

변형된 ELC 공진기와 다중 슬롯 공진기를 이용한 소형 4-비트 Chipless RFID 태그

Compact 4-bit Chipless RFID Tag Using Modified ELC Resonator and Multiple Slot Resonators

여준호^{1*} · 이종익²

¹대구대학교 AI학부

²동서대학교 전자공학과

Junho Yeo^{1*} · Jong-Ig Lee²

¹School of Artificial Intelligence, Daegu University, Gyeongsangbuk-do, 38453, Korea

²Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan, 47011, Korea

[요약]

본 논문에서는 변형된 전계-결합 유도-용량성(ELC; electric field-coupled inductive-capacitive) 공진기와 다중 슬롯 공진기를 이용한 소형 4-비트 chipless RFID(radio frequency identification) 태그를 제안하였다. 변형된 ELC 공진기는 기존의 ELC 공진기에서 인터디지털-커패시터 구조를 사용하여 레이더 단면적(RCS; radar cross section)의 공진 피크 주파수를 낮추었다. 다중 슬롯 공진기는 거꾸로 된 U-모양의 도체에 길이가 다른 3개의 슬롯을 에칭하여 설계하였다. 변형된 ELC 공진기의 RCS 공진 피크 주파수는 3.216 GHz로 설계하였고, 다중 슬롯 공진기는 각각 4.122 GHz, 4.64 GHz, 5.304 GHz로 설계하였다. 제안된 소형 4-비트 태그를 두께 0.8 mm의 50 mm×20 mm 크기의 RF-301 기판에 제작하였다. 실험 결과, 제작된 4-비트 chipless RFID 태그의 공진 피크 주파수는 3.285 GHz, 4.09 GHz, 4.63 GHz, 5.31 GHz로 0.78%~2.16% 범위의 오차를 나타내며 시뮬레이션 결과와 유사하게 측정되었다.

[Abstract]

In this paper, a compact 4-bit chipless RFID(radio frequency identification) tag using a modified ELC(electric field-coupled inductive-capacitive) resonator and multiple slot resonators is proposed. The modified ELC resonator uses an interdigital-capacitor structure in the conventional ELC resonator to lower the resonance peak frequency of the RCS. The multiple slot resonators are designed by etching three slots with different lengths into an inverted U-shaped conductor. The resonant peak frequency of the RCS for the modified ELC resonator is 3.216 GHz, whereas those of the multiple slot resonators are set at 4.122 GHz, 4.64 GHz, and 5.304 GHz, respectively. The proposed compact four-bit tag is fabricated on an RF-301 substrate with dimensions of 50 mm×20 mm and a thickness of 0.8 mm. Experiment results show that the resonant peak frequencies of the fabricated four-bit chipless RFID tag are 3.285 GHz, 4.09 GHz, 4.63 GHz, and 5.31 GHz, respectively, which is similar to the simulation results with errors in the range between 0.78% and 2.16%.

Key word : Chipless RFID, Interdigital-capacitor, Modified ELC resonator, Multiple slot resonators, Radar cross section.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2022.26.6.516>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 22 November 2022; Revised 1 December 2022
Accepted (Publication) 15 December 2022 (30 December 2022)

*Corresponding Author; Junho Yeo

Tel : +82-53-850-6642

E-mail : jyeo@daegu.ac.kr

1. 서론

현재 제품 관리, 물류 및 공급망 관리를 위해 사용되고 있는 검은색 막대들로 이루어진 1차원 바코드는 데이터 변경 불가, 낮은 정보량, 낮은 인식률, 수동 인식 등의 단점이 있으며, 이를 보완하기 위해 개발된 차세대 자동 인식 기술인 RFID(radio frequency identification) 기술은 응용 분야에 따라 특정 주파수 대역의 전자파 신호로 사물이나 사람에 부착된 태그로부터 식별 정보와 주변 환경에 대한 센서 정보를 비접촉식으로 얻을 수 있다[1]. RFID 시스템은 크게 사물에 부착하여 식별 정보와 센서 정보를 전달하는 태그(tag)와 전자파 신호로 태그로부터 여러 정보를 획득하여 응용 분야에 따라 처리하는 리더(reader)로 구성되며, 태그 제작 시 반도체 칩(chip)의 사용 유무에 따라 칩 기반(chipped) 태그와 무칩(chipless) 태그로 구분할 수 있다[2].

RFID 기술은 2차 세계대전 당시 영국에서 전투기에 부착해 자국 전투기와 독일군 전투기를 구별하는데 사용된 피아식별 장치(IFF; identification friend or foe)에서 최초로 사용되었으며, 1970년대부터 가축 관리와 철도 차량 식별 등의 분야에서 연구되었고, 1980년대부터 가축 관리와 컨테이너 관리 분야에서 한정적으로 보급되기 시작했다. 1990년대에 반도체 집적회로의 저가화와 대량 생산 기술의 발달로 칩 기반의 태그와 제품 개별 식별이 가능한 차세대 제품 식별 코드에 대한 연구가 미국과 유럽을 중심으로 활발히 진행되었다[3]. 그러나 칩의 사용으로 인해 태그 가격의 저가화가 힘들어져 이에 대한 대안으로 칩을 사용하지 않는 chipless 태그에 대한 다양한 연구도 진행되었다. chipless 태그는 자성체 방식, 인쇄 전자회로 방식, 마이크로파 공진기 방식 등으로 분류할 수 있으며, 이 중에서 마이크로파 주파수 대역의 다양한 형태의 공진기를 배열하는 마이크로파 공진기 방식에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다[4].

마이크로파 공진기를 이용한 여러 방식 중에서 주파수 영역에서 공진기의 레이더 단면적(RCS; radar cross section)의 공진 주파수를 이용하여 송수신 안테나 없이 정보를 획득할 수 있는 후방 산란 기반 방식이 많이 연구되고 있다[5]. 마이크로파 공진기의 RCS 특성은 공진기의 기하학적인 구조와 크기, 입사하는 전자파 신호의 편파에 따라서 결정된다. 마이크로파 공진기의 구조로는 직선 도체, C-모양 도체, 링(ring)-모양 도체, U-모양 슬롯, 링-모양 슬롯 등이 사용되었다. 바코드 모양의 5-비트 태그를 설계하기 위하여 길이와 폭이 다른 다섯 개의 얇은 직선 도체를 기판 위에 일정한 간격으로 배치하였고 측정 결과 5.51 ~ 5.885 GHz 대역에서 동작하였다[6]. 공진기를 소형화하기 위해 직선 도체를 꺾은 C-모양 공진기를 20개 배치하여 2 ~ 4 GHz 대역에서 동작하는 20-비트 태그를 설계하였다[7]. 반지름이 다른 동심 원형 링-모양 도체를 이용하여 리더 안테나의 편파에 무관하게 동일한 특성을 가지는 태그를 3.1 ~ 10.6 GHz 대역에서 설계하였다[8]. 기판의 한쪽 면에 있는 사각형 도체 판에 길이가 다른 U-모양 슬롯 공진기를 배치하여 2.4 ~ 6.4 GHz 대역에서 동작하는 8-비트 태그를 제안하였다[9]. 원형 도체판

에 반지름이 다른 동심 링을 8개를 에칭하여 8-비트 태그를 설계하였다[10]. 직사각형 도체 판에 에칭된 다중 슬롯(slot) 공진기와 전계-결합 유도-용량성(ELC; electric field-coupled inductive-capacitive) 공진기를 평행하게 배치하여 식별 정보와 습도 및 온도 정보를 센싱하는 5-비트 태그를 6.7 GHz ~ 10.7 GHz 대역에서 동작하도록 설계하였다[11].

본 논문에서는 변형된 ELC 공진기와 다중 슬롯 공진기를 이용한 4-비트 소형 chipless RFID 태그를 제안하였다. 변형된 ELC 공진기는 기존의 ELC 공진기의 중심부의 커패시터 기호 모양을 인터디지탈(interdigital)-커패시터 모양으로 변형하여 크기를 24.2% 줄였다[12]. 참고문헌 [12]에서는 기존의 ELC 공진기 7개와 변형된 공진기를 결합하여 태그를 설계하였으나, 본 논문에서는 거꾸로 된 U-모양 도체판에 길이가 다른 슬롯을 에칭하여 다중 슬롯(MS; multiple slot) 공진기를 설계하여 변형된 ELC 공진기와 결합하였다. 개별 공진기와 공진기들이 결합한 4-비트 태그의 RCS 특성을 비교하기 위해 상용 전자파 해석 소프트웨어인 CST사의 Studio Suite를 이용하여 시뮬레이션하였다. RF-301 기판(비유전율 2.97, 두께 0.8 mm)을 이용하여 최종 설계된 4-비트 태그를 제작하여 시뮬레이션 결과와 특성을 비교하였다.

II. 변형된 ELC 공진기와 MS 공진기를 결합한 소형 4-비트 chipless RFID 태그 설계

제안된 변형된 ELC 공진기와 MS 공진기를 결합한 4-비트 chipless RFID 태그의 구조가 그림 1에 나타나 있다.

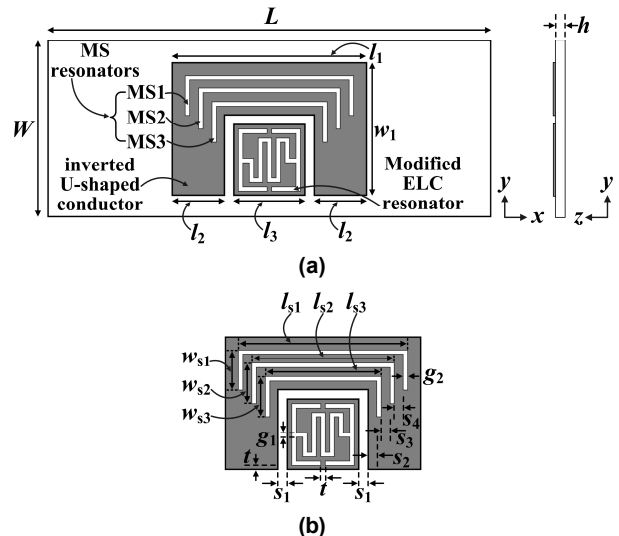


그림 1. 변형된 ELC 공진기와 MS 공진기를 결합한 4-비트 chipless RFID 태그 구조: (a) 전체 구조, (b) 변형된 ELC 공진기와 MS 공진기 구조

Fig. 1. Geometry of 4-bit chipless RFID tag with modified ELC and MS resonators: (a) whole geometry and (b) geometries of modified ELC resonator and MS resonators

표 1. 제안된 4-비트 chipless RFID 태그의 최종 설계변수
Table 1. Final design parameters of proposed 4-bit chipless RFID tag

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
L	50	W_{s2}	4.5
W	20	W_{s3}	4.5
h_1	22	s_1	1
h_2	6	s_2	1
h_3	8	s_3	1
W_1	15	s_4	1
h_{s1}	19	t	0.5
h_{s2}	16	g_1	0.5
h_{s3}	13	g_2	0.5
W_{s1}	4.5	h	0.8

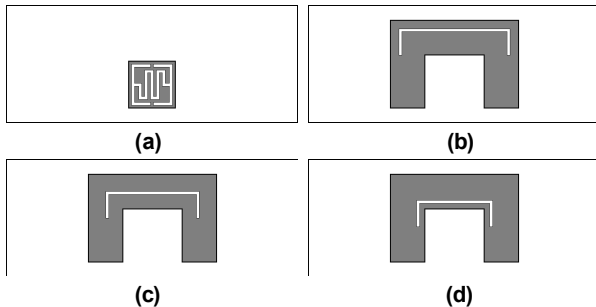


그림 2. 개별 공진기 구조: (a) 변형된 ELC 공진기, (b) MS1 공진기, (c) MS2 공진기, (d) MS3 공진기
Fig. 2. Geometries of individual resonators: (a) modified ELC resonator, (b) MS1 resonator, (c) MS2 resonator, and (d) MS3 resonator

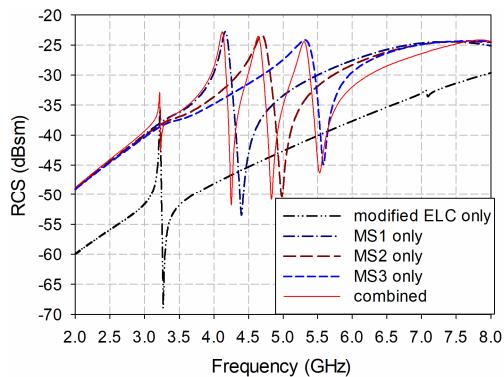


그림 3. 제안된 4-비트 chipless RFID 태그와 개별 공진기의 bistatic RCS 시뮬레이션 결과 비교
Fig. 3. Comparison of bistatic RCS simulation results for proposed 4-bit chipless RFID tag and individual resonators

제안된 태그는 비유전율(ϵ_r) 2.97, 두께(h) = 0.8 mm, 손실 탄젠트($\tan \delta$) = 0.0012인 RF-301 기판에 설계하였고, 기판의 길이와 폭은 각각 L 과 W 이다. 거꾸로 된 U-모양 도체에 에칭된 MS 공진기의 내부 공간에 변형된 ELC 공진기가 삽입되어 있다. 기판의 위쪽 면에 위치한 거꾸로 된 U-모양 도체판에 같은 모양의 길이가 다른 MS 공진기를 배치하였다. 가장 위에서부터 MS1, MS2, MS3 순으로 위치하고 있다. 슬롯의 폭은 g_2 =

0.5 mm이고, 슬롯 공진기 사이의 간격은 $s_2 = s_3 = s_4 = 1$ mm이다. 변형된 ELC 공진기는 거꾸로 된 U-모양 도체판의 빈 공간에 배치하였고, 둘 사이의 간격은 $s_1 = 1$ mm이다. 변형된 ELC 구조의 길이는 $l_3 = 8$ mm이다. 다른 설계 변수들의 값은 표 1에 나타나 있다.

그림 2는 그림 1의 4-비트 태그에 내장된 4개의 공진기 구조인, 변형된 ELC 공진기, MS1 공진기, MS2 공진기, MS3 공진기의 개별 공진기 구조를 각각 나타낸다. 그림 3은 변형된 ELC와 MS 공진기를 결합하여 배치했을 때의 bistatic RCS 특성과 변형된 ELC, MS1, MS2, MS3 각각의 개별 공진기의 RCS 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하였다. RCS 특성은 송신과 수신 위치가 다른 bistatic RCS를 사용하였다. Bistatic RCS 송신측 입사 각도는 z 축을 기준으로 zx -평면에서의 각도로서 실험에서 사용된 30° 를 적용하였고 수신 각도도 동일하며, RCS의 단위는 dBsm (decibel per square meter)이다[12].

시뮬레이션 결과, 기판 위에 변형된 ELC 공진기만 있을 때 공진 피크(peak) 주파수는 3.223 GHz이고 RCS 값은 -35.25 dBsm이다. MS 공진기 중에서 MS1 공진기만 있을 때 공진 피크 주파수는 4.167 GHz이고 RCS 값은 -22.76 dBsm이다. MS2 공진기만 있을 때 공진 피크 주파수는 4.691 GHz이고 RCS 값은 -23.31 dBsm이다. MS3 공진기만 있을 때 공진 피크 주파수는 5.315 GHz이고 RCS 값은 -24.15 dBsm이다. MS 공진기의 경우 거꾸로 된 U-모양 슬롯의 길이가 증가할수록 공진 피크 주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다.

변형된 ELC 공진기와 MS 공진기를 그림 1과 같이 결합할 경우 각 공진기의 공진 피크 주파수가 합쳐진 특성을 얻을 수 있다. 변형된 ELC 공진기의 공진 피크 주파수는 3.216 GHz로 7 MHz 낮은 주파수로 이동하였고 RCS 값은 -32.91 dBsm으로 2.34 dB 증가하였다. 공진 피크 주파수가 낮은 주파수로 이동하고 RCS 값이 증가하는 이유는 변형된 ELC 공진기와 MS 공진기를 가깝게 배치할 때 발생하는 상호 결합에 의한 것으로 판단된다. MS1 공진기의 공진 피크 주파수는 4.122 GHz로 45 MHz 낮은 주파수로 이동하였고 RCS 값은 -22.8 dBsm으로 0.04 dB 감소하였다. MS2 공진기의 공진 피크 주파수는 4.64 GHz로 51 MHz 감소하였고 RCS 값은 -23.53 dBsm으로 0.22 dB 감소하였다. MS3 공진기의 공진 피크 주파수는 5.304 GHz로 11 MHz 감소하였고 RCS 값은 -24.44 dBsm으로 0.29 dB 감소하였다.

기판의 한쪽 면에 위치한 도체 판에 에칭된 슬롯 공진기의 공진 주파수는 아래 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다[9].

$$f_r = \frac{c}{2L_s} \sqrt{\frac{2}{1 + \epsilon_{eff}}} \tag{1}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \tag{2}$$

여기서 f_r 은 슬롯 공진기의 공진 주파수, L_s 는 슬롯 공진기의 길이, c 는 자유 공간에서의 빛의 속도, ϵ_{eff} 는 유효 비유전율, h 는 기판의 두께, W 는 도체 판의 폭이다.

도체 판의 폭을 거꾸로 된 U-모양 도체의 길이 l_1 으로 두고 유효 비유전율을 계산할 결과 $\epsilon_{eff} = 2.807$ 이다. MS1, MS2, MS3 공진기의 길이를 슬롯의 중심을 기준으로 계산하면 각각 27 mm, 24 mm, 21 mm이다. 식 (1)을 이용하여 계산된 이론적인 공진 주파수는 각각 4.027 GHz, 4.53 GHz, 5.177 GHz이다. 그림 3의 개별 공진기의 공진 피크 주파수와 비교하면, MS1 공진기는 140 MHz 차이가 난다. MS2 공진기는 161 MHz 차이가 나고, MS3 공진기는 138 MHz 차이가 난다. 공진 주파수의 차이는 실제 도체 판이 구부러져 있어 유효 비유전율이 차이가 나고 슬롯의 구조도 꺾여 있어 공진 길이가 차이가 나서 발생한 것으로 판단된다.

그림 4는 제안된 4-비트 chipless RFID 태그의 공진 피크 주파수에서의 전계 분포를 나타내고 있다.

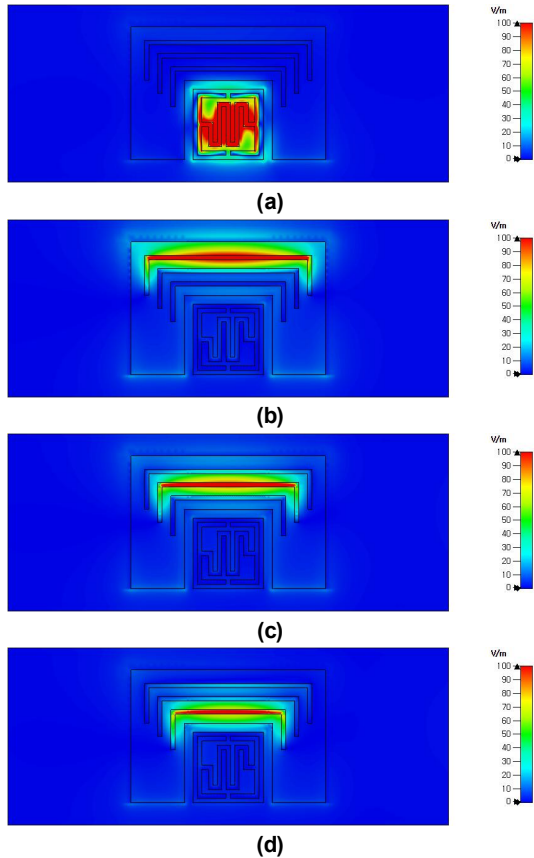


그림 4. 제안된 4-비트 chipless RFID 태그의 RCS 공진 피크 주파수에서의 전계 분포: (a) 3.216 GHz, (b) 4.122 GHz, (c) 4.64 GHz, (d) 5.304 GHz

Fig. 4. Electric field distributions of proposed 4-bit chipless RFID tag at RCS resonant peak frequencies: (a) 3.216 GHz, (b) 4.122 GHz, (c) 4.64 GHz, and (d) 5.304 GHz

변형된 ELC 공진기의 공진 피크 주파수인 3.216 GHz에서는 변형된 ELC 공진기의 인터디지털-커패시터 구조의 슬롯에 전계가 집중되는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 MS1, MS2, MS3 공진기의 공진 피크 주파수에서도 각 공진기의 슬롯에 전계가 집중된다.

III. 제작 및 실험 결과

그림 5는 RF-301 기판($\epsilon_r = 2.97$, $h = 0.8$ mm, $\tan \delta = 0.0012$)에 제작된 변형된 ELC 공진기와 MS 공진기가 결합된 4-비트 chipless RFID 태그의 사진이 나타나 있다. 그림 6은 전파 무반사실 내에 광대역 송수신 안테나를 이용하여 구성된 bistatic RCS 측정 setup의 사진이 나타나 있다. Agilent사의 N5230A 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 bistatic RCS 계산을 위해 필요한 송수신 안테나의 전달계수(S_{21})를 측정하였다. 광대역 송수신 안테나는 C&G Microwave사의 double-ridged horn 안테나를 사용하였으며, 주요 안테나 특성은 2 ~ 18 GHz 대역에서 전압 정제파비가 2 이하이고 6 ~ 17 dBi의 이득을 가진다. 송수신 안테나와 4-비트 태그 사이의 거리는 300 mm 정도이고 송수신 안테나는 태그 표면의 수직인 방향과 30° 정도의 입사 각도를 가지도록 설치하였다.

아래 식 (3)을 사용하여 측정된 송수신 안테나의 전달계수로 bistatic RCS 값을 계산하였다[12].

$$\sigma_{tag} = \left[\frac{S_{21,tag} - S_{21,air}}{S_{21,ref} - S_{21,air}} \right]^2 \sigma_{ref} \quad (3)$$

여기서 피 측정 물체의 측정된 RCS 값(σ_{tag})은 기준으로 사용될 물체의 RCS 값(σ_{ref}), 피 측정 물체의 측정된 전달계수($S_{21,tag}$), 기준 물체를 두었을 때 측정된 전달계수($S_{21,ref}$), 물체가 없을 때 측정된 공기 중 전달계수($S_{21,air}$) 등을 이용하여 계산하였다. 기준 물체로는 길이 30 mm, 직경 0.4 mm인 구리선을 사용하였다.

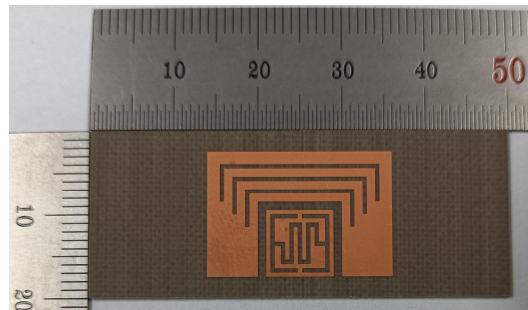


그림 5. 제작된 4-비트 chipless RFID 태그 사진
Fig. 5. Photograph of fabricated 4-bit chipless RFID tag



그림 6. 측정 setup 사진
 Fig. 6. Photograph of measurement setup

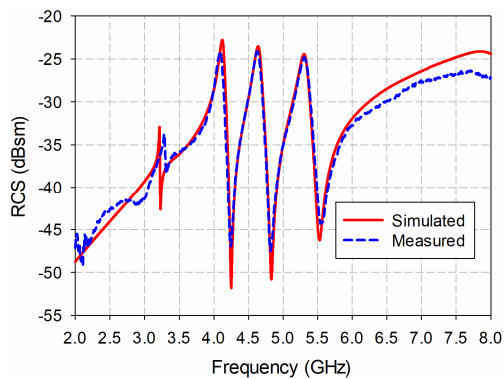


그림 7. 제안된 4-비트 chipless RFID 태그의 측정된 bistatic RCS 값 비교
 Fig. 7. Comparison of measured bistatic RCS values for proposed 4-bit chipless RFID tag

그림 7은 제안된 4-비트 chipless RFID 태그의 측정된 bistatic RCS 값과 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 제안된 4-비트 chipless RFID 태그의 시뮬레이션한 공진 피크 주파수는 그림 3에 나타나 있듯이 3.216 GHz, 4.122 GHz, 4.64 GHz, 5.304 GHz이고, RCS 값은 각각 -32.91 dBsm, -22.8 dBsm, -23.53 dBsm, -24.44 dBsm이다.

측정 결과, 공진 피크 주파수는 각각 3.285 GHz, 4.09 GHz, 4.63 GHz, 5.31 GHz이고, RCS 값은 각각 -33.74 dBsm, -24.11 dBsm, -24.13 dBsm, -24.83 dBsm이다. 공진 피크 주파수의 오차는 0.78%~2.16%이고, RCS 값의 오차는 1.6%~5.8%이다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 커패시터 모양 구조를 인터디지털-커패시터 구조로 변형된 ELC 공진기와 거꾸로 된 U-모양 도체 판에 에칭된 3개의 길이가 다른 슬롯을 이용한 MS 공진기를 결합한 소형 4-비트 chipless RFID 태그를 연구하였다.

변형된 ELC 공진기와 MS 공진기를 결합하여 배치할 경우 개별 공진기와 비교할 때 공진 피크 주파수가 낮은 주파수로 이동하였다. RCS 값의 경우 변형된 ELC 공진기의 경우 증가하였

으나 MS 공진기의 경우 조금 감소하였다.

제작된 소형 4-비트 chipless RFID 태그의 특성은 시뮬레이션 결과와 유사하게 측정되었다. 송신측 입사각도를 30°로 하여 측정된 bistatic RCS 공진 피크 주파수의 오차는 0.78%~2.16%이고, RCS 값의 오차는 1.6%~5.8%이다.

제안된 소형 chipless RFID 태그는 습도나 온도에 따라 유전율이 변화하는 고분자 물질과 결합하여 습도나 온도를 안테나를 이용하여 무선으로 센싱하는 소형 RFID 센서 태그에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, pp. 1-13, 2010.
- [2] T. Athauda and N. Karmakar, "Chipped versus chipless RF identification: A comprehensive review," *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 20, No. 9, pp. 47-57, Sep. 2019.
- [3] D. M. Dobkin, *RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2008.
- [4] J. Lee, "Chipless tag technology," *The Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 54-63, Apr. 2004.
- [5] C. Herrojo, F. Paredes, J. Mata-Contreras, and F. Martin, "Chipless-RFID: A review and recent developments," *Sensors*, Vol. 19, No. 15, p. 3385, 2019.
- [6] I. Jalaly and D. Robertson, "RF barcodes using multiple frequency bands," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Long Beach, CA, pp. 139-141, Jun. 2005.
- [7] A. Vena, E. Perret and S. Tedjini, "A fully printable chipless RFID tag with detuning correction technique," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 22, No. 4, pp. 209-211, Apr. 2012.
- [8] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, "High-capacity chipless RFID tag insensitive to the polarization," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 60, No. 10, pp. 4509-4515, Oct. 2012.
- [9] S. Shrestha and N. C. Karmakar, "Analysis of real-world implementation challenges of chipless RFID tag," *IET Microwave and Antennas Propagation*, Vol. 13, No. 9, pp. 1318-1324, 2019.
- [10] M. A. Islam, Y. Yap, N. Karmakar, and A. K. M. Azad, "Orientation independent compact chipless RFID tag," *2012 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)*, Nice, France, pp. 137-141, Nov.

2012.

[11] E. M. Amin, N. C. Karmakar, B. W. Jensen, "Fully printable chipless RFID multi-parameter sensor," *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 248, pp. 223-232, Sep.

2016.

[12] J. Yeo, J.-I. Lee, and Y. Kwon, "Humidity-sensing chipless RFID tag with enhanced sensitivity using an interdigital capacitor structure," *Sensors*, Vol. 21, No. 19, p. 6550, 2021.



여 준 호 (Junho Yeo)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사),
2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사),
2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 미국 Pennsylvania State University 박사 후 과정
2004년 8월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
2007년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 시학부 교수
※관심분야: RFID 및 광대역 안테나, 고감도 마이크로파 센서, Chipless RFID

1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1994년 3월 ~ 1999년 6월 : 국방과학연구소 연구원



이 종 익 (Jong-ig Lee)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월 ~ 12월 : 금오공과대학교 연구교수
1999년 3월 ~ 현재: 동서대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 평면 안테나, 전자파 신란