

결함 접지 구조를 이용한 주파수 스캐닝 방식의 마이크로파 태그 시스템

Frequency-Scanning Type Microwave Tag System Using Defected Ground Structures

이 석 재 · 한 상 민

Seok-Jae Lee · Sang-Min Han

요 약

본 논문에서는 결함 접지 구조를 갖는 다중 공진기를 이용하여 인식 코드를 생성한 주파수 스캔 방식의 마이크로파 태그 시스템을 제안하였다. 기존의 칩 기반 RFID가 시간 순차 비트에 의한 코드를 저장하였던 반면, 제안된 방식은 주파수에 따른 순차적 비트 인식을 공진기를 이용하여 구현함으로써 완벽한 수동 태그를 설계하였다. 또한, 공진기로 사용한 맴돌이형 결함 접지 구조는 전송선로의 후방 배치가 가능하여 리더 신호의 공진기 재방사에 의한 비트 오류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 우수한 대역 저지 특성을 가지고 있다. 제안된 마이크로파 태그는 UWB 안테나와 함께 3~7 GHz 대역에서 설계되었으며, 무반향실 환경에서 다양한 5비트 코드의 인식 실험 결과 우수한 특성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a microwave tag system of a frequency-scanning type is proposed with multi-resonators using defected ground structures. While a conventional chip-based RFID stores time-sequential codes, the proposed type achieves pure passive tags by using multi-resonant bits over a frequency range. Moreover, the resonators of the spiral defected ground structures implemented on the back side of transmission lines have advantages of the excellent bandstop characteristics as well as the bit-error avoidance by the re-radiation on normal resonators. The proposed microwave tag is designed with UWB antennas at 3~7 GHz. From the experimental results in an anechoic chamber, it has been verified of the excellent recognitions for various 5-bits identification codes.

Key words : Defected Ground Structure(DGS), Chipless RFID, Ultra Wideband(UWB), Resonators

I. 서 론

근거리 무선 접속 기술의 발달과 함께 유비쿼터스 센서 네트워크에 대한 관심이 높아지면서 기존 13.56 MHz를 이용한 RFID의 주파수 다변화, 코드 정보의 증가, 저전력화 등을 이슈로 다양한 응용이

연구되어 오고 있다. 이러한 RFID 기술은 태그로부터 암호화된 데이터를 부호화하기 위하여 리더와 태그 간에 무선 주파수를 사용하는 접속 또는 비접촉식 식별 기술로, 바코드를 대체할 차세대 인식 기술로 인식되고 있다^[1]. 현재 UHF 대역을 이용한 RFID가 비접촉 태그로 각광 받고 있으나, 태그에 집적되

순천향대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Soonchunhyang University)

· Manuscript received November 30, 2012 ; Revised January 28, 2013 ; Accepted February 4, 2013. (ID No. 20121130-08S)

· Corresponding Author : Sang-Min Han (e-mail : smhan@sch.ac.kr)

는 칩의 비용과 함께 일관 공정이 불가능한 점, 칩 생산과 이중 공정에 따른 단가 인하의 한계 등으로 보급의 걸림돌로 작용하고 있다.

본 논문에서 제안된 주파수 스캔 방식의 마이크로파 태그 시스템은 완전한 수동 소자로 구현이 가능하여 프린팅 방식에 의한 일관 공정으로 저가의 태그를 대량 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 마이크로파의 지향성은 다른 인근 태그와의 간섭을 줄일 수 있으며, 인식 거리를 증가시켜 비접촉식 RFID를 대체할 수 있다^{[2]-[4]}. 본 논문에서 제안한 결함 접지 구조(Defected Ground Structure: DGS)를 이용한 공진 비트는 기존 공진기 방식의 Chipless RFID가 공진기를 안테나 면에 배열하여 공진기에 의한 직접 반사에 의해 발생하는 공진 비트의 오류 확률을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 맴돌이형 결함 접지 구조를 이용하여 높은 양호도를 구현할 수 있다^[5]. 본 논문의 구성은 서론에 이어 제2장에서 결함 접지 구조를 이용한 마이크로파 태그 설계에 관하여 기술하고, 제3장에서는 태그 시스템의 제작 및 성능 평가를 하였으며, 끝으로 제4장 결론을 맺었다.

II. 결함 접지 구조를 이용한 마이크로파 태그 시스템 설계

주파수 스캔 방식의 공진기 기반 태그는 리더(reader)의 송신부로부터 들어온 광대역 RF 신호를 수신하여, 병렬 공진기가 배열된 전송선로를 통과하며, 공진 주파수에 따른 주파수별 노치(notch) 특성을 나타내게 된다. 각 주파수 노치는 각각의 비트로 인식되어 태그의 코드를 생성한 후, 반대편의 안테나를 통해 리더측의 수신 안테나로 재전송되어진다. 리더에서는 지정된 주파수에서의 송수신 신호 진폭 및 위상 변화를 인지하여 비트의 '1'과 '0'을 판별하게 된다^{[6],[7]}.

결함 접지 구조를 이용한 다중공진기 기반 마이크로파 태그를 구현하기 위하여 결함 접지 구조를 이용한 다중 공진기와 UWB 안테나를 각각 설계하였다. 다중 공진기는 5 비트의 인식 코드를 위해 최대 5개의 결함 접지 구조 공진기를 설계하였으며, 이를 직렬 배열하는 방식으로 구현되었다. 그림 1에서 설계된 결함 접지 구조를 이용한 다중공진기를

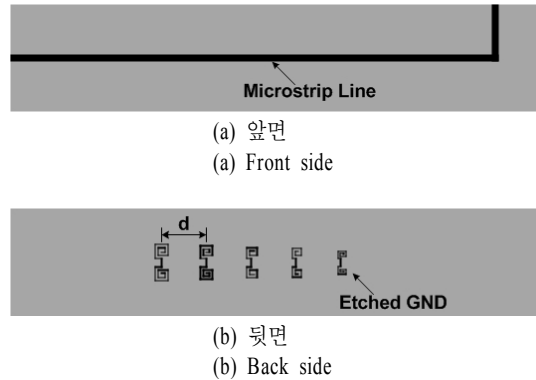


그림 1. 결함 접지 구조를 이용한 다중 공진기 회로 레이아웃

Fig. 1. Layout of the proposed multi-resonator circuit using defected ground structures.

보이고 있다. 안테나와 동일면으로 구성될 앞면은 마이크로스트립 전송선로만 구현되며, 뒷면은 맴돌이형의 결함 접지 구조가 그라운드면에 식각되는 방식으로 설계되었다. 결함 접지 구조를 이용한 공진기는 기판의 후면에 실장이 가능하며, 공진기의 소형화가 가능한 장점이 있다. 이 중 맴돌이 형태의 결함 접지 구조는 대역 저지 여파기와 같은 대역 노치 특성으로 동작하게 된다^[8]. 이러한 노치의 존재는 '1'의 데이터로 인식이 되고, 노치가 인식되지 않는 경우를 '0'의 데이터로 인식한다. 결함 접지 구조를 이용한 다중 공진기는 3~7 GHz의 주파수 대역에서 총 5 비트로 설계가 되었다. 각 공진기 간의 간격 $d = 12$ mm로 설정하였다.

맴돌이형 결함 접지 구조를 이용하여 대역 저지 특성의 공진 회로를 얻을 수 있었다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 단일 공진 회로로 사용된 맴돌이형 결함 접지 구조를 설계하였다. 회로의 크기를 고려하여 2회의 회전을 갖고 마이크로스트립 라인에 대칭인 2개의 맴돌이 구조로 구성하였다. 그림에서 W 는 라인의 선폭, l 은 공진기 전체의 길이, W_1 은 공진기 전체의 폭을 나타내며, G 는 각 라인 사이의 간격을 나타낸다. 여기서 라인 폭과 간격을 조정하여 공진주파수와 양호도를 설계하였다. 5 비트의 코드를 위해 그림과 같은 맴돌이형 결함 접지 구조를 주파수별로 5 종류를 설계하였으며, 각각 3, 3.45, 4.25, 5.2, 6.2 GHz의 중심 주파수(f_0)에서 설계되었고, 설계 값은 표 1에서 보이는 바와 같다.

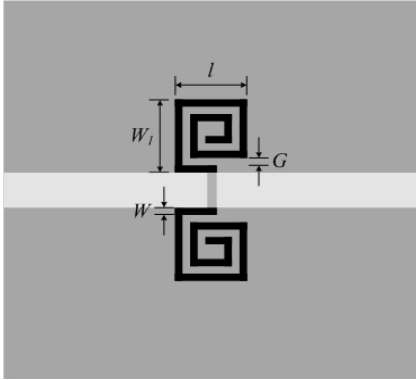


그림 2. 뱀돌이형 결합 접지 구조를 이용한 공진기
Fig. 2. Resonator using a spiral defected ground structure.

표 1. 공진기 설계 파라미터(단위: mm)

Table 1. Design parameters of the designed resonators (dimension: mm).

No.	f_o	W	W_1	L	G
1	3.0	0.4	4.0	3.8	0.4
2	3.45	0.4	3.6	3.6	0.4
3	4.25	0.4	3.2	3.2	0.4
4	5.2	0.4	3.0	2.8	0.4
5	6.2	0.3	2.2	2.4	0.3

설계된 공진기 회로의 특성을 확인하기 위하여 Ansys사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator) 시뮬레이션 툴을 사용하였으며, 제작 측정된 결과와 비교하여 성능을 검증하였다. 제작은 1 mm의 두께와 유전율 4.4를 갖는 FR4 기판을 사용하였다.

그림 3은 결합 접지 구조 다중 공진기의 코드 '11111'의 시뮬레이션과 측정 결과를 비교한 그래프이다. 회로는 앞에서 설계된 5개의 공진기 모두를 실장한 회로이며, 비교 결과, 공진 주파수가 약간 상향 천이되었으나, 각각의 비트를 확인할 수 있는 10 dB 이상의 분해능과 전체적으로 동일한 특성을 보이는 것으로 확인되었다.

결합 접지 구조를 이용한 다중 공진기 회로와 동일한 기판 상에 결합하게 될 UWB 대역의 안테나를 설계하였다. 이는 다중 공진기의 다섯 개 비트 공진 주파수 대역을 모두 포함하여야 하므로, 3~7 GHz의 주파수 대역을 포함하는 UWB 안테나로 설계되

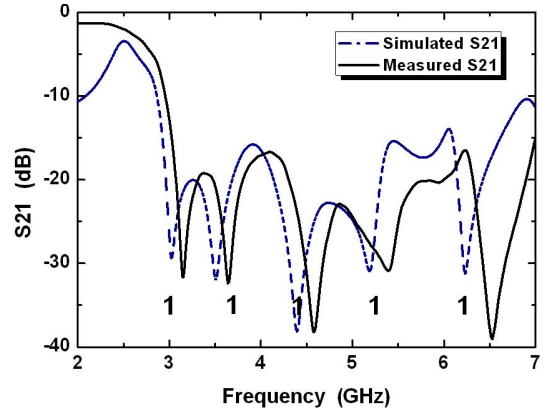
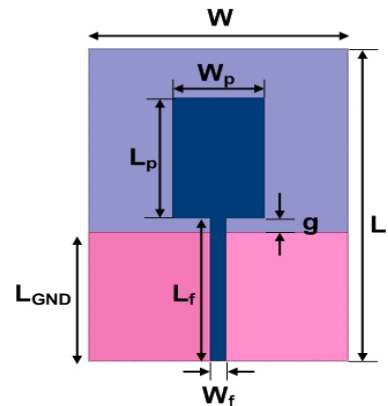
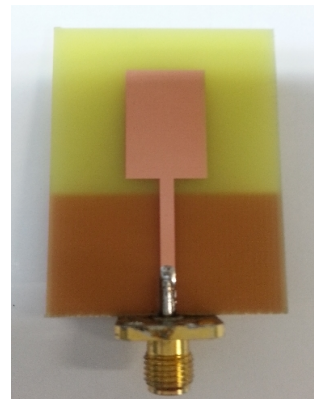


그림 3. 다중공진기의 시뮬레이션 및 측정 결과(코드: 11111)

Fig. 3. Simulation and measured S_{21} of the multi-resonator(code: 11111).



(a) UWB 안테나 레이아웃
(a) Layout of the UWB antenna



(b) 제작된 UWB 안테나
(b) The fabricated UWB antenna

그림 4. UWB 안테나 레이아웃 및 사진
Fig. 4. Layout and photograph of the UWB antenna.

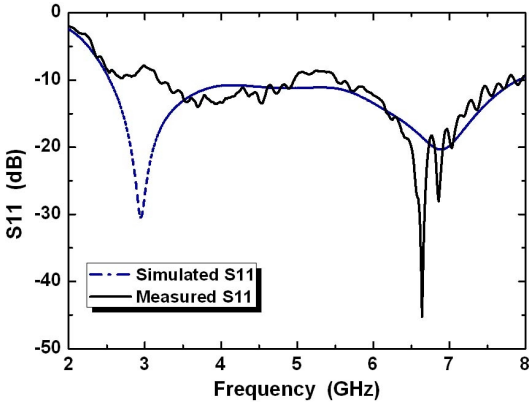


그림 5. UWB 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실
 Fig. 5. Simulated and measured return losses of the UWB antenna.

었다^{[9],[10]}. 또한, 집적을 고려하여 공진기 회로와 동일한 FR4 기판이 사용되었다.

그림 4는 설계된 UWB 안테나의 레이아웃과 실제 제작된 사진이다. 마이크로스트립 급전 구조를 갖는 평판형 모노폴(monopole) 안테나를 설계하였으며, 안테나 부분은 후면 접지면이 제거된 형태이다. 설계 결과는 $L=44.2$ mm, $L_p=17$ mm, $W_p=11$ mm, $L_f=20.2$ mm, $L_{GND}=18.2$ mm, $W=31.2$ mm, $W_f=1.9$ mm, $g=2$ mm로 설정되었다.

그림 5는 UWB 안테나의 시뮬레이션 결과와 제작 결과를 비교한 그래프이다. 측정 결과, 시뮬레이션 결과와 제작 측정 결과가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었고, 10 dB 반사 손실을 기준으로 2.6 GHz에서 8.1 GHz까지의 대역폭을 나타내어, 결합 접지 구조를 이용한 5 비트 다중공진기의 주파수 대역인 3~7 GHz를 포함하는 것을 확인할 수 있었다.

III. 마이크로파 태그 시스템 제작 및 성능 평가

본 장에서는 설계되어진 결합 접지 구조를 이용한 다중공진기와 UWB 안테나를 결합하여 마이크로파 태그를 제작하였다. 그림 6은 제작된 마이크로파 태그의 레이아웃과 제작 모델의 사진을 보이고 있다. 송·수신 안테나는 리더의 신호가 태그 양단의 안테나를 통해 각각 입사되었다가 리더로 송신되어 발생하는 혼신을 방지하기 위해 편파 다이버시티

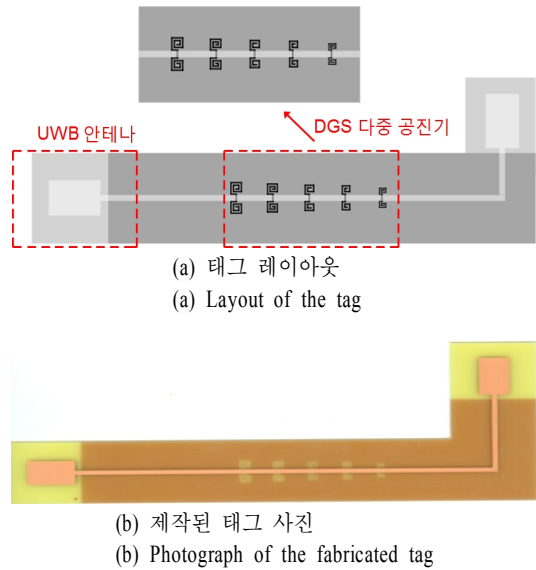


그림 6. 제작된 마이크로파 태그
 Fig. 6. Implemented microwave tag.

(polarization diversity)를 활용하여 상호 수직으로 구성하였다.

그림 7은 실제 제작되어진 마이크로파 태그의 무선 송·수신을 확인하기 위한 측정 셋업을 보이고 있다. 다중 반사에 의한 영향을 줄이기 위해 흡수체로 둘러싸인 무반향실 환경에 마이크로파 태그와 송수신 리더 안테나를 아크릴과 스티로폼을 이용하여 만든 거치대에 고정시켰다. 송수신 리더 안테나는 동축 케이블을 이용하여 네트워크 분석기 양단 포트에 연결하였다. 충분한 출력을 위해 네트워크 분석기의 송신측 포트에 전력증폭기(PA)를 연결하여 충분한 전력 레벨을 공급하도록 조절하였다.

송신된 RF 신호는 마이크로파 태그의 수신 안테

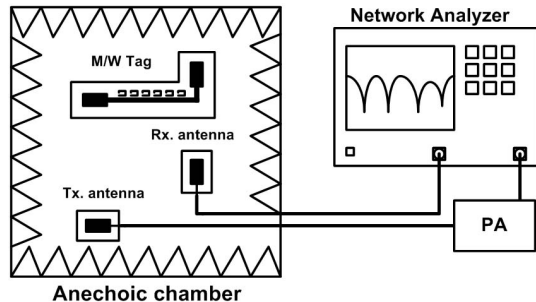
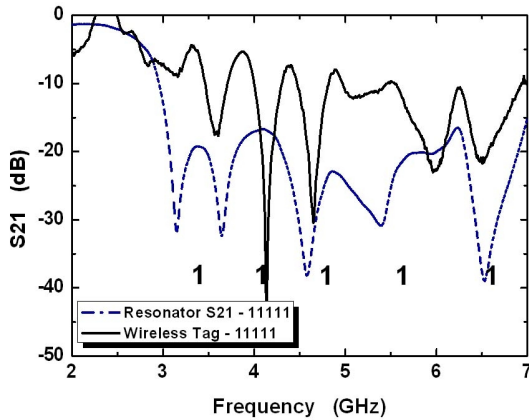
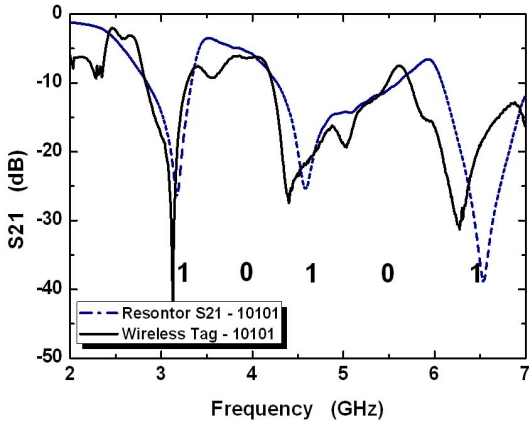


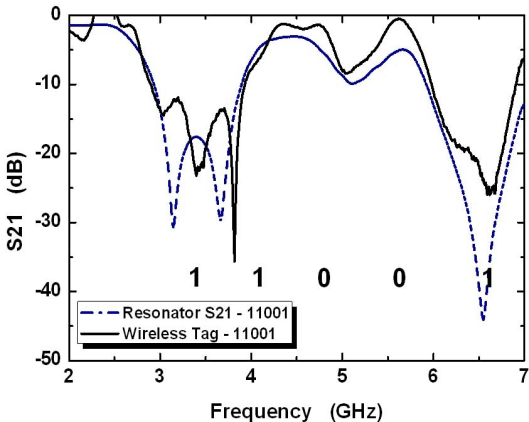
그림 7. 측정 환경
 Fig. 7. Experimental environment.



(a) 코드 11111
(a) Code 11111



(b) 코드 10101
(b) Code 10101



(c) 코드 11001
(c) Code 11001

그림 8. 마이크로파 태그의 무선 송수신 측정 결과
Fig. 8. Measured results of the proposed microwave tag in wireless transceiving.

표 2. 각 비트별 S_{21} 인식값(단위: dB)
Table 2. S_{21} values for each bit(dimension: dB).

Code	1(MSB)	1	1	1	1(LSB)
S_{21}	-17.7	-43.5	-30.5	-23.1	-21.8
Code	1	0	1	0	1
S_{21}	-43.2	-8.4	-27.4	-7.9	-31.3
Code	1	1	0	0	1
S_{21}	-23.2	-35.7	-1.5	-1.1	-26.0

나와 다중 공진기 회로, 송신 안테나를 통과한 후, 재 방사되어 리더의 수신 안테나를 통해 네트워크 분석기로 측정되어진다. 이때 외부 채널에 의한 영향의 Calibration을 위해 Reference Tag의 측정값과의 차이에 의해 측정이 이루어진다. 동일한 위치에 고정된 Reference Tag는 피측정 태그(DUT)와 동일한 크기와 동일한 안테나를 가지나, 공진기를 가지지 않는다. 즉, '00000'의 코드를 가진 태그이다.

그림 8은 결합 접지 구조를 이용한 다중 공진기의 삽입 손실 특성과 마이크로파 태그의 무선 송수신 인지 성능을 비교한 것이다. 다중 공진기의 삽입 손실은 안테나를 사용하지 않고 공진기 회로를 직접 네트워크 분석기에 연결하여 측정한 S_{21} 값, 즉 이상적인 예측 값을 나타내고 있으며, 마이크로파 태그의 무선 송수신 값은 무반향실에서 측정된 무선 송수신 결과이다. 각각 5 비트의 다중 공진기로 코딩된 코드 '11111', '10101', '11001'을 갖는 세 종류의 마이크로파 태그를 제작하여 측정하였다. 측정 결과, 다중 공진기의 랜덤 코드에 대한 특성과 마이크로파 태그의 랜덤 코드에 대한 특성이 약간의 주파수 차이가 있으나, 전체적으로 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 각 비트에 따른 S_{21} 의 인식 값을 표 2에서 코드별로 정리하였으며, 디지털 비트 '0'과 '1' 사이에 20 dB 이상의 분해능을 나타낼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 결합 접지 구조를 이용한 다중 공진기 기반의 마이크로파 태그 시스템을 제안하였다. 제안된 결합 접지 구조 기반의 다중 공진 회로는 기관 후면 배치로 공진기에 의한 리더 신호의 반사 가능성이 없고, 높은 인식률을 가지는 대역 저지 특성을 나타내었다. 설계된 공진 회로는 송·수신용 UWB

안테나와 함께 집적되어 한 번의 수동회로 공정에 의해 제작되었으며, 다양한 인식 부호를 갖는 태그에 대한 제작 및 측정 결과, 공진기 자체의 설계 특성과 일치하는 것을 확인하였다. 따라서 제안된 시스템은 기존의 UHF 대역 RFID 시스템의 수동 태그와 비교하여 저비용, 대량 생산이 가능하며, 마이크로파의 특성을 활용한 비접촉식 ID로 활용되어 다양한 코드 인식 기술로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] I. Jalaly, I. D. Robertson, "RF barcodes using multiple frequency bands", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 139-142, Jun. 2005.

[2] S. Preradovic, I. Balbin, and N. Karmakar, "Multi-resonator-based chipless RFID system for low-cost item tracking", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 57, no. 5, pp. 1411-1419, May 2009.

[3] S. Preradovic, N. Karmakar, "Multiresonator based chipless RFID tag and dedicated RFID reader", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1520-1523, May 2011.

[4] S. Preradovic, N. Karmakar, and E. Amin, "Chipless RFID tag with integrated resistive and capacitive sen-

sors", in *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf.*, pp. 1354-1357, Dec. 2011.

[9] 이석재, 최태민, 안달, 한상민, "결함 접지 구조를 이용한 다중 공진기 기반 Chipless RFID 시스템", *한국전자과학회 종합학술발표회 논문집*, vol. 22, no. 1, p. 173, 2012년 11월.

[5] R. Koswatta, N. Karmakar, "A novel method of reading multi-resonator based chipless RFID tags using an UWB chirp signal", in *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf.*, pp. 1506-1509, Dec. 2011.

[6] A. Islam, S. Bhuiyan, and N. Karmakar, "A novel compact chipless RFID tag and near-field reader", in *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf.*, pp. 1518-1521, Dec. 2011.

[7] C. S. Kim, J. S. Lim, S. Nam, K. Y. Kang, and D. Ahn, "Equivalent circuit modeling of spiral defected ground structure for microstrip line", *Electron. Lett.*, vol. 38, no. 19, pp. 1109-1110, Sep. 2002.

[8] 한기웅, 김상호, 이석재, 이순흠, 안달, 한상민, "주파수 공진 비트를 이용한 Chipless RFID", *한국정보기술학회 추계종합학술대회논문집*, vol. 11, no. 2, pp. 697-702, 2012년 11월.

[10] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, 2nd Ed., Wiley & Sons, New York, 2001.

이 석 재



2010년 2월: 순천향대학교 정보기술 공학부 (공학사)
 2012년 2월: 순천향대학교 정보통신 공학과 (공학석사)
 2012년 3월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] RF 통신시스템

한 상 민



1996년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
 1998년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
 2003년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학박사)
 2003년 10월~2004년 11월: 미국 Univ. of California, Los Angeles (UCLA), Post-Doctoral Research Fellow
 2005년 1월~2007년 8월: 삼성종합기술원 전문연구원
 2007년 9월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 조교수
 [주 관심분야] RF Systems, Low-Power Transceivers, Active Integrated Antennas