

# 고집적 송수신기를 위한 밀리미터파 LTCC Front-end 모듈

## Millimeter-wave LTCC Front-end Module for Highly Integrated Transceiver

김봉수 · 변우진 · 김광선 · 은기찬\* · 송명선

Bong-Su Kim · Woo-Jin Byun · Kwang-Seon Kim · Ki-Chan Eun\* · Myung-Sun Song

### 요 약

본 논문에서는 40 GHz 대역에서 동작하는 IEEE 802.16 고정 무선 통신을 위한 천이, 소형 TDD 송수신 모듈의 front-end 모듈을 설계하고 구현하는 방법을 제안한다. 제안된 모듈은 저손실과 소형화를 동시에 달성하기 위하여 캐비티 공정을 가지는 다층 LTCC 기술을 이용하여 제작되었다. 스위치의 입출력단에 와이어본드 정합 회로의 설계 및 안테나와의 연결을 위한 도파관 천이 구조를 통해 저손실의 천이를 얻었으며, 기존 금속 도파관 필터를 대체한 유전체 도파관 필터를 사용함으로써 소형화를 달성하였다.

이를 구현하기 위해 유전율 7.1, 두께 100 um인 총 6층의 LTCC 기판을 사용하였으며 제작된 소형 front-end 모듈의 크기는 30×7×0.8 mm<sup>3</sup>이다. 그리고 송수신 삽입 손실 < 5.3 dB, 이미지 신호 제거 > 49 dB의 우수한 천이를 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this paper, design and implementation of a very compact and cost effective front-end module are presented for IEEE 802.16 FWA(Fixed Wireless Access) in the 40 GHz band. A multi-layer LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) technology with cavity process to achieve excellent electrical performances is used to fabricate the front-end module. The wirebond matching circuit design of switch input/output port and waveguide transition to connect antenna are optimally designed to keep transmission loss low. To reduce the size of the front-end module, the dielectric waveguide filter is developed instead of the metal waveguide filter. The LTCC is composed of 6 layers(with the thickness of a layer of 100 um) having a relative dielectric constant of 7.1. The front-end module is implemented in a volume of 30×7×0.8 mm<sup>3</sup> and shows an overall insertion loss < 5.3 dB, and image rejection value > 49 dB.

Key words : Millimeter-wave, Front-end, LTCC

### I. 서 론

지식 정보화 시대에 무선 통신 시스템은 이미 포화상태의 기존 주파수 대역이 아닌 새로운 주파수의 발굴이 필요하며, 이러한 광대역, 고속 통신을 가능하게 할 수 있는 주파수로써 밀리미터파 대역의 응

용은 중요하다고 할 수 있다. 하지만, 밀리미터파 대역의 통신 시스템은 개별 소자로 구성되어서 크고, 고가이기 때문에 이 대역이 범용화 하는데 있어서 단점으로 작용했다. 이런 단점을 극복하고 RF 부품 용으로 사용하기 위하여 대량 생산에 적용해 왔던 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic) 기술을 이

한국전자통신연구원 디지털방송연구단(Radio Technology Research Group Wide RF Research Team, Electronics and Telecommunication Research Institute(ETRI))

\*한국정보통신대학교 전자공학과(School of Electronic Engineering, ICU)

· 논문 번호 : 20060801-089

· 수정완료일자 : 2006년 10월 10일

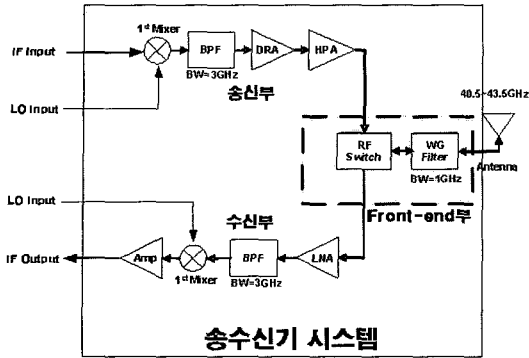


그림 1. LTCC 송수신 모듈의 구조  
Fig. 1. Structure of LTCC transceiver module.

용하여 밀리미터파 대역용 통신 시스템의 소형화, 저렴화와 저손실의 소자 및 패키징 기술에 대한 많은 연구가 진행되었다. 특히, LTCC를 이용한 SiP (System in a Package) 기술의 경우 26 GHz 대역의 접대 다점 통신용 송수신기<sup>[1]</sup> 구현되었으나 안테나와의 직접 연결을 고려하지 않았으며, 60/72 GHz 대용량 전송 장치<sup>[2-4]</sup>가 개발되었으나 필터가 플립칩 형태의 실장이 필요한 단방향 구조이다. 그리고 60 GHz SiP 송수신기<sup>[5]</sup>의 단거리 무선통신용 시스템이 LTCC를 이용해 제안되었다.

본 논문에서는 위 논문에서 언급된 문제점들을 해결하기 위해 안테나와의 저손실 연결을 고려한 새로운 구조를 설계하였다. 그리고 필터를 외부에서 실장하지 않고 내부에 구현하여 추가적인 공정을 제거할 수 있는 양 방향 통신 front-end 모듈을 구현하였다. 이를 위해 LTCC 기술을 이용하여 고정 장거리 통신용 표준인 IEEE 802.16 FWA(Fixed Wireless Access) 규격에 적합한 저손실, 초소형, 저가격 front-end 모듈의 설계 및 구현 방법을 제안한다. Front-end 모듈을 적용한 전체 송수신기 시스템의 적층 개념도가 그림 1에 나타나 있다. 전체 구조는 타 소자와의 연결을 위한 PCB 기판과 하우징 및 접지를 위한 금속 기구물을 중간에 가진다. 그리고 PCB 기판과 기구물을 경계로 상면에는 송수신기가 위치하고 하면에는 안테나가 있으며, 이를 통하여 신호가 방사된다.

밀리미터파 송수신기는 기능상 크게 3가지로 구분할 수 있다.

첫째, 2.4 GHz 대역 IF 신호가 서브-하모닉 믹서를

거쳐 40 GHz RF 신호로 상향 변환된 후 LO 제거 필터를 거쳐 고 출력 증폭기로 증폭된 후 front-end부로 전달되는 송신부, 둘째, front-end부로부터 입력된 수신 신호를 저잡음 증폭하고 이미지를 제거한 후 믹서를 거쳐 하향 변환된 2.4 GHz 대역 IF 신호를 원하는 신호 크기로 증폭하는 수신부, 셋째, TDD용 송수신기로 동작하기 위한 스위치와 유전체 도파관 필터 그리고 안테나와 저손실 연결을 위한 천이 회로로 구성된 front-end부로 나눌 수 있다.

Front-end부는 송수신부와 안테나 사이에 위치하며 스위치 제어를 통해 송수신을 구분한다. 그리고 송신단의 LO 제거와 대역의 스퓨리어스 규격 그리고 수신단의 이미지 제거하기 위해 LTCC 비어 및 패턴 공정을 사용하여 설계된 유전체 도파관 필터를 패키지 내부에 집적하였다. 따라서, 금속 도파관 필터를 사용하는 것에 비하여 초소형의 모듈을 구현할 수 있다. 그리고 유전체 도파관 필터와 안테나 사이에 신호를 전송하기 위하여 PCB 기판과 금속 기구물을 통하여 안테나와 연결하여야 한다. 본 논문에서는 이를 연결하는 방법으로 PCB 기판과 기구물을 WR-22 표준 도파관 형태로 가공하여, 유전체 도파관과 표준 도파관 사이에 형성시키는 새로운 천이 구조를 제안한다. 그리고 이들 각 기능을 하나의 패키지 내에 구현하기 위해서 스위치와 유전체 도파관 필터 사이에 마이크로스트립 대 유전체 도파관 천이와 유전체 도파관 필터와 금속 도파관 천이부에 사이에 2층 대 6층 도파관 천이 구조가 추가로 설계되었다. 그리고 solder 공정을 사용할 수 있는 표면 실장형 구조로 설계함으로써 저가격으로 모듈을 구현할 수 있는 장점이 있다.

LTCC 기판의 3-D simulation을 하기 위하여 CST MWS ver5.0<sup>[6]</sup>을 사용하였다. Front-end 모듈을 구현하기 위하여 사용한 기판은 유전율 7.1, 유전 손실은 40 GHz에서 0.002를 가지는 Dupont사의 DP-943이다.

## II. 밀리미터파 LTCC Front-end 모듈 설계

### 2-1 밀리미터파 LTCC Front-end 모듈 요구사항

본 논문의 밀리미터파 LTCC Front-end 모듈은 그림 2에서 보여지는 송수신 모듈에 포함되어 있으며

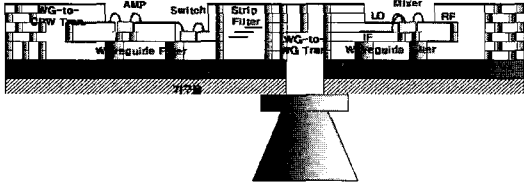


그림 2. LTCC 송수신 모듈 개념도  
Fig. 2. Concept of LTCC front-end module.

기능상 크게 3가지로 구분할 수 있다.

첫째, 40.5~43.5 GHz 주파수 대역에서 동작하는 TDD(Time Division Duplexing) 방식의 송수신 신호를 분리시키기 위한 스위치는, 상용 MMIC 스위치 (Skyworks사의 AP038R5-00)를 사용하고, LTCC 캐비티 공정을 이용하여 구현하였다. 둘째, 40.5~43.5 GHz의 3 GHz 대역폭 신호를 1 GHz 대역폭으로 나누어 총 3개의 사업자에 할당을 하기 위한 유전체 도파관 필터는<sup>17)</sup>, 송신단의 LO 신호 제거, 대역의 스푸리어스 억제와 수신단의 이미지 신호를 제거하는 기능을 가지고 있다. 유전체 도파관 필터는 LTCC 패키지 내층에 존재하여 비어(via)와 패턴 공정을 통해 구현된다. 마지막으로, 표준 혼(horn) 안테나와의 저손실 연결을 위한 유전체 도파관 대 표준 도파관 (WR- 22) 천이 구조가 필요하다. 시스템에서 안테나 전단의 출력 전력값은 15 dBm 이상을 요구하며 상용 HPA MMIC(TRW APH474)의 출력 P1 dB는 25 dBm 정도이므로 3 dB back off을 감안하면 front-end 모듈에서의 삽입 손실은 7 dB 이하를 가져야 한다. 그리고 수신단의 전체 NF 값의 11 dB이며 상용 LNA(UMS CHA2194)를 사용할 경우 수신부의 NF는 5 dB이며, 그러므로 front-end 모듈의 삽입 손실은 6 dB 이하여야 한다. 이를 바탕으로 front-end 모듈의 삽입 손실은 6 dB 이하로 설정하였다.

표 1에 나타나 있는 요구사항은 10~66 GHz 대역 고정 통신용 스펙인 IEEE 802.16의 링크 버짓을 통해 front-end 모듈의 요구사항을 정리한 것이다.

## 2-2 밀리미터파 Front-end부의 구성 부품 설계, 제작 및 측정

### 2-2-1 밀리미터파 SPDT 스위치

TDD 방식의 밀리미터파 고정 무선 통신 시스템은

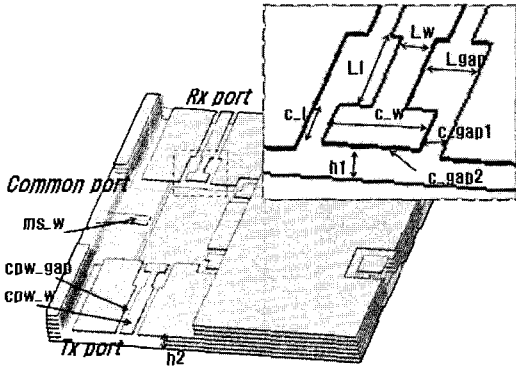
표 1. 40 GHz 대역 LTCC front-end 모듈 요구사항  
Table 1. Specification of LTCC front-end module at 40 GHz band.

	요구사항	비고
RF/IF 주파수	40.5~41.5 GHz	전체는 40.5~43.5 GHz
송/수신 삽입 손실	< 6 dB	
송/수신 격리도	> 30 dB	
수신 이미지 제거값	> 50 dBc	
송/수신부 연결 형태	CB-CPW	
안테나 연결 형태	WR-22	

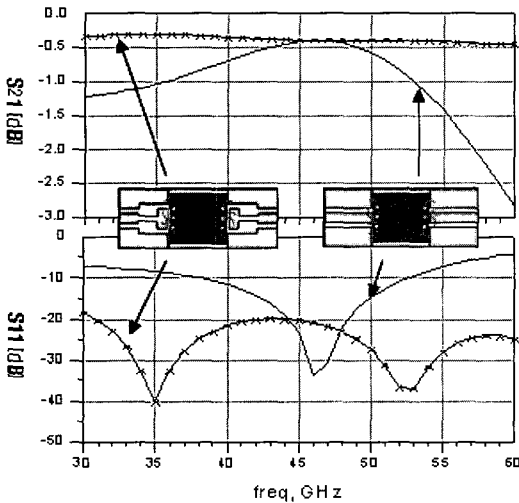
송수신 주파수를 공유하며 시간을 나눠서 송신과 수신을 분리하는 방식이다. 그러므로 써클레이터나 스위치를 사용해 송신과 수신을 분리하고 안테나와 필터를 공유하는 구조를 가진다. 하지만, 써클레이터는 제어 회로가 필요 없는 장점이 있지만, 크기가 크고, 격리도 특성이 나빠며, LTCC 패키지에 집적하는 것이 어렵기 때문에, pin diode로 설계된 상용 MMIC 스위치를 사용한다. 그림 3(a)를 보면 3개의 포트를 가지는 LTCC를 이용한 스위치 패키지 구조가 나타나 있다. 송수신 연결부는 저 손실 성능을 얻기 위해 CB\_CPW 전송 선로를 사용했으며, 스위치와의 와이 어본딩에서 발생하는 손실을 방지하기 위해 정합 회로를 구현하였다.

일반적으로 본드와이어는 인덕턴스 성분을 나타내며, 그로 인해 주파수가 증가함에 따라 손실이 증가하는 특성을 보인다. 그러므로 손실을 줄이기 위해서는 본드와이어를 2개 사용해 인덕턴스 성분을 줄이거나<sup>8)</sup>, L-C-L 정합 회로를 이용해 원하는 주파수의 손실을 줄이는 방법을 사용한다<sup>9),10)</sup>. 그림 3(b)에 정합 회로의 유무에 따른 삽입 손실과 반사 손실의 시뮬레이션 특성이 비교되어 있다. 정합 회로를 사용하면 삽입 손실 0.3 dB, 반사 손실 7 dB 정도 성능이 개선됨을 확인할 수 있다. 그림 3의 스위치의 정합 회로를 설계하기 위한 변수 값이 표 2에 나타나 있다.

그리고 MMIC 스위치가 실장되는 부분은 전체 기판 중 하위 2층만을 남기고 캐비티 공정을 사용해 제거하고 하위 2층에는 다수의 비어를 사용해 접지를 시킨다. 이처럼 캐비티를 이용해 MMIC 소자를 LT-



(a) LTCC 스위치 패키지의 적층 구조  
(a) Multi-layer structure of LTCC switch package



(b) 정합 회로의 시뮬레이션 결과  
(b) Simulation result of matching circuit

그림 3. LTCC 스위치 회로의 구조 및 매칭 회로의 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Structure of LTCC switch package and simulation results of matching circuit.

CC 내부에 위치시키는 이유는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 비어를 이용한 접지의 경우, 비어의

층수가 많아지면 그로 인해 발생하는 인덕턴스 성분이 증가하게 되며 이는 주파수가 높아질수록 심각해진다. 두 번째는 송수신부와 유전체 도파관 필터와의 연결을 짧게 해서 손실을 줄이기 위해서이다. 마지막으로 구현된 front-end 모듈의 차폐를 위한 하우징에서 간단히 금속 뚜껑을 LTCC 기판의 최상위면에 위치함으로써, 간단하면서 저렴한 패키징을 구현하고자 하였다.

### 2-2-2 밀리미터파 유전체 도파관 필터

LTCC 공정을 사용한 도파관 필터를 설계하기 위해서는 우선 다음의 공식에 보듯이 유전율이 변함에 따라 공기 중에서 설계된 도파관의 전체 크기를 x, y, z 축 모두에서  $1/\sqrt{\epsilon_r}$ 의 비율로 일정하게 축소해야 한다<sup>[11]</sup>.

$$\lambda_g = 2\pi/\beta = 2\pi/\sqrt{k^2 - k_c^2} \tag{1}$$

식 (1)에서  $k = w\sqrt{\mu\epsilon}$ ,  $k_c = \sqrt{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2}$ 이며 밀리미터파(30 GHz~300 GHz) 정도의 고주파에서는  $k \gg k_c$ 인 관계가 있으므로 간략화를 통해  $\lambda_g$ 는  $\sqrt{\epsilon_r}$ 에 반비례함을 알 수 있다(여기서  $\lambda_g$ 는 도파관 파장,  $\beta$ 는 전파상수,  $k$ 는 물질의 파수,  $k_c$ 는 차단파수이다).

본 논문에서는 공기 환경에서의 도파관 필터를 유전율이 7.1이고 두께가 200 um(한 층의 두께가 100 um인 기판을 2층 사용)인 LTCC 기판을 사용하여 구현하였다. 식 (1)에 따라 유전율이 7.1인 기판을 사용할 경우 기본형 도파관 필터를 x, y, z 축으로 1/2.66씩 축소하면 된다. 또한 도파관 필터가 보통은 TE<sub>10</sub> 모드를 사용하는 특성상 z 축, 즉, 높이는 약간의 손실 증가 이외에 필터의 특성에는 거의 영향이 없다<sup>[9]</sup>. 이는 패키징 면에서 장점을 가지는 LTCC 공정을

표 2. 스위치를 구현하기 위한 물리적 매개 변수(단위: mm)

Table 2. Physical parameters to implement switch(Unit: mm).

변수	ms_w	cpw_w	cpw_gap	c_w	c_gap1	c_gap2	c_l	l_w	l_gap	l_l	h1	h2
값	0.26	0.24	0.1	0.45	0.1	0.05	0.25	0.14	0.235	0.45	0.1	0.3

- ms\_w(마이크로스트립 선로 폭), cpw\_w, cpw\_gap(CPW 선로 폭, 접지 사이 간격), c\_w, c\_gap1, c\_gap2, c\_l(C 성분의 폭, 접지 사이 간격, 캐비티 사이 간격, 길이), l\_w, l\_gap, l\_l(L 성분 폭, 접지 사이 간격, 길이), h1, h2(MMIC 실장 캐비티 높이, 선로의 높이).

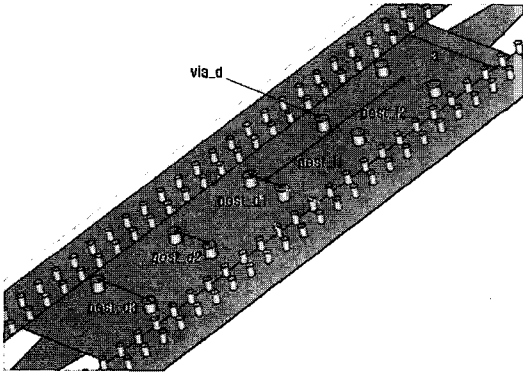
사용하여 제작될 경우, 입/출력단에 위치한 능동 소자들과의 연결이 매우 용이해진다. 이들 사실로부터 유전율이 큰 기판을 사용함으로써 약간의 손실을 감

표 3. 도파관 필터를 LTCC 상에 구현하기 위한 물리적 매개 변수(단위: mm)

Table 3. Physical parameters to implement waveguide filters on LTCC(Unit: mm).

변수	a	비어_d	post_d1	post_d2	post_d3	post_l1	post_l2
값	2	0.23	0.8	0.82	1.21	1.82	1.67

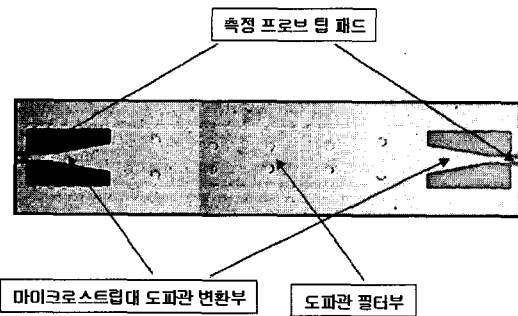
- a(유전체 도파관 높이), 비어\_d(커플링 비어의 지름), post\_d1, d2, d3(커플링 비어 사이의 거리), post\_l1, l2(유전체 캐비티 사이의 거리).



(a) 유전체 도파관 필터  
(a) Of dielectric WG filter

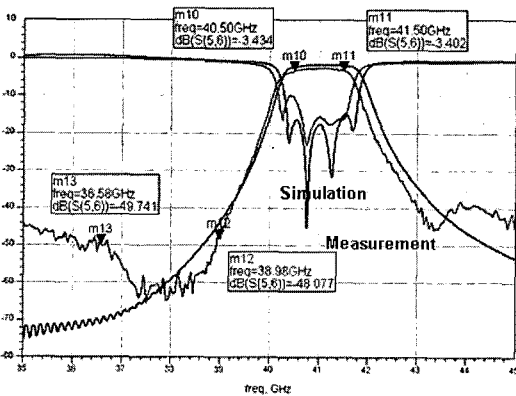
안하면 도파관 필터의 전체 크기를 크게 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

설계된 유전체 도파관 필터의 3차원 구조가 그림 4(a)에 잘 나타나 있다. 두 줄의 비어 열을 사용한 비어 벽이 유전체 도파관 양쪽 벽면을 형성하고 내부에 두 개의 큰 비어를 사용해 결합 특성을 만든다. 양쪽 벽면을 한 줄의 비어로 대체하는 것보다 두 줄의 비어 배열을 사용하는 것이 훨씬 적은 손실을 보이며 이들 손실의 대부분은 유전체를 통해 비어 사이의 틈으로 신호 누수가 발생하기 때문이다. 그리고 같은 두 줄의 비어 배열이라 하더라도 비어 사이의 간격이 좁을수록 훨씬 더 우수한 전달 특성을 보이며 완전한 금속 벽면인 경우의 주파수 특성에 가깝게 접근한다<sup>[12]</sup>. 그림 4의 유전체 도파관 필터의 설계를 위한 변수 값이 표 3에 나타나 있다.



(b) 필터 제작 사진  
(b) Photograph of fabricated filter

유전체 도파관 필터의 제작 사진과 측정 결과를 그림 4(b)와 (c)에서 보였다. 프로브 스테이션(probe station)으로 측정하기 위해 입출력 포트에 CB\_CPW 형태의 패드와 마이크로스트립 대 유전체 도파관 천이 구조를 양쪽에 추가하였다. 측정 결과, 주파수 범위는 40.5~41.5 GHz에서 back-to-back 삽입 손실 < 3.4 dB(양쪽 천이 포함), 반사 손실 < 10 dB, 이미지 제거 > 49 dB, LO 제거값 > 48 dB의 우수한 성능을 나타내었으며 전체 크기는 16×4×0.8 mm<sup>3</sup>이다.



(c) 시뮬레이션 및 측정 결과  
(c) Simulation and measured results

2-2-3 유전체 도파관 대 표준 도파관 천이

송수신 모듈은 최종적으로 자유공간으로 신호를 전파하기 위해 안테나와 연결된다. 그림 1의 개념도에서 보인 바와 같이 안테나는 송수신 모듈의 반대편에 위치하며 도파관 혼 안테나 또는 도파관 인터페이스를 가지는 패치 안테나 등의 다양한 형태를

그림 4. 유전체 도파관 필터 설계 및 제작 결과  
Fig. 4. Transition structure for dielectric waveguide filter.

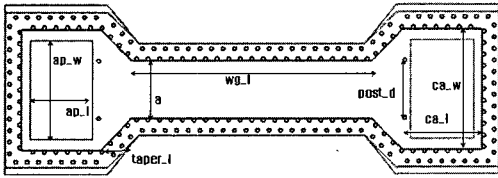
가질 수 있다. 이를 위해 송수신 모듈과 안테나 사이에 위치한 PCB 기판과 금속 기구물은 WR-22 형태의 도파관을 형성한다. 이는 front-end부의 유전체 도파관 필터를 통과한 유전체 도파관과 직각으로 위치한 금속 WR-22 도파관과의 천이 구조가 필요함을 의미한다. 그림 5(a)는 설계된 천이 구조의 레이아웃을 보여준다. 이 천이 구조에서 중요한 부분은 크게 2가지이다. 우선 캐비티 구조로써 공진에 의해 주파수를

표 4. 도파관 천이 구조를 구현하기 위한 물리적 매개 변수(단위: mm)

Table 4. Physical parameters to implement waveguide transition structure(Unit: mm).

변수	a	ap_w	ap_l	taper_l	ca_w	ca_l	post_d	wg_l
값	2	3.41	2.16	1.08	4.15	2.72	2	12

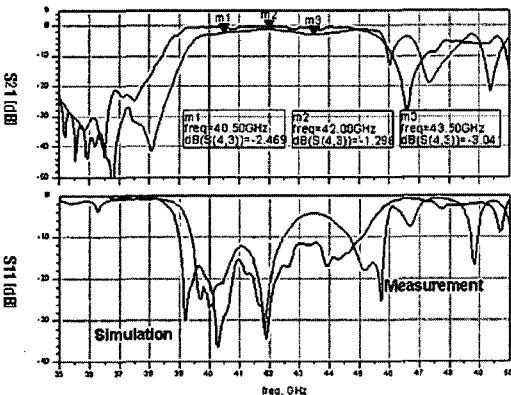
- a(유전체 도파관 높이), 비어\_d(커플링 비어의 지름), post\_d1, d2, d3(커플링 비어 사이의 거리), post\_l1, l2 (유전체 캐비티 사이의 거리).



(a) 도파관 천이 구조 레이아웃  
(a) Layout of WG transition



(b) 도파관 천이 구조 측정 기구물 사진  
(b) Photograph of WG transition fixture



(c) 시뮬레이션과 측정 결과 비교  
(c) Simulation and measured results

그림 5. LTCC 유전체 도파관 대 표준 도파관 천이 구조

Fig. 5. Structure of LTCC dielectric waveguide vs. standard waveguide(WR-22) transition.

결정하는 역할을 하며 변수로는 캐비티의 폭, 길이, 높이가 있다. 두 번째는 개구(aperture)의 구조이며, 표준 도파관과의 결합량을 결정하여 주어진 주파수에서의 성능을 결정하며 변수로는 개구의 폭과 길이가 있다. 물론 이들 둘은 밀접하게 연관되어 있으며 추가적인 성능 향상을 위해 캐비티 내부에 두 개의 포스트를 이용해 정합을 맞출 수도 있다. 그림 5(b)는 제작된 도파관 천이 회로를 측정하기 위한 기구물을 보여준다. 그림 5의 도파관 천이 구조에 대한 변수 값이 표 4에 나타나 있다.

그림 5(c)에 시뮬레이션과 측정 결과가 나타나 있으며 40.5~42.5 GHz 대역에서 back-to-back 삽입 손실 < 3 dB, 반사 손실 < 10 dB 이하의 성능을 나타내었다. 삽입 손실이 다소 크게 나타난 것은 측정을 위하여 사용한 도파관 어댑터 사이의 최소 거리를 유지하기 위해 유전체 도파관의 길이가 길어졌기 때문이며 그림 5에 보이는 것처럼 도파관 어댑터와 기구물의 손실이 포함되어 있기 때문이다. 추가적인 측정을 통하여 한 개의 도파관 어댑터의 손실은 0.3 dB, 기구물의 손실은 0.1 dB, 1.2 cm 길이의 유전체 도파관의 손실은 0.8 dB로 측정되었으며 이를 고려하면 한 개의 도파관 천이 구조의 손실은 약 0.7 dB 이내인 것으로 판단된다. 전체 back-to-back 천이 구조의 크기는 20×6×0.8 m<sup>3</sup>이다.

### III. 밀리미터파 LTCC Front-end 모듈 제작 및 측정

2절에서 설계한 스위치, 도파관 필터, 도파관 천이 구조를 연결하여 설계된 최종 front-end 모듈이 그림 6에 나타나 있다. 그림 6에서는 각 층의 패턴과 바이만을 표시하였다.

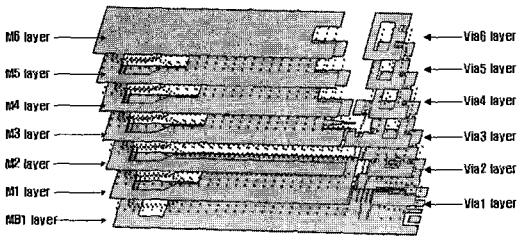


그림 6. LTCC front-end 모듈 적층 구조  
Fig. 6. Multi-layer structure of LTCC front-end module.

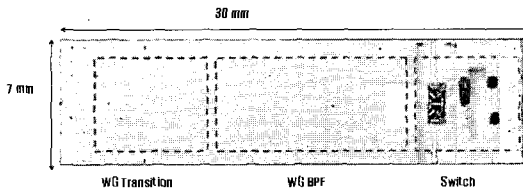


그림 7. 제작된 front-end 모듈의 사진  
Fig. 7. Photo of fabricated front-end module.

설계된 front-end 모듈의 제작을 위해 총 6층 LTCC 기판을 사용하였으며 MB1~M6의 7개 패턴, 비어 1~비어 6의 6개 비어 패턴, 그리고 캐비티 패턴을 사용해 설계되었다. 단일 LTCC 기판의 높이는 초기 상태에 125  $\mu\text{m}$ 이며 소성 후 100  $\mu\text{m}$ 로 줄어든다. 그리고 모듈에 사용된 비어는 총 2가지 종류로 도파관 필터 내부에 결합용 포스트(지름 0.23 mm)와 나머지 대부분을 차지하는 접지 및 도파관 벽을 위

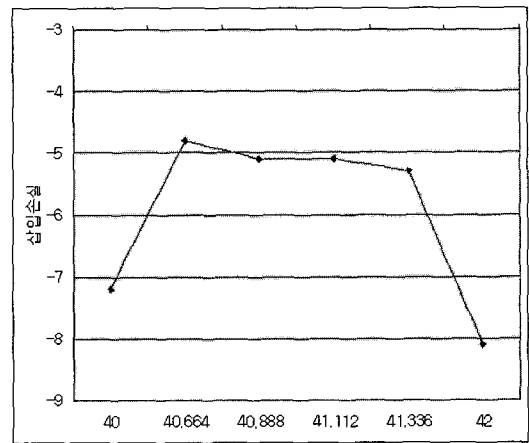
표 5. LTCC front-end 모듈의 측정 결과  
Table 5. Measurement results of LTCC front-end module.

	요구사항	측정값	비고
RF/IF 주파수	40.5~41.5 GHz	40.5~41.5 GHz	도파관 필터에 따름
송/수신 삽입 손실	< 6 dB	< 5.3 dB	
송/수신 격리도	> 30 dB	> 30 dB	스위치 특성에 따름
수신 이미지 제거값	> 50 dB	> 49 dB	도파관 필터의 값
송/수신부 연결 형태	CB-CPW	CB-CPW	
안테나 연결 형태	WR-22	WR-22	

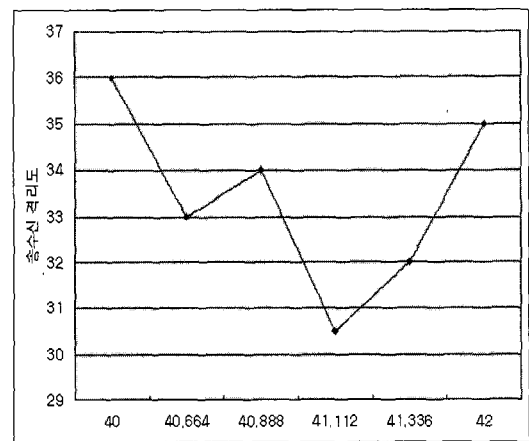
한 비어(지름 0.13 mm)가 있다.

그림 7은 제작된 front-end 모듈을 보여준다.

40 GHz 대역의 front-end 모듈을 측정하기 위해서 Anritsu사의 VNA(37397C), Agilent사의 Spectrum Analyzer(8565EC)를 사용하였다. 이를 바탕으로 구현된 40 GHz 소형 Front-end 모듈의 크기는  $30 \times 7 \times 0.8 \text{ mm}^3$ 이며, 전체 삽입 손실은 5.3 dB 이하, 이미지 제거값 49 dB 이상, 송/수신 격리도 30 dB 이상의 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 자세한 측정값은 그림 8과 표 5에 요약해 놓았다.



(a) Front-end 모듈의 삽입 손실  
(a) Insertion loss of front-end module



(b) Front-end 모듈의 송수신 격리도  
(b) Tx/Rx isolation of front-end module

그림 8. 제작된 front-end 모듈의 삽입 손실과 송수신 격리도 측정값

Fig. 8. Measured insertion loss and Tx/Rx isolation of fabricated front-end module.

#### IV. 결 론

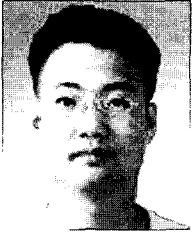
본 논문은 40 GHz 대역 고정 통신용 밀리미터파 송수신기에 사용할 수 있는 새로운 front-end 모듈의 구조를 제안하였다. 삽입 손실을 줄이기 위해 front-end 모듈의 와이어 본딩을 정합하고 소자 사이의 저손실 천이 구조를 사용하였다. 그리고 소형의 고집적 모듈을 구현하기 위하여 LTCC 기판 내부에 도파관 필터를 구현함으로써 전체 크기를 획기적으로 줄일 수 있었다. 또한 PCB 기판을 통하여 제안된 모듈은 solder를 이용하여 PCB 기판 위에 탑재가 가능하므로, 가격이 저렴한 장점을 가지고 있다. 그러나 전체 RF 시스템에서 가장 큰 손실을 차지하는 유전체 도파관 필터의 손실이 줄어려는 시도가 있어야 하며 정확한 측정을 위해 입/출력 포트가 프로브 팁과 도파관으로 이루어진 소자에 대한 측정 방법에 연구도 추가적으로 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Kulke, G. Möllenbeck, W. Simon, A. Lauer, and M. Rittweger, "Point-to-multipoint transceiver in LTCC for 26 GHz", *IMAPS-Nordic, Proceedings*, pp. 50-53, Sep.-Oct. 2002.
- [2] Keiichi Ohata et al., "1.25 Gbps wireless gigabit Ethernet link at 60 GHz-band", *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, vol. 1, pp. 373-376, Jun. 2003.
- [3] Atsushi Yamada et al., "60 GHz Ultra compact transmitter/receiver with a low phase noise PLL-Oscillator", *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, vol. 3, pp. 2035-2038, Jun. 2003.
- [4] K. Maruhashi et al., "Small-size 72-GHz-band transceiver modules utilizing IF self-heterodyne transmission technology", *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 1045-1048, Jun. 2003.
- [5] Young Chul Lee et al., "Monolithic LTCC SiP transmitter for 60 GHz wireless communication terminals", *Microwave Symposium Digest, 2005 IEEE MTT-S International*, pp. 1015-1018, Jun. 2005.
- [6] CST MWS ver.5.0.
- [7] B. S. Kim, J. W. Lee, K. S. Kim, and M. S. Song, "PCB substrate integrated waveguide-filter using via fences at millimeter-wave", *Microwave Symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 1097-1100, Jun. 2004.
- [8] T. P. Budka, "Wide-bandwidth millimeter-wave bond-wire interconnects", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 49, Issue 4, pp. 715-718, Apr. 2001.
- [9] F. Alimenti, P. Mezzanotte, L. Roselli, and R. Sorrentino, "Modeling and characterization of the bonding-wire interconnection", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 49, Issue 1, pp. 142-150, Jan. 2001.
- [10] Sang-Ki Yun, Hai-Young Lee, "Parasitic impedance analysis of double bonding wires for high-frequency integrated circuit packaging", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 5, Issue 9, pp. 296-298, Sep. 1995.
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed., Addison-Wesley, pp. 160-171, 1998.
- [12] 김봉수, 이재욱, 김광선, 강민수, 송명선, "밀리미터파 대역에서 Via Fence를 이용한 PCB 기판용 유전체 도파관 필터 설계", *한국전자과학회 논문지*, 15(1), pp. 73-80, 2004년 1월.



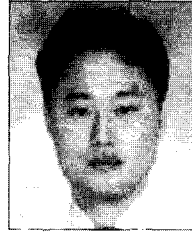
김 봉 수



1999년 2월: 충남대학교 정보통신 공학과 (공학사)  
2001년 2월: 충남대학교 정보통신 공학과 (공학석사)  
2000년 12월~현재: 한국전자통신 연구원 디지털방송연구단 연구원

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 수동회로 해석 및 설계, 밀리미터파 RF/IF 시스템 분석

은 기 찬



2001년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학사)  
2003년 8월: 한국정보통신대학교 전자공학과 (공학석사)  
2003년 8월~2005년 12월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 연구원

2006년 1월~현재: 한국정보통신대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 수동 및 능동 회로 설계, 밀리미터파 RF 시스템분석

변 우 진



1992년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1995년 2월: KAIST 전기 및 전자공학 학과 (공학석사)  
2000년 2월: KAIST 전기 및 전자공학 학과 (공학박사)  
2004년 8월: 삼성전기(주) 책임연구원

2004년 9월~현재: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 선임연구원

[주 관심분야] RF 송수신기 설계, 안테나, 밀리미터파 수동소자 및 전자파 수치해석

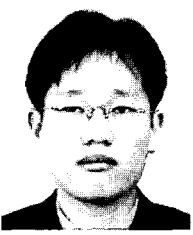
송 명 선



1984년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
1986년 2월~현재: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 광대역 RF연구팀장

[주 관심분야] 초고주파 및 밀리미터파 회로 설계, 응용시스템 개발

김 광 선



1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
2000년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2000년 4월~현재: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 선임연구원

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 발진기, PLL 설계, 밀리미터파 RF/IF 시스템 분석