

WLL 다중채널 단말기용 RF단 설계 및 제작

(Design and Implementation an RF-stage for WLL
multichannel personal stations)

장 홍 주*
(Hong-Ju Chang)

요 약 본 연구에서는 WLL 다중채널 수신단말기 RF-모듈을 제작하였다. 그리고 WLL 다중채널 RF-모듈의 실질적인 성능을 수신감도, 인접채널 선택도, 스퓨리어스 응답제한 등의 파라미터를 이용하여 평가하였다. 실제로 WLL 다중채널용 RF-모듈을 제작하여 측정한 결과, 입력전력이 -90 dBm에서 -30 dBm까지 변화할 때 -30 dBm의 일정한 출력전력이 유지되어 약 60 dB의 동작범위를 가졌다. WLL 단말기 RF 출력단의 통과대역내의 평탄도가 약 2 dB 이내를 유지하여 대역확산신호의 전력제어가 정확히 이루어지고 있음을 확인하였다. 그리고 WLL RF 수신 전단의 전송대역폭은 10 MHz으로 본 연구의 설계목표와 정확히 일치하였다.

Abstract In this paper, We designed and implemented an RF module for WLL multi-channel personal stations. Then, we experimentally evaluated in receiving sensitivity, adjacent channel interference selectivity and spurious response limit.

From the measurement results on the RF module for WLL multi-channel personal stations, we observed and confirmed as follows : First, the variation in output power level was kept to be less than 30 dBm in the range of the input power level from -90 dBm to -30 dBm. This measurement result confirmed the dynamic range of 60 dB. Secondly, at the output stage of the RF module, the gain flatness in the pass band was measured to be less than 2 dB, which confirmed a precise control of the bandspread signals. Thirdly, at the RF module, the bandwidth and power level in transmission were measured to be 10 MHz, respectively we note that these features satisfy the design specifications.

1. 서 론

현재 우리나라를 비롯해 선진각국에서 WLL용으로 개발하고 있는 제품으로는 위성을 이용한 시스템, 고정용 마이크로웨이브를 응용한 시스템, 셀룰러 기술을 응용한 시스템 및 cordless 기술을 응용한 시스템 등이 있다. 이 중에서도 셀룰러 기술을 응용한 시스템은 이동전화 또는 개인휴대통신(PCS ; personal communication services)과 동일한 망을 공동으로 사용

할 수 있어 경제적으로 무선망을 구축할 수 있기 때문에 국내에서도 셀룰러를 이용한 WLL 시스템에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[1-5].

WLL 무선통신 시스템 중에서 W-CDMA를 이용한 다중채널 수신기의 RF-모듈의 규격은 국내의 하나로통신과 한국통신에서 세계 최초로 서비스하고자 하는 WLL 고유 방식의 전기적 규격을 정하였다. WLL 시스템은 대역폭이 10 MHz인 광대역 CDMA 무선 접속 방식을 사용하고 있기 때문에 기존의 디지털 이동통신 시스템에서 사용하고 있는 전력 제어 방식을 이용하면 통과대역내의 이득 평탄도를 얻을 수 없다.

따라서 본 논문에서는 통과대역내의 이득 평탄도를 얻기 위해 개방루프 및 폐루프 제어방식의 전력제어 신호를 수신 데이터에 따라 분할하여 RF 대역과 IF 대역에서

* 인천전문대학 전자과 교수

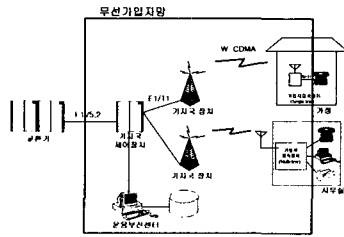
† 이 논문은 2000년도 시립인천전문대학 교내 연구지원비에 의한 것임.

동시에 전력제어를 할 수 있는 방식을 제안하며, 수신 통과 대역폭내의 이득 평탄도를 측정하였다.

그리고 본 논문에서 실제로 제작한 W-CDMA를 이용한 WLL RF 수신 모듈의 수신감도, 인접채널 선택도, 스푸리어스 응답제한 등을 주요 성능 평가 파라미터로 이용하여 수신부를 평가하였다.

2. WLL 시스템의 구성 및 특성

WLL이란 그림 1과 같이 전화국에서 전화 가입자까지를 연결하는 유선선로 대신 무선 시스템을 이용하여 전화선을 구성해 주는 기술이다.



<그림 1> WLL 시스템의 구성

다시 말해서 무선가입자망이란 교환기와 단말기간을 유선이 아닌 무선을 이용하여 서비스를 전달하는 전화망으로서 기존의 셀룰러나 PCS와는 달리 운용 셀 간의 hand-off 기능을 필요로 하지 않는다. 그러나 무선다중접속은 W-CDMA 방식을 사용하기 때문에 음성, 데이터, 화상 등과 같은 멀티미디어 전송이 가능할 뿐만 아니라, 교환기와 가입자 접속장치간에 별도의 제어채널을 가지고 있어 다양한 부가서비스의 지원도 가능하다.

무선가입자망에서는 제한된 무선채널을 여러 가입자가 필요한 시간만큼만 점유하여 사용하도록 구성되는 채널공유방식을 적용하므로써, 각 가입자별로 별도 선로를 시설해야 하는 기존 선로의 비효율성을 극복할 수 있다. 또한 셀과 가입자 사이에 선로를 매설할 필요가 없으므로 시스템의 구성이 용이하고 설치가 신속할 뿐만 아니라 통신망의 운용에서도 많은 유연성을 갖는다. 기술적 요구사항으로는 우선 MOS(mean opinion score) 3.8 이상의 음성품질을 보장하여야 하며 28.8 kbps 이상의 음성대역 데이터전송이 가능하여야 한다. 그리고 기존 유선선로에서 제공하기 어려웠던 성능 향상을 위하여 64 kbps 이상의 디지털 데이터 전송도 가능하여야 한다. 따라서 기본 규격으로는 사용 주파수대가 2.3 GHz 대이고 무선접속방

식은 채널대역폭이 10 MHz이며 요구 채널할당 방식인 광대역 CDMA 방식을 사용하는 것이 적절하다.

3. WLL 수신기의 설계 및 제작

본 연구에서 제작하고자 하는 WLL용 단말기 RF 모듈의 전기적 규격은 한국전자통신연구원(ETRI)이 국내의 표준방식으로 제안("Wire-less local loop를 위한 무선 접속 규격" V1.5)하고, 현재 하나로통신과 한국통신에서 상용서비스를 하기 위한 기술기준을 근거로 설정하였으며 주요 파라미터내용은 표 1에서 보는바와 같다[6].

<표 1> WLL용 단말기의 전기적 규격

설계 파라미터	개 인 국	
주파수	Tx	2300 - 2330MHz
	Rx	2370 - 2400MHz
Duplex	FDD	
Duplex 간격	70MHz ± 140kHz	
주파수 허용오차	± 2.5ppm	
송신출력	최대 250mW	
무선접속방식	W-CDMA	
채널 대역폭	10MHz, 20MHz	
필요파 방사	송신대역	-45dBc 이하
	수신대역	-80dBc 이하

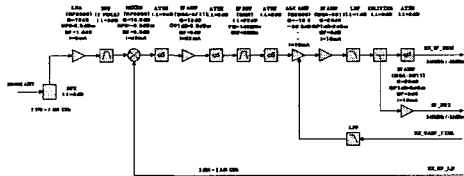
WLL 단말기의 송수신 전단에서 저잡음 증폭된 RF 신호는 주파수가 높기 때문에 각 단(stage) 별로 실현하는데 어려울 뿐만 아니라 고주파 증폭을 여러 단 사용할 경우 증폭기의 입력신호와 출력신호의 주파수가 동일하여 궤환(feedback)에 의한 발진을 일으킬 가능성이 매우 높다. 따라서 수신 전단부에서 증폭한 RF 신호를 국부발진기를 이용하여 중간주파수로 주파수 하향변환(down conversion)시키는 헤테로다인 수신방식을 사용하였다. 이렇게 하면 궤환에 의한 발진가능성이 작아질 뿐만 아니라 선택도(selectivity), 이조도(separability) 및 충실도(fidelity)등이 개선되는 효과를 기대할 수 있다.

WLL 단말기의 수신부 하드웨어는 크게 RF 부(IF 포함)와 기저대역신호처리(baseband signal processing)부, 그리고 제어접속(logic board) 등으로 구성되어 있다[7].

본 연구에서 실현하고자 하는 WLL 단말기의 전체 수신단은 채널 대역폭이 10MHz이고, 반송파 주파수는 2,370MHz ~ 2,400MHz를 선택하였다.

WLL 단말기의 수신단은 그림 2에서 보는 바와 같이 전송된 미약한 RF 신호를 안테나로 수신한 다음 듀플

렉서를 통해 수신신호를 분리한다.



<그림 2> WLL 수신기의 구성도

분리된 신호는 주파수합성기에서 발생한 2,510 MHz ~ 2,540MHz를 갖는 국부발진신호(RF_local)와 합성되어 140MHz의 중간주파수로 변환한 다음 복조부에서 280MHz의 IF_LO 신호와 합성되어 QPSK 복조를 거쳐 최종단에 I-ch과 Q-ch 신호를 생성한다.

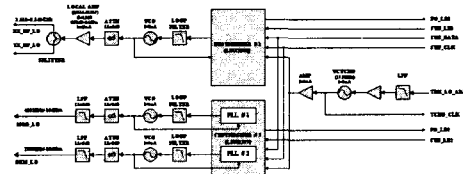
본 연구에서는 W-CDMA를 이용한 WLL 단말기의 수신단 중에서 안테나를 제외한 모든 RF 부분을 각 모듈 별로 설계하여 제작하였다. 그리고 제작된 각각의 모듈을 최종적으로 집적(integration)한 다음 WLL 시스템의 기술기준에 준하여 특성시험을 실시하는 방법으로 성능을 검증하였다.

평형 증폭기는 2단쌍으로 구성하고 MESFET의 입력단들은 3dB 방향성 결합기의 공역쌍을 형성하는 두개의 포트에 연결되고 MESFET의 출력단들은 또 다른 3dB 결합기의 공역 포트에 같은 방법으로 연결된다.

S 파라미터로부터 구한 반사계수는 설계 중심 주파수인 2.385GHz에서 $\Gamma_s = 0.431 \angle 86.92^\circ$, $\Gamma_L = 0.419 \angle 68.47^\circ$ 였다. 이를 사용하여 증폭기를 정합하였으며, 평형증폭기로 구성하기 위하여 입·출력단에 90° 3dB 하이브리드 결합기를 사용하여 구성하였다. 증폭기에 적용한 소자는 ATF10136 이다.

불요파 신호가 증폭되어 기준에 사용중인 다른 시스템에 미치는 영향을 최소화해야 하기 때문이다. 이에 따라 본 논문에서는 주파수 혼합기에서 발생하는 불요파 성분을 최소화하기 위하여 대역저지필터(band rejection filter)를 설계하여 사용하였다[8].

WLL 단말기의 수신단에서는 대역폭이 10 MHz이고 주파수가 140MHz의 중간 주파수로 변환된 신호를 IF 증폭기로 증폭한 다음, 삽입손실은 많으나 차단특성이 좋은 표면탄성파(SAW ; surface acoustic waves) 필터를 사용하여 수신기의 인접채널 선택도를 향상시켜 RX_IF_DEM에 전력을 공급한다.



<그림 3> PLL를 이용한 중간주파수처리부 구성도

중간주파수 처리부에서 가변 감쇄기는 PIN 다이오드로 구성하였다. 자동 이득 조절(AGC) 회로에서 제어된 전압이 아날로그 제어전압으로 바이어스가 걸려 전류를 제어한다.

주파수혼합기(mixer)는 비선형 소자로서 수신부 성능을 결정하는 중요한 역할을 하는 소자이다. 수신 전단부의 증폭기에서 증폭된 RF 신호와 국부발진 신호가 혼합하여 중간주파수 신호로 변환시키는 소자으로써 변환이득(conversion loss)이 낮아지면 잡음지수(noise figure)가 높아지고 변환이득이 높아지면 잡음지수가 낮아지게 된다. 보통 수신전단에서는 주파수혼합기의 입력단이 RF 신호의 전력이 최대가 되는 곳이므로 높은 교차점이 요구된다.

본 연구에서는 Harris社의 HFA3661과 HFA -3664를 사용하였다[9]. 이 중에서 HFA3661은 LNA와 주파수 혼합기가, HFA3664는 주파수혼합기와 구동 증폭기(driver amplifier)가 하나로 구성되어 있어 회로를 간략화 시킬 수 있도록 설계되어있다.

IF 필터는 수신기의 인접채널 선택도 성능의 향상을 위해 IF 주파수에 인접한 상호변조 신호를 제거하고 2차 영상신호를 감쇄시키는 역할을 한다. 따라서 IF 단에서 사용하는 표면탄성파(SAW ; surface acoustic waves) 필터는 삽입손실이 크더라도 차단특성이 아주 우수하므로 SAW 필터를 사용하였다.

주파수 합성기(frequency synthesizer)는 기준 주파수에 위상을 고정시킨 2개 이상의 신호를 외부제어 명령에 따라 발생시키는 장치로서 RF 송수신 시스템의 주파수 상향/하향 및 중간 주파수를 결정하고 일정한 스텝으로 송·수신 채널을 할당해 주는 역할을 한다.

본 연구에서는 PLL(phase locked loop)을 이용하여 간접방식의 디지털 주파수혼합기를 설계하여 사용하였다. 수신 RF_LO 주파수를 발생시키기 위한 PLL IC로 NS社의 LMX2325를 사용하였고, 복조부의 국부발진 주파수를 발생시키기 위한 PLL IC는 NS社의 LMX2337을 사용하였다[10]. 그리고 개인용 컴퓨터를 이용하여 Locking 주파수를 프로그래밍하였다. 주파수합성기를 구현하기 위한 전압제어발진기(VCO) 중에서 280MHz, 420MHz, 2,525MHz는 MARUWA社의 제품을 사용하였다.

VCTCXO는 기준 주파수가 19.2MHz인 TEW社의 제품을 사용하였다.

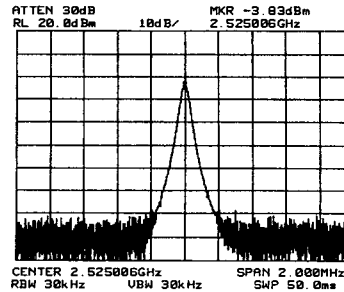
디지털 변·복조 방식은 반송파의 파라미터를 데이터 비트(data bit)에 따라 변화시키는 것으로 여러 종류가 있다. 본 연구에서는 그 동안 디지털 셀룰러 시스템과 개인휴대통신에서 많이 사용되었고, WLL 시스템의 표준 방식으로 채택하고 있는 4진-PSK(QPSK ; quadrature phase shift keying)를 사용하였다. 본 연구에서는 복조부는 Harris社의 HFA3761을 사용하여 구현하였다. HFA3761은 복조부를 구성하는 칩으로 주파수합성기에서 생성한 280MHz의 주파수를 갖는 DEM_LO 신호와 혼합되어 QPSK 복조한 다음 I-ch 신호와 Q-ch 신호를 생성한다. 또한 HFA3763은 변조부를 구성하는 칩으로 주파수합성기에서 발생한 420MHz의 MOD_LO 신호와 CDMA 파형발생기에서 생성된 I-ch 신호, Q-ch 신호가 합성하여 QPSK 변조한 다음 중간주파수 신호를 생성한다. 특히 변·복조부의 구현에 사용된 Harris社의 MMIC 들은 칩 자체에 자동이득조절장치(AGC) 회로를 내장하고 있어서 전체적인 회로를 간단하게 구현할 수 있었다.

4. 측정 및 성능평가

다중채널 RF-모듈이 음성 등과 같은 실제 전송에 적용할 수 있는지를 확인하기 위하여 본 논문에서 실제로 제작한 W-CDMA WLL RF 수신 모듈을 수신 감도, 인접채널 선택도 및 스푸리어스 응답제한 등과 같은 주요 성능 파라미터를 이용하여 수신부를 평가하였다. 디지털 신호처리부 출력단의 성능은 전송 신호의 페이저도와 눈 패턴을 측정하고 설계 목표와 부합 여부를 확인하였다.

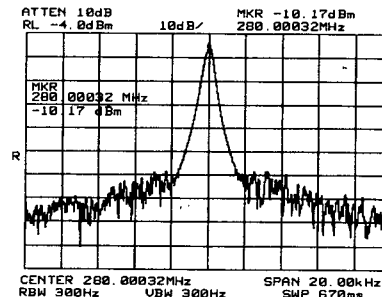
본 연구에서 WLL 용으로 설계 제작한 주파수합성기는 2.525GHz의 주파수를 갖는 RF 대역의 국부발진신호와 420MHz의 주파수를 갖는 modulator 국부신호 및 280MHz 대의 demodulator 국부신호를 생성한다. 수신전단에서 데이터를 송신할 때 중간주파수를 RF 대역으로 상향변환(up conversion)하거나 데이터의 수신시 RF 대역의 신호를 중간주파수로 하향변환(down conversion)하기 위하여 사용된 RF_LO 신호의 주파수 및 전력레벨은 그림 4에 보인 바와 같다.

한편 RF 대역에서 하향변환된 중간주파수를 복조기에서 QPSK 복조하기 위해 사용되는 demodulator_LO 신호의 주파수 및 전력레벨은 그림 5에 보인 바와 같다.

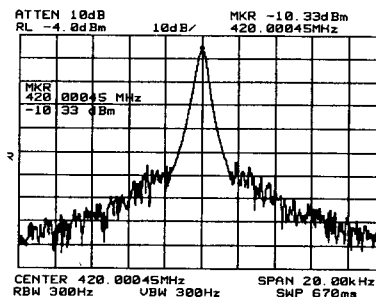


<그림 4> RF_LO 신호의 전력레벨(@ 2.525 GHz)

그리고 베이스밴드 신호를 modulator에서 QPSK 변조하여 중간주파수로 상향변환하기 위해 사용된 modulator_LO 신호의 주파수 및 전력 레벨은 그림 6에 보인 바와 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 모든 신호의 주파수 및 전력레벨이 설계 규격과 일치함을 확인하였다.



<그림 5> Demodulator_LO 신호의 전력레벨(@ 280 MHz)

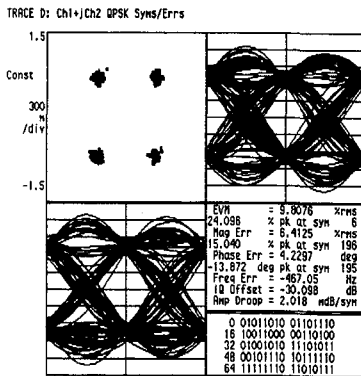


<그림 6> Modulator_LO 신호의 전력레벨(@ 420 MHz)

본 논문에서 실제 제작한 복조부의 성능을 평가하기 위해 디지털 신호처리부 출력단에서 전송신호의 페이저도와 눈패턴 및 RF-모듈의 수신감도를 측정하였다.

디지털 통신시스템에 있어서 페이저도(phasor diagram)와 눈패턴(eye pattern)은 디지털 전송신호의 위상왜곡 정도와 상호부호간섭(ISI ; intersymbol interference) 정도를 나타내는 것으로서 베이스 밴드 대역의 디지털 신호 처리부와 연동하여 WLL 송수신 전반적인 시스템의 정확한 신호전송의 적정성 유무를 판단하는 중요한 기준이 된다.

그림 7은 LeCroy社의 파형발생기인 LW420 계측기로부터 2.385 GHz의 반송파로 QPSK로 변조된 신호(chip rate = 8.192 Mcps)를 발생시킨 다음 수신단의 안테나 입력단자에 인가하고, 수신기 출력단에서 HP社의 벡터 신호분석기(vector signal analyzer)로 측정한 페이저도와 눈패턴이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 눈의 개구(eye opening) 형태가 확실하기 때문에 인접신호의 간섭이나 지터(jitter)에 상관없이 수신신호를 정확하게 복조 할 수 있음을 확인하였다.



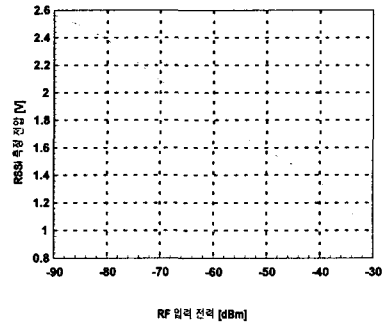
<그림 7> 수신신호의 신호 격자도와 눈 패턴

RF-모듈의 수신감도(receiver sensitivity)는 일반적으로 디지털 전송을 하는 경우 효과적인 통신이 이루어지기 위한 BER은 음성 통신인 경우 10⁻³(-30 dB)이하, 데이터 통신인 경우 10⁻⁵(-50 dB)이하 이어야 한다.

본 연구에서 제작한 수신기의 예상 수신감도를 구하면 음성 통신의 경우는 -117.7 dBm이고, 데이터 통신의 경우는 -114.82 dBm이다.

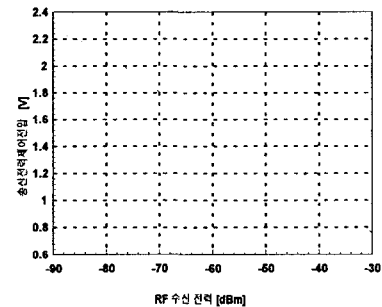
이 결과는 본 논문에서 목표로 정한 수신감도를 만족한다. WLL 단말기의 수신신호에 따른 RSSI의 수신신호 전계강도 특성은 그림 8에서 보는 바와 같다. 그림에

서 보는 바와 같이 수신전단의 RF 신호의 입력전력이 -90 dBm ~ -30 dBm으로 변화할 때 RSSI 측정전압이 0.8 V ~ 2.6 V의 변화폭을 나타내어 60 dB의 동작범위를 가짐을 확인하였다.



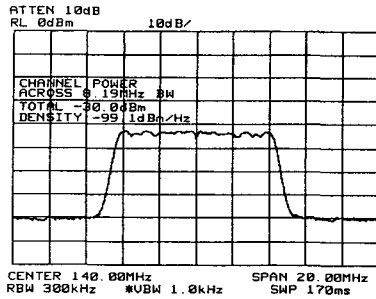
<그림 8> 수신신호의 전계강도 특성

수신전력의 변화에 따른 자동이득조정(AGC) 회로의 조정전압의 변화는 그림 9에서 보는 바와 같이 RF 신호의 수신전력이 -90 dBm ~ -30 dBm으로 변화할 때 약 0.6 V ~ 2.3 V의 변화폭을 나타내어 60 dB의 동작범위를 가짐을 확인하였다.



<그림 9> 수신신호 전력에 따른 AGC 전압 측정결과

그림 10은 수신기의 통과대역내 평탄도를 보인 것이다. 그림 10에서 보는 바와같이 평탄도가 2dB 이내임을 알 수 있다.



<그림 10> 수신기의 통과대역내 평탄도

지금까지의 결과를 토대로 본 논문에서 실제로 제작된 WLL 단말기용 RF 수신 모듈에 대한 주요 성능 평가 파라미터를 이용해 전반적인 전기적 특성을 평가해 본 결과 본래의 목표를 충분히 만족하고 있음을 확인하였다.

5. 결 론

WLL 시스템의 개발에 있어서는 IMT-2000의 기술과 연계하여 개발하여야 할뿐만 아니라, 음성, 데이터는 물론 영상 등과 같은 멀티미디어 서비스가 가능해야 하기 때문에 W-CDMA 방식이 적극 고려되고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 연구배경을 토대로 WLL 무선통신 시스템 중에서 W-CDMA를 이용한 다중채널 수신기 단말기 RF-모듈을 설계하고자 하며, 최종 설계규격은 국내의 하나로통신과 한국통신에서 세계 최초로 서비스하고자 하는 WLL 고유 방식의 전기적 규격을 만족하도록 하였다. 국내에서 개발하고 있는 WLL 시스템은 수신 전송 대역폭이 10 MHz인 W-CDMA 무선접속방식을 사용하고 있기 때문에 음성, 고속 데이터는 물론 동화상과 같은 멀티미디어까지도 전송할 수 있다. 이와 같이 대역폭이 10 MHz인 광대역 CDMA 시스템은 기존의 PCS나 셀룰러 시스템에서 사용하고 있는 전력제어방식을 사용할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 역 방향 링크에서의 개방루프 및 폐 루프 전력제어 신호를 수신 데이터에 따라 RF 대역과 IF 대역에서 동시에 전력제어를 할 수 있도록 하였다. 그 결과 WLL 단말기의 RF 대역과 IF 대역에서 RSSI 입력전압 레벨에 따라 조정 전압의 값이 편 다이오드의 감쇄량을 변화시켜 일정한 출력레벨을 유지해 주는 자동이득제어(AGC ; automatic gain control) 회로가 동작하는 경우, 입력전력이 -90 dBm 에서 -30 dBm까지 변

화할 때 -30 dBm의 일정한 출력전력이 유지되어 약 60 dB의 동작범위를 가짐을 확인하였다.

그리고 WLL RF 수신전단의 주파수의 분리 정도를 측정된 결과 듀플렉스 간격 70 MHz, 대역확산된 신호의 전송 대역폭은 10 MHz로 본 논문의 설계목표와 정확하게 일치하였다.

그러나 RF 송신단 신호의 스펙트럼을 분석한 결과 RF 신호와 국부발진 신호를 완전하게 분리하지는 못하였다. 이와 같은 이유는 본래의 반송파 신호에 인접한 불요파(spurious) 신호가 대신호로 증폭되어 나타나는 현상으로 이는 다른 무선통신 시스템에 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

또한 본 논문에서 구현한 WLL 시스템은 이동성을 부여하지 않은 상태이나, 향후 특정 지역 내에서는 이동성(mobility)을 부여하고자 하는 노력이 진행되고 있는바, 이에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] W.C.Y. LEE, "Overview of Cellular CDMA", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, NO. 2, May 1991.
- [2] W.C.Y. LEE, Mobile Communications Engineering, New York : McGraw-Hill, pp. 340~399, 1982,
- [3] W.C.Y. Lee, "Spectrum Efficiency in Cellualr", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 38, pp. 69~75, May 1989.
- [4] Kamilo Feher, Wireless Digital Communications, Prentice Hall, 1995.
- [5] W.C.Y. LEE, Mobile Cellular Telecommunication System, McGraw-Hill, 1989.
- [6] ETRI, "Wireless Local Loop를 위한 무선 접속 규격(안)", VER1.5, 1997. 03.
- [7] 정영준, 강상기, 이일규, 김봉겸, 홍현진, "WLL RTU 및 RSU용 RF 송수신기 설계 및 구현", 한국통신학회논문지, vol. 23, No. 1. 1998.

[8] 千鶴激, "W-CDMA용 송신기 설계 및 제작",
단국대학교 석사학위 논문, 1997.

[9] Harris Designer's Handbook, 1998.

[10] Vadim Manassowitsch, Frequency
Synthesizer Theory and Design, John Wiley &
Sons Inc. , 1980.



장 홍 주 (Hong-ju Chang)

1974년 단국대학교 전자공학과
(공학사)

1980년 명지대학교 대학원
전자공학과(공학석사)

2000년 단국대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

1977년 ~ 현재 시립인천전문대학 전자과 교수
관심분야 : 이동통신 시스템, 마이크로파 통신