

결함 모드 특성을 갖는 주파수 선택적 표면에 의한 안테나 이득 향상

Antenna Gain Enhancement Using FSS(Frequency Selective Surface) with Defect Mode Characteristic

김준형 · 남성수 · 조태준 · 이홍민

June-Hyong Kim · Sung-Soo Nam · Tae-Joon Cho · Hong-Min Lee

요 약

본 논문은 결함 모드 특성을 갖는 주파수 선택적 표면에 의한 WCDMA에서 동작하는 안테나의 이득 향상을 위한 설계와 제작에 대해 다룬다. 제안된 결함 모드 특성을 갖는 FSS 단위 셀은 동일한 크기의 일반적인 단위 셀보다 낮은 주파수 대역에서 적용이 가능하므로 단위 셀의 크기를 66 % 정도 축소시켰다. 단위 셀의 최적화된 배열 개수는 13×13으로 하였으며, WCDMA 송신 대역과 수신 대역에서 동작하는 패치 안테나를 각각 설계하였다. 사각형 구조의 단일 패치 안테나를 사용하여 WCDMA 대역을 포함한 동작 특성을 나타내도록 하였다. 모의 실험한 결과, 송신 대역에서 제안된 FSS-1 복합체 구조(송신 대역의 패치 안테나와 FSS)의 이득은 9.98 dBi에서 13.28 dBi로 3.3 dB 향상되었다. 수신 대역에서 제안된 FSS-2 복합체 구조(수신 대역의 패치 안테나와 FSS)의 이득은 9.81 dBi에서 15.34 dBi로 5.53 dB 향상되었다. 측정 결과 제작된 FSS 복합체 안테나는 약 337 MHz(1.87~2.21 GHz)의 대역폭을 가지며 1.95 GHz에서 11.39 dBi, 2.05 GHz에서 13.11 dBi, 2.14 GHz에서 11.09 dBi의 이득을 나타내었고, 방사 효율은 81 %임을 확인하였다. 제안된 FSS 복합체 안테나는 높은 이득을 갖기 때문에 WCDMA 중계기 시스템에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, FSS(Frequency Selective Surface) using defect mode characteristic is proposed. The unit cell using defect mode characteristic of the proposed FSS is offered lower resonant frequency in the same cell size. The number of suitable array is optimized 13 by 13. Also, the patch antennas operated in WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) Tx band and Rx band are designed for the comparison. The gain value of proposed FSS-1 complex structure (the patch antenna of Tx band and FSS) is improved 3.3 dB from 9.98 dBi to 13.28 dBi in Tx band. The gain value of proposed FSS-2 complex structure(the patch antenna of Rx band and FSS) is improved 5.53 dB from 9.81 dBi to 15.34 dBi in Rx band. Also the measured impedance bandwidth(VSWR≤2) of manufactured 13×13 array antenna is from 337 MHz(1.87 to 2.21 GHz). The measured radiation gain is 11.39 dBi(1.94 GHz), 13.11 dBi(2.05 GHz), 11.09 dBi(2.14 GHz). The measured radiation efficiency is 81 %. Because the proposed FSS structure has more higher gain, it will be applied to antenna of WCDMA repeater system.

Key words : FSS(Frequency Selective Surface), Gain Enhancement, Defect Mode

「이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10315-0).
경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20081128-14S
· 수정완료일자 : 2009년 2월 10일

I. 서 론

최근 다층 유전층, EBG(Electromagnetic Band Gap), FSS(Frequency Selective Surface) 등과 같은 주기 구조를 이용하여 안테나의 이득을 향상시키는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1],[2]}. 안테나 이득 향상을 위한 기존의 연구 방법으로는 배열 안테나가 많이 사용되고 있으나, 배열 안테나는 다수의 방사 소자를 이용하기 때문에 급전 회로망의 설계가 복잡하여지므로, 급전 선로에서의 간섭과 손실로 인한 안테나의 성능이 저하되는 단점이 있다.

그러나 EBG나 FSS와 같은 주기 구조에 의해 안테나의 이득을 향상시키는 방법은 하나의 방사 소자를 사용하게 되므로 급전부의 설계가 단순해지게 되고 공간상의 결합에 의해 공진하게 되므로 손실이 낮은 장점이 있다.

이러한 구조들의 구현 방법으로는 주기적인 유전체 봉의 배열에 결합 모드(defect mode)를 발생시켜 이득을 향상시키는 방법과 주기적인 금속 물질을 이용한 FSS 구조에 의한 방법 등이 있다^{[3],[4]}. 그러나 이러한 방법은 공정상의 어려움과 공진 구조에 의해 사용 주파수가 낮으면 FSS 구조 단위 셀 크기가 커진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 일반적인 유전체 기판을 사용하여 제작이 용이한 간단한 공진기 구조에 결합 모드를 발생시켜 안테나의 이득을 향상시키는 동시에 단위 셀 구조의 크기를 소형화하였다. 설계에서는 CST사의 MWS(Micro Wave Studio) 2008를 이용한 모의실험을 통하여 안테나의 특성을 확인하였다^[5].

II. FSS 단위 셀의 구현

FSS 구조의 특성 해석에는 Floquet 이론에 의한 단위 셀 구조 해석 방법이 사용된다. 하나의 단위 셀 구조에 주기 경계 조건(periodic boundary condition)을 적용하여 이득이 향상되는 주파수와 대역폭을 예측할 수가 있다.

표 1에 제안된 단위 셀 구조를 나타내었다. 단면 슬롯 구조는 하나의 유전체 기판에 하나의 원형 슬롯 구조이며, 단일 패치 구조는 두 개의 기판 사이에 원형 패치가 들어 가 있는 구조를 나타낸다. 양면 슬롯 구조는 기판 두 개를 사용하여 앞면과 뒷면이

표 1. 제안된 단위 셀들의 구조
Table 1. Geometry of proposed unit cells.

유형	측면구조	상층	중간층	바닥층
단면 슬롯 구조			×	FR-4
단일 패치 구조		FR-4		FR-4
양면 슬롯 구조		26mm	Air	
양면 슬롯과 패치 복합 구조				

같은 FSS의 이중 단위 셀 구조를 가지고 있다. 두 개의 층 사이에 결합 모드를 발생시키기 위해 원형 슬롯 크기의 원형 패치를 넣은 단위 셀을 양면 슬롯과 패치 복합 구조로 나타내었다. FSS의 단위 셀 구조를 구현하기 위하여 비유전율이 4.4이며 두께 1.6 mm인 FR-4 기판을 사용하였다. 주기 경계 조건을 적용한 해석에서는 바닥층 부분을 포트 2로 놓고 상층 부분을 포트 1으로 설정하여 모의실험하였다.

제안된 단위 셀 구조의 통과 특성을 그림 1에 나타내었다.

슬롯 구조의 통과 대역 내에 원형 패치에 의한 결합 모드를 발생시켜 제안된 단위 셀 구조의 동작 주파수를 낮춰 크기를 소형화하도록 하였다.

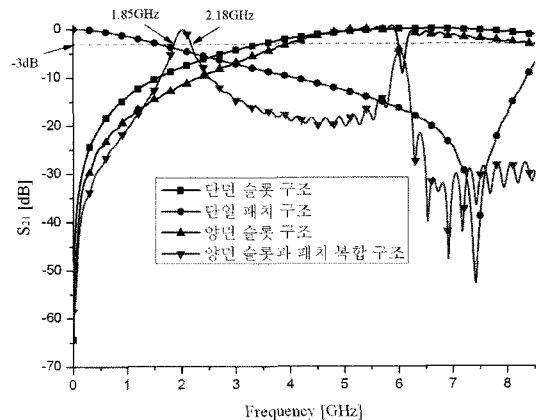


그림 1. 단위 셀들의 S₂₁ 비교
Fig. 1. S₂₁ comparison of unit cells.

단위 셀 구조의 설계 변수를 조절하여 -3 dB 기준 대역폭이 330 MHz(1.85~2.18 GHz)로 WCDMA 대역을 만족하도록 하였다.

III. 제안된 단위 셀을 주기적으로 배열한 FSS 구조

일반적으로 F-P(Fabry-Perot) cavity 공진 원리에 의해 안테나와 FSS 구조 사이의 거리를 반 파장으로 구현하여 안테나의 이득을 향상시킨다. 안테나의 이득이 향상되는 반 파장 거리를 공진 길이라 한다. 그림 3에 제안된 FSS 복합체 안테나의 구조를 나타내었다.

최적의 공진 길이를 찾기 위해 11×11로 단위 셀들이 배열되어진 FSS를 패치 안테나에 적용한 복합체 구조의 안테나를 모의실험하였다. 공진 길이(h)가 각각 84 mm, 85 mm, 86 mm로 변할 때 최대 이득이 나타나는 주파수, 최대 이득을 표 3에 나타내었다. 모의실험 결과, 송신 대역과 수신 대역 모두 공진 길이가 84 mm일 때 이득은 높으나 대역폭이 약 10 MHz 정도 감소되었음을 확인하였다.

공진 길이가 86 mm일 때 송신 대역과 수신 대역 모두 이득이 하향되는 결과가 나오기 시작했다. 이 결과에 근거하여 FSS 복합체의 최적의 공진 길이를 85 mm로 정하였다.

다음으로 FSS에서는 여러 개의 단위 셀을 주기적으로 배열할 때 최소의 배열 개수로 이득을 최대한 향상시키는 최적의 배열 개수를 정하는 것이 중요하다. 제안된 단위 셀의 주기적인 배열을 통한 FSS가 갖는 최적의 배열 개수를 정하기 위하여 WCDMA 송신과 수신 대역에서 동작하는 마이크로스트립 패치 안테나를 각각 설계하였다. 송신 대역의 패치 안테

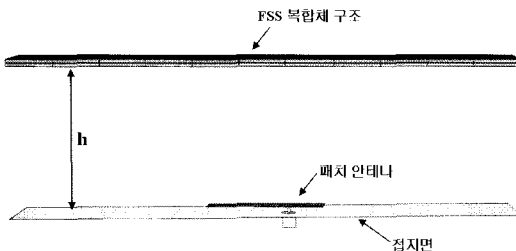


그림 2. 제안된 FSS 복합체 안테나의 구조
Fig. 2. Geometry of proposed FSS complex structure antenna.

표 2. h 의 변화에 따른 FSS 복합체의 특성 비교(송신 대역)

Table 2. Comparison of FSS complex structure characteristics for different h (Tx band).

송신 대역(1.92~1.98 GHz)			
FSS 복합체 (11×11)	h (mm)	이득(dBi)	주파수(GHz)
	84	13.49	1.94
	85	13.41	1.94
	86	13.27	1.95

표 3. h 의 변화에 따른 FSS 복합체의 특성 비교(수신 대역)

Table 3. Comparison of FSS complex structure characteristics for different h (Rx band).

수신 대역(2.11~2.17 GHz)			
FSS 복합체 (11×11)	h (mm)	이득(dBi)	주파수(GHz)
	84	13.87	2.16
	85	13.77	2.14
	86	13.43	2.14

나 (길이: 68 mm, 폭: 58 mm)에 FSS 복합체를 적용시킨 구조를 FSS-1 복합체, 수신 대역의 패치 안테나 (길이: 61 mm, 폭: 58 mm)에 FSS 복합체를 적용시킨 구조를 FSS-2 복합체라고 간단히 표현하여 FSS 배열 개수에 따른 최대 이득과 최대 이득이 나타나는 주파수를 표 3에 나타내었다.

수신 대역에서 소자수 11×11의 FSS 복합체 구조보다 13×13의 FSS 복합체 구조가 이득이 더욱 향상되었고 배열 개수가 늘어남에 따라 이득이 향상됨을 알 수 있었다. 송신 대역에서도 배열 개수에 따라서 이득이 점차로 증가되어졌으나, 소자수 15×15에서는 이득이 다소 감소함을 확인하였다. 따라서 두 대역에서의 최적의 배열 개수가 13×13임을 확인하였다. 또한, 본 논문에서 제안된 안테나가 아닌 다른 종류의 안테나를 적용하여 특성을 비교하여 본 결과, FSS 복합체 구조에서 설계한 마이크로스트립 패치 안테나의 경우와 유사한 특성을 나타내었다.

제안된 FSS 복합체 안테나 구조의 반사손실 특성을 그림 4에 나타내었으며, 그림 5에 제안된 FSS 복

합체와 설계한 WCDMA의 송신과 수신 대역 패치 안테나의 방사 패턴들을 나타내었다. FSS를 패치 안테나의 위에 구현하였을 때 송신 대역에서 최대 이득이 9.98 dBi에서 13.28 dBi로 이득이 3.30 dB 향상되었고, 수신 대역에서는 9.81 dBi에서 15.34 dBi로 5.53 dB 향상되었음을 확인하였다.

IV. FSS 복합체 안테나의 제작 및 특성

제안된 13×13 FSS 복합체 안테나의 특성을 측정

표 4. 패치 안테나와 FSS 배열 개수에 따른 복합체들의 특성 비교(수신 대역, f : 가장 높은 이득을 갖는 주파수)

Table 4. Characteristics comparison between antenna patch and FSS complex structure for different array numbers(Tx band, f : Frequency having maximum gain).

송신 대역(1.92~1.98 GHz)			
안테나 종류	소자 수	이득(dBi)	주파수(GHz)
패치 안테나	-	9.98	1.94
FSS-1 복합체	9×9	12.94	1.95
	11×11	13.44	1.95
	13×13	13.28	1.92
	15×15	12.36	1.92

표 5. 패치 안테나와 FSS 배열 개수에 따른 복합체들의 특성 비교(수신 대역, f : 가장 높은 이득을 갖는 주파수)

Table 5. Characteristics comparison between antenna patch and FSS complex structure for different array numbers(Rx band, f : Frequency having maximum gain).

수신 대역(2.110~2.170 GHz)			
안테나 종류	소자 수	이득(dBi)	주파수(GHz)
패치 안테나	-	9.81	2.17
FSS-2 복합체	9×9	12.23	2.17
	11×11	13.77	2.14
	13×13	15.34	2.12
	15×15	15.48	2.11

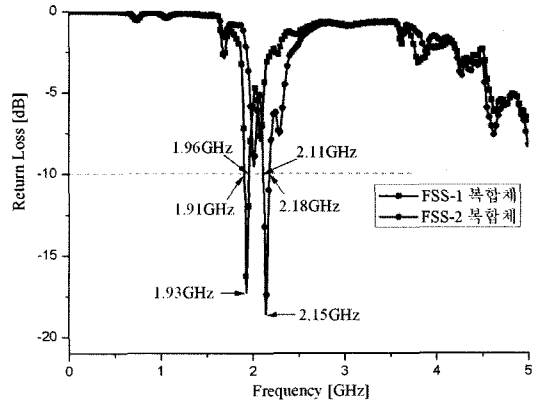


그림 3. 제안된 FSS 복합체의 반사 손실
Fig. 3. Return loss of the proposed FSS complex structure.

하기 위하여 WCDMA의 송신과 수신 대역을 모두 포함시키는 광대역 다이폴 안테나를 설계하였다. 일반적으로 다이폴과 패치 안테나 등에 FSS를 실장하였을 때 공진주파수가 하향되는 특성을 보이기 때문에 보다 상향된 주파수를 갖는 다이폴 안테나를 설계하여 제작하였다. 또한, 다이폴 안테나와 FSS 사이의 거리는 FSS와 다이폴 안테나의 설계를 통해 CST MWS(CST Micro Wave Studio)로 모의실험한 결과, 패치 안테나에 FSS를 실장하였을 경우와는 달리 82 mm가 공진 길이임을 확인하였고, 최적의 배열 개수는 패치 안테나를 적용한 FSS 복합체와 같은 13×13으로 확인하였으며, 테프론 유전체 봉을 통하여 다이폴 안테나와 FSS 사이의 거리를 유지토록 하였다. 제작된 안테나 사진들을 그림 5에 나타내었다. 제작된 FSS와 접지면의 면적은 378×378 mm이다.

그림 6에 제안된 FSS 복합체 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 1.87 ~ 2.21 GHz로 약 337 MHz의 대역폭을 가지며, WCDMA 송신 대역과 수신 대역을 모두 포함하고 있음을 확인하였다.

그림 7에 제작되어진 FSS 복합체와 다이폴 안테나의 측정되어진 방사 패턴을 나타내었다.

측정 결과를 보면 다이폴 안테나의 최대 방사 이득은 2.05 GHz에서 8.1 dBi이며, FSS 복합체 안테나는 이득이 1.95 GHz에서 11.39 dBi, 2.05 GHz에서 13.11 dBi, 2.14 GHz에서 11.09 dBi를 나타내었고, 방사 효율은 81 %임을 확인하였다.

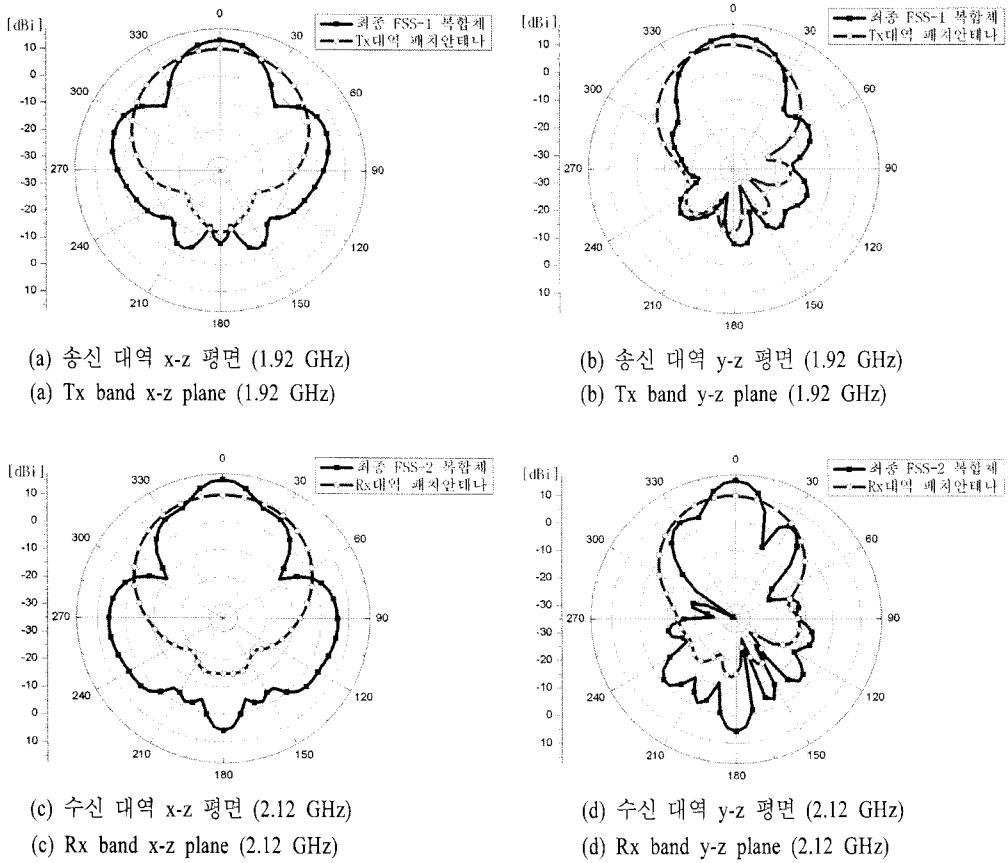


그림 4. 제안된 FSS와 패치 안테나의 방사 패턴(모의실험)

Fig. 4. Simulated radiation pattern of the proposed FSS and patch antenna.

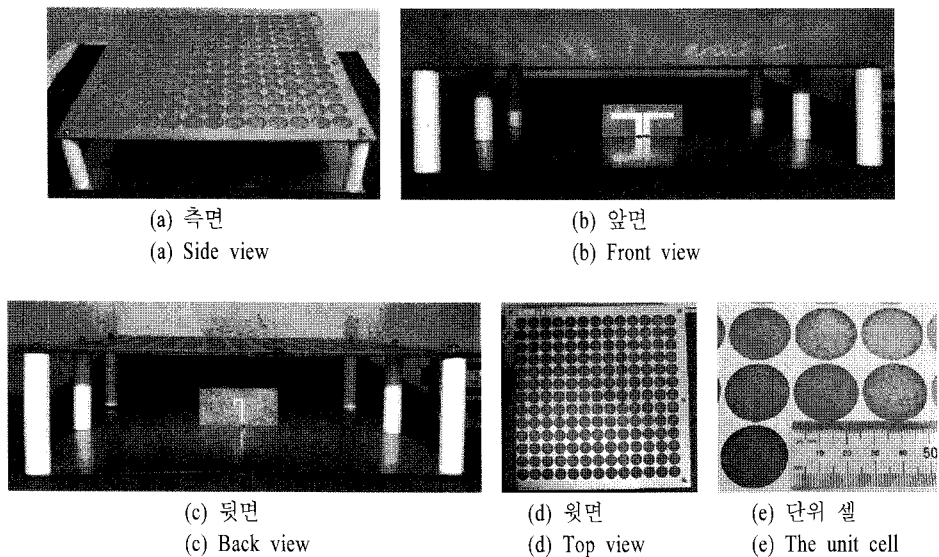


그림 5. 제작된 13×13 FSS 복합체 안테나

Fig. 5. Photographs of fabricated 13×13 FSS complex structure antenna.

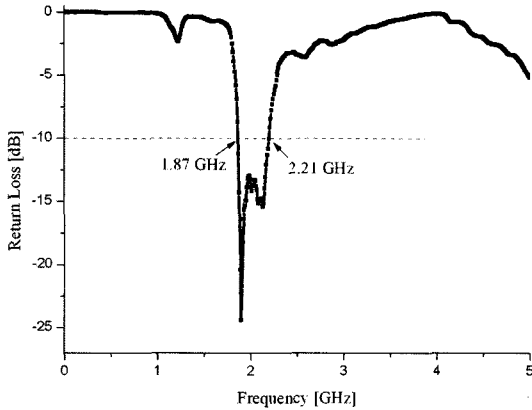
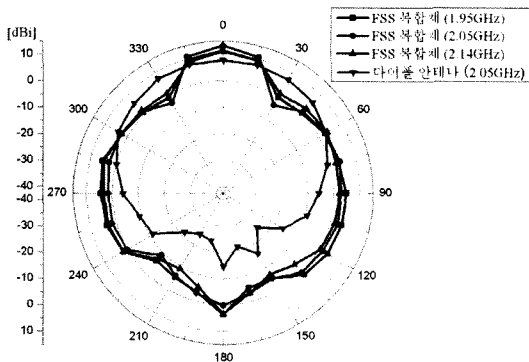
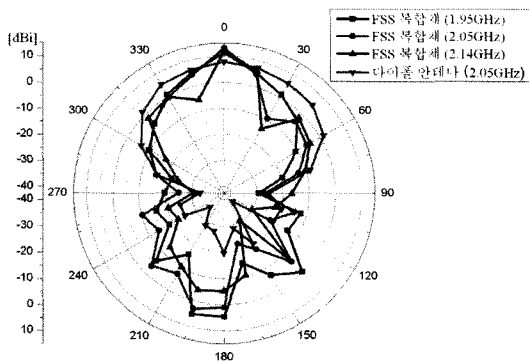


그림 6. 제작된 FSS 복합체 안테나의 반사 손실
Fig. 6. The return loss of manufactured FSS complex structure antenna.



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(b) y-z 평면
(b) y-z plane

그림 7. 제작된 FSS 복합체 안테나와 다이폴 안테나의 방사 패턴(측정값)
Fig. 7. Measured radiation pattern of the fabricated FSS complex structure antenna and dipole antenna.

V. 결 론

본 논문에서는 결합 모드 특성을 갖는 FSS를 제안하여 안테나의 이득 향상 특성을 확인하였다. 제안된 FSS는 두 개의 유전층 사이에 원형 슬롯 크기의 원형 패치를 놓아 결합 모드를 특성을 갖게 하여 안테나의 이득을 향상시키고 단위 셀 구조의 동작 중심주파수를 하향시켜 단위 셀의 크기를 66% 감소시키어 소형화하도록 하였다. 제안된 FSS 복합체 구조를 패치 안테나에 적용한 결과, 공진 길이가 85 mm임을 보였고 최적의 FSS 배열 개수를 13×13으로 결정하였다. 또한, WCDMA의 송신과 수신 대역에서 동작하는 두 개의 패치 안테나를 각각 설계하여 모의 실험한 결과 송신 대역에서 최대 이득이 3.3 dB 이득이 향상되었고, 수신 대역에서는 5.53 dB 이득이 향상되었음을 확인하였다.

제작된 FSS 복합체 안테나의 측정 결과, 1.87~2.21 GHz로 약 337 MHz의 대역폭을 가지며 1.95 GHz에서 11.39 dBi, 2.05 GHz에서 13.11 dBi, 2.14 GHz에서 11.09 dBi를 나타내었으며, 측정된 안테나의 방사 효율은 81%를 나타내었다. 따라서 제안된 FSS는 WCDMA 증계기 시스템 등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

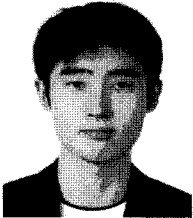
- [1] Cyril Cheype, Cedric Serier, Marc Thevenot, Thierry Monediere, Alain Reineix, and Bernard Jecko, "An electromagnetic bandgap resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 50, no. 9, pp. 1285-1290, Sep. 2002.
- [2] N. Guerin, C. Hafner, X. Cui, and R. Vahldieck, "Compact directive antennas using frequency-selective surfaces(FSS)", *Proceedings of APMC 2005*, vol. 1, Dec. 2005.
- [3] Young Ju Lee, Junho Yeo, Raj Mittra, and Wee Sang Park, "Application of electromagnetic bandgap (EBG) superstrates with controllable defects for a class of patch antenna as spatial angular filters", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 224-235, Jan. 2005.

[4] D. H. Lee, Y. J. Lee, J. Yeo, R. Mittra, and W. S. Park, "Design of novel thin frequency selective surface superstrates for dual-band directivity enhancement", *IET Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 1,

no. 1, pp. 248-254, Feb. 2007.

[5] CST Studio Suitetm 2008 MWS(Micro Wave Studio) manual, CST Corporation.

김 준 형



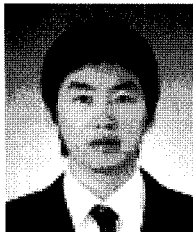
2003년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 학사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, Metamaterial

조 대 준



2003년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 학사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, Metamaterial

남 성 수



2008년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)
2008년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, Metamaterial

이 흥 민



1972년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1974년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전파 전파, RF 수동소자, Metamaterial