

900MHz대역 수신기용 RF 특성평가보드의 설계 및 제작

이규복*, 박현식**

*전자부품연구원 통신부품센터

**국립한경대학교 전자공학과

Design and Fabrication of RF evaluation board for 900MHz

Kyu-Bok Lee*, Hyun-Sik Park**

*Korea Electronic Technology Institute

**Hankyong National University

(1999년 7월 5일 접수, 1999년 7월 26일 게재승인)

초 록 : 본 연구에서는 900MHz대역 수신기용으로 선행 개발되어진 RF 칩세트를 장착한 RF 특성평가 보드를 개발하였으며, 환경평가시험을 수행하였다. 선행 개발되어진 RF-IC 칩에는 저잡음증폭기, 하향변조 주파수혼합기, AGC Amp, SW-CAP 필터 등을 포함하고 있으며, 이에 따른 정합회로와 RF/IF SAW 필터, 듀플렉서 필터 및 전원공급회로를 RF 특성평가보드에 첨가하여 제작하였다. 공급전원은 2.7에서 3.6V이며, RF 보드의 소모전류는 42mA로 나타났으며, 동작 주파수는 RF 입력이 925~960MHz으로 제작, 측정되었다.

측정결과 일반적인 900MHz용 디지털 이동통신단말기의 RF 수신특성과 유사하게 양호한 결과를 보였다.

Abstract : A single RF transceiver evaluation board have been developed for the purpose of application to the 900MHz band transceiver contained RF-IC chip. And environment test was evaluated. The RF-IC chipset includes LNA(Low Noise Amplifier), down-conversion mixer, AGC(Automatic Gain Controller), switched capacitor filter and down sampling mixer. The RF evaluation board for the testing of chipset contained various external matching circuits, filters such as RF/IF SAW(Surface Acoustic Wave) filter and duplexer and power supply circuits. With the range of 2.7~3.3V the operated chip revealed moderate power consumption of 42mA. The chip was well operated at the receiving frequency of 925~960MHz.

Measurement result is similar to general RF receiving specification of the 900MHz digital mobile phone.

1. 서 론

최근들어 이동통신 시스템은 GHz 주파수의 무선통신 수신기를 위한 저가이고 고성능의 RF 보드 개발을 필요로 하고 있으며, 개별부품들(RF 증폭기, 혼합기, 전압제어발진기(VCO) 등)을 단일 칩위에 구현한 IC를 사용하여 집적도를 향상시키고, 보드 및 기판 면적의 최소화를 도모하는 추세이다. 또한 PCB 기판의 유전율, 동박 및 기판두께 등의 특성을 분석, 고려하여 고주파화에 따른 특성변화를 명확히 검토하여 설계 및 제작을 하여야 한다.[1]

본 연구에서는 선행 개발되어진 900MHz대

역 이동통신용 RF 수신기 IC를 장착한 RF 특성평가보드를 이와 같은 필요성을 고려하여 설계, 제작하였다. 이 선행 개발되어진 칩세트와 패키지에 대하여 간단히 검토하여 보고, 이 칩세트가 장착된 RF 특성평가 보드 설계방법과 RF 보드로 측정한 결과 및 측정방법, 그리고 온도와 전압변화에 따른 특성변화의 고찰을 통하여 향후 이동통신기기의 RF 모듈 등의 응용 분야에 대한 방향을 제시하고자 한다.

2. RF-IC의 분석 및 검토

본 연구의 900MHz대역용 RF 수신기용 RF-IC는 저잡음증폭기, 하향변조 주파수혼합기(Down-conversion mixer), AGC 증폭기,

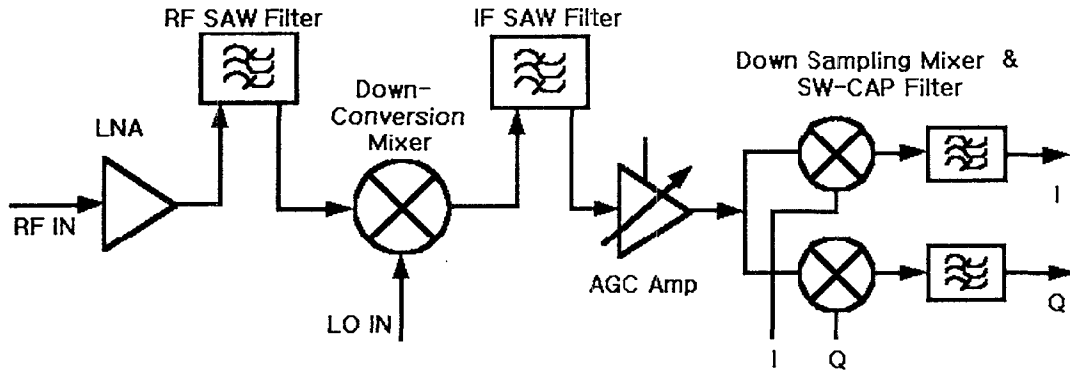


Fig. 1. Block Diagram of the receiver RF-IC for 900MHz band.

SW-CAP 필터 및 하향 샘플링(Down-sampling) 주파수혼합기로 구성되어 있으며, 0.8 μ m BiCMOS 공정 파라미터를 사용하여 회로를 설계하였다. 그림 1은 RF-IC의 구성 블록을 나타낸 것이다.

수신단의 동작을 간단히 설명하면 안테나를 통하여 들어온 고주파 신호는 필터를 거쳐서 저잡음증폭기로 입력된다. 여기에서 μ V 이하의 미세한 입력신호를 증폭하며, 다른 대역의 잡음신호를 제거하기 위하여 RF SAW 필터를 거친 후 하향변조 주파수혼합기를 통하여 IF주파수로 변환된다. 이 신호를 IF SAW 필터를 통하여 혼합기에서 발생된 다른 고주파를 제거하고 AGC 증폭기를 통하여 출력이 포화되지 않는 일정한 레벨로 증폭한다. 증폭된 IF신호는 하향 샘플링 혼합기와 SW-CAP 필터를 통하여 I, Q의 두 베이스밴드 신호로 바뀌어져 BBC

(Base-Band Converter)로 공급된다.[2]

또한, 본 RF-IC는 Layout후의 시스템 시뮬레이션에서 더욱 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위하여 그림 2와 같은 SPICE 와이어 본딩 sub-circuit 모델을 사용하였다. 이 모델의 시뮬레이션 결과는 실제 칩의 특성과 매우 유사한 성능을 갖는다.

제작된 RF-IC의 패키지는 TQFP (Thin Quad Flat Package) 패키지가 사용되었다. TQFP 패키지는 RF소자에 광범위하게 사용되고 있으며, 오늘날 상업화 측면에서 가장 발달된 패키지 중의 하나이다. TQFP 패키지는 정사각형의 패키지로서 4면이 동일한 구조를 갖고 있으며, 짧은 본딩 와이어 길이와 일관된 리드프레임 크기를 갖음으로써 2GHz 이하용 Si 고주파 패키지로 적합하다.[3]

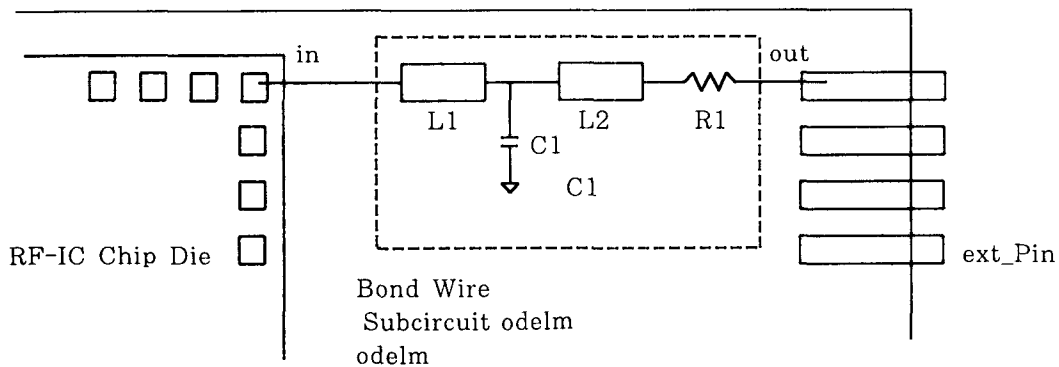


Fig. 2. Bond Wire Subcircuit Model.

3. RF 특성평가보드의 제작 및 특성측정

3.1. RF 특성평가보드의 설계 및 제작

본 연구에서 제작한 특성평가 보드는 표준 두께 62mils의 PCB 보다 더 두꺼운 93mils 두께의 PCB를 사용하여 설계 제작하였다. 이것은 특별히 설계된 측정 소켓을 사용하기 위한 것이며, 이 소켓은 고속측정에서 매우 중요한 요소인 DUT와 PCB 보드 사이의 직접 접촉을 위한 것이다. 또한 안정된 전원공급을 위하여 5개의 전압조절기를 사용하였다. 이 중 4개는 3.2V 이고 1개는 5V 전압조절기를 사용하였다. 그리고 RF-IC의 LNA 뒤단, 하향변조 주파수혼합기 뒤 단에는 SAW Filter를 장착하였으며, LNA 앞단에는 듀플렉서 필터를 장착하여 이동통신 단말기에 직접 적용할 수 있도록 제작하였다.

이전의 고주파 PCB 설계 경험에 기초하여, RF-IC 특성평가 보드 PCB는 4.5의 유전상수를 갖는 저손실 재료를 사용하여 제작하였다. 이 PCB는 RF 신호통로와 다른 회로 블록들 사이의 커플링을 주의 깊게 고려하여 설계 제작된 것이다. RF 신호에 대하여 비록 50Ω 트랜스미션 라인이 보드 위에 제작될 수 있을지라도, 50Ω 임피던스가 보장된 최소의 반강체의 동축(semi-rigid coaxial) 케이블을 사용하는 것이 더 좋은 특성을 얻을 수 있다.[4]

추가적인 장점은 이 케이블은 임의의 간섭으로부터 RF 신호를 차단함으로써 RF 커플링을 감소시킨다. 커플링을 더욱 감소시키기 위하여 전원공급 라인들은 송신부, 수신부와 LO 블록에 대하여 각각 분리하여 설계, 제작하였다. 또한, decoupling chip 캐패시터가 각각의 전원핀에 사용되었고, 물리적으로 칩의 오른쪽에 위치하도록 설계 제작하였다.

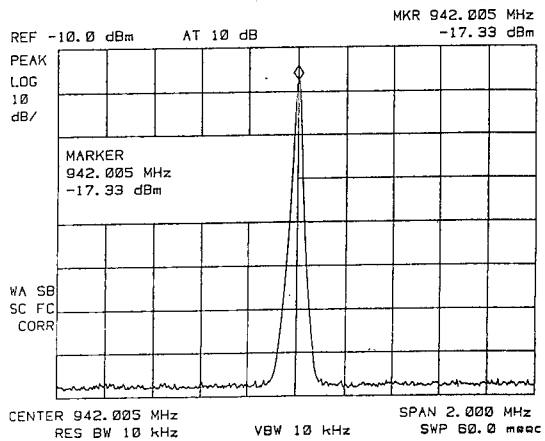
가장 중요한 요소중의 하나는 적절한 접지이다. 가능한 곳은 어디에나 PCB의 윗면과 아래면에 접지면을 위치시켰으며, 접지면의 윗면과 아래면 위의 잡음 발생을 감소시키기 위하여 매 $\lambda/4$ 거리마다 접지라인을 배치하였다. 여기서 λ 는 가장 빠른 신호속도의 파장이다.

3.2. 전기적 특성측정

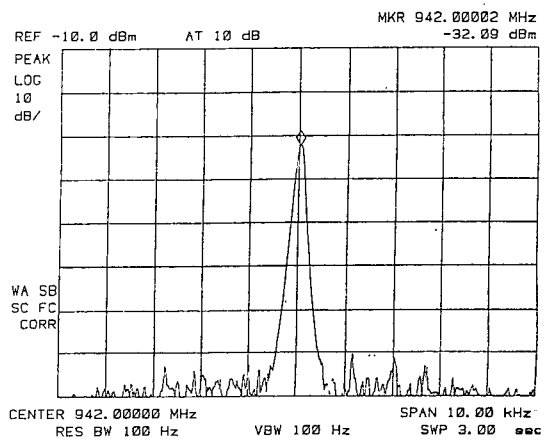
3.2.1. 저잡음증폭기

저잡음증폭기의 특성측정은 신호발생기(Signal Generator)로 900MHz 대역의 신호를

입력하고 각각의 주파수에 대하여 이득특성, IP3, 입력과 출력 임피던스 정합특성 및 잡음 특성을 평가하였다.[5] 수신대역의 중심주파수 942MHz에서 입력레벨이 -35.49dBm일 경우의 출력특성을 그림 3에 나타내었으며, 고이득(high gain) 모드일 경우 출력은 -17.33dBm



(a) High gain mode



(b) Low gain mode

Fig. 3. Gain of the low noise amplifier.

으로 약 18dB의 이득과 저이득(low gain) 모드일 경우 출력은 -32.09dBm으로 약 3dB의 이득을 보여주고 있다. 또한 주파수가 925 MHz에서는 고이득 모드에서 18dB의 특성을 갖고, 960MHz에서는 19dB의 이득특성을 나타내고 있으며, 저이득 모드에서는 925MHz에서 3dB, 960MHz에서 2dB의 이득특성을 나타냄을 확인하였다.

저잡음증폭기의 입력단 및 출력단 정합특성은 사용대역주파수에서 고이득 모드와 저이득 모드에 대하여 -10dB 이상의 특성을 나타냈다. 또한, 저잡음증폭기의 잡음특성을 잡음지수 계기를 사용하여 측정하였으며 측정된 저잡음증폭기의 잡음지수(NF)는 약 2.5dB 의 특성을 얻었다.

3.2.2. 하향변조 주파수혼합기 (Down Conversion Mixer)

주파수혼합기의 특성측정은 주파수 $925\sim 960\text{MHz}$ 의 RF신호를 입력하고 LO 주파수를 $1003\sim 1038\text{MHz}$ 사이에서 sweep한 후 78MHz 의 IF 주파수 출력에 대한 특성을 평가하였으며(6), 주파수혼합기의 출력은 차동(differential) 신호이므로 single ended신호로 변환하기 위한 전력 결합기를 사용하여 특성을 측정하였다.

주파수혼합기의 이득특성은 RF주파수가 925MHz 에서 -30dBm 이고 LO주파수가 1003MHz 에서 0dBm 일 경우 12.2dB 이고, RF가 942MHz , LO이 1020MHz 와 RF가 960MHz , LO이 1038MHz 일 경우 주파수혼합기의 이득은 12dB 의 특성을 얻었다. 이 값은 일반적인 900MHz 용 주파수혼합기의 특성과 유사한 값을 보였으며, 그림 4는 스펙트럼분석기로 측정한 주파수혼합기의 출력단에서 IF, RF 및 LO 주파수를 포함하는 전체 스펙트럼을 보여준다.

3.2.3. AGC & SW-CAP Filter

AGC와 SW-CAP 필터단은 칩내에 함께 포

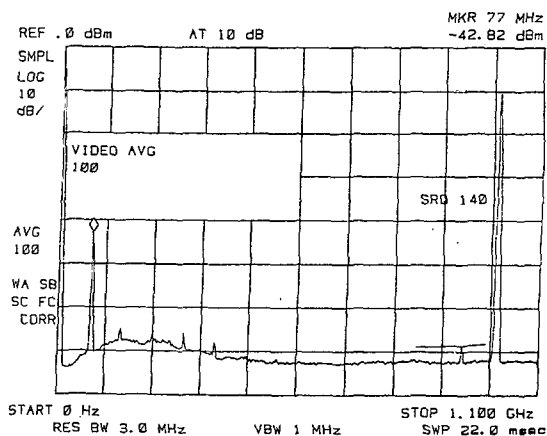


Fig. 4. Output spectrum of the down conversion mixer (RF=925MHz, LO=1003MHz).

함되어 있으므로, AGC단에 입력신호를 인가하고, SW-CAP 필터의 출력인 I, Q 신호를 측정함으로써 전체 특성을 평가하였다. AGC의 입력신호는 78.0675MHz 의 differential 형태이므로 입력단에 신호발생기를 이용하여 78.0675MHz 를 발생하고 single to differential 전력분배기를 이용하여 신호를 분리하여 입력신호를 인가하였고, 하향샘플링 혼합기의 LO 주파수는 26MHz 신호의 3차 고조파를 사용하였다. 출력신호는 67.5KHz 의 I, Q 데이터이므로 스펙트럼 분석기와 오실로스코프로 측정한다.

AGC 증폭기에는 AGC_REF단자와 AGC_CTRL단자를 포함하고 있는데 수회의 측정을 통하여 AGC_REF단자는 1.6V 에서 가장 우수한 성능을 나타내므로 단자전압을 고정하였으며, AGC_CTRL단자는 전압을 바꿈으로서 베이스밴드에서 필요로 하는 신호레벨로 AGC의 이득을 제어할 수 있는 단자이다.

그림 5는 AGC_CTRL 전압이 0.2V 에서 1.8V 까지 변할 때의 AGC & SW-CAP의 이득특성의 변화를 나타냈으며, 약 5dB 에서 80dB 까지 이득을 제어할 수 있음을 알 수 있다. AGC와 SW-CAP의 최소 감지 신호레벨을 측정하기 위하여 입력신호레벨을 높이거나 감소시키면서 베이스밴드에서 필요로 하는 70mVp-p 의 출력레벨로 AGC_CTRL전압을 고정시키고 출력레벨과 잡음층 레벨과의 차이가 28.5dB 이상의 조건을 만족하는 입력레벨을 측정하였으며 -86dBm 의 최소 감지 신호레벨을 보임으로써 일반적인 디지털 이동통신용 AGC의 최소 감지 신호레벨이 -83dBm 정도인 것과 비교하여 매우 양호한 결과를 보였다.

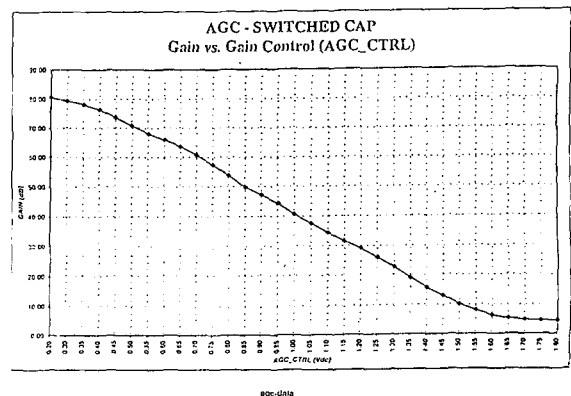


Fig. 5. Gain as control voltage of the AGC & SW-CAP.

3.3. 온도 및 전압변화에 따른 특성평가

일반적으로 단말기의 주변 사용환경의 변화에 따른 송수신 특성의 변화는 중요한 문제로 평가되며, 마찬가지로 이 단말기에 장착된 RF-IC의 경우도 온도나 전압의 변화에 따른 특성의 변화를 극소화하는 것이 특성평가에 중요한 요소가 된다. 따라서 본 절에서는 이와 같은 온도 및 전압의 변화에 따른 RF-IC 칩세트의 특성 변화를 RF 특성평가보드에서 측정한 결과를 아래의 표와 그림에 나타내었다. 온도특성은 -40~+80℃의 온도범위내의 챔버에서 특성변화를 측정하였으며, 전압변화 범위는 2.3~3.7V까지 전압을 변화하여 그 특성을 측정하였다.

먼저, 주변 온도가 25℃로 일정한 상태에서 전압의 변화에 따른 전력소모를 표 1에 나타내었다. 표에서 볼 때 전압변화에 따라 전류의 소모가 증가하고 있으며, 조절전압을 0.2V와 1.6V로 하였을 때에는 큰 전류차이를 보이지 않았다.

이득과 출력이 3.3V, 25℃에서 나타난 값과 큰 차이가 없으며, 온도 변화보다 전압의 변화에 더 큰 차이를 보임을 나타내고 있다.

하향변조 주파수혼합기의 경우도 마찬가지로 전압 및 온도의 변화에 따른 출력과 이득의 변화가 입력이 -34.7dBm일 때, 3.3V, 25℃인 typical 값과 큰 차이가 없음을 알 수 있으며, 이득의 측정결과는 온도와 전압의 변화 전체적인 면에서 볼 때 설계치 17dB보다 더 좋은 특성을 나타내고 있다. 그림 7은 하향변조 주파수혼합기의 전압 및 온도의 변화에 따른 출력과 이득의 변화를 나타낸 것이다. 이때 이득은 아래와 같은 식 (1)로부터 구할 수 있다. 여기서 6dB는 특성평가보드에서 발생하는 손실값이며, 10log20에서 20은 주파수혼합기의 출력단의 저항값이 1kΩ으로 되어 있으므로 50Ω으로 정합시키기 위하여 계산한 값이다.

다음으로 전압 및 온도의 변화에 따른 출력과 이득의 변화를 측정한 결과를 보면 먼저, LNA의 경우 그림 6에 나타나있듯이 입력이

Table 1. Current consumption of each part as control voltage.

Section		Vdd = 2.7V	Vdd = 3.3V	Vdd = 3.6V
Receiver Only (AGC_Ref=1.7V)	AGC_Ctrl=0.2V	31mA	49mA	60mA
	AGC_Ctrl=1.6V	30mA	44mA	52mA

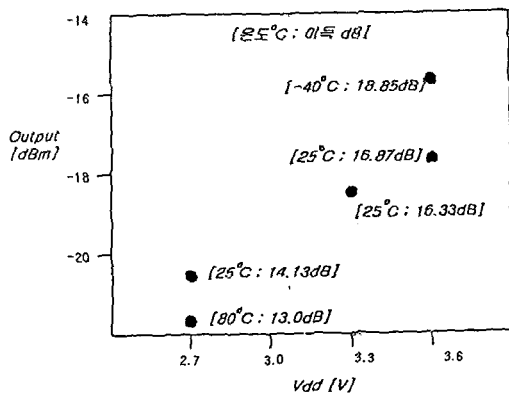


Fig. 6. Variation of gain and output power as variation of temperature and voltage.

$$\text{Gain} = (\text{Out} - \text{In} + 10\log 20 + 6) \text{dB} \quad (1)$$

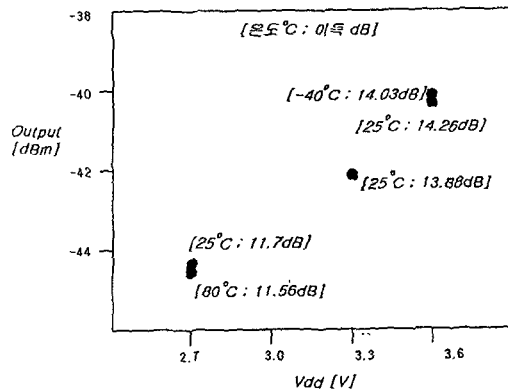


Fig. 7. Comparison with design and measurement results about power and gain variation as voltage and temperature variation of down conversion mixer.

-34.7dBm일 때, 온도와 전압의 변화에 따른

AGC와 Switched Cap. 필터의 경우 이득이 조정전압에 따라 1.5~82 dB로 변화하였으며, 일반적인 규격은 0~80 dB로써 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 먼저, AGC reference 전압을 1.7V로, 조절전압을 1.6V로, 그리고 입력을 -40dBm으로 하고 LO 주파수를 78.0675 MHz로 입력할 때의 측정결과를 그림 8에 나타내었다. 이때 이득은 아래와 같은 식으로부터 구할 수 있다. 이때, 식 (2)에서 $10\log 80$ 에서 80은 AGC 출력단의 저항값이 $4k\Omega$ 로 되어 있으므로 50Ω 로 임피던스 정합시키기 위하여 계산한 값이다.

$$\text{Gain} = (\text{Out} - \text{In} + 10\log 80 + 6) \text{ dB} \cdot \cdot (2)$$

그림의 결과에서 볼 때 Vdd가 2.7V일 때는 이득이 현저히 줄어들었음을 알 수 있는데 이것은 AGC 조절전압에 따라 문턱전압과 관련이 있는 임계 전압점에 있기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 Vdd가 2.7V일 때는 AGC 조절전압을 미세 조정할 필요가 있음을 알 수 있다.

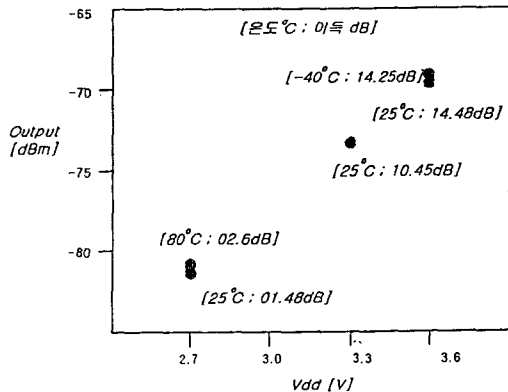


Fig. 8. Measurement results with condition of AGC ref. voltage : 1.7V, control voltage : 1.6V, input : -40dBm, LO freq. : 78.0675MHz.

다음으로, AGC reference 전압을 1.7V로, 조절전압을 0.2V로, 그리고 입력을 -80dBm으로 하고 LO 주파수를 78.0675MHz로 입력했을 때의 측정결과를 그림 9에 나타내었다. 이 그림의 결과에서 볼 때 Vdd가 2.7V일 때는 여전히 AGC 조절전압에 따른 영향이 있음을 알 수 있다.

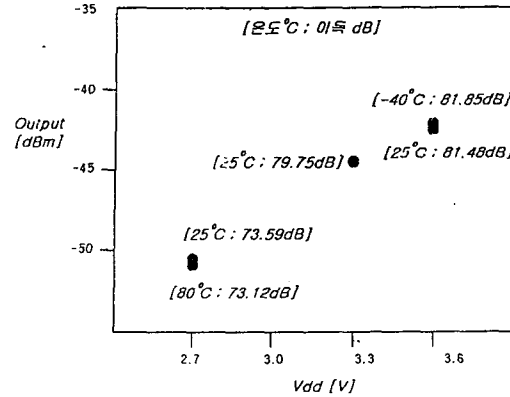


Fig. 9. Measurement results with condition of AGC ref. voltage : 1.7V, control voltage : 0.2V, input : -80dBm, LO freq. : 78.0675MHz.

4. 결론

이동통신 시장의 급격한 변화와 더불어 이동통신 단말기 및 부품의 경박, 단순화는 빠른 개발과들을 보이고 있으나, 이에 대한 올바른 특성평가방법은 많이 개발되고 있지 않다.

본 논문에서는 900MHz대역 수신기용으로 선행 개발되어진 RF 칩세트를 장착한 RF 특성평가 보드를 개발하였으며, 환경평가시험을 수행하였다[7]. 선행 개발되어진 RF-IC 칩에는 저잡음증폭기, 하향변조 주파수혼합기, AGC Amp, SW-CAP 필터 등을 포함하였으며, 이에 따른 정합회로와 RF/IF SAW 필터, 듀플렉서 필터 및 전원공급회로를 RF 특성평가 보드에 첨가하여 제작되었다.[8]

측정결과에서 볼 때, 일반적인 900MHz GSM 또는 CDMA 디지털 단말기용 보드의 RF 특성과 비교할 때 매우 양호한 특성을 나타내었으며, 특히 저잡음증폭기의 고이득 모드와 저이득 모드 정합특성은 일반적인 디지털 이동통신단말기용 저잡음증폭기의 특성보다 매우 우수한 값을 보였다. 또한, 저잡음증폭기, 하향변조 주파수혼합기와 AGC의 잡음특성도 기존제품과 매우 유사한 값을 나타내었다. R사의 기존 제품과의 비교를 표 2에 나타내었다.

본 연구에서 수행된 연구결과는 이동통신기에 적용할 수 있는 RF 모듈보드의 올바른 제작과 특성평가에 활용할 수 있으리라 사료되며, 계속적으로 개발, 발전되어가고 있는 이동통신

Table 2. Comparison with specification of current product and developed product.

		'R' Company Current Product	Developed Product
LNA (Low Noise Amplifier)	Gain	High	14.5 dB
		Low	19 dB
	Noise Figure	-5.0 dB	13 dB
Down-conversion Mixer	Noise Figure		2.5 dB
	Gain		2.1 dB
	Gain		16 dB
AGC (Auto. Gain Control Amp.)	Noise Figure		11.5 dB
	IP3		7 dBm
	Gain		14 dBm
Gain		-50 ~ 55 dB	-5 ~ 75 dB
Noise Figure		8 dB	8 dB

및 위성통신 단말기의 소형화 및 특성개선에 광범위하게 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. B.Sklar, "Digital Communications Fundamentals and Applications," Prentice Hall, 1988.
2. B.S. Song and D.G. Wilson, "Low Power Analog Front Ends for RF Receivers," The 4th International Conference on VLSI and CAD, October 1995.
3. "0.8 μ m and 1.2 μ m BiCMOS Standard Cell Databook," AMS, 1995.
4. K.C.Gupta, R.Garg, and I.J.Bahl, "Microstrip Lines and Slotlines," Artech, 1979.
5. C.D. Hull and R.G. Meyer, "Principles of wideband feedback amplifier design," Int. J. High Speed Electron., vol. 3, no. 1, pp. 53-93, March 1992.
6. J. Crols and M. Steyaert, "A Fully Integrated 900MHz CMOS Double Quadrature Downconverter," IEEE Inter. Solid State Circuits Conf., pp. 140-141, Feb. 1993.
7. R.G. Meyer and W.D. Mack, "A 1-GHz BiCMOS RF Front-End IC," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 29, no. 3, pp. 350-355, March 1994.
8. A.A. Abidi, "Low-Power Radio-Frequency IC's for Portable Communications," Proceedings of the IEEE, vol. 83, no. 4, pp. 544-560, April 1995.