

Design Methodology 2:

자동차 전방감지 레이더센서용 MMIC 칩셋

강동민 (ETRI 초고주파회로그룹 선임연구원)
홍주연 (ETRI 초고주파회로그룹 연구원)
윤형섭 (ETRI 초고주파회로그룹 책임연구원)
심재엽 (ETRI 테라전자소자팀 초빙연구원)
이경호 (ETRI 초고주파회로그룹 책임연구원/팀장)



강동민



홍주연



이경호

1. 개요

적응형 순항제어 시스템(Adaptive Cruise Control System) 등에 이용되는 능동형 안전 주행장치의 핵심 부품인 전방감지용 밀리미터파 레이더센서는 2000년 5월 ITU 전파통신총회(RA-2000, 터키)에서 60GHz 및 76GHz 대역을 차량레이더용으로 권고하였다. 국내의 경우 2001년 4월 전파법 제 9조의 규정에 의거, 정보통신부

고시 제2001-21호에서 76~77GHz 대역을 특정소출력 무선국 차량레이더용 주파수로 분배 및 고시하였고 현재 전방감지용 레이더 국내 이용을 위한 기술기준안이 전파연구소 고시 제2006-84호, 제7조제9호(2006. 8. 23.)로 고시되었다.

ITU-R 권고 M. 1452에 따르면, 전방감지용 밀리미터파 레이더의 구성은, 안테나, RF unit, 신호처리부, 인 식부, 콘트롤부로 구성되어 있고, 공중선 전력은 10mW

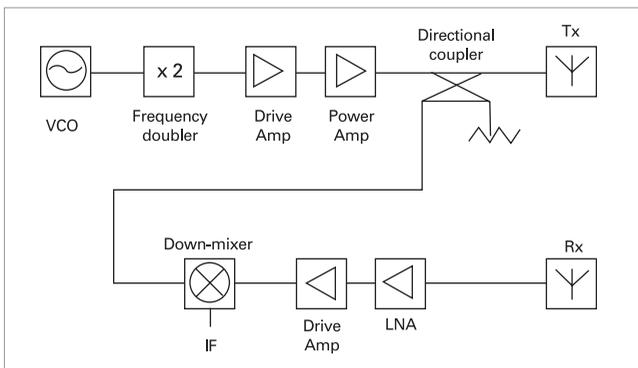


Design Methodology 2:

이내, 공중선 이득은 40dBi, 대역폭은 1GHz 이내가 권고되었다.

유럽 5개국 총 9개 자동차 제작사와 전장업체의 컨소시엄인 RadarNet의 보고서에 따르면, 77GHz 센서로 근거리와 장거리 감지를 동시에 구현하여 다용도의 센서 네트워크 구성 시 저가의 소형 센서모듈 구현이 가능한 방향으로 추진되었다. 최근 들어 76~77GHz의 밀리미터파를 사용하는 추세로 통일되면서 미국, 유럽, 일본의 기술기준도 상호 포용하는 추세로 접근하고 있으면서, 단거리 레이더의 경우에도 2013년까지 24GHz에서 79GHz로 조정될 것을 유럽에서 제안된 상태이다. 이렇게 되면, 동일한 70GHz대의 밀리미터파로 단거리 장거리 레이더를 동시에 구현하게 되어 네트워크를 구성할 수 있는 통합센서모듈의 기능과 가격의 경쟁력이 높아지게 되어 활용도가 더욱 증가될 것으로 예상된다. 궁극적으로 전방감지 레이더에서 가장 핵심이 되는 구성 요소 중 하나인 RF 단에서 70GHz 대의 칩 제작이 전체 센서의 성능과 가격을 결정하는 주요 요소가 될 것이다. 최근 MMIC 기술이 발전하면서 성능 높은 송수신부 핵심 칩들의 제작이 가능해지면서 센서 가격의 경쟁이 본격화되었다. ETRI에서도 고유의 GaAs MHEMT 소자기술을 이용하여 77GHz 대 송수신 MMIC를 개별 칩, 또는 통합칩으로 구현하여 레이더 시제품을 구성하여 성능 테스트에 성공한 바 있어 향후 국산화 양산기술 개발에 박차를 가할 수 있게 되었다.

개발된 ETRI MMIC 칩셋은 0.15 μ m gate 길이를 갖는 InGaAs/InAlAs/GaAs MHEMT 기술을 이용하였다. 칩셋은 전력증폭기, 구동증폭기, 저잡음증폭기, 주파수혼합기, 주파수채배기, 송신기 원칩 등으로 구성되어 있다. 그리고 개발된 MMIC 칩셋

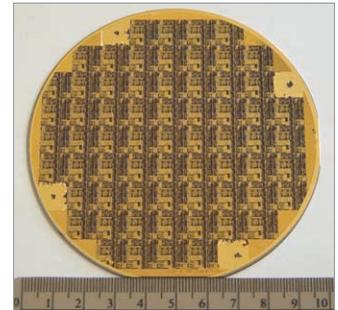


〈그림 1〉 자동차 전방 감시 레이더 센서용 RF 송수신기 구조도

을 이용하여 RF송수신기 모듈을 개발하였다. 〈그림 1〉은 자동차 전방감지 레이더 센서의 전단부를 구성하는 RF 송수신기의 일반적인 구성도이다.

2. 77GHz 자동차 전방 감지 레이더 센서용 MMIC 설계기술

77GHz대역 MMIC칩셋은 자동차 전방 감시 레이더 센서에 사용하기 위한 것으로 전력증폭기, 구동증폭기, 저잡음증폭기, 주파수혼합기, 주파수채배기, 송신기 원칩 등으로 구성되며 목표사양은 다음과 같다. 동작주파수 76~77GHz에서 전력증폭기의 출력전력특성은 10dBm이하, 선형이득은 10dB이상이고, 구동증폭기의 선형이득은 12dB이상, 출력전력특성은 5dBm이상이며, 저잡음증폭기의 선형이득은 20dB이상, 잡음지수는 7dB 이하이다. 그리고 주파수혼합기의 변환이득은 -15dB이하이고, 주파수채배기의 변환이득은 -20dB이하이며, 송신기 원칩의 출력전력특성은 10dBm 이하이다. 〈그림 2〉는 제작한 77GHz HEMT MMIC의 4-inch wafer의 사진이다.



〈그림 2〉 제작한 77GHz HEMT MMIC의 4-inch wafer 사진

1) 전력증폭기와 구동증폭기

전력증폭기는 RF송수신기에서 송신안테나 바로 전에 위치하여 원하는 RF 송신출력전력을 전송하는 것을 목적으로 하는 증폭기이고, 구동증폭기는 일반적으로 송수신기에서 송수신시 충분한 이득 특성을 구동시키는 것을 목적으로 하는 증폭기이다.

4단으로 설계된 MMIC 전력증폭기와 구동증폭기는 2f100과 4f200 MHEMT 소자를 이용하였다. 능동소자의 안정도를 향상시키기 위하여 저항과 캐패시터를 이용한 부궤환회로를 적용하였다. 부궤환회로를 적용할 경우 이득특성에서 약간의 손실을 나타낼수는 있으나 안정도를 향상시키고 광대역 특성을 가질 수 있



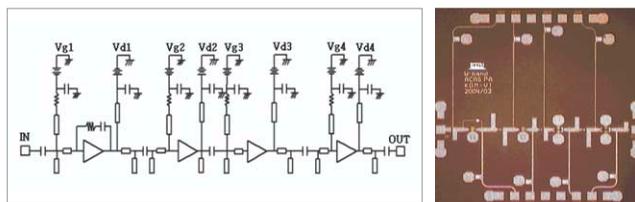
Design Methodology 2:

는 장점을 가지고 있다. 덧붙여서 궤환회로를 적용함으로써 인하여
입출력정합회로를 구성함에 있어서 보다 편리한 회로를 구성 할
수 있다.

전력증폭기와 구동증폭기는 4단 single-ended 구조를 적용
하였다. 첫째단과 둘째단은 우수한 이득특성을 구현하기 위하여
2f100 μ m MHEMT소자를 이용하여 class A 증폭기로 동작하게
설계하였고, 셋째단과 넷째단은 원하는 전력특성과 효율을 향상
시키기 위하여 4f200 μ m MHEMT소자를 이용하여 class A 증폭
기로 동작하도록 설계하였다. 입출력정합회로, 단간정합회로, 그
리고 바이어스 회로는 모두 MMIC 설계에 포함되었다. MMIC의
우수한 입출력정합특성과 원하지 않는 주파수 대역에서의 이득성
분 억제 특성을 갖도록 하기 위하여 HEMT소자와 입출력 노드 사
이에 마이크로스트립라인, 개방스터브, 그리고 커패시터를 사용
하였다.

MMIC의 접지 부분은 전면 60 μ m 후면 120 μ m의 면적을 갖는
Via-hole 기술을 이용하였다. DC block 회로에는 ETRI 라이브
러리에서 제공하는 microstrip thin film capacitor를 적용하였
다. DC bias 회로에서는 RF choke역할을 할 수 있도록 높은 임피
던스 특성을 갖는 마이크로스트립라인을 적용하였고, by-pass용
microstrip thin film capacitor를 이용하였다. 또한 게이트 바이
어스 회로에서는 우수한 이득 평탄도를 갖기 위하여 580ohm의
NiCr 저항을 설계에 적용하였다. 회로 설계는 ETRI HEMT 라이
브러리에서 제공하는 root 모델을 이용하여 harmonic balance
simulator를 사용하였다.

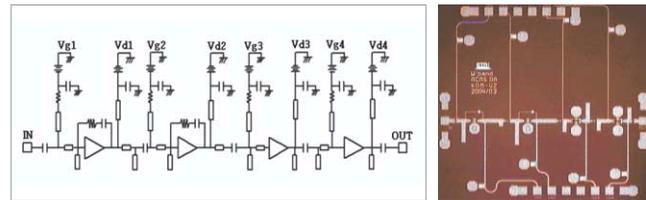
DC 바이어스 조건은 전력증폭기의 경우 게이트바이어스 -0.3V,
드레인바이어스 1.5V 이며 총소비전류는 180mA이고, 구동증폭
기의 경우 게이트바이어스 -0.4V, 드레인바이어스 1.5V이며 총소
비전류는 150mA이다.



(a) Circuit schematic

(b) 칩사진(2mmx2mm)

〈그림 3〉 전력증폭기 MMIC의 circuit schematic과 칩사진



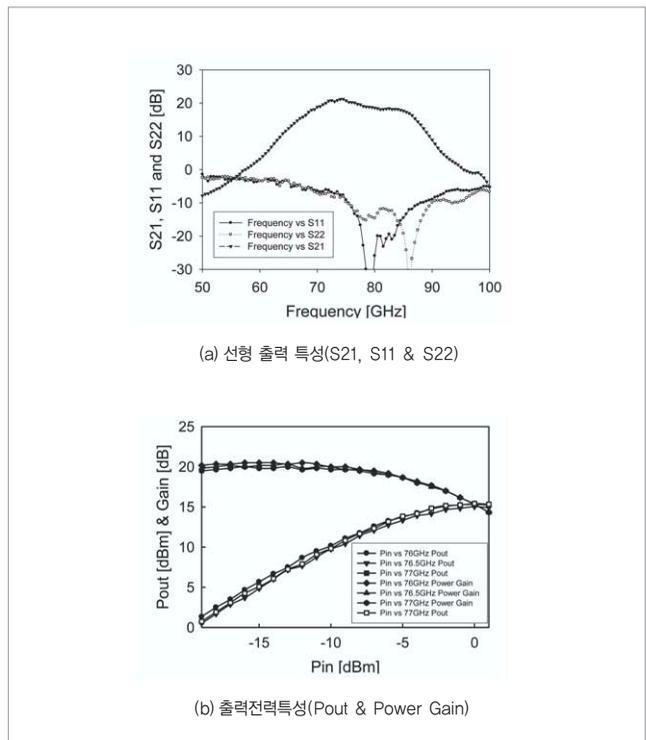
(a) Circuit schematic

(b) 칩사진(2.1mmx2mm)

〈그림 4〉 구동증폭기 MMIC의 circuit schematic과 칩사진

전력증폭기의 칩 사이즈는 2mm \times 2mm이고, 구동증폭기의
칩사이즈는 2.1mm \times 2mm이다. 제작된 전력증폭기와 구동증폭
기의 circuit schematic과 제작된 칩 사진을 〈그림 3〉과 〈그림 4〉
에 나타내었다.

측정은 on-wafer 상태로 probe station을 이용하여 HP
PNA N5250A 110GHz network analyzer를 이용하였다. 전력
증폭기의 측정 결과 76~77GHz 동작주파수 대역 내에서
15.5dBm의 출력전력 특성과 20dB의 선형이득 특성을 나타내었
고, 구동증폭기는 13dBm의 출력전력특성과 23dB의 선형이득 특
성을 나타내었다. 측정결과를 〈그림 5〉와 〈그림 6〉에 나타내었다.



(a) 선형 출력 특성(S21, S11 & S22)

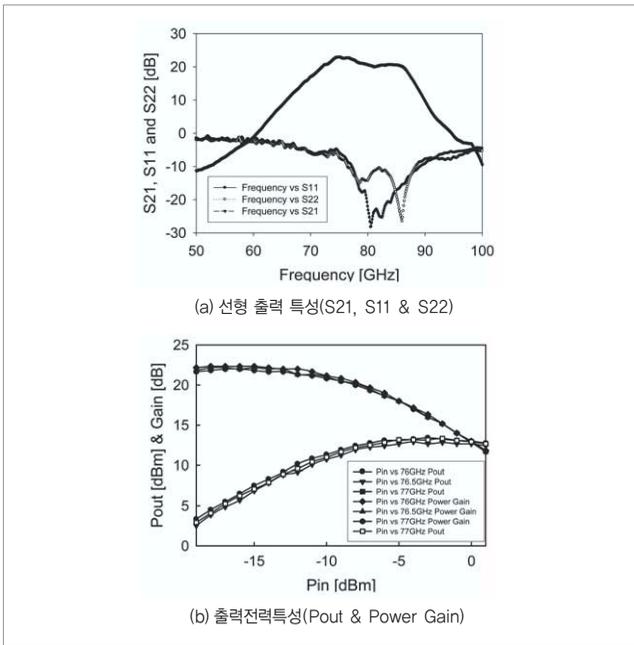
(b) 출력전력특성(Pout & Power Gain)

〈그림 5〉 전력증폭기 MMIC의 측정 결과



Design Methodology 2:

기존에 발표된 77GHz 전력증폭기 MMIC의 결과를 <표 1>에서 비교하였다.



<그림 6> 구동증폭기 MMIC의 측정 결과

<표 1> 77GHz 전력증폭기 MMIC 성능 비교

Frequency [GHz]	Process (All GaAs based)	Pout [dBm]	Gain [dB]	Chip Size [mm ²]	Ref.
71-80	0.15 μ m pHEMT	12	13.5	1.5 \times 1.2	1
77	0.15 μ m pHEMT	14.5	8.5	0.5 \times 0.6	2
76.5	0.15 μ m pHEMT	14	13	1.5 \times 1.2	3
76.5	0.13 μ m pHEMT	15	10	2 \times 1	4
76	0.12 μ m pHEMT	13	11	2 \times 1	5
77-78	0.1 μ m pHEMT	21.5	12	3 \times 2	6
76-77	0.15 μ m pHEMT	15.5	20	2 \times 2	This work

2) 저잡음증폭기

저잡음증폭기는 RF수신기에서 수신안테나 바로 뒤에 위치하여 안테나로부터 수신된 미약한 RF 신호를 증폭하는 것을 목적으로 하는 증폭기로서, 수신기의 수신감도를 결정하는 잡음특성을 우수하게 하기 위해서는 저잡음증폭기의 저잡음지수 특성이 요구된다.

개발된 저잡음증폭기는 2f100 μ m MHEMT 소자를 이용하여

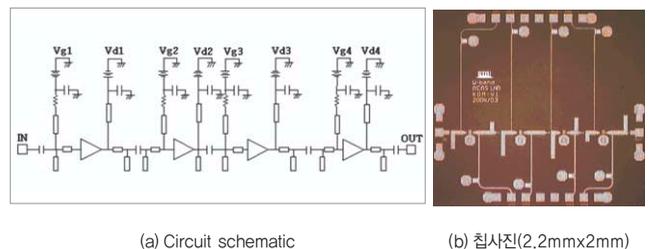
저잡음지수와 우수한 이득 특성을 갖기 위하여 4단 single-ended common-source 토폴로지를 적용하였다. 2f100 μ m MHEMT 소자는 광대역 동작을 위한 정합회로의 복잡성을 최소화하고 정합 회로에서의 손실에 의한 증폭기 잡음지수의 과도한 손실을 최소화하기 위하여 선택하였다. 작은 칩 사이즈를 구현하기 위해서 직렬 마이크로스트립라인과 병렬 개방스터브를 적절히 조정함으로써 간결한 정합회로를 설계할 수 있었다. MMIC의 우수한 입출력정합특성과 원하지 않는 주파수 대역에서의 이득성분 억제 특성을 갖도록 하기 위하여 HEMT소자와 입출력 노드 사이에 마이크로스트립라인, 개방스터브, 그리고 캐패시터를 사용하였다. 입력정합회로가 저잡음증폭기의 잡음지수를 결정하는데 가장 중요한 정합회로이므로 가장 우수한 저잡음 정합 특성을 갖도록 설계하여야 한다.

공액 정합(conjugate matching)의 관계식을 나타내 보면 아래의 식과 같다.

$$\Gamma_s = \Gamma_{in}^*, \quad \Gamma_s = \Gamma_{opt}, \quad \Gamma_s = \left(S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \right)^*$$

$$\Gamma_L = \Gamma_{out}^*, \quad \Gamma_L = \left(S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_{opt}}{1 - S_{11}\Gamma_{opt}} \right)^*$$

여기서 Γ_s 는 소오스단을 바라본 반사계수이고, Γ_L 는 부하단을 바라본 반사계수이다. 가용 전력 이득 곡선(Available power gain circle, G_A)과 Γ_{OPT} 에서 잡음과 이득에 대해 적당한 trade off점을 정하여서 정합 회로를 구성하여야 한다. 그러나 본 저잡음 증폭기 설계에서는 최소의 저잡음을 얻기 위하여 위 식에서 표현한 Γ_s 를 Γ_{OPT} 로 설정하고 정합 회로를 구성함으로써 이득과 입력 반사 손실에서 약간의 손실을 나타내었다. 또한 최소잡음지수를 갖기 위해서 첫 단의 경우 DC 바이어스를 pinch-off 영역에서 구동을 하였으며, 나머지 단은 원하는 이득성분을 갖기 위하여 class



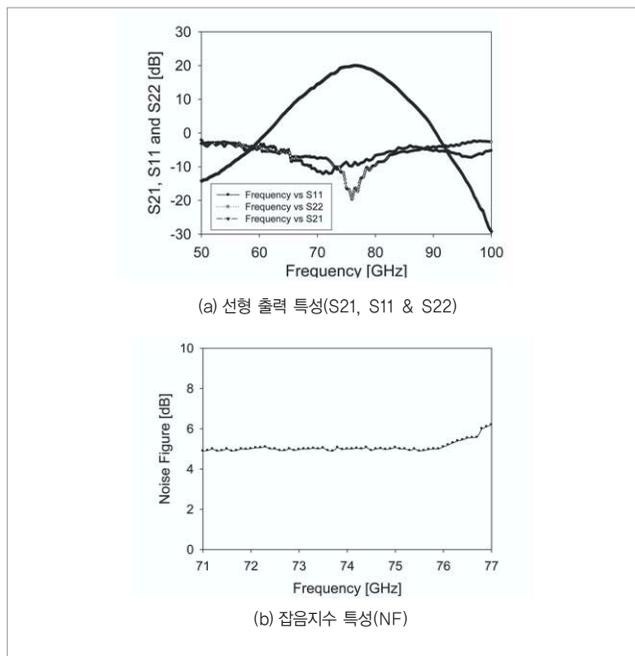
<그림 7> 저잡음증폭기 MMIC의 circuit schematic과 칩사진



Design Methodology 2:

A 영역에서 구동을 하였다. 첫 단의 경우 공급 전압은 드레인바이어스는 1V, 게이트바이어스는 -0.7V, 소비전류는 8mA이고, 나머지 3단의 경우에는 드레인바이어스 1.5V, 게이트바이어스 -0.4V, 소비전류는 50mA 정도를 나타내었다. 저잡음증폭기의 칩사이즈는 2.2mm×2mm이다. 제작된 저잡음증폭기의 circuit schematic과 제작된 칩 사진을 <그림 7>에 나타내었다.

측정은 on-wafer 상태로 probe station을 이용하여 HP PNA N5250A 110GHz network analyzer를 이용하였다. 저잡음증폭기의 측정 결과 76~77GHz 동작주파수 대역 내에서 20dB의 선형이득특성과 5.5dB의 잡음지수 특성을 나타내었다. 측정결과를 <그림 8>에 나타내었다.

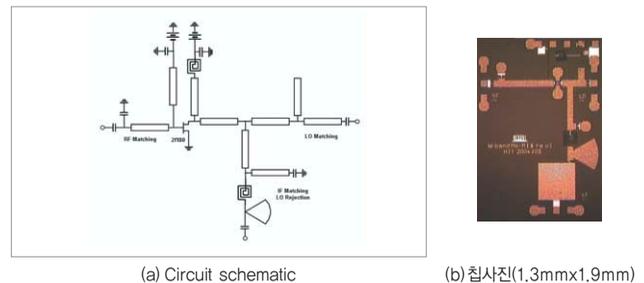


<그림 8> 저잡음증폭기

3) 주파수 혼합기

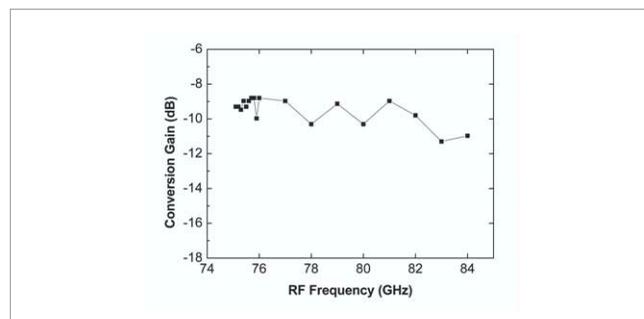
주파수 혼합기는 FMCW 변조신호의 반송파(carrier) 주파수인 77GHz의 RF 신호를 수십 MHz의 IF 신호로 변환해주는 역할을 하는 회로로서 각 입출력단 간의 격리도 특성이 확보되어야 하는 특징을 가지고 있다. 주파수 혼합기는 0.15 μm MHEMT 소자와 마이크로스트립 라인과 MIM 커패시터, open stub, shunt

stub와 rectangular spiral 인덕터를 이용하여 설계하였다. 주파수 혼합기의 dc 바이어스는 단일 바이어스로 게이트에만 -0.65~-0.8V를 입력하고 드레인은 0V로 DC 입력이 필요없게 resistive type으로 설계하여 전력소모가 최소화되도록 하였다. 게이트 DC 바이어스 회로에는 RF 초크로 $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인을 사용하였으며 바이패스 커패시터로 MIM구조의 커패시터를 MMIC 회로에 집적하여 사용하였다. 드레인 DC 바이어스 회로에는 RF 초크로 rectangular 인덕터와 $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인을 사용하였고 bypass 커패시터로 MIM 커패시터를 사용하였다.



<그림 9> 주파수 혼합기 MMIC의 circuit schematic과 칩 사진

<그림 9>는 Down 주파수 혼합기 MMIC의 회로도 및 chip 사진이며 칩 크기는 1.3×1.9mm²이다. 주파수 혼합기는 single ended type으로 게이트 finger가 2개이고 총 게이트 폭이 100 μm 인 HEMT 소자의 비선형적인 특성을 이용하여 single device 만을 이용한 것이 특징이며 게이트 입력단에 RF 신호를 입력하고 드레인 출력단에 IF 신호를 출력하며 동시에 드레인 단자에서 LO 신호를 입력하는 구조로 구성된다. 각 입출력 단자는 효과적으로 분리되도록 고려하여 레이아웃 상에 설계되었다.

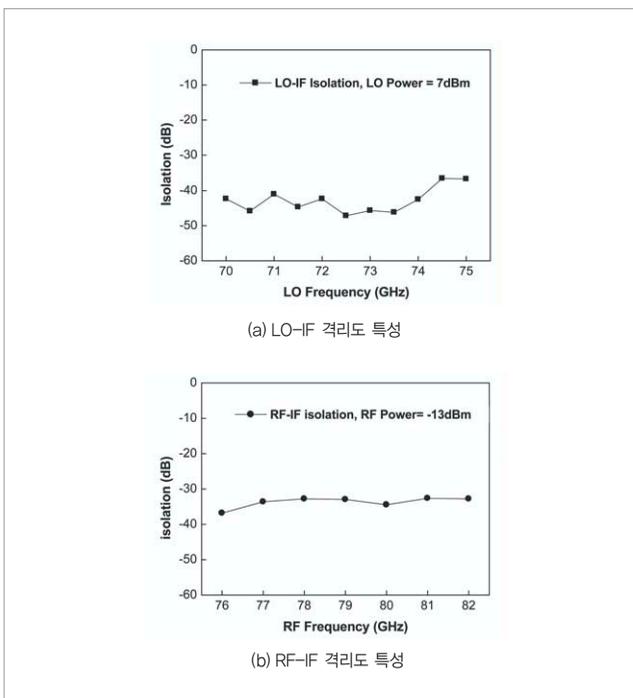


<그림 10> 77GHz MMIC 주파수 혼합기의 동작주파수에 대한 변환 이득 특성



Design Methodology 2:

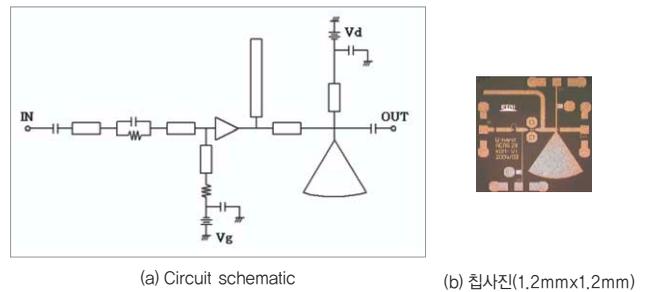
〈그림 10〉은 Down 주파수 혼합기 MMIC가 동작할 때 RF에서 IF로의 주파수 변환 이득 특성을 나타낸 것으로, 변환이득이 차량충돌방지용 주파수 77GHz에서 -9dB, 동작대역 특성은 75GHz에서 84GHz까지의 대역에서 $-10\text{dB} \pm 1\text{dB}$ 의 특성으로 동작한다. Down 주파수 혼합기 MMIC는 RF 반사손실과 LO 반사손실은 각각 -10dB 이하의 특성을 제공한다. 주파수 혼합기의 설계에서 입출력 정합이 잘 되도록 하여 외부 정합회로가 불필요하도록 집적하였으며 각각 다른 회로와의 정합을 위해 Z_0 가 50 ohm으로 매칭이 되어있다. 또한 주파수 혼합기의 특징인 출력 신호와 입력 및 불요 신호의 간섭이 적도록 격리도에 중점을 두고 설계하였다. IF 출력단에 RF와 LO 주파수의 저지를 위하여 IF 매칭과 라디얼 스테르브를 사용하여 효과적으로 RF-IF 격리도와 LO-IF 격리도를 구현할 수 있었다. 〈그림 11〉은 Down 주파수 혼합기 MMIC의 격리도 특성 그래프로서, 〈그림 11(a)〉는 LO-IF 격리도 특성이고, 〈그림 11(b)〉는 RF-IF 격리도 특성이다. 〈그림 11(a)〉에서 LO-IF 격리도는 LO 주파수가 70GHz에서 75GHz일 때 -35dB 이하이며, 〈그림 11(b)〉에서 RF-IF 격리도는 RF 신호 주파수가 76GHz에서 82GHz일 때 -30dB 이하의 특성을 제공한다.



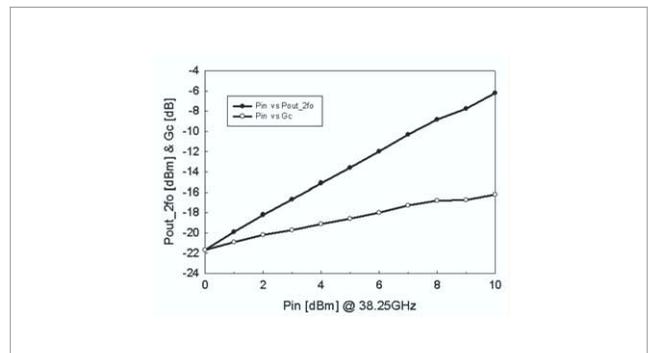
〈그림 11〉 77GHz MMIC 주파수 혼합기의 격리도 특성

4) 주파수 체배기

주파수 체배기는 자동차 전방 감시 레이더 센서의 신호원인 VCO에서 발진된 신호의 주파수를 2배로 체배해 주는 것을 목적으로 하는 것으로서, 주파수 체배에 따른 변환손실이 적어야 하고 원신호 대비 높은 억압특성을 가져야 한다. 입력정합회로와 출력정합회로는 각각 38.25GHz와 76.5GHz 대역에서 동작하도록 설계하였다. 입력정합회로는 병렬 조합된 저항과 캐패시터를 이용하여 HEMT소자의 안정도를 향상시키고 기본주파수인 38.25GHz에 대해서 우수한 정합특성을 가질수 있도록 설계하였다. 출력정합회로에서는 원신호대비 30dBc이상의 높은 억압특성을 갖도록 레이디얼 스테르브를 사용하였으며, 개방 스테르브는 출력주파수인 76.5GHz 대역에서 우수한 정합특성을 갖고 원신호대비 높은 억압 특성을 갖도록 설계하였다. DC 바이어스 동작 조건은 even harmonic power level를 줄이기 위해서 pinch-off 영역에서 동작하도록 설계를 하였다. 〈그림 12〉에 설계된 주파수 체배기의 circuit schematic과 칩 사진을 나타내었다. 제작된 주파수 체배기 MMIC의 칩 사이즈는 1.2mm×1.2mm 이다.



〈그림 12〉 주파수 체배기 MMIC의 circuit schematic과 칩사진



〈그림 13〉 주파수 체배기 MMIC의 출력 특성(Pout & Gc)

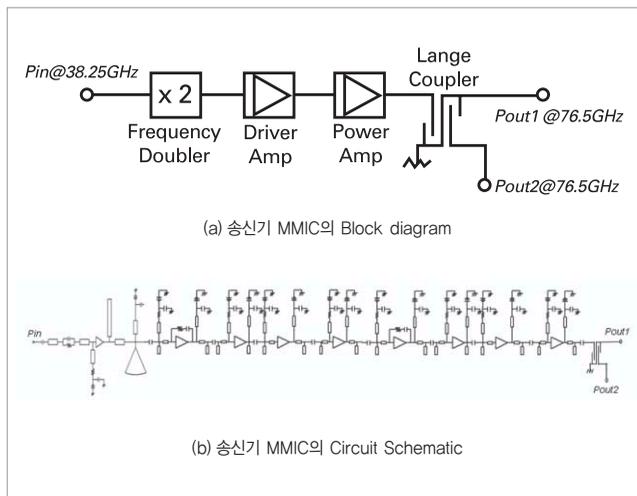


Design Methodology 2:

측정을 위해서 드레인 바이어스에는 1.5V, 게이트바이어스에는 -0.7V가 공급되었으며 소모전류는 8mA 정도이다. <그림 13>에 측정된 결과를 나타내었다. 측정결과 입력주파수 38.25GHz에서 10dBm의 입력전력을 공급했을 경우 출력주파수 76.5GHz 대역에서 -6dBm의 출력전력특성을 보여 -16dB의 변환이득을 보였다. 그리고 출력주파수에서 기본주파수 대비 -37dBc의 억압 특성을 보였다.

5) 송신기 MMIC

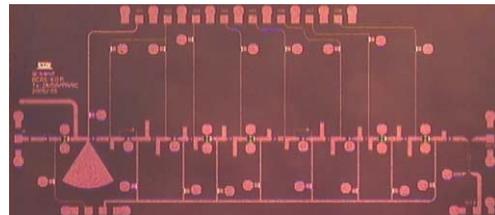
송신기 MMIC는 위에서 언급한 주파수채배기, 구동증폭기, 전력증폭기, 그리고 coupler를 하나의 칩상에 구현한 원칩 MMIC이다. <그림 1>에서 보이는 것처럼 각각의 기능을 하는 개별칩 MMIC를 모듈상에서 구현할 경우 wire-bonding 등 여러 반복적인 작업이 필요로 하지만 송신기 원칩 MMIC를 사용할 경우 모듈 제작 등 여러 측면에서 유리하다. 개발된 송신기 MMIC의 block diagram과 circuit schematic을 <그림 14>에 나타내었다.



<그림 14> 송신기 MMIC의 Block diagram과 Circuit schematic

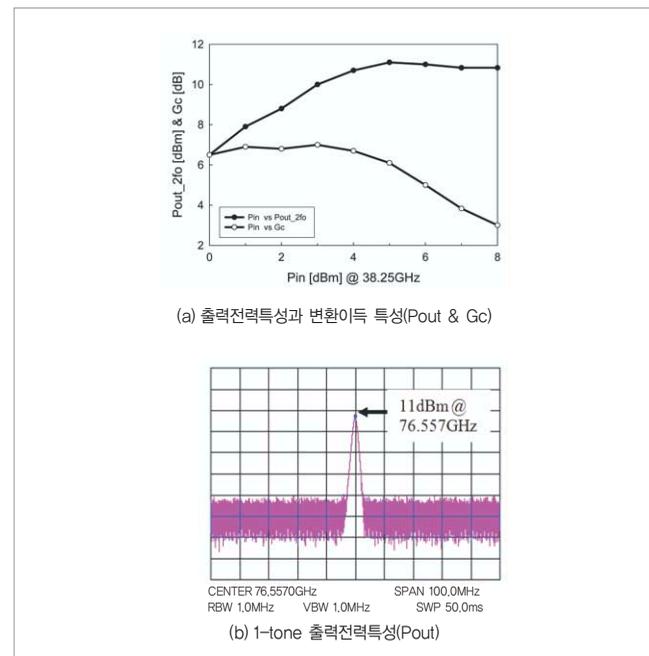
레이더 센서의 신호원인 VCO에서 발진된 38.25GHz의 주파수를 주파수채배기의 입력으로 공급하면 주파수 채배기에서 76.5GHz의 주파수로 2채배된 후 구동증폭기에서 선형이득을 구동증폭한 후 전력증폭기에서 전력증폭을 하게 된다. 전력증폭단에서 증폭된 신호는 coupler를 통해서 하나는 송신안테나를 통해서

외부로 방사되고 또 다른 한 신호는 수신부 주파수혼합기의 LO신호로 보내지게 된다. 제작된 송신기 MMIC의 칩 사진을 <그림 15>에 나타내었다. 칩 사이즈는 5.1mm×2.2mm이다.



<그림 15> 송신기 MMIC 칩사진 (5.1mm×2.2mm)

측정한 결과를 <그림 16>에 나타내었다. 측정결과 입력주파수 38.25GHz에서 5dBm의 입력전력에 대해서 76.5GHz의 출력주파수에서 11dBm의 출력전력특성과 6dB의 변환이득을 나타내었다. 그리고 원신호 대비 출력신호에서 32dBc의 억압특성을 나타내었다.



<그림 16> 송신기 MMIC의 측정 결과

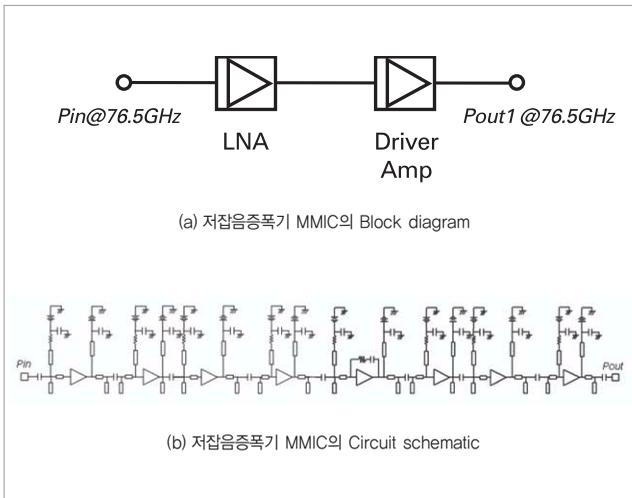
6) 8단 저잡음증폭기

8단 저잡음증폭기는 <그림 1>에서 나타난 것처럼 저잡음증폭

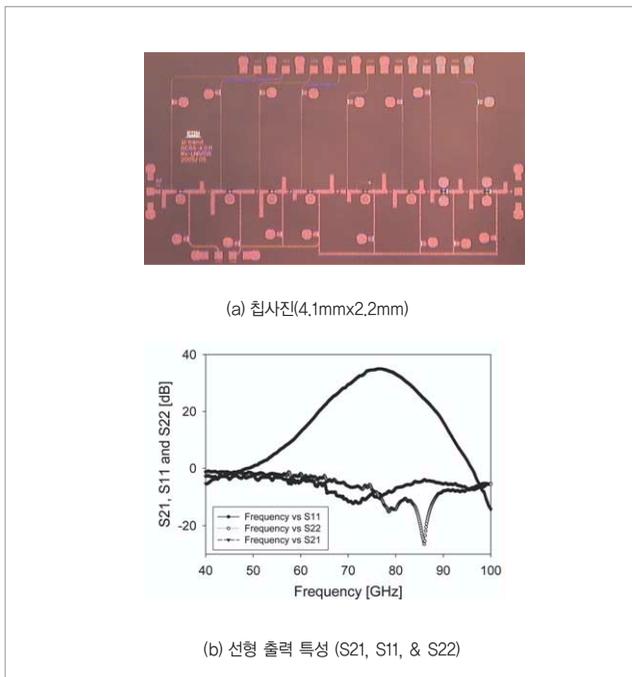


Design Methodology 2:

기와 구동증폭기로 분리되어있는 것을 하나의 칩 상에 구현한 증폭기 MMIC이다. 원칩의 장점은 위에서 언급한 것과 같은 내용으로서 저잡음 특성과 고이득 특성을 동시에 만족시킬 수 있도록 설계되었다. 개발된 수신용 저잡음증폭기 MMIC의 block diagram과 circuit schematic을 <그림 17>에 나타내었다.



<그림 17> 저잡음증폭기 MMIC의 Block diagram과 Circuit schematic



<그림 18> 8단 저잡음증폭기 MMIC의 제작 결과

공급전압은 저잡음특성을 얻기 위하여 첫단에서만 드레인바이어스 1V, 게이트 바이어스 $-0.8V$ 를 공급하여 7mA의 전류소모를 보였으며, 나머지 7단은 드레인바이어스 1.2V, 게이트바이어스 $-0.5V$ 를 공급하여 110mA의 전류소모를 보였다. 측정결과 동작 주파수 대역 76~77GHz 대역 내에서 35dB의 선형이득과 5~6dB의 잡음지수 특성을 나타내었다. 제작된 칩사진과 측정결과를 <그림 18>에 보였다.

3. 77GHz 자동차 전방 감지 레이더 센서용 MMIC RF 송수신기 모듈

MMIC칩셋을 이용하여 77GHz 자동차 전방 감지 레이더 센서의 핵심 부품인 송수신 모듈을 개발하였다. 개발된 송수신 모듈은 Homodyne 구조 대비 20dB 정도의 우수한 수신감도 성능을 확보하기 위하여 Heterodyne 구조로 개발되었다. 이러한 통신 방식의 선택과 1.5GHz IF 주파수대의 AGC(Auto Gain Control) 회로를 개발하여 채택함으로써, 레이더 성능의 획기적인 향상을 기대할 수 있게 되었다. 제작된 송수신 모듈을 측정한 결과 기대 하였던 10dBm의 송신출력을 얻을 수 있었고, -110dBm 의 수신 입력에 대해서도 식별 가능한 레벨인 -61dBm 정도의 비트 신호 출력을 확인하였다. 10dBm의 송신출력은 자동차 전방 감지 레이더에서 허용하는 최대 전력이며, -110dBm 의 수신 신호는 식별 가능한 최소 수신 신호(MDS; Minimum Detectable Signal)레벨 수준이므로 제작된 송수신 모듈은 우수한 성능을 갖추고 있다고 할 수 있다.

1) 규격 및 구성도

<표 2>에 개발하고자 하는 송수신 모듈의 주요 규격을 정리하였다.

FM range의 경우 150미터 센싱 거리에 대해서 1미터 분해능을 만족하기 위해서는 150MHz 정도의 대역폭을 요구하므로 이에 준하였으며, dynamic range는 송신과 수신측 안테나 이득이 각각 22dB와 25dB라고 가정하였을 때 150미터와 2미터 거리를 만족하는 범위를 기준으로 설정한 값이다.



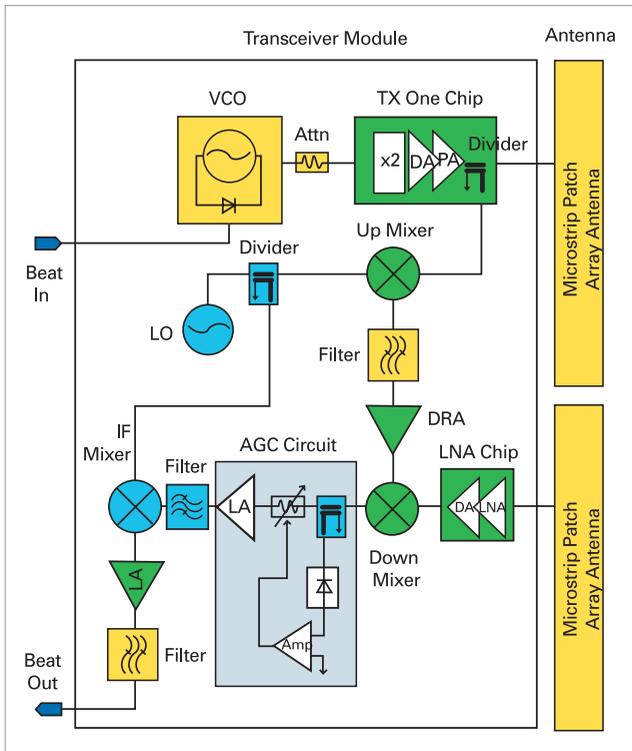
Design Methodology 2:

〈표 2〉 송수신 모듈의 측정 결과

분류	항목	예상 값	비고
송신	송신출력	10dBm	허용된 최대값
	송신주파수	76.5GHz	
	FM range	150MHz	
수신	잡음지수	8dB	
	Dynamic range	-100 ~ -20dBm	
공통	바이어스	5V, 1.5A	
	크기	80x95x26(mm)	

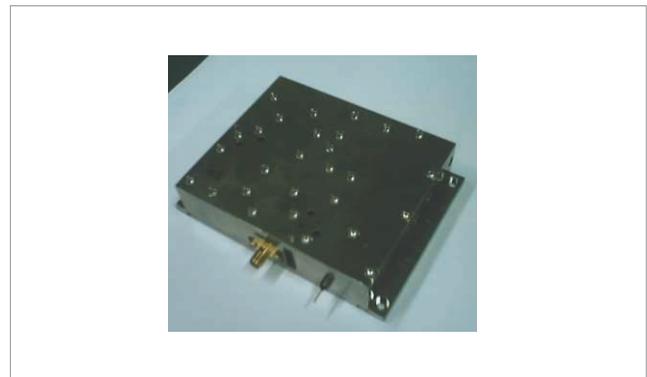
드가 사용되었다. 건 다이오드가 최대 20dBm의 발진출력을 생성해 낼 수 있으므로 Tx 1-chip의 입력 레벨에 맞도록 전력을 낮추어 주기 위하여 시트 저항을 사용하였다. 76GHz 송신 부와 수신 부는 각각 Tx 1-chip MMIC와 LNA MMIC의 단일 칩으로 구성되어 있다. 78GHz LO 부는 Heterodyne 방식으로 수신하기 위해서 적용되었는데, 〈그림 19〉에 나타난 바와 같이 76GHz Up- & Down-Mixer, High Pass Filter, DRA MMIC, IF LO, IF Power Divider의 6개의 주요 소자로 이루어져 있다.

IF & BB 부는 80dB 이상의 수신 신호 범위에 대해서도 비트 신호 검출이 가능하도록 하기 위하여 35dB 정도의 변화를 갖는 AGC 회로를 적용하였다. 레이더에 있어서 Homodyne 방식에 비해 Heterodyne 방식이 20dB 이상의 수신감도 향상을 가져오는 것으로 알려져 있는데, 이와 같이 훨씬 넓은 전력 범위에 대해서도 비트 신호가 검출 가능하도록 하기 위해서는 AGC 회로의 적용은 필수라 하겠다. 제작된 MMIC RF 송수신기 모듈을 〈그림 20〉에 나타내었다. 제작된 모듈의 크기는 80×95×23mm³인데 이는 안테나 크기에 맞추기 위해서 제작된 크기이다. 향후 안테나 크기를 대폭 줄일 수 있으면 모듈 크기도 줄일 수 있을 것으로 판



〈그림 19〉 RF 송수신기 구성도 (송수신 모듈과 안테나)

〈그림 19〉에 RF 송수신기의 구성도를 나타내었다. 송수신 모듈은 기능에 따라 38GHz VCO 부, 76GHz 송신 부, 76GHz 수신 부, 78GHz LO 부, IF & BB 부, 바이어스 부의 6가지 회로 부분으로 크게 나눌 수 있다. 38GHz VCO 부는 건 다이오드, 바랙터 다이오드, 테프론 선로, 시트 저항 등으로 구성된다. 기본적인 발진출력은 건 다이오드가 생성해내며, FM sweep을 위하여 바랙터 다이오



〈그림 20〉 제작된 MMIC RF 송수신기 모듈

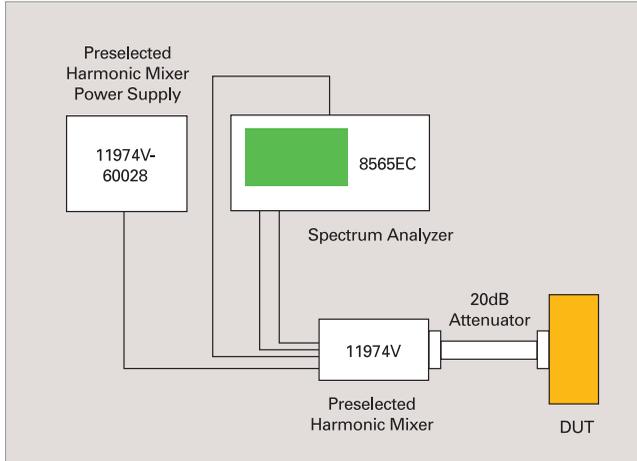
단된다.

2) 측정

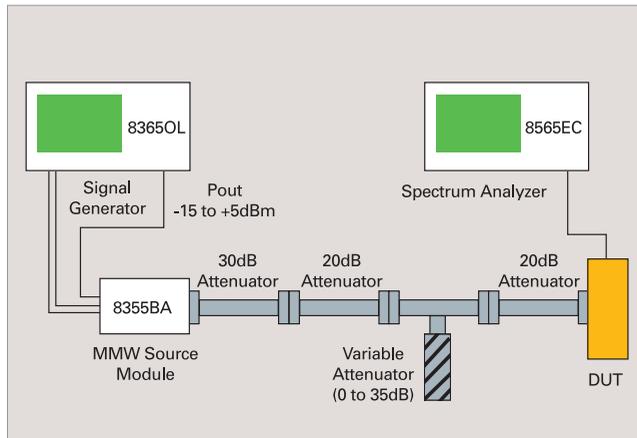
송수신 모듈의 측정에는 파워미터를 이용한 출력전력 측정 이외에는 스펙트럼 분석기가 사용되었다. 〈그림 21〉과 〈그림 22〉에 송신부 측정 구성도와 수신부 측정 구성도를 각각 나타내었다.



Design Methodology 2:



〈그림 22〉 송신부 측정 구성도



〈그림 23〉 수신부 측정 구성도

〈표 3〉 송수신 모듈의 측정 결과

분류	항목	예상 값	측정 값	비고
송신	송신출력	10dBm	10.3dBm	Power Meter
	송신주파수	76.5GHz	76.56GHz	@1V_tune
	FM range	150MHz	150MHz	@1.5~10.05V
	Phase Noise @100KHz Offset		-78.7dBc/Hz	
	Phase Noise @1MHz Offset		-98.6dBc/Hz	
수신	잡음지수	8dB		
	Dynamic range	-100 ~ -20dBm	-110 ~ -20dBm	
공통	바이어스	5V, 1.5A	5V, 1.47A	

〈표 3〉에 송수신 모듈의 측정 결과를 나타내었는데, 예상 값과 비교하였을 때 만족함을 알 수 있다.

-110dBm의 입력 신호에 대해서도 비트 신호가 검출 가능함을 알 수 있는데, 이 값은 이론적으로 계산한 입력 잡음 레벨에 근접한 값이므로 송수신 모듈의 수신 감도는 얻을 수 있는 최대한의 성능을 보이고 있다고 할 수 있다.

4. 결론

자동차 전방감지 레이더센서용 MMIC 칩셋을 ETRI 0.15 μ m gate 길이를 갖는 InGaAs/InAlAs/GaAs MHEMT 기술을 이용하여 개발하였다. 칩셋은 전력증폭기, 구동증폭기, 저잡음증폭기, 주파수혼합기, 주파수체배기, 송신기 원칩 등으로 구성되어있다. 그리고 개발된 MMIC 칩셋을 이용하여 RF 송수신기 모듈을 개발하였다. 개발된 MMIC 칩셋의 성능은 전방감지 레이더 센서용 RF송수신기에 적용하기에 적합한 결과임을 위에서 보였으며, 개발된 칩셋을 이용하여 레이더 센서를 국산화 개발하는데 유용하게 적용될 것으로 판단된다.

【 참고 문헌 】

- [1] K. Kamozaiki et al., "A 77GHz T/R MMIC Chip Set for Automotive Radar Systems," GaAs IC Symp. Digest, 1997, pp. 275-278.
- [2] A. Tessmann et al., "A 77GHz GaAs pHEMT transceiver MMIC for Automotive Sensor Applications," GaAs IC Symp. Digest, 1999, pp. 207-210.
- [3] H. Kondoh et al., "77 GHz Fully-MMIC Automotive Forward-Looking Radar," GaAs IC symp. Digest, 1999, pp. 211-214.
- [4] H. J. Siweris et al., "A Mixed Si and GaAs Chip Set for Millimeter-Wave Automotive Radar Front-Ends," RFIC symp. Digest, 2000, pp. 191-194.
- [5] H. J. Siweris et al., "Low-Cost GaAs pHEMT MMIC's for Millimeter-Wave Sensor Applications," IEEE Trans. On MTT, vol. 46, 1998, pp. 2560-2567.
- [6] H. Y. Chang et al., "A 77-GHz MMIC Power Amplifier for Automotive Radar Applications," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 13, 2003, pp. 143-145.