량은 58.26dB 이다.

3. 수신기의 IIP3

수신기의 IIP3는 상호 변조 왜곡 시험과 관계가 있으며, 상호 변조 시험 조건은 원신호 전력을 $-115\text{dBm}/3.84\text{MHz}$, 간섭 신호 전력을 원신호로부터 10MHz , 20MHz offset 또는 -10MHz , -20MHz offset에 각각 -48dBm 의 전력을 갖는 신호를 인가하는 경우 수신기의 BER은 0.001이하로 규정하고 있다. 이 경우 동일한 BER 성능을 유지하는 조건에서 원신호 전력의 크기가 최소 수신 전력을 수신하는 경우보다 6dB 가 증가하였기 때문에 결과적으로 수신기의 전체 잡음 전력이 6dB 증가한 것으로 생각할 수 있다. 따라서 이 경우에는 수신기의 비선형 특성에 의한 상호 왜곡 성분이 전체 잡음 전력에 포함되는 되며, 상호 왜곡 성분에 의한 잡음 전력은 $-98.26\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 이다. 따라서 3차 상호 변조 왜곡 성분과 IIP3와의 관계는 그림 1과 같으며, 다음 식으로부터 수신기의 최소 IIP3를 계산할 수 있다.

$$IIP3 = P_{in} + IM_{reject} / 2, \quad \text{dBm} \quad (5)$$

따라서 $IIP3 = -45\text{dBm} + 53.42/2 = -18.37\text{dBm}$ 이다.

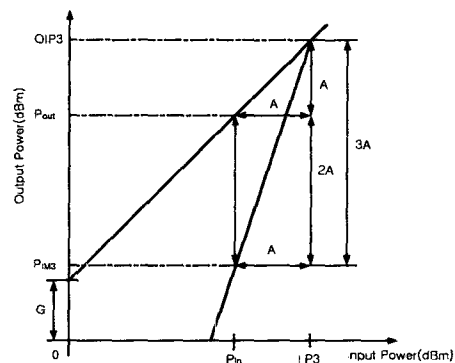


그림 1. 3rd 상호 변조 왜곡 신호와 IIP3와의 관계

4. ACLR

CDMA 시스템에서 시스템 용량을 결정하는 요소로는 잡음, 간섭 등이 있다. ACIR(Adjacent Channel Interference Ratio)은 원 송신 신호에 대해서 인접 채널에서 수신되는 간섭 신호의 비율로서 ACIR은 수신기와 송신기의 결합에 의해서 결정된다. ACIR을 결정하는 수신기와 송신기의 결합은 각각 ACS와 ACLR로 표현된다. ACS는 원 수신 신호에 대해서 인접 채널에서 여기 되는 간섭 신호를 어느 정도 선택적으로 수신할 수 있는가 하는 수신기의 원신호 선택 정도를 나타내며, ACLR은 송신 신호에 대해서 인접 채널로 누설되는 신호의 비이다. ACLR 특성이 나쁠수록 스펙트럼 효율이 떨어지며, 아울러 시스템 용량도 감소한다. 협대역 송신 시스템 또는 전력증폭기의 선형성을 객관적으로 나타내기 위해서 tone-test(특히 two tone test) 결과로서 송신 시스템 또는 전력증폭기의 선형성 나타내었다. 그러나 디지털 이동 통신시스템에서 실제 신호는 tone 신호와는 다른 신호 크기의 확률 분포를 갖기 때문에 정확하게 시스템 또는 전력증폭기의 선형성을 나타내기 위해서는 실제 신호를 사용해야 한다. 따라서 최근에 ACP(Adjacent Channel Power)로 시스템의 선형성을 나타내었다. 그러나 ACP를 측정하는 경우에는 측정 장비의 RBW(resolution bandwidth)에 따라서 측정되는 전력을 표시하여야 하며, 인접 채널에 여기되는 신호의 양을 표시하는데 수신기의 필터 성능을 포함하고 있지 않기 때문에 정확하게 인접 채널로 누설되어 수신되는 신호의 양을 나타내는 것은 아니다. 따라서 수신기의 수신 필터의 영향을 고려한 인접 채널 누설 전력을 나타내는 ACLR이 나타나게 되었다. 참고 문헌[4]에는 송신기의 ACLR 특성과 송신기에 인가되는 신호의 ACLR 특성에 따른 전체 ACLR 특성의 변화를 기술하고 있다. 입력 신호와 DUT의 ACLR 특성의 차이가 없는 경우, DUT 출력에서의 전체 ACLR은 DUT의 ACLR 특성 보다 4.1 ~ 4.5dB의 ACLR 특성의 열화가 있고, 입력 신호의 ACLR 특성이 DUT의 ACLR 특성 보다 12 ~

12.5dB 좋은 경우, DUT 출력에서의 ACLR 특성은 DUT의 ACLR 특성과 동일함을 보였다[4]. 3GPP 송신기의 ACLR1(+/- 5MHz offset에서 ACLR) 특성은 45dB 이상으로 규정하고 있다. 만약 송신기에 사용되는 선형증폭기의 ACLR1 특성이 45dB이라고 한다면, 주파수 상향기에서의 ACLR1 특성은 48dB 이상이 되어야 함을 그림 2로 부터 알 수 있다.

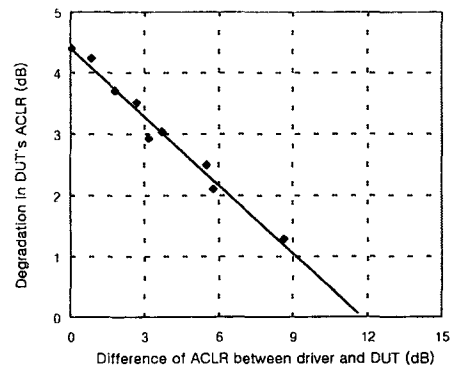


그림 2. 입력 신호와 DUT의 ACLR 차에 따른 DUT 출력에서 ACLR의 열화

5. 시험 결과

RF 수신기 단독으로는 BER을 측정 할 수 없기 때문에 단독으로 최소 수신 전력을 측정하는 경우에는 다음과 같은 시험 방법을 사용하였다. 수신기에 -100dBm/3.84MHz의 신호를 인가(DPDCH: 12.2kbps, -101.9dBm/3.84MHz)하고, Tx Tester로 측정된 DPDCH 채널의 Code domain power와 인접한 채널의 전력의 차는 26.1dB 이상이 되어야 한다. 그러나 실제 시험에서는 DPDCH 채널의 Code domain power와 인접한 채널의 전력의 차를 24dB 이상으로 설정하였다. 이와 같은 설정 이유는 R=1/3으로 viterbi 디코딩을 하는 경우 코딩을 하지 않은 경우보다 약 4dB 이상의 코딩 이득이 있기 때문이며, 시험에 사용한 Tx Tester는 viterbi 디코딩을 하지 않기 때문이다[5]. 따라서 DPDCH 채널의 Code domain power와 인접한 채널의 전력의 차를 24dB 이상으로 설정하는 경우, 코딩 이득을 고려하면 약 2dB의 margin이 있다. 그림 3은 최소 수신 전력을 시험한 결과로 DPDCH 채널의

Code domain power와 인접한 채널의 전력의 차 25.34dB 이다.

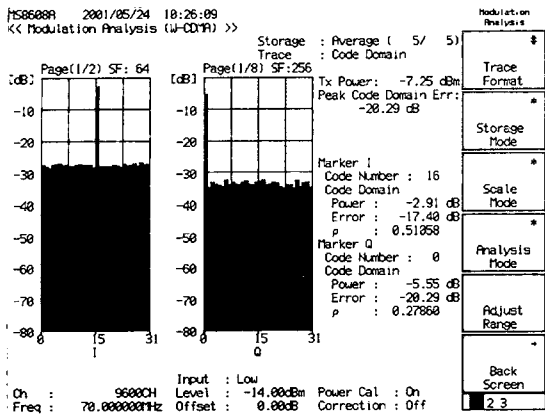


그림 3. 최소 수신 전력 시험 (DPDCH: 12.2kbps, -101.9dBm/3.84MHz)

ACS 시험은 수신기에 -100dBm의 신호를 인가 (DPDCH:12.2kbps, -101.9dBm/3.84MHz)하고, 원 신호의 중심주파수로부터 ±5MHz offset에 -52dBm의 간섭신호(간섭 신호의 ACLR은 63dB 이상)를 인가하는 경우, Tx Tester로 code domain power와 인접한 채널의 전력의 차를 측정하였다. 그림 4와 그림 5는 ACS 측정 결과로 +/-5MHz offset에 각각 간섭 신호를 인가한 경우 DPDCH와 인접 채널의 code domain power 차는 24.53dB와 24.54dB로 측정되었다. Blocking 시험의 경우도 원 신호 전력을 -100dBm/3.84MHz를 인가한 후, DPDCH 채널과 인접 채널의 전력차를 측정하였다. Blocking 시험에서 주의할 사항은 blocker 자체의 위상잡음의 영향을 배제할 수 있어야 정확한 시험이 가능하다. 그림 6은 blocking 시험 결과의 한가지로 DPDCH 채널과 인접채널의 code domain power 차는 24.31dB 이다. 상호 변조 왜곡 시험에서도 원신호 전력은 -100dBm/3.84MHz를 수신기에 인가하였으며, 그림 7 ~ 그림8은 측정 결과로 DPDCH 채널과 인접 채널의 code domain power 차는 24.84dB와 24.6dB로 측정되었다. 그림 9는 송신기의 안테나 연결단자에서 ACLR을 측정한 결과로 ACLR1은 52.51dB 이다.

6. 결론

본 논문에서는 WCDMA 규격에 근거하여 WCDMA 기지국 무선부 실제 파라미터를 결정하였고, Eb/No 5.1dB에서 수신기의 BER이 0.001이하가 되기 위한 수신기 잡음 지수는 5.16dB, 최소 IIP3는 -18.37dBm, ACS와 Blocking(In band) 특성을 만족하기 위한 중간주파수 대역 여파기의 감쇠 특성은 48.26dB(@±5MHz), 58.26dB(@±10MHz)이어야 하며, 전체 송신기의 ACLR 특성을 만족하기 위해서 주파수 상향기가 가져야 할 ACLR1 특성에 대해서 기술하였다. 시험 결과는 본 논문에서 RF 설계 파라미터가 최소 성능 규격에 만족함을 보여 준다.

참고 문헌

- [1] 3GPP TS 25.141, Base Station Conformance Testing(FDD) v3.1.0
- [2] 3GPP TS 25.104, Radio Transmission and Reception(FDD) v3.2.0
- [3] Sanggee Kang, Bongkyum Kim and Kisuk Yoo, "Review of IS-97 in the RF Designer's point of view", CIC '98, pp. 559 - 562, 1998.
- [4] Sanggee Kang, Heonjin Hong and Sungyong Hong, "Effects of driver's ACLR on total ACLR", Microwave Journal, vol. 43, no. 10, pp. 86 - 92, 2000.
- [5] Andrew J. Viterbi, "CDMA : Principles of Spread Spectrum Communication," Addison-Wesley, Massachusetts, April 1995.
- [6] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA for UMTS *Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, John Willy & Sons, 2000.

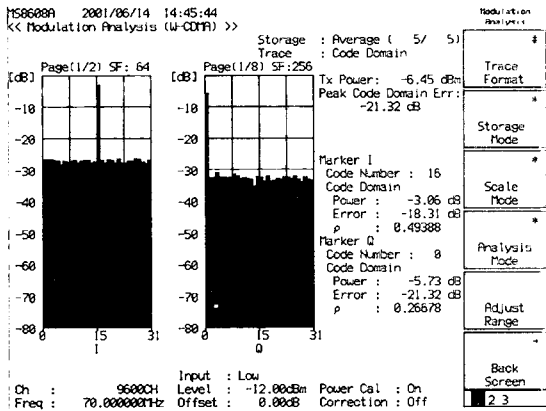


그림 4. +5MHz offset ACS 시험결과

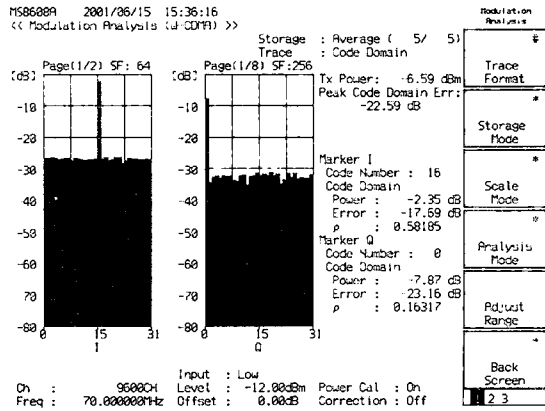


그림 7. -10MHz, -20MHz offset 상호 변조 특성 시험 결과

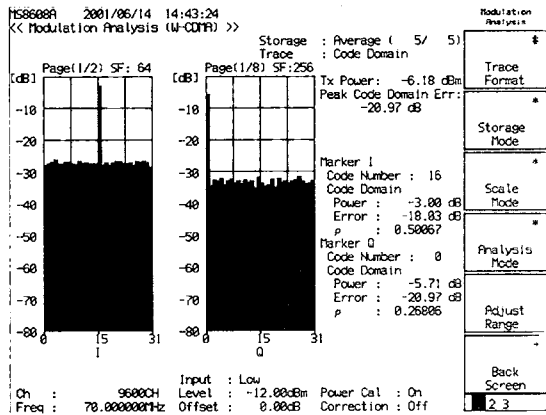


그림 5. -5MHz offset ACS 시험결과

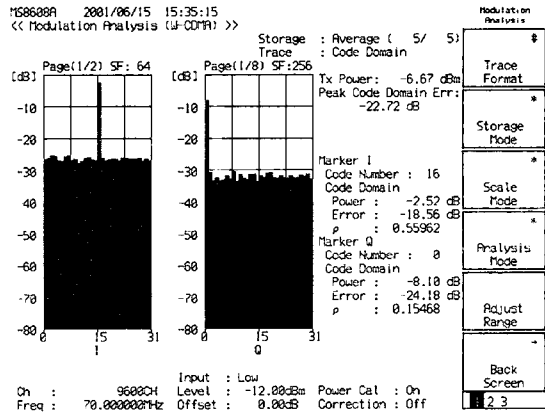


그림 8. +10MHz, +20MHz offset 상호 변조 특성 시험 결과

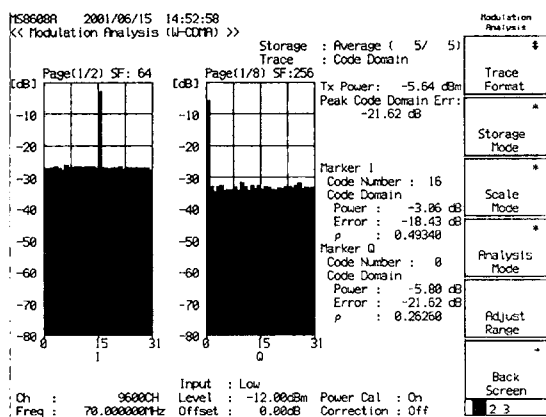


그림 6. Blocking 1920-1980 @ -10MHz 시험결과

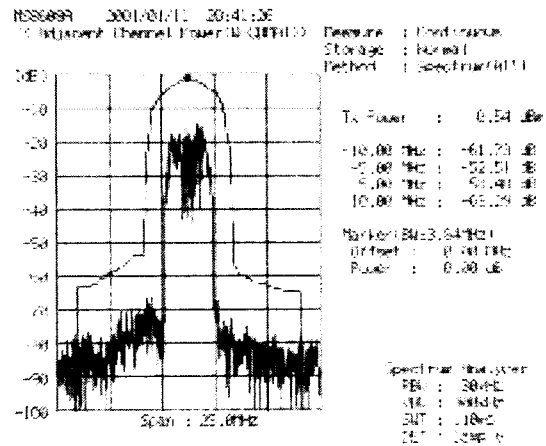


그림 9. ACLR 특성 시험 결과(Pout = 30W)