

논문 2004-41TC-11-3

# 역 위상 기법과 Aperture를 갖는 개방형 루프 공진기를 사용한 광대역 IF 모듈 설계 및 제작

(Implementation and Design of Wideband IFIU using Aperture Open Loop Resonator and Reversed Phase Technique)

김 영 완\*

(Young Wan Kim)

## 요 약

본 논문에서는 전 디지털 모뎀의 기저 대역 전송 신호를 IF 출력 신호로 주파수 변환하는 모듈에서 발생하는 국부발진 누설 신호를 역 위상 기법을 사용하여 제거하고, aperture 개방형 루프 공진기로 구성되는 광대역 필터를 구성하여 낮은 군지연과 높은 대역 제한 특성을 갖는 광대역 IF 인터페이스 모듈을 설계하고 제작하였다. 45 Mbps 및 155 Mbps 전 디지털 모뎀을 위한 광대역 IFIU는 전송 대역과 밀접하여 간섭 신호로 작용하는 국부발진 신호의 누설 신호를 -60 dB 이하로 억압하였으며, 각각의 전송율에 대한 IFIU의 군 지연은 15 ns와 8 ns의 낮은 특성으로 구현하였다. L-대역 중심 주파수와 150 MHz 대역 통과 특성을 갖는 모듈의 이득 평탄도는 2 dB 이내의 특성으로 광대역 위성통신 시스템 전송에 필요한 요구 조건을 만족하였다.

## Abstract

The implementation and design of the wideband IFIU using aperture open loop resonator and reversed phase technique to reduce the local oscillator leakage signal was represented in this paper. The local oscillator leakage signal is generated in stage of frequency conversion, especially in frequency conversion of fully digital modulation signal close to DC signal. The leakage signal and spurious signals, which have effects on adjacent channel or in-band channel as interference signals, were reduced below -60 dBc for 45 Mbps and 155 Mbps IF interface units. The group delay for both IFIUs shows low ripple characteristics of 15 ns and 8 ns, respectively. Also, the amplitude ripple characteristic in 150 MHz bandwidth with L-band center frequency satisfies the required specification of 2 dB. The implemented IFIU provides the required specifications for wideband satellite communication system.

**Keywords:** IF 인터페이스 모듈, 광대역 IF 모듈, 역 위상 기법, Aperture 개방형 루프 공진기

## I. 서 론

전 디지털 모뎀은 기저대역 신호 영역의 변조 신호를 출력한다. Ku 또는 Ka 대역의 위성 신호로 전송하기 위하여 기저 대역 영역의 변조 신호는 주파수 변환기에 의해 상향 변환된다. 낮은 반송파 신호를 가지면서 광대역 전송 대역폭을 갖는 신호의 주파수 변환은 전송 대역 신호와 밀접한 국부발진 주파수 신호의 누설 신호

와 전송 신호간의 상호 간섭 현상을 발생시켜 전송 신호의 성능 열화를 가져온다<sup>[1]</sup>. 즉, 국부발진 신호의 누설 신호는 전송 신호 대역폭에 밀접하게 위치하여 비선형성을 갖는 위성 채널에서 불필요한 신호 성분을 발생시켜 전송 신호에 간섭 신호로 작용한다. 이러한 국부발진 신호의 누설 신호를 제거하기 위하여 대역 제한 특성이 우수한 여파기에 의해 억압될 수 있으나, 군지연 특성이 상대적으로 증가하여 고속 데이터 전송에 요구되는 군 지연 특성을 만족할 수 없다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 국부발진 신호의 누설 신호 억압을 위하여 전송 신호에 대한 180° 역 위상 신호 발생 회로를 사용하여 누설 신호를 제거하며, 전송 대역의 낮은 군

\* 정회원, 군산대학교 전자정보공학부  
(Electronic and Information Engineering, Kunsan National University)  
접수일자: 2004년9월30일, 수정완료일: 2004년10월16일

지연과 우수한 대역 제한 특성을 갖는 aperture 개방형 루프 공진형 여과기를 설계하여 제작한다. 또한, 역 위상 누설 제거 회로와 제작된 aperture 개방형 루프 공진형 여과기를 사용하여 광대역 위성 전송에 적합한 L 대역 주파수 변환 IF 모듈을 제작한다. 제작된 광대역 IFIU(Intermediate Frequency Interface Unit)는 낮은 주파수 신호를 반송파 신호로 사용하는 전 디지털 모뎀의 출력신호를 주파수 상향 변환할 때 발생하는 누설 신호의 간섭 현상을 해결하고 낮은 군 지연 특성을 제공한다. 이러한 IF 모듈은 1.2 GHz 중심주파수와 150 MHz 대역폭을 가지며, 초고속 위성 전송 채널에 적합한 요구 특성을 구현하여 낮은 반송파 신호를 갖는 전 디지털 모뎀과 상용 제품인 주파수 컨버터와 인터페이스 될 수 있도록 한다.

## II. IFIU의 구성 및 설계

전 디지털 모뎀의 출력 신호는 일반적으로 DC 신호와 밀접하게 분포하고 있으며, 주파수 변환 단에서 국부발진 신호가 누설되어 전송 대역폭에 밀접하게 분포된다. 그림 1은 기저 대역 신호 영역의 전송 신호를 주파수 변환 시에 발생하는 국부발진 신호의 누설 신호를 보여준다.

전 디지털 모뎀의 출력 신호는 그림 1과 같이 기저 대역에 위치하며, 주파수 변환 시에 국부발진 주파수의 누설 신호가 전송 신호 대역에 밀접하게 발생하여 간섭 신호로 작용한다. 누설 신호와 이미지(image) 신호 제거를 위한 일반적인 대역 통과 또는 제한 필터는 표 1과 같은 광대역 위성통신 시스템의 엄격한 군 지연과 이득 평탄도 특성을 만족하기 어렵다. 낮은 군 지연과 이득 평탄도를 위해서는 국부발진 누설 신호 억압 회로에 의한 국부발진 누설 신호의 억압과 대역 제한 여과

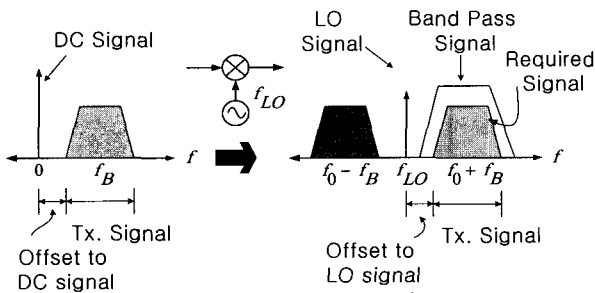


그림 1. 전 디지털 모뎀 전송 신호의 주파수 변환  
Fig. 1. Frequency conversion for the modulation signal of a fully digital MODEM.

기에 의한 잔류 누설 신호의 제거를 위한 낮은 군 지연과 평탄한 이득 특성을 갖는 여과기 구성이 필요하다. 또한, 사용자 단말기를 위하여 광대역 IFIU는 소형화된 모듈 구성을 갖는다.

### 1. 국부발진 누설신호

국부발진 신호의 누설 성분을 제거하기 위한 구조는 그림 2와 같다. 누설 신호는 혼합기에서 발생한 누설 신호와 180° 역 위상된 신호를 발생시켜 누설 신호와 역 위상 신호를 더하여 간단히 제거할 수 있다. 역 위상 신호는 누설 신호와 크기가 동일하여야 하며, 180° 위상은 정확하여야만 효과적으로 누설 신호를 제거할 수 있다. 따라서, 그림 2와 같이 역 위상 신호의 위상과 크기를 조절할 수 있는 회로 구성을 갖는다.

그림 2의 90° Hybrid (1)의 입력 신호,  $Lo_{input}$  를

$$Lo_{input} = Ae^{j\omega_0 t} \tag{1}$$

이라고 하면, 90° Hybrid (1)의 0° 와 90° 위상차를 갖는 출력단의 출력 신호는 각각 다음과 같다.

$$O_{out} = \frac{1}{\sqrt{2}} Ae^{j\omega_0 t} \quad \text{for } 0^\circ \text{ port} \tag{2}$$

$$Q_{out} = \frac{1}{\sqrt{2}} Ae^{(j\omega_0 t - 90^\circ)} \quad \text{for } 90^\circ \text{ port}$$

인덕턴스 L과 커패시턴스 C로 구성된 90° Hybrid (1)의 출력 신호는 반사 계수  $\Gamma_1$ 을 갖는 신호로 반사된다.

표 1. 광대역 위성통신 및 IF 모듈의 요구 특성<sup>[2]</sup>  
Table 1. Required characteristics for wideband satellite communication and IF module.

Parameter		Specifications
Group delay ripple	45 Mbps	15 ns
	155 Mbps	8 ns
Amplitude ripple		2 dB

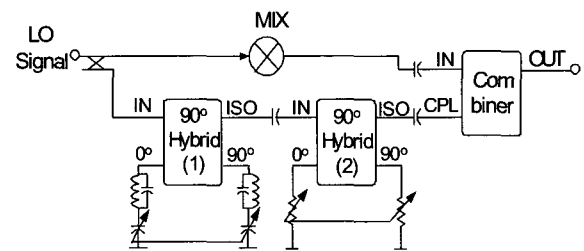


그림 2. 국부발진누설신호 제거회로 구성도  
Fig. 2. Circuit diagram for local oscillator leakage signal rejection.

즉, 0° 출력단 신호는 IN 단과 ISO 단으로 다음과 같은 신호로 반사되어 출력된다.

$$S_{IN_{or}} = \frac{1}{2} A\Gamma_1 e^{j\omega_b t} \quad \text{for } INport$$

$$S_{ISO_{or}} = \frac{1}{2} A\Gamma_1 e^{(j\omega_b t - 90^\circ)} \quad \text{for } ISOport$$
(3)

또한, 90° 출력단 신호도 IN 단과 ISO 단으로 같은 신호를 반사하며, IN 단에는 -90° 위상값이 그리고 ISO 단에는 동일 위상값이 나타난다. 따라서, IN 단은 반사 신호 간 위상값에 의해 상호 제거되나, ISO 단에는 다음과 같은 신호가 출력된다.

$$S_{ISO} = A\Gamma_1 e^{(j\omega_b t - 90^\circ)}$$
(4)

여기서,  $\omega^2 LC_{fix} \approx 0$  일 경우, 반사 계수  $\Gamma_1 = e^{j\theta}$  이며, 위상 값  $\theta \cong \frac{2(1 - \omega^2 LC_{var})}{\omega R_0 C_{var}}$  이다.  $R_0$ 는 특성 임피던스이며,  $C_{fix}$ ,  $C_{var}$  은 각각 고정형과 가변형 커패시턴스이다.

식 (4)의 출력 신호는 90° Hybrid (2)의 입력 신호로 인가되어 90° Hybrid (1)과 동일하게 작용한다. 즉, 90° Hybrid (2)의 ISO 단에는 다음과 같은 신호가 출력된다.

$$S_{ISO_2} = A\Gamma_1 \Gamma_2 e^{(j\omega_b t - 180^\circ)}$$
(5)

여기서,  $\Gamma_2 = \frac{R - R_0}{R + R_0}$  이다.

식 (5)로부터 combiner에 입력되는 신호는 누설 신호의 제거를 위한 180° 역 위상 신호로 나타남을 알 수 있다. 또한, 식 (4)와 (5)의 반사 계수로부터 누설 신호와 정확한 역 위상과 동일한 크기를 갖도록 역 위상 신호의 위상값과 크기를 일정한 범위로 가변 할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 누설 신호는 그림 2의 combiner에 입력되는 역 위상 신호에 의해 효과적으로 제거될 수 있다.

### 2. Aperture를 갖는 개방형 루프 공진기

광대역 대역 통과 필터는 소형화를 위하여 micro-strip형 개방형 루프 공진기로 구성한다. 개방형 루프 공진기 구조는 그림 3과 같이 전기적 결합(electric coupling)과 자기 결합(magnetic coupling) 그리고 혼합형 결합(mixed coupling)을 갖는다.

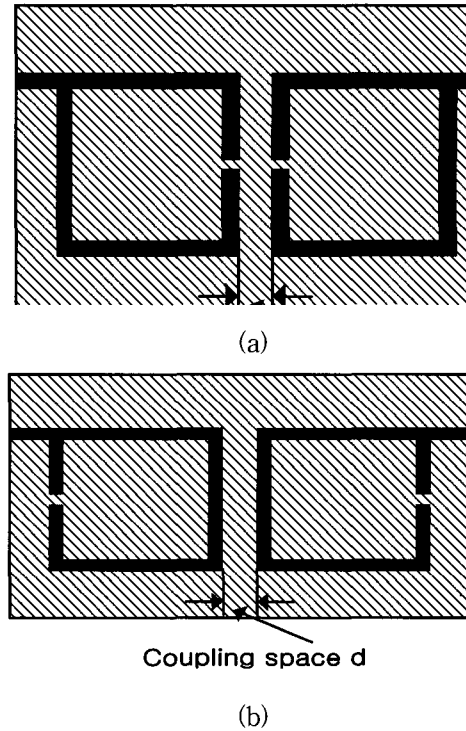


그림 3. 개방형 루프 공진기 구조도, (a) 전기적 결합과 (b) 자기 결합  
 Fig. 3. Open loop resonator, (a) electric coupling and (b) magnetic coupling.

전기적 결합과 자기 결합 개방형 루프 공진기의 결합 계수(coupling coefficient)와 공진주파수(resonance frequency)는 다음과 같다<sup>[3][4]</sup>.

$$k_E = \frac{C_m}{C'} \quad \text{for electric coupling}$$

$$f_e = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'(C' + C_m)}}, \quad f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'(C' - C_m)}}$$

$$k_M = \frac{L_m}{L'} \quad \text{for magnetic coupling}$$

$$f_e = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L' - L_m)C'}}, \quad f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L' + L_m)C'}}$$
(6)

여기서,  $C'$ ,  $L'$  과  $C_m$ 은 자기 커패시턴스(self-capacitance)와 자기 인덕턴스(self-inductance) 그리고 상호 커패시턴스(mutual capacitance)이다. 또한,  $L_m$ 은 상호 인덕턴스(mutual inductance)이다.

그림 3에서 결합 간격(coupling distance)이 좁아질 경우, 결합 계수가 증가하며 공진주파수  $f_e$ ,  $f_m$ 는 외곽 주파수 방향으로 이동하여 루프 공진기는 보다 넓은 대역폭 특성을 갖는다. 보다 넓은 대역폭 특성을 갖기 위

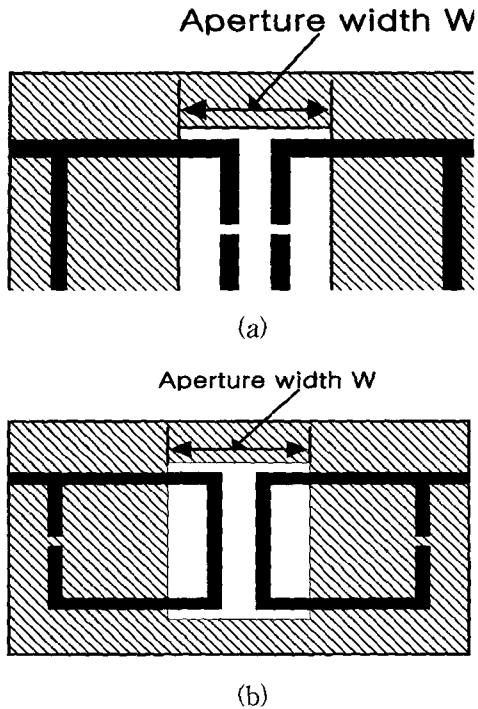


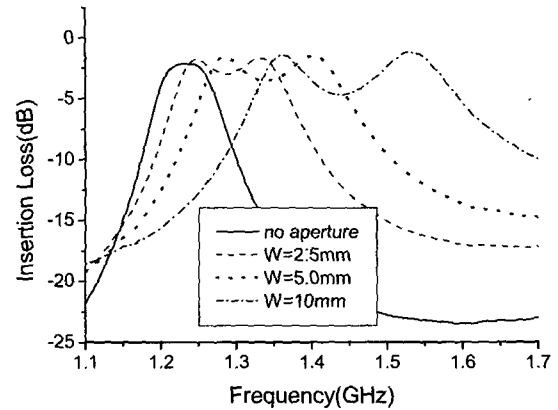
그림 4. Aperture를 갖는 개방형 루프 공진기, (a)전기적 결합과 (b)자기 결합.  
 Fig. 4. Open loop resonator with aperture, (a) electric coupling and (b) magnetic coupling.

해서는 결합 계수를 증가시켜야하며, 결합 간격을 보다 더 좁은 간격으로 구현하여야 한다. 그러나, 구조상 좁은 결합 간격을 위한 구현이 어려울 수가 있으므로 여기서는 동일한 효과를 갖는 aperture 구조를 갖는 개방형 루프 공진기를 설계한다<sup>[5]</sup>.

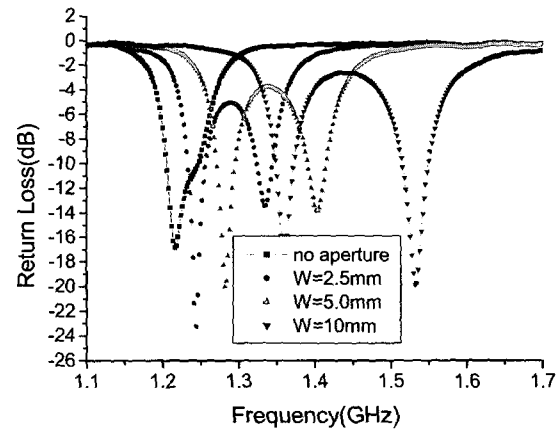
Aperture를 갖는 개방형 루프 공진기의 구조는 그림 4에서 보여준다.

그림 4의 aperture를 갖는 개방형 루프 공진기는 루프간 결합 면과 대응되는 접지면(ground plane)에 W 간격을 갖는 aperture를 보여주고 있으며, 접지면의 aperture에 의해 루프간 결합 계수가 증가하여 그림 3의 일반적인 루프 공진기의 결합 간격을 좁히는 효과와 같은 넓은 대역폭 특성을 갖는다. 그림 5는 aperture를 갖는 개방형 루프 공진기가 aperture가 없는 개방형 루프 공진기보다 넓은 대역 특성을 갖는다는 것을 나타내고 있다.

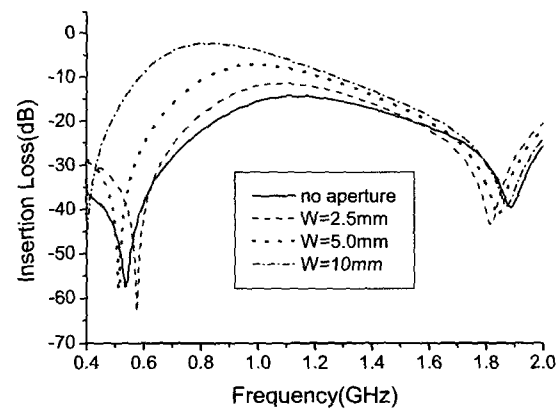
그림 5로부터 aperture 간격 W가 증가할수록 대역폭이 넓어지는 것을 알 수 있다. 전기적 결합에서는 자기 커패시턴스의 감소로 공진주파수가 증가하고 있으며, 자기 결합에서는 자기 인덕턴스가 증가하면서 공진주파수는 감소한다. 따라서 일정한 공진주파수를 유지



(a)



(b)



(c)

그림 5. Aperture를 갖는 루프 공진기 특성, (a)전기적 결합에 대한 삽입 손실, (b) 전기적 결합에 대한 리턴 손실 그리고 (c) 자기 결합에 대한 삽입 손실

Fig. 5. Characteristics of open loop resonator with aperture, (a) insertion loss due to electric coupling, (b) return loss due to electric coupling and (c) insertion loss due to magnetic coupling.

하기 위하여 전기적 결합과 자기 결합이 공유된 혼합형 루프 공진기를 설계한다. 그림 6은 4-pole 루프 공진기의 전기적 결합과 자기 결합형 구조를 보여준다.

그림 7은 그림 6과 같은 aperture를 갖는 혼합형 루프 공진기 구조의 대역 특성을 나타내었다.

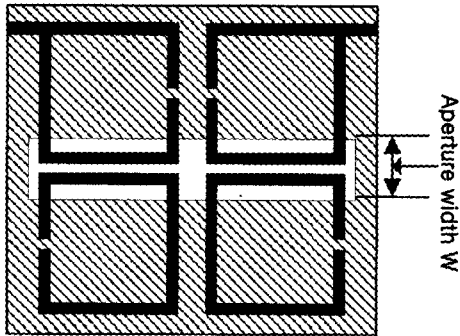
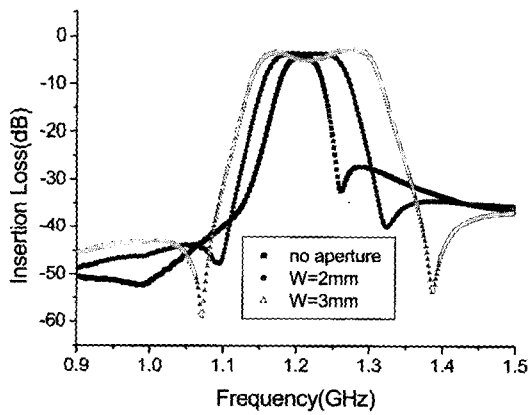
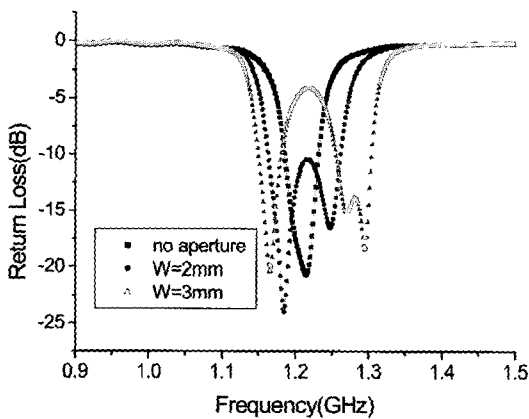


그림 6. Aperture를 갖는 혼합형 4-pole 루프 공진기 구조

Fig. 6. Diagram of mixed coupling 4-pole loop resonator with aperture.



(a)



(b)

그림 7. Aperture를 갖는 4-pole 혼합형 루프 공진기 특성, (a) 삽입 손실 및 (b) 리턴 손실

Fig. 7. Resonator characteristics of mixed coupling 4-pole with aperture, (a) insertion loss and (b) return loss.

프 공진기 구조의 대역 특성을 나타내었다.

그림 7은 aperture를 갖는 4-pole 루프 공진기의 삽입 손실(insertion loss)과 리턴 손실(return loss)을 나타낸 것으로, aperture 간격 W에 따라 일정한 중심주파수를 유지하면서 대역 특성이 넓어지는 것을 알 수 있다. 따라서, aperture 간격을 조정하여 요구하는 광대역 통과 특성을 갖는 소형 필터를 설계할 수 있다.

### III. IFIU 제작 및 성능

국부발전 신호의 누설 신호를 제거하기 위하여 식 (4)의 반사 계수의 위상이  $-\theta_0 \sim +\theta_0$  값을 갖도록  $\omega^2 LC_{fix} \approx 0$  값으로 고정 커패시턴스를 설계하고, 가변 커패시턴스는  $\omega^2 LC_{var} = 1$ 의 공진 주파수 근처의 값으로 설계한다. 또한, aperture를 갖는 개방형 루프 공진기는 대역 특성을 고려하여 6-pole 루프 공진기로 설계한다. 그림 8은 설계된 aperture 6-pole 개방형 루프 공진기 구성을 갖는 대역 통과 필터의 시뮬레이션 특성을 보여준다. 그림과 같이 대역폭이 150 MHz 대역으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 설계된 aperture 6-pole 개방형 루프 공진기로 제작된 대역 통과 필터이며, 제작된 필터의 측정된 특성은 그림 8의 성능 분석 특성과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 여기서, 측정된 대역 평탄도는 2 dB 이내이며, 군 지연 특성은 약 6.6 ns로 양호한 특성을 갖는다.

국부발전 신호의 누설 신호 제거 회로와 aperture 개방형 루프 공진기 필터 구성을 갖는 광대역 IFIU는

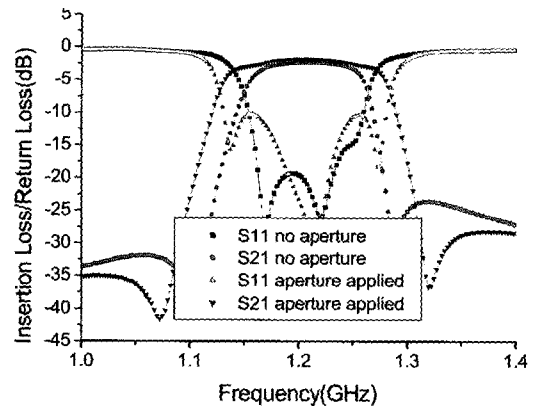


그림 8. Aperture 6-pole 개방형 루프 공진기 필터의 모의 실험 특성

Fig. 8. Simulation performance for open loop 6-pole resonator with aperture.

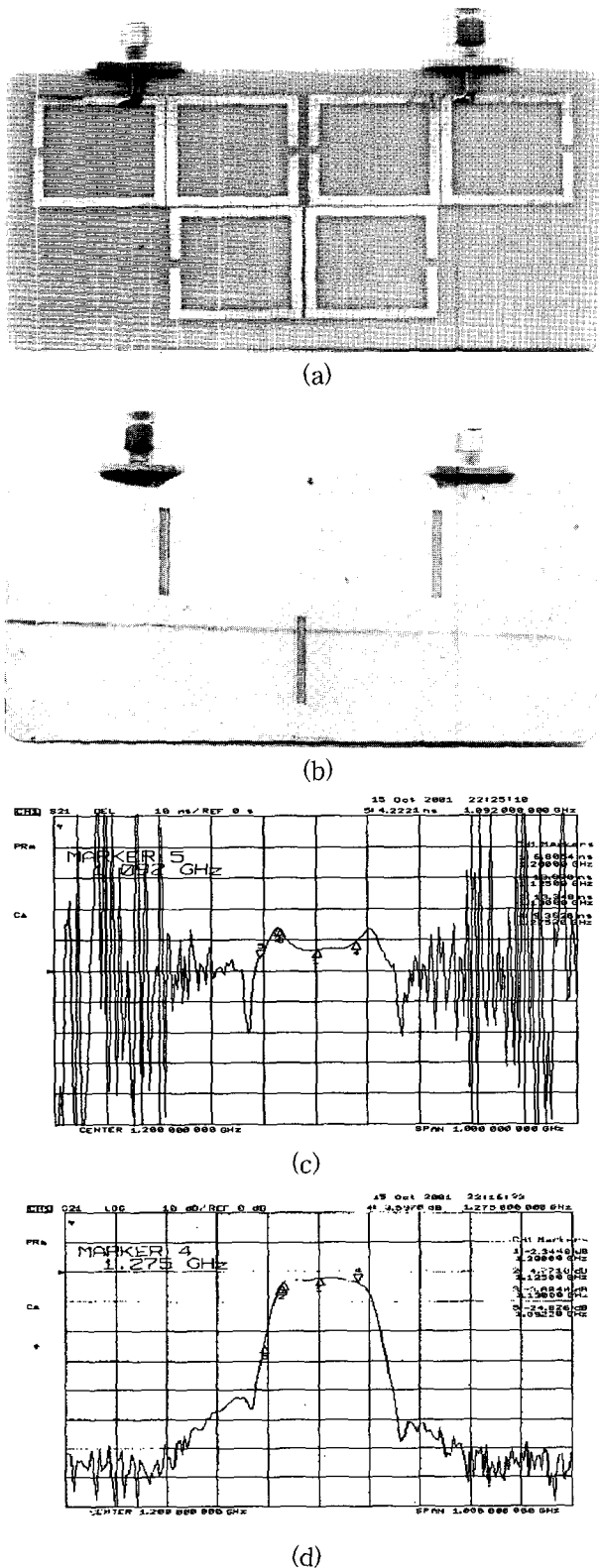


그림 9. 제작된 aperture 6-pole 개방형 루프 공진기 필터, (a) 앞면, (b) 뒷면, (c) 측정된 군 지연 및 (d) 측정된 대역 특성  
 Fig. 9. Fabricated open loop 6-pole resonator with aperture, (a) front view, (b) back side, (c) measured group delay and (d) measured passband characteristic.

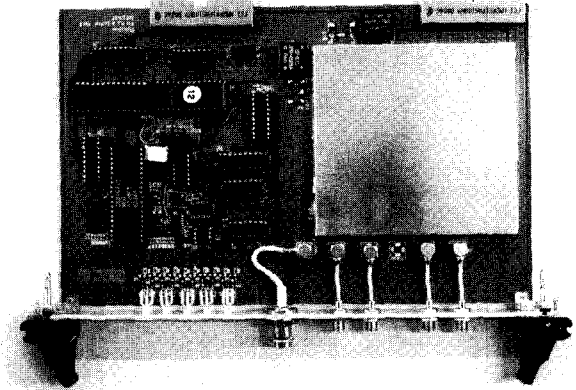


그림 10. 제작된 compact PCI 형 광대역 IFIU  
 Fig. 10. Fabricated compact PCI type wideband IFIU.

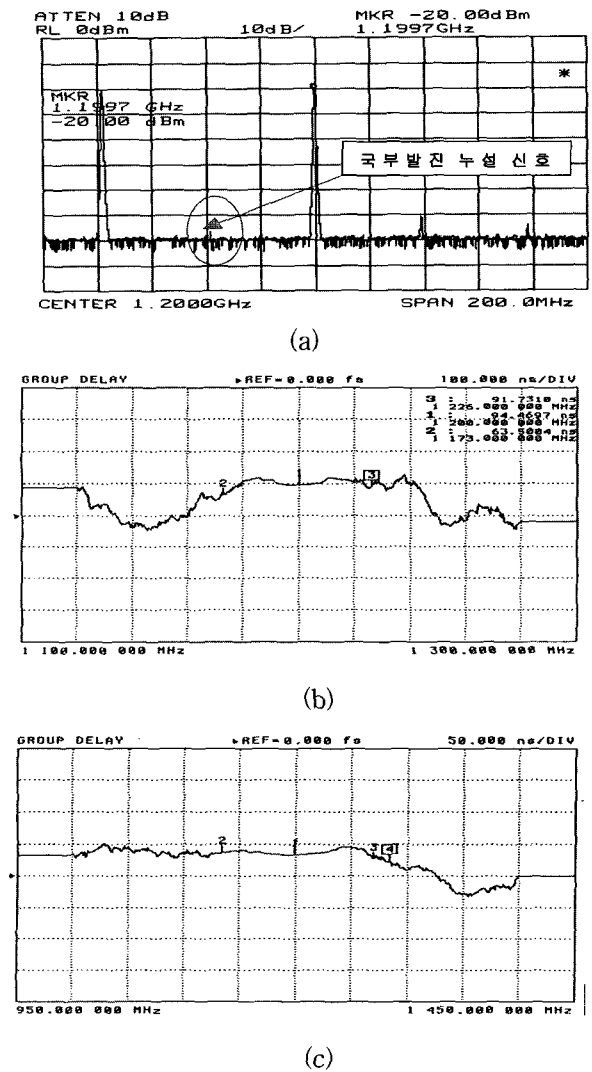


그림 11. 제작된 IFIU의 측정된 성능, (a) 국부발진 신호의 누설 신호 제거 특성, (b) 45 Mbps 군 지연 및 (c) 155 Mbps 군 지연 특성  
 Fig. 11. Measured performance of fabricated IFIU, (a) local oscillator leakage signal rejection, (b) group delay for 45 Mbps and (c) group delay for 155 Mbps.

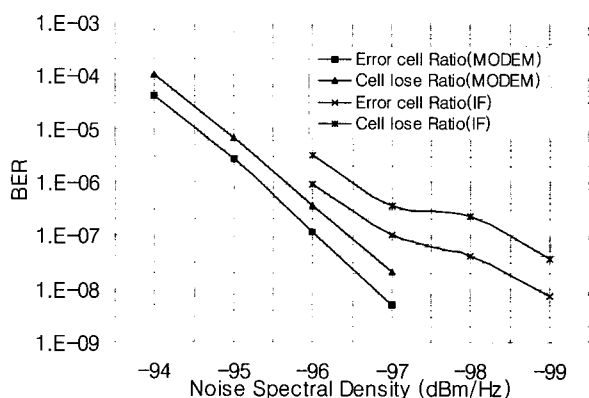


그림 12. 제작된 IFIU의 전송 성능 (45 Mbps)  
Fig. 12. Transmission performance of fabricated IFIU (45 Mbps).

compact PCI 형으로 소형화 모듈로 구성하여 제작하였다. 그림 10은 제작된 광대역 IFIU를 보여준다.

45 Mbps 용과 155 Mbps용은 통과 대역의 대역폭은 다르나, 구조는 동일한 형태로 제작되었다. 제작된 IFIU의 성능 측정은 그림 11과 같다.

그림 11 (a)로부터 국부발전 신호의 누설 신호가 60 dBc 이상 제거되고 있음을 보여주고 있다. 또한, 45 Mbps IFIU의 군 지연 리플 특성은 약 15 ns 그리고 155 Mbps IFIU는 약 8 ns의 군 지연 특성을 나타내고 있다. 제작된 광대역 IFIU는 광대역 위성통신 및 IF 모듈의 요구 특성을 만족하고 있다.

그림 12는 제작된 IFIU의 전송 성능의 영향을 측정 한 것으로, IFIU에 의한 성능 열화 특성을 보여준다. 전송 신호는 45 Mbps 데이터를 사용하였으며, ATM 위성 전송을 모의 실험하여 MODEM loop back 신호와 IFIU loop back 전송 성능을 비교 측정하였다.

45 Mbps IFIU의 전송 성능은  $10^{-6}$  BER에서 약 0.8 dB의 열화 특성으로 1 dB 이내의 양호한 전송 성능을 나타내었다.

#### IV. 결 론

본 논문은 낮은 주파수의 반송파 신호와 광대역 전송 신호 대역을 갖는 전 디지털 위성 모뎀 출력 신호의 주파수 변환 시에 발생하는 국부발전 신호의 간섭 신호 제거와 소형 광대역 필터를 설계하여 광대역 위성통신용 IFIU를 제작하였다. 역 위상 기법을 사용하여 국부발전 신호의 누설 신호를 -60 dBc 이하로 억압하였으며, aperture를 갖는 개방형 루프 공진기 필터를 사용하여 45 Mbps와 155 Mbps용 IFIU 군 지연을 각각 15 ns

와 8 ns 이하로 구현하였다. 소형화된 광대역 IFIU는 초고속 위성통신 및 광대역 IF 모듈의 요구 특성을 만족하여 약 0.8 dB의 전송 열화 특성을 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김명섭, 김진호 등, "Design and Analysis of Decision-directed Carrier Recovery for High Speed Satellite Communications", IEICE Trans. on Commun., vol. E81-B, no. 12, pp. 1-9, December 1998.
- [2] 김영완, 송윤정, 김내수, "초고속 위성통신시스템의 군 지연 및 비 선형특성에 대한 영향 분석", 전자공학회 2000 추계학술대회, pp. 113-116, 2000.
- [3] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Coupling of microstrip square open-loop resonators for cross-coupled planar microwave filters," IEEE Trans. MTT, vol.44, pp. 2099-2109, Nov. 1996.
- [4] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Design of highly selective Microstrip Bandpass Filters with Single Pair of Attenuation Poles at Finite Frequencies," IEEE Trans. MTT, vol.48, pp. 1098-1107, July 2000.
- [5] 임석순, 김재훈, 김영완, 김내수, 서철현, "Aperture를 이용한 개방형 루프 공진기 여파기 성능 개선에 관한 연구," 한국통신학회논문지, vol. 27, no. 12B, pp. 1207-1213, 2002.

#### 저 자 소 개



김 영 완(정희원)

1983년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1985년 경북대학교 전자공학과  
석사 졸업.

2003년 충남대학교 전자공학과  
박사 졸업.

1984~1990 동양정밀공업(주) 중앙연구소 근무

1990~1992 (주) 유영통신 근무

1992~2004 한국전자통신연구원 근무

2004~현재 군산대학교 전자정보공학부

<주관심분야: 위성방송 · 통신, 디지털 통신,  
Micro wave device>

