

# 건축물 응용을 위한 종이기반 주파수 선택 표면구조의 설계

이인곤\* · 홍익표\*

\*공주대학교

## Design of Paper-based Ring-type Frequency Selective Surface for Building

In-Gon Lee\* · Ic-Pyo Hong\*

\*Dep. Of Information & Comm. Eng, Kongju National University

E-mail : igl38@kongju.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 건물 통신환경 개선을 위한 건물 내벽의 실제적인 적용을 위해 제작과정이 단순하고 생산 단가가 저렴한 잉크젯 프린팅 방식을 이용하여 종이를 기반의 링 구조 주파수 선택 표면구조를 설계하고 제작하였다. 설계된 종이 기반 주파수 선택 표면구조는 X-대역에서 대역차단 특성과 우수한 입사각 안정성, 광대역 특성을 갖는다. 측정결과로부터 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치하는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this letter, we designed and fabricated the paper-based ring-type frequency selective surface(FSSs) using inkjet printing method for practicable building wall applications to enhancement of the indoor communication environment, including low cost and ease of fabrication. Designed FSS has the band-stop characteristics at X-band, stable angle of incidence and wide bandwidth. Comparisons between measured and simulated results showed the good agreements.

### 키워드

Inkjet printing, Frequency Selective Surface, Angle of Incidence

### 1. 서 론

주파수 선택 표면(FSS, Frequency Selective Surface)구조는 유전체 기판 위에 도체 또는 슬롯이 주기적으로 배열된 전자기 구조로 공간필터로 사용되며, 배열을 구성하는 기본 단위요소의 형상과 크기, 배열 주기 및 배열 형상에 따라 전자기적 특성이 달라진다<sup>[1]</sup>. 패치 타입의 FSS구조는 특정 주파수 대역을 반사시켜 용량성(Capacitive) FSS구조, 슬롯 타입의 FSS구조는 특정 주파수 대역을 투과시키는 특성을 가짐으로 유도성(Inductive) FSS구조라고 한다<sup>[1]</sup>. 특히 대역 통과 또는 차단 특성을 갖는 FSS구조는 스텔스 레이돔 또는 리플렉터레이(Reflectarray) 등 여러 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[2]</sup>. 또한, 최근

에는 건물 내부의 통신 환경에서 한정된 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위한 주파수 재사용<sup>[3]</sup> 및 보안성을 함께 확보하기 위해 창문, 벽지 등에 적용 가능한 FSS구조가 연구되고 있다<sup>[4]</sup>. 그러나, 인쇄회로기판에 에칭기법을 적용하여 FSS 구조를 구현하는 전통적인 제작방법은 고비용과 제작과정이 복잡하고 벽지 등 건축물에 적용하기가 용이하지 않고 또한 곡면구조 등에 적용이 어렵다는 단점을 갖는다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 이러한 단점들을 극복할 수 있는 방법으로 전도성 잉크를 사용한 잉크젯 프린팅 방식으로 인쇄회로를 구현하는 기술을 적용하여, 설계된 FSS 구조를 종이에 구현하였고 제작, 실험하였다.

## II. 설계 및 시뮬레이션

전파 차단 또는 통과대역을 갖는 FSS 구조를 설계하기 위해서는 편파특성, 입사각에 따른 주파수 안정성, 전파 차단 또는 통과대역폭, 설계의 용이성 등을 고려하여 단위셀 구조를 선택해야 한다.

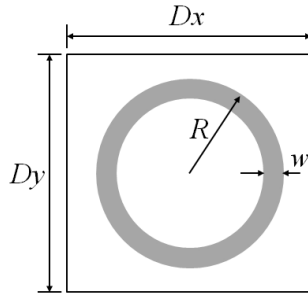
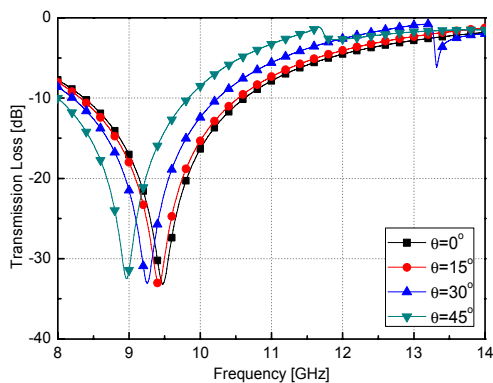


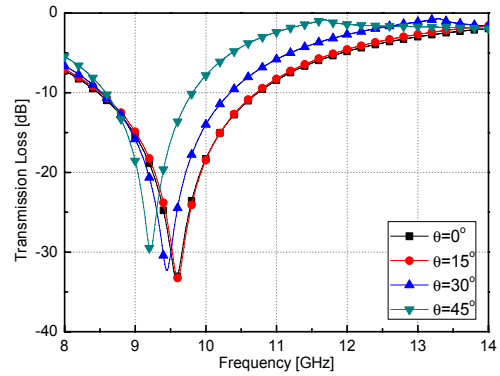
그림 1. 링 FSS 구조 윗면  
Fig. 1. Top view of ring-type FSS

특히, FSS 구조의 공간 필터특성은 임의의 방향에서 입사되는 전파를 가정하기 때문에 입사각에 따른 안정특성이 매우 중요하며, 입사각에 대한 안정성에 대한 단위셀 구조, 3차원 단위셀 구조 등 연구가 이루어지고 있다[6]. 본 논문에서는 2차원 단위셀 구조 중 입사각에 대한 안정성이 비교적 우수하다고 알려져 있는[7] 링구조를 선택하고 상용 전자기해석 소프트웨어인 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 X-대역인 10GHz에서 동작하는 FSS 구조를 설계하였다. 그림 1에 설계한 링구조를 나타내었으며, 10GHz에서 대역차단 특성을 구현하기 위해  $D_x=D_y=15\text{mm}$ ,  $R=6\text{mm}$ ,  $w=1\text{mm}$ 로 일반적인 종이의 전기적 특성으로 알려진 유전율  $\epsilon_r=3$ ,  $\tan\delta=0.02$ 를 갖는다고 가정한 종이 위에 설계하였다. 설계한 결과에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 2에 나타내었다.

입사각을  $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 로 변화시키면서 TE 모드와 TM 모드에 대해 각각 투과손실 특성을 나타내었다.



(a)



(b)

그림 2. 시뮬레이션 결과 (a)TE 모드 (b)TM 모드  
Fig. 2. Simulated results (a) TE mode (b) TM mode

시뮬레이션결과 TE 모드에서는 입사각의 변화에 따라 공진주파수가 5.3% 변화되는 것으로 관찰되었으며, 수직입사에 대해 입사전력의 90%를 차단하는 기준인 -10dB 대역폭은 23.8%로 광대역 특성을 가지는 것을 확인하였다. TM 모드는 입사각의 변화에 대해 3.8%의 공진주파수 이동으로 입사각에 대해 안정성을 갖는다는 것과, 수직입사에 대해 23.5%의 -10dB 대역폭으로 TE 모드와 마찬가지로 광대역 특성을 갖는 것을 확인하였다.

## III. 제작 및 측정

설계된 링구조의 FSS를 잉크젯 프린팅 방법을 이용하여 종이에 제작하였으며 지그에 장착한 FSS를 그림 3에 나타내었다. 제작에 사용한 잉크젯 프린터는 일반 상용 잉크젯 프린터인 Brother사의 MFC-J5910DW 모델을 사용하였으며, 전도성 잉크로는  $0.2\Omega/\square$ 의 표면저항을 갖는 AgIC사의 은 나노잉크(AN01)를, 종이로는 두께  $177 \pm 12\mu\text{m}$ 인 AgIC사의 전용 코팅용지(CP01A4)를 사용하였다.

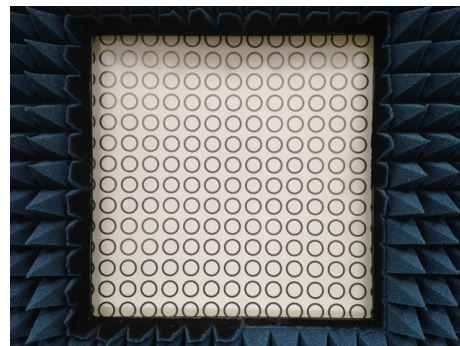


그림 3. 제작된 종이기반 링구조 FSS  
Fig. 3. Fabricated paper-based ring-type FSS

투과손실을 측정하기 위해 표준 혼 안테나를 송수신으로 사용하는 자유공간측정법을 사용하였다. 시뮬레이션과 마찬가지로 입사각을  $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  로 변화시키면서 TE 모드와 TM 모드에 대해 각각 투과손실 특성을 측정하여 그림 4에 나타내었다. 측정결과 TE 모드에서는 수직입사에 대해 시뮬레이션의 공진주파수는 9.47GHz 인데 반하여 측정결과 9.66GHz 로 약간의 오차가 있지만 입사각의 변화에 따라 공진주파수가 3.3% 변화되는 것으로 시뮬레이션에 비하여 안정된 공진주파수 특성을 갖는다는 것이 관찰되었다. 또한, 입사전력의 90%를 차단하는 기준인 -10dB 대역폭은 23.0%로 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 광대역 특성을 가지는 것을 확인하였다. TM 모드는 입사각의 변화에 대해 5.6%의 공진주파수 이동으로 입사각에 대해 비교적 안정성을 갖는다는 것과, 수직입사에 대해 21.5%의 -10dB 대역폭으로 TE 모드와 마찬가지로 광대역 특성을 갖는 것을 확인하였다. 그림 2의 시뮬레이션 결과와 그림 4의 측정결과는 대체적으로 일치하는 특성을 얻을 수 있으며, 약간의 오차는 시뮬레이션에서 고려한 종이의 유전율과 손실탄젠트의 정확한 값이 고려되지 않았기 때문이라고 판단된다.

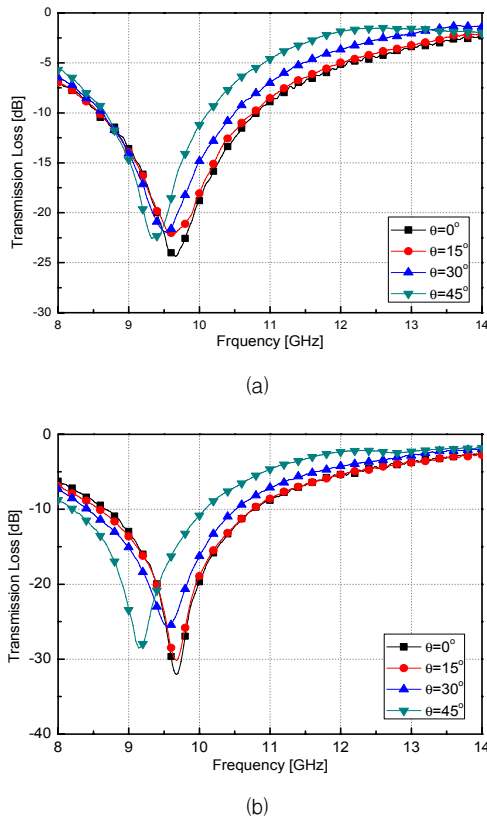


그림 4. 측정 결과 (a)TE 모드 (b)TM 모드  
Fig. 4. Measured results (a) TE mode (b) TM mode

#### IV. 결 론

본 논문에서는 은나노 전도성 잉크를 이용한 잉크젯 프린팅 기법을 이용하여 종이에 FSS 구조를 설계하고 인쇄, 제작하였다. 10GHz 대역에서 대역차단 특성을 갖고 입사각 안정성, 간단한 설계파라미터를 갖는 링구조의 FSS 구조를 상용 전자기 소프트웨어를 이용하여 설계하였고, 입사각을  $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  로 변화시키면서 TE 모드와 TM 모드에 대해 각각 투과손실 특성을 계산하였다. 계산된 결과를 바탕으로 종이에 설계한 FSS 패턴을 인쇄하여 자유공간측정법을 이용하여 측정한 결과 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치하는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 종이 기반 FSS 구조는 설계 및 제작이 용이하고 유연성이 뛰어나 전파차단 또는 보안을 위한 건축물의 벽치, 곡면형상 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] B. Munk, Frequency Selective Surface: Theory and Design, John Wiley & Sons, 2000.
- [2] E. L. Pelton and B. A. Munk, "A streamlined metallic radome", IEEE Trans. on Antennas & Prop., vol.22, no.6, pp.799-803, Nov. 1974.
- [3] S. Yun, D. C. Park, S. C. Kim, "Performance enhancement of fractional frequency reuse using partially overlapped frequency partition", Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol.37, no.8, pp.687-694, Oct. 2012.
- [4] B. Sanz-Izquierdo, J. -B. Robertson, E. A. Parker, and J. C. Batchelor, "Wideband FSS for electromagnetic architecture in buildings", Applied Physics A, vol.103, no.3, pp.771-774. Feb. 2011.
- [5] A. A. Dewani, M. Kanesan, D. V. Thiel, S. G. O'Keefe and M. V. Varnoosfaderani, "Screen printed frequency selective surfaces for room isolation in building", 2014 International workshop on Antenna Technology, pp.208-211, Mar. 2014.
- [6] B. Li and Z. Shen, "Angular-stable and polarization-independent frequency selective structure with high selectivity", Applied Physics Letters, vol.103, no.17, pp.171607, Oct. 2013.
- [7] P. S. Taylor, E. A. Parker and J. C. Batchelor, "An active annular ring frequency selective surface", IEEE Trans. on Antennas & Prop., vol.59, no.9, pp.3265-3271, Sep. 2011.