

군위성 송수신기용 기존 금속 도파관을 대체하는 DNG형 기판적층 도파관 공진기의 설계

Design of DNG-type Substrate-Integrated-Waveguide Resonators to Replace the Conventional Metallic Waveguide for the Military Satellite Transceiver

강 경 석* · 양 인 규* · 강 승택[†] · 이 호 섭** · 김 형 중**

(Kyung-Seok Kahng · In-Kyu Yang · Sungtek Kahng · Ho-Sub Lee · Hyoung-Jong Lee)

Abstract - A new and significantly small guided and resonant structure is suggested to take over bulky metallic hollow waveguides used in military satellite transceivers. Below Ku-band, the conventional waveguides resulting in quite heavy transceivers will be replaced by the low profile SIW(substrate integrated waveguide) structures that are distinguished from the others in that the suggested ones have much lower cut-off frequencies by the circuitual configuration of DNG(dobule negative) constitutive parameters and become even smaller than the other SIWs. The design scheme is validated by the circuit and full-wave simulations from the guided, resonant, and coupled structures. Besides, a bandpass filter as the suggested coupled structure is fabricated with a cheap substrate in a low-budget fabrication process and its frequency response is measured as verification of the purpose of the design.

Key Words : Military satellite, DNG metamaterial, SIW, Metal waveguide, Cut-off frequency, Size-reduction

1. 서 론

위성과 항공기로부터 지상과의 통신은 무선 송수신기(transceiver)에 의해 이뤄진다. 위성통신의 주된 주파수 채널인 C와 X 대역 또는 Ku와 Ka 대역에서 동작하는 송수신기에 의해 신호를 담은 초고주파 에너지는 방사되거나 수신되는 것이다. 이러한 초고주파 에너지를 전송하고 공진시키는 등의 다양한 역할수행을 위해 송수신기는 큰 부피와 무게를 가지는 금속 공동 도파관을 내장하고 있다[1]. 따라서 위성의 체계를 구성할 때, 금속 공동 도파관 구조는 이웃하는 부품, 모듈과 결선을 포함하여 시스템 전체의 부피와 무게를 최소화하는 방향으로 설계되고 배치되어야만 한다. 왜냐하면, 우주공간에 떠 있는 구조로서의 위성은, 비싼 발사비용과 보험비용을 어떻게라도 줄이기 위해, 중계 송수신 시스템이 작고 가벼울수록 좋기 때문이다. 금속 도파관 구조의 부피를 줄여 가벼운 송수신기를 만들기 위해, 많은 방안들이 제시되었으며, 다중모드 결합 여파기와 유전체 삽입형 여파기가 대표적인 예라고 할 수 있다[2]. 그런데, 이 기법들조차 Ku-band 이하의 통신 주파수에서 금속 도파관 구조는 가볍거나 작지 않아, 다른 방안이 필요하게 된다.

언급된 문제해결을 위해, 기판적층형 도파관(substrate integrated waveguide, SIW)가 제안되고 알려져 왔다. SIW

는, 부피가 있는 통인 금속 도파관과 달리, 납작한 적층 평면으로 구현되면서도, 금속 도파관의 관내 전자장 분포와 매우 유사한 특성을 가진다[3, 4]. 기판적층형 도파관의 모습을 간단히 설명하자면, 마이크로스트립 구조의 측면이 단락 즉 접지면에 연결되어 있는 것이다. 측면의 단락은 배열된 다수의 비아(via)에 의해 이뤄진다. 특히, 기판적층형 도파관은 접지면 폭과 비슷한 정도의 윗면 패치와 단락 측면을 포함하면 상하좌우에 도체 경계조건을 가진다. 그리고 측면의 비아는 배열될 때, 인접한 비아와 파장의 0.1배 이하의 간격을 갖게 되어 측면을 통한 전자파의 누설은 거의 없는 것으로 확인된다. 따라서, 전자장은 구조 내부로 집중되고, 경계조건에 의해 TE₁₀의 기본모드를 가진다. 금속 공동 도파관과 기판적층 도파관의 내부의 기본모드 전자장 분포의 상면도를 비교하면 다음과 같다.

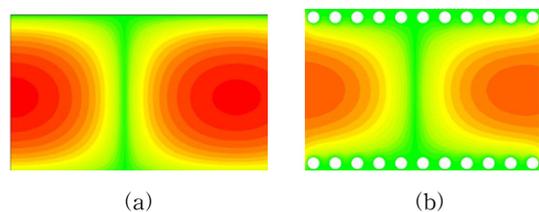


그림 1 금속 공동 도파관과 기판적층 도파관의 기본모드의 전자장 분포(상면도) (a) 금속 공동 도파관 (b) SIW
Fig. 1 Top-views of the fundamental modes metallic waveguide and SIW (a) metallic waveguide (b) SIW

그림 1 금속 공동 도파관과 기판적층 도파관의 기본모드 분포를 한 파장(λ) 구간에서 관찰한 결과이다. 두 분포를 보

* Graduate school, Dept. of Info. & Telecomm. Eng., University of Incheon

** LIGNex1 Co., Ltd.

[†] Corresponding Author : Dept. of Info. & Telecomm. Eng., University of Incheon, Korea

E-mail : s-kahng@incheon.ac.kr

Received : September 30, 2013; Accepted : October 17, 2013

면 전계강도 최대값의 수준과 색깔 띠의 면적에는 차이가 존재하지만, 아주 유사한 모습을 알 수 있다. 이는 금속 공동 도파관과 기관적층 도파관 각각의 내부재료와 높이가 다르다는 것에서 기인한다. 그런데, 금속 도파관의 부피와 중량 문제 외에도 3차원이면서 별도의 설계가 필요한 선로와 도파관간의 천이구조를 없애고, 기관구조로 시스템에 집적화가 용이하다는 장점이 부각되면서 mm파 RF설계자들의 이목을 사로잡았다. 하지만, 지금까지 대부분의 SIW 구조는, 본 논문이 다루는 C와 X대역의 군위성 주파수보다 훨씬 높은 30 GHz 이상 또는 60 GHz 이상의 영역에 많이 적용되어왔고, 이 주파수 대역의 파장은 mm 스케일이므로 특별한 소형화 기법 없이도 자연스럽게 소형 구조로 이어졌다. 따라서 기존의 SIW로는 C와 X 대역으로 적층기관 도파관의 차단 주파수(cut-off frequency)를 낮출 수 없으므로 대안이 필요한 상황이다.

본 논문은, Ku 대역 이하 군위성통신 주파수에서 표준 금속 도파관과 현존하는 SIW가 가지는 위와 같은 단점들을 극복하기 위한 새로운 설계법을 제시한다[5]. 좀 더 자세히 설명하면, 음수 매질변수인 DNG 개념에 기반을 둔 등가회로를 구성하고 물리적으로 구현하여 C와 X 대역에서 TE10-모드로 동작하고 공진하도록 차단주파수를 현격히 낮추는 것이다. 제안되는 설계법은 회로 모의시험과 정확한 전자장 수치해석을 통해 그 타당성이 확인된다. 설계결과들을 통해, 제안하는 SIW 구조가 크기와 차단주파수의 관점에서, 금속 도파관과 기존의 SIW와 비교되고 그 장점들이 부각될 것이다. 또한 전자장 모의시험에 이용된 제안된 구조는 저가의 기관과 저가의 공정으로 만들어진 뒤 성능이 측정되고 모의시험 결과처럼 Ku대역 보다 낮은 대역에서 동작되고 있음이 보여진다.

2. SIW의 차단 주파수를 낮추기 위한 초기설계

본격적인 설계에 들어가기에 앞서, 전송 및 공진특성을 기본적으로 가져야 하는 구조로서 주요성능에 대한 요구사항이 언급된다.

표 1 대역, 차단 주파수, 크기와 같은 주요성능에 대한 요구사항

Table 1 Specification on the band for propagation, cut-off frequency, and desired size

동작 주파수 대역	C 대역 상위채널 및 X 대역
고역통과특성으로서의 차단 주파수	> 5 GHz
전송구조 단면적 물리적 크기 최대값	≤ 차단 주파수 14.058 GHz를 가지는 WR42(=10.7mm*4.3mm) 단면적보다 작거나 같은 크기

C 대역의 상위 채널과 X 대역의 신호를 전송할 수 있으면서 소형인 구조가 요구된다. 좀 더 상세히 말하자면, 도파관에서 일반적으로 보이는 고역통과형이면서 5 GHz 부근의

차단 주파수를 가져 7.5 GHz ~ 8 GHz를 통과시킬 수 있어야 한다. 세계적으로 통용되는 표준 금속 도파관의 사양을 살펴보면, 앞서 언급된 대역을 소화하는 차단 주파수의 금속 공동 도파관은 28.5mm*12.62mm이거나 좀 더 큰 단면적을 가진다. 그러나, 본 연구에서는 제안하는 기관적층형 도파관의 단면적을 금속 도파관의 하나인 WR42의 단면적인 10.7mm*4.3mm보다 더 작게 설계하는 까다로운 조건을 부여한다. 그런데, WR42-크기의 도파관이 자신의 Ku 대역 차단 주파수보다 훨씬 낮은 5 GHz 인근의 차단 주파수를 갖게하는 것은 표준 기술로서는 거의 불가능한 것이다. 이것은 기존의 SIW기술로도 까다로운 정도라고 할 수 있다. 매우 작은 크기에도 낮은 차단 주파수를 갖고 낮은 위성통신 대역을 통과시키기 위한 기술을 제안하기에 앞서, 금속 도파관의 특징을 살펴보기로 한다. 금속 도파관의 특징으로부터 차단 주파수 이하 낮은 주파수 대역이 차단영역이 되는 원인을 분석해야 새로운 구조설계에 대한 방향을 제시할 수 있기 때문이다.

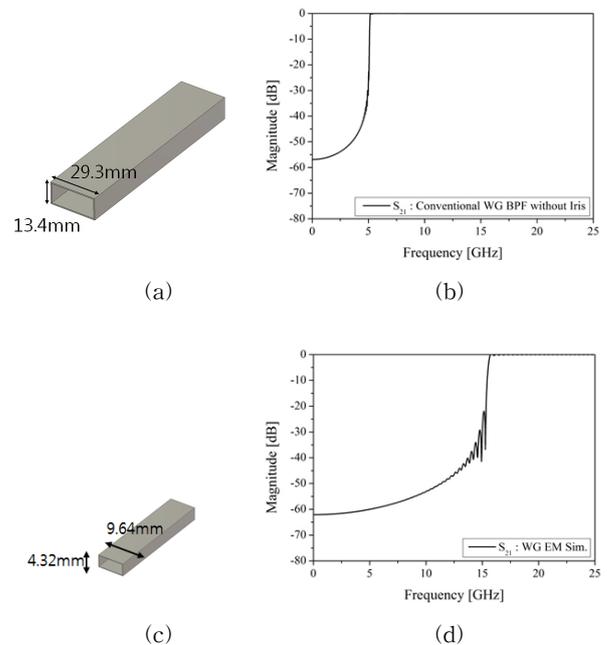


그림 2 큰 금속 도파관과 작은 금속 도파관의 단면적과 차단 주파수의 비교 (a) 큰 금속 도파관 (b) 원하는 낮은 차단 주파수를 보이는 (a)의 S21 (c) 작은 금속 도파관 (d) 높은 차단 주파수를 가지는 (c)의 S21

Fig. 2 Large and small metallic waveguides with different cut-off frequencies (a) A large metallic waveguide (b) S21 as the insertion loss with the desired low cut-off frequency (c) A small metallic waveguide as the desired size (d) S21 as the insertion loss with the higher cut-off frequency

그림 2(a)에 낮은 차단 주파수를 위한 큰 금속 도파관이 보인다. 유한적분법(F.I.T.)에 근간한 정확한 전자장 모의시험에 의해, 큰 금속 도파관의 삽입손실인 S21이 그림 2(b)와 같이 얻어지고 차단 주파수는 약 6 GHz로 읽혀진다. 고역통

과로서 차단 주파수는 C대역 인근이므로 괜찮을지 모르나, 그림 2(a)에 나타난 크기로는 크기에 대한 요구사항을 만족할 수가 없다. 이와 동시에, 크기가 WR42에 필적할 정도로 작은 도파관(그림 2(c))에 대한 관찰을 수행하였다. 그림에 나타나듯이, 작은 도파관의 단면적은 큰 도파관 폭과 높이에 대해 공히 3분의 1이다. 역시 작은 구조에 대한 전자장 모의시험이 수행되어, 전달계수인 S21을 얻어보면 차단 주파수가 C와 X 대역을 벗어나는 15 GHz임을 볼 수 있다. 작은 금속 도파관은 소형이라 크기 측면에서는 만족할만하지만, 주파수 영역이 요구사항에 맞지 않다. 따라서, 작은 부피로도 낮은 통과대역의 두 요구사항을 만족하는 설계를 위해, 우선 초기단계로서 기본적인 SIW의 설계를 진행한다.

SIW 설계는 다음과 같은 기판적층형 도파관의 전송구조로서 시작된다.

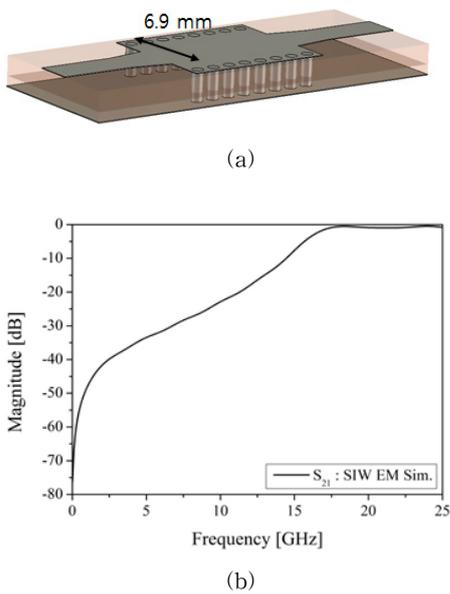


그림 3 기판적층구조의 초기설계 (a) 3차원 그림 (b) 15 GHz의 차단 주파수가 확인되는 S21

Fig. 3 The initial SIW (a) 3D view (b) S21 with the cut-off at 15 GHz

그림 2의 작은 도파관이 가지는 차단 주파수인 15 GHz에 맞춘 기판적층형 전송 도파관 구조를 그림 3에 도시한다. 이 SIW는 입력 천이구조, 접지된 측면에 연결된 금속 패치, 그리고 출력 천이구조로 구성된다. 접지된 상면 패치는 양쪽에 비아 배열들을 가진다. 이 기본 구조는 입출력 천이구조를 제외하고는 참고문헌 3과 4의 구조와 유사하다. 입출력 천이구조는 마이크로스트립 전송선을 중간블럭인 도파관에 연결한 것으로 전자장 분포의 급격한 변화를 유연하게 늦추고, 임피던스를 정합시키는 기능을 한다. 그림 3(a)에서 기본형 SIW는 15 GHz 차단 주파수 특성을 맞추기 위해 폭과 높이를 각각 6.9mm와 1.5mm가 되게 하였으며, 측면에서 0.35mm간격으로 배열된 비아는 각각 0.6mm의 지름을 갖는다. 이 초기형 SIW는 상당히 작은 구조이다. 그런데 제안하는 기법의 타당성을 시급히 따져보기 위해 상대적으로 손실이 커서 저가인 FR4를 기판으로 쓰며, 상대 유전율 4.4와

손실 탄젠트 0.02를 가지며 전자장 수치해석에 포함된다. 다른 SIW 개발자들이 하듯이 고가의 저손실 기판을 LTCC 등의 고가공정으로 구현한다면 훨씬 정확한 증명이 이뤄지겠지만, 본 연구에서는 mm파에 접근하는 영역에서 적합하지 않은 재료로써 요구사항을 만족시키려는 시도를 하는 것이다. 이를 고려한 전자장 모의시험을 통해 얻어진 전달계수인 S21이 그림 3(b)와 같이 나타난다. 기본형 SIW의 치수를 매우 작게 선택하였으므로, 16 GHz 차단 주파수를 가져 C와 X 대역은 통과가 아닌 차단대역 상태이다. 차단 주파수를 낮추기 이전에 왜 차단 주파수 이하에서 감쇄가 일어나는지 생각해 볼 필요가 있다. 전자파의 파수가 음의 허수를 가지고 허수의 크기가 클 때 감쇄가 커지는 잘 알려진 바이다. 이는 전자장 이론에서 유전율 또는 유효 유전율이 복소수가 되고 음의 허수를 가지는 것과 유사하다. 도파관의 경우, 전파방향 파수가 음의 허수가 될 때 이것이 차단 주파수이며 이 주파수의 아래는 유효 유전율이 음의 허수가 되는 효과를 보이며 ENG(epsilon negative)라 할 수 있다[6]. ENG에 해당되는 차단대역을 참고문헌 7과 같은 DNG로 변환한다면 통과대역으로 바뀔 수 있다는 것이 본 연구의 차별성이자 출발점이다. 따라서 기본 SIW의 ENG영역을 등가 회로로 표현하고 통과특성을 부여할 초기 DNG 등가회로를 제안한다.

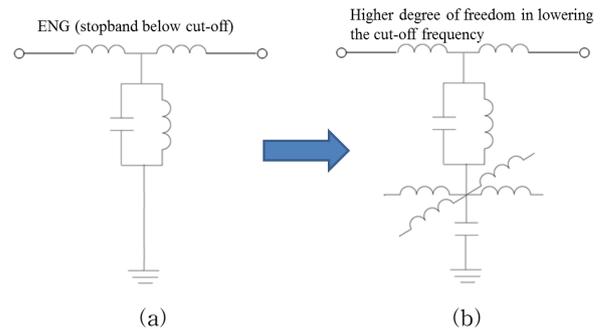


그림 4 기본 SIW의 ENG 회로표현과 제안하는 초기 등가회로로 표현 (a) 기본 SIW의 차단주파수 아래를 표현하는 ENG 회로모델 (b) 차단 주파수를 낮춰 통과대역 특성을 부여할 제안구조의 초기모델

Fig. 4 The ENG circuit model of the fundamental SIW, and the proposed intermediate equivalent bandpass circuit (a) ENG model for the stopband below the cut-off frequency (b) proposed intermediate equivalent bandpass circuit with more circuit parameters

참고문헌 6과 같이, ENG 회로모델은 그림 4(a)와 표현가능하다. 직렬 인덕턴스는 상면 패치 전류의 리액턴스의 요소를 의미하고, 병렬 인덕턴스는 비아 측면을, 병렬 커패시턴스는 패치와 접지면 간의 용량성분을 뜻한다. 병렬 L과 C가 공진현상을 일으키기 전에는, 에너지는 통과될 수 없다. 병렬 L과 C가 공진조건을 만족하면 에너지는 통과된다. ENG의 차단 주파수에 해당되는 이 공진 주파수를 더 낮추려면 그림 4(b)와 같은 모델이 되어야 한다. 즉 초기 제안회로는 그림 4(a)의 커패시턴스 아래에 병렬 커패시턴스를 추

가한 것이고, 이는 다음의 간단한 식과 같이 차단 주파수를 낮출 수 있을 것이다.

$$f_{resonance,old} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{old}C_{old}}}$$

$$\downarrow$$

$$f_{resonance,new} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{old}(C_{old} + C_{\Delta})}} \quad (1)$$

식 (1)에서 원래의 차단 주파수(ENG의 공진 주파수)는 추가된 C에 의해 낮아진다. 제안된 등가회로의 차단 주파수는 상위 C 대역과 X 대역을 통과시키야 하며, 다음과 같은 새로운 물리적 구조에 상응한다.

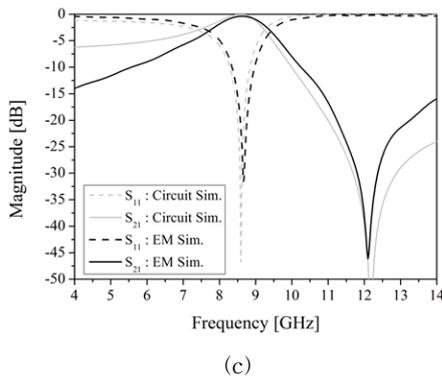
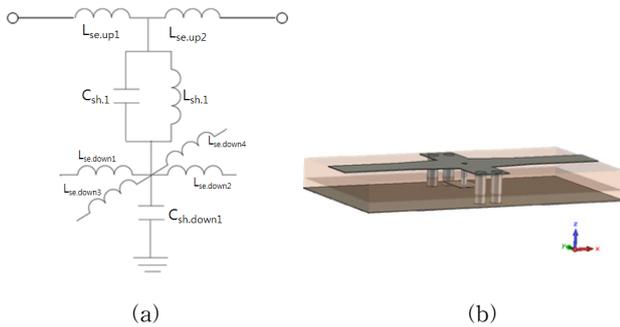


그림 5 초소형 SIW로서 낮아진 차단 주파수를 갖는 새로운 구조와 주파수 특성 (a) 제안하는 초기 등가회로 (b) 적합한 물리구조 (c) 회로모의시험과 전자장 모의시험 S11과 S21 결과 및 비교

Fig. 5 a novel structure and frequency characteristic which has a low cutoff frequency as SIW. (a) The intermediate circuit model (b) Physical realization (c) S11 and S21 of the circuit model compared to those of the physical geometry

그림 5(a) 회로요소 Lse.up1, Lse.up2, Csh.1, Lsh.1, Lse.down1~4과 Csh.down1는 각각 1.5 nH, 1.5 nH, 0.68 pF, 0.81 nH, 1.028 nH와 0.195 pF이다. 모의시험 결과, 균위성 통신 목표대역인 7.5 GHz ~ 8 GHz로부터 1 GHz 벗어난 상태인데, 이것은 뒤에서 제시될 확장된 회로모델과 그것의 전자장 모의시험시 기하변수 튜닝에 해결할 예정이다. 현재 우선적으로 확인되어야 할 것은, ENG 차단대역을 Ku대역

미만의 균위성통신을 위해 통과형이 되었냐는 점이다. 회로 시험 결과는 이 취지에 부합한다. 이런 회로의 요소들을 적합한 물리구조로 변환하는데, 그림 4(a)와 그림 5(a)의 Lse.up1, Lse.up2, Csh.1의 특성은 같고, 추가 회로요소에 대한 대응구조를 필요로 한다. 이는 그림 5(b)로 제안된다. 그런데 초기 제안 SIW와 달리, 길이를 1.95mm로 줄였는데, 전송대역에서 기본 공진기를 만들기 위함이며, 동시에 대역 통과 여파기로 확장 가능한 기본구조로 활용하는 목적에서이며 이는 연구의 취지를 훼손하지는 않는다. 그림 5(b)의 제안된 SIW구조는 참고문헌 3과 4와 달리, 소형구조이면서도 내부에 특이한 장치를 가지고 있다. 상면패치 아래인 기판의 중간층에 작은 패치가 있으며 금속 비아를 통해 상면 패치에 연결되어 있다. 크기가 1.8mm*1.8mm인 중간층 패치는 Lse.down1~4의 스테르브에 해당하고, 중간층 패치와 접지간 커패시턴스는 식 (1)의 으로 Csh.down1와 같다. 그리고 금속 비아의 효과는 Lsh.1에 포함되어 있다. 그림 5(a)의 물리적 구조를 전자장 모의시험기에 그리고 실행하여 얻은 주파수 응답특성은 그림 5(c)의 S11과 S21과 같다. 회로 및 전자장 모의시험에 의한 두 쌍의 그래프들은 잘 일치하는 모습을 보인다. 제안하는 초기 SIW 구조는 목표대역에 접근하는 통과특성을 가지며, 요구사항과의 차이를 없애기 위해, 다음 절에서 향상될 것이다.

3. 목표 저주파 대역을 통과시키는 SIW 공진구조를 위한 향상된 설계

현재까지는, 금속 도파관이나 기존의 SIW와 달리, 상면패치에 비아로 연결된 중간층 패치를 둠으로써, ENG형 차단 대역을 통과대역으로 변경할 수 있음을 보였다. 그런데, 회로와 전자장 모의시험에 의한 주파수 응답특성의 확인 결과, 대역을 1 GHz만큼 더 낮출 필요가 있음을 알았다. 차단 주파수를 좀 더 낮춰 상위 C 대역과 X 대역을 통과대역으로 만들기 위해, 초기 제안회로의 설계 자유도를 높이고 그림 5(b)를 확장시키기 위해, 그 공진구조를 하나 더 두어 결합하는 방식을 취한다. 이를 도식화하면 다음과 같다.

초기 제안구조를 두 개로 늘리고, 두 공진기들을 두 개의 병행한 경로로써 결합시킨다. 첫 번째로, 그림 6(a)에서처럼, 병렬 인덕턴스 Lsh.up1가 상위결합경로에 둔다. 이것은 앞서 제안한 구조에 통과특성을 확실히 부여하기 위해 DNG에서 필요한 직렬 커패시턴스를 확보하는 것으로, 직렬 커패시턴스는 병렬 인덕턴스로 전기적으로 등가화 가능하다. 두 번째로, 두 공진기를 중간패치층에서 직렬 커패시턴스 Cse1로 결합시키는데, 병렬 인덕턴스 Lsh.up1에 상응하는 커패시턴스에 합쳐져 차단 주파수를 더욱 낮춰 목표통과대역을 형성하기 위한 의도에서 비롯된다. 요구사항을 만족시킬 때의 그림 6(a)의 회로요소들인 Lse.up1, Lse.up2, Csh.1, Lsh.1, Lse.down1~4, Lsh.up1, 과 Cse.1는 각각 0.576 nH, 0.576 nH, 0.296 pF, 6 nH, 1.421 nH, 0.085 nH와 0.156 pF이다. 대칭구조를 가정하였으므로, 상대편 공진기의 L과 C 값도 위와 동일하다. 이 값으로써 회로모의시험을 하면, 마침내 통과대역이 원하는 대로 7.5 GHz와 8 GHz에 걸쳐 형성된다. 등가회로를 요소에 적합한 물리적인 구조에 대응시키면 전체적인 3차원 모습은 그림 6(b)로 표현가능하다. 그

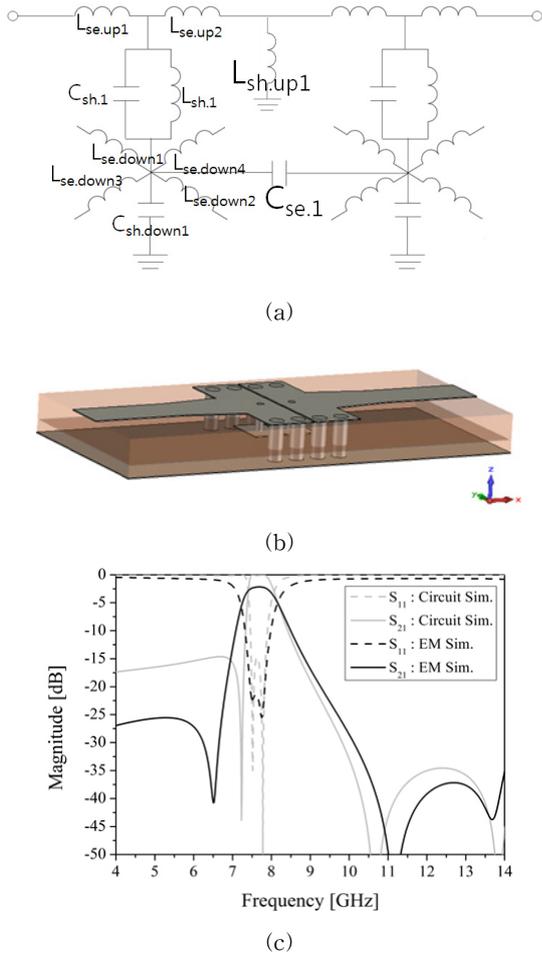
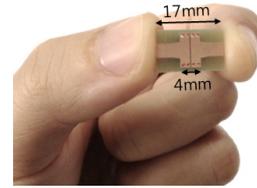


그림 6 통과대역을 더욱 낮추기 위한 향상된 초소형 SIW 구조의 회도모델과 물리적 형태, 그리고 회로 및 전자장 모의시험 결과 (a) 향상된 등가회로 모델 (b) 물리적 구조 (c) 향상된 구조의 회로 및 전자장 모의시험된 S11과 S21의 비교

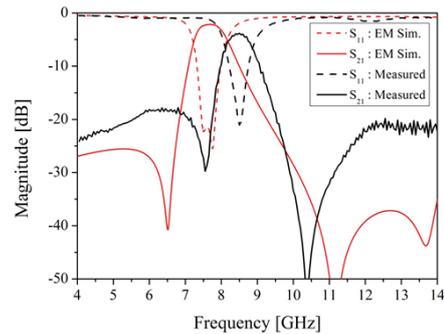
Fig. 6 The advanced circuit model to move the passband downward as a compact SIW, its physical version, and circuit and EM simulated results (a) The improved circuit model (b) Physical realization (c) S11 and S21 of the circuit model compared to those of the physical geometry

림 5(b)의 확장형으로서, 최종적으로 제안된 구조는 두 개 공진기를 각각의 중간층 패치들이 0.1mm 간격의 커패시턴스로 결합되고, 상위 패치들도 편의상 병렬 인덕턴스와 등가인 0.1mm 간격의 커패시턴스로 결합된다. 따라서, 제안된 SIW의 입출력 포트를 제외한 부분은 6.5mm*4.0mm. 면적을 가진다. 높이는 초기 제안구조와 같다. 저가의 유전체 기판인 FR4 기판으로 위의 구조를 그려 정확한 전자장 모의시험을 수행하면 그림 6(c)의 S11과 S21의 주파수 응답특성을 얻게된다. 관찰해보면 주파수 대역이 원하는 대로 얻어졌으며, 회로모의시험 결과와 유사함을 알 수 있다. 이러한 3차원 CAD의 기하정보와 재료정보를 바탕으로, 설계법의 타당성을 한번 더 확인하기 위해, 프로토타입을 제작한다.

제작된 적층기판형 도파관의 사진과 특성을 다음과 같이 나타낸다.



(a)



(b)

그림 7 저가로 제작된 최종제안 SIW의 전자장 모의시험과 측정결과 (a) 제작된 SIW의 사진 (b) 측정된 S11과 S21의 전자장 모의시험 결과의 비교

Fig. 7 EM Simulation and Measured result of a proposed low cost fabricated SIW (a) The photo of the real SIW structure (b) Measured S11 and S21 of the prototype compared to the EM simulated data

그림 7(a)의 사진은 FR4 기판의 마이크로스트립 공정으로 제작된 프로토타입의 모습이다. 제작된 구조 전체면적과 금속패턴이 차지하는 면적은 각각 17mm*8mm와 6.5mm*4.0mm으로서, 같은 주파수 대역을 기준으로, 표준 금속 공동 도파관과 기존의 SIW보다 현저히 작다. 측정된 주파수 응답특성과 전자장 모의시험 결과를 동시에 살펴보면, 측정결과가 목표대역으로부터 무시할 수 없는 정도로 옮겨져 있다. 그 원인은 상용 이동통신 대역보다 훨씬 높은 주파수 영역에는 손실과 분산특성이 심해 잘 채택되지 않는 저가의 FR4 기판을 쓴 것과 중간패치로 나뉘는 층을 쌓을 때와 비아 연결에 필요한 정밀도가 부족한 저가의 가공법이라고 판단된다. 특히, 비아를 채우지 않고 튜브 형식을 취하고 중간패치층에 불가피하게 만들어지는 간극은, 전기장 밀도와 이에 따른 커패시턴스를 낮춰 통과대역을 위로 이동시킨 원인이라고 사료된다. 이러한 열악한 제작과정에 의한 오차에도 불구하고, 옮겨진 X 대역용 표준 금속 도파관이나 기존 SIW의 크기와 본 구조의 크기를 비교하면 훨씬 작고 가볍다고 판단하는 것은 어렵지 않다.

4. 결 론

본 논문에서는, 군위성 송수신기에 사용되는 큰 부피와 무거운 금속 도파관을 대체하는 가볍고 작은 새로운 형태의

전송 및 공진구조를 제안하였다. 제안된 구조는 소형구조로서 크기, 낮은 차단 주파수, 낮은 대역의 통과대역 관점에서 표준 금속 도파관 및 기존의 SIW를 앞선다는 것을 보였다. 제시된 설계법의 타당성은 회로모의시험, 정확한 전자장 모의시험, 제작품의 측정을 통해 확인되었다. 본 설계법과 구조는 송수신기의 부피와 크기를 줄이는데 활용될 수 있다고 예상된다.

감사의 글

본 연구는 LIGNEX1의 2012-2013년도 군위성 무선 통신 시스템의 소형화 산학연구과제에 의하여 이루어진 실적임을 밝힙니다.

References

[1] G. Matthaei, E.M.T. Jones, and L. Young, "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, Artech House, Norwood, MA, USA, 1980

[2] S. J. Fiedziuszko, "Dual-Mode Dielectric Resonator Loaded Cavity Filters," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.30, No.9, pp.1311 - 1316,1982.

[3] Y. Cassivi, L. Perregrini, K. Wu and G. Conciauro, "Low-Costand High-Q Millimeter-Wave Resonator Using Substrate Integrated Waveguide Technique", European Microwave Conf. 2002, Milan, Sept. 2002.

[4] Y. Cassivi, D. Deslandes and K. Wu, "Substrate Integrated Waveguide Directional Couplers", ASIA-Pacific Conf. 2002, Kyoto, Nov. 2002..

[5] H. Kim, H. Lee, Y. Yoo, S. Kahng, K.-S. Kahng, and D.-J. Eom, "Compact low-loss filters with the stacked and SIW structure for satellite communications terminals," Patent filed as J10-2013-0106373, 2013.

[6] G. Jang and S. Kahng, "Design of a Metamaterial Bandpass Filter Using the ZOR of a Modified Circular Mushroom Structure," Microwave Journal, Vol. 54, No. 5, pp. 158, May. 2011.

[7] S. Yoo, S. Kahng "CRLH ZOR Antenna of a Circular Microstrip Patch Capacitively Coupled to a Circular Shorted Ring" Progress In Electromagnetics Research C, Vol.25, 15-26, 2012.

저 자 소 개



강 경 석 (姜 京 錫)

2012년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사), 2012년~현재: 인천대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 부품 설계 및 안테나



양 인 규 (梁 仁 奎)

2012년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사), 2012년~현재: 인천대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 부품 설계 및 안테나



강 승택 (姜 勝澤)

2000년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사), 2000년 4월: 한양대학교 산업과학연구소 연구원, 2004년 2월: 한국전자통신연구원 통신위성 개발센터 선임연구원, 2004년~현재: 인천대학교 정보통신공학과 교수, 2007년~현재: 송도 국방벤처

자문교수

[주 관심분야] 전자파 수치 해석 및 응용, EMI/EMC 대책, 초고주파 부품 및 안테나 설계, 메타물질구조 이론 및 응용



이 호 섭 (李 皓燮)

1998년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사), 1998년 7월~현재: LIG넥스원 C4I 연구소 통신연구센터, 아주대학교 IT융합대학원 석사과정

[주 관심분야] 군 위성통신, 위성통신용 단말, RF/MW 시스템, 메타물질 구조



김 형 종 (金 亨 鍾)

2006년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사), 2012년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학박사), 2012년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원

[주 관심분야] 군 위성통신, 위성통신용 단말, RF/MW 시스템, 고효율 GaN 전력 증폭기