

# 다중 폴 저역 통과 여파기가 내장된 K-대역 LTCC 주파수 상향 변환기

## Multi-Pole Low Pass Filter Embedded K-Band LTCC Upconverter

정진철 · 염인복 · 염경환\*

Jin-Cheol Jeong · In-Bok Yom · Kyung-Whan Yeom\*

### 요약

본 논문에서는 위성 탑재 부품의 중요한 요구 특성 중의 하나인 부품의 소형화를 위해 LTCC를 이용하여 Ka-대역 OBS 위성 중계기용 주파수 상향 변환기를 개발하였다. 주파수 상향 변환기 내에 적층으로 S-대역 저역 통과 여파기와 K-대역 대역 통과 여파기를 배치하였으며, 주파수 상향 변환 MMIC 혼합기를 조립하였다. S-대역 저역 통과 여파기 설계에서는 수정된 엘립틱(Elliptic) 저역 통과 여파기 구조를 이용하여 임의의 주파수에 폴을 형성함으로써 임의의 스포리어스 신호를 선택적으로 제거할 수 있는 방법을 제시하였다. K-대역 대역 통과 여파기의 경우, 층간 커플링을 이용한 구조를 채택하였다. 주파수 상향 변환 혼합기에는 MMIC 이중 평형 다이오드 혼합기를 사용하였다. 제작된 LTCC 주파수 상향 변환기의 삽입 손실은 9 dB, 격리도는 51 dBc이며, 크기는  $8 \times 7 \times 0.6 \text{ mm}^3$ 로 기 개발된 Ka-대역 OBS 위성 중계기용 주파수 상향 변환기에 비해 1/3 크기의 소형화를 이룰 수 있었다.

### Abstract

This paper presents a low temperature co-fire ceramics(LTCC) Upconverter for a Ka-band OBS satellite transponder in order for size reduction which is one of the most important requirement for satellite components. A S-band low-pass filter(LPF), a K-band band-pass filter(BPF), and an upconverting MMIC mixer are embedded in the multi-layer structure of the upconverter. All spurious can be selectively rejected by employing a modified Elliptic low pass filter with a multi-pole structure for the S-band LPF. Also an improved performance of out-of-band rejection can be obtained. At the K-band BPF design a layer coupled configuration is employed. The upconverting mixer is an MMIC diode mixer with a double-balanced configuration. Conversion loss and isolation of the upconverter are 9 dB and 51 dBc, respectively. The size of the LTCC upconverter is only  $8 \times 7 \times 0.6 \text{ mm}^3$  which is one-third for the thin-film based upconverter.

Key words : LTCC, Upconverter, Multi-Pole, Spurious Rejection, Satellite Transponder

### I. 서 론

오늘날 통신 기술의 발달로 저가의 다기능 통신 시스템용 RF 모듈이 요구되며, 이로 인해 소형화/집

적화된 부품이 필요하게 되었다.

소형화 및 집적화 측면에서는 LTCC(Low Temperature Co-Fired Ceramics) 기술이 주목 받고 있으며, LTCC를 이용한 저가의 소형화된 RF 부품과 패키지

「본 연구는 대덕특구개발특구지원본부의 대덕특구 해외 선진 연구소 유치 지원 사업의 일환으로 수행하였음(ETRI-NORSAT 위성단말시스템 연구개발센터유치).」

한국전자통신연구원 광역무선기술연구부(Global Area Wireless Technology Research Department, ETRI)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20080314-032

· 수정완료일자 : 2008년 5월 29일

에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Ku-대역 위성 통신용 모듈<sup>[1]</sup>, S-대역 무선 통신 모듈<sup>[2]</sup>, mm-대역 MMIC 패키지<sup>[3]</sup>, VSAT용 C-대역 송수신 모듈<sup>[4]</sup> 등에서와 같이 주파수 대역이나 적용 기술에 있어서 광범위하게 LTCC를 이용한 기술 개발이 진행되고 있다. 특히, 위성 탑재용 RF 부품의 경우, 그 무게는 위성 탑재체 제작 비용과 발사 비용에 직접적으로 관련된 부분이기 때문에 매우 중요한 특성으로 인식되며, 그 무게를 줄이기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있다. 부품의 부피와 무게를 줄이기 위한 일반적인 방법으로는 능동 부품에 대해 MMIC를 사용하는 것이다. 하지만 모듈 구성품 중 여파기와 같은 수동 소자들은 그 특성 때문에 크기를 줄이기가 힘들며 MMIC들과 2차원적으로 연결되는 형태이기 때문에 모듈의 크기를 줄이는 데에는 한계가 있게 된다. Ka-대역 OBS 위성 중계기용으로 기존 개발된 박막 기판과 MMIC 기반 주파수 상향 변환기의 경우, 모듈의 크기가  $126 \times 103 \times 27 \text{ mm}^3$ 이었고, 무게는 567 g인 결과를 보였다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 이와 같이 소형화에 어려움이 있는 주파수 상향 변환기를 LTCC를 이용하여 최소화된 크기로 개발하였다. 기존 개발된 박막 기판 기반 주파수 상향 변환기의 여파기와 혼합기 부분의 면적인  $23 \times 8 \text{ mm}^2$ 에 비해 그 크기가 1/3 가량 줄어든  $8 \times 7 \text{ mm}^2$ 인 결과를 보였다.

개발된 LTCC 주파수 상향 변환기 내에는 S-대역 저역 통과 여파기(LPF3G)와 K-대역 대역 통과 여파기(BPF20G)가 적층되어 있다. 저역 통과 여파기는 일반적으로 고주파 전단부(RF front-end)의 기저 대역(IF) 단에 위치하여 RF 단의 증폭기 및 혼합기가 발생시킨 스피리어스나 하모닉 신호와 같은 불필요한 성분을 제거함으로써 시스템의 성능을 향상시키는 중요한 부품이다. 일반적으로 스피리어스나 하모닉의 주파수는 혼합기에 의해 계산되는 값이기 때문에 어떠한 성분이 발생하는지 미리 알 수가 있다. 기 알고 있는 이러한 불요파 주파수 성분들을 저역 통과 여파기를 이용하여 선택적으로 제거하는 방법을 본 논문에서 제시하고자 한다. 본 논문에서는 주파수 상향 변환기의 입력에 들어오는 스피리어스에 대해 선택적으로 그들을 제거할 수 있는 저역 통과 여파기를 설계하였다. 엘립틱(Elliptic) 여파기를 일부 수정하여 임의의 스피리어스 주파수에 폴을 형성시켜

서 선택적으로 스피리어스 성분을 제거하는 여파기를 LTCC를 이용하여 구현하였다. 다중 폴에 대한 기존의 연구로는 L-대역 Hair-pin-Comline filter<sup>[6]</sup>, 박막 기판 기반 HTS(High-Temperature Superconducting)<sup>[7]</sup> 등이 있으며, 다중 폴 구조를 적용하여 급격한 대역 외 제거(sharp skirt) 특성과 우수한 스피리어스 제거 특성을 가지는 여파기를 구현하였다. 본 논문과는 달리 이들은 모두 평판형(planar type)의 여파기를 설계하였다. 저역 통과 여파기와 함께 LTCC 내에 적층되는 K-대역 대역 통과 여파기는 체비세프(Chebyshev) 타입의 평행 커플드(parallel coupled) 구조를 이용하였으며, 커플링 값을 키우기 위해 인접 층간에 커플링을 시키는 방법을 사용하였다. LTCC의 단점 중에 하나는 여러 종류의 부품들이 적층으로 배치되는 구조이기 때문에 부품간의 간섭이 생길 수 있다는 점이다. 본 설계에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 배치된 부품과 부품 사이에는 접지면(ground plan)을 배치하도록 설계하였다.

## II. 주파수 상향 변환기 설계

그림 1은 단순화된 OBS(On-Board-Switching) 위성 중계기의 구조도를 보이고 있다. OBS 위성 중계기는 30 GHz 대역에서 신호를 수신하여 20 GHz 대역에서 송신하는 단순(transparency) 위성 중계기와는 달리 30 GHz 대역의 상향 링크 수신 신호를 3 GHz 대역의 기저 대역 신호로 주파수 변환을 한 뒤 위성 스위치 기능을 수행한 후 20 GHz 대역의 하향 링크 신호로 변환하여 송신하는 구조로 되어 있다. 단순 중계기보다는 구조가 복잡한 반면 중계기의 이용 효율을 높일 수 있다는 장점이 있는 구조이다. OBS 위성 중계기에서는 단순 중계기와는 달리 주파수 상향 변환기가 필요하게 되었고, 기존에 박막 기판 기반의 주파수 상향 변환기 모듈이 소개되었다<sup>[5]</sup>. 본 논

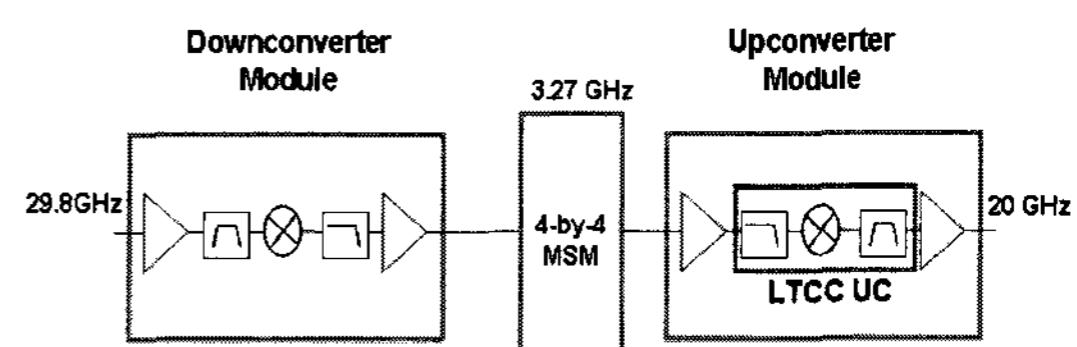


그림 1. 단순화시킨 OBS 위성 중계기

Fig. 1. Simplified OBS satellite transponder.

문에서는 주파수 상향 변환기 모듈의 소형화 개발을 위한 첫 단계로서 그림 1의 LTCC UC 부분과 같이 입력 여파기와 출력 여파기와 MMIC 혼합기로 구성된 간단한 형태의 LTCC 주파수 상향 변환기에 대해 기술하고자 한다. 증폭기와 체배기와 감쇠기 등의 나머지 주파수 상향 변환기의 구성 부품들은 모두 MMIC를 사용하여 LTCC 윗면에 쉽게 배치를 할 수 있기 때문에 추후 이러한 부품들을 LTCC에 추가하는 것은 어려운 문제가 아니다. 그림 1의 주파수 하향 변환기에서 발생된 여러 가지 스피리어스 주파수 성분들을 제거하기 위해 주파수 상향 변환기에는 입력 쪽에 저역 통과 여파기(LPF3G)가 필요하고, 주파수 상향 변환 혼합기를 지나 출력 쪽에는 혼합기에서 발생된 스피리어스를 제거하기 위한 대역 통과 여파기(BPF20G)가 필요하게 된다. 주파수 상향 변환 혼합기는 MMIC 이중 평형 혼합기(double-balanced-mixer)를 사용하였다. 그림 2는 LTCC 내부의 각 부품들의 충별 배치를 보여주는 주파수 상향 변환기의 단면도이다. LPF3G는 1층에, BPF20G는 3, 4층에 배치하고, MMIC 혼합기는 최상단 면과의 높이를 맞추기 위해 맨 위층을 MMIC의 높이만큼 판 자리(cavity)에 올려서 조립하게 된다. 상층 기판 면과 MMIC의 입/출력 포트의 높이를 맞추는 이유는 본딩 와이어의 길이를 가능한 한 짧게 만들어서 고주파 기생 효과를 최소화시키기 위함이다. 각 구성 부품 간 간섭을 최소화 시켜서 격리도를 향상시키기 위해 각 부품들의 구분 층인 2층과 5층에 접지층을 두었다. 바닥면은 접지층으로 사용되며, 최상층은 CPW 형태이기 때문에 RF 선로를 제외하고는 접지면으로 구성되어 있다. 이들 접지층 간에는 많은 수의 비아로 서로 연결하게 된다. 사용된 LTCC 기판은 고주파 특성이 우수한 A6이며, 물질 특성 및 설계 규칙을 표 1에 나타내었다. 설계 규칙에 따라 최소 선폭과 최

표 1. LTCC A6 기판의 전기적 특성 및 설계 규칙

Table 1. Electrical properties and design rules for the LTCC A6 substrate.

파라메타	특성
유전율( $\epsilon$ )	5.9
기판 층 수	6
기판 두께(mm)	0.1
도전체 두께(mm)	0.01
기판 손실( $\tan \delta$ )	0.002
최소 선폭(mm)	0.1
최소 선간 간격(mm)	0.1
비아(via) 지름(mm)	0.12, 0.1

소 선간 간격이 각 층의 기판 두께와 같은 0.1 mm 이상이어야 한다. 이로 인해 일정량의 커플링이 요구되는 BPF20G 설계에서는 단층 평면형(planar type) 여파기로는 요구되는 커플링 값을 얻기가 힘들어서 2개의 인접 층을 이용한 층간 커플링을 이용하였다.

### III. 다중 폴 저역 통과 여파기 설계

표 2에서는 OBS 위성 중계기용 주파수 상향 변환기의 입력으로 들어오는 신호의 동작 주파수와 주파수 하향 변환기 출력에서 발생하여 주파수 상향 변환기 입력으로 들어오는 스피리어스 성분의 주파수 대역을 보여주고 있다. 본 설계에서는 이러한 스피리어스 주파수 성분을 선택적으로 제거하고 대역 외 신호를 전체적으로 최소화하는 것을 설계 목표로 하였다. 주파수 하향 변환기의 국부 발진(LO) 누설 신호는 26.53 GHz로 기저 대역인 3 GHz에 비해 매우 높은 주파수이다. 이로 인해 실제 주파수 하향 변환기의 출력으로는 거의 나오지 않게 된다. 본 설계에

표 2. 주파수 상향 변환기의 주파수 특성

Table 2. Frequency characteristic of the upconverter.

파라메타	주파수
입력 IF 주파수(GHz)	3.07~3.47
출력 RF 주파수(GHz)	19.8~20.2
LO 주파수(GHz)	16.73
LPF3G에서 제거시킬 스피리어스 주파수(GHz)	2IF 3IF 1LO
	6.14~6.94 9.21~10.41 16.73

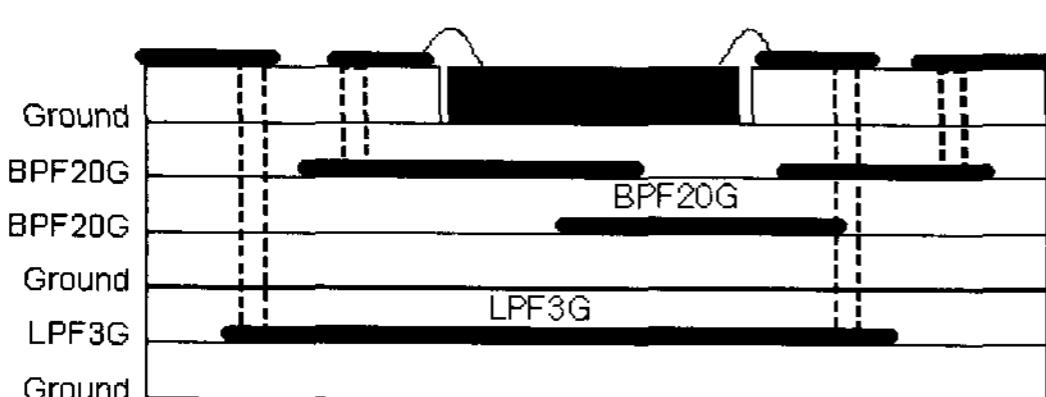


그림 2. LTCC 주파수 상향 변환기의 단면도  
Fig. 2. Cross section of the LTCC upconverter.

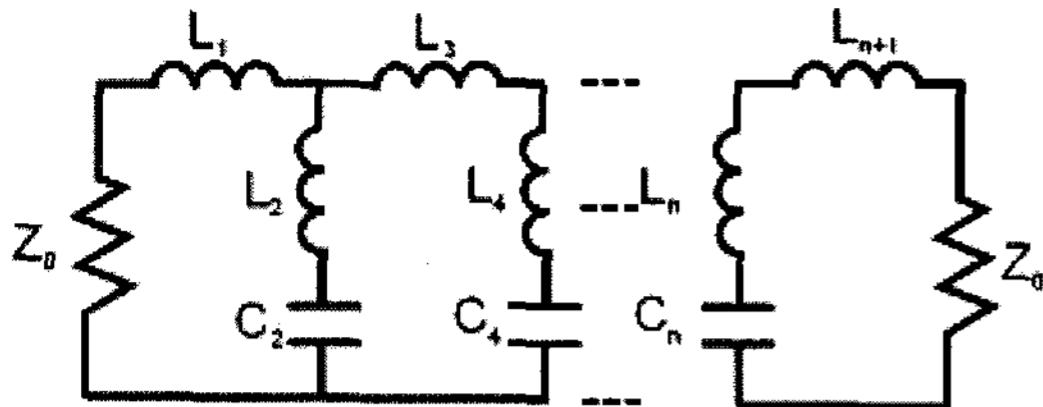


그림 3. 유한 주파수 감쇠 폴을 가지는 엘립틱 여파기의 기본 구조

Fig. 3. Basic structure of the Elliptic filter with finite attenuation poles.

서는 주파수 변환기의 주요 특성 중에 하나인 LO-IF 포트 간 격리도를 향상시키기 위해 주파수 하향 변환기의 국부 발진(LO) 신호보다는 주파수 상향 변환기의 국부 발진 신호를 저역 통과 여파기에서 제거하기로 하였다. 여파기의 차단 주파수(cutoff frequency)는 최소 3.47 GHz이며, 2차 하모닉인 2차 저 대역은 6.14 GHz로 통과 대역과 가깝게 위치해 있으므로 기울기가 큰 여파기의 스커트(Skirt) 특성이 필요하게 된다. 또한, 20 GHz까지의 높은 주파수 까지 여러 개의 하모닉 성분들을 제거해야 하므로 고차 하모닉 성분이 생기는 일반적인 여파기 탑입은 사용할 수 없게 된다. 본 설계에서는 스커트 특성이 우수하고 대역 외 신호를 최소화하고 선택적으로 스펜리어스 성분의 제거가 가능한 엘립틱 탑입 저역 통과 여파기 구조를 사용하였다. 유한 주파수 감쇠 폴(finite-frequency attenuation poles) 특성을 갖는 엘립틱 탑입 여파기의 기본 구조가 그림 3에 나와 있다<sup>[8]</sup>. 여러 개의 감쇠 폴(multi-pole)을 형성시켜 스커트 특성 및 대역 외 제거 특성을 향상시키는 목적으로 적합한 구조이다. 본래의 엘립틱 여파기 설계에 있어서는 삽입 손실, 리플(ripple) 특성, 스커트 특성과 차단 주파수 등에 의해 여파기의 차수가 정해진다. 각 차수에 해당하는 기본 요소(prototype element) 값 ( $g_{Li}$  혹은  $g_{Ci}$ )들은 여파기 이론에 의해 미리 얻을 수 있는 값들이며, 그 값에 의해  $L_i$ 와  $C_i$ 가 다음 수식으로 구해진다.

$$L_i = \frac{1}{2\pi f_c} Z_o g_{Li}$$

$$C_i = \frac{1}{2\pi f_c} \frac{1}{Z_o} g_{Ci}$$

그리고 이 값에 의해 다음 수식으로 폴의 주파수

가 정해지게 된다. 폴의 형성에 기여하는 차수는 모두 짝수차이다.

$$f_{pn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_i C_i}} \quad (n=\text{정수}, i=\text{짝수})$$

이 수식을 이용한 설계의 경우, 임의의 폴 주파수의 선정은 불가능하게 된다. 본 설계에서는 일반적인 엘립틱 여파기의 설계 절차와는 달리, 먼저 제거하고자 하는 주파수 대역의 중간 값을 폴 주파수로 설정하고  $L_i \times C_i$  값을 구한다. 그 값을 만족하는 많은 수의  $L_i$ 와  $C_i$ 에 의해  $g_{Li}$ 와  $g_{Ci}$ 를 역으로 계산할 수 있게 된다. 이를  $g_{Li}$ 와  $g_{Ci}$  값들과 그림 3의 홀수차의  $L_i$  값을 잘 조정하게 되면 최적의 통과 대역 특성을 갖는 여파기 설계가 가능한 것이다. 일반적인 여파기 설계 절차와는 다르기 때문에 완전한 저역 통과 여파기의 특성을 가지지는 못하지만, 제한된 통과 대역에서는 삽입 손실이 최소화 되고 반사 손실이 최대가 되는 여파기 특성을 보일 수 있게 된다. 표 1의 설계 규칙에 따라면 기판 두께가 0.1 mm인데, 도전체의 최소 선폭과 선간 간격이 0.1 mm 이상이어야 한다. 이와 같은 조건에 의해 구현에 어려움이 있는 인덕터는 최소 선폭의 긴 스트립 라인으로 설계하였으며, 선간 간섭이 최소화 되는 한 최대로 구부려서 사용 기판 면적을 최소화하였다. 앞에서 언급한 설계 방법에 있어서 폴이 위치할 주파수에 의해  $L_i \times C_i$  ( $i=\text{even}$ ) 값을 구하고, 이 값으로  $g_{Li}$ 와  $g_{Ci}$  값을 구한 이후,  $L_i$  ( $i=\text{odd}$ )의 조절로 통과 대역에서 최적의 여파기 특성이 되도록 하는 모든 과정을 ADS™의 최적화 작업(optimization processor)을 이용하여 수행하였다. ADS™의 모델 중, 여러 적층 기판 설계에 적합한 다중 기판(multi-layer substrate) 모델을 사용하였다. 먼저 최적화 작업이 가능한 스케마틱 페이지(Schematic page)에서 여파기 회로의 기본 구조를 설계하였으며, 설계된 회로의 기본 구조가 구부러진 형태가 많고 적층의 복잡한 구조이기 때문에 모멘텀 기능을 이용하여 EM 시뮬레이션을 수행하였다. 목표치의 스커트 특성과 각 하모닉 제거 특성을 만족시키기 위해 5개의 개방 스터브(open stub)가 필요하였고, 모든 라인의 폭과 길이는 최적화 작업을 통해 결정하였다. 최종 설계된 저역 통과 여파기 레이아웃이 그림 4에 나와 있다. 그림 5는 LPF3G의 모멘텀

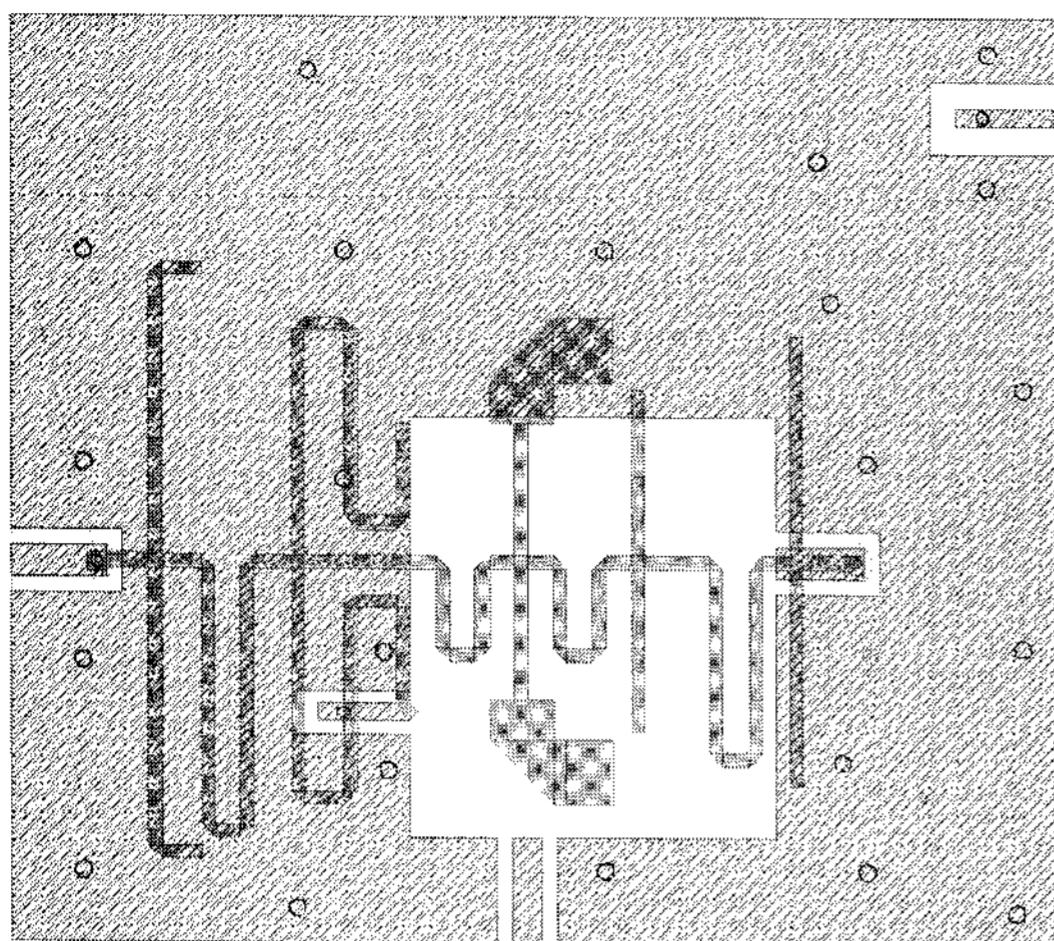
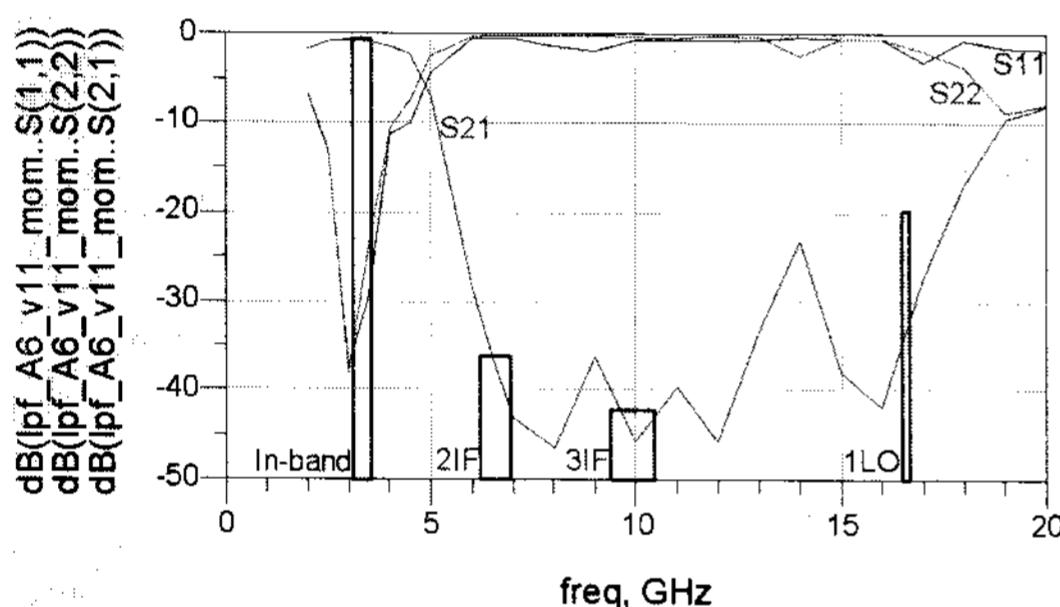
그림 4. 저역 통과 여파기의 레이아웃( $8 \times 7 \text{ mm}^2$ )Fig. 4. Low pass filter layout( $8 \times 7 \text{ mm}^2$ ).

그림 5. 저역 통과 여파기(LPF3G)의 설계 결과

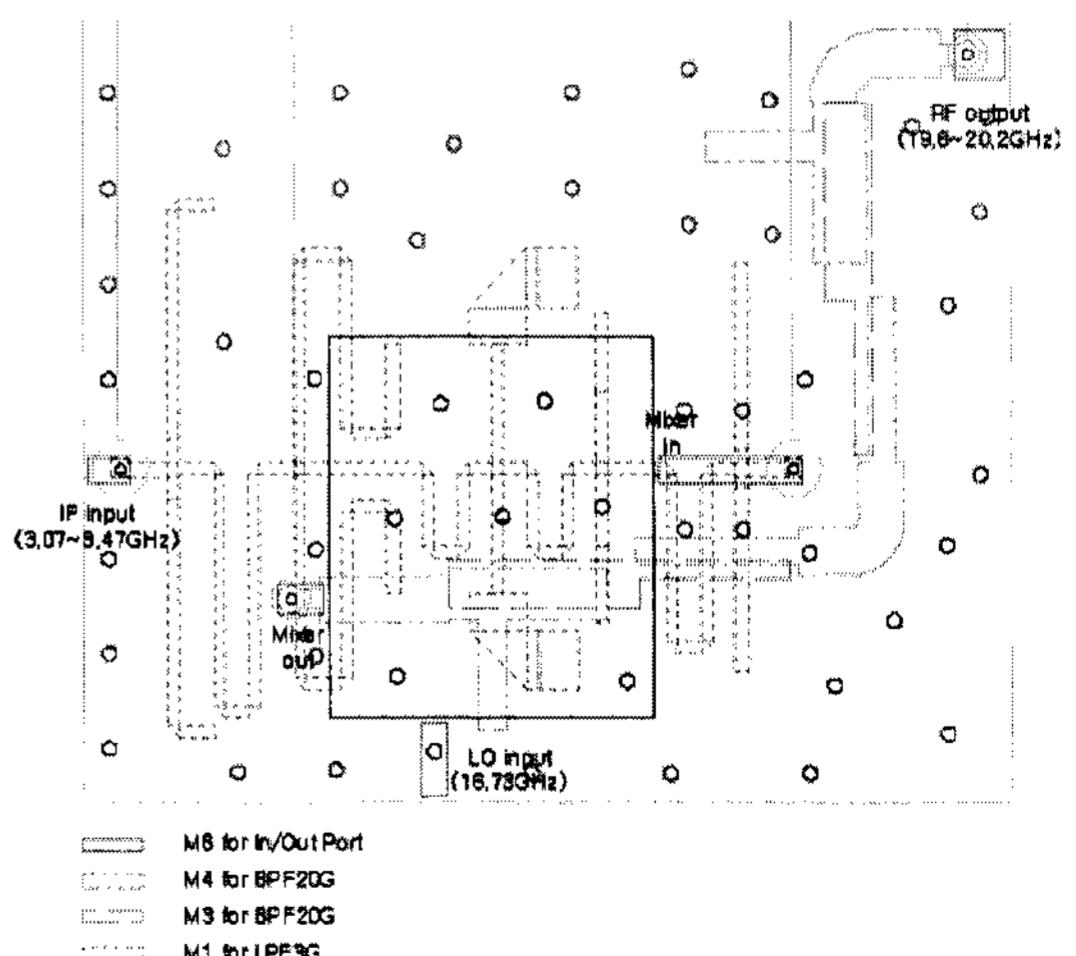
Fig. 5. Design results of the LPF3G.

설계 결과이다. 원하는 하모닉 성분 주파수에 선택적으로 폴을 형성하여 신호 크기를 최소화하였음을 알 수 있다. 통과 대역인 3.07~3.47 GHz 내에서는 0.86 dB와 24 dB의 우수한 삽입 손실 및 반사 손실 특성을 보이고 있으며, 엘립틱 여파기 특성에 의해 우수한 스커트 특성을 보이고 있다.

#### IV. 평행 커플드 대역 통과 여파기 설계

그림 2의 단면도에서와 같이 3층과 4층에 20 GHz 대역 통과 여파기(BPF20G)를 배치하였다. 스트립라인(stripline) 구조의 여파기가 아래와 윗면에 접지면이 존재하여 짹수차 모드와 홀수차 모드의 위상 속도가 같게 되고 방사 손실(radiation loss)이 작아진다는 장점 때문에 밀리미터 대역에서 유리한 구조이다.

본 논문에서는 3차의 체비셔프(Tchebyscheff) 타입의 저 손실 평행 커플드 스트립라인 대역 통과 여파기 를 설계하였다. 기존에 개발된<sup>[5]</sup> 박막 기판 기반 주파수 상향 변환기용 대역 통과 여파기와 같은 가장 자리 커플드(edeg coupled) 대역 통과 여파기를 초기 설계시 고려하였으나, 패턴 간 최소 간격인 0.1 mm 이상의 설계 제약으로 인해 커플링 값이 현저히 떨어져서 원하는 대역 특성을 얻기가 힘들었다. 그래서 가장자리 커플링 대신에 충간 커플링을 이용하여 평행 커플드 대역 통과 여파기를 구현하였다. 충간 간격이 0.1 mm로 패턴 간 최소 간격과 같으나, 각 충의 커플링 되는 패턴의 면적이 가장자리 커플드보다 넓어서 커플링이 커지게 된다. ADS™의 모델 중, 적층 기판 설계에 적합한 다중 기판 모델을 사용하였다. 먼저 최적화 작업이 가능한 스케매틱 페이지에서 초기 설계가 이루어졌고, 모멘텀 기능을 이용하여 EM 시뮬레이션을 수행하였다. 최종 설계된 BPF20G의 레이아웃은 그림 6의 주파수 상향 변환기 레이아웃에서 볼 수 있다. 그림에서 혼합기 출력 포트와 RF 출력 포트가 각각 BPF20G의 입출력 포트가 되며, 각 포트는 비아를 통해 맨 위층으로 연결된다. 그림 7은 BPF20G의 모멘텀 설계 결과를 보이고 있다. 1.5 dB의 삽입 손실과 19 dB의 반사 손실의 특성을 보이며, 국부 발진 주파수인 16.73 GHz에서는 -20 dB의 제거 특성을 보였다.

그림 6. 주파수 상향 변환기 레이아웃( $8 \times 7 \text{ mm}^2$ )Fig. 6. Upconverter Layout( $8 \times 7 \text{ mm}^2$ ).

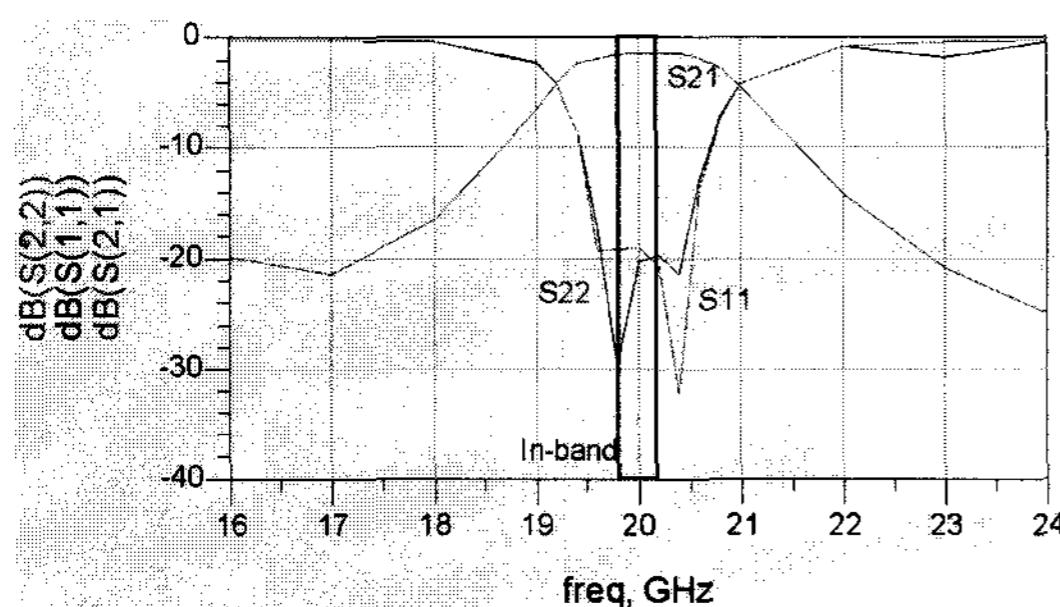


그림 7. 대역 통과 여파기(BPF20G)의 설계 결과

Fig. 7. Design results of the BPF20G.

## V. 주파수 상향 변환기 제작 및 시험

LTCC의 최상단면에는 CPW RF 선로와 입/출력 포트를 배치하였다. CPW RF 선로는 Probe station으로 부품의 측정이 용의하고 부품 간 연결에 유리한 점 때문에 선택하였다. LTCC 기판과 측정 지그에 대한 사진이 그림 8에 나와 있다. 제작된 LTCC 기판에 MMIC 혼합기를 전도성 애폴시를 이용하여 기판의 파진 부분에 장착하고 두 여파기의 포트와 MMIC 혼합기의 포트 간에 와이어 본딩 작업으로 연결하였다. MMIC 혼합기가 조립된 LTCC 기판은 코바(Kovar) 재질의 캐리어에 애폴시를 이용하여 부착한 다음 시험 지그에 나사로 고정시켜 조립하였다. 기판의 각 입/출력 포트와 알루미나 50 옴 라인 기판과는 와이어 본딩을 이용하여 연결하였으며, 50 옴 라인 기판과 SMA 핀과는 리본 본딩을 이용하여 연결하였다. 시험 지그 설계에 있어서는 지그의 내부 구조에 의한 공간(cavity) 공진을 피하기 위해 내부 단면적을 최소화 시켰으며, 지그 뚜껑과의 높이를 2 mm로 낮게 설계하였다. 그림 9에서는 기존에 개발된 박막 기판 기반 주파수 상향 변환기의 부품들을 본 논문의 LTCC 주파수 상향 변환기의 부품들과 같은 재배치하였을 때의 배치도를 볼 수 있으며, 그 면적은  $23 \times 8 \text{ mm}^2$ 이다. 제작된 LTCC 주파수 상향 변환기의 면적은  $8 \times 7 \text{ mm}^2$ 로서 박막 기판 기반 주파수 상향 변환기보다 면적이  $1/3$  가량 작아졌다. 그림 8의 기판 사진에서 많은 수의 점들이 있는데, 이들은 각 기판의 패턴을 연결시켜 주는 비아로서 4개의 신호 라인을 연결시켜 주는  $0.1 \text{ mm}$  지름의 비아와 2층, 5층, 바닥면, 윗면 등의 접지면을 연결시켜 주는

$0.12 \text{ mm}$  지름의 비아로 구성되어 있다. 설계 결과와 비교하여 probe station으로 측정한 LPF3G의 측정 결과를 그림 10에 보였다. 약간의 주파수 이동(shift)이 있지만 그 형태는 비슷한 결과를 보이고 있다. 대역 내에서는  $0.8 \text{ dB}$  이하의 삽입 손실과  $17 \text{ dB}$  이상의 반사 손실 특성을 보이며, 설계시 제거하고자 했던 2차, 3차 기저 대역 신호와 1차 국부 발진 스피리어스의 제거 특성은 각각  $-38 \text{ dB}$ ,  $-45 \text{ dB}$ ,  $-38 \text{ dB}$ 인 결과를 보였다. 또한,  $20 \text{ GHz}$ 까지 전 대역에 걸쳐서 대역 외 제거 특성이  $-25 \text{ dB}$  이하의 결과를 보였다. 기저 대역 신호의 2차 및 3차와 같이 높은 차수의 하모닉은 그 주파수 대역이 기본 주파수에 비해 광대역이기 때문에 완전한 제거 특성을 얻기는 힘들지만, 하모닉 주파수 대역 근처에서 폴이 형성되었음을 측정 결과에서 볼 수 있다. 따라서 스피리어스와 같은 단일 주파수의 경우에 본 논문에서 제시하는 폴을 형성하여 신호를 제거하는 방법이 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다. 그림 11은 BPF20G의 설계 결과와 비교된 측정 결과이다.  $2.4 \text{ dB}$  이하의 삽입 손실과  $18 \text{ dB}$  이상의 반사 손실 특성을 보이며, 국부 발진 주파수 신호에 대해서는  $20 \text{ dB}$  이상의 제거 특성을 보이고 있다. 주파수 상향 변환기의 변환 손실 특성을 그림 8의 시험 지그를 이용하여 Scalar Network Analyzer(Marconi8200B) 장비로 측정하였다. 국부 발진 신호는  $16.73 \text{ GHz}$ ,  $13 \text{ dBm}$ 의 조건으로 하고 입력 기저 대역 신호는  $0.27\sim6.27 \text{ GHz}$ ,  $0 \text{ dBm}$ 로 설정하였다. 그림 12는 측정된 LTCC 주파수 상향 변환기의 변환 손실 특성이다. 변환 손실은  $9 \text{ dB}$ 로서  $6 \text{ dB}$  손실의 MMIC 혼합기 특성과 비교하여 도시하였다. MMIC 혼합기의 경우, LTCC 주파수 변환 기의 시험 지그와 같은 형태의 지그에 조립하여 측정 지그에 의한 영향은 LTCC 주파수 변환기와 비교 시 서로 상쇄되도록 하였다. OBS 위성 중계기용 주파수 상향 변환기의 동작 주파수 대역을 나타내는 마크 1과 3의 주파수 대역 내에서 삽입 손실의 평탄도가  $0.8 \text{ dB}$  이하이고,  $5.5 \text{ GHz}$  이상의 대역에서는  $50 \text{ dB}$  이상인 결과를 보이고 있다. 그림 13과 그림 14는 포트 간 격리도 특성을 보기 위해 측정한 MMIC 혼합기와 LTCC 주파수 상향 변환기의 출력 스펙트럼 특성을 보이고 있다. LTCC 주파수 상향 변환기의 IF-RF 격리도가  $60 \text{ dBc}$ 로서 MMIC 혼합기

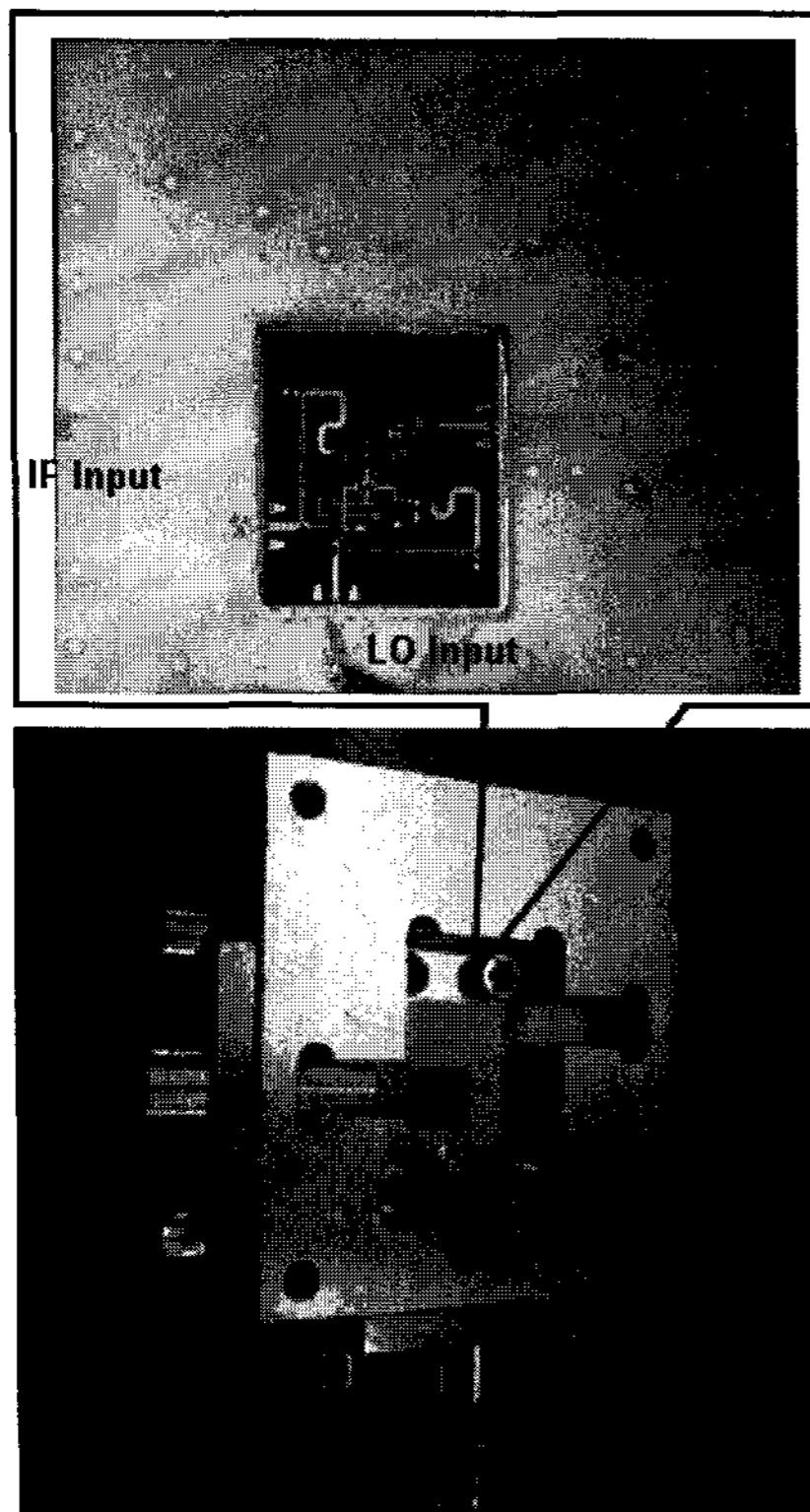


그림 8. 조립된 LTCC 주파수 상향 변환기( $8 \times 7 \times 0.6$  mm $^3$ )와 시험 지그

Fig. 8. Assembled LTCC upconverter( $8 \times 7 \times 0.6$  mm $^3$ ) and test jig.

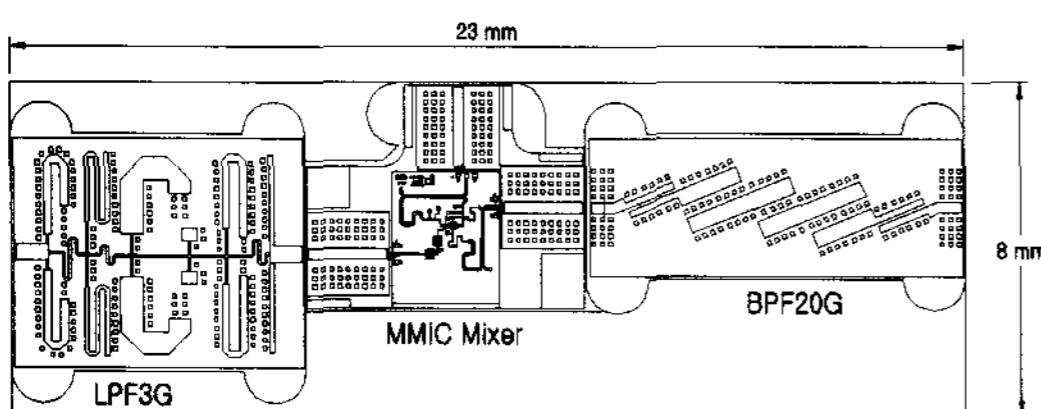


그림 9. 박막 기판 주파수 상향 변환기

Fig. 9. Thin-film based upconverter.

에 비해 40 dB가 개선되었고, LO-RF 격리도는 51 dBc로서 31 dB 개선되었다.

## VI. 결 론

위성 탑재 부품의 가장 큰 요구 조건 중에 하나가 부품의 소형화인 점을 감안하여 본 논문에서는 Ka-대역 OBS 위성 중계기용 주파수 상향 변환기를 LT-

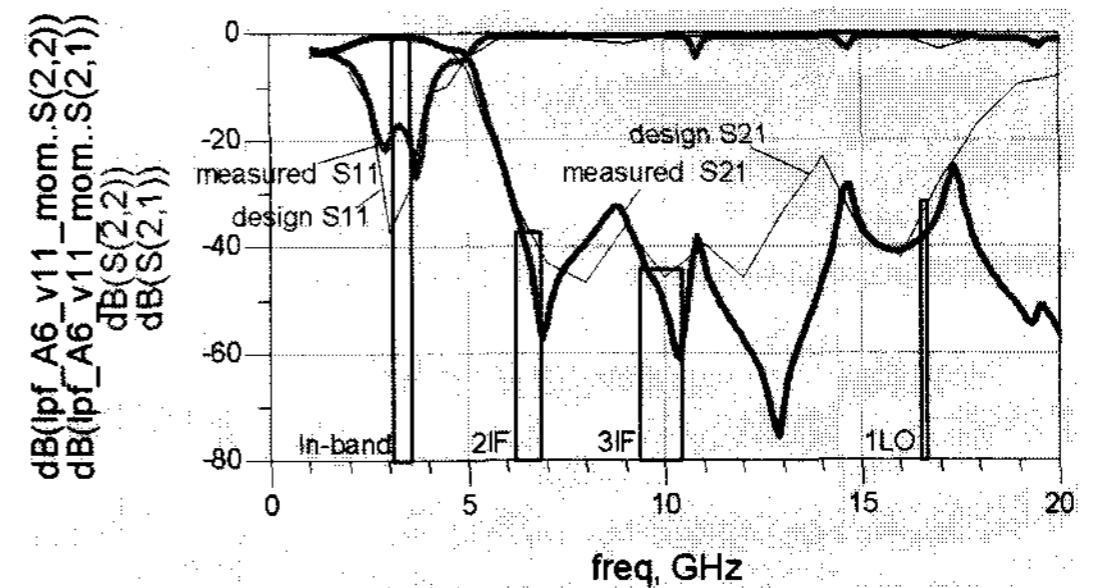


그림 10. 저역 통과 여파기(LPF3G)의 측정 결과

Fig. 10. Test result of LPF3G.

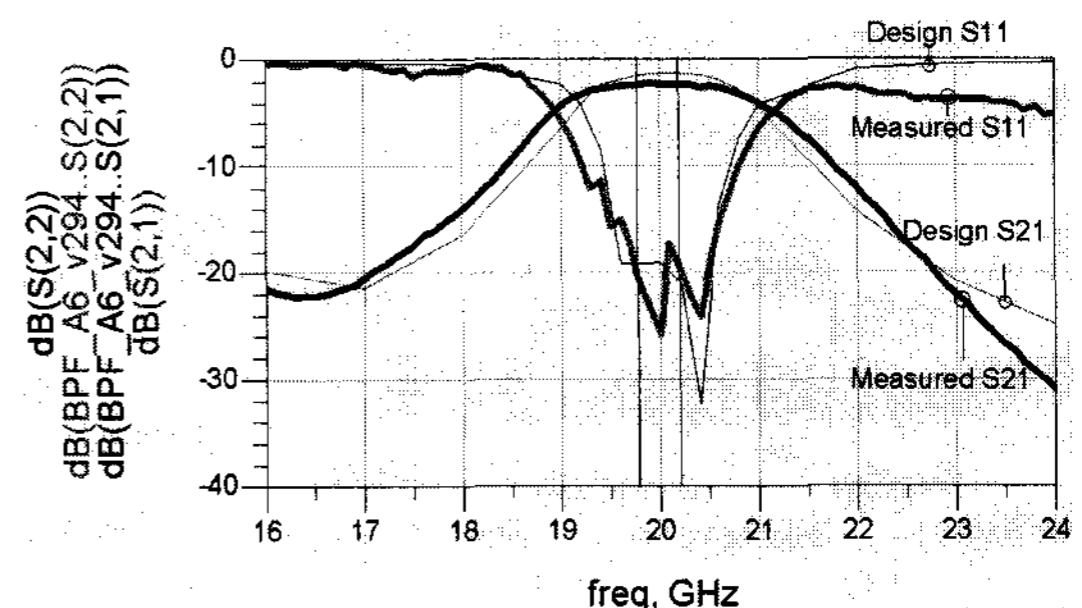


그림 11. 대역 통과 여파기(BPF20G)의 측정 결과

Fig. 11. Test result of BPF20G.

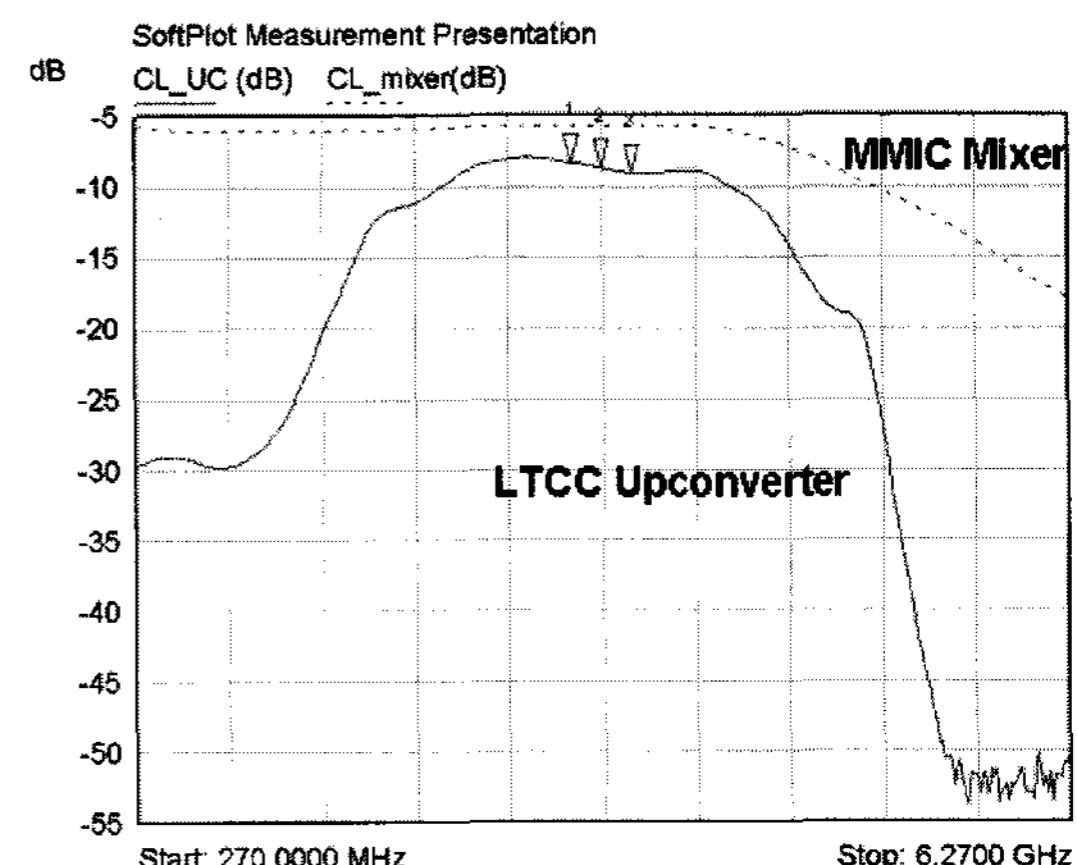


그림 12. LTCC 주파수 상향 변환기의 변환 손실

Fig. 12. Conversion loss of the LTCC upconverter.

CC를 이용하여 설계/제작/시험하였으며, 기존에 개발된 박막 기판 주파수 상향 변환기에 비해 그 크기가 1/3 감소된  $8 \times 7$  mm $^2$ 인 결과를 보였다. MMIC 혼합기 아래에 S-대역 저역 통과 여파기와 K-대역 대역 통과 여파기를 적층으로 배치하여 그 크기를

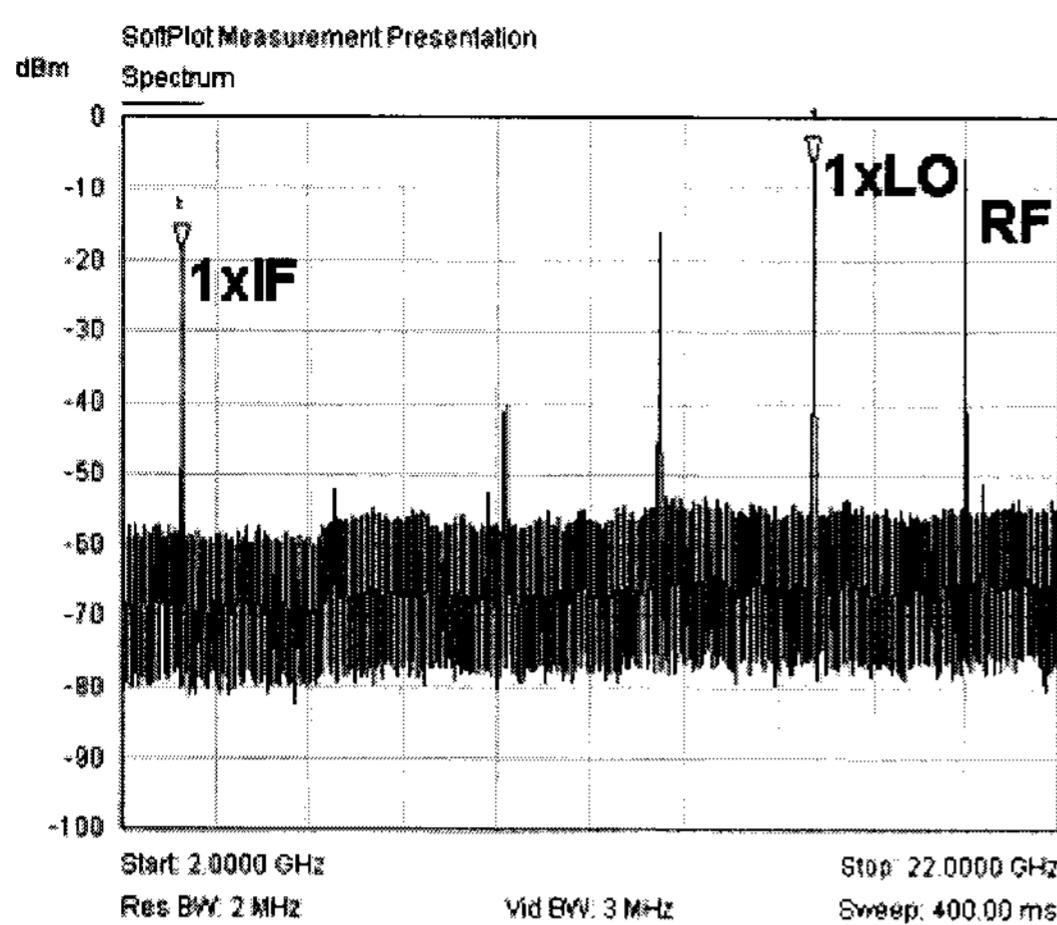


그림 13. MMIC 혼합기의 출력 스펙트럼

Fig. 13. Output spectrum of the MMIC mixer.

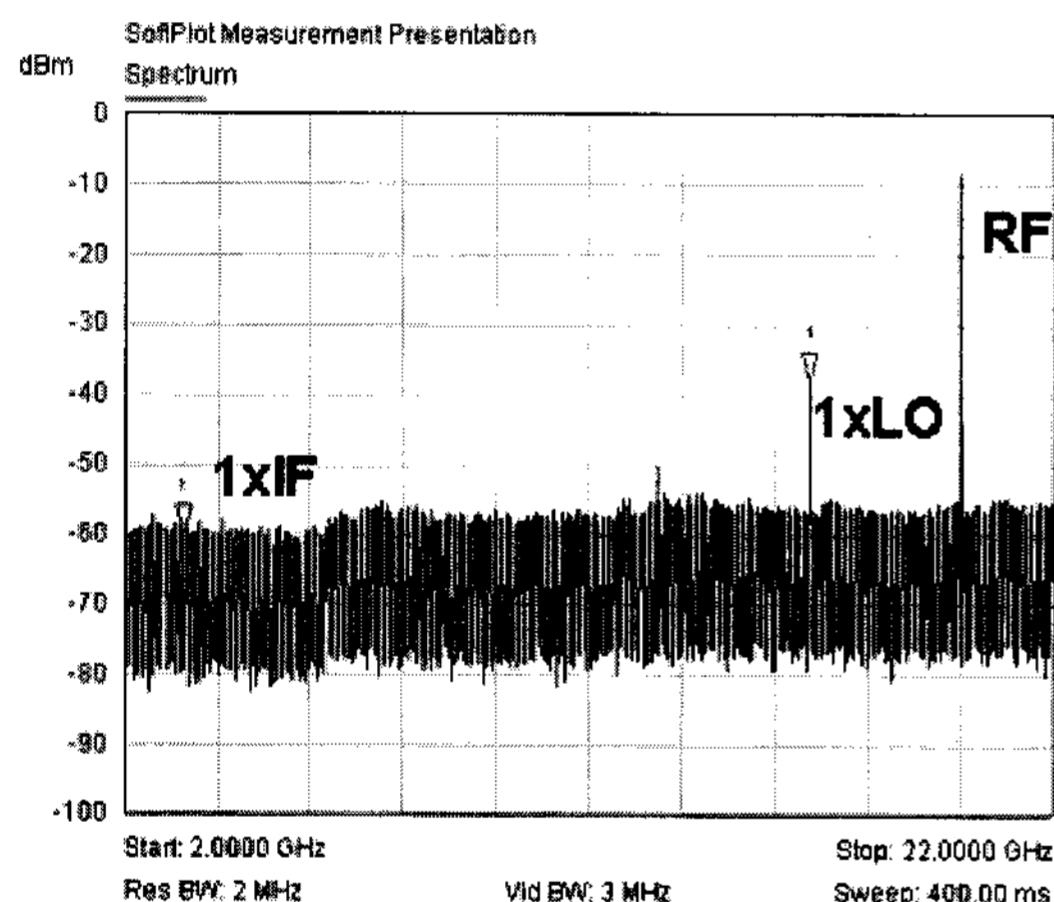


그림 14. LTCC 주파수 상향 변환기의 출력 스펙트럼

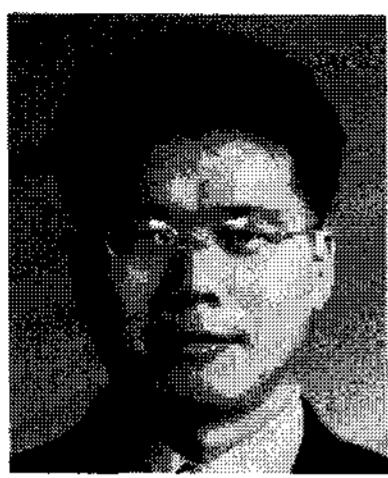
Fig. 14. Output spectrum of the LTCC upconverter.

최소화 시켰다. S-대역 저역 통과 여파기의 경우, 다중 폴 구조를 이용하여 폴의 위치를 조정함으로써 임의의 스피리어스 주파수 성분을 제거할 수 있는 방법을 제시하였다. 개발된 LTCC 주파수 상향 변환기에 MMIC 증폭기와 DC 바이어스 회로 등을 장착한다면 소형/경량의 위성 중계기용 주파수 상향 변환기 개발이 가능하리라 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] C. H. Lee, A. Sutono, S. Han, and J. Laskar, "A compact LTCC Ku-band transmitter module with integrated filter for satellite communication applications", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 945-948, May 2001.
- [2] D. Amey, P. Bamwell, R. Brown, F. Gaughan, S. Horowitz, A. London, R. Novak, D. Slutz, and D. Wilcox, "Ceramic technology for integrated packaging for wireless", *1999 Radio Frequency Integrate Circuit(RFIC) Symp. Dig.*, pp. 63-66, 1999.
- [3] M. P. R. Panicker, "Microwave & millimeter wave ball grid array(BGA) packages", in *7th Topical Meeting Elect. Performance Electron Packaging Dig.*, pp. 233-236, 1998.
- [4] G. Zhiqiang, "A downsized and integrated C-band transceiver for VSAT", *1995 IEEE Microwave and Optoelectronics Conference*, vol. 1, pp. 33-36, 1995.
- [5] J. C. Jeong, D. P. Chung, D. H. Shin, and I. B. Yom, "GaAs MMICs for use in Upconverter module for OBS satellite transponders", *EUMC2005 Dig.*, pp. 1579-1582, 2005.
- [6] H. T. Kim *et al.*, "A compact narrowband HTS microstrip filter for PCS applications", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 9, pp. 3909-3912, Jun. 1999.
- [7] J. S. Hong, M. J. Lancaster, D. Jedamzik, and R. B. Greed, "On the development of superconducting microstrip filters for mobile communications applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 1656-1663, Sep. 1999.
- [8] J. G. Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Application*, John Wiley & Sons, 2001.

## 정 진 철



1995년 2월: 영남대학교 전자공학  
과 (공학사)  
1997년 2월: 광주과학기술원 정보  
통신공학과 (공학석사)  
1999년 3월~현재: 한국전자통신연  
구원 선임연구원  
2006년 3월~현재: 충남대학교 전  
파공학과 박사과정

[주 관심분야] RF 능동회로, MMIC 설계

## 염 경환



1976년~1980년: 서울대학교 전자  
공학과 (공학사)  
1980년~1982년: 한국과학기술원 전  
기 및 전자과 (공학석사)  
1982년~1988년: 한국과학기술원 전  
기 및 전자과 (공학박사)  
1988년 3월~현재: 금성전기(주) 소  
재부품연구소 선임연구원 (MIC팀 팀장)  
1990년 3월: 금성전기(주) 소재부품연구소 책임연구원  
1991년 5월: 금성정밀(주) 기술연구소 연구1실 책임연구원  
1991년 8월: (주)LTI  
1999년 10월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 능동회로 및 시스템, MMIC 설계

## 염 인복



1990년 2월: 한양대학교 전자공학  
과 (공학사)  
2004년 2월: 충남대학교 전자공학  
과 (공학석사)  
2007년 8월: 충남대학교 전자공학  
과 (공학박사)  
1992년 9월~현재: 한국전자통신연  
구원 위성무선RF기술연구팀 팀장

[주 관심분야] 위성통신중계기, MMIC 회로, 필터 설계