DBpia

논문 16-41-07-10 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '16-07 Vol.41 No.07
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2016.41.7.775

실내 공간 스펙트럼 제어를 위한 종이기반 재구성 주파수 선택구조 설계

조 성 실◆, 홍 익 표°

Design of Paper-Based Reconfigurable Frequency Selective Surface for Spectrum Control of Indoor Environments

Sung-Sil Cho◆, Ic-Pyo Hong°

요 약

본 논문에서는 실내 전파 환경에서 5GHz 대역 무선LAN 신호를 투과 또는 차단하기 위한 종이기반 재구성 FSS를 설계하였다. 5GHz 대역에서 핀 다이오드의 ON/OFF 상태에 따라 통과 또는 차단이 가능한 재구성 FSS를 잉크젯 프린팅기법과 전도성 접착제를 이용하여 종이 위에 설계하였으며, 실내 환경을 가정한 공간 벽면에 적용하여 외부로부터 입사된 무선LAN 신호를 측정하여 신호의 세기에 따라 투과 또는 차단할 수 있는 제어 시스템을 설계하였다. 설계한 재구성 FSS 구조는 입사각과 편파에 대해 안정된 특성을 가지며, 설계결과를 검증하기 위하여 잉크젯 프린팅 방식으로 재구성 FSS를 제작하였다. 제작된 FSS 구조의 재구성동작을 측정을 통해 확인하고, 실내 공간에 부착하여 실내공간에 유입되는 5GHz 대역 무선LAN 신호세기에 따라 FSS 구조가 재구성동작이 되는 시스템을 구현하고 측정을 통하여 확인하였다. 측정을 통하여 제작된 재구성 FSS 구조가 IEEE 802.11n의 5GHz 무선LAN 대역 중 5.745GHz~5.805GHz 대역의 신호를 약 20dB 차단하는 성능을 가짐을 확인하였다.

Key Words : Wireless LAN, Reconfigurable Frequency Selective Surface, Spectrum Control System

ABSTRACT

In this paper, we presented the paper-based reconfigurable frequency selective surface(FSS) for transmitting or blocking the wireless LAN signal in indoor environments. The proposed reconfigurable FSS are designed on coated paper using a printing of conductive ink and conductive adhesive for PIN diode, which provides ON/OFF of the reconfigurable FSS for passing or blocking the 5GHz signal. The reconfigurable FSS attached on the wall can pass or block the incident wireless signal as the received signal strength in indoor. To provide the validity of the proposed FSS, we fabricated the reconfigurable FSS on the paper and confirmed the very similar results between simulations and measurements. From the measured results of the proposed spectrum control system, we know that the proposed reconfigurable FSS can block about 20dB at 5.745GHz~5.805GHz.

※ 본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 연구개발 특구진흥재단의 지원(2015K000281)과 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2015R1A2A2A01003380)으로 수행되었습니다.

◆ First Author : Kongju National University Department of Information and Communication Engineering, choss93@kongju.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Kongju National University Department of Information and Communication Engineering, iphong@kongju.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-04-068, Received April 26, 2016; Revised May 23, 2016; Accepted June 20, 2016

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

다양한 무선 통신 서비스들이 구현됨에 따라 실내 공간에서 무선 통신기기의 사용자가 급격하게 늘어나고 있으며, 이에 따라 실내공간에는 여러 무선LAN 시스템들이 구축되고 있다. 그로 인하여 무선LAN 주파수 간 간섭 및 충돌이 자주 발생하여 통신서비스 성능을 저하시키거나, 사용자 또는 통신기기들이 무분별한 무선 신호에 노출이 되는 등 문제점들이 발생하고 있어, 실내공간에서 스펙트럼을 효율적으로 사용할 수 있는 다양한 연구가 진행되고 있다[1-3]. 그 중에서 대표적인 스펙트럼 센싱 기술은 일정 시간마다 수신되는 무선 신호의 세기를 측정하여 비어있는 주파수 채널을 확인하고 주파수를 할당하여 주파수 간 충돌을 막음으로써 무선 통신 성능을 향상시키는 기술이지만, 프로세싱에 의한 채널 인지와 주파수 할당 시 생기는 시간 지연 및 수신기 설계가 복잡하다는 단점을 가지고 있다[3]. 본 논문에서는 이러한 스펙트럼 센싱 기술의 단점을 보완하기 위하여, 외부로부터 유입된 신호로부터 공간내부에서 수신된 신호의 세기에 따라 능동적으로 통과 또는 차단하여 전파 환경을 사용자들의 목적에 맞게 조절할 수 있는 재구성 주파수 선택구조(reconfigurable frequency selective surface, RFSS)를 이용한 무선LAN 스펙트럼 제어 시스템을 설계하였다.

RFSS는 주로 핀 다이오드나 바랙터 다이오드와 같은 회로 소자들의 바이어스에 따른 특성 변화에 따라 동작 주파수 대역을 능동적으로 변화시킬 수 있으며, 이는 무선LAN 서비스 영역을 제어하여 실내공간의 통신 성능을 향상 시키거나[4], 레이더 흡수 물질(radar absorbing material, RAM)에 적용하여 능동적으로 RAM의 흡수 대역을 변화시킴으로써 여러 주파수 대역의 흡수 성능을 향상시키는 등[5] 다양한 분야에서 연구되고 있다. 하지만 대부분의 RFSS는 주로 화학적인 방법으로 구리를 유전체 기판에 에칭을 하여 인쇄회로 기판(printed circuit board, PCB) 형태로 제작한다. 에칭을 이용한 방식은 대량 생산이 가능하고 정밀하게 제작이 가능하여 성능이 안정적인 특성을 가진다는 장점을 가지고 있지만, 제작비용이 많이 들며 고온에서 복잡한 공정을 거쳐야하기 때문에 구조의 설계 변경이 쉽지 않다는 단점을 가지고 있으며, 실제 대면적이 필요한 실내공간에 적용하기에 적합하지 않다[6,7].

본 논문에서는 실내공간의 벽면이나 바닥에 적용 가능한 RFSS를 구현하기 위하여 벽지 등과 같은 종이위에 구현 가능한 잉크젯 프린팅 방식을 이용하였다. 잉크젯 프린팅 방식은 전도성 잉크를 종이 같은 얇은 기판에 인쇄하는 방식으로, PCB 기판보다 제작 비용이 저렴하며 복잡한 구조를 쉽고 빠르게 제작이 가능하다는 장점을 갖는다. 또한 가격이 저렴하며 유연한 특성을 갖는 종이나 투명 필름을 이용하여 제작이 가능하기 때문에 벽지 형태로 제작하기에 용이하다[6]. 따라서 잉크젯 프린팅 방식으로 FSS를 제작하여 실내공간의 전자기간섭(electromagnetic interference, EMI)을 차단하거나[8] 설계한 FSS를 실내 벽면에 적용하여 무선 신호 간 간섭을 줄여 무선 신호의 세기를 향상시킴으로써 통신 성능을 향상시킬 수 있다고 간접적으로 확인하는 등[9] 다양한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 이는 고정된 주파수 특성을 갖는 FSS로 특정 주파수만 차단하기 때문에 다양한 전파 환경을 구축하기 어렵다.

본 논문에서는 제작이 용이한 잉크젯 프린팅 방식을 이용하여 벽지로 적용이 가능하고 5GHz 대역 무선LAN 신호를 핀 다이오드의 상태에 따라 통과 또는 차단할 수 있는 RFSS 구조 및 제어 시스템을 설계하여 실제 무선LAN 5GHz 대역 신호가 통과 또는 차단이 되는지 측정 실험을 통하여 확인하였다.

Ⅱ. 무선LAN 제어 시스템 및 RFSS 설계

2.1 무선LAN 제어 시스템 설계

본 논문에서 제안하는 무선LAN 스펙트럼 제어 시스템의 구성을 그림 1에 나타내었다. 엑세스 포인트(access point, AP)는 IEEE 802.11n에 기반하는 무선LAN 신호원으로 실내공간 외부에서 5GHz 대역 신호를 제공한다. 스펙트럼 제어 시스템은 RFSS로 둘러싸여 있는 실내공간을 뜻하며, 실내공간 내부의 무선LAN 신호를 측정할 수 있는 안테나를 통해 실내공간에서 수신된 5GHz 대역 신호세기를 측정하고 이 값의 크기에 따라 핀 다이오드의 ON/OFF 상태를 제어하여 RFSS를 동작시킨다. 외부에 있는 액세스 포인트에서 5GHz 대역 센 신호가 실내공간으로 유입되는 경우에 실내공간에 존재하는 다른 무선 신호들과 충돌이 일어나 통신 성능을 저하 시킬 수 있으며, 이때 핀 다이오드를 OFF하여 RFSS는 외부로부터 무선LAN 신호가 들어오지 못하도록 차단시킨다. 또한 실내공간 내부에서 수신된 무선LAN 신호가 미약한 경우 핀 다이오드는 ON 동작하여 외부의 5GHz 대역 신호가 통과할 수 있기 때문에 실내공간은 핀 다이오드의 상태에 따라 신호가 통과 또는 차단됨으로써 사

www.dbpia.co.kr

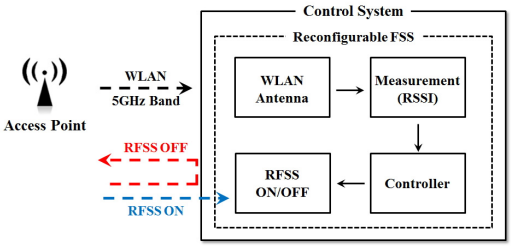
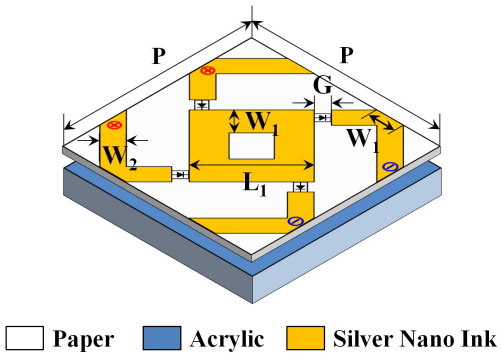


그림 1. 무선LAN 스펙트럼 제어 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram of WLAN spectrum control system

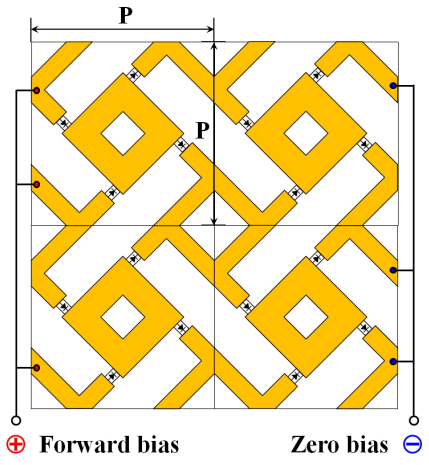
용자들에게 다양한 전파 환경을 제공할 수 있다. 예를 들어 RFSS로 둘러싸인 실내공간을 회의실로 사용할 경우에는 외부에서 무선LAN을 통한 침입을 막아 정보 해킹을 막음으로써 보안성을 향상시킬 수 있으며, 휴게실로 사용할 경우에는 외부 무선LAN 신호를 사용하여 무선 통신 기기를 사용할 수 있는 등 실내의 사용자들이 사용 목적에 따라 전파 환경을 다양하게 조절할 수 있다.

2.2 RFSS 설계 및 제작

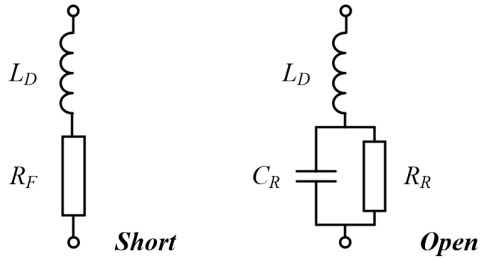
본 논문에서 제안한 스펙트럼 제어 시스템에서 실내공간을 둘러싸여 있는 RFSS는 핀 다이오드를 이용하여 신호를 통과 또는 차단할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 제안한 RFSS의 단위 구조는 주기 $P=17mm$로 그림 2(a)와 같은 단면형태로써, 유전체 기판으로는 유전율 $\varepsilon_r=3$, 손실 탄젠트 $\tan\delta=0.02$, 두께가 $0.2mm$인 종이와 유전체종이를 지지하기 위한 유전율 $\varepsilon_r=2.5$, 손실 탄젠트 $\tan\delta=0.02$, 두께가 $5mm$인 아크릴판을 종이 밑면에 사용하였다. 일반적으로 벽지는 단독으로 사용하지



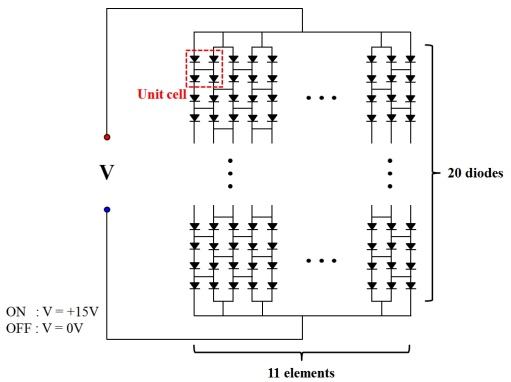
(a) Unit cell of the RFSS



(b) Top view



(c) Equivalent circuit of PIN diode



(d) Equivalent circuit of RFSS

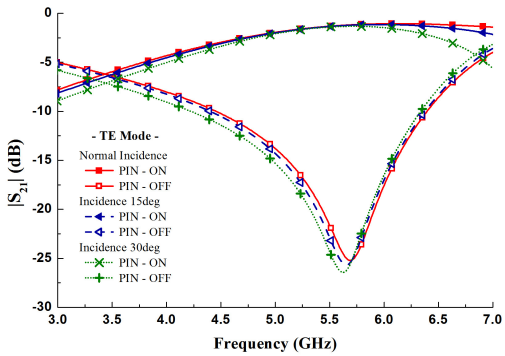
그림 2. 설계한 RFSS 구조와 PIN 다이오드 등가회로
Fig. 2. Geometry of designed RFSS and equivalent circuit of PIN diode

www.dbpia.co.kr

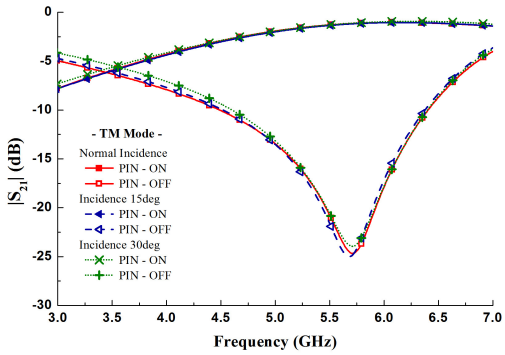
않고 콘크리트 벽, 나무판 등과 같은 곳에 부착되며 실험의 용이함을 위해 콘크리트 대신 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 아크릴 판을 대신 사용하였다. 제안한 단위 구조의 각 설계 변수는 사각 루프 외경(L_1)은 $L_1 = 7.9mm$, 사각 루프의 폭(W_1)과 핀 다이오드의 바이어스 라인의 폭(W_2)은 표면 저항을 고려하여 $W_1 = 2.5mm$, $W_2 = W_1/\sqrt{2}$ 로, 사각 루프와 바이어스 라인 사이의 간격(G)은 핀 다이오드의 길이를 고려하여 $G = 1.1mm$로 설정하였다.

주파수 재구성을 위하여 개방(Open) 또는 단락(Short) 상태를 가지는 핀 다이오드를 사용하였으며, 핀 다이오드의 상태를 조절하기 위하여 다이오드의 방향을 모두 같은 방향으로 직-병렬 DC 바이어스 회로로 설계하였다[10,11]. 만약 핀 다이오드가 OFF 상태일 경우에는 개방상태로 사각 루프가 형성이 되어 RFSS는 해당 주파수에서 동작을 하며, ON 상태일 경우에는 단락상태로 바이어스 라인이 그리드 형태가 되어 저항과 인덕터가 생성됨으로써 DC 전원은 통과하며 RF 커플링을 억제하는 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서 사용한 핀 다이오드는 Skyworks 사의 SMP1345-079LF를 사용하였으며, 핀 다이오드의 등가 회로 값은 OFF 상태일 경우에는 인덕턴스 $L_D = 0.7nH$, 커패시턴스 $C_R = 0.13pF$, 등가저항 $R_R = 1M\Omega$으로, ON 상태일 경우에는 인덕턴스 $L_D = 0.7nH$, 등가저항 $R_F = 1\Omega$으로 가정하였다. 그림 2(d)에 전체 설계된 RFSS 구조의 바이어스 회로를 나타내었다. 핀 다이오드의 상태를 ON 시키기 위해 핀 다이오드 당 0.75V가 걸리도록 전체 전압은 15V, 전류는 10mA(입력 전력 0.15W)를 인가하였다.

또한 FSS의 도체 부분인 은 나노 잉크의 표면 저항은 제작한 FSS의 표면 저항을 실제로 측정하여 얻은 평균 값 0.46Ω/□를 적용하여 상용 전자기장 해석 소프트웨어를 이용하여 주파수 투과 특성을 확인하였다. 그림 3(a), (b)는 제안한 RFSS의 핀 다이오드 상태에 따라 입사각이 0°, 15°, 30° 변화할 때 TE모드와 TM 모드에 따른 투과 특성을 시뮬레이션한 결과로, 수직 입사할 경우 OFF 상태에서는 공진주파수는 5.71GHz로써 투과특성 -10dB 기준으로 4.45GHz~6.4GHz 대역의 신호를 차단시키며, ON 상태일 경우에는 -3dB 기준으로 4.46GHz~8.3GHz 대역의 신호를 통과시키는 것을 확인할 수 있다. 또한 입사각이 0°, 15°, 30° 변화함에 따라 TE모드일 때 공진주파수 오차 1.4%, TM모드일 때는 0.7%로 제안한 구조는 편파 및 입사각에 대하여 비교적 안정적인 것을 확인할 수 있다.



(a) TE mode



(b) TM mode

그림 3. RFSS 구조의 주파수 투과 특성 시뮬레이션
Fig. 3. Simulated transmission characteristics of the proposed RFSS

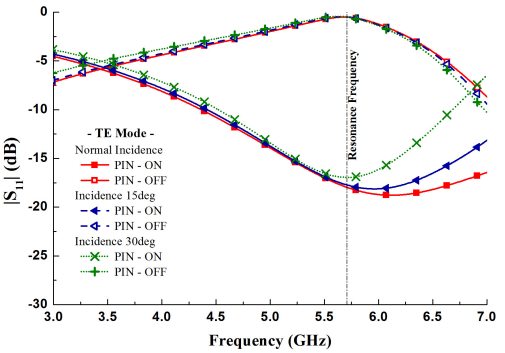
또한 그림 4(a), (b)는 반사 특성을 시뮬레이션한 결과로, 핀 다이오드 상태가 OFF 상태일 때 공진주파수에서 약 -0.5dB 반사계수를 가짐으로써 신호를 반사시키는 것을 확인할 수 있다.

설계한 RFSS 구조의 성능을 검증하기 위하여 본 논문에서는 잉크젯 프린팅 방식을 이용하여 제작하였으며, 측정 지그의 크기를 고려하여 그림 2(a)에 나타낸 단위구조를 10×10 으로 배열한 크기 170mm×170mm인 종이기반 RFSS를 제작하였다. RFSS 제작에 사용한 전도성 잉크로는 AgIC사의 은 나노 잉크(AN01)를, 종이는 두께가 $177 \pm 12\mu m$인 AgIC사의 A4 용지 크기인 코팅용지(CP01A4)를 사용하였다. RFSS를 구현하기 위한 전도성 패턴 인쇄를 위해 사용한 잉크젯 프린터는 Brother Industries Ltd. 사의 상용 잉크젯 프린터인 MFC-J5910DW 를 사용하였다. 또한 종이는 온도에 약하기 때문에 일반적으로 사용하는 납땜 방식은 사용할 수 없으므로, 전도성 접착제를 사용하여 핀 다이오드를 부착하였다. 본 논

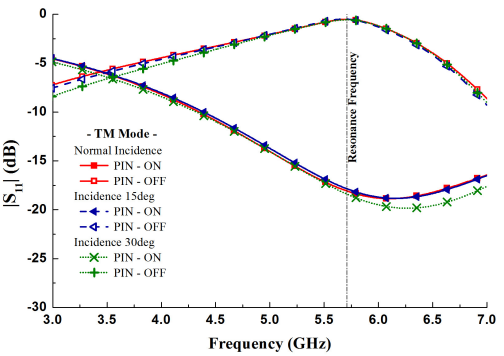
www.dbpia.co.kr

문에서 사용한 전도성 접착제는 ITW Chemtronics사의 전도성 에폭시 접착제(CW2400)로 은 에폭시접착제와 경화제 총 두 가지로 구성되어 있으며, 체적 저항률 0.001 Ω·cm 이하, 25℃에서 4시간 내에 경화되는 특성을 가지고 있다. 핀 다이오드를 FSS와 연결하기 위해 비전도성 접착제를 사용하여 핀 다이오드를 고정시키고, 은 에폭시접착제와 경화제를 1:1 비율로 혼합한 후 혼합된 전도성 에폭시 접착제를 사용하여 핀 다이오드와 FSS 패턴을 연결하였다. 본 논문에서 제작한 종이기반 RFSS구조는 그림 5(a)와 같이 단위 셀 당 핀 다이오드 4개를 사용하였으며 순방향 바이어스(DC +)를 위하여 11개의 선로, 제로 바이어스(DC -)를 위하여 11개의 선로 등 총 22개의 바이어스 라인을 연결하였다.

제작한 RFSS 구조의 투과 특성을 측정하기 위해, 두 개의 독립적인 광대역 혼 안테나로부터 송/수신된 전력의 비를 이용한 FSS 투과 특성 측정법인 자유공간 측정법을 이용하여 그림 5(b)와 같이 측정을 진행



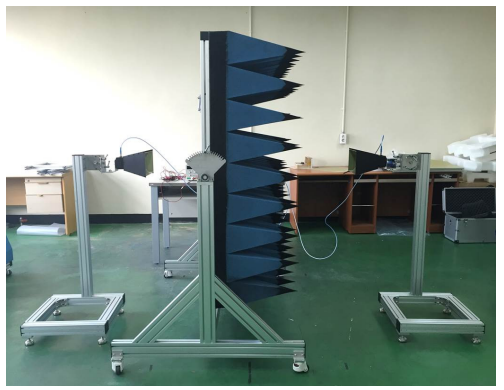
(a) TE mode



(b) TM mode

그림 4. RFSS 구조의 주파수 반사 특성 시뮬레이션
Fig. 4. Simulated reflection characteristics of the proposed RFSS

(a) Fabricated RFSS

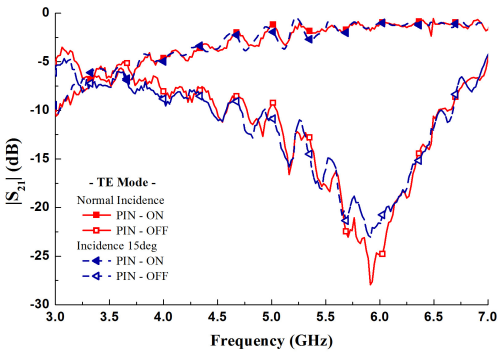


(b) Free space measurement system

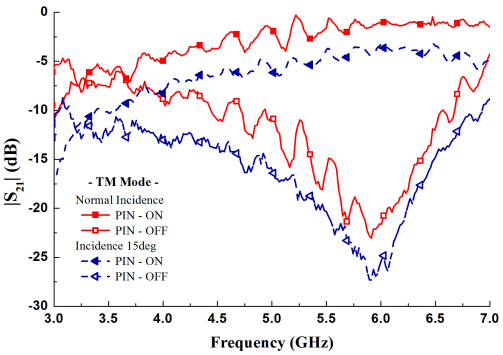
그림 5. 제작한 RFSS & 자유공간 측정
Fig. 5. Fabricated reconfigurable FSS on paper & Free space measurement

하였다. 측정을 통해 신호가 수직 입사할 경우, 핀 다이오드 상태가 OFF 상태(DC 0V)일 때는 공진 주파수가 5.91GHz로 측정되었으며 -10dB 기준으로 4.52GHz~6.55GHz 대역의 신호를 차단하였고, 핀 다이오드에 DC 전원을 인가하여 ON 상태(DC 15V, 10mA)일 경우에는 -3dB 기준으로 4.58GHz~8.27GHz 대역의 신호가 통과하는 것을 확인하였다. 또한 수직 입사할 경우의 측정 결과를 시뮬레이션 결과와 비교했을 경우, 공진주파수 오차가 약 3.5%(주파수 편차 0.2GHz) 정도 일치하는 것을 확인하였다. 그림 6(a), (b)는 핀 다이오드의 ON/OFF에 따라 입사각 변화에 따른 TE모드와 TM모드 측정결과를 나타낸 것으로, TE모드일 때 공진주파수 오차가 1.3%, TM모드 일 때는 0.16%로 입사각이 0°, 15°로 변화할

www.dbpia.co.kr



(a) TE mode



(b) TM mode

그림 6. RFSS 구조의 주파수 투과 특성 측정 결과
Fig. 6. Measured frequency transmission characteristics of RFSS

때 공진주파수가 비교적 안정적인 것을 확인하였다. 입사각이 30°일 때는 측정지그의 크기가 송/수신 혼 안테나보다 작아 측정이 불가능하여 입사각 0°, 15°일 때만 측정하였다. 실험 결과로부터, 본 논문에서 제안한 RFSS 구조는 스펙트럼 제어 시스템에서 필요한 5GHz 대역의 신호를 편파 및 입사각에 대하여 안정적으로 통과 또는 차단할 수 있는 것을 측정을 통해 확인하였다.

Ⅲ. 무선LAN 스펙트럼 제어시스템 측정

논문에서 제안한 RFSS 구조는 핀 다이오드 상태에 따라 5GHz 대역의 신호를 통과/차단하는 것을 시뮬레이션 및 측정을 통하여 성능을 확인하였으며, 이를 적용한 무선LAN 스펙트럼 제어 시스템의 성능을 확인하기 위하여 다음과 같이 측정 환경을 구성하였다. 실내공간의 외부에는 IEEE 802.11n에 기반한 무선 LAN 액세스 포인트가 존재하며, 약 2m 정도 떨어진 곳에는 RFSS 구조를 적용한 실내공간이 위치한다. 전기적으로 제어하여 주파수를 재구성하는 방식의 RFSS는 적용하고자 하는 면적이 커짐에 따라 요구되는 핀 다이오드의 수가 많아지고, 필요한 전력 또한 급격히 커진다는 점과 비용 등의 한계가 있어 공간 전체에 적용하기는 어렵다. 따라서 비교적 부품가격이 저렴한 낮은 주파수 대역(10GHz 이하) 적용이 주로 고려되고 있으며[12], 전체가 차폐된 공간에서 한정적인 부분에 RFSS 적용하여 주파수를 재구성 하는 방식 등이 제안되고 있다[13]. 본 논문에서는 선행 연구의 내용을 참고하여 한쪽 면에 한정적으로 RFSS의 구조를 적용한 실내공간을 가정하여 실험을 수행하였다. 측정에서 구성한 실내공간의 크기는 가로×세로×높이가 250mm×250mm×250mm로 한쪽 면은 RFSS 구조가 적용되고, 나머지 다섯 면은 동박으로 차폐하였으며 실내공간 내부에는 수신 신호 세기 측정을 위한 무선LAN 안테나를 설치하였다. 무선LAN 안테나는 수신 신호 세기에 근거한 제어시스템이 구현된 노트북 PC와 연결되어 있으며, 실내공간의 5GHz 대역 무선 LAN 신호 세기를 노트북의 수신 신호 세기(received signal strength indicator, RSSI) 값으로 측정하여 핀 다이오드의 ON/OFF를 제어하는 역할을 한다.

실험에서 사용한 무선LAN 5GHz 대역 신호는 총 8개의 채널로 나뉘어 있으며, 각 채널마다 신호가 핀 다이오드 상태에 따라서 통과 또는 차단하는지 확인하기 위하여 채널에 따른 실내공간의 수신 신호 세기를 측정하였다. 우선 RFSS 구조를 적용한 실내공간이 핀 다이오드의 상태에 따라 신호가 제대로 통과 또는 차단하는지에 대한 기준값을 설정하기 위하여, RFSS 구조 및 차폐구조가 적용되지 않은 일반적인 무차폐(Unshielded) 공간일 때와 완전 도체로 둘러싸인 차폐(Shielded) 공간일 때의 수신 신호 세기를 측정하였다. 일반적인 무차폐 공간일 경우에는 5GHz 대역의 각 채널에 대해 실내공간에서 수신된 신호 세기는 -36dBm으로 측정되었으며, 차폐 공간일 경우 수신 신호 세기는 -60dBm으로 측정되었다. 그림 7과 같이 본 논문에서 제안한 RFSS 구조를 적용하였을 경우의 수신 신호 세기를 측정한 결과, RFSS가 OFF상태일 때 무선LAN 5GHz 대역 중 채널 149(5.745GHz), 153(5.765GHz), 157(5.785GHz), 161(5.805GHz)에서 측정된 수신 신호 세기는 -56dBm 또는 -58dBm 정도로, 완전 차폐 공간일 때와 비교하여 4dB 또는 2dB 정도 차이가 나지만 대부분 신호를 차단하는 것을 확인할 수 있다. 또한 RFSS 구조가 ON 상태일 경우에는 무선LAN 5GHz 대역 모든 채널에서 수신된

www.dbpia.co.kr

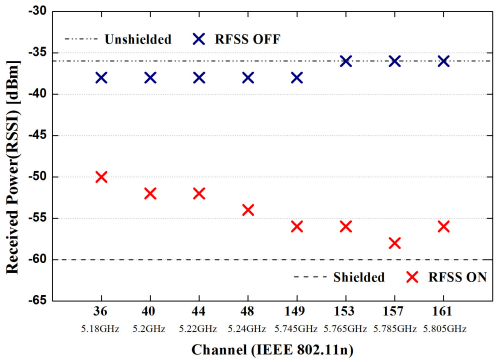


그림 7. RFSS 구조 동작에 따른 수신 신호크기 측정결과
Fig. 7. Measured results of received signal strength for RFSS operation

신호 세기가 -36dBm 또는 -38dBm 정도로, 일반적인 무차폐 공간과 비교하여 차이가 없이 외부의 무선 LAN 신호가 잘 통과하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 RFSS 구조는 실내공간에 적용되었을 경우 효과적으로 외부에서 유입되는 무선 LAN 신호를 통과 또는 차단시킬 수 있음을 확인하였다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 외부에서 유입되는 무선LAN 신호의 스펙트럼 제어를 통해 실내공간의 무선 신호간섭을 방지하고, 스펙트럼 효율을 얻기 위하여 실내공간 내부에서 측정된 수신 신호 세기에 따라 동작되는 RFSS구조를 이용한 무선LAN 스펙트럼 제어 시스템을 설계하였다. 본 논문에서 제안한 RFSS구조는 제작비용이 저렴하고 쉽게 제작이 가능한 잉크젯 프린팅 방식을 이용하여 종이위에 구현하였으며 주파수 재구성 동작을 핀 다이오드를 사용하여 전도성 접착제를 이용하여 스위칭 회로를 구성하였다. 제안한 RFSS 구조의 주파수 투과특성 시뮬레이션 결과로부터 핀 다이오드가 OFF 상태일 때 5GHz 대역을 차단하며, ON 상태일 때는 통과시키는 것을 확인하였고, 측정결과와 비교하여 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 실내공간 내부에서 수신된 무선 신호를 측정하여 RFSS구조를 제어할 수 있는 시스템을 설계하여 제작한 RFSS가 외부에 설치한 액세스 포인트 5GHz 대역의 신호를 실제로 통과 또는 차단 할 수 있는지 검증하였으며, 실제 스위칭 동작을 통해 5GHz 대역의 무선LAN 신호의 대하여 최대 20dB의 차단 성능을 확인하였다. 본 논문의 결과는 향후 복잡한 통신환경에 따른 공간적 스펙트럼 제어시스템을 구현하여 스펙트럼 효율성을 증대시키는데 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

[1] B. H. Koo, C. B. Chae, S. H. Park, H. S. Park, and J. H. Ham, “A novel frequency allocation algorithm for limited radio resource environments,” *J. KICS*, vol. 40, no. 9, pp. 1719-1721, Sept. 2015.

[2] J. M. Won, S. J. Yoo, M. H. Seo, and H. W. Cho, “Dynamic spectrum sensing and channel access mechanism in frequency hopping based cognitive radio ad-hoc networks,” *J. KICS*, vol. 40, no. 11, pp. 2305-2315, Nov. 2015.

[3] K. J. Choi, K. J. Kim, and K. S. Kim, “Joint spatial division and reuse for maximizing network throughput in densely-deployed massive MIMO WLANs,” *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 469-477, Mar. 2015.

[4] L. Subrt and P. Pechac, “Controlling coverage for indoor wireless networks using metalized active FSS walls,” in *2013 Asia-Pacific Conf. on Comm.*, pp. 496-500, Bali, Indonesia, 2013.

[5] M. L. Wang, S. J. Zhang, J, Q. Liu, W. D. Wang, X. Ai, S. D. Liu, and W. Liang, “The research on the effects of an active FSS with circle element on the characteristics of radar absorbing materials,” *IET Int. Radar Conf. 2015*, pp. 1-4, Hangzhou, China, Oct. 2015.

[6] B. M. Turki, E. A. Parker, M. A. Ziai, J. C. Batchelor, V. S. Romaguera, and S . G. Yeates, “Study of clusters of defects in low-cost digitally fabricated frequency selective surfaces,” in *2014 European Conf. on Ant. and Propag.*, pp. 779-801, The Hague, Apr. 2014.

[7] S. S. Cho, J. W. Park, and I. P. Hong, “Design of wireless LAN controlled system using active frequency selective surface,” *J. KIIT*, vol. 14, no. 3, pp. 19-24, Mar. 2016.

[8] L. B. Wang, K. Y. See, J. W. Zhang, B. Salam, and A. C. W. Lu, “Ultrathin and flexible screen-printed metasurfaces for EMI shielding applications,” *IEEE Trans. Electromagnetic Compat.*, vol. 53, no. 3, pp. 700-705,

www.dbpia.co.kr

Aug. 2014.

[9] N. Qasem and R. Seager, "Indoor band pass frequency selective wall paper equivalent circuit and ways to enhance wireless signal," *2011 Loughborough Ant. Propag. Conf.*, pp. 1-4, Loughborough, UK, Nov. 2011.

[10] J. A. Hagerty, N. D. Lopez, B. Popovic, and Z. Popovic, "Broadband rectenna arrays for randomly polarized incident waves," *Microwave Conf.*, pp. 1-4, Paris, France, Oct. 2000.

[11] S. Keyrouz, G. Perotto, and H. J. Visser, "Frequency selective surface for radio frequency energy harvesting applications," *IET Microwaves, Ant. Propag.*, vol. 8, no. 7, pp. 523-531, May 2014.

[12] E. A. Parker, S. Massey, M. Shelley, and R. Pearson, "Application of FSS structures to selectively control the propagation of signals into and out of buildings Annex 5: Survey of active FSS," *ERA Technol., Tech, Rep. Ofcom AY4464A project*, 2004.

[13] G. I. Kiani, K. L. Ford, L. G. Olsson, K. P. Esselle, and C. J. Panagamuwa, "Switchable frequency selective surface for reconfigurable electromagnetic architecture of buildings," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 58, no. 2, pp. 581-584, Feb. 2010.

조 성 실 (Sung-Sil Cho)

2016년 2월 : 국립 공주대학교 정보통신공학부 졸업

2016년 3월~현재 : 국립 공주대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정

<관심분야> 안테나, 주파수 선택구조

홍 익 표 (Ic-Pyo Hong)

2000년 2월 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과 대학원 공학박사

2000년 3월~2003년 2월 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원

2006년 2월~2007년 2월 : Texas A&M 대학교 방문연구원

2012년 2월~2013년 2월 : Syracuse 대학교 방문연구원

2003년 3월~현재 : 국립 공주대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 전자기 수치해석, 주파수 선택구조, 스펙트럼 공학

www.dbpia.co.kr