

# 능동 위상 배열 SAR 안테나를 위한 X-대역 송수신 모듈의 설계 및 제작

## A Design and Fabrication of the X-Band Transmit/Receive Module for Active Phased Array SAR Antennas

정민길 · 김상근 · 나형기 · 이종환\* · 이동우\* · 백승훈

Min-Kil Chong · Sang-Keun Kim · Hyung-Gi Na · Jong-Hwan Lee\* · Dong-Woo Yi\* · Seung-Hun Baik

### 요 약

본 논문에서는 능동 위상 배열 안테나를 가지는 SAR(Synthetic Aperture Radar)용 X-대역 T/R(Transmit/Receive) 모듈을 설계, 제작하였다. T/R 모듈은 X-대역에서 800 MHz 이상 대역폭을 가지며 이중 편파 운용이 가능하다. 송신 출력 7 W 이상에 잡음지수 3.9 dB 이하를 가진다. 위상과 이득은 6비트 위상변위기와 6비트 디지털 감쇠기에 의해 각각 제어된다. 게다가 제작된 T/R 모듈은 방향성 결합기와 전력분배기로 연결되는 성능 점검/보정 포트를 가진다. LTCC 다층 기판을 사용하여 고적점화 T/R 모듈이 가능하게 하였다. 모든 동작 주파수 대역에서 수신시 RMS 이득 오차는 최대 0.8 dB 이하이고, 송/수신시 RMS 위상 오차는 최대 4° 이하로 측정되었고, 또한 시험 결과 T/R 모듈은 요구되는 전기적인 성능을 만족하였다. 이 구조는 능동 위상 배열 SAR용 안테나에 적용될 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, a X-Band T/R-module for SAR(Synthetic Aperture Radar) systems based on active phased array antennas is designed and fabricated. The T/R modules have a bandwidth of more than 800 MHz centered at X-Band and support dual, switched polarizations. The output power of the module is 7 watts over a wide bandwidth. The noise figure is as low as 3.9 dB. Phase and amplitude are controlled by a 6-bit phase shifter and a 6-bit digital attenuator, respectively. Further the fabricated T/R module has test and calibration port with directional coupler and power divider. Highly integrated T/R module is achieved by using LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) multiple layer substrate. RMS gain error is less than 0.8 dB max. in Rx mode, and RMS phase error is less than 4° max. in Rx/Tx phase under all operating frequency band, or the T/R module meet the required electrical performance in test. This structure can be applied to active phase array SAR Antennas.

Key words : T/R Module, SAR, LTCC

### I. 서 론

X-대역 레이더 전파를 이용해 영상을 촬영하는

항공용 또는 인공위성용 SAR(Synthetic Aperture Radar)는 구름층 등을 통과하고 빛이 없는 야간에도 촬영이 가능해 광학 망원경이나 적외선과 비교해 기

「본 논문은 국방과학연구소 주관 사업의 일환으로 연구되었음.」

LIG 넥스원 초고주파연구센터(LIG NEX1 Microwave R&D Lab.)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20090714-064

· 수정완료일자 :2009년 8월 20일

후의 영향을 가장 적게 받는 감시 정찰 장비이다. 항공기용 SAR 장비는 능동 위상 배열 안테나 방식이 주로 사용되는 추세이며, 안테나는 X-대역 레이더 전파를 송출하고 수신하는 송수신(T/R) 모듈이 다수 장착된다. 이들 T/R 모듈을 통해 수신된 레이더 반사파는 SAR 영상 처리 소프트웨어를 통해 영상으로 바뀐다. 능동 위상 배열 SAR 안테나는 고각 방향 및 방위각 방향으로 빔 조향이 가능하고, 여러 가지 편파 선택이 가능한 X-대역 능동 위상 배열 안테나로써 임무에 필요한 빔을 방사하고 표적에 맞고 돌아오는 반사 신호를 수집하는 역할을 한다<sup>[1]-[4]</sup>.

항공기용이나 인공위성용 SAR 안테나에서 요구되어지는 기능은 다음과 같다.

- 수직 편파 또는 수평 편파의 송/수신
- RF 신호 전송에 필요한 전력 제공 및 제어
- 반사된 수신 신호에 대한 저잡음 증폭
- 고각/방위각 방향으로 전기적인 빔 조향
- 고효율
- 고 신뢰성

능동 위상 배열 레이더 시스템의 안테나 패턴은 각각의 배열에 구성된 T/R 모듈의 이득과 위상을 제어함으로써 안테나 복사 패턴을 조향하고 SAR 시스템에 필요한 안테나 패턴을 형성할 수 있다. T/R 모

듈의 이득과 위상값은 안테나 패턴의 조향과 형성에 있어서 중요한 역할을 수행하므로 위상 배열 안테나 개구면에서의 진폭과 위상값을 효율적으로 제어하여야 한다. T/R 모듈의 이득과 위상값은 주변 온도, 주파수 그리고 이득/위상 설정값에 따라 변하게 됨으로써 주기적으로 T/R 모듈의 이득과 위상값을 효율적으로 점검 및 제어하여야 한다<sup>[4],[5]</sup>.

본 논문에서는 X-대역 SAR용 능동 위상 배열 안테나에 필요한 기능과 고 신뢰성을 가지는 T/R 모듈을 설계 및 제작하였다. 논문의 II장에서는 T/R 모듈 구조를 비롯한 전반적인 설계에 대해 기술하였고, III장에서는 T/R 모듈 제작 및 시험에 결과를 제시하였다. 그리고, IV장에서는 결론을 내리도록 한다.

## II. T/R 모듈 설계

### 2-1 T/R 모듈 구조

본 논문에서 제안하는 X-대역 SAR용 능동 위상 배열 안테나에 적용 가능한 T/R 모듈 구조는 그림 1과 같다. 능동 위상 배열 안테나는 T/R 모듈의 이득과 위상을 각각 제어하여 개구면의 빔 패턴 형성과 빔 조향이 가능하게 한다. T/R 모듈은 디지털 위상 변위기와 감쇠기가 송신 경로와 수신 경로에 공용으로 사용되며, 고풍력 송신 기능 및 저잡음 수신 증폭

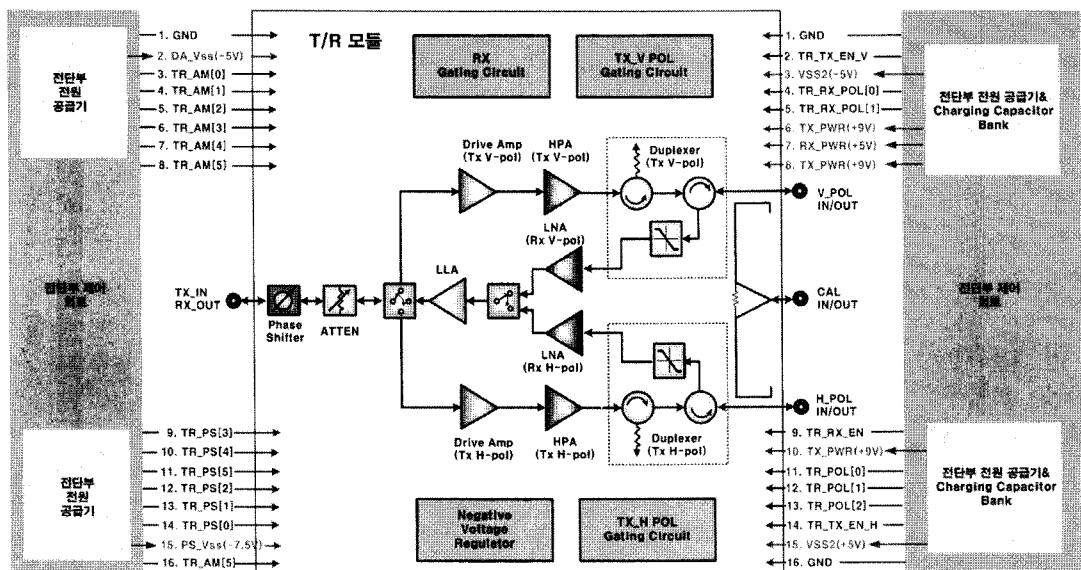


그림 1. T/R 모듈 블록도

Fig. 1. Block diagram of T/R module.

기능을 가진다. 또한 수직, 수평 편파로 구분된 경로를 가지는 이중 편파 구조를 가진다. Tx/Rx Duplexer는 4 포트 Circulator를 사용하며, 수신 경로 보호를 위해 리미터를 포함한다. 성능 시험 및 보정을 위해 방향성 결합기와 전력 분배기를 이용한 점검 포트를 가진다. 6 비트 위상 변위기와 6 비트 신호 감쇄기를 이용하여 위상 및 이득을 제어한다. 송수신 제어 및 편파 제어를 위해 SP3T, SPDT 스위치가 사용되며, Tx/H\_pol, Tx/V\_pol, Rx/H\_pol, Rx/V\_pol 총 4개의 경로를 가진다. T/R 모듈 기판은 소형화를 위해 MCM(Multi-chip Module)이 가능한 총 10층의 LTCC 다층기판으로 설계하였다.

T/R 모듈 설계 목표들은 trade-off하는 것이 중요하며, 주요 설계 사항은 다음과 같다<sup>[6],[7]</sup>.

- 수신기 잡음 지수, 이득 그리고, TOI(Third Order Intercept point)의 Trade-off
- 송신단 고출력 및 전력 소모 설계
- 열 설계 및 하우징 구조 설계
- RF 및 디지털 인터페이스 설계

특히 T/R 모듈은 고출력 증폭기의 DC 전력 소모를 최소화하기 위해 고출력 증폭기에 소모되는 전원을 on/off하는 스위칭 회로를 갖는다.

### 2-2 T/R 모듈 Budget 설계

주요 파라미터들은 trade-off하여 설계된 수신 경로의 budget은 그림 2와 같다. 선정된 MMIC 부품들을 이용한 T/R 모듈 수신 경로에 대한 budget 해석 결과이다. 이득은 27.5 dB이고 잡음 지수는 3.42 dB

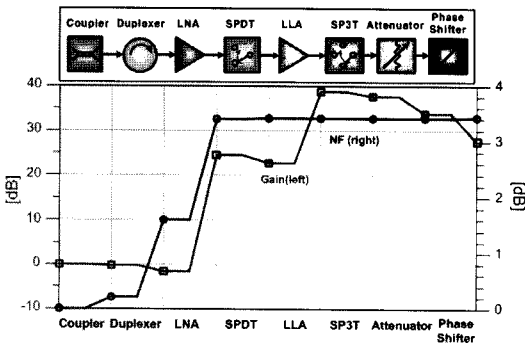


그림 2. T/R 모듈 수신 경로에 대한 이득과 수신 잡음  
Fig. 2. Gain and noise figure budget of receive path.

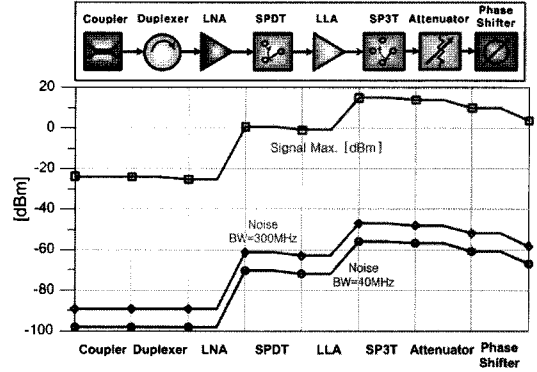


그림 3. 최대 수신 레벨과 수신 잡음 신호 레벨  
Fig. 3. Receive signal level budget.

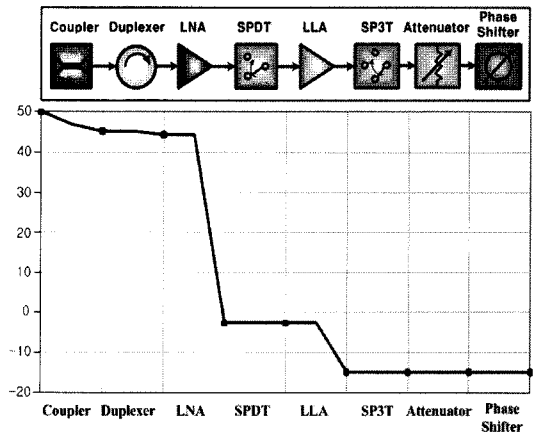


그림 4. 수신 입력 TOI  
Fig. 4. Receive input TOI.

이다. 그림 3에는 최대 수신 레벨과 함께, 수신 잡음 신호 레벨(대역폭 300 MHz인 경우와 40 MHz인 경우)을 나타내었다. 그림 4는 수신 TOI를 보여주고 있으며, 설계된 입력 TOI값은 -14.04 dBm이다. T/R 모듈의 송신 경로에 대한 budget 결과는 다음과 같다. 송신 이득은 33.7 dB이고, 최대 출력 레벨은 입력 레벨이 5.2~9.2 dBm일 때 38.9 dBm이다. 그림 5는 각 소자에서의 출력 레벨을 보여주고 있다.

### 2-3 T/R 모듈 소모 전력 분석

본 절에서는 T/R 모듈의 소모 전력을 분석한다. T/R 모듈에 사용되는 MMIC RF 소자들의 필요 전원 및 그에 따른 전류 값으로부터 소모 전력을 분석하였다. 그 결과는 표 1에 나타내었다.

표 1. T/R 모듈 소모 전력

Table 1. Power consumption of T/R module.

부품	필요 전원 [V]		전류 [A]		Duty [%]	실제 current [A]		소모 전력 [W]	
HPA	9	V	6.200	A	20	1.240	A	11.160	W
	-5	V	0.080	A	100	0.080	A	0.400	W
Drive amplifier	9	V	0.300	A	20	0.060	A	0.540	W
	-5	V	0.005	A	100	0.005	A	0.025	W
LNA1	5	V	0.065	A	100	0.065	A	0.325	W
NLA2	5	V	0.065	A	100	0.065	A	0.325	W
SPDT	-5	V	0.010	A	100	0.010	A	0.050	W
LLA	5	V	0.120	A	100	0.120	A	0.600	W
SP3T	2.7	V	0.020	A	100	0.020	A	0.054	W
	-2.7	V	0.040	A	100	0.040	A	0.108	W
Digital attenuator	-5	V	0.010	A	100	0.010	A	0.050	W
Phase shifter	-7.5	V	0.010	A	100	0.010	A	0.075	W

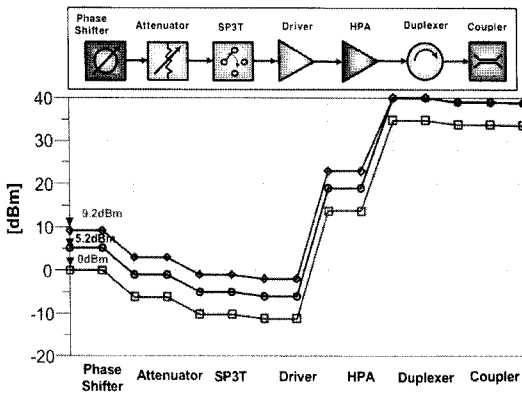


그림 5. 송신 이득 및 출력 전력

Fig. 5. Gain and output power budget of transmit path.

### 2-4 펄스 Gating 회로 설계

송/수신시에 HPA(High Power Amplifier), DRA(Drive Amplifier), LNA(Low Noise Amplifier), LLA(Low Level Amplifier) 등의 증폭기 소자들을 구동하기 위한 펄스 gating 회로가 필요하다. 충전 커패시터 값은 펄스 droop를 고려하여 660 uF(220 uF×3개)값으로 선정하였다. 송신단의 펄스 전력 충전 커패시터의 값을 선정하기 위해 다음과 같이 펄스 droop 분석을 하였다. 송신 펄스는 순간적으로 매우 높은 피크 전류를 필요로 하며, 전력 충전 커패시터는 펄스 열에서 수신 시간 동안 다음에 나올 펄스를 위해 충

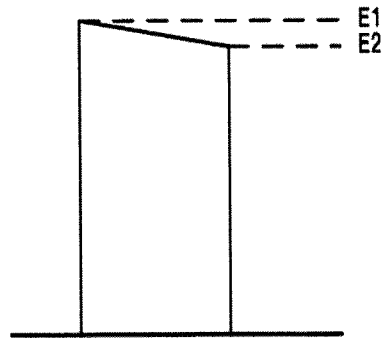


그림 6. 펄스 droop의 계산

Fig. 6. Calculation of pulse droop.

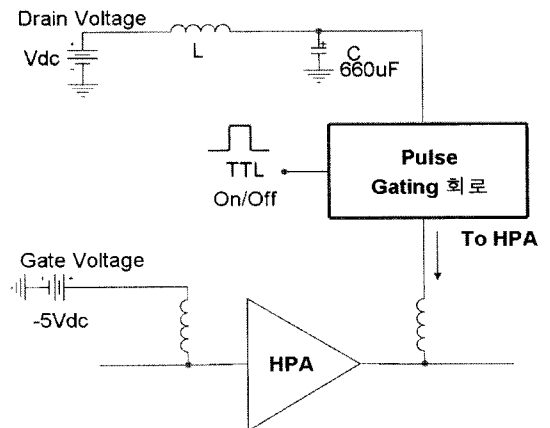


그림 7. 설계된 HPA 펄스 gating 회로

Fig. 7. The designed pulse gating schematic of HPA.

전되어져야 한다.

1 dB 펄스 droop시에 공급된 전압을 9 V, droop은 10.77 %, 피크 전류는 5.3 A, 펄스 길이는 120 us로 가정하여, 전력 충전 커패시터들의 값을 계산해 보면 다음 식으로 계산된 결과를 얻을 수 있다.

$$d(\text{droop}) = \frac{E_1 - E_2}{E_1}$$

$$\text{Pulse amplitude change} = 20 \times \log(1 - d) \quad (1)$$

$$C = \frac{I_p \times T_p}{d \times V_{cc}} = \frac{(5.3 \times 120) \times 10^{-6}}{(0.1077) \times 9}$$

$$= 656 \times 10^{-6} = 656 \text{ uF} \quad (2)$$

식 (2)에서와 같이 계산된 결과를 고려하여 충전 커패시터의 값을 660 uF(220 uF 커패시터를 3개 사용)으로 결정하였다.

송수신시 전력 소모를 줄이기 위해서 송신 전송 구간 동안은 HPA를 구동시키고, 전송이 되지 않을 때는 HPA에 전력을 차단하는 방식을 적용하는 펄스 gating 회로를 구현하였다. 가장 큰 전류를 사용하는 HPA 소자를 고려하여 설계하였다. 필요한 전류를 대응량 커패시터(660 uF)에 충전하고, gating 신호와 연동되어 HPA의 드레인에 공급될 수 있도록 설계하였다.

설계한 펄스 gating 회로의 droop 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 펄스 폭을 120 us, PRI를 1,200 us로 duty 10 %의 조건일 때, 그림 8-1은 0~10 ms 동안의 부하단 펄스 전압 droop를 나타내고 있고, 그림 8-2는 단일 구간의 경우 8.67 V에서 8.17 V로 0.5 V 정도 떨어지는 펄스 전압 droop를 보여주고 있다.

### 2-5 LTCC RF 천이 및 방향성 결합기/ 전력 분배기 설계

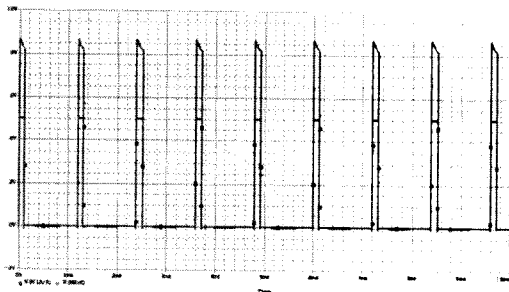


그림 8-1. 펄스 gating 회로의 전압 droop  
Fig. 8-1. Voltage droop of pulse gating circuit.

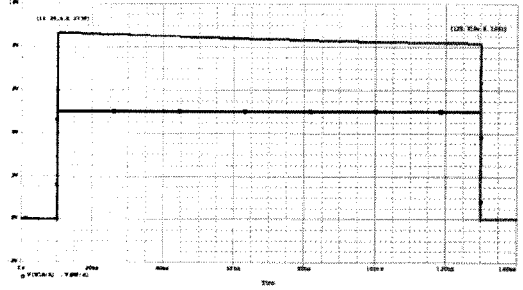


그림 8-2. 단일 구간에서의 펄스 전압 droop  
Fig. 8-2. Pulse voltage droop of single period.

T/R 모듈은 집약된 LTCC 구조 안에 고출력의 소자들을 사용하여 설계해야 하므로 커플링이나 발진 등의 현상이 발생할 수 있다. 따라서 와이어 본딩 구조나 다층 기판 구조 등에 대한 정확한 RF 경로의 해석이 필요하다.

그림 9는 HFSS를 이용하여 해석한 SMP 커넥터와 와이어 본딩 구조이다. 와이어 본딩은 리본 형태(10 mil, 7 mil)로 설계하여 그 특성을 해석하였고, 그 결과를 그림 10에 나타내었다. SMP 커넥터의 구조와 LTCC와 thin-film의 구조를 토대로 해석한 결과 리본 형태의 10 mil 두께의 본딩 타입이 가장 좋은 특성을 가지는 것을 확인하였다.

T/R 모듈은 운용 중에 필요한 보정을 위해 모듈 내에는 점검 포트가 있다. 이를 위해 그림 11과 같은 30 dB 방향성 결합기와 전력 분배기가 결합된 구조의 소자가 필요하게 된다. 주요 설계 사양은 표 2와 같다.

### 2-6 T/R 모듈 개발 목표 규격

송수신 budget으로 설계를 바탕으로 표 3과 같이

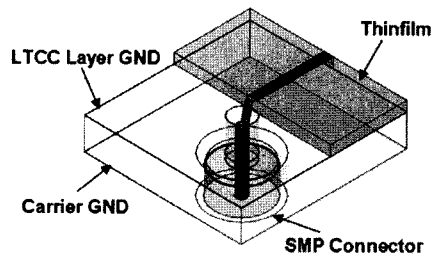
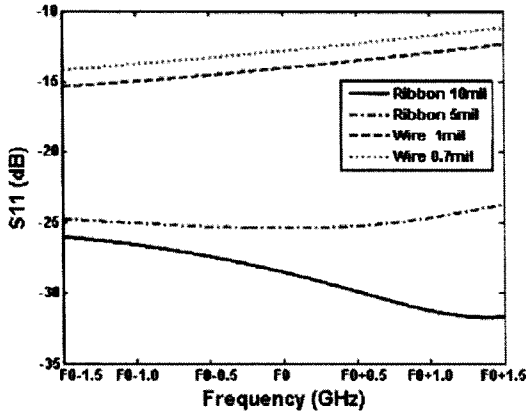


그림 9. 리본 본딩을 이용한 SMP 커넥터에서 thin-film 천이 구조  
Fig. 9. SMP connector to thin film transition structure with ribbon bonding.

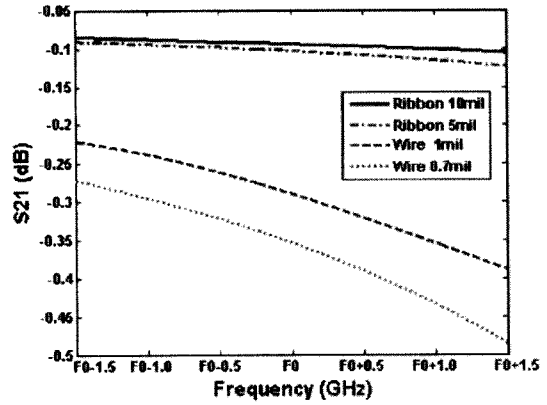
표 2. 방향성 결합기/전력 분배기의 설계 사양

Table 2. Requirement of coupler/divider.

기 관	유전율/두께	Insertion loss	Cal. path loss	Return loss
Alumina	9.8/15 mil	0.1 dB	33 dB	>20 dB



(a) 반사 손실의 비교  
(a) Comparison of return loss



(b) 삽입 손실의 비교  
(b) Comparison of insertion loss

그림 10. SMP 커넥터에서 thin film 천이 구조의 해석 결과

Fig. 10. Simulation result of SMP connector to thin film transition structure.

표 3. T/R 모듈 개발 목표 규격

Table 3. The specification of T/R module.

항 목	개발 목표 규격	비 고
1. 주파수 범위	F0±0.4 GHz	
2. 잡음 지수	<3.8 dB	Max.
3. 수신 이득	29.5 dB±1.5 dB	
4. 수신 이득 동적 영역	31.5 dB	6 bits/0.5 dB step
5. 수신 이득 정확도	±0.5 dB	
6. 송신 출력	≥37.5 dBm	
7. 송신 이득	33.7 dB~37.7 dB	
8. 위상 가변 범위	360°	6 bits/5.625° step
9. 위상 정확도	±6°	
10. 전력 소모	13.8 W @ duty 20 %	
11. 송신/수신 펄스 gating 속도	<200 ns	
12. 크기	100 mm×21 mm×9.8 mm	Blind mate 커넥터 제외

개발 목표 규격을 산출하였다.

### Ⅲ. T/R 모듈 제작 및 시험

#### 3-1 T/R 모듈 형상

T/R 모듈 하우징에 대한 형상 설계 방안은 그림

12와 같다. CuW 재질로 feed-thru와 일체형으로 제작된 carrier를 사용하고, CuW으로 cover를 제작하여 hermetic sealing될 수 있게 T/R 모듈의 하우징을 제작했다. 전원 및 제어선은 좌우 각각의 feed-thru 16 핀씩 총 32핀으로 제작되며, RF 포트는 SMP 커넥터 타입으로 carrier 바닥면에서 연결된다. Feed-thru 커

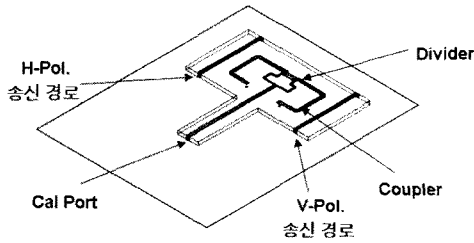
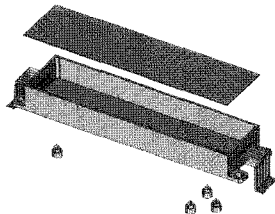
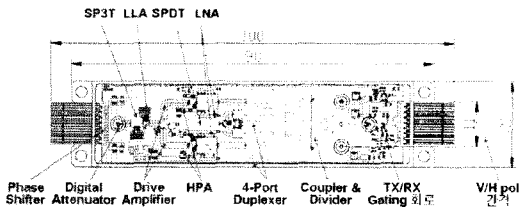


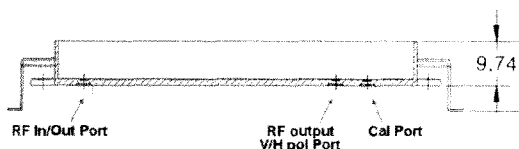
그림 11. 방향성 결합기/전력 분배기의 구조  
Fig. 11. Structure of coupler/divider.



(a) 입체도  
(a) Slanted view



(b) 윗면  
(b) Top view



(c) 단면도  
(c) Side view

그림 12. T/R 모듈 하우징 구조  
Fig. 12. Housing structure of T/R module.

벡터는 16-핀을 2층 구조로 나누어 한 층에 8-핀씩 배치하였으며, 와이어 본딩을 용이하게 하기 위해 아래층과 윗층 간에 0.5 mm의 단차를 주었다. 모듈 사이즈는 100×21×9.74 mm(높이는 커넥터와 feed-thru 제외)로 제작되며, 수직 편파와 수평 편파 포트 간의 이격 거리는 11 mm이다.

SMP 커넥터 및 LTCC와 하우징의 조립 방안은 그림 12에 나타내었다.

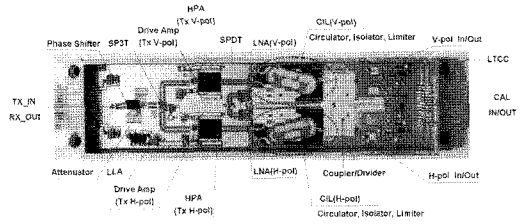


그림 13. 제작된 T/R 모듈  
Fig. 13. The fabricated T/R module.

### 3-2 제작된 T/R 모듈 형상

그림 13은 제작된 T/R 모듈이다. T/R 모듈은 MCM (Multi-Chip Module)로 된 LTCC로 구현되었으며, 수직 편파/수평 편파 이중 구조로 되어 있다. 그림 14는 제작된 T/R 모듈이 전자 전단부(Electronic Front End)<sup>[6]</sup>에 장착된 형상이다.

### 3-3 시험 결과

그림 15는 제작된 T/R 모듈의 송신 출력으로 모든 편파에서 38.5 dBm 이상으로 개발 목표 규격을 만족하였다. 조건은 펄스 폭 20 us 조건일 때, 펄스 droop 특성도 양호한 결과로 나타났다.

수신 잡음 지수는 3.25 dB 이하로 개발 목표 규격을 충족하였고, 수신 이득 또한 29.5±1.5 dB 개발 목표 규격을 충족하였다. 특히 동작 주파수 대역에서 고른 평탄도 특성을 보였으며, 그림 16과 같다.

위상변위기와 디지털 감쇠기는 송신과 수신 경로에 동시에 이용된다. 송신 시에는 출력을 포화시켜 사용하며, 빔 패턴도 uniform 형태로 방사하여 수신

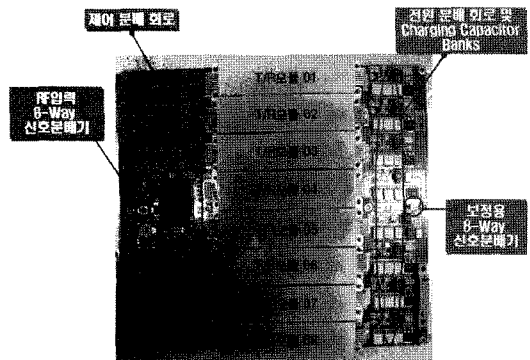
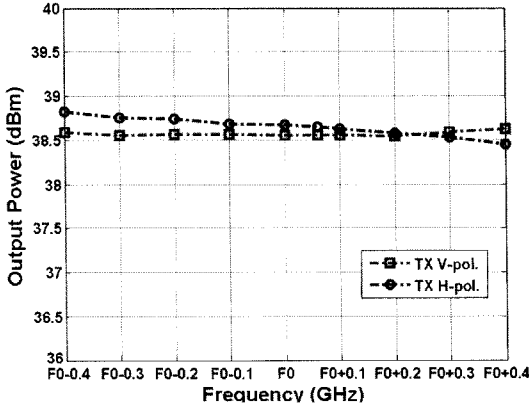
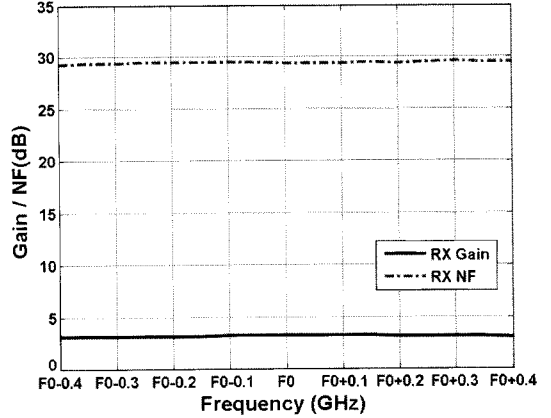


그림 14. 전자전단부 외부 형상  
Fig. 14. EFE external view: EFE with 8 T/R modules.

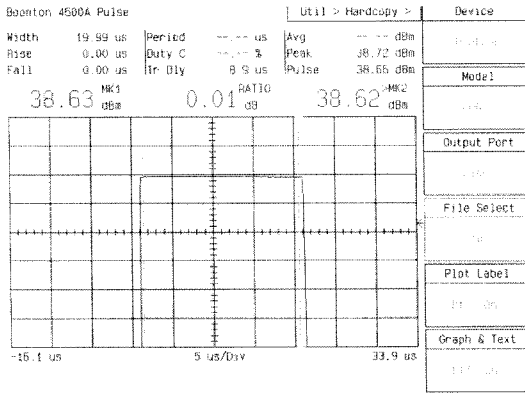


(a) 편파에 따른 송신 출력  
(a) The output power with polarizations



Freq(GHz)	NF(dB)	Gain(dB)
F0-0.4	3.16	29.34
F0-0.3	3.12	29.43
F0-0.2	3.13	29.48
F0-0.1	3.20	29.48
F0	3.25	29.41
F0+0.1	3.18	29.41
F0+0.2	3.13	29.43
F0+0.3	3.09	29.62
F0+0.4	3.06	29.55

그림 16. 수신 잡음 지수와 이득 측정 결과  
Fig. 16. The result of receive noise figure and gain.



(b) 펄스 출력 측정 결과  
(b) The result of pulsed output power

그림 15. 송신 출력 측정 결과  
Fig. 15. The result of transmit power.

시 원하는 부엽으로 조정하여 운용한다. 위상변위기의 특성을 송신시에만 확인하면 가장 열화된 특성을 알 수 있다. 송신 경로에서 위상 변화는 그림 17과 같다. 6 비트 위상변위기로 총 64 states에 360° 범위를 5.625°로 제어되며 제어 특성은 아주 양호하며, 위상 RMS 오차는 최대 4° 미만으로 나타났다. 그림 18은 수신 시 디지털 감쇠기 제어 특성을 나타내었으며, 측정 결과와 제어 특성이 이득 RMS 오차가 최대 0.8 dB 미만으로 양호하였다.

T/R 모듈에 있어서 측정 시간을 단축하는 것이 무엇보다도 중요하다. 특히 위상변위기 6 비트와 디지털 감쇠기 6 비트이면, 64 states \* 64 states로 4,096번에 해당되는 위상과 이득 제어 상태를 측정해야 하지만, 본 논문에서는 이득은 0 dB로 고정하고 위상 64

states를 측정하고, 또 위상을 0°로 고정하고 이득 64 states를 측정하여 최종 상호 mapping하는 방식을 적용하여 이득/위상 map 차이를 비교하여 비슷한 측정 결과를 확인할 수 있었다. 위상 오차는 최대 4.71°, RMS 1.28°를 나타내었고, 이득 오차는 최대 0.29 dB, RMS 0.07 dB로 매우 일치함을 볼 수 있었다. 수신 이득/위상 제어 map은 그림 19와 같다.

T/R 모듈의 온도에 따른 고 신뢰성을 확인하기 위해서 T/R 모듈 2조에 대해서 송신 시 상대적 위상 변화를 확인하였고, 상대적 위상 오차는 T/R 모듈 각각에 대해서 0.49°, 0.16°로 측정되었고, 수신시 상대적 위상 오차는 0.11°, 0.05°로 측정되어 송신 시보다 위상 오차가 적음을 확인하였다. 그리고 수신 시 상대적 이득 오차는 각각 T/R 모듈에서 0.06 dB, 0.03 dB로 확인되었다. 온도조건은 T/R 모듈의 위상변위기와 디지털 감쇠기가 위치하는 하우징 case 온도이다. 각 T/R 모듈별 입력 커넥터와 전기적인 경로 차



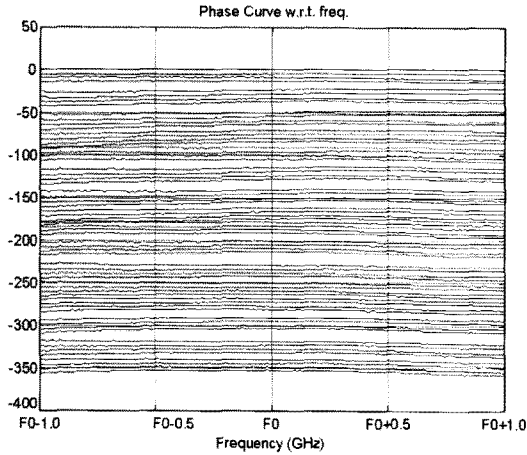


그림 17. 송신 위상 변화 측정 결과  
Fig. 17. The result of normalized phase shift variation for transmit mode(64 states).

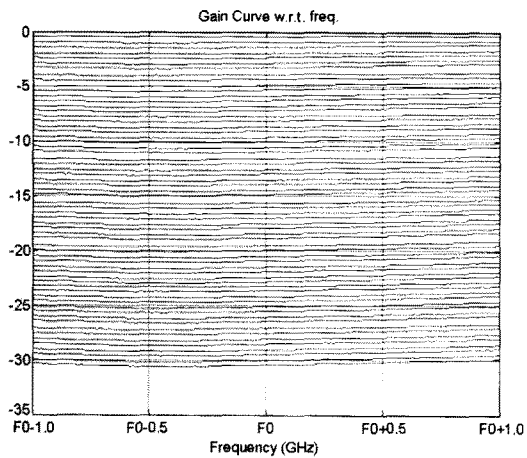


그림 18. 수신 이득 변화 측정 결과  
Fig. 18. The result of normalized gain variation for receive mode(64 states).

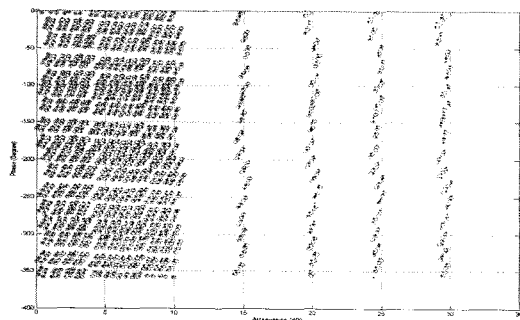


그림 19. 수신 이득/위상 map  
Fig. 19. Gain-phase map for receive mode.

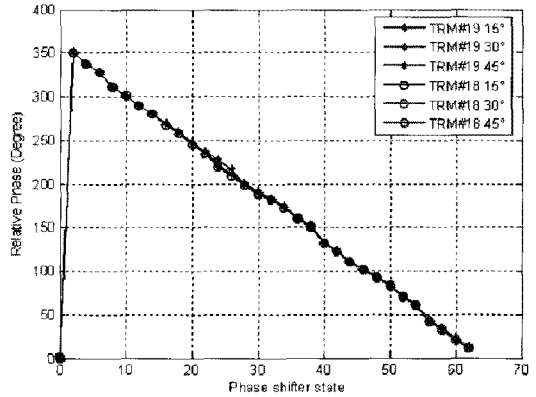


그림 20. 온도 변화에 따른 상대적 위상 오차  
Fig. 20. Relative phase variation with changing temperature.

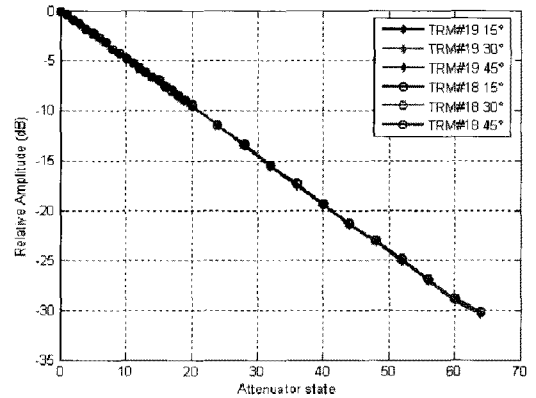


그림 21. 온도 변화에 따른 상대적 이득 오차  
Fig. 21. Relative gain variation with changing temperature.

이로 인해 생기는 절대적 위상 오차나 이득 오차는 조금씩 발생하지만, 절대치를 기준으로 온도 변화에 따른 제어되는 상대적인 위상 오차나 이득 오차는 아주 우수하게 제어됨을 알 수 있다. T/R 모듈별 온도 변화에 따른 상대적 위상 오차 및 이득 오차는 각각 그림 20, 21과 같다.

그리고, SAR용 T/R 모듈에 적합하기 위해서 on-line 보정이 가능하게 하는 방향성 결합기 및 전력 분배기의 특성도 설계(방향성 결합기 30 dB, 전력 분배기 3 dB) 대비 보정 경로의 삽입 손실은 32 dB 정도로 아주 양호하게 측정되었다.

다음은 제작된 펄스 gating 회로의 응답 속도를 측정 한 결과이다. 펄스 모드의 측정 운용 시 빠른 속도

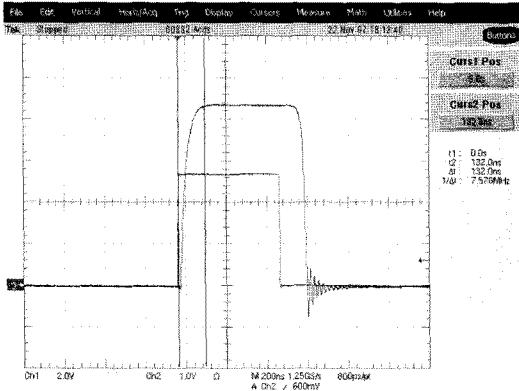


그림 22. Gating 회로의 상승 속도 측정 결과(상승 시간=132 ns)

Fig. 22. The measured result of rise response time for gating circuit(rising time=132 ns).

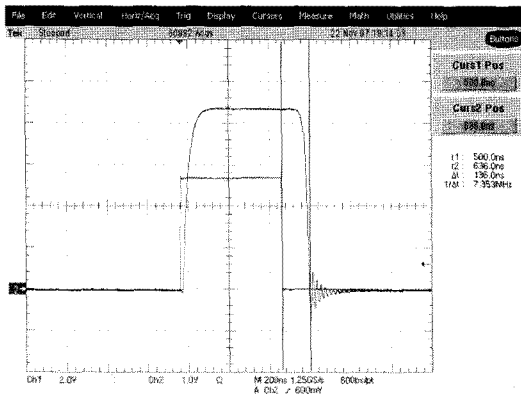


그림 23. Gating 회로의 하강 속도 측정 결과(상승 시간=136 ns)

Fig. 23. The measured result of fall response time for gating circuit(falling time=136 ns).

로 정상적인 모드로 전환하여 송신단 HPA가 구동하도록 하여야 한다. Gating 회로의 상승/하강 속도는 요구사항인 200 ns 미만으로 개발 목표 규격을 모두 충족하였다. 그림 22, 23에서와 같이 상승 속도는 132 ns를 나타내었고, 하강 속도는 136 ns를 나타내었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 X-대역 SAR용 능동 위상 배열 안테나에 필요한 기능과 고 신뢰성을 가지는 T/R 모듈

을 구현, 측정하였다. 시험을 통해 제작된 T/R 모듈의 전기적 개발 목표 성능을 충족함을 확인하였다. 수신 잡음 지수 3.2 dB 이하, 송신 출력 38.5 dBm(7 W 이상)의 우수한 특성을 확인하였고, 위상 제어 및 이득 제어 정확도 또한 우수한 성능을 확인하였다. 향후 SAR용 능동 위상 배열 안테나에 적용하기 위해서는 온도와 다양한 환경 조건에서 발생하는 위상 및 이득 오차의 보정 기법을 on-line 보정 경로를 통해서 오차가 보정될 수 있는 연구가 반드시 필요하며, 이에 대한 추가적인 연구를 할 계획이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Wulf-Dieter Wirth, "Radar techniques using array antennas", *The Institution of Electrical Engineers*, pp. 329-377, 2001.
- [2] C. A. Wiley, "Synthetic aperture radars", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 440-443, May 1985.
- [3] C. W. Sherwin, J. P. Ruina, and R. D. Rawcliffe, "Some early developments in synthetic aperture radar systems", *IRE Transactions on Military Electronics*, vol. MIL-6, no. 2, pp. 111-115, Apr. 1962.
- [4] M. Ludwig, H-P. Feldle, and H. A. Ott, "A miniaturised X-Band T/R-module for SAR-systems based on active phased array techniques", *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 2063-2065, Jul. 1995.
- [5] Andreas Klaassen, Rolf Reber, and Michael Ludwig, "A precision T/R module for X-Band SAR applications with a transmit chain in HBT-technology", *GAAS 1999*, Bologna, Italy, Oct. 1999.
- [6] P. Capece, "Active SAR antennas: Design, development, and current programs", *International Journal of Antennas and Propagation Volume 2009 (2009)*, Article ID 796064, Feb. 2009.
- [7] A. Agrawal, R. Clark, and J. Komiak, "T/R module architecture tradeoffs for phased array antennas", *IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 995-998, Jun. 1996.

정민길



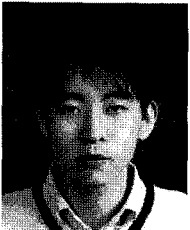
1994년 2월: 경상대학교 전자공학과 (공학사)  
1996년 2월: 경상대학교 전자공학과 (공학석사)  
1996년 7월~현재: LIG넥스원(주) 책임연구원  
[주 관심분야] 초고주파 회로 및 시스템, 능동 위상 배열 레이더

이종환



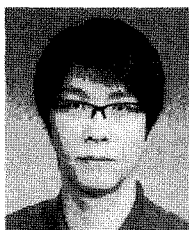
1998년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2005년 1월~2006년 10월: (주)삼성탈레스 책임연구원  
2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)  
2006년 10월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
[주 관심분야] 초고주파 회로 및 시스템

김상근



2005년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
2007년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
2007년 2월~현재: LIG넥스원(주) 주임연구원  
[주 관심분야] 초고주파 능동회로 설계, 초고주파 송수신

이동우



2003년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2005년 2월: 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
2005년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원  
[주 관심분야] 영상레이다 안테나 설계

나형기



1991년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)  
1993년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)  
1996년 1월~현재: LIG넥스원(주) (LG정밀, LG이노텍, NEX1Future) 선임연구원, 책임연구원, 수석연구원

[주 관심분야] 안테나 및 능동위상 배열 레이더

백승훈



1985년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
1987년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
1987년 2월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원(초고주파연구센터장)  
[주 관심분야] 능동위상 배열 레이더