

# DSRR을 이용한 주파수 선택적 표면 설계

## Design of a Frequency Selective Surface Using DSRRs

우대웅 · 김재희 · 지정근\* · 김기호\* · 성원모\* · 박위상

Dae-Woong Woo · Jae-Hee Kim · Jeong-Keun Ji\* · Gi-Ho Kim\* ·  
Won-Mo Seong\* · Wee-Sang Park

### 요 약

본 논문에서는 CDMA/RFID 주파수 격리도 향상을 위해 double split ring resonator(DSRR)을 이용한 주파수 선택적 표면(FSS)을 설계하였다. 제안된 FSS의 단위 셀 구조는 외부 SRR과 내부 SRR로 구성되며, 이 두 SRR의 gap은 같은 방향에 위치한다. SRR의 gap 간격 및 line 두께 등을 조절하여 전체적인 크기를 유지하면서 공진 주파수 및 스킨트 특성을 조절할 수 있다. 동작 주파수에서 제안된 SRR의 필드는 magneto-dielectric SRR과 다른 방향을 가진다. 한 층은 9×9 단위 셀로 구성되어 있으며, 50 mm 간격을 두고 다른 층이 위치해 있다. 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 패치 안테나 및 FSS를 제작했으며, 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보인다. 단위 셀의 저지 대역에서의 전기적 크기는  $0.110 \lambda \times 0.110 \lambda \times 0.002 \lambda$ 로 다이폴 FSS에 비해 소형이며, 저지 대를 포함한 2층 FSS의 크기는  $1.058 \lambda \times 1.058 \lambda \times 0.153 \lambda$ 이다. 측정 결과 CDMA 대역의 이득이 유지되며, RFID 대역에서 6.9 dB 이득이 감소하였다.

### Abstract

We propose a frequency selective surface(FSS) using double split ring resonators(DSRRs) for isolation enhancement between CDMA and RFID. The structure consists of an outer SRR and an inner SRR, and the gaps are formed in the same direction. By properly adjusting the gap and line width, the resonant frequency and skirt characteristics can be adjusted without varying the unit cell size. The proposed structure has a different field distribution from that of an ordinary SRR for magneto-dielectric materials. One layer consists of 9×9 unit cells and the other layer was separated by 50 mm. To validate the simulation results, we fabricated the patch antenna and the FSSs, and the measured results show a good agreement with the simulated ones. The electrical size of the unit cell is  $0.110 \lambda \times 0.110 \lambda \times 0.110 \lambda$ , and the size of the two layer FSS is  $1.058 \lambda \times 1.058 \lambda \times 0.153 \lambda$ . The two layer FSS maintain gain in CDMA frequency and has 6.9 dB reduced gain in RFID frequency.

Key words : Frequency Selective Surface, Split Ring Resonator, Isolation Enhancement

### I. 서 론

이동 통신 시스템에서 중계기는 기지국에서 전송한 기지국 신호가 전달되지 않거나, 미약하게 전달되는 통화 음영 지역 내에 설치되어 기지국으로부터

수신한 기지국 신호를 증폭하거나 통화 음영 지역 내에 위치한 이동 통신 단말기에 중계하는 역할을 한다. 일반적으로 이동 통신 시스템의 중계기는 낮은 출력 레벨에서는 출력 신호의 선형성을 유지하지만, 높은 출력 레벨에서는 입력 신호 레벨의 증가에

포항공과대학교 전자전기공학부(Department of Electronic and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

\*(주)이엠파블류(E.M.W. Co., Ltd.)

· 논문 번호 : 20091127-12S

· 교신저자 : 박위상(e-mail : wsp@postech.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 1월 22일

따라 출력 신호 레벨이 선형적으로 증가하지 못하고 파형이 찌그러지는 상호 변조(intermodulation) 신호가 발생하게 된다. 이러한 상호 변조 신호는 CDMA(Code Division Multiple Access), RFID(Radio Frequency Identification) 및 GSM(Global System for Mobile communication) 주파수 대역을 포함하는 이동 통신 주파수 대역의 신호에 악영향을 줄 수 있다.

예를 들어, 이동 통신 주파수 대역이 824~894 MHz인 CDMA 주파수 대역이고 타 대역이 917~923.5 MHz인 RFID 주파수 대역인 경우, CDMA 주파수 대역과 RFID 주파수 대역이 밀접해 있기 때문에 중계기에서 발생하는 상호 변조 신호의 주파수가 RFID 주파수 대역에 근접하거나 RFID 주파수 대역에 포함될 가능성이 크다. 따라서 CDMA 중계기에서 상호 변조 신호가 방출되고 있는 상황에서 RFID 리더가 중계기에 인접해 있는 RFID 태그를 판독하려고 하면, RFID 주파수 대역에 포함된 주파수를 가지는 상호 변조 신호에 의해 혼선이 발생하여 RFID 리더가 중계기에 인접해 있는 RFID 태그를 판독하지 못하는 문제점이 발생할 수 있다.

이 문제점을 해결하는 방법 중 하나로 주파수 선택적 표면(FSS)를 사용하는 방법이 있다. 가장 단순한 형태는 dipole FSS 또는 slot FSS이며(그림 1), 각각 band stop 특성을 가지는 직렬 공진 회로 및 band pass 특성을 가지는 병렬 공진 회로로 등가화가 가능하다<sup>[1]</sup>. 하지만 두 구조는 스킨트 특성이 우수하지 않으므로 CDMA/RFID 격리에는 적합하지 않다. Dipole FSS 이외에도 여러 가지 형태의 FSS가 제안되었다<sup>[2]~[5]</sup>. CDMA/RFID 격리도를 위한 용도로는 cross 형태의 FSS가 제안된 바 있다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 dipole FSS의 등가회로 모델을 변형하여 SRR을 이용한 FSS 구조를 제안하였다. II장에서는 제안된 SRR의 등가회로, 구조 및 필드 분포에 대해 살펴보도록 한다. III장에서는 기본 SRR 구조를 개선한 DSRR 구조 및 다층 구조에 대해서 살펴본다. IV장에서는 안테나와 FSS를 결합한 전체 시스템 특징을, V장에서는 제작 결과를 살펴보고, VI장에서 결론을 맺기로 한다.

## II. SRR 구조

전체적인 FSS 설계에 앞서 단위 셀의 설계가 필

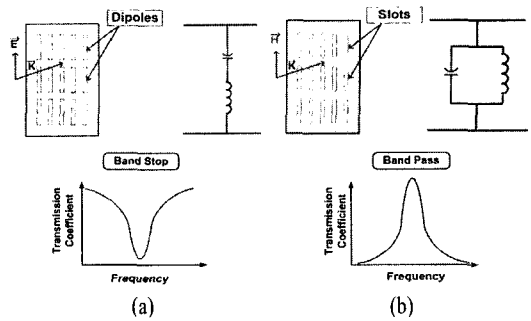


그림 1. Dipole FSS (a)와 slot FSS (b)의 구조, 등가회로 및 전송 계수

Fig. 1. The structure, equivalent circuit, and transmission coefficient of a dipole FSS (a) and a slot FSS (b).

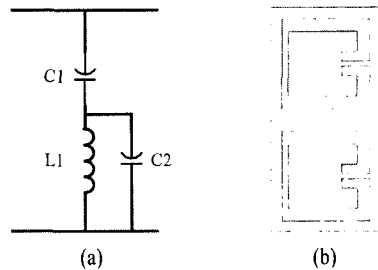


그림 2. Dipole FSS 등가회로에서  $L_1$  옆에 병렬  $C_2$ 를 추가한 회로(a)와 구현된 구조(b)

Fig. 2. The modified dipole FSS equivalent circuit which includes shunt  $C_2$  beside  $L_1$ (a) and the realized structure(b).

요하다. 단위 셀은 CDMA 주파수 대역에서 손실이 적어야 하며, RFID 중심 주파수에서 대역 저지가 우수해야 한다. CDMA 대역과 RFID 대역은 매우 가깝기 때문에 높은  $Q$ (quality factor) 값을 갖는 단위 셀이 요구된다.  $Q$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{f_0}{BW_{3dB}} \quad (1)$$

여기서  $f_0=920$  MHz,  $BW_{3dB}=920\sim894$  MHz=26 MHz 라 두면  $Q=17.7$ 이 되므로  $Q>17.7$ 인 단위 셀 설계가 필요하다. Marginal Frequency(MF)는  $f_0 - BW_{3dB}$ 로 정의하였다. 시뮬레이션은 CST사의 MWS를 이용하였다.

Dipole FSS의 경우 구조가 단순한 장점이 있으나 스킨트 특성이 CDMA/RFID 대역을 만족할 정도로 우수하지 않으며 단위 셀이 큰 편이다. Dipole FSS의

등가회로는 L, C 직렬 회로로 표현되며 등가회로를 변형해 가면서 스커트 특성을 비교해 보았다. 등가회로의 변형은 여러 가지 형태가 있으나, 이 중에서 L 옆에 병렬로 C를 두는 것이 효과적임을 알 수 있었다(그림 2(a)). 병렬 C의 가변 정도에 따라 공진 주파수가 크게 변화하는 특성을 가진다. 병렬 C를 추가하기 위해서는 dipole 옆에 추가적인 라인과 갭이 필요하다(그림 2(b)). 이 구조는 split ring resonator (SRR) 모양과 유사하므로 SRR FSS로 부르기로 한다. Dipole FSS와 SRR FSS를 비교하기 위해 각 단위셀을 시뮬레이션 하였다. 단위 셀 시뮬레이션을 위한 구조를 그림 4에 나타내었다. 시뮬레이션 경계 조건을 perfect electric conductor(PEC), perfect magnetic conductor(PMC)로 두게 되면 평면파가 발생하며 단위 셀의 전송 특성을 분석할 수 있다. 단위 셀의 크기는 두 경우 모두 35 mm×35 mm×0.8 mm로 두었으며 기판은 FR4를 사용하였다. 시뮬레이션에서 단위 셀의 경계 조건은 무한 주기 구조 형태이며, 평면파가 입사하게 된다. 그리고 SRR의 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> 부분에 전계가 형성되기 위해서 electric field가 gap 위아래로 걸리도록 평면파를 보내어야 한다.

그림 3에 magneto-dielectric<sup>[7]</sup>으로 동작할 때와 FSS로 동작할 때의 필드 방향을 나타내었다.

Magneto-dielectric으로 동작할 때는 magnetic field가 SRR의 normal 방향으로 형성되나, FSS로 동작하는 경우에는 전파의 진행 방향이 SRR의 normal 방향으로 형성되는 것을 알 수 있다.

SRR의 통과 대역과 저지 대역의 전류 분포를 그림 5에 나타내었다. 통과 대역에 비해 저지 대역에서 전류가 많이 흐르며, 이는 저지 대역에서 공진이

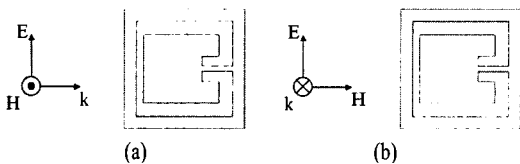


그림 3. SRR이 magneto-dielectric으로 동작할 때의 필드 분포(a) 및 FSS로 동작할 때의 필드 방향(b)

Fig. 3. Field direction of an SRR which operates as a magneto-dielectric SRR(a) and operates as a FSS(b).

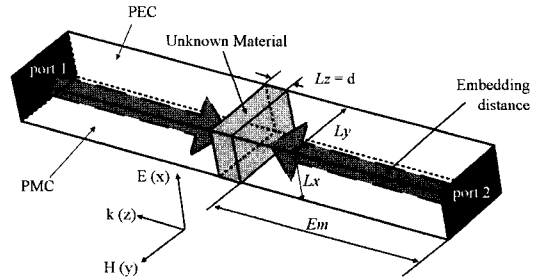


그림 4. 단위 셀 시뮬레이션 구조  
Fig. 4. A structure for the unit cell simulation.

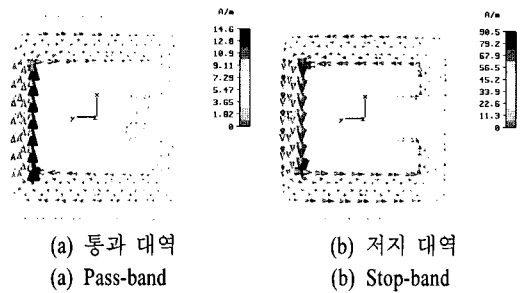


그림 5. SRR의 전류 분포  
Fig. 5. Current distribution of the SRR.

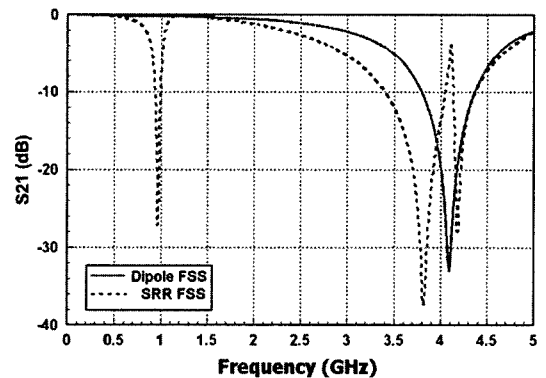


그림 6. Dipole FSS와 SRR FSS의 전송 특성 비교  
Fig. 6. Comparison of the transmission characteristics of the dipole FSS and the SRR FSS.

강하게 발생하기 때문이다.

Dipole FSS와 SRR FSS의 전송 특성을 그림 6에 비교하였다. 여기서 두 FSS의 크기는 35 mm×35 mm×0.8 mm로 동일하게 두었다. Dipole FSS의 경우 공진이 4.1 GHz에 발생하며 MF=880 MHz, Q=2.32의 특성을 얻을 수 있다. 반면에 SRR FSS의 경우 공진이 967 MHz에서 발생하며, MF=92 MHz, Q=5.25인 특

성을 얻을 수 있다. 전기적인 크기가 4배 이상 줄어들었기 때문에  $Q$ 값이 증가한 것으로 판단된다. 하지만 CDMA/RFID 격리를 위한 목표 수치와는 차이가 있으며 SRR의 전송 특성을 개선할 필요가 있다.

### III. DSRR 및 다층 구조

제안된 SRR의 스킨트 특성을 개선하기 위하여 안쪽에 SRR을 추가한 double split ring resonator(DSRR) 구조를 제안하였다(그림 7). 안쪽에 SRR을 추가하면 바깥쪽 SRR과의 capacitively coupling으로 인하여 공진 주파수가 떨어지는 경향이 있으며, 파라미터를 조절하여 약간의 공진 주파수와 스킨트 특성 조절이 가능하다. 시뮬레이션 결과  $f_0=913$  MHz, MF=67 MHz,  $Q=6.81$ 가 나왔다.

일반적으로 filter의 단(layer) 수를 늘이게 되면 skirt 특성이 향상되는 효과가 있다. 따라서 단 수( $N$ )와 단 사이의 간격( $d$ )에 따른 전송 특성을 살펴볼 필요성이 있다(그림 8). 표 1은 층간 거리에 따른 전송 특성을 보여주고 있다. 단, 사이의 간격이 가까울수록 단 사이의 커플링으로 인해 공진 주파수가 감소하게 되며, 일정 거리 이상이 되면 공진 주파수가 거의 변하지 않는다.  $d=10$  mm일 때 공진 주파수는 가장 낮은 반면에 MF=112 MHz,  $Q=3.85$  특성은 좋지 않다.  $d=30$  mm이면 MF=32 MHz,  $Q=14.6$ 으로 우수한 편이다. 하지만  $d$ 가 너무 작으면 통과 대역에서 gain이 줄어드는 단점이 있으므로 이를 고려해 주어야 한다. 표 2는 단 수에 따른 FSS 특성을 보여주고 있다.  $N=3$ 인 경우를 제외하면 단 수에 따라 MF,  $Q$

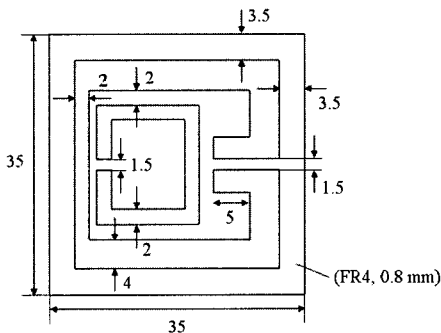


그림 7. DSRR 기본 구조 및 파라미터(단위: mm)  
Fig. 7. Basic structure and parameters of the DSRR (unit: mm).

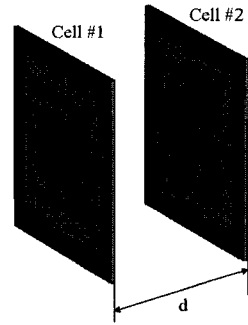


그림 8. 2단 DSRR FSS 구조  
Fig. 8. Two layer DSRR FSS structure.

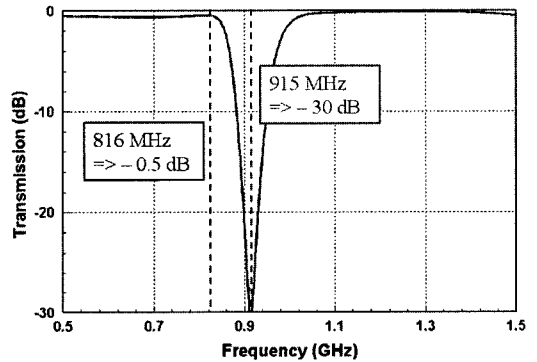


그림 9. DSRR FSS 구조의 전송 특성  
Fig. 9. Transmission characteristic of the DSRR FSS.

표 1. 단 사이의 거리( $d$ )에 따른 FSS 특성  
Table 1. FSS characteristics with layer distance( $d$ ).

$d$ (mm)	$f_0$ (MHz)	MF(MHz)	$Q$
10	862	112	3.85
30	919	32	14.36
50	913	51	8.95
70	919	80	5.74
90	919	101	4.55

표 2. 단 수( $N$ )에 따른 FSS 특성  
Table 2. FSS characteristics with the number of layers( $N$ ).

$N$	$f_0$ (MHz)	MF(MHz)	$Q$
1	913	67	6.81
2	913	51	8.95
3	897	55	8.15
4	897	45	9.97

특성이 향상되는 것을 알 수 있다. 단, 수가 커지게 되면 전체적인 시스템의 크기가 커지게 되며, 이를 고려할 필요성이 있다. 최종적으로 설계된 단위 셀 구조의 크기는  $35\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$  ( $0.110\lambda \times 0.110\lambda \times 0.002\lambda$ ,  $920\text{ MHz}$ )으로 전기적으로 소형이며,  $f_0=915\text{ MHz}$ 에서  $S_{21} \approx -30\text{ dB}$ 의 전송 특성을 얻을 수 있었다(그림 9).

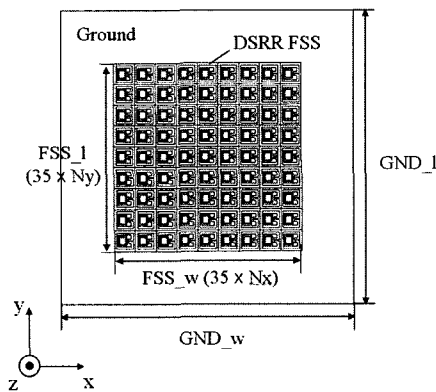
#### IV. 전체 시스템 구조

그림 10에 패치 안테나 위에 2단 FSS가 있는 전체 시스템 구조를 도시하였다. 패치 안테나는 CDMA 전 대역을 만족하기 위하여 L probe 급전을 이용하여 설계되었다<sup>6)</sup>. 패치 안테나의 fringing field가 방사를 결정하므로 fringing field 방향과 SRR gap 방향이 일치하도록 구성하였다.

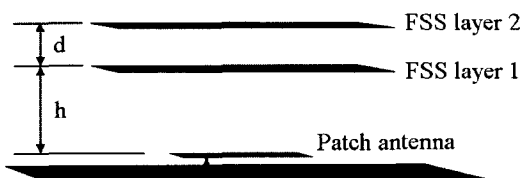
패치 안테나와 FSS 사이 거리( $h$ )에 따른 특성을 그림 11에 나타내었다. 패치와 FSS 사이 거리가 가까울수록 커플링으로 인하여 미스매치가 발생하게

되며, 이로 인해 이득이 감소한다.  $h=100\text{ mm}$  이상이면  $S_{11}$ 이 CDMA 대역에서 대부분  $-10\text{ dB}$  이하가 되는 것을 알 수 있다. 그리고 통과 대역의 이득이 패치 안테나만 있을 때보다 다소 증가하며,  $920\text{ MHz}$  대역의 이득이  $-19\text{ dB}$  정도로 상당히 감소하는 것을 알 수 있다. 공진이 가장 강하게 형성되는 저지 대역에서, 패치 안테나에서 나온 전력의 일부는 FSS의 FR4 기판과 구리선에 의해 소모되고, 나머지 전력은 반사되어 빔이 다소 넓어지게 된다.  $h=100\text{ mm}$  이상이면 CDMA 대역의 이득은 증가하나 RFID 대역에서 대역 저지 특성이 좋지 않다. 따라서  $h=100\text{ mm}$  로 정하였다.

단위 셀 개수( $N_x$  또는  $N_y$ )에 따른 특성을 그림 12에 나타내었다. 단위 셀 개수가 증가할수록 무한 주기 구조에 가까워지나 전체적인 시스템의 크기도 증

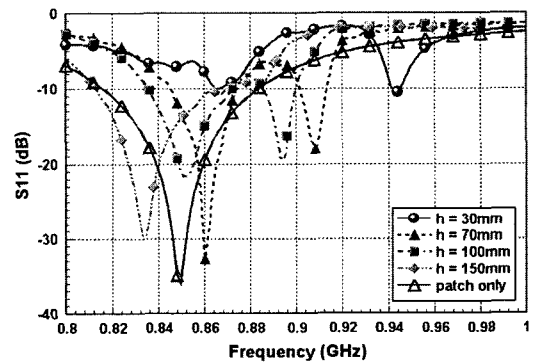


(a) 정면도  
(a) Top view

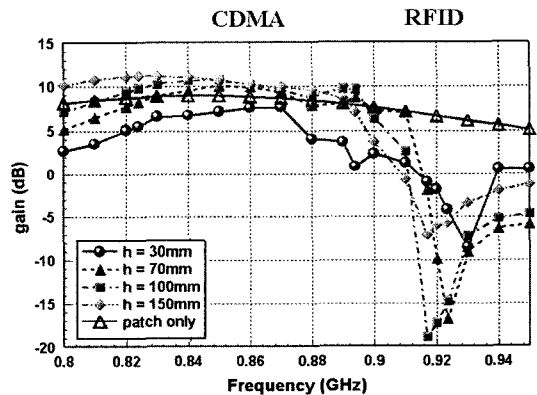


(b) 측면도  
(b) Side view

그림 10. 패치 안테나 위에 2단 FSS를 추가한 구조  
Fig. 10. The structure of a two layer FSS on the patch antenna.



(a)



(b)

그림 11. 패치 안테나와 FSS 사이 거리( $h$ )에 따른 S 파라미터(a) 및 이득(b)

Fig. 11. Gain(a) and  $S$  parameter(b) with the distance between the patch antenna and the FSS.

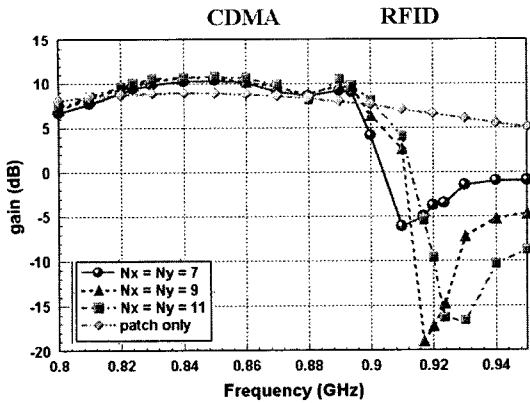
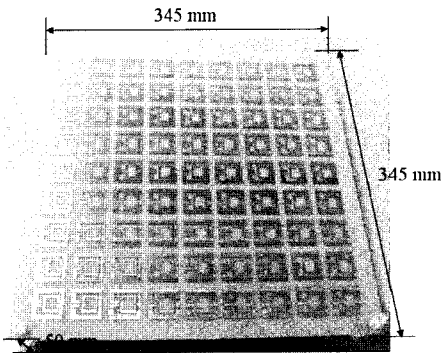
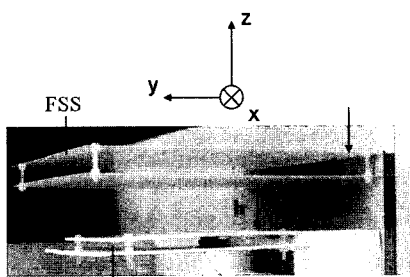


그림 12. 단위 셀 개수에 따른 이득  
Fig. 12. Gain with the number of the unit cell.

가하는 단점이 있다.  $N_x$ 가 증가할수록 매칭이 다소 향상되는 경향을 보인다.  $N_x$ 가 증가할수록 CDMA 대역의 이득이 향상되며  $N_x=9$ 일 때 저지 대역 특성이 좋은 것을 알 수 있다.



(a)



L probe patch antenna

(b)

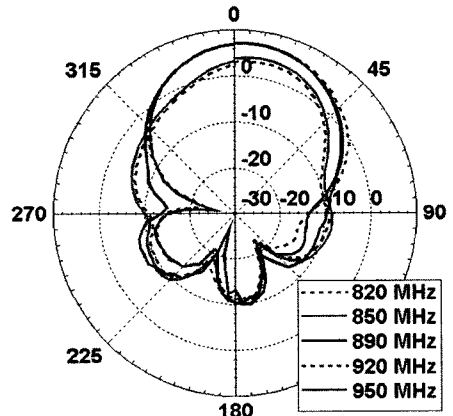
그림 13. 제작된 FSS(a) 및 패치 안테나와의 구조 (b)

Fig. 13. Fabricated FSS(a) and the overall structure with the patch antenna(b).

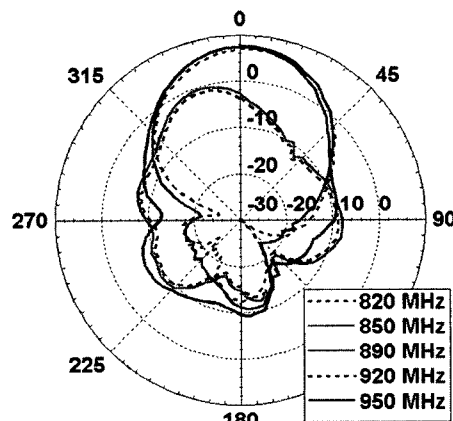
## V. 제작 및 측정 결과

그림 13에 제작된 패치 안테나와 FSS의 구조를 나타내었다. 두 FSS 단 사이에는 지지대가 필요하며 플라스틱 나사를 이용하였다. 플라스틱 나사는 유전율이 3 정도이며, 시뮬레이션 상으로는 FSS 성능에 거의 영향을 미치지 않는다. 그림 13(b)에서 안테나와 FSS 사이 거리( $h$ )는 100 mm이며, 단 사이 거리( $d$ )는 50 mm이다.

그림 14와 그림 15에 측정된 방사 패턴을 나타내었다. 단일 패치 안테나의 경우 CDMA 대역 이득이 7.2~7.4 dB이며, RFID 대역 이득이 2.9 dB가 나왔다. 이에 비해 2단 FSS를 추가한 경우 CDMA 대역 이득

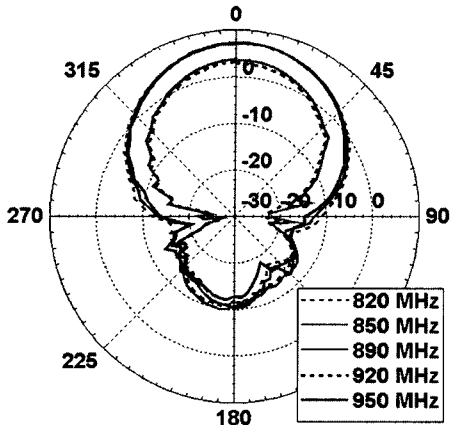


(a) 패치 안테나만 있는 경우  
(a) Only patch antenna

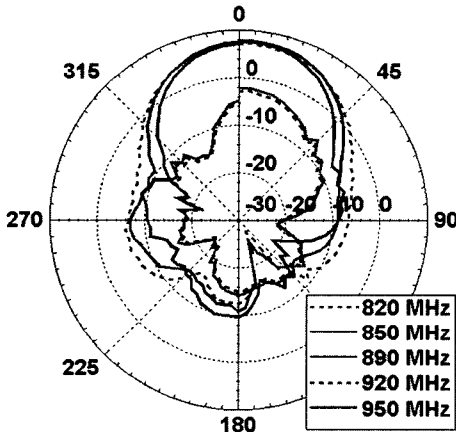


(b) FSS가 포함된 경우  
(b) Including FSS

그림 14. 측정된 xz 평면 방사 패턴  
Fig. 14. Measured radiation pattern of the xz plane.



(a) 패치 안테나만 있는 경우  
(a) Only patch antenna



(b) FSS가 포함된 경우  
(b) Including FSS

그림 15. 측정된 yz 평면 방사 패턴  
Fig. 15. Measured radiation pattern of the yz plane.

이 7.2~7.9 dB이며, RFID 대역 이득은 -4 dB가 나왔다. 따라서 2단 FSS를 사용하면 이득이 패치 안테나에 비해 CDMA 대역에서 0~0.5 dB 증가하며, RFID 대역에서 6.9 dB 감소하는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션과 gain이 차이가 나는 이유는 제작상의 오차, FR4 유전율 오차 등에 기인한 것으로 판단된다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 DSRR을 이용한 CDMA/RFID 주파수 선택적 표면을 제안하였다. 다이폴 FSS의 등가회로가 변형된 SRR FSS를 제안하였으며, 다이폴 FSS에 비해 전기적인 크기 및 주파수 특성이 우수함을

확인하였다. SRR FSS의 특성을 개선하기 위해 안쪽에 SRR이 추가된 DSRR FSS 및 다단 구조를 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 적절한 단 사이 간격, 안테나와의 높이 등을 결정하였다. 단위 셀의 크기는 35 mm×35 mm×0.8 mm(0.110 λ×0.110 λ×0.002 λ)로 소형이며, 2단 FSS의 크기는 345 mm×345 mm×50 mm(1.058 λ×1.058 λ×0.153 λ)이다. 제작 및 측정을 통하여 성능을 검증하였으며, 단일 패치 안테나에 비해 CDMA 대역에서는 0~0.5 dB 이득이 증가하고 RFID 대역에서는 6.9 dB 이득이 감소하였다. 즉, FSS를 사용하더라도 CDMA 대역의 이득이 감소하지 않는 장점이 있다.

본 논문에서 DSRR FSS의 최적화는 완전히 이루어지지 않았으며, genetic algorithm(GA), particle swarm optimization(PSO) 등을 이용한 최적화가 이루어진다면 좀 더 나은 통과 대역 및 저지 대역 특성을 얻을 것으로 판단된다. 제안한 구조는 한쪽 편파에 대해서만 FSS 특성을 얻을 수 있는데, 양쪽 편파에 대하여 FSS 특성을 얻을 수 있는 구조를 향후에 연구할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Munk, Ben, *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*, John Wiley, 2000.
- [2] Rong-rong Xu, Huai-cheng Zhao, Zhi-yuan Zong, and Wen Wu, "Dual-band capacitive loaded frequency selective surfaces with close band spacing", *Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 18, issue 12, pp. 782-784, Dec. 2008.
- [3] D. S. Lockyer, J. C. Vardaxoglou, and R. A. Simpkin, "Complementary frequency selective surfaces", *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, vol. 147, issue 6, pp. 501-507, Dec. 2000.
- [4] Chenggang Zhang, Qiang Zhang, and MingChun Hu, "Adaptive frequency selective surface with ring slot units", *Electromagnetic Compatibility, EMC 2007*, pp. 536-538, Oct. 2007.
- [5] Amir Khurram Rashid, Zhongxiang Shen, "A novel frequency selective surface with controllable bandwidth and steep rejection skirt", *APS 2009*, Jun. 2009.

[6] 김재희, 우대웅, 지정근, 김기호, 성원모, 박위상, "CDMA/RFID 격리도 향상을 위한 주파수 선택적 표면(FSS) 설계", 2009년 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회, 한국전자과학회, 32(2), p. 173, 2009년 5월.

[7] Hossein Mosalliaei, Kamal Sarabandi, "Magneto-dielectrics in electromagnetics: Concept and applications", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 52, no. 6, Jun. 2004.

우 대 웅



2007년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 석·박사 통합과정  
 [주 관심분야] 안테나, Metamaterial, 주파수 선택적 표면

김 기 호



2000년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 2002년 2월: 단국대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
 2000년 1월~2004년 10월: (주)하이게인 안테나  
 2004년 11월~현재: (주)EMW 중앙

연구소 책임연구원

[주 관심분야] 소형 안테나, Metamaterial

김 재 희



2004년 8월: 고려대학교 전기전자 전파공학부 (공학사)  
 2005년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 석·박사 통합과정  
 [주 관심분야] 밀리미터파 빔 형성 안테나, 소형안테나, Metamaterial

성 원 모

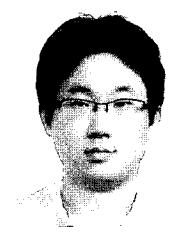


1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1998년 6월~현재: (주)EMW 중앙

연구소 연구소장

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

지 정 근



1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
 1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)  
 1999년 3월~2007년 10월: (주)팬택 & 큐리텔 중앙연구소 선임연구원  
 2007년 11월~현재: (주)EMW 중앙

연구소 책임연구원

[주 관심분야] 소형 안테나, Metamaterial

박 위 상



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1982년 6월: University of Wisconsin-Madison 전자공학과 (공학석사)  
 1986년 8월: University of Wisconsin-Madison 전자공학과 (공학박사)  
 1976년 7월~1978년 11월: 삼성전자

공업주식회사

1984년 1월~1986년 8월: University of Wisconsin-Madison, TA 및 RA

1986년 8월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
 [주 관심분야] Design of Microstrip Antennas, Full-Wave Analysis of Microstrip Structures, Design of Passive Microstrip Devices by Network Modeling, Measurement and Simulation of EMI/EMC for Cellular Phones