

WLL RTU 및 RSU용 RF 송수신기 설계 및 구현

正會員 정 영 준*, 강 상 기*, 이 일 규*, 김 봉 겸*, 홍 헌 진*

A Design and Implementation of RTU and RSU RF Transceiver for WLL System

Young-Jun Chong*, Sang-Gee Kang*, Il-Kyoo Lee*, Bong-Kyum Kim*,
Heon-Jin Hong* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 광대역 코드분할 다원 접속(Wideband CDMA:W-CDMA) 방식을 이용하여 무선 가입자 접속 망(WLL:Wireless Local Loop) 서비스를 위한 무선 기지국 장치(RTU:Radio Transceiver Unit) 및 무선 가입자 장치(RSU:Radio Subscriber Unit)용 RF 송수신기의 설계 및 구현에 대하여 고찰하였다. 제작된 RTU 송수신기는 크게 수신기, 송신기 및 RF 제어기의 세 보드로, RSU 송수신기는 수신기, 송신기 및 중간 주파수부로 구성하였다. 5MHz의 RF 채널 대역폭을 이용하여 넓은 동작 범위의 고 감도가 요구되는 RF 수신기 및 우수한 스푸리어스 방사 억제 특성을 갖는 송신기의 설계 및 구현에 관하여 기술하였다. 전체 송수신부를 상용화된 부품이나 주문 제작된 소자의 규격을 토대로 RF 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 위에 언급된 수신기 및 송신기의 예상 성능을 평가하였고, 이를 토대로 송수신기를 제작하였다. 측정 결과 RTU RF 수신기는 2.86dB의 잡음 지수 및 60dB이상의 동작 영역을 가졌고, 송신기의 스푸리어스 방사는 34.3dBm의 출력 전력에서 -49.34dBc의 특성을 얻었다. RSU RF 수신기 측정 결과 5.65dB의 잡음 지수 및 80dB의 동작 영역을 가졌고, 시스템의 정상적인 동작에서 송신부의 인접 채널 전력 제거(ACPR:Adjacent Channel Power Rejection) 특성은 -49.33dBc를 얻어 논문에 제시한 성능 규격을 만족하는 좋은 결과를 얻었다.

ABSTRACT

The implementation of RTU and RSU Transceiver for WLL system using W-CDMA method is presented in this paper. RTU transceiver consists of three boards:receiver, transmitter, RF controller. RSU transceiver is divided into three parts:receiver, transmitter, IF. Some RF parameters are considered and simulated by the RF simulation S/W using commercial and customized components specifications. The implemented transceiver of 5MHz RF channel

*한국전자통신연구원 연구원
論文番號:97270-0802
接受日字:1997年 8月 2日

bandwidth satisfies the system requirements of the transceiver such as dynamic range, sensitivity in the receiver and spurious emission suppression in the transmitter. At the RTU receiver, the experimental measurement shows 2.86dB of NF and 60dB above of dynamic range in AGC(Automatic Gain Control) locking. At the RTU transmitter, the -49.34dBc of spurious emission suppression is attained when the output power of the transmitter is 34.3dBm. At the RSU receiver, the experimental measurement shows 5.65dB of NF and 80dB of dynamic range when AGC loop is locked. The measured ACPR of the RSU transmitter is -49.33dBc when the RSU transmitter operates in normal state. These results are good enough to meet standard performance specifications.

I. 서 론

최근에 기존의 공중 전화망 사용자에게 무선 가입자 접속 망을 통한 전화, 팩스, ISDN용 고속 데이터 서비스를 효율적으로 지원할 수 있는 WLL 시스템에 관심이 고조되고 있다. WLL은 무선 통신 방식으로 기간통신 사업자 망의 하부 구조를 이루며 분배 기지국(DBS: Distribution Base Station)과 무선 망 종단기(RNTs: Radio Network Termination)를 포함하여 양단 사이의 무선 인터페이스를 구현하는 기술이다. WLL 시스템의 가장 큰 장점은 기존의 이동 통신 시스템과 달리 가입자들의 고정성을 가정하므로 가입자와 기지국간의 통신 채널의 변화가 적고, 핸드-오프 기능이 요구되지 않아 시스템의 구성이 용이하고 가격의 저가, 유선 방식과 같은 음질, 그리고 고속 데이터 및 팩스 전송이 가능하며 다른 방식들에 비하여 양질의 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 초기에는 음성 서비스를 목표로 구현하겠지만, 업무 분야의 가입자들을 위하여 점차 데이터 속도가 높은 서비스를 통하여 결국에는 광대역 서비스를 수용해야만 하고, 주저지 가입자들에게는 인터넷 액세스 및 멀티미디어 서비스를 제공해야 하므로 WLL 시스템은 협대역 서비스로부터 광대역 서비스로 변화되어야만 한다. 이러한 특성에 따라 국내에서도 이미 WLL 방식을 광대역 코드분할 다원접속 방식으로 정하여 여러 분야에서 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

현재 ETRI가 제안("WIRELESS LOCAL LOOP를 위한 무선 접속 규격" VER1.5)하고 있는 채널 당 사용 주파수 대역은 3.5, 5, 7, 10, 10.5, 14, 15MHz 등을 규정하고 있으나[1], 본 논문에서는 5MHz RF 채널 대역폭을 이용하여 RTU 및 RSU용 RF 송수신기를 설계하고 제작하였다.

II. 송수신기 구조 및 기능

2.1 RTU 송수신기 구조 및 기능

역 방향 링크의 수신기 및 순방향 링크의 송신기 구조도는 그림 1과 같이 설계되었고, 제작된 RTU 송수신기는 다음과 같은 기능을 수행하도록 구성하였다.

가. 수신기의 기능

- RF 입력 주파수(2300~2330MHz)를 21.4MHz의 중간 주파수로 주파수 변환,
- 수신 신호 세기의 표시(RSSI: Received Signal Strength Indicator),
- 잡음 지수 조정을 통한 Noise Balancing 기능.

나. 송신기의 기능

- 중간 주파수 신호를 UHF대로 주파수 변환,
- 채널 중심으로부터 $\pm 2.5\text{MHz}$ 이격 된 지점에서 스퓨리어스와 잡음 전력을 감쇠 시키기 위한 신호 여파 기능,
- 송신기 전력 제어 루프의 이득과 순방향 링크에 대한 이득 조정,
- RF 송수신 시스템의 주파수 상/하향 및 중간 주파수를 결정하고 일정한 간격으로 송수신 채널을 할당.

수신기는 수신 전치단 및 주파수 하향기로 구성하였으며, 안테나를 통해 수신되는 미약한 RF 신호를 수신 전치 단에서 여파하고 증폭한 후, 주파수 하향기를 통하여 21.4MHz의 최종 중간 주파수로 변환하여 디지털 신호 처리부로 일정한 전력을 공급 함으로서 희망 신호를 최소한의 왜곡으로 복조한다. 주파수 변환은 낮은 쪽 대역 주입을 이용하여 2차 주파수 변

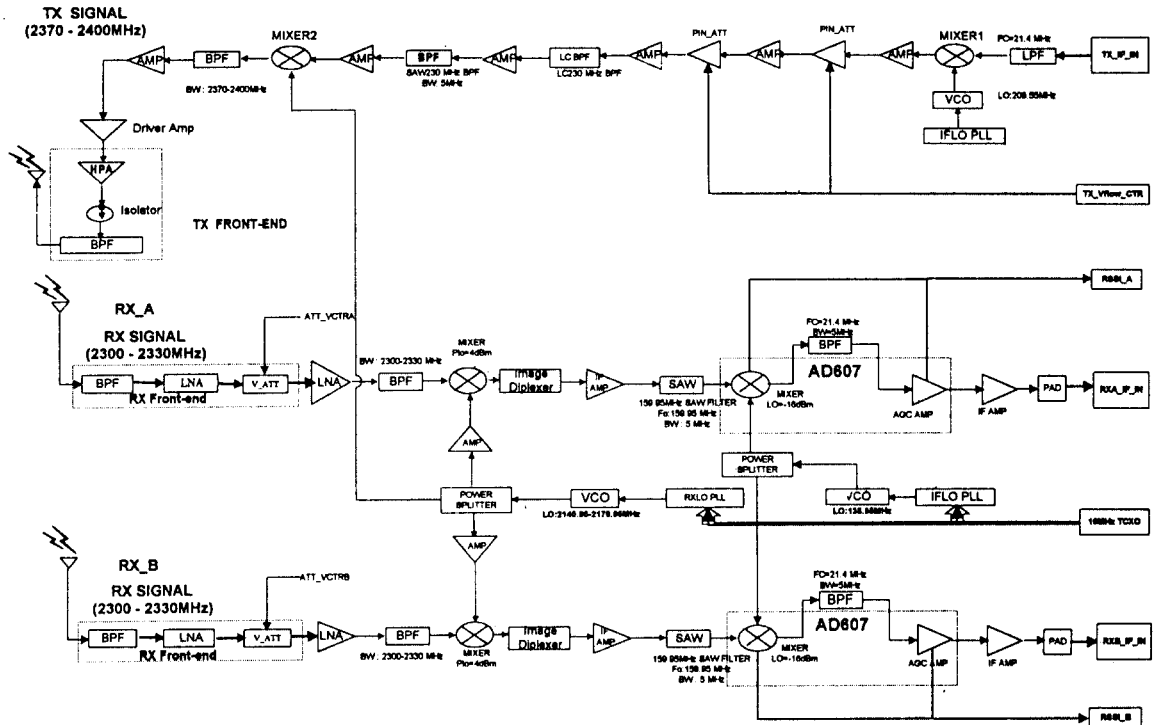


그림 1. RTU 송수신기 구조도
 Fig. 1 Block diagram of the RTU transceiver

환을 하였다. RF 입력 주파수 대역은 우선 159.95MHz로 주파수 변환된 후 21.4MHz로 최종 주파수 변환되도록 하였다. CDMA의 공간적인 다이버시티를 위하여 두개의 수신기들(RX_A 및 RX_B)은 하나의 주파수 하향기에 제작하였고, 주파수 합성기로부터 생성한 UHF 국부 발진 주파수 (2140.05~2170.05MHz) 및 138.55MHz 국부 발진 주파수는 두개의 수신기에서 공유하도록 하였다.

순방향 링크의 송신기는 주파수 상향기, 고출력 증폭기, 송신 전치단, 주파수 합성부로 구성하였고, 디지털 신호 처리부로부터 21.4MHz의 입력 신호를 공급 받아 주파수 상향기로 인가된 후, 208.55MHz의 국부 발진 주파수를 이용하여 229.95MHz의 중간 주파수로 변환된다. 이 신호는 증폭된 다음 혼합 시 발생하는 원치 않는 신호를 제거하기 위하여 표면 탄성파 여파기 및 대역통과 여파기로 여파된 후 두번째 국부 발진 주파수 (2140.05~2170.05MHz)와 주파수

혼합 (2370~2400MHz) 된다. 주파수 혼합된 신호는 다시 대역 통과 여파기로 여파된 후 구동 증폭기에 신호를 공급한다. 증폭된 신호는 고출력 증폭기를 통하여 상호 변조에 의한 왜곡 신호를 줄이면서 원하는 전력까지 증폭된 후 송신 전치 단의 대역 통과 여파기로 다시 여파된 후 송신 안테나를 통하여 신호를 전송한다. 주파수 합성부는 주파수 상/하향을 위한 UHF 주파수 합성기, 중간 주파수 상향을 위한 IF 주파수 합성기, 중간 주파수 하향을 위한 IF 주파수 합성기의 세 부분으로 구성하여 RF 송수신 시스템의 주파수 상/하향 및 중간 주파수를 결정하고 일정한 간격으로 송수신 채널을 할당하도록 하였다[2], [3], [4], [5].

2.2 RSU 송수신기 구조 및 기능

순방향 링크의 수신기 및 역 방향 링크의 송신기 구조도는 그림 2와 같이 설계되었고, 제작된 RSU 송수신기는 다음과 같은 기능을 수행 하도록 구성 하였다.

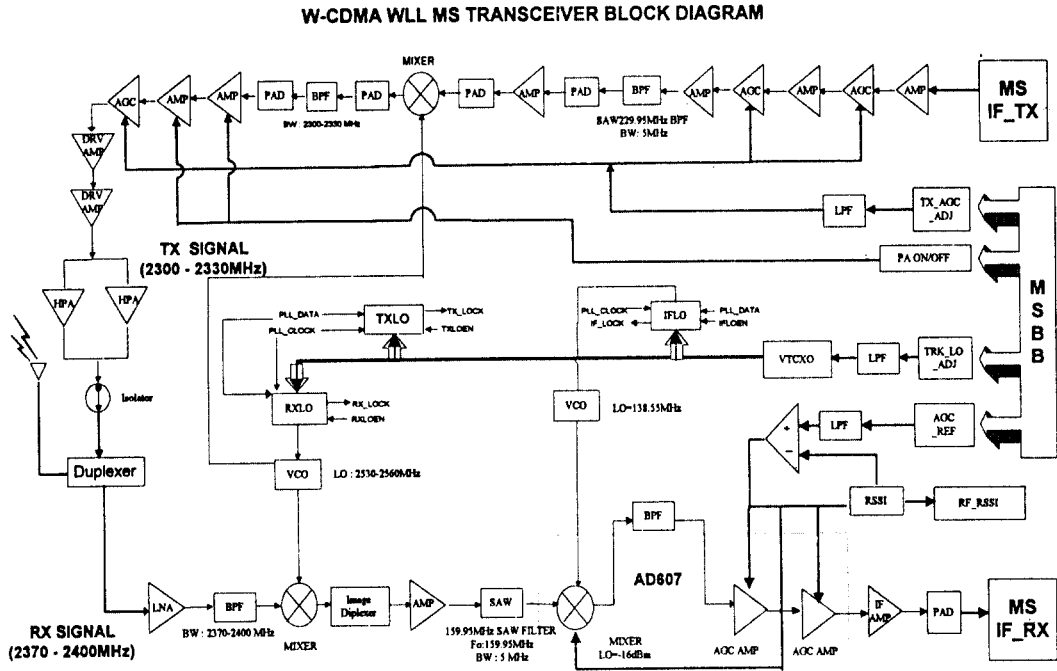


그림 2. RSU 송수신기 구조도
Fig. 2 Block diagram of the RSU transceiver

가. 수신기의 기능

- RF 입력 주파수(2370~2400MHz)를 21.4MHz의 중간 주파수로 주파수 변환,
- 수신 신호 세기의 표시(RSSI),
- AGC_REF를 통한 최적의 복조기 기능 유지

나. 송신기의 기능

- 229.95MHz 신호를 UHF대로 주파수 변환,
- 채널 중심으로부터 > ±2.5MHz 이격 된 지점에서 스퓨리어스 신호와 잡음 전력을 감쇠 시키기 위한 신호 여파 기능,
- TX_AGC_ADJ를 통한 전력 제어 루프의 이득 조정,
- 출력 ON/OFF 기능,
- RF 송수신 시스템의 주파수 상 하향 및 중간 주파수를 결정하고 일정한 간격으로 송수신 채널을 할당,
- TRK_LO_ADJ를 통한 주파수 에러 보정[6].

III. 시뮬레이션 및 설계

3.1 RTU 송수신기 설계 및 시뮬레이션

3.1.1 RTU 수신기 설계 및 시뮬레이션

제작하고자 하는 수신기의 전체 규격은 표 1과 같고, 성능 규격을 만족하는 수신기를 설계하기 위하여 EEsof Omnisys를 이용하여 수신 감도 및 AGC 동작 범위를 수신기의 가장 중요한 성능 평가 파라미터로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

설계된 수신기의 수신 감도는 다음과 같은 과정을 통하여 예측할 수 있다. 대역 확산 스펙트럼 방식을 이용하는 시스템에서 채널로그 신호 대 잡음 비(S/N)와 디지털 신호 대 잡음 비의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$E_b/N_0 = (W/R) \cdot (S/N) \tag{1}$$

여기서, S/N: 신호 대 잡음 비,

표 1. RTU 수신기 규격

Table 1. RTU receiver specifications

수신기 파라미터	수신기 요구 조건
동작 범위	2300~2330MHz
RF 채널 대역폭	5MHz
잡음 지수	< 5dB
입력 정재파비	≤ 1.5:1
21.4MHz IF: 출력 전력 출력 정재파비	-10 ± 5dBm @AGC locking ≤ 1.4:1
UHF LO 요구: 출력 주파수 주파수 스텝 출력 레벨	2140.05~2170.05MHz 50kHz 4 ± 1dBm

W:대역 확산 대역폭(4.096MHz),

R:데이터 속도(32kpbs).

식(1)에서 구한 디지털 신호 대 잡음 비를 이용한 비트 오류의 식(AWGN 환경에서)은 기지국의 변복조 방식이 QPSK인 경우에 다음과 같이 표현된다.

$$P_B = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (2)$$

이때 사용된 Q(x)는 다음과 같다.

$$Q(x) \approx \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (\text{for } x > 3)$$

표 2. RTU 수신기 대신호 버짓 시뮬레이션(Pin = -99dBm) 결과

Table 2. Large signal budget simulation result of the RTU receiver(Pin = -99dBm)

Receiver Budget Analysis(Pin = -99dBm)

	C_NF(dB)	NF0(dB)	POWER(dBm)	1dBc0(dBm)	IP3I(dBm)	IP30(dBm)	S/NBWT(dB)	SFDR(dB)
RX BPF	0.92	0.92	-101.77	1000	-76.13	1000	6.91	1000
LNA	1.5	2.47	-64.22	23.67	-77.83	34.02	5.37	69.17
ATT	2.5	2.47	-69.03	9.14	-41.17	19.6	5.37	62.77
RXCARD_LNA	2.8	2.47	-55.9	12.34	-45.7	23.33	5.37	56.5
PAD	3	2.47	-58.97	9.34	-33.01	20.33	5.37	56.55
RXCARD_BPF	3.3	2.47	-62.25	6.04	-36.01	17.03	5.37	56.53
PAD	3	2.47	-65.47	3.04	-39.31	14.03	5.37	56.68

음성 통신 및 데이터 통신의 적정 비트 오류가 각각 10^{-3} (-30dB 이하), 10^{-5} (-50dB 이하)인 경우 위의 식(1), (2)을 이용하여 시뮬레이션 한 수신기의 최소 입력 레벨은 각각 -116.5dBm과 -113.5dBm으로 계산 되었으며, 결과는 그림 3에 M1과 M2로 표시 하였다.

중속 연결된 소자들의 잡음 지수 및 전력 이득 등의 특성을 관찰하기 위하여 CDMA 채널 중심 주파수 (2312.5MHz:250번째 CDMA 채널)에서 -99dBm의 전력을 인가하여 대신호 버짓 시뮬레이션을 하였고, 수신기에 이용된 소자들의 출력 단에서의 잡음 지수(NF0) 및 출력 전력(POWER), 입력 및 출력 IP3(IP3I,IP3O), 1dB-압축 출력 전력(1dBcO), 5MHz RF 대역폭에 대한 신호 대 잡음 전력 비(S/NBWT),

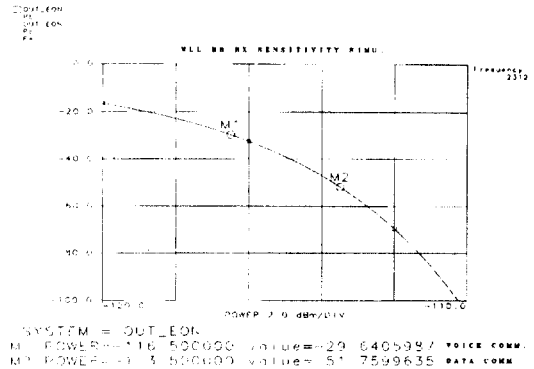


그림 3. BER과 수신감도의 상관 관계

Fig. 3 The relation between BER and receiver sensitivity

MIXER1	7	2.48	-71.97	-4.37	-42.31	6.28	5.37	55.84
IMAGE DIPL	0.67	2.48	-72.54	-5	-48.98	5.65	5.37	55.8
IF AMP	3.5	2.48	-57.28	10.31	-49.6	20.94	5.37	55.81
PAD	3	2.49	-60.75	7.31	-34.25	17.94	5.38	56.13
159.9MHz SAW	15.01	2.5	-75.31	-7.87	-37.25	2.76	5.38	55.71
PAD	3	2.55	-78.31	-10.87	-52.44	-0.24	5.37	55.7
AD607	5	2.57	-78.32	-14	-55.44	-4.13	5.67	53.09
IF BPF	2.64	2.72	-81.02	-16.52	-55.43	-6.65	5.78	53.19
AD607	6.99	2.72	-26.07	-12.2	-57.95	-1.88	5.58	19.61
AMP	3.7	2.72	-7.05	6.02	3.2	15.87	5.57	18.76
PAD	3	2.72	-10.05	3.02	2.99	12.87	5.57	18.76

SFDR(Spurious Free Dynamic Range)비, 소자들의 잡음 지수(C_NF) 등의 특성은 표 2에 나타내었다[7], [8].

3.1.2 송신기의 설계 및 시뮬레이션

제작하고자 하는 송신기의 규격은 표 3과 같고, 성능 규격을 만족하는 송신 시스템을 설계하기 위하여 EEsof Omnisis를 이용하여 스푸리어스 방사 억제 특

성을 송신기의 가장 중요한 성능 평가 파라미터로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

입력 주파수 (21.4MHz)에서 0dBm의 전력을 인가 하였을 때 송신기에 사용된 소자들의 잡음 지수 및 전력 이득 등의 특성을 보기 위하여 대신호 버짓 해석을 하였고, 결과는 표 4와 같다.

송신기의 가장 중요한 성능 규격인 스푸리어스 방사 억제 특성을 시뮬레이션 하기 위하여 EEsof Omnisis에서 제공하는 Discrete Time Test Bench를 이용하여 데이터율이 32kbps이고, 칩율이 4.096Mcps인 PN 변조 및 QPSK 변조를 통하여 W-CDMA 신호 파형을 생성하였다. 고출력 증폭기의 측정된 AM-AM 및 AM-PM 특성을 포함한 송신기 전체의 스푸리어

표 3. RTU 송신기 규격

Table 3. RTU transmitter specifications

송신부 파라미터	송신부 요구 조건
동작 주파수 범위	2370~2400MHz
전체 스푸리어스 방사	< -45dBc/RBW = 30kHz @CDMA 채널 중심에서 2.5MHz이상 이격
입력 정재파비	≤ 1.4 : 1
재 방사	-13dBm 최대 @RBW = 30kHz
Transmitter Output :	
출력 전력	2 W Maximum
출력 정재파비	≤ 1.5 : 1
UHF LO 요구 항목 :	
주파수 범위	2140.05~2170.05MHz
주파수 스텝	50kHz 스텝
출력 레벨	7 ± 1 dBm
위상 잡음	< -55dBc/Hz @100Hz < -70dBc/Hz @10kHz < -85dBc/Hz @100kHz

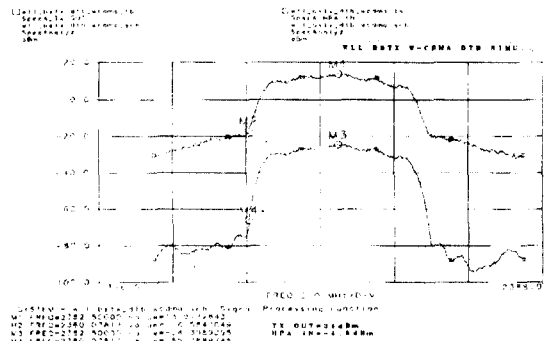


그림 4. RTU 송신 W-CDMA 신호 시뮬레이션 결과

Fig. 4 Transmitted W-CDMA signal simulation result of the RTU

표 4. RTU 송신기 대신호 버짓 시뮬레이션(Pin = 0dBm) 결과
 Table 4. Large signal budget simulation result of the RTU receiver(Pin = 0dBm)
 Transmitter Budget Analysis(Pin = 0dBm)

	C_NF(dB)	NF0(dB)	POWER(dBm)	1dBc0(dBm)	IP31(dBm)	IP30(dBm)	S/NBWT(dB)	SFDR(dB)
PAD	3	3.0011	-3.0254	1000	11.6941	1000	104.1154	1000
LPF	0	3.0011	-3.0254	1000	8.6941	1000	104.1154	1000
PAD	5	8.0069	-8.2987	1000	8.698	1000	99.0226	1000
MIXER1	6	14.0063	-13.8306	2.1078	3.698	12.7288	92.9894	79.68
PAD	3	17.0747	-16.964	-0.8922	-1.9214	9.7288	89.9019	77.7233
AMP	3.6	20.6306	-4.6488	10.7659	-4.9214	21.2943	86.3328	74.8496
Flower Att..	5	20.8725	-9.8612	5.7659	7.2678	16.2943	86.0905	74.8313
AMP	6.5	21.9064	-1.9626	12.6307	2.2678	22.8469	85.0483	73.2403
Flower Att..	5	22.0069	-7.1225	7.6307	10.0073	17.8469	84.9476	73.2798
AMP	3.6	22.1844	4.9081	15.9421	5.0073	26.85	84.7635	71.1245
LARK BPF	6.9679	22.2189	-2.2378	9.01	17.1428	19.9179	84.9085	71.244
AMP	6.5	22.363	5.2192	14.7973	10.2107	24.9696	84.7409	69.5193
PAD	3	22.3704	2.0549	11.7973	17.8708	21.9696	84.735	69.624
SAW Filter	16.4328	22.9564	-14.4956	-4.9274	14.8708	5.2449	84.5233	69.1171
PAD	3	23.5077	-17.6291	-7.9274	-1.8539	2.2449	83.8949	68.8386
AMP	3.6	24.6573	-5.2303	4.2925	-4.8539	14.4283	82.6156	67.9269
PAD	3	24.7095	-8.4588	1.2925	7.4665	11.4283	82.5585	68.0445
MIXER2	7	25.1016	-15.0583	-6.1658	4.4665	3.9215	82.1511	67.1682
PAD	3	25.5232	-18.1025	-9.1658	-2.2626	0.9215	81.7217	66.9167
BPF	3.3837	26.3346	-21.4567	-12.505	-5.2626	-2.4177	80.8667	66.3857
PAD	3	27.5459	-24.6849	-15.505	-8.6018	-5.4177	79.5724	65.7303
VNA-25	5.5	31.0375	-8.6485	0.1829	-11.6018	10.25	75.9506	63.1551
PAD	5	31.0886	-13.9214	-4.8171	4.1891	5.25	75.898	65.303
VNA-25	5.5	31.2677	2.0638	9.9943	-0.8109	19.9232	75.7104	62.2877
PAD	5	31.2718	-3.2599	4.9943	15.2709	14.9232	75.7701	62.4971
Power AMP	7	31.2949	36.0392	38.5409	10.2709	48.4225	75.0498	58.366
TX BPF	2.9104	31.2949	33.1299	35.4681	3.1931	45.3497	75.0498	58.257

스 방사는 CDMA 송신 중심 주파수에서 2.5MHz 떨어진 지점에서 -30.4dBc로 시뮬레이션 되었다. 대역폭을 가지는 CDMA 신호의 스퓨리어스 방사량은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\text{스푸리어스 방사량} = -P_{\text{out}}/P_{\text{SPUR}} \text{ (dBc)} - 10\text{Log}(\text{BW}/\text{RBW}) \quad (3)$$

위의 식 (3)을 이용하여 계산된 스퓨리어스 방사 억제 특성은 송신기 출력 전력이 34dBm일 때 -51.7dBc를 나타내어 표 3에 제시된 전체 스퓨리어스 방사 제한 규격을 잘 만족하였고, 결과는 그림 4에 제시하였 다 [8], [9], [10].

3.2 RSU 송수신기 설계 및 시뮬레이션

3.2.1 RSU 수신기 설계 및 시뮬레이션

제작하고자 하는 수신기의 전체 규격은 표 5와 같다.

표 5. RTU 수신기 규격

Table 5. RTU receiver specifications

수신기 파라미터	수신기 요구 조건
동작 범위	2370~2400MHz
잡음 지수	< 8dB
입력 정재파비	≤ 1.5:1
21.4MHz IF: 출력 전력 출력 정재파비	-20±5 dBm @AGC locking ≤ 1.4:1
UHF LO 요구: 출력 주파수 주파수 스텝 출력 레벨	2529.95~2559.95MHz 50kHz 4±1dBm

중속 연결된 소자들의 잡음 지수 및 전력 이득 등의 특성을 관찰하기 위하여 CDMA 채널 중심 주파수 (2382.5MHz)에서 -99dBm의 전력을 인가하여 대신호 버짓 시뮬레이션을 하였고, 수신기의 잡음 지수 및 전력 이득 등의 특성은 표 6에 나타내었다.

3.2.2 송신기의 설계 및 시뮬레이션

제작하고자 하는 송신기의 규격은 표 7과 같다.

입력 주파수 (229.95MHz)에서 -20dBm의 전력을 인가하여 송신기에 사용된 소자들의 잡음 지수 및 전력 이득 등의 특성을 보기 위하여 대신호 버짓 해석을 하였고, 결과는 표 8과 같다[8], [9].

표 6. RSU 송신기 대신호 버짓 시뮬레이션(Pin = -99dBm) 결과

Table 6. Large signal budget simulation result of the RSU receiver(Pin = -99dBm)

RSU Receiver Budget Analysis(Pin = -99dBm)

	C_NF(dB)	NF0(dB)	POWER(dBm)	1dBc0(dBm)	IP3I(dBm)	IP30(dBm)	S/NBWT(dB)	SFDR(dB)
DUPLEXER	1.8397	1.8397	-102.6237	1000	-60.0011	1000	6.1351	1000
LNA	1.8	3.9156	-79.2938	13.7358	-63.0495	24.066	4.0482	71.6203
PAD	1	3.9207	-80.309	12.7358	-40.2684	23.066	4.058	71.627
BPF	3.3857	3.9506	-83.697	9.4833	-41.2684	19.8135	4.0608	71.6975
PAD	1	3.9656	-84.8037	8.4833	-44.5209	18.8135	4.046	71.7586
MIXER1	6.5	4.2077	-90.8417	-0.15	-45.5209	9.7952	3.8069	69.6103
IMAGE DIPL	0.6624	4.2392	-91.4049	-0.7595	-51.6343	9.1856	3.7728	69.5584
AMP	6	5.0391	-68.04	16.7324	-52.2438	26.9934	3.008	65.3204
PAD	1	5.0395	-69.1047	15.7324	-28.931	25.9934	3.004	65.3632
SAW	14.6824	5.0779	-84.2387	0.4254	-29.931	10.6864	2.9271	65.2223
PAD	1	5.0907	-85.2387	-0.5746	-45.238	9.6864	2,9141	65.2138
AD607	5	5.221	-82.7526	-12.1566	-46.238	-1.9085	3.1399	55.7396
IF BPF	2.6379	5.2467	-85.4507	-14.6803	-43.7389	-4.4321	3.2275	55.8388
AD607	6.9897	5.4706	-36.0358	34.582	-46.2625	44.8301	2.9801	55.5877
AMP	3.7	5.4706	-16.8011	13.9578	2.9997	22.1989	2.9789	27.6764
PAD	3	5.4706	-19.8011	10.9578	3.2996	19.1989	2.9789	27.6764

표 7. RSU 송신기 규격

Table 7. RSU transmitter specifications

송신부 파라미터	송신부 요구 조건	Transmitter Output :	
동작 범위	2300~2330MHz	출력 진력	200mW Maximum
전체 스퓨리어스 방사	< -42dBc/RBW = 30kHz @CDMA 채널 중심에서 2.5MHz이상 이격	출력 정제파비	≤ 1.5 : 1
입력 정제파비	≤ 1.4 : 1	UHF LO 요구 항목 :	
제 방사	-13dBm 최대 @RBW = 30kHz	주파수 범위	2529.95~2559.95MHz
		주파수 스텝	50kHz스텝
		출력 레벨	4 ± 1 dBm

표 8. RSU 송신기 대신호 비짓 시뮬레이션(Pin = 20dBm)결과

Table 8. Large signal budget simulation result of the RSU transmitter(Pin = 20dBm)

	C_NF(dB)	NF0(dB)	POWER(dBm)	IdBc0(dBm)	IP3I(dBm)	IP30(dBm)	S/NBWT(dB)	SFDR(dB)
AMP	4.5	4.5	-0.4444	11.4529	-16.4428	20.3878	82.4055	68.8252
IF ATT..	4	4.5185	-4.6878	5.8386	3.8052	14.8559	82.3679	67.941
AMP	3.6	4.5663	6.2048	14.4993	-0.7315	24.4011	82.2702	67.9777
IF ATT..	4	4.5703	1.8918	7.8695	10.605	17.7865	82.1772	65.3813
AMP	3.6	4.5804	13.8866	16.1958	6.1554	27.0232	81.8906	63.3604
PAD	4.0014	4.5813	9.7027	12.1958	18.565	23.0232	81.8911	63.4823
229.95MHz SAW	16.4328	4.6399	-6.821	-4.5118	14.565	6.3156	82.3393	63.3208
PAD	4.0014	4.7333	-11.0053	-8.5118	-2.1425	2.3156	82.2346	63.3813
AMP	3.6	4.9246	0.9347	3.1872	-6.1425	13.9765	82.0096	63.06
PAD	4.0014	4.9392	-3.3047	-0.8128	5.6512	9.9765	81.9934	63.2099
MIXER	6.5	5.0209	-9.6378	-7.7046	1.6512	2.9216	81.8234	62.6377
PAD	3.0011	5.1312	-12.7019	-10.7046	-4.8079	-0.0784	81.72	62.6069
BPF	3.0441	5.342	-15.7833	-13.8277	-7.8079	-3.2015	81.4966	62.4386
PAD	3.0011	5.737	-18.9162	-16.8277	-10.931	-6.2015	81.0638	62.2638
AMP	5.5	7.3202	-3.3181	-1.2986	-13.931	9.3234	79.3531	62.1535
AMP	5.5	7.3539	11.4256	12.5315	1.6903	22.4559	79.0428	59.8738
RF ATT..	3	7.3543	8.1722	6.8455	17.5852	16.8414	78.4363	57.8955
DRV	5.5	7.3564	17.2382	15.3405	15.6951	25.3753	78.1335	57.339
PAD	5.0015	7.3566	12.2372	10.3405	25.8151	20.3753	78.133	57.3394
DRV	5.5	7.3574	20.488	17.7251	20.8151	28.086	77.0775	56.2757
P.SPLITTER	3.0011	7.3575	17.2702	14.7251	33.364	25.086	77.0825	56.4242
HPA	6	7.3577	26.0456	22.936	30.364	33.2355	76.4579	55.5906
P.COMBINER	2.0008	7.3577	23.7244	20.936	3.1989	31.2355	76.4578	55.8048
DUPLEXER	0.7484	7.3577	23.0468	19.7371	1.1989	30.0366	76.4568	55.4572

III. 제작 및 실험 결과

실제 제작된 PCB는 FR4 기판을 이용하여 4층으로 제작하였고, RTU 주파수 상/하향기 및 주파수 합성부의 제작된 형상은 그림 5와 같고, RSU 송수신기의 제작된 형상은 그림 6과 같다.

RTU 및 RSU 수신기의 선택도를 향상시키기 위하여 사용된 159.95MHz 표면 탄성과 대역 통과 여파기의 삽입 손실 평탄도 및 위상 특성은 통과 대역 (Marker1, 2, 3) 내에서 각각 최대 1dB정도의 리플 및 10도의 위상 변화를 갖도록 표면 탄성과 여파기의 입력과 출력에 인덕터 및 캐패시터로 정합 회로를 구성

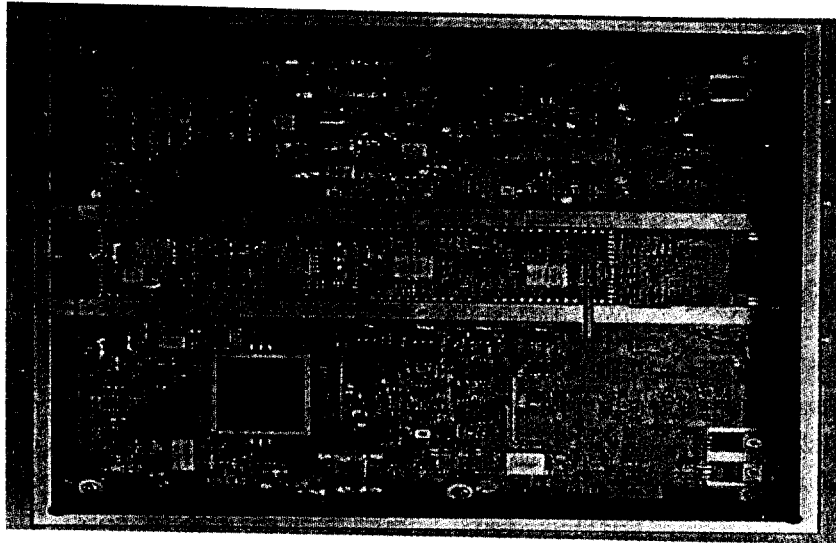


그림 5. 제작된 RTU주파수 상/하향기 및 주파수 합성부 (21x24cm)

Fig. 5 The implemented RTU up/downconverter and frequency synthesizer(21x24cm)

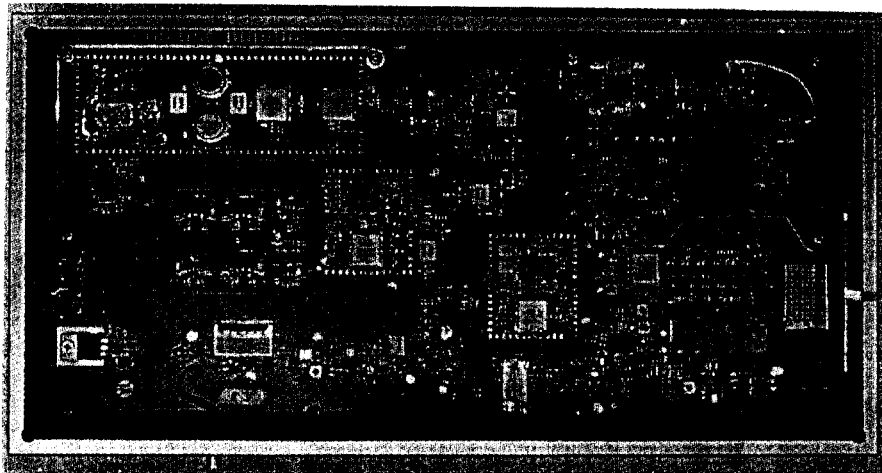


그림 6. 제작된 RSU 송수신기(29x15cm)

Fig. 6 The implemented of the RSU transceiver(29x15cm)

하여 위의 규격을 만족하는 결과를 얻었고, 측정 결과는 그림 7과 같다.

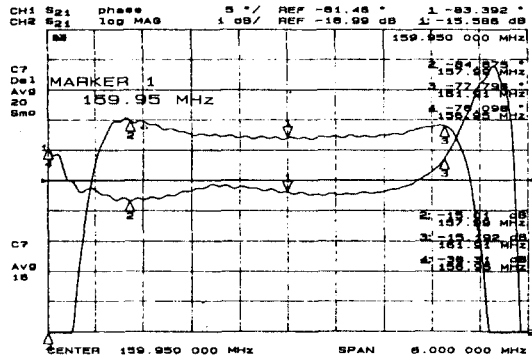


그림 7. 표면 탄성과 여파기의 특성(159.95MHz)
Fig. 7 The characteristic of the SAW filter(159.95MHz)

RTU 및 RSU의 송신기에서 스프리어스 성분 및 잡음 전력을 억제하기 위하여 사용된 229.95MHz 표면 탄성과 대역 통과 여파기의 삽입 손실 평탄도 및 위상 특성은 통과 대역(Marker1, 2, 3) 내에서 각각 최대 1dB정도의 리플 및 10도의 위상 변화를 갖는 결과를 얻었고, 측정 결과는 그림 8과 같다.

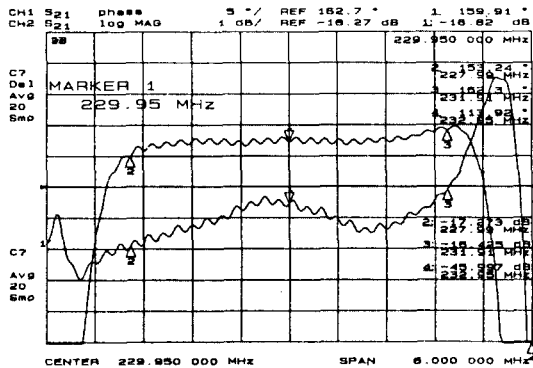


그림 8. 표면 탄성과 여파기의 특성(229.95MHz)
Fig. 8 The characteristic of the SAW filter(229.95MHz)

4.1 RTU 송수신기의 실험 결과

4.1.1 RTU 수신기의 실험 결과

수신기의 통과 대역 내에서 진폭 및 위상 왜곡 정도를 관찰하기 위하여 수신기의 최종 출력 단에서의

잡음 평탄도(Tilt) 특성을 측정하여 통과 대역 내에서 약 0.5dB의 평탄도를 얻었고, 결과는 그림 9와 같다.

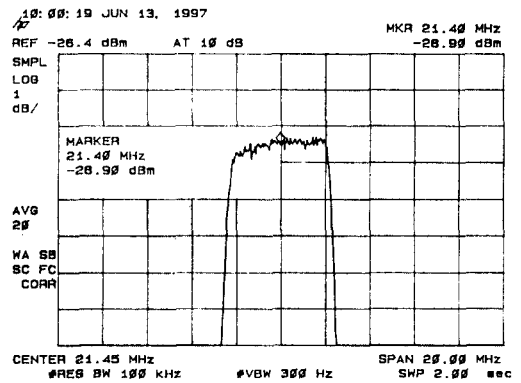


그림 9. RTU 수신기 통과 대역의 잡음 평탄도
Fig. 9 The noise flatness of the RTU receiver's passband

수신기의 잡음 지수를 구하기 위하여 -99dBm의 입력 신호를 인가하여 최종 출력 단에서의 CNR(Carrier-to-Noise Ratio)을 측정(RES BW = 100kHz)하여 -22.14 dBc를 얻었고, 결과는 그림 10과 같다. CNR을 이용한 수신기의 근사화 된 잡음 지수의 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{잡음지수} \approx \text{RF 입력 전력} - (-174 \text{ dBm/Hz}) - 10\text{Log}(\text{RES BW/Hz}) + \text{CNR} \quad (4)$$

위의 식 (4)을 이용하여 측정된 잡음 지수는 2.86dB를 얻었다.

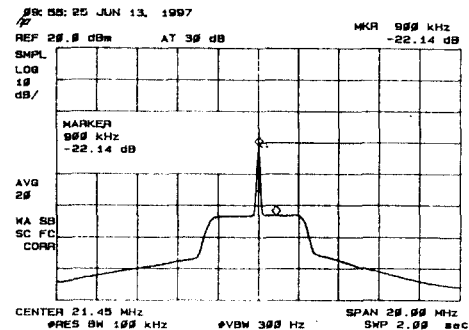


그림 10. RTU 수신기 출력 단의 CNR
Fig. 10 The CNR of the RTU receiver at the output port

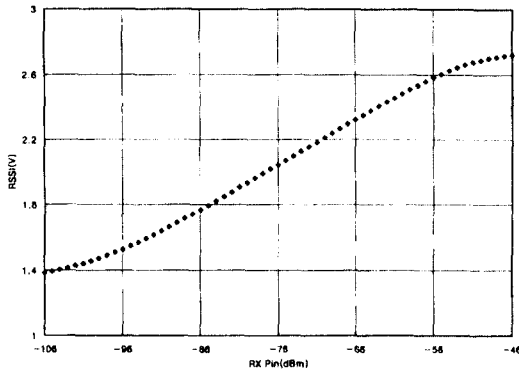


그림 11. RTU 수신기 RSSI 측정 결과
Fig. 11 The measured RSSI of the RTU receiver

두 경로의 수신기들의 자동 이득 제어 회로 동작에 이용된 칩은 믹서 및 증폭기, RSSI 측정용 단자를 내장하고 있으며 측정된 두 패스의 RSSI 값을 비교함으로써 수신되는 전력을 예측하여 CDMA의 공간적 다이버시티 기능을 수행할 수 있도록 한다. 수신기 입력 전력의 변화(-106~-46dBm)에 따른 RSSI 측정 결과는 그림 11에서 보듯이 1.384~2.72V의 변화폭을 나타내었고, -102dBm의 입력 전력까지 일정한 출력 전력을 유지하며 60dB이상의 동작 범위를 가졌다.

W-CDMA IF 신호를 RSU 송신기에 인가하여 RTU의 수신기에서 수신 하였을 때, W-CDMA 신호

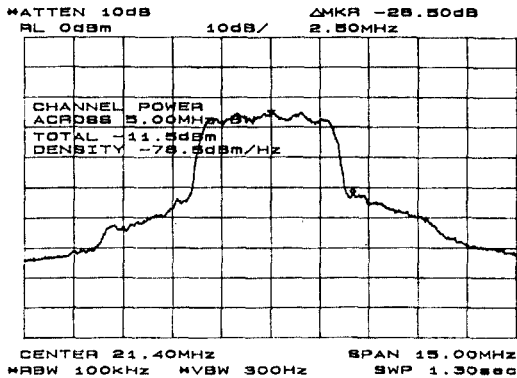


그림 12. 역 방향 연동 실험 결과 (RTU 수신 출력)
Fig. 12 The measured result of the reverse link (RTU receiver output)

가 RSU 송신기와 RTU 수신기를 통과하면서 파형의 왜곡되는 정도를 고찰하기 위하여 듀플렉서 및 감쇠기로 전체 시스템의 순방향 및 역 방향 신호들의 전송을 동시에 할 수 있도록 구성하였다. 역 방향 연동의 경우 RSU 송신 전력을 듀플렉서 및 감쇠기를 통하여 RTU 수신기의 안테나 단자에서 -70dBm 정도의 신호가 되도록 할 때 RTU 수신기의 21.4MHz 출력 단에서 측정된 결과 그림 12와 같은 특성을 얻었다.

4.1.2 RTU 송신기의 실험 결과

순방향 전력 제어를 위한 주파수 상향기의 플라우어(Flower) 감쇠기의 조정 전압에 따른 삽입 손실 및 반사 계수의 측정 결과는 그림 13과 같고, 약80dB 정도의 가변 이득을 제어한다.

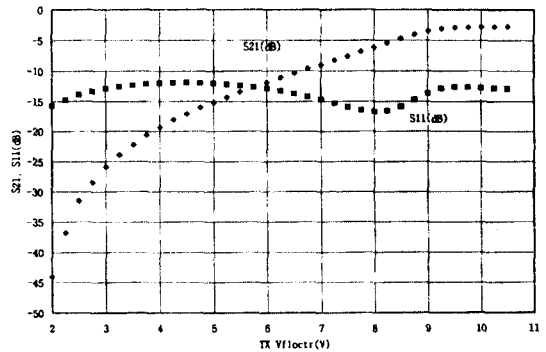


그림 13. 전력 제어를 위한 플라우어 감쇠기 측정 결과
Fig. 13 The measured characteristics of the flower attenuator for the power control

RTU IF부로부터 생성된 W-CDMA 신호(출력 전력 = -11.1dBm, F=21.4MHz)를 RTU 송신기에 인가한 경우 주파수 상향기 및 송신기 최종 출력 단에서 측정된 스퓨리어스 방사 억제 특성은 각각 -38.33dBc 및 -33.34dBc를 얻었고, 식 (3)을 이용하여 계산한 스퓨리어스 방사 억제 특성은 각각 -54.33dBc 및 -49.34dBc를 나타내어 표 3에 제시된 전체 스퓨리어스 방사 억제 규격을 만족하였다. 송신기에 인가되는 W-CDMA IF 신호 및 주파수 상향기 출력 특성은 그림 14 및 그림 15에 나타내었고, 고출력 증폭기를 포함한 송신기 출력 단에 35dB의 감쇠기를 붙여 측정한

고출력 증폭기의 출력 전력 및 스퓨리어스 방사 억제 특성은 그림 16에 나타내었다.

4.2 RSU 송수신기의 실험 결과

4.2.1 RSU 수신기의 실험 결과

수신기의 잡음 평탄도 특성을 측정하여 통과 대역 내에서 약1dB의 평탄 도를 얻었고 결과는 그림 17과 같다.

-91dBm의 입력 신호를 인가하여 수신기 출력 단에서 측정된 CNR(RES BW=100kHz)은 그림 18에서 보듯이 -27.35dBc를 얻었고, 식 (3)을 이용하여 계산한 잡음 지수는 5.65dB를 얻었다.

수신기 자동 이득 제어 회로의 동작은 강한 입력 신호에 대해서는 믹서 및 증폭기의 조정 전압을 상승 시킴에 의하여 증폭 도를 낮추고, 약한 신호에 대해서는 위와 반대로 동작 함으로서 수신되는 입력 전력

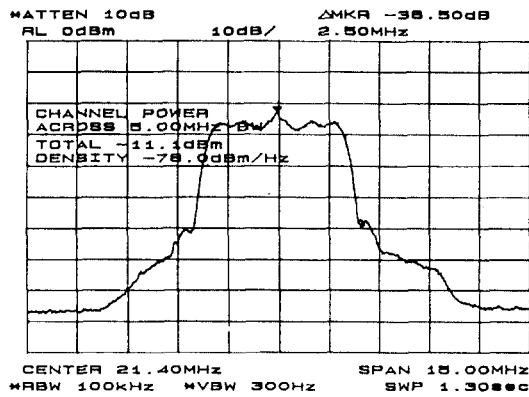


그림 14. W-CDMA RTU IF 출력 파형 측정 결과(출력 전력 = -11.1dBm, F = 21.4MHz)

Fig. 14 The measured result of the W-CDMA output signal at the RTU IF(Pin = -11.1dBm, Fin = 21.4MHz)

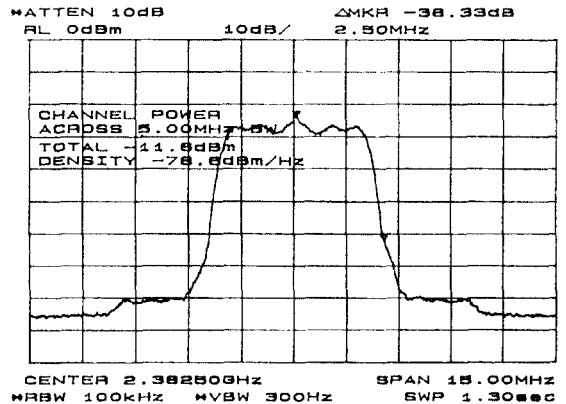


그림 15. RTU 주파수 상향기의 스퓨리어스 방사 억제 특성
Fig. 15 The spurious emission suppression characteristic of the RTU upconverter

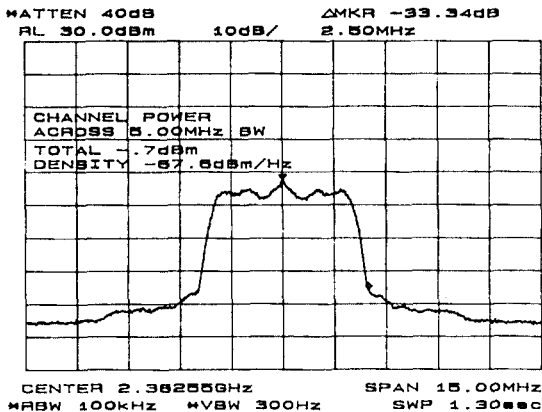


그림 16. RTU 송신기의 스퓨리어스 방사 억제 특성 (출력 전력 = 34.3dBm, ACPR = -33.34dBc)

Fig. 16 The spurious emission suppression characteristic of the RTU transmitter (Pout=34.3dBm, ACPR = -33.34dBc)

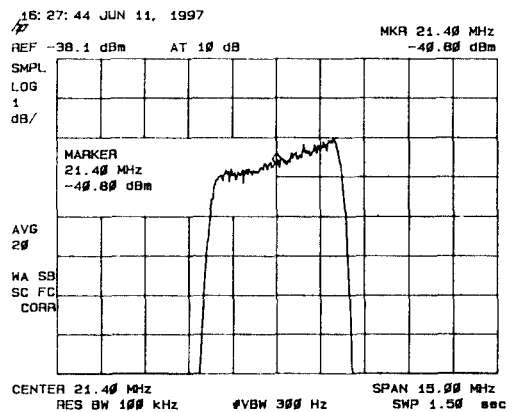


그림 17. RSU 수신기 통과 대역의 잡음 평탄도
Fig. 17 The noise flatness of the RSU receiver's passband

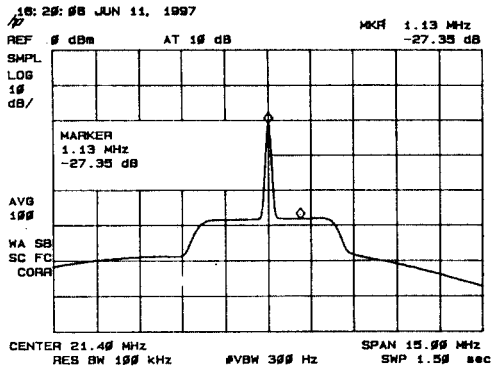


그림 18. RSU 수신기 출력 단의 CNR
Fig. 18 The CNR of the RSU receiver at the output port

의 변화에도 불구하고 수신기의 출력 전력을 일정하게 유지시켜 줌으로서 A/D 변환기가 Full-Scale 양자화 및 과부하가 걸리지 않도록 함으로서 RSU IF의 출력 신호가 RSU 복조기에 최적의 입력 전력을 유지할 수 있도록 한다.

60dB의 RF 입력 전력의 변화(-106~-46dBm)에 따른 RSSI 측정 결과는 그림 19와 같이 1.2~2.8V의 변화폭을 나타내었고, -103~-20dBm의 입력 전력의 범위에서 일정한 출력 전력을 유지하여 80dB 정도의 동작 범위를 가졌다.

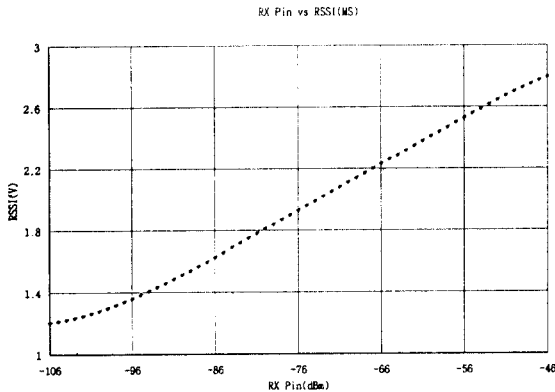


그림 19. RSU 수신기 RSSI 측정 결과
Fig. 19 The measured RSSI of the RSU receiver

RTU 송신기와 RSU 수신기의 전체 특성을 고찰하기 위하여 역 방향 연동 시험에서와 동일한 방법으로 순방향 연동 실험을 하였고, RSU 수신기 안테나 단자에서 -70dBm 정도의 신호가 인가되는 경우 수신

기 출력 단에서 측정된 W-CDMA 신호 파형은 그림 20과 같은 특성을 얻었다.

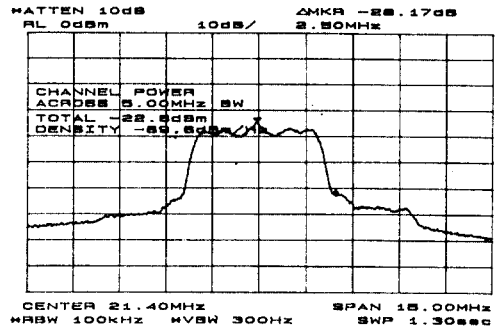


그림 20. 순방향 연동 실험 결과(RSU 수신 출력)
Fig. 20 The measured result of the forward link(RSU receiver output)

4.2.2 RSU 송신기의 실험 결과

RSU IF부로 부터 생성된 W-CDMA 신호를 RSU 송신기에 인가하여(그림 21) 시스템의 정상적인 동작 상태 즉, RSU 송신기의 최대 전력을 요구하는 것이 아니라 전력 제어를 통하여 고출력 증폭기가 선형적인 동작 영역에 있을 때 송신기 최종 출력 단에서 측정된 ACPR 특성은 그림 22에 나타냈듯이 -33.33 dBc를 얻었고, 식 (3)을 이용하여 계산한 ACPR 특성은 -49.33dBc를 얻어 표 7에 제시된 전체 스퓨리어스 방사 억제 규격을 만족하였다.

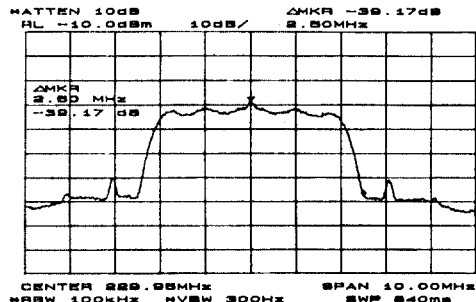


그림 21. RSU IF 출력 W-CDMA 파형 측정 결과
Fig. 21 The measured result of the W-CDMA output signal at the RSU IF

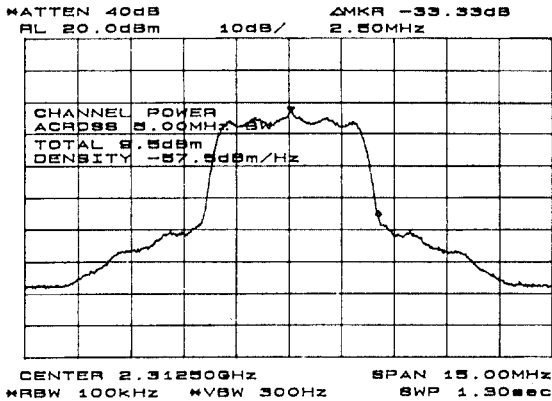


그림 22. RSU 송신기 ACPR 특성(ACPR = -33.34dBc @ 정상적인 상태)

Fig. 22 The ACPR characteristic of the RSU transmitter (ACPR = -33.3dBc @ normal operation state)

V. 결 론

W-CDMA 방식을 이용하는 WLL RTU 및 RSU용 송수신기를 5MHz RF 채널 대역폭을 수용하도록 구현하였으며, 넓은 동작 영역과 고감도 특성을 가지는 수신기 및 우수한 스푸리어스 방사 억제 특성을 나타내는 송신기의 구현에 대하여 기술하였다. 수신기는 수신 감도 및 AGC의 동작 범위를, 송신기는 스푸리어스 방사 억제 (ACPR) 특성을 시스템의 주요 성능 평가 파라미터로 설정해 시뮬레이션 한 후, 송수신기를 제작하여 논문에 제시된 성능 규격을 만족하는 결과를 얻었다.

RTU 수신기에 -99dBm을 인가한 경우 수신기의 잡음 지수 시뮬레이션 결과는 2.72dB를 얻었으나(표 2), CNR를 이용한 수신기의 근사화 된 잡음 지수는 2.86dB로 측정(그림10)되어 표 1에 제시된 5.0dB 이내의 규격을 만족하였다. 수신기의 통과 대역 내에서의 진폭 왜곡량의 정도를 평가하기 위하여 RF 입력 전력을 인가하지 않은 상태에서 수신기 출력 단에서의 잡음 전력 평탄도(Tilt)를 측정한 결과는 통과 대역 내에서 0.5dB로 우수한 특성을 보였다. 자동 이득 제어 회로는 인가되는 입력 전력 레벨에 따라 믹서 및 증폭기의 이득을 변화 시켜 일정한 출력 레벨을 유지시키는 기능을 하며 측정 결과 수신기 입력 전력이

-102dBm까지 일정한 출력 레벨이 유지되어 60dB이상의 동작 영역을 가졌다. 전체 시스템의 역 방향 연동 실험을 통한 RTU 수신기에서의 W-CDMA 신호의 특성을 고찰한 결과 입력 신호의 파형 및 특성을 그대로 유지하면서 일정한 전력 레벨을 유지하였다.

RTU 송신기의 순방향 전력 제어를 위한 감쇠기의 측정 결과 약80dB 정도의 가변 이득의 제어가 가능하고, 송신기 입력에 5MHz의 RF 채널 대역폭을 가지는 W-CDMA 신호를 생성하여 시뮬레이션 한 송신기 전체의 스푸리어스 방사 억제 특성은 송신기 출력 전력이 34dBm일 때 -51.7dBc를 나타내었고(그림 4), 주파수 상향기 및 송신기 최종 출력 단에서 측정 한 스푸리어스 방사 억제 특성은 -54.33dBc(그림 14) 및 -49.34dBc(그림 15)로 측정되어 표 3에 제시된 전체 스푸리어스 방사 규격을 잘 만족하였다.

RSU 수신기에 -91dBm을 인가한 경우 수신기의 잡음 지수 시뮬레이션 결과는 5.47dB를 얻었으나(표 6), CNR를 이용한 수신기의 근사화 된 잡음 지수는 5.65dB로 측정(그림18)되어 표 5에 제시된 8.0dB 이내의 규격을 만족하였다. 수신기의 통과 대역 내에서의 잡음 전력 평탄도는 1dB 이내의 특성을 얻었다. 자동 이득 제어 회로는 측정 결과 수신기의 입력 전력이 -103~-20dBm의 범위에서 일정한 출력 레벨이 유지되어 80dB 정도의 동작 범위를 가졌다. 전체 시스템의 순방향 연동을 통한 RSU 수신기에서의 W-CDMA 신호의 특성을 고찰한 결과 입력 신호의 파형 및 특성을 그대로 유지하면서 일정한 전력 레벨을 유지하였다. RSU 송신기 입력에 5MHz의 RF 채널 대역폭을 가지는 W-CDMA 신호를 인가하여 시스템의 정상적인 동작 상태에서 송신기 최종 출력 단에서 측정 한 ACPR 특성은 -49.33dBc(그림 22)를 얻었다.

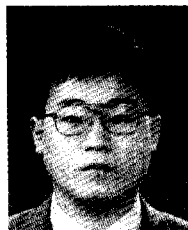
앞으로 연구가 더욱 필요한 부분은 송수신기 전체의 위상 변화 및 위상 잡음의 정확한 측정이나 모델링이 이루어져 수신 감도 및 방사되는 스푸리어스 성분 크기에 어떠한 영향을 미치는지를 정확히 해석해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. ETRI, WIRELESS LOCAL LOOP을 위한 무선 접

속 규격(안) VER1.5, 1997. 03.

2. P.Vizmuller, *RF Design Guide*, Artech House, Chap. 1, 1995.
3. S.J.Erst, *Receiving System Design*, Artech House, Chap.4, 1984.
4. Y.J.Chong, et al, "A Design and Implementation of a Base Station Transceiver for WLL Syatem", 2nd CIC, pp.464-468, Oct.1997.
5. V.Manassewitsh, *Frequency Synthesizers Theory and Design 3rd*, John Wiley & Sons, Chap.5, 1987.
6. QUALCOMM, *CDMA Mobile Station Modem2*, 1995. 7.
7. Lawrence E.Larson, *RF and Microwave Circuit Design For Wireless Communications*, Artech House, Chap.2, 1996.
8. HP-EEsof Microwave (RF System Design, Hewlett Packard Co., 1995.
9. P.Washkewicz, "Standardized IS-95 CDMA system simulation aids advanced designs", *RF Design*, pp.47-54, Oct. 1996.
10. S.W. Chen, et al, "Effects of nonlinear distortion on CDMA communication systems", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 775- 778, 1996.



정 영 준(Young-Jun Chong)정회원
 1992년 2월: 제주대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년 3월~현재: 한국전자통신연구원 이동통신단 무선기술실 연구원

※주관심분야: 비선형 회로 설계, RF 시스템 시뮬레이션, 이동통신 RF 부품



강 상 기(Sang-Gee Kang) 정회원
 1988년 2월: 단국대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 2월: 단국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 이동통신단 무선기술실 연구원

※주관심분야: 소자 모델링, 대전력 증폭기, 이동통신 RF 부품



이 일 규(Il-Kyoo Lee) 정회원
 1992년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 이동통신단 무선기술실 연구원

※주관심분야: 이동통신 RF 회로 설계, 비선형 회로 설계



김 봉 겸(Bong-Kyum Kim) 정회원
 1982년 2월: 건국대학교 전자공학과(공학사)
 1984년 8월: 건국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1984년 10월~1991년 8월: 현대전자 산업(주)
 1991년 11월~현재: 한국전자통신연구원 이동통신단 무선기술실 선임연구원

※주관심분야: 이동통신 RF 회로 및 시스템 설계, 비선형 회로 설계



홍 헌 진(Heon-Jin Hong)정회원
 1986년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1990년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 이동통신단 무선기술실 선임 연구원

※주관심분야: 이동통신 RF 부품 및 필터 설계